Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Губарев О.П., Ганпанцурова О.С.,
Бєліков К.О., Левченко О.В., Муращенко А.М.,
Синицина Є.Ю. (під редагуванням О.П.Губарева)**

Циклічно-модульний підхід в задачах структурного і логічного синтезу систем мехатроніки

Монографія

Рекомендовано Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського

КИЇВ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2026

УДК 62-5, 681.5

Рекомендовано Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(Протокол № 11 від 10 листопада 2025р.)

Рецензенти:

І.І. Назаренко, д-р техн. наук, проф. кафедри машин і обладнання технологічних процесів
Київський національний університет будівництва і архітектури

Л.Г. Козлов, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри технологій та автоматизації машинобудування
Вінницький національний технічний університет

М.В. Якимчук, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування
Національний університет Харчових технологій

Губарев О.П., Ганпанцурова О.С., Бєліков К.О., Левченко О.В., Муращенко А.М., Синицина Є.Ю. (під редагуванням О.П.Губарева)
О77 Циклічно-модульний підхід в задачах структурного і логічного синтезу систем мехатроніки: монографія. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 548 с.
ISBN 978-617-8219-49-9

Описано циклічно-модульний підхід до задач структурного і логічного синтезу систем мехатроніки та гідропневмоавтоматики. Наведено методики розробки принципових схем та алгоритмів керування, розглянуто особливості і сфери їх застосування. Наведено приклади розв'язування практичних задач структурного і логічного синтезу.

УДК 62-5, 681.5

ISBN 978-617-8219-49-9

© О.П. Губарев, О.С. Ганпанцурова, О.С., Бєліков К.О., Левченко О.В., Муращенко А.М., Синицина Є.Ю. (під редагуванням О.П.Губарева), 2026
© КПІ ім. Ігоря Сікорського (НН ММІ), 2026

З М І С Т

ВСТУП … **7**

1. ЦИКЛІЧНО-МОДУЛЬНИЙ ПІДХІД ДО СИНТЕЗУ СИСТЕМ… **11**

1.1. Підстави та передумови модульної будови систем циклічної дії … **11**

1.2. Зв'язок між будовою системи і будовою процесу функціонування … **15**

1.3. Будова і властивості циклічного модуля мехатронної системи … **20**

1.4. Аналіз продукції як підхід до синтезу структури систем **31**

1.5. Технічний об'єкт в формі системи циклічних модулів … **40**

1.6. Стадії побудови модулів і систем … … … … … … … … … … … **47**

1.7. Узагальнена структура і склад системного модуля … … **54**

1.8. Макромодуль в складі системи … … … … … … … … … … … **66**

2. МЕТОДИКИ ЦИКЛІЧНО-МОДУЛЬНОГО СИНТЕЗУ СИСТЕМ МЕХАТРОНІКИ … **78**

2.1. Методики синтезу систем, загальні положення … … … **78**

2.1.1. Формалізація завдання, побудова функціональних модулів і графу системи, загальні положення … … … … … … … … … … … … … **79**

2.1.2. Дослідження логічної визначеності систем, загальні положення **87**

2.1.3. Доповнення системи елементами пам'яті, загальні положення… **96**

2.1.4. Логічний синтез і мінімізація логічних виразів команд керування, загальні положення … … … … … … … … … … … … … … … … … **98**

2.1.5. Технічна реалізація систем керування, загальні положення … … **103**

2.1.6. Особливості бістабільного та моностабільного керування при технічній реалізації … **108**

2.2. Методики синтезу систем 1-го класу складності … … … **116**

2.2.1. Формалізація опису систем 1-го класу, функціональний граф … **116**

2.2.2. Дослідження логічної визначеності систем 1-го класу … … … **117**

2.2.3. Доповнення елементами пам'яті систем 1-го класу … … … … **120**

2.2.4. Логічний синтез команд керування для систем 1-го класу … … **123**

2.3. Методики синтезу систем 2-го класу складності … … … **129**

2.3.1. Формалізація опису систем 2-го класу, функціональний граф … **129**

2.3.2. Дослідження логічної визначеності систем 2-го класу … … … **131**

2.3.3. Доповнення елементами пам'яті систем 2-го класу … … … … **135**

2.3.4. Логічний синтез команд керування для систем 2-го класу … … **139**

2.3.4.1. Логічний синтез виразів бістабільних команд для систем 2-го класу … **141**

2.3.4.2. Логічний синтез виразів моностабільних команд для систем 2-го класу … **153**

2.4. Методики синтезу систем 3-го класу складності … … … **163**

2.4.1. Формалізація опису систем 3-го класу, функціональний граф … **163**
2.4.2. Дослідження логічної визначеності систем 3-го класу … … … **165**
2.4.3. Доповнення елементами пам’яті систем 3-го класу … … … … **168**
2.4.4. Логічний синтез команд керування для систем 3-го класу … … **174**
2.4.4.1. Логічний синтез виразів бістабільних команд для систем 3-го класу … **177**
2.4.4.2. Логічний синтез виразів моностабільних команд для систем 3-го класу … **181**
2.5. МЕТОДИКИ СИНТЕЗУ СИСТЕМ 4-ГО КЛАСУ СКЛАДНОСТІ … … … **192**
2.5.1. Формалізація опису систем 4-го класу, функціональний граф … **192**
2.5.2. Дослідження логічної визначеності систем 4-го класу … … … **196**
2.5.3. Доповнення елементами пам’яті систем 4-го класу … … … … **203**
2.5.4. Логічний синтез команд керування для систем 4-го класу … … **205**
2.6. МЕТОДИКИ СИНТЕЗУ СИСТЕМ 5-ГО КЛАСУ СКЛАДНОСТІ … … … **221**
2.6.1. Формалізація опису систем 5-го класу, функціональний граф … **221**
2.6.2. Дослідження логічної визначеності систем 5-го класу … … … **225**
2.6.3. Доповнення елементами пам’яті систем 5-го класу … … … … **231**
2.6.4. Логічний синтез команд керування для систем 5-го класу … … **234**
2.6.5. Будова, склад і зміст модулів альтернативного вибору … … … **252**
2.7. СИСТЕМИ 6-ГО КЛАСУ СКЛАДНОСТІ ЙМОВІРНІСНО-АЛЬТЕРНАТИВНІ … … … … … … … … … … … … … … … … … … **259**
2.7.1. Загальні відомості щодо систем 6-го класу … … … … … … … **259**
2.7.2. Формалізація опису систем 6-го классу … … … … … … … … **260**
2.7.3. Дослідження логічної визначеності, доповнення системи елементами пам'яті, логічний синтез виразів команд керування **263**
2.7.4. Приклад маніпулятора з альтернативно-ймовірнісним керуванням … … … … … … … … … … … … … … … … … … … **264**
2.7.5. Додаткові варіанти налаштування структурованої пам’яті … … **280**

3. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ СТВОРЕННЯ МОДУЛІВ І СИСТЕМ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ … … … … … … … … … … … … … … **281**
3.1. ПНЕВМАТИЧНІ І ГІДРАВЛІЧНІ КОМПОНЕНТИ МОДУЛІВ … … … … **282**
3.2. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ, ЕЛЕКТРОРЕЛЕЙНІ ТА ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ МОДУЛІВ … … … … … … … … … … … … … … … **292**
3.3. АЛГОРИТМІЧНІ КОМПОНЕНТИ МОДУЛІВ … … … … … … … … **301**

4. ПРИКЛАДИ БУДОВИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ І СИСТЕМНИХ ЦИКЛІЧНИХ МОДУЛІВ … … … … … … … … … … … … … … **316**
4.1. ПНЕВМАТИЧНІ МОДУЛІ БІНАРНОЇ ДІЇ … … … … … … … … … … **318**
4.1.1. Пневматичний модуль завантаження … … … … … … … … … **318**
4.1.2. Пневматичний модуль фіксації … … … … … … … … … … … **320**
4.1.3. Пневматичний модуль маніпулятора … … … … … … … … … **322**
4.2. ГІДРАВЛІЧНІ МОДУЛІ БІНАРНОЇ ДІЇ … … … … … … … … … … … **324**
4.2.1. Модуль гідравлічного підйомника … … … … … … … … … … **324**

4.2.2. Модуль транспортер гідравлічний нереверсивний … … … … … **327**
4.2.3. Модуль транспортер гідравлічний реверсивний … … … … … **330**
4.3. МАКРОМОДУЛІ ІЗ ЗМІНОЮ НАЛАШТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ … … … **333**
4.3.1. Макромодуль маніпулятора гідравлічного багатопозиційного … **333**
4.3.2. Модуль гідравлічного приводу з перемиканням швидкості руху **337**
4.3.3. Макромодуль пневматичного приводу пресу з двома рівнями тиску … **341**
4.4. МАКРОМОДУЛІ ІЗ ПРОПОРЦІЙНИМ КЕРУВАННЯМ… … … … … … … … **346**
4.4.1. Макромодуль гідравлічного приводу з пропорційним керуванням швидкістю … … … … … … … … … … … … … … … … … **346**
4.4.2. Макромодуль гідравлічного приводу пресу з пропорційним керуванням зусиллям … … … … … … … … … … … … … … … … **351**
4.5. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ МОДУЛІ … … … … … … … … … … … … … … … **360**
4.5.1. Модуль лінійного переміщення електромеханічний … … … … **360**
4.5.2. Багатопозиційний модуль лінійного переміщення електромеханічний … … … … … … … … … … … … … … … … … **362**
4.5.3. Електромеханічний модуль поворотного столу нереверсивний **365**
4.5.4. Електромеханічний модуль позиціонування на базі крокового електромотора … … … … … … … … … … … … … … … … … **368**

5. ПРИКЛАДИ БУДОВИ СИСТЕМ І АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ **372**
5.1. СИСТЕМА ДИСКРЕТНОЇ ГІДРОАВТОМАТИКИ ЛАНКИ МЕТАЛО-ОБРОБЛЮВАЛЬНОГО ЦЕНТРУ З ЕЛЕКТРОРЕЛЕЙНИМ КЕРУВАННЯМ … **372**
5.2. СИСТЕМА ДИСКРЕТНОЇ ГІДРОАВТОМАТИКИ ЛАНКИ МЕТАЛО-ОБРОБЛЮВАЛЬНОГО ЦЕНТРУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМОВАНОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА (PLC) В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯМ .. … … … **393**
5.3. СИСТЕМА ДИСКРЕТНОЇ ПНЕВМОАВТОМАТИКИ ЛАНКИ ОБРОБЛЮВАЛЬНОГО ЦЕНТРУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМОВАНОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА (PLC) В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯМ … … … … **427**

6. ДОПОМІЖНІ ТА СЕРВІСНІ ФУНКЦІЇ СИСТЕМИ, РЕЖИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ … **456**
6.1. БАГАТОРЕЖИМНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ … … … **456**
6.2. ЦИКЛОВІ РЕЖИМИ РОБОТИ СИСТЕМИ … … … … … … … … … … … **460**
6.2.1. Режим «Вмикання/вимикання» (пневмоавтоматика) … … … … **460**
6.2.2. Режим «Вмикання/вимикання» (елекрорелейна схема) … … … **462**
6.2.3. Режим «Одиничний/Тривалий» цикл (пневмоавтоматика) … … **464**
6.2.4. Режим «Одиничний/Тривалий» цикл (електрорелейна схема) … **465**
6.2.5. Режим пауза (загальні питання) … … … … … … … … … … … … **466**
6.2.5.1. Режим «ПАУЗА» (пневмоавтоматика) … … … … … … … … … **467**
6.2.5.2. Режим «ПАУЗА» (елекрорелейна схема) … … … … … … … … **469**
6.2.6. Режим «ТАКТ» (пневмоавтоматика)... … … … … … … … … … **470**
6.2.7. Режим «ТАКТ» (електрорелейна схема) … … … … … … … … … **472**
6.3. НЕЦИКЛОВІ РЕЖИМИ РОБОТИ СИСТЕМИ .. … … … … … … … … … … **474**
6.3.1. Режим ручного керування, загальні питання… … … … … … … … **475**

6.3.2. Режим «Ручне керування» (пневмоавтоматика) … … … … … … **476**
6.3.3. Режим «Ручне керування» (електрорелейна схема) … … … … **478**
6.3.4. Режим «Початковий Стан» (пневмоавтоматика) … … … … … **479**
6.3.5. Режим «Початковий Стан» (електрорелейна схема) … … … … **480**
6.3.6. Режим аварійної зупинки (загальні питання) … … … … … … … **482**
6.3.7. Режим «Аварійна зупинка» (пневмоавтоматика) … … … … … **483**
6.3.8. Режим «Аварійна зупинка» (електрорелейна схема) … … … … **485**
6.4. БАГАТОРЕЖИМНА СИСТЕМА З АЛГОРИТМІЧНИМ КЕРУВАННЯМ (МОВА STL) … **487**
6.4.1. Режим «вмикання/вимикання» і «тривалого/одиничного» циклу **489**
6.4.2. Режими «ПАУЗА» і «ТАКТ» (алгоритмічне керування) … … **492**
6.4.3. Режим «Ручне керування» (алгоритмічне керування) … … … … **494**
6.4.4. Режими «АВАРІЙНА ЗУПИНКА» (алгоритмічне керування) … **498**

7. СКЛАДАННЯ І НАЛАГОДЖЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ … **503**
7.1. СКЛАДАННЯ І НАЛАГОДЖЕННЯ СИСТЕМ З ЦИКЛІЧНО-МОДУЛЬНОЮ СТРУКТУРОЮ … **503**
7.2. ЗАГАЛЬНА ПОСЛІДОВНІСТЬ СКЛАДАННЯ ПНЕВМАТИЧНОЇ ЦИКЛІЧНО-МОДУЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ … … … … … … … … … … … … … **509**
7.2.1. Рекомендації щодо складання системи пневмоавтоматики … … **509**
7.2.2. Приклад поетапного складання пневматичної циклічно-модульної системи… … … … … … … … … … … … … … … … … … … **510**
7.3. Загальна послідовність складання електрорелейної циклічно-модульної системи керування … … … … … … … … … … … … … … **517**
7.3.1. Рекомендації щодо складання системи електрорелейного керування пневмоавтоматики (гідроавтоматики) … … … … … … **517**
7.3.2. Приклад поетапного складання пневматичної циклічно-модульної системи з електрорелейним керуванням… … … … … … **519**
7.3.3. Особливості електрорелейного керування для систем дискретної гідроавтоматики … … … … … … … … … … … … … … … … … **527**

ПІДСУМОК … **531**
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ … … … … … … … … … … **534**

В С Т У П

Циклічно-модульний синтез – що це? Циклічно-модульний синтез – це технологія створення систем з циклічних модулів. Відомі аналоги технологій розробки систем, в яких властивості елементів покладено в основу будови системи. В такому випадку і методики об'єднання елементів в систему також базуються на властивостях і особливостях їх елементів. До подібних технологій та підходів можна віднести 3-D друк, нанотехнології, об'єктно-орієнтоване програмування, технології складальних виробництв, технології зварювального виробництва, технології синтезу високомолекулярних сполук та багато інших [76,80,83,85,86,87,92,111,121]. Стосовно механічних, мехатронних та наближених до них систем можна вказати агрегатний підхід, конвеєрні лінії, роторно-конвеєрні виробництва, гнучкі виробництва, робото технічні комплекси, приклади застосування підходів Industry 4.0, складальні виробництва [2,32,66,74,82,110,128,130,138,143,144,156]. Кожна з перелічених технологій чи підходів спираються на певні властивості складових елементів системи. Це можуть бути атоми, молекули чи гранули речовин, це можуть бути операції, дії чи такти технологічного процесу, це можуть бути фізичні складові, що набули достатньо поширеного і прогнозованого використання, це можуть бути інформаційні об'єкти і методи, це можуть бути системи меншого розміру з певним набором властивостей. В більшості практичних випадків процес розробки систем спирається на декілька різних технологій чи підходів. Загалом це дозволяє мінімізувати витрати часу на розробку, понизити кваліфікаційні вимоги до проектувальників і використати попередній досвід створення технічних систем.

Передумови циклічно-модульного синтезу. Поступово досвід кожного успішного створення новітньої техніки поширювався на інші напрямки і технічні засоби. Саме так принципи будови електрорелейних систем автоматики з перемиканням регістрів, електричні шафи на виробничих комплексах, які набули широкого використання в машинобудуванні, були застосовані при створенні систем промислової пневмоавтоматики [12,13,26,39,89,91,119,144,149]. В цей же час найстаріші механічні рішення, на зразок механічного піаніно, шарманки чи арифмометра, отримали нове життя в команд-апаратах автоматизованих виробництв. На заміну команд-апаратам, виготовленим з металу чи пластику, прийшли набагато дешевші паперові перфокарти та перфоровані стрічки із пристроями сканування, на зразок енкодерів. Це надало можливість порівняно швидкого переналагодження автоматизованих систем. Проте більшість пристроїв та засобів автоматизації залишались орієнтованими на конкретне технічне застосування, інколи, навіть на конкретні технічні об'єкти.

Конкурентна боротьба серед розробників засобів автоматизації призвела до тиражування типових технічних рішень. Наслідком цього можна вважати розробку в 1960-х – 1970-х роках систем елементів пневмоавтоматики, гідроавтоматики, електрогідравліки і електропневматики, універсальних систем, таких, як АУС, УСЕППА, ВОЛГА та інших [89,91,118,157]. На хвилі застосування новітньої техніки формувались нові можливості, нові задачі, нові функції автоматизованих

систем. З’явились верстати-автомати, автоматизовані виробничі ланки, оброблювальні центри, напів-автоматичні виробництва, роботи і маніпулятори, автоматичні системи мобільних об’єктів [89,113,125,130,134,141,149,156,172].

Водночас перепоною на шляху поширення пневмо-гідравлічної автоматизації стали складність проектування і тестування систем, вартість і швидкодія обладнання. Якщо вартість і швидкодія поступово знаходили технічні рішення, то складність проектування обмежувала кількість керованих дій в складі системи, або потребувала зміни підходу до розробки. Традиційне подання системи у вигляді кінцевих автоматів, СДНФ і СКНФ призводило до неприпустимого розростання логічних умов в системі керування [89,90,118]. Збільшення кількості необхідних логічних функцій знаходилось в геометричній прогресії від кількості керованих дій, а кожна функція – це додатковий пристрій, його вартість, швидкодія і надійність роботи системи, а головне – узгоджена взаємодія всіх складових системи. Перехід від системи з 3-ма чи 5-ма виконавчими пристроями до системи з 10-ма виконавчими пристроями виявився технічно неможливим. Або об’єкт проектування ставав непомірно вартісним, або взагалі непрацездатним через складність логічних взаємозв’язків між роботою пристроїв та доданою пам’яттю системи.

Підґрунтя циклічно-модульного синтезу. Витоки циклічно-модульного підходу походять із задачі мінімізації систем керування дискретної гідропневмоавтоматики [89,91,119,145,123]. Після побудови логічних умов у вигляді СДНФ чи СКНФ, чи за допомогою вагових функцій, чи іншим шляхом, відбувалась мінімізація логічних виразів команд керування, наприклад, за допомогою карт Вейча-Карно чи аналітичним або іншим методом [93,119,123]. Але і методики мінімізації також були обмежені кількістю керованих і контрольованих дій в системі та складністю формалізованих методик. На цій проблемі виростали нові наукові школи гідропневмоавтоматики і нові підходи, зокрема графи операцій (М.В. Черкашенко, Ю.І. Келлерман [123,166]), графи з предикатами (М.Н. Педченко, В.О. Федорець [145]), аналітичні методи (Г.В. Крейнін [89]), адаптований кінцевоавтоматний підхід (Л.А. Залманзон [119]), підхід з ієрархчними мережами (С.А. Юдицкий, О.О. Белоусов, С.С. Покалев [170,171]) та інші. Подібні проблеми виникали не тільки в системах гідропневмоавтоматики, і розробники з інших галузей звернули увагу на мережі Петрі, схеми Керка, ЕФ-мережі, які в явному вигляді враховували асинхронність та паралельність перетворень в системі [80,86,131,132,135,148,150,156]. Одночасне поширення обчислювальної техніки в інженерному колі додало до задачі мінімізації питання автоматизації синтезу систем керування. На цьому перетині було сформовано запропонований циклічно-модульний погляд на задачі синтезу і мінімізації. Це відбулось під час виконання групового курсового проекту «Автоматизація синтезу систем дискретної гідропневмоавтоматики» студентами 4-го курсу Павлом Петренком, Леонідом Миколаєнком, Олександром Жиліним і Олександром Губаревим під керівництвом М.Н. Педченка [140]. Було підмічено, що виконання керованої дії пневмоциліндром чергується з керованим і контрольованим поверненням циліндра в початковий стан. Тобто система складена з елементів

керованої і контрольованої циклічної дії. Виявилось, що на формальному рівні подібним образом відбуваються дії тригерів, гідромоторів, елементів пам'яті, перемикачів швидкості, тобто майже усіх компонентів системи, чиї дії є керованими і контрольованими [98,99,102,145]. Саме це і полягло в підґрунтя циклічно-модульного підходу – система, це комплект асинхронних і паралельно діючих елементів пам'яті різного технічного виконання. Все наступне – це поширення такого погляду на різні технічні і алгоритмічні засоби шляхом створення відповідних методик та формальних моделей систем, що будуються з особливих елементів – циклічних модулів. Результатом такого погляду на систему виявився «закон збереження пам'яті» технічної системи.

Початок формування циклічно-модульного підходу для систем гідропневмоавтоматики співпав у часі із формуванням напряму мехатроніки [8,13,20,39]. До апаратних засобів створення систем керування гідропневмоавтоматики доєдналися промислові комп'ютери, логічні вільно-програмовані контролери, регулятори та відповідні засоби їх програмування. Алгоритмічні мови LD і STL в значній мірі наслідували структуру апаратних систем керування, а підходи до укладання алгоритмів керування успадкували задачі і традиції створення принципових схем пневмоавтоматики, електрорелейних схем, електрогідроавтоматики та інших [75,89,90,116,144,147,155,164,165]. На сучасному етапі орієнтиром для розробників систем і засобів мехатроніки є підходи, вимоги та задачі напряму INDUSTRY 4.0 [2,31,32,65,66]. На цьому шляху поширюється застосування мехатроніки на раніш нетрадиційні для неї задачі та напрями [14,22,23,27,34,36,38,45,53,56,183]. Водночас підходи інформаційних технологій і новітніх засобів контролю і керування призводять до утворення класу інтелектуальних механічних систем та смарт-систем різного призначення, від будівництва і авіабудування до харчової промисловості, медицини і військової техніки, серед яких чільне місце посідають погляди циклічно-модульного устрою систем [7,11,19,22,25,31,35,36,38,42,45,54,56,65,70,74,81,115,143]. Як засвідчує практика, використання нечіткої логіки чи нейронних мереж, комбінування ситуативного і декларативного керування, поєднання сенсорів і контролерів з потужними і швидкодіючими механізмами та виконавчими пристроями стає звичайною справою при розробці сучасних автоматизованих об'єктів та систем [8,19,20,32,43,53,55,63,74,127,133,143158].

Більшість розділів представленої роботи є результатом спільної роботи всіх авторів. Розділи 3 і 4, які присвячені технічним засобам реалізації і прикладам будови модулів, та загальні положення синтезу (розділ 2.1) належать Бєлікову К.О. Приклади будови систем, розділ 5, і розділ 6, присвячений багаторежимній експлуатації систем, розроблені Синициною Є.Ю. Розділ 7, в якому зосереджено досвід і рекомендації щодо складання і налагодження систем, належить Левченку О.В.

Здобутки використання циклічно-модульного підходу в питаннях дискретно-логічної будови та структурно-логічного синтезу систем гідропневмоавтоматики і мехатроніки.

Обґрунтована і побудована інваріантна форма циклічного модуля, яка виконує роль базового елемента замкнених дискретно-логічних систем. Ця форма придатна для опису і розробки систем керування із апаратними засобами пневмоавтоматики, механіки, гідроавтоматики та електрорелейних схем, і укладання алгоритмів керування з використанням програмованих контролерів. Інваріантна форма циклічного модуля дозволяє поєднувати різні апаратні засоби та програмовані контролери і їх різноманітні комбінації, що відкрило шлях до підвищення ефективності систем керування за рахунок комбінації різних засобів в спільному автоматизованому об'єкті.

Розроблені методики позбавили необхідності виконувати мінімізацію логічних функцій взаємодії елементів системи, оскільки укладання цих функцій відбувається одразу в мінімальній формі відповідно до траєкторій функціонування циклічних модулів в оточенні системи. Це не тільки зменшило час розробки, але і дозволило на однакових засадах збільшити кількість елементів розроблюваних систем на два порядки.

Використаний підхід дозволив сформувати єдиний критерій цілісності систем, який замінює поняття досяжності, обмеженості, безпечності, логічної визначеності та повноти, і базується на понятті відносної пам'яті. Відсутність нульових значень відносної пам'яті для будь яких відрізків процесу функціонування системи забезпечує виконання критерію цілісності.

Розроблено класифікацію дискретно-логічних систем за показником складності взаємозв'язків між діями окремих пристроїв і станом всієї системи, що дозволяє визначати клас складності і особливості синтезуємої системи за вимогами до бажаних експлуатаційних властивостей, та застосувати відповідні до обраного класу методики для розробки системи.

Виявилось, що запропонована циклічно-модульна форма опису систем ослаблює залежність кількості інформації в описі системи від кількості керованих елементів з степеневої функції 2^n до лінійної залежності 4*n, що дозволило збільшити масштаб синтезованих систем з 3 … 6 виконавчих пристроїв до більш як 100 без застосування допоміжних інструментальних засобів.

На основі циклічно-модульного підходу розроблений комплект інженерних методик структурно-логічного синтезу для систем 5 класів складності. Застосування методик будує систему керування у вигляді розподіленої за модулями мережі логічних зав'язків. Це надає системі відкриту архітектуру з можливістю додавання до системи нових автоматизованих функцій та режимів використання, у тому числі з гнучкими, альтернативними і ймовірнісними алгоритмами керування.

Особливу вдячність автори висловлюють рецензентам Івану Івановичу Назаренку, Леоніду Геннадійовичу Козлову і Миколі Володимировичу Якимчуку за конструктивну і плідну співпрацю на шляху об'єднання загального погляду, практичних задач і технічних засобів в розробку комплекту методик циклічно-модульного синтезу систем мехатроніки.

1. ЦИКЛІЧНО-МОДУЛЬНИЙ ПІДХІД ДО СИНТЕЗУ СИСТЕМ

1.1. ПІДСТАВИ ТА ПЕРЕДУМОВИ МОДУЛЬНОЇ БУДОВИ СИСТЕМ ЦИКЛІЧНОЇ ДІЇ

Циклічно-модульний підхід за змістом є технологією чи способом, які можуть бути застосовані при розв'язанні певного класу різноманітних задач мехатроніки.

Якщо стоїть питання створення нової системи, то до задач можуть належати: структурний та логічний синтез, моделювання чи імітація дій системи на етапі створення, оптимізація процесу функціонування та деякі інші. Наприклад, прогнозування поведінки системи під час першого експлуатаційного вмикання [100, 101]. Але далеко не для кожної задачі і не для кожного технічного об'єкта може бути застосована така технологія: спробувати використати технологію і спробувати отримати корисний результат від її використання – це досить різні застосування.

Перш ніж спробувати застосовувати циклічно-модульний підхід бажано впевнитися, що задача є актуальною, а об'єкт автоматизації і процеси, що забезпечують його функціонування, задовольняють трьом основним положенням циклічно-модульного підходу. Розглянемо їх в наступній послідовності:

1. Процес функціонування об'єкта-системи.

2. Склад системи.

3. Прикладна задача.

Перший тест щодо процесу – чи є можливість розподілити процес на послідовні фрагменти і вказати зміст кожного фрагменту, визначити межі кожного фрагменту? Але цього недостатньо.

Спробуйте зрозуміти причини, які примушують систему переходити від кожного попереднього фрагменту до наступного. Зверніть увагу на слово «наступному». Тобто, процес це не тільки зміни, які відбуваються в системі, але це ще і вибір напрямку таких перетворень – яка саме зміна потрібна і обов'язково буде наступною. Якщо відсутня можливість сформулювати чи задати правила вибору наступної дії або вказати безпосередньо на таку зміну чи дію – то циклічно-модульний підхід використовувати недоцільно (рис.1.1).

Якщо перший тест на доцільність пройдено вдало, то настає черга **другого тесту** – **проаналізувати склад системи**. Більш фахово назвати другий тест не аналізом, а пошуком або спробою побачити склад системи з доволі визначеними властивостями. Оскільки цей тест вже другий (перший пройдено вдало), то він має підтверджувати результати першого тесту. Кожний фрагмент об'єкта, який можна спробувати назвати елементом системи, повинен мати своє місце в процесі функціонування чи роботи системи, тобто серед вже виділених фрагментів процесу. Проведення цього тесту стає доволі складним ще через те, що системи фактично немає.

На цьому етапі відбувається як би реконструкція того, чого ще не існує або вже не існує. Відмінністю циклічно-модульного підходу є те, що технічну систему намагаються побудувати у вигляді комплекту відносно самостійних ***модулів***, що «мешкають» за певними правилами у спільному просторі – об'єкті автоматизації. До цих правил належать і умови переходу від попередньої дії до наступної дії (***межа дії модуля***), і вибір наступної дії по завершенню попередньої дії (***логіка взаємодії модулів***), і спосіб, що дозволить і розпочати, і завершити виконання дії (***технічна реалізація модуля***) (рис.1.2).

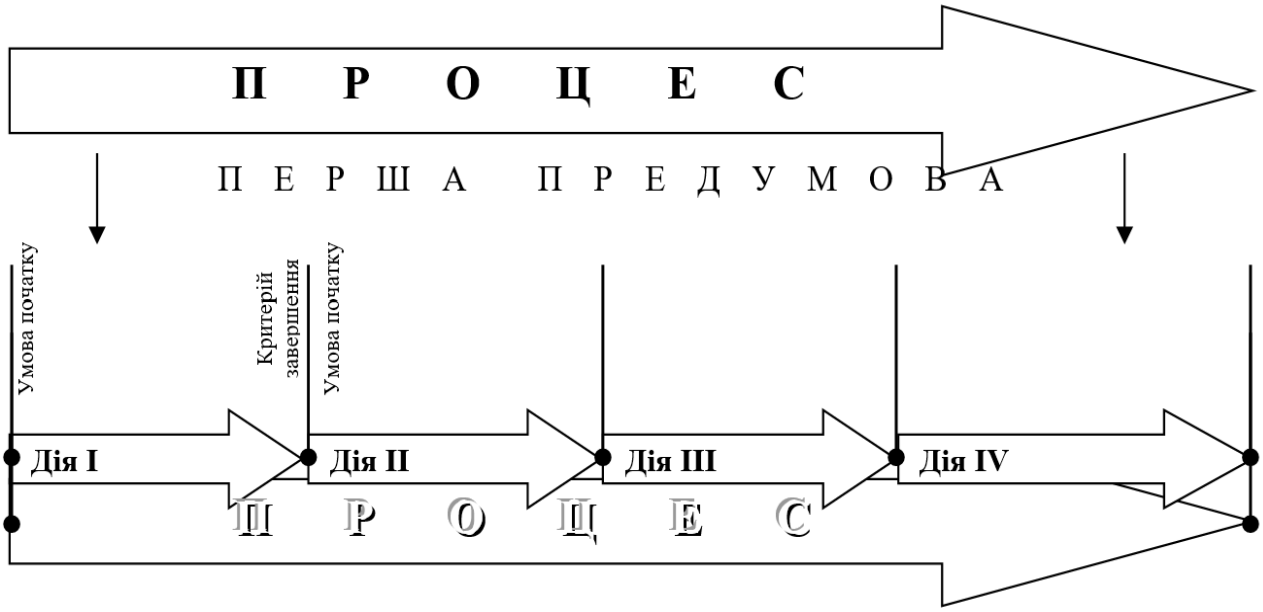


Рис. 1.1. Перша передумова – розподіл процесу на дії (фрагментація)

Додатково, модуль має назву циклічний тому, що він зобов'язаний періодично – циклічно повторювати свої дії. В цьому випадку одна властивість – циклічність дій – має наслідком другу властивість – циклічність змін станів – для повторювання дії потрібно повернутись в той стан, починаючи з якого ця дія виконувалась вперше. Тобто, модуль обов'язково повинен виконати ще одну дію, аби повернутися в початковий стан [95, 103, 104, 107].

З врахуванням попереднього маємо коригувати розподіл системи на елементи. З одного боку всі елементи мають бути задіяні у виконанні таких фрагментів процесу, для яких можна вказати межі, умови початку їх виконання, спосіб контролю завершення фрагменту, технічні засоби для виявлення меж фрагменту. З іншого боку всі елементи системи повинні повертатись в початковий стан, тобто і для дії повернення в загальному процесі має знайтись відповідне місце і фрагмент процесу, що його вміщує.

Два перших тести, за правило, складно виконати за один прохід. На початку тестування ніхто не підказував, що кількість дій має бути парною, а кількість елементів чи модулів системи не може перевищувати половину від кількості фрагментів процесу. Але такі обмеження має підказати сам технічний об'єкт під час тестування, а не бажання розробника втиснути об'єкт в певні рамки. Тим більш, що розпочата задача, яка була поштовхом до аналізу і тестування, інколи і не потребує запропонованого підходу [102, 107, 153].

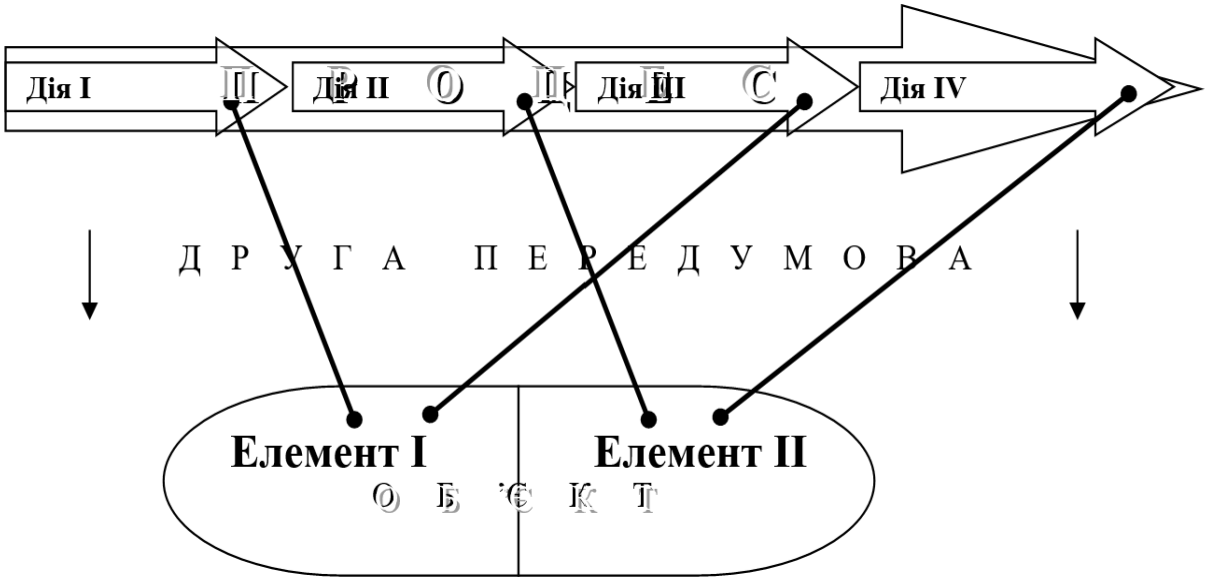


Рис. 1.2. Друга передумова – проекція процесу на технічний об’єкт

Третій тест - **задача**. Саме її формулювання може вказати на доцільність циклічно-модульного підходу, за умов, що два перших тести було пройдено відносно легко. По суті, далеко не до будь-якої задачі цей підхід є корисним і взагалі може бути використаним. Наприклад, хімічний елементний склад матеріалу конструкції не обов’язково вивчати при дослідженні кінематики важільної системи. З цієї причини бажано впевнитись, бажано до початку розв’язку задачі, в наступному:

- система може розглядатись як одне ціле;
- процес функціонування системи повністю відомий;
- можливо, для розв’язку задачі (створення системи), знадобиться вносити зміни і в задачу і в систему.

Циклічно-модульний підхід, на цьому етапі, схожий на мікроскоп або вимірювальний прилад, який допомагає збільшувати (деталізувати) зображення системи до тих пір, доки в зображенні не почне вимальовуватись контур готового рішення поставленої задачі. Але мікроскоп зі своєю особливістю – він будує «поляризоване» зображення – у вигляді циклічних модулів і логіки їх взаємодії (правил поведінки в межах системи). Деякі задачі, за умов «поляризованого» освітлення, можуть виявитись невидимою навіть при великому збільшенні зображення. Недостатня чутливість підходу може виявитися при пошуку меж між діями в процесі, або при визначенні змісту дій, або при визначенні логічних умов започаткування дії та критеріїв її завершення, або при побудові циклічного функціонування модуля. В якомусь варіанті задачі взагалі такий підхід непродуктивний, наприклад, якщо мова йде про невиконання відомої функції системою. Але дзеркальна ситуація – самовільне (безконтрольне) відпрацювання тієї самої функції системою, майже безсумнівно залучить до розгляду весь ланцюг аналізу системи і процесу. Можна сказати, що

додаткова складність циклічно-модульного підходу полягає в тому, що для рішення навіть маленької задачі потрібна реконструкція всієї системи. Але ця сама обставина надає і переваги – побудований розв'язок задачі враховує будову всієї системи, і цей розв'язок, у разі зацікавленості розробника, може бути аналітично перевірений у всіх випадках дій системи ще до початку її модернізації. Окрім того, реконструйована система – це побудована і перевірена модель, якою розробник може користуватись для наступних як простих, так і складних задач.

Базові передумови щодо застосування циклічно-модульного підходу (рис.1.3):

- Процес функціонування системи можна представити у вигляді виконання відрізків процесу - окремих послідовних функцій, для кожної з яких є можливість визначити умови початку виконання, критерії завершення, і кількість таких функцій не менша трьох.
- Для всіх функцій, що складають процес, можуть бути визначені технічні елементи системи, що їх виконують (виконавчі пристрої модулів).
- Процес роботи системи є періодичним, тобто з повторенням певного циклу дій, або може бути представленим у вигляді кількох періодичних процесів, які змінюють одні одних за відомими правилами.

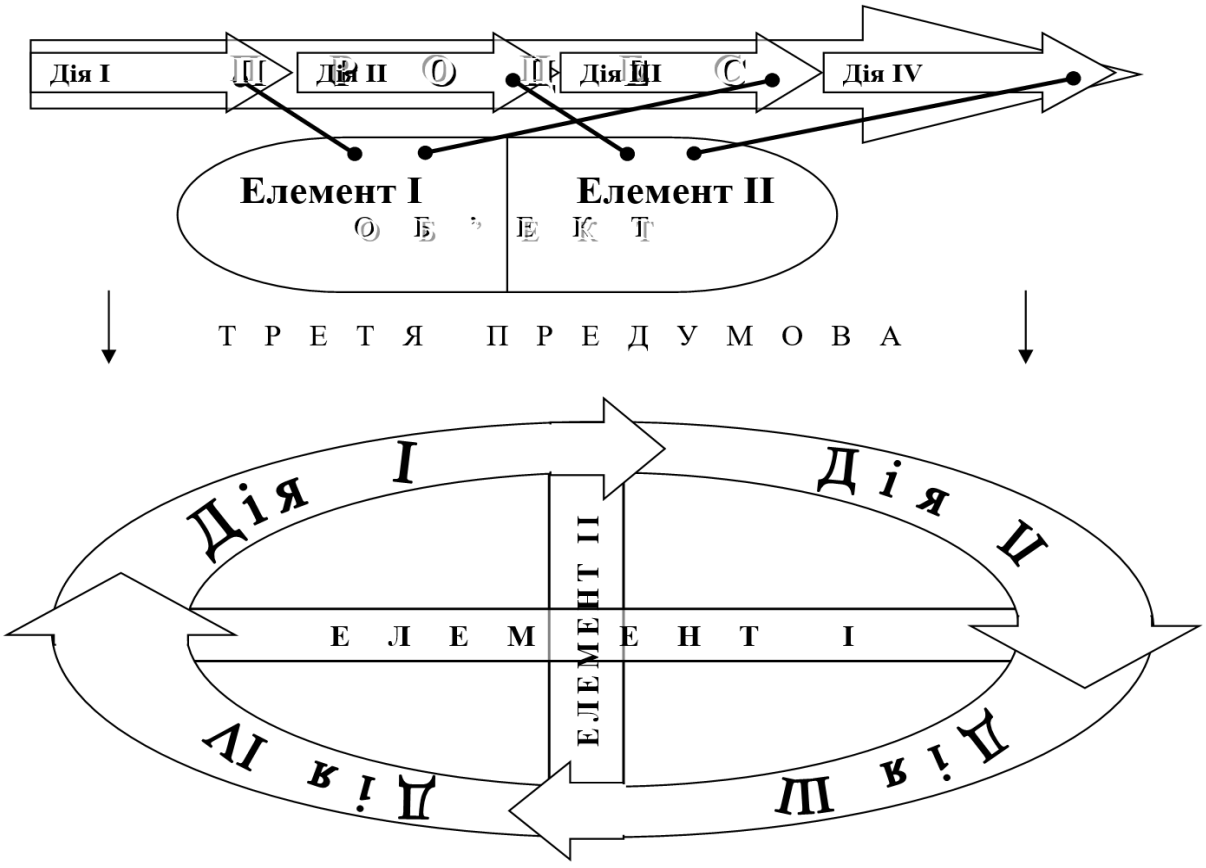


Рис. 1.3. Третя передумова – замикання (зрощування) процесу і об'єкта

Перелічені передумови базуються на властивостях автоматизованого об'єкту в цілому і майже не торкаються його внутрішнього устрою чи будови

[12, 13, 40, 42, 55, 72, 81, 118, 127, 136, 158, 169]. Але при формальному застосуванні цих передумов до конкретного об’єкту, з використанням визначень та описів цього об’єкту, передумови перетворяться в базові положення підходу, застосовані до технічної системи та процесу її функціонування відповідно до задачі, яка вирішується. Застосування та перевірка існування передумов має виконуватись послідовно.

1.2. ЗВ’ЯЗОК МІЖ БУДОВОЮ СИСТЕМИ І БУДОВОЮ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Створення технічної системи і пов'язані з цим перипетії та проблеми подібні до багатотомного пригодницького роману, з сюжетом на кшталт "Загубленого світу" або «Леза бритви». Це стосується як масштабних систем, наприклад, першого надзвукового літака, так і простих або мініатюрних виробів, на кшталт ЧІПа, або оптичної мишки чи «джакузі». Але прочитати роман про «технічного героя» зможе не кожен, одна з причин непопулярності пригод технічних систем – усі томи та розділи написані різними мовами. Коли роман розпочинався – головною сюжетною лінією було розкриття нових можливостей творіння. Для літака та ЧІПу – швидкість, для мишки чи «джакузі» - незвичність при безумовній корисності. Але коли починався другий том – проектування, то від задума автора лишилося лише кілька цифр у технічному завданні. Головними стають досвід та звички розробників, які перетворюють ці цифри на схеми, ескізи, діаграми та, нарешті, конструкції, викладені мовою проектувальників. Наступний том пишуть технології за допомогою виробничої бази. Вони використовують свою мову: матеріалів, інструментів, допусків, технологій та операцій, контролю, вимірів, випробувань. Чим успішніший витвір автора, тим довший його життєвий цикл, тим більше томів мають пригоди, і стільки ж мов треба знати, щоб їх прочитати.

За правило, різні томи пишуть досвідчені професіонали, винахідники, конструктори, технологи. І, ґрунтуючись на багаторічному досвіді, їхні мови зрозумілі одна одній за замовчуванням. Але якщо написанням займалися професіонали-початківці, то оригінальність їх мислення, як правило, не передбачає наступного використання різних мов. У результаті запропоновані інновації та рішуче просування «технічного героя» до мети в кожному окремому томі виглядають не тільки безцільними, а й суперечливими в загальній сюжетній лінії всього роману.

Однією з причин виникнення циклічно-модульного підходу було забезпечення мовної та понятійної спадкоємності, хоч би для суміжних етапів життєвого циклу об'єкта. Приступаючи до кожного тому, у пошуках спільних витоків і цілей, бажано знати, що було з технічним «героєм» раніше, або хоча б відповідати на питання, про що був перший том, і з чого починалася система? У пошуках витоків створення системи, і не стільки об'єктивних, скільки корисних, було розглянуто різні постановки задачі і різні предметні області. На погляд спеціаліста-механіка, система це щось матеріальне і складне, точніше – складене.

Деталі, вузли, агрегати, робочі рідини, мотори, енергоблоки, система управління це далеко не повний перелік того, з чого система складена. Але де взяти відповідь на запитання – чи це та сама технічна система? Якщо питання спростити і розділити на два (це система? це та система, яка нам потрібна?), то відповіді теж має бути дві, і вони стануть простішими. Якщо система наша, вона повинна виконувати те, навіщо призначалася. Це твердження і покладено в основу підходу. По-перше – система має виконувати роботу, тобто основою системи вважаємо процес її роботи. По-друге – внаслідок роботи має виходити те, навіщо система призначалася.

Отже, якщо вказати «що саме» має створювати система та побудувати цілеспрямований процес отримання «саме цього», то йдеться про розроблювану систему. Мета створення системи може бути різною, від випуску деталей, упаковки їжі чи складання комп'ютерів, до створення мікроклімату, забезпечення пожежної безпеки, системи штучного кровообігу чи випробування авіаційної техніки та багато іншого. Але завжди буде набір показників чи параметрів, за якими можна визначити, що поставлену мету досягнуто. Тобто деталь відповідає вимогам конструкторської документації, їжа якісно упакована, комп'ютер пройшов вихідний контроль, параметри клімату знаходяться в межах норми, об'єкт захищений від займання, кровообіг нормальний, авіаційний агрегат витримав ресурсні випробування.

Система – це цілеспрямований процес отримання результату, описаного набором параметрів та показників. Початок системи – це очікуваний результат із цим набором параметрів та показників. Наразі можна відповісти на обидва питання: якщо процес формує повний набір параметрів виробу, це система, якщо набір показників і параметрів описує наше замовлення, то і система наша.

Подивимося, що може дати таке визначення системи авторам різних томів технічного роману щодо наступності використаних мов і спільності понять. Якщо раніше авторів поєднувало узагальнене «технічне залізо», то тепер ця роль відведена процесу. Напрям та склад процесу допоможе авторам різних томів відповісти на питання, для чого і чому об'єкт влаштований саме таким чином. Зміст і подробиці кожного тому підпорядковані лише сюжету цілеспрямованого випуску продукції. Відхід від цілеспрямованості чи відхилення значення показників і параметрів – ось усі витоки проблем і колізій технічних пригод. Далі сюжет будь-якого тому пов'язаний або з їх усуненням, або з тим, як вдалося їх уникнути.

Створювана система, за сюжетом, повинна рухатися за життєвим циклом, і для початку руху бажано вказати стартову позицію та напрямок руху. Для початку ми обираємо зручну стартову позицію, налаштовуємо інструменти для визначення напрямку процесу, що веде до мети, будуємо механізм руху, наприклад, причинно-наслідковий: «роздум – команда – виконання – контроль – роздум – команда – …». Оскільки процес циклічний (або замкнений), формальним початком може бути будь-яка точка: завершення попереднього виробничого циклу, проміжна легко контрольована точка, початок нового виробничого процесу, інша. Для цілеспрямованого виробничого процесу, його початком вважатимемо позицію, в якій ще нічого не зроблено задля досягнення

мети. Для побудови структури процесу скористаємося передумовами щодо застосування циклічно-модульного підходу:

- Процес функціонування системи може бути розподілено на послідовність відпрацювання окремих функцій.
- Для всіх функцій чи дій, що складають процес, існують технічні засоби для відпрацювання.
- Процес функціонування системи є періодичним, або замкненим.

Перша передумова – **складаєм перелік виконуваних дій** (функцій), що дозволяють повністю визначити роботу системи. Зауважимо, що має місце визначення процесу роботи, а не його опис. Значна кількість функцій або дій, таких, що відбуваються в системі під час використання не є визначальними щодо її використання. Наприклад, усі конструктивні матеріали мають властивість змінювати лінійні розміри під впливом змін температури. З іншого боку температура машини, яка виконує певну роботу, під час використання буде також змінюватись хоча би з причини відмінності значення ККД від «1». Але не цей зв'язок між температурою, лінійними розмірами та ККД визначають передатне число зубчастої передачі в редукторі. Аналогічно і для системи-об'єкта – необхідно визначити головне в процесі її функціонування або використання за призначенням. Після цього потрібно виділити в цьому процесі його відрізки-дії, які дозволять побудувати процес функціонування та виконати корисну роботу за призначенням [96, 98, 110, 153]:

$$P = \bigcup_i (\Delta P_i \bigcup A) = \bigcup_i (\Delta P_i \bigcup \{a_1 \to a_2 \to \cdots a_i \to \cdots \to a_n\}), \qquad (1.1)$$

де P – процес функціонування системи; ΔP_i – фрагмент процесу; A – робота за призначенням, що її виконує система; a_i – дія (функція) – відрізок роботи.

Задачу цього етапу можна (формалізації опису процесу) вирішувати різними способами, наприклад, продуктивний підхід [95, 153]. Підхід, в першому наближенні, пропонує зобразити роботу системи у вигляді «розтягнутого» у часі результату виконаної роботи. Тобто, виконану роботу можна оцінювати в кожну мить процесу за вже отриманим результатом. Тоді відмінність між поточним значенням результату (в процесі виконання роботи) і кінцевим результатом (отримано 100%) можна використати в якості міри. Якщо технологічний цикл завершено (отримано продукцію) – отриманий 100%-й результат, то можна перейти до вироблення нового примірника продукції. Якщо результат має оцінку 76% і можна застосувати два варіанти продовження процесу, і при цьому один варіант доводить до 78%, а інший варіант призводить до 74%, то перший варіант можна розглядати як частину розроблюваної системи, а другий варіант ілюструє можливості продуктивного підходу. Після розподілення процесу створення продукції на відрізки, результат дій системи можна формально описати n-мірним вектором:

$$R = \{r_1 \quad r_2 \quad \cdots \quad r_k\} : r_i \in \{0,*,1\}, \qquad (1.2)$$

де R – результат відпрацювання технологічного циклу; r_i – додана завершеність

виробу після відпрацювання *i*-го відрізку процесу, виміряна в тризначній метриці: 0 – не почато, ∗ - в процесі виконання, 1 – результат отримано.

Оскільки виробнича система, а точніше процес її функціонування, може бути зображений періодичною функцією, то в цій функції відсутні повторювання, які не наближають до 100% готовності продукції. На формальній мові, якщо виробничий процес описати у вигляді циклу з періодом T, розподіленим на відрізки t_k окремих дій чи відпрацювання функцій, то отримуємо монотонну на протязі одного періоду функцію формування результату:

$$\exists(t_i < t_k < T) \Rightarrow R(t_i) < R(t_k) < R(T) = \{1 \quad 1 \quad \cdots \quad 1\}. \quad (1.3)$$

Дотримання виразу (1.3) дозволяє впорядкувати, на формальній основі, всі знайдені відрізки процесу роботи системи в технологічному (виробничому) циклі за зростанням міри наближення R до одиничного значення. При цьому, за побудовою, кожний відрізок процесу ($t_i \rightarrow t_i+1$) фактично відповідає відпрацюванню конкретних дій (відпрацюванню функцій f_{ik}):

$$R(t_i) \rightarrow R(t_i + 1) \Leftrightarrow \{f_{i1}, ..., f_{ik}\}, \quad (1.4)$$

де: { f_{i1} ,…, f_{ik} } – комплект функцій, відпрацювання яких призведе до повного виконання відрізку процесу та відповідає певному зростанню в напрямку готового виробу.

На цьому етапі вся попередньо визначена інформація, щодо будови процесу виготовлення продукції, втілена в послідовність відпрацювання функцій та їх перелік.

Наступний крок спрямовано на пошук неявних відрізків виробничого процесу шляхом співставлення побудованого виробничого циклу і складу технічного об’єкту. Кожний відрізок виробничого процесу відпрацьовують конкретні технічні засоби, які згруповані в функціональні модулі. Зауважимо, що це саме ті модулі, функції або дії яких призвели до зростання готовності продукту або виробу. Тобто для початку наступного виробничого циклу ці дії або функції мають бути повторно відпрацьовані. З цього випливає, що модулі, відповідальні за відпрацювання цих функцій, мають повернутись в свій початковий стан до початку нового виробничого циклу. Отже, можна зробити висновок: для кожної корисної дії є відповідна зворотна дія, що переводить обладнання в стан, придатний для повторного виконання корисної дії. Наприклад, не можна два рази поспіль увімкнути ліхтарик. Для того, щоб його знову увімкнути його потрібно вимкнути. Наслідком цього є те, що функції або дії, що є відрізками виробничого процесу, утворюють пари взаємо-обернених дій чи функцій. Обидві дії (функції) такої пари – спочатку – корисний відрізок роботи, після – зворотна дія, і обидві дії пов’язані зі станом одного технічного засобу, пристрою, підсистеми [102].

Зауважимо, що на початку опису роботи системи, коли розглядалось виготовлення виробу (продуктивний підхід), зворотні дії чи функції взагалі не

присутні серед відрізків процесу чи фрагментів роботи. Ця обставина є наслідком того факту, що обернені дії не підвищують відсоток готовності виробу. Але, спираючись на вище викладене, завдяки циклічності основних дій існування зворотних дій є обов'язковим. Зміст зворотних дій інколи є протилежним до змісту основних дій, а інколи зворотної дії як виконання чогось, взагалі немає. Наприклад, для двопозиційного приводу маніпулятора основна дія – це переміщення в координату робочої зони. Зворотна дія цього приводу виглядатиме як повернення в початкову координату. Для мотора, що забезпечує рух стрічки конвеєра, основна дія – це забезпечити переміщення стрічки, зворотна дія – припинити рух стрічки конвеєра. Для елемента пам'яті – основна дія – запам'ятати існування факту «Х», зворотна дія – забути, що факт «Х» існував. Пошук пар взаємо-обернених дій та перевірка їх коректного вибору ґрунтуються на тому, що їх послідовне відпрацювання не призводить до жодних змін стану системи:

$$\forall f_{ij} \in (t_i \to t_i + 1) \exists f_{lk} \in (t_k \to t_k + 1) : \\ : f_{ij} \to f_{ik} = f_{ik} \to f_{ij} = \varnothing \quad . \qquad (1.5)$$

Окрім лінійного приводу, мотору та елемента пам'яті перелік пар взаємо-обернених дій, з використанням циклічно-модульного підходу, може бути поширеним на всі дії в системі. Цей етап деталізації має конкретну задачу і відбувається до тих пір, доки не буде отримано повний опис працюючої системи. В такому описі циклічним модулем системи (її елементом) може бути інша система, навіть набагато складніша за основну. Наприклад, модуль орієнтації на місцевості мобільного об'єкту і система технічного зору набагато складніші за автономну мобільну платформу, що покладено в основу мобільного об'єкта. Ще приклад: двопозиційний гідроциліндр з системою стабілізації швидкості руху. Система стабілізації потужного гідроприводу з металургійного комбінату, буде набагато складнішою за систему, що формує команди на основний рух штоку гідроциліндру навантажувача та повернення штоку у вихідну позицію. І якщо практична проблема дійсно пов'язана із задачею стабілізації, то циклічно-модульний підхід, скоріш за все, є зайвим. Проте, якщо питання дійде до моделювання роботи системи стабілізації, то до циклічно-модульного підходу знову можна повернутись [153, 160].

Якщо все перелічене було здійснено стосовно обраної задачі, то початковий перелік відрізків роботи, (дій, що формують виріб), буде доповнено відповідним переліком зворотних дій. Тобто від переліку корисних дій здійснено перехід до переліку пар циклічних взаємо-обернених дій:

$$\{f_{ij}\}_n \Rightarrow \{f_{ij}, f_{\bar{i}\bar{j}}\}_n : f_{ij} \to f_{\bar{i}\bar{j}} = f_{\bar{i}\bar{j}} \to f_{ij} = \varnothing \; . \qquad (1.6)$$

Кожна пара взаємо-обернених дій надає підґрунтя для формування елементу системи – циклічного функціонального модуля.

Друга передумова – складаємо перелік таких фрагментів об'єкта, кожний з яких забезпечує виконання пари взаємо-обернених дій. У випадку, коли об'єкт вже існує і працює, здійснюємо пошук шляхом реконструкції роботи системи. Інколи відповідність між пристроєм і парою взаємо-обернених дій наочна. Наприклад, переміщення порожньої тари під завантаження, з одного боку, і відвантаження заповненої тари, з іншого боку, вказують на приводи та устаткування, змонтовані на маніпуляторі. Переміщення складальних одиниць на конвеєрі від однієї позиції до іншої вказує на привід транспортера, який вмикаємо (основна дія) і вимикаємо (зворотна дія).

Для ряду пристроїв гідропневмоавтоматики таку відповідність знайти не просто і потрібно долучити «мікроскоп» для більш детального розгляду пристрою. Якщо маніпулятор розподіляє деталі з накопичувача по декількох робочих позиціях, то зобразити його як модуль з однією основною і однією зворотною діями не вийде. В такому випадку циклічно-модульний підхід передбачає деталізацію дій. Наприклад, завантаження відбувається на ту позицію, яка першою надає сигнал від датчика. Тоді дії вмикання і вимикання кожного датчика утворюють власний циклічний модуль, а привод маніпулятора виконуватиме рух від накопичувача до активного датчика робочої позиції – основна дія, та зворотний рух від датчика до накопичувача – зворотна дія.

Деталізація має відбуватись до тих пір, доки на будуть сформовані описи всіх елементів системи, які дозволяють описати процес її функціонування. Саме детальний огляд пар взаємо-обернених дій дозволяє визначити всі виконувані функції системи, визначити фактори, які обумовлюють їх виконання, визначити умови керування і способи контролю результату, та перейти до технічних засобів – виконавчих пристроїв, приводів, клапанів, реле, компараторів, сенсорів та іншого задіяного обладнання:

$$\{f_{ij}, f_{\bar{i}\bar{j}}\}_n \Rightarrow \{e_i\}_n \equiv \{y_i, F_i, x_i; y_{\bar{i}}, F_{\bar{i}}, x_{\bar{i}}\}_n, \qquad (1.7)$$

де $\{y_i, y_{\bar{i}}\}$ – функції керуючого пристрою; $\{F_i, F_{\bar{i}}\}$ – функції виконавчого пристрою; $\{x_i, x_{\bar{i}}\}$ – функції контролюючого пристрою.

Третя передумова – стосовно «замкненого» процесу використання технічних засобів, та будови циклічних модулів, в значній мірі, є наслідком змісту практичної задачі і остаточно може бути розглянута на практичних прикладах [19, 40, 52, 72, 79, 81, 90, 117, 136]. Підбір технічних засобів для конкретної задачі, підбір засобів виконання корисних функцій, а також засобів перетворення сигналів при з'єднанні різнорідних пристроїв і реалізація логічних функцій управління завершують побудову циклічних модулів – елементів системи.

Останній крок – об'єднання циклічних модулів у систему. Цей крок за циклічно-модульного підходу є майже формальним [96, 99, 102]. Кожен модуль, «прописаний» у системі, є повністю укомплектованим (керування – виконання – контроль), а вся система з модулів нагадує нейронну мережу, підключену до керуючих та виконавчих пристроїв. Датчики стану кожного елемента виконують

функції рецепторів. Нейроні мережі - логічна частина модуля - обирають потрібні сигнали рецепторів і перетворюють їх (за своєю логічною схемою) в збуджуючий сигнал, який переводить модуль і виконавчий пристрій в активний чи пасивний стан [8, 28, 96, 98, 102].

Прохід через активний стан контролюється датчиками та сенсорами, які постійно передають інформацію всім «зацікавленим» модулям системи.

Оскільки кожен циклічний модуль виконує дві дії (або функції), то до нього прикріплено два «нейрони» – один активізує основну дію, другий активізує зворотну дію.

Активна фаза, на зразок хвилі, проходить транзитом через усі модулі, які, за побудовою, є «власниками» фрагментів процесу. Порядок відпрацювання фрагментів заданий, через нейронну мережу, внутрішньою логікою кожного модуля. Таким чином, для створення системи необхідно забезпечити умови для роботи всіх модулів. Ці умови можна поділити на три частини.

Перше - енергетичне забезпечення всіх пристроїв циклічних модулів (виконавчих, керуючих, контролюючих та інших).

Друге – узгодження сигналів від «рецепторів» із технічними засобами «нейронів». Узгодження охоплює вид енергії, рівень сигналу, форму сигналу, динамічні та часові параметри передачі та обробки сигналів, та деякі інші фактори.

Третє – завдання початкового стану системи (всіх модулів). Логіка роботи системи, складеної з циклічних модулів, міститься у самих модулях, на кшталт правил дорожнього руху, виконуваних учасниками руху, а не зовнішньою системою керування. Правила описують замовлену розробником роботу модуля. Тому модуль буде реагувати тільки на такі комбінації сигналів стану, які зустрічаються при запланованій роботі системи. Інші всілякі ситуації та стани не викликатимуть реакцію в «нейронній» мережі і не впливатимуть на роботу системи в цілому.

Завершають об'єднання модулів у систему етапи складання та налагодження, які також можуть виконуватися по-модульно (окремо для кожного модуля).

Окреме питання – запровадження допоміжних та додаткових функцій (вмикання-вимикання системи, аварійна зупинка та переривання роботи, ручне керування та деякі інші).

До його вирішення, як і до більшості завдань, можна підійти з різних боків. У нашому випадку циклічно-модульний підхід надає одразу дві такі можливості [96,160]. По-перше – використовувати специфіку циклічно-модульної будови системи з розподіленою логікою керування. По-друге – розглядаючи окремі режими роботи системи як самостійні модулі над-системи, що матеріально збігається з вже розглянутою і керує процесом експлуатації. Обидві можливості будуть розглянуті пізніше, коли будуть представлені принципи та методики побудови різноманітних циклічних модулів та практичних систем різної складності.

1.3. БУДОВА І ВЛАСТИВОСТІ ЦИКЛІЧНОГО МОДУЛЯ МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ

Зосередимо увагу на тому, що за циклічно-модульного підходу вся інформація щодо складових системи, включно з елементами зв'язку з зовнішнім середовищем, мають форму циклічних модулів. Це викликає певне несприйняття при розгляді типових питань, оскільки потребує іншого погляду на відомі рішення і потребує додаткового обґрунтування.

Наприклад, навіщо здійснювати контроль початкового та робочого стану датчика тиску? Чому звичайний трипозиційний клапан гідравлічний бажано розглядати як систему з двох чи трьох модулів? У той же час складний насосний агрегат з декількома клапанами, фільтрами, індикаторами може бути подано як складова іншого модуля?

Подібних питань може виникати більше, ніж пристроїв в мехатронній системі. Але подання складу всієї системи у вигляді циклічних модулів надає універсальні переваги, приблизно, як кількісна оцінка за допомогою десяткового числення. Тобто, для систем різного складу, різної технічної бази, різного призначення можуть бути застосовані однакові оцінки, спільні критерії, універсальні методики. Це дозволяє, незважаючи на технічне різноманіття засобів автоматизації (механіка, інформатика, гідравліка, електротехніка, електроніка, пневматика, спеціалізоване устаткування), бути фахівцем в розбудові, дослідженні, модернізації найрізноманітніших автоматизованих технічних об'єктів.

Так само, як в десятковому численні ключову роль відіграє число 10, в будові хімічних елементів – атом, в складі речовин – молекула, в циклічно-модульному підході ключовим елементом є циклічний модуль [98,99,103,107].

Модуль – це абстрагована модель фрагмента системи, який має наступні системні властивості: циклічність, продуктивність, логічна визначеність.

Циклічність дозволяє застосовувати для такого елементу не загальний час дій системи, а розглядати його функціонування тільки на протязі одного циклу (рис. 1.4). Тобто, час його «життя» дорівнює циклу, після чого він «народжується» заново.

Під час проходження кожного циклу модуль реалізує наступну за важністю властивість – здатність створювати щось корисне. Це найчастіше – створення певних умов для інших модулів системи, або здатність випускати виріб, або здатність додавати виробу нові властивості, наприклад – колір. Продуктивність разом з циклічністю надають можливість розбудови виробничого процесу – технології виготовлення виробів, що найчастіше і буває метою створення автоматизованої системи. Логічна визначеність є фундаментом того, що технічна система є автоматизованою, а можливо, і автономною [98]. Кожний виробничий цикл функціонування системи спрямовано на випуск продукції – тобто, він цілеспрямований. Кожний наступний крок дій системи наближує готовність продукції до 100%. А для цього система має «знати» зміст наступного кроку в кожну мить роботи.

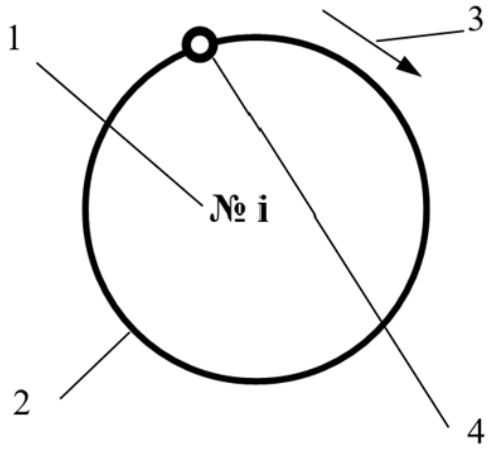


Рис. 1.4. Схема функціонального модуля: 1 – ім’я модуля (№і); 2 – циклічний процес функціонування модуля; 3 – напрямок циклу модуля; 4 – акція (активна координата в циклі модуля)

Тобто, в системі постійно міститься достатня інформація для визначення наступних дій, що наближують продукцію до готовності. Саме така інформація має завершити створення готового виробу. Але система складена тільки з циклічних модулів і саме вони є носіями такої інформації, а її внутрішня логіка, побудована на логічній визначеності модулів, забезпечує цілеспрямований рух до готового виробу.

Якщо кожний модуль є носієм перелічених властивостей, то спадкоємцем цих властивостей стає і система, приблизно, як властивості молекул визначають властивості речовини.

Перша принципова відмінність – основою для утворення модуля є циклічний процес, а не пристрій чи агрегат [72, 83, 84, 89]. Оскільки майбутня система призначена для процесу тиражування виробів, то логічно складати такий виробничий процес з шматочків інших циклічних процесів. Це позбавить розробника необхідності створювати технологічний цикл з «нециклічних» відрізків і перевіряти та забезпечувати циклічність виробничого процесу штучно. Циклічний модуль, як частина системи, перебирає на себе частину її організаційної роботи – утворення виробничого циклу. Якщо скористатися цією обставиною то можна створювати цикл системи шляхом складання шматочків циклів модулів – на зразок багатовимірних пазлів.

Процес функціонування циклічного модуля має свій устрій. Оскільки він циклічний, тобто повертається в початок відліку, то він має складатись з протилежно спрямованих частинок чи фрагментів – дій чи операцій (зауважимо, що назва частинок не змінює їх змісту). Мінімальна кількість фрагментів для утворення циклу дорівнює двом – модуль повинен виконати роботу і повернутися в початковий стан.

Фрагменти процесу, як ланки ланцюжка, послідовно з’єднані одна з однією – завершення одного – початок наступного. Тобто для кожної ланки можна вказати точку початку процесу і точку завершення процесу. Координати цих точок є критеріями для коректного з’єднання модулів у виробничому ланцюжку.

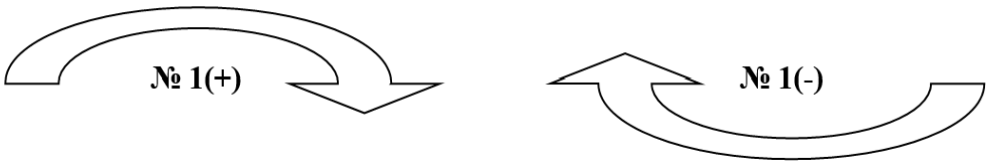
Якщо фрагменти процесу узагальнені і структурно визначені, то порядок

їх з’єднання є унікальним для кожної системи, бо не тільки склад, але і порядок з’єднання формують наступний виріб (з тих саме атомів можуть утворюватися різні речовини, в залежності від їх кількості та впорядкування). Для впорядкування фрагментів процесу у процесі виробничої системи використовуємо формальну логіку, наприклад в базисі «І», «АБО», «НІ».

Для кожного завершеного фрагменту процесу, за допомогою логічних функцій, закладених в систему (автономний мозок або Internal intelligence of the system), може бути вирахуваний потрібний наступний фрагмент процесу. Відповідно до модуля, відповідального за виконання фрагменту, система виробляє команди на під’єднання модуля до процесу. Аргументами внутрішніх логічних функцій є бінарні логічні змінні, які зображають дійсний або поточний стан модулів системи. Тобто, модуль відпрацював, модуль повернувся, модуль працює, модуль повертається. Інакше кажучи, бінарні логічні змінні (стан модулів) дозволяють визначати поточний етап виготовлення виробу і ступінь його готовності.

Наступний крок – надання модулю формального зображення, на зразок арабських цифр чи атомарної будови хімічних елементів. Тобто, в модулі мають бути щонайменше 2 спрямовані шматочки процесу. Геометрично позначимо їх дугами. Аналітично позначимо їх сигналами «X» і «Y» з індексами напрямку «+» і «-». Дуги одного модуля, наприклад №1, обов’язково мають протилежний напрямок.

Фрагменти процесу (дуги графа):



Критерії завершення дуг: $X_{1(+)}=1$ $X_{1(-)}=1$

Умови початку дуг: $X_{1(-)}=0$ і $Y_{1(+)}=1$ $X_{1(+)}=0$ і $Y_{1(-)}=1$

Логічні функції для вмикання дуг (мозок системи):

$$Y_{1(+)}=\Phi_{1(+)}(\{X_{i(+)}\}_n U\{ X_{i(-)}\}_n)\in(0,*,1) \qquad Y_{1(-)}=\Phi_{1(-)}(\{X_{i(+)}\}_n U\{ X_{i(-)}\}_n)$$

Умови початку (команди) виконання дуг (початкові вершини дій модулів):

ЯКЩО:
$X_{1(-)}=1$
І
$Y_{1(+)}=\Phi_{1(+)}(\{X_{i(+)}\}_n U\{ X_{i(-)}\}_n)=1$
ТОДІ
ВИКОНАТИ ФРАГМЕНТ №1(+)

ЯКЩО:
$X_{1(+)}=1$
І
$Y_{1(-)}=\Phi_{1(-)}(\{X_{i(+)}\}_n U\{ X_{i(-)}\}_n)=1$
ТОДІ
ВИКОНАТИ ФРАГМЕНТ №1(-)

На відміну від дуг (просто виконання фрагменту процесу) вершини мають подвійну будову. Це є наслідком того, що кожна вершина належить і одному

фрагменту, для якого вона є кінцевою, і для наступного фрагменту, для якого вона є початковою. Приналежність до попереднього фрагменту (дуги) вказує критерій його відпрацювання, що є одиничним значенням сигналу стану модуля($X_{1(-)}$=1). А приналежність до наступної дуги – це одиничне значення логічної умови вмикання наступного фрагменту процесу – дуги:

$$(Y_{1(+)}=\Phi_{1(+)}(\{X_{i(+)}\}_n U\{ X_{i(-)}\}_n)=1).$$

Дуги-фрагменти процесу або дуги-дії модуля відображають і циклічний процес, і властивість продуктивності модуля (виконання дії наближує виріб до готовності). Відпрацювання двох протилежно спрямованих дій одного модуля є запорукою для його наступного використання – тобто, повторного виготовлення виробу.

Зміст «позитивної» і «негативної» або оберненої дій модуля (фрагменти процесу) можна формально описати послідовністю переходів:

№1(+):
$X_{1(+)}=0$ $Y_{1(+)}=1$
⇓
$X_{1(+)}=1$
⇓
$Y_{1(+)}=0$

№1(-):
$X_{1(-)}=0$ $Y_{1(-)}=1$
⇓
$X_{1(-)}=1$
⇓
$Y_{1(-)}=0$

Опис дій циклічного модуля складають дві симетричні послідовності для основної дії «+» і для оберненої «-» дії, які утворюють цикл (рис. 1.5). Такий узагальнений опис побудовано з врахуванням трьох перелічених властивостей і використанням елементів теорії графів, бінарної логіки і алгоритмічних мов.

В реальних задачах циклічний модуль може виявитись як суттєво простішим (бінарна змінна – елемент пам’яті), так і набагато складнішим (слідкуючий двокоординатний привід) ніж наведений опис.

Декотрі з елементів модуля можуть бути виродженими (відсутні, або присутні «за замовчуванням»), або являти собою технічну систему складнішу за розроблювану «підсистема прогнозування змін клімату у теплиці».

Проте універсальна форма опису є незмінною в обох випадках. Універсальна форма дозволяє розробнику будувати багатоелементні складні системи не звертаючи уваги на особливості окремих пристроїв чи схем, шляхом з’єднання «вершин» циклічних модулів за певними правилами у вигляді циклу роботи системи.

Наступний крок – зведення до мінімуму позначень циклічного модуля: не нарощуй сутність без необхідності – це марнотратство і небезпека. Оскільки модуль симетричний, то дві його половинки матимуть однакову структуру, хоча і протилежного напрямку.

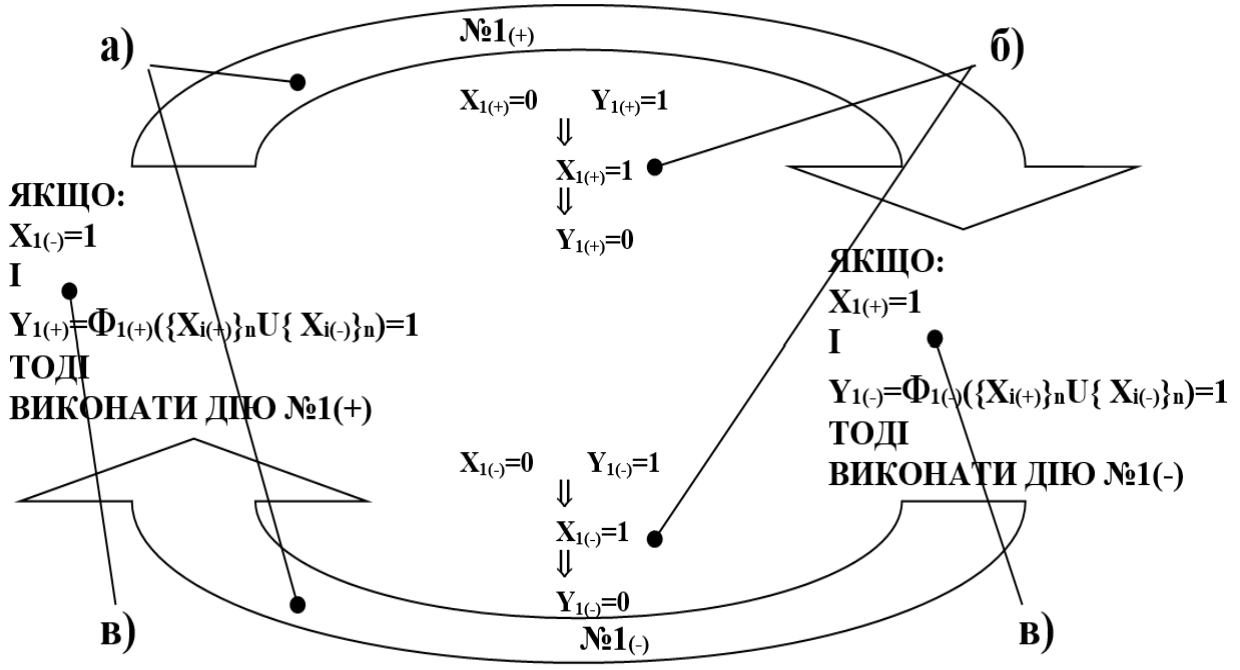


Рис. 1.5. Схема циклічного модуля №1 та його описи: а – графічний; б – аналітичний; в - алгоритмічний

Цю ознаку зафіксовано в індексі опису кожної половинки, що є присутнім у всіх позначеннях модуля №i: i - для всіх позначень основної дії, $\bar{i}$ - для всіх позначень зворотної дії. Додатково «i» ще є іменем модуля в складі системи. Тобто, залучення, наприклад, основної дії модуля в процес дій системи позначимо дугою з індексом основної дії обраного модуля (рис.1.5, рис.1.6).

Оскільки модуль виконує дві протилежно спрямовані дії (рис. 1.5), то по їх завершенню він отримуватиме два різних стани. При цьому початковий стан для однієї дії є одночасно кінцевим станом для протилежної дії. Аналітично відпрацювання двох дій модуля може бути описано двома бінарними змінними «X» з індексом дії, значення яких відображають стан модуля. Змінну позначаємо символом «X» з позначенням дії, за якою визначаємо стан модуля. Тобто, якщо розглядати основну дію модуля, то індекс сигналу стану співпадає з номером модуля: X_i.

Для виконання зворотної дії модуля бінарна змінна, що визначає стан модуля, матиме ім'я: $X_{\bar{i}}$. Кожна бінарна змінна змінює своє значення під час відпрацювання дії, а саме: дія може бути повністю виконаною «1», виконання дії не розпочато «0», виконання дії відбувається саме зараз «*».

Умову для початку виконання дії позначатимемо символом «Y» з індексом, який вказує ім'я модуля і напрямок дії:

Y_i - ім'я основної дії модуля «*i*»,

$Y_{\bar{i}}$ - ім'я зворотної дії модуля «*i*».

Логічна умова також є бінарною змінною і може мати різні значення – розпочинати дію «1», очікувати на майбутнє виконання дії «0», бути невизначеною «*».

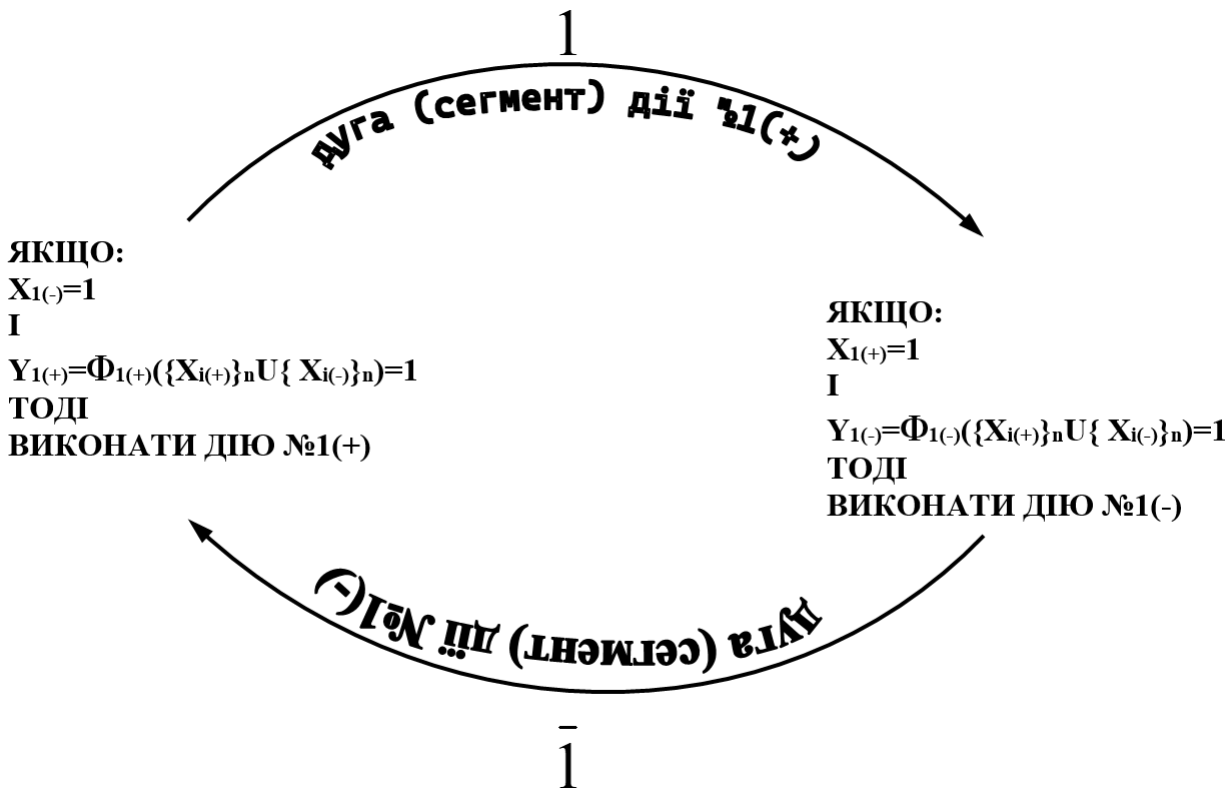


Рис. 1.6. Схема циклічного модуля з описом логічного змісту вершин.

Початок дії модуля (фрагменту процесу роботи системи) складають дві частини. Перша частина – це логічні умови для початку дії модуля (команда). Друга частина вказує на ім'я дії – яка саме дія має бути розпочата. У аналітичному описі обидві частини описуємо за допомогою бінарних змінних (сигналів): перша – сигнал стану модуля «X», друга – сигнал команди на виконання дії «Y».

Між значеннями вказаних бінарних змінних (команд і стану) існує фіксована схема взаємозв'язку під час роботи модуля (рис.1.7). Зауважимо, що кожний модуль має певну технічну реалізацію, чи то інформаційний елемент пам'яті, виконавчий пристрій верстату чи помпа штучного серця. В кожну мить всі складові модуля знаходяться в конкретному стані (покій або рух чи зміна значення). Якщо відбувається рух від стану "0" до стану "1", то модуль не знаходиться в стані спокою і він не рухається в напрямку від "1" до "0". Тобто, поведінку модуля можна описати циклічною траєкторією та рухомою активною точкою **O** (транзакцією, рис. 1.4., 4), що здійснює рух по цій траєкторії (колу) в заданому напрямку.

Насправді коло не є цільним, воно складено з чотирьох спрямованих дуг, і суміжні дуги з'єднані за допомогою вершин (рис. 1.6). Тобто, траєкторія руху транзакції складена з восьми фрагментів, що послідовно з'єднані. Траєкторія схожа на 4 перегони поміж яких є зупинки-станції і які разом утворюють кільцевий маршрут.

При аналітичному розгляді траєкторія буде описана за допомогою циклічних функцій чотирьох бінарних змінних, які уособлюють дуги (відпрацювання функції-дії), контроль виконання (вхід в вершину), прийняття рішень на наступну дію (вихід з вершини) (табл. 1.1, рис. 1.8).

З восьми стовпців таблиці тільки чотири відповідають дугам циклу, і

тільки дві з них відповідають діям модуля «***i***» (відрізок 5 – зворотна дія, відрізок 7 – основна дія, рис.1.7).

Два інших відрізка (6 і 8) зображають процеси в системі, що відбуваються поміж діями модуля. Під час цих процесів відбуваються дії інших модулів в системі. За результатами виконання цих дій будуть сформовані умови, які і спричиняють наступні дії модуля «***i***».

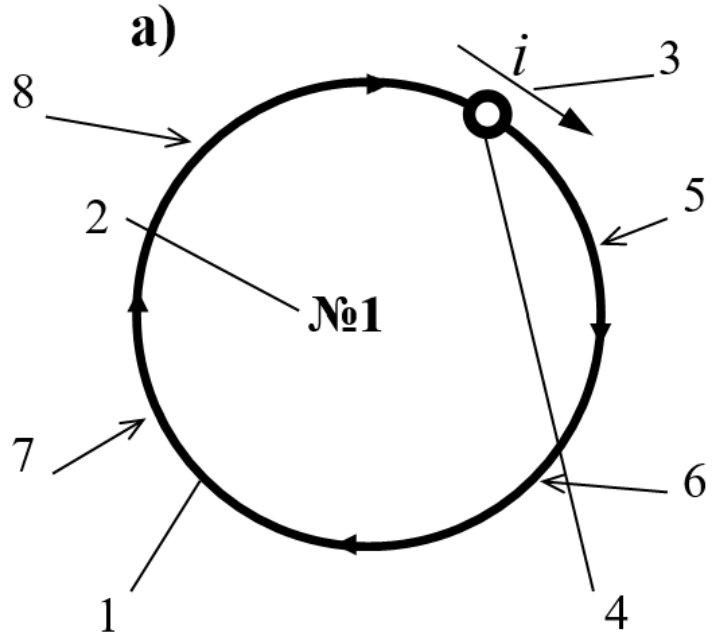


Рис. 1.7. Схема функціонування модуля: а) цикл функціонування відповідно до зміни стану модуля (X) і виконуваних дій (Y): 1 – траєкторія процесу; 2 – ім'я модуля; 3 – напрямок (впорядкування) дій модуля; 4 – активний стан модуля; 5 – відрізок основної дії; 6 – умова зворотної дії; 7 – відрізок зворотної дії; 8 – умова зворотної дії

Зміни стану модуля відповідно до функціонального графу (рис. 1.7).

<u>Основна дія (відрізок 5)</u>

Початок: X_i**=0, (**X_i**=1) + причина** Y_i**=1**

Відхід з початкового стану: $X_i = 1 \Rightarrow X_i = * \Rightarrow X_i = 0$

Виконання дії:

$$X_i = 0 \Rightarrow X_i = *$$

Завершення дії:

$$X_i = * \Rightarrow X_i = 1$$

Логічний перехід (відрізок 6)

Перша умова: X_i**=1, (**X_i**=0)**

Друга умова:

$$\Phi_i(\{X_j\}_n \cup \{X_j\}_n) = 0 \text{ та } \Phi_i(\{X_j\}_n \cup \{X_j\}_n) = 1$$

Започаткування команди на зворотну дію: $Y_i = 0 \Rightarrow Y_i = * \Rightarrow Y_i = 1$

<u>Зворотна дія (відрізок 7)</u>
Початок: $X_{\bar{i}}$**=0, (**X_i**=1) + причина** $Y_{\bar{i}}$**=1**

……
Логічний перехід (відрізок 8)
Перша умова: $X_{\bar{i}}$**=1, (**X_i**=0)**

……
Основна дія (відрізок 5)
Початок: X_i**=0, (**$X_{\bar{i}}$**=1) + причина** Y_i**=1**

На протязі кожної дуги (5, 6, 7, 8, рис. 1.7) відбуваються дії або системи, або окремого модуля. При цьому циклічно-модульний підхід дозволяє однаково дивитись як на модуль, так і на всю оточуючу його систему. Система є контекстом для дій модуля так само, як і модуль є контекстом для дій системи.

Таблиця 1.1.

Опис траєкторії дій модуля «*i*»

Фрагмент траєкторії	Вершина 8-5	Дуга 5	Вершина 5-6	Дуга 6	Вершина 6-7	Дуга 7	Вершина 7-8	Дуга 8
Змінна								
$X_{\bar{i}}$	1	0	0	0	✸	0	1	1
X_i	✸	0	1	1	1	0	0	0
$Y_{\bar{i}}$	0	0	0	✸	1	1	1	0
Y_i	1	1	1	0	0	0	0	✸

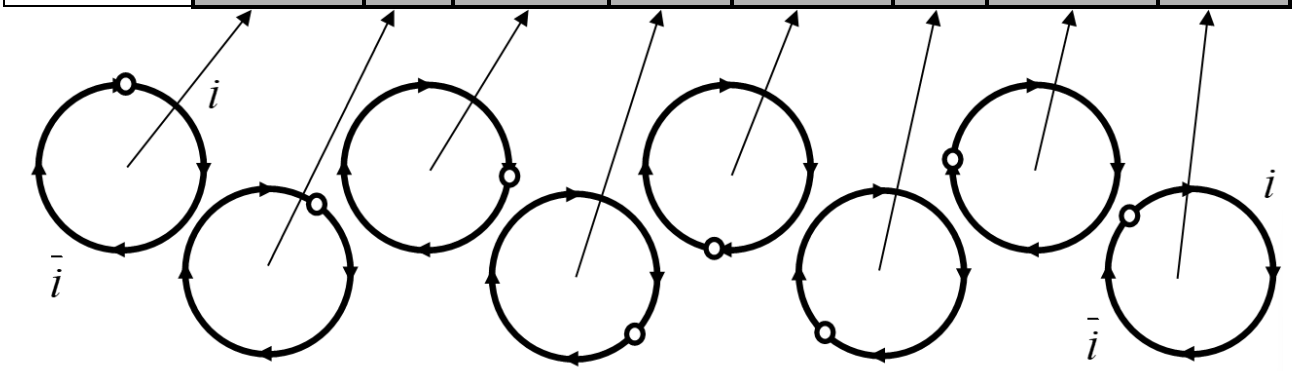


Рис. 1.8. Діаграма дій циклічного модуля «*i*» та зміни значень бінарних змінних

Дії системи для модуля можна назвати «підготовкою умов для виконання основної дії модуля» і «підготовкою умов для виконання зворотної дії модуля».

В вершинах з'єднання дуг відбуваються перехідні процеси між засобами реалізації модуля і системи (проходження транзакції).

Простим прикладом будови модуля є лінійний пневмопривід, що виконує переміщення вантажу (подача касети під завантаження на робочу позицію). Для цього прикладу логічні змінні в таблиці 1.1 та траєкторію відпрацювання циклічного графу можна інтерпретувати наступним чином.

Виконавчим пристроєм є пневматичний циліндр. Основна дія – переміщення вантажу, зворотна дія – повернення в початкову позицію. Тобто,

виконання основної дії можна контролювати за допомогою датчика позиції – кінцевого вимикача, наприклад, електрорелейного (рис. 1.9). Наприкінці руху штока циліндра копір, встановлений на штоці, натискає вимикач і виникає сигнал завершення дії (рис.1.9). Сигнал, що його отримує система від вимикача, позначаємо як сигнал стану після відпрацювання основної дії X_i. Аналогічно, для контролю завершення зворотної дії задіємо ще один кінцевий вимикач, і продукований ним сигнал позначимо $X_{\bar{i}}$.

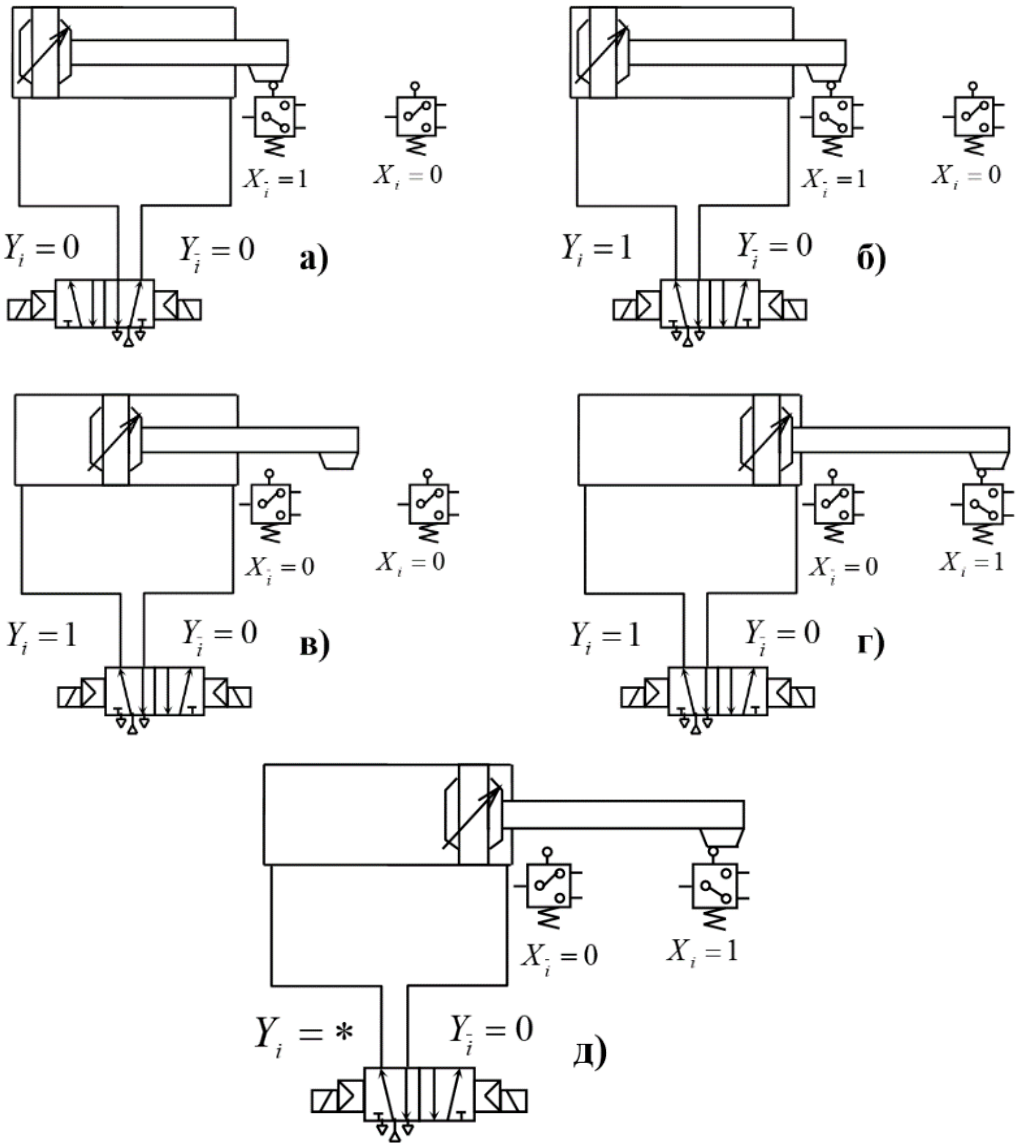


Рис. 1.9. Послідовні стадії виконання основної дії модуля (вершина + дуга + вершина) циклічного модуля: а – початковий стан (початкова вершина); б – формування команди на основну дію (початкова вершина); в – відхід з початкового стану (дуга); г – прихід в кінцевий стан (кінцева вершина); д – відміна команди на виконання основної дії, бо вона вже виконана (кінцева вершина)

Так само, як для контролю виконання дій потрібні спеціальні пристрої, для сприйняття команд керування потрібні керуючі пристрої. Для команди на виконання основної дії модуля застосуємо керуючий пристрій, що подає повітря під тиском до циліндра: розподільчий клапан (розподільник 5/2).

Сигнал команди на виконання основної дії – висування штока – позначимо Y_i. Так само сигнал команди на втягування штока – виконання зворотної дії – позначимо $Y_{\bar{i}}$. Ці сигнали мають подаватись на обмотки електромагнітів, що змінюють положення клапана для відпрацювання відповідних команд і дуг циклу.

Сигнал команди має зберігати своє значення доти, доки команда не буде сприйнята модулем і відповідна дія, основна чи зворотна, буде виконана.

При бістабільному керуванні (із запам'ятовуванням сигналу) це необхідно для підтвердження перемикання клапана.

При моностабільному керуванні (є сигнал – є перемкнутий клапан) збереження сигналу забезпечує не тільки перемикання клапану, але і відпрацювання дії та збереження отриманого положення на потрібний термін.

Оскільки в складі модуля немає нічого іншого, окрім показаного на схемі, то він не має інших джерел інформації про свій стан, окрім відмічених кінцевих датчиків. Тому, навіть для бістабільного варіанту керування сигнали команд мають бути збережені до тих пір, доки система на отримує підтвердження щодо виконання дій, тобто доти, доки сигнал стану не отримає значення «1» (рис. 1.9д).

Наведена послідовність з п'яти станів (а, б, в, г, д, рис. 1.9) надає опис основної дії модуля – висування штоку в кінцеву позицію.

В наслідок циклічності модуля, прямою заміною індексу i на $\bar{i}$, отримуємо опис зворотної дії модуля (повернення штоку в початкове положення) з опису основної дії модуля.

Порядок чергування одиничних значень сигналів команд і сигналів стану (датчиків) є незмінним для кожної дії циклічного модуля.

Побудована таким чином спрощена схема циклічного процесу (рис.1.5) перетворена на рух активної позиції по циклічній траєкторії (рис.1.8). Цьому руху відповідають зміни значень наборів сигналів (табл. 1.1). Зміни значень сигналів відображають роботу конкретного виконавчого пристрою, оздобленого засобами керування і контролю (рис.1.9).

Розглянута робота привода описує дві властивості - циклічність і логічну визначеність (чергування станів) модуля. В той же час, така важлива властивість, як продуктивність – виконувана корисна робота, не знайшла відображення в наведених схемах.

1.4. АНАЛІЗ ПРОДУКЦІЇ ЯК ПІДХІД ДО СИНТЕЗУ СТРУКТУРИ СИСТЕМ

Розробка структури технічної системи є одночасно і непримітним і дуже вагомим етапом в створенні автоматизованих об'єктів виробничого призначення.

Фундаментальна вага цього питання ґрунтується на тому, що воно є першим після виникнення ідеї щодо створення новітньої техніки, що спричинює трансплантацію зроблених помилок чи закладених вад на всі подальші етапи.

Непримітність існування цього етапу є практичним наслідком того, що майже завжди нові системи фактично є більш чи менш глибокою модернізацію своїх попередників, які, на цей час, не задовольнили сучасні вимоги, але їх устрій і структура, взагалі, є жорстко визначеними.

Замість розробки нового рішення, як правило, доопрацьовують добре відоме технічне рішення, незадовільне за окремими показниками. Цей підхід дозволяє зберегти раніше накопичений досвід, реалізований в системі-попереднику – це безумовно набуток. Але при обґрунтуванні модернізації не завжди відомо мету, з якою було виконано попереднє доопрацювання – якими практичними і виробничими потребами була зумовлена розробка нової системи? Наприклад, підвищення рентабельності виробництва шляхом збільшення продуктивності може призвести як до зниження якості виробів, так і до фактичного пониження рентабельності, викликаному частим виходом з ладу вартісного обладнання, що працювало в надважких режимах. Саме системний аналіз продукції майбутньої системи – тобто, системний аналіз постановки задачі, є основою продуктивного підходу до структурного синтезу.

Основними поняттями продуктивного підходу є: продукт, компонент продукту, комплект компонентів, операція «відношення», елемент «відношення», структура продукту, структура процесу. Без намагання отримати чіткі визначення бажано окреслити зміст кожного з цих понять для їх подальшого конструктивного використання [96, 102, 160, 137].

- Продукт – виріб або ефект, що має бути отримано після завершення кожного технологічного циклу дій системи.
- Компонент продукту – частина або неподільний елемент майбутнього продукту, який не є частиною системи, але є необхідним для створення продукту системою.
- Комплект компонентів продукту – множина компонентів, що не є продуктом, але при їх певному об’єднанні утворюють готовий продукт по завершенні технологічного циклу, при чому жодний з компонентів не залишиться поза його вмістом.
- Операція «відношення» - операція, яка формує між компонентами певний зв'язок, яким вони будуть з’єднані у складі продукту.
- Елемент «відношення» – частина продукту, що сформована в результаті відпрацювання операції «відношення».
- Структура продукту – ієрархія елементів-«відношень» між компонентами в готовому продукті.
- Структура процесу – ієрархія операцій-«відношень» в процесі об’єднання компонентів при формування продукту.

Перший етап – на початку розробки системи необхідно сформувати комплект вихідних даних (аналогічно до комплекту компонентів продукту). До основних даних такого комплекту відносяться:

- опис продукту, який система вироблятиме по завершенні кожного технологічного циклу;
- комплект компонентів продукту – достатній і необхідний для вироблення

системою продукту (виробу);

- набір технічних засобів, достатній для здійснення усіх операцій-«відношень», що забезпечують з'єднання всіх компонентів в готовий продукт.

Другий етап – експертна оцінка продукту, комплекту компонентів та набору технічних засобів. Кожна експертиза спрямована на встановлення відповідності до певних вимог. Наприклад, якість виконання покриття, швидкодія клапана, екологічна безпечність рідини та інших. При вирішенні задачі структурного синтезу необхідно розв'язати декілька задач локальної відповідності і одну задачу загальної відповідності.

Локальні відповідності утворюють змістовний замкнений цикл:

- склад продукту ↔ комплект компонентів;
- комплект компонентів ↔ набір «відношень»;
- набір «відношень» ↔ множина наявних технічних засобів;
- множина наявних технічних засобів ↔ комплект компонентів (придатність засобів до компонентів).

Наявність однакового комплекту компонентів на початку і наприкінці першого етапу є передумовою для переходу до другого кроку.

Загальна відповідність забезпечує повноту зображення локальних відповідностей – тобто перша системна модель. Наприклад – циклічно-модульна, або кінцево-автоматна, або мережева, або інша «Форма». Надалі розглядатиметься циклічно-модульна форма системи. Оскільки технологічний цикл повторюється багато разів, то кожна операція також має повторюватись, тобто вона утворює циклічну структуру. З іншого боку, всі операції та циклічні структури, що їх вміщують, належать до технологічного процесу формування продукту.

Таким чином, «Форма системи» має відображати: а) об'єднання операцій в технологічний цикл, б) виробництво продукту. В запропонованому підході циклічна структура, побудована для однієї дій (формування одного «відношення», визначена як «молекула системи» або циклічний модуль). Кожний циклічний модуль складають два напівцикли. Перший напівцикл зміщує відпрацювання технологічної дії, другий напівцикл – підготовку обладнання до наступного виконання першого напівциклу. Інакше – другий напівцикл – повернення циклічного модуля у вихідний або початковий стан.

Кожний з напівциклів має однаковий устрій і його складають три послідовних сегменти – 1) подачу команди керування, 2) відпрацювання дії (операції або функції), 3) контроль отримання результату:

$$\{f_{ij}, f_{\bar{i}\bar{j}}\} \Rightarrow \{e_i\} \equiv \{y_i, F_i, x_i; y_{\bar{i}}, F_{\bar{i}}, x_{\bar{i}}\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \{y_i, F_i, x_i\} \rightarrow \{y_{\bar{i}}, F_{\bar{i}}, x_{\bar{i}}\} \rightarrow \quad . \qquad (1.8)$$

Циклічна структура (1.8) не відтворює процес формування продукту, а лише детермінує певну форму зображення елементів у складі виробничого процесу. Черга відпрацювання напівциклів одного модуля обумовлена

циклічною структурою, наприклад: вмикання датчика – вимикання датчика, підвід інструмента – відвід інструмента, вмикання регулятора тиску – вимикання регулятора тиску та інші.

Механізм об’єднання модулів в систему та напівциклів окремих модулів в виробничий процес побудовані на основі логіки ієрархічних структур і причинно-наслідкових зв’язків між діями. Це дозволяє уникнути розгляду змісту конкретних дій при формуванні системи з циклічних модулів (за межами змістовного проектування кожного з модулів системи).

Третій етап формування структури продукту. На перший погляд в структурі продукту присутні тільки його компоненти та «відношення» між ними, що утримують складові у готовому продукті (рис. 1.10). При такому погляді розподіл на модулі може бути виконано тільки відповідно до переліку «відношень», а властивість циклічності в моделі системи відсутня.

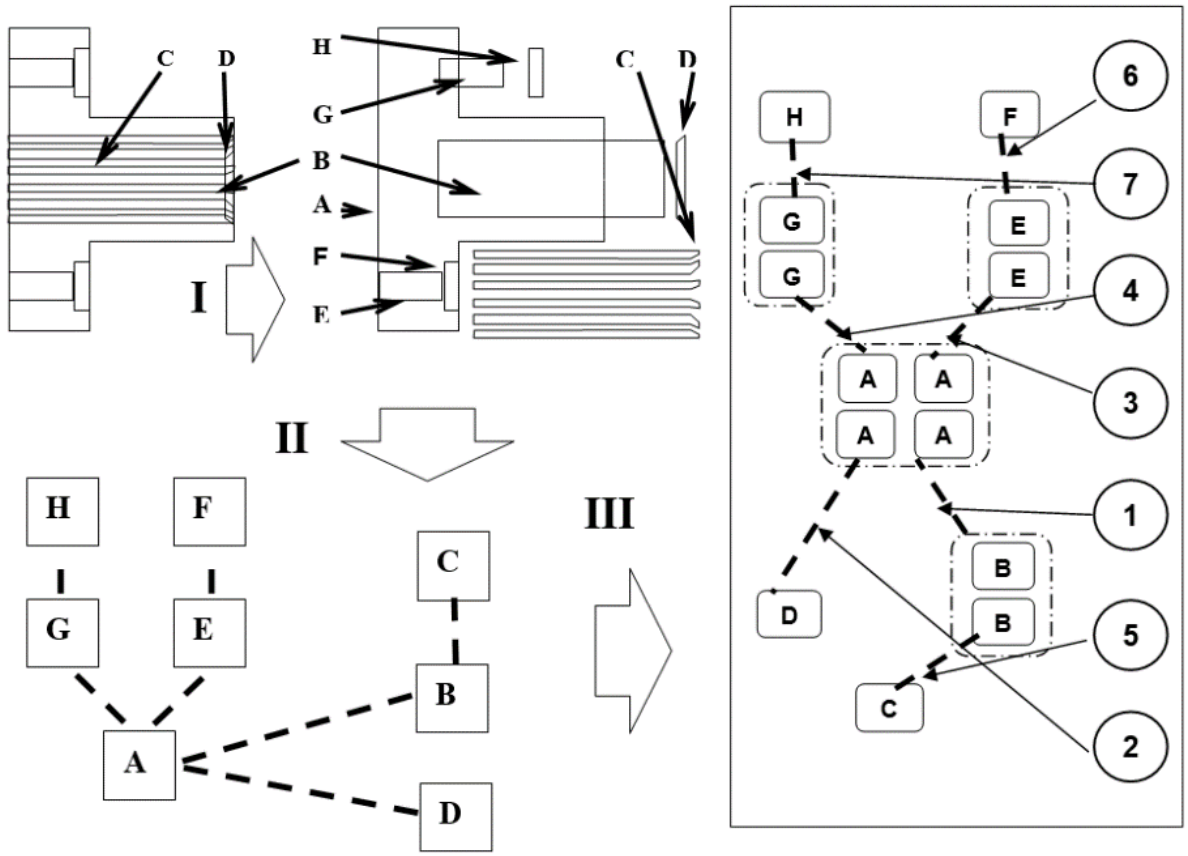


Рис. 1.10. Схема переходів: від продукту до його компонентів (I), від продукту, зіставленого з компонентів, до структури продукту (II), від структури продукту до «відношень» компонентів (III) на прикладі муфти з шліцевим з’єднанням: A – заготовка, B – отвір під шліци, C – шліци, D – фаска, E – 1-й крепіжний отвір, F – 1-а проточка, G – 2-й крепіжний отвір, H – 2-а проточка; в кружечках позначено імена «відношень» (зав’язків)

Ієрархія «відношень» надає першу корисну інформацію до побудови формального опису продукту та встановлення декотрого впорядкування дій. Тобто, ієрархія в структурі продукту трансформується у впорядкованість дій в процесі. На основі ієрархії відношень, відбувається поступове нарощування

продукту. Користуючись перетворенням підпорядкованості в координату послідовності, зображується функція готовності продукту в процесі (рис.1.11).

Для виробничого процесу ця функція має бути монотонною – по мірі відпрацювання технологічного процесу ступінь готовності безперервно зростає. Оскільки одиницею виміру послідовності є перехід (формування «відношення» між компонентами), то логічною одиницею готовності продукту також маємо «відношення», але не як дія, а як готова частина продукту. Наведений приклад (рис. 1.10) налічує 7 «відношень», тоді формування кожного з них в логічному вимірі додає до продукту (100/7)% готовності.

Якщо в структурі процесу виникає декілька незалежних гілок переходів, то їм відповідатимуть декілька підпроцесів на кожний з яких припадатиме певна частина продукту (дві гілки по 28,6% і одна гілка 42,8%).

Побудова діаграми готовності (рис. 1.11) додає уточнення в структуру продукту, яке обумовлене циклом локальних відповідностей: (склад продукту) → (комплект компонентів) → (набір «відношень») → (множина доступних технічних засобів) → (комплект компонентів).В прикладі, з врахуванням технології формування пазів “С” та отворів “В”, фаска “D” має сформуватись після виготовлення отвору “В”. Хоча це не є наслідком геометрії продукту чи його експлуатаційних характеристик. При іншій технології, наприклад, з використанням комбінованого інструменту, литва під тиском, зварювального з’єднання ступиці з фланцем, структура відношень в продукті могла бути іншою, а внаслідок цього і інший набір причинно-наслідкових зв’язків між відношеннями.

Структура продукту – це його логічний інваріант, що відображає кількість складових, взаємні обмеження щодо порядку їх з’єднання, які обумовлені конструкцією чи властивостями продукту та його складових. Наприклад, рідина, що герметично зачинена в ємності. Спочатку рідина потрапляє в ємність (відношення 1-го порядку), далі ємність герметизується (відношення 2-го порядку).

В прикладі, з врахуванням технології формування пазів “С” та отворів “В”,

Інші локальні відповідності надають спричинені ними уточнення. Так, початкова заготовка є залученою у формування чотирьох відношень (1, 2, 3 і 4 рис.1.10).

Тобто, кожне наступне відношення формуватиметься вже не з початковою заготовкою. Хоча, за формальними ознаками усіх відношень заготовок може бути також більше однієї. Наприклад, у випадку зварювального з’єднання ступиці і фланцю. Або – наявності технічних засобів, що дозволять об’єднати декілька дій (відношень) в одну операцію чи комплексну дію (робото-технологічний комплекс чи модульна виробнича станція виконуватимуть одну операцію – виготовлення напівмуфти).

За умов підтвердження експертом коректності усіх локальних відповідностей відбувається перехід до наступного етапу.

Четвертим етапом – є перехід від структури відношень в продукті до структури процесу. Елементами процесу є керовані і контрольовані дії та переходи між ними. Початковими даними є інваріант продукту (структура)

(рис.1.10) та опис основних компонентів (компонентів продукту, відношень між компонентами, обмежень обраних технологій формування відношень, задіяним обладнанням відпрацювання технологій).

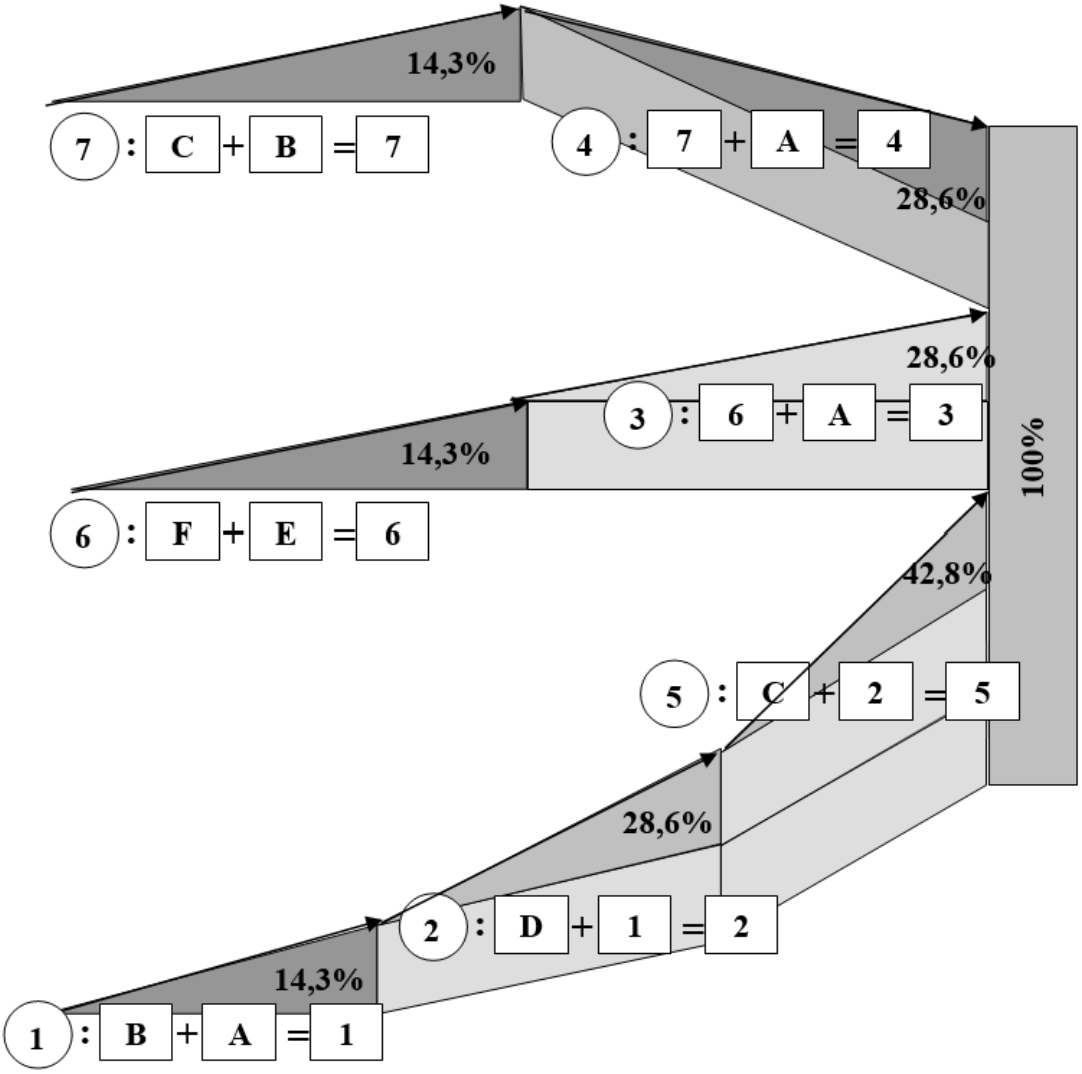


Рис. 1.11. Діаграма формування продукту в координатах «ступінь готовності» і «відношення» з врахуванням ієрархії відношень у виробі: ○: - операція «відношення»; □ - компонент «відношення»

Структура продукту відтворює певну ієрархію щодо відпрацювання дій (основних функцій, що формують відношення). Саме відпрацювання цих дій утримує компоненти в готовому продукті. Основні функції F_i , які входять в опис напівциклів, є прообразом залучених до технологічного процесу операцій. Впорядкування дій обумовлено пріоритетами відношень в структурі продукту.

Наприклад, згідно з структурою (рис. 1.10, II), дія 2 має слідувати за результатом дії 1, у той же час дії 3, 4, 5, 6 і 7 ніяк не обмежують і не обумовлюють відпрацювання дії 2. Частина з них (3, 4, 6 і 7) можуть виконуватись як одночасно з дією 2, так і після або попереду дії 2.

Дія 5 може бути виконана тільки за результатом відпрацювання дії 2.

Обґрунтування викладеного спирається на фаховий аналіз конструктивної схеми продукту та перелік задіяних технологій (рис. 1.10). Проте такий аналіз потребує набагато більше часу і рівня фаховості, ніж аналіз структури продукту (рис. 1.12б), навіть на такому не складному прикладі.

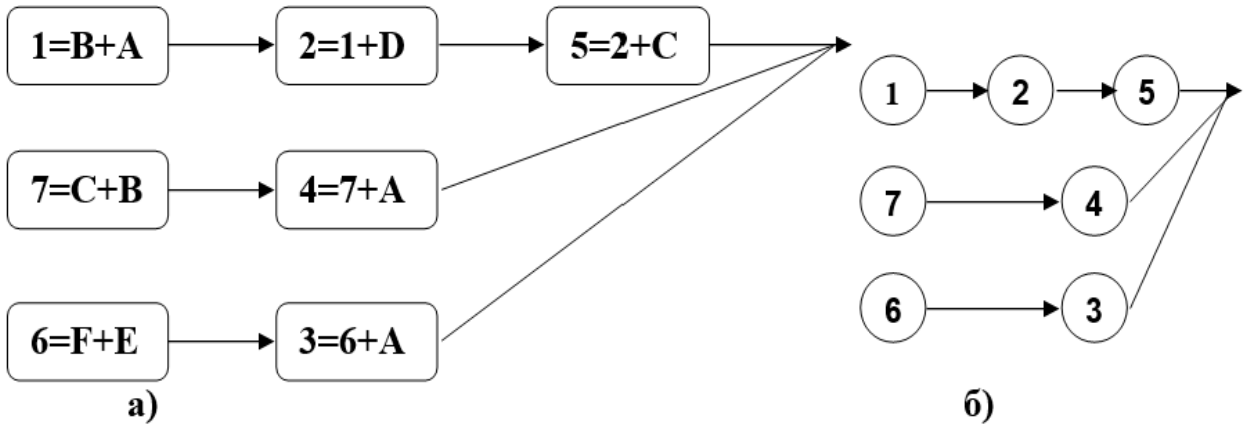


Рис. 1.12. Приклад структури продукту: а) – з розкриттям компонентного складу, б) – формалізоване зображення структури

Уточнене підпорядкування дій, відповідно до ієрархії відношень в продукті, буде сформоване після врахування останньої відповідності – між структурою і наявними чи рекомендованими технічними засобами. Відповідно до структури, деякі дії можуть відпрацьовуватись паралельно, бо не мають взаємних обмежень. Але їх одночасне виконання може бути економічно недоцільним або просторово неприпустимим.

Наприклад, використання двох свердлильних патронів для виконання двох однакових отворів, або одночасне виготовлення шліців і отворів. За обмеженнями щодо останньої локальної відповідності частина паралельних дій примусово буде впорядкована в послідовність, а підпорядкованість інших не зміниться (рис.1.13, табл.1.2).

Таблиця 1.2

Циклові модулі прикладу системи і їх функції

Модуль	Основна функція	Обернена функція
1: свердління	Отвір під шліци «B»	Відвід інструмента
2: зенкування	Фаска отвору «D»	Відвід інструмента
3: свердління	Отвір «E»	Відвід інструмента
4: свердління	Отвір «G»	Відвід інструмента
5: протяжка	Шліцові пази «C»	Відвід інструмента
6: фрезерування	Проточка «F»	Відвід інструмента
7: фрезерування	Проточка «H»	Відвід інструмента

Виконаний етап формування структури не враховує властивість циклічності як окремих модулів, так і всієї системи, але в цій структурі відсутні обернені дії модулів. Згідно устрою модулів їх основні і обернені дії мають

чергуватися. Тобто, для повторного відпрацювання технологічного циклу з виконанням всіх запланованих дій (рис. 1.13) необхідно всі модулі повернути в початковий стан, який передує початку наступного технологічного циклу.

Вимога циклічності перетворює ієрархічно структуру в циклічний або замкнений граф. Орієнтований за напрямком процесу виробництва граф вміщує у якості складових моделі всіх основних та зворотних дій з раніш побудованого комплекту (табл.1.2). Всі основні дії модулів зайняли свої місця відповідно з пріоритетами в ланцюгу технологічного процесу (рис. 1.13).

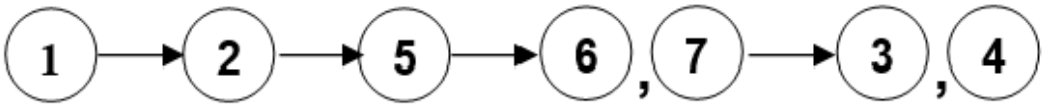


Рис. 1.13. Приклад відкоригованої структури процесу

Розташування в структурі обернених дій має забезпечувати: а) циклічність дій модуля, б) можливість відпрацювання основних і зворотних дій іншими модулями. У відповідності з цим кожна зворотна дія має передувати повторному відпрацюванню основної дії і має бути виконана до того, як в просторі модуля розпочнуть діяти інші модулі.

В наведеному прикладі зворотна функція першого модуля має бути завершена до початку основної функції другого модуля: відвід свердла передує операції зенкування. Аналогічно, зенкер має бути видалено з робочої зони раніше, ніж буде встановлено протяжку і розпочнеться виготовлення шліців. Свердління крепіжних отворів, за умов наявності спеціального обладнання, може виконуватись одночасно з видаленням протяжки з робочої зони, однак це суттєво підвищить вартість системи. Фрезерування проточок можливо тільки після відведення свердлильних патронів. Таким чином має бути сформована послідовність основних і зворотних дій в системі:

$$1 \to \bar{1} \to 2 \to \bar{2} \to 5 \to \bar{5},3,4 \to \bar{3},\bar{4} \to 6,7 \to \bar{6},\bar{7} \to 1 \cdots . \quad (1.9)$$

Запис (1.9) є початковим варіантом структури циклічного графу, в якій відтворено властивість циклічності всіх модулів:

- основні функції модулів складають монотонно зростаючу функцію формування продукту;
- зворотні функції зображають процес повернення кожного модуля і всієї системи в початковий стан.

На початку процесу всі модулі знаходяться в початковому стані і їх потенціал щодо створення продукту дорівнює 100%. Надалі потенціал модулів витрачається на виконання основних функцій. В ході процесу потенціал частково поновлюється шляхом виконання модулями зворотних функцій впродовж циклу. Функція поновлення потенціалу (переходу в початковий стан) не є монотонною, що можна побачити на прикладі (рис. 1.14).

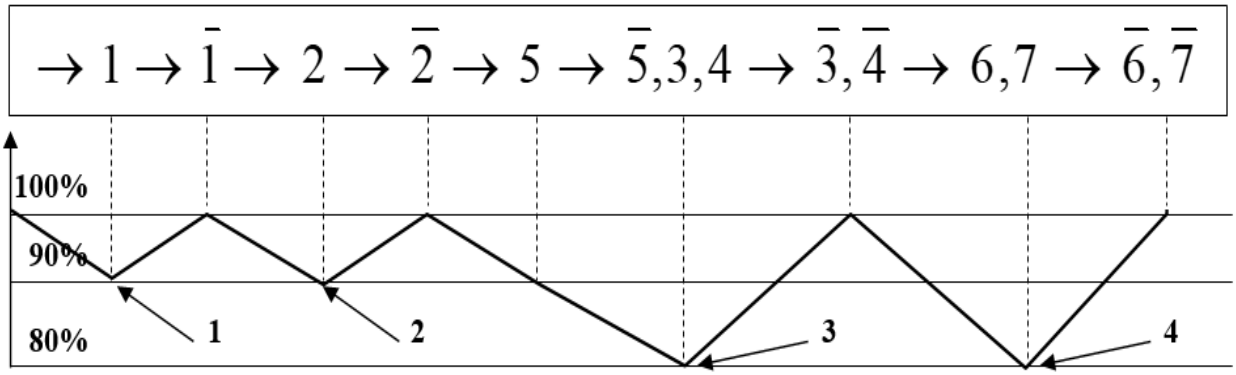


Рис. 1.14. Діаграма зміни ступеню готовності системи до виробничого процесу

На початку роботи система знаходиться в початковому стані і її готовність дорівнює 100%. Далі, при відпрацюванні кожної функції, ступінь готовності спадає на певну частину. Фактично, система є n-мірною або n-координатною. Тобто, кількість модулів системи визначає кількість координат за якими змінюється її стан. Початковий стан системи (потенціал 100%) відповідає початковому стану всіх модулів. Таким чином всі координати в початковому стані мають потенціал «100%». Під час дії за деякими координатами потенціал буде витрачено і значення відрізнятимуться від 100%. Дефіцит готовності за окремими координатами утворить дефіцит всієї системи, розподілений за різними координатами. Наприклад, точки 1 і 2 мають відмінності за координатами модулів 1 і 2. Точки 3 і 4 відрізнятимуться за координатами модулів 3, 4, 5, 6 і 7.

Створення впорядкованої множини дій модулів (1.9) і аналіз діаграми (рис. 1.14) є завершальним в роботі експерта по створенню циклічно-модульної структури процесу. Отримана структура задовольняє властивості замкненості як окремо по всім модулям, так і загалом для системи у повному складі:

$$\forall i \in [1,n]: \int_{i}^{i+n} \sum_{j=1,m} \{\vec{f}_j, \vec{f}_{\bar{j}}\} d\tau = \sum_{j=1,m} \int_{i}^{i+n} \{\vec{f}_j, \vec{f}_{\bar{j}}\} d\tau = 0, \quad (1.10)$$

$$(\forall j \in [1,m], \forall i \in [1,n]): \int_{i}^{i+n} \{\vec{f}_j, \vec{f}_{\bar{j}}\} d\tau = 0, \quad (1.11)$$

де n – кількість переходів в процесі технологічного циклу системи; m – кількість модулів в системі; τ – крок інтегрування, тотожній до одного контрольованого і керованого переходу системи.

Тобто після відпрацювання одного технологічного циклу не тільки вся система поновлює свій початковий стан до готовності до нового технологічного циклу, а і кожний модуль також опановує початковий стан.

Таким чином процес синтезу системи мехатроніки може бути пов’язано з процесом аналізу продукції системи. Аналіз має бути здійснено в базисі доступних функцій (розподіл на функціональні модулі) і доступних технічних засобів для побудови функціональних модулів.

1.5. ТЕХНІЧНИЙ ОБ'ЄКТ В ФОРМІ СИСТЕМИ ЦИКЛІЧНИХ МОДУЛІВ

Відома достатньо велика кількість визначень поняття «система», так і понять суто «технічна система» [73, 83, 85, 92, 93, 112, 114, 115, 120, 124, 125, 130, 139, 146, 162, 167]. Здебільшого вони спираються на співвідношення частин (елементів чи компонентів) і цілого (об'єкта). Словосполучення «системний підхід» і «системний аналіз» найчастіше зустрічаються в наукових та дослідницьких працях. Набагато скромніша роль «системного підходу» в посиланнях розробників на яких припадає процес проектування об'єктів технічного призначення. Можливо, це викликано особливістю кожної конкретної розробки, яка має бути доведена до працездатного об'єкта, що, як правило, має більшу частку виключень із загальної картини «системного підходу» у порівнянні з використанням його положень. В галузях техніки, з суттєво обмеженим різноманіттям засобів реалізації, де відхилення від норми практично неприпустимі, роль системних питань та їх «системоутворюючий» ефект набагато більші (наприклад, програмування, методи статистики, нечітка логіка та прогнозування).

Можна відмітити, що зростання ступеню формалізації та деталізації поняття «система» підвищує інструментальну цінність системного підходу. Тоді, методики побудови об'єкта можуть бути отримані шляхом наповнення предметним змістом загальних положень побудови системи. Якщо ступінь формалізації є достатньою для врахування всіх предметних даних технічного завдання, то поетапна деталізація поняття «система» призведе до перетворення формальної моделі системи до проекту технічного об'єкта.

Чи є така властивість технічного об'єкта, яка означає його системність?

Якість і конструктивність визначення «система» може зробити його методологічним інструментом фахівця-розробника. В ідеалі, можна знайти або побудувати такий клас абстрактних систем, який, теоретично, дозволить ввести всі вихідні дані проектуємого об'єкту в визначення системи (наприклад, на основі теорії поіменованих множин). В тім, при проектуванні необхідно в визначені терміни здійснити два основних перетворення – перше – синтез (узагальнюючий), коли з множини рівнозначимих компонентів формується структура об'єкта, і друге – конкретизуюче – на якому всі компоненти об'єкта отримують матеріальний вигляд певної предметної галузі – розміри, матеріали, компоновані рішення, множину властивостей, характеристик та параметрів.

Для проектувальника, без виконання другого перетворення, будь які питання першого переходу на мають практичної ваги, бо факт існування об'єкту констатує його готовність до практичного використання.

Прикладів математичних моделей та чисельних алгоритмів, здатних надати детальний опис роботи конкретної конструкції агрегату – «машини» – існує велика кількість. Побудувати таку саму модель, спроможну в реальному часі імітувати роботу такого самого об'єкту, але його конкретного примірника, з відхиленнями у виробництві, особливостями складання, помилками в попередній експлуатації та реальних умовах роботи – практично немає. Якщо

припустити, що така модель існує, то, за результатами моделювання, за дві доби до виходу «практичної машини» з ладу, її було би замінено на працездатну.

Це є ілюстрацією того, що кожна модель утворена для розв'язку однієї конкретної задачі – прогнозування, або проектування, або перевірки нових режимів, або інших цілей. В нашому випадку задачею є створення технічного об'єкта, придатного для багаторазового виготовлення продукції. Саме цю властивість надалі використано у якості системоутворюючого фактору: система – це вироби або продукція, надані у формі циклічного виробничого процесу, визначеного на елементній базі дій механізмів, пристроїв і машин (рис. 1.15).

За такого визначення механізми, пристрої та машини, надані своїми діями, утворюють область визначення виробничого процесу. Ієрархічна функція синтезу виробничого процесу з окремих дій, фактично, імітує структуру виробу або продукту. Ця структура має бути побудована за законами логіки та причинно-наслідкових зв'язків, застосованими до організації багатократного процесу:

- послідовні дії;
- паралельні дії;
  - паралельні синхронні;
  - паралельні асинхронні;
- взаємо-незалежні дії;
- повторювані дії;
- альтернативні дії;
  - взаємно неприпустимі дії;
  - взаємо обернені дії.

Перетворення виробничого процесу до технічного об'єкту, у спрощеному варіанті, має вигляд послідовної деталізації опису виробу із поступовою заміною засобів опису від характеристик дій до логічних функцій і засобів їх реалізації.

Згадування кожної конкретної дії «Ф» вказує на певний виконуючий цю дію механізм в області визначення об'єкту автоматизації, визначає варіант дії механізму – вмикання чи вимикання.

Зміст дії «Ф» вказує на варіант і технічні засоби контролю за виконанням дії та варіант, і технічні засоби керування відпрацюванням дії «$X_ф$».

Контекст {X} (стан системи), в якому відбулося згадування «Ф», «поєднує» цю дію до попередньої дії (через засоби контролю за відпрацюванням попередньої дії «$X_{ф-1}$»).

Остання дія у виробничому циклі «Ω» формує контекст {X} + «$X_Ω$» для початку наступного виробничого циклу, тобто для першої дії щодо випуску нового примірника продукції. Кожна згадана дія наближує комплект складових до готового виробу. Тобто, дія формує взаємозв'язок компонентів в структурі продукту, або закріплює «відношення» між складовими (рис. 1.10 - 1.11). Інколи для формування відношення достатньо однієї дії, але більшість операцій технологічного процесу по формуванню відношень потребують впорядкованого виконання декількох дій.

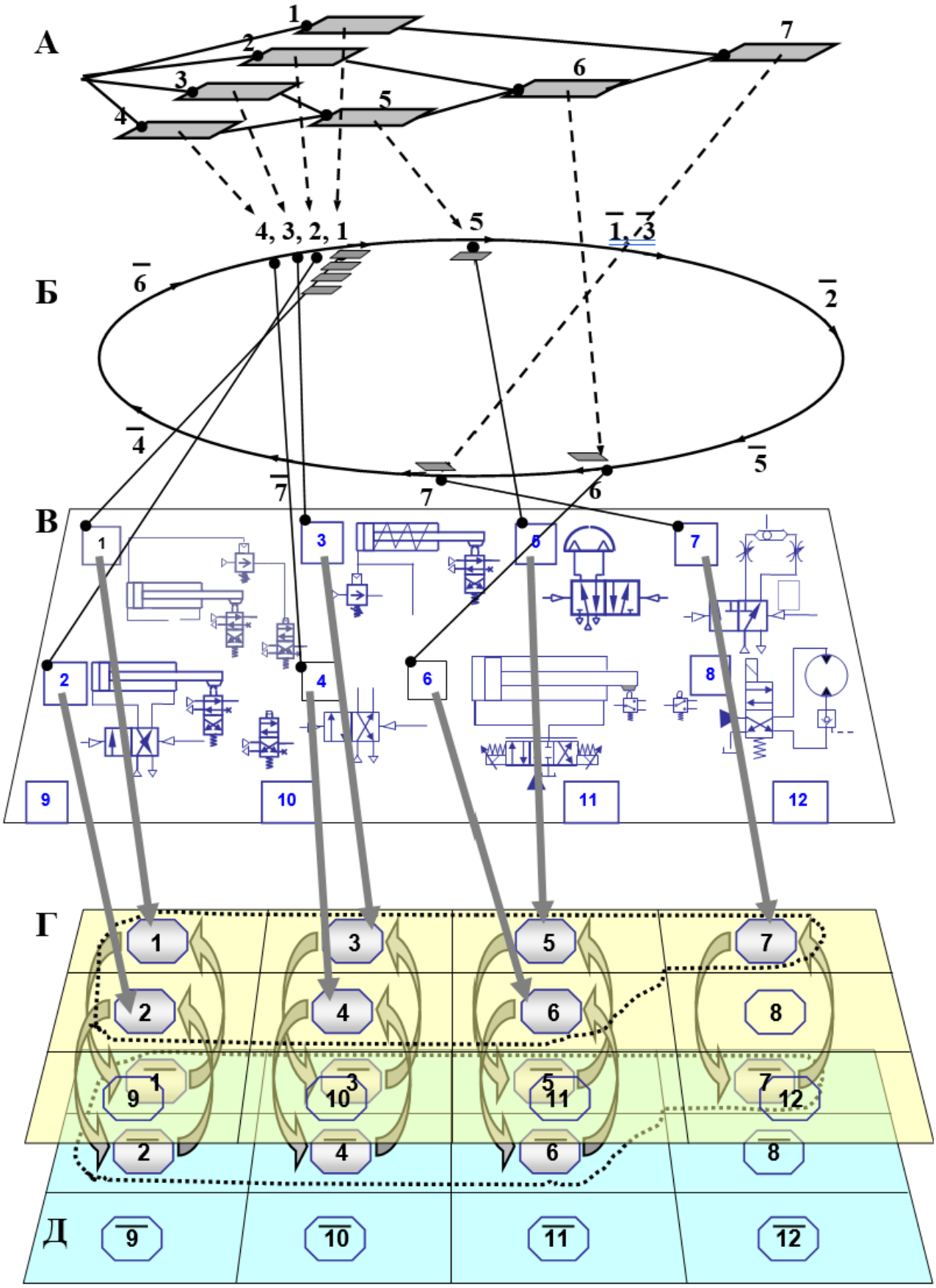


Рис.1.15. Пошарова схема перетворення структури продукту (А) в структуру процесу (Б) і склад системи на області визначення технічних засобів (Г) та модульну систему з циклічних модулів (Д)

Комплект таких дій, які формують одне відношення чи одну додану властивість виробу, обирає конкретний фрагмент області визначення (технологічна операція + технічні засоби).

Відпрацювання операції здійснюється за допомогою циклічного модуля (одна дія) або макромодуля (декілька впорядкованих дій) – які утворюють мініситему з певним порядком виконуваних дій.

За змальованою схемою – від загальної постановки конкретної задачі до технічної системи – побудована пошарова модель синтезу системи (рис.1.15).

Елементи області визначення технічних засобів (шар В) ніяк не пов'язані між собою. Редуктор, циліндр, клапан, мультиплікатор та інші механізми є універсальними. Шар «В» вміщує в собі як окремі елементи, так і їх типові з'єднання. Наприклад, керуючий сервоклапан, циліндр і аналоговий датчик є самі по собі елементами шару, але в цьому шарі їх з'єднання представлено у вигляді окремого елементу - однокоординатної пневматичної осі.

При формуванні зв'язків відбувається підпорядкування між елементами шарів «Б» та «В». Певний пристрій шару «В» отримує запрошення тому, що він є виконавчим для дії, що належить шару «Б», яка в свою чергу формує «відношення» між компонентами продукту, позначене у шарі «А». Для датчика це може бути «відношення» виконання контролю якості поверхні, для циліндра – перетворення тиску в технологічне зусилля, для розподільника – зміна напрямку руху.

В межах шару «А» структура продукту визначає необхідні зв'язки між елементами шару «Б». Ці зв'язки між діями утворюють структуру процесу. У шарі «Б» до комплекту зв'язків додаються правила циклової логіки, що перетворюють комплект зав'язків у замкнену структуру. Тобто, зв'язки шару «А», проходячи крізь шар дій «Б», віддзеркалюються на область технічних засобів – шар «В». Ці самі зв'язки, впорядковані за циклічною структурою, проектуються на шар технічних засобів та циклічних модулів (шари «Г» і «Д»).

Таким чином, вказані зв'язки між елементами в шарах «В» і «Г» відповідають вершинам графу циклічної моделі системи, зображеної в циклі виробництва в шарі «Б» (завершення попередньої дії = початку наступної дії).

За умов визначеного складу шару «В» (виробнича база), перехід до іншого виробу (наприклад, замість корпусів клапанів виробництво кришок циліндрів), призводить до переходу до іншого змісту шарів «А», «Б» і «В». Відповідно іншої структури процесу, яка визначає інші елементи (верстати, оздоблення, пристрої, накопичувачі, заготівки і т. ін.) та формує нові зв'язки між діями, хоча і спирається на туж саму виробничу елементну базу (існуюче виробництво освоює новий виріб).

Виробничий процес складається з фрагментів, яким в цикловій моделі відповідають ланцюги дуг. Якщо для кожного з фрагментів задати початкові і кінцеві координати (вхідний стан виробу – вершина 1 при вході в фрагмент процесу, вихідний стан виробу – вершина 2 на виході виробу з фрагменту процесу, рис. 1.16), то вони (фрагменти) можуть розглядатись як окремі мінісистеми, що створюють проміжний стан виробу.

Мінісистеми або модулі забезпечуватимуть багатократне повторення

виробничого процесу у складі системи, тобто, повинні мати циклічну структуру. Це забезпечує наявність основних дій – створення міні-продукту, та обернених дій – перехід в початковий стан. Саме ця обставина з'єднує між собою шар «Г» і шар «Д». Основні дії, визначені на основі розгляду структури продукту, утворюють цикл разом з оберненими діями, залученими при побудові замкненої структури процесу. Переходи, що розташовані в вершинах сполучення дій одного модуля (вершини 1, 2, 3 і 4, рис. 1.16), координуються з діями іншої частини системи. Ця частина надає заготовку для розглянутого фрагменту (вершина 1), або отримує проміжний продукт (вершина 3).

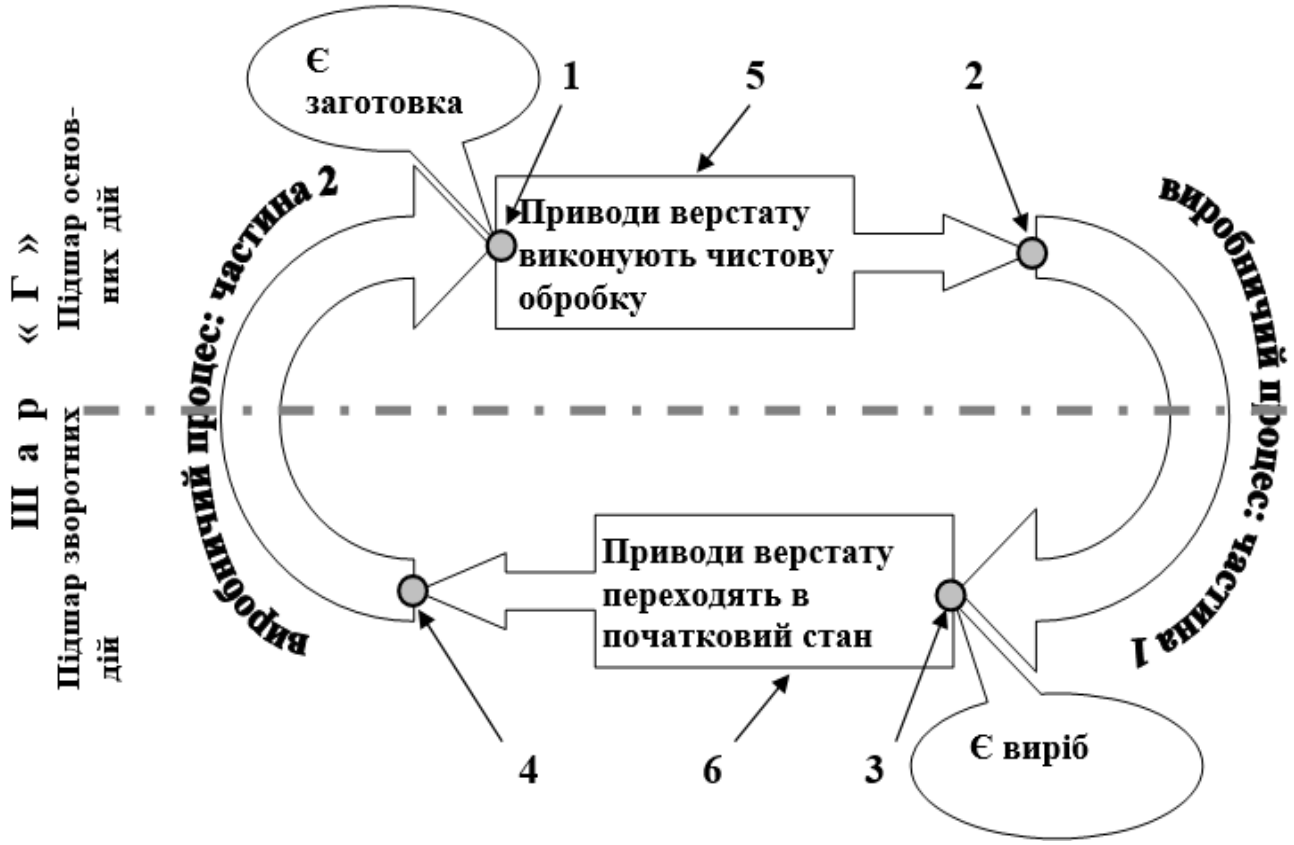


Рис. 1.16. Структура циклічного модуля шар "Г": 1, 2, 3 і 4 – вершини дуг графа (структури процесу), 5 і 6 – дуги графа (структури процесу)

Модуль (міні-система) у вершині 1 отримує не тільки заготовку, але і дозвіл на початок відпрацювання дії - сигнал команди керування. Аналогічно, у вершині 3, модуль «втрачає» проміжний продукт, але отримує дозвіл на повернення у вихідний стан – сигнал зворотної команди керування. Тобто, вершини 1 і 3 відповідають дозволу системи на дії модуля. В технічній реалізації за виконання цих функцій відповідає «керуючий пристрій» у верхньому (для вершини 1) і нижньому (для вершини 3) шарі. Такий пристрій фізично може поєднуватись з виконавчим пристроєм (модулі 1 і 3), або бути окремим простим (модуль 4) або складним (модуль 6), або агрегатом (рис. 1.15, рис. 1.17).

На вершини 2 і 4 припадають функції, аналогічні до вершин 1 і 3, але в

оберненому зображенні модуля і системи. У вершині 2 система отримує проміжний продукт та сигнал від модуля, що дозволяє продовжити технологічний процес. Аналогічно, у вершині 4, система розпочинає підготовку до наступного використання модуля і очікує на дозвільний сигнал що модуль є готовий прийняти та обробити заготовку.

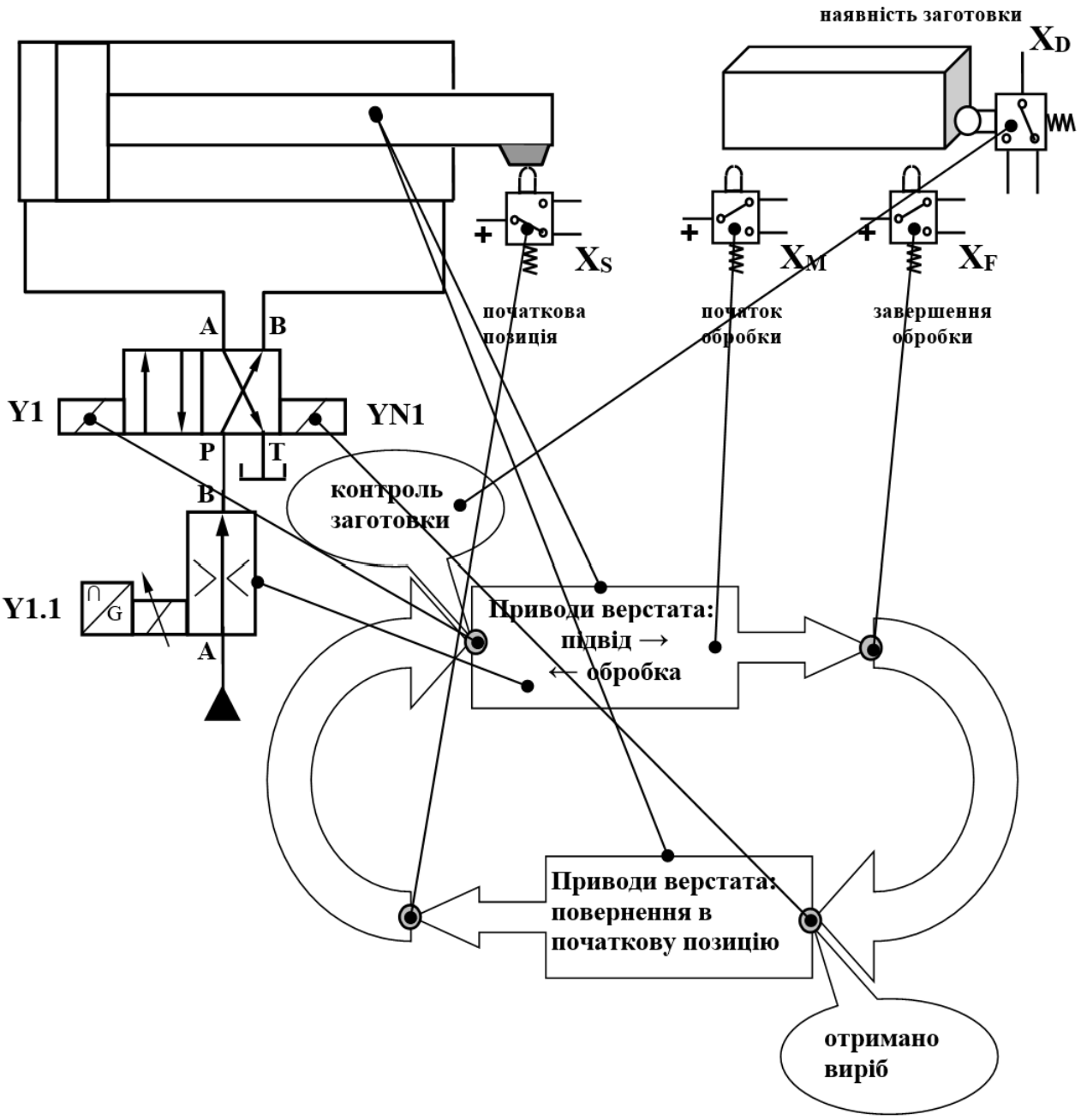


Рис. 1.17. Зв'язок структури циклічного модуля з принциповою схемою гідроприводу повздовжньої подачі верстата з регулюванням швидкості пропорційним клапаном

Структура циклічного модуля в шарах «Г» і «Д» конкретизує його технічний склад на основі шару «В» (рис. 1.15). Зв’язки з системою (вершини 1 і 3, рис. 1.16) отримують вигляд зовнішніх сигналів керування (Y1, YN1) для розподільника, та засобів контролю стану – наявність заготовки (XD).

Можливе уточнення функцій модуля багатократної дії – наприклад, основна дія має два варіанти: підведення інструменту (Y1), відпрацювання робочої подачі з постійною швидкістю (Y1 + Y1.1).

Зворотна дія спрямована на повернення пристрою у вихідний стан (YN1). Конкретизуються засоби і сигнали контролю – для простих дій – по завершенню відпрацювання (YN1 і XS), і для складних дій – за ступенем їх відпрацювання (Y1 , Y1 + Y1.1 та XM, XF).

Розробник, за результатами системного аналізу, визначає:

- склад модуля:

– виконавчий пристрій (циліндр),

– керуючий пристрій (розподільник і регулятор витрати),

– контролюючий пристрій (датчики положення та наявності заготовки);

- засоби інформаційного забезпечення:

– сигнали стану модуля: XS, XM, XF, XD,

– сигнали керування модулем: Y1 , YN1, Y1.1.

Таким чином, одна функція технічного об’єкту перетворилась на два відрізка замкненого процесу. Перший відрізок відповідає виконанню функції шляхом відпрацювання основної дії (перехід з вершини 1 до вершини 2, рис. 1.17). Другий відрізок відповідає поверненню обладнання в початковий стан – підготовці до наступного використання, шляхом відпрацювання оберненої дії (перехід з вершини 3 до вершини 4). Тобто опис процесу перетворився на схему і склад технічної реалізації. Засоби інформаційного обміну з іншою частиною системи поки що залишились поза використанням (сигнали стану) або невизначеними за змістом (сигнали керування).

1.6. СТАДІЇ ПОБУДОВИ МОДУЛІВ І СИСТЕМ

По-перше, за умов використання розглянутого підходу, система і модуль є майже однаковими об'єктами розробки для проектувальника. Їх відмінність - модуль працює у складі відомої та визначеної системи, а система діє в середовищі експлуатації. Невизначеність та непередбаченість середовища набагато вища за технічну систему, призначену до певного використання чи розв'язку окресленого кола задач. Тобто, для модуля середовищем функціонування є технічна система циклічної дії, а для системи – це комплект зовнішніх входів та виходів за всіма параметрами, за якими відбувається взаємодія і обмін системи із середовищем експлуатації (енергія, матеріальні потоки, інформаційні потоки і т. ін.).

По-друге, використання продуктивного підходу надає формальний інструмент для визначення складу етапів створення системи та впорядкування етапів та їх складових (ступінь готовності виробу системи для подальшого використання).

По-третє, сам розподіл процесу створення системи на окремі етапи є не кінцевою метою, а лише засобом, що дозволяє спростити чи формалізувати дії розробника. Для кожного етапу обов'язково додаються суто формальні ознаки, що є умовами його початку, та формальні ознаки, які засвідчують його завершення. Кількість дій, зосереджених в етапі, в декілька разів менша загальної кількості дій, виконуваних при створенні продукту або виробу. Це спрощує всі задачі розробника, що пов'язані з координацією відпрацювання окремих дій.

Етапи створення системи чи/або модулів зручно розглядати як стадії перетворення структури майбутнього виробу до структури готового рішення, тобто автоматизованої системи.

Процес такого перетворення відповідає пошаровій схемі (рис. 1.15). Відповідно до схеми, процес побудови системи також є пошаровим. В найпростішому варіанті його складають 4 шари, або етапи, або стадії, на які припадає наповнення шарів схеми змістом певної практичної задачі.

1-й шар. На основі вихідного завдання здійснюється розбудова узагальненого «складу» майбутнього продукту або виробу (напів-формальний опис майбутньої продукції).

Складові, що утворюють продукт або виріб, отримують деталізацію та конкретизацію задачі: параметри, умови, показники, характеристики і т. ін. (маса, габарити та розміри, варіанти сполучень, матеріали, точність …).

2-й шар. Розробник формує пропозицію по комплекту зв'язків, що перетворять комплект складових, який визначено в першому шарі, в продукт або виріб. Використані в першому шарі узагальнені визначення отримують технічне наповнення з використанням загальноприйнятих визначень технічних рішень, технологій, засобів. Тобто, розробник формує комплект дій та задає їх впорядкування, достатнє для з'єднання складових в форму готового виробу чи продукту. В цьому шарі всі дії представлено у формальному вигляді циклічних

модулів: «основна дія → зворотна дія → основна дія → … ».

3-й шар. Розробник здійснює змістовне наповнення структури циклічних модулів засобами технічної реалізації. Контекстом або базою даних розробника виступають відомі та доступні технічні рішення, технології, та технічні засоби, що відомі при розв'язках аналогічних задач.

4-й шар. Доповнення циклічних модулів алгоритмами їх функціонування (при розв'язку саме поставленої задачі). Кожний модуль отримує логічні правила його участі в процесі формування продукту чи виробу у складі системи. В цих правилах вказано: які сигнали, в який час і при яких умовах, що їх постачають інші модулі, потрібно врахувати; в яких умовах і за яких обставин необхідно відпрацювати основну чи зворотну дію модуля; за яких умов мають бути сформовані і надані іншим модулям сигнали щодо відпрацювання основної та зворотної дій, тобто, сигнали про зміну стану модуля.

Втім, сценарій такого 4-и шарового перетворення є настільки спрощеним і узагальненим, що його неможливо корисно використати навіть для нескладних практичних задач (навіть незважаючи на допомогу відомих стандартів та нормативних документів). Опосередкованим підтвердженням цьому є наукові, виробничі та проектні школи, що виникли на багаторічному підґрунті, досвіді проектних та дослідницьких робіт в авіації, інформаційних технологіях, нанотехнологіях, медицині, в будь якому успішному та загальновизнаному напрямку сучасної техніки та технології.

Разом з цим, практичні задачі вирішуються, за рахунок створення принципово нових систем, і це відбувається в стислі строки. Тобто, процес розв'язку має часовий вимір, який простягається від постановки завдання до початку використання продукції нової системи. Як правило, етапи розбудови об'єднано у вигляді сітьового графіку чи календарного плану, чи впорядковано іншим способом.

Якщо за мету виробництва обрати два випадкові вироби та порівняти етапи створення відповідних виробничих систем, то ймовірно, частина етапів буде повторюватися в обох прикладах, а деякі належатимуть тільки одному з них, тобто, матимуть специфічний зміст. Якщо поширити таке порівняння на велику кількість виробів, то можна скласти майже вичерпний перелік змістовних етапів, що ілюструють відомі стандарти та нормативні документи [ДСТУ, НДКР]. Цей перелік, у кожному конкретному випадку, може бути впорядковано – за критерієм наближення етапів до готової продукції. Частина етапів матиме послідовне розташування – результати відпрацювання попереднього входять до обов'язкових умов для відпрацювання наступного етапу. Інші етапи частково або в повному обсязі замінятимуть один одного. Треті взагалі не мають безпосередніх зв'язків між їх відпрацюванням. Всі етапи утворюватимуть розгалужену чи послідовну орієнтовану сітку, що має одну початкову вершину і одну вершину, що засвідчує завершення виробничого процесу.

З врахуванням циклічно-модульного підходу етапи розбудови системи розділюватимуться відповідно до структури продукції, тобто, за багатошаровою схемою (рис. 1.15). При розв'язку конкретної практичної задачі рух за схемою може відбуватись як до гори, так і за спадаючою траєкторією (аналогічно до

проектування «згори до низу» та проектуванню «знизу до гори»).

Умовою остаточного переходу від попереднього до наступного шару виступатиме заповнення попереднього шару, що є передумовою для будь-якого кроку наступного шару. Якщо поточний шар не може бути заповненим, то згідно циклічно-модульного підходу, в попередньому шарі або було залучено зайві елементи, (вони провокують непідконтрольні зв'язки), або є незабезпечені зв'язками складові (не вистачає елементів для логічно-детермінованого каркасу виробу), або деякі елементи некоректно під'єднано (компонентів достатньо, але структуру, за правилами, побудувати неможливо). Кожний з означених варіантів є умовою повернення в попередній шар, доопрацювання його коректного заповнення, навіть з пошуком помилок, що обумовили некоректну постановку завдання.

Побудова системи:

1) створення формального опису виробу (продукту):

- Укладання переліку компонентів виробу;
- Укладання переліку зв'язків між компонентами у готовому виробі;
- Укладання ієрархії зв'язків між компонентами у виробі.

2) перехід до формального опису процесу (виготовлення):

- Укладання переліку основних дій модулів;
- Укладання переліку зворотних дій модулів;
- Об'єднання основних і зворотних дій в циклічні модулі;
- Формування технологічного процесу з дій циклічних модулів.

3) наповнення опису процесу технічними засобами реалізації дій:

- Формування складу циклічних модулів:
  - виконавчий пристрій;
  - засоби керування;
  - засоби контролю.

4) логічний і структурний синтез циклічних модулів:

- Побудова логічно-визначеної структури системи;
- Формування команд керування та підбір засобів їх реалізації;
- Інформаційна комутація засобів контролю і керування.

Реалізація рішення:

5) повернення до узагальненої «структури» з наповненням змістовним навантаженням:

- Опис процесу за допомогою дій виконавчих пристроїв, засобів контролю, засобів керування;
- Склад технічної системи, що забезпечує відпрацювання виробничого процесу;
- Побудова алгоритмів процесу функціонування та керування автоматизованою системою.

Досвід застосування циклічно-модульного підходу при вирішенні багатьох різноманітних, але не складних задач, з перевіркою рішень на дидактичному обладнанні (пневматика, електропневматика, гідравліка, електрогідравліка, пропорційна гідравліка, модульні виробничі станції, від 3 до 12 модулів в системі, комбінування апаратних, електрорелейних і алгоритмічних засобів керування) показав наступне.

Розподіл усередненого часу побудови системи.

Підготовча робота: 1,0 … 1,5 години (від 0,25 до 2,5 годин).

Ознайомлення з умовами задачі, перевірка повноти та коректності вихідних даних на відповідність циклічно-модульній будові, початковий підбір обладнання, формальний опис умов задачі (етап №1).

Кількість відкоригованих постановок задач: 5…10%.

Кількість помилок, що призводили до повернення до етапу №1: 2 … 3%.

Побудова циклічної, логічно-визначеної структури: 0,5 … 1,0 годин (від 0,2 до 1,5 години).

Побудова функціонального графу, побудова підграфу зв'язку і підграфу логічної невизначеності, додавання елементів пам'яті (етап №2).

Кількість відкоригованих постановок задач (повернення до етапу №1): 1…2%.

Кількість помилок в отриманій структурі системи (повернення до етапу №2): 3 … 5%.

Логічний і структурний синтез модулів: 1,2 … 1,5 години (від 0,5 до 2,0 годин).

Побудова логічних виразів команд керування з врахуванням типу і засобів реалізації керуючих пристроїв (етап №3).

Кількість відкоригованих постановок задачі (повернення до етапу №1): 1…2%.

Кількість помилок в структурі системи з поверненням до етапу №2: 2 … 5%.

Кількість помилок в логічних виразах команд керування з поверненням до етапу №3: 3 … 15%.

Складання системи: 1,0 … 2,5 години (від 0,5 до 3,0 годин).

Підбір обладнання, складання і під'єднання елементів з врахуванням типу виконавчих, контролюючих і керуючих пристроїв (етап №4).

Кількість уточнень постановок задач (повернення до етапу №1): 0,1…0,5%.

Кількість помилок в структурі системи (повернення до етапу №2): 0,1 … 0,5%.

Кількість помилок в логічних виразах команд керування (повернення до етапу №3): 2 … 10%.

Кількість помилок в структурі системи і схемах циклічних модулів (повернення до етапу №4): 2 … 3%.

Пуск та налагодження системи: 1,0 … 3,0 години (від 0,0 до 3,0 годин).

Вмикання системи, перевірка відповідності роботи до завдання, пошук та виправлення помилок монтажу: а) в схемах модулів, б) в комутації модулів, в) в

під’єднаннях пристроїв (етап №5).

Кількість уточнень завдання (повернення до етапу №1): немає.

Кількість помилок в структурі системи (повернення до етапу №2): немає.

Кількість помилок в виразах команд керування (повернення до етапу №3): 1 … 2%.

Кількість помилок в структурах модулів (повернення до етапу №4): немає.

Кількість помилок в комутації модулів і під’єднаннях пристроїв: 2 … 3%.

Таблиця 1.3

Розподіл усередненого часу виконання етапів

№	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Час, годин	**1,25**	**0,5**	**1,35**	**1,75**	**2,0**
Зміст	Формалізація постановки задачі	Побудова циклічної форми	Логічний синтез, структурний синтез	Складання	Налагодження

Наведені показники отримано при розгляді систем з 6 … 8 модулями та комбінованою реалізацією систем керування.

Таблиця 1.4

Розподіл помилок при виконанні етапів

№	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Помилка, %	**2,5**	**4,0**	**9,0**	**2,5**	**2,5**
Зміст	Формалізація постановки задачі	Побудова циклічної форми	Логічний синтез, структурний синтез	Складання	Налагодження

Наведені показники ілюструють відношення кількості помилкових рішень до загальної кількості задач для систем з 3 … 10 модулями.

Таблиця 1.5

Розподіл помилок, що повернули до попередніх етапів

№	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Помилка, %	**-**	**5,5**	**12,0**	**7,8**	**4,0**
Зміст	Формалізація постановки задачі	Побудова циклічної форми	Логічний синтез, структурний синтез	Складання	Налагодження

Наведені показники ілюструють відношення кількості задач з помилками, що призводили до попередніх етапів до загальної кількості задач для систем з 3 … 10 модулями.

Циклічно-модульний підхід призводить до певних відмінностей при складанні, налагодженні і тестуванні систем. Складання системи відбувається «пошарово», налагодження і діагностика – помодульно, з перевіркою режимів дій системи та умов зміни режимів. Рекомендації щодо складання системи полягають в наступному.

- Складання окремих модулів:
  Виконавчий пристрій + засоби керування + засоби контролю + засоби первинної обробки і узгодження сигналів.
- Енергозабезпечення модулів і пристроїв системи:
  Під'єднання живлення виконавчих пристроїв, енергозабезпечення інформаційної та керуючої апаратури (за необхідності додаються засоби встановлення модуля в початковий стан). Перевірка працездатності керуючих пристроїв, датчиків і сенсорів, сигналів стану модулів.
- Складання і під'єднання індивідуальних схем керування кожного модуля:
  Складання схем чи алгоритмів відповідно до виразів логічних команд, комутація сенсорів та датчиків інших модулів з індивідуальними схемами керування модулів, або, при PLC реалізації, з входами контролера, з'єднання пристроїв керування з виходами контролера.
- Тестування дій кожного модуля на виконання передбачених функцій та дій модулів у складі системи:
  Підведення до модуля набору сигналів, що відповідає основній дії модуля, підведення до модуля набору сигналів, що відповідає зворотній дії модуля. Імітація сигналів, що контролюють відпрацювання команд керування. Контроль формування сигналів команд керування для модулів, що є наступними за поточним спрацюванням модуля.
- Тестовий пуск технологічного циклу системи:
  Під'єднати блок (пульт) вмикання/вимикання системи (перших виконуваних дій), перевірити дії системи в режимі одиничного циклу.
- Тестовий пуск експлуатаційного циклу системи:
  Під'єднати засоби керування для експлуатації системи. Завантажити алгоритми або під'єднати схеми та пристрої вмикання/вимикання, тривалого/одиничного циклу, переривання дій системи, керування змінами режимів експлуатації системи. Перевірити відпрацювання системою експлуатаційного циклу з використанням передбачених режимів роботи.

Наведені відомості отримано за результатами виконання лабораторних робіт, модульних залікових робіт, групових робіт, залікових та екзаменаційних робіт студентами 3 – 5 курсів з дисциплін «Дискретні системи керування приводами», «Синтез дискретних систем керування», «Контролери в системах керування гідропневмоавтоматики», «Модульні виробничі системи», «Структурно-модульний синтез систем мехатроніки» та інших, пов'язаних з розробкою та використанням систем керування автоматизованих об'єктів мехатроніки. Кожна робота, за винятком групових, виконана студентом індивідуально, при повторному виконанні залікових і екзаменаційних завдань студенти отримували нове завдання, що унеможливлювало попередню підготовку рішень.

Наприклад, для складання та налагодження систем з електрорелейним керуванням можуть бути надані наступні рекомендації.

Запропонований порядок складання забезпечує:

- зменшення кількості суто технічних помилок;
- уникнення надлишкових елементів та складності системи;
- поетапне тестування системи керування;
- відкриту архітектуру системи;
- зручність пошуку помилок;
- можливість внесення локальних корегувань.

Наприклад, структура електрорелейної схеми системи керування складається з декількох послідовних блоків:

а) схем підготовки інформаційних сигналів про стан системи та зовнішніх сигналів.

Вони є базою для формування логіки взаємодії модулів системи, яка є критерієм забезпечення інформаційної повноти системи.

Необхідно врахувати кількість їх використань в логічних схемах та інвертувань (можуть знадобитись додаткові реле), а також – запобігти роботі в шкідливих режимах.

б) схеми елементів пам'яті.

Вони мають поширене використання в логічних схемах і за їх відсутності схеми команд керування побудувати нема з чого.

Кількість елементів пам'яті визначають результати логічного синтезу та додаткові вимоги до керування експлуатаційним циклом (вертушки, кроки, дублювання і т. і.).

Перед їх побудовою необхідно розрахувати необхідну кількість замкнених/розімкнених ключів – для залучення в схему необхідної кількості додаткових реле. Це обрахування виконується на основі аналізу логічних виразів команд керування.

в) схеми додаткової обробки сигналів контролю (стану).

Вони забезпечують затримки сигналів, зберігання сигналів, підрахунок кількості спрацювань датчику сигналу та інші особливі вимоги. Потрібно приділяти увагу їх подальшому використанню – кількість, паралельність.

г) специфічні схеми локальних систем керування функціональних модулів.

Вони забезпечують особливі режими керування виконавчими пристроями, наприклад, зміна швидкості чи зусилля під час руху, час чи кількість коливань для вібропривода, утримання положення за умов зникнення живлення.

д) схеми керування функціональних модулів.

Вони забезпечують вмикання/вимикання керуючих пристроїв відповідно до логічних виразів команд керування (з врахування типу керуючих пристроїв – моностабільні, бістабільні, із затримкою часу та інші, з можливістю ручного керування).

е) схеми керування режимами експлуатації системи.

Вони забезпечують коректне перемикання режимів роботи системи, наприклад, ручне/автоматичне, пауза, аварійне вимкнення і т. п. (відпрацювання різних режимів може мати частково розподілену систему керування по модулям або централізовану).

1.7. УЗАГАЛЬНЕНА СТРУКТУРА І СКЛАД СИСТЕМНОГО МОДУЛЯ

Не існує загальних правил розробки системних модулів, які є придатними для створення будь якої системи. Доводиться враховувати в кожній практичній розробці певні особливості створюваної системи. Саме особливості роблять систему змістовно повною та додають їй ознак фахової розробки [1, 17, 21, 25, 40, 42, 48, 49, 55, 70, 126, 133, 169]. Це можуть бути особливості технічних засобів – наприклад – пневматика низького тиску; особливості технологічного процесу – наприклад – гідроприводу прокатного стану в металургії; особливості умов експлуатації – наприклад – авіаційний гідропривід з температурами роботи від – 70 до + 120 градусів; комбінація різноманітних факторів. Але, незважаючи на відмічене, при розв'язанні більшості практичних завдань структурного синтезу технічних об'єктів, пов'язаних з питанням архітектури системи, майже завжди можливе її розподілення на структурно-подібні модулі. У загальному випадку з таких модулів буде утворена тільки одна частина системи, а її підсистеми, наприклад, енергозабезпечення або захисту від аварійних ситуацій, матимуть іншу архітектуру. Вони входитимуть в систему як окремі модулі з відповідною логікою їх взаємодії з усіма іншими компонентами системи.

На практиці, початок підбору комплекту функціональних модулів передує постановці задачі структурного синтезу системи. Досвід попередніх вдалих і невдалих розробок підказує шляхи створення нової системи. Перш за все – це наявність відомих і перевірених технічних засобів для виконання більшості передбачуваних дій та функцій. Такі знання фахівців утворюють підґрунтя для першої спроби підбору комплекту модулів, а точніше – функціональних модулів, чиїми діями може бути апроксимований весь виробничий процес.

Друга спроба стосується логічного синтезу. При цьому функціональні модулі отримують логічні умови для виконання покладених на них функцій. Для кожного модуля, а точніше для його основної дії та дії, що переводить його в початковий стан, сформовані логічні умови, за яких ці дії мають бути виконані. Ці умови мають вигляд логічних виразів команд керування, а точніше – вони є логічними правилами поведінки модулів у складі системи. Таким чином відбувається перехід від виконання окремих функцій до виконання узгоджених функцій системою.

Для реалізації цього переходу від функціонального модуля (технічного засобу виконання функцій) до системного модуля (частини системи з логічно обумовленою поведінкою) необхідно скористатися технічними засобами, які втілюють логічні вирази команд в систему керування.

Такий самий перехід необхідно здійснити для всіх функціональних модулів системи – допоміжних модулів, елементів пам'яті, виконавчих пристроїв, що були додані в систему під час її розбудови (доданими у порівнянні з початковим завданням на розробку системи).

Початкова форма для створення системного модуля. За результатами синтезу логіки взаємодії модулів опис кожного функціонального модуля

отримує додаткові данні системного характеру (логічними умовами щодо активізації модуля та можливими технічними засобами для їх реалізації, табл. 1.6). При цьому модуль втрачає описову частину засобів технічної реалізації функцій чи дій, чи виконавчого пристрою взагалі.

Таблиця 1.6

Приклад опису системного модуля

№ і назва модуля	Основна дія	Зворотна дія	Команда Основної дії	Команда Зворотної дії	Контроль виконання Основної дії	Контроль виконання Зворотної дії	Тип виконавчого пристрою	Тип керуючого пристрою
1: модуль подачі	1	$\bar{1}$	$y_1 \Leftarrow x_{\bar{3}} * x_{\bar{11}}$ Пневматична схема Або Алгоритм STL	$y_{\bar{1}} \Leftarrow x_7 * x_{\bar{4}}$ Електрорелейна схема Або Алгоритм STL	x_1 Геркон	$x_{\bar{1}} = x'_{\bar{1}} * x^{p}_{\bar{1}}$ Ємнісний датчик та реле тиску	Безштоковий пневмоциліндр …	Розподільний клапан 5/2 електропневматичний, бістабільний
2: …	2	$\bar{2}$	$y_2 \Leftarrow \ldots$	$y_{\bar{2}} \Leftarrow \ldots$	x_2	$x_{\bar{2}}$	….	….
…	…	…	…	…	…	…	….	….
12: елемент пам’яті	12	$\overline{12}$	$y_{12} \Leftarrow x_7 * x_{\bar{3}}$ Алгоритм STL	$y_{\overline{12}} \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_{\bar{11}}$ Алгоритм STL	x_{12} Прапор увімкнений	$x_{\overline{12}}$ Прапор вимкнений	Прапор X12	—

Майже всі подробиці і особливості технічної реалізації функціональних модулів (пристрої керування, додаткові пристрої, допоміжне устаткування і інше) має бути внесено до опису складових системи, куди буде внесено особисте ім’я для кожного системного модуля. Це ім’я є наскрізним для всього складу системи, за виключенням елементів макромодулів або підсистем об’єкта розробки.

Після детального розгляду всіх модулів системи настає етап оцінки складності і можливості реалізації майбутньої розробки. Необхідно підрахувати потрібні технічні ресурси для розбудови системи керування, а після цього, якщо відповідь за результатами підрахунку позитивна, то має відбутись перехід до

розробки принципових схем.

Інформаційна структура системного модуля. За використання модульного підходу принципова схема всієї системи не є обов'язковою умовою для кроку технічної реалізації, складання системи, її налагодження чи тестування, і випробування.

Достатньо мати загальну структуру системи з описом процесу її функціонування. Саме складання і інші етапи створення системи, в значній мірі, можуть бути виконані для окремих модулів або комплектів суміжних модулів. І цьому сприяють, з одного боку, уніфіковане зображення модулів, незалежне від їх фізичної природи і функцій, і з іншого боку – їх змістовна прив'язка до складових технологічного циклу.

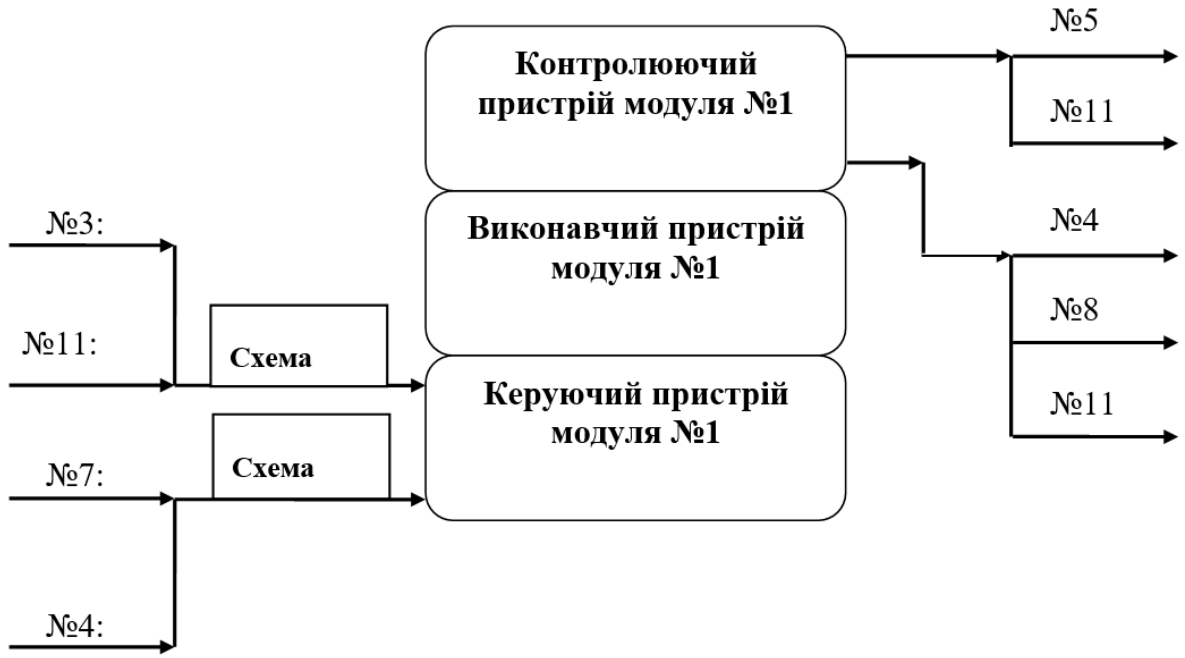


Рис. 1.18. Приклад структурної схеми системного модуля №1: в основній команді використовуються сигнали від модулів №3 та №11, в зворотній команді використовуються сигнали модулів №4 та №7; сигнал стану X_1 подається в модулі №5 та №11, сигнал стану $x_{\bar{1}}$ подається в модулі №4, №8 та №11

Оскільки в системних модулях містяться умови щодо перевірки виконання основних і зворотних дій усіх модулів, підібрані і описані засоби контролю за виконанням дій, і засоби керування виконавчими пристроями, то достатньо мати принципові і монтажні схеми саме модулів, та опис їх комутації в системі. В описах модулів потрібно мати посилання на джерела отримання вхідних сигналів (сигналів стану інших модулів). Це є необхідним для об'єднання модулів в систему та реалізації команд керування в середині кожного модуля. В описах кожного модуля потрібно мати також посилання на адреси передачі власних сигналів стану іншим модулям системи, бо ці сигнали є необхідними для систем керування інших модулів. Схематично це може бути зображено наступним чином (рис. 1.18). Під схемою керування модуля розуміємо будь яку технічну

реалізацію логічного виразу команд керування. Це може бути електрорелейна схема, пневматична, гідравлічна, механічна, комбінована схема або інша апаратна реалізація, або алгоритм керування для PLC.

За умов використання контролерів (PLC або IPC) необхідності в кресленні схем і їх використанні для керування модулями взагалі немає. Їх замінює фрагмент алгоритму керування (рис. 1.19). Для кращого розуміння зв'язків між керуванням і виконанням бажано надати інформацію щодо з'єднань польових пристроїв з входами і виходами контролера, наприклад O0.0 (y_1), та адреси під'єднання датчиків до входів контролера, наприклад, I0.0 (x_1) (рис. 1.19).

Сигнали стану модуля, як і сигнали керування модуля, не завжди настільки однозначні і примітивні, як це вказано на рис. 1.18 і 1.19.

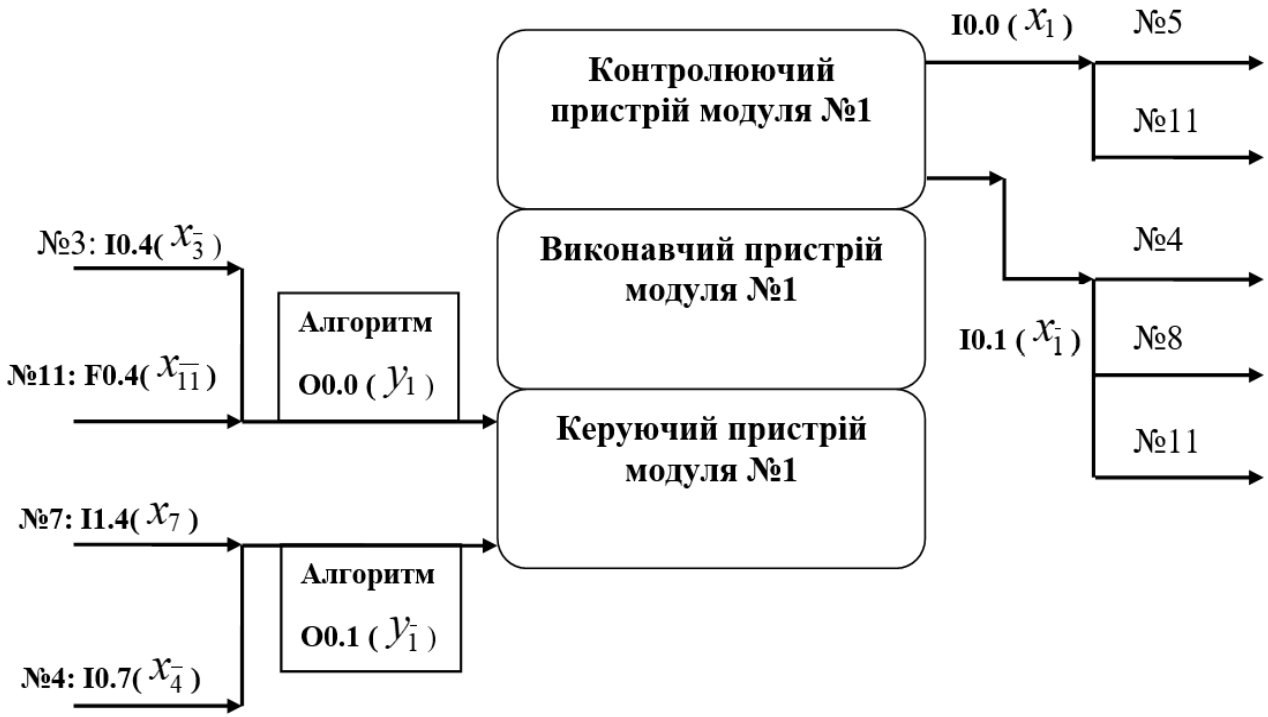


Рис. 1.19. Приклад структурної схеми системного модуля №1 з використанням PLC в системі керування: у логічному виразі основної команди використано сигнали стану від модулів №3 і №11, в логічному виразі зворотної команди використано сигнали стану модулів №4 і №7; сигнал стану x_1 надходить до модулів №5 і №11, сигнал стану $\bar{x}_1$ надходить до модулів №4, №8 і №11, сигнали керування отримано з виходів PLC O0.0 і O0.1, сигнали стану модуля №1 надходять на входи PLC I0.0 і I0.1

Сигнали стану мають контролювати виконання модулем певних технологічних функцій при виконанні основної та зворотної дій. В загальному випадку, сигнали від датчиків не є настільки спеціалізованими, щоб проконтролювати технологічну операцію. Тобто, сигнали стану це не сигнали від датчиків положення, реле часу, сенсорів, кінцевих вимикачів або інших пристроїв, це логічна функція від засобів контролю певних параметрів. Якщо ця функція приймає одиничне значення, то вважається, що модуль виконав основну

чи зворотну дію, і система, після такого підтвердження, може перейти до наступних дій відповідно з технологічним циклом. Додатково, сигнали, що контролюють виконання дії, можуть мати різну фізичну природу (пневматичні, електронні, механічні, електричні, акустичні, гідравлічні та інш.) і можуть відрізнятися за рівнем сигналів (потужність, тиск, струм, частота, аналогові, дискретні та ін.). Отриманий від джерел з інших модулів сигнал потрібно узгодити з параметрами входів контролера. Для розрахунку логічної функції в алгоритмі всі складові логічного виразу мають бути узгоджені. Частково це забезпечує блок обробки сигналів від датчиків і сенсорів та формування сигналу стану модуля (рис. 1.20).

Так само, сигнали, що їх отримує керуючий пристрій модуля, мають бути узгоджені з характеристиками цього самого пристрою.

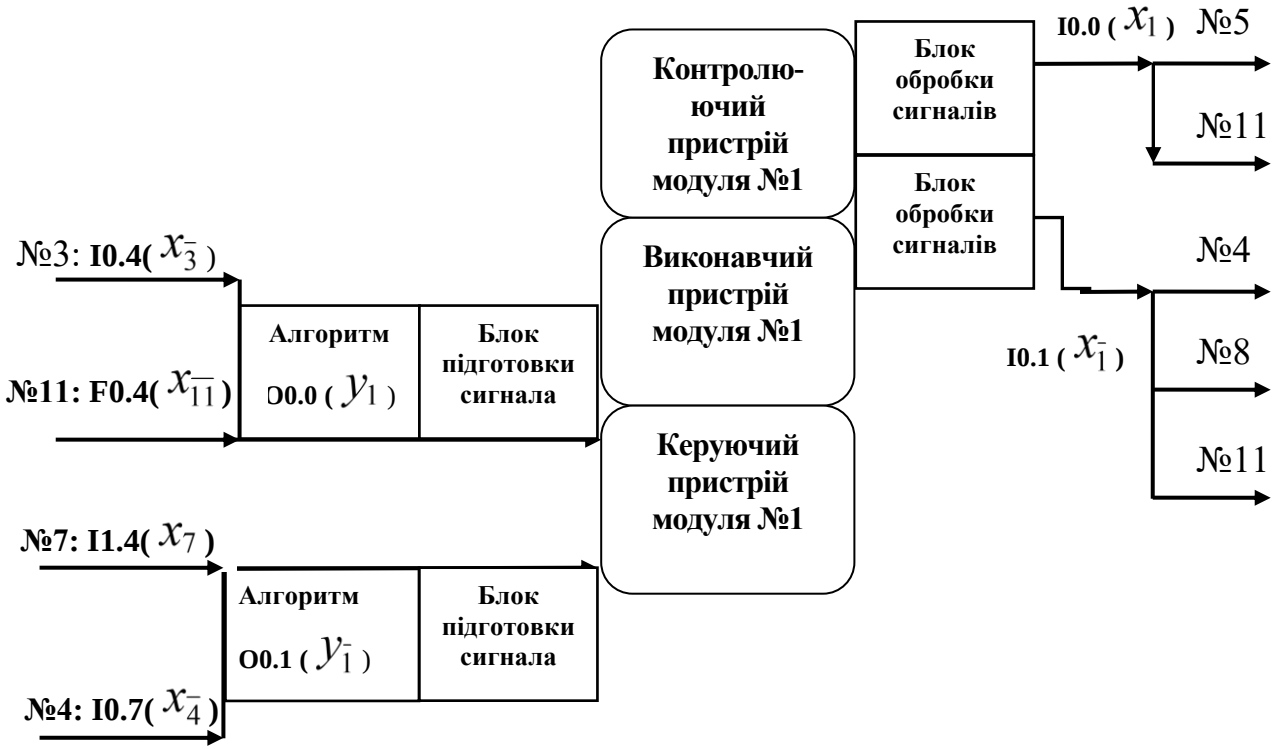


Рис. 1.20. Приклад структурної схеми системного модуля №1 з блоком обробки сигналів в системі керування: в основній команді використовуються сигнали від модулів №3 та №11, в зворотній команді використовуються сигнали модулів №4 та №7; сигнал стану x_1 подається в модулі №5 та №11, сигнал стану $\bar{x}_1$ подається в модулі №4, №8 та №11, сигнали керування надходять з виходів контролера O0.0 та O0.1, сигнали стану подаються на входи контролера I0.0 та I0.1

Узгодженість торкається типу сигнала, рівню потужності, параметру сигналу (тиск, струм, напруга), фізичній природі сигналу. Для такого узгодження, між виходом контролера або виходом логічної схеми та керуючим пристроєм модуля існує блок підготовки сигналів керування. Якщо система в технічному розумінні однорідна, наприклад, пневматична з тиском 6,0 бар, то такий блок може бути відсутнім, або засоби узгодження містяться в керуючому

пристрої. За необхідності можлива подальша деталізація структури і складу системного модуля.

Ступінь деталізації має орієнтуватись на конкретну задачу та певні технічні засоби. Проте це не змінює узагальненої схеми системного модуля – від сигналів стану інших модулів системи до сигналів стану кожного модуля, які надані всім іншим модулям (за потреби) для формування команд керування їх власними логічними функціями (рис. 1.21). Така узагальнена схема дозволяє при розгляді схему будь якого з модулів системи одразу бачити усі суміжні з ним по інформаційним потокам інші модулі системи.

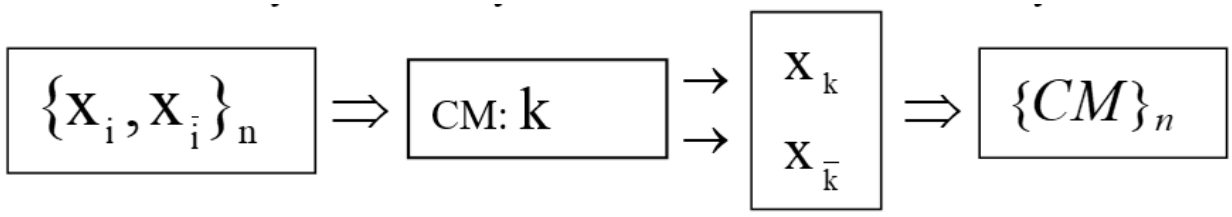


Рис. 1.21. Укрупнена схема системного модуля k: $\{X_i, X_{\bar{i}}\}_n$ **- множина сигналів стану модулів всієї системи, n – кількість модулів в системі,** X_k, $X_{\bar{k}}$ **сигнали стану модуля k,** $\{CM\}_n$ **- множина модулів системи**

Енергетичний та продуктивний потоки в системному модулі. Зауважимо, що схеми, наведені на рис. 1.18 – 1.21 відображають тільки інформаційний потік в системі та його розгалуження по модулях. Разом з цим в системі присутні ще, як найменше, два інших розгалужених потоки. Це потік енергозабезпечення і продуктивний чи виробничий потік.

Енергетичний потік в мехатронній системі, яка побудована за модульним принципом, являє собою складну, фізично різнорідну і розгалужену систему. Він розподіляється за фізичним принципом (електрика, пневматика, механіка, гідравліка, тепловий потік) та за параметрами типу енергозабезпечення (тиск, напруга, струм – змінний/постійний, акумулюючі пристрої, енергогенеруючі пристрої і т. ін.). В процесі функціонування системи відбуваються зміни траєкторії енергетичного потоку.

При модульній структурі системи, як і в більшості інших варіантів будови, **основний енергетичний потік** спрямовано на постачання енергією виконавчих пристроїв системних модулів. Окрім цього, **додатковий енергетичний потік** забезпечує енергією інформаційну систему, систему керування кожного модуля, модулі інформаційного змісту (елементи пам’яті, модулі-лічильники, модулі-ідентифікатори і т. ін.). В більшості випадків і тип енергоносія і параметри основного потоку є відмінними від енергозабезпечення інформаційної та керуючої частин модулів.

Додаткові позначення основного енергетичного потоку в структурі системних модулів є корисним, якщо для різних модулів необхідні різні варіанти живлення. Наприклад, гідравлічний мотор – напірна і зливна гідравлічні лінії, пневматичний циліндр – пневматична напірна лінія, електропровід з двигуном

постійного струму – електричне живлення постійного струму. Така інформація може бути вказана на структурній схемі блока «керуючий пристрій», який забезпечує вмикання та вимикання виконавчого пристрою. Лінії енергетичних потоків можна ідентифікувати за типом енергоносія, номером модуля і номером підводу (виходу) в цьому модулі (якщо живлення надається декільком пристроям).

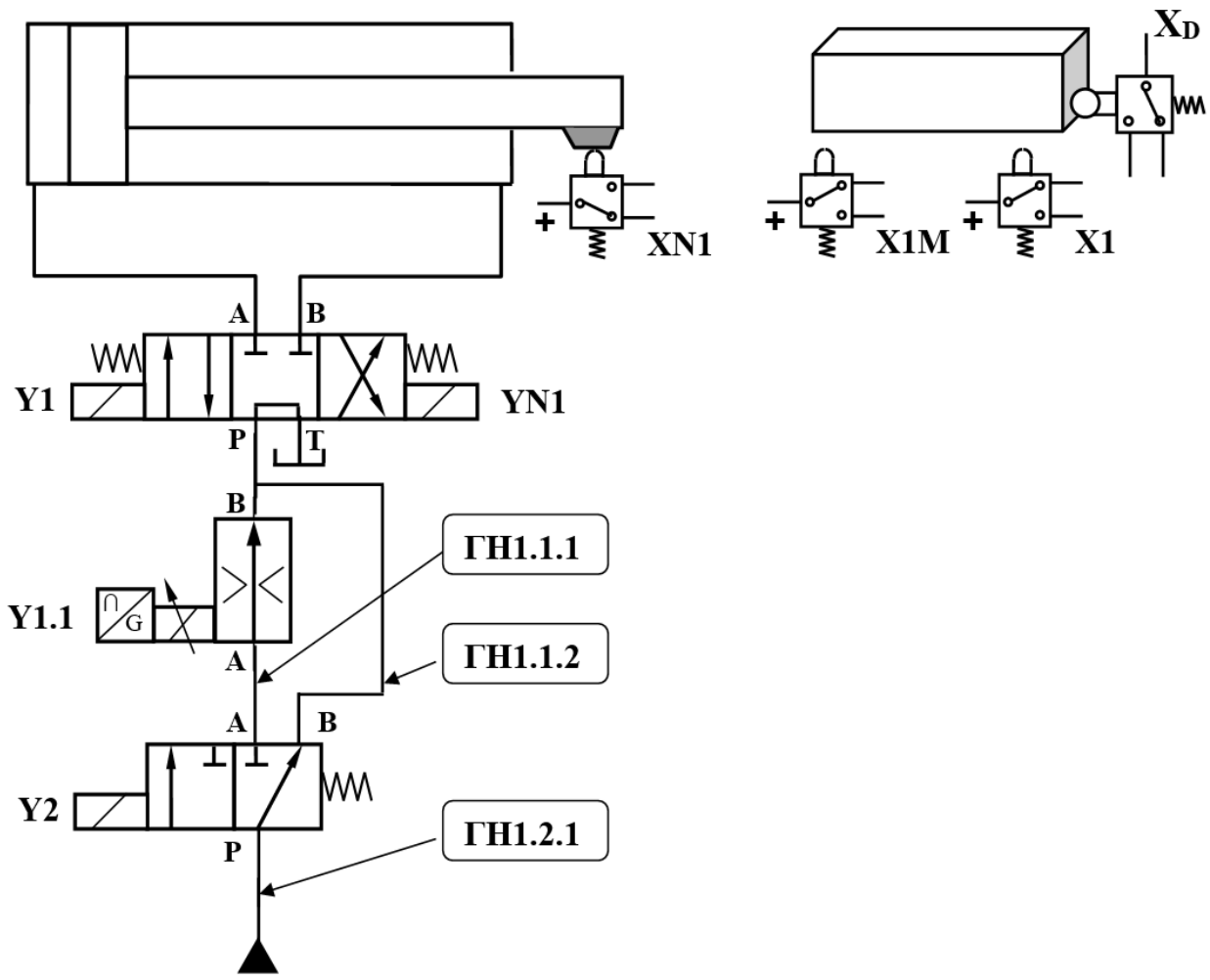


Рис. 1.22. Приклад допоміжного модуля (№2) що розподіляє основний енергетичний потік на вході до технологічного модуля №1: основна дія модуля №2 – підвід рідини до каналу ГН1.1.1 – вмикання регулятора потоку в напірну лінію модуля №1; зворотна дія модуля №2 – підвід рідини до каналу ГН1.1.2 – вимикання регулятора потоку з напірної лінії модуля №1; живлення модуля №2 від основної системи – лінія ГН1.2.1

Наприклад (рис. 1.22):

ГН1.1.1 – гідравлічне живлення - напірна лінія типу ГН1, до модуля №1, лінія підводу №1;

ГЗ1.1.2 – гідравлічне живлення – зливна лінія типу ГЗ1, до модуля 1, лінія виходу №2;

Е1.4.1 – електричне живлення типу Е1, до модуля № 4, лінія №1;

ПН.11.1 – пневматичне живлення напірна лінія типу ПН, модуль №11,

лінія підводу №1.

Енергетичний потік може бути транзитним, тобто, проходити через один модуль до іншого, наприклад, якщо функція цього модуля пов’язана зі змінами параметрів енергетичного потоку, його напрямку або іншим варіантом (Рис. 1.22). У випадку транзитного модуля, окрім ліній живлення (підводу та відводу) самого модуля, потрібні лінії, пов’язані з каналами живленням інших модулів. Наприклад, модуль забезпечує перемикання двох рівнів певного параметру енергетичного потоку гідравлічного приводу (швидкості, зусилля). Принципова гідравлічна схема такого устаткування може мати різні варіанти, але до неї має бути під’єднана лінія загального енергетичного потоку, а від нього виходитиме лінія перетвореного енергетичного потоку до певного модуля чи модулів.

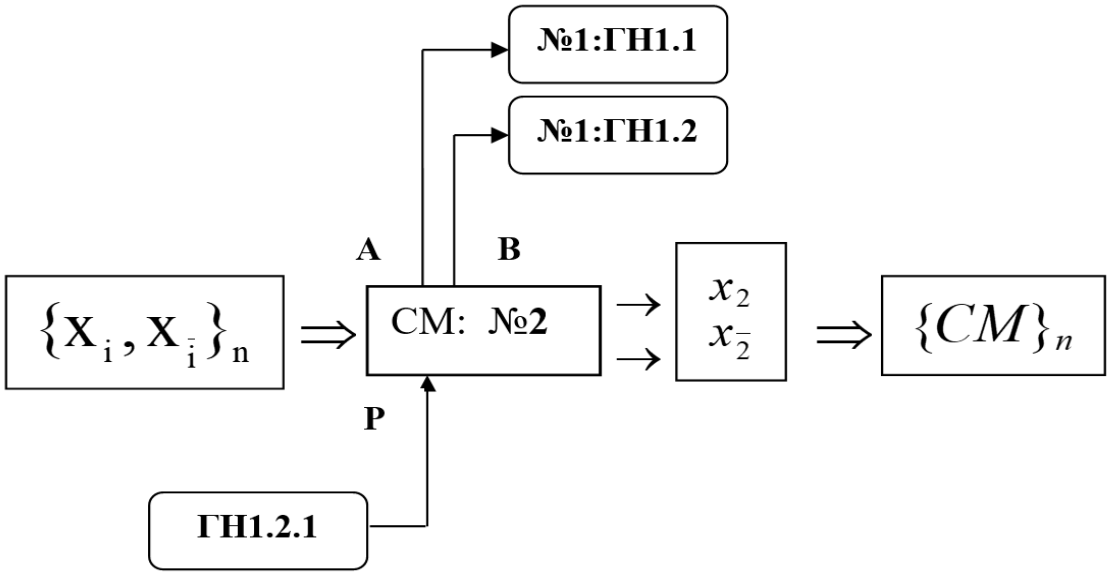


Рис. 1.23. Приклад узагальненої схеми системного модуля з позначенням основного енергетичного потоку у відповідності до схеми прикладу для модулів №1 та №2

Якщо постачання живлення йде від основного джерела системи, то позначення має бути таким, як в попередньому прикладі (рис. 1.22), наприклад:

ГН1.12.1 – гідравлічне живлення, напірна лінія типу ГН1, модуль 12, лінія підводу 1;

лінія відводу від модуля, в транзитному випадку, не є зливною магістраллю, а стає напірною лінією іншого типу, наприклад, ГН3;

далі вона буде лінією живлення для іншого модуля - в такому випадку необхідно вказати до якого саме модулю вона має бути адресована.

Таке позначення можна виконати аналогічно до інформаційних потоків. Але при цьому буде недостатньо вказати тільки номер модуля-споживача енергії, оскільки він може мати декілька каналів енергопостачання. Тобто, до ідентифікатору інформаційного потоку додається ідентифікація енергетичного потоку, наприклад: підвід до модуля №4: ГН3.4.2 – гідравлічне живлення напірна лінія типу ГН3, модуль 4, лінія підводу 2.

Має бути зв'язок в зворотному напрямку, тобто на схемі модуля №4 потрібно вказати звідки надано транзитне енергопостачання. Це можна зробити

за аналогією до входів інформаційного потоку (див. підвід сигналів стану), з додаванням інформації щодо енергетичного потоку, для цього самого прикладу: №12: ГН3.4.2 – від модуля №12, гідравлічне живлення напірна лінія типу ГН3, модуль 4, лінія підводу 2.

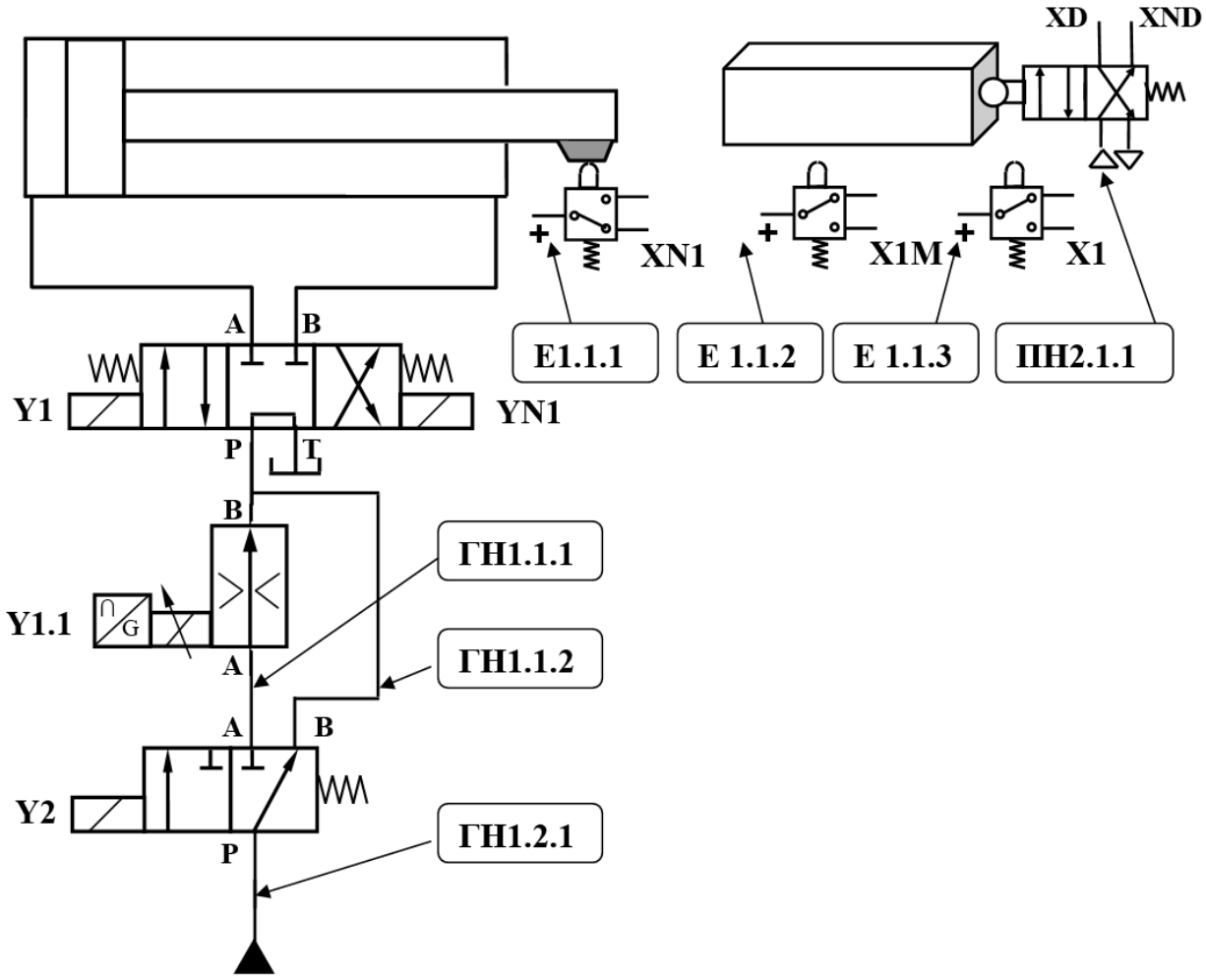


Рис. 1.24. Приклад схеми з модулів №1 і №2 з основним і додатковим енергетичними потоками: Основний потік: – підвід рідини до каналу ГН1.2.1 живлення модуля №2; Модифікований потік: – підвід рідини до каналу ГН1.1.1 – вмикання регулятора потоку в лінію живлення модуля №1, – підвід рідини до каналу ГН1.1.2 – вимикання регулятора потоку з лінії живлення модуля №1, Додатковий потік: - електричне живлення датчиків модуля №1 – E1.1.1, E1.1.2, E1.1.3; пневматичне живлення датчику модуля №1 – ПН2.1.1

Приклад для модуля №2, який перерозподіляє основний енергетичний потік, наведено на рис. 1.22. В узагальненому вигляді схема модуля з інформаційними і енергетичними каналами набуває вигляд рис. 1.23.

Опис **модифікованого енергетичного** потоку в структурі системних модулів не є обов'язковим для укладання загальної схеми системи її монтажу та налагодження. Такий опис є бажаним, якщо в системі використано фізично різнорідне керування або комбінований контроль щодо виконання певних функцій чи дій. (рис. 1.24). Наприклад, якщо в системі застосовано тільки електричне живлення постійного струму +24В, то немає потреби вказувати та ідентифікувати живлення окремих блоків та пристроїв. Цього буде достатньо для

їх позначення в схемах модулів. Але при цьому буде невідомо, яка кількість підводів живлення потрібна для кожного модуля і системи загалом. Відсутність такої інформації ускладнить підготовчі, монтажні і налагоджувальні роботи.

Якщо в системі наявні фізично різнорідні пристрої контролю і керування діями модулів, то живлення відповідних модулів і пристроїв матиме відображення в схемній реалізації (рис. 1.18 – схеми логічних виразів команд, рис. 1.20 – блоки підготовки та обробки сигналів).

Якщо в системі окрім фізичної різнорідності присутня і параметрична різнорідність живлення інформаційних каналів, то вона має бути відображена в схемній реалізації живлення цих пристроїв, наприклад, за аналогією до основного енергетичного потоку:

ПН1.11.4 – пневматичне живлення напірної лінії типу ПН1, до модуля №11, лінія підводу №4.

Е3.11.8 – електричне живлення типу Е3, до модуля №11, лінія підводу №8.

Відповідне позначення має бути на схемах модулів, до яких подається транзитне живлення: вказано модуль-постачальник, від якого отримано живлення, наприклад:

Від Модуля №14 - 14:ПН1.11.4 – від модуля №14, пневматичне живлення напірна лінія типу ПН1, до модуля №11, лінія підводу №4;

Від модуля №21 - 21:Е3.11.8 – від модуля №21, електричне живлення типу Е3, до модуля №11, лінія підводу №8.

Коли живлення йде від основної системи, то походження живлення вказувати не потрібно, тобто, якщо 21:Е3.11.8 – то це живлення від модуля №21, якщо Е3.11.8 - то це живлення від основної мережі системи.

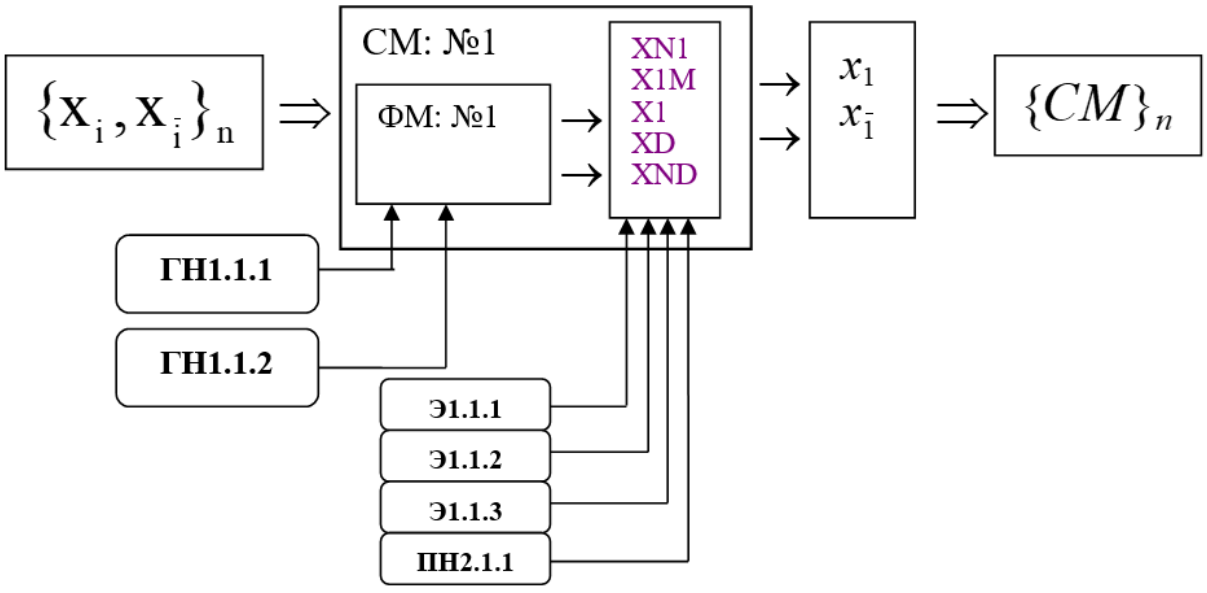


Рис. 1.25. Приклад узагальненої схеми системного модуля з позначенням основного і додаткового енергетичних потоків у відповідності з схемою (рис. 1.24)

Декотрі пристрої, що призначені для регулювання параметрів енергетичних потоків, можуть належати до складу системних модулів у якості

допоміжного обладнання. Вмикання чи вимикання цих пристроїв відсутнє в описі технологічного циклу.

Завдяки наведеному позначенню, при розгляді схеми кожного з модулів, будуть вказані всі суміжні за енергетичними потоками інші модулі. Це дозволить розраховувати кількість та параметри ліній живлення для кожного модуля і для системи (рис.1.25).

Наприклад, редукційний клапан, що знижує робочий тиск в гідромоторі, створює модифікований енергетичний потік. Цей потік як створюється, так і використовується в межах одного системного модуля, тобто, він не ідентифікований як вхідний чи вихідний канал комутації модуля. Але він має бути поміченим в описі модуля для загального підрахунку технічних засобів для ліній живлення.

Продуктивний потік насправді є домінуючим, хоча майже не проглядається під час задачі синтезу системи. Саме продуктивний потік регламентовано технологічним циклом, саме він відтворює мету функціонування системи – випуск продукції чи створення певного корисного ефекту.

Незважаючи на це, його відображення в структурі системи є найбільш слабким. В межах кожного системного модуля цей потік характеризує основні і зворотні функції модуля. Наприклад, є модуль і функція переміщення (деталі), є модуль і функція позиціонування (деталі), є модуль і функція фіксації (деталі), є модуль і функція обертання інструменту (фрези), є модуль і функція подачі інструменту (фрези) та ін. Якщо розглянути ланку складального виробництва, то зміст функцій відповідатиме технології. Якщо розглядати автоматизовану лінію виготовлення цукерок, то функції модулів будуть відповідними до операцій технології виготовлення цукерок. Але, незалежно від призначення системи, кожний модуль, завдяки відпрацюванню своєї функції, підвищує ступінь готовності виробу, або наближає операцію до завершення – у разі використання допоміжних дій.

Під час роботи виріб начебто проходить крізь різні модулі і набуває «ваги» - ступеню готовності. Саме таке додавання «ваги» є наслідком просування продуктивного потоку крізь системні модулі. Додавання готовності може бути відображеним в змістовній назві модулів (модуль фіксації, модуль 2-ї швидкості, модуль підйому і т.д.). Формальним відображенням продуктивного потоку є зміни сигналів датчиків стану модулів і додаткові сигнали контролю виробничого процесу. Найчастіше ці сигнали контролюють відпрацювання дій виконавчих пристроїв, а не додану готовність продукції, заради якої ці дії відбуваються.

Наприклад, для пневматичного приводу позиціонування – це датчики розташування штоку чи поршня, а не датчики позиції деталі; для приводу фіксації заготовки – це сигнали від датчиків тиску і положення затискача, а не датчик зусилля фіксації заготовки; для дозатора – це датчик ходу поршня циліндру, а не датчик наповнення ємності. Але саме по змінам цих сигналів, послідовно відстежуючи дії модулів системи, можна прослідкувати функцію створення виробу – тобто, продуктивний потік.

Як правило, продуктивний підхід закладається ще на етапі формування складу і структури системи, а пізніше він зникає з розгляду. На його заміну стає технологічний цикл та взаємозв’язки між діями модулів.

Формальні засоби контролю за діями модулів надають опосередковану інформацію щодо перебігу виробництва, тобто, руху продуктивного потоку (заготовки, деталі, витратні матеріали та ін.) в процесі додавання ступеню готовності до виробів. Сигнали стану модулів дозволяють відслідковувати змістовну спрямованість дій системи в цілому, і участь окремих модулів в цьому процесі. Значимість цього потоку полягає в тому, що саме його існування і інтенсивність є критерієм успішного створення системи. Формальні та неформальні ознаки цього потоку надають розробнику необхідну інформацію під час створення автоматизованої системи: проектуванні, підборі обладнання, складанні, налагодженні, тестуванні і випробуванні, модернізації та на інших етапах створення і експлуатації системи.

Забезпечення ефективності технічних систем та надійності в експлуатації не може нехтувати досвідом попередніх розробок та використовуваних технічних рішень. В більшості випадків такі технічні рішення відрізняються від наведеного опису циклічного модуля і можуть бути визначені як певні функціональні підсистеми. Частково проблему використання попередніх розробок в структурному синтезі вирішує запровадження особливих циклічних модулів – макромодулів, чому присвячено наступний підрозділ.

1.8. МАКРОМОДУЛЬ В СКЛАДІ СИСТЕМИ

Створення відокремлених, логічно замкнених фрагментів системи, які можуть виконувати певну функцію і повертатись в початковий стан, є наступним кроком у розвитку поняття системний модуль. Це дозволяє створювати окремі підсистеми, що будуть використані в технічному об'єкті в якості елементів будівництва – циклічних модулів, але з складною внутрішньою структурою, побудованою або з циклічних макромодулів або іншим способом.

Передумовами до застосування макромодулів при розробці систем є або можливість відокремлення частини системи – випадок 1, або існування вже готових систем – випадок 2, які можуть виконувати потрібні циклічні функції в об'єднаній системі.

В першому випадку вже готова інша система циклічної дії, яка повинна бути переформатована так, що вона буде представлена основною і зворотною діями. Як основна, так і зворотна дія цієї підсистеми мають отримати свої зв'язки з основною системою, тобто, певні логічні умови чи команди, які впорядкують дії циклового макромодуля з діями інших модулів системи, яка розроблюється.

В другому випадку, для змістовного відокремлення комплекту макромодуля від системи, потрібне існування змістовно пов'язаних послідовностей дій в яких задіяне таке обладнання, яке не буде використано при виконанні інших функцій системи.

Більш загальний варіант передумови створення циклічного макромодуля – це необхідність додавання нових автоматизованих функцій до системи без порушення її існуючої структури. Як правило, такі функції не пов'язані з первісним варіантом технологічного циклу або змістовно входять в проміжки між окремими переходами циклу. Наприклад, автоматизовані функції поточного міжопераційного контролю, які не чіпають зміст виконуваних операцій або налагоджувальні дії, чи заміна зношеного інструменту.

Структура макромодуля. На відміну від функціональних модулів, що мають в основі фіксовану дію певного виконавчого пристрою, оздобленого засобами керування і контролю, макромодуль має в основі систему циклічної дії із власною системою керування всіх задіяних виконавчих пристроїв. Тобто, основну функцію, яку виконує системний макромодуль, визначає впорядковане відпрацювання декількох дій за допомогою відповідних виконавчих пристроїв. Таку саме структуру матиме і зворотна функція системного макромодуля, що забезпечує його повернення в початковий стан. Таким чином, із зовнішнього погляду структура макромодуля не відрізняється від раніше розглянутих функціональних модулів – команда – виконання - контроль, але їх змістовне наповнення має суттєво інший характер.

Логічні команди керування макромодулем призначені не для окремого виконавчого пристрою, а для вмикання і вимикання роботи циклової системи. Тобто, команди керування виконують роль зовнішніх входів для підсистеми-макромодуля.

Так само певні засоби контролю відпрацювання основної і зворотної функцій системи макромодуля, спрацювання яких відображають індикатори

стану макромодуля – це вихідні сигнали стану макромодуля.

Таким чином за функціями зв'язку з основною системою зовнішні команди-входи і вихідні індикатори стану макромодуля не відрізняються від входів і виходів функціонального модуля, побудованого на основі одного виконавчого пристрою. Послідовність циклічного функціонування системи макромодуля вміщує такі самі складові:

- команда на виконання основної функції;
- впорядковані дії складових макромодуля;
- індикатор стану - сигнал контролю відпрацювання основної функції;
- команда на виконання зворотної функції;
- впорядковані дії складових макромодуля щодо повернення в початковий стан;
- індикатор стану - сигнал контролю відпрацювання зворотної функції.

Впорядкування дій всіх складових пристроїв макромодуля підпорядковано виконуваній основній функції, тобто, макромодуль виробляє певний позитивний ефект, в здобутті якого і задіяні складові макромодуля.

Застосування макромодулів-підсистем надає розробнику певні переваги, бо відсутня різниця між залученням до системи циклічних модулів чи циклічних макромодулів, тобто, вже розроблених систем. І ті і інші мають зовнішні сигнали взаємодії із системою і однакову узагальнену структуру. Змістовні відмінності здебільшого пов'язані з визначенням факту відпрацювання основної та зворотної функцій макромодуля на основі поточного стану складових макромодуля. Щодо керування цикловою системою макромодуля, то її вмикає і вимикає основна система так само, як вона вмикає і вимикає кожний задіяний функціональний модуль.

Функціонування макромодуля-підсистеми має внутрішній цикл, подібний до розглянутого циклу функціонального модуля, побудованого на основі, наприклад, гідравлічного циліндру чи елемента пам'яті. Основна команда макромодуля Y_{M1} вмикає на відпрацювання перший перехід макромодуля. За поданою основною командою Y_{M1} підсистема відпрацьовує перший перехід, за результатами якого, незалежно від основної системи, будуть подані команди на відпрацювання другого переходу і так далі до завершення частини технологічного циклу, яка відповідає основній функції макромодуля.

Після цього підсистема макромодуля зупиняється і зберігає режим очікування. Макромодуль очікує на сигнал зворотної команди $Y_{\overline{M1}}$. За його отриманням підсистема макромодуля відпрацьовує другу частину внутрішнього циклу і повертається в початковий стан та знову переходить в режим очікування, але вже очікування на сигнал основної команди Y_{M1}.

Для оцінки впливу застосування макромодульної структури на складність розробки системи потрібно застосувати деякий критерій, який би враховував складність і тривалість процесу синтезу.

Узагальнена структура макромодуля, на зовнішній погляд, повторює структуру системних модулів, але має більшу деталізацію щодо внутрішнього

складу (рис.1.26). Найбільш суттєва відмінність полягає в тому, що фізично, замість керуючого пристрою та виконавчого пристрою, використана локальна підсистема. Ця підсистема має певний внутрішній устрій, аналогічний до всіх циклових систем. Але інформація щодо поточного стану підсистеми-макромодуля походить не від фізичних датчиків стану, а від певних логічних функцій від сигналів стану компонентів макромодуля.

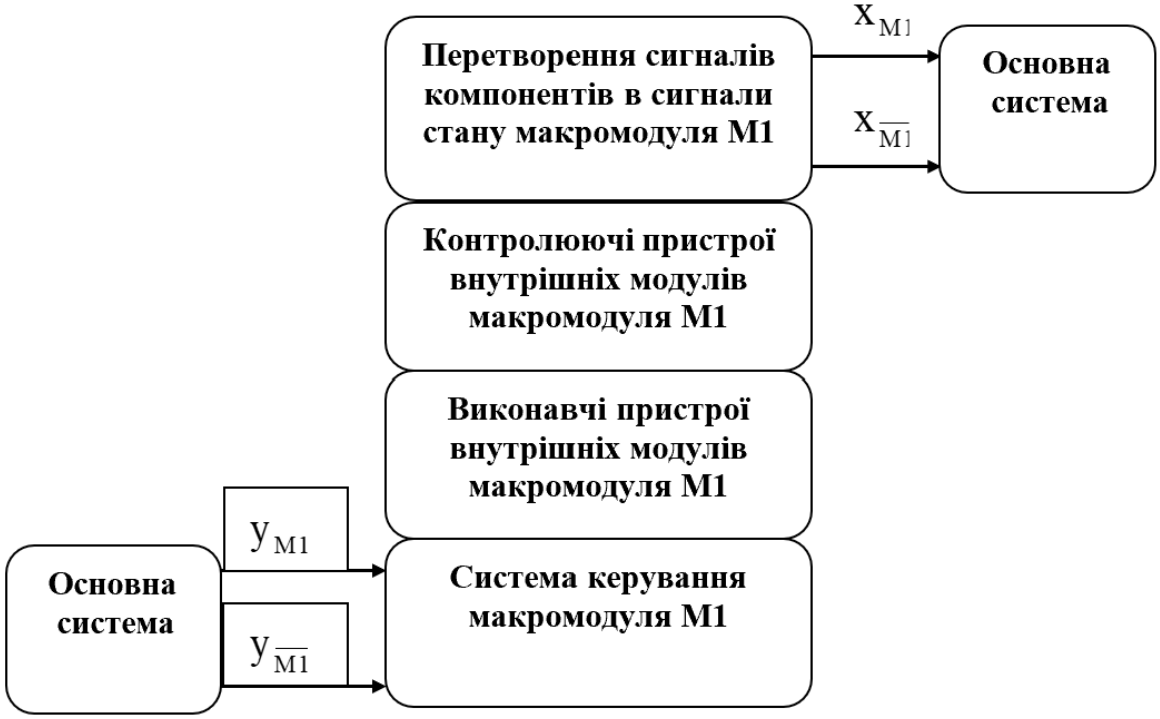


Рис.1.26. Приклад структурної схеми системного макромодуля М1

Застосування макромодулів надає користь розробнику у випадку створення великих за кількістю модулів систем. Автоматизовані функції, кількість виконавчих і керуючих пристроїв і засобів контролю щодо цих функцій, однакова для варіанту однорідної системи та системи з макромодулями, бо вони розроблені за одним технічним завданням. Ця кількість і склад елементів обумовлені фіксованим комплектом виконуваних функцій та засобів контролю їх виконання відповідно до технічного завдання.

Практична відмінність підходу пов'язана з відносною розмірністю системи $\tilde{N}$, яка вираховується як добуток кількості переходів в процесі z на кількість m задіяних модулів в системі:

$$\tilde{N} = z_s * m_s + \sum_{1}^{k} z_{mi} * m_{mi}, \qquad (1.12)$$

де $\tilde{N}$ - відносна розмірність системи, z_s - кількість переходів в циклі роботи основної системи, m_s - кількість модулів в основній системі, k - кількість макромодулів в системі, z_{mi} - кількість переходів в циклі роботи і-го

макромодуля, m_{mi} - кількість модулів в складі і-го макромодуля.

За змістом це максимальна кількість логічних умов, які визначають певну дію кожного модуля в певному стані системи, вирахувана для кожної дії кожного модуля. Тобто, якщо певна кількість модулів відокремлена від основної системи у вигляді підсистеми, то ці модулі можуть складати логічні умови один для одного, але вони не складають логічні умови для модулів, що знаходяться поза підсистемою. Ці умови є формальним підґрунтям для розбудови алгоритму функціонування системи, мінімізації та синтезованої системи та скорочення процедури синтезу.

Наприклад, якщо підсистему складають 8 функціональних модулів, а внутрішній цикл підсистеми вміщує 7 переходів, то відносна розмірність підсистеми становитиме:

$$\tilde{N}_{ss1} = z_1 * m_1 = 8 * 7 = 56,$$

де $\tilde{N}_{ss1}$ - відносна розмірність підсистеми №1, кількість модулів підсистеми №1 - m_1, кількість переходів підсистеми №1 - z_1.

При цьому основна система вміщує 4 функціональних модулі які відпрацьовують 10 переходів, то її відносна розмірність, з урахування доданих двох переходів для вмикання/вимикання макромодуля і для самого макромодуля як елемента системи складатиме:

$$\tilde{N}_{s\_var1} = (z_s + 2) * (m_s + 1) = 12 * 5 = 60,$$

де $\tilde{N}_{s\_var1}$ - відносна розмірність системи з одним макромодулем (варіант 1), кількість модулів системи m_s, кількість переходів підсистеми z_s.

Тоді відносна розмірність всієї системи, побудованої з одним макромодулем, отримає наступне значення:

$$\tilde{N}_{s+m1} = (z_s + 2) * (m_s + 1) + z_1 * m_1 = 12 * 5 + 8 * 7 = 116,$$

де $\tilde{N}_{s+m1}$ - відносна розмірність системи (варіант 1) з одним макромодулем.

Ця сама система, побудована у варіанті без підсистеми-макромодуля, має виконувати ті самі функції. Загальна кількість переходів дорівнює сумі кількості переходів в роботі підсистеми і кількості переходів в основній системі, за виключенням переходів вмикання/вимикання макромодуля. Кількість модулів в однорідній системі дорівнюватиме сумі кількості модулів підсистеми і кількості модулів основної системи без врахування макромодуля. Тоді відносна розмірність однорідної системи, отримає наступне значення:

$$\tilde{N}_{scom} = (z_s + z_1) * (m_s + m_1) = (10 + 7) * (8 + 4) = 204,$$

де $\tilde{N}_{scom}$ - відносна розмірність однорідної системи (варіант 1).

Для розглянутого прикладу з однією підсистемою-макромодулем зменшення відносної розмірності системи за рахунок відокремлення одного макромодуля складає 76%. Отриманий показник характеризує тільки складність аналізу збільшеної за розміром системи, але він не враховує об’єм додаткових

задач щодо процедури синтезу, складання і налагодження системи (табл. 1.7).

Таблиця 1.7

Порівняльні показники варіанту 1

Показник	Однорідна система	Система з макромодулем
Кількість переходів	17	12+7=19
Кількість модулів	12	(4+1) + 8 =13
Відносна розмірність	17*12=204	12*5+8*7=116

Припустимо що побудована аналогічна система, яка має такі самі параметри але вміщує один макромодуль двократної дії.

Показники макромодуля залишаються без змін і відносна розмірність підсистеми-макромодуля становитиме:

$$\tilde{N}_{ss1} = z_1 * m_1 = 8 * 7 = 56.$$

В основну систему, що вміщує 4 функціональних модулі, які відпрацьовують 10 переходів, додаються ще 4 переходи для двократного вмикання/вимикання макромодуля:

$$\tilde{N}_{s\_var2} = (z_s + 4) * (m_s + 1) = 14 * 5 = 70.$$

Тоді відносна розмірність системи, побудованої з макромодулем двократної дії, дорівнює сумі показників системи і макромодуля - підсистеми:

$$\tilde{N}_{s+m1*2} = (z_s + 4) * (m_s + 1) + z_1 * m_1 = 14 * 5 + 8 * 7 = 126.$$

Ця сама система, побудована у однорідному варіанті, має виконувати ті самі функції, що і основна система разом з макромодулем двократної дії. Загальна кількість переходів дорівнює сумі подвоєної кількості переходів в роботі підсистеми-макромодуля і кількості переходів в основній системі за виключенням 4-х переходів вмикання/вимикання макромодуля. Кількість модулів в однорідній системі дорівнюватиме сумі кількості модулів підсистеми і кількості модулів основної системи без врахування макромодуля. Тобто, кількість модулів збережеться з попереднього прикладу. Тоді відносна розмірність однорідної системи за другим варіантом отримає наступне значення:

$$\tilde{N}_{scom} = (z_s + z_1 * 2) * (m_s + m_1) = (10 + 14) * (8 + 4) = 288.$$

Для другого варіанту розглянутого прикладу, з однією підсистемою-макромодулем двократної дії, зменшення відносної розмірності системи складає 128%. Зауважимо, що ці додаткові або надлишкові 128% це не тільки складність системи керування та складність її тестування, і налагодження, але ще і витрачений час та підвищена кваліфікація розробника, вартість додаткового обладнання у разі використання засобів пневмоавтоматики чи гідроавтоматики (табл. 1.8).

Таблиця 1.8

Порівняльні показники варіанту 2

Показник	Однорідна система	Система з макромодулем двократної дії
Кількість переходів	28	12+7=19
Кількість модулів	12	(4+1) + 8 =13
Відносна розмірність	28*12=288	14*5+8*7=126

Реалізація. Розглянемо приклад автоматизованої виробничої ланки, що виконує дві технологічних операції і використовує маніпулятор для перевантаження деталі між позиціями завантаження, обробки та відвантаження (рис. 1.27, табл.1.9).

До складу системи входять:

- маніпулятор: модулі 1 (горизонтальне позиціонування), модуль 3 (вертикальне переміщення), 4 (вакуумний схват), модуль 5 (неповоротний привід);
- пристрій повернення маніпулятора в позицію завантаження (модуль 2);
- технологічні пристрої (модулі 6 і 7);
- допоміжних пристрої (модулі 8 і 9 - затискачі, модуль 10 - екстрактор).

За технічним завданням система відпрацьовує наступний процес:

- завантажити заготовку з бункера, позиція О, на робочу позицію А,
- затиснути заготовку,
- обробити заготовку за першою технологічною операцією,
- вивільнити заготовку,
- перемістити заготовку на робочу позицію В,
- затиснути заготовку,
- обробити заготовку за другою технологічною операцією,
- вивільнити заготовку,
- перемістити виріб на позицію відвантаження С,
- видалити виріб.

В технологічному процесі тричі використано маніпулятор, при чому всі три рази він виконує однакові функції. Основна дія макромодуля – захопити деталь чи виріб на поточній позиції. Зворотна дія макромодуля – відвантажити деталь чи виріб на наступну позицію.

Основна і зворотна дії утворюють цикл, за яким деталь поступово проходить через позиції завантаження, технологічних операцій А і В, позиції відвантаження. Макромодуль складають чотири виконавчих пристрої, за якими побудовано 4 модулі: багатопозиційний привід горизонтальної подачі (модуль 1), привід вертикальної подачі (модуль 3), привід схвату (модуль 4), поворотний привід орієнтації схвату (модуль 5).

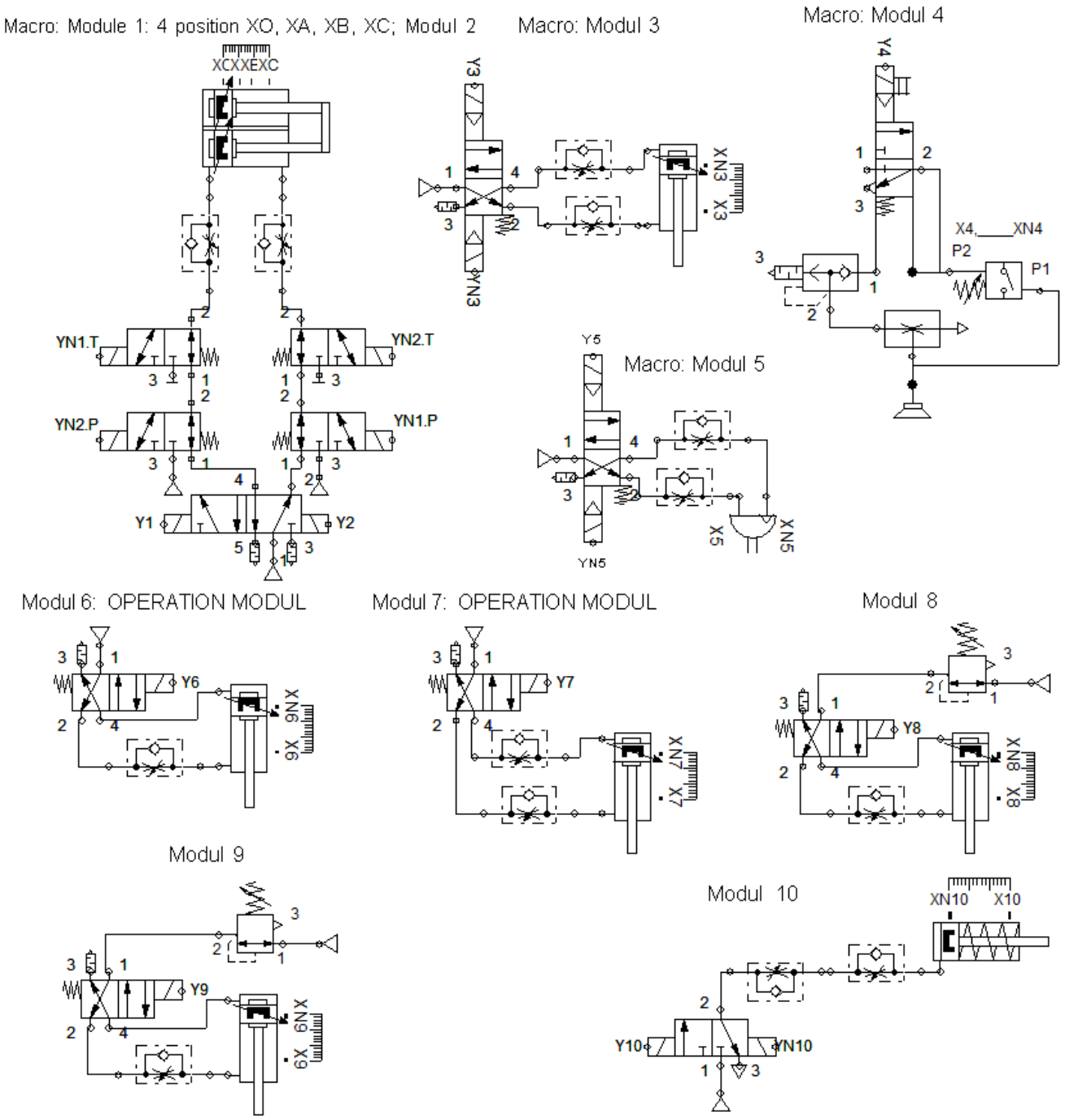


Рис.1.27. Комплект функціональних модулів для прикладу системи з макромодулем трикратної дії: макромодуль маніпулятора – модулі 1, 3, 4 і 5, модуль повернення маніпулятора в позицію завантаження – модуль 2, модулі виконання технологічних операцій – модулі 6 і 7, допоміжні модулі-фіксатори – модулі 8 і 9, допоміжний модуль видалення виробу з системи – модуль 10

Оскільки привід горизонтальної подачі є багатопозиційним, то його опис в системі утворюють два модулі 1 і 2, але тільки модуль 1 належить до макромодуля. Модуль 2, який повертає схват в позицію завантаження, не є модулем багатократного використання і він не належить до макромодуля.

Основна дія макромодуля в розгорнутому вигляді: опустити схват,

захопити деталь чи виріб, підняти схват, розвернути деталь для технологічного оброблення: 3 – 4 – N3 – 5 .

Таблиця 1.9

Склад основної системи автоматизованої виробничої ланки

Модуль в складі Макро-модуля М1	Виконавчій пристрій	Тип керуюч. пристр. Познач. сигналів	Тип контр. пристр. осн. ком. Познач. сигналів	Тип контр. пристр. звор. Ком. Познач. Сигналів	Вихідний стан виконавч. пристрою	Примітка
М1	Маніпулятор пневматичний двокоординатний, модулі 1,3.4,5	Локальна система керування Y_{M1} , Y_{NM1}	Логічні умови $X_{\bar{3}} * X_5 * X_4$	Логічні умови $X_{\bar{3}} * X_{\bar{5}} * X_{\bar{4}}$	Позиція завантаження	
6	Циліндр двосторонньої дії	Клапан 4/2 моностабільний, Y_6	Геркон X_6	Геркон $X_{\bar{6}}$	Шток циліндру втягнуто	Дросель налашто-вано на швидкість 0,0015 м/с
7	Циліндр двосторонньої дії	Клапан 4/2 моностабільний, Y_7	Геркон X_7	Геркон $X_{\bar{7}}$	Шток циліндру втягнуто	Дроселі налашто-вано на швидкість 0,001 м/с і 0,0005 м/с
8	Циліндр двосторонньої дії	Клапан 4/2 моностабільний, Y_8	Геркон X_8	Геркон $X_{\bar{8}}$	Шток циліндру втягнуто	Дросель налашто-вано на швидкість 0,003 м/с Тиск 3,5bar
9	Циліндр двосторонньої дії	Клапан 4/2 моностабільний, Y_9	Геркон X_9	Геркон $X_{\bar{9}}$	Шток циліндру втягнуто	Дроселіь налашто-вано на швидкість 0,002 м/с Тиск 3,0bar
10	Циліндр односторонньої дії	Клапан 3/2 бістабільний, Y_{10} , $Y_{\bar{10}}$	Геркон X_{10}	Геркон $X_{\bar{10}}$	Шток циліндру втягнуто	Дроселі налашто-вано на швидкість 0,005 м/с

Зворотна дія макромодуля в розгорнутому вигляді: перемістити схват до позиції відвантаження (або A, або B, або C), опустити схват, вивільнити заготовку, підняти схват, повернути схват у початкове положення:

$$1(A,B,C) - N1 - 3 - N4 - N3 - N5 \ .$$

Відповідно до необхідних дій підбираємо склад макромодуля (табл. 1.9, 1.10) і склад системи (рис. 1.27).

Оскільки макромодуль не має певного виконавчого пристрою, то сигнали команд на вмикання основної і зворотної дій макромодуля мають бути залучені на початок послідовності дій модулів при відпрацювання основної і зворотної дій, а саме:

$$YM1 \ - \ 3 - 4 - N3 - 5;$$

$$YNM1 \ - \ 1(A,B,C) - N1 - 3 - N4 - N3 - N5 \ .$$

Таблиця 1.10

Склад макромодуля пневматичного маніпулятора

Модуль в складі Макро-модуля M1	Виконавчій пристрій	Тип керуюч. пристр. Познач. сигналів	Тип контр. пристр. осн. ком. Познач. сигналів	Тип контр. пристр. звор. Ком. Познач. Сигналів	Вихідний стан виконавч. пристрою	Примітка
1	№1M1 Циліндр горизонтальний 2-стор. Рух вперед	Клапан 5/3 моностабільний, Два клапани 3/2 моностабільні Y_{1M1}, Y_{N1M1P}, Y_{N1M1T}	Кінцеві вимикачі X_{1M1A}, X_{1M1B}, X_{1M1C}	Опосередковано $X_{\overline{1M1}} = \overline{Y}_{1M1}$	Ліве положення поршня	Дросель налаштовано на швидкість 0,02 м/с
2	№2M1 Циліндр горизонтальний 2-стор. Рух повернення	Клапан 5/3 моностабільний, Два клапани 3/2 моностабільні Y_{2M1}, Y_{N2M1P}, Y_{N2M1T}	Кінцевий вимикач $X_{2M1} = X_{2M1O}$	Опосередковано $X_{\overline{2M1}} = \overline{Y}_{2M1}$	Шток циліндру втягнуто	Дросель налаштовано на швидкість 0,02 м/с
Модуль в складі Макро-модуля M1	Виконавчій пристрій	Тип керуюч. пристр. Познач. сигналів	Тип контр. пристр. осн. ком. Познач. сигналів	Тип контр. пристр. звор. Ком. Познач. Сигналів	Вихідний стан виконавч. пристрою	Примітка
3	№3M1 Циліндр вертикальний 2-стор.	Клапан 5/2 бістабільний Y_{3M1}, $Y_{\overline{3M1}}$	Реле тиску, - 0,01 МПа X_{3M1}	Геркон, $X_{\overline{3M1}}$	Шток циліндру втягнуто	Реле тиску налаштовано на 0,05 МПа

Продовження табл.1.10

4	№4М1 Схват (вакуумний захоплювач)	Клапан 3/2 моностабіль-ний Y_{4M1}	Реле тиску, прямий вихід X_{4M1}	Опосередковано : $X_{\overline{4M1}} = \overline{X}_{4M1}$	Ежектор вимкнено	Реле тиску налаштовано на -0,005 bar
5	№5М1 Поворот (циліндр неповноповоротний)	Клапан 5/2 бістабільний Y_{5M1} , $Y_{\overline{5M1}}$	Геркон X_{5M1}	Геркон $X_{\overline{5M1}}$	Лівий поворот	Циліндр з регульованими демпферами

Так само, засоби контролю відпрацювання основної і зворотної дій макромодуля не тотожні спрацюванню будь-якого датчика. Індикатори завершення дій макромодуля мають вигляд логічних умов, що однозначно визначають факт завершення відповідної послідовності дій. Ці логічні умови повинні мати змістовне наповнення відповідно до функцій макромодуля і мають вигляд логічних виразів з сигналів датчиків і, можливо, команд.

Для основної дії макромодуля – захоплення деталі в поточній позиції – необхідними умовами контролю її відпрацювання є верхнє положення схвата та розвернута деталь при увімкненому вакуумі, тобто:

$$XM1 = XN3 * X5 * X4.$$

Для зворотної дії макромодуля – вивільнення деталі в наступній позиції – необхідними умовами контролю її відпрацювання є верхнє положення схвата та розвернутий схват для захоплення наступної деталі при вимкненому вакуумі, тобто:

$$XNM1 = XN3 * XN5 * XN4.$$

Процес відпрацювання технологічного циклу однорідною системою матиме наступний опис:

3 – 4 – N3 – 5 – 1(A) – N1 – 3 – N4 – N3 – N5 – 8 – 6 – N6 – N8 – 3 – 4 – N3 – 5 – 1(B) – N1 – 3 – N4 – N3 – N5 – 9 – 7 – N7 – N9 – 3 – 4 – N3 – 5 – 1(C) – N1 – 3 – N4 – N3 – N5 – 10 – N10 – 2(O) – N2 .

В роботі системи задіяно 10 модулів, а протяжність процесу складає 42 переходи.

Процес відпрацювання того самого технологічного циклу системою з макромодулем трикратної дії вміщуватиме основну М1 і зворотну NM1 дії макромодуля.

Тобто, замість 3 – 4 – N3 – 5 матиме місце основна дія М1, а замість 1(A) – N1 – 3 – N4 – N3 – N5 матиме місце зворотна дія макромодуля NM1. Отримуємо послідовність дій системи з макромодулем трикратної дії:

M1 – NM1(A) – 8 – 6 – N6 – N8 – M1 – NM1(B) – 9 – 7 – N7 – N9 – M1 – NM1(C) – 10 – N10 – 2(O) – N2

В роботі системи з макромодулем задіяно 6 модулів (2, 6, 7, 8, 9, 10) і один макромодуль (М1), тобто загалом 7 модулів. Протяжність процесу складає 18 переходів.

В роботі макромодуля задіяно 4 модулі (1, 3, 4, 5), а технологічний цикл макромодуля має вигляд:

3 – 4 – N3 – 5 – 1(A,B,C) – N1 – 3 – N4 – N3 – N5.

Протяжність циклу макромодуля складає 10 переходів.

За отриманими даними порівнюємо відносну розмірність однорідної системи і системи з макромодулем трикратної дії (табл. 1.11).

Таблиця 1.11

Порівняльні показники прикладу з маніпулятором

Показник	Однорідна система	Система з макромодулем маніпулятора
Кількість переходів	42	18+10=28
Кількість модулів	10	(6+1) + 4 =11
Відносна розмірність	42*10=420	18*7+10*4=166

Для варіанту системи з одним макромодулем трикратної дії зменшення відносної розмірності системи складає 153%. Тобто, навіть для такої нескладної системи кількість логічних зв'язків в алгоритмі керування або в апаратній системі керування зменшується в 2,5 рази.

Ефективність створення макромодуля Для розробника це означає, що йому потрібно витратити час на виконання синтезу логічних функцій, їх мінімізацію, їх тестування, і цей час можна оцінити кількістю розглянутих функцій. Застосування макромодуля призводить до зменшення кількісті необхідних перевірок логічних функцій в 2,5 рази. Тобто відносне скорочення витраченого часу на тестування можна оцінити:

$$\tilde{t}_{sin\,t} = \frac{t_{cont}^{sin\,t}}{t_{modul}^{sin\,t}} = \tilde{t}_{test} = \frac{t_{cont}^{test}}{t_{modul}^{test}} = 2{,}5, \qquad (1.13)$$

де $\tilde{t}_{sin\,t}$ - відносне скорочення часу на синтез логічних функцій, $\tilde{t}_{test}$ - відносне скорочення часу на тестування логічних функцій, $t_{cont}^{sin\,t}$ - витрачений час на синтез однорідної системи, $t_{modul}^{sin\,t}$ - витрачений час на синтез системи з макромодулями.

Наслідком цього можна вважати пропорційне скорочення часу розробки, зменшення часу тестувань, пропорційне зменшення кількості технічних помилок при розробці, тестуванні, укладанні алгоритму керування та часу на їх виправлення. Загальне зменшення часу розробки, з використанням макромодульного підходу, можна оцінити наступним чином:

$$\tilde{t} = t_{cont} \Big/ t_{modul} = \tilde{t}_{sin\,t} \frac{t_{cont}^{sin\,t}}{t_{modul}^{sin\,t}} + \tilde{t}_{test} \frac{t_{cont}^{test}}{t_{modul}^{test}} + \tilde{t}_{mistake} \frac{t_{cont}^{mistake}}{t_{modul}^{mistake}}, \quad (1.14)$$

де $\tilde{t}_{sin\,t}, \tilde{t}_{test}, \tilde{t}_{mistake}$ - відсоток часу розробки, що припадає на синтез $\tilde{t}_{sin\,t}$ (5 – 15%), тестування $\tilde{t}_{test}$ (60 – 90%) і виправлення помилок $\tilde{t}_{mistake} = 100\% - (\tilde{t}_{sin\,t} + \tilde{t}_{test})$ (до 30%).

Час на виправлення помилок, що виникли при синтезі системи, має додаткове скорочення через зменшення розмірності об'єктів (системи чи макромодуля), в яких виконується коригування.

Наведені дані і залежності (1.12 – 1.14) дозволяють виконати приблизну кількісну оцінку спрощення задачі синтезу однорідної системи при її декомпозиції на макромодулі ще до розробки принципових структурних рішень.

Оскільки мехатронні системи підпорядковані властивостям обладнання і технологічного процесу, то довільний розподіл системи на задану кількість макромодулів та бажану розмірність макромодулів є не реальним.

Відокремлення макромодулів, як правило, має змістовне підґрунтя, яке визначає і кількість макромодулів, і їх розмірності, як було в прикладі з маніпулятором, і кваліфікація розробника. Тобто показник ефективності декомпозиції полягатиме в скороченні термінів розробки та можливості автоматизації більших за масштабним фактором процесів. Цей показник буде формуватися для кожної практичної системи за її вихідними даними та задіяним обладнанням та необхідними функціями.

На практиці використання макромодулів дозволяє зменшити вплив масштабного фактору на час розробки багатоелементних систем та понизити їх умовну розмірність, шляхом виключення логічних зв'язків між складовими макромодулів і складовими основної системи.

Відокремлення складних функцій з системи до макромодуля спрощує зовнішню систему і дозволяє використовувати типові, перевірені на практиці, макромодулі при розробці нових технічних рішень.

2. МЕТОДИКИ ЦИКЛІЧНО-МОДУЛЬНОГО СИНТЕЗУ СИСТЕМ МЕХАТРОНІКИ

2.1. МЕТОДИКИ СИНТЕЗУ СИСТЕМ, ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

В основу методичного забезпечення структурного синтезу покладено розподіл розроблюваних систем на **класи складності**. Ці класи задають певні властивості розроблюваній системі і, одночасно, мають особливості щодо складу систем, їх структури і методики розробки і проектування [96, 160]. Кожний наступний клас зберігає всі можливості попередніх класів і додає нові функції і властивості системі.

Перший клас – це послідовні циклові системи з модулями однократної дії. Тобто, кожний модуль системи за один технологічний цикл виконує один раз основну дію і один раз зворотну дію. В кожний момент роботи системи відпрацьовує дію тільки одна дія і працює тільки один модуль. Ці системи є найпростішими в розробці, але відрізняються завищеною вартістю технічної реалізації, зниженою продуктивністю, відсутністю функцій автоматичної адаптації чи налаштування.

Другий клас – це послідовні циклові системи з модулями багатократної дії. Тобто, є один чи більше модулів системи, що виконують декілька разів за один технологічний цикл як основну дію, так і зворотну дію. В кожний момент роботи системи працює тільки один модуль (послідовні). Ці системи є складнішими в розробці, але надають можливість багатократного використання вартісного обладнання. Як і в системах першого класу - знижена продуктивність, відсутні функції автоматичної адаптації чи налаштування.

Третій клас – це асинхронні циклові системи з модулями як багатократної, так і однократної дії. Тобто, є один чи більше відрізків процесу роботи системи, під час яких одночасно працює декілька модулів. Системи названо асинхронними тому, що модулі, які працюють одночасно, не синхронізовані в своїх діях, але команду на початок дії отримують одночасно. На відміну від систем 1-го і 2-го класів в системах третього класу підвищена продуктивність (зменшено час технологічного циклу завдяки суміщенню у часі дій модулів), але відсутні функції автоматичної адаптації чи налаштування.

Четвертий клас – це мультипроцесні замкнені системи з модулями багатократної чи однократної дії. Процес роботи системи має розгалужену на окремі паралельні у часі підпроцеси структуру. Підпроцеси виконуються одночасно і мають один початок і спільне завершення, але впродовж підпроцесів вони ніяк не впливають один на одного. Кількість підпроцесів необмежена. В кожному підпроцесі має бути хоча би два послідовних відрізки. Загальна структура процесу замкнена (початок співпадає із завершенням). На відміну від систем 1-го, 2-го і 3-го класів системи четвертого класу не є цикловими, в них ще підвищена продуктивність (зменшено час технологічного циклу завдяки суміщенню у часі підпроцесів), але відсутні функції автоматичної адаптації чи налаштування.

П’ятий клас – це альтернативні замкнені системи. Процес роботи системи має альтернативні підпроцеси, об’єднані в замкнену структуру. Система, за допомогою чутливих модулів, обирає потрібну альтернативу для виконання. Кількість альтернатив необмежена. В кожному альтернативному процесі має бути хоча би 3 послідовних відрізки. Загальна структура процесу замкнена (початок співпадає із завершенням). На відміну від систем 1-го, 2-го, 3-го і 4 класів системи п’ятого класу надають функції автоматичної адаптації до зміни умов чи режимів використання і надають можливість налаштування на випуск декількох видів продукції.

Шостий клас – це ймовірнісно-альтернативні системи. Процес роботи системи має ймовірнісне визначення альтернативних підпроцесів. Система, за допомогою алгоритму підрахунку вдалих і невдалих спроб свого попереднього використання, визначає ймовірність вдалого результату наступної спроби. Кількість альтернатив необмежена. В кожній альтернативі має бути хоча би 3 послідовних відрізки процесу. Загальна структура процесу замкнена (початок співпадає із завершенням). На відміну від раніш розглянутих, системи шостого класу надають функції автоматичного врахування попереднього досвіду роботи і формують логічні вирази команд в частково невизначених умовах.

Циклові системи (1-го … 3-го класів) утворюють підклас найпростіших циклових систем в засобах автоматизації. Їх визначальна відмінність полягає в тому, що на кожному переході системи (кроці) задіяно один модуль або групу модулів що одночасно виконують свої дії. Усі модулі системи, що не належать до цієї групи, зберігають свій попередній стан, доки не завершиться остання дія з групи задіяних модулів. Ця особливість надає можливість встановлення чіткого логічного зв’язку між попередніми і наступними діями системи, що вміщує асинхронні виконавчі пристрої. На момент початку наступного переходу системи, всі дії модулів задіяних в попередньому переході, завершені. Таким чином, на момент завершення попереднього переходу та автоматизованого прийняття рішень щодо вибору дій для наступного переходу всі модулі системи знаходяться в фіксованому (не перехідному) стані. Тобто, на основі статичного стану системи, за правилами чіткої логіки, можуть бути сформовані логічні умови для виконання дій системи на наступному переході, і так далі до завершення технологічного циклу.

2.1.1. Формалізація завдання, побудова функціональних модулів і графу системи, загальні положення

Перший етап є і незначущим і непримітним, але припущені на ньому помилки складають найбільші проблеми та є найбільш витратними і у вартісному, і у часовому вимірах. Але зрозуміти це у повній мірі можна тільки після створення і експлуатації розроблюваного об’єкту шляхом аналізу та відновлення історії його створення.

Особливість першого етапу - це рекурентний алгоритм його виконання. Створення системи полягає в пошуку компромісу між доступними технічними засобами і бажаними автоматизованими функціями об’єкту. Однозначної

відповідності між потрібними функціями і технічними засобами, як правило, не існує [142, 146]. Функції реальної системи є набагато складнішими, специфічними і непередбачуваними у порівнянні з можливостями окремих технічних пристроїв і агрегатів. Для забезпечення цих функцій необхідне додаткове обладнання і змістовне об'єднання дій декількох технічних засобів, при тому, що деякі відомі функції цих пристроїв залишаються невикористаними.

Етап 1: формалізація постановки задачі. На початку першого етапу постає наступне питання – виконання яких функцій і в який послідовності зображає «очікувану» роботу розроблюваної системи?

А) Якщо відповідь відома, то можна переходити до першого пробігу рекурентної процедури – підібрати технічні засоби для виконання кожної з визначених функцій.

Б) Якщо відповідь відома тільки частково – для частини функцій відомі технічні засоби їх виконання. Тоді можна підібрати хоча би частину обладнання і тим самим скоротити поле застосування рекурентної функції. З врахуванням обраного обладнання «видалити» з «очікуваного» процесу роботи системи виконувані цим обладнанням функції. Таким чином формується перелік функцій з невідомими засобами технічної реалізації. Продовження пошуку технічних засобів можна поширити на інші напрямки специфічної техніки - авіація, відновлювана енергетика, медицина, транспортні засоби та ін.. Можливо знайти близьке за функціями обладнання чи технічне рішення, яке потребує доопрацювання. Якщо ні, то виникає необхідність розробки нових виконавчих пристроїв і засобів для виконання функцій, і тільки після цього повернення до пункту А), або відмова від автоматизації означених функцій.

В) Якщо позитивної відповіді не отримано, то, можливо, функції, які має виконувати об'єкт, визначені помилково чи некоректно. В такому випадку бажано відновити розгляд технічного завдання із самого початку. Якщо завдання витримало прискіпливу перевірку і функції вказано вірно, то складність задачі підвищується шляхом переходу від проектування системи до попереднього проектування нових агрегатів та пристроїв, що виконують означені функції.

Г) Якщо задовільної відповіді немає навіть після аналізу технічного завдання, то є можливість повернутися ще на один крок – розглянути очікувану продукцію або корисний ефект для отримання яких здійснюється розробка нового автоматизованого об'єкту. Підґрунтям для такого кроку може бути системний аналіз чи продуктивний підхід [96, 110, 112, 114, 160]. Після відпрацювання етапів виокремлення компонентів продукту, визначення відношень між компонентами та пріоритетів між відношеннями, розробник вдруге повернеться до початку першого етапу синтезу – пункту А.

Очікувані результати виконання першого етапу:

- комплект дій, на які може бути розкладено процес роботи системи;
- порядок пріоритетів між виконанням дій;
- комплект обладнання, виконавчі пристрої із засобами контролю і керування для відпрацювання дій, що забезпечують функції об'єкта;

- таблиця відповідностей:

функції системи	:	дії, що забезпечують функції
дії	:	виконавчі пристрої
виконавчі пристрої	:	засоби керування
виконавчі пристрої	:	засоби контролю;

- комплект функціональних модулів (виконавчий пристрій, керуючий пристрій, засоби контролю) відповідають комплекту дій.

Заповнення таблиць 2.1, 2.2 і 2.3 для всіх дій і функцій системи є формальною умовою для переходу до наступного етапу. На наступних етапах переважно будуть використані ті засоби, які згруповані в таблицях, а залучення інших пристроїв виявиться наслідком недостатнього аналізу завдання на розробку.

Таблиця 2.1

Дії, що забезпечують виконання функцій системи (приклад)

Функція	Дія 1.х	Дія 2.х	Дія 3.х	Дія 4.х	Дія 5.х	Дія 6.х	Дія 7.х	Дія 8.х
№1 Подача заготовки	Підвід маніпулятора до магазину 1.1.1	Опускання маніпулятора 1.2.1	Захват заготовки 1.3.1	Підні-мання і підвід маніпулятора до робочої позиції 1.4.1, 1.4.2	Опускання маніпулятора 1.5.1	Вивільнення заготовки 1.6.1	Підні-мання маніпулятора 1.7.1	Повернення маніпулятора до магазину 1.8.1
№2 Фіксація заготовки	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Етап 2: побудова структури процесу функціонування системи. Починаючи з 2-го етапу, за умов коректного виконання попередніх дій розробника і отримання повного опису системи, розробка переходить з площини технічного обладнання до площини процесу виконання дій та забезпечення функцій шляхом керованої і контрольованої взаємодії циклічних модулів (до етапу розробки принципових і монтажних схем, схем циклічних модулів та складання і налагодження системи).

Структура процесу функціонування системи (шар №2, рис. 1.15) має створюватись з виконанням наступних правил:

1. Структура повинна бути циклічною і орієнтованою на створення продукту (в більш загальному випадку - замкненою),

2. Структура має складатись з ланцюгів окремих дій модулів, або ланцюгів групових дій – асинхронних дій групи модулів (ім’я дій, табл. 2.3),

3. В замкнених спрямованих контурах структури основні і зворотні дії кожного модуля мають чергуватись (наприклад: $1-\cdots\bar{1}-\cdots 1-\cdots$),

4. В кожному спрямованому контурі структури повинна вміщуватись

однакова кількість основних і зворотних дій модулів, що задіяні в замкненому безальтернативному контурі процесу (наприклад: $1-\cdots\bar{1}-\cdots 1-\cdots\bar{1}-$ повернення до початку контуру).

Таблиця 2.2

Порядок відпрацювання дій системи (приклад)

Дія та її зміст	Абсолютний номер модуля, ім'я дії	Попередня дія	Наступна дія	Паралельні дії	Додаткові передумови для початку дії
Підвід маніпулятора до магазину Дія 1.1.1 (зворотна до 1.4.2)	№1 «1»	Повернення маніпулятора відвантаження Дія х.х.х; Номер модуля ___ Ім'я дії	Опускання маніпулятора Дія 1.2.1 Номер модуля Ім'я дії	Вивільнення готової деталі Дія х.х.х Номер модуля Ім'я дії	Наявність 2-х деталей в магазині: Сигнал датчику ХР._
Підвід маніпулятора до робочої позиції Дія 1.4.2 (зворотна до 1.1.1)	№1 «$\bar{1}$»	Підвід маніпулятора до магазину Дія 1.1.1 Номер модуля №1 Ім'я дії «1»	Опускання маніпулятора Дія 1.5.1 Номер модуля №_ Ім'я дії «_»	Піднімання маніпулятора відвантаження Дія х.х.х; Номер модуля №_ Ім'я дії «_»	Відсутність деталей на робочій поверхні: Інверсія сигналу від датчика ХВ._
.....	.....	.....	.....	.....	.....

Таблиця 2.3

Функціональні модулі для виконання дій системи (приклад)

Дія основна Ім'я	Дія зворотна Ім'я	Виконавчий пристрій	Керуючий пристрій основної дії	Керуючий пристрій зворотної дії	Контролюючий пристрій основної дії	Контролюючий пристрій зворотної дії	Додаткові пристрої основної дії	Додаткові пристрої зворотної дії
Підвід маніпулятора до магазину «1»	Підвід маніпулятора до робочої позиції «$\bar{1}$»	Безштоковий пневмоциліндр двосторонньої дії	Розподільники 5/3 + 3/2 З електромагнітним керуванням	Розподільник 5/3 з електромагнітним керуванням	Геркон	Оптичний датчик положення	Дросель із зворотнім клапаном	Відсутні

Зображення циклічної чи замкненої структури процесу у вигляді таблиць є недостатньо інформативним та має низьку інструментальну ефективність при розробці системи [64, 89, 90, 91, 93, 119]. Більше інформації можна зосередити в описі у формі орієнтованого графу або сітки, навантаженої по дугах. Навантаженням дуг виступають імена дій або груп одночасних (асинхронних)

дій (рис.2.1). Для зручності опису масштабних процесів бажано додатково вводити нумерацію дуг для подальшого посилання на номер дуги. Нумерацію зручніше проставляти біля вершин у спеціальному віконці.

Незважаючи на те, що граф циклічної системи має вигляд циклу, він має початок, який відповідає початку технологічного циклу. Тобто, є початкова дуга №1, з відпрацювання якої розпочинається процес функціонування системи. Наступні за першою дуги також отримують впорядковані номери.

У відповідність з табл. 2.2 для дії, віднесеної до першої дуги, є визначені наступні дії (одна або декілька, стовпчик 4). Ця дія також зображена маркованою дугою, і матиме номер на 1 більше, за попередню. Початок нової дуги співпадатиме із завершенням дуги №1, яка для неї стане попередньою.

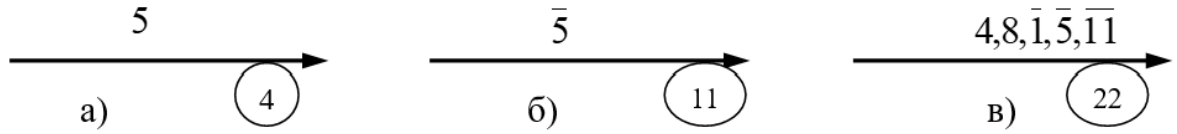


Рис. 2.1. Елементи структури процесу: а) – одинична основна дія (модуль 4); б) – одинична зворотна дія (модуль 4); в) – комплект асинхронних дій (основних – модулі 4 і 8, зворотних – модулі 1, 5 і 11), у «віконцях» біля вершин вказано номери дуг графу

Якщо за переходом з однією дією настає перехід з групою дій, то ці дії утворюють групу - комплект паралельних асинхронних дій (асинхронна система, рис. 2.2 а, б, в, д).

Якщо наступні дії неузгоджені між собою за завершенням переходу, то їм відповідають паралельні гілки графу, а система полишає клас послідовних і клас циклових, і належить до 4-го класу мультипроцесних систем (рис. 2.2 г).

Групу або комплект утворюють такі дії, для яких співпадають всі попередні дії (причини) і також співпадають всі наступні дії (наслідки). Імена всіх дій, що утворили групу, належать до маркування однієї дуги графа у вигляді переліку, через кому, і складають зміст одного переходу або кроку роботи (рис. 2.1., в).

Для циклових і послідовних систем процес функціонування має вигляд замкненого орієнтованого кола, що складено з орієнтованих дуг - переходів. Однак, на практиці, мають місце випадки, коли за одним результатом попереднього переходу розпочинаються декілька паралельних переходів, завершення яких не співпадає у часі і викликає різні наступні дії. Тоді, для відображення таких підпроцесів, застосовано окремі дуги, в маркуванні яких вказано ім’я наступних дій кожного з підпроцесів (системи 4-го класу). Наприклад, за діями, що вказано на попередньому переході (дузі графу), наступними є дії «6», «8», «11», «21» (рис.2.2 г). У відповідності з таблицею 2.2, аналогічною до рис. 2.2, для дій «6», «8» і «21» наступними діями є «5» і «9», а для дії «11» наступною є дія «12».

Тобто, з використанням причинно-наслідкових зв’язків, з кінцевої вершини мають розпочатись дві нові дуги або два переходи. На маркування першої з них припадають дії «6», «8», і «21» (група або комплект дій), а на

маркування другої – відповідно – дія «11» (рис.2.2 г). Однак, якщо система повинна за технічними вимогами бути цикловою, то групи дій, що припадають на паралельні дуги, мають об'єднатись в спільну групу (рис.2.2 д).

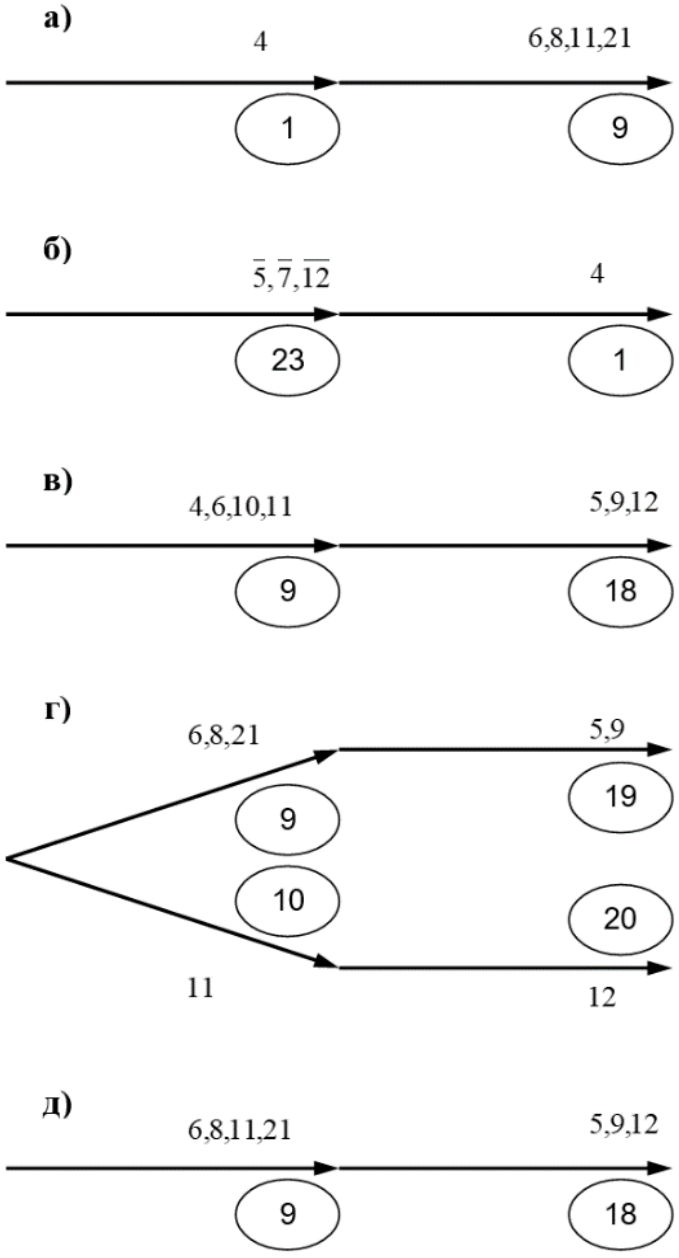


Рис. 2.2. Приклади зображення дуг графа циклової системи (а, б, в, д) і мультипроцесної системи (г) : а) – послідовне відпрацювання однієї дії і комплекту дій; б) – послідовне відпрацювання комплекту дій і однієї дії; в) – послідовне відпрацювання двох комплектів дій; г) – розгалуження одного процесу на два паралельних підпроцеси (мультипроцесна система); д) – перетворення мультипроцесної системи (в) до форми послідовної асинхронної системи

Аналогічно, якщо у декількох груп дій (дуг графа), що мають різні причини (попередні дуги), є спільний набір наступних дій, то кінцеві вершини попередніх дуг сходитимуться в одній вершині (рис.2.3). Тобто, відбувається злиття двох паралельних процесів (гілок графа) до одного процесу.

Особливий випадок, коли додаткові технологічні обмеження потребують суто циклової або послідовної структури процесу, паралельні гілки і відповідні

їм групи дій мають об’єднатись з визначенням спільних (хоча і надлишкових) для обох гілок причин (рис. 2.3. б).

Наведені (рис. 2.2, рис. 2.3) варіанти впорядкування дій складають інструментальні засоби побудови функціонального графу системи. Для систем з фіксованою кількістю виконавчих пристроїв і їх дій, а також відомою їх впорядкованістю (технологія формування виробу) інформація, що надана в таблиці 2.2, має бути представлена у графічній формі засобами (рис. 2.2, 2.3). Опис процесу матиме вигляд циклового одноконтурного орієнтованого графу або мультипроцесного графу з паралельними гілками.

В маркуваннях дуг відображено ім’я виконуваних дій, їх напрямок вказано орієнтацією дуг, причинно-наслідкове з’єднання дій припадає на вершини графу. В результаті формалізації отримуємо опис системи, аналогічний до впорядкування (рис. 1.13 1.15).

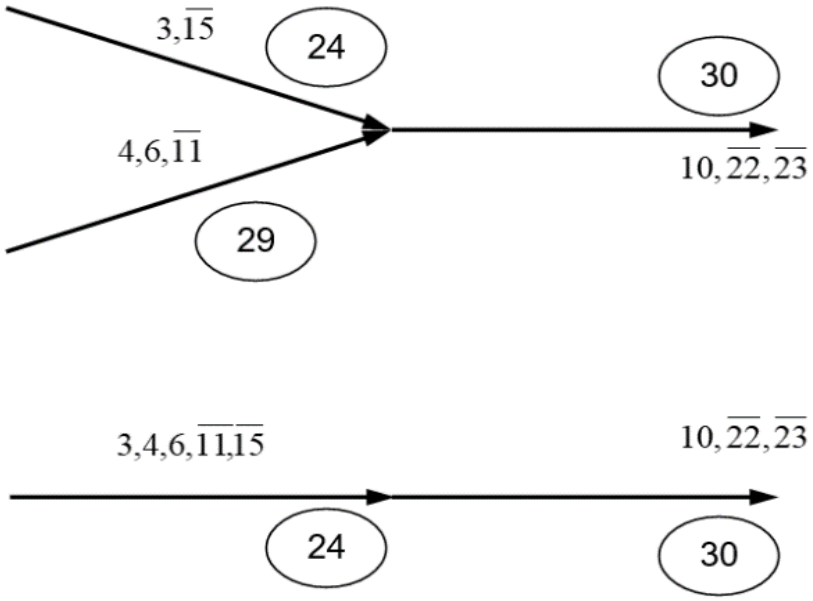


Рис. 2.3. Приклад зображення фрагменту процесу: а) мультипроцесне відпрацювання двох груп дій зі спільним комплектом наступних дій (дуга 30); б) послідовне відпрацювання об’єднаної групи дій (дуга 24 і дуга 29) і групи дій з дуги 30

Побудова циклічної структури «очікуваного процесу», дозволяє виконати перевірку, чи є така структура достатньою для коректного переходу до технічних засобів реалізації.

Під визначенням «коректний перехід» розуміємо набір умов і традицій, що існують в технічній галузі, загальні системні положення, спільний простір для дій різних модулів, спільний об’єкт застосування, особливості енергозабезпечення і багато інших умов, які не відзначені в формальному описі, а можливо, і не можуть бути відзначені в структурах продукту і процесу на обраному рівні абстрагування. Але, не торкаючись фахових особливостей різних напрямків застосування техніки (медицина, авіація, життєзабезпечення і кондиціонування, машинобудування і т. ін.), можна скористатись узагальненими властивостями розроблюваної системи.

Тестування циклічності та замкненості процесу

Гіпотеза. Процес роботи системи може бути зображено у вигляді замкненого циклу або замкненого орієнтованого графу чи мережі (технологічний процес вироблення продукції). Після відпрацювання графу чи мережі система має повернутись в початковий стан. Якщо вважати, що поточний стан системи це об'єднання поточних станів всіх її модулів, то повернення системи в початковий стан тотожне поверненню всіх модулів в їх початковий стан. Тобто, якщо з циклічного чи замкненого процесу викреслити дії всіх модулів окрім дій одного модуля, то залишиться циклічна структура дій саме цього модуля у складі системи. В цій структурі, при її «прогонці» з будь якої точки, мають чергуватись основні та зворотні дії цього модуля.

У відповідності з пошаровою схемою (рис. 1.15), на переході від шару «А» до шару «Б» зростає кількість задіяних в описі системи компонентів. До кожної основної дії модуля (відношення компонентів в продукті) додається зворотна дія цього модуля. За гіпотезою взаємо-зворотні дії кожного модуля, при обході графу, мають почергово з'являтися на його дугах (див. шар «Б»).

Ієрархія переносу основних дій модулів з структури продукту до структури процесу та на функціональний граф чи мережу обумовлена пріоритетами відношень в структурі продукту. В той же час розташування на графі зворотних дій модулів не має однозначного впорядкування. Визначальними факторами щодо розташування зворотних дій модулів в процесі дій системи є наступні обмеження та побажання:

Обмеження:

- Всі основні і зворотні дії одного модуля повинні бути розташовані в одному замкненому контурі графу.
- В цьому контурі графу має бути однакова кількість основних і зворотних дій відповідного модуля (наприклад: $1-\cdots\bar{1}-\cdots 1-\cdots\bar{1}-$).
- Основні і зворотні дії модуля повинні чергуватись під час обходу контуру починаючи з будь якої дуги ($1-\cdots\bar{1}-\cdots 1-\cdots$).
- На одній дузі графу не можуть розташуватись дві дії одного модуля.
- Черговість зворотних дій модулів, що виконують допоміжні функції (подача заготовки, фіксація деталі, відвантаження виробу, вивільнення заготовки і т.д.) мають бути змістовно узгоджені з відпрацюванням основних дій, що формують відношення.
- Зворотні дії модулів, що відбуваються в спільному з роботою інших модулів просторі, повинні не заважати відпрацюванню їх дій.

Рекомендації:

- Бажано, щоб взаємо-зворотні дії одного модуля не було розташовано на суміжних дугах (дугах, що мають спільну вершину).
- Для зворотних дій великої тривалості, при обмеженні терміну відпрацювання всього циклу, бажано їх об'єднувати з виконанням інших дій значної тривалості.

- За тотожності всіх інших умов, бажано, щоб кількість дуг між основною дією і зворотною було наближеним до кількості дуг, розташованих між зворотною та основною діями цього модуля (дозволяє спростити логічні вирази команд керування).

2.1.2. Дослідження логічної визначеності систем, загальні положення

Логічна визначеність це перша системна властивість до якої звертається розробник нового об'єкту. Зміст логічної визначеності полягає в тому, що система автоматично має змогу визначити, на основі свого поточного стану, які дії мають бути наступними. Це має бути забезпечено для будь-якого проміжного стану системи впродовж технологічного циклу.

Передумовою для перевірки логічної визначеності є побудований формальний опис роботи системи. Логічна визначеність – це забезпечення системи достатньою інформацією для формування команд керування в будь якій ситуації, що передбачена автоматизованою в об'єкті технологією.

На цьому етапі здійснюється формальна перевірка повноти і коректності вихідних даних для розробки системи. Цих даних має бути достатньо для формування логічних умов для виконання основних і зворотних дій всіма модулями у повній відповідності до впорядкування операцій і дій в запропонованій технології.

Інколи, з причини професійних звичок, деякі моменти розробник замовчує, вважаючи що вони є всім зрозумілими, і тому ці моменти можуть бути відсутні у формальному описі системи. Але, наразі, йдеться про створення нової автономної системи, якій на формальному рівні невідомі традиції і досвід фахівця. Тобто, інформація, що цілком зрозуміла для фахівця, призводить автономну систему до повної невизначеності щодо обрання наступних дій в технологічному процесі. Саме на упередженнях щодо виникнення таких ситуацій у майбутньому ще на етапі проектування спрямовано розділ.

Точкою відліку дослідження логічної невизначеності є те, що побудована структура процесу функціонування системи (шар №2, рис. 1.15) може бути як інформаційно повною, так і інформаційно недостатньою для створення автоматизованого об'єкту. Точніше, побудувати об'єкт за наданою структурою процесу можливо, але очікувана від об'єкта робота щодо виробничого процесу не відбуватиметься за незрозумілих для розробника причин. Саме такою причиною є відсутність інформації для формування логічних зв'язків між попередніми і наступними діями системи. Тобто, в наслідок логічної невизначеності, неможливо встановити логічні зв'язки між різними етапами процесу виробництва, між діями модулів системи, між вмиканням і вимиканням основних і зворотних функцій модулів системи. Але навіть за хибними логічними функціями можливо побудувати технічну схему та алгоритм керування і всю систему, що правда вона не відповідатиме очікуванням розробника. Тоді питання «чому система не працює так, як ми її зробили» потребує вже не теоретичного дослідження і рішення, а призведе до технічної реконструкції ще не побудованого об'єкту.

Застосування циклічно-модульного підходу розподіляє всі елементи системи, що задіяні в циклічному випуску продукції, за функціональними модулями. Це стосується як механічних та технологічних пристроїв і агрегатів, так і інформаційних компонентів, таких, як прапор (елемент пам'яті, тригер), таймер, лічильник, регістр, підпрограма, підпрограма функція і інших [95, 96, 102, 105, 107, 108, 109].

Етап дослідження логічної визначеності спирається на використання такої інформаційної моделі системи, до якої належать тільки функціональні модулі системи. При цьому всі модулі представлено (у тому числі і інформаційні компоненти) як бінарні елементи пам'яті, наприклад:

1. Обертання:	1: увімкнене і виконано	0: вимкнено і зупинене
2. Підйом	1: увімкнене і підняте	0: опущено і вимкнено
3. Поворот	1: увімкнене і обернено	0: повернуто і вимкнено
4. Фіксатор	1: увімкнене і зафіксовано	0: вивільнено і вимкнуто
5. Сенсор	1: увімкнене	0: вимкнено
6. Агрегат	1: увімкнене і відпрацьовано	0: вимкнено і зупинене
7. Прапор	1: увімкнене	0: вимкнено
8. Підпрограма	1: увімкнене і відпрацьовано	0: вимкнено і зупинене

З використанням позначень і врахуванням їх змісту фрагмент процесу функціонування системи може бути формально зображено наступним чином:

2: Підйом $\Rightarrow$ 4. Фіксація $\Rightarrow$ 5. Увімкнути сенсор $\Rightarrow$ 8. Програма $\Rightarrow$ 1. Обертання $\Rightarrow$ 1. Зупинка $\Rightarrow$ 8. Вимкнена $\Rightarrow$ 4. Вивільнено, 5. Вимкнено $\Rightarrow$ 2. Опущено

Наведений формальний перехід призводить до однорідного опису як механічні пристрої, засоби контролю і керування, так і компоненти алгоритмів керування, тобто надає можливість дослідити логічну визначеність об'єднаної інформаційно-електронно-механічної системи.

За межами об'єднаної моделі не існує інших інформаційних джерел для уточнення або визначення необхідних наступних дій в системі. Найголовніше – в системі немає додаткових джерел інформації, придатних для визначення, що саме системою було зроблено в попередній період, окрім поточного стану системи. Таким чином, єдиним автономним джерелом інформації щодо попередніх і поточних дій системи є стан всіх її модулів, а саме – перехідний, кінцевий, початковий.

Базовим поняттям при вирішенні цього питання є пам'ять системи. По-перше – інколи під цим визначенням розуміють певний технічний блок пам'яті або масив даних. При циклічно-модульному підході немає розподілу системи на об'єкт керування, систему керування і блок пам'яті. Після формального опису модулів у формі бінарних змінних (як елементів пам'яті) вся система фактично перетворена на «блок пам'яті».

По-друге – циклічність функціонування асинхронної системи обумовлює певні особливості змін пам’яті. У циклічному процесі будь-яка точка може відігравати роль початку відліку. Тобто, значення пам’яті у будь-якому стані системи є відносна величина (відносна до початку відліку). Асинхронність модулів – елементів пам’яті – призводить до того, що більшу частину часу система знаходиться в перехідних станах – стан хоча б одного модуля є перехідний і не контрольований. Внаслідок цього, змінні фактично є не бінарними, а є визначеними на множині {«0», «* - невизначеність», «1»}.

Наступний крок – яким чином розрахувати пам'ять і як використати результати такого розрахунку?

Вихідними даними в описі системи є комплект з «n» модулів та порядок їх вмикання/вимикання в циклічному процесі. Якщо зафіксувати певний момент в роботі системи, то цим самим буде зафіксовано початкове значення всіх «n» змінних на множині {«0», «*», «1»} (стан елементів – вимкнено, невизначено (перехід), увімкнено). За таким сценарієм можна встановити початок відліку пам’яті, коли всі модулі мають стан «0». Надалі, під час дій системи та у відповідності з впорядкуванням дій модулів, змінні проходитимуть через значення «*» і отримуватимуть новий стан «1». Надалі, за умов, що передбачено вимикання модуля, змінна із значення «1» через перехідний та неконтрольований стан «*», прийме нове фіксоване значення «0».

В загальному випадку одночасне нульове «0» значення пам’яті всіх модулів засвідчує початок нового циклу в діях системи (циклічна або періодична функція, точка повернення). Якщо такі дії не відповідають очікуванням розробника, то можна припустити, що в системі не достатньо пам’яті для продовження запланованих дій. Наступним кроком має бути або нарощування пам’яті, або коригування впорядкованості дій модулів, або пошук помилок в постановці задачі.

Мета дослідження пам’яті – пошук сегментів процесу, які мають однакові значення пам’яті на початку та по завершенні (якщо початок сегменту прийняти за початок відліку, то «0» значення пам’яті по завершенні сегменту означає, що цього сегменту «в процесі не було»).

Окрім факту розрахунку пам’яті розробник має зробити цей розрахунок коректно і в найкоротший час. Кожного разу результат розрахунку визначає, що системою зроблено за час сегмента процесу, для якого цей розрахунок зроблено.

Задати певний сегмент можна двома точками на графі, які визначатимуть стан всіх модулів системи – початковим (всі модулі на початку сегмента) і поточним — поточний стан всіх модулів для будь-якої точки в середині сегменту. На графі цим точкам відповідатимуть вершини дуг з обраними номерами. Наявність нульової різниці між станами таких двох точок вказує, що по завершенні процесу на переході між цими точками, система потрапила в початкову вершину і процес буде поновлено по тільки пройденому сегменту. Тобто, утворюється скорочений внутрішній цикл. Чим більше дій і модулів в системі, тим складніше виконати повний розрахунок пам’яті для всіх можливих сегментів процесу, що призводить до виникнення задачі мінімізації.

Взагалі в процесі структурного синтезу, і окремо в задачі забезпечення

логічної визначеності для систем мехатроніки, задача мінімізації актуальна. В принципі опис системи може бути доповнено безліччю елементів пам'яті, розташованих так, що на кожному переході буде увімкнено тільки йому відповідний елемент пам'яті (тригер). Але такий підхід, успішно застосований в інформаційних моделях, не може бути використано в мехатроніці і в механіці особливо. Це пов'язано з декількома обставинами, такими, як асинхронність дій, яка не дозволяє використати тактову частоту, необхідність змістовного зв'язку між діями функціональних модулів, швидкодія технологічних процесів (на відміну від інформаційних).

Для мехатроніки питання мінімізації в задачах структурного синтезу торкається кількості елементів системи, кількості зв'язків між елементами, кількості компонентів в логічних умовах дій системи. Тобто, це склад системи (вартість однокоординатного маніпулятора незрівнянно вища за «вартість» мультибітової змінної в комп'ютері), кількість переходів в технологічному процесі (без застосування паралельних асинхронних дій тривалість процесу зростатиме в сотні і тисячі раз), кількість додаткових елементів пам'яті (пневматичний тригер коштує близько 10 доларів – чи це дорівнює однобітовій або бінарній змінній в алгоритмі?), та дечого іншого.

При циклічно-модульному підході структуру системи вирощують за декілька послідовних перетворень:

структура продукту → структура процесу → комплект модулів →
структура і склад модулів → структура системи.

Будь-яка надлишковість в моделі системи, що закладена на початкових етапах будови структури, безумовно примножується на всіх подальших етапах, що позначається як на ефективності технічного об'єкту, так і на його конкурентоспроможності і вартості. Першим етапом мінімізації охоплено формальні засоби позначення компонентів системи – модулі і все, що пов'язано з ними та структурою системи.

Для мінімізації формального опису поточного стану системи в масиві вихідної інформації ідентифікація «елементів пам'яті» (у формі яких зображено всі модулі системи) задана за допомогою НОМЕРА модуля, з позначкою інверсії (зворотна функція і все до неї) і без інверсії (основна функція і все до неї), наприклад:

Модуль	**основна функція**	**зворотна функція**
Обертання	1: увімкнено і виконано	$\bar{1}$: вимкнено і зупинено
Підйом	2: увімкнено і піднято	$\bar{2}$: опущено і вимкнено
Поворот	3: увімкнено і обернено	$\bar{3}$: повернуто і вимкнено
Фіксатор	4: увімкнено і зафіксовано	$\bar{4}$: вивільнено і вимкнуто
Сенсор	5: увімкнено	$\bar{5}$: вимкнено
Агрегат	6: увімкнено і відпрацьовано	$\bar{6}$: вимкнено і зупинено
Прапор	7: увімкнений	$\bar{7}$: вимкнений
Підпрограма	8: увімкнена і відпрацьована	$\bar{8}$: вимкнена і зупинена

Застосування наведених позначень перетворює попередній опис процесу у такий:

$$2 \Rightarrow 4 \Rightarrow 5 \Rightarrow 8 \Rightarrow 1 \Rightarrow \bar{1} \Rightarrow \bar{8} \Rightarrow \bar{4}, \bar{5} \Rightarrow \bar{2} .$$

Оскільки всі модулі системи надано в однаковій формі, і кожний модуль може бути увімкнено або вимкнено з перевіркою отриманого стану, то результат дій системи буде позначатися на змінах стану елементів пам'яті. Наприклад, сегмент процесу, що розпочинається після основної дії восьмого модуля і триває два переходи, матиме вигляд:

$$\Rightarrow 1 \Rightarrow \bar{1} .$$

Якщо зіставити з цими позначеннями зміст дій першого модуля, то отримаємо:

$\Rightarrow 1$: Обертання увімкнено $\Rightarrow \bar{1}$: обертання вимкнено і зупинено.

Проаналізуємо отриманий зміст з врахуванням контексту всієї системи. Перша дія (вмикання обертання) може бути виконана тільки якщо попередньо обертання було припинено, тобто модуль було вимкнено. Інакше обертання вже відбувається і його фізично неможливо розпочати. Тоді результат обраного сегменту в контексті системи матиме такий зміст:

1. Всі модулі, окрім першого, не виконують жодних дій;
2. Перший модуль на початку сегмента та наприкінці сегменту має однаковий (вимкнений) стан.

Отримуємо, що стан всіх модулів системи, включно із першим, є повністю тотожним на початку і наприкінці обраного сегменту. Тобто, якщо початок сегменту визначити як початок відліку пам'яті системи, то зростання пам'яті на довжині сегменту дорівнює нулю. Висновок – система ніяких функцій не виконала.

Проаналізуємо більш тривалий сегмент процесу з початком після основної дії четвертого модуля і завершенням після зворотної дії восьмого модуля:

$$\Rightarrow 5 \Rightarrow 8 \Rightarrow 1 \Rightarrow \bar{1} \Rightarrow \bar{8} .$$

Додаємо зміст виконаних модулями дій:

$\Rightarrow 5$: Сенсор увімкнено $\Rightarrow 8$: Програму увімкнено $\Rightarrow 1$: Обертання увімкнено $\Rightarrow \bar{1}$: Обертання вимкнено і зупинено $\Rightarrow \bar{8}$: Програму вимкнено.

Результат відпрацювання сегменту:

1. Всі модулі окрім першого, п'ятого і восьмого ніяких дій не виконують.
2. Перший модуль на початку та наприкінці сегменту знаходиться в однаковому вимкненому стані.
3. П'ятий модуль на початку сегмента мав вимкнений стан, а наприкінці сегменту має увімкнений стан.
4. Восьмий модуль на початку і наприкінці сегменту має однаковий вимкнений стан.

Отримуємо, що стан всіх модулів, окрім п'ятого, є однаковим на початку і наприкінці сегменту. Таким чином за станом п'ятого модуля можна відрізнити початок (5 вимкнено) і завершення (5 увімкнено) сегменту. Тобто додана пам'ять на довжині сегменту не дорівнює нулю. Для запису доданої пам'яті можна

скористатись як табличним, так і іншими засобами, наприклад, послідовним, символьним, векторним або іншим.

Для табличної форми опису, значення доданої пам’яті можна отримати як різницю (по-елементна симетрична різниця) початкового і кінцевого станів всіх модулів системи. Скористаємось символом «1» для увімкненого стану модулів та символом «0» для позначення вимкненого стану модулів у таблиці (табл. 2.4).

Таблиця. 2.4.

Приклад табличного опису пам’яті

№ модуля	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
перехід	значення пам’яті							
2-й	0	1	*	1	0	*	*	0
7-й	0	1	*	1	1	*	*	0
	додана пам'ять							
Δ(7-2)	0	0	_	0	1	_	_	0

Для визначення переваг варіанту запису пам’яті порівняємо результати табличного визначення та раніше виконаного послідовного, та оцінимо їх складність.

Результат, отриманий за результатами змістовного аналізу, майже дорівнює результату табличного розрахунку (останній рядок, табл. 2.4). Однак, в першому варіанті було визначено один елемент опису, який вказав модуль 5, що надав не нульову додану пам'ять. В рядку таблиці містяться дані щодо стану всієї системи, тобто, усіх елементів пам’яті. Тільки після розрахунку симетричної різниці за всіма модулями може бути визначено «0» або не «0» значення.

Таким чином, у більш загальному випадку та для довільного сегменту процесу, може існувати перелік модулів системи для яких стан на початку та стан наприкінці сегменту є однаковим (модулі 3, 6 і 7). Можливо, в системі відбуваються інші дії одночасно (паралельно) з обраним сегментом, можливо, деякі модулі за час обраного сегменту взагалі не змінюють свого стану. Як в першому, так і в другому випадку їх стан неможливо визначити за результатами аналізу обраного сегменту. Тобто, для розрахунку змін стану цих елементів по відношенню до обраного сегменту не може бути застосована функція симетричної різниці. Необхідно виконати додатковий аналіз отриманого в таблиці результату. Можливо, з’явиться необхідність використати функцію симетричної різниці для трійчатої абетка (0, 1, * - невизначеність).

Наблизити приклад до реальних систем допоможе врахування асинхронності дій модулів, що не було розглянуто в прикладі (табл. 2.4). Передумовою асинхронності є одночасне або паралельне виконання декількох дій. Така умова з’явиться, якщо подовжити сегмент ще на один перехід. Тоді в останньому переході сегменту «одночасно» відбувається виконання двох, не узгоджених у часі, дій $\Rightarrow \bar{4}, \bar{5}$. Як швидко і наскільки синхронно вони будуть

відпрацьовані невідомо, тобто, може бути будь-яке співвідношення термінів відпрацювання. У загальному випадку вважаємо, що кожна з дій може бути виконаною першою, останньою або одночасно з іншою дією. Тобто, на ці три випадки, необхідно врахувати три варіанти відпрацювання переходу:

$\Rightarrow \bar{4} \Rightarrow \bar{5}$, або $\Rightarrow \bar{4}, \bar{5},$ або $\Rightarrow \bar{5} \Rightarrow \bar{4}$ (табл. 2.5).

Таблиця 2.5.

Приклад табличного опису пам'яті

№ модуля	1	2	3	4	5	6	7	8
Перехід	Значення пам'яті							
2-й	0	1	*	1	0	*	*	0
8-й	0	1	*	0	1	*	*	0
8'-й	0	1	*	0	0	*	*	0
8"-й	0	1	*	1	0	*	*	0
	Додана пам'ять							
Δ (8-2)	0	0	_	1	1	_	_	0
Δ (8'-2)	0	0	_	1	0	_	_	0
Δ (8"-2)	0	0	_	0	0	_	_	0

При табличному описі переходу, якому відповідають декілька асинхронних дій (група або комплект), відбувається збільшення кількості рядків таблиці на $(2^n - 1)$ рядок, де n – кількість дій на переході.

Вказане збільшення кількості рядків у загальному випадку викликано невизначеним часом відпрацювання дій. Зауважимо, що невизначеність часу не завжди є наслідком дефіциту вихідних даних (наприклад, дія $\bar{4}$ відбувається повільніше за дію $\bar{5}$), але і поточними змінами фізичного стану пристроїв (розігрів рідини під час роботи зменшує гідравлічні опори, наслідком чого може бути зростання швидкості в декілька разів). Тобто, будь який рядок (стан системи) і додана пам'ять після його відпрацювання Δ(8-2), і Δ(8'-2), і Δ(8"-2) може бути визначальним при перевірці логічної визначеності системи.

В розглянутому прикладі комплект асинхронних дій припав на прикінцевий перехід сегменту процесу. Проте, асинхронний комплект може бути і на початковому переході сегменту. Це призведе до аналогічного зростання кількості рядків на початку таблиці на $(2^m - 1)$ рядок, де m – кількість дій на першому переході. Тоді кількість варіантів доданого значення пам'яті складатиме: $(2^n - 1)*(2^m - 1)$.

Оскільки в циклічно-модульній моделі процес дії системи має вигляд циклу, то початковий і прикінцевий переходи є взаємозамінними.

Однією з основних особливостей циклічно-модульного підходу є те, що основним ілюстративним засобом опису системи є дія, всі інші компоненти є похідними від дій, їх змісту, їх узгодженості. Так, зміна стану модулів з «0» на «1» відповідає відпрацюванню основної дії модуля. В реальній системі, що працює, майже не можливо відокремити таку мить, коли всі модулі знаходяться

в фіксованому статичному стані (рядок, всі елементи якого мають значення або «0», або «1»). Стан модулів «елементів пам’яті» є невизначеним під час перемикання, тобто їх пам'ять має значення «*». Наслідком вказаної невизначеності є наступна особливість: якщо один модуль системи виконує свої дії на сусідніх переходах, то система не контролює результат його першої дії.

При дослідженні логічної визначеності та розрахунку пам’яті системи необхідно і достатньо наступне:

- помітити виконання дій одного модуля на сусідніх або суміжних переходах (між цими переходами необхідно додати ще один перехід в якому спрацьовуватиме додатковий елемент пам’яті.);
- при розрахунку значення пам’яті для кожного сегменту необхідно враховувати тільки ті зміни стану модулів, які відбуваються в інтервалі після завершення початкового переходу і до початку останнього переходу сегменту процесу;
- необхідно виключити з розгляду стан тих модулів, дії яких припадають або на початковий перехід сегменту, або на прикінцевий перехід сегменту (їх стан є невизначеним);
- розрахувати пам'ять для всіх можливих сегментів процесу дій системи, що мають хоча би один перехід між початковим і прикінцевим переходами сегменту;
- пронумерувати всі переходи процесу для формування сегментів.

Продовження розгляду прикладу – введено нумерацію переходів:

$$2 \Rightarrow 4 \Rightarrow 5 \Rightarrow 8 \Rightarrow 1 \Rightarrow \bar{1} \Rightarrow \bar{8} \Rightarrow \bar{4}, \bar{5} \Rightarrow \bar{2}$$

(1) – (2) – (3) – (4) – (5) – (6) – (7) – (8) – (9).

Таким чином цикл вміщує 9 переходів. Тобто, необхідно виконати розрахунок пам’яті для наступних сегментів:

(1) – (2) – (3);
(1) – (2) – (3) – (4);
(1) – (2) – (3) – (4) – (5);
(1) – (2) – (3) – (4) – (5) – (6);
(1) – (2) – (3) – (4) – (5) – (6) – (7);
(1) – (2) – (3) – (4) – (5) – (6) – (7) – (8);
(2) – (3) – (4);
(2) – (3) – (4) – (5);
(2) – (3) – (4) – (5) – (6);
(2) – (3) – (4) – (5) – (6) – (7);
(2) – (3) – (4) – (5) – (6) – (7) – (8);
(2) – (3) – (4) – (5) – (6) – (7) – (8) – (9);
(3) – (4) – (5);
(3) – (4) – (5) – (6);
(3) – (4) – (5) – (6) – (7);
(3) – (4) – (5) – (6) – (7) – (8);
(3) – (4) – (5) – (6) – (7) – (8) – (9);
(4) – (5) – (6);

(4) – (5) – (6) – (7);
(4) – (5) – (6) – (7) – (8);
(4) – (5) – (6) – (7) – (8) – (9);
(5) – (6) – (7);
(5) – (6) – (7) – (8);
(5) – (6) – (7) – (8) – (9);
(6) – (7) – (8);
(6) – (7) – (8) – (9);
(7) – (8) – (9) .

Всього 27 сегментів. В наслідок циклічності, якщо отримано значення доданої пам'яті для сегменту між (5) і (9) переходами, і воно не дорівнює «0», то значення пам'яті для сегменту між (9) і (5) переходами також не дорівнює «0».
Значення доданої пам'яті для 1-го сегменту (третього переходу відносно першого переходу): $S_{3/1}$ = 4 , тобто не дорівнює «0».

……

Значення доданої пам'яті для 6-го сегменту (восьмого переходу відносно першого переходу): $S_{8/1}$ = [4] + [5] + 8 + 1 + $\bar{1}$ + $\bar{8}$.
В загальному випадку для відрізку між переходами (дугами) «i» і «j» маємо:

$$Sj/i = \sum_{k=i}^{j} M_k ,$$

де M_k - індекси (імена) дій, що відбуваються на переходах.

Не враховуємо 4 і 5 модулі, оскільки вони змінюють свій стан на прикінцевому 8-му переході. Пари взаємно-обернених дій також не призводять до накопичення пам'яті: 8 + $\bar{8}$ = 0, 1 + $\bar{1}$ = 0. Отримуємо результат розрахунку $S_{8/1}$ = «0» - виконання сегменту призвело систему до початкового стану сегменту, і сегмент буде повторений безліч разів. Тобто, в проміжку між 1-м і 8-м переходами необхідно наростити інформацію - додати дію – увімкнути елемент пам'яті, а між 8-м і 1-м переходами потрібно буде його вимкнути. Тоді, під час 8-го переходу його стан матиме значення «1», а при проходженні першого переходу значення стану дорівнюватиме «0».

Відповідно до 4-ї вимоги аналогічні розрахунки мають бути виконані для всіх визначених сегментів процесу. За результатами розрахунку визначимо ті сегменти, що не додають значення пам'яті - виконання яких «зациклюватиме» дії системи.

Кожне нульове значення доданої пам'яті для сегменту зображаємо на функціональному графі за допомогою ліній невизначеності – з'єднує вершини початкової і прикінцевої дуг сегменту з «0» доданою пам'яттю.

Додаткові питання щодо логічної визначеності. Відомі підходи до побудови систем, у тому числі циклових, з використанням яких не обов'язково виконувати дослідження логічної визначеності [144, 164]. Наприклад, побудова електрорелейної або пневматичної системи керування з використанням схем с перемиканням регістрів. Довільна послідовність команд керування буде розподілена на кроки, що відповідають перемиканню регістрів. У відповідності

з алгоритмом перемикання регістрів всі сигнали команд з'являтимуться саме в заданій послідовності. Аналогічно, послідовність необхідних команд керування може бути подана у вигляді алгоритму програми для контролера з використанням по-крокової структури «STEP» в алгоритмічній мові STL. Так само може бути побудована крокова система з керуванням за часом, за вибігом якого подаються наступні групи команд. Але, при всьому переліченому, дослідження логічної визначеності надають певну користь навіть за застосування означених підходів.

Наявність нульових значень доданої пам'яті, так само, як і побудова ліній невизначеності, вказують на недостатність інформації щодо станів системи в процесі її роботи. Виникає ситуація, схожа на технічне завдання, за яким, без врахування досвіду розробника і особливостей системи, проект не може бути технічно реалізовано.

Причиною такої ситуації може бути прийняття розробником деяких фактів «за замовчуванням» або залученням до складу системи агрегатів, вмикання яких здійснюється за однією командою, а вимикання потребує поетапного відключення його складових.

Можливі і інші, як суто формальні, так і змістовні, причини логічної невизначеності [89, 91, 96, 98, 119]. Фактично кожна лінія невизначеності розподіляє функціональний граф на дві частини. Разом з графом відбувається розподілення технологічного циклу на два менших цикли, які є логічно-незалежними. Далі, всі модулі системи розподілені на дві групи, кожна з яких має свій технологічний цикл, який вона і має відпрацьовувати. За змістом наявність лінії невизначеності вказує на те, що в кожному з утворених циклів є хоча би одна дія, результат якої не є контрольованим системою. Тобто, якщо результат не контрольовано, то він не впливає на перебіг технологічного процесу, а ця дія, за формальними ознаками, взагалі може не здійснюватися. Однак, залучення означеної дії до технологічного процесу викликано технічним завданням, а формальна не контрольованість його виконання має компенсуватись деяким іншим, інтуїтивним або опосередкованим чи якимось іншим способом. Наприклад, якщо між відкриттям затвору в гідравлічні лінії під статичним тиском, і закриттям цього самого затвору, не відбувається жодна інша дія, то, за формальними ознаками, можна цими двома діями нехтувати. Але якщо подивитись на фізику автоматизованого процесу, і побачити, що відкриття затвору скидає надлишковий тиск, що є наслідком розігріву рідини, то дії не є зайвими. На справді в послідовності дій в процесі відсутній контроль падіння тиску, яке призводить до вивільнення заготовки. Без скидання тиску подальші дії системи неможливі, але цей факт прийнято розробником за замовчуванням.

2.1.3. Доповнення системи елементами пам'яті, загальні положення

Доповнення систем елементами пам'яті не є обов'язковим, а інколи і непотрібним, бо має на меті забезпечити формальну повноту вихідних даних для систем, у яких опис є логічно невизначеним. Методи логічного синтезу, які можна умовно назвати як «суто формальними», потребують виконання цього

етапу. Для таких методів, навіть миттєва втрата пам'яті в системі з сотнями та тисячами можливих станів, призводить до неможливості виконання логічного синтезу і побудови системи.

При розробці схем дискретної пневмоавтоматики чи гідроавтоматики, в яких кожен елемент пам'яті чи логіки збільшує вартість та енергоспоживання і знижує швидкодію і надійність, додавання непотрібних пристроїв є вкрай небажаним, а інколи і неприпустимим [72, 81, 82]. У такому випадку етап отримує назву «приведення системи до придатного до реалізації вигляду» - тобто забезпечує можливість розробки мінімальної за складом системи. Разом з цим, на практиці відомі технічні рішення, побудовані у вигляді команд-апаратів або схем перемикання, які є подібні до схем з перемиканням регістрів, наприклад, «Quikstepper» в пневмоавтоматиці [18]. Тоді доповнення системи взагалі не потрібно.

Якщо уважно проаналізувати логічну обумовленість дій системи, що побудована за схемою з перемиканням регістрів чи кроків, то виявиться, що кожне перемикання або крок має за передумову виконання спрацювання елементів пам'яті [96, 144]. А вмикання – вимикання елементів пам'яті пов'язані між собою повністю логічно визначеними логічними умовами. Таким чином, недоукомплектована фізична система отримує в додаток зовнішню інформаційну оболонку або систему, що відповідає вимогам логічної визначеності. Саме до доданої системи «приклеються» крок за кроком дії фізичної системи за допомогою логічних зв'язків та функцій. Крокова, тактова чи система з перемиканням регістрів складається виключно з елементів пам'яті, кількість яких дорівнює кількості тактів або регістрів, та відповідної кількості елементів логічного множення, додавання та інверсії, що виконують функцію «приклеювання».

В результаті використання доданої крокової інформаційної системи розробник отримує спрощення методики логічного синтезу – стандартна крокова система і функція «приклеювання». Отримане спрощення супроводжує зростання складності та об'єму логічної частини системи керування. Наприклад, якщо використати програмований контролер PLC, то відбувається розростання тексту програми керування на (20 … 30)% з одночасним збільшенням кількості елементів пам'яті (тригерів чи прапорів) в 2 - 3 рази, що є не суттєвим. Якщо створення спрямовано на розробку електрорелейної схеми або системи дискретної пневмоавтоматики, то теж саме ускладнення може зупинити проект. У випадку суто гідравлічної системи керування набагато дешевше буде один раз виконати мінімізацію і отримати ефективну систему керування, ніж розробляти принципову схему, яка на переході до монтажної схеми може взагалі втратити працездатність.

Типові випадки, які потребують доповнення системи елементами пам'яті:

a. Дослідження виявили лінії невизначеності;
b. Знайдено хоча би одне нульове значення доданої пам'яті;
c. Всі керуючі пристрої в системі з моностабільним керуванням;
d. Рекомендовані, за вимог надійності, дублюючі ланцюги керування;
e. Непомірно складні (багатосимвольні) логічні вирази команд.

Два перших випадки спрямовані на безпосереднє забезпечення логічної визначеності для подальшого логічного синтезу. Всі інші мають допоміжний зміст і спрямовані на поліпшення характеристик системи, пов'язаних із складністю системи та алгоритму керування та їх відкритістю до модернізацій.

Процедура доповнення системи елементами пам'яті за пунктами a) і b) є циклічною. Елементи пам'яті додаються по одному доти, доки не зникне остання лінія невизначеності або буде прибрано останнє нульове значення пам'яті. Додавання кожного наступного елементу пам'яті змінює підграф невизначеності або функцію змін пам'яті. Так, з графа зникають лінії невизначеності, що їх закреслює лінія зв'язку нового елементу. Аналогічно, мають бути видалені зниклі нульові значення пам'яті.

Для випадку c) додавання елемента пам'яті пов'язано з наявністю миттєвого сигналу для вмикання моностабільного керування. Елемент керування може просто не встигнути спрацювати і, для запобігання цьому додається елемент пам'яті. Він встигає спрацювати і має контрольовану тривалість вихідного сигналу. Сигнал керування може надходити з пульту керування, від датчика, що контролює деяку умову або параметр. Для формування стійких сигналів команд для моностабільних пристроїв такі швидкоплинні сигнали варто запам'ятовувати. Саме для цього і застосовано елементи пам'яті або схеми, наприклад, схема самоблокування.

Випадки d) і e) можна визначити як локальні. Вони потребують таку кількість елементів пам'яті, скільки замовлено ліній дублюючого контролю чи керування або відповідно до кількості команд керування, що потребують спрощення. Таке спрощення може бути обумовлено як міркуваннями надійності і складності, так і міркуваннями вартості обладнання і вартості монтажу.

Для забезпечення логічної визначеності суто циклічних систем (граф має вигляд одного контуру) більш привабливою є графічна методика, яка має вигляд повторюваної процедури аж до ліквідації останньої лінії невизначеності. Основна її перевага полягає в тому, що після додавання кожного наступного елементу пам'яті немає необхідності перерахунку пам'яті або перебудови підграфу невизначеності. Всі лінії невизначеності, які перекреслює лінія зв'язку доданого елементу пам'яті, ліквідуються.

2.1.4. Логічний синтез і мінімізація логічних виразів команд керування, загальні положення

Побудова логічних виразів, що визначають умови виконання тієї чи іншої дії в автоматизованому процесі, є першочерговим питанням розробки системи керування [89, 91, 93, 94, 119, 122, 134, 164]. Етап формального синтезу таких умов називають логічним синтезом. До вхідних даних цього етапу належать результати використання попередніх методик – формального опису системи, дослідження логічної визначеності й додавання елементів пам'яті (забезпечення логічної визначеності). Але цим переліком не вичерпано всі особливості та варіанти виконання логічного синтезу.

Методики логічного синтезу мають враховувати декілька супутніх питань:

- варіант технічної реалізації системи керування (PLC, пневматика тощо);
- тип керуючих пристроїв (двопозиційні, багатопозиційні, моностабільні, бістабільні тощо);
- узагальнена модель структури об’єкта (агрегатна, тактова, асинхронна тощо);
- підхід до устрою системи керування (централізована, децентралізована, комбінована, гібридна тощо);
- кількість керованих пристроїв (до 5, до 10, до 50, до 300 тощо);
- складність і гнучкість керованого процесу (конвеєрний, адаптивний, циклічний, покроковий тощо).

Необхідність застосування пневматичних, а тим паче гідравлічних технічних засобів керування при розробці автоматизованих систем висуває на перше місце задачу мінімізації.

Втрати тиску в гідравлічних пристроях і лініях та стисливість повітря в пневматичних пристроях жорстко обмежують допустиму кількість послідовних перетворень сигналів, особливо якщо всі пристрої в ланцюгу пасивні (обробка сигналів без додаткового живлення та підсилення). Невиконання цих вимог робить систему непрацездатною. Також додатковими обмеженнями виступають вартість і швидкодія пристроїв пневмоавтоматики й гідроавтоматики, що може призвести до недоцільності всієї розробки.

Використання як технічних засобів обробки інформації електрорелейних схем дещо послаблює питання мінімізації, особливо для нескладних систем та систем із невеликою кількістю модулів, але суттєво обмежує функціональні можливості автоматизації.

Використання програмованих контролерів (PLC) та алгоритмів і програм керування, особливо при вдалому виборі узагальненої моделі об’єкта автоматизації, практично нівелює обмеження мінімізації щодо більшості практичних задач. Але необмежена можливість нарощування інформаційного забезпечення автоматизованої системи породжує нові задачі інформаційного характеру та нові механіко-інформаційні конфлікти, задачі й обмеження. Внаслідок інформаційного розростання системи керування постає необхідність повного тестування всіх систем об’єкта та перевірки логічної коректності алгоритмів керування стосовно механічних компонентів системи. Означене тестування породжує самостійну систему, яка в десятки й сотні разів перевищує початковий текст алгоритмів керування. У деяких випадках задача тестування призводить до неможливості створення системи керування з певними вимогами до надійності та працездатності. Саме з цієї причини питання формальної мінімізації бажано замінити на змістовно-логічну мінімізацію з відповідними змінами в алгоритмі та узгодженням структури алгоритму зі структурою автоматизованого процесу.

Врахування типу керуючих пристроїв має передувати логічному синтезу систем із пневматичними й гідравлічними засобами керування, у тому числі й з електромагнітним керуванням клапанів. У першу чергу необхідно визначитися з

розподільниками (розподільчими клапанами), які відрізняються кількістю позицій, бістабільним або моностабільним варіантом, необхідністю підсилення сигналів керування. У випадку використання PLC для керування такими клапанами тип бістабільного чи моностабільного керування можна врахувати безпосередньо в алгоритмі керування, а логічний синтез виконувати за простішим чи більш знайомим варіантом. Якщо логічні взаємозв'язки дій модулів забезпечуватимуть електрорелейні, пневматичні чи гідравлічні схеми й пристрої, то тип пристроїв бажано врахувати у виборі тієї чи іншої методики логічного синтезу.

Для різних типів пристроїв логічні вирази команд керування мають різну уніфіковану форму. У випадку невідповідності форми до типу пристроїв розробник буде змушений розробляти додаткові узгоджувальні схеми, що призведе до зростання вартості й втрати надійності.

Використання циклічно-модульної моделі при побудові структури системи встановлює певні межі для задачі логічного синтезу. Граничними варіантами можна вважати підхід, орієнтований на первинність процесу, та підхід, орієнтований на первинність складу системи.

Якщо розглядати об'єкт як «чорну скриньку» з відомою множиною сигналів входу й виходу (зафіксовано склад системи), то, скоріш за все, буде використано кінцево-автоматну модель, визначену на бінарній, трійковій, багатосимвольній чи нечіткій логіці [89,119]. У такому варіанті ефективність циклічно-модульного підходу мінімальна, оскільки підхід орієнтовано на перехід від процесу до структури й складу системи. Можливо, що деякі переходи «чорної скриньки» можуть вміщувати фіксовану послідовність інформаційно обумовлених дій, тоді для цього фрагмента може бути застосовано логічний синтез. Але оскільки фрагменти не є замкненим процесом, вони утворюють розімкнену структуру. Її опис за допомогою циклічних модулів потребуватиме доповнення процесу рядом фіктивних дій модулів (щоб вони були циклічними), і тільки для такої системи може бути виконано логічний синтез.

Якщо вихідним є опис процесу дій системи, яка відпрацьовує періодичні чи циклічні алгоритми функціонування, то можуть бути виконані всі попередні етапи розбудови системи, а логічний синтез постане як їх продовження в роботі розробника на шляху перетворення процесу в автоматизовану систему.

На практиці суто циклічні процеси або повністю нециклічні процеси зустрічаються доволі не часто. Найпоширенішими є їх комбінації, які об'єднують, наприклад, циклічний експлуатаційний режим і нециклічні аварійні, пуско-налагоджувальні та інші режими функціонування, а також відповідні режими й алгоритми керування. У такому варіанті циклічно-модульний підхід може бути застосованим до одного чи групи циклічних режимів. Інші режими дій системи та алгоритми керування базуватимуться на іншій, зручній для використання, узагальненій моделі (наприклад, ситуаційного керування [151]). При такому комбінуванні різних моделей з'являється ще одна задача – коректного спряження передбачених режимів у спільній фізичній реалізації об'єкта. Таке спряження також потребує певної узагальненої моделі системи, якою може бути й циклічно-модульна модель.

Передумовою працездатного автоматизованого об’єкта є те, що і об’єкт, і система керування мають спільну, процесом визначену, структуру.

Наприклад, можливі варіанти централізованого і децентралізованого, послідовного й паралельного керування та різноманітні їх комбінації. Якщо при циклічно-модульному підході обрано стратегію децентралізованого керування, то фактично відбувається синтез декількох розміром менших систем. Ці системи, подібно до циклічних модулів, утворюватимуть основну систему (модульні виробничі станції у складі виробничої лінії). За умов централізованої стратегії щодо системи керування логічний або інший варіант синтезу охоплюватиме одразу всю систему в однорівневій моделі. Як у першому, так і в другому варіантах може бути застосовано як послідовне, так і паралельне керування. За умов послідовної схеми логічний синтез використовує послідовну, тактову чи крокову структуру, до якої «приклеюються» змістовні дії за допомогою сигналів керування й контролю. За умов паралельної схеми логічний синтез має виконуватись у повній мірі, оскільки всі пристрої системи постійно знаходяться в активному стані щодо контролю й керування.

Кількість керованих пристроїв має практично такий самий вплив, як обрана узагальнена модель та структура об’єкта, на стратегію логічного синтезу.

Декілька десятків асинхронних пристроїв із паралельним керуванням у складі динамічного об’єкта призводить до непридатності кінцево-автоматного підходу, так само як і варіанту з послідовним керуванням. З іншого боку, побудова автоматизованої конвеєрної лінії з децентралізованим керуванням сотень пристроїв може взагалі обійтися без логічного синтезу, але з використанням схеми послідовного керування (у кожній модульній станції та в системі, складеній із модульних станцій). Тобто, посилатись на кількість керованих пристроїв як на визначальний фактор задачі логічного синтезу можна тільки з урахуванням обраної узагальненої моделі об’єкта і складності процесу його роботи.

Складність і гнучкість керованого процесу пов’язані зі складом і структурою об’єкта.

Для об’єкта, що його складають два модулі, неможливо побудувати складний або гнучкий алгоритм функціонування і керування. Об’єкт, що його складають сто пристроїв, які одночасно всі вмикають і одночасно всі вимикають, потребуватиме тільки одного елемента пам’яті й матиме практично нульову складність.

Для змістовного врахування складності потрібно обрати показник, який її характеризує [80, 84, 93, 112, 139, 167]. Для реальної технічної системи за такий показник можна обрати загальну кількість елементарних логічних функцій, що визначають умови відпрацювання всіх дій системи, віднесену до кількості модулів у системі. Але кількість таких логічних функцій можливо визначити тільки після виконання логічного синтезу. Такий показник можна назвати питомою складністю, тобто нечутливим до масштабного фактору об’єкта. Ще одне зауваження – кількість логічних функцій може бути наслідком невиконання мінімізації. Окрім цього, логічні функції можуть бути ієрархічними, наприклад:

- повністю визначеними – описують фіксовану ситуацію за допомогою

великої кількості сигналів;

- частково невизначеними – вказують декілька умов до виконання чи повторювання однієї дії;
- ієрархічними – враховують спочатку режими роботи системи, а далі умови, пов’язані з цими режимами;
- гнучкими чи альтернативними – такими, що призводять до змін алгоритму функціонування відповідно до сигналів, виникнення яких не підпорядковане діям системи.

Перелічені варіанти навіть за однакової питомої складності матимуть якісні відзнаки на переході до реального технічного об’єкта. Їх будова, якщо вона виконана за однотипними правилами, призведе до втрати надійності або виникнення додаткових та неконтрольованих режимів, що спричинить додаткове розростання та ускладнення системи.

Таким чином, саме на етапі формування технічного завдання бажано визначити клас складності розроблюваної системи. При цьому враховуватимуться різні чинники складності, а саме: однорежимні й багаторежимні модулі, можливість і кількість критичних змагань, паралельне відпрацювання дій і підпроцесів, основні й альтернативні режими роботи, напрацювання умовного рефлексу на позитивний результат та інші особливості.

Надалі кожний чинник ускладнення має враховуватись у контексті його кількісної присутності чи масштабного фактору. Наприклад, якщо всі пристрої однорежимні і тільки один багаторежимний, то можлива пневматична чи гідравлічна реалізація системи керування. Якщо багаторежимних 2 чи 3, то пневматична реалізація можлива, а от гідравлічна – навряд чи. У випадках, коли гідравліка є безальтернативною, максимальну увагу потребуватиме питання мінімізації і, можливо, коригування послідовності дій у процесі. Якщо багаторежимні модулі складають основу системи і їх кількість перевищує, наприклад, 10, то з практичних міркувань можлива відмова від логічного синтезу і перехід до побудови тактової системи засобами пневмоавтоматики або електрорелейних схем перемикання. Але якщо при цьому масо-габаритні показники об’єкта є визначальними, то логічний синтез дозволить їх покращити у порівнянні з тактовою системою. Виконання більш наскрізної змістовної мінімізації також доцільне – наприклад, за паралельного відпрацювання декількох дій достатньо контролювати найбільш повільну дію, а гарантована затримка у часі замінятиме складну логічну умову й наступну за нею технічну реалізацію.

Таким чином, різні рівні складності, закладені на етапі постановки задачі, викликатимуть різні структурні рішення при побудові системи, а створення різних рішень потребує відповідних методик їх побудови. Тобто логічні вирази команд керування забезпечуватимуть різні варіанти дій системи, а це потребує застосування відмінних будівельних матеріалів та інструментів. Внаслідок цього в логічні вирази входитимуть різні компоненти, які утворюють певні структури з наперед відомими властивостями. При цьому врахування різних технічних засобів при застосуванні PLC або IC може здійснюватися на рівні коригування

алгоритму керування.

Надалі методики логічного синтезу надано у варіанті пристроїв бістабільного чи моностабільного керування, а врахування конкретних технічних засобів перекладено на етап формування принципових схем, алгоритмів та складання коду програм.

Повний приклад методики логічного синтезу команд керування для моностабільних пристроїв надано для систем 3-го класу складності. Ця сама методика є трошки надлишкова, але може бути застосована і для систем 1-го і 2-го класів складності.

Для систем 4-го і 5-го класів складності, в яких поширені різні режими та варіанти експлуатаційного процесу, зазвичай використовують логічні контролери в системах керування. Для таких систем питання врахування типу керуючих пристроїв (бістабільних чи моностабільних двопозиційних та трипозиційних) здійснено на етапі формування алгоритму керування. Тобто, логічний синтез моностабільного варіанту логічних виразів команд керування втрачає необхідність.

Наведені далі графоаналітичні методики можуть бути перекладені в суто аналітичні для подальшої алгоритмізації і автоматизації.

Вихідними даними для застосування методик є:

- функціональний граф системи, в якому відсутні лінії невизначеності;
- підграф зв’язку;
- перелік модулів системи.

2.1.5. Технічна реалізація систем керування, загальні положення

Циклічно-модульний підхід задає **уніфіковану** структуру системи виконавчих пристроїв і системи керування, незалежно від обраних технічних засобів або їх комбінацій.

Тобто, кожний циклічний модуль є одночасно і складовою системи і мінісистемою, зі всіма її властивостями. Змістовно в основі циклічного модуля лежить виконання необхідних функцій, як то переміщення, затискання, обертання, фарбування, комплексна обробка, нагрів, продувка, тестування і багатьох інших основних, допоміжних, технологічних чи спеціальних функцій, що входять до автоматизованої системи (рис. 2.4). Коли виконавчий пристрій буде оздоблено засобами контролю і керування, він перетворюється в функціональний модуль – агрегат або маленьку систему, яка виконує певну функцію і має можливість повертатися в початковий стан і знову повторювати виконання своєї функції.

Засоби контролю за діями кожного модуля є одночасно індикатором його стану, який можна використовувати в системі для координації з діями інших модулів. При додаванні до функціонального модуля власної системи керування, яка ініціює виконання його функції в зазначених умовах і обставинах (відповідно до автоматизованої технології), функціональний модуль перетворюється в системний модуль. Він формує логічні умови для взаємодії з іншими модулями системи.

Використання циклічно-модульного підходу **забезпечує поєднання різних технічних засобів** в спільній та однорідній системі, як в межах окремого модуля, так і у всій системі.

Для мережі формування логічних умов немає значення природа та обрані засоби отримання, обробки і передачі сигналів. Навіть в одній гілці інформаційної мережі можуть бути застосовані різні за своєю природою пристрої. Наприклад, отримання сигналів стану модулів, що знаходяться в складних умовах, та обробка цих сигналів в операторах з логічних функцій здійснена за допомогою струменевої пневматики (нечутливої до радіації, електричних полів, температури і вібрацій). Сформований пневматичний сигнал команди керування потрапляє до пневмо-електричного перетворювача, а від нього до контролера і, відповідно до логічної мережі, до інших модулів. Система керування, за своєю природою, стає розподіленою та ієрархічною.

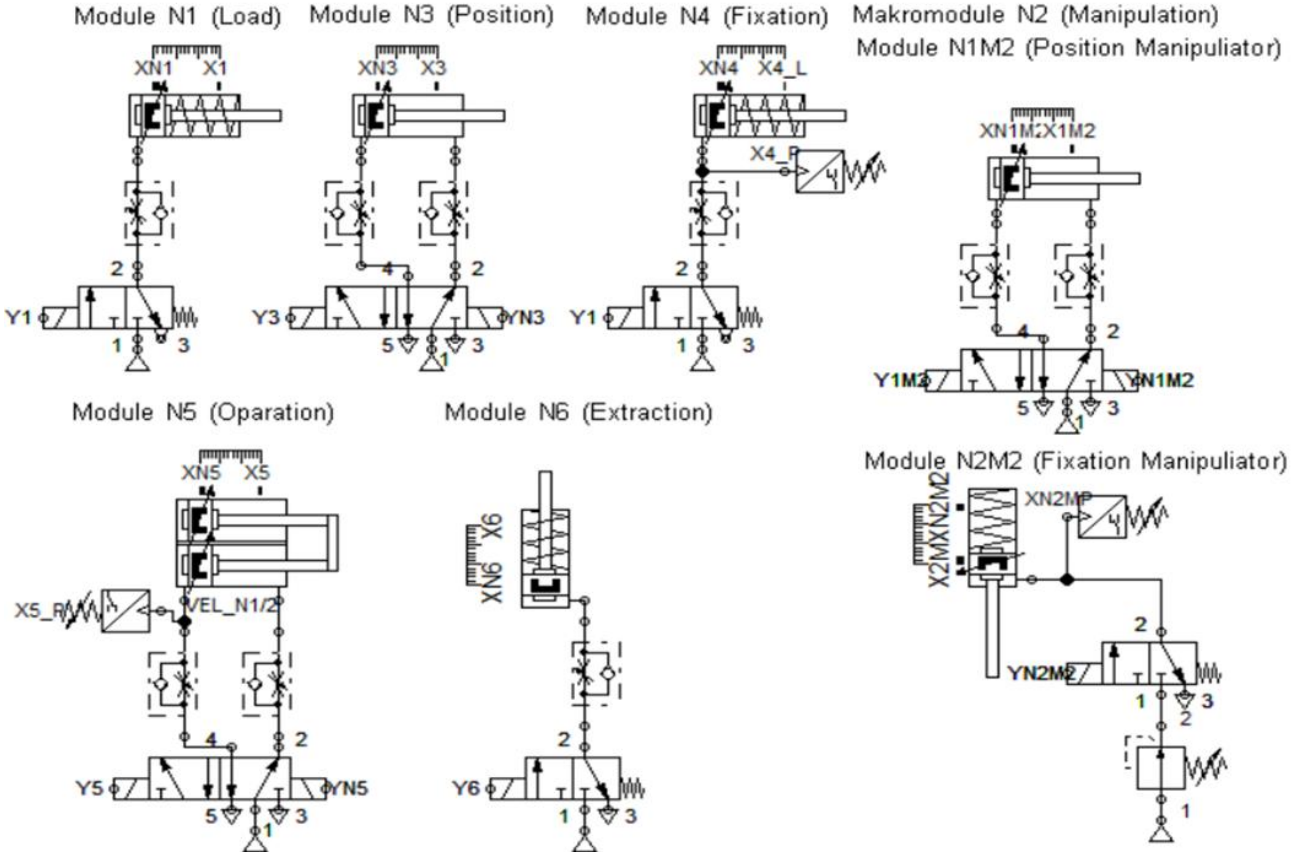


Рис. 2.4. Комплект функціональних модулів пневматичного двокоординатного маніпулятора з механізмами завантаження і відвантаження, обладнаного механічним захватом - затискачем і реалізований засобами електропневмоавтоматики

Завдяки мережі логічних умов спрацювання модулів, яка регулює проходження транзакцій через модулі на основі ідентифікаторів стану, відбувається взаємодія модулів в процесі функціонування системи. Тобто, сигнали керування формуються постійно і асинхронно для всіх модулів, і цей процес керується потоком вхідних даних. Таку структуру мають як найпростіші модулі системи, такі, як елементи пам’яті, так і найскладніші модулі системи, такі, як багатопозиційний маніпулятор чи слідкуюча система стабілізації температури. Всі вони в контексті системи мають виконувати основну і зворотну дії за основною та зворотною командами, що сформовані на основі логічних

умов модуля, що є функціями від індикаторів стану всієї системи.

За таким принципом побудовано схему керування виконавчим пристроєм із використанням пневматичних та електрорелейних засобів (рис. 2.5).

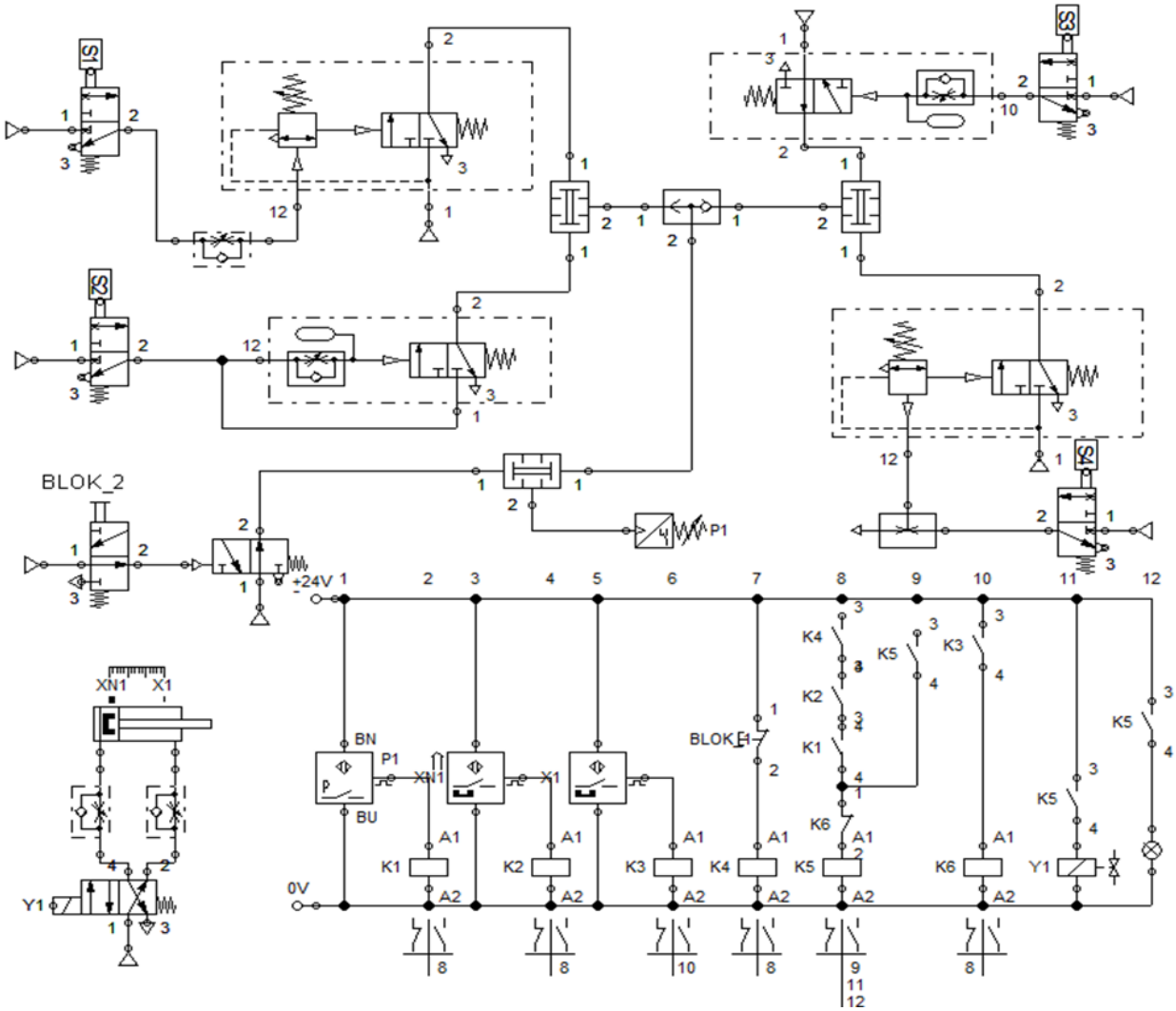


Рис. 2.5. Принципова електро-пневматична схема системи керування виконавчим пристроєм з комбінованою мережею обробки сигналів: S1, S2, S3, S4, P1 – зовнішні сигнали керування, BLOK_1 і BLOK_2 - сигнали блокування роботи модуля, X1 і XN1 – сигнали стану виконавчого пристрою, ланцюги 8, 9 і 10 – елемент пам'яті, ланцюги 11 і 12 – керування і індикація роботи виконавчого пристрою з пневматичним циліндром і клапаном з моностабільним керуванням Y1

За пневматичними засобами залишено контроль положень виконавчого пристрою (X1 і XN1), можливість механічного блокування основної дії (BLOK_2). Передбачено можливість електричного блокування основної дії (BLOK_1). За пневматикою залишено початок логічного формування умови вмикання основної дії виконавчого пристрою: {(коли є достатній тиск і вибіг необхідний час) або (тиск не більший за мінімум і ще не сплив термін спрацювання)} і (відсутнє механічне блокування) і (тиск керування не менше заданого), тоді пневматична система виробляє електричний сигнал. Подальша обробка інформації відбувається в електрорелейній схемі: «дозвіл пневматики» і (виконавчий пристрій в початковому положенні) тоді (вмикає елемент пам'яті). Якщо спрацював елемент пам'яті, то виконавчий пристрій отримує сигнал на

виконання основної дії Y1. Якщо основна дія виконана, то (вимикається елемент пам’яті). Якщо елемент пам’яті вимкнено, то виконавчий пристрій виконує зворотну дію.

Структура технічної реалізації системи керування, не залежно від обраних технічних засобів, **є наслідком модульної** будови мехатронної системи.

Кожний модуль системи має власну підсистему контролю і керування. Так, засоби контролю завершення кожної технологічної чи допоміжної дії належать до функціонального модуля, що цю дію відпрацьовує. Тобто, немає загальних засобів контролю за всіма модулями системи і відповідного технічного блоку в системі керування, немає загальних засобів стеження за станом системи і збору інформації щодо перебігу процесу, немає відповідного блоку в системі керування.

Так само відсутній загальний блок вироблення сигналів до команд керування модулями системи. Кожний модуль має мережу, що відпрацьовує логічні умови для вироблення сигналів до команд керування, і не має значення, якими саме технічними засобами ці сигнали формуються і де розташовано ці засоби.

Не залежно від обраних технічних засобів **система є структурно однорідною**, і в її складі присутні тільки циклічні модулі.

Кожний модуль виконує певну функцію в складі системи та відпрацьовує зворотну функцію повернення модуля в початковий стан. Виконання функції припадає на виконавчий пристрій, який може змінювати свій стан під впливом команд керування – основної і зворотної. Назва «виконавчий пристрій» є досить умовною, бо це частина системи, яка виконує певну функцію, і яка, у загальному випадку, не є пристроєм. Для систем пневмоавтоматики виконавчі пристрої дійсно є технічним устаткуванням. Це можуть бути двигуни, розподільчі клапани, мультиплікатори, клапани тиску, клапани витрати, контактні і безконтактні засоби контролю і та ін.. Окрім переліченого, певну функцію в системі може виконувати не один пристрій, а сформована з пристроїв мінісистема, наприклад, «quickstepper», чи лічильник, чи пневматичне реле часу, чи маніпулятор.

До системи **може бути залучено** раніш розроблене і добре опрацьоване **обладнання**, яке представлено в системі як циклічний модуль.

Наприклад, пневматичний маніпулятор з лінійним приводом, пневматичним поворотом і пневматичним або вакуумним захватом, який можна знайти в каталогах фірм-виробників. Такі пристрої є доволі універсальними у використанні, вони можуть бути адаптовані до особливостей виконуваних в системі функцій (кількість і координати позицій, зусилля, швидкості, екстракція виробу). Фактично пневматичний маніпулятор є справжньою системою, зі всіма атрибутами її будови і функціонування. Але замість кнопок «Старт» і «Стоп» від пульта керування, вона отримує сигнали команд на відпрацювання основної і зворотної дій від мережі логічних умов, що зв’язує маніпулятор з модулями системи. В такому випадку за сигналом основної команди він відпрацьовує основну дію – «завантаження» деталі в робочу зону. За зворотною командою відбувається «повернення» маніпулятора в початковий стан. В дійсності за

командою «завантаження» схват розкриває захоплюючий пристрій, лінійний привід переміщує схват до накопичувача деталей, схват захоплює деталь, поворотний привід повертає схват на потрібний кут, лінійний привід переміщує деталь до робочої зони, схват вивільняє деталь. Так само за зворотною командою відбувається послідовність дій окремих пристроїв маніпулятора, відпрацювання якої переводить його в початковий стан.

Окремий **циклічний модуль** може бути набагато **складнішим за розроблювану систему** і може вміщувати різноманітні технічні засоби, які на пряму до системи не належать.

Пневматичний маніпулятор (рис. 2.4) може бути залученим в лінію складального виробництва як один модуль, що має за основну дію – встановити деталь в корпус, за зворотну дію – отримати наступний примірник деталі. Якщо вся лінія складена з подібних багатоелементних системних модулів, то складність системи може бути меншою за складність окремого модуля, наприклад селективного складання втулки клапану.

У складальних виробництвах, машинобудуванні, харчопереробній промисловості важливе місце займають такі функції, як вхідний контроль складових виробу або заготовок оброблювального центру, або інгредієнтів продовольчої продукції, та вихідний контроль продукції виробничої системи. Вхідний контроль складових виробу, що поступають до автоматизованої лінії, може вміщувати перевірку складових за всіма необхідними параметрами, як то геометричні розміри, орієнтація у просторі, вага, колір, матеріал, герметичність, прозорість і т. ін. Виконання такого контролю передбачає застосування спеціальних приладів для визначення окремих параметрів, та маніпуляторів і допоміжного устаткування для виконання вимірів. В такому випадку, за командою «контроль» буде задіяно комплекс обладнання, що за певною технологією визначатиме показники складової. Ця технологія може бути набагато складнішою за складальне виробництво, але система, що її реалізує, входитиме в систему складального виробництва у формі «циклічного модуля» зі всіма його атрибутами – двома сигналами команд та логічними умовами їх формування, двома сигналами стану модуля, «виконавчого пристрою», який по суті є достатньо складною окремою системою.

Не залежно від обраних технічних засобів, **система не має окремого блоку пам’яті**, в якому зосереджено інформацію щодо стану системи та перебігу процесу її функціонування, пам'ять є розподіленою у формі циклічних модулів.

Окремий циклічний модуль може бути простішим за будь який пристрій системи. Наприклад, елементи пам’яті, що представлені в системі окремими модулями. За умов гідравлічної чи пневматичної реалізації елемент пам’яті буде побудовано на базі двопозиційного розподільника 5/2 або 4/2 з бістабільним керуванням. Його основна функція – запам’ятати. Зворотна функція – перейти в початковий стан або забути те, що він запам’ятав. Для струменевої пневмоавтоматики елемент пам’яті має вигляд елемента - струменевого тригера. Для електрорелейних засобів цей же модуль матиме вигляд не складної електрорелейної схеми, що використовує одне чи два допоміжних реле, схеми логічних умов і лінію самоблокування (рис. 2.5, лінії 8, 9 і 10). У випадку

використання PLC «виконавчим» пристроєм елемента пам’яті виступає бінарна змінна. В будь-якому варіанті такий модуль елемента пам’яті не має окремих засобів керування і контролю, як для гідравлічного циліндру, а елемент, який запам’ятовує і забуває сигнал, взагалі може бути «інформаційним». Тобто, кожний модуль системи одночасно є і елементом пам’яті.

Технічна реалізація системи керування з циклічно-модульною структурою надає **можливість адаптувати склад системи** до умов і режимів використання.

Однакові функції в різних умовах можуть потребувати різних технічних засобів контролю і керування при збереженні виконавчих пристроїв. Це може відбуватись шляхом комбінування різних технічних засобів в спільній системі чи в складі окремих модулів. Зазвичай, позитивною тенденцією вважається створення систем, що працюють на одному джерелі енергії з виконавчим пристроєм. Наприклад, потужний гідропривід ливарного виробництва, в якому застосована гідравлічна реалізація елементів пам’яті, виконання логічних функцій множення, додавання, заперечення, контролю положень. Виконання перелічених функцій потребує використання гідравлічних розподільників. Такі розподільники є не надто чутливими до змін температури, є нечутливими до електричних полів та радіаційного випромінення, але відрізняються вартістю, яку можна приблизно охарактеризувати показником 500$ за 1 кг маси обладнання. Навіть для нескладної системи, що вміщує 3 - 4 виконавчих гідравлічних пристрої (циліндрів, моторів) кількість перелічених елементів системи керування складатиме від 10 до 25, в залежності від технологічного циклу. Варіантом уникнення завищених витрат може бути комбінування пневматичних і гідравлічних засобів: засоби контролю пневматичні, засоби керування гідравлічні з пневматичним керуванням. Такий варіант дозволить не тільки знизити вартість системи, але додає їй швидкодії, зменшує витрати на обслуговування. Необхідність залучення додаткового джерела енергії – стиснутого повітря – не матиме суттєвого впливу на вартість і може бути виконана у вигляді змінних елементів – балонів високого тиску.

Зараз нікого не здивує пральна машина, чи автомат з приготування кави, в яких поєднано гідравліку, механіку, електротехніку і електроніку в спільному експлуатаційному процесі. При цьому всі пристрої подібної системи підібрані відповідно до виконуваних функцій. Так само, для будь-якої розроблюваної системи, відповідність підібраного обладнання до змісту виконуваних дій, має відігравати основну роль при виборі технічних засобів реалізації виконавчих пристроїв. Теж саме має стосуватись і розробки розподіленої системи керування, що буде розглянуто на ряді прикладів практичних задач автоматизації.

2.1.6. Особливості бістабільного та моностабільного керування при технічній реалізації

Логічні правила взаємодії модулів, сформовані за результатами логічного синтезу у формі виразів команд керування, мають бути трансформовані в конкретні технічні засоби, що складуть підсистеми керування модулів.

Ці підсистеми і логічні зв’язки, що закладені в них, об’єднують модулі в

цільний технічний об’єкт. Технічно ці підсистеми і зв’язки матимуть вигляд пневматичних, механічних, гідравлічних, електрорелейних, електронних або інших схем, або алгоритмів керування для контролерів чи промислових комп’ютерів. В будь-якому випадку технічна реалізація зв’язків і підсистем керування має бути узгоджена з пристроями функціональних модулів – керуючими, контролюючими, виконавчими.

Задача такого узгодження, частково, може бути вирішена на етапі логічного синтезу – коли логічні вирази мають спеціальну структуру, або на етапі технічної реалізації, шляхом створення перехідних схем або алгоритмів.

За першим варіантом під час синтезу для кожного модуля потрібно використати спеціальну методику, що враховує тип керуючих пристроїв [6, 9, 18, 24, 46 ,59, 68, 144]. Наприклад, для пневмоавтоматики тип керуючих пристроїв: бістабільних, моностабільних двопозиційних, моностабільних трипозиційних, агрегатних. Застосування спеціальних методик потребує більш високої кваліфікації розробника, але і більш коректно відповідає фізичним властивостям об’єкту.

В другому випадку логічний синтез виконуватиметься за єдиною методикою для всіх модулів (наприклад, в бістабільному варіанті). Врахування конкретної технічної реалізації кожного модуля має бути здійснено при розробці власної підсистеми керування конкретного модуля.

Не зважаючи на відмінності двох підходів, перехід від одного технічного варіанту пристроїв керування до іншого (бістабільних, моностабільних двопозиційних, моностабільних трипозиційних) може бути виконано і після здійснення логічного синтезу.

Наприклад, якщо синтезована одна моностабільна команда, а в технічній реалізації має бути застосовано бістабільний пристрій керування (рис. 2.6 2.33). Для керування бістабільним пристроєм потрібно два сигнали керування – основної і зворотної команд. Тоді варіант моностабільного сигналу можна використати в якості сигналу основної команди. Для формування сигналу зворотної команди має бути застосований інвертор, який перетворює сигнал основної команди в сигнал зворотної команди тільки тоді, коли моностабільний сигнал керування дорівнює нулю.

Якщо сигнал моностабільної команди відсутній (рис. 2.6а), то сигнал зворотної команди бістабільного варіанту буде отримано з виходу інвертора (наприклад, моностабільного нормально відчиненого клапана 3/2).

При виконанні основної команди буде використано безпосередньо сигнал моностабільної команди (рис.2.6б), а сигнал зворотної команди для бістабільного керування дорівнюватиме нулю. В якості недоліка такого переходу можна відзначити, що в отриманому варіанті весь час буде увімкненим один з каналів керування клапану, тобто, його властивість зберігати свій стан без зовнішнього сигналу не буде використана.

Вказана особливість не впливає на логіку відпрацювання технологічного циклу, і не має суттєвого впливу, наприклад, для пневматичної системи керування, проте постійне живлення клапану з електромагнітним керуванням може призвести до довчасного виходу клапана з ладу.

Виправлення вказаної вади, як правило, ускладнює систему керування. Наприклад, для вимикання сигналу команди, що вже виконана, може бути застосовано реле часу, налаштоване на інтервал, достатній для перемикання клапану. Або, можуть бути застосовані додаткові блокуючі клапани, які вимикають сигнал команди за наявності сигналу від датчика контролю за відпрацюванням цієї команди. Можливі і інші варіанти коригування системи, але при цьому бажано звертати увагу на вартість додаткового обладнання і зниження надійності системи загалом.

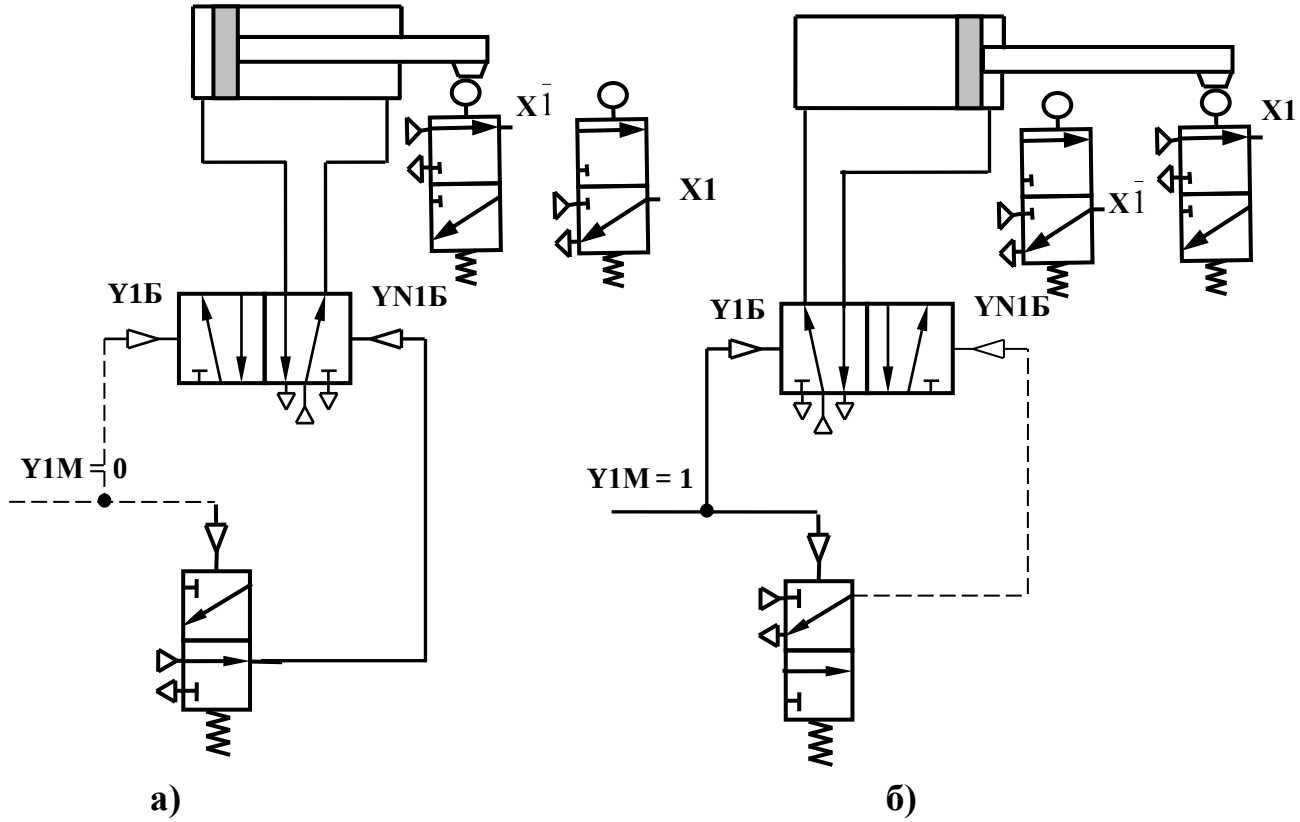


Рис. 2.6. Застосування моностабільного сигналу для керування пристроєм з бістабільним керуванням (пневмоавтоматика): а) повернення модуля в початковий стан (Y1M – моностабільний сигнал); б) відпрацювання основної команди модулем

Аналогічний перехід, але від бістабільного до моностабільного пристрою в засобах керування, може бути здійснено і за наявності двох бістабільних сигналів керування (рис.2.7).

Найпростішим, з точки зору розробки, є впровадження проміжного бістабільного пристрою, який перетворює два сигнали на один, відповідно до входів моностабільного клапану. Оскільки ці два сигнали не можуть одночасно обіймати одиничне значення, то перемикання додаткового пристрою відбуватиметься коректно.

Робота функціонального модуля. За наявності бістабільного сигналу основної команди з виходу допоміжного пристрою виходитиме одиничний сигнала керування до моностабільного клапану (рис.2.7б). Цей моностабільний сигнал зберігатиме своє одиничне значення навіть при нульовому значенні

бістабільного сигналу керування основної команди.

Для переходу моностабільного керуючого клапану в стабільний стан (під дією пружини) достатньо подати одиничне значення сигналу зворотної бістабільної команди. Під дією цього сигналу перемкнеться допоміжний клапан і на його виході буде отримано нульове значення, яке дозволить моностабільному клапану відпрацювати дію пружини (рис.2.7а).

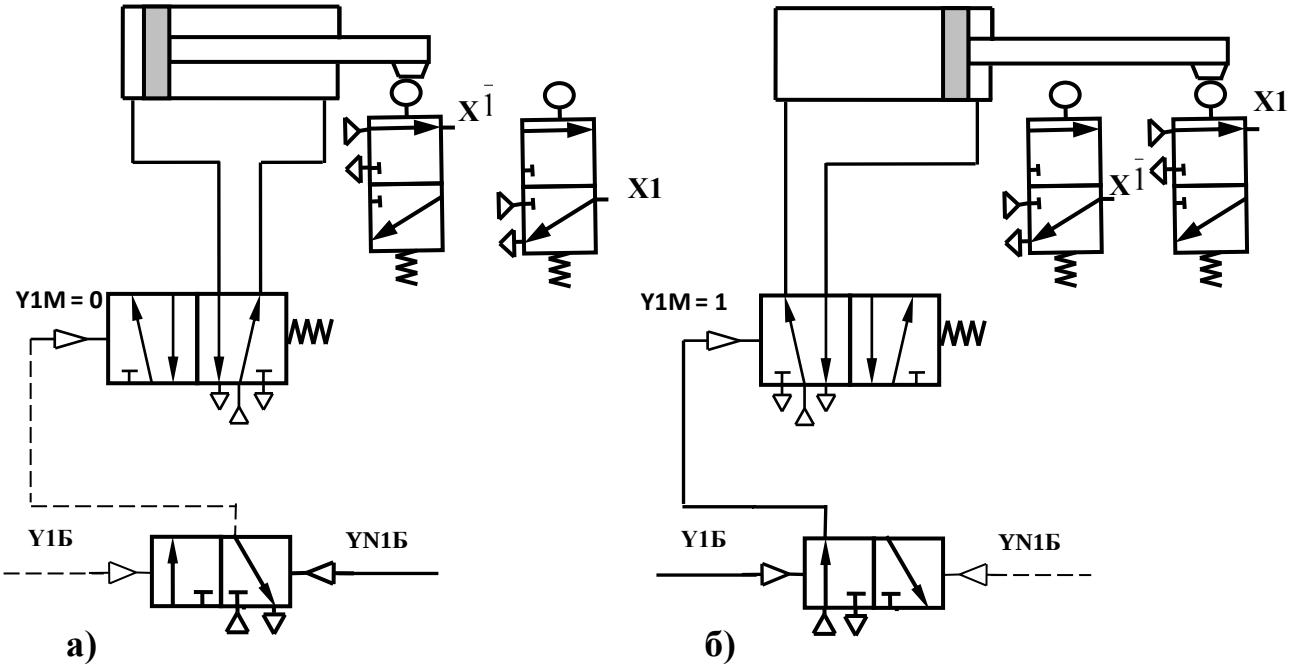


Рис.2.7. Застосування бістабільних сигналів Y1Б (основний) і YN1Б (зворотний) для керування пристроєм з моностабільним керуванням (пневмоавтоматика): а) повернення модуля в початковий стан; б) відпрацювання основної команди модулем (пневмоавтоматика, клапан 5/2)

Можливі і інші технічні рішення переходу від бістабільних логічних виразів команд керування до моностабільної технічної схеми керування. Наприклад, на основі схеми з «тригерними ланцюгами» чи схеми «самопідхвату» (рис.2.8).

В такому рішенні застосовують тільки моностабільні пристрої. Це дозволяє отримувати стабільний (під дією пружин) стан керованого модуля у випадку непередбаченого зникнення живлення в системі керування. Схему складають три допоміжних клапани, що потрібно враховувати при оцінці економічних показників, надійності та швидкодії. За умов використання електрорелейної схеми таке рішення має менший вплив на вартісні і інші показники, хоча і є побудованим на тих самих принципах, що і раніше розглянуті.

Приклади побудови бістабільних пневматичних модулів із застосуванням моностабільного сигналу керування (рис.2.6) фактично використовують сам модуль у якості елемента пам’яті.

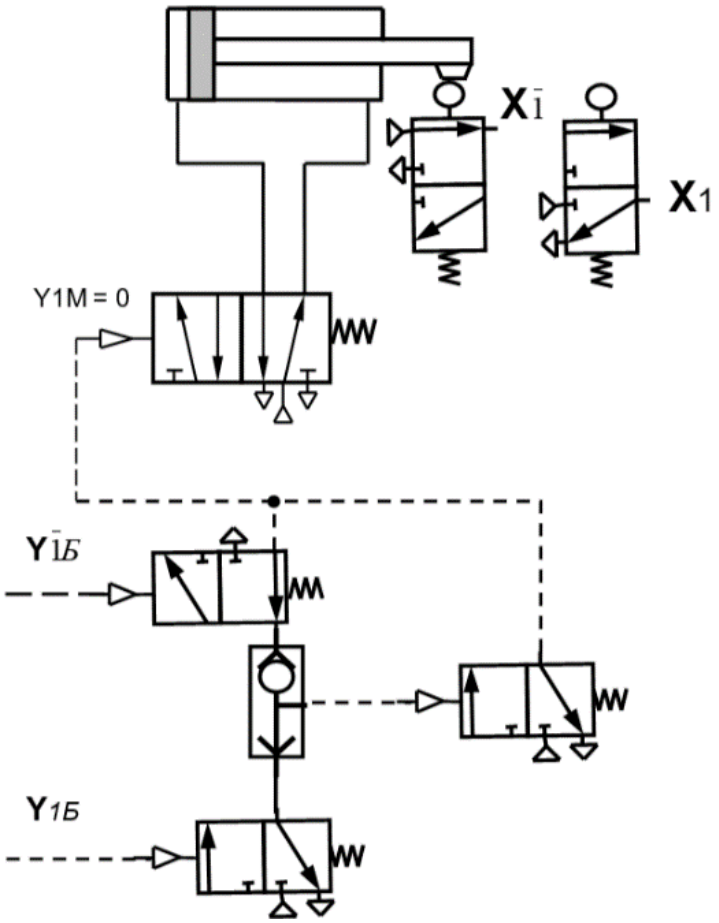


Рис.2.8. Використання бістабільних сигналів для керування пристроєм з моностабільним керуючим пристроєм (пневмоавтоматика, клапан 5/2): схема з «самопідхватом»

Розглянуте пневматичне рішення є прийнятним і для електрорелейної схеми в системі керування (рис.2.9).

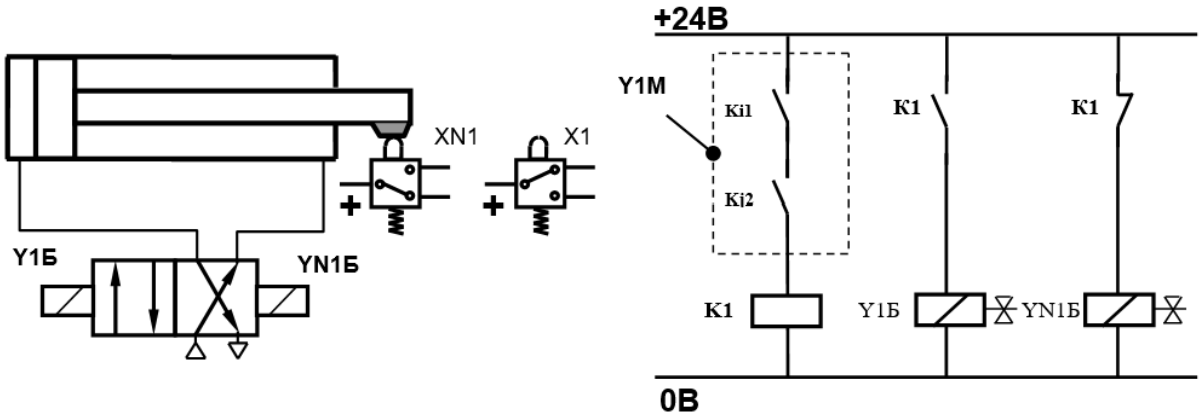


Рис.2.9. Приклад використання моностабільного сигналу команди для керування клапану з бістабільним керуванням (електропневмоавтоматика): Y1Б і YN1Б – сигнали бістабільного керування, Y1M логічна схема моностабільної команди

Моностабільний сигнал вмикає бістабільний модуль (елемент пам’яті), а інверсія цього самого моностабільного сигналу команди вимикає цей самий бістабільний модуль (елемент пам’яті) (рис.2.9).

Перехід у зворотному напрямку – від бістабільного керування до моностабільного модулю, так само, як і в пневмоавтоматиці, може бути виконано з використанням допоміжного бістабільного пристрою – елемента пам'яті.

Для такого рішення задіяно два додаткових реле та використана схема «самопідхвату» (рис.2.10). Сигнал основної команди вмикає перше реле і спрацьовує ланка «самопідхвату». Через нормально розімкнений контакт цього реле надходитиме живлення на моностабільний клапан модуля. Сигнал зворотної команди вмикає друге реле і його нормально замкнений контакт вимикає попереднє реле - елемент пам'яті. Вимикання першого реле елемента пам'яті призводить до розімкнення контакта, що подає живлення на клапан. В результаті моностабільний клапан опановує стабільний стан (рис.2.10).

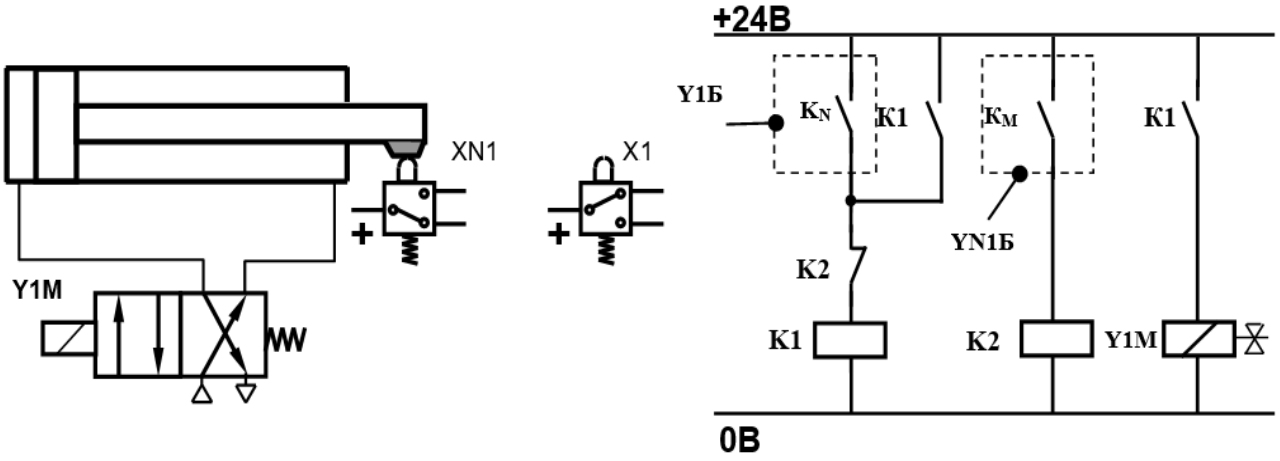


Рис.2.10. Приклад використання бістабільних сигналів команд для керування клапану з моностабільним керуванням (електропневмоавтоматика): Y1Б і YN1Б – логічні схеми бістабільних команд, Y1M – сигнал моностабільної команди керування

ЗАУВАЖЕННЯ. У випадку електрорелейного виконання системи керування витрати на допоміжне обладнання і ускладнення системи керування значно слабше, ніж за використання засобів пневмоавтоматики, і незрівнянно простіше за використання пристроїв гідроавтоматики, хоча за певних обставин, і гідравлічна реалізація можлива.

Використання PLC. Для систем мехатроніки більш розповсюдженим є використання програмованих контролерів, що майже знімає питання вартості, надійності і швидкості при заміні моностабільного обладнання на бістабільне і навпаки (незалежно від мови програмування).

Наприклад, алгоритм керування виконано із застосуванням алгоритмічної мови STL, і використано два бістабільних логічних виразу команд керування Y1 ($y_1 \Leftarrow x_{\bar{3}} * x_{\bar{11}}$) і YN1 ($y_{\bar{1}} \Leftarrow x_7 * x_{\bar{4}}$). Керування двопозиційним моностабільним пристроєм здійснено за допомогою дискретного виходу контролера A0.2. Фрагмент алгоритму керування матиме наступний вигляд (мова STL):

```
IF      XN3 AND XN11
    THEN    SET A0.2
IF      X7 AND XN4
    THEN    RESET A0.2
```

Той самий фрагмент алгоритму матиме наступний вигляд (мова ST):

```
IF      XN3 AND XN11 THEN A0.2 := TRUE;
IF      X7 AND XN4  THEN    A0.2 := FALSE;
END_IF
```

Наприклад, алгоритм керування складено на мові STL і у розробника є тільки один вираз для моностабільного керування команди Y1:

$$y_1 \Leftarrow x_{\bar{3}} * x_{\bar{11}} + x_{\bar{7}} + \overline{x}_4 .$$

Проте в системі встановлено бістабільний керуючий пристрій (клапан 5/2) і керування здійснено через виходи контролера A0.2 і A0.3. Текст фрагменту алгоритму керування матиме наступний вигляд:

```
IF      XN3 AND XN11 OR XN7 OR N X4
    THEN    SET A0.2
            RESET A0.3
IF      N (XN3 AND XN11 OR XN7 OR N X4)
    THEN    SET A0.3
            RESET A0.2 .
```

Використання трипозиційного керуючого пристрою. Якщо є два логічних вирази бістабільних команд і потрібно керувати трипозиційним пристроєм, наприклад клапаном 4/3 гідравлічним з електромагнітним керуванням (середня позиція забезпечує припинення руху, рис 2.11).

Додаткова умова: вихідна ланка виконавчого пристрою має виконувати переміщення від датчика XN1 до датчика X1 і при прямому і при зворотному русі, в кінцевих положеннях рух має бути припинений на тривалий час.

За умов одиничного значення сигналу основної команди і відсутності сигналу, що підтверджує позиціонування вихідної ланки в кінцевій позиції (Y1 = 1, X1 = 0) магніт клапана, що відповідає за Y1, отримує живлення від виходу контролера. Вихідна ланка здійснює рух в напрямку кінцевої позиції. При досягненні кінцевої позиції і отримання сигналу від датчика X1, живлення магніту має бути припинено. Тоді клапан отримає стабільний стан під дією пружин і рух буде припинено.

Наприклад, розробник має наступні вирази бістабільних команд керування: Y1 ($y_1 \Leftarrow x_{\bar{3}} * x_{\bar{11}}$), YN1 ($y_{\bar{1}} \Leftarrow x_7 * x_{\bar{4}}$) які відповідають виходам контролера A0.2 і A0.3. Контроль положення забезпечують датчики, що надають сигнали XN1 і X1.

Алгоритм для відпрацювання основної команди (мова STL):

```
IF      XN3 AND XN11 AND N X1
    THEN    SET A0.2
            RESET A0.3
    OTHRW   RESET A0.2
```

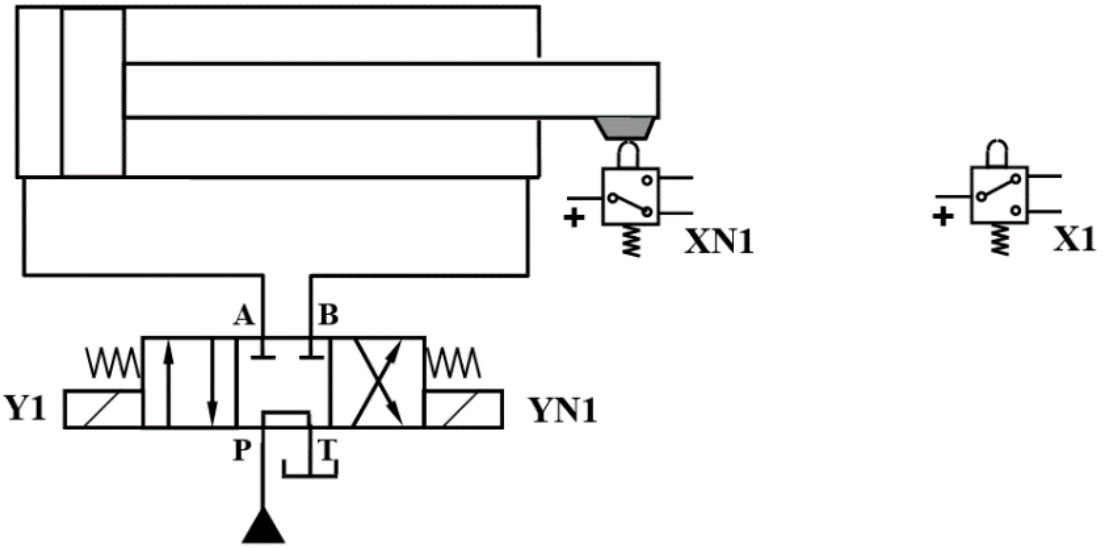


Рис.2.11. Приклад гідравлічного модуля з моностабільним керуючим клапаном 4/3 і переміщенням між двох датчиків X1 і XN1

Алгоритм для відпрацювання зворотної команди (мова STL):

```
IF          X7 AND XN4 AND N XN1
      THEN      SET A0.3
                RESET A0.2
      OTHRW     RESET A0.3
```

Алгоритм для відпрацювання основної команди (мова ST):

```
IF          XN3 AND XN11 AND NOT X1
      THEN      A0.2 := TRUE; A0.3 := FALSE;
      ELSE      A0.2 := TRUE;
END_IF
```

Алгоритм для відпрацювання зворотної команди (мова ST):

```
IF          X7 AND XN4 AND NOT XN1
      THEN      A0.3  := TRUE;  A0.2 := FALSE;
      ELSE    A0.3 := FALSE;
END_IF
```

Аналогічним чином може бути здійснено перехід від одного клапану 5/2 на два клапани 3/2 як з бістабільним, та і з моностабільним керуванням. Означена властивість інваріантного подання в алгоритмі керування логічного виразу команд по відношенню до технічних засобів надає розробнику можливість покращення експлуатаційних чи економічних показників системи шляхом вибору типу керування.

2.2. МЕТОДИКИ СИНТЕЗУ СИСТЕМ 1-ГО КЛАСУ СКЛАДНОСТІ

2.2.1. Формалізація опису систем 1-го класу, функціональний граф

Перший клас - це найпростіші циклові системи. Функціональний граф циклових систем має вигляд кола, зіставленого з окремих однаково орієнтованих дуг, що мають маркування (рис. 2.12).

Кожна дуга – це відрізок процесу. Дуга має маркування – індекс виконуваної на цьому відрізку дії. Існування дуг без маркування не припустимо. Маркування бажано розміщувати ближче до стрілочки дуги функціонального графу. Дуга, з якої система починає роботу, є початковою.

Починаючи з неї, в маркуванні всіх наступних дуг, спочатку з'являються індекси основних дій модулів, а після основної дії кожного модуля в маркуванні подальших дуг знаходиться індекс зворотної дії того самого модуля.

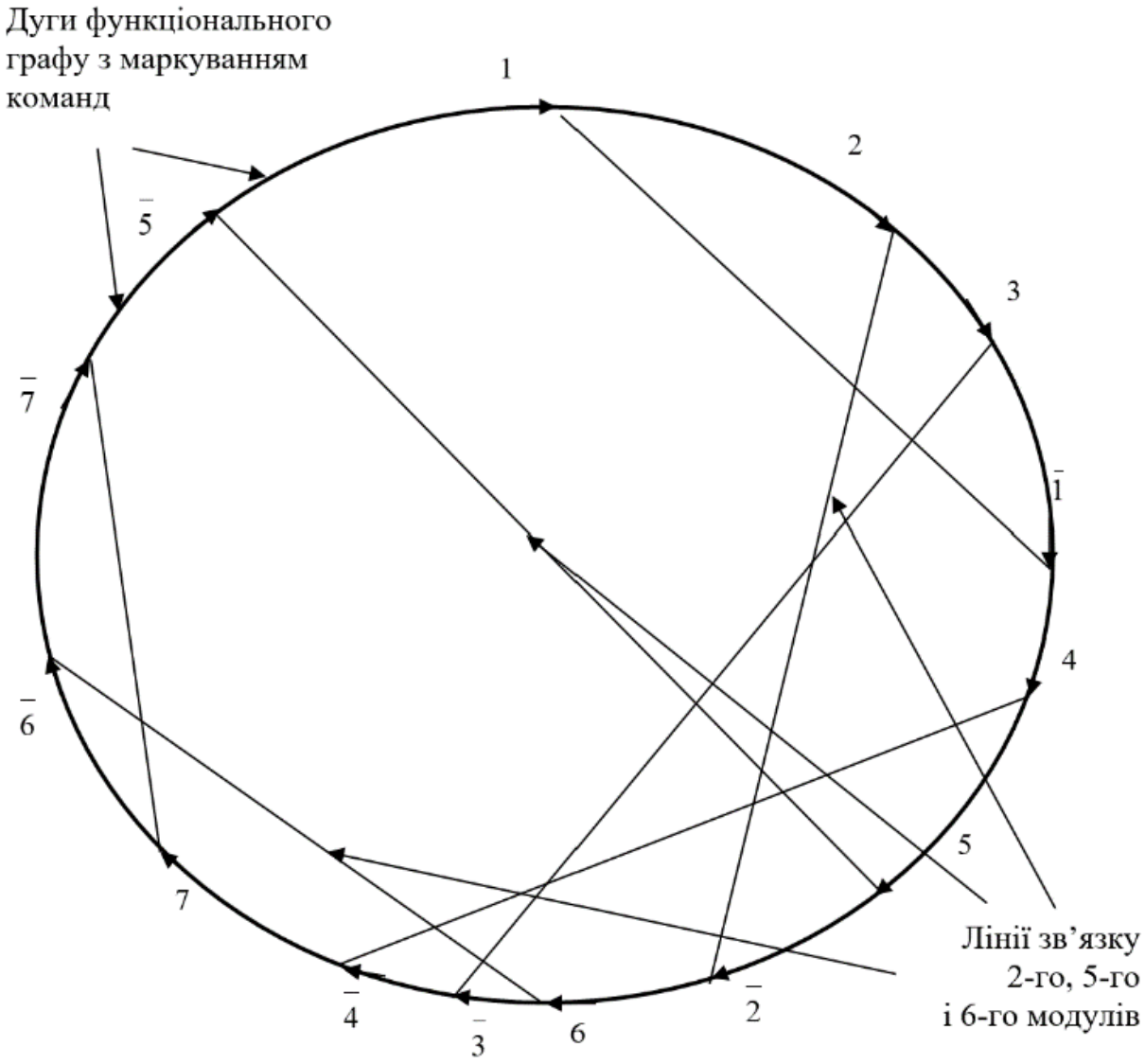


Рис. 2.12. Приклад функціонального графу системи 1-го класу з підграфом зв'язку для системи з 7 модулями і чотирма тактами технологічного циклу

В наведеному прикладі на початок процесу припадає основна дія 1-го модуля. Далі ідуть основна дія 2-го модуля, основна дія 3-го модуля, зворотна дія 1-го модуля і далі – відповідно до технологічного циклу:

$$1 \Rightarrow 2 \Rightarrow 3 \Rightarrow \bar{1} \Rightarrow 4 \Rightarrow 5 \Rightarrow \bar{2} \Rightarrow 6 \Rightarrow \bar{3} \Rightarrow \bar{4} \Rightarrow 7 \Rightarrow \bar{6} \Rightarrow \bar{7} \Rightarrow \bar{5} .$$

В системах 1-го класу кожний модуль системи за один технологічний цикл виконує один раз основну дію і один раз зворотну дію і в кожний момент роботи системи тільки один модуль відпрацьовує дію. В середині кола функціонального графу розташовані лінії зв'язку: лінія з'єднує вершину дуги з основним індексом модуля з вершиною дуги із зворотним індексом цього самого модуля.

Таких ліній в функціональному графі систем 1-го класу буде стільки, скільки є модулів в системі.

Кожна така лінія належить конкретному модулю і розподіляє функціональний граф (процес) на два сегменти. На протязі дуг першого сегменту зберігаються результати виконання попередньої дії цього модуля. На останній дузі сегменту виконується зворотна дія того самого модуля.

Коректність і повноту графу забезпечують:

- наявність зворотних дій для всіх основних дій;
- відсутність дуг без маркування;
- одноразове відпрацювання кожної дії за один цикл;
- при обході графу з початкової дуги для кожного модуля спочатку виникає основна дія, а після неї зворотна дія.

Формуванням функціонального графу і підграфу зв'язку завершено формалізацію опису роботи системи.

2.2.2. Дослідження логічної визначеності систем 1-го класу

Для систем 1-го класу складності може бути застосовано як аналітичний метод розрахунку доданої пам'яті, так і графічна методика з побудовою підграфу невизначеності.

Графічна методика є суттєво простішою у використанні, скорочує термін дослідження і є наочною. Додатково, використання графічної методики допомагає отримати навички використання графів, які будуть корисними на етапах доповнення системи елементами пам'яті і логічного синтезу команд керування.

Дослідження логічної визначеності відбувається шляхом побудови підграфу невизначеності. Якщо такий підграф існує (є хоча би одна лінія невизначеності), то система є логічно невизначеною, тобто, потребує доопрацювання послідовності технологічного циклу.

Лінії невизначеності є графічним аналогом нульового значення доданої пам'яті. Лінія невизначеності відокремлює від функціонального графу системи таку його частину, яка спирається на сегмент з нульовим значенням доданої пам'яті. Тобто, система, що пройшла цей сегмент в технологічному циклі, не зберігає жодної інформації, що цей сегмент відпрацьовано. Наслідком цього є так зване «зациклювання» роботи системи на вказаному сегменті. Процес

побудови ліній невизначеності для найпростіших циклових систем 1-го класу складності простіше виконувати за графічною методикою – без розрахунку пам’яті.

На першому етапі необхідно побудувати функціональний граф системи (рис. 2.13).

На другому етапі додаються лінії зв’язку всіх модулів системи – вони з’єднують вершини дуг, в маркуванні яких позначено взаємо-зворотні дії одного модуля, наприклад, дія 1 і дія $\bar{1}$. Для розглянутого прикладу системи 1-го класу складності кількість ліній зв’язку дорівнює кількості модулів в системі.

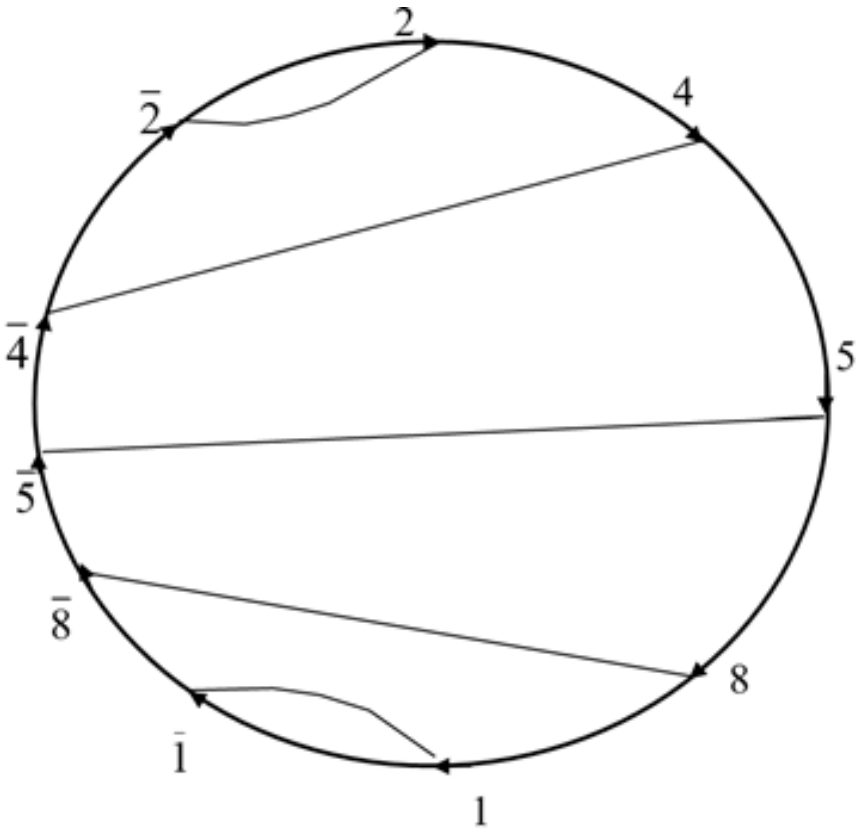


Рис. 2.13. Функціональний граф - марковані дуги зі стрілочками, підграф зв’язку - тонкі лінії

На третьому етапі відбувається доповнення графу лініями невизначеності (рис. 2.14). Кожна лінія має таке розташування, при якому:

- лінія невизначеності відокремлює від функціонального графу сегмент, в якому міститься хоча б одна лінія зв’язку;
- при цьому лінія невизначеності не перетинає жодної лінії зв’язку, але може лише їх торкатися.

Для систем в яких всі модулі однократної дії (повний цикл модуль відпрацьовує один раз за технологічний цикл системи), побудова підграфу невизначеності відбувається за один прохід (рис.2.14). В результаті отримано підграф невизначеності, який складається з чотирьох ліній невизначеності. Кожна лінія невизначеності розділяє функціональний граф на два сегменти для яких додана пам'ять дорівнює нулю.

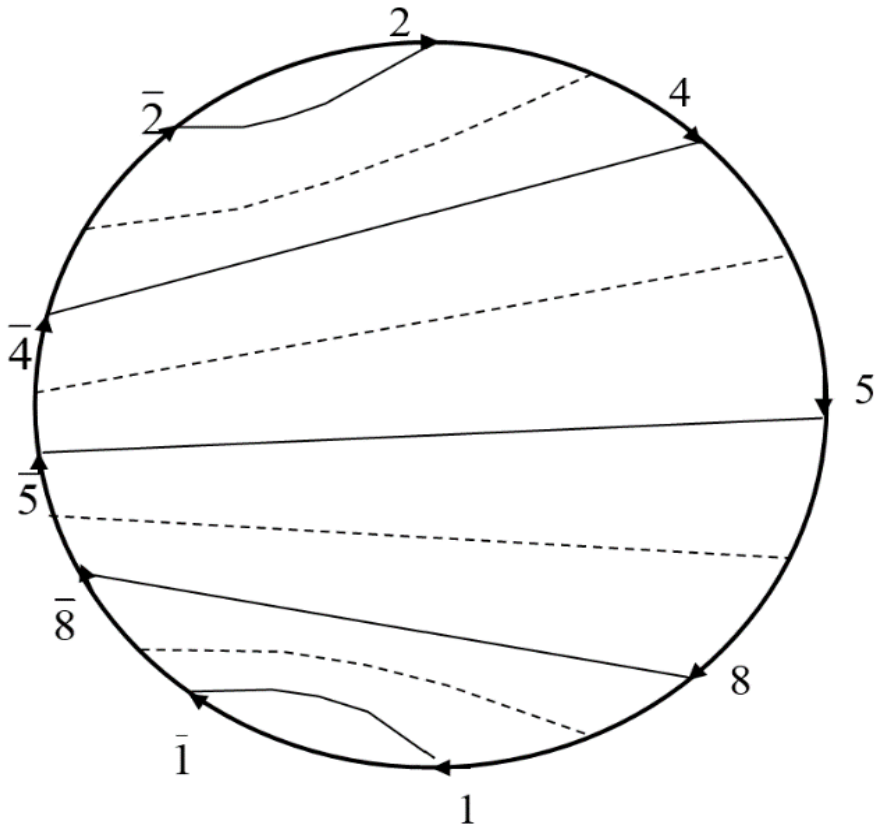


Рис. 2.14. Функціональний граф - марковані дуги зі стрілочками, підграф зв'язку – тонкі лінії, підграф невизначеності – пунктирні лінії

Дві лінії невизначеності є тотожними, якщо вони відокремлюють від функціонального графу один набір ліній зв'язку. В такому випадку лінії невизначеності поглинають одна одну і залишається тільки одна лінія невизначеності.

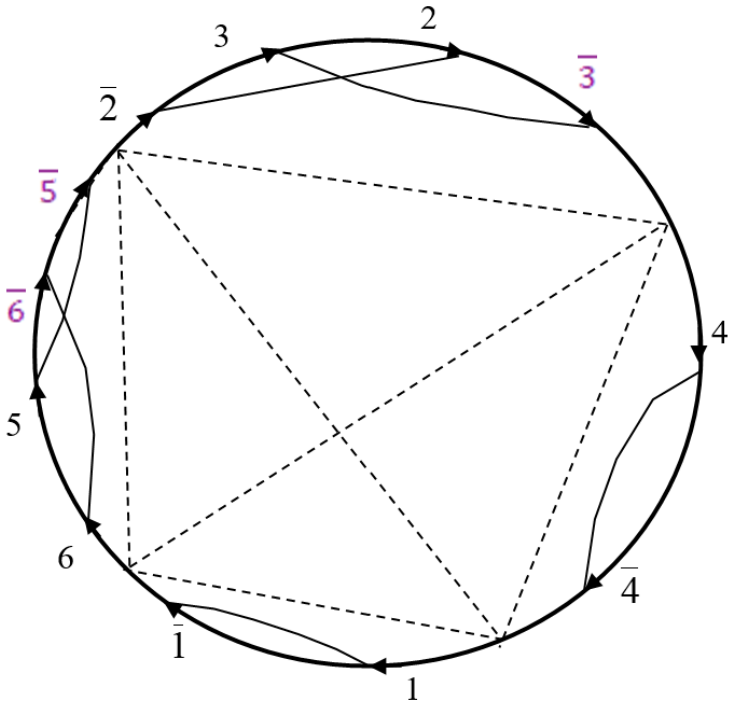


Рис. 2.15. Функціональний граф системи 1-го класу складності з шістьма модулями і підграфом невизначеності, що має діагональні лінії (нанесено пунктиром)

Але, якщо лінії невизначеності утворюють багатокутник, то всі діагональні лінії відокремлюють різні набори ліній зв'язку. Таким чином кількість ліній невизначеності для прикладу (рис. 2.15) дорівнює не 4, а шести.

Діагональні лінії невизначеності дозволяють, в подальшому, зробити більш коректне додавання до системи елементів пам'яті, і як наслідок цього, забезпечують спрощення логічних виразів команд керування.

2.2.3. Доповнення елементами пам'яті систем 1-го класу

Для систем 1-го класу кращою, з причин простоти і наочності, є графічна методика додавання елементів пам'яті до циклових систем.

Процедура додавання елементів пам'яті є рекурентною – елементи пам'яті додаються по черзі з перерахунком результатів додавання. Додається елемент пам'яті, змінюються показники пам'яті системи, якщо показники в нормі – то процедура доповнення завершена, якщо залишились невирішені питання – додається наступний елемент пам'яті.

Вихідні дані:

- функціональний граф системи;
- підграф зв'язку з позначенням модулів;
- підграф невизначеності;
- номер останнього модуля системи.

Порядок доповнення системи елементом пам'яті для випадків існування ліній невизначеності або нульових значень доданої пам'яті:

1. Надаємо новому елементу пам'яті номер, наступний за останнім номером модуля системи.

2. Обираємо на графі місця вмикання і вимикання елемента пам'яті так, щоб його лінія зв'язку перетинала максимальну кількість:

I. ліній невизначеності;
II. за рівної кількості ліній невизначеності – максимальну кількість ліній зв'язку модулів;
III. за рівної кількості перетинів ліній зв'язку модулів – розподіляла граф на сегменти з однаковою або наближеною до однакової кількістю дуг графа.

3. Після того, як визначено місця вмикання і вимикання елемента пам'яті, для нього потрібно побудувати лінію зв'язку, так само, як і для всіх попередніх модулів. Після цього, всі лінії невизначеності, які було викреслено лінією зв'язку елемента пам'яті, втрачають актуальність (вони вже не існують) і їх має бути видалено з графу системи.

ПРИМІТКА – якщо лінія невизначеності і лінія зв'язку виходить з однієї дуги функціонального графу, то перекреслення не дійсне.

4. Якщо, після видалення всіх перекреслених ліній невизначеності залишилась хоча б одна неперекреслена лінія невизначеності, то необхідно додати в систему наступний елемент пам'яті за вище розглянутою послідовністю дій – повертаємось до пункту 1.

Приклад - застосуємо наведену методику доповнення елементами пам'яті

до системи (рис.2.16).

Отриманий варіант підграфу невизначеності вміщує 5 ліній невизначеності, в системі, що має 8 модулів.

Додаємо перший елемент пам'яті, його ім'я – модуль 9. Лінією зв'язку першого елементу пам'яті максимально вдається перекреслити 4 лінії невизначеності (рис. 2.16). При цьому лінія елемента пам'яті перекреслює:

- 5 ліній зв'язку модулів;
- розподіляє функціональний граф на сегменти з 8 і 10 дуг відповідно, тобто, приблизно рівні частини.

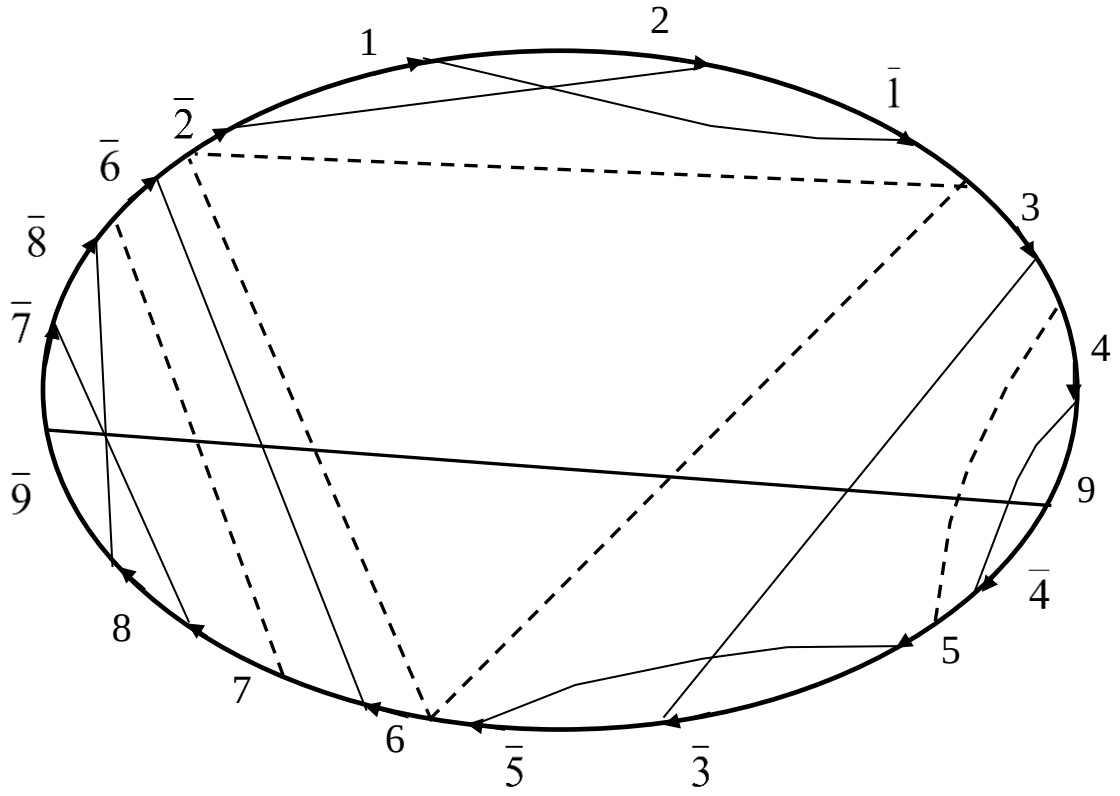


Рис. 2.16. Приклад функціонального графу системи 1-го класу з підграфом зв'язку модулів (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) та підграфом невизначеності, додано елемент пам'яті 9

Якщо вимикання елемента пам'яті підняти на одну дугу вище, або змістити на одну дугу нижче, то кількість перетинів ліній зв'язку зменшуватиметься на одну, тобто надає гірші показники.

Видаляємо всі ліквідовані лінії невизначеності (перекреслені, рис. 2.17).

Оскільки інших варіантів розташування лінії зв'язку модуля 9 при максимальній кількості викреслених ліній невизначеності і максимальній кількості перетинів з лініями зв'язку немає, то розглядати симетричний поділ графу немає сенсу.

Залишилась одна не викреслена лінія невизначеності (рис. 2.17). Кількість модулів в системі зросла до 9. Потрібно додати наступний елемент пам'яті і його ім'я буде «модуль 10».

Лінія невизначеності, що залишилась, відокремлює тільки дві дуги графу і

дві лінії зв’язку модулів 1 і 2. Тобто, для вмикання елемента пам’яті є три варіанти:
1 - після зворотної дії модуля 2; 2 - після основної дії модуля 1; 3 - після основної дії модуля 2.

Другий варіант має ту перевагу, що, незалежно від місця наступного вимикання модуля 10, він забезпечує перетинання ліній зв’язку модулів 1 і 2. Два інших варіанти мають тільки перетин з однією з вказаних ліній зв’язку. Обираємо місце вмикання модуля 10.

Шукаємо місце вимикання модуля 10 за максимальною кількістю перекреслених ліній зв’язку модулів (оскільки лінія невизначеності тільки одна). Знаходимо три варіанти розташування вимикання модуля 10, що забезпечують перетинання 6 ліній невизначеності (позначено *, ** і ***, рис. 2.17). Оскільки варіантів три, потрібно перевірити показник симетричного розташування. При варіанті (*) менший сегмент охоплює 4 дуги з 18. У другому варіанті (**) менший сегмент охоплює 6 дуг з 18. У третьому варіанті (***) менший сегмент охоплює 5 дуг з 18. Обираємо варіант (**) для вимикання модуля 10. Модуль 10 викреслив останню лінію невизначеності.

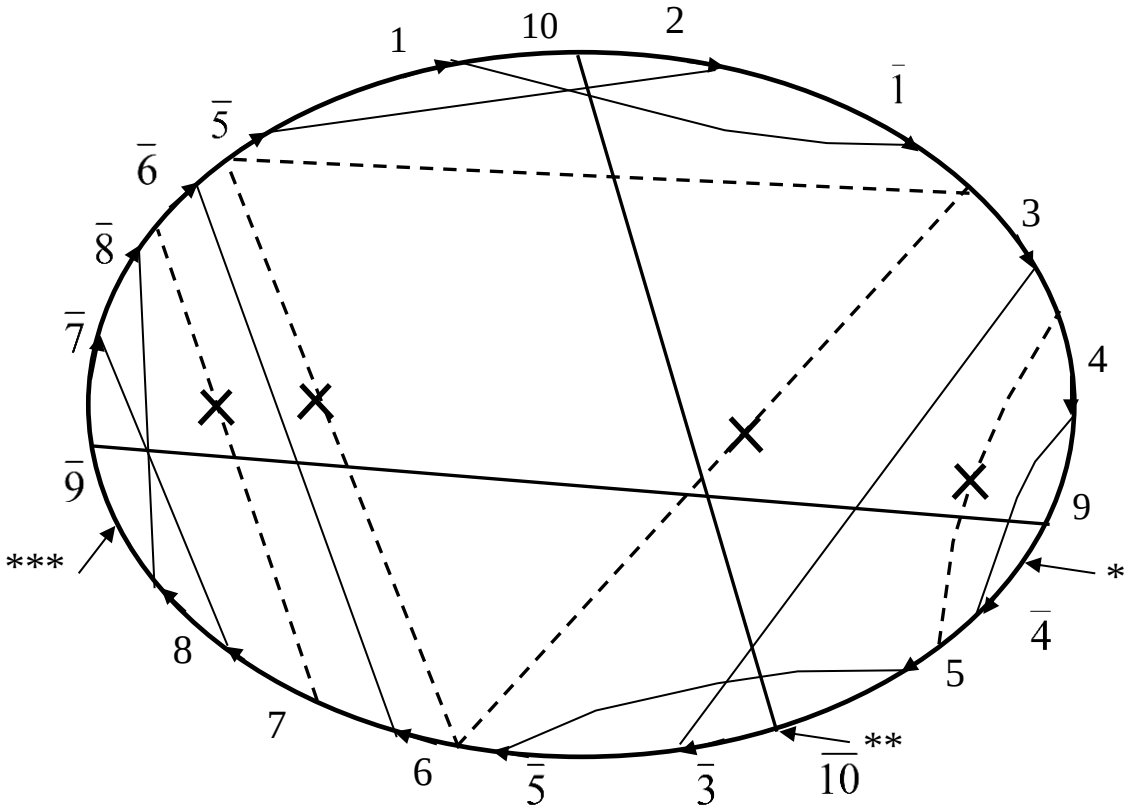


Рис. 2.17. Приклад функціонального графу системи 1-го класу з підграфом зв’язку модулів (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) та підграфом невизначеності, додано елемент пам’яті 9 (викреслені 4 лінії невизначеності), додано елемент пам’яті 10 (можливі місця вимикання елемента 10 позначено *, **, *)**

Після того, як всі лінії невизначеності ліквідовані, систему можна вважати логічно визначеною (рис. 2.17). Наступним етапом може бути логічний синтез виразів команд керування.

2.2.4. Логічний синтез команд керування для систем 1-го класу

Системи 1-го класу найпростіші – до їх складу входять тільки однорежимні модулі (модулі, що за цикл виконують по одному разу основну і зворотну дію) і всі дії відбуваються послідовно.

Логічні вирази команд керування мають забезпечувати:

- вироблення сигналу команди в потрібний момент процесу відпрацювання технологічного циклу;
- зберігання виробленого сигналу керування до підтвердження, що дія відпрацьована;
- зберігання виробленого сигналу до моменту подачі зворотної команди для випадку моностабільного керування (замість зворотної команди – пружина);
- прибирання сигналу під час подачі, відпрацювання і збереження результату, відпрацювання зворотної дії.

Зміна стану кожного модуля відбувається в часі, тобто, в кожну мить роботи. Незалежно від кількості пристроїв та кількості переходів в процесі структура логічних виразів команд керування має наступний вигляд:

$$y_{i(1)} \Leftarrow \bigcup_{k=1}^{1} x_{(i)} * \{x\}_{i-\bar{i}} \ , \qquad (2.1)$$

де $y_{i(1)}$ - логічний вираз основної (зворотної) команди керування для і-го модуля системи; 1 – перший клас складності систем; $x_{(i)}$ - сигнал, що є безпосередньою причиною (передумовою) подачі команди; $\{x\}_{i-\bar{i}}$ - добуток сигналів, який забезпечує вимкнення основної (зворотної) команди до вироблення сигналу зворотної (основної) команди.

Методика складання виразу бістабільної команди керування для систем 1-го класу

1. Обираємо на функціональному графі дугу, в маркуванні якої міститься індекс потрібної команди (модуля із позначкою інверсії для зворотної дії або без інверсії для основної дії).
2. Будуємо контур з відрізків ліній зв’язку, який з’єднує початок обраної дуги з її вершиною і має при цьому мінімальну кількість відрізків та ніде не торкається функціонального графа.
3. Записуємо добуток сигналів стану з індексами ліній зв’язку задіяних в контурі, окрім останнього.
4. Отриманий вираз є остаточним варіантом команди керування.

Приклад логічного синтезу системи 1-го класу (рис.2.18) виконано для основної команди 4-го модуля і зворотної команди 5-го модуля.

1. Знаходимо на графі дугу, яка містить в маркуванні індекс потрібної команди – 4. Ця дуга розташована на графі одразу після дуги з індексом зворотної команди 1-го модуля, а після неї розташована дуга з індексом основної команди 5-го модуля.
2. Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, який з'єднує початкову і кінцеву вершини обраної дуги – в контур залучено три наступні лінії зв'язку $\bar{1}$ - 1, 3 - $\bar{3}$, 4 - $\bar{4}$.

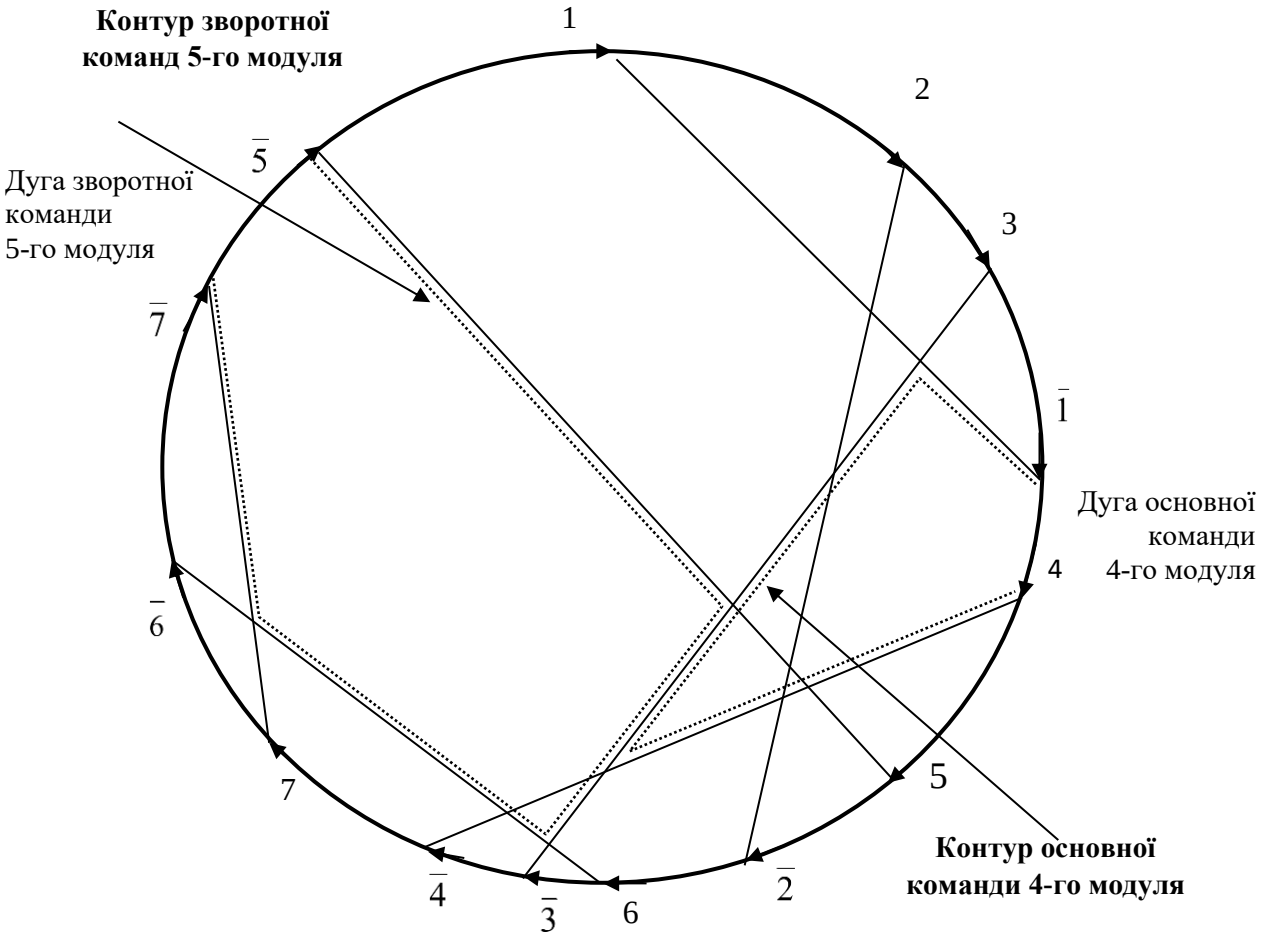


Рис. 2.18. Функціональний граф з прикладами побудови контурів (траєкторій) логічних виразів команд: основної команди 4-го модуля, зворотної команди 5-го модуля

3. Записуємо добуток сигналів стану з індексами усіх задіяних в контурі ліній зв'язку окрім останньої. Індекс обираєм з врахуванням напрямку проходження лінії зв'язку, сигнали впорядковуємо відповідно до порядку їх розташування в контурі: $x_{\bar{1}} * x_3$.
4. Записуємо логічний вираз команди керування (бістабільний варіант):

$$y_4 \Leftarrow x_{\bar{1}} * x_3 .$$

Аналогічно укладаємо вираз зворотної команди керування 5-го модуля (рис.2.18).

1. Дуга, що вміщує зворотний індекс команди $y_{\bar{5}}$, розташована одразу після дуги з індексом зворотної команди 7-го модуля, та безпосередньо перед дугою з індексом основної команди 1-го модуля.
2. В контурі задіяно лінії зв'язку: $\bar{7}$ - 7, $\bar{6}$ - 6, $\bar{4}$ - 4, 5 - $\bar{5}$.
3. Впорядкований добуток сигналів стану:

$$x_{\bar{7}} * x_{\bar{6}} * x_{\bar{3}}.$$

4. Логічний вираз команди керування:

$$y_{\bar{5}} \Leftarrow x_{\bar{7}} * x_{\bar{6}} * x_{\bar{3}}.$$

Застосування у виразах команд символу « $\Leftarrow$ » підкреслює той факт, що це не рівняння, а причинно-наслідкові зв'язки – від істинності логічного виразу (умови) до формування сигналу команди керування.

Збереження впорядкованості ліній зв'язку ($\bar{7}$ - 7, $\bar{6}$ - 6, $\bar{4}$ - 4, 5 - $\bar{5}$) під час формування добутку не має принципового значення, але суттєво спрощує наступні складання і налагодження системи або її модернізацію.

Маркування дуг функціонального графу бажано виконувати так, щоб першими індексами в маркуванні дуги були індекси ліній зв'язку, які охоплюють як найменше дуг вздовж графу. Для систем 1-го і 2-го класів ця пропозиція не має значення, оскільки в маркуванні дуг є тільки по одному індексу. Для систем 3-го і подальших класів складності таке маркування збільшує вживаність у виразах команд різних модулів одних і тих самих комбінацій сигналів, а це може бути використано, в разі потреби, для мінімізації систем чи алгоритмів керування.

Нижче наведено логічні вирази бістабільних команд керування всіх модулів прикладу (рис. 2.18):

$$y_1 \Leftarrow x_{\bar{5}} * x_{\bar{3}} \qquad y_{\bar{1}} \Leftarrow x_3$$

$$y_2 \Leftarrow x_1 \qquad y_{\bar{2}} \Leftarrow x_5$$

$$y_3 \Leftarrow x_2 \qquad y_{\bar{3}} \Leftarrow x_6$$

$$y_4 \Leftarrow x_{\bar{1}} * x_3 \qquad y_{\bar{4}} \Leftarrow x_{\bar{3}}$$

$$y_5 \Leftarrow x_4 \qquad y_{\bar{5}} \Leftarrow x_{\bar{7}} * x_{\bar{6}} * x_{\bar{3}}$$

$$y_6 \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_4 \qquad y_{\bar{6}} \Leftarrow x_7$$

$$y_7 \Leftarrow x_{\bar{4}} * x_6 \qquad y_{\bar{7}} \Leftarrow x_{\bar{6}} \ .$$

Якщо для бістабільного варіанту керуючих пристроїв мають бути синтезовані і основна, і зворотна команди, то для моностабільного варіанту керуючих пристроїв можливі різні варіанти.

При використанні двопозиційного керуючого пристрою (клапани 4/2, 5/2. 3/2) з пневматичним, гідравлічним чи електромагнітним керуванням потрібно синтезувати тільки одну команду. Інша команда буде відпрацьована за допомогою пружини, що перемикає керуючий пристрій. Але яка саме команда має бути синтезована – вирішує розробник. Підґрунтям для вибору може бути безпека системи (при зникненні живлення спрацює пружина). Може бути розвантаження магніту (якщо на основну команду припадає 3 хвилини, а на зворотну 25 секунд, то бажано магніт вмикати на 25 секунд, а потім він 3 хвилини «відпочиває». Чи якісь інші змістовні або технічні особливості.

При використанні трипозиційного керуючого пристрою (клапани 4/3, 5/3. 3/3) з пневматичним, гідравлічним чи електромагнітним керуванням потрібно визначити, яка роль припадає на третю позицію. Наприклад, 1 позиція (магніт №1) забезпечує рух вперед, друга позиція (Магніт №2) забезпечує рух повернення. Третя позиція використана для аварійної зупинки. Інший приклад: 1 позиція (магніт №1) забезпечує обертання гідромотора, друга позиція (Магніт №2) забезпечує розвантаження гідросистеми, третя позиція відповідає зворотній дії – зупинці гідромотора. Ця позиція буде активною при відсутності живлення на обох магнітах, тобто для зворотної дії потрібно надати право керування пружині. Тоді потрібно синтезувати одну команду моностабільного варіанту, так само, як для 2-позиційних керуючих пристроїв.

Таким чином, моностабільна команда для пристроїв двопозиційних та останнього варіанту трипозиційного пристрою керування, може укладатись як для основної дії, так і для зворотної дії, при тому що інша команда буде виконуватись пружиною.

Методика складання виразу моностабільної команди керування для систем 1-го класу

1. Обираємо на функціональному графі початкову вершину дуги, в маркуванні якої міститься індекс потрібної команди (модуля із позначкою інверсії або без неї) – це початкова вершина траєкторії команди.
2. Обираємо на функціональному графі початкову вершину дуги, в маркуванні якої міститься зворотній індекс до потрібної команди – це кінцева вершина траєкторії команди.
3. Будуємо контур або траєкторію команди з відрізків ліній зв’язку, який з’єднує початкову і кінцеву вершини і має при цьому мінімальну кількість відрізків та ніде не торкається функціонального графа.
4. Записуємо перелік сигналів стану з індексами ліній зв’язку задіяних в траєкторії команди.
5. ТРИМАЄМОСЬ ПРАВОЮ РУКОЮ ЗА ТРАЄКТОРІЮ і рухаємось від початку до кінця траєкторії: якщо кут між суміжними відрізками траєкторії менший за 180 – ставимо між сигналами знак множення, інакше – ставимо знак додавання.

6. У сигналу, що відповідає останньому відрізку траєкторії, ІНВЕРТУЄМО і сигнал, і індекс.
7. Отриманий вираз є остаточним варіантом моностабільної команди керування.

Наприклад, для основної команди першого модуля отримуємо наступну траєкторію команди (рис.2.19).

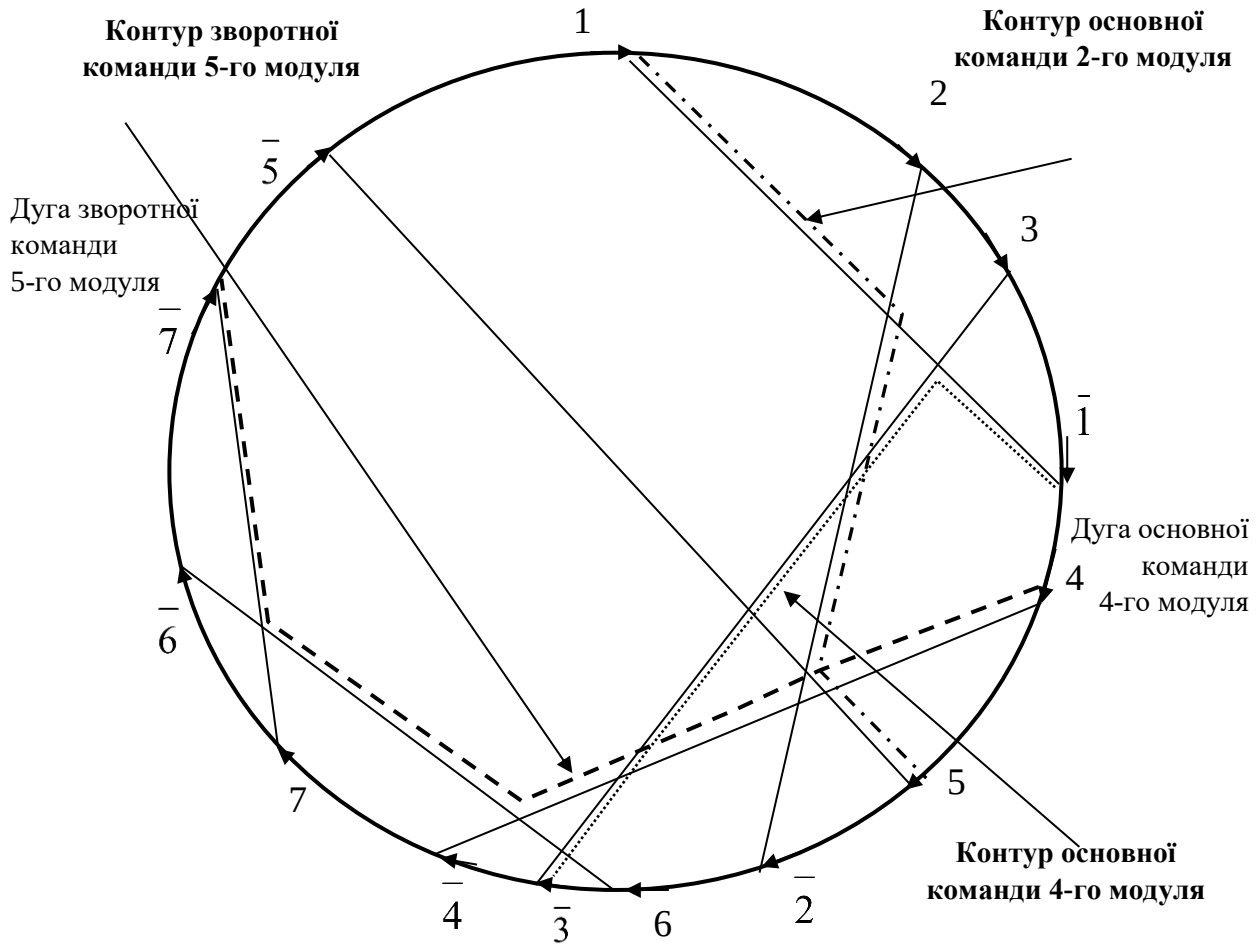


Рис. 2.19. Функціональний граф з прикладами побудови контурів (траєкторій) логічних виразів моностабільних команд: основної команди 2-го модуля, основної команди 4-го модуля, зворотної команди 5-го модуля

Для наближення виразів команд до форми, придатної для програмування контролерів, скористуємось наступною символікою позначення сигналів стану, сигналів команд і логічних функцій:

Сигнал основної команди модуля 7:	Y7
Сигнал зворотної команди модуля 7:	YN7
Сигнал стану після основної команди модуля 7:	X7
Сигнал стану після зворотної команди модуля 7:	XN7
Добуток сигналів стану X7 і XN2:	X7 * XN2

Сума сигналів стану XN2, XN5 і X3:	XN2 + XN5 + X3
Інверсія сигналу стану XN2:	NXN2
Інверсія добутку сигналів стану X4 і XN2:	N(X4 * XN2)
Інверсія суми сигналів стану X4 і XN2:	N(X4 + XN2)

Наприклад, для основної команди 2-го модуля отримуємо траєкторію або контур моностабільного виразу команди: 1 - $\bar{1}$,2 - $\bar{2}$, $\bar{5}$ - 5 . Для зворотної команди 5-го модуля маємо наступну траєкторію: $\bar{7}$ - 7, $\bar{6}$ - 6, $\bar{4}$ - 4.

Зауважимо, що при побудові траєкторії основної і зворотної команд одного модуля використані ті самі лінії зв'язку, тільки в траєкторії вони задіяні в зворотному напрямку і з протилежними знаками між сигналами: замість «*» маємо «+» , а замість «+» маємо «*» .

Згідно наведеної символіки отримуємо моностабільні вирази основних команд керування для прикладу (рис.2.19):

Y1 = XN5 * NX3
Y2 = X1 + X2 * NX5
Y3 = X2 + X3 * NX6
Y4 = XN1 * NXN3
Y5 = X4 + X6 + NXN7
Y6 = XN2 * X4 + X6 * NX7
Y7 = XN4 * NXN6

Так само отримуємо моностабільні вирази зворотних команд керування для прикладу (рис. 2.19):

YN1 = X3 + NXN5
YN2 = X5 + XN2 * NX1
YN3 = X6 + XN3 * NX2
YN4 = XN3 + NXN1
YN5 = XN7 * XN6 * NX4
YN6 = X7 + XN6 * XN4 + NXN2
YN7 = XN6 + NXN4

Отримані вирази мають мінімальну форму, тобто не потребують додаткової мінімізації і можуть бути безпосередньо використані при побудові принципових схем або алгоритмів керування.

Окремим питанням є технічна та локальна мінімізація складу системи керування, яка вирішує, наприклад, питання багатократного використання обрахованих логічних функцій, що повторюються в різних командах, або нетипове застосування засобів контролю і керування. Подібні питання будуть розглянуті під час побудови прикладів систем.

2.3. МЕТОДИКИ СИНТЕЗУ СИСТЕМ 2-ГО КЛАСУ СКЛАДНОСТІ

2.3.1. Формалізація опису систем 2-го класу, функціональний граф

Другий клас, це циклові системи з багаторежимними модулями. Функціональний граф циклових систем має вигляд кола, зіставленого з окремих однаково орієнтованих дуг (рис. 2.20).

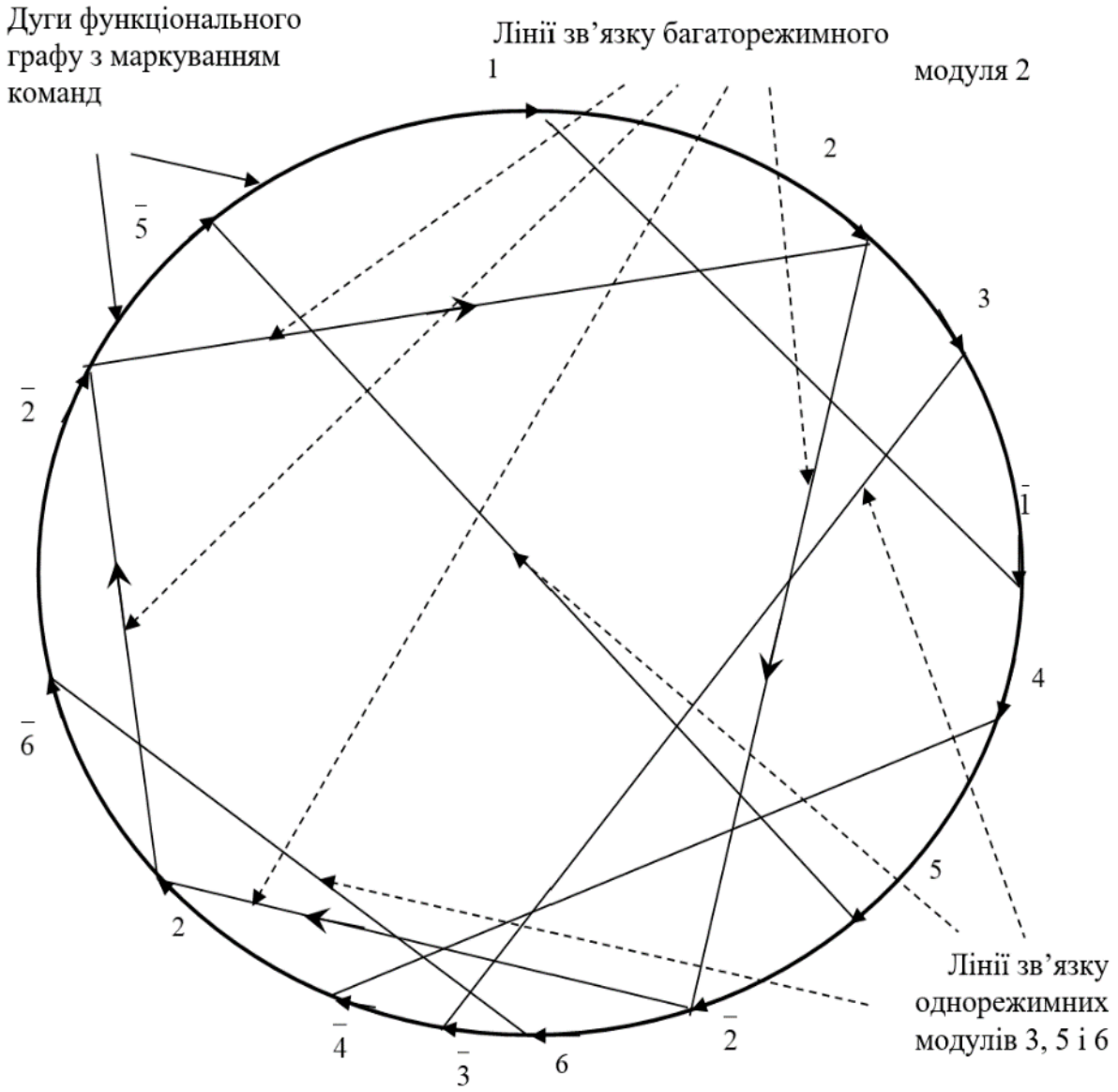


Рис. 2.20. Приклад функціонального графу системи 2-го класу з підграфом зв'язку і одним дворежимним модулем 2

Основні положення формалізації систем 2-го класу тотожні до аналогічних положень для систем 1-го класу. Кожна дуга – це відрізок процесу. Кожна дуга має маркування – індекс виконуваної дії. Існування дуг без маркування не припустимо. Маркування бажано розміщувати ближче до стрілочки дуги функціонального графу. Дуга, з якої система починає роботу, є початковою. Починаючи з неї, в маркуванні всіх наступних дуг, спочатку з'являються індекси

основних дій модулів, а після основної дії кожного модуля в маркуванні подальших дуг знаходиться індекс зворотної дії модуля.

В наведеному прикладі на початок роботи припадає основна дія 1-го модуля. Далі ідуть основна дія 2-го модуля першого режиму, основна дія 3-го модуля, зворотна дія 1-го модуля і далі – відповідно до технологічного циклу:

$$1 \Rightarrow 2 \Rightarrow 3 \Rightarrow \overline{1} \Rightarrow 4 \Rightarrow 5 \Rightarrow \overline{2} \Rightarrow 6 \Rightarrow \overline{3} \Rightarrow \overline{4} \Rightarrow 2 \Rightarrow \overline{6} \Rightarrow \overline{2} \Rightarrow \overline{5}\,.$$

В системах 2-го класу модулі системи за один технологічний цикл можуть виконувати основну дію і зворотну дію по декілька разів. При цьому в кожний момент роботи системи тільки один модуль відпрацьовує дію.

В середині кола функціонального графу розташовані лінії зв'язку: лінія основної дії з'єднує вершину дуги з основним індексом модуля в вершиною наступної вздовж циклу дуги із зворотним індексом цього самого модуля. Лінія зворотної дії з'єднує вершину дуги із зворотним індексом модуля в вершиною наступної вздовж циклу дуги із основним індексом цього самого модуля. Для однорежимних модулів обидві лінії співпадають і на них можна не проставляти напрямок (як в системах 1-го класу) та малювати тільки одну лінію. Для багаторежимних модулів їх лінії зв'язку утворюють багатокутник з кількістю кутів вдвічі більшою, за кількість режимів (рис.2.20). В цьому багатокутнику лінії зв'язку мають напрям, який збігається з напрямом функціонального графу. Тобто багатокутник є вписаним в функціональний граф і вони мають узгоджений напрямок.

Ліній зв'язку в функціональному графі систем 2-го класу буде стільки, скільки є однорежимних модулів плюс подвійна кількість багаторежимних модулів помножена на кількість режимів кожного модуля. Для розглянутого прикладу (рис. 2.20) отримуємо: 5 однорежимних + 2 (1 багаторежимний) * 2 (дворежимний) = 9 .

Кожна лінія зв'язку відокремлює від графу сегмент, з яким вона має спільний напрямок. На протязі дуг сегменту зберігаються результати виконання попередньої дії модуля, якому належить лінія зв'язку. На останній дузі сегменту виконується зворотна дія цього модуля і цього режиму.

Коректність і повноту графу забезпечують:

- наявність зворотних дій для всіх основних дій;
- кількість зворотних дій і кількість основних дій для кожного модуля має бути однаковою;
- для кожного модуля його основні дії і його зворотні дії мають чергуватись при обході функціонального графу;
- відсутність дуг без маркування;
- при обході графу з початкової дуги для кожного модуля спочатку виникає основна дія, а після неї зворотна дія.

Формуванням функціонального графу і підграфу зв'язку завершено формалізацію опису роботи системи.

2.3.2. Дослідження логічної визначеності систем 2-го класу

Для систем 2-го класу складності може бути застосовано як аналітичний метод розрахунку доданої пам'яті, так і графічна методика з побудовою підграфу невизначеності. Графічна методика є суттєво простішою у використанні, якщо в системі кількість багаторежимних пристроїв не перевищує двох. При цьому графічна методика скорочує термін дослідження і є більш наочною. При значній кількості багаторежимних модулів більш привабливою є аналітична методика, яку було наведено у загальній частині.

Якщо в системі задіяно хоча би один модуль багатократної дії, то дослідження за допомогою графічної методики відбувається шляхом виконання декількох ітерацій. Наприклад, в системі є фіксатор – модуль 4 – двократної дії. Графічна методика укладатиметься з двох ітерацій або проходів. В загальному випадку кількість проходів має дорівнювати 2^n, де n – кількість багаторежимних модулів.

Наприклад, фіксатор 4 після завершення циклу має стан «затиснуте». Тоді, попередньо, для фіксації деталі він має спочатку бути вивільненим (перша дія модуля 4, рис.2.21), а після цього відбувається фіксація (зворотна дія $\overline{4}$).

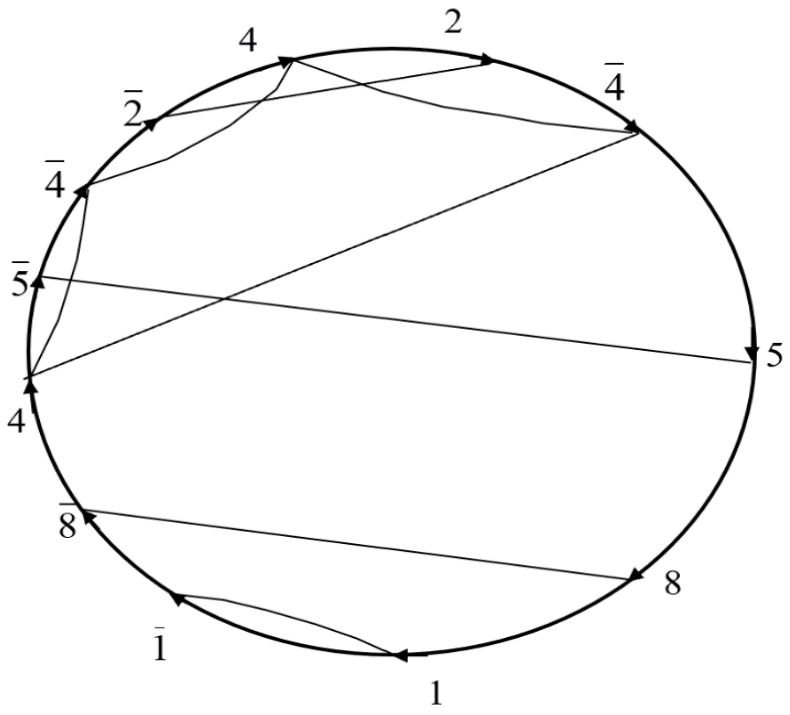


Рис.2.21. Функціональний граф системи 2-го класу складності, багаторежимний модуль 4

По завершенню циклу фіксатор знову обійме стан «затиснуте». Тобто система відпрацьовуватиме процес із залученням модуля двократної дії – модуля фіксації 4. Модуль фіксатора – основна дія 4 (вивільнено і вимкнено), зворотна дія $\overline{4}$ (затиснуте і увімкнено).

Отримана послідовність дій модулів:

$$4 \Rightarrow 2 \Rightarrow \bar{4} \Rightarrow 5 \Rightarrow 8 \Rightarrow 1 \Rightarrow \bar{1} \Rightarrow \bar{8} \Rightarrow 4 \Rightarrow \bar{5} \Rightarrow \bar{4} \Rightarrow \bar{2}.$$

У відповідності з отриманою послідовністю дій можна зазначити, що в системі задіяно 4 однорежимних модулі (1, 2, 5 і 8) і один багаторежимний модуль – 4. Модуль 4 є дворежимним – його цикл спрацювань відбувається двічі за один технологічний цикл системи (рис.2.21).

В даному випадку, для дослідження логічної визначеності, необхідно побудувати $2^n = 2$ допоміжних варіантів функціонального графу (рис.2.22, а і б). Ці варіанти відрізнятимуться наборами ліній зв'язку багаторежимних модулів – в прикладі – 4-го модуля.

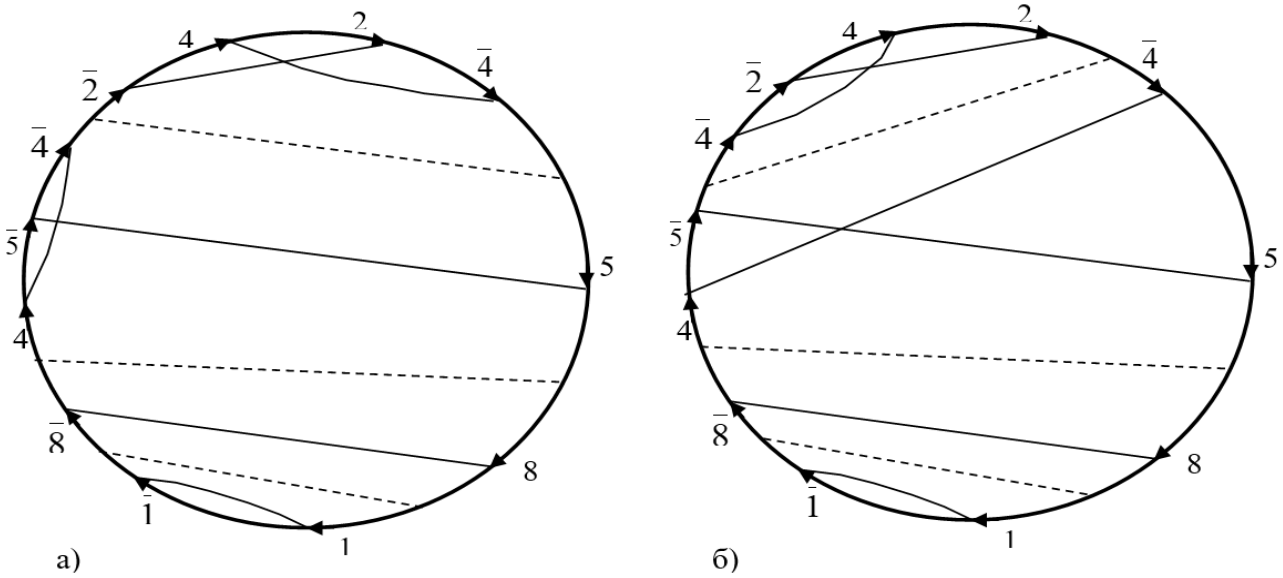


Рис. 2.22. Функціональний граф системи 2-го класу складності з неповним підграфом зв'язку багаторежимного 4-го модуля: а) лінії (4 - $\bar{4}$); б) лінії ($\bar{4}$ - 4) та підграфом невизначеності (пунктирні лінії)

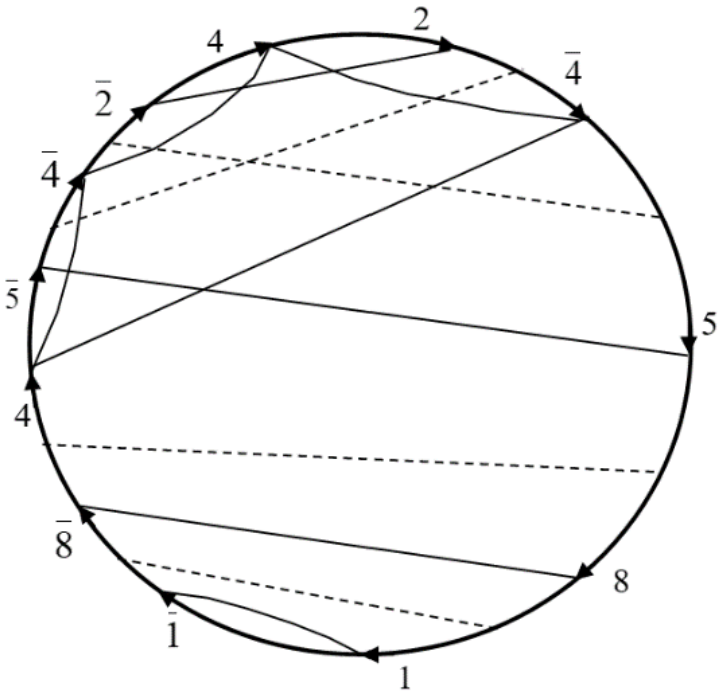


Рис. 2.23. Функціональний граф системи 2-го класу складності з остаточним підграфом невизначеності (пунктирні лінії)

Варіант а) вміщує тільки лінії зв'язку основної дії модуля 4, які з'єднують вершини дуг з індексом 4 з вершинами наступних дуг з індексом $\overline{4}$. До варіанту б) мають бути залучені тільки лінії зв'язку зворотної дії, що з'єднують вершини дуг з індексом $\overline{4}$ з вершинами наступних дуг з індексом 4. Всі лінії зв'язку однорежимних модулів присутні в обох варіантах.

На кожному варіанті графу потрібно нанести всі можливі лінії невизначеності за раніш наведеними правилами. Тобто лінія невизначеності відокремлює від графу хоча би одну лінію зв'язку і при цьому не перетинає жодної лінії зв'язку.

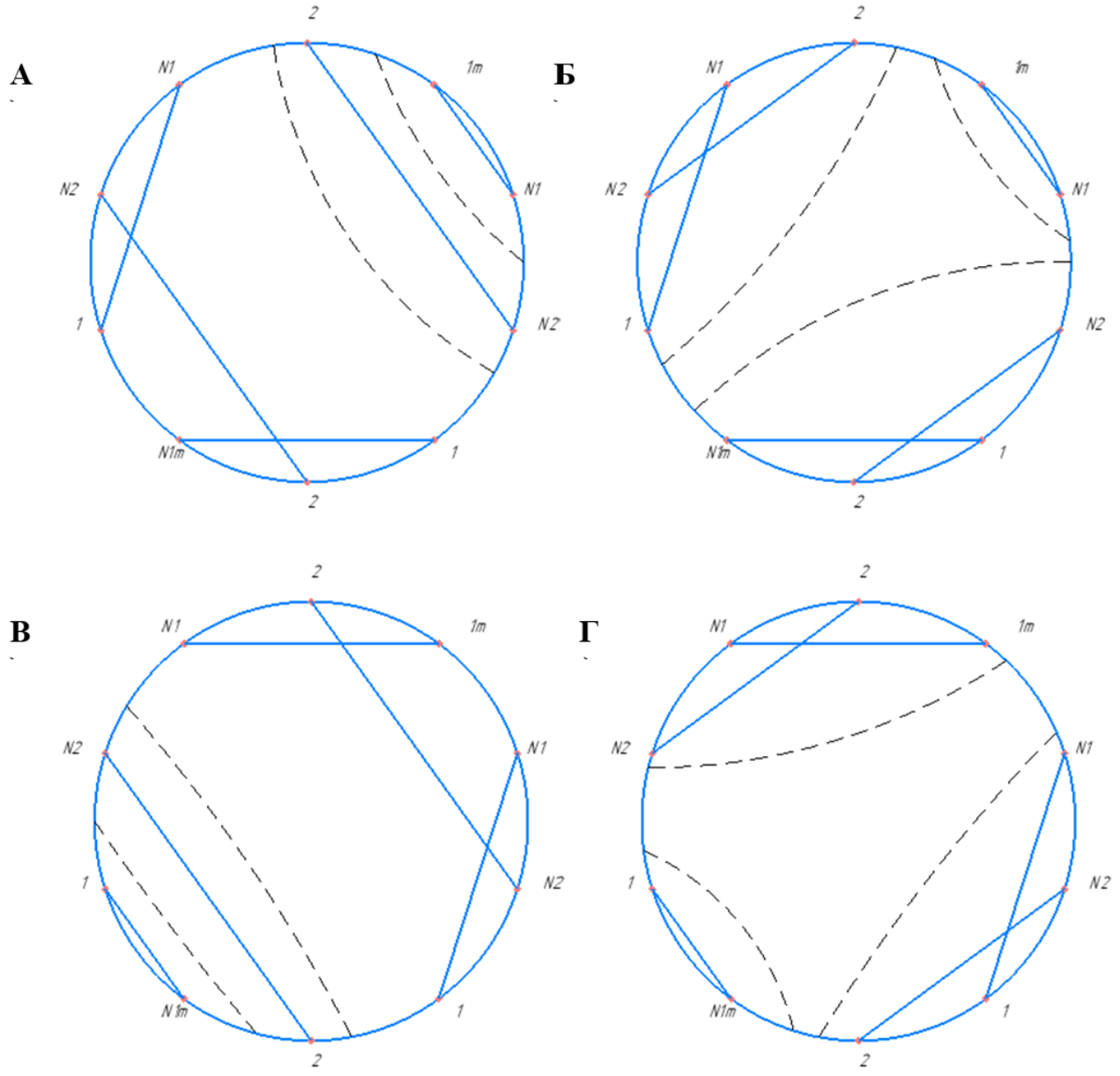


Рис. 2.24. Приклад побудови підграфу невизначеності для системи 2-го класу з двома багаторежимними модулями 1 і 2 за графічною методикою з наступними ітераціями: А - (1→N1, 2→N2), Б - (1→N1, N2→2), В - (N1→1, 2→N2), Г - (N1→1, N2→2)

Після розгляду всіх передбачених ітерацій всі лінії невизначеності з усіх варіантів потрібно копіювати на повний функціональний граф. У разі накладання

однієї лінії на іншу залишається тільки одна лінія невизначеності (Рис.2.23). Основним результатом дослідження є встановлення факту, що система є логічновизначеною, або вона є інформаційно недостатньою для подальшої технічної реалізації. Якщо за результатами досліджень не виявлено жодної лінії невизначеності, то система є логічновизначеною і розробник може зробити наступний крок – перейти до логічного синтезу.

Якщо за результатами досліджень було побудовано підграф невизначеності або розраховані нульові значення доданої пам'яті, то потрібно перевірити послідовність дій в структурі процесу, повноту врахування поточних змін стану продукту, перевірити коректність структури процесу. В будь якому варіанті граф системи потребує коригування або доповнення елементами пам'яті доти, доки в ньому залишатиметься хоча би одна лінія невизначеності.

Графічна методика може бути простішою і у випадку 2 … 3 багаторежимних модулів (рис. 2.24). Дії першого модуля можна позначати 1, 1m, N1, N1m, що вказує на різні позиції при відпрацюванні першого і другого режимів основної дії першого модуля.

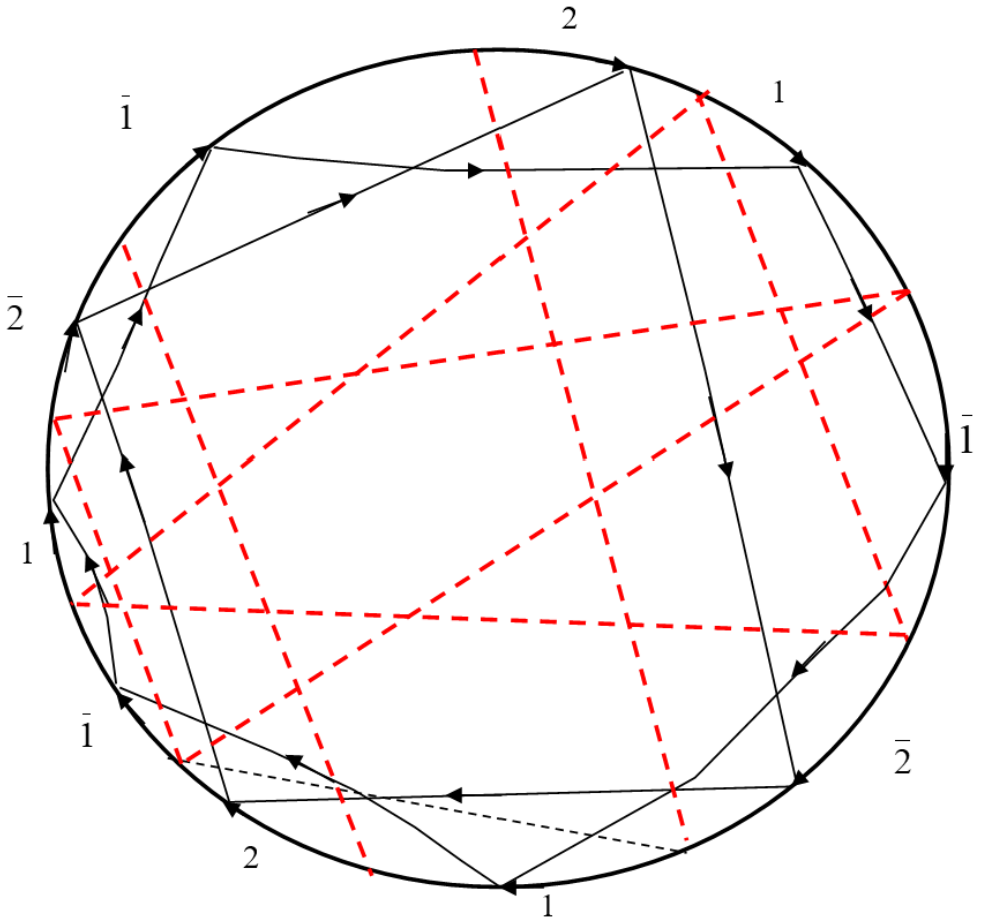


Рис. 2.25. Функціональний граф системи 2-го класу складності з двома багаторежимними модулями і остаточним підграфом невизначеності (пунктирні лінії), побудованим за графічною

В прикладі з двома багаторежимними модулями маємо 4 ітерації для різних комбінацій основних і зворотних ліній зв'язку двох багаторежимних модулів. Багаторежимні модулі 1 і 2 за графічною методикою маємо наступні ітерації:
А - (1→N1, 2→N2), Б - (1→N1, N2→2), В - (N1→1, 2→N2), Г - (N1→1, N2→2).

Якщо багаторежимних модулів буде 3, то ці чотири варіанти подвоюються: спочатку всі чотири варіанти при основних лініях зв'язку третього багаторежимного модуля. Після цього знову всі ці чотири варіанти, але вже разом із зворотними лініями зв'язку третього багаторежимного модуля.

Після завершення ітерацій отримуємо 4 варіанти розташування ліній невизначеності (рис.2.24).

Після розгляду всіх ітерацій зосереджуємо всі отримані лінії невизначеності на заключному функціональному графі, до якого повертаємо всі лінії зв'язку багаторежимних і однорежимних модулів системи (рис.2.25).

Дослідження логічної визначеності завершено із отриманням функціонального графу з підграфом невизначеності, після чого настає етап усунення логічної невизначеності в діях системи.

2.3.3. Доповнення елементами пам'яті систем 2-го класу

Для систем 2-го класу більш привабливою, з причин простоти і наочності, є графічна методика додавання елементів пам'яті до циклових систем.

Процедура додавання елементів пам'яті є рекурентною – елементи пам'яті додаються по черзі з перерахунком результатів додавання. Додається елемент пам'яті, змінюються показники пам'яті системи, якщо показники в нормі – то процедура доповнення завершена, якщо залишились невирішені питання – додається наступний елемент пам'яті.

Вихідні дані:

- функціональний граф системи;
- підграф зв'язку з позначенням однорежимних та багаторежимних модулів;
- підграф невизначеності;
- номер останнього модуля системи.

Порядок доповнення системи елементом пам'яті для випадків існування ліній невизначеності або нульових значень доданої пам'яті.

1. Надаємо новому елементу пам'яті номер, наступний за останнім номером модуля системи.

2. Обираємо на графі місця вмикання і вимикання елемента пам'яті так, щоб його лінія зв'язку перетинала максимальну кількість:

I. ліній невизначеності;
II. за рівної кількості ліній невизначеності – максимальну кількість ліній зв'язку однорежимних модулів;
III. за рівної кількості ліній зв'язку однорежимних модулів – максимальну кількість ліній зв'язку багаторежимних модулів;
IV. за рівної кількості ліній зв'язку багаторежимних модулів – розподіляла граф на сегменти з однаковою або наближеною до однакової кількісті дуг графа.

3. Після того, як визначено місця вмикання і вимикання елемента пам'яті, для нього потрібно побудувати лінію зв'язку, так саме, як і для всіх попередніх модулів. Після цього, всі лінії невизначеності, які було викреслено лінією зв'язку елемента пам'яті, втрачають актуальність (вони вже не існують) і їх має бути видалено з графу системи.

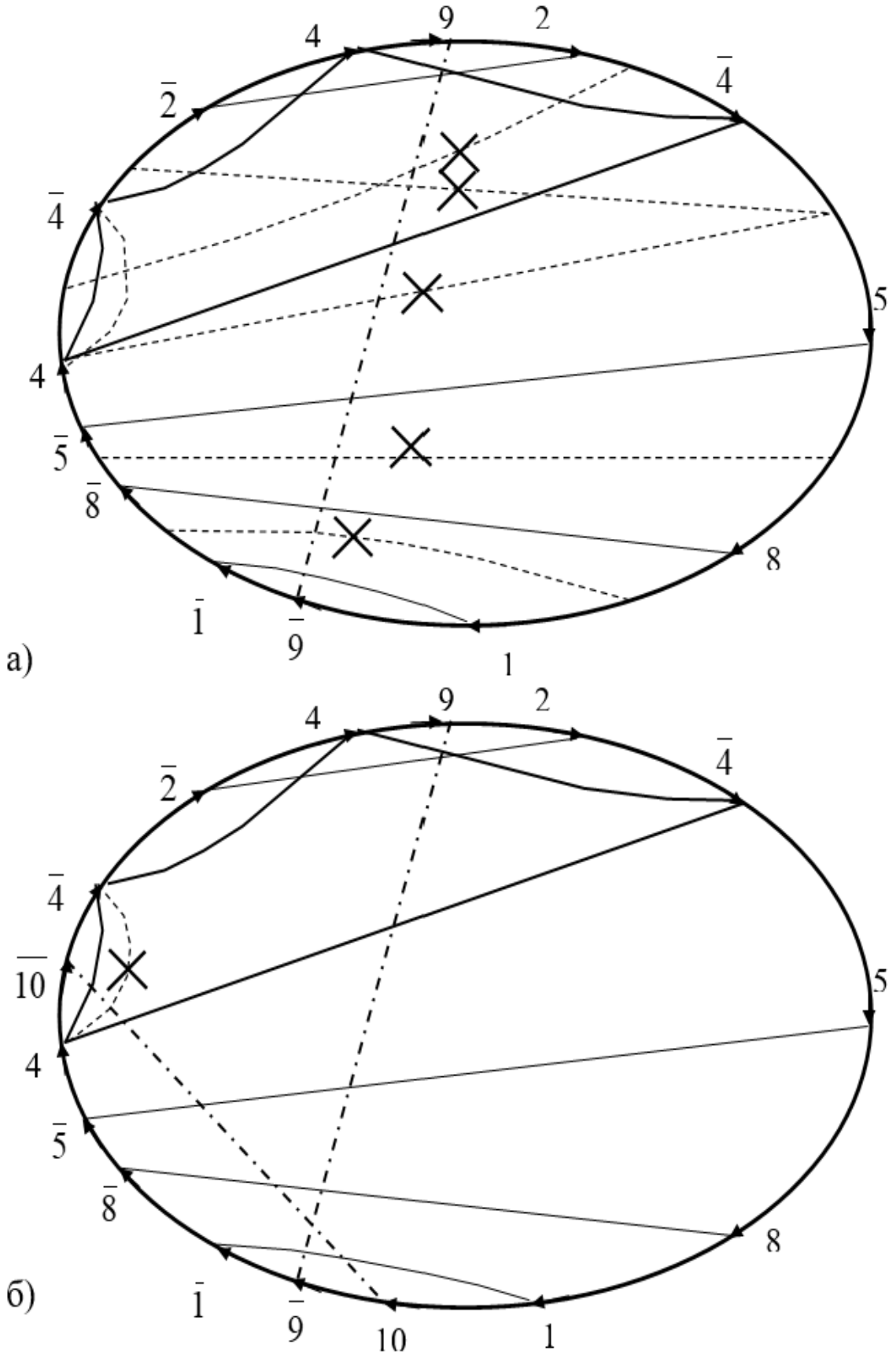


Рис. 2.26. Функціональний граф прикладу з підграфом зв'язку всіх модулів (1, 2, 5, 8 - тонкі лінії, 4 – стовщені лінії багаторежимного модуля), підграфом невизначеності (пунктирні лінії), після додавання модуля 9 (а) та після додавання модуля 10 (б), лінії зв'язку модулів 9 і 10 нанесено штрих-пунктиром

ПРИМІТКА – якщо лінія невизначеності і лінія зв'язку виходить з однієї дуги функціонального графу, то перекреслення не дійсне.

4. Якщо, після видалення всіх перекреслених ліній невизначеності залишилась хоча би одна неперекреслена лінія невизначеності, то необхідно додати в систему наступний елемент пам'яті за вище розглянутою послідовністю дій – повертаємось на пункт 1.

Приклад - застосуємо наведену методику доповнення елементами пам'яті до системи (рис. 2.26). Отриманий варіант підграфу невизначеності вміщує 6 ліній невизначеності в системі, що має 8 модулів.

Додаємо перший елемент пам'яті, його ім'я – модуль 9. Лінією зв'язку першого елементу пам'яті максимально вдається перекреслити 5 ліній невизначеності (рис. 2.26, а). При цьому лінія елемента пам'яті:

перекреслює 4 лінії зв'язку однорежимних модулів,

перекреслює 2 лінії зв'язку багаторежимного модуля 4,

розподіляє функціональний граф на сегменти з 4 і 5 дуг відповідно, тобто приблизно рівні частини.

Видаляємо всі ліквідовані лінії невизначеності (перекреслені, рис.2.26, а). Залишилась одна лінія невизначеності. Кількість модулів в системі зросла до 9. Потрібно додати наступний елемент пам'яті і його ім'я буде «модуль 10». Лінія невизначеності, що залишилась, відокремлює тільки одну дугу графу. Середина цієї дуги безумовно має бути обрана як місце вмикання чи вимикання елементу пам'яті 10. Шукаємо місце вимикання/вмикання модуля 10 за максимальною кількістю перекреслених ліній зв'язку однорежимних модулів

Таке місце надає тільки один варіант – після вмикання першого модуля – маємо перекреслення 4-х ліній однорежимних модулів. Оскільки варіант один, то інші показники перевіряти не потрібно. Після того, як всі лінії невизначеності ліквідовані систему можна вважати логічно визначеною (рис.2.26, б).

Порядок доповнення системи елементом пам'яті для збереження сигналу. За умовами технічного завдання (ТЗ) сигнал, що контролює виконання зворотної дії модуля 4, є дуже коротко терміновий (близько 0,05 секунди), що є недостатнім для наступного спрацювання моностабільного клапану. За ТЗ сигнал необхідно продублювати за допомогою елементу пам'яті (рис. 2.27).

Оскільки модуль 4 є багаторежимним, то сигнал необхідно запам'ятовувати двічі, і при цьому відрізняти перший і другий випадки (бо після цих сигналів в різних режимах слідують різні дії: в першому випадку 5-го модуля, в другому випадку 2-го модуля). Доповнюємо систему відповідною кількістю елементів пам'яті – двома: модулі 11 і 12.

Вмикання 11-го модуля розташовуємо одразу за першим виникненням сигналу зворотного стану 4-го модуля.

Місце вимикання цього модуля знаходимо на графі за максимальною кількістю перетинань з лініями зв'язку інших модулів. Ця умова дозволить, додатково до дублювання сигналу стану, отримати меншу складність команд

керування системи в цілому. Аналогічно, до другого виникнення сигналу зворотного стану модуля 4 визначено місце вмикання 12-го модуля. Місце його вимикання на графі визначено так само за максимальною кількістю перетинань з лініями зв'язку інших модулів, включно з модулем 11.

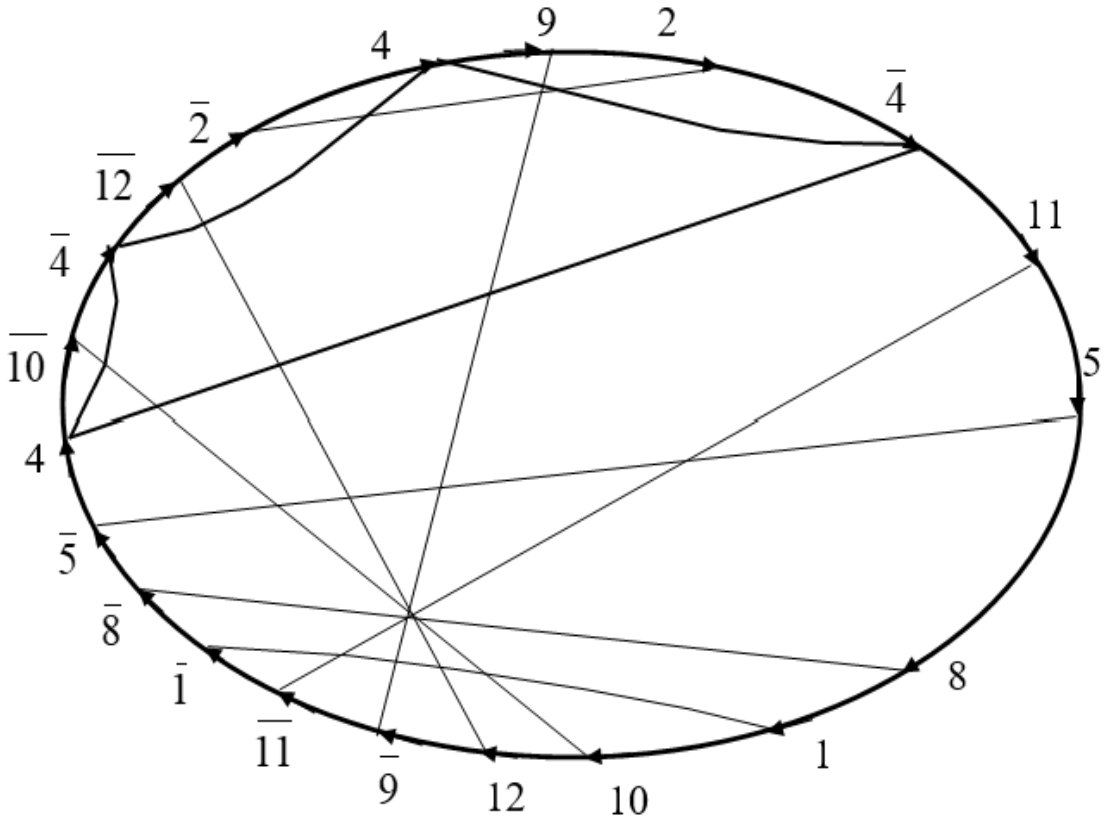


Рис. 2.27. Функціональний граф прикладу з підграфом зв'язку модулів (1, 2, 4, 5, 8) та доданих елементів пам'яті, що забезпечили логічну визначеність (9 і 10), і додаткових елементів пам'яті 11 і 12 – які запам'ятовують коротко-часовий сигнал стану після відпрацювання зворотної дії модуля 4

ПРИМІТКА. Першочерговість вмикання чи вимикання кожного нового модуля визначаємо за нумерацією дуг графу чи за розташуванням початкової дуги. На початку процесу (дуга 1) всі модулі системи мають початковий стан, тобто вони вимкнені. Надалі, відповідно до відпрацювання процесу, спочатку повинні з'явитись основні команди кожного модулів (оскільки модуль в початковому стані, то зворотна команда є неможливою до виконання). Тільки наступне спрацювання модуля має позначатись зворотною командою. Ця умова не є обов'язковою, але вона допомагає уникати ряду формальних помилок, задає початкову координату дій всієї системи і спрощує встановлення системи в початковий стан – шляхом подачі всіх зворотних команд для всіх модулів.

Порядок доповнення системи елементом пам'яті для дублювання. Додавання дублюючих сигналів, так само, як і спрощення логічних умов в командах керування, потребує попереднього складання виразів команд керування та оцінки їх складності. Саме з цих причин розгляд таких випадків перенесено до параграфу, присвяченому логічному синтезу, а точніше – складанню логічних виразів команд керування.

2.3.4. Логічний синтез команд керування для систем 2-го класу

Системи другого класу складності (послідовні з модулями однократної та багатократної дії). Системи 2-го класу складають однорежимні та багаторежимні модулі (багаторежимні - модулі, що за цикл виконують по декілька раз основну і зворотну дію) і всі дії відбуваються послідовно.

Логічні вирази команд керування мають забезпечувати:

- вироблення сигналу команди в потрібний момент процесу відпрацювання технологічного циклу;
- зберігання виробленого сигналу керування до підтвердження, що дія відпрацьована;
- зберігання виробленого сигналу до моменту подачі зворотної команди для випадку моностабільного керування (замість зворотної команди – пружина);
- прибирання сигналу під час подачі, відпрацювання і збереження результату відпрацювання зворотної дії;
- узгодження існування сигналу основної команди кожного режиму з зворотними командами інших режимів цього самого модуля і навпаки.

В кожну мить в системі відбувається зміна стану тільки одного модуля.

Основна відмінність таких систем полягає в застосуванні багаторежимних модулів, тобто таких, які за один технологічний цикл відпрацьовують декілька разів як основну, так і зворотну дії. Так само, як і в системах 1-го класу на кожному переході має відбуватися тільки одна дія.

Оскільки основні дії багаторежимного модуля припадають на різні етапи виробничого циклу, то фактично ці модулі мають декілька режимів використання, які можна назвати 1-й, 2-й та наступні режими одного модуля. Якщо в системі є хоча б один такий модуль, то ця система має бути віднесена до систем 2-го класу. Тобто системи 2-го класу складають багаторежимні модулі, але частина дій може припадати на однорежимні модулі, при цьому всі дії мають послідовне впорядкування.

Лінії зв’язку багаторежимних модулів мають напрямок – він співпадає з напрямком обходу функціонального графу. Лінії зв’язку однорежимних модулів вважаємо «двонапрямковими», але на графі це не показуємо, для спрощення. Лінії зв’язку кожного багаторежимного модуля утворюють замкнений контур, що співпадає з функціональним графом за напрямком (рис. 2.28).

Незалежно від кількості модулів і тактів, структура логічних виразів **бістабільних** команд для систем 2-го класу має однаковий вигляд:

$$y_{i(2)} \Leftarrow \bigcup_{k=1}^{m} \left(x_{k,(i)} * \{x\}_{k-\bar{k}} * \{x\}_{k-\bar{m}} \right); \qquad (2.2)$$

де $y_{i(2)}$ - логічний вираз основної (зворотної) команди керування для і-го модуля системи, 2 – клас систем, $x_{k(i)}$ - сигнал - безпосередня передумова для відпрацювання k-го режиму дій модуля, $\{x\}_{k-\bar{k}}$ - добуток сигналів, який

забезпечує вимикання основної (зворотної) команди до початку наступної зворотної (основної) команди; $\{x\}_{k-\overline{m}}$ - логічний вираз, що забезпечує відсутність сигнала команди на час відпрацювання та збереження стану для всіх режимів зворотної (основної) команди; $\bigcup_{k=1}^{m}$ - логічна сума виразів команд для k режимів і-го модуля.

ПОЯСНЕННЯ. Логічна сума може призвести до хибного спрацювання системи. Вираз багаторежимної команди побудовано з використанням логічного додавання виразів команди для окремих режимів. Тобто, фактично в кожну мить діями певного модуля керують вирази команд керування для всіх режимів цього модуля. На справді має бути використана функція симетричної різниці – коли вираз кожного режиму визначає логіку дій тільки в одному цьому режимі.

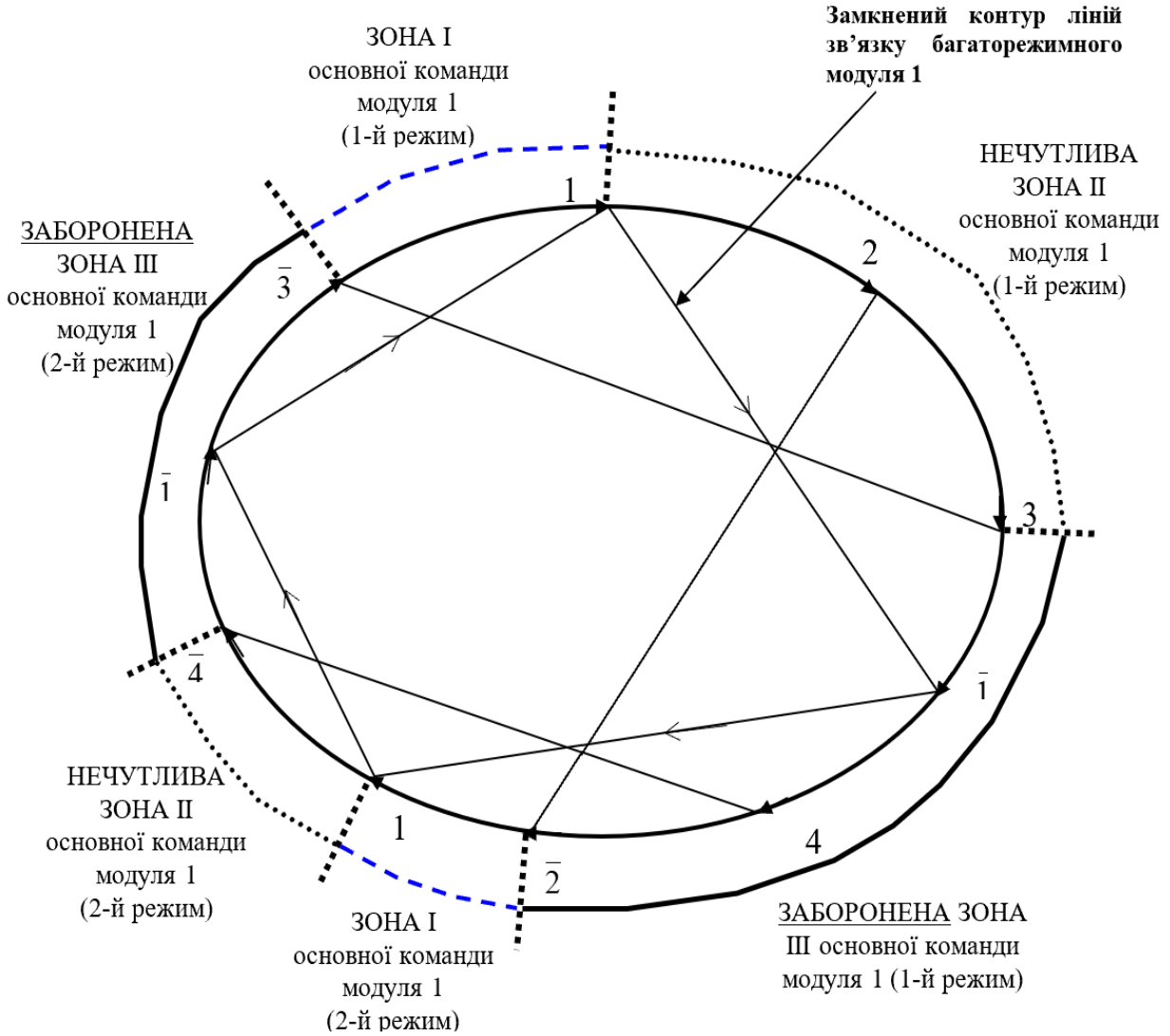


Рис. 2.28. Приклад функціонального графа системи 2-го класу з підграфом зв'язку, зонами обов'язкового (I), нечутливою (II), і забороненою (III) для сигнала основної команди 1-го модуля (бістабільний варіант)

Невідповідність форми команд (2.2) та їх змісту призводить до можливості хибного спрацювання модуля. Хибне спрацювання – виникнення одиничного

значення сигналу керування раніше за потрібне, в тому числі – під час виконання зворотної команди. Другий множник виразу (2.2) запобігає такій ситуації.

Функціональний граф розподілено лініями зв'язку кожного пристрою та дугами з маркуванням основної і зворотної команд на три зони: I – обов'язкового існування сигналу команди, II – нечутливу зону, III – заборонену або неприпустиму зону для сигналу команди (рис.2.28).

Зона обов'язкового існування I – від миті подачі сигналу команди до отримання сигналу, що підтверджує її відпрацювання, тобто від початку до кінця дуги функціонального графу, в маркуванні якої знаходиться індекс команди.
Нечутлива або Байдужа зона II (тільки для бістабільного керування) – сегмент функціонального графу, що простягається з моменту відпрацювання команди і до моменту подачі наступної зворотної команди. Якщо команда відпрацьована, а бістабільний клапан має функцію запам'ятовування, то немає необхідності зберігати сигнал команди керування і надалі. Ця умова поширюється на всі режими, тобто виникнення одиничного значення команди одного режиму в зоні нечутливості іншого режиму є цілком припустимим, хоча і надлишковим.

Зона заборонена або неприпустима III – має початок в мить подачі сигналу зворотної команди і триває до наступної основної команди наступного режиму.

Компонент $\{x\}_{k-\overline{m}}$ у виразі команди (2.2) для кожного режиму виконує функцію захисту всіх інших режимів модуля від хибного спрацювання за умовою поточного режиму. Цей момент є найбільш складним і тому спочатку його буде розглянуто на найпростішому прикладі (рис.2.28, 2.29, 2.30), а надалі на складніших (рис.2.31, 2.32) прикладах.

2.3.4.1. Логічний синтез виразів бістабільних команд для систем 2-го класу

1. Обираємо на функціональному графі дугу, в маркуванні якої є індекс потрібного режиму модуля «і».
2. Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, який з'єднує початок обраної дуги з її кінцівкою, при цьому:
   - всі відрізки, окрім останнього, узгоджені за напрямком з функціональним графом (від початку дуги до її кінця);
   - останнім відрізком є лінія зв'язку команди і режиму, що складаємо (вона має протилежний напрямок);
   - отримана ломана лінія (контур) має мінімальну кількість відрізків і ніде не торкається функціонального графу.
3. Записуємо добуток сигналів з індексами усіх ліній зв'язку, що увійшли до контуру, окрім останнього.
4. Отриманий вираз є початковим варіантом виразу команди керування для обраного режиму.
5. Якщо в добутку немає сигналів від багаторежимних модулів, то початковий варіант тотожній до остаточного.
6. Якщо в добутку є сигнали багаторежимних модулів, то необхідна перевірка: Чи приймає добуток значення «1» в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні?

Якщо не приймає, то початковий варіант тотожній з остаточним (обмежуючий

компонент $\{x\}_{k-\bar{m}}$ в команді відсутній).

7. Якщо логічний добуток приймає значення «1» в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні, то формуємо обмежуючий компонент $\{x\}_{k-\bar{m}}$.

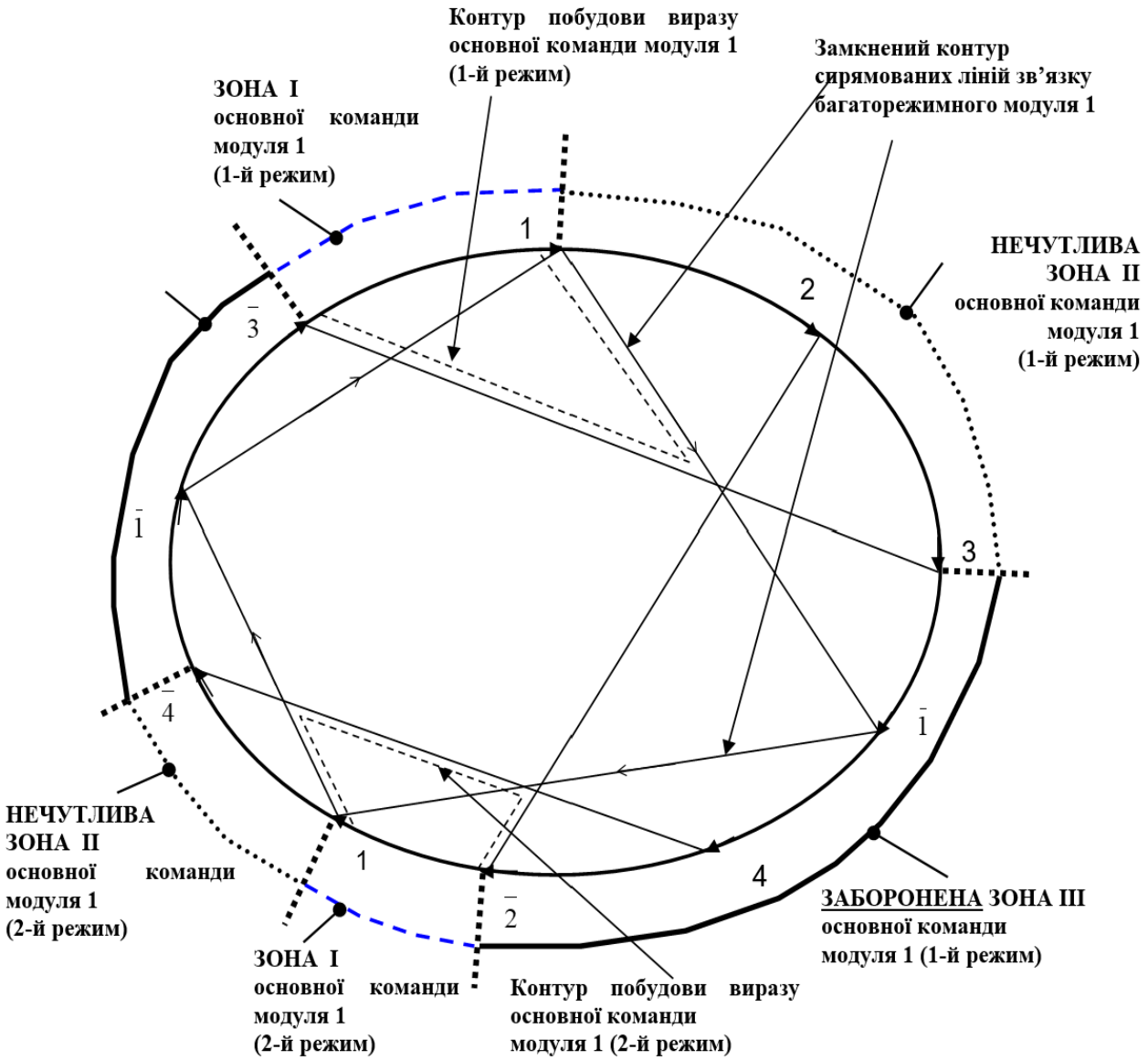


Рис. 2.29. Приклад функціонального графу системи 2-го класу з підграфом зв'язку, зонами обов'язкового (I), нечутливого (II), і забороненого (III) існування сигналу основної команди 1-го модуля (бістабільний варіант), з контурами побудови початкового варіанту виразу команди для 1-го і 2-го режимів

Порядок формування обмежуючого компонента. Позначаємо частину ЗАБОРОНЕНОЇ зони, у якій з'являється значення «1» для вже побудованого виразу команди. Ця частина може мати вигляд однієї вершини, декількох послідовних дуг, декількох розрізнених дуг, у тому числі в різних секторах зони III графа. Називаємо цю частину зоною хибного спрацювання команди $Z(y_i)$. Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, який відокремлює зону I команди від

зони хибного спрацювання $Z(y_i)$. Всі відрізки ліній зв'язку мають однаковий напрям. Бажано використовувати лінії від однорежимних модулів.

Складаємо логічний вираз побудованого контуру (ломаної лінії).

- Записуємо послідовно до контуру сигнали з індексами усіх ліній зв'язку, що задіяні в контурі.
- Обходимо контур так, щоб зона I команди залишалась по ліву руку. Якщо між відрізками ломаної кут менший за 180 градусів, то між відповідними сигналами додаємо знак множення, інакше - знак логічного додавання.

Отриманий вираз обмежуємо дужками і записуємо як множник до початкового виразу команди.

8. Продовження перевірки. Якщо в обмежуючий компонент увійшли тільки сигнали стану однорежимних модулів, то отриманий вираз є остаточним.

Якщо в обмежувальний компонент увійшли сигнали багаторежимних модулів, то розкриваємо дужки в логічному виразі. Для доданків отриманого виразу, в яких використано сигнали стану багаторежимних модулів, повторюємо методику, починаючи з п. 6.

ПРИМІТКА. У виразах команд для модуля з бістабільним керуванням в них не можуть міститися сигнали стану цього самого модуля.

ПРИМІТКА. Якщо в системі 2-го класу є тільки один багаторежимний модуль, то у виразах його команд будуть тільки сигнали однорежимних модулів і, у відповідністю з методикою, початкова форма логічних тотожна до остаточної.

Приклад укладання виразу команди керування до основної дії багаторежимного модуля «1».

Логічний вираз команди керування будуємо у вигляді суми виразів для двох режимів (рис.2.29):

$$y_1 = y_1^{R1} + y_1^{R2}.$$

Укладання виразу команди для 1-го режиму.

Обираємо на функціональному графі дугу, в маркуванні якої є індекс 1-го режиму модуля 1 (рис.2.29, ЗОНА I основної команди модуля 1, 1-й режим);

Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, який з'єднує початок обраної дуги з її кінцевою вершиною, отримуємо «$\bar{3}$ - 3 $\rightarrow$ $\bar{1}$ - 1», при цьому:

- усі відрізки, окрім останнього ($\bar{1}$ - 1), мають напрям, узгоджений з функціональним графом (лінія $\bar{3}$ - 3 належить однорежимному модулю, тобто, вона є «двонапрямкова»);
- останнім відрізком є лінія зв'язку команди що складаємо обраного режиму 1 - $\bar{1}$, яка, як і потрібно за методикою, має зворотній напрям;
- ломана лінія (контур) має мінімальну кількість відрізків;
- ломана лінія ніде не торкається функціонального графу.

Отримано комплект ліній зв'язку, шо утворюють контур «$\bar{3}$ - 3 $\rightarrow$ $\bar{1}$ - 1» .
Записуємо добуток сигналів стану з індексами усіх відрізків ломаної лінії, що увійшли до контуру, окрім останнього: $x_{\bar{3}}$ (вироджений випадок добутку - отримано один сигнал). Отриманий вираз є початковим варіантом виразу команди розглянутого режиму:

$$y_1^{R1} \Leftarrow x_{\bar{3}}.$$

Якщо в добутку немає сигналів стану багаторежимних модулів (а їх немає), то початковий варіант є остаточним.

Укладання виразу команди для 2-го режиму.

Обираємо на функціональному графі дугу, в маркуванні якої є індекс 2-го режиму модуля 1 (рис.2.29, ЗОНА I основної команди модуля 1, 2-й режим).

Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, який з'єднує початок обраної дуги з її кінцівкою, отримуємо «$\bar{2}$ - 2 $\rightarrow$ 4 - $\bar{4}$ $\rightarrow$ $\bar{1}$ - 1», при цьому:
усі відрізки, окрім останнього ($\bar{1}$ - 1), мають напрям, узгоджений з функціональним графом (лінії $\bar{2}$ - 2 і 4 - $\bar{4}$ належить однорежимним модулям, тобто, вони є «двонапрямковими»), останнім відрізком є лінія зв'язку команди що складаємо обраного режиму 1 - $\bar{1}$, яка, як і потрібно за методикою, має зворотній напрям, ломана лінія (контур) має мінімальну кількість відрізків, ломана лінія ніде не торкається функціонального графу.

Отримано комплект ліній зв'язку, шо утворюють контур

«$\bar{2}$ - 2 $\rightarrow$ 4 - $\bar{4}$ $\rightarrow$ $\bar{1}$ - 1» .

Записуємо добуток сигналів стану з індексами усіх відрізків ломаної лінії, що увійшли до контуру, окрім останнього: $x_{\bar{2}} * x_4$.

Отриманий вираз є початковим варіантом виразу команди розглянутого режиму:

$$y_1^{R2} \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_4.$$

Якщо в добутку немає сигналів стану багаторежимних модулів (а їх немає), то початковий варіант є остаточним.

Формуємо остаточний вираз команди керування для багаторежимного модуля 1:

$$y_1 = y_1^{R1} + y_1^{R2} = x_{\bar{3}} + x_{\bar{2}} * x_4.$$

Приклад (більш складний) укладання виразу команди керування для основної дії модуля 4.

Вираз команди складатиметься з одного доданку, оскільки модуль 4 однорежимний (рис.2.30):

$$y_4 = y_4^{R1}$$

Укладання виразу команди основної дії модуля 4.

1. Обираємо на функціональному графі дугу, в маркуванні якої міститься індекс основної команди модуля 4 (рис.2.30, ЗОНА I основної команди модуля 4).

2. Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, який з'єднує початок обраної дуги з її кінцем «$\bar{1}$ - 1 $\rightarrow$ $\bar{4}$ - 4» і при цьому: усі відрізки, окрім останнього ($\bar{4}$ - 4), мають напрям, узгоджений з функціональним графом (лінія $\bar{4}$ - 4 належить однорежимному модулю, тобто, вона є «двонапрямковою»), останнім відрізком є лінія зв'язку команди що складаємо обраного режиму $\bar{4}$ - 4, яка, як і потрібно за методикою, має зворотній напрям, ломана лінія (контур) має мінімальну кількість відрізків, ломана лінія ніде не торкається функціонального графу. Отримано комплект ліній зв'язку, шо утворюють контур «$\bar{1}$ - 1 $\rightarrow$ $\bar{4}$ - 4».
3. Записуємо добуток сигналів стану з індексами усіх відрізків контуру, окрім останнього: $x_{\bar{1}}$ (вироджений випадок добутку).
4. Отриманий вираз є початковим варіантом команди:

$$y_4^{R1} \Leftarrow x_{\bar{1}}.$$

5. Перевіряємо, чи в добутку використано сигнали стану багаторежимних модулів (а такий сигнал є), то початковий варіант НЕ є остаточним.

   Якщо в добуток входять сигнали багаторежимних модулів, то виконуємо перевірку:

   чи отримує логічний вираз $y_4^{R1} \Leftarrow x_{\bar{1}}$ значення «1» в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні основної команди модуля 4 (рис. 2.30, стовщена сіра лінія)?

ОТРИМУЄМО: оскільки $x_{\bar{1}}$ належить дворежимному модулю, то він приймає значення «1» двічі при одному обході графу.

Перший раз припадає на зони I і II основної команди модуля 4, що дозволено методикою для бістабільного керування.

Другий раз припадає на зону III основної команди модуля 4, а саме – на час виконання зворотної дії та збереження цього стану. Це НЕПРИПУСТИМО для будь якого варіанту керування.

Тобто, початковий варіант не може бути визнаний остаточним (потрібно укладати обмежувальний компонент $\{x\}_{k-\bar{m}}$ в основній команді модуля 4).

Якщо логічний добуток приймає значення «1» в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні то укладаємо обмежувальний компонент.

Позначаємо частку ЗАБОРОНЕНОЇ зони, на якій побудований вираз приймає значення 1. Це одна дуга графа, на котрій відбувається відпрацювання зворотної дії модуля 3. Сформовано відрізок хибного спрацювання $Z(y_4)$.

Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, який відокремлює зону I основної команди модуля 4 від відрізку хибного спрацювання $Z(y_4)$.

Отримуємо одну лінію зв'язку 2 - $\bar{2}$ (вироджений випадок контуру).

Все відрізки контуру узгоджені за напрямом. До контуру належать тільки лінії зв'язку однорежимних модулів - модуля 2.

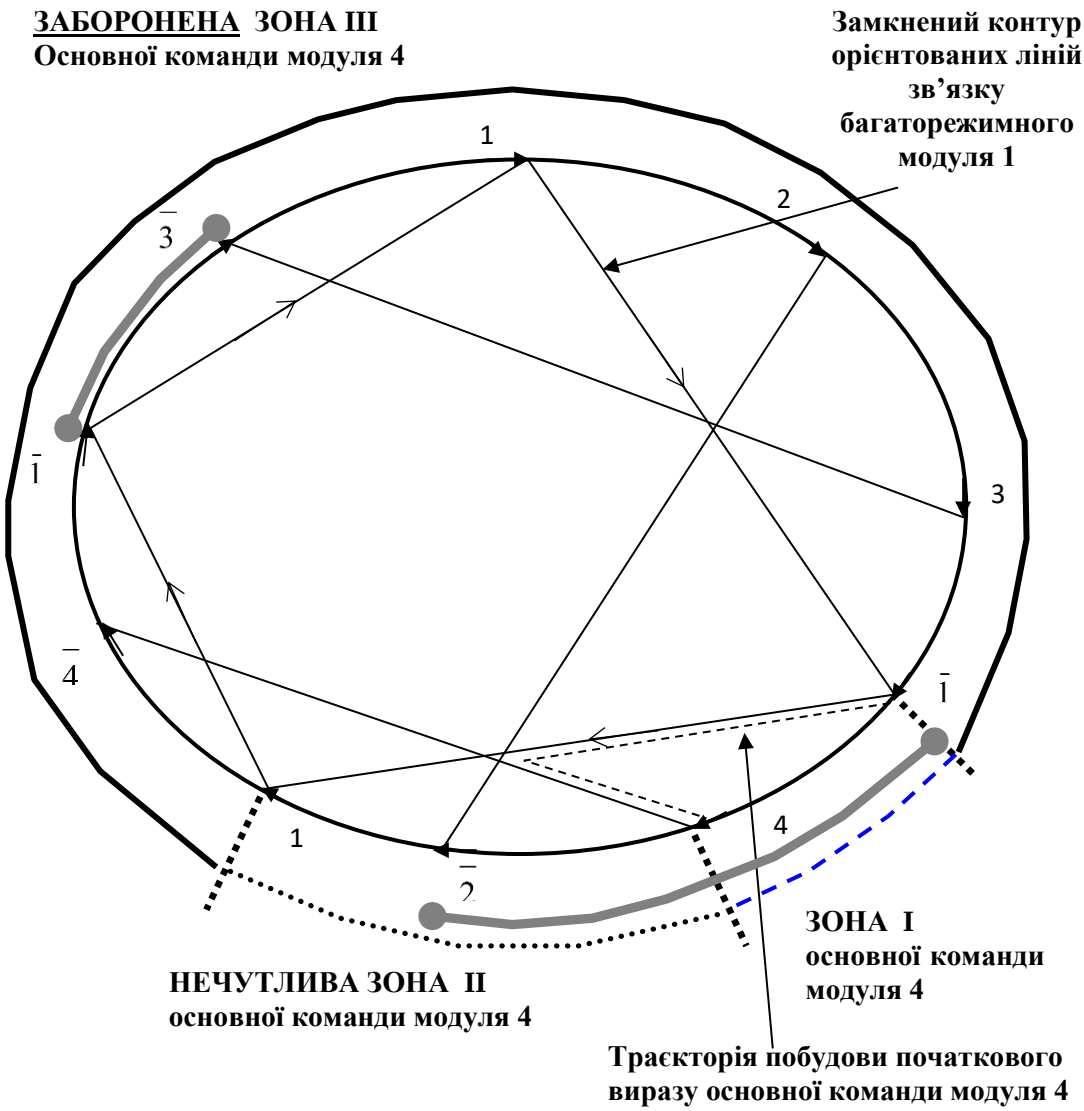


Рис. 2.30. Приклад функціонального графа системи 2-го класу з підграфом зв'язку, зонами обов'язкового (I), нечутливого (I I), недопустимого (I I I) існування сигналу основної команди 4-го модуля (бістабільний варіант), траєкторією побудови початкового виразу його основної команди ($y_4 \Leftarrow x_{\bar{1}}$), зонами існування сигналу $x_{\bar{1}}$ (сіра потовщена лінія)

Складаємо логічний вираз контуру:

- Виписуємо сигнали стану з індексами ліній зв'язку, що склали контур: x_2.
- Обходимо контур так, щоби зона I основної команди модуля 4 лишалась по ліву руку. Оскільки використано тільки одну лінію, то кількість відрізків мінімальна, тобто немає позначень множення чи додавання.
- Отриманий вираз в дужках приписуємо як множник до початкового виразу команди: $y_4^{R1} \Leftarrow x_{\bar{1}} * (x_2) = x_{\bar{1}} * x_2$.

Якщо обмежуючий множник складає тільки один сигнал, або він має вигляд добутку, то зникає необхідність дужок.

Таким чином остаточний вираз основної команди бістабільного варіанту

керування для модуля 4 має наступний вигляд:

$$y_4^{R1} \Leftarrow x_{\bar{1}} * x_2 .$$

Комплект бістабільного варіанту команд керування для розглянутого прикладу має наступний вигляд:

$y_1 \Leftarrow x_{\bar{3}} + x_{\bar{2}} * x_4$ $\qquad$ $y_{\bar{1}} \Leftarrow x_3 * x_2 + x_{\bar{4}} * x_{\bar{2}} * x_3$

$y_2 \Leftarrow x_1 * x_{\bar{3}}$ $\qquad$ $y_{\bar{2}} \Leftarrow x_4$

$y_3 \Leftarrow x_2$ $\qquad$ $y_{\bar{3}} \Leftarrow x_{\bar{1}} * x_{\bar{4}} * x_{\bar{2}}$

$y_4 \Leftarrow x_{\bar{1}} * x_2$ $\qquad$ $y_{\bar{4}} \Leftarrow x_1$

Приклад (складний) укладання виразу команди керування для основної дії модуля 4 (рис. 2.31).

Вираз команди будуємо у вигляді суми виразів для 2-х режимів (рис. 2.31):

$$y_4 = y_4^{R1} + y_4^{R2} .$$

Укладання виразу основної команди для 1-го режиму модуля 4.

1. Обираємо на функціональному графі дугу, в маркуванні якої міститься індекс 1-го режиму основної команди модуля №4 (рис. 2.31, ЗОНА І основної команди модуля №4 – 1-й режим);
2. Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, що поєднує початок обраної дуги з її кінцем «$\bar{3}$ - 3 $\rightarrow$2 $\rightarrow$ $\bar{2}$ $\rightarrow$ $\bar{4}$ - 4», і при цьому:

   всі відрізки, окрім останнього ($\bar{4}$ - 4) узгоджені за напрямом з функціональним графом (лінія $\bar{3}$ - 3 належить однорежимному модулю, тобто вона «двонапрямкова»);

   останнім відрізком є лінія зв'язку команди, що укладаємо (4 - $\bar{4}$), і вона має протилежний напрям при обходженні контуру (напрям $\bar{4}$ - 4);

   контур вміщує мінімальну кількість відрізків, та ніде не торкається до функціонального графу. Отримано контур : «$\bar{3}$ - 3 $\rightarrow$2 $\rightarrow$ $\bar{2}$ $\rightarrow$ $\bar{4}$ - 4» .
3. Формуємо добуток сигналів стану зо всіма індексами ліній зв'язку, що залучено до контуру, окрім останнього: $x_{\bar{3}} * x_2$.
4. Отриманий вираз є початковим варіантом логічного виразу команди:

$$y_4^{R1} \Leftarrow x_{\bar{3}} * x_2 .$$

5. Оскільки в добуток входять сигнали багаторежимних модулів (сигнал x_2), то початковий варіант не є остаточним і потребує доповнення обмежуючим компонентом.
6. Виконуємо перевірку на хибне спрацювання: чи отримує логічний добуток $y_4^{R1} \Leftarrow x_{\bar{3}} * x_2$ значення «1» в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні основної команди модуля №4 (рис. 2.31 2.12, стовщена сіра лінія)?

ОТРИМУЄМО: добуток сигналів стану однорежимного і дворежимного модулів $X_{\bar{3}} * X_2$ отримує значення «1» двічі при обході графу.

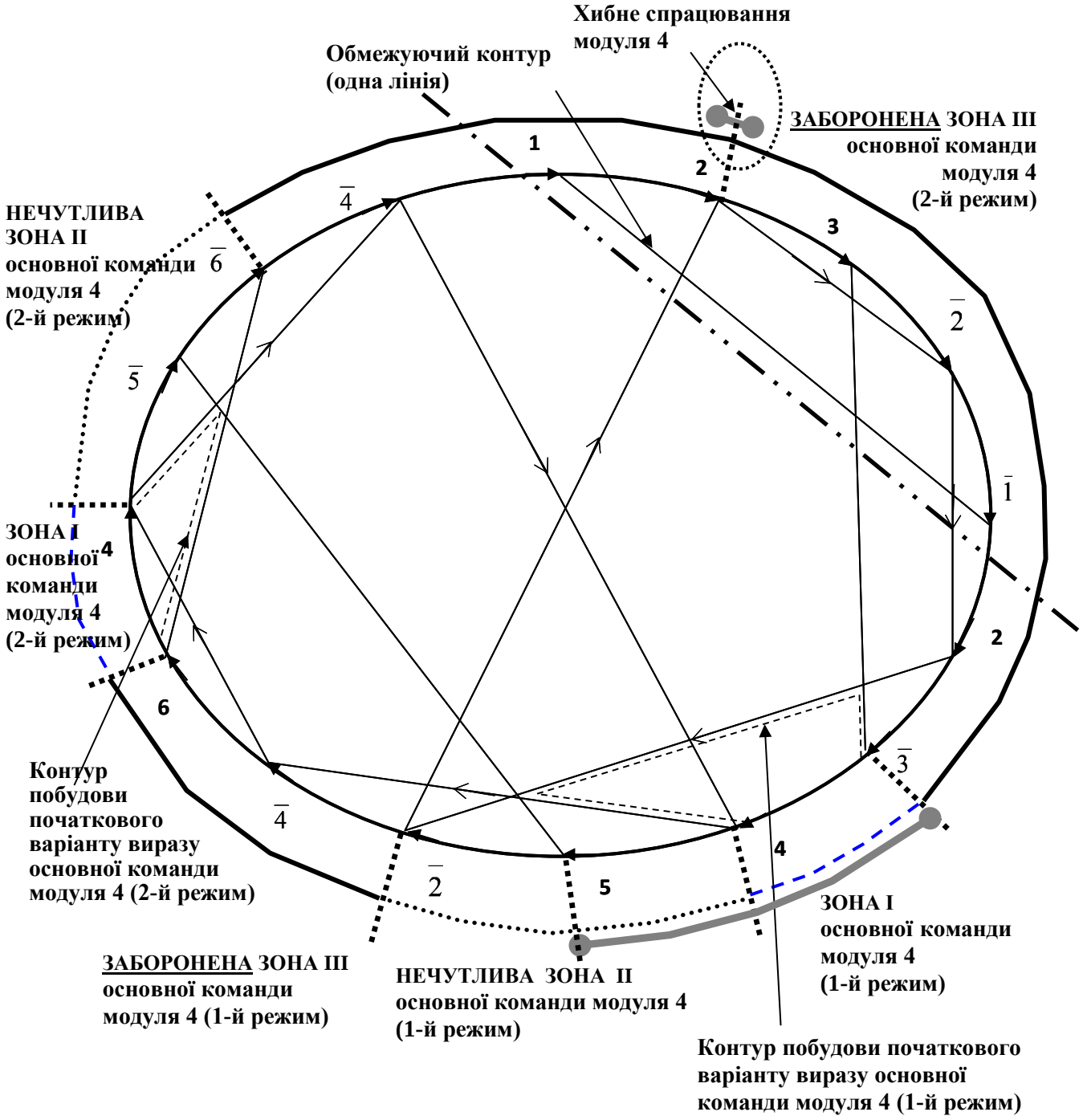


Рис. 2.31. Розгорнутий граф складання виразу основної команди модуля 4 з нанесенням зон обов'язкового (I), нечутливого (II), і забороненого (III) існування сигналу основної команди 4-го модуля (бістабільний варіант), контуром будови виразу 1-го режиму основної команди ($y_4 \Leftarrow x_{\bar{3}} * x_2$) і двома зонами існування одиничного значення цього виразу (сіра стовщена лінія)

Перший раз припадає на зони I і II основної команди модуля №4, що припустимо для бістабільного варіанту команди.

Другий раз припадає на ЗАБОРОНЕНУ зону III команди, а саме – в інтервал виконання і збереження стану зворотної команди модуля №4. Це є неприпустимим для будь-якого варіанту керування.

Таким чином, початковий варіант не є остаточним (потрібен обмежуючий компонент $\{x\}_{k-\bar{m}}$ до основної команди модуля №4).

Оскільки логічний вираз отримує значення «1» в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні необхідно укласти компонент $\{x\}_{k-\bar{m}}$.

Помічаємо частину ЗАБОРОНЕНОЇ зони в якій початковий вираз $x_{\bar{3}} * x_2$ має одиничне значення. Це всього одна вершина графа, в який з'являється сигнал x_2 та ще існує сигнал $x_{\bar{3}}$. Отримуємо зону хибного спрацювання $Z(y_4)$. Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, який відокремлює I команди від зони хибного спрацювання $Z(y_4)$ (стовщена штрих-пунктирна лінія, рис. 2.31).

Достатньо однієї лінії зв'язку $\bar{1}$ - 1 (вироджений випадок). Оскільки відрізок один, то він має узгоджений напрямок. Тобто контур складає лінія зв'язку однорежимного модуля 1.

Формуємо логічний вираз ломаної лінії (траєкторії команди):

- Складаємо послідовність сигналів стану з індексами ліній зв'язку, що використано в контурі: $x_{\bar{1}}$.
- Обходимо контур так, щоби зона «I» 1-го режиму команди лишалась по ліву руку. Оскільки використана тільки одна лінія зв'язку, то зламів в контурі немає, тобто відсутні і знаки множення чи додавання.
- Отриманий вираз в дужках приписуємо як множник до початкового виразу: $y_4^{R1} \Leftarrow x_{\bar{3}} * x_2 * (x_{\bar{1}}) = x_{\bar{3}} * x_2 * x_{\bar{1}}$. Оскільки вираз складає всього один сигнал (або вираз є наскрізним добутком), то необхідності в дужках немає.

Тобто для прикладу маємо остаточний вираз команди керування:

$$y_4^{R1} \Leftarrow x_{\bar{3}} * x_2 * x_{\bar{1}}.$$

Укладання виразу основної команди для 2-го режиму модуля 4.

1. Обираємо на графі дугу, в маркування якої знаходиться індекс 2-го режиму модуля №4 (рис. 2.31, ЗОНА I основної команди модуля 4 – 2-й режим).
2. Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, який з'єднує початок дуги з її кінцівкою «6 - $\bar{6} \rightarrow \bar{4}$ - 4», і при цьому:

Всі відрізки, окрім останнього ($\bar{4}$ - 4), узгоджені за напрямом з функціональним графом (лінія 6 - $\bar{6}$ належить однорежимному модулю, тобто вона «двонапрямкова»).

Останнім відрізком є лінія зв'язку команди до 2-го режиму модуля 4 (4 - $\bar{4}$), але має супротивний напрямок при проходженні контуру ($\bar{4}$ - 4),

контур має мінімальну кількість відрізків,

контур не торкається функціонального графу.

Отримано контур: «6 - $\bar{6} \rightarrow \bar{4}$ - 4» .

3. Формуємо добуток сигналів стану з індексами усіх відрізків, що задіяно в контурі, окрім останнього (вироджений випадок): x_6.
4. Отриманий вираз є початковим варіантом команди 2-го режиму 4-го модуля:

$$y_4^{R2} \Leftarrow x_6.$$

5. Якщо до виразу не потрапили сигнали стану багаторежимних модулів (а таких сигналів немає), то початковий варіант і є остаточним.

Формуємо остаточний вираз команди керування дворежимного модуля 4:

$$y_4 = y_4^{R1} + y_4^{R2} = x_{\bar{3}} * x_2 * x_{\bar{1}} + x_6.$$

Приклад укладання логічного виразу зворотної команди багаторежимного модуля №4

Вираз команди будуємо у вигляді суми виразів для 2-х режимів (рис.2.32):

$$y_{\bar{4}} = y_{\bar{4}}^{R1} + y_{\bar{4}}^{R2}.$$

Побудова виразу зворотної команди для 1-го режиму.

1. Обираємо на функціональному графі дугу, в маркуванні якої є індекс 1-го режиму зворотної команди модуля 4 (рис. 2.32, ЗОНА I зворотної команди модуля №4 – 1-й режим).
2. Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, який з'єднує початок обраної дуги з кінцівкою «$\bar{2}$ - 2 → 5 - $\bar{5}$ → $\bar{6}$ - 6 → 4 - $\bar{4}$» і при цьому:

   всі відрізки, окрім останнього (4 - $\bar{4}$), узгоджені за напрямом з функціональним графом (лінії 5 - $\bar{5}$ і $\bar{6}$ - 6 належать однорежимним модулям, тобто є «двонапрямкові»),

   останнім відрізком є лінія зв'язку зворотної команди 2-го режиму $\bar{4}$ - 4, і у складі контуру вона використана в протилежному напрямку 4 - $\bar{4}$ контур має мінімальну кількість відрізків,

   ніде не торкається до функціонального графу.

Отримано контур замикання дуги команди, що укладаємо:

«$\bar{2}$ - 2 → 5 - $\bar{5}$ → $\bar{6}$ - 6 → 4 - $\bar{4}$» .

3. Формуємо добуток сигналів з індексами усіх відрізків ліній зв'язку, що задіяно в контурі, окрім останнього: $x_{\bar{2}} * x_5 * x_{\bar{6}}$.
4. Отриманий добуток є початковим варіантом виразу команди розглянутого режиму: $y_{\bar{4}}^{R1} \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_5 * x_{\bar{6}}$.
5. Якщо добуток вміщує сигнали багаторежимних модулів (вміщує $x_{\bar{2}}$), то початковий варіант потребує перевірки і, можливо, доповнення обмежуючим множником.
6. Оскільки в добутку є сигнал багаторежимного модуля виконуємо перевірку:

Чи отримує логічний вираз $y_{\bar{4}}^{R1} \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_5 * x_{\bar{6}}$ значення «1» в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні зворотної команди модуля 4 (рис. 2.32)?

ОТРИМУЄМО: добуток двох однорежимних і одного багаторежимного сигналів $X_{\bar{2}} * X_5 * X_{\bar{6}}$ приймає значення «1» тільки один раз при обході всього графу, а саме в тій частині графу, для якої укладено вираз команди.

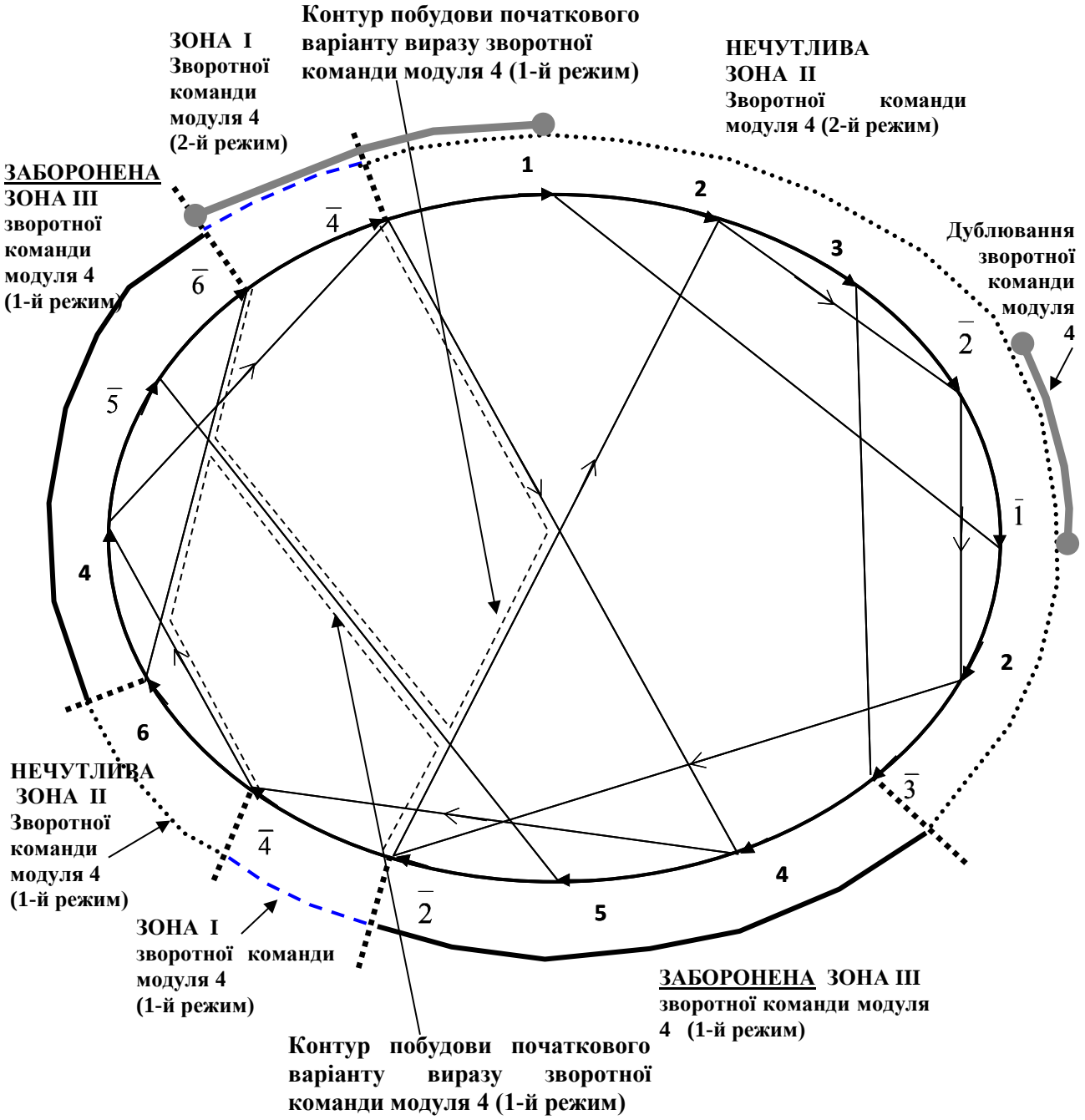


Рис. 2.32. Розгорнутий граф складання виразу зворотної команди модуля 4 з нанесенням зон обов'язкового (I), нечутливого (I I), і забороненого (I I I) існування значення «1» виразу зворотної команди 4-го модуля (бістабільний варіант), контурами побудови початкових варіантів виразу 1-го і 2-го режимів зворотної команди ($y_4^{p1} \Leftarrow x_{\bar{6}} * x_5 * x_{\bar{2}}$, $y_4^{p2} \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_5 * x_{\bar{6}}$) і двома зонами існування одиничного значення виразу для 2-го режиму (сіра стовщена лінія)

Тобто, початковий варіант є тотожним до остаточного (обмежуючий

компонент $\{x\}_{k-\bar{m}}$ в виразі 1-го режиму зворотної команди не потрібен).

Побудова виразу зворотної команди для 2-го режиму.

1. Обираємо на функціональному графі дугу, в маркуванні якої є індекс 2-го режиму зворотної команди модуля 4 (рис. 2.32, ЗОНА I зворотної команди модуля 4 – 2-й режим).
2. Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, який з'єднує початок обраної дуги з її кінцем «$\bar{6}$ - 6 $\rightarrow$ $\bar{5}$ - 5 $\rightarrow$ $\bar{2}$ - 2 $\rightarrow$ 4 - $\bar{4}$» і при цьому:

   усі відрізки, окрім останнього (4 - $\bar{4}$), узгоджені за напрямком з функціональним графом (лінії $\bar{6}$ - 6 і $\bar{5}$ - 5 належать однорежимним модулям, тобто вони «двонапрямкові»);

   останнім відрізком є лінія зв'язку зворотної команди 2-го режиму ($\bar{4}$ - 4), але задіяна в протилежному напрямку (4 - $\bar{4}$);

   контур вміщує мінімальну кількість відрізків;

   ніде не торкається до функціонального графу.

Отримано контур замикання дуги команди, що укладаємо:

«$\bar{6}$ - 6 $\rightarrow$ $\bar{5}$ - 5 $\rightarrow$ $\bar{2}$ - 2 $\rightarrow$ 4 - $\bar{4}$».

3. Формуємо добуток сигналів стану з індексами усіх відрізків ліній зв'язку, що задіяно в контурі, окрім останнього: $x_{\bar{6}} * x_{\bar{5}} * x_{\bar{2}}$.
4. Отриманий вираз є початковим варіантом зворотної команди модуля 4 2-го режиму: $y_{\bar{4}}^{R2} \Leftarrow x_{\bar{6}} * x_{\bar{5}} * x_{\bar{2}}$.
5. Якщо добуток вміщує сигнали стану багаторежимних модулів (вміщує $x_{\bar{2}}$), то початковий варіант потребує перевірки і, можливо, доповнення.
6. Оскільки в добутку є сигнал багаторежимного модуля виконуємо перевірку на хибне спрацювання:

   чи отримує добуток $y_{\bar{4}}^{R2} \Leftarrow x_{\bar{6}} * x_{\bar{5}} * x_{\bar{2}}$ (рис. 2.13, стовщена сіра лінія) значення «1» в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні зворотної команди модуля 4?

ОТРИМУЄМО: добуток сигналів стану двох однорежимних і одного багаторежимного модулів $x_{\bar{6}} * x_{\bar{5}} * x_{\bar{2}}$ отримує значення «1» два рази при обході графу. Другий раз, повторює сигнал в середині другого режиму зворотної команди модуля 4, тобто є дублюючим. Дублювання не призводить до хибного спрацювання системи.

Тобто, початковий варіант є тотожнім до остаточного (обмежуючий компонент $\{x\}_{k-\bar{m}}$ відсутній в зворотній команді 2-го режиму модуля 4).

Формуємо вираз зворотної команди дворежимного модуля 4:

$$y_{\bar{4}} = y_{\bar{4}}^{R1} + y_{\bar{4}}^{R2} = x_{\bar{2}} * x_5 * x_{\bar{6}} + x_{\bar{6}} * x_{\bar{5}} * x_{\bar{2}}.$$

Вирази команд керування всіх інших модулів системи мають наступний вигляд:

$y_1 \Leftarrow x_{\bar{4}} * x_{\bar{2}} * x_{\bar{5}} * x_{\bar{3}}$ $\quad$ $y_{\bar{1}} \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_3$

$$y_2 \Leftarrow x_1 * x_{\bar{3}} + x_{\bar{1}} * x_3 \qquad y_{\bar{2}} \Leftarrow x_3 * x_1 + x_5$$

$$y_3 \Leftarrow x_2 * x_1 \qquad y_{\bar{3}} \Leftarrow x_2 * x_{\bar{1}}$$

$$y_4 \Leftarrow x_{\bar{3}} * x_2 * x_{\bar{1}} + x_6 \qquad y_{\bar{4}} \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_5 * x_{\bar{6}} + x_{\bar{6}} * x_{\bar{5}} * x_{\bar{2}}$$

$$y_5 \Leftarrow x_4 * x_2 \qquad y_{\bar{5}} \Leftarrow x_4 * x_6$$

$$y_6 \Leftarrow x_{\bar{4}} * x_5 \qquad y_{\bar{6}} \Leftarrow x_{\bar{5}} \ .$$

2.3.4.2. Логічний синтез виразів моностабільних команд для систем 2-го класу

На відміну від систем 1-го класу врахування розподілу функціонального графу на зони обов'язкового (I) і забороненого (III) існування сигналів команд є обов'язковим.

Для випадку моностабільного керування функціональний граф розподілено лініями зв'язку кожного пристрою та дугами з маркуванням основної і зворотної команд на ДВІ зони:

I – обов'язкового існування сигналу команди,

III – заборонену або неприпустиму зону для сигналу команди (рис. 2.33).

Зона обов'язкового існування I – від моменту подачі сигналу команди до моменту подачі наступної зворотної команди. Якщо команда відпрацьована, а моностабільний клапан не має функції запам'ятовування, то зникнення сигналу основної команди рівнозначне подачі сигналу зворотної команди керування. Ця умова поширюється на всі режими.

Заборонена (неприпустима) зона III – має початок в момент подачі сигналу зворотної команди і триває до появи основної команди наступного режиму цього модуля.

Вираз команди має таку саму структуру, як і у випадку бістабільного керування:

$$y_{i(2)} \Leftarrow \bigcup_{k=1}^{m} \left(x_{k(i)} * \{x\}_{k-\bar{k}} * \{x\}_{k-\bar{m}} (*/+) \bar{x}_{k(\bar{i})} \right). \qquad (2.3)$$

Компонент $\{x\}_{k-\bar{m}}$ у виразі команди (2.3) для кожного режиму виконує захисну функцію від хибного спрацювання у всіх інших режимах модуля за умовою поточного режиму, компонент $\bar{x}_{k(\bar{i})}$ забезпечує зникнення сигналу команди для спрацювання пружини і відпрацювання оберненої дії.

Побудова цього компоненту є найбільш складною і тому спочатку буде розглянуто на найпростішому прикладі (рис. 2.33, 2.34, 2.35), а надалі на більш складних прикладах (рис. 2.36, 2.37).

Методика укладання виразів моностабільних команд керування для одного режиму багаторежимного модуля «і»

1.Обираємо на функціональному графі дугу, в маркуванні якої є індекс потрібного режиму модуля «і».

2.Обираємо на функціональному графі найближчу наступну дугу, в маркуванні якої є зворотній індекс потрібного режиму модуля «і».

3.Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, який починається з початкової вершини першої дуги і завершується в початковій вершині другої дуги і при цьому:

- всі відрізки ліній зв'язку узгоджені за напрямком з напрямом контуру;
- отримана ломана лінія (контур, траєкторія команди) має мінімальну кількість відрізків і ніде не торкається функціонального графу.

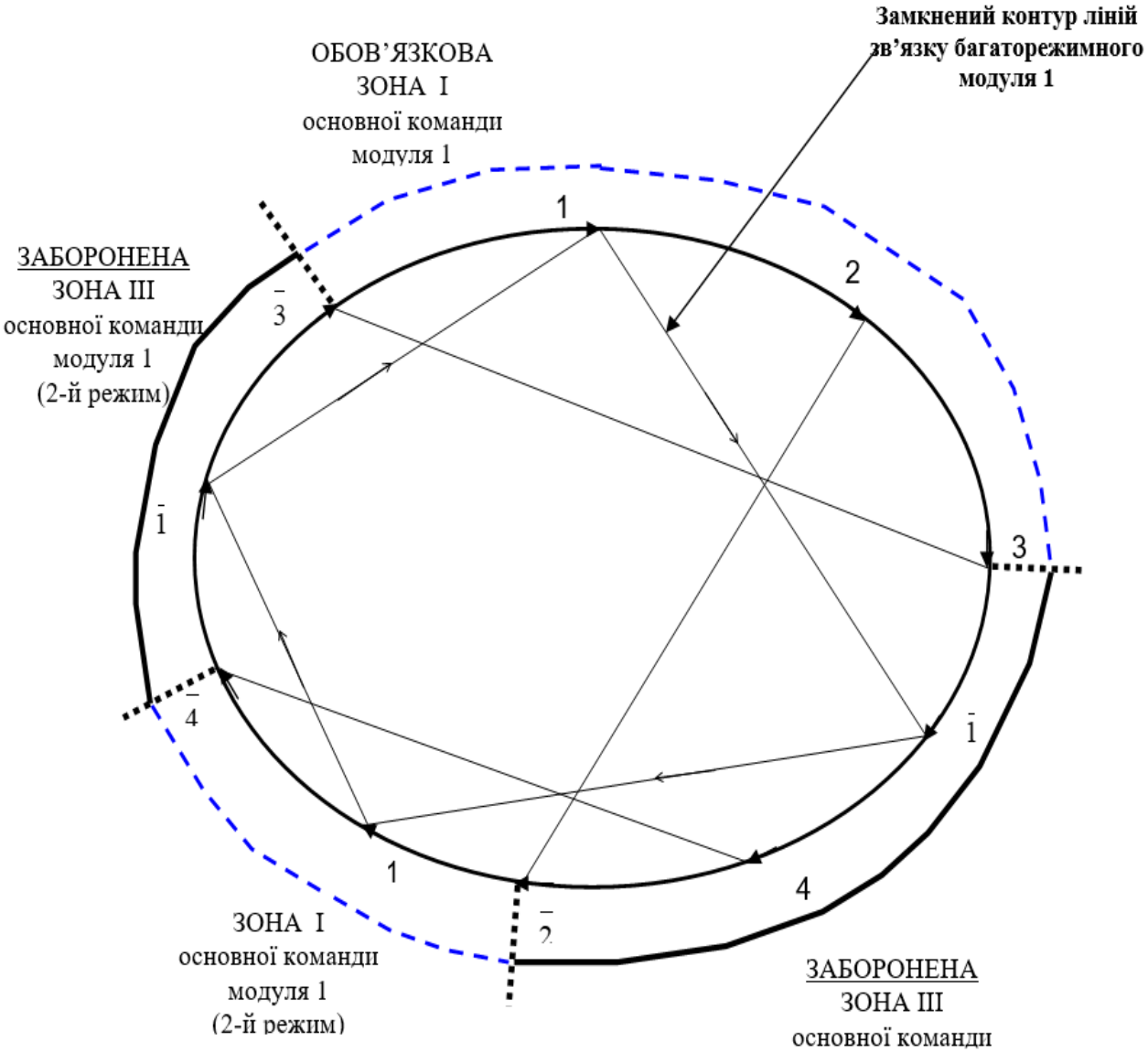


Рис. 2.33. Приклад функціонального графа системи 2-го класу з підграфом зв'язку, зонами - обов'язковою (I), і забороненою (III) для сигналу основної команди 1-го модуля (моностабільний варіант)

4.Записуємо послідовність сигналів з індексами усіх ліній зв'язку, що увійшли до траєкторії (контуру).

5.Просуваючись по траєкторій, «тримаючи лінію» правою рукою, дивимось на кут повороту траєкторії на переходах з однієї лінії зв'язку на іншу:

якщо кут менший за 180 градусів, між відповідними сигналами ставимо знак добутку, якщо кут більший за 180 градусів – ставимо знак додавання.

6.Останній сигнал виразу інвертуємо і інвертуємо індекс останнього сигналу.

7.Отриманий вираз є початковим варіантом моностабільного виразу команди керування для обраного режиму.

8.Якщо у виразі немає сигналів від багаторежимних модулів, то початковий варіант тотожний остаточному.

9.Якщо у виразі є сигнали багаторежимних модулів, то необхідна перевірка кожного доданку, в якому використано сигнал багаторежимного модуля і коригування (за необхідністю):

Чи приймає доданок значення «1» в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні?

a. Якщо не приймає, то початковий варіант тотожний остаточному (обмежуючий компонент $\{x\}_{k-\overline{m}}$ в команді відсутній).
b. Якщо доданок приймає значення «1» в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні, то формуємо обмежуючий компонент $\{x\}_{k-\overline{m}}$.

Порядок формування обмежуючого компонента $\{x\}_{k-\overline{m}}$:

- позначаємо частину ЗАБОРОНЕНОЇ зони, у якій з'являється значення «1». Ця частина може мати вигляд однієї вершини, декількох послідовних дуг, декількох розрізнених дуг, у тому числі в різних секторах зони III графа. Називаємо цю частину зоною хибного спрацювання команди $Z(y_i)$;
- будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, який відокремлює зону I команди від зони хибного спрацювання $Z(y_i)$. Всі відрізки ліній зв'язку відокремлюючого контуру мають однаковий напрям. Бажано використовувати лінії від однорежимних модулів;
- складаємо логічний вираз побудованого контуру (ломаної лінії):
- записуємо послідовно за напрямом контуру сигнали з індексами усіх ліній, що задіяні в контурі;
- обходимо контур так, щоб зона I команди залишалась по ліву руку. Якщо між відрізками ломаної кут менший за 180 градусів, то між відповідними сигналами додаємо знак множення, інакше - знак логічного додавання;
- отриманий логічний вираз контуру обмежуємо дужками і записуємо як множник до початкового варіанту доданку у виразі команди і перевіряємо:

a. якщо в обмежуючий компонент $\{x\}_{k-\overline{m}}$ увійшли тільки сигнали стану однорежимних модулів, то отриманий вираз є остаточним.

b. якщо в обмежуючий компонент увійшли сигнали стану багаторежимних модулів, то розкриваємо дужки в логічному виразі обмежуючого компоненту.

c. Розглядаємо кожний доданок, який містить сигнали багаторежимних модулів в своєму складі.

d. Перевіряємо, чи приймає доданок значення «1» в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні?

Якщо ні – то залишаємо цей доданок без змін.

Якщо так – приймає значення «1» в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні, то повторюємо методику, починаючи з початку пункту 9.

10. Після усунення всіх «одиничних» значень доданків в забороненій зоні III вираз команди набуває остаточну форму.

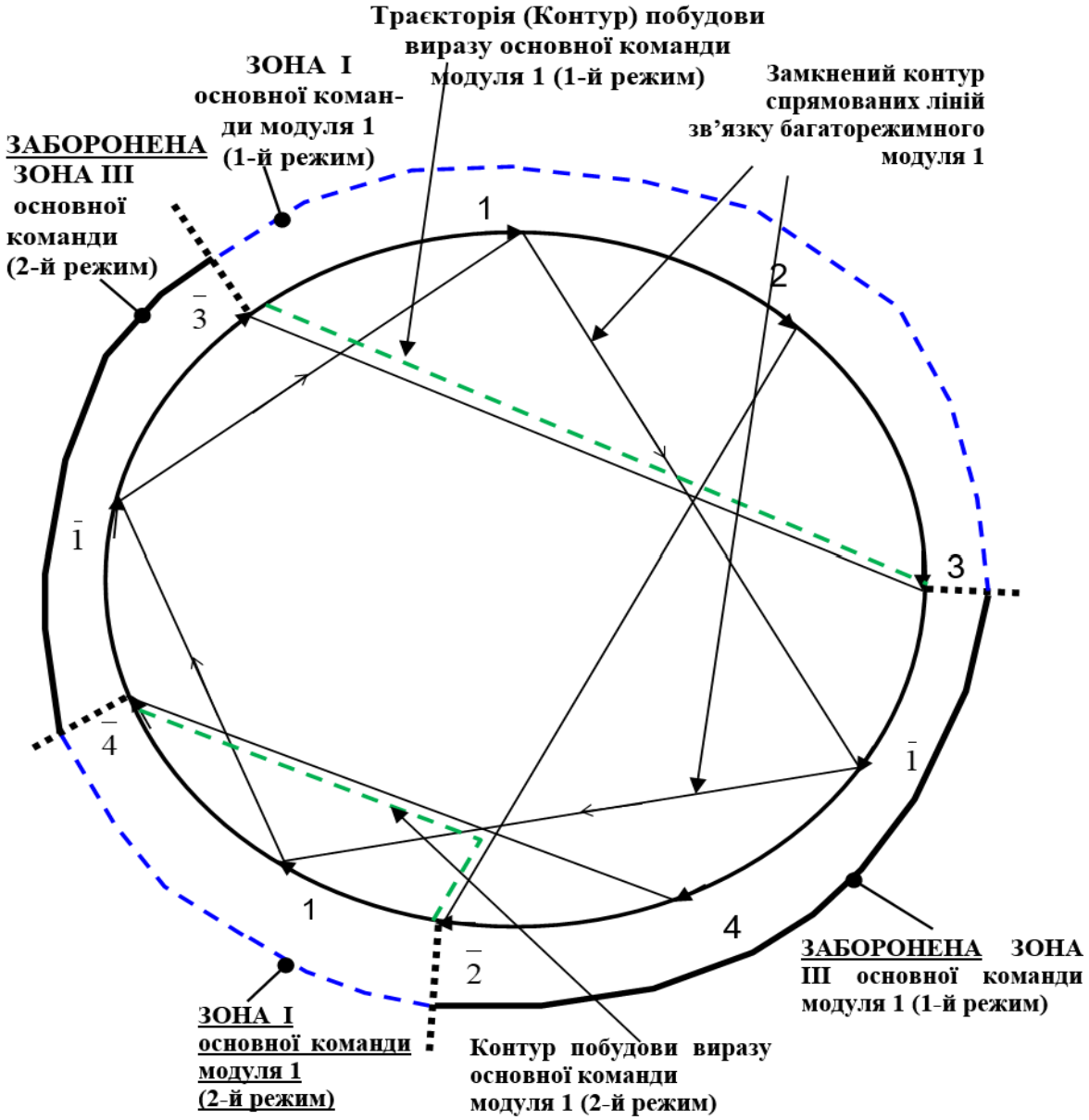


Рис. 2.34 . Приклад функціонального графу системи 2-го класу з підграфом зв'язку, зонами обов'язкового (I) і забороненого (III) існування сигналу основної команди 1-го модуля (моностабільний варіант), з контурами побудови початкового варіанту виразу команди для 1-го і 2-го режимів

Укладання виразу моностабільної команди для основної дії багаторежимного модуля «1» (рис. 2.34).

ПРИМІТКА 1. У виразах команд для модуля з моностабільним керуванням можуть міститися сигнали стану цього самого модуля, що підтверджують виконання команди, що складаємо.

ПРИМІТКА 2. Якщо в системі 2-го класу є тільки один багаторежимний модуль, то у виразах його команд будуть тільки сигнали однорежимних модулів і, відповідно до методики, початкова форма логічних виразів тотожна остаточній.

Логічний вираз команди керування будуємо у вигляді суми виразів для двох режимів (рис. 2.34, модуль №1 дворежимний):

$$y_1 = y_1^{R1} + y_1^{R2}.$$

Траєкторія виразу основної команди 1-го режиму модуля 1 має вироджену форму – складається тільки з однієї лінії: N3 – 3 – це є особливий випадок.

Особливий випадок – траєкторію команди складає одна лінія зв'язку – вираз команди має наступну форму:

$$y_1^{R1} \Leftarrow x_{\overline{3}} + x_1 * \overline{x}_3.$$

Вираз має вигляд суми сигналу, чию лінію зв'язку використано ($x_{\overline{3}}$), з добутком сигналу, що засвідчує виконання команди (x_1) на інвертований сигнал з інвертованим індексом від задіяної лінії зв'язку ($\overline{x_3}$) .

В отриманому виразі, в другому доданку, задіяно сигнал багаторежимного модуля (x_1), робимо перевірку на виникнення одиничного значення в забороненій зоні (III).

Оскільки в зоні сигналу $x_{\overline{3}}$ (доінверсійний вигляд $\overline{x}_3$) сигнал багаторежимного модуля виникає тільки один раз, то повторне одиничне значення неможливо і перевірку проводити не потрібно. Маємо остаточний вигляд команди для 1-го режиму: $y_1^{R1} \Leftarrow x_{\overline{3}} + x_1 * \overline{x}_3$.

Траєкторія виразу основної команди 2-го режиму модуля 1 складається з двох ліній: N2–2 → 4–N4.

Кут при переході з лінії N2–2 на лінію 4–N4 менший за 180 градусів, тобто має місце множення.

Початковий вигляд виразу команди для 2-го режиму:

$$y_1^{R2} \Leftarrow x_{\overline{2}} * x_4.$$

Виконуємо заміну сигналу, що відповідає останній лінії зв'язку в траєкторії команди на інверсію з інвертованим індексом:

$$y_1^{R2} \Leftarrow x_{\overline{2}} * \overline{x}_{\overline{4}}.$$

Оскільки у виразі команди не задіяно жодного сигналу багаторежимного модуля, то отримана форма є остаточною.

Формуємо вираз команди багаторежимного модуля:

$$y_1 \Leftarrow (x_{\overline{3}} + x_1 * \overline{x}_3) + (x_{\overline{2}} * \overline{x}_{\overline{4}}).$$

Приклад (більш складний) укладання виразу команди керування для основної дії модуля 4. Траєкторія команди має вироджений вигляд – складається з однієї лінії зв'язку: N1 – 1.

Вираз команди складатиметься з двох доданків згідно форми особливого випадку:

$$y_4 \Leftarrow x_{\overline{1}} + x_4 * \overline{x}_1.$$

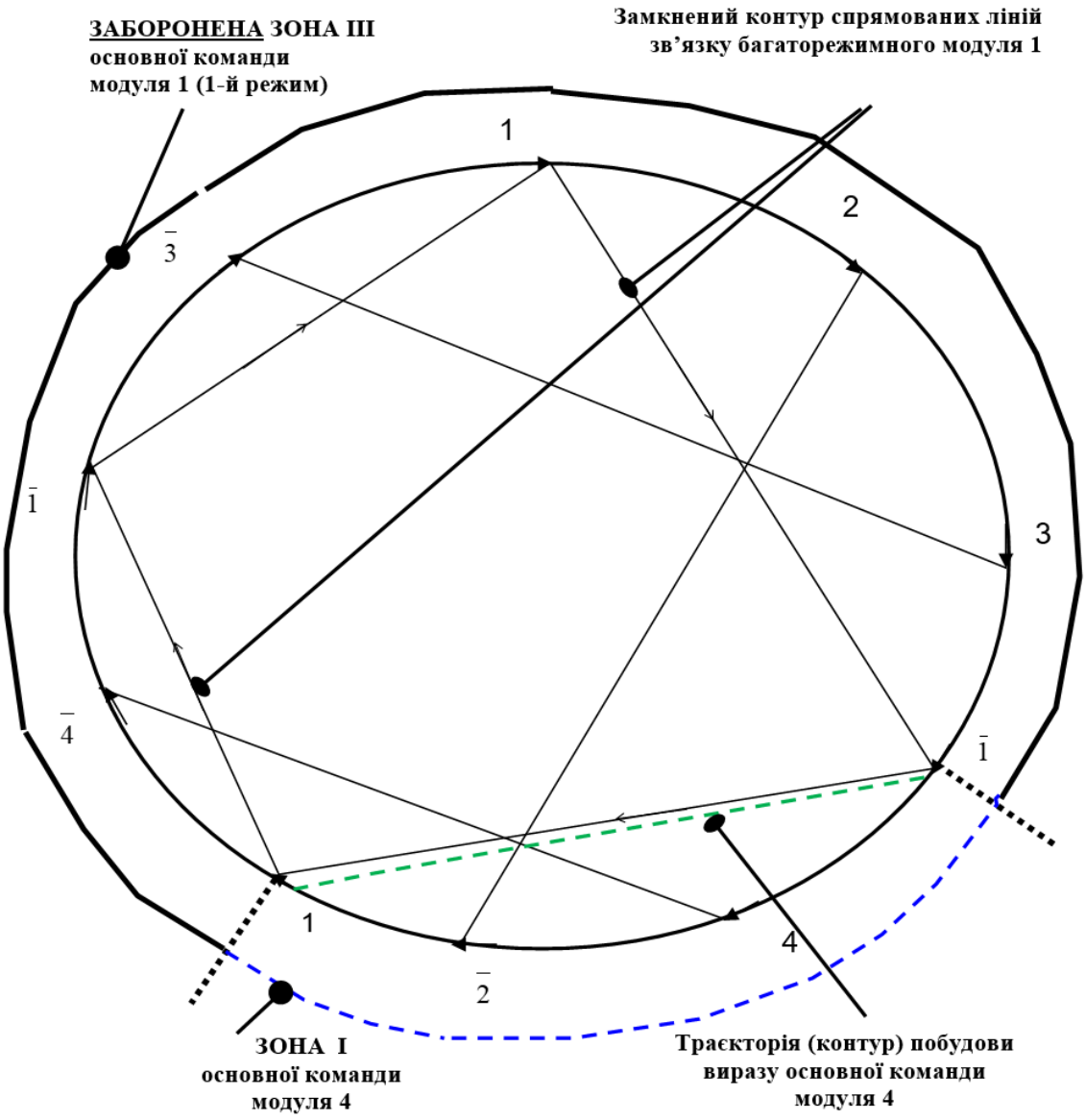


Рис. 2.35. Приклад функціонального графу системи 2-го класу з підграфом зв'язку, зонами обов'язкового (I) і забороненого (III) існування сигналу основної команди 4-го модуля (моностабільний варіант)

В цьому виразі присутні два доданки, і в кожному з них присутній сигнал багаторежимного модуля №1.

Робимо перевірку на виникнення одиничного значення в забороненій зоні (III) обох доданків.

Перший доданок $x_{\overline{1}}$. Другий режим зворотної команди модуля 1 повністю потрапляє до зони III. Тобто його потрібно відокремити. Оскільки другу лінію (N1 – 1) не можна відокремити від лінії команди (4 – N4) будь якою лінією зв'язку, то будуємо відокремлюючу ломану з відрізків ліній зв'язку: (2 – 4) і записуємо її логічний вираз: $(x_2 + x_4)$. В цьому виразі не задіяно жодного багаторежимного сигналу. Приписуємо цей вираз до першого доданку у вигляді множника: $x_{\overline{1}} * (x_2 + x_4)$. Перевірка першого доданку завершена.

Другий доданок $x_4 * \overline{x}_1$. Оскільки в зоні сигналу x_4сигнал $x_{\overline{1}}$ (доінверсійна форма) з'являється тільки один раз, то виникнення другого одиничного значення не можливе. Тобто, такий вираз є остаточним.

Записуємо вираз основної команди модуля №4:

$y_4 \Leftarrow x_{\overline{1}} * (x_2 + x_4) + x_4 * \overline{x}_1$.

Комплект моностабільного варіанту команд керування для розглянутого прикладу (рис. 2.35) має наступний вигляд:

$$y_1 \Leftarrow \left(x_{\overline{3}} + x_1 * \overline{x}_3\right) + \left(x_{\overline{2}} * \overline{x}_{\overline{4}}\right),$$
$$y_2 \Leftarrow x_1 * x_{\overline{3}} + x_2 * \overline{x}_4 ,$$
$$y_3 \Leftarrow x_2 + x_4 + \overline{x}_{\overline{1}} * x_3 ,$$
$$y_4 \Leftarrow x_{\overline{1}} * (x_2 + x_4) + x_4 * \overline{x}_1 .$$

Приклад системи з двома багаторежимними модулями (складний)

Вираз команди основної дії модуля 4 будуємо у вигляді суми виразів для 2-х режимів (рис. 2.36): $y_4 = y_4^{R1} + y_4^{R2}$.

Укладання виразу основної команди для 1-го режиму модуля 4.

Траєкторія виразу основної команди 1-го режиму модуля 4 має два відрізки ліній зв'язку:

N3–3→ 2–N2.

Складаємо початкову форму виразу команди (кут повороту – менший за 180 градусів) і інвертуємо сигнал і індекс у останнього компонента:

$$y_4^{R1} \Leftarrow x_{\overline{3}} * \overline{x}_{\overline{2}}.$$

В отриманому виразі задіяно сигнал багаторежимного модуля (доінверсійна форма - x_2), робимо перевірку на виникнення одиничного значення в забороненій зоні (III). В першому режимі модуля 2 виникає одиничне значення добутку $x_{\overline{3}} * x_2$ в забороненій зоні (III).

Шукаємо відокремлюючий сигнал, який позбавить одиничного значення в забороненій зоні: $x_{\overline{1}}$. Вводимо цей сигнал в якості обмежуючого множника:

$$y_4^{R1} \Leftarrow x_{\overline{3}} * \overline{x}_{\overline{2}} * x_{\overline{1}}.$$

Отримано остаточний вигляд команди для 1-го режиму.

Траєкторія виразу основної команди 2-го режиму модуля 4 має вироджену

форму – складається тільки з однієї лінії: 6 – N6 – це особливий випадок.

Особливий випадок – вираз команди має наступну форму:

$$y_4^{R2} \Leftarrow x_6 + x_4 * \overline{x}_{\overline{6}}.$$

Вираз має вигляд суми сигналу, чию лінію зв'язку використано (x_6), з добутком сигналу, що засвідчує виконання команди (x_4) на інвертований сигнал з інвертованим індексом від задіяної лінії зв'язку ($\overline{x}_{\overline{6}}$) .

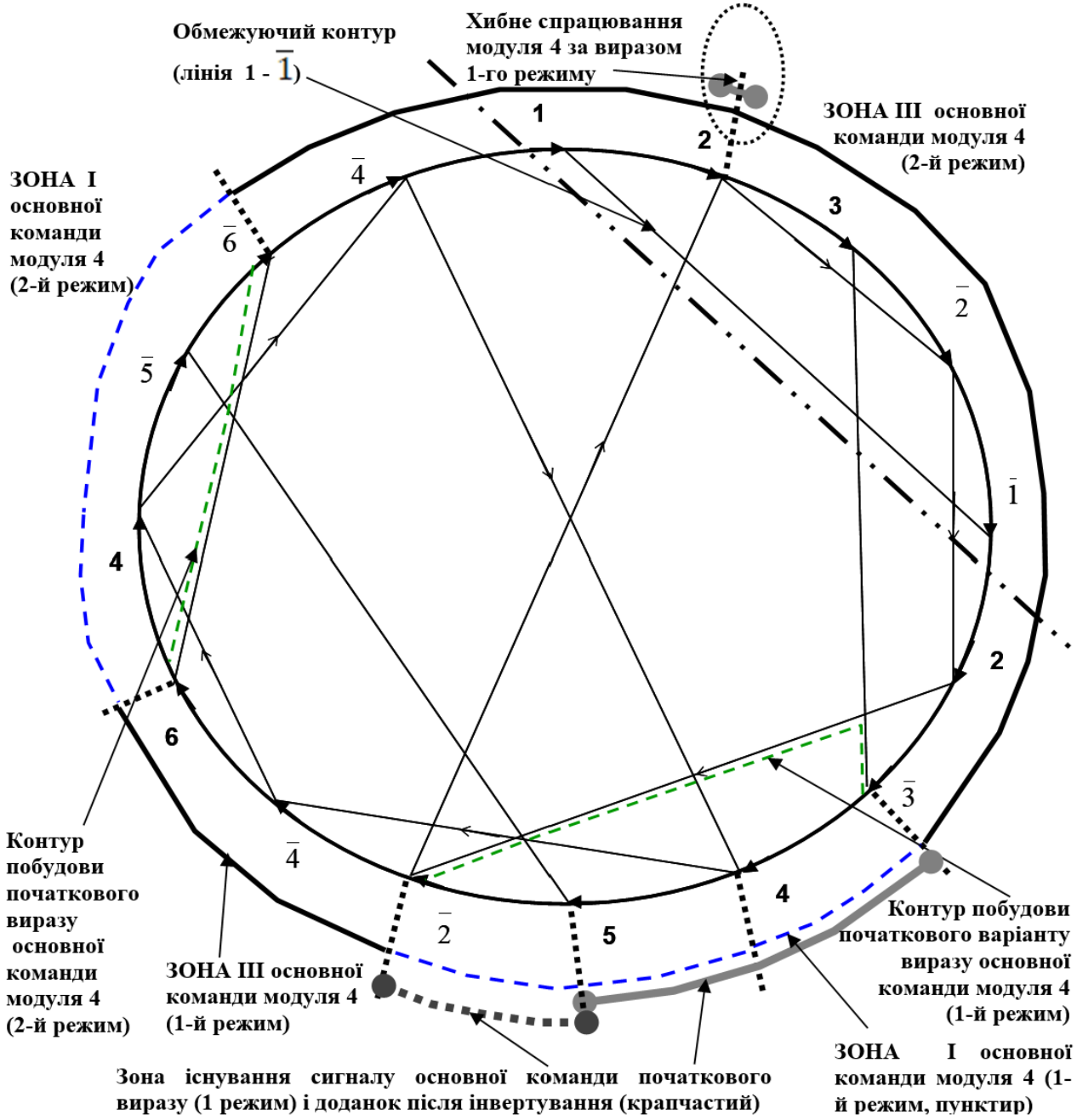


Рис. 2.36. Розгорнутий граф складання виразу основної команди модуля 4 з нанесенням зон обов'язкового (I) і забороненого (III) існування сигналу основної команди 4-го модуля (моностабільний варіант), контуром будови виразу 1-го режиму основної команди (початковий варіант $y_4 \Leftarrow x_{\overline{3}} * x_2$, після інвертування $y_4^{R1} \Leftarrow x_{\overline{3}} * \overline{x}_{\overline{2}}$) і зонами існування одиничного значення (сіра стовщена лінія)

В отриманому виразі, в другому доданку, задіяно сигнал багаторежимного модуля (x_4), робимо перевірку на виникнення одиничного значення в забороненій зоні (III).

Оскільки в зоні сигналу x_6 (доінверсійна форма) сигнал x_4 з'являється тільки один раз, то виникнення другого одиничного значення не можливе. Тобто, такий вираз доданку і вираз всієї команди для 2-го режиму є остаточним.

Будуємо загальний вираз моностабільної команди 2-режимного модуля 4:

$$y_4 \Leftarrow x_{\bar{3}} * \bar{x}_{\bar{2}} * x_{\bar{1}} + x_6 + x_4 * \bar{x}_{\bar{6}}$$

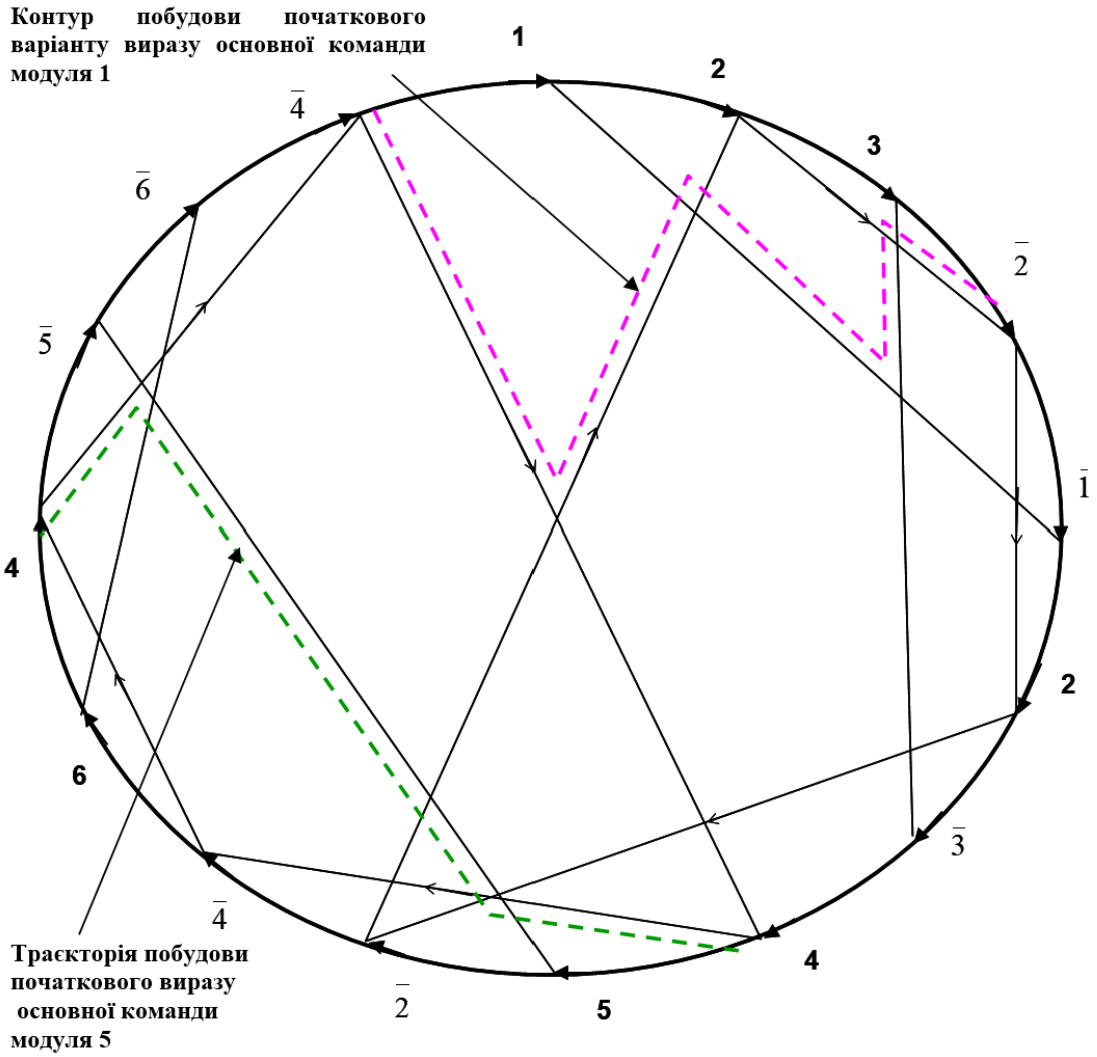


Рис. 2.37. Граф системи з двома багаторежимними модулями та прикладом побудови траєкторій (контурів) моностабільних виразів команд модуля 1 і модуля 5 (обмежуючі компоненти не показано)

Вирази команд керування всіх модулів системи (рис. 2.36, рис. 2.37) мають наступний вигляд:

$$y_1 \Leftarrow x_{\bar{4}} * x_{\bar{5}} * x_{\bar{2}} * x_{\bar{3}} + x_1 * x_{\bar{3}} + \bar{x}_{\bar{2}} * x_1;$$

$$y_2 \Leftarrow x_1 * \bar{x}_3 + x_{\bar{1}} * x_3 + x_2 * x_{\bar{1}} * \bar{x}_5 ;$$

$$y_3 \Leftarrow (x_2 + x_3) * x_1 + \bar{x}_2 * x_3 ;$$

$$y_4 \Leftarrow x_{\overline{3}} * \overline{x}_{\overline{2}} * x_{\overline{1}} + x_6 + x_4 * \overline{x}_{\overline{6}} ;$$
$$y_5 \Leftarrow (x_4 + x_5) * x_{\overline{6}} + \overline{x}_4 * x_5 ;$$
$$y_6 \Leftarrow x_{\overline{4}} * x_5 + x_6 * \overline{x}_{\overline{5}} \ .$$

ПРИМІТКА 3. Якщо у добутку є сигнал однорежимного модуля і в зоні цього сигналу виникає сигнал від багаторежимного модуля тільки один раз, то перевірку на хибне спрацювання цього добутку робити непотрібно.

ПРИМІТКА 4. Якщо в команді однорежимного модуля є багаторежимні сигнали, то для всіх доданків, окрім першого, можна запобігати хибному спрацювання за допомогою сигналу стану цього самого модуля: для команди y_8 це сигнал x_8, для команди y_{12} це сигнал x_{12}, для команди $y_{\overline{9}}$ це сигнал $x_{\overline{9}}$.

ПРИМІТКА 5. Якщо можна побудувати траєкторію команди з ліній тільки однорежимних модулів, то цим треба скористатись (не потрібно робити перевірки і доповнення обмежуючими множниками).

ПРИМІТКА 6. Якщо не вдається побудувати вираз команди без хибних спрацювань (виникає сигнал «1» в забороненій зоні III), то система не є логічновизначеною, залишилась хоч одна лінія невизначеності, потрібно додавати елемент пам'яті.

2.4. МЕТОДИКИ СИНТЕЗУ СИСТЕМ 3-ГО КЛАСУ СКЛАДНОСТІ

2.4.1. Формалізація опису систем 3-го класу, функціональний граф

Третій клас, це асинхронні циклові системи з багаторежимними модулями. Функціональний граф систем 3-го класу має вигляд кола, зіставленого з окремих однаково орієнтованих дуг (рис. 2.38). Основна корисна відмінність систем 3-го класу від систем 2-го класу полягає в суміщенні в часі декількох дій, тобто декількох операцій технологічного циклу. Ця відмінність призводить до скорочення часу відпрацювання технологічного циклу, підвищує продуктивність системи загалом і здійснює більш інтенсивне використання обладнання, не допускаючи його до морального старіння.

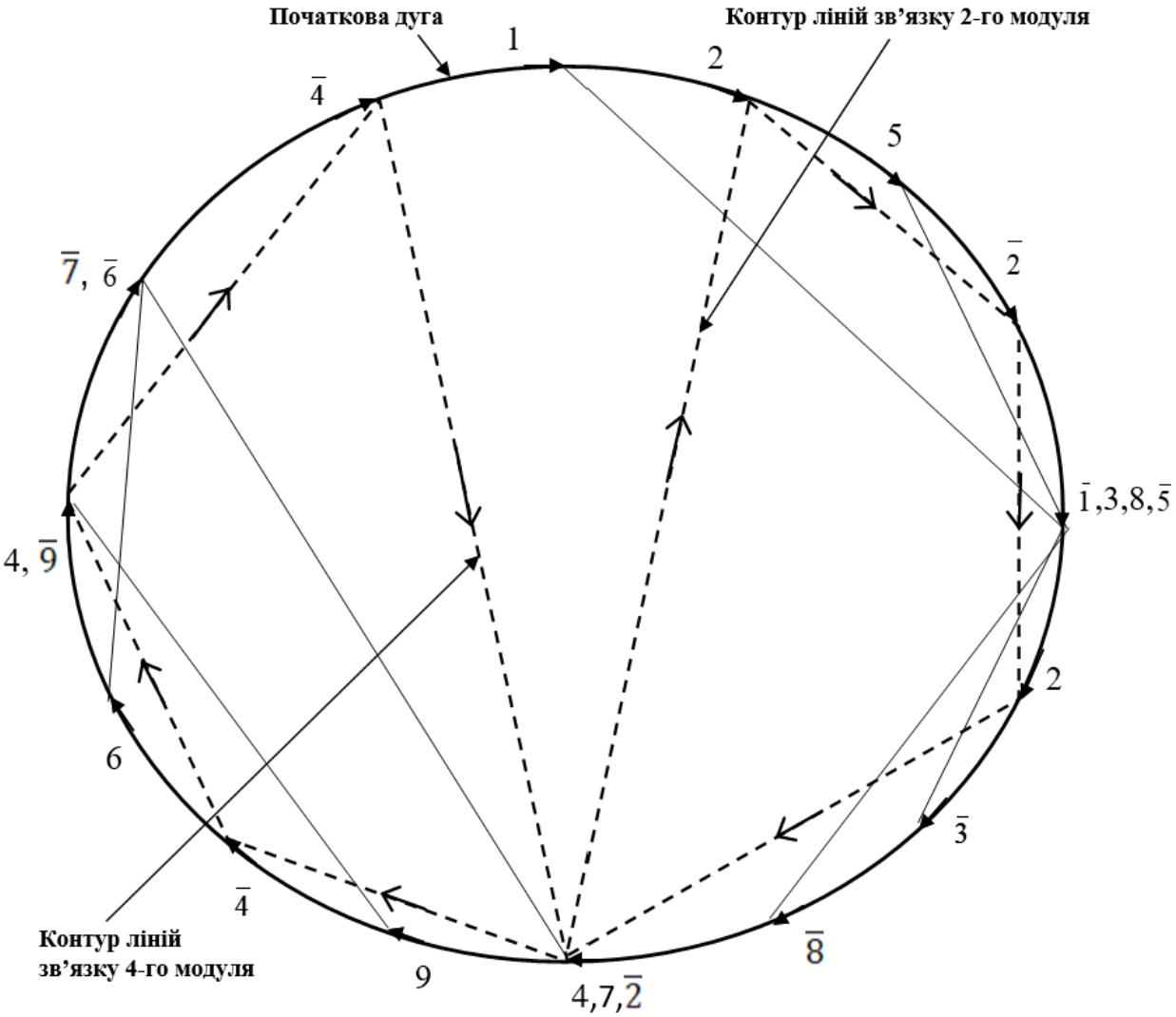


Рис. 2.38. Функціональний граф системи 3-го класу з двома багаторежимними модулями 2 і 4 та побудованим підграфом зв'язку

В наведеному прикладі задіяно 9 модулів два з яких є дворежимними. В інтерпретації системи за вимогами 2-го класу технологічний цикл мав складатися з 22 відрізків або дуг функціонального графу. В прикладі кількість відрізків скорочена до 15. За найпростішою оцінкою маємо скорочення

технологічного циклу на 32%. Зауважимо, якщо на одному відрізку одночасно подано команди на декілька модулів, то відрізок буде визнано відпрацьованим тоді, коли буде підтверджено відпрацювання останньої з поданих команд.

Основні положення формалізації систем 3-го класу тотожні до аналогічних положень для систем 2-го класу, за виключенням одночасно виконуваних не синхронних дій. Кожна дуга – це відрізок процесу. Кожна дуга має маркування – індекси виконуваних на цьому відрізку процесу дій або однієї дії, як в системах 2-го класу. Всі індекси в маркуванні записуються через кому. Існування дуг без маркування не припустимо. Маркування бажано розміщувати ближче до стрілочки дуги функціонального графу. Дуга, з якої система починає роботу, є початковою. Починаючи з неї в маркуванні всіх наступних дуг, спочатку з'являються індекси основних дій модулів, а після основної дії кожного модуля в маркуванні подальших дуг знаходиться індекс зворотної дії модуля.

В наведеному прикладі на початок роботи припадає основна дія 1-го модуля. Далі ідуть основна дія 2-го модуля першого режиму, основна дія 5-го модуля, зворотна дія 2-го модуля і далі – одночасно подано команди на виконання зворотних дій 1-го і 5-го модулів та на виконання основних дій 3-го і 8-го модулів, відповідно до технологічного циклу:

$1 \Rightarrow 2 \Rightarrow 5 \Rightarrow \overline{2} \Rightarrow \overline{1}, 3, 8, \overline{5} \Rightarrow 2 \Rightarrow \overline{3} \Rightarrow \overline{8} \Rightarrow 4, 7, \overline{2} \Rightarrow 9 \Rightarrow \overline{4} \Rightarrow 6 \Rightarrow 4, \overline{9} \Rightarrow \overline{6}, \overline{7} \Rightarrow \overline{4}.$

В системах 3-го класу модулі можуть отримувати сигнали команд одночасно, але кожний модуль буде відпрацьовувати свою команду відповідно до характеристик виконавчого пристрою модуля. Модулі системи за один технологічний цикл можуть виконувати основну дію і зворотну дію по декілька разів. В прикладі два дворежимних модулі: 2 і 4. В системах 3-го класу в кожний момент роботи системи декілька модулів можуть відпрацьовувати свої дії. В прикладі існує 4 переходи або відрізки процесу на яких асинхронно виконується по декілька дій. Якщо на відрізку заплановано виконання декількох дій, то в маркуванні дуги, що відповідає цьому відрізку, будуть перелічені через кому індекси усіх запланованих до виконання команд.

В середині кола функціонального графу розташовані лінії зв'язку:

- лінія зв'язку основної дії з'єднує вершину дуги з основним індексом модуля з вершиною наступної вздовж циклу дуги із зворотним індексом цього самого модуля, лінія має напрямок;
- лінія зв'язку зворотної дії з'єднує вершину дуги із зворотним індексом модуля з вершиною наступної вздовж циклу дуги із основним індексом цього самого модуля, лінія має напрямок.

Для однорежимних модулів обидві лінії співпадають і на них можна не проставляти напрямок (як в системах 1-го класу) та малювати тільки одну лінію. Для багаторежимних модулів їх лінії зв'язку утворюють багатокутник з кількістю кутів вдвічі більшою, за кількість режимів (рис. 2.38). В цьому багатокутнику лінії зв'язку мають напрям, який збігається з напрямом функціонального графу. Тобто, багатокутник є вписаним в функціональний граф і лінії мають узгоджений напрямок.

Ліній зв'язку в функціональному графі систем 3-го класу буде стільки,

скільки є однорежимних модулів плюс подвійна кількість багаторежимних модулів помножена на кількість режимів кожного модуля. Для розглянутого прикладу (рис. 2.38) отримуємо: 7 однорежимних + 4 (2 багаторежимних) * 2 (дворежимний) = 15 . На відміну від систем 2-го класу в одну вершину дуги можуть входити та виходити з неї декілька ліній зв'язку. При цьому кількість ліній, що входять має дорівнювати кількості ліній що виходять з вершини.

Кожна лінія зв'язку відокремлює від графу сегмент, з яким вона має спільний напрямок. На протязі дуг сегменту зберігаються результати виконання попередньої дії модуля, якому належить лінія зв'язку. На останній дузі сегменту виконується зворотна дія цього модуля і цього режиму.

Коректність і повноту графу забезпечують:

- наявність зворотних дій для всіх основних дій;
- кількість зворотних дій і кількість основних дій для кожного модуля має бути однаковою;
- для кожного модуля його основні дії і його зворотні дії мають чергуватись при обході функціонального графу;
- відсутність дуг без маркування;
- при обході графу з початкової дуги для кожного модуля спочатку виникає основна дія, а після неї зворотна дія;
- кількість ліній зв'язку відповідає правилам їх побудови;
- кількість ліній зв'язку, що входять до кожної вершини дорівнює кількості ліній зв'язку, що виходять з цієї вершини.

Формуванням функціонального графу і підграфу зв'язку завершено формалізацію опису роботи системи 3-го класу.

2.4.2. Дослідження логічної визначеності систем 3-го класу

Для систем 3-го класу складності може бути застосовано як аналітичний метод розрахунку доданої пам'яті, так і графічна методика з побудовою підграфу невизначеності. Графічна методика є простішою у використанні, якщо в системі кількість багаторежимних пристроїв не перевищує трьох. При значній кількості багаторежимних модулів більш практичною є аналітична методика, яку було наведено у загальній частині.

Методика дослідження логічної визначеності в основному тотожна методиці для систем 2-го класу складності. Інколи в системах 3-го класу взагалі можуть бути відсутні багаторежимні пристрої. Тоді застосування методики складається з однієї ітерації так само, як для систем 1-го класу складності. Якщо в системі задіяно хоча б один модуль багатократної дії, то дослідження за допомогою графічної методики відбувається шляхом виконання декількох ітерацій. Наприклад, в системі є модуль трикратної дії. Графічна методика укладатиметься з двох ітерацій або проходів. В загальному випадку кількість проходів має дорівнювати 2^n, де n – кількість багаторежимних модулів.

Наприклад, для системи (рис. 2.39), яка вміщує 2 багаторежимних модулі,

графічна методика потребуватиме 4 ітерації, тобто необхідно побудувати $2^n = 4$ допоміжних варіантів функціонального графу (рис. 2.40, а, б, в і г). Ці варіанти відрізнятимуться наборами ліній зв’язку багаторежимних модулів – в прикладі – 2-го і 4-го модулів. Всі лінії зв’язку однорежимних модулів будуть присутніми у всіх варіантах.

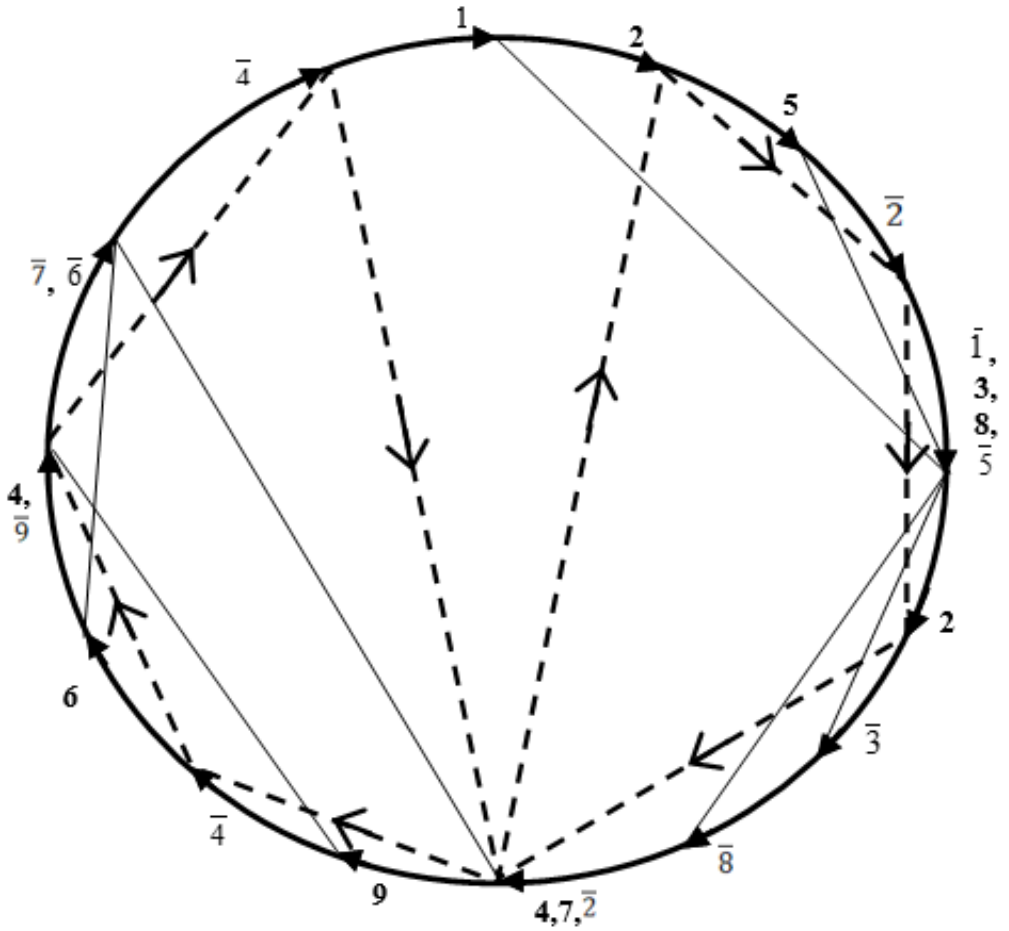


Рис. 2.39. Приклад функціонального графу з підграфом зв’язку для системи 3-го класу з двома багаторежимними модулями 2 і 4

Варіант а) вміщує лінії зв’язку основних дій модулів 4 та 2. Ці лінії з’єднують вершини дуг з індексом 4 з вершинами наступних дуг з індексом $\bar{4}$ і так само для 2-го модуля. До варіанту б) залучені основні лінії зв’язку 4-го модуля і зворотні лінії зв’язку 2-го модуля. До варіанту в) від 4-го модуля будуть зворотні лінії зв'язку (з’єднують вершини дуг з індексом $\bar{4}$ з вершинами наступних дуг з індексом 4), і основні лінії зв’язку від 2-го модуля. Варіант г) спирається на зворотні лінії зв’язку обох багаторежимних модулів.

На кожному варіанті графу потрібно нанести всі можливі лінії невизначеності за раніше наведеними правилами (рис. 2.40). Особливістю систем 3-го класу є те, що лінії невизначеності можуть торкатися ліній зв'язку у вершинах функціонального графу, але не можуть їх перетинати. Тобто лінія невизначеності відокремлює від графу хоча би одну лінію зв’язку і при цьому не перетинає жодної лінії зв’язку.

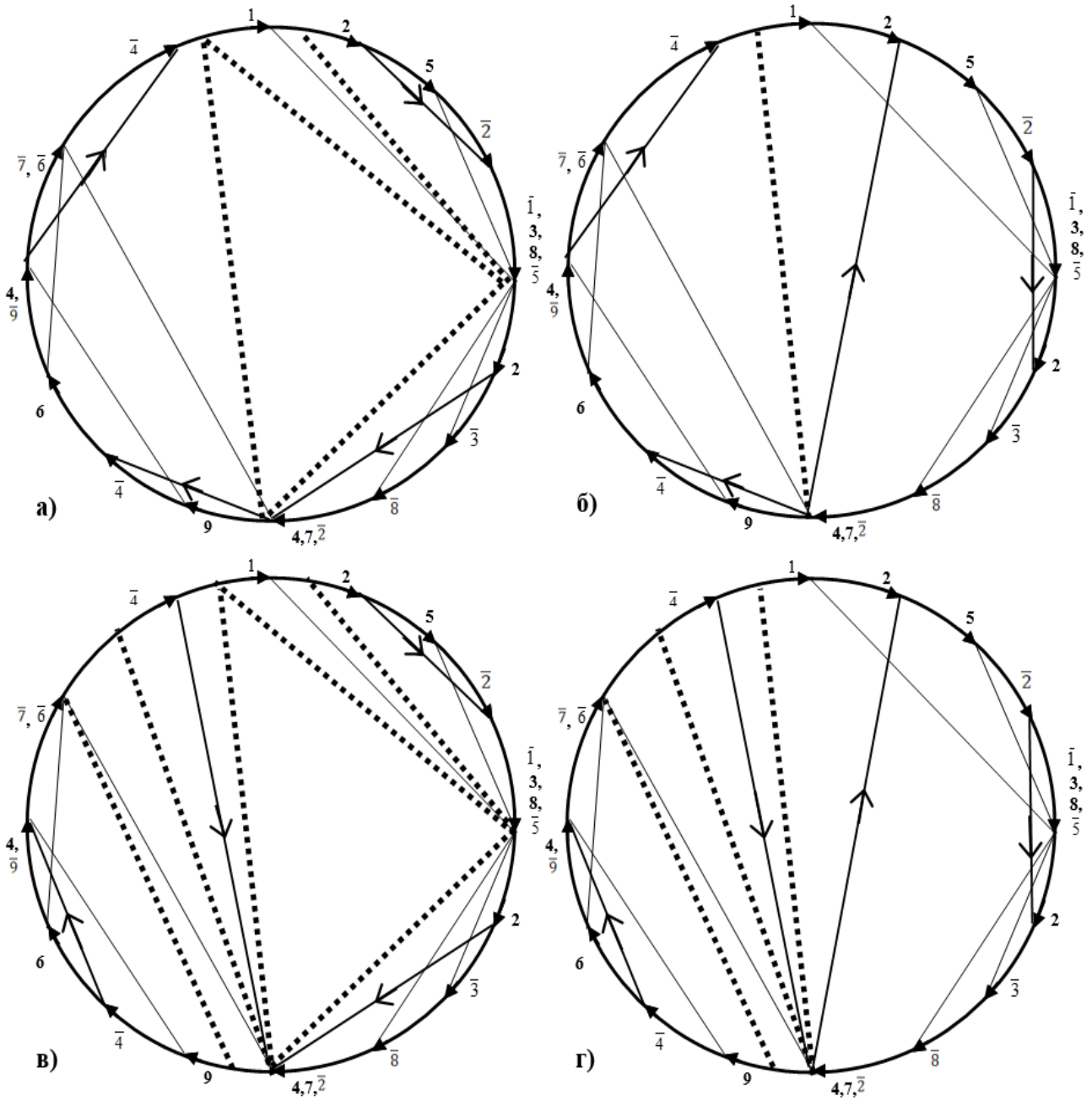


Рис. 2.40. Приклад побудови підграфу невизначеності для системи 3-го класу з двома багаторежимними модулями 2 і 4 за графічною методикою з наступними ітераціями: а) - (4→$\overline{4}$, 2→$\overline{2}$), б) - (4→$\overline{4}$, $\overline{2}$→2), в) - ($\overline{4}$→4, 2→$\overline{2}$), г) - ($\overline{4}$→4, $\overline{2}$→2)

Після розгляду всіх передбачених ітерацій всі лінії невизначеності з усіх варіантів потрібно перенести на повний функціональний граф. У разі накладання однієї лінії на іншу залишається тільки одна лінія невизначеності (Рис. 2.41).

За результатами досліджень отримано підграф, що його складають 6 ліній невизначеності. Тобто, в процесі роботи система декілька разів потраплятиме в такий стан, що вона не зможе ідентифікувати етап технологічного циклу і не зможе виробити команди керування для продовження виробничого процесу.

Основним результатом дослідження є встановлення факту, що система є логічно визначеною, або вона є інформаційно недостатньою для подальшої технічної реалізації. Якщо за результатами досліджень не виявлено жодної лінії

невизначеності, то система є логічно визначеною і розробник може зробити наступний крок – перейти до логічного синтезу.

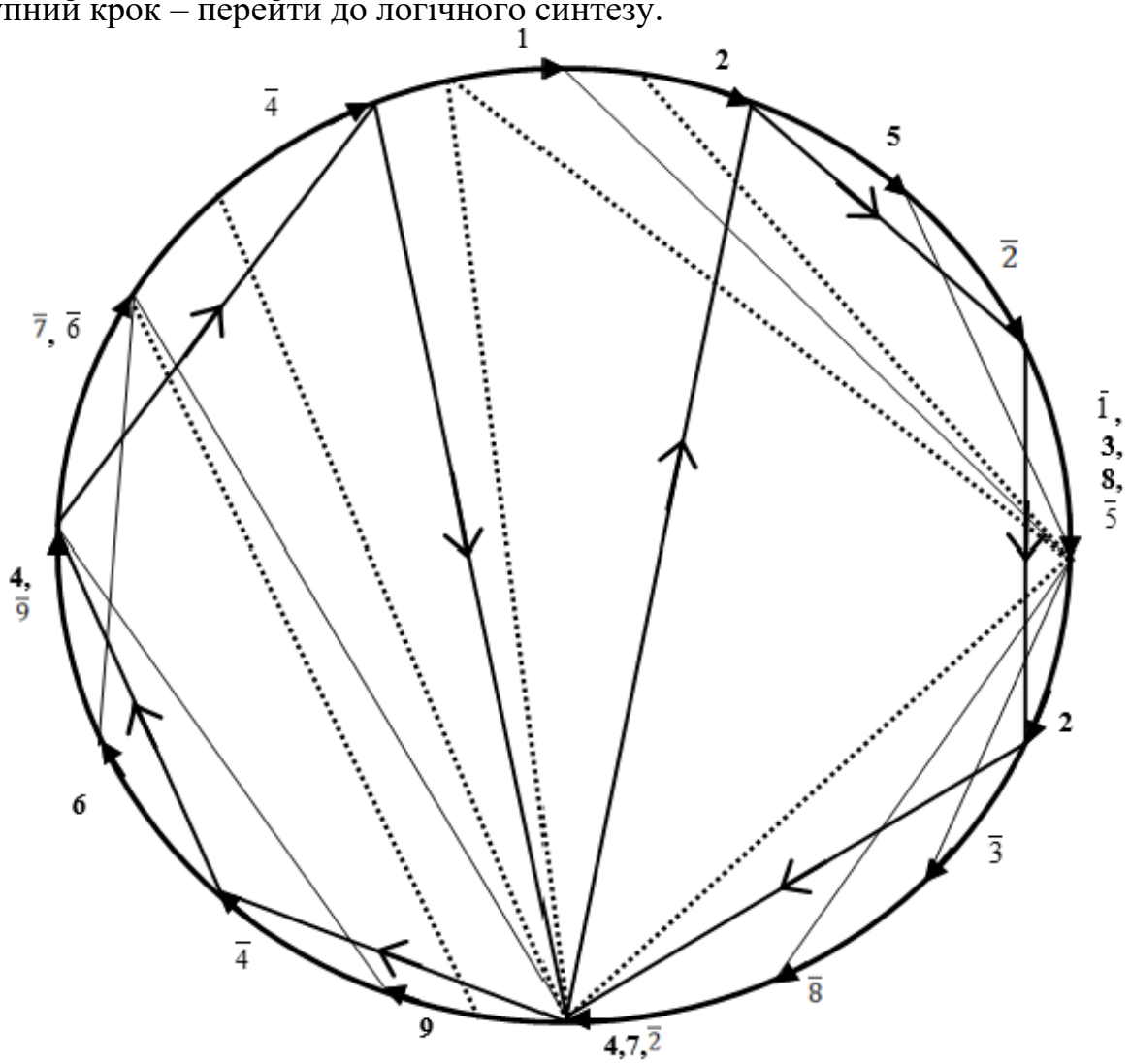


Рис. 2.41. Приклад функціонального графу з підграфом зв'язку і підграфом невизначеності, побудованим за графічною методикою

Якщо за результатами досліджень було побудовано підграф невизначеності, як в розглянутому прикладі, то в будь якому варіанті функціональний граф системи потребує коригування або доповнення доти, доки в ньому залишатиметься хоча би одна лінія невизначеності.

2.4.3. Доповнення елементами пам'яті систем 3-го класу

Для систем 3-го класу більш привабливою є графічна методика додавання елементів пам'яті до циклових систем.

Процедура додавання елементів пам'яті є рекурентною – елементи пам'яті додаються по черзі з перерахунком результатів додавання. Додається елемент пам'яті, змінюються показники пам'яті системи, якщо показники в нормі – то процедура доповнення завершена, якщо залишились невирішені питання – додається наступний елемент пам'яті.

Вихідні дані:

- функціональний граф системи;

- підграф зв’язку з позначенням однорежимних та багаторежимних модулів;
- підграф невизначеності;
- номер останнього модуля системи.

Підграф невизначеності може бути побудованим як за графічною методикою, так і за аналітичною методикою. Різниця в кількості ліній невизначеності (при аналітичній методиці ліній більше) не впливає на доповнення системи елементами пам’яті.

Порядок доповнення системи елементом пам’яті для випадків існування ліній невизначеності або нульових значень доданої пам’яті.

1. Надаємо новому елементу пам’яті номер, наступний за останнім номером модуля системи.

2. Обираємо на графі місця вмикання і вимикання елемента пам’яті так, щоби його лінія зв’язку перетинала максимальну кількість:

I. ліній невизначеності;

II. за рівної кількості ліній невизначеності – максимальну кількість ліній зв’язку однорежимних модулів;

III. за рівної кількості ліній зв’язку однорежимних модулів – максимальну кількість ліній зв’язку багаторежимних модулів;

IV. за рівної кількості ліній зв’язку багаторежимних модулів – розподіляла граф на сегменти з однаковою або наближеною до однакової кількісті дуг графа.

3. Після того, як визначено місця вмикання і вимикання елемента пам’яті, для нього потрібно побудувати лінію зв’язку, так саме, як і для всіх попередніх модулів. Після цього, всі лінії невизначеності, які було викреслено лінією зв’язку елемента пам’яті, втрачають актуальність (вони вже не існують) і їх має бути видалено з графу системи.

ПРИМІТКА – якщо лінія невизначеності і лінія зв’язку елемента пам’яті виходять з однієї дуги функціонального графу, то перекреслення не дійсне.

4. Якщо, після видалення всіх перекреслених ліній невизначеності залишилась хоча би одна неперекреслена лінія невизначеності, то необхідно додати в систему наступний елемент пам’яті за вище розглянутою послідовністю дій – повертаємось на пункт 1.

Приклад - застосуємо наведену методику доповнення елементами пам’яті до системи (рис.2.42).

Отриманий варіант підграфу невизначеності вміщує 6 ліній невизначеності, в системі, що має 8 модулів.

Додаємо перший елемент пам’яті, його ім’я – модуль 9. Лінією зв’язку першого елементу пам’яті максимально вдається перекреслити 5 ліній невизначеності (рис.2.42). При цьому лінія елемента пам’яті перекреслює:

- 4 лінії зв’язку однорежимних модулів;
- 2 лінії зв’язку багаторежимного модуля 4;
- розподіляє функціональний граф на сегменти з 4 і 5 дуг відповідно, тобто, приблизно рівні частини.

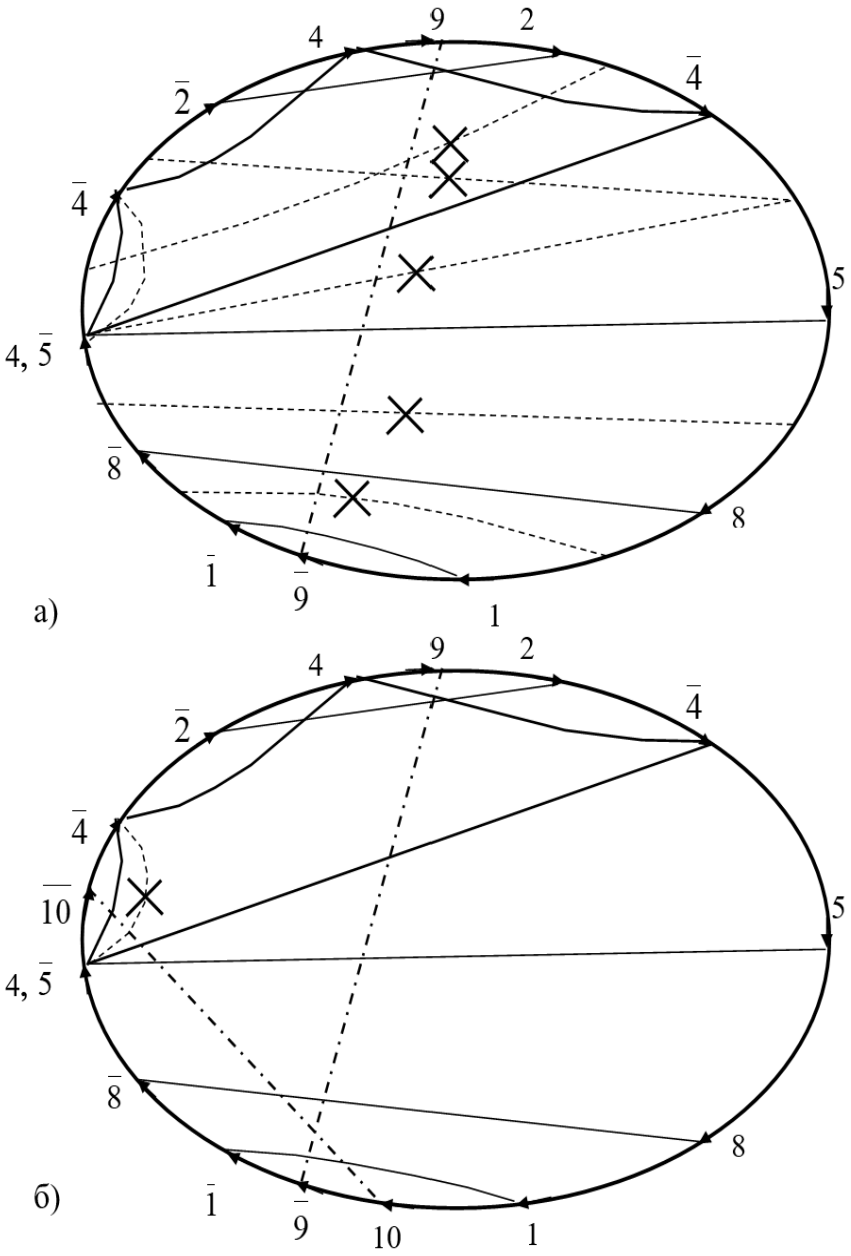


Рис.2.42. Функціональний граф прикладу з підграфом зв'язку всіх модулів (1, 2, 5, 8 - тонкі лінії, 4 – стовщені лінії багаторежимного модуля), підграфом невизначеності (пунктирні лінії), після додавання модуля 9 (а) та після додавання модуля 10 (б), лінії зв'язку модулів 9 і 10 нанесено штрих-пунктиром

Видаляємо всі ліквідовані лінії невизначеності (перекреслені, рис. 2.42а). Залишилась одна лінія невизначеності. Кількість модулів в системі зросла до 9. Потрібно додати наступний елемент пам'яті і його ім'я буде «модуль 10». Лінія невизначеності, що залишилась, відокремлює тільки одну дугу графу.

Середина цієї дуги безумовно має бути обрана як місце вмикання чи вимикання елементу пам'яті 10. Шукаємо місце вимикання/вмикання модуля 10 за максимальною кількістю перекреслених ліній зв'язку однорежимних модулів. Таке місце надає тільки один варіант – після вмикання першого модуля – маємо перекреслення 4-х ліній однорежимних модулів. Оскільки варіант один, то інші показники перевіряти не потрібно. Після того, як всі лінії невизначеності ліквідовані систему можна вважати логічно визначеною (рис. .2.42б).

Порядок доповнення системи елементом пам'яті для збереження сигналу. За умовами технічного завдання сигнал, що контролює виконання зворотної дії модуля 4 є дуже коротко терміновий (близько 0,05 секунди), що є недостатнім для наступного спрацювання моностабільного клапану. За ТЗ сигнал необхідно продублювати за допомогою елементу пам'яті (рис. .2.43).

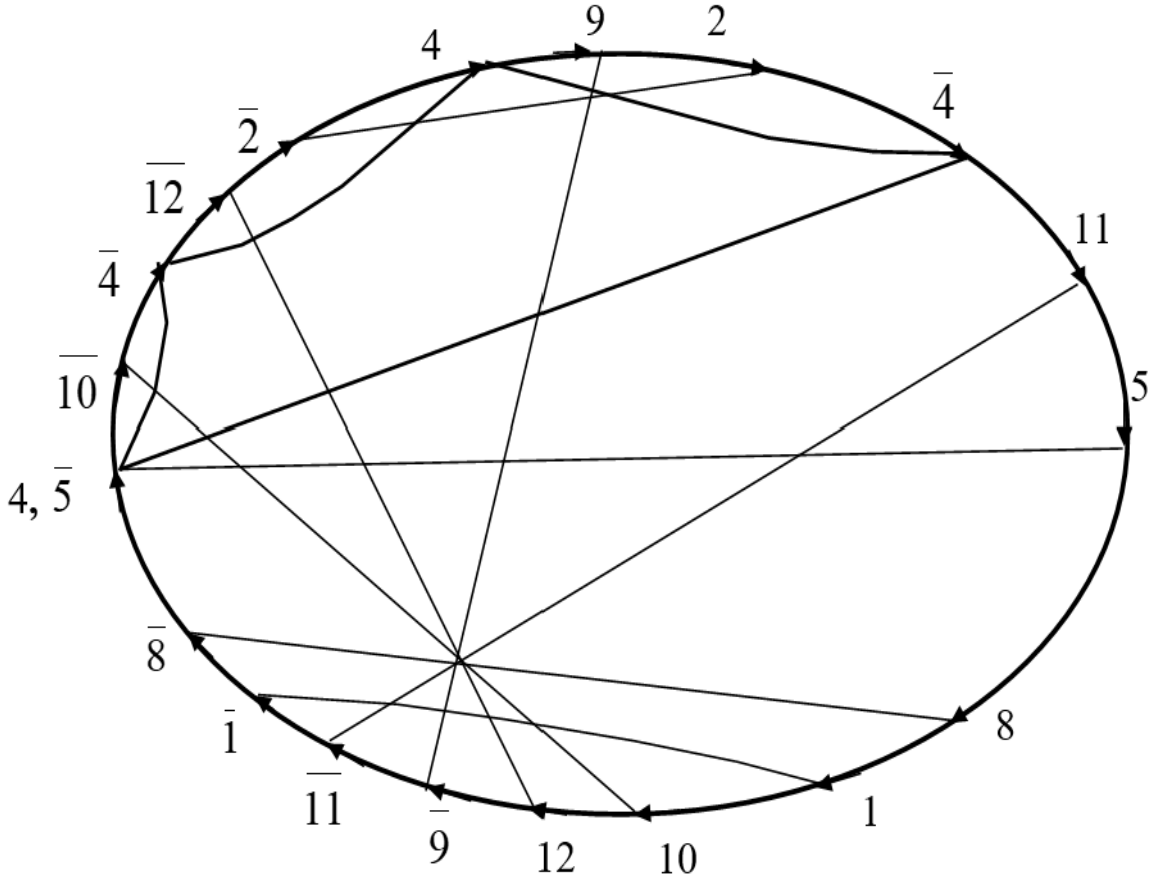


Рис. 2.43. Функціональний граф прикладу з підграфом зв'язку модулів (1, 2, 4, 5, 8) та доданих елементів пам'яті, що забезпечили логічну визначеність (9 і 10), і додаткових елементів пам'яті 11 і 12 – які запам'ятовують коротко-часовий сигнал стану після відпрацювання зворотної дії модуля 4

Оскільки модуль 4 є багаторежимним, то сигнал необхідно запам'ятовувати двічі, і при цьому відрізняти перший і другий випадки (бо після цих сигналів в різних режимах слідують різні дії: в першому випадку 5-го модуля, в другому випадку 2-го модуля). Доповнюємо систему відповідною кількістю елементів пам'яті – двома: модулі 11 і 12.

Вмикання 11-го модуля розташовуємо одразу за першим виникненням сигналу зворотного стану 4-го модуля.

Місце вимикання цього модуля знаходимо на графі за максимальною кількістю перетинань з лініями зв'язку інших модулів. Ця умова дозволить, додатково до дублювання сигналу стану, отримати меншу складність команд керування системи в цілому.

Аналогічно, до другого виникнення сигналу зворотного стану модуля 4 визначено місце вмикання 12-го модуля. Місце його вимикання на графі визначено так само за максимальною кількістю перетинань з лініями зв'язку інших модулів, включно з модулем 11.

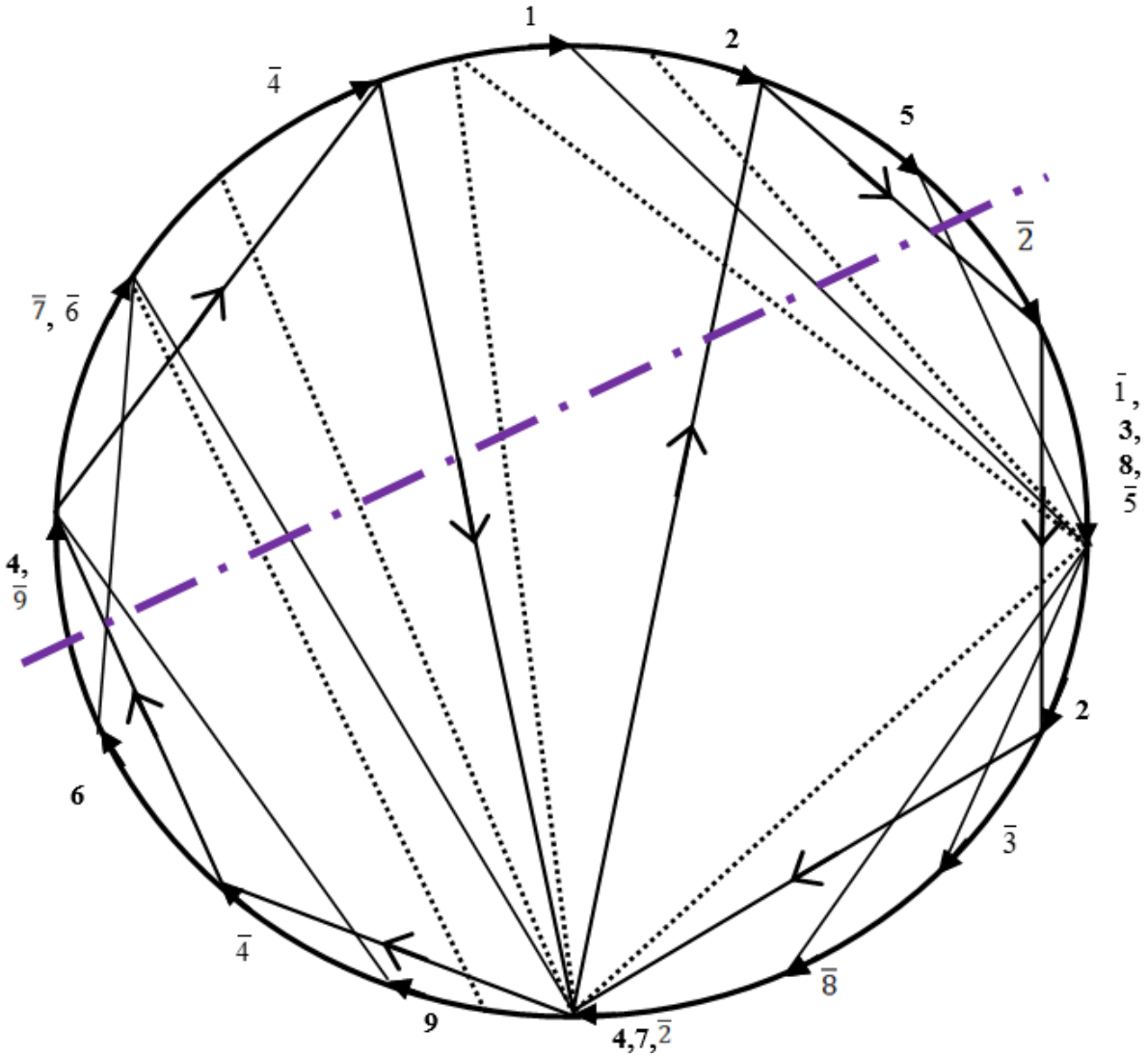


Рис. 2.44. Приклад функціонального графу з підграфом зв'язку і підграфом невизначеності, побудованим за графічною методикою

ПРИМІТКА. Першочерговість вмикання чи вимикання кожного доданого нового модуля (елемента пам'яті) визначаємо так само, як і для систем 2-го класу.

На практиці в системах 3-го класу одночасне виконання декількох дій представлено більш широко, ніж в попередньому прикладі. В наступній системі (рис. 2.44) є чотири відрізки процесу з суміщенням у часі декількох дій, і в системі задіяно два багаторежимних модулі 2 і 4. Підграф невизначеності налічує 6 ліній і його побудовано за графічною методикою. Тобто необхідне доповнення системи елементами пам'яті. Додаємо перший елемент пам'яті 10 та шукаємо варіант з максимальною кількістю викреслених ліній невизначеності. Найбільша кількість перетинів ліній невизначеності одним елементом пам'яті дорівнює 5, а от варіантів такої кількості є 12, тобто є можливість спростити розроблювану систему керування.

Штрих-пунктирною лінією намальовано один з варіантів. Він забезпечує перетин 5 ліній зв'язку однорежимних модулів.

Пошук точки верхнього перетину лінії зв’язку наступного елемента пам’яті з функціональним графом.

Якщо його верхню точку перетину змістити праворуч на одну дугу, то кількість перетинів скоротиться на одиницю – втрачено перетин з модулем 5 (рис. 2.44).

Якщо точку перетину змістити праворуч, то кількість перетинів дорівнюватиме 5 як і в початковому варіанті. Тобто 1-й і 3-й варіанти є пріоритетними по відношенню до другого.

Пошук точки нижнього перетину.

Якщо нижній перетин змістити на одну дугу вгору, то кількість перетинів скоротиться на одиницю – відпаде лінія 9-го модуля.

Якщо змістити на одну чи на дві дуги донизу, то кількість перетинів зменшиться за рахунок 6-го модуля. Тобто, перший варіант є пріоритетним стосовно нижнього перетину.

Розглядаємо комбінації двох варіантів верхнього перетину з одним варіантом нижнього перетину. Вони забезпечують однакову кількість перетинів з лініями зв'язку однорежимних модулів (5), та однакову кількість перетинів з лініями зв'язку багаторежимних модулів (4).

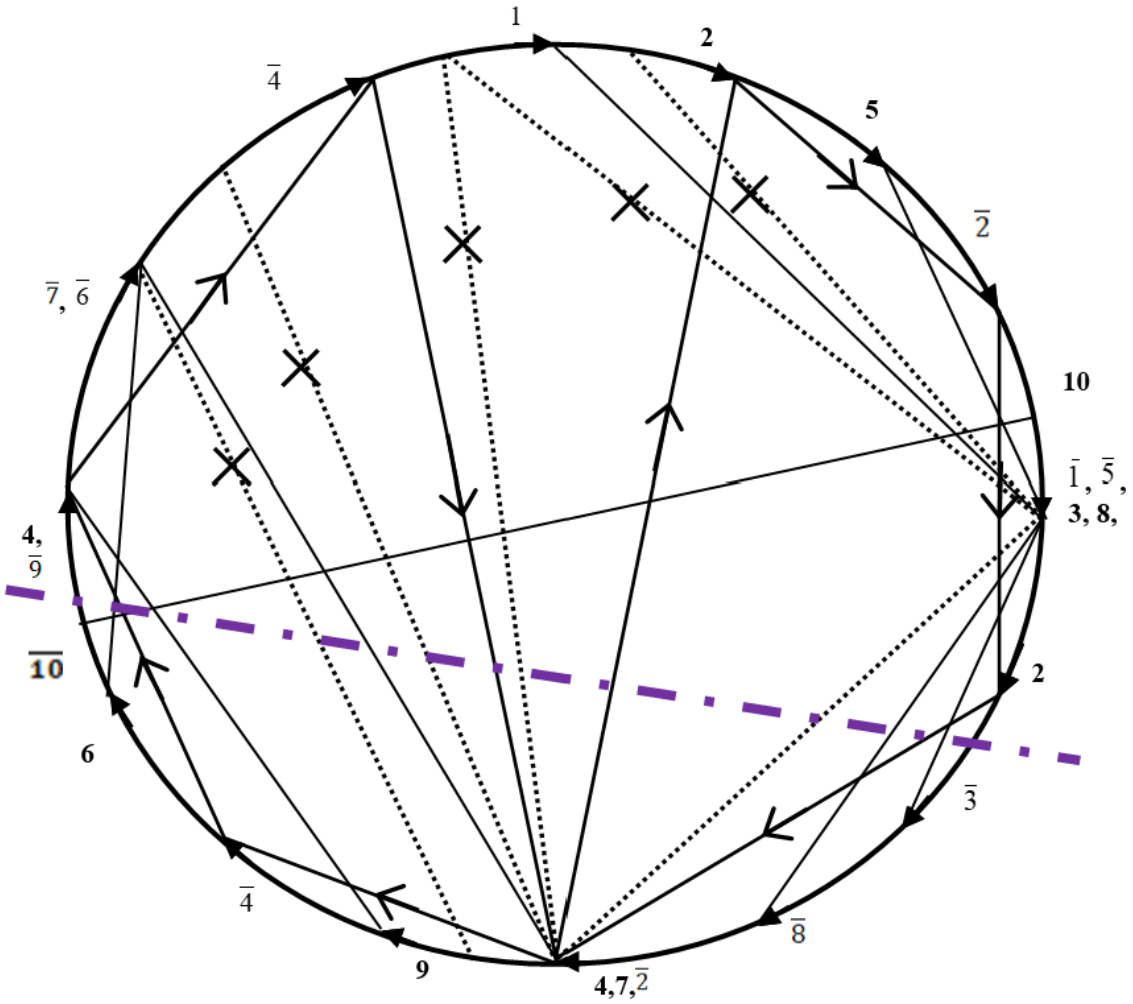


Рис. 2.45. Приклад функціонального графу з підграфом зв’язку і підграфом невизначеності, доданим елементом пам’яті 10 і варіантом додавання елементу пам’яті 11 (штрих-пунктирна лінія)

Перевіряємо симетричність поділу функціонального графу. За цим показником третій варіант верхнього перетину є кращим за співвідношенням дуг - 6 : 7. Обираємо цей варіант, додаємо елемент пам’яті 10, викреслюємо знищені лінії невизначеності.

Залишилась одна лінія невизначеності і вона пролягає так, що є чотири варіанти розташування правого перетину з лінією зв'язку наступного елементу пам’яті 11 (рис. 2.45).

Якщо змістити перетин на одну дугу вище, то варіант забезпечує перетини однорежимних ліній модулів 3 і 8. Якщо перетин опустити на 1 дугу нижче то показник перетинів зміниться, втрачено перетин з лінією 3.

Що до лівого перетину (вимикання елемента 11), то варіант, який додає максимальну кількість однорежимних ліній – ще 4 перетини – тільки один. Він припадає на дугу, на якій працюють 9 і 4 модулі. За ознакою симетрії обираємо вмикання на дузі після дій модулів 1, 5, 3 і 8, а вимикання поставимо після вимиканням модуля 10.

Після додавання елементів пам’яті 10 і 11 не залишилось жодної лінії невизначеності, тобто можна переходити до синтезу логічних виразів команд керування. За необхідності, перед логічним синтезом, можуть бути встановлені додаткові елементи пам’яті для забезпечення певних функцій, таких, як утримання сигналу, дублювання, вмикання/вимикання системи та інших.

2.4.4. Логічний синтез команд керування для систем 3-го класу

Відмінність систем 3-го класу полягає в одночасному виконанні декількох дій модулів на переходах. Такі дії, у загальному випадку, є асинхронними. Команди керування до цих дій формуються одночасно і мають спільні безпосередні причини для дій декількох модулів. З врахуванням технічних засобів і фізичних процесів, пов’язаних з формуванням і передачею сигналів, вони потрапляють до модулів не одночасно, а в довільному порядку. Сигнали контролю за відпрацювання команд, тобто, виконання дій, потрапляють до системи відповідно до термінів завершення дій. Система сприймає будь-які співвідношення щодо часу відпрацювання наданих сигналів команд на початку переходу. Так само, як і в системах 2-го класу, в системах третього класу складності може бути будь яке кількісне співвідношення однорежимних і багаторежимних модулів.

Методика логічного синтезу для систем 3-го класу подібна до методики для систем 2-го класу, але є певні відмінності, пов’язані і з бістабільним чи моностабільним керуванням, і з паралельними асинхронними діями виконавчих пристроїв.

Відмінність, на яку необхідно звернути увагу.

- При виборі початкової дуги траєкторії виразу команди має бути обрана та лінія зв'язку, яка виходить з початкової вершини дуги і яка найближча до дуги, в маркуванні якої індекс укладаємої команди.

Структура виразу команд для систем 3-го класу така сама, як і для багаторежимних модулів в системах 2-го класу, коли вираз команди для модуля

є сумою виразів команд для окремих режимів цього модуля.

Системи 3-го класу вміщують багаторежимні та однорежимні модулі асинхронної дії (паралельне не синхронізоване виконання дій декількома модулями) та послідовної дії (в кожну мить працює тільки один модуль).

Індекси асинхронно виконуваних дій входять до маркування однієї дуги у вигляді переліку через кому (рис. 2.46). Всі дії модулів, індекси яких вміщено в маркування однієї дуги, утворюють групу дій.

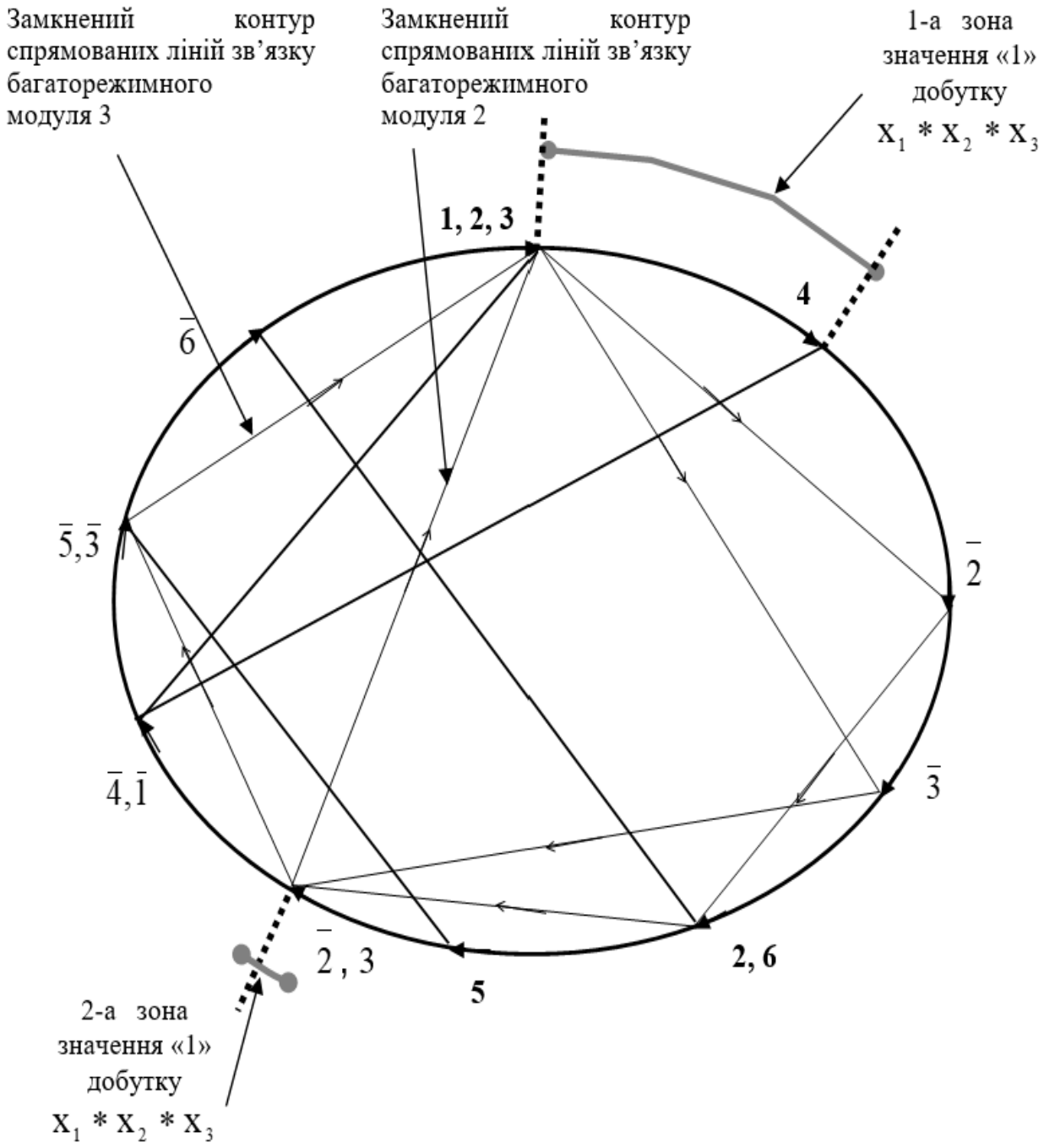


Рис. 2.46. Приклад функціонального графу системи 3-го класу з підграфом зв'язку, замкненими контурами ліній зв'язку багаторежимних модулів 2 і 3, зонами одиничного значення безпосередньої причини основної команди 4-го модуля ($x_{\bar{1}} * x_{\bar{2}} * x_{\bar{3}}$ - стовщена сіра лінія)

Всі модулі, дії яких належать до однієї групи, одночасно отримують сигнали команд керування.

Дуга графа (перехід), до якої належить група дій, є завершеною тільки після завершення всіх дій цієї групи. Оскільки дії модулів змістовно пов'язані з виконанням суттєво різних функцій, то заздалегідь час їх відпрацювання у загальному випадку невідомий. Тобто кожній дії з групи відповідатиме власний час завершення дії, хоча початок всіх дій групи є одночасним.

Група дій є відпрацьованою тоді, коли завершить відпрацювання найповільніший модуль цієї групи. Але, оскільки наперед невідомо яка дія є найбільш повільною, то в загальному випадку умова завершення переходу має наступний вигляд:

$$X_{gr\_i} = X_{i.1} * \ldots * X_{i.k}, \qquad (2.4)$$

де X_{gr_i} - умова завершення дій групи, $X_{i.1} * \ldots * X_{i.k}$ - добуток сигналів контролю завершення всіх дій групи.

Якщо необхідно забезпечити зникнення або прибирання сигналу після відпрацювання дій групи (потрібно у випадку моностабільного керування), то ця сама умова буде інвертована:

$$\overline{X}_{gr\_i} = \overline{X_{i.1} * \ldots * X_{i.k}}.$$

Таке перетворення необхідне при складанні виразів команд для пристроїв з моностабільним керуванням на випадок апаратної реалізації системи керування.

Незалежно від кількості модулів і тактів (переходів, дуг графу), структура логічних виразів команд керування для систем 3-го класу складності матиме однаковий вигляд:

$$y_{i(3)} \Leftarrow \bigcup_{k=1}^{m} X_{k,1(i)} * \cdots * X_{k,n(i)} * \{X\}_{k-\bar{k}} * \{X\}_{k-\bar{m}}, \qquad (2.5)$$

де $y_{i(3)}$ - логічний вираз основної (зворотної) команди для і-го модуля системи, 3 – третій клас складності системи, $x_{k,1(i)} * \cdots * x_{k,n(i)}$ - добуток сигналів стану – безпосередніх причин k-го режиму команди, $\{X\}_{k-\bar{k}}$ - добуток сигналів що забезпечує вимикання основної (зворотної) команди до початку наступної зворотної (основної) команди цього модуля; $\{X\}_{k-\bar{m}}$ - логічний вираз, що забезпечує відсутність сигналу основної (зворотної) команди під час відпрацювання та збереження стану для всіх режимів зворотної (основної) команди; $\bigcup_{k=1}^{m}$ - сума виразів команд керування для k режимів і-го модуля.

ПРИМІТКА. Структура виразів команд для систем 2-го і 3-го класів майже однакова. Відмінність полягає в тому, що безпосередньою причиною для дій в системах 3-го класу є завершення попередньої групи дій (добуток сигналів), а не

окремої дії, як в системах 1-го чи 2-го класу. З цієї причини в графічній методиці синтезу команди необхідно використати графічний аналог логічного добутку (перерізу) (2.5).

Для систем 1-го і 2-го класів графічним зображенням сигналу-причини є лінія зв'язку попередньої дії. Для систем 3-го класу графічним аналогом безпосередньої причини є добуток зон існування декількох сигналів або їх переріз. Тобто добуток – це переріз зон, що їх обмежують лінії зв'язку всіх множників добутку.

Питання нарощування або обмеження терміну існування сигналів команд вирішуються так само, як і для систем 2-го класу. Підґрунтям для цього є ЗОНИ: обов'язкового існування І, нечутлива ІІ, заборонена ІІІ.

Використання моностабільного керування в умовах апаратної реалізації систем керування суттєво ускладнює методику укладання команд, чому буде приділено додаткову увагу.

2.4.4.1. Логічний синтез виразів бістабільних команд для систем 3-го класу

Методика укладання бістабільного варіанту виразів команд керування для одного режиму модуля «і» в системі 3-го класу

1. Обираємо на функціональному графі дугу, в маркуванні якої є індекс потрібного режиму модуля «і».
2. Розглядаємо всі лінії зв'язку, які виходять з початкової вершини обраної дуги (тільки ті, що виходять – звернути увагу на напрямок ліній зв'язку багаторежимних модулів).
3. Обираємо з них лінію, яка охоплює найменшу кількість дуг графу за його напрямком (ця лінія уособлює добуток групи сигналів – безпосередніх причин).
4. Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, який з'єднує початок обраної дуги з її кінцем, а першим відрізком є обрана лінія зв'язку, і при цьому:
   - всі відрізки, окрім останнього, узгоджені за напрямком з функціональним графом (від початку дуги до її кінцівки),
   - останнім відрізком є лінія зв'язку команди і режиму, що складаємо (вона має протилежний напрямок),
   - отримана ломана лінія (контур) має мінімальну кількість відрізків і ніде не торкається функціонального графу.
5. Записуємо добуток сигналів з індексами усіх ліній зв'язку, що увійшли до контуру, окрім останнього.
6. Замість першого множника записуємо добуток сигналів стану за всіма індексами попередньої дуги графу (безпосередня причина – відпрацювання групи дій).
7. Отриманий вираз є початковим варіантом виразу команди керування для обраного режиму.
8. Якщо в добутку немає сигналів від багаторежимних модулів, то початковий

варіант тотожній до остаточного.

9. Якщо в добутку є сигнали багаторежимних модулів, то необхідна перевірка: Чи приймає добуток значення «1» в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні?

Якщо не приймає, то початковий варіант тотожній з остаточним (обмежуючий компонент $\{x\}_{k-\overline{m}}$ в команді відсутній).

10. Якщо логічний добуток приймає значення «1» в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні, то формуємо обмежуючий компонент $\{\mathrm{x}\}_{\mathrm{k}-\overline{\mathrm{m}}}$.

Порядок формування обмежуючого компонента.

(аналогічно до систем 2-го класу).

Позначаємо частину ЗАБОРОНЕНОЇ зони, у якій значення «1» з'являється. Ця частина може мати вигляд однієї вершини, декількох послідовних дуг, декількох розрізнених дуг, у тому числі в різних секторах зони III графа. Називаємо цю частину зоною хибного спрацювання команди $Z(y_i)$.

Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, який відокремлює зону I команди від зони хибного спрацювання $Z(y_i)$. Всі відрізки ліній зв'язку мають однаковий напрям. Бажано використовувати лінії від однорежимних модулів.

Складаємо логічний вираз побудованого контуру (ломаної лінії):

- записуємо послідовно до контуру сигнали з індексами усіх ліній, що задіяні в контурі;
- обходимо контур так, щоб зона I команди залишалась по ліву руку. Якщо між відрізками ломаної кут менший за 180 градусів, то між відповідними сигналами додаємо знак множення, інакше - знак логічного додавання;
- отриманий вираз обмежуємо дужками і записуємо як множник до початкового виразу команди.

Продовження перевірки. Якщо в обмежуючий компонент увійшли тільки сигнали стану однорежимних модулів, то отриманий вираз є остаточним.

11. Якщо в обмежувальний компонент увійшли сигнали багаторежимних модулів, то розкриваємо дужки в логічному виразі.

Для доданків отриманого виразу, в яких використано сигнали стану багаторежимних модулів, повторюємо методику, починаючи з п. 9.

ПРИМІТКА. У виразах команд для модуля з ***бістабільним*** *керуванням в них не можуть міститися сигнали стану* ***цього самого модуля***.

ПРИМІТКА. Якщо в системі 3-го класу є тільки ***один багаторежимний*** *модуль, то у виразах його команд будуть тільки сигнали однорежимних модулів і, у відповідністю з методикою, початкова форма логічних* ***тотожна*** *до остаточної.*

Приклад укладання виразу команди керування до основної дії однорежимного модуля «4» (рис. 2.47).

Вираз команди керування будуємо у вигляді суми виразів для всіх режимів (оскільки режим один, то сума є виродженою):

$$y_4 = y_4^{R1} + y_4^{R2} = y_4^{R1}.$$

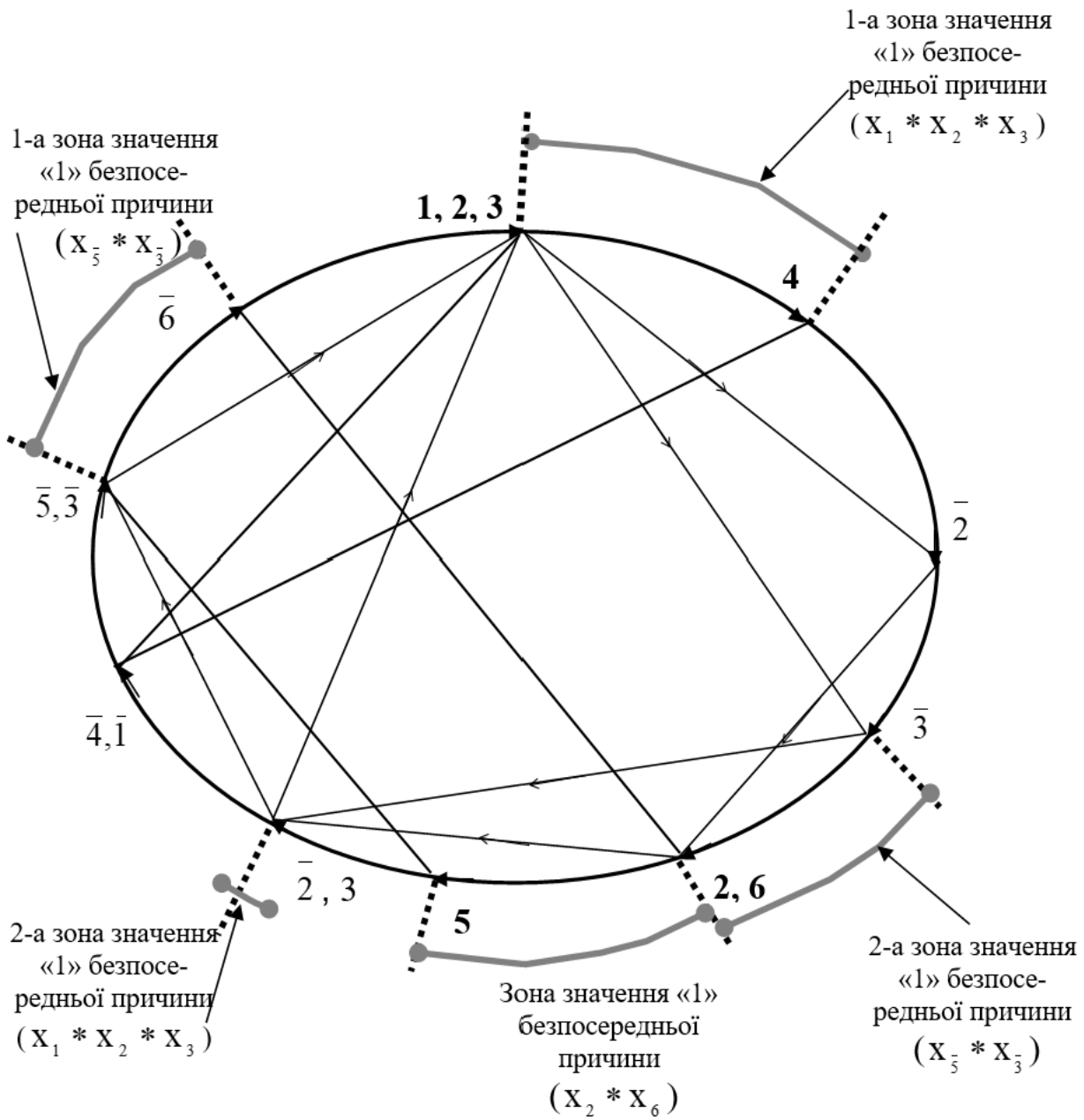


Рис. 2.47. Приклад побудови ЗОН безпосередніх причин з врахуванням сигналів стану однорежимних і багаторежимних модулів: основна команда модуля 4 ($x_{\bar{1}} * x_{\bar{2}} * x_{\bar{3}}$ - стовщена сіра лінія), другого режиму основної команди модуля 3 ($x_2 * x_6$), основної команди модуля 1 ($x_{\bar{5}} * x_{\bar{3}}$)

Укладання виразу команди для 1-го режиму.

1. Обираємо на функціональному графі дугу, в маркуванні якої є індекс основної команди модуля 4 (рис. 2.47, ЗОНА І основної команди модуля 4).
2. Розглядаємо всі лінії зв'язку, що виходять з початкової вершини цієї дуги (розглядаємо лінії зв'язку основних дій модулів 1, 2, 3).
3. Обираємо з них таку лінію зв'язку, яка охоплює найменшу кількість дуг функціонального графу за його напрямком. Лінія модуля 2 охоплює дві дуги, лінія модуля 3 – охоплює три дуги, лінія модуля 1 – охоплює сім дуг. Обираємо лінію модуля 2.
4. Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, який з'єднує початок обраної дуги з

її кінцем і починається з лінії модуля 2, отримуємо «$\bar{2}$ - 2 → $\bar{4}$ - 4» і при цьому:

усі відрізки, окрім останнього ($\bar{4}$ - 4), мають напрям, узгоджений з функціональним графом (лінія $\bar{4}$ - 4 належить однорежимному модулю, тобто вона є «двонапрямковою»),

останнім відрізком є лінія зв'язку команди що складаємо обраного режиму $\bar{4}$ - 4, яка має два напрями,

ломана лінія (контур) має мінімальну кількість відрізків,

ломана лінія ніде не торкається функціонального графу.

Отримано комплект ліній зв'язку, що утворюють контур або траєкторію команди «$\bar{2}$ - 2 → $\bar{4}$ - 4» .

5. Робимо заміну першого множника на добуток сигналів з індексами з маркування попередньої дуги (безпосередня причина – відпрацювання групи дій) $x_1 * x_2 * x_3$;
6. Отриманий вираз є початковим варіантом команди розглянутого режиму

$$y_4 \Leftarrow x_1 * x_2 * x_3 .$$

7. Якщо в добутку є сигнали багаторежимних модулів (є два сигнали x_2 і x_3), то початковий варіант може відрізнятися від остаточного.
8. Оскільки до добутку входять сигнали багаторежимних модулів, то виконуємо перевірку:

Чи отримує логічний добуток $x_1 * x_2 * x_3$ значення «1» в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні основної команди модуля 4 (см. рис. 2.47).

Логічний вираз $x_1 * x_2 * x_3$ отримує значення «1» двічі (рис. 2.47, стовщена сіра лінія):

1-й раз - в ЗОНІ I, тобто в потрібний час для формування основної команди модуля 4;

2-й раз – за результатом змагань зі швидкості – в вершині на межі НЕЧУТЛИВОЇ зони II і ЗАБОРОНЕНОЇ зони III основної команди модуля 4.

ПРИМІТКА. У вказаній вершині збігає відпрацювання двох дій – основної модуля 3 і зворотної модуля 2. Оскільки система є асинхронною, дія модуля 3 може бути швидшою (з'явиться сигнал x_3), а модуль 2 набагато повільніший і навіть не почав діяти (сигнал x_2 ще зберігає своє попереднє значення). Тобто добуток дорівнює «1». Як тільки модуль 3 розпочне дію добуток одразу отримає значення «0». При цьому, в середині ЗАБОРОНЕНОЇ зони III добуток не має значення «1». Таким чином, в мить подачі сигналу зворотної команди модуля 4 (в цій вершині), основна команда не отримає значення «1», тобто не порушить послідовність дій системи.

Оскільки добуток не отримує значення «1» в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні III, то початковий варіант є тотожнім до остаточного (обмежуючий компонент $\{x\}_{k-\bar{m}}$

відсутній). Далі наведені вирази всіх команд керування в бістабільному варіанті з примітками-коментарями для системи (рис. 2.47).

$$y_1 \Leftarrow x_{\bar{6}} \qquad y_{\bar{1}} \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_3 * x_5$$

В зворотній команді x_5 *- обмежуючий множник.*

$$y_2 \Leftarrow x_{\bar{6}} * x_{\bar{4}} + x_{\bar{3}} * x_4 * x_{\bar{5}} \qquad y_{\bar{2}} \Leftarrow x_4 * x_3 * x_{\bar{6}} + x_5$$

В першому доданку (режимі) зворотної команди $x_{\bar{6}}$ *- обмежуючий множник.*

$$y_3 \Leftarrow x_{\bar{6}} * x_{\bar{4}} + x_5 * x_4 \qquad y_{\bar{3}} \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_4 * x_{\bar{5}} + x_{\bar{4}} * x_{\bar{1}} * x_6$$

В другому доданку (режимі) зворотної команди $x_4 * x_{\bar{5}}$ *- обмежуючий множник.*

$$y_4 \Leftarrow x_1 * x_2 * x_3 \qquad y_{\bar{4}} \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_3 * x_5$$

В зворотній команді x_5 *- обмежуючий множник.*

$$y_5 \Leftarrow x_2 * x_6 \qquad y_{\bar{5}} \Leftarrow x_{\bar{4}} * x_{\bar{1}}$$

$$y_6 \Leftarrow x_{\bar{3}} * x_4 \qquad y_{\bar{6}} \Leftarrow x_{\bar{5}} * x_{\bar{3}} * x_{\bar{4}}$$

В основній команді x_4 *- обмежуючий множник.*

В зворотній команді $x_{\bar{4}}$ *- обмежуючий множник.*

2.4.4.2. Логічний синтез виразів моностабільних команд для систем 3-го класу

Методика укладання виразів команд керування моностабільного варіанту для систем 3-го класу.

В основному методика логічного синтезу для систем 3-го класу подібна до методики для систем 2-го класу, але є певні відмінності, пов'язані і з моностабільним керуванням і з паралельними асинхронними діями пристроїв.

Відмінності, на які необхідно звернути увагу

- На графі відсутня НЕЧУТЛИВА зона сигналу для моностабільної команди (рис. 2.48), вона увійшла в зону обов'язкового існування сигналу команди (ЗОНУ І).
- Принципову схему системи керування з моностабільними керуючими пристроями можна побудувати на основі виразів бістабільного варіанту всіх команд. Так само може бути укладений алгоритм керування для PLC. Тобто, відсутність моностабільних виразів команд може бути врахована при розробці схеми або укладанні алгоритмів керування.
- Вираз моностабільного варіанту команди для багаторежимного модуля має вигляд суми виразів для окремих режимів дій модуля.
- Кожний додаток у виразі команди, якщо він вміщує сигнали багаторежимних модулів, і цей доданок отримує значення «1» більш як 1 раз, необхідно перевіряти на можливість хибного спрацювання для всіх доданих зон існування значення «1». Перевірка: «Чи не належать друге і наступні зони

значення «1» до ЗАБОРОНЕНОЇ зони III ?»

Структура виразу команд така сама, як і для багаторежимних модулів в системах 2-го класу, коли вираз команди для модуля є сумою виразів команд для окремих режимів цього модуля.

Методика укладання моностабільного варіанту команди для одного режиму (моностабільний варіант, приклад, див. рис. 2.48).

1. Обираємо на функціональному графі дугу, в маркуванні якої є індекс потрібного режиму модуля «i».
2. Розглядаємо всі лінії зв'язку, які виходять з початкової вершини обраної дуги (тільки ті, що виходять – звернути увагу на напрямок ліній зв'язку багаторежимних модулів).
3. Обираємо з них лінію, яка охоплює найменшу кількість дуг графу за його напрямком (ця лінія уособлює добуток групи сигналів – безпосередніх причин, це **перший відрізок контуру**).
4. Шукаємо на функціональному графі найближчу наступну дугу в маркуванні якої є індекс зворотної команди модуля «i».
5. Розглядаємо всі лінії зв'язку, які входять в початкову вершину цієї дуги (тільки ті, що входять – звернути увагу на напрямок ліній зв'язку багаторежимних модулів).
6. Обираємо з них лінію, яка до входу в цю вершину охоплює найменшу кількість дуг графу за його напрямком (це **кінцевий відрізок контуру** при побудові виразу команди).
7. Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку з початковою і заключною лініями, обраними в попередніх пунктах, і всі відрізки в контурі узгоджені з напрямком графу, і при цьому:
   контур вміщує мінімальну кількість відрізків,
   ніде не торкається до функціонального графу.
8. Записуємо послідовність сигналів стану зо всіма індексами ліній зв'язку, що увійшли до контуру.
9. Складаємо початковий варіант виразу команди. Від початку до кінцівки обходимо контур так, щоби зона I складаємої команди залишалась по ліву руку. Якщо між відрізками контуру кут менший за 180 градусів, то відповідні сигнали сполучає знак множення, інакше ставимо знак додавання.
10. Замість першого сигналу записуємо добуток сигналів стану зо всіма індексами попередньої дуги графу (безпосередня причина – відпрацювання групи дій).
11. Замість останнього сигналу записуємо інверсію добутку сигналів стану з всіма індексами попередньої до зворотної команди дуги графу (безпосередня причина наступної вздовж графу зворотної команди – інверсія відпрацювання групи дій).
12. Отриманий вираз є початковим варіантом виразу моностабільної команди керування для обраного режиму.
13. Розглядаємо і перевіряємо кожний доданок виразу, та, за необхідності, приводимо його до остаточного вигляду.

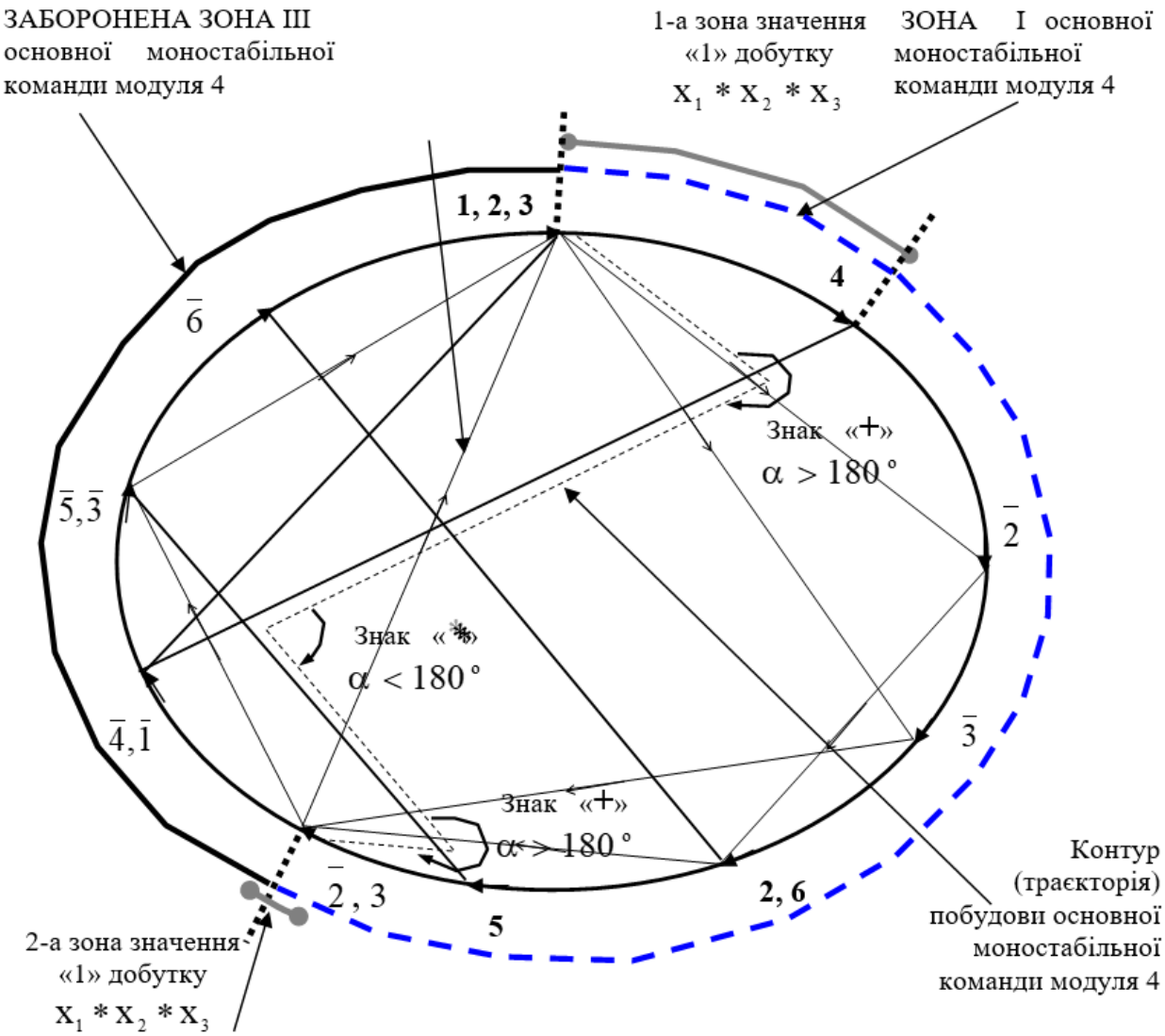


Рис. 2.48. Приклад функціонального графу системи 3-го класу з підграфом зв'язку, контуром (траєкторією) побудови моностабільної основної команди 4-го модуля, зонами обов'язкового існування безпосередньої причини $X_1 * X_{\bar{2}} * X_{\bar{3}}$ (стовщена сіра лінія), зонами обов'язкового існування I, ЗАБОРОНЕНОЮ зоною III моностабільного сигналу основної команди модуля 4

14. Якщо в доданку немає сигналів від багаторежимних модулів, то початковий варіант доданку тотожній до остаточного.
15. Якщо в доданку є сигнали багаторежимних модулів, то необхідна перевірка: чи може викликати значення «1» доданку хибне спрацювання в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні?
16. Якщо доданок приймає значення «1» тільки одного разу впродовж всього функціонального графу, то доданок вже має остаточний вигляд.
17. Якщо доданок приймає одиничне значення декілька разів при обході графу, то продовжуємо перевірку:

Чи припадають друге та наступні значення на ЗАБОРОНЕНУ для сигналу команди зону III та утворюють хибне спрацювання ? (див. приклад, рис. 2.48).

Якщо ні, то початковий варіант доданку є остаточним (обмежуючий компонент $\{x\}_{k-\bar{m}}$ відсутній).

18. Якщо доданок отримує одиничне значення в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні III, то будуємо вираз обмежуючого компоненту $\{x\}_{k-\bar{m}}$.

Порядок побудови обмежуючого компоненту (аналогічно до систем 2-го класу). Відшукуємо сегмент ЗАБОРОНЕНОЇ зони III в якому доданок приймає одиничне значення та може викликати хибне спрацювання. Такого сегменту може не бути, це може бути окрема вершина, може бути декілька послідовних дуг, або декілька дуг чи вершин в різних секторах ЗАБОРОНЕНОЇ зони у випадку багаторежимного модуля.

Якщо такий сегмент відсутній, то доданок має остаточний вигляд.

Якщо сегмент хибного спрацювання знайдено $Z(y_i)$, то додаємо обмежуючий множник до доданку (аналогічно системам 2-го класу).

Будуємо обмежуючий контур з ліній зв'язку, який відокремлює зону I команди від сегменту хибного спрацювання $Z(y_i)$ і при цьому:

- всі відрізки контуру узгоджені за напрямком з функціональним графом за напрямком;
- бажано залучати до контуру лінії зв'язку однорежимних модулів;
- якщо є декілька фрагментів зони хибного спрацювання $Z(y_i)$, то можна будувати обмежуючий множник для кожного з них, або для декількох разом, а надалі всі вирази обмежуючих контурів помножити або утворити суму (в залежності від їх розташування) а отриманий вираз використати як обмежуючий множник до доданку.

Складаємо логічний вираз обмежуючого контуру (або декількох контурів для випадку декількох зон хибного спрацювання):

- Виписуємо послідовність сигналів стану з індексами ліній зв'язку, задіяних в контурі.
- Обходимо контур так, щоб зона I команди залишалась по ліву руку. Якщо між відрізками контуру кут менший за 180 градусів, то між відповідними сигналами додаємо знак множення, інакше - знак логічного додавання.
- Отриманий вираз контуру обмежуємо дужками і записуємо як множник до початкового виразу доданку.

Продовження перевірки. Якщо в обмежуючий компонент увійшли тільки сигнали стану однорежимних модулів, то отриманий вираз є остаточним.

Якщо в обмежуючий компонент увійшли сигнали багаторежимних модулів, то розкриваємо дужки в логічному виразі і продовжуємо перевірку:

- якщо в обмежуючий компонент увійшли сигнали багаторежимних модулів, то розкриваємо дужки в логічному виразі;
- для всіх доданків, що утворились після відкриття дужок, в яких є сигнали стану багаторежимних модулів, повторюємо перевірку на хибне спрацювання (починаючи з п. 16).

ПРИМІТКА. При складанні моностабільного варіанту команди однорежимного модуля для всіх доданків, окрім першого, в якості обмежуючого множника можна використати сигнал стану відпрацювання самої команди. Тобто, для

доданків команди y_1 *це сигнал* x_1, *для доданків команди* $y_{\bar{4}}$ *це сигнал* $x_{\bar{4}}$, *і так надалі. Оскільки модуль є однорежимним, то побудовані з використанням його сигналу стану обмежуючи множники перевіряти не потрібно.*

Приклад укладання моностабільного виразу команди керування до основної дії однорежимного модуля «4» (рис. 2.48).

1. Вираз команди керування будуємо у вигляді суми виразів для всіх режимів (оскільки режим один, то сума є виродженою):
$$y_4 = y_4^{R1} + y_4^{R2} = y_4^{R1}.$$
Укладання виразу команди для 1-го режиму.
2. Обираємо на функціональному графі дугу, в маркуванні якої є індекс основної команди модуля 4 (рис. 2.48, ЗОНА І основної команди модуля 4);
3. Розглядаємо всі лінії зв'язку, що виходять з початкової вершини цієї дуги (розглядаємо лінії зв'язку основних дій модулів 1, 2, 3): $1 - \bar{1}$, $2 - \bar{2}$, $3 - \bar{3}$;
4. Обираємо з них таку, яка охоплює найменшу кількість дуг функціонального графу за його напрямком. Лінія модуля 2 охоплює дві дуги, лінія модуля 3 – охоплює три дуги, лінія модуля 1 – охоплює сім дуг. Обираємо лінію модуля 2 за напрямом $2 - \bar{2}$ (це початковий відрізок контуру команди);
5. Обираємо на функціональному графі найближчу наступну дугу, в маркуванні якої є індекс зворотної команди модуля 4, тобто індекс команди «$\bar{4}$», замість якої працюватиме пружина;
6. Розглядаємо всі лінії зв'язку, що входять в початкову вершину цієї дуги (розглядаємо лінії зв'язку модулів 2 і 3 з врахуванням напрямку): $2 - \bar{2}$, $\bar{3} - 3$;
7. Обираємо з них таку, яка до входу в вершину охопила найменшу кількість дуг функціонального графу $2 - \bar{2}$ (це останній відрізок контуру команди);
8. Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, від початкового до останнього відрізків, в якому всі лінії мають однакове спрямування – від початкового до кінцевого відрізку, і при цьому:
   контур вміщує мінімальну кількість відрізків і ніде не торкається функціонального графу:
$$«2 - \bar{2} \to 4 - \bar{4} \to \bar{5} - 5 \to 2 - \bar{2}».$$
9. Записуємо послідовність сигналів стану з індексами усіх відрізків ліній зв'язку, що задіяно в контурі:
$$x_2 \quad x_4 \quad x_{\bar{5}} \quad x_2 \quad .$$
10. Обходимо контур так, щоби зона І складаємої команди лишалась по ліву руку. Якщо кут між відрізками менший за 180 градусів, то між відповідними сигналами додаємо знак множення, інакше – знак додавання:
$$x_2 + x_4 * x_{\bar{5}} + x_2 .$$
11. Будуємо початковий варіант команди. Замінюємо перший сигнал виразу на добуток сигналів стану зо всіма індексами з маркування дуги, попередньої до

команди (безпосередні причина – відпрацювання групи дій):

$$x_1 * x_2 * x_3 + x_4 * x_{\bar{5}} + x_2.$$

12. Замінюємо останній сигнал стану в виразі на інверсію добутку сигналів зо всіма індексами з маркування дуги, що передує виконанню зворотної команди (безпосередня причина зворотної команди – відпрацювання групи дій):

$$x_1 * x_2 * x_3 + x_4 * x_{\bar{5}} + \overline{x_{\bar{2}} * x_3}\ .$$

13. Отриманий вираз є початковим варіантом моностабільної команди розглянутого режиму:

$$y_4 \Leftarrow x_1 * x_2 * x_3 + x_4 * x_{\bar{5}} + \overline{x_{\bar{2}} * x_3}\ .$$

14. Виконуємо перевірку на хибне спрацювання. Розглядаємо кожний доданок виразу команди

$$x_1 * x_2 * x_3; \qquad x_4 * x_{\bar{5}}; \qquad \overline{x_{\bar{2}} * x_3}$$

та, в разі виявлення зон хибного спрацювання, вводимо обмежуючий множник.

15. Якщо в доданку немає сигналів стану від багаторежимних модулів, то початковий варіант доданку є остаточним:

$x_1 * x_2 * x_3$ - два сигнали стану багаторежимних модулів 2 і 3;

$x_4 * x_{\bar{5}}$ - сигнали багаторежимних модулів відсутні – остаточний вид;

$\overline{x_{\bar{2}} * x_3}$ - два сигнали стану багаторежимних модулів 2 і 3.

16. Для доданків, що містять у складі сигнали від багаторежимних модулів, продовжуємо перевірку: чи приймає цей доданок одиничне значення більш одного разу на протязі всього циклу?

$\overline{x_1 * x_2} * x_3$ - приймає одиничне значення двічі (є 2-га зона значення «1»);

$\overline{x_{\bar{2}} * x_3}$ - перетворюємо в два доданки і продовжуємо перевірку для кожного окремо: $\overline{x_{\bar{2}}} + \overline{x_3}$ - обидва доданки приймають одиничне значення двічі, тобто перевірку необхідно продовжити.

17. Продовжуємо перевірку для трьох доданків чи припадають ці одиничні значення на ЗАБОРОНЕНУ ЗОНУ III команди (див. рис. 2.49):

2-а зона одиничного значення доданку $x_1 * x_2 * x_3$ «торкається» межі забороненої зони III, тобто перетин із ЗАБОРОНЕНОЮ зоною відсутній;

1-а зона одиничного значення доданку $\overline{x_{\bar{2}}}$ розпочата в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні III і потрапляє в зону I основної команди модуля 4. Має місце перетин із ЗАБОРОНЕНОЮ зоною III – потрібно вводити обмежуючий множник.

Знаходимо, що 2-а зона одиничного значення доданку $\overline{x_{\bar{2}}}$ припадає на зону I основної команди модуля 4. Перетин із ЗАБОРОНЕНОЮ зоною для другого спрацювання сигналу відсутній – обмеження непотрібне.

Знаходимо, що 1-а зона одиничного значення доданку $\overline{x_3}$ повністю знаходиться

в середині зони I основної команди модуля 4, тобто перетин із ЗАБОРОНЕНОЮ зоною відсутній.

Знаходимо, що 2-а зона одиничного значення доданку $\overline{x_3}$ повністю розташована в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні III команди модуля 4 – потрібен обмежуючий множник.

Оскільки зони одиничного значення доданків перетинають ЗАБОРОНЕНУ зону III, то початковий варіант доданку не є тотожнім до остаточного (потрібно будувати і додавати обмежуючий компонент $\{x\}_{k-\overline{m}}$).

18.Доданки $\overline{x_2}$ і $\overline{x_3}$ отримують одиничні значення в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні III, будуємо вирази обмежуючих компонентів $\{x\}_{k-\overline{m}}$.

Сегмент хибного спрацювання $Z(y_4)$ від сигналу $\overline{x_2}$.

Будуємо контур з ліній зв'язку, що відокремлює сегмент $Z(y_4)$ від тієї зони одиничного значення сигналу $\overline{x_2}$, що використано в контурі команди (була використана 2-а зона одиничного значення сигналу, рис. 2.49).

В цьому випадку для відокремлення зони хибного спрацювання контур має вигляд однієї лінії зв'язку - $4 \to \overline{4}$, яка, до того, належить однорежимному модулю.

Логічний вираз формуємо шляхом послідовного запису сигналів всіх ліній зв'язку, що задіяно в контурі, тобто: x_4.

Оскільки сигнал один, то додавання знаків множення чи додавання не потрібно. Отриманий вираз обмежуючого компонента (x_4) приписуємо як множник до початкового виразу доданку: $\overline{x_2} * x_4$.

Оскільки обмежуючий компонент сформовано з сигналів однорежимних модулів, то отриманий вигляд доданку є остаточним.

Сегмент хибного спрацювання $Z(y_4)$ від сигналу $\overline{x_3}$.

Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, який відокремлює сегмент $Z(y_4)$ від зони одиничного значення сигналу $\overline{x_3}$, що задіяно в виразі команди (було використано 1-у зону одиничного значення сигналу – внизу графу).

Для формування обмежуючого контуру достатньо однієї лінії зв'язку від однорежимного модуля - $4 \to \overline{4}$.

Формуємо логічний вираз обмежуючого контуру : x_4. Отриманий вираз x_4 використовуємо у якості множника в доданку: $\overline{x_3} * x_4$.

Оскільки обмежуючий компонент вміщує тільки сигнал від однорежимного модуля, то отримано остаточний вигляд доданку.

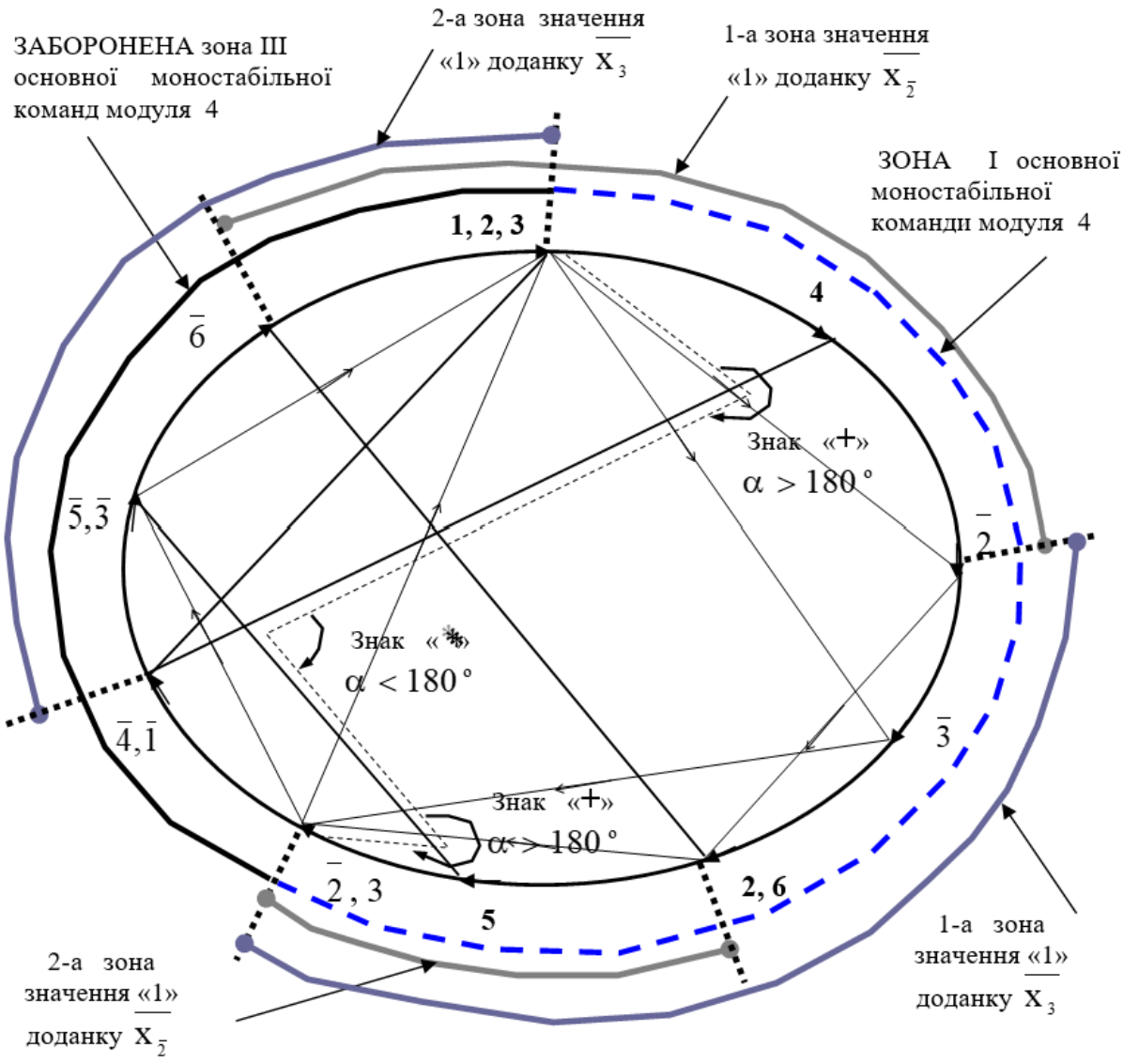


Рис. 2.49. Приклад перевірки доданку з інверсією на графі системи 3-го класу з підграфом зв'язку, зонами значення «1» інверсії доданків з сигналами багаторежимних модулів $\overline{x_{\bar{2}}}$ і $\overline{x_3}$ (стовщена сіра лінія), зонами обов'язкового існування I, ЗАБОРОНЕНОЮ зоною III моностабільного сигналу основної команди модуля 4

Всі доданки виразу команди пройшли перевірку на хибне спрацювання. Два доданки доповнено обмежуючим компонентом. Отримуємо остаточний вираз команди керування:

$$y_4 \Leftarrow x_1 * x_2 * x_3 + x_4 * x_{\bar{5}} + (\overline{x_{\bar{2}}} * x_4 + \overline{x_3} * x_4) =$$

$$= x_1 * x_2 * x_3 + x_4 * x_{\bar{5}} + x_4(\overline{x_{\bar{2}}} + \overline{x_3}) = x_1 * x_2 * x_3 + x_4 * (x_{\bar{5}} + \overline{x_{\bar{2}} * x_3}).$$

Для спрощення виконано декотрі перетворення (спільний множник x_4 винесено за дужки, суму інверсій замінено інверсією добутку). Це дозволило зменшити кількість задіяних елементарних логічних функцій з 11 до 7. Це суттєве спрощення у випадку апаратної реалізації системи керування і менш

вагоме спрощення для алгоритму керуючої програми контролера.

Нижче наведено вирази моностабільного варіанту та коментарідля всіх модулів системи розглянутого прикладу (рис. 2.50).

$$y_1 \Leftarrow x_{\bar{6}} + x_1 * x_{\bar{5}} + \overline{x_{\bar{2}} * x_3} * x_1 = x_{\bar{6}} + x_1 * (x_{\bar{5}} + \overline{x_{\bar{2}} * x_3}).$$

В третьому доданку команди x_1 *- обмежуючий множник, який надалі винесено за дужки. Початковий контур:* $\bar{6} \to 1 \to \bar{5} \to 2$.

$$y_2 \Leftarrow x_{\bar{6}} * \overline{x_4} + x_{\bar{3}} * \overline{x_5} * x_4$$

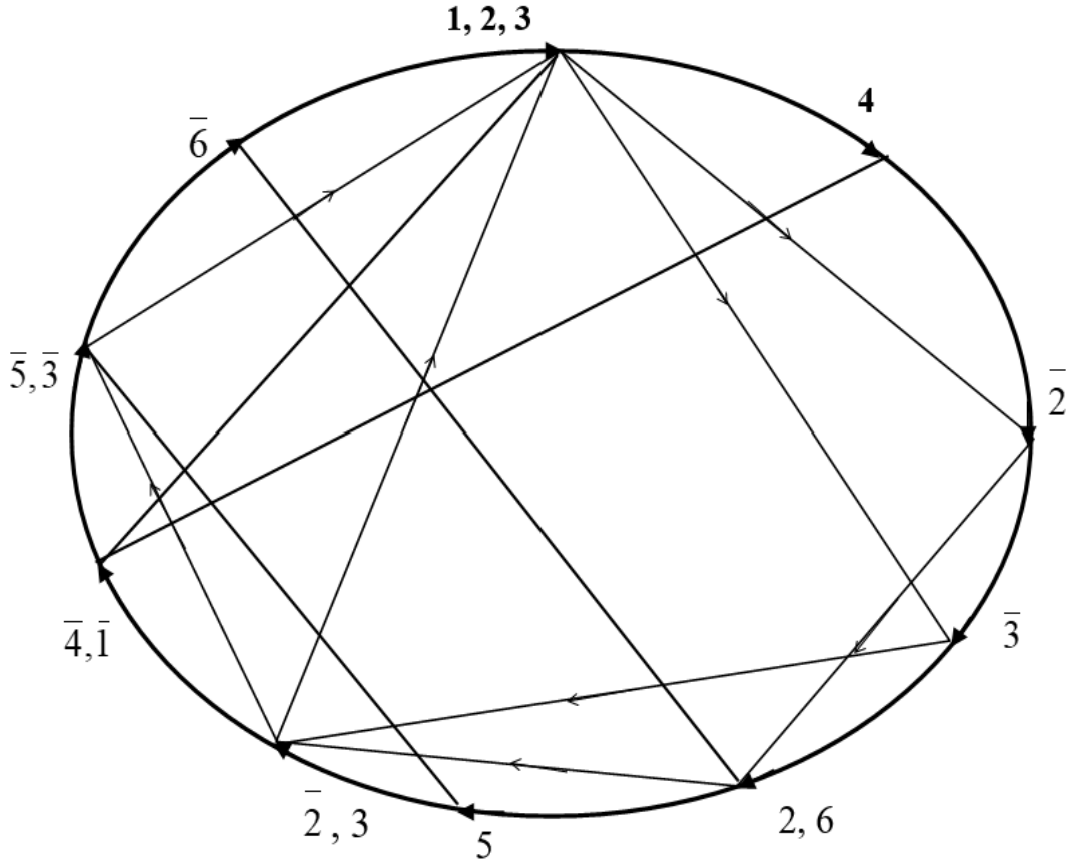


Рис. 2.50. Приклад функціонального графу системи 3-го класу з двома багаторежимними модулями і підграфом зв'язку

В другому режимі (другий доданок) команди x_4 *- обмежуючий множник. Початковий контур – два сегменти для двох режимів:* $\bar{6} \to \bar{4} + \bar{3} \to \bar{5}$.

$$y_3 \Leftarrow (x_{\bar{6}} * x_{\bar{4}} + \overline{x_{\bar{2}}} * x_{\bar{6}} * x_3) + x_5 * \overline{x_{\bar{1}} * x_{\bar{4}}}$$

В першому доданку (режимі) команди $x_{\bar{6}} * x_3$ *- обмежуючий множник. В другому доданку (режимі) обмежуючого компоненту немає.*

Початковий контур – два сегменти для двох режимів: $\bar{6} \to \bar{4} \to 2 + 5 \to 4$

.

$$y_4 \Leftarrow x_1 * x_2 * x_3 + x_4 * x_{\bar{5}} + (\overline{x_{\bar{2}}} * x_4 + \overline{x_3} * x_4) =$$

$$= x_1 * x_2 * x_3 + x_4 * x_{\bar{5}} + x_4(\overline{x_{\bar{2}}} + \overline{x_3}) = x_1 * x_2 * x_3 + x_4 * (x_{\bar{5}} + \overline{x_{\bar{2}} * x_3})$$

Початковий контур: $2 \to 4 \to \bar{5} \to 2$.

$$y_5 \Leftarrow x_2 * x_6 + x_5 * \overline{x_{\bar{4}} * x_{\bar{1}}}$$

Початковий контур: $2 \to 5 \to 4$.
Обмежуючий компонент відсутній.

$$y_6 \Leftarrow x_{\bar{3}} * x_4 + x_6 * x_4 + \overline{x_{\bar{3}} * x_{\bar{5}}} = (x_{\bar{3}} + x_6) * x_4 + \overline{x_{\bar{3}} * x_{\bar{5}}}$$

В першому доданку команди x_4 *- обмежуючий множник.*

Початковий контур: $\bar{3} \to 6 \to 4 \to 3$.

ПРИМІТКА. Як можна спростити побудову обмежуючого компонента? Якщо укладати вираз команди ОДНОРЕЖИМНОГО модуля, то во всіх доданках, окрім першого, можна використовувати сигнал, що підтверджує відпрацювання цієї команди в якості обмежуючого множника (він отримує одиничне значення після проходження першої дуги зони I).

ПРИМІТКА. Якщо доданок вміщує сигнали однорежимних модулів, і в зоні їх одиничного значення багаторежимний сигнал отримує одиничне значення тільки один раз, , то обмежуючий компонент відсутній.

Мінімізація логічних виразів команд керування. Після застосування наведених методик мінімізація, у загально прийнятому вигляді, не потрібна. Кожний конкретний логічний вираз команди сформовано в мінімальному (для систем 1-го класу) або в одному з мінімальних варіантів (для систем 2-го і 3-го класів).

Разом з цим є декілька можливостей для зменшення сукупної складності виразів команд для всієї системи та пневматичних, гідравлічних чи електрорелейних схем систем керування, а саме:

- Винесення спільних множників за дужки у виразах команд (зменшує кількість задіяних логічних функцій).
- Максимальна кількість використань тих самих сигналів стану у виразах команд різних модулів (повторне однакових добутків сигналів в різних командах – заміна добутку фіктивним сигналом, який формується один раз і багатократно використовується). Має певні переваги для апаратної реалізації систем керування, особливо засобами пневмоавтоматики і гідроавтоматики.
- Здійснення логічного множення в апаратній частині датчиків стану. Якщо сигнал від датчика стану модуля використано в командах тільки один раз і тільки в одному виразі команди, то з його допомогою можна виконати

функцію логічного множення. Для цього сигнал іншого множника цього самого виразу команди потрібно використати в якості живлення датчика стану. Вихідний сигнал датчика дорівнюватиме їх логічному добутку.

За умов апаратної пневматичної чи гідравлічної системи керування кожне логічне множення або додавання, або інвертування сигналів – це додатковий клапан, додаткові втрати енергії, зростання часу обробки та формування сигналів керування, збільшена складність, знижена надійність, підвищена вартість. За умов вартості окремого пневматичного клапану (10 … 20)$ або гідравлічного клапану (50 … 100)$ мінімізація навіть на одну логічну функцію може бути доцільною.

У випадку апаратної електрорелейної системи керування кожна надлишкова логічна функція – це додаткові контакти релейної схеми. Обумовлені доданими елементами енергетичні витрати, додана вартість системи керування, збільшений час обробки сигналів команд, підвищена складність і зменшена надійність визначені співвідношенням виграшу в експлуатаційних характеристиках і втратах часу на розробку. Скорочення двох – трьох логічних функцій, як правило, не викликатиме змін кількості блоків реле, тобто майже не впливає на складність і надійність та вартість системи керування.

Для використання PLC і алгоритмів в системі керування кожна додана функція – це доданий операнд в алгоритмі керування. Вони не збільшують енергетичні витрати, не впливають на вартість, майже не збільшують час формування сигналів команд, і не впливають на показники надійності і складності системи керування. Скорочення 50% логічних функцій, можливо, призвело би до спрощення алгоритму керування, але система виразів команд керування за наведеною методикою близька до мінімальної. Тобто скороченні може відбуватись не декілька відсотків, що робить мінімізацію зайвою.

При створенні розподілених систем керування з комбінування різнорідних технічних засобів, питання мінімізації бажано віддзеркалювати на конкретні апаратні засоби в кожному сегменті системи.

Побудовані за циклічно-модульною методикою логічні вирази команд відтворюють змістовний зв'язок між діями одного модуля, між окремими діями модулів і процесом всієї системи. Цей зв'язок відтворений в “контурі» чи «траєкторії» команд керування”, черговості сигналів у виразах команд керування, початковому і кінцевому відрізках контуру.

Будь яка суто формальна мінімізація порушує відповідність між логікою формування команди і змістовною будовою процесу функціонування системи. Це ускладнює складання і налагодження системи, заважає пошуку несправностей, робить систему менш придатною до модернізації та втрачає відкриту архітектуру системи керування. Тобто мінімізація, за виключенням здійснення логічних функцій на датчиках стану, порушує модульну структуру системи зо всіма наступними наслідками.

2.5. МЕТОДИКИ СИНТЕЗУ СИСТЕМ 4-ГО КЛАСУ СКЛАДНОСТІ

2.5.1. Формалізація опису систем 4-го класу, функціональний граф

Четвертий клас – це мультипроцесні замкнені системи з модулями багатократної чи однократної дії. Процес роботи системи має розгалужену на окремі підпроцеси структуру (Рис. 2.51). Підпроцеси виконуються одночасно і мають один початок і спільне завершення, але впродовж підпроцесів вони ніяк не впливають один на одного. Кількість підпроцесів необмежена. В кожному підпроцесі має бути хоча б 2 послідовних відрізки. Загальна структура процесу замкнена (початок співпадає із завершенням). На відміну від систем 1-го, 2-го і 3-го класів системи четвертого класу не є суто послідовними, в них підвищена продуктивність (зменшено час технологічного циклу завдяки суміщенню у часі підпроцесів), але відсутні функції автоматичної адаптації до успішності роботи чи до змін виробничої програми.

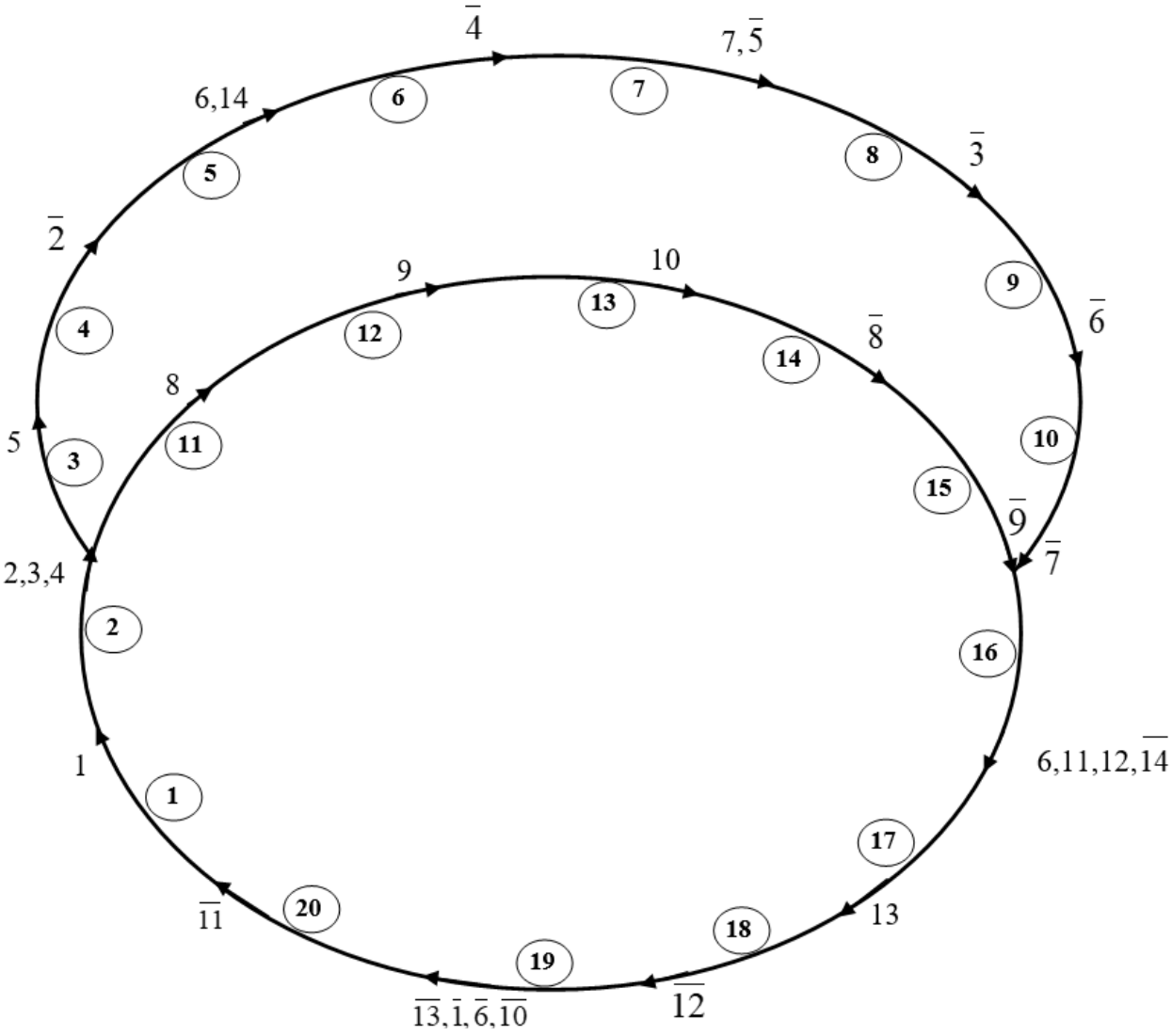


Рис. 2.51. Функціональний граф системи з двома паралельними підпроцесами, в кружечках позначено нумерацію дуг графу

Системи з паралельним та асинхронним виконанням послідовностей дій та груп дій допускають:

- розподілення на початку процесу на окремі підпроцеси (гілки) з наступним їх поєднанням в спільний процес в межах замкнутої структури дій всієї системи;
- мультипроцесну структуру впорядкування дій на всіх етапах технологічного циклу, коли в кожну мить роботи системи є хоча би два паралельні підпроцеси (гілки).

Переваги:

1.Мінімальний термін технологічного циклу.

2.Висока продуктивність системи.

3.Відсутність взаємних формальних обмежень одних дій щодо інших.

4.Логічна визначеність взаємодії всіх модулів.

Вади:

1.Відносна складність логічного синтезу алгоритму керування.

2.Складність тестування системи.

3.Протиріччя з циклограмою автоматизованого процесу.

У загальному випадку можлива відсутність спільної для всіх підпроцесів ланки, тобто в системі в будь-який момент відбувається відпрацювання не менш двох асинхронних підпроцесів. На відміну від систем 3-го класу паралельними та асинхронними мають бути не окремі дії, а їх послідовності. Практичним прикладом першого варіанту (зі спільною ланкою) є по-агрегатне складальне виробництво. Прикладом другого варіанту можна вважати конвеєрну складальну лінію, на якій одночасно знаходиться декілька примірників продукції на різних етапах виробництва.

Структура модулів таких систем, як функціональних, так і системних, повністю ідентична до раніш розглянутих модулів циклових систем: виконавчий пристрій, керуючий пристрій, контролюючі пристрої, локальні системи керування, допоміжна апаратура, основна і зворотна дія.

Функціональний граф має розгалужену, замкнену, орієнтовану структуру. Якщо всі паралельні гілки графу «склеїти» незважаючи на різну кількість дуг, то маємо звичайний цикл (рис. 2.51).

Кожна дуга графу має таке саме маркування, як і в графі циклової системи – вона вміщує індекси основних та зворотних дій модулів.

ПЕРЕВІРКА КОРЕКТНОСТІ В розгалуженому графі можуть бути побудовані з його дуг або відокремлені замкнені контури. Кожна дуга графу належить хоча би до одного такого контуру. Всі дуги таких контурів орієнтовані в однаковому напрямку. Для кожного функціонального модуля може бути побудовано такий контур з дуг функціонального графу, до якого належатимуть всі дуги з індексами основної та зворотної команд модуля. У разі обходу цього

контуру за напрямком графу основні та зворотні індекси одного модуля повинні чергуватися.

В функціональному графі не може бути жодної дуги з порожнім маркуванням.

Все перелічене є обов'язковою умовою щодо коректного опису замкненого асинхронного процесу.

Підграф зв'язку утворено за тими самими правилами, що і для циклових систем (рис. 2.52). Підграф зв'язку складають лінії зв'язку всіх модулів. Лінії зв'язку однорежимних модулів є «двоспрямованими» і їх напрямок не позначено на графі, лінії зв'язку багаторежимних модулів обов'язково мають напрямок, який є узгодженим з напрямком контуру в функціональному графі. Всі лінії зв'язку одного модуля знаходяться в одному замкненому контурі функціонального графу, до якого належать дуги з маркуванням цього модуля.

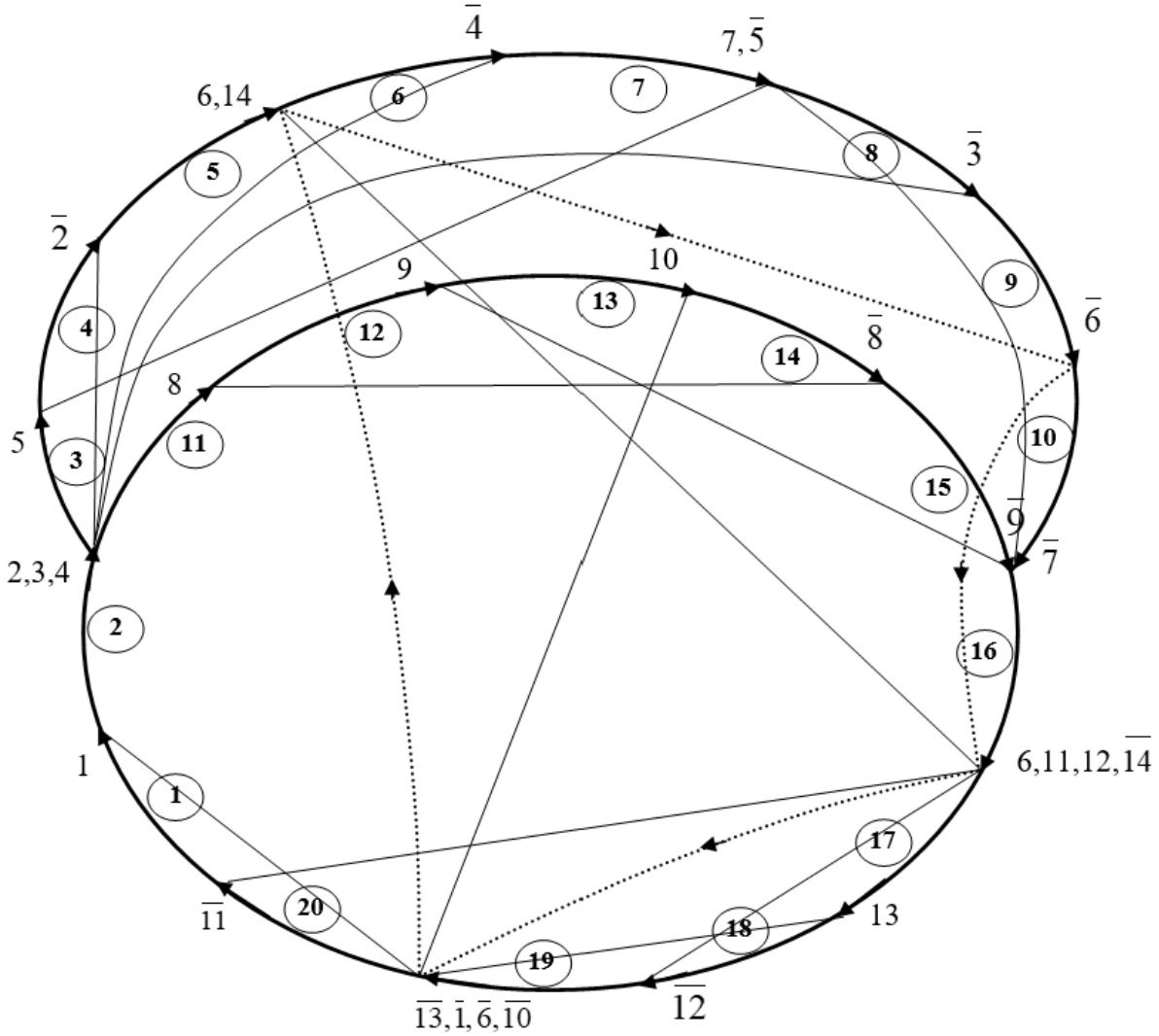


Рис. 2.52. Функціональний граф з підграфом зв'язку для системи з паралельними підпроцесами (паралельними гілками графу)

Перетин ліній зв'язку. Дві лінії зв'язку мають перетин, якщо вони належать до одного замкненого контуру і мають геометричний перетин на кресленні.

Якщо вони належать до різних контурів, то вони належать і до різних асинхронних процесів, їх геометричний перетин не відтворює наявність функції логічного перетину. В нарисній геометрії цьому відповідає визначення «мимобіжні лінії». Можна уявити, що ці лінії знаходяться на різних поверхах системної будівлі, але на вигляді з гори їх проекції начебто мають перетин.

Нумерація дуг функціонального графу не є обов'язковою, але на етапі дослідження логічної визначеності для аналітичної методики потрібна координата всіх дуг, яким є їх порядковий номер.

З огляду на змістовний початок процесу, бажано обрати початкову дугу графу.

Нумерація дуг функціонального графу. Якщо початок процесу відповідає нерозгалуженій частині графу, то цій дузі надається номер 1. Далі послідовно надають номери всім наступним дугам в нерозгалуженій частині графу. Кожна дуга отримує номер більший, за номер попередньої (попередніх) дуг.

В вершині розгалуження нумерація продовжується за однією з гілок. На прикладі після дуги «2» нумерація пішла по верхній гілці починаючи з «3» і до дуги «10». Після завершення нумерації всіх дуг гілки нумерація продовжується для гілки, що раніш не була врахована. Тобто повертаємося до попереднього розгалуження після дуги «2» і по внутрішній гілці надаємо номер «11». В такому випадку номери отримують значення починаючи після останнього використаного в попередній гілці.

Якщо обидві гілки, що зливаються, вже повністю пронумеровані, то маємо продовжити нумерацію спільної частини графу. Такою є дуга «16», яка слідує за об'єднанням двох гілок і злиттям вершин дуг «10» і «15». Надання номерів дугам продовжуємо доти, доки наступною дугою не побачимо першу.

У випадку, коли на початок дій системи **припадає декілька паралельних дуг**, що належать паралельним гілкам процесу, одну дугу за початок вибрати неможливо. Тоді потрібно обрати початковий переріз процесу, до якого належить декілька паралельних дуг, які можна вважати початковими для паралельних гілок, і саме з виконання яких система розпочинає роботу.

Нумерація дуг відбувається послідовно в першій з цих гілок аж до злиття з іншою не нумерованою гілкою. Після цього процес нумерації повертається до ненумерованої гілки на початку процесу (початковий переріз), і нумерація продовжується починаючи з наступного за останнім номером. І так далі, за правилом, коли номер кожної наступної дуги має бути більшим за номер попередньої, за винятком дуг початкового перерізу графу.

2.5.2. Дослідження логічної визначеності систем 4-го класу

В загальному випадку систем 4-го класу (з паралельними гілками асинхронних дій) дослідити логічну визначеність **за графічною методикою неможливо**.

Для випадку циклових систем графічна методика гарантує достовірний результат щодо відсутності нульових значень пам'яті. У той же час, графічна методика є нечутливою за наявності паралельних та асинхронних гілок чи підпроцесів.

За графічною методикою можна дослідити кожний замкнений контур функціонального графу. При цьому будуть виявлені лінії невизначеності, які повністю припадають на кожний контур. Але однакові значення пам'яті, або ті, що не відрізняються одне від одного і вони належать до різних контурів виявлені не будуть. Тобто, гарантувати відсутність ліній невизначеності за застосуванням графічної методики неможливо. Лінії невизначеності, які розташовані на ланках розгалуження графу та злиття підпроцесів залишаються поза увагою.

Аналітична методика в основному співпадає з розрахунком пам'яті, наведеним для систем 3-го класу. Аналітична методика базується на розрахунку відносного (до початку відліку) значення пам'яті системи $S_{i/j}$. Якщо обрати за початок відліку будь який стан (наприклад, і-го переходу), то можна розрахувати додане значення пам'яті для кожного наступного стану системи.

Для цього достатньо відпрацювати частину функціонального графу, що поєднує початок та останню вершину відліку (наприклад, і-а дуга – початок, j-а дуга – кінцева вершина). Якщо для цього переходу системи додана пам'ять дорівнюватиме нулю, то система відпрацювала якийсь цикл і повернулась до початку відліку. Починаючи з початку відліку, система буде повторювати те саме відпрацювання власного циклу необмежену кількість разів, так само, як і для циклових систем. Тобто, очікувана послідовність дій, прописана в функціональному графі, не матиме інформаційного забезпечення результатами дій системи.

Для розрахунку доданої пам'яті на певному відрізку функціонального графу (наприклад, і-а дуга – початок, j-та дуга – кінцева вершина), потрібно віртуально накопичити всі результати дій, що прописані на цьому відрізку. Результатом основних та зворотних дій можна поставити у відповідність індекси цих дій в маркуваннях дуг. Тобто, якщо до складу обраного відрізку належать 5 дуг, то, виписавши послідовність індексів маркування цих дуг, отримуємо формальний результат дій системи за цей відрізок.

Наприклад, є фрагмент процесу з 5 дуг в якому задіяно модулі 2, 3, 4. 5, 6, 7 і 8. Деякі модулі відпрацьовують основні дії, а деякі модулі здійснюють зворотні дії. В цьому фрагменті маємо наступне впорядкування дій по дугах:

$$\Rightarrow 2,3,\bar{8} \Rightarrow 5,\bar{4} \Rightarrow 6,\ \bar{3} \Rightarrow 7,\bar{2},\bar{5} \Rightarrow 3,\bar{1} \Rightarrow.$$

Виконання кожної дії приносить конкретний результат, який можна пов'язати із завершенням конкретної дії. Тобто результат роботи системи після

відпрацювання наведеного фрагменту, на перший погляд, складатиме комплект результатів окремих дій:

$$2,3,\bar{8},5,\bar{4},6,\bar{3},7,\bar{2},\bar{5},3,\bar{1}\ .$$

Для деяких модулів в фрагменті є однакова кількість основних і зворотних дій, тобто їх робота не залишає жодного відбитку в пам'яті системи. Тоді результат відпрацювання фрагменту процесу дещо скоротиться:

$$\bar{8},\bar{4},6,7,3,\bar{1}.$$

Якщо в досліджуваній послідовності є однакова кількість основних і зворотних індексів одного модуля, то його робота не залишає жодного відбитку в пам'яті системи. Викреслюємо пари взаємо-зворотних індексів. Якщо поза парами залишився один індекс цього самого модуля, то його залишаємо у підсумковому виразі пам'яті.

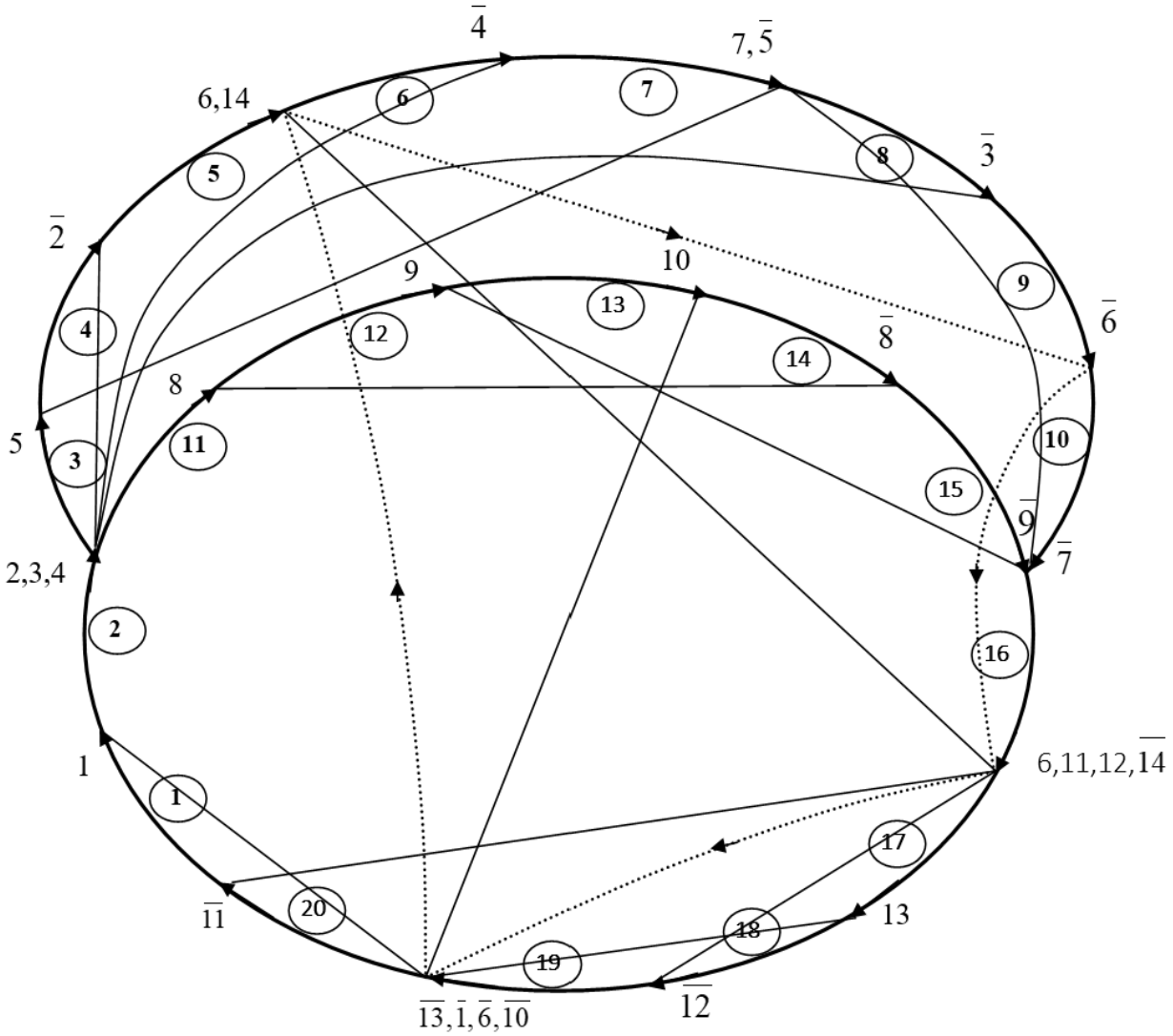


Рис. 2.53. Функціональний граф системи 4-го класу з підграфом зв'язку для розрахунку пам'яті системи з паралельними гілками

Після розрахунку, якщо в значенні доданої пам'яті є хоча би один індекс, то можна припустити, що система не повернулась до початку відліку. Тобто, система має інформацію щодо вже виконаних дій, і, на основі цієї інформації,

здатна визначити наступні дії у відповідності з функціональним графом.

Врахування початкових та кінцевих дій. Але такий висновок не завжди є справедливим. В отриманому результаті розрахунку не враховано те, що на **початковому переході** та на **кінцевому переході** також відбуваються певні дії, і стан пристроїв, що вони їх відпрацьовують, є **невизначеним**. Для врахування цієї обставини викреслюємо індекси тих модулів, які виконують свої дії або на початковій дузі відрізку, або на кінцевій дузі відрізку.

Врахування паралельних гілок. Можливо деякі модулі, що працювали на обраному відрізку, задіяно в паралельних гілках функціонального графу. Це також унеможливлює використання їх стану у якості інформації про додану пам'ять або стан загального процесу.

Наприклад, для розрахунку пам’яті на відрізку від 1-ї дуги до 14-ї дуги мають бути задіяні модулі 2, 3 і 4, які працюють на другій дузі. Але модулі 2, 3 і 4 відпрацьовують свої наступні дії на гілці, паралельній до 14 дуги (рис. 2.53, дуги 4, 6 і 8). Тобто, коли система знаходитиметься в стані 14-ї дуги, стан модулів 2. 3 і 4 є невизначеним і їх сигнали не додають складових до приведеного значення пам’яті.

Для функціонального графу (рис. 2.53) на відрізку між дугою №10 і дугою №2 отримуємо наступний результат:

$$S'_{10/3} = \overline{2} + 6 + 14 + \overline{4} + 7 + \overline{5} + \overline{3} + \overline{6} = \overline{2} + 14 + \overline{4} + 7 + \overline{5} + \overline{3}.$$

Врахування обраного початку та кінцевої дуги відліку полягає у тому, що саме в ці моменти дій системи частина модулів знаходилася в перехідному стані (на паралельних гілках). Тобто, стан таких модулів може відповідати і початку дії, і випадку, коли дія навіть ще не почалась, або вже дію завершено. Для дуг №3 і №10 такі дії виконують модулі 5 і 7. Отже, стан цих модулів не надає інформацію щодо доданої пам’яті системи – їх стан невизначений.

З врахуванням невизначеності стану модулів початкової і кінцевої дуг, отримуємо додане значення пам’яті, яке зменшилося, але відмінно від нульового:

$$S_{10/3} = \overline{2} + 14 + \overline{4} + \overline{3} \neq 0.$$

Другий випадок розрахунку пам’яті враховує варіант, коли дуга початку або/та дуга завершення обраного відрізку мають паралельні до них дуги або гілки графу. Наприклад, початкова дуга №1, а завершальна дуга №9 (рис. 2.53). Записуємо вираз доданої пам’яті так само, як і в попередньому прикладі:

$$S'_{9/1} = 2 + 3 + 4 + 5 + \overline{2} + 6 + 14 + \overline{4} + 7 + \overline{5} + \overline{3} = 6 + 14 + 7.$$

Вносимо уточнення щодо початкової та кінцевої дуг:

$$S'_{9/1} = 14 + 7.$$

Дуга №9 належить до однієї з двох паралельних гілок графу. Тоді можна бути впевненим, що всі дії модулів, що їх прописано на паралельній гілці (відбуваються незалежно від дій дуги №9) не надають жодних визначених доданків до пам’яті. На паралельній гілці відбуваються дії модулів 8, 9 і 10.

Таким чином, будь-які нагадування стану цих модулів в виразі доданої

пам’яті матимуть невизначений стан, тобто, не підлягають врахуванню, отримуємо:

$$S_{9/1} = 14 + 7 \neq 0.$$

Третій випадок розрахунку виникає, коли між початковою та кінцевою дугами існує декілька гілок, за якими можна потрапити з початку до кінця відрізку. Наприклад, перехід з дуги №1 до дуги №17 можна здійснити за двома маршрутами, що пролягають по паралельних гілках. Спочатку записуємо вираз доданої пам’яті так само, як і в попередньому варіанті, але з врахування двох гілок:

$$S'_{17/1} = 2 + 3 + 4 + 5 + \bar{2} + 6 + 14 + \bar{4} + 7 + \bar{5} + \bar{3} + \bar{6} + \bar{7} +$$
$$+ 8 + 9 + 10 + \bar{8} + \bar{9} + 6 + 11 + 12 + \overline{14} = 10 + 6 + 11 + 12 .$$

Подальше врахування початкової та кінцевої дуг не додає змін до отриманого значення доданої пам’яті, оскільки на цих дугах в маркуваннях відсутні індекси модулів 10, 6, 11 і 12, отримуємо:

$$S_{17/1} = 10 + 6 + 11 + 12 \neq 0.$$

Оскільки в графі відсутні дуги, паралельні до початкової та кінцевої дуг, то отриманий результат є остаточним.

Методика розрахунку доданого значення пам’яті для відрізка функціонального графу між дугами №А і №Б для систем з паралельними підпроцесами (систем 4-го класу)

Дослідження системи охоплює перевірку всіх пар не суміжних та не паралельних дуг функціонального графу. Такі пари дуг утворюватимуть відрізки процесу, для яких має бути розрахована додана пам’ять.

1. Позначаємо всі можливі траєкторії переходу від дуги №А до дуги №Б по дугах графу з врахуванням їх спрямування.
2. Виписуємо всі індекси з маркування дуг, що увійшли до всіх траєкторій (кожну дугу враховуємо тільки один раз).
3. Видаляємо пари взаємо протилежних індексів.
4. Видаляємо індекси тих модулів, дії яких зазначено в початковій та кінцевій дугах (дугах №А і №Б).
5. Видаляємо індекси тих модулів, дії яких припадають на дуги, що належать паралельним гілкам до початкової або до кінцевої дуг відрізку (до дуг №А і №Б).
6. Отриманий вираз є доданим значенням пам’яті для дуги №Б відносно дуги №А.
7. Якщо вираз доданої пам’яті не містить жодного результату, то додана пам'ять дорівнює нулю, тобто, вершини початкової та кінцевої дуг з’єднує лінія невизначеності.
8. **Особливий випадок.** Якщо на суміжні дуги (такі, що мають спільну вершину) припадають дії одного модуля (основна та зворотна дії), то їх додаток до пам’яті дорівнює нулю, а вершини цих дуг з’єднуватиме лінія невизначеності.

9. Всі розраховані лінії невизначеності утворюють підграф невизначеності досліджуваної системи.

Наявність не порожнього підграфу невизначеності вказує на логічну недостатність опису системи та необхідність доповнення її елементами пам'яті або корегування послідовності дій модулів в процесі.

ПРИКЛАД. У відповідності із загальним варіантом методики дослідження функціонального графу (рис. 2.53) необхідно обрахувати всі можливі відрізки процесу, що обмежено наступними початковими і кінцевими дугами:

№1 … №3, №1 … №4, №1 … №5, №1 … №6, №1 … №7, №1 … №8, №1 … №9, №1 … №10, №1 … №11, №1 … №12, №1 … №13, №1 … №14, №1 … №15, №1 … №16, №1 … №17, №1 … №18, №1 … №19;

№2 … №4, №2 … №5, №2 … №6, №2 … №7, №2 … №8, №2 … №9, №2 … №10, №2 … №12, №2 … №13, №2 … №14, №2 … №15, №2 … №16, №2 … №17, №2 … №18, №2 … №19, №2 … №20;

№3 … №5, №3 … №6, №3 … №7, №3 … №8, №3 … №9, №3 … №10, №3 … №16, №3 … №17, №3 … №18, №3 … №19, №3 … №20;

№4 … №6, №4 … №7, №4 … №8, №4 … №9, №4 … №10, №4 … №16, №4 … №17, №4 … №18, №4 … №19, №4 … №20;

№5 … №7, №5 … №8, №5 … №9, №5 … №10, №5 … №16, №5 … №17, №5 … №18, №5 … №19, №5 … №20;

№6 … №8, №6 … №9, №6 … №10, №6 … №16, №6 … №17, №6 … №18, №6 … №19, №6 … №20;

№7 … №9, №7 … №10, №7 … №16, №7 … №17, №7 … №18, №7 … №19, №7 … №20;

№8 … №10, №8 … №16, №8 … №17, №8 … №18, №8 … №19, №8 … №20;

№9 … №16, №9 … №17, №9 … №18, №9 … №19, №9 … №20;

№10 … №17, №10 … №18, №10 … №19, №10 … №20;

№11 … №13, №11 … №14, №11 … №15, №11 … №16, №11 … №17, №11 …№18, №11 … №19, №11 … №20;

№12 … №14, №12 … №15, №12 … №16, №12 … №17, №12 … №18, №12 …№19, №12 … №20;

№13 … №15, №13 … №16, №13 … №17, №13 … №18, №13 … №19, №13

… №20;

№14 … №16, №14 … №17, №14 … №18, №14 … №19, №14 … №20;
№15 … №17, №15 … №18, №15 … №19, №15 … №20;
№16 … №18, №16 … №19, №16 … №20;
№17 … №19, №17 … №20;
№18 … №20.

Кількість відрізків та обчислень достатньо велика, і при фіксації початкової дуги та збільшенні довжини відрізку (віддаленні від неї кінцевої дуги) кількість індексів, що підлягає врахуванню, тільки збільшується.

Спрощення. Індекси, що належать до початкової дуги не підлягають врахуванню, їх одразу не враховуємо. Також одразу виключаємо пари взаємо зворотних індексів. Видалені пари індексів не заносимо в послідовність підрахунку при проходженні обраного відрізку. Це спрощує використання методики, тим більш, що отриманий результат є вичерпним, та при наступному логічному синтезі, в разі виникнення помилки, її не доведеться шукати в функціональному графі та елементах пам’яті.

Аналітична методика з графічним доповненням. Змішана методика базується на використанні ліній зв’язку однорежимних модулів.

Якщо вершини початкової №А та кінцевої №Б дуг відрізку розташовано по різні боки лінії зв’язку однорежимного модуля (лінія зв’язку розташована в тому самому контурі, що і досліджуваний відрізок), то додана пам'ять достеменно не дорівнює нулю. Таким чином у цьому випадку лінія невизначеності відсутня і необхідності в розрахунку доданої пам’яті немає.

Наприклад, для дуги №3 графу її вершина відокремлена від всіх інших не суміжних вершин графу лінією зв’язку 2 - $\overline{2}$ (рис. 2.54).

Тобто, з раніш побудованих відрізків з початковою дугою №3 (№3 … №5, №3 … №6, №3 … №7, №3 … №8, №3 … №9, №3 … №10, №3 … №16, №3 … №17, №3 … №18, №3 … №19, №3 … №20) жоден не потребує розрахунку доданої пам’яті.

У відповідності з графічним доповненням методики для цього самого функціонального графу (рис. 2.54) необхідно розглянути тільки відрізки процесу з наступними початковими і кінцевими дугами:

№1 … №11; №8 … №10; №16 … №19.

Кількість обчислень зменшилася в десятки разів.

$S'_{11/1} = 2 + 3 + 4$, модулі 2, 3 і 4 задіяно в паралельній до дуги №11 гілці, отримуємо: $S_{11/1} = 0$.

$S_{10/8} = \overline{6}$, тобто не дорівнює 0.

$S'_{19/16} = 13 + \overline{12}$, модуль 13 задіяно в маркуванні початкової дуги відрізку №19, модуль 12 задіяно в маркуванні останньої дуги №16, остаточне значення

доданої пам’яті $S_{19/16} = 0$.

За результатами досліджень доданої пам’яті отримано дві лінії невизначеності: $S_{11/1} = 0$ і $S_{19/16} = 0$ (рис. 2.54).

ПРИМІТКА - спрощення. Початкова дуга і кінцева дуга відрізку можуть обмінятися місцями при пошуку нульових значень доданої пам’яті. Тобто, якщо $S_{I/J} = 0$*, то безумовно і* $S_{J/I} = 0$.

Наприклад, для відрізку між дугами №2 і №20 можна виконувати відлік від 2-ї дуги до 20-ї дуги, і при цьому підлягають обрахуванню 17 дуг. Але можна змінити початок і кінцеву дугу і виконати відлік від 20-ї дуги до 2-ї дуги. При такій заміні підпадає розгляду тільки одна дуга, що значно спрощує процедуру розрахунку і зменшує вірогідність суто технічних помилок.

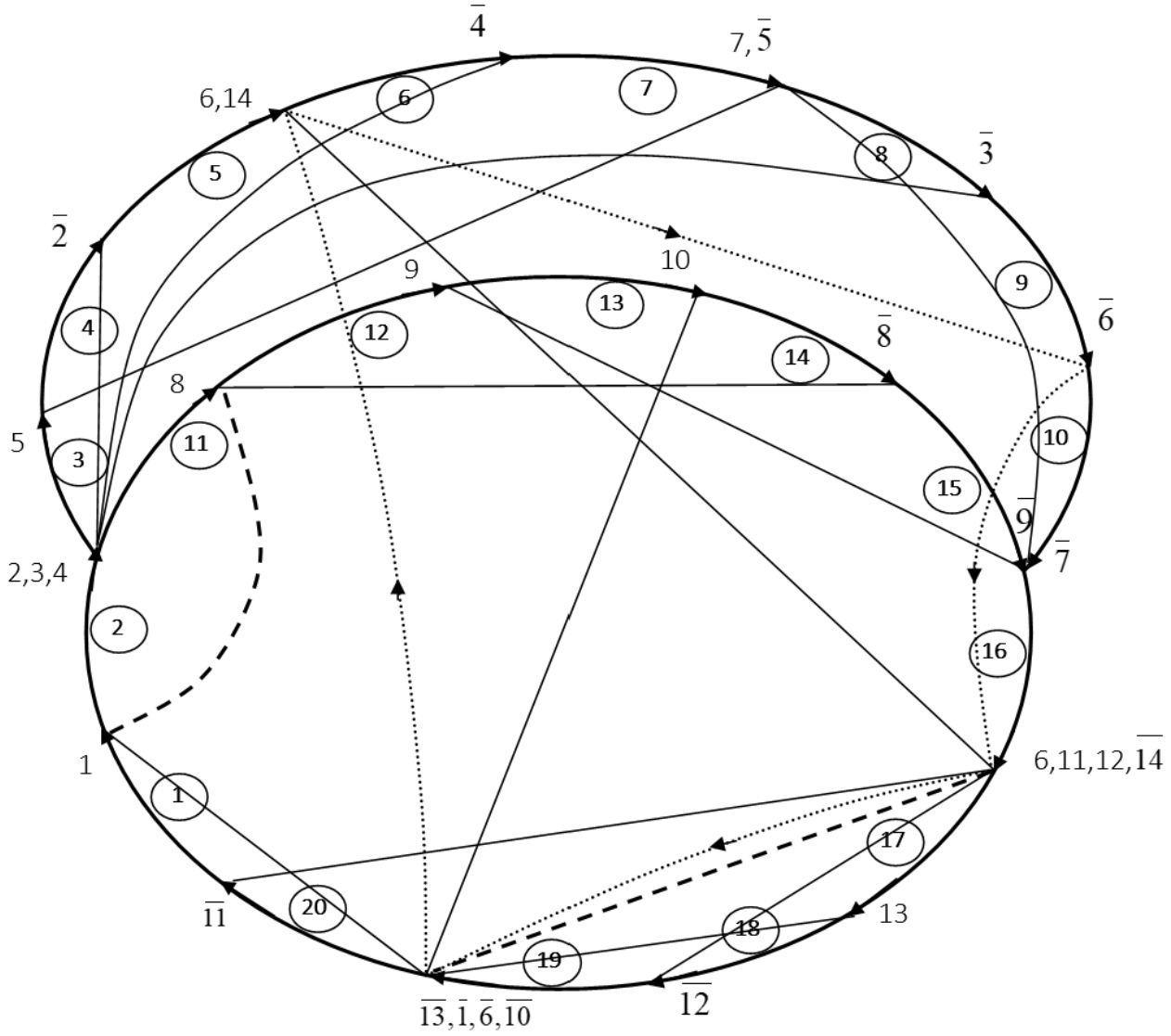


Рис. 2.54. Функціональний граф з підграфом зв’язку і підграфом невизначеності (пунктирні лінії) для системи з паралельними підпроцесами (паралельними гілками)

2.5.3. Доповнення елементами пам’яті систем 4-го класу

Методика додавання елементів пам’яті для забезпечення логічної визначеності майже однакова з аналогічною методикою для систем 3-го класу.

Особливість полягає у тому, що лінія зв'язку кожного доданого елементу пам’яті повинна знаходитись в одному замкненому контурі, всі дуги якого мають однаковий напрямок. Наприклад, за жодних обставин, елемент пам'яті не може бути увімкненим на дузі 11, а вимкненим на дузі 8. Інколи, для додавання місць вмикання чи вимикання елементів пам’яті, в графі додаються окремі дуги (в прикладі 17).

Методика додавання елементів пам’яті до систем 4-го класу є рекурентною, тобто, елементи пам’яті додаються по одному, після чого мають бути видалені всі перекреслені лінії невизначеності, і для оновленого функціонального графу методика застосовується наново для ліквідації ліній невизначеності, що залишилися.

Методика доповнення системи 4-го класу елементами пам’яті

1. Якщо на функціональному графі є хоча б одна лінія невизначеності, додаємо елемент пам’яті з номером наступним, за останнім модулем системи.
2. Місця вмикання і вимикання його на дугах графу визначаємо так, щоби забезпечити:

   По перше – перетин максимальної кількості ліній невизначеності.

   По друге – перетин максимальної кількості ліній зв’язку однорежимних модулів.

   По третє – перетин максимальної кількості ліній зв’язку багаторежимних модулів.

   По четверте – наближення до розподілу функціонального графу доданою лінією зв’язку на приблизно рівні частини.
3. Видаляємо всі лінії невизначеності, які перетинаються (а не перекреслені на малюнку) лінією зв’язку елементу пам’яті.
4. Якщо залишилась хоча б одна лінія невизначеності, переходимо до п.1 методики, інакше, доповнення системи завершено.

Принципова відмінність полягає в тому, що лінія зв’язку елемента пам’яті перетинатиме тільки ті лінії невизначеності, які розташовані разом з нею в одному замкненому контурі функціонального графу. Тоді вони, так би мовити, розташовані в одній площині і перетин є дійсним.

Пріоритети розміщення доданого елементу пам’яті визначає його ефективність в подальшому логічному синтезі.

Приклад додавання елементу пам’яті наведено на рис. 2.55. Елемент пам'яті має ім’я «15», слідом за останнім номером модуля системи.

Його вмикання і вимикання мають забезпечити першочергово перекреслення максимальної кількості ліній невизначеності а саме двох.

Для перетину верхньої лінії невизначеності його вмикання має тільки один

варіант – дуга №2. Оскільки лінія невизначеності припадає на внутрішній контур то і вимикання елементу пам'яті також має відбуватися у внутрішньому контурі. Тобто вимикання може відбутися на дугах 17, 18 і 19. Всі перелічені комбінації забезпечують перетин обох ліній невизначеності.

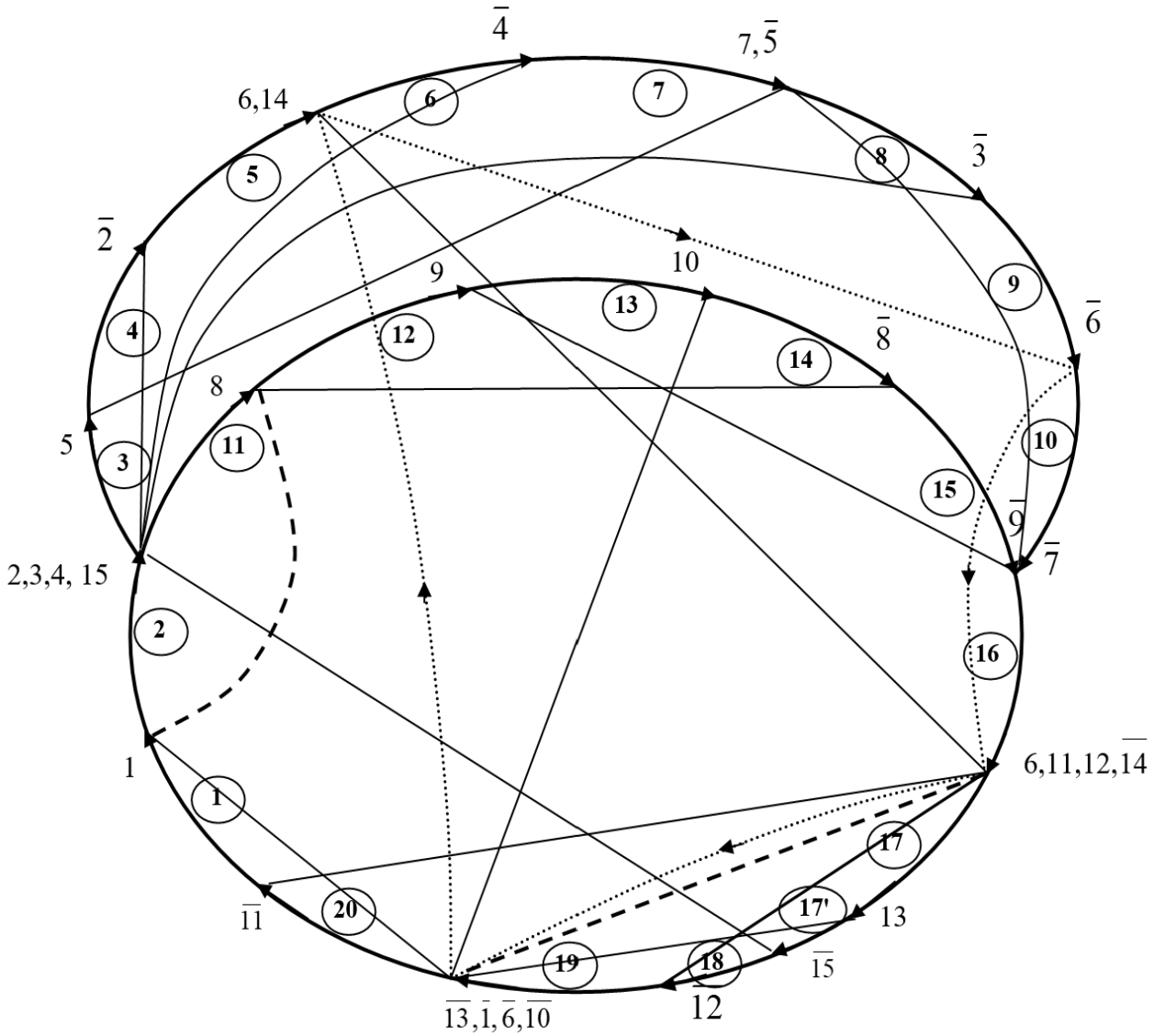


Рис. 2.55. Функціональний граф системи 4-го класу з підграфом зв'язку і підграфом невизначеності (пунктирні лінії), доповнена елементом пам'яті (модуль 15) для системи з паралельними підпроцесами (граф з паралельними гілками)

Вимикання на дугах 17 і 18 забезпечують перетин трьох ліній зв'язку однорежимних модулів (модулі 10, 11 і 12, або модулі 10, 11 і 13, вимикання на дузі 19 – тільки два перетини. Але, якщо додати нову дугу (17'), то буде збільшено кількість перетинів на одиницю (12. 13, 10 і 11). Розгляд кількості перетинів ліній зв'язку багаторежимних модулів і показник симетричного розділення графу не розглядаємо, оскільки за показником перетинів з однорежимними лініями зв'язку є один кращий варіант. Тож встановлюємо елемент пам'яті 15 з вмиканням на дузі 2 і вимиканням на дузі 17'.

Додаткові елементи пам'яті. Після ліквідації всіх ліній невизначеності, у разі апаратного виконання системи керування, можливе додавання надлишкових

елементів пам’яті з метою зменшення кількості елементів логіки в системі керування.

Лінія зв’язку додаткового елементу пам’яті заміщує контур, складений з відрізків ліній зв’язку, при побудові виразу логічної команди.

Таке рішення є раціональним, якщо складність впровадження елементу пам’яті є меншою, ніж укладання логічних виразів команд за його відсутності. Вмикання і вимикання доданого елементу пам’яті може на графі бути поєднано на вже існуючих дугах з діями інших модулів. Це дозволить використовувати вже складені вирази команд для керування елементом пам’яті.

2.5.4. Логічний синтез команд керування для систем 4-го класу

Основною відмінністю систем 4-го класу складності є наявність паралельних гілок процесу функціонування. Такі гілки, в загальному випадку, вміщують різну кількість переходів (дуг графу) які, за винятком початку і завершення, відбуваються асинхронно.

Практичними прикладами таких систем є автоматизовані технології, що об’єднують декілька паралельних технологічних підпроцесів: складальне виробництво, ланка вихідного контролю, маркування і пакування продукції, конвеєр з виготовлення цукерок з помадкою, зовнішнім шаром глазурі та прикрасами та ін.

За виключенням дій, що відповідають командам, віднесеним до початкових дуг підпроцесів (дуги 3 і 11, рис. 2.56), та першої дуги після злиття паралельних підпроцесів (дуга 16), методика укладання виразів команд керування майже однакова з методикою для систем 3-го класу. Так само, як і в системах 3-го класу, система 4-го класу може налічувати будь-яку кількість однорежимних та багаторежимних модулів, а на переходах (дугах) може бути вказана довільна кількість паралельних дій.

Дуги, що розташовані за вершиною розгалуження графу (дуги 3 і 11), мають спільну попередню дугу (дуга 2, рис. 2.56).

Дуга, наступна за вершиною злиття паралельних підпроцесів (дуга 16), має одразу декілька попередніх дуг, на прикладі - дві попередні дуги (дуги 10 і 15). Відпрацювання команд цих попередніх дуг починається не одночасно, і їх завершення також є неодночасним. Але для переходу до відпрацювання дій наступної дуги (дуги 16) необхідне завершення всіх дій обох попередніх дуг, тобто, позначених в маркуванні дуги 10 і дуги 15 (це зворотні команди 9-го і 7-го модулів).

Команди, що позначені в маркуванні дуги 16, розпочнуть формуватися тільки після завершення найповільнішої дії з попередніх дуг. Але, оскільки заздалегідь не відомо, який з паралельних підпроцесів є найповільнішим, то в загальному випадку логічна умова має вигляд:

$$X_{next} = (X_{i.1} * \ldots * X_{i.k}) * (X_{j.1} * \ldots * X_{j.n}), \qquad (2.6)$$

де X_{next} - умова початку формування команд дуги, наступної за злиттям підпроцесів (паралельних гілок), $X_{i.1} * \ldots * X_{i.k}$ - добуток сигналів стану, що підтверджують завершення всіх дій останньої дуги одного підпроцесу, $X_{j.1} * \ldots * X_{j.n}$ - добуток сигналів стану, що підтверджують завершення всіх дій останньої дуги другого підпроцесу.

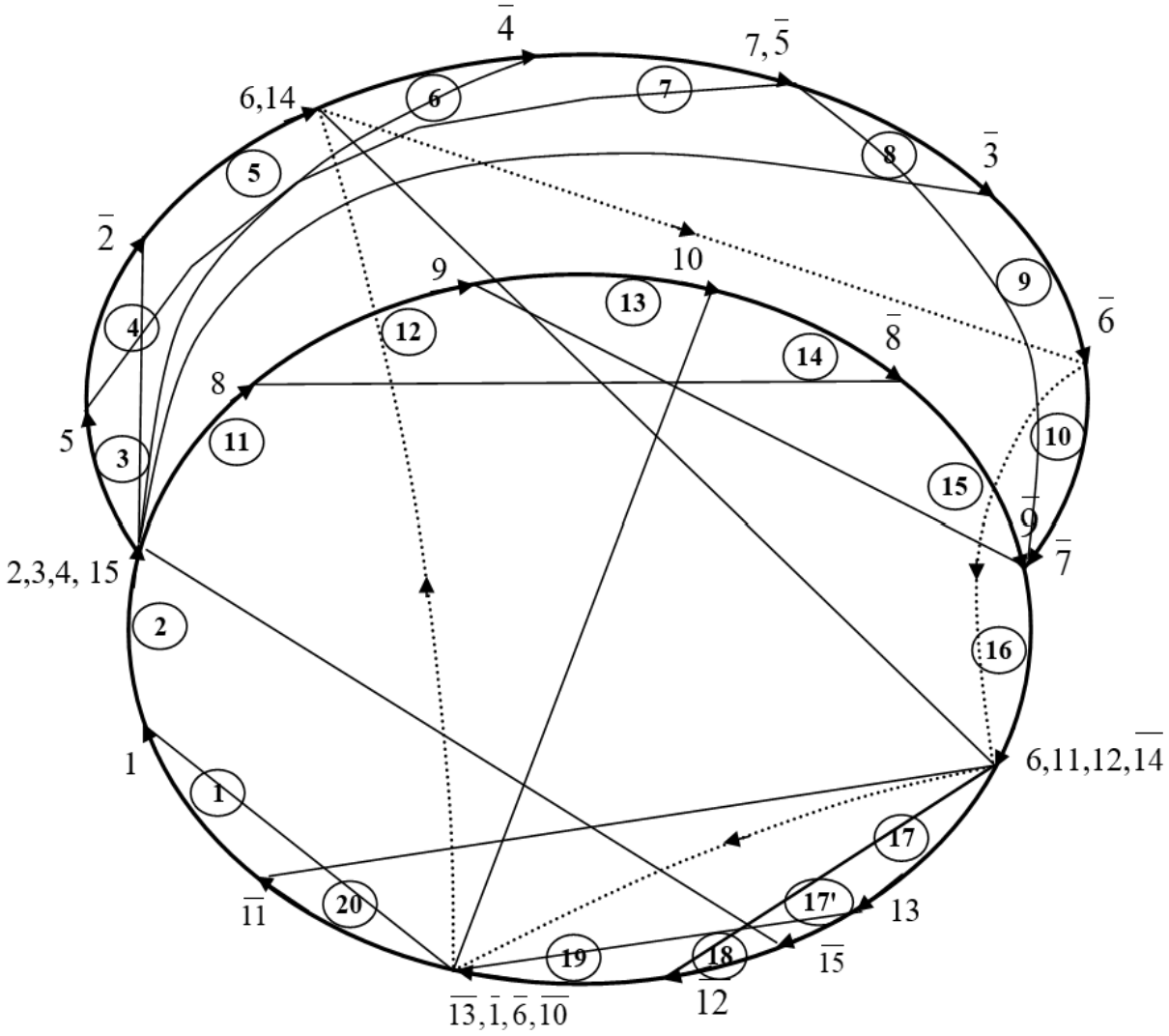


Рис. 2.56. Функціональний граф для системи з двома паралельними підпроцесами, 20-ма переходами і 14-ма модулями за початковим завданням, з підграфом зв'язку, доповнений елементом пам'яті (модуль 15)

Як правило, форма систем 4-го класу потрібна для розбудови достатньо складних технічних об'єктів, з використанням PLC в системах керування. Застосування алгоритмів керування дозволяє зосередитись на бістабільному варіанті логічних виразів команд керування. За необхідності перехід до моностабільного варіанту керування може виконуватись в алгоритмі керування або за допомогою відповідних схемних рішень, а за необхідності – апаратної реалізації.

Незалежно від кількості підпроцесів, модулів та тактів, структура логічних виразів команд для систем 4-го класу має однаковий вигляд:

$$y_{i(4)} \Leftarrow \bigcup_{k=1}^{m} (x_{k,1(i)} + \{x\}_{k,1c}) * \cdots * (x_{k,n(i)} + \{x\}_{k,nc}) * \{x\}_{k-\bar{k}} * \{x\}_{k-\bar{m}}, \quad (2.7)$$

де $y_{i(4)}$ - логічний вираз основної (зворотної) команди керування для і-го модуля системи; $(x_{k,1(i)} + \{x\}_{k,1c}) * \cdots * (x_{k,n(i)} + \{x\}_{k,nc})$ - добуток сигналів – безпосередніх причин k-го режиму команди, подовжених додатковими доданками (якщо є сигнали з паралельної гілки); 4 – четвертий клас складності; $\{x\}_{k-\bar{k}}$ - добуток сигналів, що забезпечує вимикання основної (зворотної) команди до формування наступної зворотної (основної) команди; $\{x\}_{k-\bar{m}}$ - логічний вираз, що забезпечує відсутність сигналу основної (зворотної) команди під час відпрацювання і збереження результатів усіх режимів зворотної (основної) команди; $\bigcup_{k=1}^{m}$ - сума виразів команд для k режимів і-го модуля.

Пояснення. Структура виразів команд для систем 3-го і 4-го класів дуже схожа, але має певні відмінності.

Перша відмінність стосується команд, наступних за злиттям підпроцесів або паралельних гілок графу. Відмінність враховує той факт, що безпосередня причина складається з умов завершення двох асинхронних груп дій (для всіх команд дуги, наступної за злиттям гілок, безпосередня причина має вигляд добутку сигналів щодо завершення всіх дій останніх дуг обох гілок).

Друга відмінність припадає на команди перших (початкових) дуг паралельних гілок. Ця відмінність враховує те, що безпосередня причина може належати іншій гілці, ніж лінія зв'язку команди. Тобто, лінії зв'язку команди та безпосередньої причини належать різним контурам функціонального графу і не можуть мати перетин (так би мовити на різних поверхах графа).

Для систем 4-го класу, для всіх команд, окрім означених у відмінностях, графічним аналогом безпосередньої причини є перетин або логічний добуток обраних сигналів. Команда має вигляд перетину сегментів, обмежених лініями зв'язку всіх множників добутку (рис. 2.56). В цих варіантах питання подовження або обмеження тривалості команд здійснюється так само, як і для систем 3-го класу. Підґрунтям для їх виконання є зони: Обов'язкового існування I, Нечутлива II, Заборонена III. Як відмічалось раніше, варіант моностабільного керування може вирішуватися алгоритмічними і апаратними засобами з використанням виразів команд бістабільного варіанту.

Для команд, що відповідають початковим дугам паралельних гілок, безпосередня причина має однаковий вигляд – добуток сигналів з усіма індексами з маркування спільної для них попередньої дуги.

Якщо такий добуток належить тій самій гілці, що і лінія зв'язку команди, то команда може бути побудована за методикою систем 3-го класу.

Якщо такий добуток (лінії зв'язку використаних сигналів) не належить до тієї гілки, до якої належить лінія зв'язку розглянутої команди, то добуток потребує подовжуючий доданок. Отриманий вираз доданку, якщо його імітувати фіктивною лінією зв'язку неіснуючого модуля, знаходитиметься в спільному замкненому циклі графу разом з лінією зв'язку команди. Надалі до цього виразу має бути застосована методика систем 3-го класу.

Якщо один з множників добутку (безпосередньої причини) отримує нульове значення на гілці, паралельній до гілки із лінією зв'язку команди, то його необхідно подовжити доданком, що було визначено шляхом побудови ламаної лінії для фіктивного модуля.

Третя відмінність. Особливий зміст отримує обмежуючий множник $\{x\}_{k-\bar{k}}$ (той, що забезпечує відсутність протилежної команди під час відпрацювання та зберігання результатів основної, або навпаки). До формування такого множника можна підійти шляхом побудови ламаної лінії з відрізків ліній зв'язку (контур обмеження) в паралельній гілці та/або в нерозгалуженій частині графу. Якщо в графі відсутні лінії невизначеності, то такий множник потенційно можливий. Певні складнощі виникають при його формуванні. Варіантом побудови є методика, що побудована за схемою зворотного відліку. Спочатку необхідно обрати останню лінію зв'язку для контуру – вона має обмежувати прикінцеву частину забороненої зони. Далі, необхідно відшукати наступну лінію контуру, яка перетинає вже обрану лінію зв'язку і ще скорочує заборонену зону. Аналогічне нарощування має виконуватись до тих пір, поки не буде охоплена заборонена зона повністю.

Методика складання бістабільного виразу команд для одного режиму модуля №«і» систем 4-го класу (дуга, наступна за злиттям гілок)

1. Знаходимо на функціональному графі дугу, що в її маркуванні міститься індекс потрібного режиму модуля «і» (дуга розташована одразу після злиття двох гілок графу).
2. Розглядаємо всі лінії зв'язку, які виходять з кінцевої вершини попередньої дуги першої гілки (тільки такі, що виходять – врахувати напрямок).

2.1. Обираємо з них таку, яка охоплює вздовж графу найменшу кількість дуг функціонального графу (цій лінії відповідає добуток групи сигналів – безпосередня причина від першої гілки).

3. Розглядаємо всі лінії зв'язку, які виходять з кінцевої вершини попередньої дуги другої гілки (тільки такі, що виходять – врахувати напрямок).

3.1. Обираємо з них таку, яка охоплює вздовж графу найменшу кількість дуг функціонального графу (цій лінії відповідає добуток групи сигналів – безпосередня причина від другої гілки).

4. З двох ліній, обраних в п. п. 2.1 і 3.1, обираємо ту, яка охоплює вздовж графу найменшу кількість дуг функціонального графу, використовуємо її у якості

початкового відрізку для побудови контуру (траєкторії) команди або ламаної з ліній зв'язку.

5. (Подальші кроки методики майже тотожні до методики 3-го класу) Формуємо контур з ліній зв'язку, що його розпочинає обрана початкова лінія зв'язку (яка виходить з початкової вершини дуги з індексом команди), а кінцева лінія є лінією зв'язку команди, що складаємо, і при цьому:
   - всі відрізки, окрім останнього, узгоджені за напрямком з функціональним графом (від початку дуги до її кінцівки);
   - останнім відрізком є лінія зв'язку команди і-го модуля обраного режиму (вона має протилежний напрямок);

   отримана ламана лінія (контур) має мінімальну кількість відрізків і ніде не торкається функціонального графу.
6. Записуємо добуток сигналів з індексами усіх ліній зв'язку, що увійшли до контуру, окрім останнього.
7. Замість першого множника записуємо добуток сигналів стану з усіма індексами попередніх дуг графу (безпосередня причина – відпрацювання останніх груп дій обох гілок графу).
8. Отриманий вираз є початковим варіантом виразу команди керування для обраного режиму.
9. Якщо в добутку немає сигналів від багаторежимних модулів, то початковий варіант тотожній до остаточного.
10. Якщо в добутку є сигнали багаторежимних модулів, то необхідна перевірка:
    Чи приймає добуток значення «1» в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні?;

Якщо не приймає, то початковий варіант тотожній з остаточним (обмежуючий компонент $\{x\}_{k-\overline{m}}$ в команді відсутній).

11. Якщо логічний добуток приймає значення «1» в ЗАБОРОНЕНІЙ зоні, то формуємо обмежуючий компонент $\{x\}_{k-\overline{m}}$.

    Порядок формування обмежуючого компонента.
    (аналогічно методикам до систем 3-го і 2-го класів).

*ПРИМІТКА. При укладанні виразів команд для модулів з **бістабільним керуючим** пристроєм у виразі **не можуть бути** задіяні будь які сигнали цього самого модуля (як початкового стану, так і кінцевого стану).*

*ПРИМІТКА. Якщо в системі 4-го класу є тільки **один** багаторежимний модуль, то в вираз **бістабільного** варіанту його команд входитимуть тільки сигнали стану однорежимних модулів і початкова форма тотожна до остаточної.*

Приклад укладання бістабільного виразу основної команди багаторежимного модуля 6 (рис. 2.57).

Вираз команди будуємо у вигляді суми виразів команди для всіх передбачених режимів (оскільки режимів 2, то два доданки):

$$y_6 = y_6^{R1} + y_6^{R2}.$$

Більш цікавим є вираз команди для 2-го режиму, оскільки він є наслідком злиття двох підпроцесів (гілок графу).

- Обираємо на функціональному графі дугу, в маркуванні якої міститься індекс другого режиму основної команди модуля 6 (рис. 2.57, дуга 16, попередні дуги 10 і 15).
- Розглядаємо всі лінії зв'язку, що виходять з початкової вершини цієї дуги (розглядаємо лінії зв'язку зворотних дій модулів 9 – завершення дуги 15, і модуля 7 – завершення дуги 10).
- Обираємо з них таку, яка охоплює найменшу кількість дуг функціонального графу за його напрямком. Лінія модуля 9 охоплює 10 дуг, лінія модуля 7 охоплює 13 дуг, обираємо лінію модуля 9.

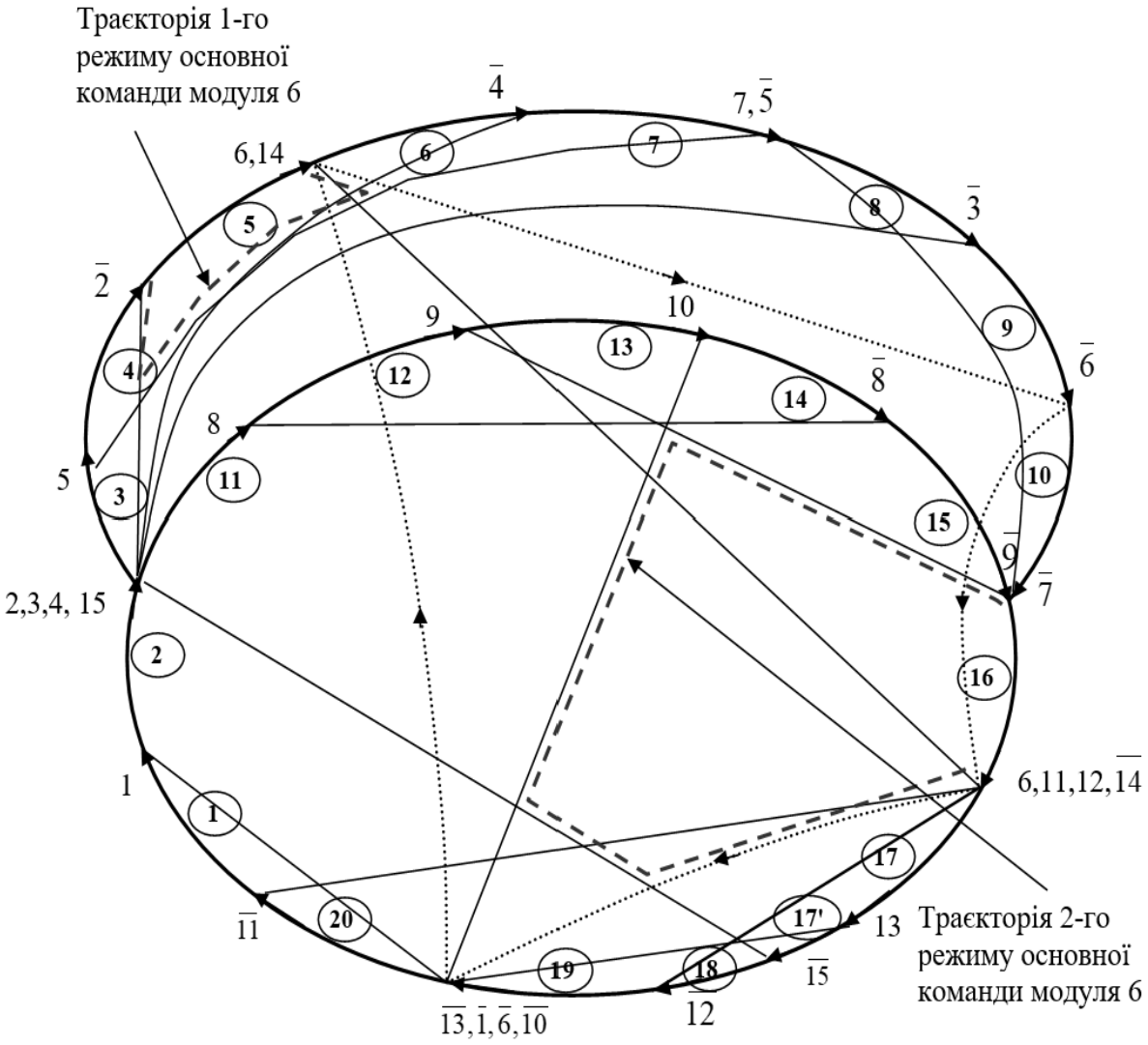


Рис. 2.57. Функціональний граф системи з паралельними підпроцесами, підграфом зв'язку, доповнений елементом пам'яті (модуль 15), з траєкторіями будови двох режимів основної команди багаторежимного модуля 6

- Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, який з'єднує початок обраної дуги з її кінцівкою і починається з лінії модуля 9 і з'єднує початок дуги 16

функціонального графу з її кінцівкою «$\bar{9}$ - 9 → 10 - $\overline{10}$ → 15 - $\overline{15}$ → $\bar{6}$ - 6» і при цьому:

- усі відрізки, окрім останнього ($\bar{6}$ - 6), мають напрям, узгоджений з функціональним графом,
- останнім відрізком є лінія зв'язку команди, що складаємо обраного режиму $\bar{6}$ - 6,
- траєкторія (контур) має мінімальну кількість відрізків,
- траєкторія ніде не торкається функціонального графу.

Отримано комплект ліній зв'язку, що утворюють контур (без останньої лінії):

«$\bar{9}$ - 9 → 10 - $\overline{10}$ → 15 - $\overline{15}$».

- Початковий варіант виразу команди 6-го модуля 2-го режиму (по внутрішньому циклу) має три множника (в маркуванні дуги №15 тільки один індекс – заміна не потрібна)

$$y_6^{R2} \Leftarrow x_{\bar{9}} * x_{10} * x_{15}.$$

- Лінія зв'язку модуля 7 (зовнішній контур) виходить з кінцевої вершини дуги №10, і сигнал $x_{\bar{7}}$ матиме одиничне значення до початку зворотної команди 6-го модуля, тобто у його подовженні немає необхідності. Він не обриватиме команди і не заважатиме відпрацюванню зворотної команди. Уточнений вираз команди керування 2-го режиму матиме вигляд:

$$y_6^{R2} \Leftarrow x_{\bar{9}} * x_{10} * x_{15} * x_{\bar{7}}.$$

- Оскільки в отриманому виразі містяться тільки сигнали однорежимних модулів, отриманий вигляд команди є остаточним для 2-го режиму:

$$y_6^{R2} \Leftarrow x_{\bar{9}} * x_{10} * x_{15} * x_{\bar{7}}.$$

Вираз команди для 1-го режиму.

- Обираємо на функціональному графі дугу, в маркуванні якої міститься індекс 1-го режиму основної команди модуля 6 (рис. 2.57, дуга 5).
- Будуємо контур з відрізків ліній зв'язку, з початком в початковій вершині і завершенням в кінцевій вершині цієї самої дуги за лінією зв'язку укладаємої команди.
- Маркуванню попередньої дуги відповідає всього один сигнал $x_{\bar{2}}$ (не потрібно шукати найменшу довжину), контур складають відрізки «$\bar{2}$ - 2 → 5 - $\bar{5}$→ $\bar{6}$ - 6» і при цьому:

усі відрізки, окрім останнього ($\bar{6}$ - 6), мають напрям, узгоджений з функціональним графом,
останнім відрізком є лінія зв'язку команди що складаємо обраного режиму (модуль 6, перший режим),
траєкторія (контур) має мінімальну кількість відрізків,
траєкторія ніде не торкається функціонального графу.

Отримано комплект ліній зв'язку, що утворюють контур:

«$\bar{2}$ - 2 → 5 - $\bar{5}$».

- Початковий варіант виразу команди 1-го режиму має два множники (у відповідності з побудованим контуром, що охоплює дугу 5) :

$$y_6^{R1} \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_5 .$$

- Добуток сформовано тільки з сигналів стану однорежимних модулів (сигнали $x_{\bar{2}}$ і x_5), тобто початковий і остаточний варіанти тотожні.
- Остаточний вигляд основної команди керування дворежимного модуля 6 в бістабільному варіанті:

$$y_6 \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_5 + x_{\bar{9}} * x_{10} * x_{15} * x_{\bar{7}} .$$

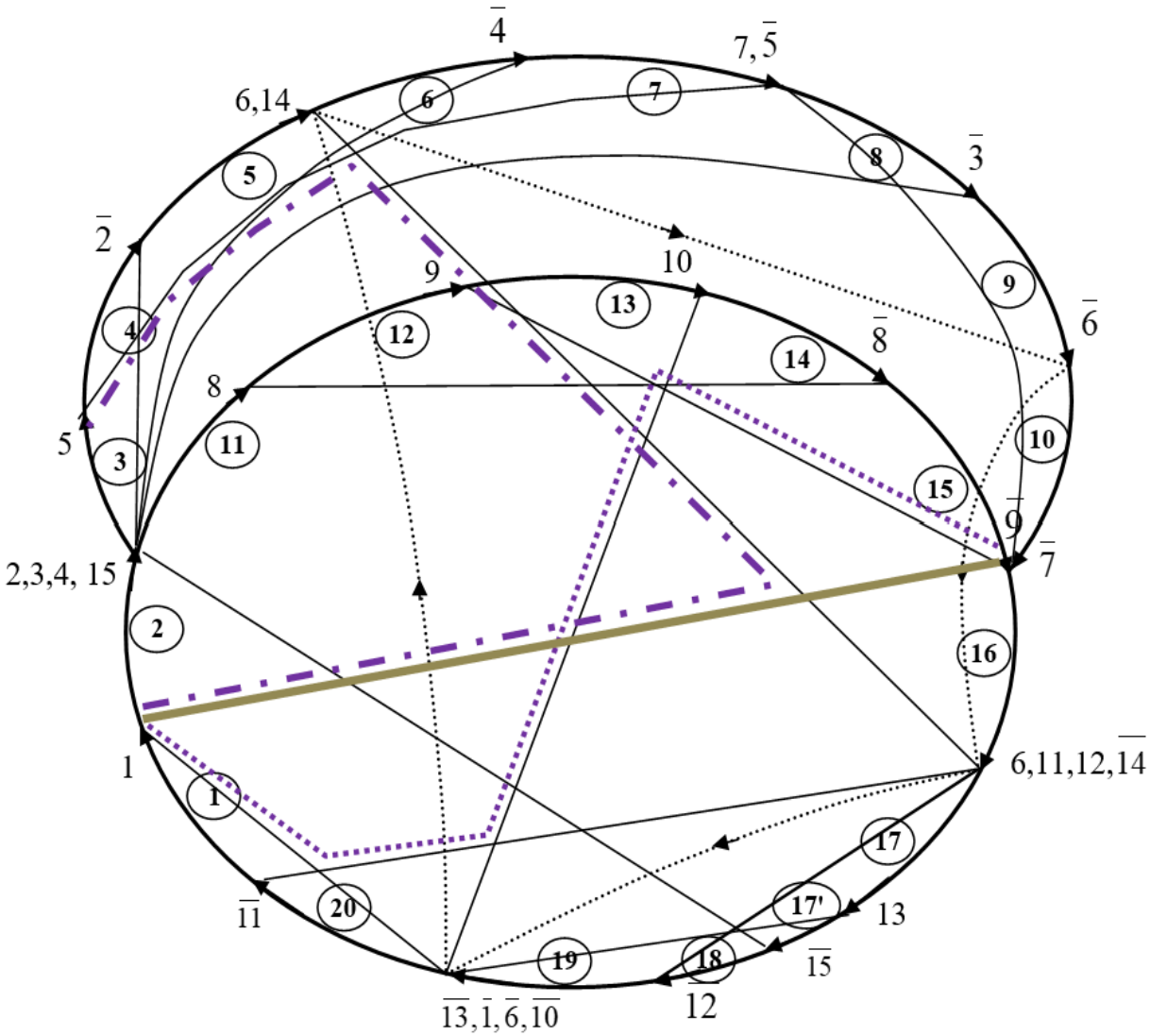


Рис. 2.58. Функціональний граф системи з паралельними підпроцесами, траєкторією для основної команди модуля 2 (штрих-пунктирна лінія), траєкторією переходу зі спільної частини графу до зовнішнього циклу шляхом використання лінії зв'язку 14-го модуля (крапчаста лінія), та фіктивній лінії (суцільна стовщена лінія) для побудованої траєкторії переходу

Приклад укладання бістабільного варіанту виразу основної команди однорежимного модуля 2 (рис. 2.58, особливість - перехід контуру з однієї площини графу в іншу). Вираз команди будуємо у бістабільному варіанті.

Формування траєкторії команди (контуру, ломаної лінії) відбувається у зворотному порядку, починаючи з кінцевої вершини дуги 2 з лінії зв'язку укладаємої команди.

Починаємо з лінії зв'язку команди y_2, її перетинає лише одна лінія зв'язку – модуля 5 (рис. 2.58).

Далі, лінію зв'язку модуля 5 перетинають дві лінії зв'язку інших модулів: модуля 6 (перший режим) і модуля 14.

Обираємо з них таку, що охоплює більшу кількість дуг графу (більше наближає до початку дуги 2): лінія зв'язку модуля 6 – чотири дуги (і цей модуль багаторежимний – додаткові ускладнення), лінія зв'язку модуля 14 – 6 дуг (і модуль однорежимний). Обираємо лінію зв'язку модуля 14.

Далі, шукаємо лінію зв'язку, яка перетинає лінію зв'язку модуля 14 і найближче підходить до початкової вершини дуги 2 (хоча би в вершини дуг 1, 20, 19, 18, 17). Однак, жодна лінія зв'язку, що перетинає лінію зв'язку модуля 14, не потрапляє до вершин перелічених дуг.

ОСОБЛИВІСТЬ. Будуємо додаткову ламану лінію з відрізків ліній зв'язку, так, щоб вона перетинала лінію модуля 14 і потрапляла в одну з необхідних вершин (бажано, одразу до кінцевої вершини дуги 1). Таку ламану отримуємо в спільній частині графу: «$\bar{9}$ - 9 $\rightarrow$ 10 - $\overline{10}\rightarrow$ 11 - $\overline{11}\rightarrow \bar{1}$ - 1» і при цьому:

- все відрізки узгоджені з напрямком графу,
- ламана лінія ніде не торкається графу і має мінімальну кількість відрізків.

Вираз побудованої ламаної лінії формуємо в прямому порядку (від початкової вершини з індексом команди до кінцевої вершини – дуга 2), з врахуванням кутів перетину відрізків ламаної, отримуємо:

$$x_1 * x_{\overline{11}} * x_{\overline{10}} + *x_9 .$$

Для розуміння, ця ламана може бути ілюстрована на графі фіктивною лінією зв'язку неіснуючого модуля (рис. 2.58), яка перетинає лінію зв'язку модуля 14.

З врахуванням фіктивної лінії зв'язку отримуємо вираз основної команди керування модуля 2:

$$y_2 \Leftarrow x_{fikt} * x_{\overline{14}} * x_{\bar{5}} = \left(x_1 * x_{\overline{11}} * x_{\overline{10}} + *x_9\right) * x_{\overline{14}} * x_{\bar{5}}.$$

Вираз доданої ламаної лінії, для коректності і розуміння структури команди, необхідно подати в дужках, але у випадку відсутності доданків в виразі команди, дужки не є обов'язковими.

Приклад укладання бістабільного варіанту виразу основної команди однорежимного модуля 8 (рис. 2.59, особливість – це перша дуга за розгалуженням – частина сигналів безпосередньої причини потрапляє в паралельний до команди підпроцес).

- Вираз команди укладаємо в бістабільному варіанті.
- Обираємо на функціональному графі дугу, в маркуванні якої міститься індекс основної команди модуля 8 (рис. 2.59, дуга 11, попередня дуга 2).

- Розглядаємо всі лінії зв’язку, що виходять з початкової вершини цієї дуги (11-ї). Це лінії зв’язку основних дій модулів 2, 3, 4, що розташовані в паралельній гілці графа, та лінія основної дії модуля 15, яка розташована в одному циклі з основною командою модуля 8 .
- Обираємо лінію зв’язку, що розташована в одному циклі з командою, та охоплює найменшу кількість дуг графу за напрямком його обходу. Лінія модуля 15 одна, і тому саме вона є початковим відрізком ламаної лінії що починає траєкторію команди.

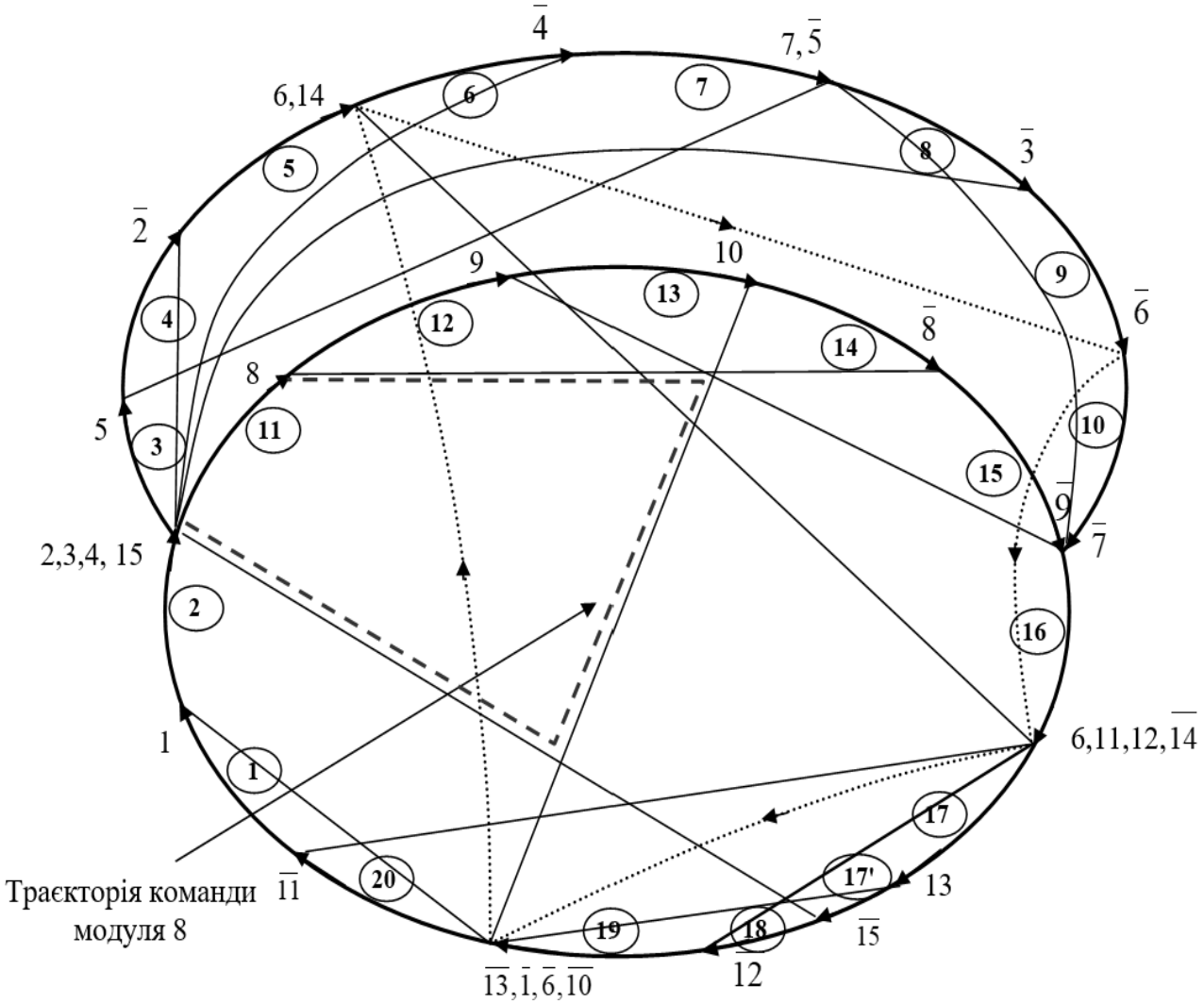


Рис. 2.59. Функціональний граф системи з паралельними підпроцесами, підграфом зв’язку, доповнений елементом пам’яті (модуль 15), з траєкторією будови основної команди однорежимного модуля 8 (пунктирна лінія)

- Будуємо траєкторію (ламану лінію з відрізків ліній зв’язку), з початковим відрізком лінії зв’язку модуля 15, таку, що з’єднує початок і кінцівку 11-ї дуги функціонального графу «15 - $\overline{15}$ → $\overline{10}$ - 10 → $\overline{8}$ - 8» і при цьому:

  - усі відрізки, окрім останнього ($\overline{8}$ - 8), мають напрям, узгоджений з функціональним графом,

  - останнім відрізком є лінія зв’язку команди, що складаємо, обраного режиму,

- ломана лінія має мінімальну кількість відрізків, ломана лінія ніде не торкається функціонального графу.

Отримана наступна ламана лінія або траєкторія формування команди :

«15 - $\overline{15} \rightarrow \overline{10}$ - 10 ».

- Початковий варіант виразу команди, побудований за внутрішнім циклом, має вигляд $y_8 \Leftarrow x_{15} * x_{\overline{10}}$.
- Виконуємо заміну першого множника добутком всіх сигналів, що складають безпосередню причину: $y_8 \Leftarrow (x_2 * x_3 * x_4) * x_{15} * x_{\overline{10}}$.
- Перевіряємо, чи втримає вираз одиничне значення до повного відпрацювання команди і отримання відповідного сигналу стану?

Добуток сигналів x_2, x_3, x_4 має одиничне значення тільки на одній 3-й дузі графу. Ця дуга належить гілці, що є паралельною до дуги 11 на якій відбувається відпрацювання команди.

Дії і сигнали стану модулів 2, 3 і 4 з паралельної гілки, починаючи з дуги 3 і до дуги 10, існують незалежно від перебігу дій на дузі 11 (під час виконання основної дії модуля 8, рис. 2.59). Тобто, побудований вираз команди може в будь-яку мить, протягом відпрацювання дуги 11, отримати нульове значення, навіть раніше, ніж буде сформовано сигнал керування основної команди модуля 8.

Таким чином, умова прибирання сигналу основної команди до початку виконання зворотної команди забезпечена виразом $y_8 \Leftarrow x_{15} * x_{\overline{10}}$.

Але умова збереження сигналу команди, хоча б до моменту її відпрацювання, не забезпечена, що спричинено множниками безпосередньої причини, що належать до паралельної гілки.

Множники, що сформовано з сигналів стану запозичених з паралельної гілки, необхідно подовжити (логічне додавання) якнайменше до повного відпрацювання основної дії модуля 8.

Подовження одиничного значення такого множника забезпечуємо до такої дуги графу, що на мить її виконання основна команда модуля 8 є повністю виконаною, і це підтверджено одиничним значенням сигналу x_8 .

Можливо, що до цього моменту буде відпрацьовано не тільки основну, а навіть і зворотну команду модуля 8.

Оскільки вираз безпосередньої причини має одиничне значення тільки на 3-й дузі, то першим подовжуючим сигналом можна обрати x_5. Тоді сума збереже одиничне значення на дугах 5 і 6. Другим подовжуючим сигналом обираємо x_{14}. Він подовжить одиничне значення до початку 16-ї дуги, тобто, за межі 15-ї дуги. А саме 15-а дуга розташована вже в одному циклі з основною командою модуля 8, яка припадає на 11-у дугу. Тобто, доданок утримує одиничне значення виразу команди на протязі часу її відпрацювання, необхідна умова виконана.

Отримуємо остаточний вигляд основної команди модуля 8 в бістабільному варіанті:

$$y_8 \Leftarrow (x_2 * x_3 * x_4 + x_5 + x_{14}) * x_{15} * x_{\overline{10}}.$$

Далі наведено вирази бістабільного варіанту для прикладу системи (рис. 2.59) для всіх інших команд, з наведеними курсивом поясненнями.

$$y_1 \Leftarrow x_{\overline{11}}$$

Сигнал – безпосередня причина $x_{\overline{11}}$ *є одночасно достатньою умовою виразу команди. Початковий варіант ламаної лінії (траєкторії будови команди) вміщує один відрізок:* $\overline{11}$.

$$y_{\overline{1}} \Leftarrow x_{\overline{12}} * x_{\overline{15}} * x_{11}$$

Траєкторія будови команди (ламана лінія) вміщує тільки лінії зв'язку однорежимних модулів, які розташовані в одному циклі з командою. Початковий варіант ламаної (траєкторії команди): $\overline{12} \to \overline{15} \to 11$.

$$y_2 \Leftarrow (x_1 * x_{\overline{11}} * x_{\overline{10}} + *x_9) * x_{\overline{14}} * x_{\overline{5}}$$

Початковий варіант траєкторії будови команди (ламаної лінії) вміщує два відрізки ліній зв'язку модулів 14 і 15 та фіктивну обмежуючу ламану лінію $Fikt \to \overline{14} \to \overline{5}$. *Фіктивна лінія зв'язку - додана ламана, що її утворюють лінії модулів 1, 11, 10 і 9, (* $1 \to \overline{11} \to \overline{10} \to 9$*), забезпечує перехід з внутрішнього циклу на зовнішній.*

$$y_{\overline{2}} \Leftarrow x_5$$

Сигнал – безпосередня причина x_5 *є одночасно достатньою умовою виразу команди. Початковий варіант ламаної (траєкторії будови команди) вміщує лише один відрізок:* 5 .

$$y_3 \Leftarrow (x_1 * x_{\overline{11}} * x_{\overline{10}} + *x_9) * x_{\overline{14}}$$

Траєкторія будови команди (ламана лінія) вміщує один відрізок лінії зв'язку модуля 14 і фіктивну лінію зв'язку від доданої ламаної лінії $Fikt \to \overline{14}$.
Фіктивна лінія зв'язку - додана ламана, що її утворюють лінії модулів 1, 11, 10 і 9, $1 \to \overline{11} \to \overline{10} \to 9$*, забезпечує перехід з внутрішнього циклу на зовнішній.*

$$y_{\overline{3}} \Leftarrow x_7 * x_{\overline{5}}$$

Траєкторія будови команди (ламана лінія) вміщує тільки лінії зв'язку однорежимних модулів, які розташовані в одному циклі з командою. Початковий варіант ламаної (траєкторії команди): 7 .

$$y_4 \Leftarrow (x_1 * x_{\overline{11}} * x_{\overline{10}} + *x_9) * x_{\overline{14}}$$

Траєкторія вміщує одну лінію зв'язку модуля 14 і фіктивну лінію $Fikt \to \overline{14}$.
Фіктивна лінія зв'язку - додана ламана, що її утворюють лінії модулів 1, 11, 10 і 9, $1 \to \overline{11} \to \overline{10} \to 9$*, забезпечує перехід з внутрішнього циклу на зовнішній.*

$$y_{\bar{4}} \Leftarrow x_6 * x_{14}$$

Траєкторія будови команди (ламана лінія) вміщує тільки вираз безпосередньої причини. Лінія зв'язку однорежимного модуля 14 перетинає лінію зв'язку зворотної команди 4-го модуля, тобто не потрібно перевіряти сигнал багаторежимного модуля 6 на хибне спрацювання. Початковий варіант траєкторії: 14 .

$$y_5 \Leftarrow x_2 * x_3 * x_4 * x_{15}$$

Траєкторія будови команди (ламана лінія) вміщує тільки вираз безпосередньої причини (складають сигнали однорежимних модулів). Лінії зв'язку модулів 2 і 4 перетинають лінію зв'язку команди модуля 5. Початковий варіант траєкторії лінія 2.

$$y_{\bar{5}} \Leftarrow x_{\bar{4}} * x_{14}$$

Траєкторія будови команди (ламана лінія) вміщує тільки відрізки ліній зв'язку однорежимних модулів. Початковий варіант траєкторії: $\bar{4} \to 14$.

$$y_6 \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_5 + (x_{\bar{9}} * x_{10} * x_{15}) * x_{\bar{7}}$$

Вираз команди багаторежимного модуля має вигляд суми виразів для двох режимів. Траєкторія будови команди (ламана лінія) першого режиму вміщує два відрізка ліній зв'язку однорежимних модулів. Початковий варіант траєкторії: $\bar{2} \to 5$ *. Вираз команди для 1-го режиму:* $y_6^{R1} \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_5$.

Команда для 2-го режиму має дві складових безпосередньої причини: в зовнішньому циклі (лінія модуля 7) і у внутрішньому циклі (лінія модуля 9). Побудову траєкторії команди базуємо на безпосередній причині одного з циклів, а добуток двох складових безпосередньої причини вводимо як заміну раніше використаної.

Траєкторія будови команди (ламана лінія) 2-го режиму вміщує три відрізка ліній зв'язку однорежимних модулів (перевірка не потрібна). Початковий варіант траєкторії: $\bar{9} \to 10 \to 15$. *Логічний вираз команди з використанням внутрішнього циклу для 2-го режиму* $y_6^{R2*} \Leftarrow x_{\bar{9}} * x_{10} * x_{15}$. *Після заміни з врахуванням зовнішнього циклу:* $y_6^{R2} \Leftarrow (x_{\bar{9}} * x_{10} * x_{15}) * x_{\bar{7}}$.

$$y_{\bar{6}} \Leftarrow x_{\bar{3}} * x_7 + x_{\overline{12}} * x_{\overline{15}}$$

Вираз команди багаторежимного модуля отримано шляхом додавання виразів всіх режимів. Траєкторія будови команди (ламана лінія) 1-го режиму вміщує дві лінії зв'язку однорежимних модулів. Початковий варіант траєкторії: $\bar{3} \to 7$. *Вираз команди для 1-го режиму* $y_{\bar{6}}^{R1} \Leftarrow x_{\bar{3}} * x_7$.

Траєкторія будови команди (ламана лінія) 2-го режиму вміщує дві лінії зв'язку однорежимних модулів. Початковий варіант траєкторії: $\overline{12} \to \overline{15}$. *Вираз команди для 2-го режиму:* $y_{\bar{6}}^{R2} \Leftarrow x_{\overline{12}} * x_{\overline{15}}$.

$$y_7 \Leftarrow x_{\bar{4}} * x_{14} * x_3$$

Траєкторія будови команди може бути виконана в декількох варіантах.
Варіант 1. Траєкторію складають два відрізки, один з яких належить багаторежимному модулю (передбачає перевірку): $\overline{4} \to 6$. *Для запобігання хибному спрацюванню має бути введений обмежуючий множник у вигляді сигналу стану модуля 3.*

Вираз команди: $y_7 \Leftarrow x_{\bar{4}} * x_6 * x_3$.

Варіант 2. Траєкторію складають три відрізки, всі належать однорежимним модулям (перевірка не потрібна): $\overline{4} \to 14 \to 3$.

$$y_{\bar{7}} \Leftarrow x_{\bar{6}}$$

Траєкторія будови команди (ламана лінія) вміщує одну лінію зв'язку багаторежимного модуля 6, тобто початковий варіант траєкторії має вигляд $\overline{6}$. *Другий режим задіяного модуля належить зоні збереження укладаємої команди, тобто, обмеження не потрібно.*

$$y_8 \Leftarrow (x_2 * x_3 * x_4 + x_5 + x_{14}) * x_{15} * x_{\overline{10}}$$

Лінія зв'язку укладаємої команди належить внутрішньому циклу. Команда має безпосередні причини у внутрішньому циклі (модуль 15) та в зовнішньому циклі (модулі 2, 3, 4). Тобто, вираз команди матиме вигляд добутку. Траєкторія будови команди за власним (внутрішнім) циклом вміщує лінії зв'язку двох однорежимних модулів: $15 \to \overline{10}$. *Безпосередню причину зовнішнього циклу подовжуємо доданками (сигнали стану модулів 5 і 14) до гарантованого відпрацювання сформованої команди.*

$$y_{\bar{8}} \Leftarrow x_{10}$$

Траєкторія будови команди вміщує одну лінію зв'язку однорежимного модуля: 10 *(перевірка не потрібна).*

$$y_9 \Leftarrow x_8$$

Траєкторія будови команди вміщує одну лінію зв'язку однорежимного модуля: 8 *(перевірка не потрібна).*

$$y_{\bar{9}} \Leftarrow x_{\bar{8}}$$

Траєкторія будови команди вміщує одну лінію зв'язку однорежимного модуля: 8 *(перевірка не потрібна).*

$$y_{10} \Leftarrow x_9$$

Траєкторія будови команди вміщує одну лінію зв'язку однорежимного модуля: 9 *(перевірка не потрібна).*

$$y_{\overline{10}} \Leftarrow x_{\overline{12}} * x_{\overline{15}}$$

Траєкторія будови команди вміщує дві лінії зв'язку однорежимних модулів: $\overline{12} \to \overline{15}$ *(перевірка не потрібна).*

$$y_{11} \Leftarrow x_{\bar{9}} * x_{10} * x_{\bar{7}}$$

Траєкторія будови команди за внутрішнім циклом вміщує дві лінії зв'язку однорежимних модулів. Початковий варіант: $\bar{9} \to 10$. *Логічний вираз за внутрішнім циклом* $x_{\bar{9}} * x_{10}$. *Остаточний варіант отримано після введення додаткового множника за зовнішнім циклом.*

$$y_{\overline{11}} \Leftarrow x_{\overline{13}} * x_{\bar{1}} * x_{\bar{6}} * x_{\overline{10}}$$

Траєкторія будови команди вміщує лише одну лінію зв'язку однорежимного модуля 1, що належить до безпосередніх причин. Початковий варіант траєкторії: $\bar{1}$.

$$y_{12} \Leftarrow x_{\bar{9}} * x_{10} * x_{15} * x_{\bar{7}}$$

Траєкторія будови команди для внутрішнього циклу вміщує три лінії зв'язку однорежимних модулів (перевірка не потрібна). Початковий варіант траєкторії: $\bar{9} \to 10 \to 15$. *Логічний вираз для внутрішнього циклу* $x_{\bar{9}} * x_{10} * x_{15}$. *Остаточний вигляд отримано після введення множника із зовнішнього циклу.*

$$y_{\overline{12}} \Leftarrow x_{\overline{15}}$$

Траєкторія будови команди вміщує одну лінію зв'язку однорежимного модуля: 15 *(перевірка не потрібна).*

$$y_{13} \Leftarrow x_{6} * x_{11} * x_{12} * x_{\overline{14}}$$

Траєкторія будови команди вміщує одну лінію зв'язку однорежимного модуля 12, що належить до безпосередньої причини (перевірка не потрібна). Початковий варіант траєкторії: 12 .

$$y_{\overline{13}} \Leftarrow x_{\overline{12}}$$

Траєкторія будови команди вміщує одну лінію зв'язку однорежимного модуля: 12 *(перевірка не потрібна).*

$$y_{14} \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_{5}$$

Траєкторія будови команди вміщує дві лінії зв'язку однорежимних модулів (перевірка не потрібна). Початковий варіант траєкторії: $\bar{2} \to 5$.

$$y_{\overline{14}} \Leftarrow x_{\bar{7}} * x_{\bar{3}} * x_{\bar{9}}$$

Траєкторія будови команди для зовнішнього циклу вміщує дві лінії зв'язку однорежимних модулів (перевірка не потрібна). Початковий варіант траєкторії: $\bar{7} \to \bar{3}$. *Логічний вираз* $x_{\bar{7}} * x_{\bar{3}}$. *Остаточний вигляд отримано після введення множника із внутрішнього циклу.*

$$y_{15} \Leftarrow x_1 * x_{\overline{11}}$$

Траєкторія будови команди вміщує дві лінії зв'язку однорежимних модулів (перевірка не потрібна). Початковий варіант траєкторії: $1 \to \overline{11}$.

$$y_{\overline{15}} \Leftarrow x_{13}$$

Траєкторія будови команди вміщує одну лінію зв'язку однорежимного модуля (перевірка не потрібна). Початковий варіант траєкторії: 13.

Питання мінімізації виразів команд і системи керування. З використанням наведених методик, в загально прийнятому сенсі, мінімізація логічних виразів вже виконана. Так само, як і для систем 1 … 3-го класів, існує певна можливість спрощення деяких виразів команд і схем в системі керування. Однак, отриманий ефект від мінімізації буде суттєво меншим з наступних причин.

Системи керування 4-го класу, в основному, базуються на використанні вільно-програмованих контролерів, для яких 10 … 20% скорочення тексту програми або кількості внутрішніх змінних не є обмеженням. У випадку поєднання в спільній системі апаратних та алгоритмічних засобів додаткова мінімізація може бути корисною щодо апаратної частини. Для цього можуть бути застосовані такі дії та маніпуляції.

Винесення спільних множників за дужки (зменшення кількості логічних функцій).

Максимальна кількість застосувань однакових сигналів в командах різних модулів (повторне використання однакових добутків сигналів в різних командах, добуток визначено та реалізовано один раз, а використано багатократно). Дає певний ефект для апаратної реалізації у пневматиці і гідравліці.

Виконання логічного множення за допомогою ліній живлення датчиків (мало ймовірно для складних систем).

За умов алгоритмічної реалізації кожна надлишкова логічна функція – це додані операнди в алгоритмі керування. Зменшення більш як на 50% кількості логічних функцій є суттєвим для спрощення алгоритму керування, але синтезована система команд керування за наданою методикою настільки близька до мінімальної, що питання торкнеться, в кращому разі, декількох відсотків.

Разом з цим, будь яка суто формальна мінімізація виразів команд руйнує відповідність між складом команди і її змістом в контексті системи. Така мінімізація ускладнює помодульне складання та налагодження систем, зменшує її відкритість до подальшої модернізації, ускладнює додавання нових функцій чи введення додаткових модулів системи.

2.6. МЕТОДИКИ СИНТЕЗУ СИСТЕМ 5-ГО КЛАСУ СКЛАДНОСТІ

2.6.1. Формалізація опису систем 5-го класу, функціональний граф

П’ятий клас – це альтернативні замкнені системи. Процес роботи системи має альтернативні підпроцеси, об’єднані в замкнену структуру. Система, за допомогою чутливих модулів, обирає потрібну альтернативу для виконання наступних дій. Кількість альтернатив необмежена. В кожній альтернативі має бути хоча б 3 послідовних відрізки. Загальна структура процесу замкнена (початок співпадає із завершенням). На відміну від систем 1-го, 2-го, 3-го і 4 класів системи п’ятого класу забезпечують функції автоматичної адаптації до зміни умов чи режимів використання і мають можливість налаштування на автоматичний випуск декількох видів продукції.

Системи з альтернативними варіантами можливих дій дозволяють чергувати відпрацювання системою декількох режимів роботи (рис. 2.60). Можливе ієрархічне (деревовидне) поділення режимів з наступним поверненням до попередніх режимів роботи системи.

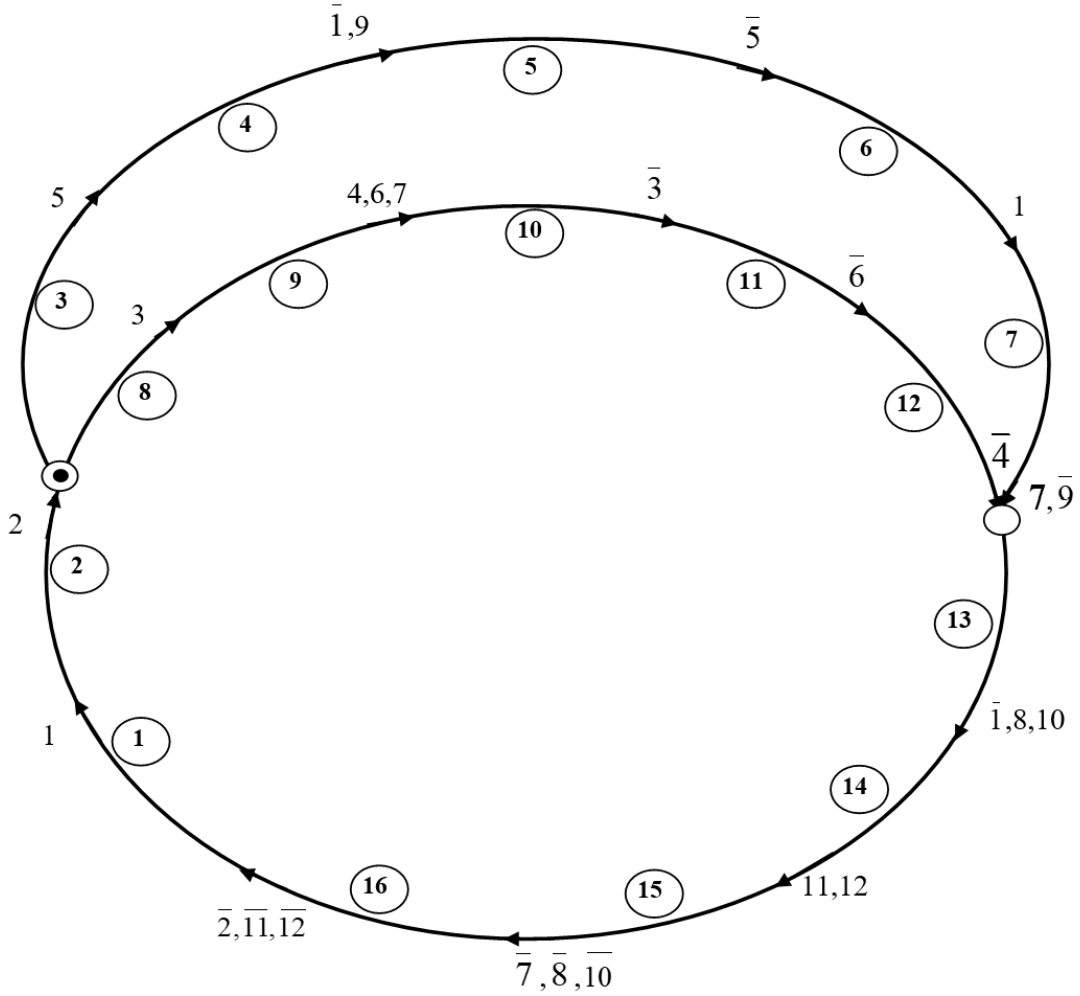


Рис. 2.60. Функціональний граф системи 5-го класу з альтернативними підпроцесами: в кружечках позначено номери дуг; початковими дугами альтернативних процесів є дуги №3 і №8, кінцевими дугами альтернативних процесів є дуги №7 і №12

Обов’язковим є існування спільного для альтернативних режимів фрагменту, після якого відбувається визначення актуальної альтернативи і перехід до відпрацювання відповідного режиму.

Прикладами систем 5-го класу, наприклад, є технологічні системи з автоматичним тестуванням стану обладнання, складальні ланки з вхідним контролем складових компонентів і вихідним контролем виробів, системи гнучкого автоматизованого виробництва з визначенням типу виробу за результатом вхідного контролю складових чи замовлення, комплексні енергетичні системи з комбінованим використанням декількох джерел енергії, автоматизовані випробувальні станції та ін..

Структура і зміст модулів альтернативних систем, як функціональних (виконавчі, керуючі та контролюючі пристрої), так і системних (функціональний модуль із логічними умовами використання), майже однакові з раніше розглянутими структурами для циклових та асинхронних систем.

Особливими є модулі альтернативного вибору об’єднані в **пари.** Один модуль з пари забезпечує перехід до однієї альтернативи («А»), а другий модуль такої пари забезпечує перехід до другої альтернативи («Б»). Модулі мають особливе інформаційне навантаження. Кількість таких модулів дорівнює кількості альтернативних режимів в системі.

Модуль альтернативного вибору є суто інформаційним, як елемент пам’яті. Його призначення – підтвердження, або спростування умов, достатніх для початку альтернативного процесу.

За формою, кожний модуль альтернативного вибору має вигляд модифікованого елемента пам’яті.

Вмикання модуля: вмикання відбувається при одночасному існуванні сигналу команди керування і позитивного результату перевірки логічних умов входу в альтернативний процес.

Вимикання модуля: вимикання відбувається при існування сигналу команди на вимикання без додаткових умов.

Зміст основних дій для кожного з пари модулів альтернативного вибору має бути взаємовиключним. Тобто, додаткова умова на вмикання основної дії одного модуля з пари тотожна запереченню додаткової умови іншого модуля з цієї самої пари.

Зміст основної дії модуля в узагальненому вигляді можна сформулювати наступним чином:

-розпочати перевірку умов входження системи в альтернативний підпроцес «А».

Зміст зворотної функції модуля в узагальненому випадку можна сформулювати наступним чином:

-зупинити перевірку умов входження системи в альтернативний підпроцес «А».

Приклади змісту основних і зворотних дій одного альтернативного модуля можуть мати як вигляд простих, так і складних логічних умов (в прикладі перша

цифра в позначенні модуля – це номер модуля у складі пари альтернативного вибору, друга цифра – номер пари модулів в прикладі):

Основна дія	Зворотна дія
Модуль 1-1	
Розпочати перевірку тиску >P1	Припинити перевірку тиску >P1
Модуль 2-1	
Розпочати перевірку тиску ≤ P1	Припинити перевірку тиску ≤ P1
Модуль 1-2	
Розпочати перевірку наявності деталі	Припинити перевірку наявності деталі
Модуль 2-2	
Розпочати перевірку відсутності деталі	Припинити перевірку відсутності деталі
Модуль 1-3	
Розпочати перевірку наявності гільзи розміром X1 з фланцем і отвором біля основи циліндру (гільза циліндру, варіант 1)	Припинити перевірку наявності гільзи розміром X1 з фланцем і отвором біля основи циліндру (гільза циліндру, варіант 1)
Модуль 2-3	
Розпочати перевірку наявності гільзи розміром X1 без фланця з отвором біля основи циліндру (гільза циліндра, варіант 2)	Припинити перевірку наявності гільзи розміром X1 без фланця з отвором біля основи циліндру (гільза циліндра, варіант 2)

В наведеному прикладі можна побачити як формулювання змісту основних та зворотних дій (функцій) кожного модуля, так і побачити взаємну неприпустимість основних дій двох модулів з однієї пари альтернативного вибору.

Функціональний граф систем 5-го класу має розгалужену, орієнтовану, замкнену структуру, що вміщує поряд із звичайними дугами-переходами вершини і дуги альтернативного вибору одного з несумісних підпроцесів (рис. 2.60). Функціональний граф перетворюється в цикл або граф паралельної системи за умов, що виконуватиметься тільки одна фіксована альтернатива на кожному альтернативному переході.

Кожна дуга графу має звичайне маркування, таке саме, як і в циклових системах – в кожному маркуванні дуги містяться індекси виконуваних модулями дій.

Перевірка коректності. В альтернативному графі можуть бути помічені безальтернативні, орієнтовані в фіксованому напрямку, циклові або паралельні підпроцеси. Під час обходу кожного замкненого контуру в графі, для кожного модуля, основні і зворотні індекси мають чергуватися. В маркуванні дуг, наступних за вершиною альтернативного вибору, міститься тільки по одному індексу основної дії – перевірки умов альтернативного вибору.

В функціональному графі не може бути жодної дуги без маркування. Сума індексів в маркуванні дуг певного фрагменту графу (від дуги А до дуги В) не залежить від варіанту альтернативи, за якою побудовано траєкторію переходу між дугами. Наприклад, перехід з дуги 2 на дугу 13.

За верхньою альтернативою: 5, $\bar{1}$, 9, $\bar{5}$, 1, 7, $\bar{9}$, після скорочення пар взаємообернених індексів маємо: 7.

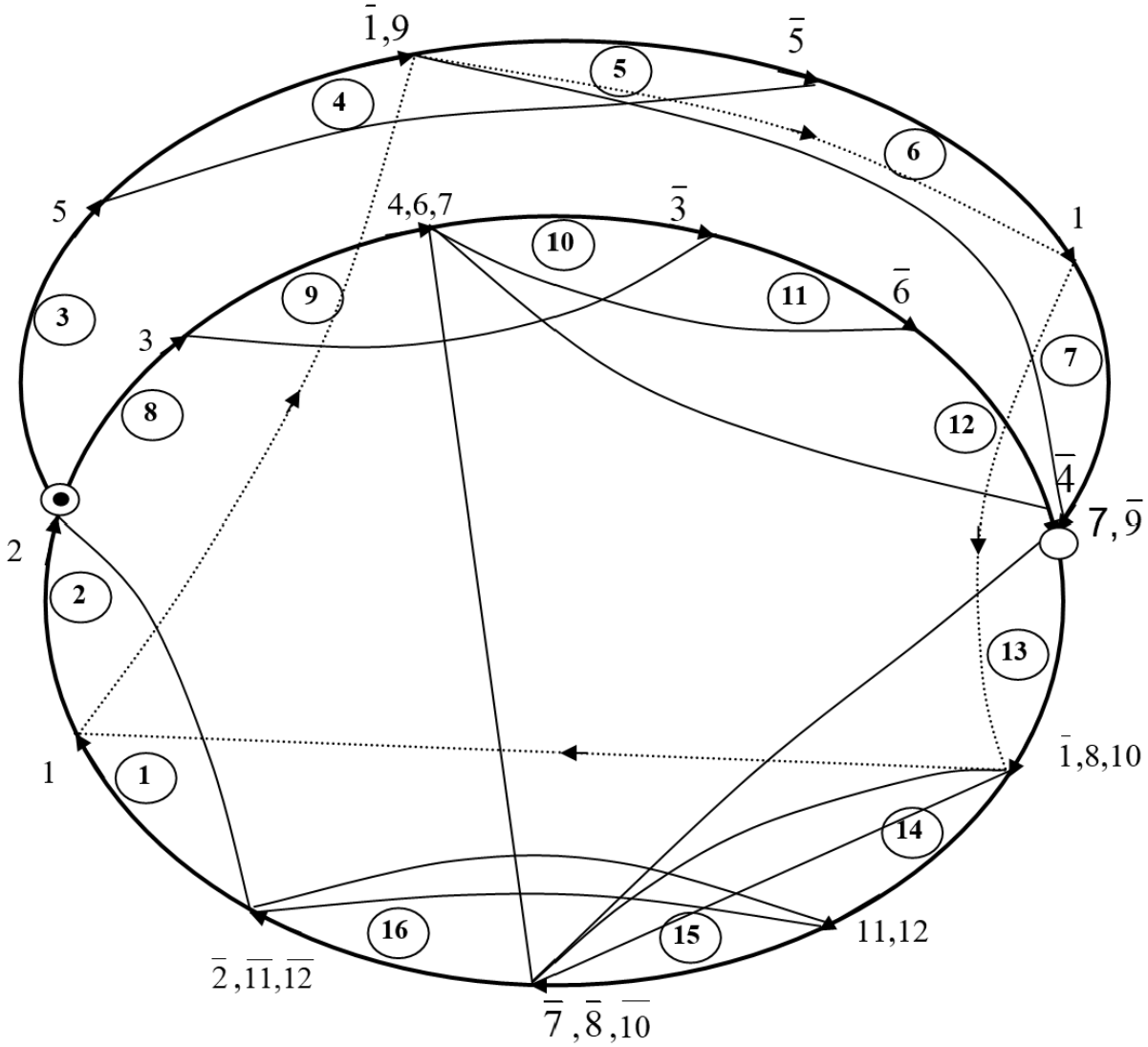


Рис. 2.61. Функціональний граф з підграфом зв'язку для системи 5-го класу з двома альтернативними підпроцесами, в кружечках позначено номери дуг, завершення дуги 2 – альтернативний вибір, початок дуги 13 – завершення альтернативних підпроцесів

За нижньою альтернативою: 3, 4, 6, 7, $\bar{3}$, $\bar{6}$, $\bar{4}$, після скорочення пар взаємообернених індексів маємо: 7.

Підграф зв'язку має форму, в основному, побудовану за правилами циклових систем (лінії зв'язку однорежимних модулів не мають напрямку, лінії зв'язку багаторежимних модулів мають напрямок, узгоджений з напрямком обходу дуг функціонального графу). Лінії зв'язку кожного модуля мають бути

побудовані в кожному з альтернативних контурів, після чого всі лінії одного модуля мають бути вміщені на функціональному графі системи.

Перетин ліній зв'язку. Дві лінії зв'язку мають перетин, якщо вони мають геометричний перетин та належать до спільного безальтернативного контуру. Якщо вони належать до різних альтернативних контурів, то вони належать і до різних підпроцесів, і їх наочний геометричний перетин не є наслідком логічного перетину. Так би мовити, ці лінії належать різним етапам роботи системи, але в погляді «з майбутнього» або «з минулого» їх проекції нібито мають перетин, а насправді вони мимобіжні.

Нумерація дуг функціонального графу не є обов'язковою, але на етапі дослідження логічної визначеності, для використання аналітичної методики, нумерація необхідна (рис. 2.60, 2.61).

Спершу має бути обрано початкову дугу процесу, бажано, початок процесу призначати на безальтернативну частину графу. Ця дуга отримує номер 1. Далі, послідовно (так само, як для систем 1 - 4-го класів), відбувається нумерація дуг за одним з альтернативних підпроцесів, аж до вершини поєднання з раніше пропущеною альтернативною гілкою графу. Після цього необхідно повернутися до раніше пропущеного альтернативного розгалуження, і відбувається нумерація дуг з пропущеного альтернативного підпроцесу. Нумерацію дуг продовжуємо за останньою вже пронумерованою дугою.

Далі, починаючи з вершини об'єднання альтернативних підпроцесів, продовжуємо нумерацію дуг графу. При об'єднанні альтернативних підпроцесів, для подальшої нумерації дуг, всі дуги кожної з пройдених альтернативних гілок мають бути вже пронумеровані. Тільки після цього нумерація дуг можу бути продовжена. Нумерація дуг триватиме доти, доки ми не повернемося до початкової дуги, що має номер 1.

Якщо початку роботи системи відповідає дуга альтернативної гілки, то нумерація відбувається за цією гілкою до вершини об'єднання з іншою альтернативною гілкою. Після цього нумерація продовжується за безальтернативною частиною графу до першої вершини альтернативного вибору. Далі нумерація здійснюється за вище наведеною послідовністю. При цьому використовуємо правило, що кожна наступна дуга має номер, більший за свою чи свої попередні дуги, окрім початкової дуги або дуг початкового перерізу (коли процес розпочато за декількома паралельними підпроцесами).

2.6.2. Дослідження логічної визначеності систем 5-го класу

Для загального випадку системи дослідження не може бути виконано за графічними методиками, аналогічним до методик, розглянутих для систем 1 … 4-го класів. За графічною методикою може бути досліджено кожний замкнений безальтернативний цикл функціонального графу. Але при цьому буде знайдено лише частину ліній невизначеності, а от гарантувати відсутність логічної невизначеності за результатами такого дослідження неможливо. Лінії невизначеності, тобто втрата пам'яті системою, можуть припадати на гілки

альтернативних підпроцесів, і їх не можливо побачити за графічними методиками.

Аналітична методика базується на розрахунку відносного значення пам'яті, розрахованого по відношенню до початку відрахунку пам'яті системи $S_{i/j}$, але з врахуванням особливостей альтернативного процесу (рис. 2.62).

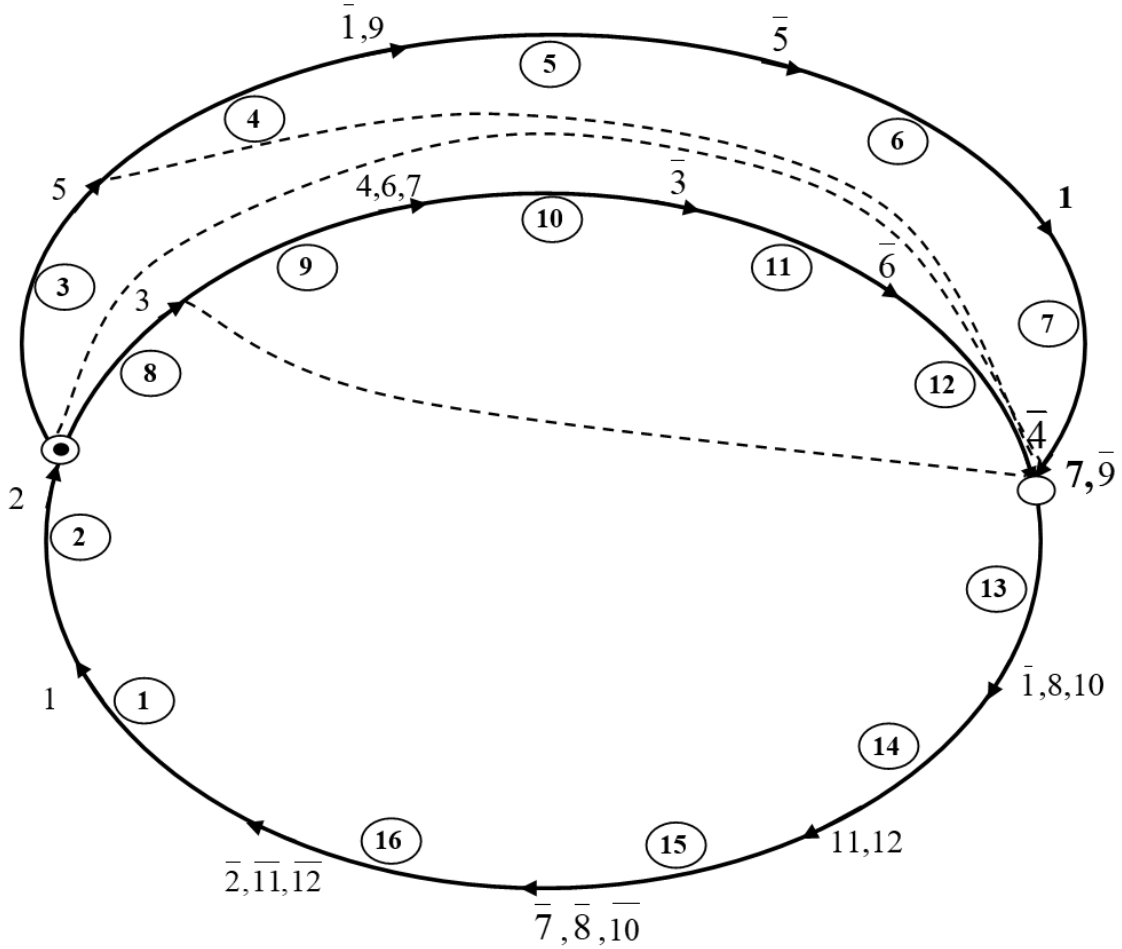


Рис. 2.62. Функціональний граф системи з альтернативними гілками (підпроцесами), в кружечках вказано номери дуг, пунктиром позначено лінії невизначеності

Якщо обрати за початок відліку довільний стан системи (наприклад, дуга i), то розрахунок відносного значення пам'яті можливо виконати для кожного з наступних станів системи, у відповідності з функціональним графом (наприклад, для дуги j). Якщо в такому випадку розраховане значення відносної пам'яті дорівнюватиме нулю, то це засвідчує відпрацювання системою повного логічного циклу дій, повернення на початок циклу і наступне його повторення нескінченну кількість разів. Тобто, опинившись в початковому стані система відповідно до логічних виразів команд керування, повторюватиме цей самий цикл. Щодо очікуваного процесу дій системи відповідно до функціонального графу, то вона є логічно неприпустима.

Основна відмінність розрахунку доданої (відносної) пам'яті для альтернативних систем з'являється при розрахунку доданої пам'яті за маршрутом, що переходить з одного режиму на інший режим, тобто для дуг, що

належать взаємо-альтернативним підпроцесам. По перше, для розрахунку доданої пам’яті на шляху між двома станами альтернативної системи (двома дугами функціонального графу) необхідно побудувати траєкторію переходу від початкової дуги до кінцевої. Далі, скласти перелік всіх індексів з маркувань подорожніх дуг (з врахуванням основних та зворотних дій). Тобто, якщо до побудованої траєкторії увійшло 5 дуг, то перелік відпрацьованих дій складає результат роботи системи на обраному відрізку.

Наприклад, розглянемо траєкторію між дугами 1 і 12 (рис. 2.62). Траєкторію складають дуги 2, 8, 9, 10,11. Складаємо перелік виконаних дій: начало траєкторії: $\Rightarrow$ 2$\Rightarrow$ 3$\Rightarrow$ 4,6,7$\Rightarrow\bar{3}\Rightarrow\bar{6}$ $\Rightarrow$ кінець траєкторії. Прибираємо взаємо-зворотні індекси:

$$2, 3, 4, 6, 7, \bar{3}, \bar{6} = 2, 4, 7.$$

Результат роботи системи на відрізку процесу складає: 2, 7. Отримуємо відносне або додане значення пам’яті: $S_{12/1} = 2 + 7$.

Висновок: система, після відпрацювання обраної траєкторії переходу між її початком та кінцівкою не повернулась до початкового стану. Тобто пам'ять системи має інформацію щодо отриманого результату, і за цією інформацією система керування може визначити наступні необхідні дії системи, що дозволить продовжувати процес у відповідності з функціональним графом і технологією, яку в ньому закладено.

Для функціонального графу (рис. 2.62) на відрізку між дугою №2 і дугою №13 перехід може бути побудованим за трьома варіантами траєкторії: а) з використанням верхньої альтернативної гілки графу, б) з використанням нижньої альтернативної гілки графу, в) за безальтернативною гілкою, але в зворотному напрямку, від дуги №13 до дуги №2.

Відносне значення пам’яті:

варіант а) $S_{13/2} = 5 + \bar{1} + 9 + \bar{5} + 1 + 7 + \bar{9} = 7$;

варіант б) $S_{13/2} = 3 + 4 + 6 + 7 + \bar{3} + \bar{6} + \bar{4} = 7$;

варіант в) $S_{2/13} = 11 + 12 + \bar{7} + \bar{8} + \overline{10} + \bar{2} + \overline{11} + \overline{12} + 1 = \bar{7}$.

Варіант, в якому було змінено напрямок руху траєкторією, відрізняє інвертовані значення індексів, але у випадку нульового значення доданої пам’яті надає однаковий результат.

Якщо початкова і кінцева дуги належить різним альтернативним гілкам, то частина траєкторії переходу співпадатиме з напрямком функціонального графу, а інша частина матиме протилежний напрямок при обході. Якщо дуги протилежно до траєкторії спрямовані, то індекси з їх маркування при розрахунку пам’яті потрібно інвертувати.

Наприклад, розглянемо траєкторію між дугами №6 і №9. До неї належать дуги 7, 12, 11, 10. Складаємо перелік дій, помічених в маркуванні, індекси модулів 3, 6 і 4 інвертуємо з причини протилежного напрямку, і отримуємо:
початок траєкторії $\Rightarrow$ 7, $\bar{9}\Rightarrow$4$\Rightarrow$6$\Rightarrow$3$\Rightarrow$ кінець траєкторії.

Позбуваємося взаємно інверсних індексів та індексів модулів, що задіяні на початку та наприкінці траєкторії: 7, $\bar{9}$, 4, 6, 3 = $\bar{9}$, 3. Отримане значення відносної пам'яті для обраного відрізку складає: $S_{9/6} = \bar{9} + 3$.

Таким чином, для спрощення процедури підрахунку доданої пам'яті на такому відрізку, в якого початкова дуга і кінцева дуга належать різним альтернативним гілкам, можна обирати найкоротшу траєкторію і при цьому виконувати обхід частини графу у зворотному напрямку, але при цьому, для протилежно спрямованих дуг, необхідно інвертувати індекси з їх маркування.

Методика розрахунку відносного значення пам'яті для траєкторії функціонального графу між дугами №А і №Б для систем з альтернативними підпроцесами.

1. Будуємо всі можливі маршрути переходу з дуги №А до дуги №Б по дугах функціонального графу (для графу, що не має паралельних гілок). Обираємо за розрахункову траєкторію той маршрут, який вміщує найменшу кількість дуг.
2. Виписуємо всі індекси маркувань дуг, що використано в обраній траєкторії, якщо рух за траєкторією супротивний до напрямку дуг, то індекси інвертуємо.
3. Прибираємо пари взаємо-обернених індексів.
4. Прибираємо індекси модулів, дії яких припадають на початкову та на кінцеву дуги траєкторії (№А, №Б).
5. Якщо в графі присутні як альтернативні, так і паралельні підпроцеси, то прибираємо індекси таких модулів, дії яких мають місце на дугах, що розташовані на гілках, паралельних до дуг №А або №Б.
6. Отриманий результат є відносним значенням пам'яті системи для дуги №Б відносно дуги №А.
7. Якщо результат дорівнює нулю, то вершини початкової і кінцевої дуг має з'єднувати лінія невизначеності.

Методика має бути застосована до всіх не суміжних та непаралельних варіантів початку та кінцівки відліку на функціональному графі. Такі пари початку і кінцівки породжуватимуть траєкторії чи відрізки процесу, для яких необхідно розрахувати відносне значення пам'яті.

Особливий випадок. Якщо в маркуваннях двох суміжних дуг (мають спільну вершину) є взаємо-обернені індекси, то їх вершини з'єднує лінія невизначеності.

ЗАУВАЖЕННЯ. Оскільки альтернативні гілки не є паралельними до виконання, то вершини їх дуг можуть з'єднувати лінії невизначеності.

Підграф невизначеності утворюють всі отримані лінії невизначеності або нульові значення відносної пам'яті. Наявність непорожнього підграфу невизначеності засвідчує логічну недостатність поданого опису системи, неможливості її розбудови та необхідність доповнення або коригування складу і

структури майбутнього процесу. До речі, кожна лінія невизначеності розподіляє граф на частини, які мають вигляд самостійної циклічної системи.

У відповідності з наведеною методикою для функціонального графу (рис. 2.62) необхідно виконати розрахунок відносної пам'яті для траєкторій, обмежених наступними початковими і кінцевими дугами:

№1 … №3, №1 … №4, №1 … №5, №1 … №6, №1 … №7, №1 … №8,
№1 … №9, №1 … №10, №1 … №11, №1 … №12, №1 … №13, №1 … №14,
№1 … №15;
№2 … №4, №2 … №5, №2 … №6, №2 … №7, №2 … №9, №2 … №10,
№2 … №11, №2 … №12, №2 … №13, №2 … №14, №2 … №15, №2 … №16;
№3 … №5, №3 … №6, №3 … №7, №3 … №9, №3 … №10, №3 … №11, №3 … №12, №3 … №13, №3 … №14, №3 … №15, №3 … №16;
№4 … №6, №4 … №7, №4 … №8, №4 … №9, №4 … №10, №4 … №11,
№4 … №12, №4 … №18, №4 … №13, №4 … №14, №4 … №15, №4 … №16;
№5 … №7, №5 … №8, №5 … №9, №5 … №10, №5 … №11, №5 … №12,
№5 … №13, №5 … №14, №5 … №15, №5 … №16;
№6 … №8, №6 … №9, №6 … №10, №6 … №11, №6 … №12, №6 … №13,
№6 … №14, №6 … №15, №6 … №16;
№7 … №8, №7 … №9, №7 … №10, №7 … №11, №7 … №14, №7 … №15,
№7 … №16;
№8 … №10, №8 … №11, №8 … №12, №8 … №13, №8 … №14, №8 … №15, №8 … №16;
№9 … №11, №9 … №12, №9 … №13, №9 … №14, №9 … №15, №9 … №16;
№10 … №12, №10 … №13, №10 … №14, №10 … №15, №10 … №16;
№11 … №13, №11 … №14, №11 … №15, №11 … №16;
№12 … №14, №12 … №15, №12 … №16;
№13 … №15, №13 … №16;
№14 … №16.

Аналіз комплекту досліджуваних траєкторій вказує, що обрання певної початкової дуги призводить, разом із зростанням довжини траєкторії, зростання переліку індексів, які і визначають значення пам'яті. Індекси з маркування початкової дуги для таких траєкторій є незмінними (їх одразу позбавляємося), так само виключаємо пари взаємо-обернених індексів. Все це суттєво спрощує застосування методики. Але є можливість частково використовувати графічні доповнення до методики.

Аналітична методика з графічним доповненням. Доповнення ґрунтується на використання властивостей ліній зв'язку однорежимних пристроїв.

Якщо вершини початкової та кінцевої дуг досліджуваної траєкторії (дуг №А і №Б розташовано по різні боки від лінії зв'язку однорежимного модуля (лінія зв'язку належить тому самому циклу, що і траєкторія), то відносне значення пам'яті не може дорівнювати нулю. Тобто лінія невизначеності не існує і немає потреби в розрахунку пам'яті.

Наприклад, вершина дуги №4 (рис. 2.63) відокремлена від всіх інших вершин графу лінією зв'язку п'ятого модуля 5 - $\bar{5}$.

Тобто, з раніш помічених для розрахунку траєкторій з початковою дугою №4 (№4 … №6, №4 … №7, №4 … №8, №4 … №9, №4 … №10, №4 … №11, №4 … №12, №4 … №18, №4 … №13, №4 … №14, №4 … №15, №4 … №16) не потрібно розраховувати жодної траєкторії.

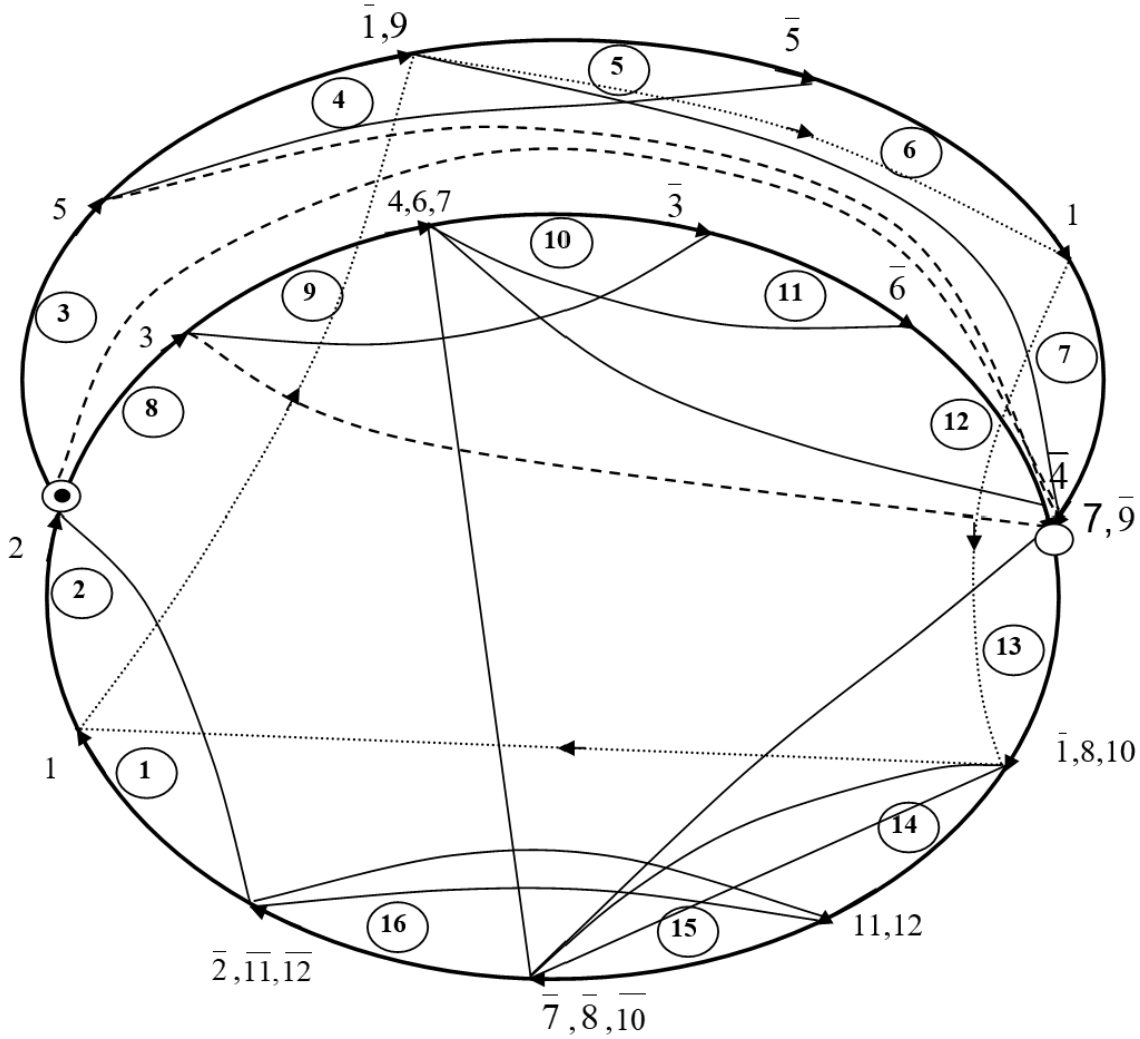


Рис. 2.63. Функціональний граф з підграфом зв'язку для системи з альтернативними підпроцесами, в кружечках позначено номери дуг, пунктиром нанесено лінії невизначеності, що розташовано в двох замкнених циклах

Використання графічного доповнення для раніш розглянутого графу (рис. 2.63) призвело до скорочення переліку досліджуваних траєкторій до наступного:

№2 … №7, №2 … №16;

№3 … №7, №3 … №12, №3 … №16;

№5 … №7;

№7 … №8, №7 … №16;

№8 … №16.

Кількість необхідних для розрахунку значень скоротилася з 103 до 9:

$S_{7/2} = 5 + \bar{1} + 9 + \bar{5} + 1 = 0$;

$S_{16/2} = \overline{S_{16/2}} = 1$;

$$S_{7/3} = \bar{1} + 9 + \bar{5} + 1 = 0;$$
$$S_{12/3} = \bar{1} + 9 + \bar{5} + 1 + 7 + \bar{9} = 7;$$
$$S_{16/3} = \overline{S_{16/3}} = \bar{1} + \bar{2} = \bar{1};$$
$$S_{7/5} = 1;$$
$$S_{8/7} = \overline{S_{8/7}} = 4 + 6 + 7 + \bar{3} + \bar{6} + \bar{4} = 0;$$
$$S_{16/7} = \bar{1} + 8 + 10 + 11 + 12 + \bar{7} + \bar{8} + \overline{10} = \bar{1};$$
$$S_{16/8} = \overline{S_{8/16}} = 1 + 2 = 1.$$

Отримано три нульових значення, яким відповідають три лінії невизначеності на функціональному графі (рис. 2.63).

ДОДАТКОВЕ СПРОЩЕННЯ 1. Початкова і кінцева дуги траєкторії, при пошуку нульових значень відносної пам'яті, є взаємо замінними. Тобто, якщо $S_{i/j} = 0$, то $S_{j/i} = 0$. Наприклад, траєкторія від дуги №2 до дуги №15 може розглядатись від дуги №2 до дуги №15. Ця траєкторія вміщує 7 дуг. Якщо піти в зворотному напрямку, від дуги №15 до дуги №2, то траєкторія вміщу 2 дуги.

ДОДАТКОВЕ СПРОЩЕННЯ 2. Якщо між початковою і кінцевою дугами є можливість побудувати декілька альтернативних варіантів траєкторії, то, без втрати коректності, можна скористатися найпростішим для розрахунку. Наприклад, початкова дуга №2, кінцева дуга №13. Можна побудувати траєкторію через дуги №3 … №7, або через дуги №8 … №12. В прикладі обидва варіанти є рівнозначними за складністю, але варіанти можуть мати різну кількість дуг, або можуть бути вже частково обрахованими з використанням іншої початкової дуги (наприклад, №1). Тоді є можливість скористатися вже побудованим набором індексів з маркувань.

2.6.3. Доповнення елементами пам'яті систем 5-го класу

Методика доповнення елементами пам'яті для систем 5-го класу в основному співпадає з аналогічними методиками для систем 3-го і 4-го класів. Основна відмінність ґрунтується на тому, що альтернативні гілки чи підпроцеси не є паралельними (рис. 2.64).

Перша відмінність. Ґрунтується на тому, що вершини двох дуг з альтернативних гілок може з'єднувати лінія невизначеності. В цьому випадку вмикання і вимикання елемента пам'яті має бути розташовано тільки на одній з альтернативних гілок. Лінія зв'язку цього елемента пам'яті начебто відокремлює початкову вершину лінії невизначеності від її кінцевої вершини за умов виконання будь якої з альтернативних гілок графу.

Друга відмінність. Якщо вмикання (або вимикання) елемента пам'яті розташовано тільки на одній з альтернативних гілок, то таке саме вмикання (або вимикання) має бути розташовано і на іншій з альтернативних гілок. Ця вимога

має бути виконана навіть в тому випадку, коли відсутня лінія невизначеності в іншому альтернативному циклі. Ця умова забезпечує тотожність значень пам'яті системи незалежно від обраної альтернативи. Виконання цієї умови порушує правило однакової кількості основних і зворотних команд кожного модуля. Уточнення полягає в наступному: для кожного модуля кількість основних і зворотних дій має бути однаковою для кожного безальтернативного контуру.

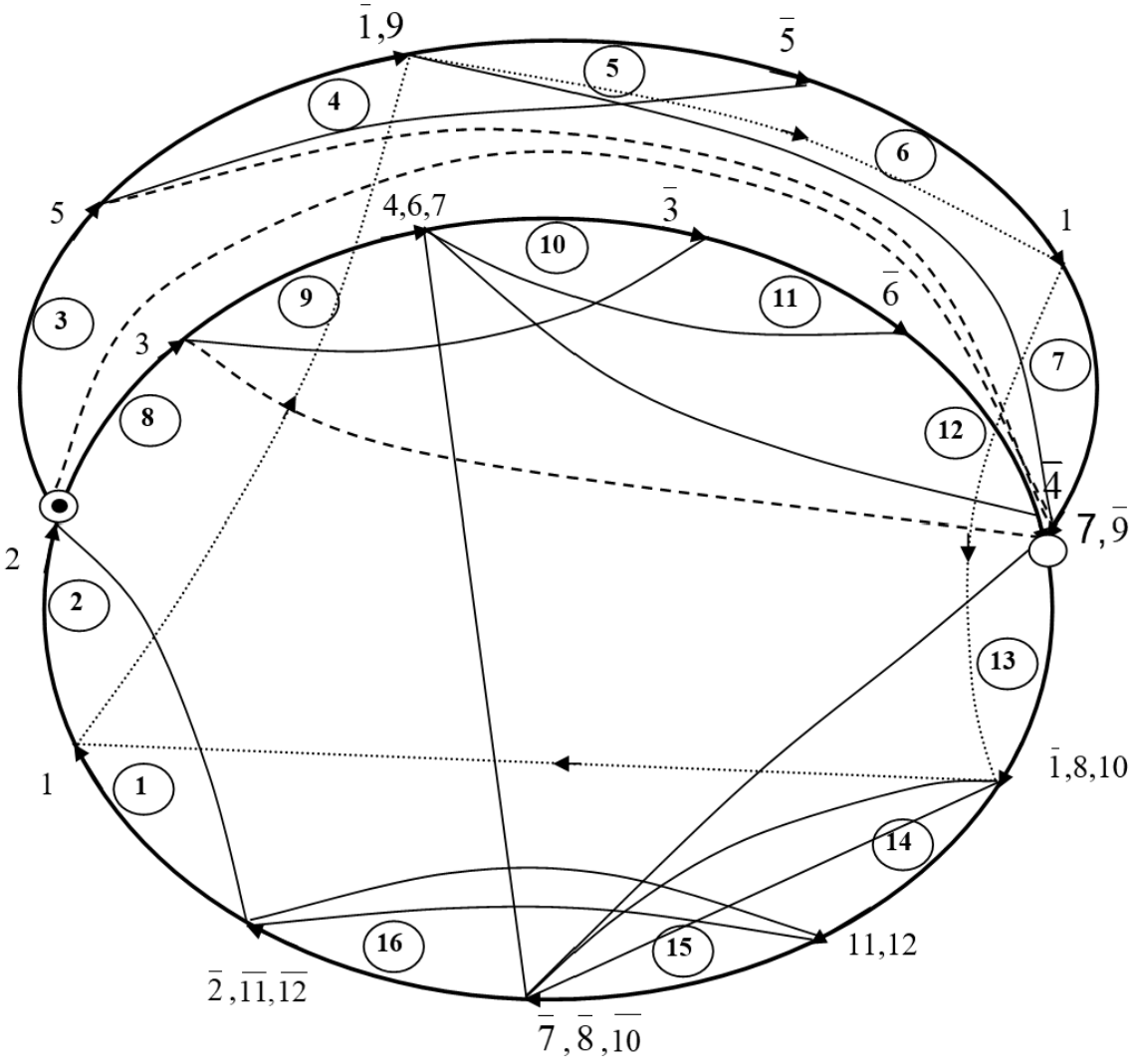


Рис. 2.64. Функціональний граф з підграфом зв'язку для системи з альтернативними підпроцесами, в кружечках позначено номери дуг, пунктиром нанесено лінії невизначеності, що розташовано в двох замкнених циклах

Пріоритети щодо вибору місць вмикання і вимикання елементів пам'яті є незмінними:

1 – перетин максимальної кількості ліній невизначеності;

2 – перетин максимальної кількості ліній зв'язку однорежимних модулів;

3 – перетин максимальної кількості ліній зв'язку багаторежимних модулів;

4 – наближення до рівної кількості дуг графу по обидва боки лінії зв'язку елемента пам'яті.

Приклад доповнення елементом пам’яті розглянуто на рис. 2.65, при цьому для вмикання і вимикання елемента в графі додано нові дуги.

Вмикання має бути після 2-ї дуги графу як за верхньою альтернативою, так і за нижньою альтернативою. Вмикання за верхньою гілкою, щоб перекреслити дві лінії невизначеності, має бути на дугах 4, 5, 6 або 7. Наступний пріоритет – кількість перетинів однорежимних ліній зв'язку. У верхній частині це може бути перетин двох ліній зв'язку – модулів 5 і 9. Але для цього потрібно додати нову дугу 5’. Обираємо цей варіант для верхньої альтернативи.

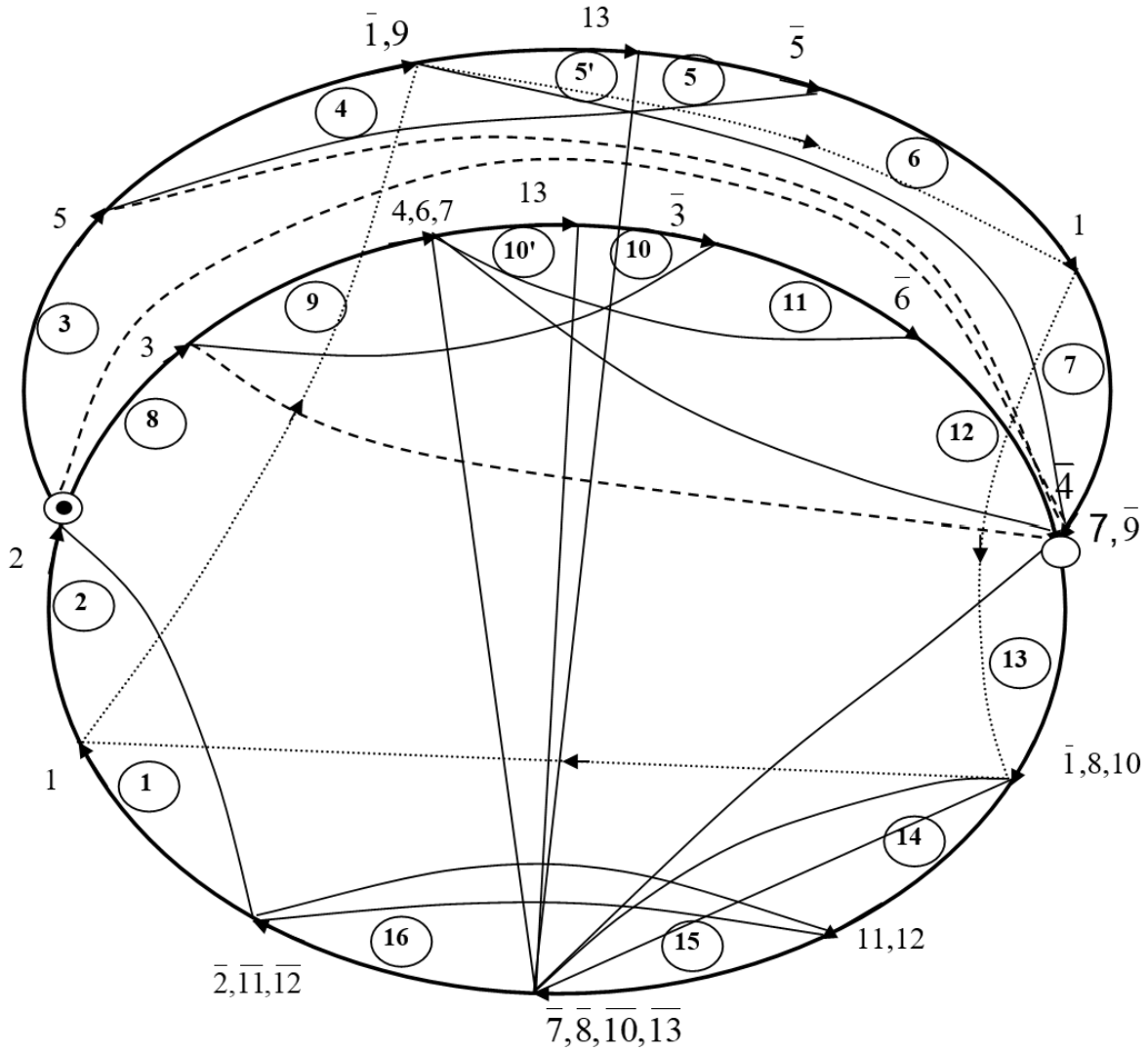


Рис. 2.65. Функціональний граф системи 5-го класу - з двома альтернативними підпроцесами, підграфом зв’язку, лініями невизначеності (позначено пунктиром), лініями зв’язку елемента пам’яті (модуль 13), в кружечках позначено номери дуг, дуги 5’ і 10’ - додані дуги для вмикання і вимикання елемента пам’яті

Для нижньої альтернативи, для вмикання, можемо обрати дуги 8, 9, 120, 11, 12. При цьому у верхній частині внутрішньої альтернативи можемо максимально забезпечити перекреслення трьох однорежимних ліній зв'язку: модулів 3, 6 і 7. Для цього потрібно додати нову дугу 10’.

Вимикання елементу пам'яті розташуємо у нижній частині спільної гілки графу. Додаємо вимикання модуля 13 до дуги №15. Збільшити кількість перетинів можна було шляхом додавання нової дуги 15’. Але залишаємо

вимикання на дузі 15 з міркувань подальшого логічного синтезу команд керування для цього випадку.

Додаткові елементи пам'яті. Сенс застосування таких елементів полягає в технічному спрощенні системи керування (для схемної реалізації логічних виразів команд керування) або в спрощенні процесу побудови виразів команд керування – на випадок з великою кількістю багаторежимних модулів і альтернативних гілок та відносно не високою кваліфікацією розробника (при укладанні алгоритму керування для контролера).

Відсутність ліній невизначеності вказує на достатність пам'яті системи для формування логічних виразів команд всіх модулів, але у випадку схемної реалізації системи керування занадто складні вирази команд можуть впливати на швидкодію формування команд і на вартість системи керування. Для гідравлічних систем, і в меншому ступені для пневматичних систем, може виникати необхідність додавати путьові підсилювачі для утримання тиску пневматичного чи гідравлічного сигналу.

Наприклад, використання поспіль 5-6 пасивних пневматичних пристроїв може призвести до втрати 10-20% тиску, що може вплинути на спрацювання інших пристроїв без внутрішнього підсилення сигналу, і викликати запізнення їх спрацювання. Для гідравлічних пристроїв таке саме рішення може призвести до втрати 50% тиску і змусить використовувати підсилювачі. Це також впливатиме як на швидкодію та вартість, так і на енергоспоживання системи керування.

2.6.4. Логічний синтез команд керування для систем 5-го класу

П'ятий клас – це альтернативні замкнені системи. Тобто, процес роботи системи має альтернативні підпроцеси і безальтернативні підпроцеси, які об'єднані в замкнену структуру. Система, за допомогою чутливих модулів, обирає потрібну альтернативу для виконання, це основна відмінність систем 5-го класу. Кількість альтернатив необмежена. В кожній альтернативі має бути хоча б 3 послідовних відрізки. Загальна структура процесу замкнена (початок співпадає із завершенням). На відміну від систем 1-го, 2-го, 3-го і 4 класів системи п'ятого класу надають функції автоматичної адаптації до зміни умов чи режимів використання і мають можливість автоматичного налаштування на випуск декількох видів продукції.

Основною особливістю даних систем є альтернативно виконувані підпроцеси – ланцюжки, що складаються з дій модулів. Такі ланцюжки, в загальному випадку, містять різну кількість переходів (дуг). Ланцюжки є взаємо альтернативними, при цьому вибір тієї чи іншої альтернативи здійснює система за зовнішніми сигналами, тобто, сигналами, які не є сигналами стану модулів, що підтверджують виконання тієї чи іншої дії. Такі сигнали називаємо сигналами альтернативного вибору. Безпосередньо алгоритм вибору виконують спеціальні модулі - альтернативного вибору. Такі модулі, за певним алгоритмом і в певному стані, перевіряють наявність або відсутність сигналів альтернативного вибору. В системі відсутнє будь-яке співвідношення у повторюванні виконання різних альтернативних ланцюжків чи гілок процесу.

Кожна альтернативна гілка має на початку дію чутливого модуля або модуля альтернативного вибору. Якщо цей модуль спрацьовує, то система відпрацьовує всю альтернативну гілку. Якщо модуль не спрацював, то спрацює якась інша альтернатива і система відпрацьовуватиме інший підпроцес.

Прикладом систем 5-го класу можуть бути гнучкі автоматизовані виробничі лінії, які виробляють декілька різновидів продукції, або оброблювальні центри з автоматичною заміною інструменту, або автоматизоване випробувальне устаткування, або ділянки вхідного чи вихідного контролю на виробничій лінії та ін.

За винятком дій альтернативного вибору і відповідних цим діям команд, а також дій, що йдуть безпосередньо за альтернативними підпроцесами (дуги 3, 8 і 13, рис. 2.66), команди керування для систем 5-го класу формуються, за методиками, схожими на методики логічного синтезу систем третього та четвертого класів. Так само, як і в системах третього класу, в системі може бути будь-яка кількість однорежимних і багаторежимних модулів, а на переходах може бути будь-яка кількість дій, у тому числі можуть бути паралельні підпроцеси, як в системах 4-го класу.

ОСОБЛИВІСТЬ. Дві дуги, що йдуть за вершиною альтернативного вибору (дуги 3 і 8), мають спільну попередню дугу (дуга 2, рис. 2.66). Кожна дуга альтернативного вибору має у маркуванні тільки один індекс основної дії – дії модуля альтернативного вибору.

Перша дуга, що йде за вершиною «склеювання» альтернативних гілок графа (дуга 13), має одразу дві попередні дуги з двох альтернативних підпроцесів (дуги 7 і 12). Виконання команд такої особливої дуги починається після завершення або однієї альтернативної гілки, або іншої альтернативної гілки. Хоча в попередньому реченні ми маємо сполучення через «АБО», в логічному вимірі ми матимемо застосувати «І». Тобто мають бути виконані умови, спільні для обох альтернативних гілок. Вираз команди будується як добуток двох команд: команда для однієї альтернативи помножена на команду для іншої альтернативи. При цьому вираз команди для кожної альтернативи будується в припущенні, що інша альтернатива і гілка графа, що їй відповідає, відсутні.

Як правило, у формі систем 5-го класу розробляються досить складні технічні об’єкти із застосуванням програмованих контролерів і мереж. Використання програмованих контролерів дозволяє враховувати тип керуючих пристроїв безпосередньо в алгоритмі керування. З цієї причини буде розглянуто тільки варіант бістабільних виразів команд керування. Перехід до моностабільних керуючих пристроїв виконується в алгоритмі керування. Водночас такий перехід, за потреби, може бути виконано і при апаратній реалізації системи, що буде розглянуто в розділі практичних прикладів.

Незалежно від кількості альтернативних підпроцесів, пристроїв і тактів, структура логічних виразів команд для систем 5-го класу буде однаковою:

$$y_{i(5)} \Leftarrow \bigcup_{v}\bigcup_{k=1}^{m}[\bigcap_{p}^{R1,R2}((x_{k,1(i)}+\{x\}_{k,1c})_p*\cdots*(x_{k,n(i)}+\{x\}_{k,nc})_p*\{x\}_{k-\bar{k}})_p]*\{x\}_{k-\overline{m}}$$

,(2.8)

де $\bigcup_{\vee}$ - об'єднання виразів команди і- го функціонального модуля, що відповідають різним альтернативним процесам роботи об'єкту; $y_{i_{(5)}}$- логічний вираз основної (зворотної) команди для і- го модуля системи, 5 - п'ятий клас складності системи, $\bigcup_{k=1}^{m}$ - сума виразів, що відповідають m режимам роботи модуля; $x_{k,j(i)}$ - j- й з сигналів стану - безпосередніх причин команди k- го режиму і- го функціонального модуля; $\bigcap_{p}^{R1,R2}$ - добуток виразів, що відповідають безпосереднім і контекстним причинам з альтернативних підпроцесів (R1, R2);.

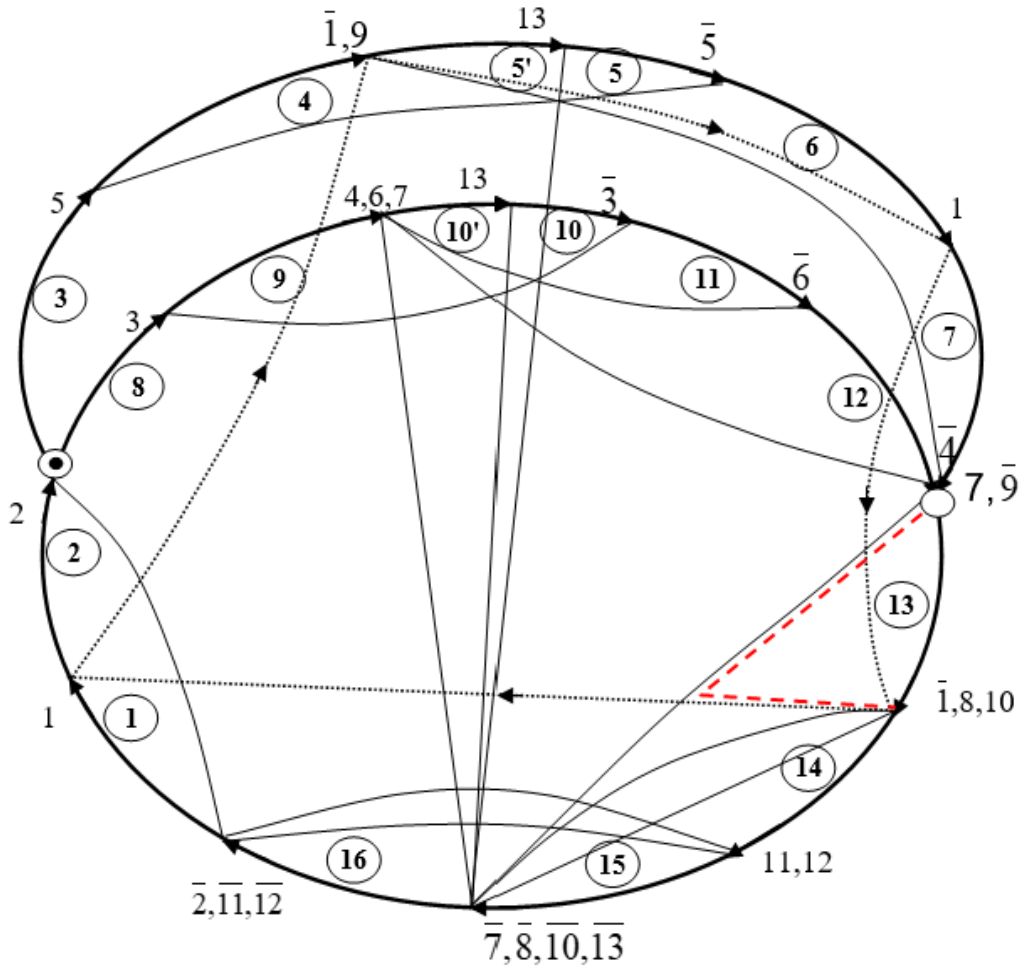


Рис. 2.66. Функціональний граф системи з альтернативними підпроцесами, підграфом зв'язку, лініями зв'язку елемента пам'яті (модуль 13), в кружечках позначені номери дуг, 5' і 10' додані дуги для вмикання і вимикання елемента пам'яті, пунктиром позначена траєкторія зворотної команди для 2-го режиму першого модуля

$\{x\}_{k,jc}$- логічний вираз, що подовжує дію сигналу до підтвердження відпрацювання команди y_i ; $x_{k,j(i)}$- обмежуючий множник, що забезпечує зняття сигналу до початку зворотної команди; $\{x\}_{k-\bar{m}}$ - логічний вираз, що

забезпечує відсутність сигналу команди під час відпрацювання і збереження результатів для усіх режимів виконання зворотної команди

ПОЯСНЕННЯ. Структура виразів команд керування для систем 3-го та 4-го і 5-го класів майже тотожна. Система 5-го класу може функціонувати без використання альтернативного переходу будь який термін. Наприклад, якщо альтернатива це аварійний режим, то система може взагалі ніколи не скористатися цією альтернативою. В такому випадку система 5-го класу повністю збігається за своїми діями з системами 1 .. 4-го класів. Відмінність виникає двічі – під час альтернативного вибору, та під час завершення альтернативного підпроцесу.

Так само, як і в системах 4-го класу, для укладання виразу команди і будови траєкторії команди, що переходить в системах 5-го класу з однієї альтернативної гілки на іншу, можуть використатись додаткові «фіктивні» сигнали і відповідні до цих сигналів доданки чи множники.

Перша відмінність стосується команд, наступних за завершенням альтернативних підпроцесів. Відмінність полягає в тому, що команди мають бути сформовані так, що вони не залежать від того, який саме з альтернативних процесів було завершено.

Друга відмінність стосується змісту та реалізації функцій для модулів альтернативного вибору.

Для систем 5-го класу, для всіх команд, окрім вказаних у відмінностях, графічним зображенням безпосередньої причини є логічний добуток сигналів стану, що засвідчують завершення попередніх дій. Добуток графічно має вигляд «перетину» сегментів, обмежених лініями зв'язку всіх множників добутку (рис. 2.66). В цих випадках питання щодо продовження дії сигналу або обмеження його дії вирішуються так само, як і для систем 3-го чи 4-го класів. Обґрунтування для їх побудови складають зони: Обов'язкового існування I, Байдужа або нечутлива зона II, Зона неприпустимого існування III. Як відмічалось раніше, питання щодо використання моностабільного чи бістабільного пристрою керування, має або алгоритмічний розв'язок, або апаратне схемне рішення з використанням виразів команд керування бістабільного варіанту.

Для команд, що є безпосередньо наступними за відпрацюванням альтернативних підпроцесів, логічний вираз команди має бути побудованим окремо для однієї альтернативи (начебто другої альтернативи не існує) і так само для другої альтернативи (начебто немає першої альтернативи), після чого остаточний вираз команди має форму добутку виразів, побудованих для обох альтернатив.

Для кожної з команд, що належать до початкових дуг альтернативних гілок, безпосередньою причиною є добуток сигналів зо всіма індексами з маркування попередньої до альтернативного вибору дуги (дуга 2, рис. 2.66).

Якщо такий добуток повністю належить (за лініями зв'язку) до тієї альтернативної гілки, на якій розташовано лінію зв'язку укладаємої команди, то команда має бути побудована за методикою систем 3-го чи 4-го класу.

Якщо такий добуток не належить до гілки, що їй належить лінія зв'язку складеної команди, то до добутку додаємо подовжуючий доданок, який

забезпечує існування сигналу команди аж до початку безальтернативного процесу (до завершення альтернативної гілки). Отримана сума, якщо її зобразити фіктивною лінією зв'язку, знаходитиметься в спільному замкненому контурі з лінією зв'язку складеної команди. Далі може бути застосована методика логічного синтезу для систем 3-го чи 4-го класу (побудова траєкторії і т. ін.) з використанням фіктивної лінії зв'язку.

Методика укладання бістабільного варіанту виразів команд керування. Спочатку розглянемо укладання виразу команди для прикладу - одного режиму модуля «і» в системі 5-го класу (дуга, наступна за спряженням альтернативних гілок).

Порядок укладання логічного виразу команди керування

1. Обираємо на функціональному графі дугу, в маркуванні якої вміщено індекс розглянутого режиму модуля «і» (наприклад, дуга №13, модуль 1, зворотна команда другого режиму, рис. 2.66).
2. Розглядаємо всі лінії зв'язку, що виходять з кінцевої вершини останньої дуги першої альтернативної гілки графа (тільки ті, що виходять – звернути увагу на напрямок ліній зв'язку, рис 2.66 лінії 7 і $\bar{9}$).

2.1. Обираємо з цих ліній таку, яка охоплює найменшу кількість дуг функціонального графу за напрямком графу, тобто, вона уособлює добуток всіх ліній зв'язку. В прикладі це лінія 7, їй відповідає добуток групи сигналів – обираємо її як початкову причину, вона йде від першої альтернативної гілки.

2.2. Далі методика майже тотожна до аналогічної методики для систем 3-го класу. Будуємо траєкторію (контур) з відрізків ліній зв'язку, який має початок з обраної лінії зв'язку (в її початковій вершині) і з'єднує початок цієї дуги функціонального графу з її вершиною (траєкторія: 7 - $\bar{7} \rightarrow$ 1 - $\bar{1}$), а остання лінія – це лінія укладаємої команди (тільки вона протилежна за напрямом укладання траєкторії), і при цьому:

- усі відрізки, окрім останнього, співпадають за напрямом побудови цієї ламаної лінії (траєкторії, вони співпадають з напрямом функціонального графу);
- останнім відрізком є лінія зв'язку команди, що її укладаємо (вона може мати протилежний напрямок);
- траєкторія або ламана лінія має мінімальну кількість відрізків;
- траєкторія ні де не торкається функціонального графу.

2.3. Записуємо добуток сигналів з індексами усіх ліній зв'язку, що увійшли до траєкторії, окрім останнього (лінія зв'язку команди).

2.4. Робимо заміну: замість першого множника записуємо добуток сигналів зо всіма індексами, що належать до маркування останніх дуг альтернативних гілок (безпосередня причина – завершення останніх дій для гілок графу $x_7 * x_{\bar{9}} * x_{\bar{4}}$).

2.5. Отриманий добуток є початковим варіантом виразу команди керування розглянутого режиму.

2.6. Якщо в добутку відсутні сигнали стану від багаторежимних модулів, то початковий варіант виразу команди є остаточним.

2.7. Якщо в добутку містяться сигнали стану від багаторежимних модулів, то виконуємо перевірку на хибне спрацювання:

- чи приймає логічний добуток значення «1» в НЕПРИПУСТИМІЙ зоні?;
- якщо ні, то початковий варіант виразу команди є остаточним (обмежуючий компонент у виразі команди $\{x\}_{k-\overline{m}}$ відсутній).

2.8. Якщо логічний добуток приймає значення «1» в НЕПРИПУСТИМІЙ зоні, будуємо вираз обмежуючого компоненту $\{x\}_{k-\overline{m}}$.

3. Порядок побудови обмежуючого компоненту (подібно до систем 3-го та 2-го класів).

ПРИМІТКА. При укладанні виразів команд для модуля з бістабільним керуючим пристроєм до виразу команди не можуть належати сигнали того модуля, для якого укладаємо команду (як сигнал початкового стану, так і сигнал кінцевого стану).

ПРИМІТКА. Якщо в системі п'ятого класу є тільки один багаторежимний модуль, то в його виразах бістабільних команд будуть тільки сигнали однорежимних модулів і, у відповідністю з методикою, початкова форма виразів команд буде тотожна остаточній формі.

3.1. Розглядаємо всі лінії зв'язку, що виходять із кінцевої вершини останньої дуги другої альтернативної гілки графа (в прикладі $\overline{4}$-4, рис. 2.66).
3.2. Вибираємо з них ту лінію, яка охоплює найменшу кількість дуг функціонального графа за його напрямком (лінія $\overline{4}$ - 4, цій лінії відповідає добуток виродженої групи сигналів – вихідна причина другої альтернативної гілки).
3.3. Повторюємо п. п. 2.3...2.8 методики для другої альтернативної гілки графа.
4. Записуємо вираз керуючої команди у формі добутку виразів, отриманих для двох альтернативних режимів у п. п. 2, 3.

Приклад укладання бістабільного виразу основної команди модуля 1

Особливість цього модуля полягає у тому, що у одному з альтернативних режимів він є багаторежимним (має два режими), а в іншому альтернативному режимі – є однорежимним.

Основна команда 1-го модуля не належить до особливих дуг графа. Вираз команди будуємо у вигляді суми виразів для всіх режимів (оскільки режимів 2, то доданків має бути два):

$$y_1 = y_1^{p1} + y_1^{p2}.$$

Побудова виразу основної команди для 1-го режиму модуля (дуга 1, рис. 2.67).

1. Складаємо траєкторію (ламану лінію) з ліній зв'язку, перша з яких починається в початковій вершині дуги 1 (обираємо найкоротшу лінію зв'язку) і закінчується в її кінцевій вершині по лінії зв'язку команди, що будуємо.

Маркуванню попередньої дуги відповідають три сигнали $X_{\bar{2}}, X_{\bar{11}}$ і $X_{\bar{12}}$. Найкоротша лінія зв'язку $\bar{2}-2$, і вона одразу перетинає лінію зв'язку команди.

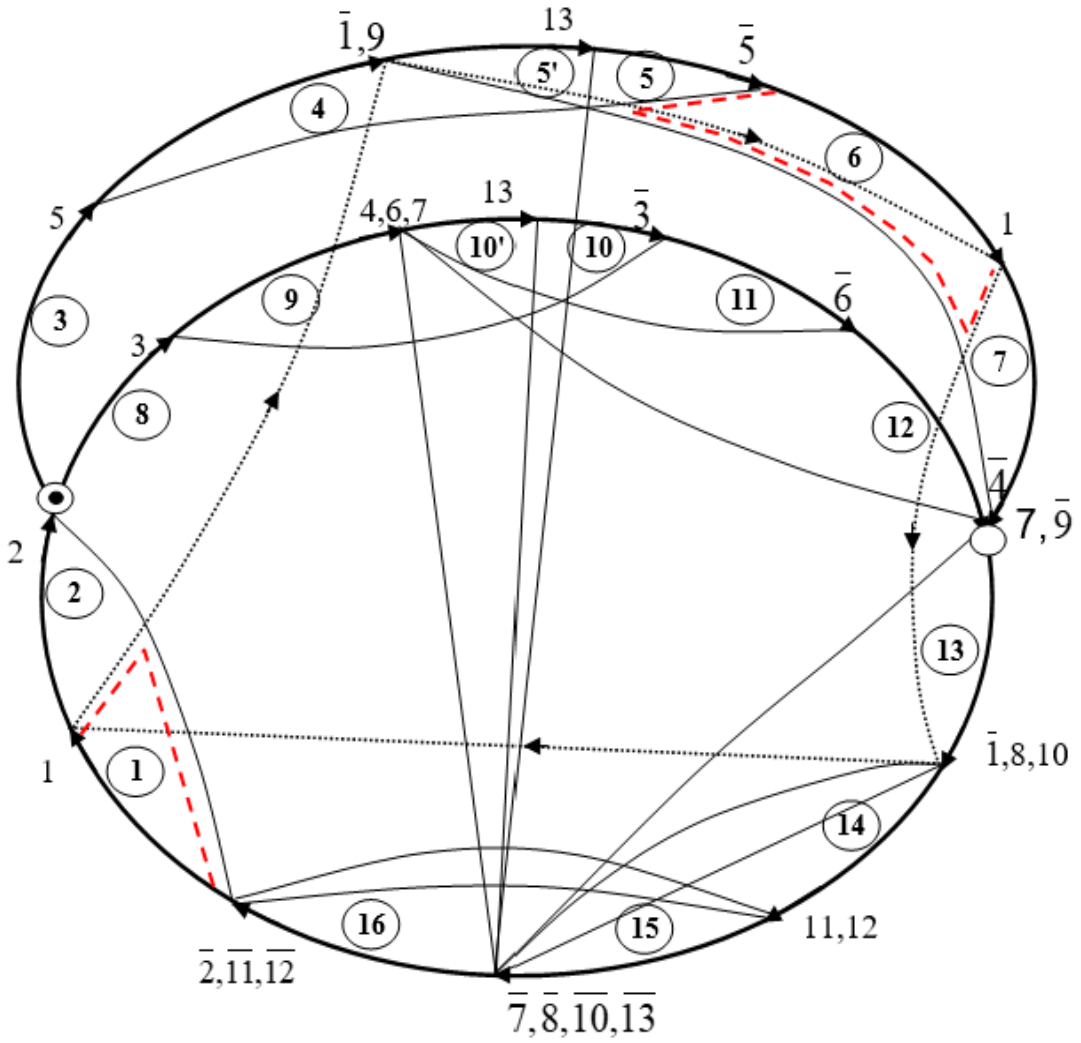


Рис. 2.67 Функціональний граф системи з альтернативними підпроцесами, підграфом зв'язку, лініями зв'язку елемента пам'яті (модуль 13), в кружечках позначені номери дуг, 5' і 10' додані дуги для вмикання і вимикання елемента пам'яті, пунктиром позначено траєкторії двох режимів основної команди першого модуля

2. Отримуємо вироджений випадок ламаної «$\bar{2}$ - 2 → $\bar{1}$ - 1» і при цьому:
   - всі відрізки, окрім останнього, збігаються у напрямку з функціональним графом;
   - останнім відрізком є лінія зв'язку команди, що будуємо для даного режиму (модуль 1, перший режим, протилежний напрямок);
   - траєкторія має мінімальну кількість відрізків;
   - траєкторія ніде не торкається функціонального графа.

   Отримана "ламана лінія" задає траєкторію «$\bar{2}$ - 2» основної команди 1-го режиму модуля 1.
3. Початковий вираз команди 1-го режиму має один сигнал.

У добуток входять лише сигнали однорежимних модулів (входить $x_{\bar{2}}$), отже, перевірку на хибне спрацьовування проводити не потрібно.

4. Остаточний варіант першого режиму основної команди модуля 1 отримуємо після заміни сигналу від першого відрізка ламаної на добуток сигналів з усіма індексами з маркування попередньої дуги:

$$y_1^{1p} \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_{\overline{11}} * x_{\overline{12}}.$$

Побудова виразу основної команди для 2-го режиму модуля 1 (дуга 6, рис. 2.67).

1. Вибираємо на функціональному графі наступну дугу, у маркуванні якої міститься індекс модуля 1 – другий режим (рис. 2.67, дуга 6).

Розглядаємо всі лінії зв'язку, що виходять із початкової вершини цієї дуги – одна лінія зв'язку зворотної дії модуля 5.

Вибираємо ту лінію, що має найменшу довжину (лінія одна, вибір відсутній).

2. Будуємо траєкторію з відрізків ліній зв'язку, яка починається з обраної лінії зв'язку модуля 5 і з'єднує початок дуги 6 функціонального графа з її кінцем «$\bar{5}$ - $5 \to 9$ - $\bar{9} \to \bar{1}$ - 1» і при цьому:

- всі відрізки, крім останнього, збігаються у напрямку з функціональним графом,
- останнім відрізком є лінія зв'язку команди даного режиму (модуля 1, зворотній напрямок),
- траєкторія має мінімальну кількість відрізків,
- траєкторія ніде не торкається функціонального графа.

3. Отримана траєкторія команди «$\bar{5}$ - $5 \to 9$ - $\bar{9}$».

4. Початковий варіант виразу команди 2-го режиму (за зовнішнім альтернативним контуром) для 1-го модуля має два співмножники однорежимних модулів (перевірка не потрібна). Тому отриманий варіант логічного виразу команди збігається з остаточним $y_1^{2p} \Leftarrow x_{\bar{5}} * x_9$.

Результуючий вираз основної команди модуля 1 отримуємо як суму виразів для двох окремих режимів:

$$y_1 \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_{\overline{11}} * x_{\overline{12}} + x_{\bar{5}} * x_9.$$

Приклад складання бістабільного виразу зворотної команди модуля 1 (рис. 2.68).

Особливість цього модуля полягає у тому, що у одному з альтернативних режимів він є багаторежимним, а в іншому альтернативному режимі – однорежимним.

Додатковою особливістю є те, що другий режим зворотної команди, що відноситься до дуги №13, слідує за «склеюванням» двох альтернативних режимів системи. Тобто його вираз буде побудовано у вигляді добутку варіантів, отриманих для першої та другої альтернатив.

Вираз команди будуємо у вигляді суми виразів для всіх режимів (оскільки режимів 2, то доданків має бути два):

$$y_{\bar{1}} = y_{\bar{1}}^{p1} + y_{\bar{1}}^{p2}.$$

Побудова виразу зворотної команди для 1-го режиму (дуга 4, рис. 2.68).

1. Складаємо траєкторію з ліній зв'язку, яка починається в початковій вершині цієї дуги (найкоротша лінія зв'язку) і закінчується в її кінцевій вершині по лінії зв'язку команди, що складаємо (протилежний напрямок).

Маркуванню попередньої дуги відповідає один сигнал x_5 та одна лінія зв'язку (вона і найкоротша 5 - $\bar{5}$), і вона перетинає лінію зв'язку команди.

2. Отримуємо виражений випадок ламаної «5 - $\bar{5} \rightarrow 1$ - $\bar{1}$ » і при цьому:

- всі відрізки, крім останнього, збігаються у напрямку з функціональним графом,
- останнім відрізком є лінія зв'язку команди, що складається даного режиму (модуля 1, перший режим),
- траєкторія має мінімальну кількість відрізків,
- траєкторія ніде не торкається функціонального графа.

Отримана траєкторія команди «5 - $\bar{5}$».

3. Початковий вираз зворотної команди для першого режиму має один сигнал:

$$y_{\bar{1}}^{1p} \Leftarrow x_5 \ .$$

У добуток входять лише сигнали однорежимних модулів (входить x_5), отже, перевірку на хибне спрацьовування проводити не потрібно.

4. Остаточний варіант виразу зворотної команди першого режиму модуля 1 збігається з початковим варіантом (у маркуванні попередньої дуги один індекс):

$$y_{\bar{1}}^{1p} \Leftarrow x_5 \ .$$

Побудова виразу зворотної команди для 2-го режиму модуля 1

1. Вибираємо на функціональному графі дугу, у маркуванні якої міститься індекс другого режиму зворотної команди модуля 1 (рис. 2.68, дуга 13, перша за об'єднанням альтернативних гілок), вираз команди будуємо у вигляді добутку варіантів, отриманих для першої та другої альтернатив;

Перша альтернатива

2. Розглядаємо всі лінії зв'язку, що виходять з кінцевої вершини дуги №7 - лінія зв'язку основної дії модуля 7 та зворотної дії модуля 9 (обидві лінії належать однорежимним модулям в кожній альтернативі).

Вибираємо з них ту лінію, що має найменшу довжину.

3. Будуємо траєкторію з відрізків ліній зв'язку, яка починається з обраної лінії зв'язку модуля 7 (другої альтернативи) і з'єднує початок дуги №13 функціонального графа з її кінцем «7 - $\bar{7} \rightarrow 1$ - $\bar{1}$» і при цьому:

- всі відрізки, крім останнього, збігаються у напрямку з функціональним графом,
- останнім відрізком є лінія зв'язку команди даного режиму (модуля 1, протилежний напрямок),
- траєкторія має мінімальну кількість відрізків,

- траєкторія ніде не торкається функціонального графа.

Отримана траєкторія команди: «7 - $\bar{7}$».

4. Початковий варіант виразу зворотної команди 2-го режиму 1-го модуля (за зовнішнім альтернативним контуром) має один сигнал однорежимного модуля (перевірка не потрібна) $y_{\bar{1}}^{2p-1} \Leftarrow x_{\bar{7}}$.

5. Додаємо множники, що відповідають індексам маркування дуги №7 і отримуємо остаточний вираз другого режиму першої (верхньої) альтернативи:

$$y_{\bar{1}}^{2p-1} \Leftarrow x_{\bar{7}} * x_9 .$$

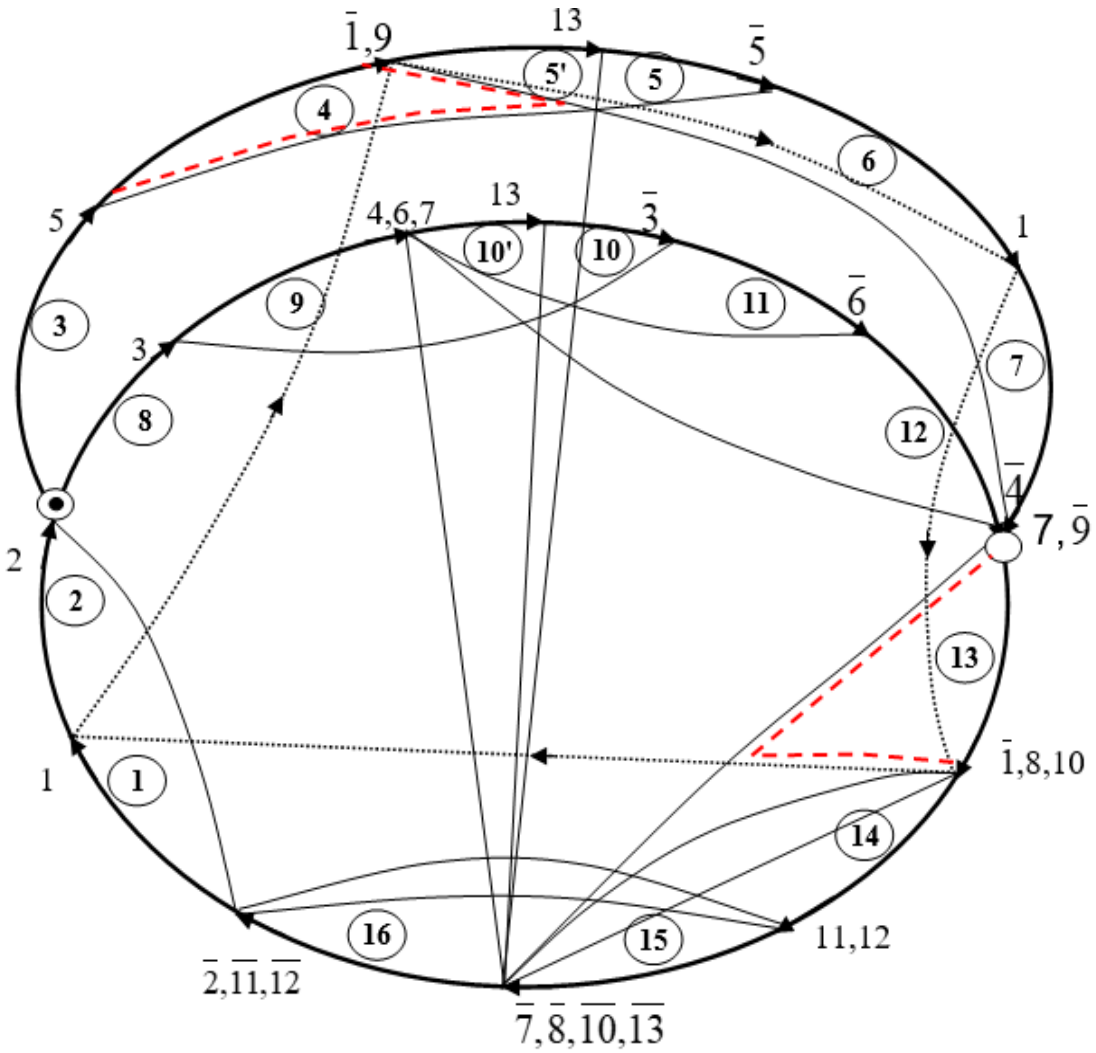


Рис. 2.68. Функціональний граф системи з альтернативними підпроцесами, підграфом зв'язку, лініями зв'язку елемента пам'яті (модуль 13), в кружечках позначені номери дуг, 5' і 10' додані дуги для вмикання і вимикання елемента пам'яті, пунктиром позначено траєкторії двох режимів зворотної команди першого модуля

Друга альтернатива

1. Розглядаємо всі лінії зв'язку, що виходять із кінцевої вершини дуги №12 - одна лінія зв'язку зворотної дії модуля 4 (однорежимний модуль).

Вибираємо з них ту лінію, що має найменшу довжину.

2. Будуємо траєкторію з відрізків ліній зв'язку, яка починається з обраної лінії зв'язку модуля 4 і з'єднує початок дуги №13 функціонального графа з її кінцем «$\bar{4}$ - 4 → 13 - $\overline{13}$ → 1 - $\bar{1}$» і при цьому:

- всі відрізки, крім останнього, збігаються у напрямку з функціональним графом,
- останнім відрізком є лінія зв'язку команди другого режиму модуля 1,
- траєкторія має мінімальну кількість відрізків,
- траєкторія ніде не торкається функціонального графа.

Отримана траєкторія команди «$\bar{4}$ - 4 → 13 - $\overline{13}$».

3. Початковий варіант виразу зворотної команди 2-го режиму 1-го модуля (за внутрішнім альтернативним контуром) має два сигнали однорежимних модулів (перевірка не потрібна) $y_{\bar{1}}^{2p-2} \Leftarrow x_{\bar{4}} * x_{13}$. Оскільки додаткових множників немає (у маркуванні дуги №12 один індекс) отримуємо остаточний вираз для другого режиму другої (верхньої) альтернативи:

$$y_{\bar{1}}^{2p-2} \Leftarrow x_{\bar{4}} * x_{13}.$$

4. Результуючий вираз зворотної команди модуля 1 для дуги №13 отримуємо як добуток виразів для двох альтернативних режимів:

$$y_{\bar{1}} \Leftarrow x_7 * x_{\bar{9}} * x_{\bar{4}} * x_{13}.$$

5. Остаточний вираз зворотної команди багаторежимного модуля 1 отримуємо як суму виразів для 1-го (дуга №4) та другого (дуга №13) режимів:

$$y_{\bar{1}} \Leftarrow x_5 + x_7 * x_{\bar{9}} * x_{\bar{4}} * x_{13}.$$

Приклад укладання бістабільного виразу основної команди однорежимного модуля 3 (рис. 2.69). Особливість цього випадку полягає в побудові траєкторії команди, яка здійснює перехід з однієї альтернативної гілки на іншу альтернативну гілку. Вираз команди будуємо у бістабільному варіанті.

Побудову траєкторії виконуємо методом зворотного відліку: не з початкової вершини дуги №8 до кінцевої вершини цієї дуги, а з кінцевої вершини дуги №8, починаючи з лінії зв'язку команди 3-го модуля, до початкової вершини цієї дуги. Метод є ітераційним, тобто відбувається покрокове нарощування логічних умов команди:

1) Лінію зв'язку команди y_3 перетинають 4 лінії зв'язку модулів 4, 6, 7, 13.

2) Найближче до початкової вершини дуги №8 підходять лінії зв'язку модулів 7 і 13.

3) Розглядаємо обрану лінію зв'язку замість лінії зв'язку команди (пункт 1).

4) Лінію зв'язку модуля 7 (так, як і модуля 13) перетинають три лінії зв'язку: модуля 1 (зворотна команда, другий режим), модулів 11 та 12. Лінія зв'язку модуля 1 має зворотний напрямок, тобто не може бути використана за методикою. Залишаються лінії зв'язку модулів 11 та 12.

5) Розглядаємо обрану лінію зв'язку замість лінії зв'язку команди (п. 1).

6) Лінії зв'язків модулів 11 та 12 не перетинає жодна лінія зв'язку, що наближається до початкової вершини дуги №8. У межах безальтернативної

частини графу або альтернативи внутрішнього контуру ПОБУДУВАТИ траєкторію команди НЕМОЖЛИВО!

Спроба побудувати зовнішній альтернативний контур

7) Лінію зв'язку команди y_3 перетинають 4 лінії модулів 4, 6, 7 та 13. Найближче до початкової вершини дуги №8 підходять лінії зв'язку 7 і 13.

Лінію зв'язку модуля 7 (або 13) у потрібному напрямку перетинають лінії зв'язку модулів 11 та 12.

8) Переходимо до зовнішнього альтернативного контуру. Будуємо ламану з ліній зв'язку, яка починається по лінії зв'язку модуля 2 з початкової вершини дуги №8, і перетинає лінії зв'язку модулів 11, 12, або у внутрішньому контурі лінії модулів 7 або 13 (ці модулі мають лінії зв'язку в обох альтернативних процесах).

9) Ламану вдається побудувати в загальній частині графа та зовнішньому контурі альтернативи: «2 - $\bar{2} \to 1$ - $\bar{1} \to 5$ - $\bar{5} \to 13$ - $\overline{13} \to \overline{11}$ - 11» і при цьому:

- всі відрізки ламаної лінії збігаються у напрямку з функціональним графом,
- ламана лінія має мінімальну кількість відрізків,
- ламана лінія ніде не торкається функціонального графа.

Ця ламана перетинає лінії зв'язку модулів 7 та 11 у внутрішньому альтернативному контурі.

Таким чином, додаткова ламана виходить з початкової вершини дуги №8, потім перетинає лінію зв'язку модуля 7 у внутрішньому контурі, яка, у свою чергу, перетинає лінію зв'язку команди, що складаємо, тобто замикає початкову і кінцеву вершини дуги №8.

Записуємо вираз додаткової ламаної у напрямку обходу графа, з урахуванням кутів перетину відрізків (правило правої руки):

$$x_2 * x_1 + x_5 + x_{13} * x_{\overline{11}}.$$

Ця ламана лінія може бути замінена на «фіктивну» лінію зв'язку (рис. 2.69), яка перетинає лінію зв'язку модуля 7, що належить внутрішньому контуру.

Отриманий вираз беремо в дужки і використовуємо при побудові траєкторії команди. З урахуванням додаткової ламаної, будуємо вираз основної команди модуля 3:

$$y_3 \Leftarrow x_{fikt} * x_{\bar{7}} = \left(x_2 * x_1 + x_5 + x_{13} * x_{\overline{11}}\right) * x_{\bar{7}}.$$

Вираз додаткової обмежуючої ламаної, для зберігання і розуміння структури команди, краще укладати в дужки, але якщо у виразі немає знаків додавання, то дужки можна опустити.

Далі наведено вирази бістабільного варіанта команд із коментарями для всіх модулів системи (рис. 2.69).

Модуль 1, основна команда

$$y_1 \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_{\overline{11}} * x_{\overline{12}} + x_{\bar{5}} * x_9$$

Багаторежимний модуль, порядок укладання виразу команди розглянуто вище.

Модуль 1, зворотна команда

$$y_{\bar{1}} \Leftarrow x_5 + x_7 * x_{\bar{9}} * x_{\bar{4}} * x_{\overline{13}}$$

Багаторежимний модуль, порядок укладання виразу команди розглянуто вище.

Модуль 2, основна команда

$$y_2 \Leftarrow x_1$$

Сигнал - початкова причина x_1 є достатньою умовою для формування сигналу команди (другий режим сигнала x_1 розташовано в зоні команди). Початкова траєкторія укладена з однієї лінії: $1 \to \bar{1}$.

Модуль 2, зворотна команда

$$y_{\bar{2}} \Leftarrow x_{\bar{7}} * x_{\bar{8}} * x_{\overline{10}} * x_{\overline{13}} * x_{\bar{1}} * x_{\bar{5}}$$

Сигнал – початкова причина має вигляд добутку $x_{\bar{7}} * x_{\bar{8}} * x_{\overline{10}} * x_{\overline{13}}$.

Початкова траєкторія: $\overline{7} \to \bar{1}$. Другий відрізок належить багаторежимному модулю 1. Після перевірки додано обмежуючий множник:

$$x_{\bar{7}} * x_{\bar{1}} * x_{\bar{5}}.$$

Модуль 3, основна команда (рис. 2.69)

$$y_3 \Leftarrow (x_{\bar{2}} * x_1 + x_5 + x_{13} * x_{\overline{11}}) * x_{\overline{13}}$$

Однорежимний модуль, порядок укладання виразу команди розглянуто вище.

Модуль 3, зворотна команда.

$$y_{\bar{3}} \Leftarrow x_{13}$$

Сигнал – початкова причина x_{13} є одночасно необхідною і достатньою умовою формування команди. Початкова траєкторія складена з одного відрізка: 13.

Модуль 4, основна команда

$$y_4 \Leftarrow x_3$$

Сигнал – початкова причина x_3 є одночасно необхідною і достатньою умовою формування команди. Початкова траєкторія складена з одного відрізка: 3.

Модуль 4, зворотна команда

$$y_{\bar{4}} \Leftarrow x_{\bar{6}} * x_{13}$$

Сигнал – початкова причина $x_{\bar{6}}$.

Початкова траєкторія: $\overline{6} \to \overline{13}$. Обидва відрізки належать однорежимним модулям.

Модуль 5, основна команда

$$y_5 \Leftarrow x_2 * x_1 * x_{\overline{13}}$$

Сигнал – початкова причина x_2.

Початкова траєкторія: $2 \to 1$. Другий відрізок належить багаторежимному модулю 1. Після перевірки додано обмежуючий множник.

Модуль 5, зворотна команда

$$y_{\bar{5}} \Leftarrow x_{13}$$

Сигнал – початкова причина x_{13} є одночасно і достатньою умовою команди. Початкова траєкторія складена з одного відрізка: 13.

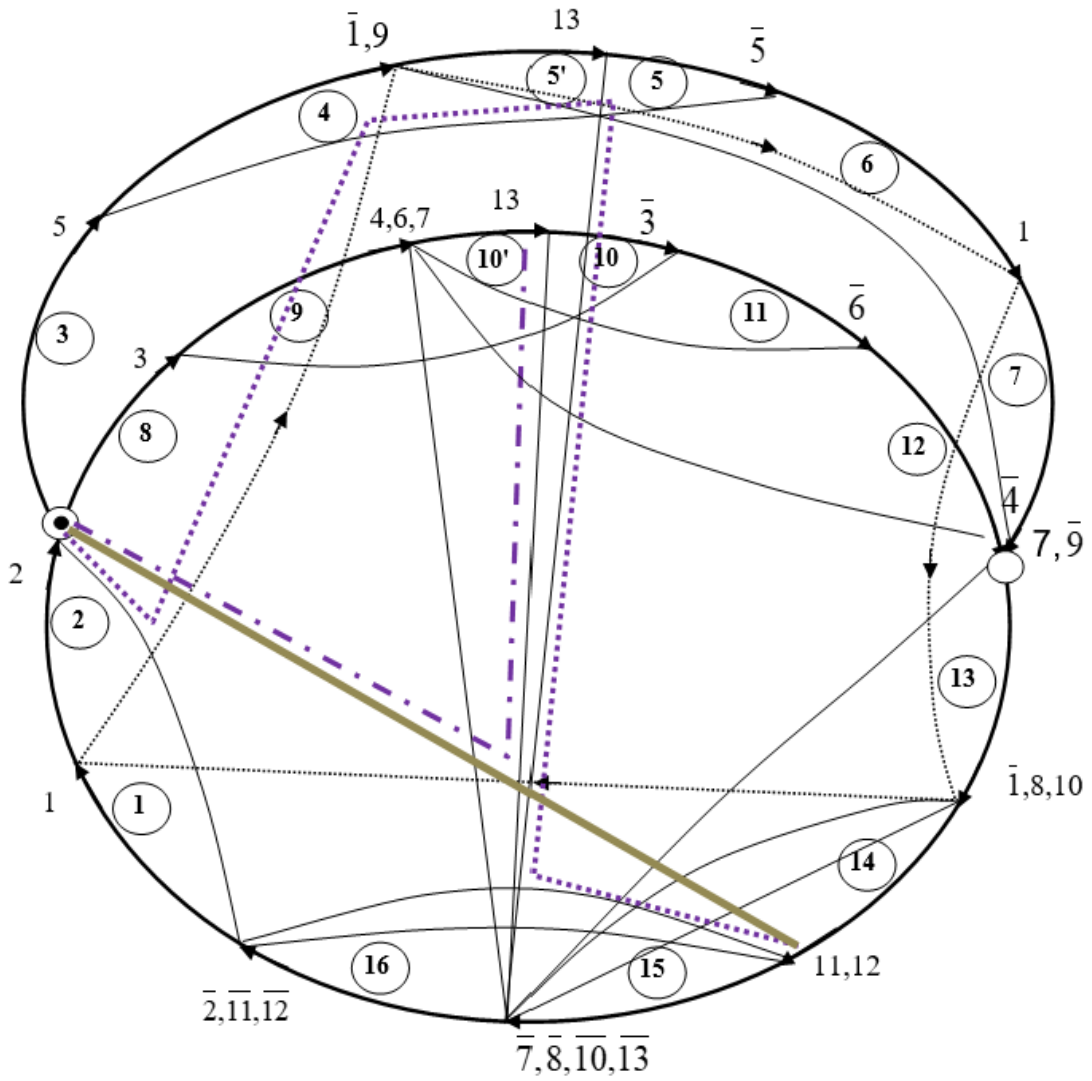


Рис. 2.69. Функціональний граф системи з альтернативними підпроцесами, траєкторією основної команди модуля 3 (штрих-пунктирна лінія), ломаною лінією переходу з зовнішнього контуру до безальтернативної ланки графу (дуги 13, 14, 15, 16, 1, 2, крапкова лінія), фіктивною лінією для переходу (стовщена лінія)

Модуль 6, основна команда

$$y_6 \Leftarrow x_3$$

Сигнал – початкова причина x_3 є одночасно і достатньою умовою команди. Початкова траєкторія складена з одного відрізку: 3.

Модуль 6, зворотна команда

$$y_{\bar{6}} \Leftarrow x_{\bar{3}}$$

Сигнал – початкова причина $x_{\bar{3}}$ є одночасно і достатньою умовою команди. Початкова траєкторія складена з одного відрізку: $\bar{3}$.

Модуль 7, основна команда

$$y_7 \Leftarrow x_1 * x_{13} + x_3$$

Команда має бути відпрацьована в кожному з двох альтернативних режимів, тому вона має вигляд суми виразів для кожного з режимів.

В першому режимі сигнал – початкова причина x_1 належить багаторежимному модулю 1. Початковий варіант траєкторії вироджений: 1. Після перевірки додано обмежуючий множник.

В другому режимі сигнал – початкова причина $x_{\bar{3}}$ є одночасно і достатньою умовою команди. Початкова траєкторія складена з одного відрізку: $\bar{3}$.

Модуль 7, зворотна команда

$$y_{\bar{7}} \Leftarrow x_{11} * x_{12}$$

Сигнал – початкова причина $x_{11} * x_{12}$ є одночасно і достатньою умовою команди. Початкова траєкторія складена з одного відрізку: 11.

Модуль 8, основна команда (рис. 2.70)

$$y_8 \Leftarrow x_{\bar{4}} * x_{13} * x_{\overline{11}} * x_7 * x_{\bar{9}} * x_{\overline{11}} = x_{\bar{4}} * x_{13} * x_{\overline{11}} * x_7 * x_{\bar{9}}$$

Команда слідує за злиттям двох альтернативних режимів, тому вона має вигляд добутку логічних виразів, побудованих для кожного з альтернативних режимів.

Вираз основної команди 8-го модуля для першого режиму:

$$y_8^{p1} \Leftarrow x_7 * x_{\bar{9}} * x_{\overline{11}}.$$

Вираз основної команди 8-го модуля для другого режиму:

$$y_8^{p2} \Leftarrow x_{\bar{4}} * x_{13} * x_{\overline{11}}.$$

Модуль 8, зворотна команда

$$y_{\bar{8}} \Leftarrow x_{11} * x_{12}$$

Сигнал – початкова причина $x_{11} * x_{12}$ є одночасно і достатньою умовою команди. Початкова траєкторія складена з одного відрізку: 11.

Модуль 9, основна команда

$$y_9 \Leftarrow x_5$$

Сигнал – початкова причина x_5 є одночасно і достатньою умовою команди. Початкова траєкторія складена з одного відрізку: 5.

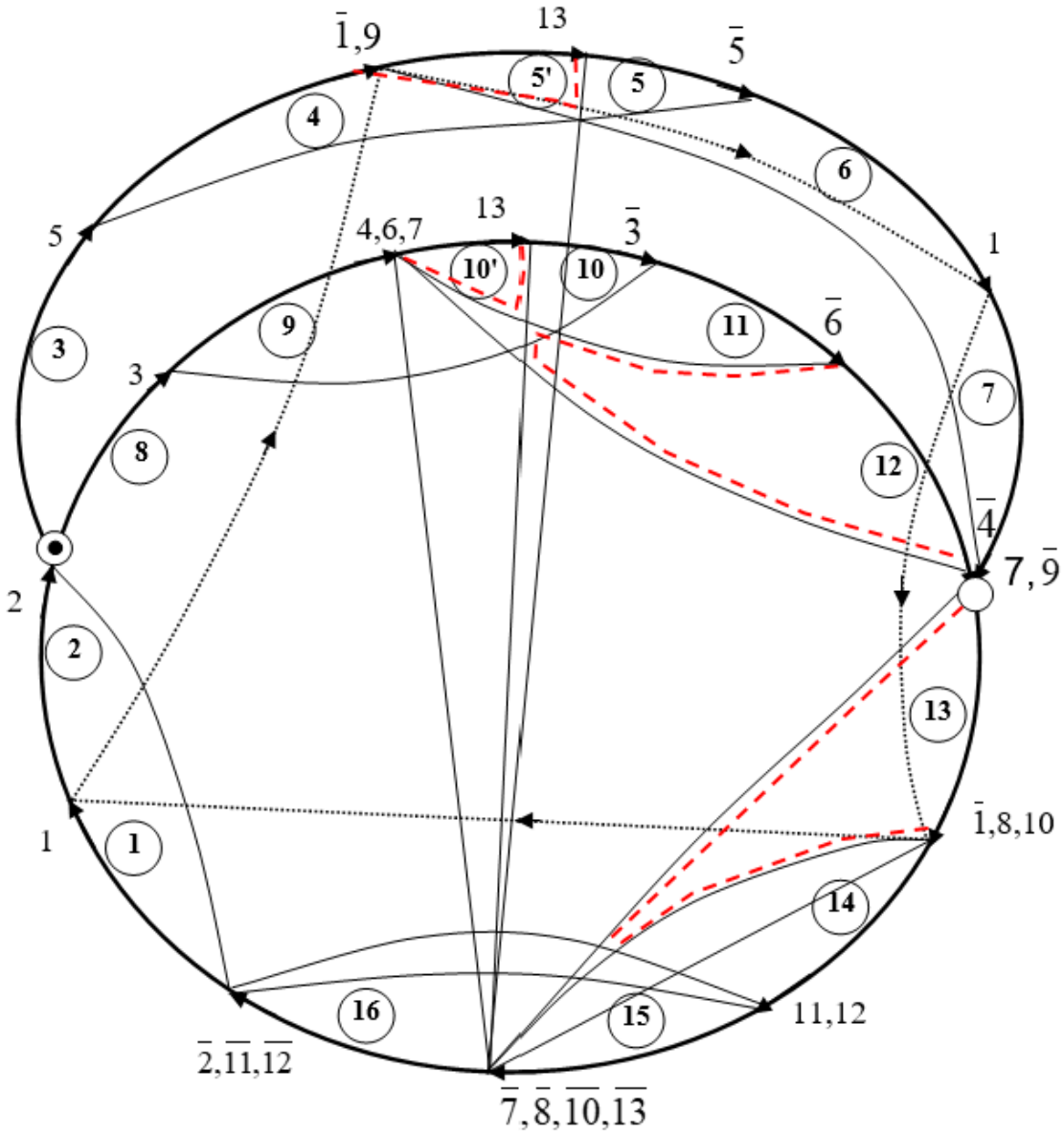


Рис. 2.70 Функціональний граф системи з альтернативними підпроцесами, підграфом зв'язку, лініями зв'язку елемента пам'яті (модуль 13), в кружечках позначені номери дуг, 5' і 10' додані дуги для вмикання і вимикання елемента пам'яті, пунктиром позначено траєкторії основної команди восьмого модуля, двох режимів13-го модуля і зворотної команди 4-го модуля

Модуль 9, зворотна команда

$$y_{\bar{9}} \Leftarrow x_1 * x_{13}$$

Сигнал – початкова причина x_1 належить багаторежимному модулю. Початкова траєкторія складена з одного відрізку:1. Після перевірки додано обмежуючий множник.

Модуль 10, основна команда

$$y_{10} \Leftarrow x_{\bar{4}} * x_{13} * x_{\bar{11}} * x_7 * x_{\bar{9}} * x_{\bar{11}} = x_{\bar{4}} * x_{13} * x_{\bar{11}} * x_7 * x_{\bar{9}}$$

Порядок укладання виразу команди, її структура і склад логічного виразу аналогічні до команди 8-го модуля.

Модуль 10, зворотна команда

$$y_{\overline{10}} \Leftarrow x_{11} * x_{12}$$

Сигнал – початкова причина $x_{11} * x_{12}$ є одночасно і достатньою умовою команди. Початкова траєкторія складена з одного відрізку: 11.

Модуль 11, основна команда

$$y_{11} \Leftarrow x_{\bar{1}} * x_8 * x_{10}$$

Сигнал – початкова причина $x_{\bar{1}} * x_8 * x_{10}$ є одночасно і достатньою умовою команди. Початкова траєкторія складена з одного відрізку: 10.

Модуль 11, зворотна команда

$$y_{\overline{11}} \Leftarrow x_{\bar{7}} * x_{\bar{8}} * x_{\overline{10}} * x_{\overline{13}}$$

Сигнал – початкова причина $x_{\bar{7}} * x_{\bar{8}} * x_{\overline{10}} * x_{\overline{13}}$ є одночасно і достатньою умовою команди. Початкова траєкторія складена з одного відрізку: $\overline{7}$.

Модуль 12, основна команда

$$y_{12} \Leftarrow x_{\bar{1}} * x_8 * x_{10}$$

Сигнал – початкова причина $x_{\bar{1}} * x_8 * x_{10}$ є одночасно і достатньою умовою команди. Початкова траєкторія складена з одного відрізку: 10.

Модуль 12, зворотна команда.

$$y_{\overline{12}} \Leftarrow x_{\bar{7}} * x_{\bar{8}} * x_{\overline{10}} * x_{\overline{13}}$$

Сигнал – початкова причина $x_{\bar{7}} * x_{\bar{8}} * x_{\overline{10}} * x_{\overline{13}}$ є одночасно і достатньою умовою команди. Початкова траєкторія складена з одного відрізку: $\overline{7}$.

Модуль 13, основна команда

$$y_{13} \Leftarrow x_{\bar{1}} * x_9 + x_4 * x_6 * x_7$$

Команда має бути відпрацьована в кожному з двох альтернативних режимів, тому вона має вигляд суми виразів для кожного з режимів.

В першому режимі сигнал – початкова причина $x_{\bar{1}} * x_9$ належить багаторежимному модулю 1 і однорежимному модулю 9. Початковий варіант траєкторії вироджений: 9. Обмежуючий множник не потрібен.

В другому режимі сигнал – початкова причина $x_4 * x_6 * x_7$ є одночасно і достатньою умовою команди. Початкова траєкторія складена з одного відрізку: 6.

Модуль 13, зворотна команда

$$y_{\overline{13}} \Leftarrow x_{11} * x_{12}$$

Сигнал – початкова причина $x_{11} * x_{12}$ є одночасно і достатньою умовою команди. Початкова траєкторія складена з одного відрізку: 11.

Мінімізація логічних виразів команд керування. Так само, як і для більш простих систем (від 1го до 4-го класів), для систем 5-го класу використовують декілька можливостей щодо спрощення виразів команд, алгоритмів керування, принципових схем. Але при створенні систем 5-го класу найчастіше використовують в системах керування програмовані контролери або промислові комп'ютери. В таких випадках зменшення на 10 … 20% коду програми або скорочення в 2 – 3 рази кількості елементів пам'яті (бінарних змінних, тригерів, прапорів) не створює технічних переваг для розробника системи керування. У випадку змішаної технічної реалізації системи керування (коли в системі керування поєднано алгоритмічне і апаратне обладнання) – мінімізація може бути достатньо корисною. Проте основні рішення, що дозволяють скоротити кількість логічних функцій і сигналів, не є специфічними саме для систем 5-го класу і вони подібні до засобів, розглянутих в системах від 1-го до 4-го класів.

Винесення спільних множників за дужки у виразах команд забезпечує скорочення кількості логічних функцій і ліній передачі сигналів, що особливо суттєво для систем гідроавтоматики.

Пріоритетне використання однакових сигналів у командах різних модулів спрямоване на повторення тих самих добутків чи сум сигналів у різних командах. Це дозволяє обчислювати такий вираз один раз, а використовувати декілька разів, тобто, скорочує кількість засобів реалізації логічних функцій. Такий прийом є найбільш доцільним за умов апаратної реалізації систем керування, особливо з використанням пневматичної та гідравлічної апаратури.

Реалізація логічного множення з використанням апаратної частини – ліній живлення датчиків стану (мало ймовірно для складних багатоелементних систем, але може бути використано при створенні їх окремих модулів).

При використанні PLC і алгоритмічній реалізації систем керування кожна надлишкова логічна функція - це додаткові операнди в алгоритмі керуючої програми. Скорочення більше 50% логічних функцій могло б суттєво спростити алгоритм керування, але система виразів команд, якщо вона побудована за запропонованою методикою, настільки близька до мінімальної, що може йти мова лише про скорочення на кілька відсотків. Проте будь-яка суто формальна мінімізація порушує логічну структуру команд. Така мінімізація нехтує відповідністю між логікою команди та змістовним навантаженням функціонування модуля у контексті системи. Це ускладнює помодульне складання та налагодження системи, робить систему менш відкритою до модернізації шляхом введення додаткових модулів або розширення функцій існуючих модулів, що є притаманним саме системам 5-го класу.

2.6.5. Будова, склад і зміст модулів альтернативного вибору

При створенні систем 5-го класу, або альтернативних та гнучких систем, потрібно більш ретельно враховувати конкретні особливості процесу, що автоматизується. У системах 1 - 4-го класів технологічний процес, за змістом, повністю детермінований.

Альтернативні системи мають, хоч і обмежену, але автономну можливість вибору наступних дій модулів. Цей вибір, якщо він недостатньо коректно побудований (як логічно, так і технічно), може завести систему у невизначений стан із непередбачуваними, у загальному випадку, наслідками.

Саме з цієї причини, на окрему увагу заслуговує зв'язок алгоритмічної реалізації зі змістовним навантаженням для модулів альтернативного вибору.

З кожної вершини альтернативного вибору виходить дві дуги, які є початковими двох альтернативних (взаємовиключних) підпроцесів. У маркуванні кожної з цих дуг знаходиться лише один індекс - команди альтернативного вибору підпроцесу "А" та команди альтернативного вибору підпроцесу "Б".

Альтернативний вибір здійснюється за допомогою модулів альтернативного вибору, які призначені тільки для підтвердження (або заперечення) умов початку альтернативного підпроцесу.

Перевірка виконання параметру чи сигналу, що визначає потрібну альтернативу, не входить до змісту дії модуля. Наприклад, модуль не вмикає і не вимикає датчик контролю рівня рідини в ємності, але за отриманою командою модуль перевіряє - чи є сигнал на виході датчика.

Зворотна команда модуля припиняє перевірку щодо наявності сигналу на виході датчика (перевірку виконання умови, за якою система повинна перейти до альтернативного підпроцесу). Фактично, зворотна команда вимикає особливий елемент пам'яті, функція якого полягає в дозволі або забороненні щодо перевірки певної логічної умови.

Таким чином, за внутрішньою структурою, кожен модуль альтернативного вибору має вигляд елемента пам'яті. Тобто, якщо при створенні системи керування вже апробовані варіанти побудови і використання елементів пам'яті, то ці варіанти вони можуть бути застосовані для побудови модулів альтернативного вибору.

Додаткова особливість полягає в тому, що модулі альтернативного вибору утворюють пари, між якими є додатковий зв'язок. Зміст основних дій у парі взаємно альтернативних модулів має бути взаємовиключним – альтернативні умови для початку виконання основної дії одного з модулів пари має бути тотожно невиконанню умови для початку основної дії другого з модулів цієї пари.

Функціонування модулів альтернативного вибору відбувається наступним чином:

- Вмикання модуля альтернативного вибору: увімкнення відбувається за одночасної наявності одиничного значення логічного виразу

команди на вмикання та позитивного результату перевірки заданої умови альтернативного вибору.

- Вимкнення модуля альтернативного вибору: вимикається за наявності одиничного значення логічного виразу команди на вимкнення.

Зміст основної функції модуля альтернативного вибору - розпочати перевірку умов входження до альтернативного підпроцесу «А».

Зміст зворотної функції модуля альтернативного вибору – припинити перевірку умов входження до альтернативного підпроцесу «А».

В загальному вигляді логічні вирази команд керування модулями альтернативного вибору матимуть наступний вигляд:

$$y_{1alt} \Leftarrow \{y_{1alt}^{logic}\} * x_{ext}^{+},$$

$$y_{\overline{1alt}} \Leftarrow \{y_{\overline{1alt}}^{logic}\},$$

$$y_{2alt} \Leftarrow \{y_{2alt}^{logic}\} * x_{ext}^{-},$$

$$y_{\overline{2alt}} \Leftarrow \{y_{\overline{2alt}}^{logic}\},$$

де y_{1alt} - основна команда 1-го альтернативного модуля, $y_{\overline{1alt}}$ - зворотна команда 1-го альтернативного модуля, $\{y_{1alt}^{logic}\}$ - логічний вираз команди, отриманий під час логічного синтезу, x_{ext}^{+} і x_{ext}^{-} - зовнішні сигнали альтернативного вибору.

Приклад побудови структури модулів альтернативного вибору та узгодження змісту основних та зворотних дій однієї пари взаємо-зворотних модулів альтернативного вибору розглянуто у варіанті алгоритмічної реалізації з використанням мови STL.

Як систему 5-го класу використано приклад рис. 2.71. Припустимо, за завданням перший альтернативний процес (дуги з 3 по 7) має спрацювати за умов, що тиск в системі більший за порогове значення P1. Якщо ця умова не виконана (тиск менший або дорівнює P1), то має спрацювати другий альтернативний процес (дуги з 8 по 12). Умова вибору за рівнем тиску є зовнішнім фактором по відношенню до дій системи. Тобто, жоден модуль системи не має у якості контролю своєї дії наведені умови щодо рівня тиску в системі.

Позначимо такий зовнішній фактор (умову) X_{ext}^{+} для першої альтернативи і X_{ext}^{-} для другої альтернативи.

За результатами виконання логічного синтезу модулі альтернативного вибору (5 – модуль вибору першої альтернативи, 3 – модуль вибору другої альтернативи, рис. 2.71) отримали наступні вирази команд керування:

$$y_5 \Leftarrow x_2 * x_1 * x_{\overline{13}},\ y_{\overline{5}} \Leftarrow x_{13},$$

$$y_3 \Leftarrow (x_{\bar{2}} * x_1 + x_5 + x_{13} * x_{\bar{11}}) * x_{\bar{13}},\ y_{\bar{3}} \Leftarrow x_{13}.$$

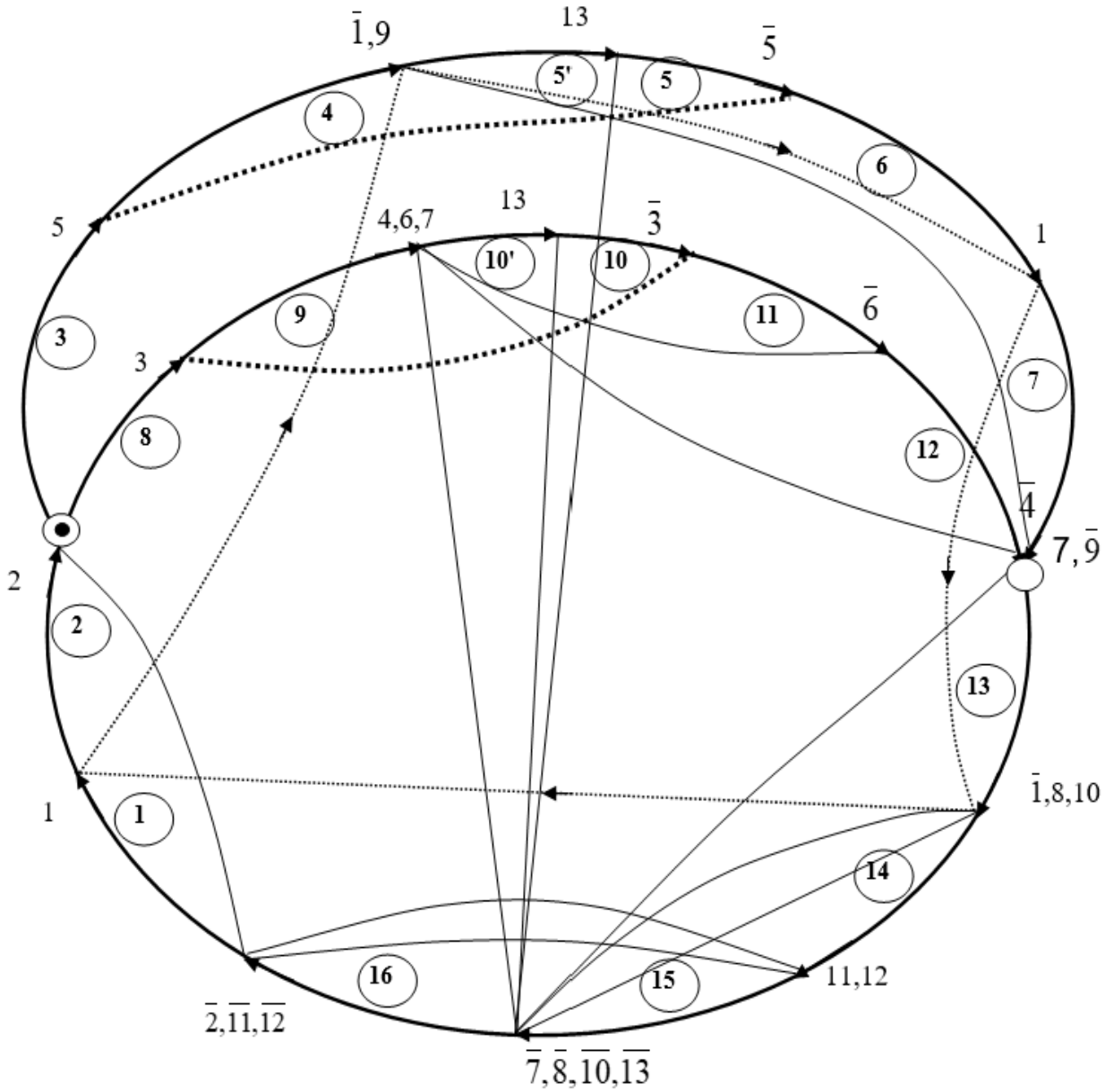


Рис. 2.71. Функціональний граф системи 5-го класу з двома альтернативними підпроцесами, модулями альтернативного вибору 3 і 5 (лінії зв'язку показано крапчастими лініями), підграфом зв'язку, лініями зв'язку елемента пам'яті (модуль 13), в кружечках позначено номери дуг, дуги 3 і 8 є початковими дугами альтернативних процесів, дуги 7 і 12 є кінцевими дугами альтернативних процесів

Оскільки за базовою структурою модулі альтернативного вибору є елементами пам'яті, то попередньо для них побудовано логічні вирази команд як для елементів пам'яті.

Наступний крок – введення до логічних умов основних команд альтернативного вибору змісту умов саме альтернативного вибору – зовнішніх факторів (в прикладі – рівень тиску):

$$y_5 \Leftarrow x_2 * x_1 * x_{\overline{13}} * x^{+}_{ext},$$

$$y_3 \Leftarrow (x_{\overline{2}} * x_1 + x_5 + x_{13} * x_{\overline{11}}) * x_{\overline{13}} * x^{-}_{ext}.$$

ЗАУВАЖЕННЯ. Для виключення можливості змагання модулів альтернативного вибору (модуль 5 і модуль 3) за першість доповнюємо умову вмикання кожного з цих модулів інверсним станом альтернативного модуля.

Тобто, умова вмикання спрацьовує, якщо альтернативний модуль ще не спрацював:

$$y_5 \Leftarrow x_2 * x_1 * x_{\overline{13}} * x^{+}_{ext} * x_{\overline{3}},$$

$$y_3 \Leftarrow (x_{\overline{2}} * x_1 + x_5 + x_{13} * x_{\overline{11}}) * x_{\overline{13}} * x^{-}_{ext} * x_{\overline{5}}.$$

Наведене доповнення не є обов'язковим, але може бути корисним для швидкоплинних процесів.

Формалізуємо опис дій пари модулів альтернативного вибору в прикладі:

Основна дія	**Зворотна дія**
Модуль альтернативи 5	
Почати перевірку рівня тиску >P1	Припинити перевірку рівня тиску >P1
Модуль альтернативи 3	
Почати перевірку рівня тиску ≤ P1	Припинити перевірку рівня тиску ≤ P1

Якщо скористатися наступною формою опису сигналів модулів в системі, то їх можна використати і в тексті алгоритму керування мовою STL:

X – ознака сигналу стану модуля

N – ознака сигналу від виконання зворотної дії (для основної дії ця ознака відсутня)

№ - ім'я (номер) модуля.

За таких позначень кожний модуль матиме два сигнали стану, тобто, два стани елементу пам'яті альтернативного модуля.

Для кожного елемента пам'яті використовуємо дві бінарні змінні або два прапори, які позначимо XN«№»(зворотний) і X«№» (основний).

Сигнали, що формують опис команд в вище наведених логічних виразах, побудованих для модуля 3, потребують використання наступних символьних операндів.

Для основної команди: XN2, X1, X5, X13, XN11, XN13 .

Для зворотної команди: XN13 .

Сигнали, що формують опис команд в вище наведених логічних виразах, побудованих для модуля 5, потребують використання наступних символьних операндів:
для основної команди: X2, X1, XN13 ;
для зворотної команди: X13 .

Умова, контроль якої забезпечує альтернативний вибір – перевищення рівня тиску – відповідає отриманню одиничного сигналу від реле тиску. Це реле не належить до складу модулів альтернативного вибору. Позначимо цей сигнал наступним чином: XP_1 (X – сигнал контроля, P – тиск, _1 – перший сигнал контролю тиску в системі). Варіант нульового значення сигналу від реле тиску є тотожнім до виконання умови «не перевищення рівня тиску».

Стан модуля альтернативного вибору першої альтернативи описують дві бінарні змінні (X5 і XN5), які мають змінювати свої значення за певних умов.

Модуль 5 має спрацювати, якщо подана команда основної дії модуля і виконана умова (XP_1=1, мова STL) :

```
IF      (X2 AND X1 END XN13) AND XP_1
THEN    SET     X5
        RESET   XN5
```

Модуль 5 має бути вимкненим, якщо подана зворотна команда без додаткових умов:

```
IF      X13
THEN    RESET   X5
        SET     XN5
```

Модуль альтернативного вибору другої альтернативи має аналогічний опис стану з двох бінарних змінних X3 і XN3.

Модуль 3 має спрацювати, якщо подана команда основної дії модуля і виконана умова (XP_1=0):

```
IF      (XN2 AND X1 OR X5 OR X13 END XN11) AND XN13 AND N XP_1
THEN    SET     X3
        RESET   XN3
```

Модуль 3 має бути вимкненим, якщо подана зворотна команда:

```
IF      X13
        THEN    RESET   X3
        SET     XN3
```

Будову, аналогічну до елементів пам'яті, матимуть модулі альтернативного вибору і у разі схемної реалізації засобами пневмоавтоматики, гідроавтоматики, електроніки, електрорелейних схем. При практичній реалізації увагу необхідно приділити часовим показникам спрацювання апаратної схеми обробки сигналів або алгоритму, що виконують функцію альтернативного вибору. Наприклад, альтернативний вибір здійснюється на позиції завантаження деталі: якщо

комплектуюча деталь завантажена – її встановлюють на виріб, якщо деталі немає – вмикається модуль завантаження наступної деталі.

Тобто, після ідентифікації факту завантаження деталі, цю деталь забирають для складальної операції, і позиція завантаження стає порожньою. А якщо позиція завантаження порожня, то має вмикатися альтернативний процес – завантаження наступної деталі. Але, якщо деталь тільки-но забрали для складання, то наступна деталь для збирання виробу поки що не потрібна. Проте, якщо модуль альтернативного вибору вже спрацював, то розпочнеться завантаження наступної деталі.

Для запобігання подібній ситуації можливе логічне блокування одночасного спрацювання модулів альтернативного вибору. Зміст блокування в наступному: обидва ланцюги первинної обробки сигналу альтернативного вибору близькі один одному за часом обробки і можуть наздоганяти один одного. Для запобіганню цього може бути задіяна додаткова умова для виконання основних дій пари модулів альтернативного вибору, а саме - відсутність увімкненого стану іншого модуля альтернативного вибору.

Вмикання модуля альтернативного вибору відбувається за умови одночасної:

- наявності команди на вмикання,
- позитивного результату перевірки заданої альтернативної умови,
- відсутності сигналу увімкненого альтернативного модуля.

Вимкнення модуля альтернативного вибору відбувається за умови наявності тільки но команди на вимкнення.

З урахуванням такого доповнення раніше розглянутий приклад набуде наступного вигляду.

Модуль альтернативного вибору першої альтернативи

Модуль 5 повинен бути «увімкнений» якщо істинний вираз команди і виконана умова (XP_1=1), і «не увімкнутий» модуль 3 :

```
IF      (X2 AND X1 END XN13) AND XP_1 AND N X3
THEN    SET     X5
        RESET   XN5
```

Модуль 5 має бути вимкненим якщо істинний вираз зворотної команди модуля:

```
IF      X13
THEN    RESET   X5
        SET     XN5
```

Модуль альтернативного вибору другої альтернативи

Модуль 3 повинен бути «увімкнений» якщо істинний вираз команди і виконана умова (XP_1=0), і «не увімкнуто» модуль 5:

```
IF      (XN2 AND X1 OR X5 OR X13 END XN11) AND XN13 AND N XP_1
AND N X5
THEN    SET     X3
        RESET   XN3
```

Модуль 3 має бути вимкненим якщо істинний вираз зворотної команди модуля:

```
IF      X13
THEN    RESET   X3
        SET     XN3
```

Можливі і інші варіанти взаємного блокування команд керування до модулів альтернативного вибору. Наприклад, додавання блокуючого елемента пам’яті чи обмеження часу спрацювання модуля після спрацювання альтернативного вибору. Для вибору того чи іншого варіанту потрібно знати параметри виконання перших дій альтернативних гілок. В будь-якому варіанті бажано, щоб зворотна команда до модуля альтернативного вибору була розташована близько від основної команди цього модуля (за 2 – 3 дуги від неї).

2.7. СИСТЕМИ 6-ГО КЛАСУ СКЛАДНОСТІ ЙМОВІРНІСНО-АЛЬТЕРНАТИВНІ

2.7.1. Загальні відомості щодо систем 6-го класу

Поширення мехатронних засобів автоматизації із пневматичними та гідравлічними виконавчими пристроями, які є чутливими до терміну експлуатації, змін умов та режимів використання, неможливо без створення алгоритмів адаптивного керування, які враховують або реагують, різними способами, на вплив зовнішніх та внутрішніх факторів, що є однією з ознак платформи Industry 4.0 при створенні автоматизованих механічних систем [2, 8, 31, 32, 35, 54, 65, 66].

На відміну від задач параметричної адаптації, з пошуком раціональних параметрів для оптимального керування виконавчим пристроєм, певне коло задач потребує динамічної зміни алгоритму керування, у тому числі із заміною не тільки алгоритму, а й критеріїв пошуку раціонального рішення. До такого класу можна віднести задачі керування з напрацюванням умовного рефлексу в залежності від результатів дій системи чи об'єкту керування [8, 77, 88, 97, 104, 159]. Система, що вміщує такий алгоритм, підлагоджує послідовність своїх дій за критерієм очікуваного збільшення позитивного ефекту.

Прикладами систем 6-го класу є технологічні системи з автоматичним налаштуванням швидкості авто з врахуванням його поточної маневреності чи керованості, складальні ланки з налаштуванням швидкості позиціонування деталей, системи гнучкого автоматизованого виробництва з визначенням раціональної траєкторії за типом виробу, комплексні енергетичні системи з комбінованим використанням декількох джерел енергії і фізично-різнорідних накопичувачів і т. ін. [3, 7, 23, 25, 31, 35, 45, 52, 65, 69, 128].

В основу запропонованого підходу покладено формальну складність системи, на основі якої визначено логічну інерційність прийняття рішень за умов збереження структури системи [93,129, 163].

Інерційність прийняття рішень щодо вибору наступної дії модуля розподілено за його типовими альтернативними реакціями (наприклад А і В). Тобто система може виробляти команду «по інерції» за попередніми успішними діями, або на основі тільки но отриманого результату. В першому випадку інформація щодо наступної дії є частково невизначеною, в другому випадку така інформація є вичерпною.

Відносна частка інерційності реакції формує інерційну складову виразу команди керування. Логічний вираз команди керування має двокомпонентну детерміновано-ймовірнісну логічну форму.

Детермінована складова команд керування відповідає обраній

дискретно-логічній моделі системи і може бути отримана за відомими методиками [89, 93, 99, 110, 119, 137, 144, 156, 164].

Ймовірнісна складова найчастіше визначається з використанням нечіткої логіки, нейронних мереж, нечітких множин та інших підходів до побудови інтелектуальних систем [8, 78, 148, 150]. В запропонованому підході використано передумови для розрахунку логічної інерційності за поточним станом пам'яті системи щодо минулих дій з врахуванням складності та кількості попередньої інформації [88, 97, 139, 78, 159].

Шостий клас – це альтернативні замкнені системи з нечіткою функцією вибору, що використовує ймовірнісний опис успішності попередньої роботи.

Процес роботи системи, так само, як і для систем 5-го класу, має альтернативні підпроцеси, що входять в замкнену структуру. Але альтернативний вибір регламентовано не поточним станом зовнішнього впливу, а результатами попередніх дій, наданих в формі ймовірності очікуваного результату. Така система використовує досвід попередньої експлуатації під час вибору кожного альтернативного рішення. Тобто система керування має визначити більш раціональну альтернативу для виконання наступної дії.

2.7.2. Формалізація опису систем 6-го класу

Процес функціонування системи 6-го класу має ймовірнісно-альтернативні підпроцеси, об'єднані в замкнену структуру. Система, за допомогою розрахунку інерційності прийняття рішень, обирає потрібну альтернативу для виконання наступних дій з найбільш вірогідним успішним результатом. Кількість вузлів альтернативного вибору необмежена. В кожному альтернативному підпроцесі має бути хоча би 3 послідовних переходи. Загальна структура процесу замкнена (початок співпадає із завершенням). На відміну від систем 1-го, 2-го, 3-го і 4-го і 5-го класів системи шостого класу виконують функцію автоматичного налаштування на отримання певного результату з врахуванням можливості отримання його за декількома варіантами процесу.

Так само, як і для систем 5-го класу, кількість альтернативних дуг функціонального графу на одному переході обмежена двома, а в кожній альтернативній гілці має бути хоча би 3 послідовних переходи.

Функціональний граф систем 6-го класу майже співпадає з функціональним графом систем 5-го класу. Відмінність полягає в існуванні вершин модулів ймовірнісно-альтернативного вибору.

На відміну від систем 5-го класу системи шостого класу забезпечують автоматичне врахування успішності або помилковості результатів попередньої роботи системи.

Обов’язковим є існування спільного для ймовірнісно-альтернативних режимів фрагменту, після якого відбувається визначення актуальної альтернативи за ймовірнісним індикатором і перехід до відпрацювання відповідного варіанту процесу.

Системи 6-го класу містять в системі керування функцію напрацювання умовного рефлексу, яка враховує результати як ефективних, так і непродуктивних дій системи або окремого модуля.

Модуль ймовірнісно-альтернативного вибору Використання ймовірнісно-альтернативних модулів дозволяє системі автоматично налаштовуватися на отримання успішного результату. Для ймовірнісно-альтернативних систем, як і для систем 5-го класу, обов’язковим є існування спільного для ймовірнісно-альтернативних режимів початкового фрагменту, після якого відбувається визначення актуальної альтернативи і перехід до відпрацювання відповідного підпроцесу.

В якості теоретичного підґрунтя для функції напрацювання умовного рефлексу використано структурований об’єм пам’яті, що відображає кількісне та якісне співвідношення позитивних та негативних результатів в попередніх діях системи або модуля [88, 97].

Для одночасного врахування і логічних зв’язків між діями модулів і ймовірнісної складової успішності дій системи сформовано двокомпонентну структуру логічних виразів команд керування.

Кожна команда основної дії модулів альтернативного вибору об’єднує детерміновану (отриману в результаті логічного синтезу) складову і ймовірнісну (побудовану за результатом опрацювання структурованої пам'яті) складову :

$$y_i = y_{i\_det} \wedge y_{i\_iner} = (\{Y_i\}) \wedge (\{x_{ip}\} \wedge x_p) + \{Y_i\} \wedge \{\overline{x_{ip}}\}, \quad (2.9)$$

де $y_{i\_det} = (\{Y_i\})$ - логічна умова детермінованого спрацювання, $y_{i\_iner} = (\{x_{ip}\} \wedge x_p)$ - умова спрацювання за інерційною складовою, x_p - бінарна змінна – індикатор ймовірнісного вибору, визначений з врахуванням розподілу ймовірностей позитивного і негативного досвіду, $\{x_{ip}\}$ - логічна умова вмикання/вимикання ймовірнісного керування.

Для реалізації ймовірнісного вибору альтернативної дії розроблено методику розрахунку ймовірнісної складової з використанням логічної інерційності системи на основі розгорнутої пам’яті у зворотному відліку. При визначенні ймовірнісного показника альтернатив застосовано циклічну функцію генератора випадкових чисел, синхронізованого з власною частотою опрацювання стану системи і накопиченим об’ємом пам’яті.

Для кожної альтернативи частка логічної інерційності формує інерційну складову сигналу керування (2.9). Співвідношення логічної

інерційності двох альтернативних варіантів визначає ймовірність застосування тієї чи іншої альтернативи [88]. Тобто, якщо інерційні складові однакові, то ймовірність вибору кожної альтернативи складає 0,5. Якщо інерційні складові мають різні значення, але якась одна з них має обов'язково бути виконаною, то сума інерційних складових приймається за 1. Тоді ймовірність вибору кожної з альтернатив буде пропорційною до її інерційної складової.

Детермінована складова команд керування відповідає обраній дискретно-логічній моделі системи і може бути отримана за відомими методиками логічного синтезу для систем 5-го класу.

Структура і зміст модулів систем 6-го класу, як функціональних (виконавчі, керуючі та контролюючі пристрої), так і системних (функціональний модуль або макромодуль чи підсистема із логічними умовами використання), майже однакові з раніш розглянутими структурами для циклових та асинхронних систем.

Особливістю модулів ймовірнісно-альтернативного вибору, є те, що вони, так само, як альтернативні модулі в системах 5-го класу, об'єднані в пари. Один модуль з пари забезпечує перехід до однієї альтернативи («А»), а другий модуль такої пари забезпечує перехід до другої альтернативи («В»). Модулі мають особливе інформаційне навантаження і двокомпонентну структуру (2.9). Кількість ймовірнісно-альтернативних модулів дорівнює кількості альтернативних варіантів процесу дій системи.

Модуль ймовірнісно-альтернативного вибору є суто інформаційним, як елемент пам'яті, з додатковим ймовірнісним компонентом. Його призначення – підтвердження, або спростування результатів логічного синтезу, достатніх для початку альтернативного підпроцесу.

За формою, кожний модуль альтернативного вибору має вигляд модифікованого елемента пам'яті. Тобто це комплект з двох бінарних змінних, які змінюють свої значення в протифазі, наприклад X_{A1} і $X_{\overline{A1}}$.

Вмикання модуля: вмикання відбувається при одночасному існуванні логічного виразу детермінованої частини виразу команди керування, складеного за методикою систем 5-го класу, і позитивного значення або стану ймовірнісного індикатора X_p:

$$y_{A1} = y_{A1\_det} \wedge y_{A1\_iner} = (Y_{A1\_Logic}) \wedge x_{pA1} = 1 \Rightarrow X_{A1} = 1; X_{\overline{A1}} = 0.$$

Вимикання модуля: вимикання відбувається при існування сигналу команди керування на вимикання без додаткових умов:

$$y_{\overline{A1}} = y_{\overline{A1}\_det} = (Y_{\overline{A1}\_Logic}) = 1 \Rightarrow X_{A1} = 0; X_{\overline{A1}} = 1.$$

Зміст основних дій для кожного з пари модулів ймовірнісно-альтернативного вибору y_{A1} і y_{B1} має бути взаємовиключним. Тобто,

істинне значення ймовірнісного індикатора на вмикання основної дії одного з альтернативної пари модулів X_{pA1} є тотожним запереченню істинного значення ймовірнісного індикатора іншого модуля з цієї пари: $X_{pA1} = \overline{X}_{pB1}$.

Відпрацювання основних дій пари альтернативних модулів починається одночасно, оскільки вони мають одну безпосередню причину.

Зміст основної дії першого ймовірнісно-альтернативного модуля в узагальненому вигляді можна сформулювати наступним чином:

- розпочати обрахунок інерційної складової щодо входження системи в альтернативний підпроцес «А»,
- отримати результат обрахунку – кількісне значення,
- визначити значення ймовірнісного індикатора.

Зміст основної дії другого ймовірнісно-альтернативного модуля в узагальненому вигляді можна сформулювати наступним чином:

- розпочати обрахунок інерційної складової щодо входження системи в альтернативний підпроцес «В»;
- отримати результат обрахунку – кількісне значення;
- визначити значення ймовірнісного індикатора.

Далі, за отриманими значеннями інерційних складових, відбувається розрахунок ймовірності виконання кожної основної дії з альтернатив.

Після отриманих значень ймовірності альтернативних дій кожного з пари модулів відбувається визначення стану ймовірнісного індикатора (бінарної змінної) для кожної дії. Визначення індикатора здійснюється за допомогою синхронного генератора випадкових чисел. Генератор працює в ритмі обробки сигналів стану модулів системи, чим запобігає зміні його значення під час відпрацювання альтернативних модулів. Випадкові числа обираються з інтервалу, що дорівнює кількості спрацювань системи. Потрапляння обраного числа до спрацювань варіанту «А» чи варіанту «В» визначає позитивне значення індикатору ймовірнісного вибору.

Зміст зворотних дій для кожного з пари модулів альтернативного вибору в узагальненому випадку можна сформулювати наступним чином:

- зупинити обрахунок інерційної складової щодо умов входження системи в альтернативний підпроцес «А»;
- встановити початкові значення індикаторів стану модуля, наприклад:

$$X_{pA1} = 0; X_{\overline{pA1}} = 1.$$

2.7.3. Дослідження логічної визначеності, доповнення системи елементами пам'яті, логічний синтез виразів команд керування

Методика дослідження логічної визначеності для загального випадку систем 6-го класу, так само, як і для систем 5-го класу, може бути виконано тільки за аналітичними методиками. Аналітична методика базується на

розрахунку відносного значення пам’яті, розрахованого по відношенню до всіх можливих варіантів початку підрахунку пам’яті системи. Методика розрахунку відносної пам'яті систем 6-го класу повністю тотожна до відповідної методики для систем 5-го класу.

Методика доповнення елементами пам’яті для систем 6-го класу повторює аналогічну методику для систем 5-го класу. Основна відмінність ґрунтується на тому, що ймовірнісно-альтернативні гілки чи підпроцеси не є паралельними.

Методика логічного синтезу виразів команд керування (детермінована складова) тотожна до аналогічної методики для систем 5-го класу. Виняток стосується логічних виразів основних команд для модулів ймовірнісно-альтернативного вибору. Структура цих виразів команд має детерміновану і ймовірнісну частини (2.9). Детермінована частина визначається за тією самою методикою, що і для систем 5-го класу. Ймовірнісна складова має бути розрахована з врахуванням інерційності логіки прийняття рішень.

В системах 6-го класу, так само, як і в системах 5-го класу, може бути будь-яка кількість однорежимних і багаторежимних модулів, а на переходах може бути будь-яка кількість дій, у тому числі можуть бути паралельні підпроцеси, як в системах 4-го класу та альтернативні підпроцеси, як в системах 5-го класу.

2.7.4. Приклад маніпулятора з альтернативно-ймовірнісним керуванням

Об’єктом керування є маніпулятор в складі автоматизованої лінії, в задачу якого входить як найшвидше видалення деталі, що її виштовхує завантажувач з попередньої ланки в робочу зону, та переміщення цієї деталі на наступну виробничу ланку.

В якості варіанту технічної реалізації маніпулятора розглянуто макромодуль, що складається з трьох виконавчих пристроїв – пневматичний маніпулятор відвантажувального механізму (рис. 2.72).

Макромодуль виконує змістовну дію Z_1 - вилучення деталі з робочої зони і переміщення на наступну ланку, а після її виконання має повернутися у вихідний стан, тобто виконати зворотну дію $Z_{\bar{1}}$. Успішне виконання основної дії супроводжує одиничне значення зовнішнього сигналу $\varphi(Z_1)$, яке підтверджує отримання деталі наступною ланкою виробничої лінії.

ПРИМІТКА. Зовнішній сигнал $\varphi(Z_1)$ *не є сигналом від датчика положення чи тиску, що контролює переміщення вихідної ланки. Це сигнал від наступної ланки автоматизованого виробництва. Одиничним значенням сигналу наступна ланка підтверджує, що вона прийняла до обробки надіслану деталь.*

Макромодуль починає виконувати основну дію Z_1 за одиничним значенням зовнішнього сигналу або за умов істинності логічної умови на початок прибирання деталі з робочої зони. За цим сигналом маніпулятор входить до робочої зони (команда Y1), опускає схват (команда Y2), захоплює деталь

(команда Y3), підіймає схват (команда YN2), переміщує деталь до наступної ланки (команда YN1), опускає схват (команда Y2), вивільняє деталь (команда YN3). На цьому основна дія виконана.

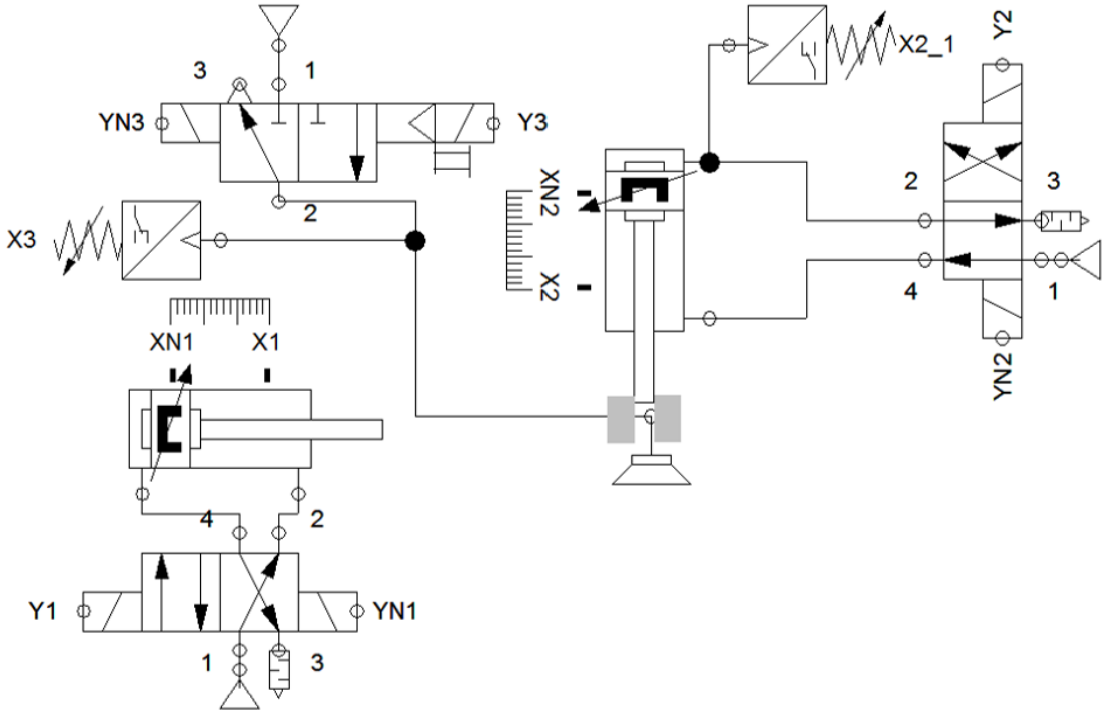


Рис. 2.72. Приклад схеми пневматичного маніпулятора: Y1, YN1– сигнали керування приводу горизонтального переміщення; X1, XN1 – сигнали контролю положення привода горизонтального переміщення; Y2, YN2 – сигнали керування приводу вертикального переміщення; X2, XN2– сигнал контролю положення вертикального переміщення; X2_1 – сигнал контролю тиску; Y3, YN3 – сигнали керування схвата; X3 – сигнал контролю утримання деталі схватом

Аналогічно, для зворотної дії Z_i відбувається повернення макромодуля у початковий стан, тобто маніпулятор підіймає порожній схват (команда YN2).

На практиці існують різні варіанти дій макромодуля, які викликано різним часом надходження зовнішніх сигналів. Поштовхом до одиничного значення зовнішнього сигналу для макромодуля є зміна стану оточуючого середовища, яку система сприймає у вигляді змін значень бінарних сигналів X_{s1} та X_{s2} .

Сигнал X_{s2} є більш швидким, а сигнал X_{s1} - більш повільним. Наприклад, сигнал X_{s2} - це початок руху завантажувача деталей, який пересуває деталь до робочої зони. Сигнал X_{s1} це добуток сигналів від оптичного датчика і датчика тиску. Їх добуток засвідчує, що деталь вже потрапила в робочу зону і очікує на переміщення на наступну ланку.

Виконавчий пристрій – маніпулятор – повинен як найшвидше прибирати

деталь з робочої зони і передати її на наступну операцію.

Якщо орієнтуватись тільки на початок руху завантажувача, то деталь, скоріш за все, ще в процесі завантаження.

Якщо орієнтуватись тільки на контроль наявності деталі в робочій зоні, то збільшується витрачений час на відвантаження, тобто система втрачає продуктивність.

За сигналом x_{s2} система працює «на випередження». Якщо результат спрацювання за сигналом x_{s2} виявився хибним, то система виконала зайве спрацювання, тобто непродуктивно витратила енергію, що засвідчує відсутність переміщеної деталі.

Адаптивний алгоритм системи керування має враховувати можливі варіанти виконання роботи, що відповідають різним комбінаціям значень сигналів зовнішнього впливу, та термінів отримання $x_{s1} \in \{0,1\}$ та $x_{s2} \in \{0,1\}$.

Варіант спрацювання за сигналом про наявність деталі, навіть без початку руху завантажувача, для механічної системи позначаємо як неможливий чи суто віртуальний.

Варіант з нульовими значеннями обох сигналів відповідає очікуванню системи, то його також не враховуємо в умовах роботи системи.

Маємо наступні можливі варіанти роботи макромодуля:

a) N_b успішна робота за початком руху і контролем вантажу $x_{s2} = 1, x_{s1} = 1$,

b) N_a успішна робота тільки за початком руху $x_{s2} = 1, x_{s1} = 0$,

c) N_c хибне спрацювання при роботі за початком руху $x_{s2} = 1, x_{s1} = 0$.

В першому варіанті система, за добутком сигналів оптичного і вагового датчиків та сигналу про початок руху завантажувача, прибирає деталь з робочої зони. Тобто виконує послідовність команд основної та зворотної дій (рис. 2.73):

Y1 – Y2 – Y3 – YN2 – YN1 – Y2 – YN3 – YN2 .

В другому варіанті система, за сигналом початку руху, відвантажує деталь з робочої зони. Тобто виконує ту саму послідовність команд, але перевіряє наявність деталі у схваті:

Y1 – Y2 – Y3 – ? «+» – YN2 – YN1 – Y2 – YN3 – YN2 .

В третьому варіанті система, за сигналом початку руху, намагається відвантажити деталь з робочої зони, але контроль наявності деталі при спрацюванні схвату дає негативний результат і маніпулятор повертається в початковий стан:

Y1 – Y2 – Y3 – ? «-» – YN3 – YN2 – YN1 .

Насправді початок дій в другому і третьому варіантах співпадає, і тільки

після перевірки наявності деталі чи її відсутності варіант стає другим (деталь є) або третім (деталь відсутня). Саме тому в другий варіант додано перевірку з позитивним результатом: Y1 – Y2 – Y3 – ? «+» – YN2 – YN1 – Y2 – YN3 – YN2.

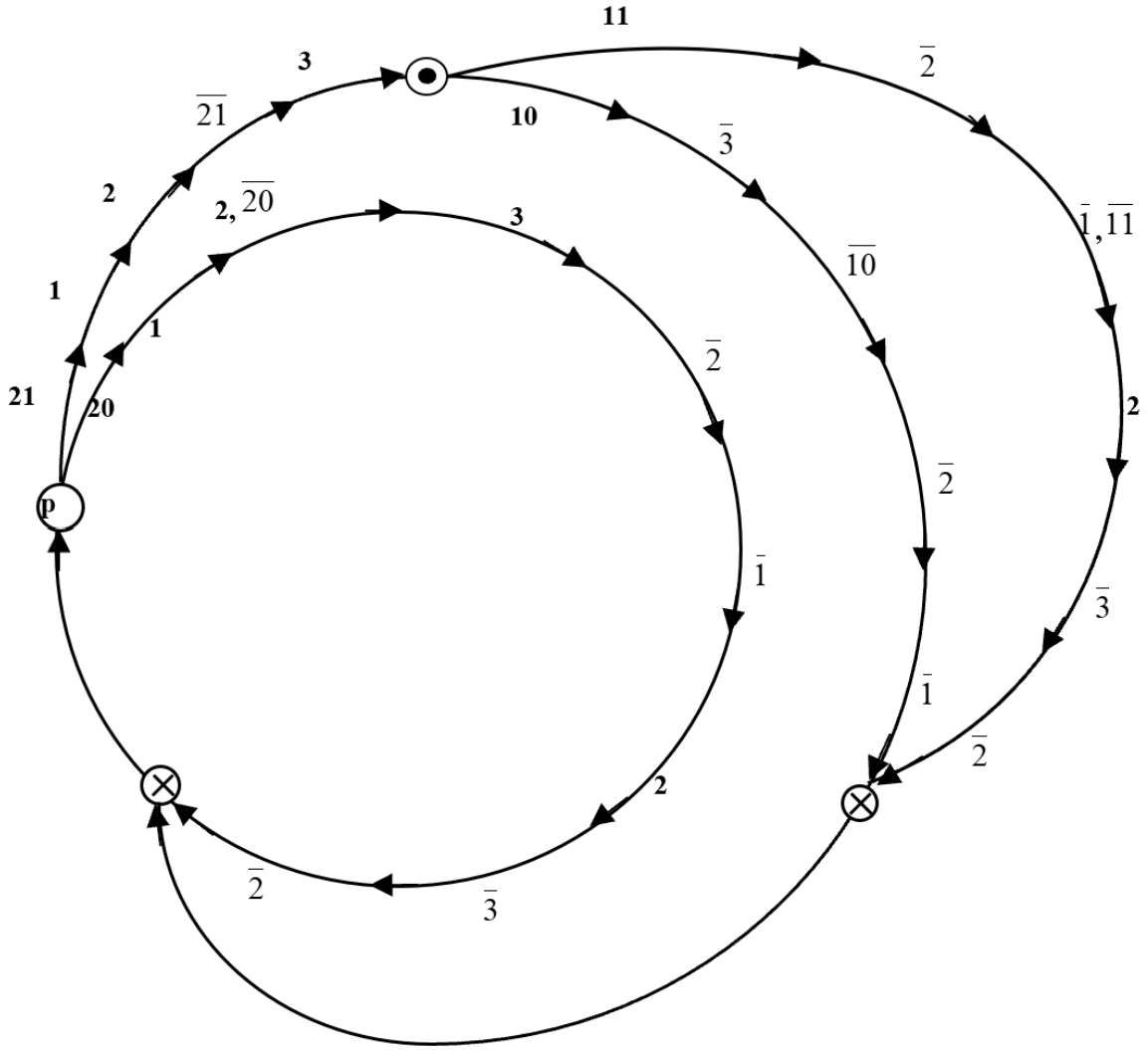


Рис. 2.73. Початковий варіант функціонального графу системи 6-го класу з ймовірнісно альтернативними (початок - 20, 21) і альтернативними (початок - 10,11) підпроцесами для пневматичного маніпулятора: 1 – горизонтальне переміщення, 2 – вертикальне переміщення, 3 – привод схвату; дві дуги зарезервовано для елементів пам'яті безальтернативних частин процесу

Структурування пам'яті системи. Пам'ять системи керування накопичує інформацію про попередню роботу якнайменше в двох вимірах:

- Перший вимір – кількість відпрацювань системою кожного варіанту.
- Другий вимір - близькість кожного попереднього відпрацювання системи до поточного моменту.
- Контекст оцінки обох вимірів – загальна кількість спрацювань системи.

Розрахунок інерційності. Структурування пам'яті та розрахунок ймовірності варіантів реакції припадає на основну дію модуля 7. Після завершення розрахунку та опрацювання генератора випадкових чисел

відбувається визначення ймовірнісного індикатора для кожної з альтернативних дій. Зміна стану модуля 7 символізує завершення будови ймовірнісної складової і перехід до однієї з альтернатив.

Припустимо, що логічна інерційність за певним варіантом реакції системи є наслідком від об'єму пам'яті, яку займає інформація, присвячена цьому варіанту. Для запам'ятовування кількості спроб N у двійковому коді необхідна кількість розрядів або елементів пам'яті складатиме $\log_2 N+1$. Загальна кількість спроб N дорівнює сумі спроб всіх варіантів a), b) та c). Кожна зі спроб перелічених варіантів (N_a, N_b, N_c) має своє упорядковане місце в кількості спрацювань N. Умовно історію спроб можна зобразити наступною послідовністю (табл. 2.6), де (*) позначено поточний стан очікування.

Припустимо, що поточний стан зовнішнього середовища система повинна визначати за результатами поточних спроб в більшій мірі, ніж за результатами пройдешніх періодів. Забезпечуємо це шляхом зворотного відліку спроб (рядок 2, табл.2.6).

Таблиця 2.6

Історія спроб

N Прямий відлік	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	*
$\overline{N}$ Зворотний відлік	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	*
N_a	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	
N_b	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	
N_c	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	

Наступний крок – перехід від кількості різних варіантів спроб до алгоритму прийняття рішення. Для цього адаптуємо 2-й закон Ньютона для логічно-бінарного переходу у наступному вигляді:

$$F_i = m_i * \ddot{x}_i = J_i * y_i, \qquad (2.10)$$

де J_i - міра інерційності системи по відношенню до дестабілізуючого впливу, F_i - дестабілізуючий вплив, y_i - реакція системи на дестабілізуючий вплив.

Якщо дестабілізуючий вплив може відрізнятися за своїм ваговим значенням, то ліва частина рівняння також повинна мати змінний компонент. Оскільки логічна реакція може приймати тільки 2 фіксованих значення (діяти - 1, або не діяти - 0), то змінним компонентом має бути внутрішня інерційність системи по відношенню до збуджуючого фактору, тобто J_i. В «логічній інерційності» мають бути враховані обидва компоненти виміру (кількість спрацювань та їх наближеність до поточного моменту).

Для оцінки кількісного компонента, записаного у двійковому коді,

інерційність можна виміряти необхідною кількістю елементів пам’яті, потрібної для запам’ятовування кількості спрацювань. Таким чином можна оцінити кількість різних варіантів спрацювання:

$J_a = \mathrm{INT}(\log_2 n_{1,2}) + 1$ - оцінка цілком вдалих спроб, (2.11)

$J_b = \mathrm{INT}(\log_2 n_1) + 1$ - оцінка умовно вдалих спроб, (2.12)

$J_c = \mathrm{INT}(\log_2 n_{1,\bar{2}}) + 1$ - оцінка невдалих спроб, (2.13)

де $n_{1,2}$ - кількість цілком вдалих спроб, n_1 - кількість умовно вдалих спроб, $n_{1,\bar{2}}$ - кількість невдалих спроб.

Кожна з трьох оцінок інерційності за кількісним компонентом, сама по собі, не надає обґрунтування для врахування поведінки оточуючого середовища при виборі варіанта наступної дії. Наприклад, на початку роботи системи сигнал початку руху майже не сприймався внаслідок вібрацій. В результаті, умовно-вдалих спроб не було на протязі великої кількості спрацювань, наприклад, 2000. Впродовж періоду налагодження пристроїв вплив вібрацій поступово ослаб у порівнянні з сигналом початку руху. Так, за наступні за 2000-ю 500-ах спробах було 176 умовно вдалих, за останні 200 з цих 500 було умовно вдалих спроб 81, за останні 100 з цих 200 було умовно вдалих спроб 49. Якщо оцінювати загальну кількість спрацювань і спрацювань за умовно-вдалим варіантом, то їх співвідношення становить 0,088.

Якщо розглядати тільки останні 100 спроб, то теж саме співвідношення приймає значення 0,49.

Проміжний аналіз кількості спроб за останні 500 надає значення 0,352. Тобто кількість умовно-вдалих спрацювань у відносному вимірі поступово зростає і можна вважати, що це зростання характеризує зміну впливу оточуючого середовища.

Наведені оцінки не враховують спільного контексту всіх варіантів. Контекст, як найменше, має враховувати загальну кількість спроб за фіксованим збуджуючим фактором $n = n_{1,2} + n_1 + n_{1,\bar{2}}$:

$$\mathrm{INT}(\log_2(n_{1,2} + n_1 + n_{1,\bar{2}})) + 1 \quad . \qquad (2.14)$$

Вирази (2.11, 2.12, 2.13), у відношенні до (2.14), приблизно вказують відносну вагу кожного з варіантів спроб за всю історію дій системи за обраним збуджуючим чинником. Але така оцінка не враховує різну вагу нещодавніх спроб та спроб минулого періоду. Ця відмінність надає системі інформацію щодо поточних тенденцій у поведінці оточуючого середовища.

Оцінка за (2.11) … (2.14) враховує тільки кількість різних варіантів спроб, але нехтує віддаленістю часу їх виконання від поточного моменту. Тобто, пам'ять, що задіяна для інформації про фіксований варіант спроб, розпорошена поміж значень пам’яті про інші варіанти спроб. Якщо пам'ять розглянутого варіанту зосереджена в поточному сегменті загальної пам’яті, то це вказує на актуальність саме такого варіанту в теперішній час.

Додатково, це можна вважати опосередкованою інформацією про тенденції та процеси, що зараз відбуваються в оточуючому середовищі. Тобто,

при однаковій кількості одного і того ж результату спроб, якщо вони припадають, наприклад, на першу половину пам'яті, або на другу половину пам'яті, їх інерційний вплив повинен відрізнятися приблизно вдвічі. Відповідно до ваги пам'яті може бути розрахована ймовірність тієї чи іншої реакції системи на збуджуючий вплив саме зараз.

Один із варіантів використання логічної інерційності полягає в наступному. Функція ймовірності враховує заповнення пам'яті спрацювань за певним варіантом отриманого результату. Результати спрацювання позначені двійковими змінними. Врахування спрацювань здійснено при їх зворотному відліку. Тобто, на кожний наступний розряд (у зворотному відліку) припадає половина ваги попереднього розряду. Вага першого розряду дорівнює 0,5, другого 0,25 і у загальному випадку 2^{-k}, де k – порядковий номер розряду. Але в кожному розряді певний варіант спроби "розпорошений" і обіймає тільки його "частину". Наприклад, таблиця 2.6, надає наступний контекст розподілення варіантів спроб за розрядами (таблиця 2.7).

Розподілена пам'ять для спроб варіанту "a", надає наступний контекст:

Перший розряд $p_{1/a}$ = 0,5;

Другий розряд $p_{2/a}$ = 0,25/2;

Третій розряд $p_{3/a}$ = 0,125/4;

Четвертий розряд $p_{4/a}$ = 2*(0,0625/8).

Сумарна оцінка ймовірності варіанту "a" для наступної спроби: $p_{\Sigma/a}$ = 0,6875.

Аналогічно для варіанту b:

Перший розряд $p_{1/b}$ = 0,0;

Другий розряд $p_{2/b}$ = 0,0;

Третій розряд $p_{3/b}$ = 3*(0,125/4);

Четвертий розряд $p_{4/b}$ = 3*(0,0625/8).

Сумарна оцінка ймовірності варіанту "b" для наступної спроби: $p_{\Sigma/b}$ = 0,1171875.

Аналогічно для варіанту c:

Перший розряд $p_{1/c}$ = 0,0;

Другий розряд $p_{2/c}$ = 0,25/2;

Третій розряд $p_{3/\tilde{n}}$ = 0,0;

Четвертий розряд $p_{4/c}$ = 2*(0,0625/8).

Сумарна оцінка ймовірності варіанту "c" для наступної спроби: $p_{\Sigma/c}$ = 0,140625.

В загальному випадку, при кількості всіх спроб n, для варіанту j отримуємо:

$$p_i = \sum_{k=1}^{\log_2 n} p_{k/i} = \sum_{k=1}^{\log_2 n} \left(\frac{1}{k+1} \cdot \sum_{j=2^{k-1}}^{2^k} \omega_i \right), \qquad (2.15)$$

де ω_j - результативність j-ї спроби варіанту i, $\log_2 n$ - кількість задіяних розрядів пам'яті.

Оскільки розглянуті варіанти не складають незліченну кількість спроб, то сума ймовірностей менша за одиницю. Тобто, розподіл ймовірностей щодо наступного активного варіанту повинен врахувати цей дефіцит кількості спроб, а саме $p_{\Sigma/abc} = 0{,}9453125$ має дорівнювати 1. При пропорційному розподіленні дефіциту спроб за всіма варіантами отримуємо уточнюючий коефіцієнт:

$$\chi_{pr} = \left(\sum_{i=1}^{N} p_i \right)^{-1} = \left(\sum_{i=1}^{N} \sum_{k=1}^{\log_2 n} p_{k/i} \right)^{-1}, \qquad (2.16)$$

де N - кількість варіантів реакції системи на фіксований зовнішній дестабілізуючий вплив.

Таблиця 2.7

Історія спроб за розрядами

N Прямий відлік	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	*
$\overline{N}$ Зворотний відлік	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	*
Розряд	4 (не вистачає однієї спроби)							3				2		1	*
$\omega_j\ N_a$ безумовна	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	
$\omega_j\ N_b$ умовна «+»	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	
$\omega_j\ N_c$ умовна «-»	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	

Відповідно до (2.15) та (2.16), отримуємо:

$$p_i = \left(\sum_{i=1}^{N} \sum_{k=1}^{\log_2 n} p_{k/i} \right)^{-1} \cdot \sum_{k=1}^{\log_2 n} \left(\frac{1}{k+1} \cdot \sum_{j=2^{k-1}}^{2^k} \omega_i \right). \qquad (2.17)$$

Для розглянутого прикладу, з урахуванням (2.17), відкориговані значення ймовірності, розподілені за варіантами a, b, c, складатимуть: $p'_{\Sigma/a} = 0{,}727273$; $p'_{\Sigma/b} = 0{,}12397$; $p'_{\Sigma/c} = 0{,}14876$. Сума ймовірностей всіх варіантів дорівнює 1.

Наступний крок – використання отриманої оцінки ймовірності кожного

варіанту в алгоритмі керування системи. Тобто алгоритм керування має визначити, чи реагувати системі на початок руху завантажувача, чи очікувати сигналів від оптичного і вагового датчиків на робочій позиції.

Оскільки система може працювати як за детермінованим варіантом, коли вхідні дані є достатніми для прийняття однозначного рішення, так і за варіантом з дефіцитом зовнішньої інформації, то вираз команд керування умовного вибору варіанту повинен враховувати обидва варіанти (2.9).

Далі, відповідно до кількості спрацювань за кожним варіантом результату, та загальної кількості спрацювань і наближеності результатів до поточного часу, відбувається визначення ймовірнісного індикатора до виразу команди. Зворотна команда, у розглянутому варіанті, матиме звичайний детермінований вираз, отриманий за методикою логічного синтезу систем 5-го класу.

Для реалізації ймовірнісної складової виразу (2.9) застосовано Т/С генератор випадкових чисел, що працює синхронно з системою. Якщо значення, отримане за допомогою генератора, у відсотковому вимірі перевищує розраховану ймовірність (2.17), то бінарний індикатор дорівнює “0”, в протилежному випадку $x_p = 1$:

$$x_p = \begin{cases} 1 : p_i = (\sum_{i=1}^{N} \sum_{k=1}^{\log_2 n} p_{k/i})^{-1} \times \\ \times \sum_{k=1}^{\log_2 n} (\frac{1}{k+1} \cdot \sum_{j=2^{k-1}}^{2^k} \omega_i) \le CW0 \\ 0 : p_i = (\sum_{i=1}^{N} \sum_{k=1}^{\log_2 n} p_{k/i})^{-1} \times \\ \times \sum_{k=1}^{\log_2 n} (\frac{1}{k+1} \cdot \sum_{j=2^{k-1}}^{2^k} \omega_i) > CW0 \end{cases} . \qquad (2.18)$$

Алгоритм керування в вершині альтернативного вибору обирає між двома варіантами дій:

в) – реагувати на початок руху завантажувача (модуль 21, рис. 2.74),

с) – не реагувати на початок руху (чекати на підтвердження наявності деталі на робочий позиції) і скористатися варіантом а) (модуль 20, рис. 2.74).

Для наведеного прикладу відкориговані значення ймовірності варіантів, що враховують обмежену кількість спроб, складають $p'_{\Sigma/b} = 0{,}12397$; і $p'_{\Sigma/c} = 0{,}14876$ і $p'_{\Sigma/a} = 0{,}727273$ відповідно.

Тобто, якщо Т/С генератор надає значення більше за 0,12397, то система очікує на підтвердження наявності деталі (спрацьовує команда 20. Рис. 2.74).

Якщо значення від Т/С генератора менше чи дорівнює 0,12397, то система працює на випередження, тобто маніпулятор намагається захопити деталь (спрацьовує команда 21).

Далі відбувається контроль захоплення деталі (команда 11), або контроль відсутності деталі в схваті (команда 10). В залежності від спрацювання датчика контролю наявності деталі відбувається повернення маніпулятора у початковий

стан (після виконання команди альтернативного вибору 10), або відвантаження деталі на наступну виробничу ланку (після виконання команди альтернативного вибору 11).

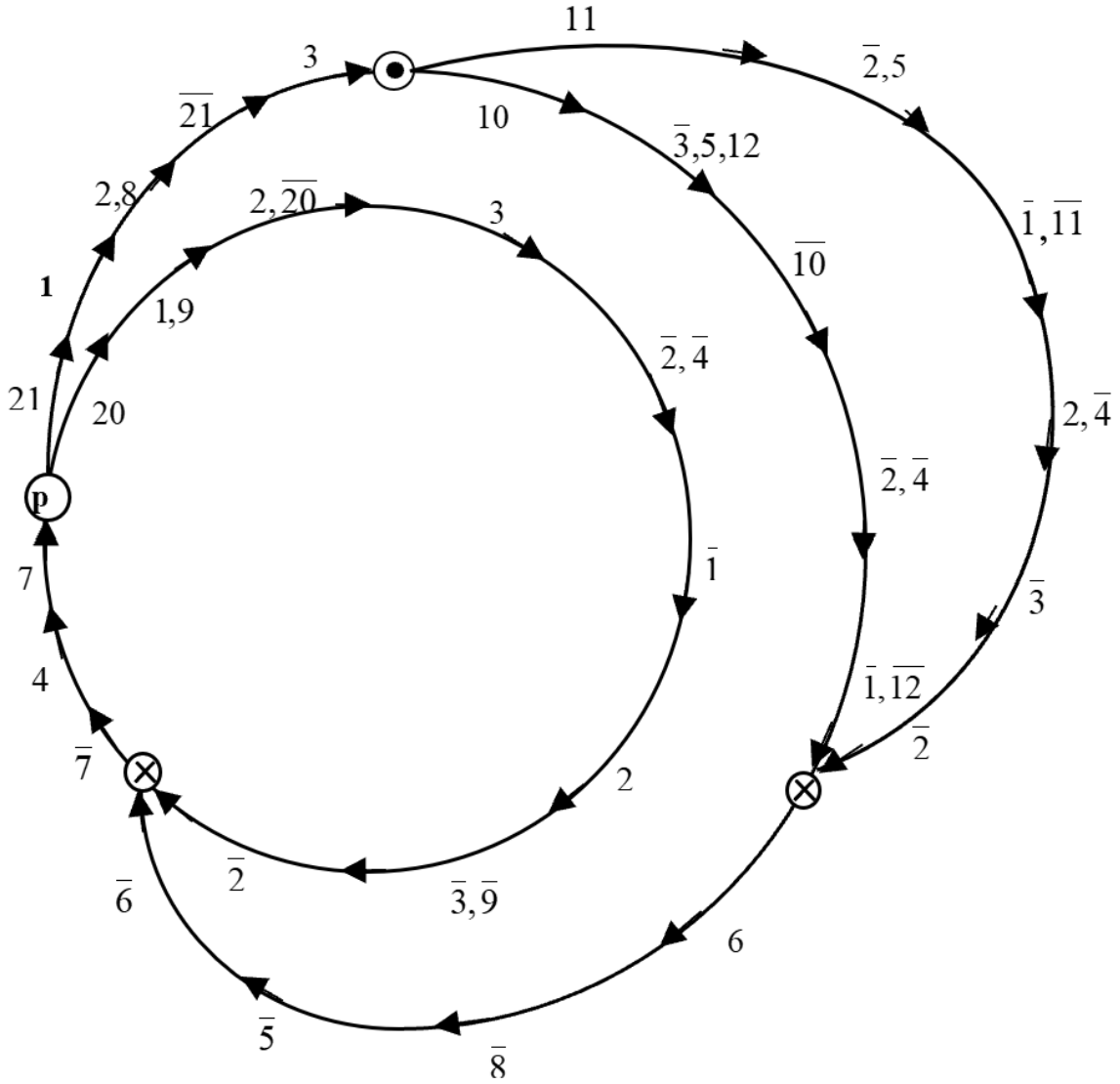


Рис. 2.74. Функціональний граф системи 6-го класу з ймовірнісно альтернативними (початок – модулі 20, 21) і альтернативними (початок – модулі 10,11) підпроцесами для пневматичного маніпулятора: 1 – горизонтальне переміщення, 2 – вертикальне переміщення, 3 – привод схвату, 7 – модуль обрахунку ймовірнісного індикатора, додані елементи пам'яті 4, 5, 6, 8, 9, 12

Наприклад, якщо Т/С генератор надав значення 9/100, то множник $x_p = 1$ і система подає команду на випередження. Але якщо Т/С генератор надав значення 32/100, то $x_p = 0$ і система відпрацює команду 20 та чекатиме на підтвердження наявності деталі на робочій позиції.

Після дослідження логічної невизначеності і доповнення системи елементами пам'яті може бути виконаним логічний синтез виразів команд керування.

Команди керування для систем 6-го класу формуються за методиками,

схожими на методики логічного синтезу систем 5-го класу. Виняток складають дії альтернативно-ймовірнісного вибору і відповідних цим діям команд, дії визначення ймовірнісного індикатора, а також дії, що йдуть безпосередньо за альтернативними підпроцесами (чотири дуги, рис. 2.74).

Так само, як і в системах п'ятого класу, в системі може бути будь-яка кількість однорежимних і багаторежимних модулів, а на переходах може бути довільна кількість дій, у тому числі можуть бути паралельні підпроцеси, як в системах 4-го класу.

Доповнення систем 6-го класу надлишковими елементами пам'яті позбавляє логічні вирази команд надмірної складності. Наприклад, для розглянутої системи пневматичного маніпулятора, достатньо 4-х елементів пам'яті, але деякі вирази команд керування тоді складаються з 10 і більше сигналів. Це ускладнює виконання синтезу команд і створює незручності для подальшої модернізації системи, наприклад додавання нових функцій і модулів, що їх виконують. Шляхом додавання ще двох елементів пам'яті функціональний граф отримує поділену на сегменти структуру і спрощені вирази команд керування (рис. 2.74).

Модуль 7 є інформаційним (на базі елемента пам'яті з двома бінарними змінними). На його основну функцію припадає обрахунок ймовірнісного індикатора за поточним станом таблиці історії спроб. Додатковим зовнішнім сигналом, для початку основної дії модуля 7, є сигнал початку руху завантажувача x_{s2}. Зворотна дія модуля 7 – вимикання елемента пам'яті.

Доповнення таблиці історії спроб (нарощування пам'яті, таблиця 2.7) здійснюється по факту спрацювання модулів альтернативного вибору.

При спрацювання модуля 20, тобто спрацювання маніпулятора по сигналам початку руху завантажувача x_{s2} і наявності деталі x_{s1}, варіант «а» отримує «1».

При спрацюванні модуля 21, тобто по сигналу початку руху завантажувача і спрацюванні модуля 11, тобто успішного спрацювання маніпулятора за наявності деталі, варіант «б» отримує «1».

При спрацюванні модуля 20, тобто по сигналу початку руху завантажувача, і спрацюванні модуля 10, тобто хибного спрацювання маніпулятора за відсутності деталі, варіант «с» отримує «1».

Перелік логічних виразів команд керування наведено нижче.

$$y_1 \Leftarrow x_{21} + x_{20}$$

$$y_{\bar{1}} \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_{\bar{4}} * x_5 + x_5 * x_{\bar{2}} + x_{\bar{2}} * x_{\bar{4}}$$

$$y_2 \Leftarrow x_1 * x_{21} + x_{\bar{1}} * x_{\overline{11}} * x_5 * x_4 + x_{\bar{1}} * x_9 * x_3$$

$$y_{\bar{2}} \Leftarrow x_3 * x_1 * x_9 + x_{\bar{9}} * x_{\bar{3}} * x_{\bar{4}} * x_{\bar{8}} + x_{11} + x_{\bar{3}} * x_{\bar{4}} + x_{\overline{10}} * x_{12}$$

$$y_3 \Leftarrow x_2 * x_{\overline{20}} * x_9 * x_4 + x_{\overline{21}} * x_8 * x_4 * x_{\bar{5}} * x_{\overline{10}} +$$

$$y_{\bar{3}} \Leftarrow x_2 * x_{\bar{4}} * x_{\bar{1}} + x_{10} + x_2 * x_{\bar{4}} * x_5$$

$$y_4 \Leftarrow x_{\bar{7}}$$

$$y_{\bar{4}} \Leftarrow x_3 * x_9 + x_{\overline{10}} * x_5 * x_8 + x_{\bar{1}} * x_{\overline{11}} * x_5 * x_8$$

$$y_5 \Leftarrow x_{11} + x_{10} \qquad y_{\bar{5}} \Leftarrow x_{\bar{8}}$$

$$y_6 \Leftarrow x_{\bar{1}} * x_{\overline{12}} * x_{\bar{2}} * x_{\bar{4}} * x_8 \qquad y_{\bar{6}} \Leftarrow x_{\bar{5}}$$

$$y_7 \Leftarrow x_4 * x_{s2} \qquad y_{\bar{7}} \Leftarrow x_{\bar{6}} * x_{\bar{2}} * x_{\bar{9}} * x_{\bar{4}} * x_{\bar{8}}$$

$$y_8 \Leftarrow x_1 * x_{21} \qquad y_{\bar{8}} \Leftarrow x_6$$

$$y_9 \Leftarrow x_{20} \qquad y_{\bar{9}} \Leftarrow x_2 * x_{\bar{1}}$$

$$y_{10} \Leftarrow x_3 \qquad y_{\overline{10}} \Leftarrow x_{\bar{3}} * x_5 * x_{12}$$

$$y_{11} \Leftarrow x_3 * x_{\bar{5}} * x_8 \qquad y_{\overline{11}} \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_5$$

$$y_{12} \Leftarrow x_{10} \qquad y_{\overline{12}} \Leftarrow x_{\bar{2}} * x_{\bar{4}}$$

$$y_{20} \Leftarrow x_7 * x_4 * x_{\bar{9}} * \overline{x}_p * B_{ip} + x_7 * x_4 * x_{\bar{9}} * \overline{B}_{ip}$$

$$y_{\overline{20}} \Leftarrow x_1 * x_9$$

$$y_{21} \Leftarrow x_7 * x_4 * x_8 * x_p * B_{ip} + x_7 * x_4 * x_8 * \overline{B}_{ip}$$

$$y_{\overline{21}} \Leftarrow x_2 * x_8$$

В логічний вираз команди 7-го модуля додано умову початку руху завантажувача x_{s2}.

В логічні вирази команд 20-го і 21-го модулів додано умову роботи системи в ймовірнісно-альтернативному режимі B_{ip} і ймовірнісний індикатор x_p.

Синхронний Т/С генератор випадкових чисел

Генератор є внутрішньою підсистемою системи керування, яка обирає число із заданого інтервалу за допомогою паралельного функціонування лічильника і таймера. Преселектор лічильника має значення верхньої межі інтервалу, а преселектор таймера приблизно дорівнює часу оновлення виразів команд керування. Т/С генератор є альтернативною системою 5-го класу і має наступний комплект команд керування складовими Т/С генератора (команди вмикання/вимикання таймера, лічильника, елементів пам'яті та модулів опитування, рис. 2.75).

$$y_1 \Leftarrow x_2 * x_{\bar{3}} + x_C * x_2 * x_3 \qquad y_{\bar{1}} \Leftarrow x_{\bar{?}\overline{T}} * x_{\bar{2}} * x_{\bar{3}} + x_T * x_{\bar{2}} * x_3$$

$$y_2 \Leftarrow x_{\bar{1}} * x_{\bar{3}} + x_{\overline{C}} \qquad y_{\bar{2}} \Leftarrow x_{\bar{?}\overline{T}} + x_{\overline{T}}$$

$y_3 \Leftarrow x_{\bar{?}\bar{C}} * x_{INC}$

$y_{?T} \Leftarrow x_1$

$y_{?\bar{T}} \Leftarrow x_1 * x_2$

$y_{?C} \Leftarrow x_{\bar{1}} * x_{\bar{2}}$

$y_{?\bar{C}} \Leftarrow x_{\bar{1}}$

$y_T \Leftarrow x_{\bar{2}}$

$y_C \Leftarrow x_{\bar{?}C}$

$y_{INC} \Leftarrow x_{?T} * x_1$

$y_{\bar{3}} \Leftarrow x_{\bar{?}T} * x_{\overline{INC}}$

$y_{\bar{?}T} \Leftarrow x_{?\bar{C}} * x_3$

$y_{\bar{?}\bar{T}} \Leftarrow x_{\bar{2}}$

$y_{\bar{?}C} \Leftarrow x_2$

$y_{\bar{?}\bar{C}} \Leftarrow x_{?T} * x_1$

$y_{\bar{T}} \Leftarrow x_3 * x_2$

$y_{\bar{C}} \Leftarrow x_{?C}$

$y_{\overline{INC}} \Leftarrow x_{?\bar{C}} * x_1$

Позначення сигналів команд керування ($У_i, У_{\bar{i}}$) модулів системи та особливих сигналів стану ($X_i, X_{\bar{i}}$): $У_1$ - вмикання елемента пам'яті «1»; $У_{\bar{1}}$ - вимикання елемента пам'яті «1»; $У_2$ - вмикання елемента пам'яті «1»; $У_{\bar{2}}$ - вимикання елемента пам'яті «2»; $У_3$ - вмикання елемента пам'яті «1»; $У_{\bar{3}}$ - вимикання елемента пам'яті «1»; $У_Т$ - вмикання таймера з прапором блокування FYT та одночасним вимиканням прапору $X_{\bar{Т}}$ зворотного стану ; $У_{\bar{Т}}$ - вимикання таймера з прапором блокування FYT та одночасним вмиканням прапору $X_{\bar{Т}}$ зворотного стану та вимиканням прапору основного стану $X_Т$; $X_Т$ - сигнал (прапор) основного стану таймера (відпрацьованого), його вмикання за умов спрацювання таймера при вимкненому прапорі блокування FYT; $У_С$ - вмикання лічильника з прапором блокування FYC та одночасним вимиканням прапору $X_{\bar{С}}$ зворотного стану ; $У_{\bar{С}}$ - вимикання лічильника з прапором блокування FYC та одночасним вмиканням прапору $X_{\bar{С}}$ зворотного стану та вимиканням прапору основного стану $X_С$; $X_С$ - сигнал (прапор) основного стану лічильника (відпрацьованого), його вмикання за умов спрацювання лічильника при вимкненому прапорі блокування FYC; $У_{INC}$ - додавання «1» до слова лічильника з вмиканням прапору основного стану X_{INC}, та одночасним вимиканням прапору $X_{\overline{INC}}$ зворотного стану; $У_{\overline{INC}}$ - вимкнути додавання «1» до слова лічильника з одночасним вмиканням прапору $X_{\overline{INC}}$ зворотного стану та вимиканням прапору основного стану X_{INC}.

В адаптивному алгоритмі, для реалізації логічних зв'язків графу (рис. 2.75), використано наступні сигнали керування для модулів умовних переходів (функцій опитування) таймера та лічильника:

$У_{?T}$ - опитувати «чи таймер спрацював?»; $У_{\overline{?T}}$ - припинити опитувати «чи таймер спрацював?»;

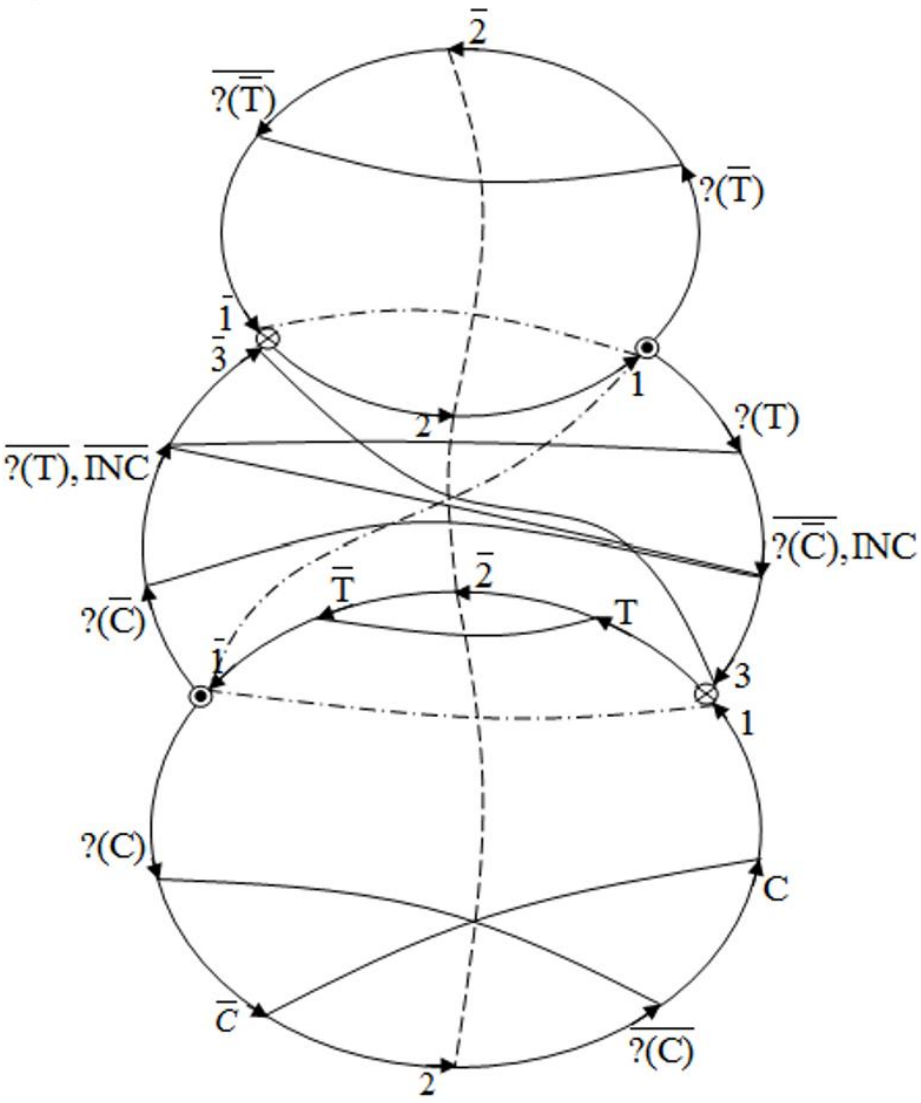


Рис. 2.75 - Граф генератора чисел Т/С: $^{?(C)}$ - опитування відпрацьованого стану лічильника, $^{?(T)}$ - опитування відпрацьованого стану таймера, $^{?(\overline{C})}$ - опитування працюючого стану лічильника, $^{?(\overline{T})}$ - опитування працюючого стану таймера, $\overline{^{?(*)}}$ – відключення опитування, С – включення лічильника, $\overline{C}$ - вимикання лічильника, Т – вмикання таймера, $\overline{T}$ - вимикання таймера, INC додавання «1» до слова лічильника, $\overline{INC}$ - вимкнути INC

$У_{?\overline{T}}$ - опитувати «чи таймер не спрацював?»; $У_{\overline{?T}}$ - припинити опитувати «чи таймер не спрацював?»;

$У_{?C}$ - опитувати «чи лічильник спрацював?»; $У_{\overline{?C}}$ - припинити опитувати «чи лічильник спрацював?»;

$У_{?\overline{C}}$ - опитувати «чи лічильник не спрацював?»; $У_{\overline{?C}}$ - припинити

опитувати «чи лічильник не спрацював?».

Модулі умовних переходів Т/С генератора об'єднані в альтернативні пари модулів. Тобто один альтернативний вибір з двох альтернатив процесу забезпечують два модулі. Вони опитують взаємно протилежні відомості щодо стану системи або окремих пристроїв чи об'єктів.

Наприклад, модуль, що має команди z і $\bar{z}$ - здійснює опитування однієї альтернативи – є деталь, w і $\bar{w}$ - здійснює опитування іншої альтернативи – немає деталі. Команди z і $\bar{z}$ відповідають опитуванню наявності деталі на вхідній позиції або припиненню опитування. Формально кожний модуль з пари складають два елемента пам'яті (прапори): $X_{?(Z)}$ та $X_{\overline{?(Z)}}$ - для початку та припинення опитування наявності деталі, $X_{?(\bar{Z})}$ та $X_{\overline{?(\bar{Z})}}$ - для початку та припинення опитування відсутності деталі.

Основна дія одного модуля з пари може бути виконана тільки у випадку, коли основна дія альтернативного до нього модуля не виконана. За цим принципом мають бути сформовані команди керування модулів в алгоритмі програми.

Наприклад, для опитування таймера, який ще працює (Т0=1), за графом системи отримано такі логічні вирази: $y_{?T} \Leftarrow x_1$ та $y_{\bar{?}T} \Leftarrow x_{?\bar{C}} * x_3$. Вираз основної команди необхідно доповнити умовою «невиконання» іншої альтернативи (опитано, що прапор вже спрацював) та умовою параметру, що він опитує. Іншу альтернативу опитує інший модуль (команди $y_{?\bar{T}} \Leftarrow x_1 * x_2$ та $y_{\bar{?}\bar{T}} \Leftarrow x_{\bar{2}}$), і сигнал (прапор), що він спрацював матиме позначення $x_{?\bar{T}}$. Умовою того, що таймер ще працює, є істинність або одиничне значення "Т0".

Вираз основної команди альтернативного модуля матиме вигляд: $y_{?T} \Leftarrow x_1 * \overline{x_{?\bar{T}}} * T0$. За цією умовою елемент пам'яті (два прапори), який відображає модуль у програмі керування, переходить в основний стан, тобто $X_{?T} = 1,\ X_{\bar{?}T} = 0$.

Зворотна команда не має додаткових умов виконання, і за умов істинності виразу команди, елемент пам'яті переходить у початковий стан: коли $x_{?\bar{C}} * x_3$ істинно, то $X_{?T} = 0,\ X_{\bar{?}T} = 1$.

Модуль додавання лічильника, який описано командами $y_{INC} \Leftarrow x_{?T} * x_1$ та $y_{\overline{INC}} \Leftarrow x_{?\bar{C}} * x_1$, також має два допоміжні прапори $X_{\overline{INC}}$ та X_{INC}, і прапор покриття неконтрольованого додавання $FINC$. За умовою істинності основної команди при вимкненому прапорі $FINC$ до слова лічильника додається "1", вмикається прапор покриття $FINC$, вмикається прапор основного стану модуля X_{INC} та вимикається прапор зворотного стану модуля $X_{\overline{INC}}$. За умовою істинності зворотної команди прапори X_{INC} та $FINC$ вимикаються, а прапор зворотного стану $X_{\overline{INC}}$ вмикається.

Сегмент вхідного контролю збуджуючих сигналів є початковою ланкою в процесі дії адаптивного детерміновано-ймовірнісного логічного алгоритму. Сигнали X_{s1} та X_{s2} є незалежним зовнішнім впливом і їх врахування має здійснюватися відповідно до поточного стану системи та забезпечити наповнення пам'яті у формі табл.2.7.

Одночасне отримання сигналів фактично є не одночасним. Оскільки сигнал X_{s2} є більш «швидким», то система повинна деякий час очікувати щодо отримання X_{s1} навіть у нормальному режимі (є обидва сигнали). Тобто, за умовою набуття X_{s2} істинності ($X_{s2}=1$) система може очікувати, наприклад, 0,5 секунди на істинність повільного сигналу ($X_{s1}=1$). У цьому випадку алгоритм має зафіксувати «одночасне» виникнення обох збуджуючих сигналів.

Послідовне отримання сигналів. Якщо після очікування 0,5 секунди не отримано ($X_{s1}=1$), то алгоритм починає відпрацювання ймовірнісного керування, з одночасним очікуванням суттєвого запізнення ($X_{s1}=1$), наприклад 5 секунд.

Якщо на протязі 5 секунд істинність X_{s1} буде підтверджено, то в пам'яті має бути врахований позитивний зв'язок умовного рефлексу.

Послідовне неотримання сигналів. Якщо після набуття X_{s2} істинності ($X_{s2}=1$) і відпрацювання ймовірнісного керування з очікуванням запізнення ($X_{s1}=1$) на 5 секунд, істинність X_{s1} не підтверджено, то в пам'яті має бути врахований негативний зв'язок умовного рефлексу.

За допомогою контролю фактів набуття та позбавлення істинності швидшим сигналом ($X_{s2}=1$ і $X_{s2}=0$) і відпрацювання ймовірнісного керування з очікуваним запізненням основного сигналу ($X_{s1}=1$), алгоритм покроково складає історію реакцій системи на збуджуючі сигнали у вигляді табл.2.6 та її трансформації до вигляду табл. 2.7.

Отримання сигналів адаптивного керування здійснюється за залежностями (2.9) – (2.18) з обрахунком x_p - бінарної змінної за історією системи у вигляді табл. 2.7. Присвоєння x_p значення "1" здійснюється за умов, що $(p'_{\Sigma/i}*100) \le CW0$, де CW0 – поточне значення слова лічильника у Т/С генераторі випадкових чисел.

2.7.5. Додаткові варіанти налаштування структурованої пам'яті

В наведеному прикладі використано «шокове» сприйняття результату останньої спроби. Тобто вага цього результату в формуванні інерційної складової дорівнює вазі всіх попередніх спроб. Така схема має спрямованість на поточний зовнішній вплив на роботу системи. Врахування певних тенденцій щодо змін інерційності системи за деякий проміжок часу майже відсутнє.

Більш виважений варіант може бути отримано шляхом переносу початку відліку в розрядах структурованої історії спроб. Тобто перший розряд може мати не одну спробу, а дві. Тоді перші 0,5 інерційної ймовірності будуть розподілені на дві перші спроби. Друга спроба матиме вагу 0,25 і її може врівноважити попередня спроба, яка також має вагу 0,25. Розподіл ваги по інших спробах відбувається так само, як і в наведеному прикладі. На кожний наступний розряд припадає половина ще не використаної ваги. Тобто на другий розряд припадає 0,25 ваги. Кількість спроб в кожному наступному розряді вдвічі більша за кількість спроб в поточному розряді.

Ще більш стриманий варіант реакції на останню спробу виникає, якщо в першому розряді зосередити чотири спроби. Вага четвертої спроби у зворотному відліку становитиме 0,125, так само, як і трьох попередніх спроб. Тобто реакція системи на останній результат буде в 4 рази слабкішою, ніж в наведеному прикладі.

Другій варіант впливу на формування логічної інерційності полягає відхід від суто кількості задіяних бінарних елементів пам'яті, тобто відхід від логарифмічної ваги по модулю 2, наприклад, до модуля 3. Замість $J_a = \mathrm{INT}(\log_2 n_{1,2}) + 1$ отримуємо $J_a = \mathrm{INT}(\log_3 n_{1,2}) + 1$. Так само може бути віднесено до першого розряду не 0,5 ваги інерційності, а відкориговане значення, наприклад, 0,25. Тоді на наступний розряд припадатиме 25% від залишку, тобто 0,75*0,25 = 0,1875. На третій розряд припадатиме 0,25*(1-0,25-0,1875) = 0,1406. Таким чином сумарна вага спроб третього розряду складає від сумарної ваги спроб першого розряду 56,3%. В той час як в першому варіанті такий відсоток дорівнював 25%, тобто давні спроби мали вдвічі менший вплив на формування вибору.

Можливо використати успішність дій системи і для вибору варіанту розподілу спроб по розрядах або/та основі логарифмічної ваги, підставою для чого будуть фактичні результати експлуатації конкретної системи.

3. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ СТВОРЕННЯ МОДУЛІВ І СИСТЕМ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

Особливістю технічної реалізації циклічно-модульного підходу є створення і використання циклічних модулів, що поєднують програмовані контролери, електрорелейні схеми, гідравлічні, механічні, пневматичні та електромеханічні виконавчі пристрої, та електронні засоби контролю і керування. В більшості випадків в складі модуля є використання алгоритмічної частини, що зв'язує його дії зі станом інших модулів системи, і фізико-механічні засоби керування-виконання-контролю, що забезпечують відпрацювання виконуваних функцій.

Кожний циклічний модуль одночасно є і будівельним матеріалом для створення автоматизованого об'єкта, і замкненою мінісистемою, що виконує певні функції в складі автоматизованого об'єкта. Тобто має місце задача узгодження необхідного змісту (фізично-алгоритмічного) з формою циклічного модуля. Ця задача може викликати певні невідповідності між традиціями розробників-програмістів алгоритмів керування та розробників-конструкторів гідравлічних, електрорелейних і пневматичних схем.

Як засвідчує практика результатом невідповідностей форми і змісту є додана складність системи, яка є наслідком спроб розробника підпорядкувати гідропневмоавтоматику до алгоритмів контролера або алгоритмів контролера до системи гідропневмоавтоматики.

Але, як фізико-механічні складові системи, так і алгоритмічна частина, мають однакові формальні засоби відображення в циклічних модулях. Це індикатори початкового чи кінцевого стану модулів, індикатори основних і зворотних команд керування, процеси зміни стану під дією команд керування. В такому зображенні всі циклічні модулі виглядають як елементи пам'яті, побудовані різними технічними засобами – бінарними змінними в алгоритмах, засобами контролю стану, засобами формування команд керування, пристроями, що змінюють стан під дією команд керування. Все інше в будові циклічних модулів – це узгодження фізичного типу та рівня сигналів керування і контролю, або алгоритмічних варіантів керування і перевірки значень бінарних змінних.

Початком технічної реалізації є відомості щодо технічних засобів, які можуть бути використані в якості пристроїв керування, виконавчих пристроїв і засобів контролю стану. Оскільки мехатроніка поєднує різні фізико-механічні варіанти реалізації, до розгляду залучено пневматичні, механічні, гідравлічні і електромеханічні засоби та алгоритмічні варіанти побудови циклічних модулів.

У даному розділі наведено умовні позначення деяких технічних засобів, які будуть використані при створенні принципових схем модулів і систем.

Всі апаратні засоби розподілені на три рівні: виконавчий, керуючий, контролюючий та логіко інформаційний.

Всі три рівні підпорядковані певному типу енергоносія основного потоку, що забезпечує роботу виконавчого рівня. Для деяких пристроїв можливо їх

використання за декількома призначеннями, тоді ці пристрої можуть бути представлені одразу в декількох рівнях, хоча мають одне умовне позначення. При можливості, буде вказано особливості з'єднання пристрою з іншими елементами.

Найбільш повно розглянуто традиційні засоби пневмоавтоматики. Інші сегменти техніки автоматизації, в основному, надано тільки типовими для цих сегментів пристроями, та пристроями, що мають аналоги у засобах пневмоавтоматики. Функції пристроїв можуть бути однаковими (наприклад, затримка часу), але вони суттєво відрізняються принципом дії та енергоносієм.

3.1. ПНЕВМАТИЧНІ І ГІДРАВЛІЧНІ КОМПОНЕНТИ МОДУЛІВ

Засоби пневмоавтоматики та пневмоприводу, які традиційно використовують в якості виконавчих пристроїв при побудові функціональних модулів, можуть бути умовно розподілені на традиційні та додаткові (традиційні функції і додаткові функції – таблиці 3.1-3.4). Зауважимо, що частина таких засобів можуть одночасно належати і до традиційних, і до додаткових. Тобто, пристрій може виконувати декілька функцій – і за основним призначенням, і додаткові функції.

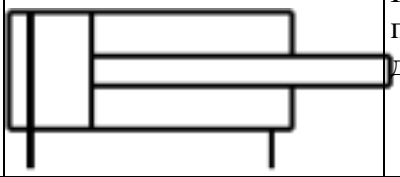
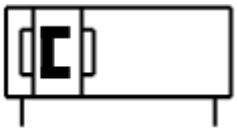
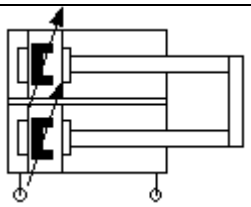
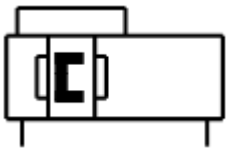
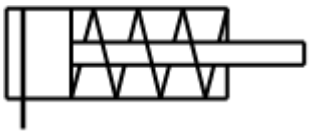
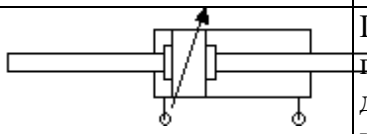
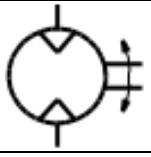
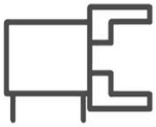
ПРИМІТКА. Під традиційними, здебільшого, представлено пристрої, які виконують механічну роботу – пневматичні та гідравлічні мотори, електромеханічні двигуни і інші пристрої різного призначення [12, 20, 26, 39, 44, 47, 63, 71, 75, 79, 82, 90, 91, 117, 118].

Під додатковими пристроями вирізняємо такі, що на основі виконання їх функцій можуть бути побудовані певні модулі. Наприклад, дросель, з доданим розподільним клапаном може бути залучено до лінії, а може бути виключено з лінії. На його основі може бути побудований модуль перемикання швидкості, тобто він, за виконуваною функцією в системі, є виконавчим пристроєм. Редукційний клапан, який з доданим розподільчим клапаном може бути залучено до лінії, а може бути виключено з лінії. На його основі може бути побудовано модуль перемикання зусилля, який також постає як виконавчий пристрій. Реле часу, що має команди вмикання і вимикання у вигляді логічних умов, дозволяє побудувати модуль затримки часу.

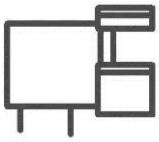
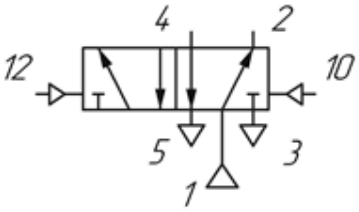
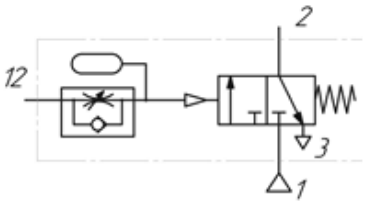
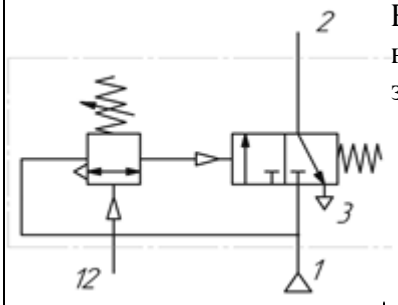
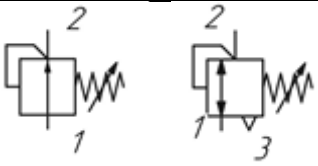
У той же час чотирьохлінійний бістабільний гідравлічний розподільчий клапан, або пятилінійний бістабільний пневматичний розподільник, які традиційно обіймають місце засобів керування гідравлічними двигунами чи пневматичними циліндрами, можуть утворювати окремі модулі - «елементи пам'яті». Так само можуть бути застосовані і інші пристрої і їх комбінації. Наприклад, є спеціальні клапани для виконання логічних функцій множення і додавання, але ці функції можуть бути реалізовані за допомогою гідравлічних і пневмастичних розподільників. Аналогічним чином виконавчі пристрої можуть бути побудовані на основі лічильників чи таймерів.

Таблиця 3.1

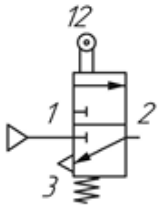
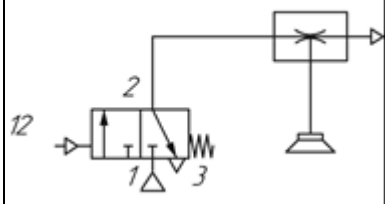
Пневматичні пристрої виконавчого рівня

№	Назва пристрою	Умовне позначення	Функція	Лінії з'єднань примітки
	Традиційні технічні рішення і щасоби			
1	Пневмоциліндр одноштоковий двосторонньої дії		Поступове переміщення під навантаженням в двох напрямках	
2	Пневмоциліндр бесштоковый двосторонньої дії		Поступове переміщення каретки під навантаженням в двох напрямках	
	Пневмоциліндр спарений двосторонньої дії з направляючими		Поступове переміщення вихідної ланки під навантаженням в двох напрямках із захистом від проворочування	
3	Пневмоциліндр бесштоковый двосторонньої дії з направляючими		Поступове переміщення каретки під навантаженням в двох напрямках із захистом від проворочування	
4	Пневмоциліндр одноштоковий односторонньої дії		Поступове переміщення під навантаженням в одному напрямку та без навантаження у зворотному напрямку	
	Пневмоциліндр двоштоковий двосторонньої дії		Поступове переміщення під навантаженням з двох боків в двох напрямках	
5	Неповноповоротний Пневмоциліндр двосторонньої дії		Обертовий рух під навантаженням в двох напрямках на кут, менший за 360^0	
6	Повноповоротний пневмоциліндр двосторонньої дії (пневмомотор)		Обертовий рух під навантаженням в двох напрямках На кут, більший за 360^0	
7	Пневматичний схват на базі циліндра двосторонньої дії		Утримання предмету з поступальним рухом 2-х затискних пластин	

Продовження табл.3.1

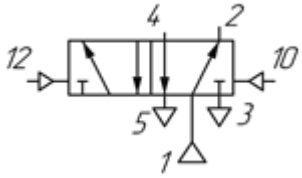
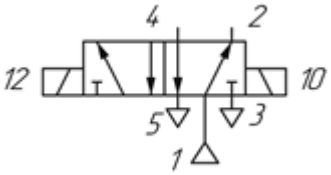
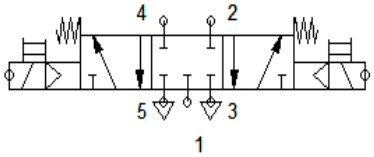
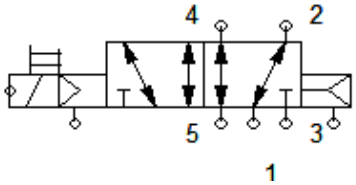
8	Пневматичний схват на базі циліндра двосторонньої дії		Утримання предмету з обертовим рухом 2-х затискних пластин	
9	Пневматичний схват центруючий на базі циліндра двосторонньої дії		Утримання предмету з поступальним рухом 3-х притискних пластин	
	Додаткові пристрої			
10	Розподільчий клапан 5/2 з бістабільним пневматичним керуванням		Запам'ятовування сигналу з прямим і інверсним виходами	1 – живлення ; 2 – інверсний вихід; 4 – прямий вихід; 3, 5 – скидання; 12 – прямий сигнал керування; 10 – інверсний сигнал керування
11	Реле затримки часу нормально зачинене		Затримка часу – основна дія, перехід в початковий стан – інверсна дія	1 – живлення ; 2 – прямий вихід; 3 – скидання; 12 – прямий сигнал керування
12	Реле тиску нормально зачинене		Вмикання/вимикання контролю зусилля	1 – живлення ; 2 – інверсний вихід; 3 – скидання; 12 – прямий сигнал керування.
13	Клапан редукційний		Вмикання/вимикання додаткового рівня зусилля	1 – живлення ; 2 – вихід; 3 – скидання.
14	Дросель із зворотнім клапаном		Вмикання/вимикання додаткового значення швидкості	1→2 – дроселювання потоку; 2→1 – обхід дроселя

Продовження табл.3.1

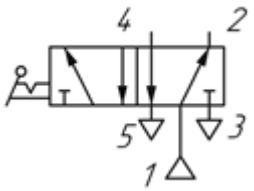
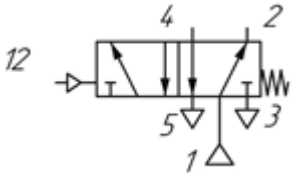
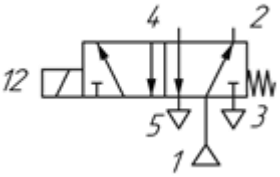
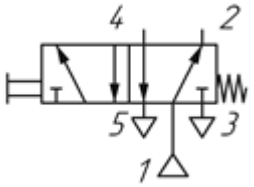
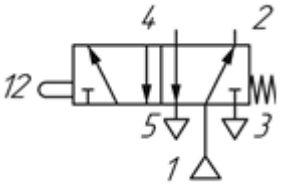
15	Розподільчий клапан 3/2 з механічним керуванням (кінцевик)		Вмикання/вимикання контролю положення	1 – живлення ; 2 – інверсний вихід; 3 – скидання; 12 – прямий сигнал керування.
16	Генератор вакууму з присмоктувачем і розподільчим клапаном (вакуумний схват)		Утримання/відпускання предмета з плоскою поверхнею	1 – живлення ; 2 – вихід; 3 – скидання; 12 – прямий сигнал керування.

Таблиця 3.2

Пневматичні засоби керуючого рівня

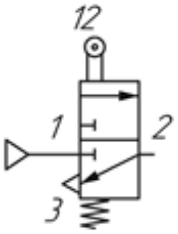
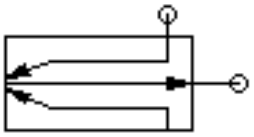
№	Назва пристрою	Умовне позначення	Виконувана функція	Лінії з'єднань Примітки
1	Розподільчий клапан 4/2 (5/2) бістабільний з пневматичним керуванням		Перемикання двох каналів «тиск/скидання»	1 – живлення ; 2, 4 – виходи; 3, 5 – скидання; 12 – прямий сигнал керування; 10 – інверсний сигнал керування.
2	Розподільчий клапан 4/2 (5/2) бістабільний з електромагнітним керуванням		Перемикання двох каналів «тиск /скидання»	див. 1 табл. 3.2.
3	Розподільчий клапан 5/3 моностабільний з електромагнітним керуванням		Перемикання двох каналів «тиск /скидання»	1 – живлення ; 2, 4 – виходи; 3, 5 – скидання.
4	Розподільчий клапан 5/2 моностабільний з електромагнітним керуванням, пневматичним підсиленням і пневматичною пружиною, з реверсними потоками повітря		Перемикання двох каналів «тиск /скидання»	1 – живлення (скидання); 2, 4 – виходи (входи); 3, 5 – скидання (живлення).

Продовження табл.3.2

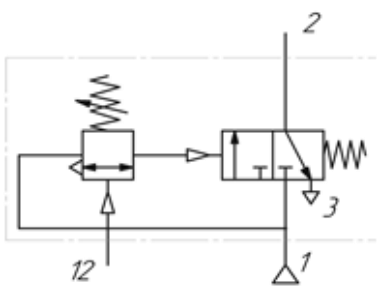
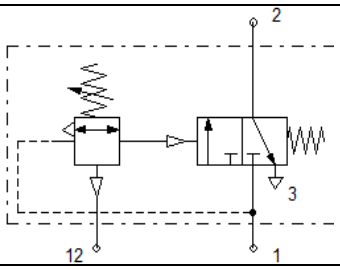
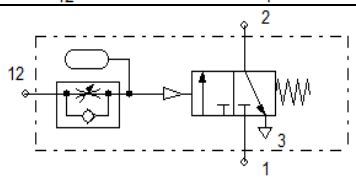
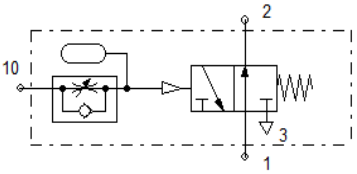
5	Розподільчий клапан 4/2 (5/2) бістабільний з ручним (фіксатор) керуванням		Перемикання двох каналів «тиск /скидання»	1 – живлення ; 2, 4 – виходи; 3, 5 – скидання.
6	Розподільчий клапан 4/2 (5/2) моностабільний з пневматичним керуванням		Перемикання двох каналів «тиск /скидання»	1 – живлення ; 2, 4 – виходи; 3, 5 – скидання; 12 – прямий сигнал керування.
7	Розподільчий клапан 4/2 (5/2) моностабільний з електромагнітним керуванням		Перемикання двох каналів «тиск /скидання»	1 – живлення ; 2, 4 – виходи; 3, 5 – скидання; 12 – прямий сигнал керування.
8	Розподільчий клапан 4/2 (5/2) моностабільний з ручним керуванням		Перемикання двох каналів «тиск /скидання»	1 – живлення ; 2, 4 – виходи; 3, 5 – скидання.
9	Розподільчий клапан 4/2 (5/2) моностабільний з механічним керуванням		Перемикання двох каналів «тиск /скидання»	1 – живлення ; 2, 4 – виходи ; 3, 5 – скидання; 12 – прямий сигнал керування.

Таблиця 3.3

Пневматичні пристрої рівня контролю

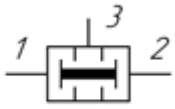
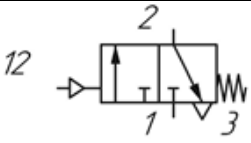
№	Назва пристрою	Умовне позначення	Виконувана функція	Лінії з'єднань примітки
1	Розподільчий клапан 3/2 моностабільний з механічним керуванням (кінцевик)		Формування сигналу щодо отримання контрольованого положення	1 – живлення ; 2 – вихід ; 3 – скидання; 12 – прямий сигнал керування.
2	Пневматичне «око» (струминний датчик перепони)		Формування сигналу щодо наближення контрольованої поверхні	

Продовження табл.3.3

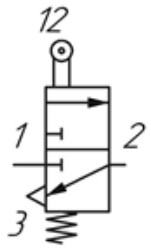
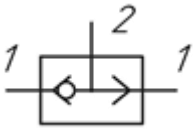
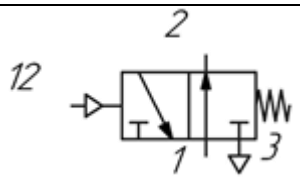
3	Реле тиску нормально зачинене		Формування сигналу щодо отримання тиску в лінії або отримання зусилля приводу	1 – живлення ; 2 – вихід; 3 – скидання; 12 – прямий сигнал керування.
4	Реле вакууму нормально зачинене		Формування сигналу щодо отримання вакууму в лінії або отримання зусилля присмоктування вакуумного захоплювача (схвату)	1 – живлення ; 2 – вихід; 3 – скидання; 12 – прямий сигнал керування.
5	Реле затримки часу нормально зачинене		Формування сигналу щодо затримки вхідного пневматичного сигналу по передньому фронту (нормально зачинене)	1 – живлення ; 2 – вихід; 3 – скидання; 12 – прямий сигнал керування.
6	Реле затримки часу нормально відкрите		Формування сигналу щодо затримки вхідного пневматичного сигналу по передньому фронту (нормально відкрите), або по задньому фронту (нормально зачинене)	1 – живлення ; 2 – вихід; 3 – скидання; 10 – прямий сигнал керування.

Таблиця 3.4

Пневматичні пристрої логіко-обчислювального рівня

№	Назва пристрою	Умовне позначення	Виконувана функція	Лінії з'єднань примітки
1	Клапан логічного множення		Формування сигналу виходу рівного логічному добутку 2-х сигналів входу	1, 2 – вхідні сигнали; 3 – вихідний сигнал.
2	Клапан 3/2 моностабільний, нормально зачинений		Формування сигналу виходу рівного логічному добутку 2-х сигналів (входу і живлення)	1 – вхід; 2 – вихід; 3 – скидання; 12 – прямий сигнал керування.

Продовження табл.3.4

3	Клапан 3/2 моностабільний з механічним керуванням, нормально зачинений		Формування сигналу виходу рівного логічному добутку 2-х сигналів (механічного і живлення)	1 – вхід; 2 – вихід; 3 – скидання; 12 – прямий сигнал керування.
4	Клапан логічного додавання		Формування сигналу виходу рівного логічному додаванню 2-х сигналів входу	1, 2 – входи; 2 – вихід.
5	Клапан 3/2 моностабільний, нормально відчинений (інвертор)		Формування сигналу виходу рівного логічній інверсії вхідного сигналу	1 – вхід; 2 – інверсний вихід; 3 – скидання; 12 – прямий сигнал керування.

Засоби гідроавтоматики і гідроприводу мають багато спільного з промисловою пневмоавтоматикою, але мають і суттєві відмінності, такі самі, як відмінності властивостей рідини і газу та різних експлуатаційних параметрів, перш за все зусилля і потужності [9,12,13,15,16,18, 73, 79, 82, 90, 91, 136, 153, 165].

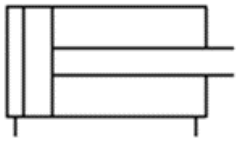
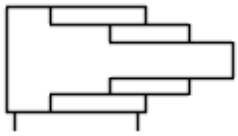
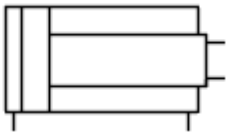
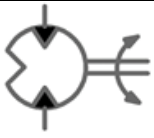
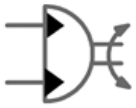
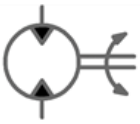
Багато пристроїв пневмоприводу і гідроприводу мають майже однакові умовні позначення, і їх відрізнити можна за зафарбованим (рідина) чи не зафарбованим (повітря) трикутником та умовними позначеннями баку, гідроакумулятора і ресивера, насоса і компресора. До спільних умовних позначень належать циліндри лінійного та обертового переміщення, повно поворотні мотори, розподільчі клапани, деякі клапани тиску, клапан логічного «АБО», зворотній клапан, дроселі та ще деякі пристрої контролю, керування та регулювання параментрів [9,12,13,15,16,18].

ПРИМІТКА. Якщо дві системи – гідравлічна та пневматична, складено по майже однаковим принциповим і монтажним схемам, то вони не тільки можуть відрізнятись в роботі, але взагалі гідравлічна система може бути непрацездатною при працюючій пневматичній системі.

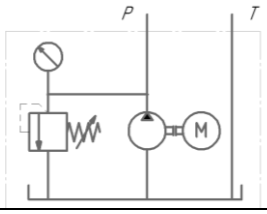
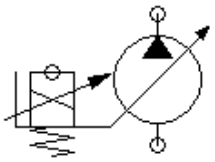
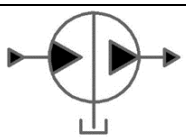
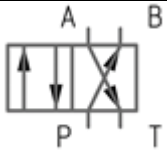
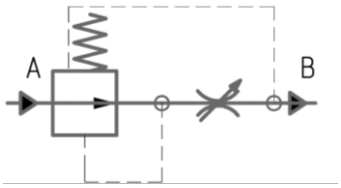
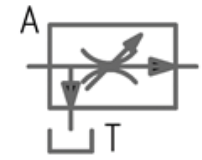
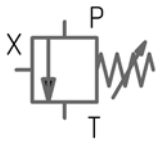
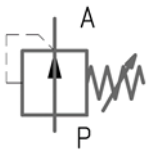
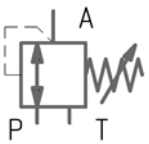
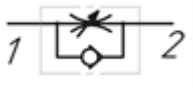
Властивості змін густини при зміні тиску і температури, а також відмінності в показнику в'язкості для рідин і газів, є першопричинами відміченого. Саме цими відмінностями викликано існування суттєво різних пристроїв при майже однакових функціях, наприклад, гідроакумулятор і ресивер. Додатковий вплив на роботу системи мають такі явища, як кавітація і гідроудар в гідравлічних лініях та докритичний і надкритичний режими перетікання повітря в пневмоавтоматиці.

Таблиця 3.5

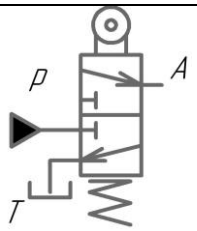
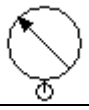
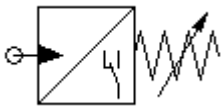
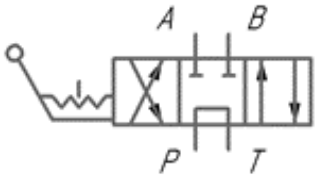
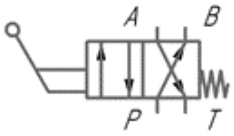
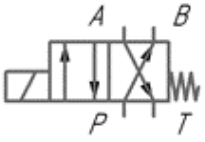
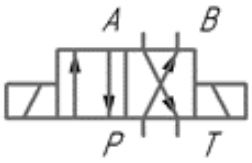
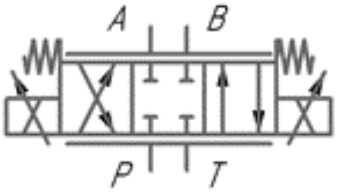
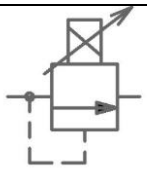
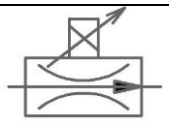
Гідравлічні пристрої

№	Назва пристрою	Умовне позначення	Виконувана функція	Лінії з'єднань примітки
	Пристрої виконавчого рівня			
1	Гідроциліндр одноштоковий двосторонньої дії		Поступове переміщення під навантаженням в двох напрямках	
2	Гідроциліндр телескопічний		Поступове переміщення під навантаженням в двох напрямках	
3	Гідроциліндр диференціальний		Поступове переміщення з однаковою швидкістю під навантаженням в двох напрямках	
4	Гідроциліндр плунжерний		Поступове переміщення під навантаженням в одному напрямку і без навантаження в зворотному напрямку	
5	Гідроциліндр двосторонньої дії двоштоковий		Поступове переміщення під навантаженням в двох напрямках з однаковою швидкістю	
6	Гідроциліндр неповноповоротний двосторонньої дії		Обертовий рух під навантаженням в двох напрямках на кут, менший за 360^0	
7	Неповноповоротний гідроциліндр двосторонньої дії		Обертовий рух під навантаженням в двох напрямках на кут, менший за 180^0	
8	Гідромотор реверсивний		Обертовий рух під навантаженням в двох напрямках на кут, більший за 360^0	
9	Насос гідравлічний нерегульований		Джерело гідравлічної енергії нерегульованої витрати	
10	Насос гідравлічний регульований		Джерело гідравлічної енергії регульованої витрати	

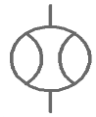
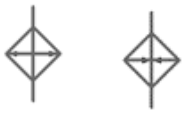
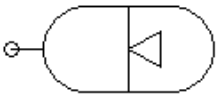
Продовження таблиці 3.5

11	Насосна станція		Джерело гідравлічної енергії нерегульованої витрати з регулюванням тиску	p – тиск; T – злив.
12	Насос з машинним регулюванням і пропорційним керуванням		Джерело гідравлічної енергії з регулюваним значенням витрати	
13	Мультиплікатор тиску		Підвищення рівня тиску	
	Пристрої керування і контролю			
14	Розподільчий клапан 4/2 без зазначення типу керування		Перемикання двох каналів «тиск /злив»	p – тиск; A, B – виходи; T – злив.
15	Регулятор потоку (2-х лінійний, розгорнуте позначення)		Підтримка стабільного рівня витрати при змінному навантаженні, дискретна зміна швидкості	A – вхід; B – вихід.
16	Регулятор потоку (3-х лінійний, спрощене позначення		Підтримка стабільного рівня витрати при змінному навантаженні, дискретна зміна швидкості	A – вхід; B – вихід; T – злив.
17	Клапан тиску (зовнішній сигнал керування)		Вмикання/вимикання контролю зусилля	P – вхід; T – злив; X – сигнал керування.
18	Клапан редукційний (2-во ходовий)		Вмикання/вимикання другого рівня тиску, зусилля	P – вхід; A – вихід.
19	Клапан редукційний (3-х ходовий)		Вмикання/вимикання другого рівня зусилля	P – вхід; A – вихід; T – злив.
20	Дросель з зворотним клапаном		Вмикання/вимикання іншого швидкості	1→2 – дроселювання потоку; 2→1 – обхід дроселя

Продовження таблиці 3.5

21	Розподільчий клапан 2/2 (3/2) з механічним керуванням (кінцевик)		Вмикання/вимикання контролю положення	p – живлення ; A – вихід, (сигнал); T – злив.
22	Манометр		Вимірювання тиску	
23	Реле тиску		Контроль заданого рівня тиску	
24	Розподільчий клапан 4/3 з ручним керуванням та фіксацією позиції		Перемикання двох каналів «тиск/злив» з блокуванням мотора та розвантаженням насоса в середньому положенні	p – живлення ; A, B – вихід; T – злив.
25	Розподільчий клапан 4/2 з ручним керуванням моностабільний		Перемикання двох каналів «тиск /злив»	p – живлення ; A, B – вихід; T – злив.
26	Розподільчий клапан 4/2 з електромагнітним керуванням моностабільний		Перемикання двох каналів «тиск /злив»	p – живлення ; A, B – вихід; T – злив.
27	Розподільчий клапан 4/2 з електромагнітним керуванням бістабільний		Перемикання двох каналів «тиск /злив»	p – живлення ; A, B – вихід; T – злив.
28	Розподільчий клапан 4/3 з електромагнітним пропорційним керуванням моностабільний		Перемикання двох каналів «тиск /злив» з регулюванням ступеню відкриття	p – живлення ; A, B – вихід; T – злив.
29	Клапан тиску з пропорційним керуванням		Забезпечення рівня тиску або зусилля з регулюванням його значення Вмикання/вимикання іншого рівня тиску	
30	Регулятор витрати з пропорційним керуванням		Забезпечення рівня швидкості з регулюванням її значення Вмикання/вимикання іншого рівня швидкості	

Продовження таблиці 3.5

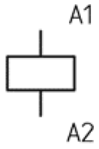
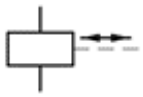
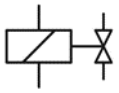
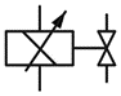
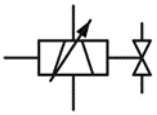
31	Витратомір		Визначення рівня витрати робочої рідини	
32	Дросель лінійний регульований		Налаштування швидкості Дискретна зміна рівня швидкості	
	Пристрої підготовки рідини			
33	Фільтр		Забезпечення рівня очищення рідини	
34	Апарат теплообміну		Обмеження верхнього/нижнього значення температури	
35	Гідро-газовий акумулятор		Збереження певного обєму рідини під тиском	
36	Бак		Збереження необхідного обєму рідини, пасивне охолодження рідини, стабілізація температури рідини	

3.2. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ, ЕЛЕКТРОРЕЛЕЙНІ ТА ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ МОДУЛІВ

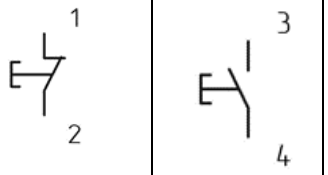
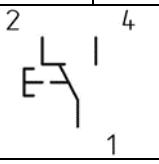
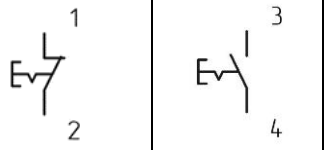
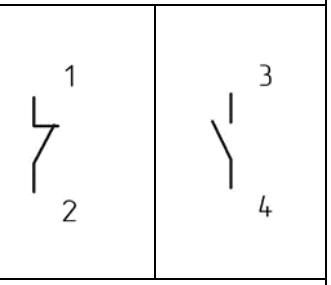
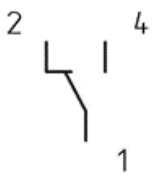
Електромеханічні, електричні і електронні засоби, які можуть застосовуватись в якості пристроїв при побудові мехатронних модулів, відносяться до виконавчих пристроїв, засобів керування та контролю [5, 6, 57, 58, 113, 116, 133, 141, 144, 149, 153,]. Особливістю цих компонентів є те, що у складі мехатронних модулів вони взаємодіють з механічними, пневматичними, гідравлічними і спеціальними технологічними пристроями. Наприклад, соленоїд може бути виконавчим пристроєм з важільним механізмом (екстрактор), може виконувати функцію керування пневматичного або гідравлічного клапана, може виконувати функцію затискача. Ємнісний датчик може виконувати функцію виконавчого пристрою, при його використанні для пошуку позиції аварійного відвантаження. Але при використанні кінцевої позиції штоку гідроциліндру він виконуватиме функцію контролю. Тому, багато пристроїв, з наведених нижче, не можна однозначно віднести до функцій керування, виконання або контролю.

Таблиця 3.6

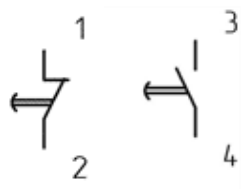
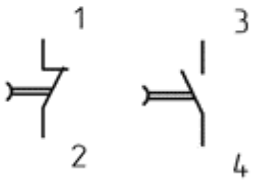
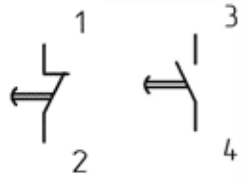
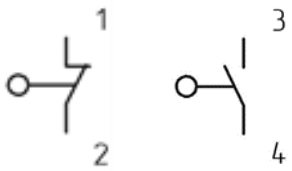
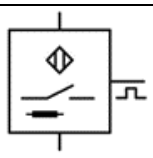
Деякі електромеханічні, електричні і електронні компоненти

№	Назва пристрою	Умовне позначення	Функція	Примітка
	Елементи електрорелейних схем			
	Виконавчі елементи і сигналізатори			
1	Контактне реле		Замикання/розмикання контактів при наявності живлення в контурі керування; підсилення потужності сигналів датчиків	A1 – підключення контуру керування/живлення; A2 – підключення до лінії 0V
2	Соленоїд		Лінійне переміщення об’єктів	
3	Соленоїд розподільчого клапана		Перемикання позиції розподільчого клапана	
4	Соленоїд пропорціонального клапана (односторонньої дії)		Переміщення золотника пропорційного розподільника на величину пропорційну сигналу керування	Сигнал керування в межах (0…+10)V
5	Мотор постійного струму		Обертовий рух під навантаженням в двох напрямках	
6	Соленої пропорційного клапана (двосторонньої дії)		Переміщення золотника пропорційного розподільника на величину пропорційну сигналу керування	Сигнал керування в межах (-10…+10)V
7	Мотор змінного струму однофазний		Обертовий рух під навантаженням в двох напрямках	
8	Мотор змінного струму трьохфазний		Обертовий рух під навантаженням в двох напрямках	
9	Індикаторна лампочка		Світлова індикація наявності сигналу/живлення в контурі керування	
10	Зумер		Звукова індикація наявності сигналу/живлення в контурі керування	

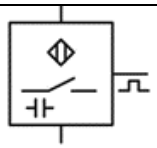
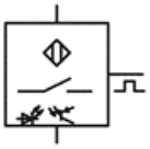
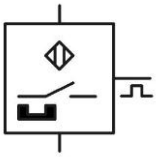
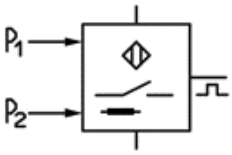
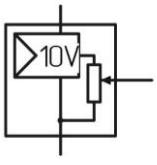
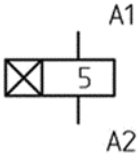
Продовження таблиці 3.6

	Контакти			
11	Клеми ліній живлення		Підключення до джерела живлення	
12	Кнопка електрична без фіксатора		Ручне перемикання стану електричних контактів в контурі керування	1, 3 – підключення до лінії 24V; 2, 4 – виходи з нормально замкненого і розімкненого контактів, відповідно
	Нормально замкнений контакт; нормально розімкнений контакт;			
	перемикач			1 – підключення до лінії 24V.
13	Кнопка електрична з фіксатором		Ручне перемикання стану електричних контактів в контурі керування	1, 3 – підключення до лінії 24V; 2, 4 – виходи з нормально замкненого і розімкненого контактів
	Нормально замкнений контакт; нормально розімкнений контакт;			
14	перемикач			1 – підключення до лінії 24V; 2, 4 - виходи з нормально замкненого і розімкненого контактів
15	Контакт реле:		Перемикання стану електричних контактів в контурі керування за допомогою електричних сигналів	1, 3 – підключення до лінії 24V; 2, 4 – виходи з нормально замкненого і розімкненого контактів, відповідно
	Нормально замкнений контакт; нормально розімкнений контакт;			
	перемикач			1 – підключення до лінії 24V; 2, 4 - виходи з нормально замкненого і розімкненого контактів, відповідно.

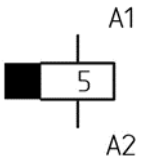
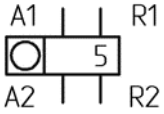
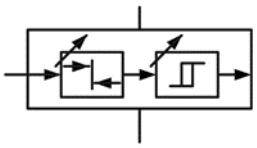
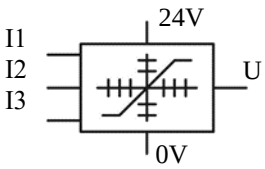
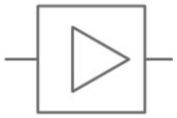
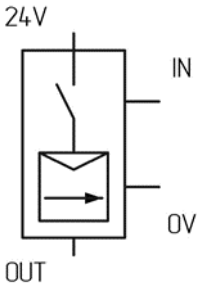
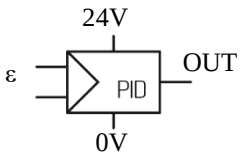
Продовження таблиці 3.6

16	Контакт реле часу (затримка часу по передньому фронту): нормально замкнений і розімкнений контакти		Затримка появи електричного сигналу/команди керування: замикання/розмикання контакту в контурі керування з затримкою в часі	1, 3 – підключення до лінії 24V; 2, 4 – виходи з нормально замкненого і розімкненого контактів, відповідно
17	Контакт реле часу (затримка часу по задньому фронту): нормально замкнений і розімкнений контакти		Затримка зникнення електричного сигналу/команди керування: замикання/розмикання контакту в контурі керування з затримкою в часі	1,3–підключ. до лінії 24V;2, 4 – виходи з нормально замкненого і розімкненого контактів,відповідно
18	Контакт електричних датчиків (ємнісного, індуктивного, оптичного, реле тиску): нормально замкнений і розімкнений контакти		Зняття/подача сигналу в контурі керування при появі сигналу на безконтактному датчику контролю позиції виконавчого пристрою; контроль наявності об’єкту на позиції; контроль значення тиску в порожнині/лінії	1, 3 – підключення до лінії 24V; 2, 4 – виходи з нормально замкненого і розімкненого контактів, відповідно
19	Контакт кінцевого вимикача: нормально замкнений і розімкнений контакти		Розмикання/ замкнення контуру керування при наявності механічного дії на вимикач: контроль крайніх/проміжних положень виконавчого пристрою або наявності об’єкту на позиції	1, 3 – підключення до лінії 24V; 2, 4 – виходи з нормально замкненого і розімкненого контактів, відповідно
	Датчики електричні			
20	Кінцевий механічний вимикач		Контроль крайніх/проміжних положень виконавчого пристрою або наявності об’єкту на позиції	
21	Датчик/сенсор індуктивний		Контроль наявності металевих об’єктів в зоні чутливості датчика	

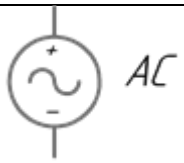
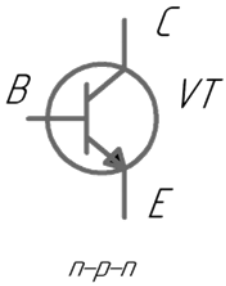
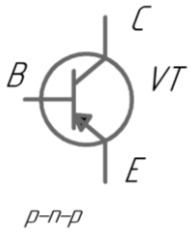
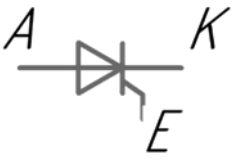
Продовження таблиці 3.6

22	Датчик/сенсор ємнісний		Контроль наявності об’ємних об’єктів в зоні чутливості датчика	
23	Датчик/сенсор оптичний		Контроль наявності непрозорих об’єктів в зоні чутливості датчика	
24	Датчик/сенсор магнітного поля		Контроль наявності магнітного поля в зоні чутливості датчика	
25	Датчик температури/температурне реле		Контроль рівня температури об’єктів	
26	Реле тиску (позначення для електропневматичних та електрогідравлічних схем)		Контроль значення тиску в порожнині/лінії	*P* – підключення до гідравлічної/пневматичної лінії
27	Реле різниці тисків		Контроль значення різниці тисків в порожнинах/лініях або на апараті	p_1 , p_2 – канали для підключення тисків, які порівнюються
28	Геркон – герметичний контакт (безконтактний датчик)		Контроль наявності магнітного поля в зоні чутливості датчика	
29	Датчик потенціометричний		Перетворення координати переміщення/ходу в електричний сигнал, пропорційний переміщенню	
	Елементи керування і перетворення сигналів			
30	Реле часу (затримка по передньому фронту)		Затримка появи сигналу на виході реле при появі сигналу/команди в контурі керування	A1 – підключення сигналів керування, поява яких затримується; A2 – підключення до лінії 0V

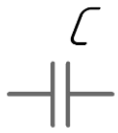
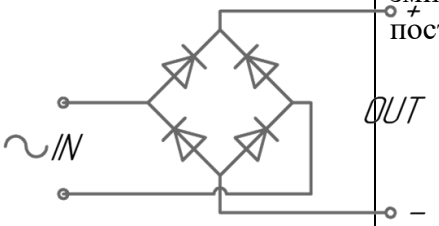
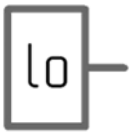
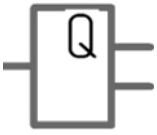
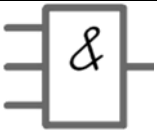
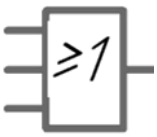
Продовження таблиці 3.6

31	Реле часу (затримка вимикання)		Затримка зникнення сигналу на виході реле при зникненні сигналу/команди в контурі керування	A1 – підключення сигналів/команди керування, зникнення яких затримується; A2 – підключення до лінії 0V
32	Лічильник		Контроль кількості імпульсів на вході в лічильник; поява сигналу на виході лічильника при досягненні встановленої кількості; скидання поточного значення підрахованих сигналів і зняття сигналу на виході лічильника	A1 – вхід лічильника; A2 – підключення до лінії 0V; R1 – сигнал/команда скидання поточного значення; R2 – підключення до лінії 0V
33	Компаратор		Порівняння рівня сигналу на вході із попередньо встановленим значенням на пристрої	
34	Задатчик рівня сигналу		Генерація рівня вихідного сигналу по комбінації вхідних сигналів	I1, I2, I3 – вхідні сигнали; U – вихідний сигнал
35	Підсилювач		Керування соленоїдом пропорційного клапана по сигналу від задатчика	
36	Пристрій плавного пуску мотора постійного струму		Задача швидкості зростання напруги до максимального значення на моторі	IN – сигнал/команда керування ввімкненням мотору; OUT – канал підключення клеми мотору
37	ПІД-регулятор		Формування вихідного сигналу певного рівня в перехідних процесах за значенням похибки на вході	ε – похибка; OUT – вихідний сигнал

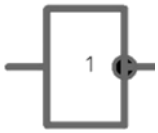
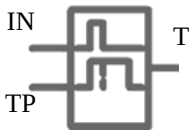
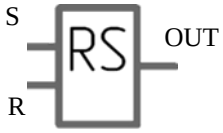
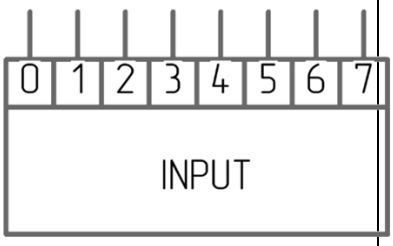
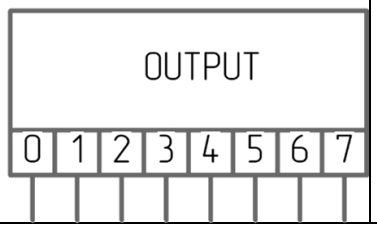
Продовження таблиці 3.6

	Компоненти електронних схем			
38	Джерело змінного струму		Живлення схем, які працюють при змінному струмі	
39	Джерело постійного струму		Живлення схем, які працюють на постійному струмі	
40	Заземлення			
41	Транзистор (NPN)		Підсилення і генерація електроколивань (пряма провідність)	B – база; C – колектор; E – емітер
42	Транзистор (PNP)		Підсилення і генерація електроколивань (зворотна провідність)	B – база; C – колектор; E – емітер
43	Тиристор		Замикання/розмикання електричного контура	A – анод; K – катод; E – керуючий електрод
44	Резистор		Лінійне перетворення струму в напругу/напруги в струм	
45	Індуктивність		Електрична інерція/обмеження змінного струму/гасіння шумів	

Продовження таблиці 3.6

46	Ємність		Накопичення електричного заряду	
47	Діод		Обмеження напрямку струму	
48	Стабілітрон		Обмеження рівня вихідної напруги	
49	Світлодіод		Світлова індикація	
50	Діодний міст		Перетворення змінного струму в постійний	IN – підключення контуру змінного струму; OUT – підключення контуру постійного струму
	Елементи електронної логіки			
51	Високий рівень вхідного сигналу (“1”, “TRUE”)		Встановлення високого рівня сигналу на вході (за замовчуванням)	
52	Низький рівень вхідного сигналу (“0”, “FALSE”)		Встановлення низького рівня сигналу на вході (за замовчуванням)	
53	Вхідний сигнал		Опитування значення сигналу на вході	
54	Вихідний сигнал		Встановлення значення вихідного сигналу	
55	Елемент кон’юнкції (логічне множення, "І")		Логічне множення вхідних сигналів	
56	Елемент диз’юнкції (логічне додавання, "АБО")		Логічне додавання вхідних сигналів	

Продовження таблиці 3.6

57	Елемент інверсії ("НЕ")		Перетворення значення вхідного бінарного сигналу на протилежне вихідне значення	
58	Таймер (затримка часу по задньому фронту)		Затримка зникнення сигналу на виході при зникненні вхідного сигналу	IN – вхідний сигнал; TP – преселектор; T – вихід
59	Тригер		Фіксація вихідного значення сигналу відповідно до стану вхідних сигналів	S – встановлення значення "1" на виході (OUT); R – встановлення значення "0"
60	Генератор імпульсів		Генерація сигналу певної форми і частоти	
61	Входи в контролер		Зовнішнє підключення вхідних сигналів до контролера	0…7 – номер вхідного біту
62	Виходи контролера		Зовнішнє підключення контролеру до виконавчих пристроїв	0…7 – номер вихідного біту

На практиці умовні позначення елементів пневмоавтоматики, гідроавтоматики і електричних схем можуть відрізнятися в залежності від типу схем (блок-схем, принципових схем, функціональних схем та інш.) та стандартів, які ці позначення регламентують. Також, при використанні спеціалізованих програмних пакетів для побудови схем, імітації їх роботи і визначення характеристик, розробники можуть керуватися різними стандартами, наприклад:

DIN ISO 1219-1. Graphic symbols for pneumatic and hydraulic equipment

BS 2917 (ISO 1219). GRAPHICAL SYMBOLS FOR PNEUMATIC SYSTEMS AND COMPONENTS

ДСТУ ГОСТ 2.704:2014. Єдина система конструкторської документації. Правила виконання гідравлічних і пневматичних схем (ГОСТ 2.704-2011, IDT)

ДСТУ ГОСТ 2.702:2013 Єдина система конструкторської документації. правила виконання електричних схем (ГОСТ 2.702-2011, IDT)

I EC 60617-DB-12M:2012. Graphical symbols for diagrams (IDT)

3.3. АЛГОРИТМІЧНІ КОМПОНЕНТИ МОДУЛІВ

З метою формування зручної бази елементів для структурного синтезу систем мехатроніки виконано уніфікацію представлення деяких інформаційних компонентів по аналогії з механічними компонентами. За типову форму елемента прийнято циклічний модуль (рис. 3.1) [102, 103, 105, 108].

Рис. 3.1. Схема уніфікованого циклічного модуля мехатронної системи

Модулі системи інколи мають повністю інформаційний зміст і реалізацію (елемент пам'яті, таймер, лічильник, підпрограма), а інколи поєднують інформаційні та апаратні засоби (багатопозиційні приводи з бістабільним керуванням, пристрої з пропорційним керуванням).

Як правило алгоритми керування та їх фрагменти відносяться до інформаційних компонентів. Але їх входження в склад мехатронних модулів додає певні обмеження і накладає специфічні вимоги щодо їх будови і застосування [96]. Так само, як існують певні правила алгоритмічних мов, що мають бути варховані при складанні програм, існують певні правила мехатроніки, які мають бути враховані при складанні алгоритмів керування.

Всі модулі системи, згідно з логічними умовами команд керування, виконують основні YI і зворотні YNI функції, та контролюють їх результат: основний - XI і зворотній -XNI.

Однорідність форми всіх елементів системи, у вигляді циклічних модулів, дозволяє уніфікувати процес з'єднання цих елементів в систему. Уніфікація процесу призводить до уніфікації структури системи, що дозволяє виконувати тестування систем за рядом формальних ознак, що стосуються як елементів, так і їх з'єднань. Саме з цих причин ряд інформаційних та алгоритмічних компонентів, не зважаючи на надлишковість, зручно будувати у формі, типовій для механічних модулів. При цьому основна та зворотна функції всіх модулів зберігають свою фізичну природу.

Наприклад, гідродинамічні процеси в елементах гідроприводу, тепло-масообмін в пневмоприводі, електромагнітні перетворення в електроприводі, чисельні методи, інтегральні та диференціальні функції в інформаційному компоненті. Перелічені процеси та функції мають бути розподілені між

виконанням або основної, або зворотної дії модулів і додаються до структури модуля у якості окремих елементів (умов, виконання, контролю).

Алгоритм дії уніфікованого циклічного модуля має вигляд замкненого циклу (рис. 3.2.).

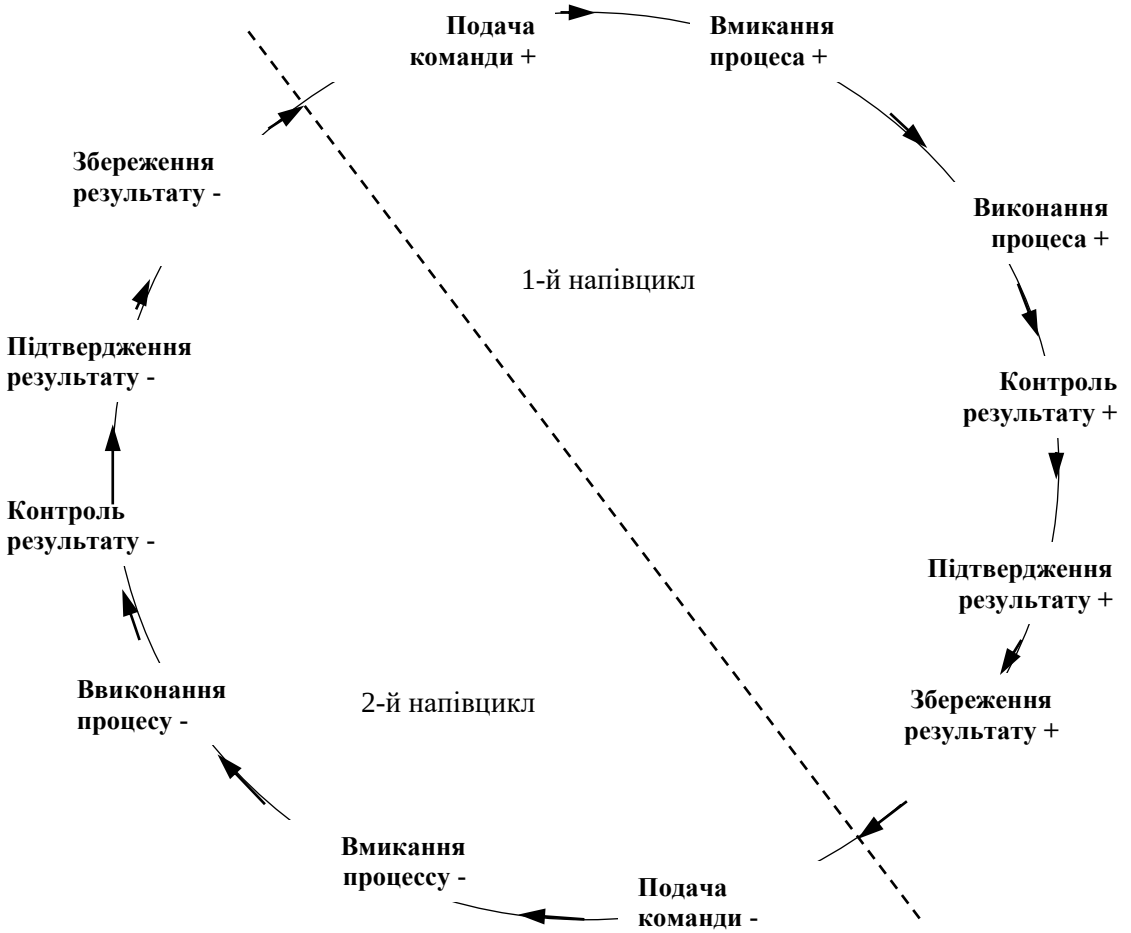


Рис. 3.2. Алгоритм функціонування уніфікованого циклічного модуля

В загальному випадку алгоритми функціонування механічних модулів ідентичні за структурою і утворюють цикл з команд, дій та операцій контролю результатів [96]. Таку саму форму матимуть простіші інформаційні модулі.

Перший напів-цикл функціонування модуля вміщує наступну послідовність:

- подача команди на виконання основної функції;
- сприйняття команди;
- відпрацювання функції – основна дія модуля;
- поточний контроль результату дії;
- формування сигналу щодо завершення дії для інших модулів системи;
- збереження результату до початку наступного напівциклу.

Другий напівцикл забезпечує підготовку до повторного виконання основної функції модуля, тобто для інформаційних та алгоритмічних

компонентів може бути названим як підготовчий. Наприклад, це може бути завдання початкових значень для масиву даних, визначення початкових значень змінних, перерахунок поточних даних в іншу систему координат.

В залежності від типу та функції модуля має уточнюватися зміст кожного переходу, але черговість цих переходів є фізично і інформаційно необхідною і для механічного, і для алгоритмічного модулів. Деякі переходи циклу можуть фактично бути відсутніми, але змістовно виконані. Наприклад, розрахунковий процес може не мати спеціальної функції на збереження результату, проте фактично результат буде збережено до наступного звернення до цієї функції.

Впорядкованість переходів циклу зумовлена причинно-наслідковими зв'язками інформаційних та фізичних процесів в циклічному модулі.

Наприклад, для привода поступального руху задано наступну програму дій:

- переміщення порожнього контейнера під завантаження – координата 100,
- повернення заповненого контейнера під вивантаження – координата 5000.

Фактично, у відповідності з циклом (рис. 3.2.), цьому відповідає:

- перевірка умов заповненого або порожнього контейнера,
- формування за цими умовами сигналів команд, підведення сигналів команд до керуючих пристроїв (КП),
- контроль переміщення вихідної ланки привода в координату завантаження (100), або в координату вивантаження (5000),
- відміна команд на переміщення привода (табл. 3.7, алгоритмічна мова STL). Інформаційним аналогом однокоординатного привода з максимальним ходом 10000, може бути дійсна змінна «Z1», визначена на відрізку (0, 10000).

Наприклад, в розрахунковому алгоритмі за умов істинності умови «IF <УМОВА 1>» поточне значення змінної «Z1≡100» має змінитися на наступне значення, а саме «Z1≡5000» (шляхом відпрацювання функції присвоювання значення Z1=5000).

Такий перехід від одного значення до іншого не передбачає існування проміжних значень змінної Z1. Також відсутні будь які підготовчі операції, що передують функції присвоювання нового значення. Після перепризначення змінної, вона зберігає нове значення без застосування будь-яких функцій щодо запобігання «впливу збуджуючих факторів», здатних змінити значення змінної. Тобто в інформаційному алгоритмі відсутні зовнішні фактори, на кшталт зовнішнього впливу чи інерційного навантаження, чи теплового розширення рідини, здатні до пересування вихідної ланки приводу.

В алгоритмі функціонування механічної системи значенню змінної Z1 відповідає координата положення вихідної ланки гідравлічного циліндра. За командою на зміну значення «Z1» програма вимагатиме пересунути шток циліндра в положення 5000. Для цього необхідно визначити поточне положення, наприклад, 100 (після завантаження контейнера). Якщо це так, то необхідно подати команду на висування штоку. Але при вихідній координаті

8000 для розв'язку тієї самої задачі необхідно подати протилежну за напрямом дії команду - на втягування штока.

Якщо не позбутися попередньої за циклом команди, то одночасно в одному керуючому пристрої зіштовхнуться два протилежно спрямовані сигнали керування: а) зменшення координати, б) збільшення координати. Перший має підтримувати значення координати 100, а другий – на зміну значення координати позиціонування на 5000. Таким чином, в алгоритмі мехатронної системи до звичайної інформаційної команди, на зміну значення «Z1», необхідно додати всі інші логічні переходи циклічного модуля (табл. 3.7, рядки 1.1, 2.1):

- контроль завершення попереднього напівциклу використання змінної;
- відмова від попередньої команди на зміну значення та його подальшого збереження.

Тобто, один крок інформаційного алгоритму охоплює перший напівцикл дії механізму, що складається з декількох етапів. Відпрацювання алгоритму змінює координату «Z1», і значення «Z1» стрибком змінюється з «будь-якого» на «будь-яке» незалежно від напрямку, наприклад, від 100 до 5000 або від 6888 до 5000 (табл. 3.7, рядки 1.1 – 1.5). В алгоритмі функціонування мехатронного модуля цей процес не тільки охоплює декілька етапів із спрацюванням різних пристроїв, але і враховує зміни фізичних параметрів та зміну потужності і типу енергетичного потоку, що позначається як на часі, так і на результаті дії.

Таблиця 3.7.

Приклад алгоритму роботи функціонального модуля

№	Алгоритм програми	Алгоритм функціонування гідроприводу			
	Зміст	Зміст	Потужність	Час	Коментарі
	Перший напівцикл : зміна Z1 від 100 до 5000				
1_1	Зміна значення за набуття істинності умовою 1 IF УМОВА 1=1 AND УМОВА 2=0 THEN Z1=5000	Вироблення та припинення сигналів керування за умовою 1 в початковому положенні привода IF I0.0 AND I1.0 THEN SET A0.1 RESET A0.0	0,01*n Вт 10,0*n Вт 10,0*n Вт	0,001*n с 0,001*n с 0,001*n с	Вихід A0.1 – висування штока Вихід A0.0 - втягування штока
1_2		Перемикання клапану, постачання рідини під тиском до приводу	10,0*n Вт	0,01*n с 0,1*n с	
1_3		Пересування вихідної ланки привода	1,0*n кВт	1,0*n с … 10,0*n с	Поступове збільшення координати від 100 до 5000
1_4		Опитування датчика кінцевого положення привода I0.1	0,01*n Вт	0,001*n с	

Продовження таблиці 3.7

1_5		Перехід клапана в нейтральне положення за сигналом датчика, Зупинка руху привода IF I0.1 THEN RESET A0.1	10,0*n Вт 1,0*n кВт	0,01*n с … 0,05*n с	Відміна сигналу команди на висування по досягненні координати 5000
	Другий напівцикл : зміна Z1 від 5000 до 100				
2_1	Зміна значення за набуття істинності умовою 2 IF УМОВА-2=1 AND УМОВА-1=0 THEN Z1=100	Вироблення та припинення сигналів керування за умовою 2 в кінцевій позиції приводу IF I0.1 AND I1.1 THEN SET A0.0 RESET A0.1	0,01*n Вт 10,0*n Вт 10,0*n Вт	0,001*n с 0,001*n с 0,001*n с	Вихід A0.1 – висування штока Вихід A0.0 - втягування штока
2_2		Перемикання клапану, постачання рідини під тиском до приводу	10,0*n Вт 1,0*n кВт	0,01*n с 0,1*n с	
2_3		Пересування вихідної ланки привода	1,0*n кВт	1,0*n с … 10,0*n с	Поступове зменшення координати від 5000 до 100
2_4		Опитування датчика кінцевого положення привода I0.0	0,01*n Вт	0,001*n с	
2_5		Перехід клапана в нейтральне положення за сигналом датчика, Зупинка руху привода IF I0.0 THEN RESET A0.0	10,0*n Вт 1,0*n кВт	0,01*n с … 0,05*n с	Відміна сигналу команди на втягування по досягненні координати 100
Третій напівцикл					
3_1	GOTO 1_1	JMP TO 1_1			Перехід до першого напівциклу

В «механічному» модулі, після виконання першого переходу, алгоритм функціонування активізує другий крок: сигнал команди перетворюється на енергетичний потік (табл. 3.7, рядок 1.2). Суттєво зростає потужність – від декількох Вт до кВт і виникає технологічна затримка часу на перемикання клапану [9,12,13,15,16,18].

Змістом наступного кроку є рух – тобто виконання основної задачі приводу. Сигнал керування перетворюється, з суттєвим зростанням споживаної потужності і затримкою у часі, на пересування контейнера (табл. 3.7, рядок 1.3). Паралельно відбувається контроль поточної координати, який додає свою

затримку у часі, яку формують застосовані засоби контролю та передачі і сприйняття сигналу (табл. 3.7, рядок 1.4).

Сигнал від датчику кінцевого положення, який формується в позиції 5000 (крок 1.5), перетворює на «ІСТИННО» умову припинення руху і дає команду «зафіксувати положення». Для цього відбувається відміна команди на висування штоку (збільшення координати) і, у випадку моностабільного клапану 4/3 (рис. 3.3.), клапан займе нейтральне положення і рух буде припинено в заданій координаті.

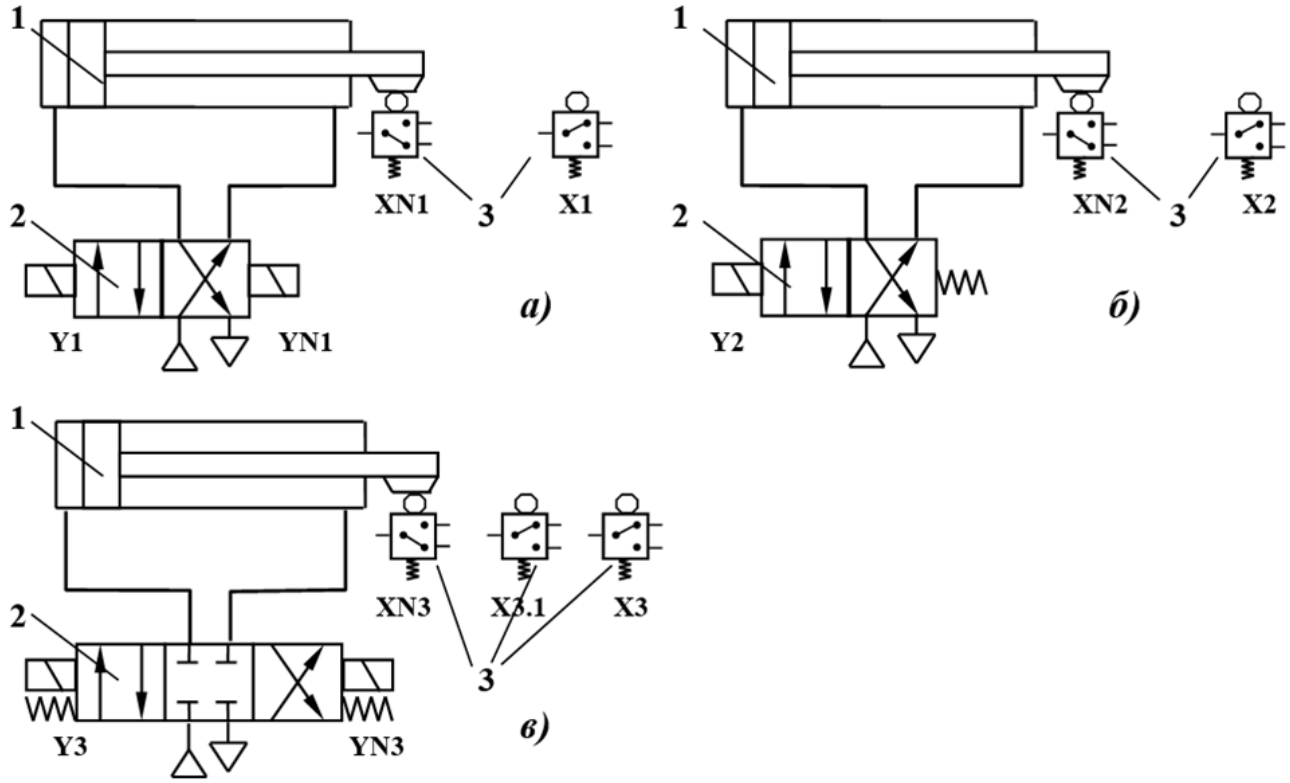


Рис. 3.3. Спрощені схеми функціональних модулів з пневматичним циліндром: а) бістабільне керування; б) моностабільне керування, клапан 4/2; в) моностабільне керування, клапан 4/3

Під час дії модуля відбувається наступне перетворення транзакції: сигнал команди: зменшення потужності з відповідною технологічною затримкою у часі (спрацювання клапану + запирання порожнин циліндра + припинення руху).

Аналогічний вигляд має алгоритм дій модуля другого напівциклу (табл. 3.7, рядки 2.1-2.5). Після завершення другого напівциклу модуль повертається в початковий стан і є придатним до повторного використання.

Вилучення будь-якого переходу з циклу функціонування призведе до розриву причинно-наслідкових зв’язків послідовних перетворень і процес проходження транзакції зупиниться. Наприклад, подача наступної команди на рух без зняття попередньої команди на отримання і утримання попередньої координати. Виникає змагання сигналів команд за керування і виконання фізично несумісних дій. Деякі обриви причинно-наслідкових зв’язків

призведуть до руйнування обладнання, деякі викликають непередбачену зупинку системи, деякі спропокують непередбачений рух.

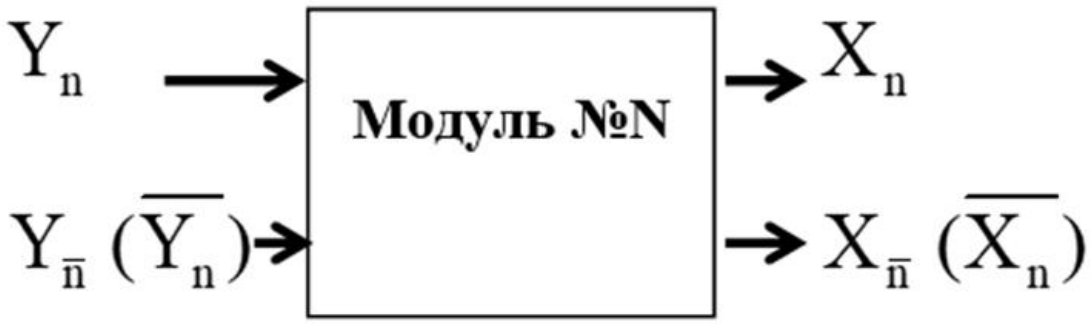


Рис. 3.4. Спрощена схема модуля: Yn **– команда керування основної дії,** Yn̄ **- команда керування зворотної дії,** Xn **- сигнал контролю основної дії,** Xn̄ **- сигнал контролю зворотної дії,** n **- номер модуля**

Так само, як механічний модуль зміни координати, будуть побудовані алгоритмічні компоненти мехатронної системи у формі циклічного модуля (рис. 3.1, рис. 3.4). Циклограма дії уніфікованого модуля приймає вигляд (рис. 3.5).

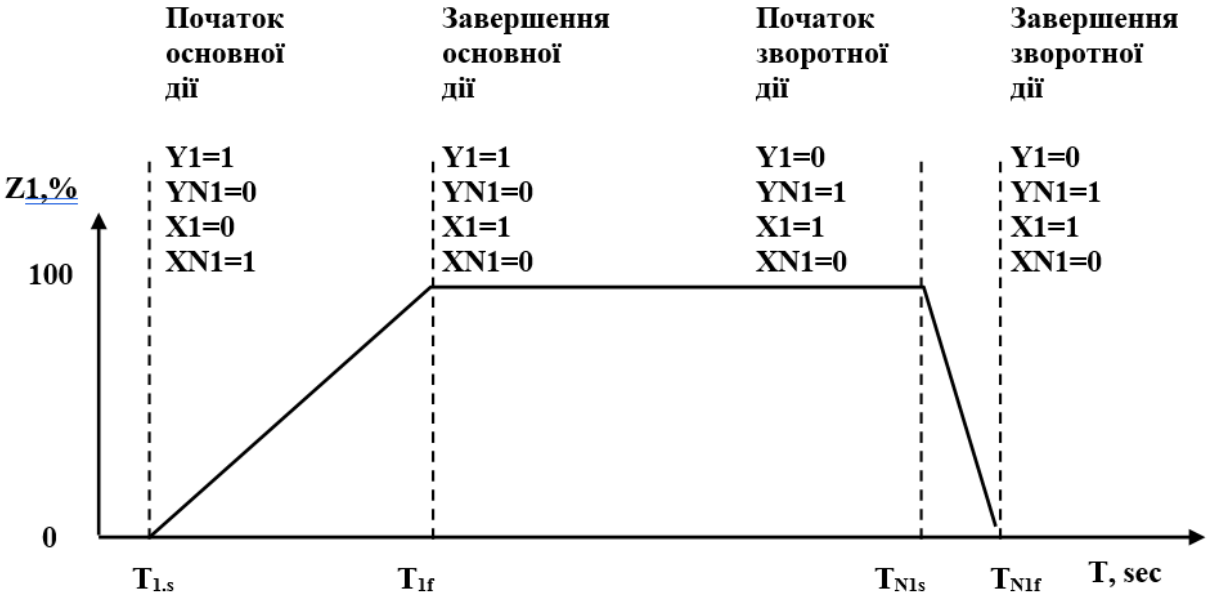


Рис. 3.5. Структура циклу дії функціонального модуля: Z1,% - відносна ступінь відпрацювання функції, $T_{1.s}$ **– час надходження основної команди керування,** T_{1f} **– час отримання сигналу контролю виконання основної функції,** $T_{1N.s}$ **– час надходження зворотної команди керування,** T_{N1f} **– час отримання сигналу контролю виконання зворотної функції**

Відмінності у швидкодії фізичних і алгоритмічних модулів полягають у куті нахилу перехідних ланок. Їх протяжність складає десятки секунд для технологічних дій або приводів великих потужностей та рухомих мас, соті долі

секунди припадають на спрацювання клапанів, датчиків і сенсорів, стотисячні долі секунди – інформаційні модулі.

Надані нижче шаблони алгоритму керування для типових виконавчих мехатронних пристроїв (привод + клапан + контролер + алгоритм – мова STL) і алгоритмічних модулів були побудовані за циклічно-модульною структурою з використанням алгоритмічної мови STL [58,96,102,108].

```
IF    <УМОВА ОСНОВНОЇ КОМАНДИ>
THEN                RESET        YNn
                    SET          Yn
IF    <УМОВА ЗВОРОТНОЇ КОМАНДИ>
THEN                RESET        Yn
                    SET          YNn
```

Рис. 3.6. Шаблон програми для модуля з пневматичним (гідравлічним) циліндром та бістабільним керуванням клапану

Бістабільне керування пневматичним (гідравлічним) пристроєм: в явному вигляді присутні основна і зворотна команди і дії. За умов істинності логічного виразу основної команди необхідно увімкнути вихід контролера, під'єднаний до лівого магніту клапана (рис. 3.3.а) та вимкнути правий магніт, яким керує сигнал зворотної команди пристрою (рис. 3.6). Після перемикання клапана шток циліндра починає висуватися, сигнал XN1 приймає нульове значення, а на завершення руху сигнал X1 отримає одиничне значення, яке отримає відповідний вхід контролера. Для повернення штоку у початкове положення, за умов істинності логічного виразу зворотної команди, пристрій виконує зворотну дію: контролер вимикає вихід, під'єднаний до лівого магніту та вмикає вихід, під'єднаний до правого магніту (рис. 3.3.а, 3.6). Тиск потрапляє в праву порожнину і шток починає втягуватися. Сигнал X1 отримає нульове значення, а по завершенні руху з'явиться одиничне значення сигналу XN1.

Зауважимо, що для виконання кожної дії необхідно керування двома магнітами клапану за допомогою двох сигналів.

Можливо здійснювати упереджуюче вимикання раніш відпрацьованого сигналу команди. Наприклад, якщо була подана команда на висування штока і сигнал X1 вже отримав одиничне значення, то зберігати одиничне значення сигналу команди надалі не обов'язково, бо бістабільне керування забезпечено внутрішньою пам'яттю. Тобто сигнал команди може бути вимкненим. Тоді, при відпрацюванні команди на втягування штоку вимикати команду на висування штоку вже непотрібно.

Наданий шаблон (рис. 3.6) придатний для використанні як для модулів механічної природи (привод, клапан, регулятор), та і для модулів інформаційної природи – апаратних - датчик, сенсор, компаратор, програмних - прапор, регістр, таймер, лічильник, функція, підпрограма.

```
IF    <УМОВА ОСНОВНОЇ КОМАНДИ>
THEN              SET          Yn
IF    <УМОВА ЗВОРОТНОЇ КОМАНДИ>
THEN              RESET        Yn
```

Рис. 3.7. Шаблон програми для модуля з пневматичним (гідравлічним) циліндром та моностабільним керуванням двопозиційного клапану

Моностабільне керування (двопозиційний клапан): в явному вигляді присутня тільки основна команда. За умов істинності виразу основної команди, необхідно увімкнути вихід контролера, під'єднаний до магніту клапана Y2 (рис. 3.3.б, рис. 3.7). Після перемикання клапана шток циліндра починає висовуватися. Після завершення руху контролюючий сигнал **X2** отримає одиничне значення. Для повернення штока, за умов істинності виразу зворотної команди, той самий вихід контролера необхідно вимкнути, пружина повертає клапан в початкове положення. Зауважимо, що будь-яке, навіть миттєве переривання сигналу керування рівнозначне команді на повернення штоку у вихідне положення.

Моностабільне керування (трипозиційний клапан): присутні в явному вигляді і основна і зворотна команди. За умов істинності виразу основної команди, необхідно вмикати вихід контролера, під'єднаний до лівого магніту клапана Y3 (рис. 3.3.в). Подальше керування приводом залежить від варіанту використання середньої позиції клапана.

```
IF    < УМОВА ОСНОВНОЇ КОМАНДИ >AND N Xn
THEN              RESET        YNn
                  SET          Yn
OTHRW       RESET          Yn
IF    < УМОВА ЗВОРОТНОЇ КОМАНДИ > AND N XNn
THEN              RESET        Yn
                  SET          YNn
OTHRW       RESET          YNn
```

Рис. 3.8. Шаблон програми для модуля з моностабільним керуванням трипозиційним клапаном

Якщо в середній (стабільній) позиції клапана порожнини ізольовані, то, після отримання сигналу **X3**, сигнал основної команди є неприпустимим, адже рух має бути припинено. Аналогічно для зворотної команди, по досягненню початкового положення і отримання сигналу XN3, сигнал команди YN3 також є неприпустимим (рис. 3.8). Зауважимо, так само, як і для бістабільного клапану, при вмиканні виходу контролера основної команди необхідно вимикати вихід контролера зворотної команди, і навпаки.

При іншому варіанті використання позицій клапана розподілення команд і їх зміст також буде змінено. Наприклад, керування нереверсивним гідромотором, для якого основна дія означає обертовий рух, а зворотна дія

означає припинення руху. Такий модуль працюватиме так само, як привод з моностабільним двопозиційним клапаном, а правий магніт виконуватиме якусь додаткову функцію.

Подання у формі циклічного модуля суто інформаційних компонентів – прапор (елемент пам'яті), таймер, лічильник базується на структурі (рис. 3.1).

«Модуль» прапора або елемента пам'яті. Припустимо, що елемент пам'яті з прямим і інверсним виходами – це дві двійкові змінні, які мають певні імена і змінюють у протифазі свої значення з 0 на 1 і навпаки, як кінцеві вимикачі пневматичного циліндру. В структурі модуля (рис. 3.1) є чотири змінних $Y_n, Y_{\bar{n}}, X_n, X_{\bar{n}}$, а в фрагменті алгоритму всього дві Y**n** та YN**n** (рис. 3.4, 3.5). В уніфікованому вигляді дві перші змінні – це виходи контролера – команди для виконавчого пристрою (клапана), дві останні – входи контролера, які контролюють виконання дій за допомогою сигналів датчиків. В структурі елемента пам'яті виконавчого пристрою немає. Тобто, за командами керування необхідно вмикати безпосередньо засоби контролю виконання команд (за відсутності приводу).

Тобто, команди подавати немає куди, імена команд для прапора не потрібні, достатньо вмикати і вимикати аналоги датчиків. Таким чином, якщо елемент пам'яті вмикаємо, то необхідно увімкнути «датчик» X_n і вимкнути «датчик» початкового стану $X_{\bar{n}}$, а при вимиканні елемента пам'яті вмикаємо $X_{\bar{n}}$ та вимикаємо X_n. Зауважимо, що використання аналогії призводить до того, що X_n повторює стан елемента пам'яті: вмикаємо елемент пам'яті – вмикаємо датчик, вимикаємо елемент пам'яті – вимикаємо датчик. Об'єднаємо елемент пам'яті і його датчик кінцевого стану в одній змінної X**n**. Це ім'я присвоїмо прапору контролера. Для позначення датчика початкового стану (інверсний вихід) задіємо ще один прапор і присвоїмо ім'я XN**n**.

```
IF    < УМОВА ОСНОВНОЇ КОМАНДИ >
THEN                RESET          XNn
      SET           Xn
IF    < УМОВА ЗВОРОТНОЇ КОМАНДИ >
THEN                RESET          Xn
                SET             XNn
```

Рис. 3.9. Шаблон програми для модуля елемента пам'яті з прямим та інверсним виходами

Результат: за командою вмикання алгоритмічного елемента пам'яті вмикаєм прапор X**n** і вимикаємо прапор XN**n**, за командою вимикання обидва прапори переводимо в їх початковий стан XN**n** – увімкнене, X**n** – вимкнено – отримуємо циклічно-модульний шаблон елемента пам'яті (рис. 3.9).

«Модуль» таймера (рис. 3.10). Якщо використати аналогію між таймером та елементом пам'яті, то можна скористатись побудованим шаблоном елемента пам'яті та додати до нього відповідні уточнення на випадок таймера.

В мові STL таймер розподіллено на три складові: біт таймера **Tn**, слово таймера **TWn**, преселектор таймера **TPn**.

Майже тотожній до елементу пам'яті біт таймера **Tn**, який є двійковою змінною. Як і елемент пам'яті, біт таймера отримує одиничне значення (**Tn=1**) після вмикання (за командою SET). Можна побачити, що елемент пам'яті змінює свій стан при вмиканні одразу, а функція таймеру має забезпечувати деяку затримку у часі, хоча зміна стану біта таймеру відбувається миттєво. Тобто, сигнал про відпрацювання команди дещо відрізняється і запізнюється відносно сигналу команди основної дії і стану біту таймера **Tn**.

Перевести таймер до нульового значення (**Tn=0)** можна за зворотною командою, тобто вимкнувши таймер (команда RESET). Його стан миттєво, як і у прапора, зміниться на нульовий.

Особливість: нульове значення біт таймера обіймає і самостійно – після завершення інтервалу часу (який задано в преселекторі **TPn)**. Тобто, вмикання і відпрацювання прапора відбувається одночасно і миттєво – біт отримує значення 1. Для таймера вмикання і отримання одиничного значення біта відбувається миттєво, а от відпрацювання дії відбувається із затримкою у часі. Після відпрацювання біт знову повертає собі нульове значення, автоматично. Таким чином, таймер працює і як прапор, і як «інвертор». Це має враховувати шаблон таймера.

Доповнюємо таймер ще одним прапором, який вмикаємо після відпрацювання таймера, а вимикаємо за командою (RESET), як і елемент пам'яті. Контроль початкового стану забезпечимо другим додатковим прапором, як і в шаблоні елемента пам'яті.

Найважливіше уточнення викликано тим, що біт таймера має значення 0 як до вмикання, так і після відпрацювання часу. Відрізнятимемо ці нульові значення за допомогою прапора покриття таймера FPTn. Вмикаємо його одночасно з таймером, так само, як і вимикаємо – одночасно. Нульове значення таймера, при увімкнутому FPTn вказує на відпрацювання інтервалу часу. А нульове значення біта таймера при вимкненому FPTn вказує, що таймер ще не вмикали.

Робота циклічного модуля: по команді вмикання модуля таймера вмикаєм таймер, прапор покриття FPT**n** і вимикаємо прапор початкового стану XN**n.** Після вибігу часу при увімкненому прапорі FPT**n** та спрацюванні таймерера (**Tn=0)** вмикаємо прапор кінцевого стану X**n** модуля. По команді вимикання модуля таймера вимикаємо прапор покриття FPT**n**, а прапори стану переводимо до початкових значень: XN**n** – увімкнене, X**n** - вимкнено. Отримуємо шаблон програми таймера в формі циклічного модуля (рис. 3.10).

«Модуль» лічильника (рис. 3.11). Застосуємо аналогію між лічильником і таймером, шаблоном «модуля таймера» доопрацюємо до шаблону «модуля лічильника». В мові STL лічильник складають три частини: біт лічильника **Cn**, слово лічильника **CWn**, преселектор лічильника **CPn** [102, 108, 144]. Всі складові мають функції, подібні складовим таймера. Основна відмінність – відрахунок часу після вмикання таймера відбувається незалежно від алгоритму програми, а увімкнення лічильника ніяк не впливає на підрахунок певного

факту. Тобто, до шаблону лічильника необхідно додати шаблон «підрахунку», який гратиме роль, аналогічну до генератору часу для таймера. Лічильник підраховує певний факт, наприклад, постачання товару на позицію пакування в тару. Саме відбуття контрольованого факту знаходимо за допомогою сигналу від датчика чи сенсора. Наприклад, при подачі деталі на вхідну позицію, датчик подає до входу контролера сигнал X_i.

```
IF  < УМОВА ОСНОВНОЇ КОМАНДИ >AND N FPTn
THEN          SET          Yn
              RESET        XNn
              SET          FPTn
<СПРАЦЮВАННЯ ТАЙМЕРА>
IF            N Yn AND FPTn
THEN          SET          Xn
IF       < УМОВА ЗВОРОТНОЇ КОМАНДИ >
THEN          RESET        Yn
              RESET        Xn
              SET          XNn
RESET         FPTn
```

Рис. 3.10. Шаблон циклічного модуля таймера з двома індикаторами стану

Алгоритм підрахунку виконує додавання одиниці до накопиченого раніше значення (слова лічильника) при виконанні певної умови (стрибка значення сигналу X_j від «0» до «1». За встановленим фактом стрибка сигналу за командою INC до слова лічильника **CWn** додається «1». Зауважимо, що можливе і зменшення накопиченого значення у слові, для чого використовуємо команду DEC. По команді DEC значення **CWn** зменшується на «1».

Потрібно мати на увазі, що при виконанні команд INC та DEC алгоритм чітко виконує прописані в програмі інструкції. Якщо алгоритм виконає команду INC десять разів, то відбудеться додавання 10 одиниць. Якщо ця команда записана в програмі один раз, але алгоритм працює за циклом, то одиниця додаватиметься до слова лічильника стільки разів, скільки циклів виконає алгоритм. Тобто, лічильник товару або деталей в технологічному процесі перетвориться в лічильник циклів в алгоритмі програми. Особливість може бути врахована циклічною будовою модуля, а саме – контролем не тільки факту стрибка з «0» до «1», але і факту стрибка з «1» до «0». Для цього застосовуємо прапор покриття, аналогічно до таймеру. Застосовуємо прапор покриття до сигналу, що підпадає підрахунку, тобто сигналу X_j, який сформує умову для команди INC. Зауважимо, що це вже другий прапор покриття в лічильнику, оскільки перший захищає біт лічильника від повторного вмикання.

Припустимо, що сигнал X_j надходить від сенсора, встановленого на контрольній позиції. За його допомогою необхідно контролювати кількість надходження товару. Контролю підлягають два факти: 1 – надходження товару

– отримання сигналу (X_j = 1), 2 – прибирання товару з позиції контролю – зникнення сигналу (N X_j = 1).

```
IF  < УМОВА ОСНОВНОЇ КОМАНДИ >AND N FPYn
THEN        SET         Yn      <C0>
            SET         FPYn    <FPC0>
"МЕХАНІЗМ ПІДРАХУНКУ"
IF          N FPXj AND Xj
THEN        INC         YWn
            SET         FPXj
IF          N Xj
THEN        RESET  FPXj
"СПРАЦЮВАНЯ ЛІЧИЛЬНИКА"
IF          N Yn AND FPYn
THEN        SET         Xn
IF      < УМОВА ЗВОРОТНОЇ КОМАНДИ >
THEN        RESET       Yn      <C0>
            RESET       Xn      <XC0>
            SET         XNn     <XNC0>
            RESET       FPYn    <FPC0>
```

Рисунок 3.11. Шаблон циклічного модуля лічильника: n - номер модуля, j – номер модуля, сигнал щодо спрацювання якого підпадає підрахунку

При надходженні товару (сигнал X_j=1) і вимкненому прапорі покриття сигналу (FPX_j=0) алгоритм додає одиницю до слова лічильника (INC CWn) та вмикає прапор покриття сигналу (SET FPX_j).

При видаленні товару з позиції (стрибок значення сигналу від X_j = 1 до X_j=0) алгоритм вимикає прапор покриття сигналу (RESET FX_jn). Після цього лічильник готовий до надходження і підрахунку наступного примірника товару. Під час підрахунку модуль лічильника, по аналогії з іншими модулями, знаходиться «на переході до кінцевого стану». При цьому і сигнал початкового стану XN**n** дорівнює «0», і сигнал кінцевого стану X**n** дорівнює «0». Такі значення утримуються доти, доки значення слова лічильника не сягне значення преселектора. В цю мить біт лічильника отримає нульове значення (при увімкненому прапорі його покриття). Саме ця умова (Cn=0 і FPYn=1) алгоритму визначає, що підрахована потрібна кількість контрольованих фактів. Тобто, «модуль лічильника» сягнув кінцевої «позиції» і буде увімкнений ідентифікатор кінцевого стану лічильника (SET Xn). Цим сигналом зможуть користуватись в своїх умовах всі модулі системи.

Узагальнена структура «модуля» лічильника. В порівнянні з таймером необхідно додати прапор покриття сигналу підрахунку FPX_j (цей самий сигнал можуть підраховувати і інші лічильники). В структурі чотири прапори: прапор покриття лічильника FPYn, прапор покриття сигналу підрахунку FPX_j, прапор

начального стану модуля XN**n**, прапор кінцевого стану модуля X**n**. В шаблон циклічного модуля з'явився внутрішній шаблон – алгоритм підрахунку.

Алгоритм модуля лічильника: по команді вмикання модуля лічильника вмикаємо біт лічильника (SET Y**n**) та прапор покриття FPY**n**, і вимикаємо прапор початкового стану XN**n.** Циклічно обробляємо алгоритм підрахунку. При додатному стрибку сигналу (X_j=1) і вимкненому прапорі покриття цього сигналу (FPX_j=0) додаємо одиницю до слова лічильника (INC CWn) та вмикаємо прапор покриття сигналу підрахунку (SET FPX_j). При від'ємному стрибку контрольованого сигналу (X_j=0) вимикаємо його прапор покриття (RESET FPX_j).

При увімкненому прапорі покриття лічильника (FPY**n**=1) і отриманні заданої преселектором накопиченої кількості підрахунку, автоматично спрацьовує лічильник (Y**n**=0) і алгоритм визначає завершення підрахунку увімкненням прапора кінцевого стану (SET X**n**). В цю мить система може розпочати виконання тих дій, в умовах яких є спрацювання лічильника за результатом підрахунку контрольованого сигналу (X_j=1).

По команді вимикання лічильника (RESET Yn) одночасно з ним вимикаємо прапор покриття FPY**n**, а прапорам стану модуля лічильника присвоюємо начальні значення (SET XN**n)** – увімкнене, (RESET X**n**) – вимкнено (рис. 3.11).

Зауважимо, що перед початком роботи лічильника прапори покриття мають бути вимкнені, прапор початкового стану модуля увімкнений, а прапор кінцевого стану мидуля – вимкнений.

Додаткові можливості: за допомогою одного лічильника можна контролювати сумарну кількість декількох типів об'єктів (сполучених функцією АБО). Наприклад, на позицію вихідного контролю надходять та ідентифікуються декілька типів деталей за допомогою трьох сенсорів : придатні (X_j=1), потребують доопрацювання (X_k=1), непридатні (X_l=1). Необхідно підрахувати кількість деталей, що їх буде передано на пакування, тобто придатних та тих, що після доопрацювання будуть придатні. Лічильник веде підрахунок двох фактів (X_j=1) і (X_k=1). Тому в один шаблон лічильника потрапляють два шаблони алгоритму підрахунку, в кожному з яких є свій прапор покриття підконтрольного сигналу FPX_j і FPX_k (рис. 3.12).

Аналогічно, за структурою циклічного модуля (рис. 3.1), можуть бути побудовані шаблони інших мехатронних, механічних, комбінованих схемно-інформаційних і суто інформаційних компонентів системи. Для їх розробки необхідно:

- по-перше - дослідити та вивчити зміст виконуваних функцій або дій;
- по-друге – визначити основну та зворотну функції та запропонувати спосіб контролю їх виконання;
- по-третє – перетворити шаблон модуля на функціональний модуль системи.

Наприклад, в шаблон лічильника додати одразу декілька логічних умов команд керування для вмикання і вимикання модуля, проставити індекс модуля замість «n» та замінити на справжні імена сигналів, що підлягають підрахунку.

Так само, як і для лічильника, для будь-якого іншого модуля, необхідно побудувати реалізацію індикаторів початкового і кінцевого стану.

Наприклад, для модуля-підпрограми індикатором кінцевого стану може бути бінарна змінна, стан якої відповідає завершенню розрахункового процесу або завершенню пошуку потрібних даних. Індикатором початкового стану може бути інша бінарна змінна, стан якої відповідає завершенню підготовки початкових значень, необхідних для подальшого використання модуля-підпрограми.

```
IF  < УМОВА ОСНОВНОІ КОМАНДИ >AND N XNn
THEN        SET         Yn      <C0>
            SET         XNn     <FC0>
“МЕХАНІЗМ ПІДРАХУНКУ Xj”
IF          N XFj AND Xj
THEN        INC         YWn
            SET         XFj
IF          N Xj
THEN        RESET  XFj
“МЕХАНИЗМ ПІДРАХУНКУ Xk”
IF          N XFk AND Xk
THEN        INC         YWn
            SET         XFk
IF          N Xk
THEN        RESET  XFk
“СПРАЦЮВАННЯ ЛІЧИЛЬНИКА ”
IF          N Yn AND N XNn
THEN        SET         Xn
IF      < УМОВА ЗВОРОТНОЇ КОМАНДИ >
THEN        RESET       Yn <C0>
            RESET       Xn <XC0>
            SET         XNn <XNT0>
```

Рис. 3.12. Шаблон циклічного модуля лічильника: n - номер модуля, j і k – номери модулів, сигнали стану яких підпадають підрахунку

Як перший, так і другий індикатори матимуть вигляд бінарних змінних Xn і XNn , які містяться в аргументах логічних умов команд керування для інших модулів системи, так само, як сигнали датчиків положення, тиску, стану чи інших параметрів.

4. ПРИКЛАДИ БУДОВИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ І СИСТЕМНИХ ЦИКЛІЧНИХ МОДУЛІВ

Основною **практичною задачею** при розгляді технічних засобів циклічно модульного синтезу систем мехатроніки є представлення всіх функціональних складових системи в однаковому форматі – у вигляді циклічних модулів [105]. Це стосується як механічних, так і всіх інших компонентів мехатронних систем, тобто інформаційних чи алгоритмічних, пневматичних та гідравлічних, електромеханічних та електронних та їх композицій, які в складі системи, під час відпрацювання певної технології, виконують передбачені циклічні функції [55, 56, 62, 67, 69, 70].

Різниця між системним і функціональним модулем полягає в наступному. Функціональний модуль виконує певну функцію та має здатність поновлювати свій первісний стан і повторно виконувати функцію. Системний модуль залучає функціональний модуль для виконання цієї функції в складі системи.

Функціональний модуль можна використовувати в різних технологічних операціях. Наприклад, дозатор рідини має можливість виміряти певну дозу рідини і поновити свій стан щоб виміряти наступну дозу рідини – це функціональний модуль. Той же самий пристрій, який знаходиться в лінії фасування олії, за умов, що є олія і є тара для заповнення, відміряє потрібну кількість олії і переливає її в порожню пляшку. Це вже є системний модуль. Таку саму принципову схему матиме дозатор фарби чи розчинника. Після того, як тільки-но заповнена ємність буде видалена, дозатор повернеться в початковий стан і буде очікувати на наступну порожню ємність і команду на дозування рідини.

Системний модуль це той же самий функціональний модуль, але оздоблений логічними зв’язками з іншими модулями системи, відповідно до змісту технологічного циклу.

Наведені далі приклади мають на меті запропонувати типові принципові схеми циклічних модулів в узагальненому вигляді, тобто у вигляді узагальнених елементів пам’яті, побудованих з різних технічних і інформаційних засобів. Принципові схеми можуть бути допрацьованими відповідно до інших вимог, для більш складних виконуваних функцій.

Усі циклічні модулі мають керований зовнішній вплив – одну команду керування і пружину (Yi - моностабільний варіант) або дві команди керування (Yi, YNi - бістабільний варіант, чи 3-позиційний моностабільний варіант).

Усі циклічні модулі мають засоби контролю виконання двох функцій (дій): засоби для контролю відпрацювання основної дії (надають сигнал Xi, де і – номер модуля), засоби для контролю відпрацювання зворотної дії (надають сигнал XNi, де і – номер модуля, N – ознака зворотної дії модуля).

Сигналів контролю, на відміну від сигналів керування, завжди два. Це викликано особливістю мехатронних систем і їх складових – відсутність початкового стану не є ознакою виконання основної функції. Для її виконання

потрібен певний час і перехідний процес, який на відміну від інформатики, не є миттєвим. Так само і повернення мехатронного модуля в початковий стан потребує перехідного процесу.

Якщо модуль виконує більш складні функції, що їх складають декілька перетворень чи послідовних або паралельних дій, то як виконавча частина, так і засоби контролю і керування утворюють певну ієрархічну структуру. На зв'язок із зовнішнім середовищем припадають тіж самі сигнали команд і контролю, що і у «бінарних» модулів. В середині структури мають місце модулі-співвиконавці зі своїми сигналами контролю і керування. Якщо дії модулі-співвиконавців утворюють певний процес, то в структурі знаходяться логічні зв’язки між діями цих модулів. Також в структурі мають бути побудовані логічні вирази, які підтверджують відпрацювання основної або зворотної дії основним модулем, при цьому ці вирази, як правило, мають за аргументи сигнали стану модулів-спввиконавців.

Будь який технічний засіб, що має перелічені властивості функціонального модуля, може бути залученим в автоматизовану систему в якості функціонального і надалі, після одавання логічних зв’язків, в якості системного модуля.

В найпростіших (примітивних) прикладах у явному вигляді присутні: один виконавчий пристрій, один керуючий пристрій з двома (бістабільний) або одним (моностабільний) керуючим сигналом, два датчики або сенсори, що контролюють відпрацювання основної та зворотної команд. Тобто функціональний модуль складають чотири пристрої.

У випадках, коли під автоматизацію потрапляє виконання більш складних функцій, додаються пристрої забезпечення певних параметрів чи додаткової логіки відпрацювання. Цей крок може бути виконано шляхом нарощування принципової схеми подібного за функціями примітивного модуля. Наприклад, додавання засобів налаштування швидкості (дроселів), засобів налаштування зусилля (клапанів тиску), додаткових засобів багатопараметричного контролю (наприклад, датчиків ваги і датчиків позиції).

Оскільки в наведеному матеріалі розглядаються тільки задачі структурно-логічного синтезу, вирішення питань розрахунку параметрів чи визначення режимів експлуатації не розглянуто, хоча в принципових схемах запропоновані технічні засоби для налаштування параметрів чи забезпечення режимів. При побудові принципових схем приділено увагу двом питанням з цього переліку: достатності потужності системи керування і узгодженню фізично різнорідних технічних засобів в складі одного модуля.

На практиці широко застосовуються комбіновані технічні засоби, які об’єднують декілька виконавчих пристроїв із власними засобами керування і контролю. Наприклад, пневматичні маніпулятори із захоплюючими пристроями (схватами), багатопозиційні поздовжні та обертові приводи у складі ланок складального виробництва чи конвеєрних ліній. Такий комбінований засіб відповідає всім вимогам до одного функціонального модуля, як то пневматичний маніпулятор з діями «забирання» деталі та «відвантаження» деталі в певну позицію. З іншого боку такий модуль об’єднує 3 … 5 виконавчих

пристроїв зо всіма засобами контролю і керування. Тобто, технічний засіб є комбінацією декількох функціональних модулів з фіксованим технологічним циклом, наприклад, пресування відходів виробництва, і є цикловою системою. В обох випадках такий засіб автоматизації відповідає вимогам до одного функціонального модуля, і відповідає вимогам до виробничої міні-системи, побудованої з циклічних модулів. Такі комбіновані модулі, в узагальненому випадку, названо «макромодулями». В питаннях логічного синтезу системи вони виступають в ролі звичайного циклічного модуля, але мають свою внутрішню структуру циклової системи, чому приділено увагу на прикладах.

Опис кожного прикладу вміщує:

- структуру модуля;
- призначення модуля;
- склад модуля;
- опис модуля;
- принципову схему модуля.

Для більш складних прикладів розглянуто внутрішній устрій як самого модуля, так і його складових – засобів виконання, керування і контролю.

Серед прикладів не наведено функціональні модулі з програмованим керуванням і алгоритмом керування для PLC. Це викликано тим, що алгоритм керування модулями, здебільшого, є засобом координації дій модулів в технологічному циклі конкретного об’єкту. Тобто цей алгоритм є складовою саме системних модулів, які не є універсальними. Приклади алгоритмічного керування наведено в розділі, присвяченому прикладам розробки систем.

4.1. ПНЕВМАТИЧНІ МОДУЛІ БІНАРНОЇ ДІЇ

4.1.1. Пневматичний модуль завантаження (Приклад №1)

ПРИЗНАЧЕННЯ: переміщення предмету на невелику відстань з однієї позиції на іншу.

СКЛАД:	керування	: клапан 5/2 моностабільний
	виконання	: циліндр двосторонньої дії
	контроль	: клапан 3/2 моностабільний – 2 шт.

Одним з найдешевших і найпростіших варіантів переміщення заготовок чи інших предметів в автоматизованому виробництві є використання спеціальних накопичувачів предметів (контейнерів, лотків під нахилом та інш.). Переміщення предмету з накопичувача в робочу зону здійснюється шляхом його виштовхування з накопичувача. Після видалення поточного предмету з

накопичувача і повернення виштовхувача в початкову позицію наступний примірник, під дією власної ваги, потрапляє на місце попереднього. До складу «модуля завантаження» предметів або заготовок, як правило, належать виконавчий та керуючий пристрої, з доданими засобами контролю виконання дій і налаштування необхідних робочих параметрів (рис.4.1).

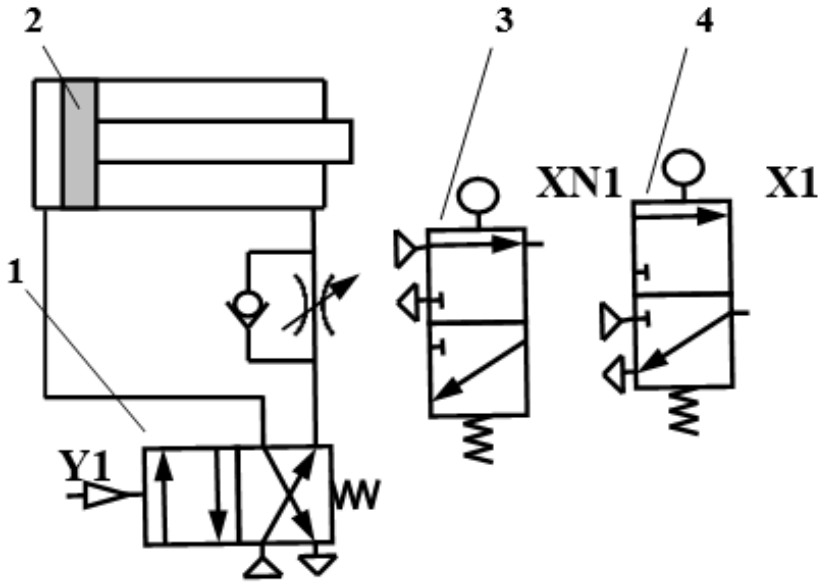


Рис. 4.1. Приклад схеми модуля завантаження з пневматичним керуванням і контролем. ПРИСТРОЇ: 1 – клапан 4/2 з моностабільним керуванням; 2 – пневмоциліндр двосторонньої дії; 3 і 4 – кінцеві вимикачі. СИГНАЛИ: Y1 – сигнал керування основної дії, XN1 – сигнал контролю початкового стану, X1 – сигнал контролю кінцевого стану

В наведеному прикладі, в якості виконавчого пристрою, використано пневматичний циліндр двосторонньої дії. Для керування пневмоцилиндром застосовано розподільчий клапан 4/2 з моностабільним керуванням. Контроль за відпрацюванням основної дії модуля (завантаження деталі) виконано шляхом перевірки висунутого положення штоку за допомогою кінцевого вимикача [12, 15, 16, 41, 50, 51]. Контроль за виконанням зворотної дії модуля (повернення модуля в початковий стан) здійснено шляхом перевірки втягування штоку, також за допомогою кінцевого вимикача.

Додатково, в умовах основної команди, може здійснюватися контроль наявності деталі в накопичувачі (до початку роботи модуля) та присутності деталі в робочій зоні після її переміщення (для використання деталі наступним модулем технологічного процесу).

Тоді для контролю початкового стану модуля має бути використано добуток сигналу контролю позиції (**XN1p)** та сигналу наявності деталі (**Xnk)** в накопичувачі: **XN1 = XN1p * Xnk** .

Для контролю відпрацювання основної дії – завантаження деталі має бути використано добуток сигналу контролю позиції (**X1p)** та сигналу наявності деталі (**X1d)** на позиції завантаження: **X1 = X1p * X1d** .

В лінії подачі тиску до штокової порожнини встановлено дросель із зворотнім клапаном, який гальмує вихід повітря зі штокової порожнини при

завантаженні заготовки. Це виконано для обмеження швидкості виштовхування деталі з накопичувача .

Контроль початкового стану модуля може бути зіставлено з контролем наявності деталі в накопичувачі на позиції відвантаження (якщо шток циліндра висунуто, то заготовка не зможе опинитися в нижній позиції в накопичувачі).

Використання моностабільного розподільника для керування модулем додатково забезпечує повернення модуля в початкове положення за умов зникнення сигналу керування, тобто,унеможливлює некероване завантаження заготовки в робочу зону.

4.1.2. Пневматичний модуль фіксації (Приклад №2)

ПРИЗНАЧЕННЯ: фіксація деталі на позиції обробки із заданим зусиллям затискання, виконання затискання до отримання певного значення зусилля.

СКЛАД:
керування : клапан 3/2 моностабільний
виконання : циліндр односторонньої дії
контроль : реле тиску
: геркон

Модуль здійснює невелике переміщення вихідної ланки, але забезпечує надійне притискання деталі до опорної поверхні. Зусилля затискання, що забезпечує пристрій (пневматичний циліндр), відповідає розрахованому технологічному навантаженню. Значення зусилля визначає зміст і параметри операції (фіксація без деформування деталі, деформування до певного зусилля затискання). В якості виконавчого пристрою використано короткоходовий пневмоциліндр, підібраний для забезпечення потрібного зусилля (рис.4.2) [51].

Наприклад, в технологічному процесі здійснюється обробка поверхні алюмінієвого корпусу клапана на плоскошліфувальному верстаті. Для надійного утримання корпусу зусилля складає 2000 Н. Спираючись на тиск в лінії 6 бар, достатньо циліндра з діаметром поршня 80 мм. Повний хід поршня для притискання, з врахуванням декількох типорозмірів корпусів, складає 25 мм. Таким параметрам відповідає, наприклад, короткоходовий циліндр односторонньої дії AEVC-80-25-A-P FESTO.

До пристрою фіксації належить один виконавчий пристрій - короткоходовий пневмоциліндр односторонньої дії. Обрано циліндр саме односторонньої дії тому, що притискання відбувається при висуванні штоку, а при втягуванні штоку навантаження на шток відсутнє.

Сигнали та команди керування відповідають особливостям дії модуля. Для підвищення надійності за основною командою відбувається вивільнення деталі, у випадку несанкціонованого зникнення сигналу керування відбувається або зберігається утримання деталі.

Керування затисканням деталі (сигнал YN1 = 0) сприймає моностабільний клапан 3/2. Він забезпечує фіксацію деталі у випадку відсутності або зникнення сигналу керування.

Вивільнення забезпечує подача живлення на електромагніт (YN1 = 1).

Контроль початкового стану (без деталі) виконано за положенням поршня за допомогою геркона (сигнал XN1 – початкове положення).

Контроль виконання основної дії (деталь зафіксовано) виконано за допомогою логічних функцій «І» та «НІ» для двох сигналів: геркона (сигнал X1.1 кінцеве положення штока) та реле тиску для контролю зусилля (сигнал X1.2). Результуючий сигнал контролю фіксації має вигляд: X1 = N (X1.1) AND X1.2.

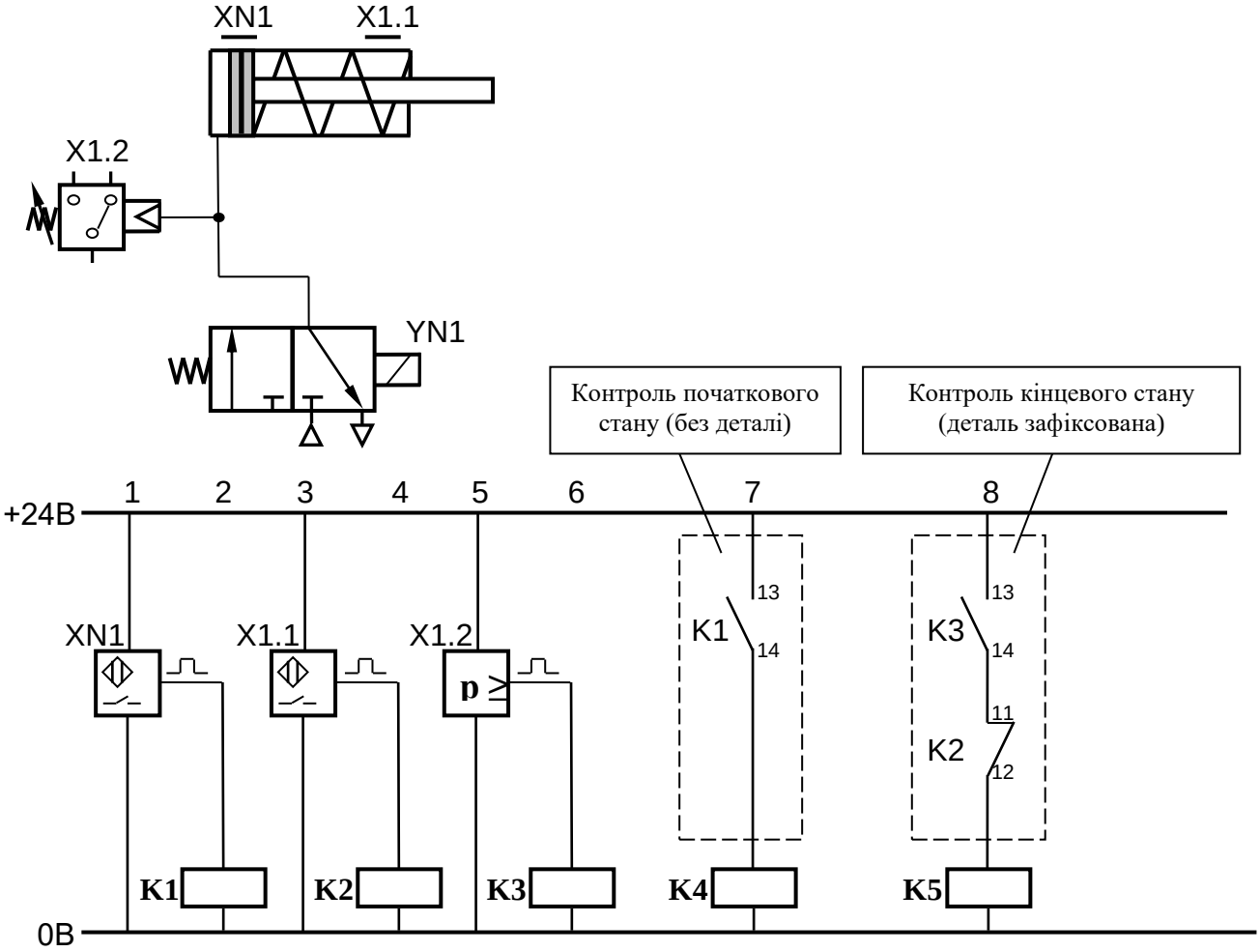


Рис. 4.2. Приклад схеми модуля фіксації з електрорелейним моностабільним керуванням, контролем за положенням та за тиском

Перша умова N (X1.1) контролює наявність деталі в робочій зоні (інакше шток дійшов би до геркона X1.1, рис. 4.2), друга умова контролює зусилля затискання за допомогою реле тиску X1.2.

ПРИМІТКА. Для налаштування зусилля фіксації, в залежності від типу деталі, може бути використано редукційний клапан, встановлений в лінії

живлення розподільчого клапану 3/2. За необхідності автоматичного керування зусиллям фіксації можливе використання редукційного клапана з пропорційним керуванням. Якщо необхідно забезпечувати тільки два рівня зусилля – максимальний та номінальний, то можливе використання редукційного клапану з байпасною лінією, в якій вмонтовано клапан 2/2 або 3/2 з електромагнітним керуванням. Такий варіант є значно дешевшим та простішим в керуванні, порівняно з клапаном що має пропорційне керування.

ПРИМІТКА. Для запобігання удару затискача о деталь може бути застосована схема під'єднання циліндра з «дроселюванням на вході». Гальмування швидкості руху штоку при затисканні, та значення зусилля в момент контакту забезпечуватиме обмеження витрати повітря до циліндру разом з зусиллям зворотної пружини.

ПРИМІТКА. Для керування фіксацією застосовано моностабільне керування з нормально відчиненим клапаном. Це сприяє підвищенню надійності системи – у разі зникнення сигналу керування деталь буде надійно зафіксована.

4.1.3. Пневматичний модуль маніпулятора (Приклад №3)

ПРИЗНАЧЕННЯ: переміщення деталі в вертикальному та горизонтальному напрямках між позиціями обробки із заданим фіксуючим зусиллям (утримання при переміщенні) деталі; основна дія – транспортування деталі + фіксація/вивільнення деталі схватом, зворотна дія – повернення пристроїв в початковий стан.

СКЛАД:

керування	: клапан 5/2 бістабільний – 2 шт.
	: клапан 3/2 моностабільний
виконання	: циліндр двосторонньої дії – 2 шт.
	: пнемо-механічний схват
контроль	: реле тиску – 2 шт.
	: клапан 3/2 моностабільний – 2 шт.

З метою розширення функцій обладнання в одному модулі може бути використано декілька послідовно задіяних виконавчих пристроїв [51, 74, 130, 134, 144, 153, 158, 143].

Наприклад, у виробничому процесі, після виштовхування деталі з

накопичувача, необхідно її перемістити з однієї робочої зони в іншу. Для таких випадків застосовують маніпулятори – пристрої, до складу яких належать декілька виконавчих пристроїв із засобами контролю і керування, які працюють, як правило, послідовно.

Маніпулятор може бути повністю реалізовано пневматичними засобами, а саме – 2 пневмоциліндри двосторонньої дії для переміщення за двома координатами X та Y, пнемо-механічний схват, що використаного для утримування деталі під час руху (рис.4.3).

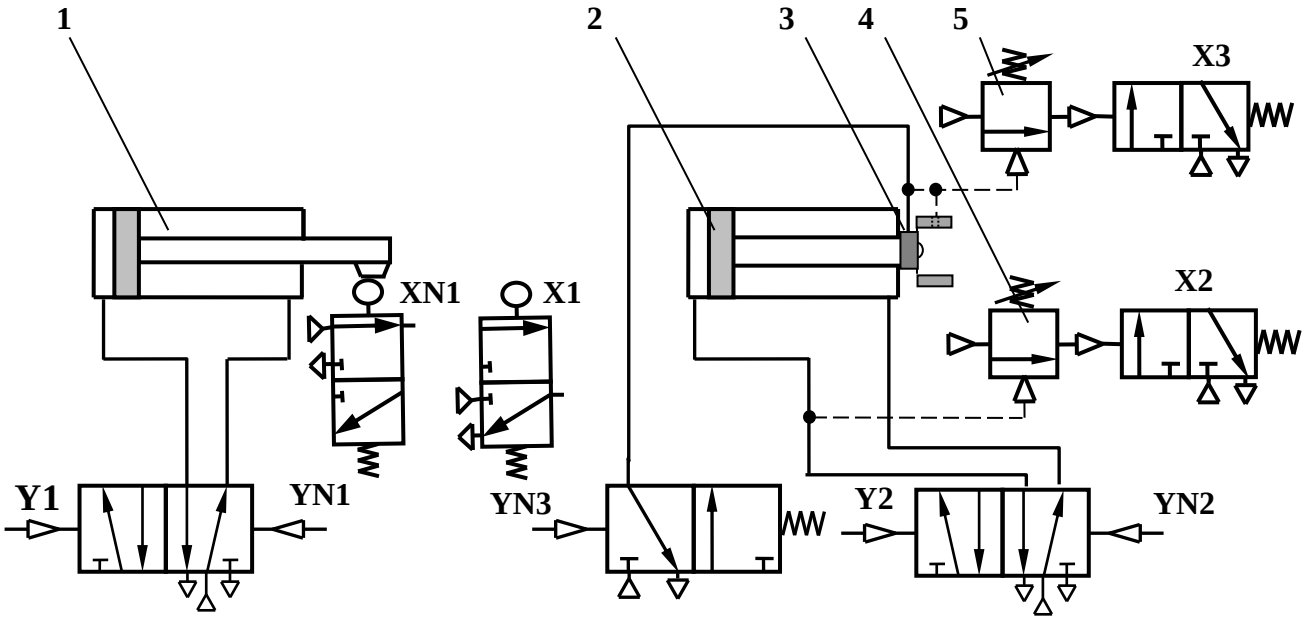


Рис. 4.3. Схема макромодуля пневматичного маніпулятора.
ПРИСТРОЇ: 1 – пневмоциліндр горизонтального переміщення, 2 – пневмоцилиндр вертикального переміщення, 3 – пнемо-механічний схват, 4 і 5 – реле тиску;
СИГНАЛИ: Y1, YN1– сигнали керування горизонтального переміщення, X1, XN1 – сигнали контролю положення по горизонтальній осі, Y2, YN2 – сигнали керування вертикального переміщення, X2 – сигнал контролю нижнього положення, YN3 – сигнал керування схвата, X3 – сигнал контролю утримання деталі схватом

Керування горизонтальним переміщенням (сигнали Y1 і YN1) здійснено бістабільним клапаном 5/2, який, завдяки механічній пам’яті, забезпечує збереження положення маніпулятора у випадку зникнення сигналу керування. Контроль відпрацювання горизонтального переміщення виконано за положенням вихідної ланки – за допомогою двох кінцевих вимикачів або інших датчиків положення (сигнали XN1 – початкове, X1 – кінцеве положення).

Керування вертикальним переміщенням (сигнали Y2 і YN2) здійснено бістабільним клапаном 5/2, який, завдяки механічній пам’яті, забезпечує збереження положення маніпулятора у випадку зникнення сигналу керування. Контроль нижнього положення схвату виконано за тиском за допомогою реле тиску (сигнал X2 – нижнє положення). Контроль підйому схвату здійснено за опосередкованою схемою: з використанням реле часу – по сигналу команди YN2, із затримкою у часі на відпрацювання підйому: XN2 = YN2 + затримка часу.

Керування пнемо-механічним схватом забезпечено пневматичним сигналом (сигнал YN3), за допомогою нормально відчиненого моностабільного клапана 3/2, що забезпечує утримання деталі у разі зникнення тиску в лінії керування. Контроль утримання деталі виконано за тиском за допомогою реле тиску (сигнал X3). Контроль вивільнення деталі схватом виконано за опосередкованою схемою: з врахуванням моностабільного керування – по наявності сигналу команди YN3 і затримкою у часі на її відпрацювання: XN3 = YN3 + затримка часу.

ПРИМІТКА. Для привода вертикального переміщення не застосовано контроль за положенням. Це викликано тим, що циліндр вертикального переміщення пересувається разом зі штоком циліндру горизонтального переміщення, який є суттєвим навантаженням. Обладнання його ще двома кінцевими вимикачами, які суттєво збільшать рухому масу і інерційне навантаження, призведе до збільшення типорозміру циліндра горизонтального переміщення, що викличе зменшення корисного навантаження маніпулятора.

ПРИМІТКА. В модулі навмисно використано моностабільне керування, а сигнал команди викликає не фіксацію схвата, а вивільнення деталі. Тобто, при зникненні живлення в системі керування – схват має надійно утримувати деталь. Таке рішення викликано вимогою підвищення надійності системи – при зникненні сигналу керування деталь, замість самовільного падіння в робочу зону буде надійно триматися в схваті.

4.2. Гідравлічні модулі бінарної дії

4.2.1. Модуль гідравлічного підйомника (Приклад №4)

ПРИЗНАЧЕННЯ: підйом/опускання предметів великої ваги та габаритів (пакунків, елементів конструкцій, поковок чи злитків, контейнерів). Може використовуватись як стаціонарний перевантажувач між декількома рівнями або як мобільний навантажувач.

СКЛАД №1:

керування	:	клапан 3/3 (3/2 + 2/2) моностабільний
виконання	:	циліндр односторонньої дії
	:	клапан тиску (підпірний)
	:	регулятор потоку
контроль	:	кінцевий вимикач 2 шт.

СКЛАД №2: керування : клапан 4/3 моностабільний
виконання : циліндр двосторонньої дії
: клапан тиску (підпірний)
: регулятор потоку
контроль : кінцевий вимикач 2 шт.

Система може бути побудована в декількох варіантах, які майже однакові за своїми функціями, але мають відмінності у складі і особливостях роботи (рис. 4.4).

Варіант №1: 1 - циліндр односторонньої дії + 3/3 розподільний клапан + 2 кінцевика + клапан підпірний + регулятор витрати – обмежувач швидкості.

Варіант №2: 1 - циліндр двосторонньої дії + 4/3 клапан + 2 кінцевика + клапан підпірний + регулятор витрати – обмежувач швидкості.

Модуль здійснює підйом та опускання вантажів великої маси, для чого використовують гідравлічні приводи [41, 72, 81, 82, 118, 136, 165]. Найпростіші пристрої – домкрати, оздоблено ручним насосом. Відмінність гідравлічних підйомників – це великий діапазон ваги вантажів, переміщення вантажу з малою швидкістю, утримання в проміжних положеннях без додаткових витрат енергії.

Підйомники можуть бути автономними, або належати до складу автоматизованих систем (штабельор, автоматизований склад, вантажний ліфт, навантажувач і т. ін.).

Для утримання вантажу великої маси, а також в умовах вібрацій або значних динамічних навантажень, може бути застосовано гідравлічний замок, який розблоковують тільки на час переміщення.

В системах гідравлічних підйомників, для запобігання падінню вантажу при опусканні, може бути застосовано підпірний клапан тиску і/або регулятор потоку як обмежувач швидкості.

Система за варіантом №1. В схемі підйомника використано циліндр односторонньої дії. Система керування дозволяє під’єднати його порожнину до напірної лінії (підйом вантажу), до зливної лінії (опускання вантажу), або запирати в порожнині рідину (утримання вантажу в необхідному положенні). Для керування використано трипозиційний клапан (3/3) (сигнали керування Y1 і YN1, рис. 4.4а).

В системах з циліндром односторонньої дії, для запобігання падінню вантажу при опусканні частіше використовують регулятор витрати, який обмежує швидкість. Використання підпірного клапану потребує попереднього налаштування на вагу вантажу, що ускладнює його використання в автоматизованих системах. Для тимчасового вилучення підпірного клапану з роботи системи застосовують додатковий обвідний (байпасний) канал для опускання навантажувача при відсутності вантажу (на схемі не показано).

Для роботи в цьому варіанті має бути використаний клапан відкриття/закриття байпасного каналу, наприклад, клапан 2/2, моностабільний. З врахуванням бажаного розвантаження насосного агрегату можуть бути побудовані і інші принципові рішення.

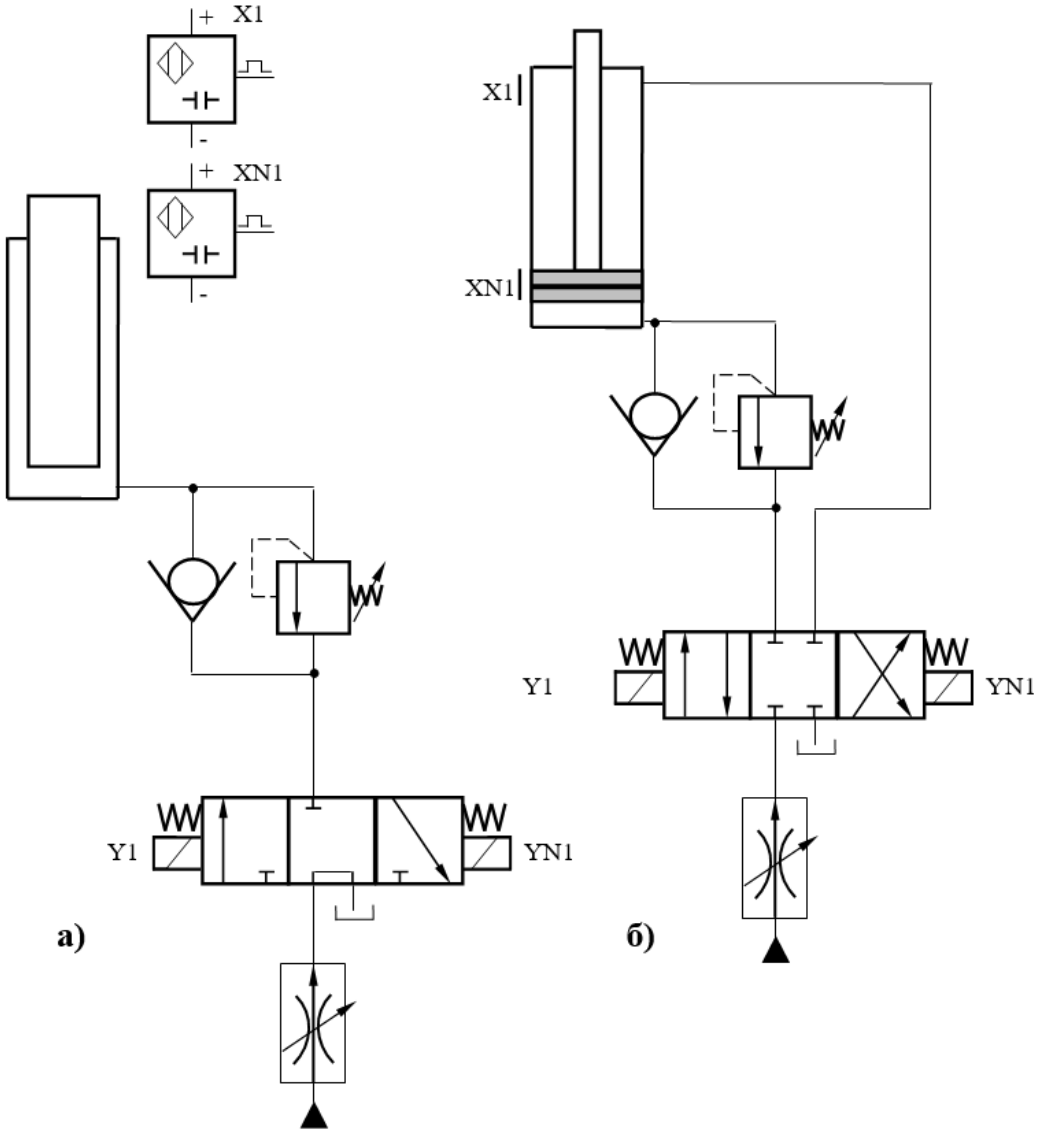


Рис. 4.4. Приклад схеми модуля підйомника гідравлічного: а) – варіант №1 - циліндр односторонньої дії; б) – варіант №2 - циліндр двосторонньої дії

Підйом вантажу здійснюється за сигналом, що відповідає логічній умові: Y1 AND N X1. Рідина потрапляє в порожнину циліндру через зворотний клапан в обхід підпірного клапана тиску. Інверсія сигналу (N X1) забезпечить зупинку руху при досягненні позиції, заданої датчиком X1.

Опускання вантажу здійснюється за сигналом команди без додаткової умови: YN1=1. При цьому рідина з порожнини циліндра перетікає, під дією вантажу, через підпірний клапан.

Контроль підйому/опускання виконано за положенням за допомогою двох кінцевих вимикачів або сенсорів (сигнали XN1 – початкове (нижнє) положення, X1 – кінцеве (верхнє) положення).

Система за варіантом №2. В схемі підйомника використано циліндр двосторонньої дії. Система керування дозволяє під’єднати його нижню порожнину до напірної лінії (підйом вантажу), до зливної лінії (опускання вантажу), або запирати рідину в обох порожнинах (утримання вантажу в необхідному положенні). Для керування використано трипозиційний клапан

(4/3) (сигнали керування Y1 і YN1, рис. 4.4б).

Підйом вантажу здійснюється за сигналом команди Y1 з додатковою логічною умовою: Y1 AND N X1. Інверсія сигналу (N X1) зупиняє рух вантажу в позиції знаходження датчика X1. Клапан в середньому положенні замикає обидві порожнини циліндра.

Опускання вантажу здійснюється за сигналом команди: YN1=1. Контроль підйому/опускання вантажу виконано за положенням за допомогою двох кінцевих вимикачів або сенсорів (сигнал XN1 – початкове положення (нижнє), X1 – кінцеве положення (верхнє)).

ПРИМІТКА. За умов керування оператором контроль верхнього положення здійснюється візуально, через що сигнал датчика X1 замінено на сигнал з пульта керування. Контроль нижнього положення, якщо воно співпадає з кінцевим положенням поршня в циліндрі, також може виконуватись візуально, інакше, бажано додавати сигнал датчика навіть за умов ручного керування.

ПРИМІТКА. Для варіанту з циліндром односторонньої дії необхідно забезпечити опускання без вантажу. Тобто, рідина має видалятися з порожнини під дією рухомих мас конструкції підйомника. Зливна лінія має обходити підпірний клапан, але швидкість зливу рідини бажано обмежити.

4.2.2. Модуль транспортер гідравлічний нереверсивний (Приклад №5)

ПРИЗНАЧЕННЯ: переміщення предметів (деталей, сипучих матеріалів і т.п.) в горизонтальному напрямку.

СКЛАД:

керування	:	клапан 3/2 бістабільний (рух/зупинка)
виконання	:	гідромотор нереверсивний (рух стрічки вперед)
	:	регулятор витрати (обмежувач швидкості)
контроль	:	датчики чи сенсори – 2 шт.

Для переміщення вантажів на одному горизонтальному рівні або при невеликих кутах нахилу часто використовують транспортери, у тому числі з приводом у вигляді гідравлічного нереверсивного мотору із засобами контролю

і керування [58, 59, 71, 72, 118]. В найпростіших конструкціях привідний барабан стрічки безпосередньо з’єднано з вихідним валом гідромотора.

Відмінністю модуля гідроприводу транспортера є фактична відсутність початкового положення вихідної ланки (вала гідромотора чи стрічки). Сигнал щодо відпрацювання команди керування на переміщення вантажу має опосередкований зв'язок з станом гідромотору.

Наприклад, вантаж розташовано на стрічці, а за напрямком її руху встановлено сенсор (оптичний, ємнісний), який є чутливим до вантажу. Тобто, сигнал від сенсору засвідчує відпрацювання команди на переміщення вантажу у визначену позицію. Основна дія транспортеру завершена, рух стрічки припинено. Система розпочинає виконання наступної дії, наприклад, вилучення вантажу зі стрічки за допомогою маніпулятора.

При завантаженні вантажу на стрічку положення валу гідромотору не має значення. Тобто, початковим положенням модуля транспортеру є будь-яке при зупиненому русі стрічки. Сигналом контролю за виконанням модулю основної дії є зовнішній сигнал, що контролює положення переміщуваного на стрічці вантажу, тобто контролює не стан приводу, а положення зовнішнього об’єкту (наприклад, положення вантажу). Використання опосередкованого контролю дозволяє з одним виконавчим пристроєм обслуговувати декілька позицій вивантаження. В якості сигналу контролю відпрацювання зворотної дії привода (початкового стану) є сигнал зворотної команди з доданим часом на припинення руху транспортеру.

Варіант транспортування сипучого матеріалу до бункера-накопичувача потребує іншої схеми контролю. Кінцевим станом є визначена кількість матеріалу, що накопичена в бункері. Тобто, якщо вага бункера сягає визначеної величини, то сигнал, що контролює вагу, відповідає завершенню основної дії модуля «заповнити бункер», після чого, за зворотною командою, гідромотор буде зупинено.

Опосередкований контроль кінцевого стану привода транспортера: основна дія – за зовнішнім сигналом, що контролює позицію вантажу або вагу бункера.

Контроль початкового стану привода – за сигналом команди на припинення руху з доданим часом на зупинку транспортеру.

Транспортери з гідравлічним приводом можуть пересувати вантаж з малою швидкістю без додаткового редуктора, здійснювати керування швидкістю руху стрічки, забезпечувати значний крутний момент на початку руху (момент зрушення), можуть утримувати транспортер нерухомим без використання додаткових механічних гальмівних пристроїв (рис. 4.5). Транспортери можуть входити до складу автоматизованих систем (автоматизований склад, конвеєрна виробнича лінія, мобільний навантажувач і т.і.), та в системах з ручним керуванням, коли функції контролю і керування передано оператору.

Для транспортування дуже важких вантажів може бути застосовано регульований гідравлічний мотор, з машинним регулюванням швидкості. При невеликій рухомій масі використовують дросельне регулювання швидкості.

З врахуванням вимог щодо енергозбереження використовують схеми з розвантаженням насосного агрегату, в яких застосовують додатково гідравлічні замки для упередження некерованого руху транспортеру (під час завантаження, на похилих за кутом стрічках).

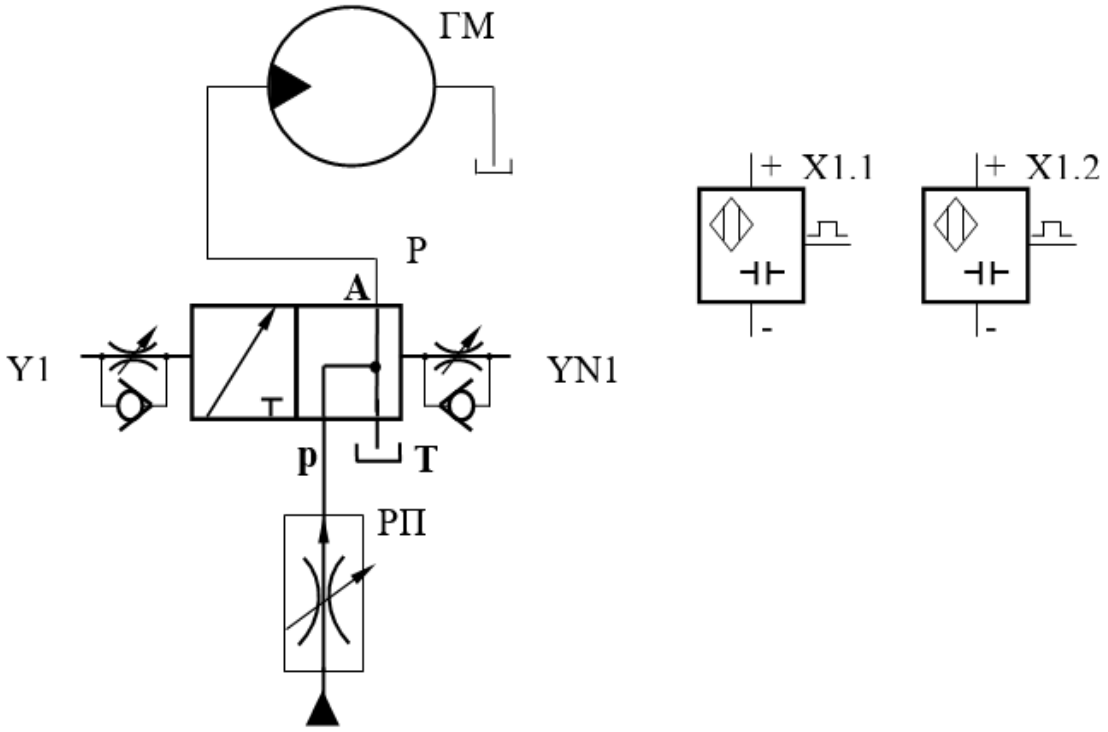


Рис. 4.5. Схема нереверсивного транспортера з нереверсивним гідромотором, клапаном 3/2 з гідравлічним керуванням і датчиками опосередкованого контролю позицій вивантаження

В схемі гідроприводу транспортера використано дросельне регулювання швидкості (рис. 4.5). Система керування дозволяє: а) з'єднувати порожнину гідромотору з насосним агрегатом або зливною лінією, б) розвантажувати насосний агрегат. Для керування використано двопозиційний клапан 3/2 (сигнали команд: Y1 - рух, і YN1 – припинення руху). Сигнал контролю за виконанням основної дії X1.1 – перша позиція відвантаження, X1.2 – друга позиція відвантаження, тобто X1 = X1.1 + X1.2. Сигнал контролю виконання зворотної дії ототожнено із сигналом команди XN1 = YN1.

Значення швидкості руху задано регулятором витрати. Для плавного початку руху та плавної зупинки стрічки використано розподільчий клапан з вмонтованими демпферами.

ПРИМІТКА. При використанні опосередкованих сигналів контролю необхідно враховувати запізнення чи випередження такого сигналу по відношенню до дійсного відпрацювання дії. Врахування може бути виконано в апаратній частині системи керування – випереджена координата розташування датчика або значення ваги бункера, або в алгоритмі – за допомого таймера

4.2.3. Модуль транспортер гідравлічний реверсивний (Приклад №6)

ПРИЗНАЧЕННЯ: реверсивне переміщення предметів (деталей, тари, контейнерів, сипучих матеріалів і т.п.) в горизонтальному напрямку з декількома позиціями завантаження/вивантаження.

СКЛАД:

керування	: клапан 4/3 моностабільний (рух в двох напрямках, зупинка)
виконання	: гідромотор реверсивний (рух стрічки вперед/назад)
	: регулятор витрати (обмежувач швидкості)
контроль	: датчики чи сенсори – 2 (… n) шт.

Для переміщення вантажів на одному горизонтальному рівні або при невеликих кута використовують реверсивні транспортери.

Наприклад, транспортер забезпечує подачу заготовок оброблювальної станції (рух вперед) і відвантаження готових деталей від станції (рух назад). Позиція постачання заготовок на транспортер та позиція відвантаження деталей з транспортера на виробничу лінію суміщені. Або з однієї позиції надходження відбувається транспортування деталей на дві позиції оброблення, після чого деталі з цих позицій переходять далі без участі транспортера. Позиція завантаження обирається довільно, за фактом завантаження деталі на стрічку. Потрібна позиція доставки визначається увімкненим датчиком, сигнал якого має припинити рух.

За своїм змістом модуль реверсивного транспортера об’єднує два модулі нереверсивного транспортера (приклад №5). Якщо додати до транспортера два привідних барабани, і кожний з гідромотором та обгінною муфтою, а гідромотори з’єднати з насосною станцією так, щоб при вмиканні одного з них в напірну лінію, інший мотор рідина обходитиме по байпасній лінії, то задача буде розв’язана. Приклади схем і основні розрахунки: [12, 13, 20, 26, 44, 47, 60, 72, 79, 81, 82, 90].

Використання реверсивного гідромотора спрощує схемне рішення та зберігає логіку функціонування модуля з двома нереверсивними гідромоторами. Перший гідромотор забезпечує рух вперед та зупинку (так само, як транспортер нереверсивний). Другий гідромотор забезпечує рух назад і зупинку (так само, як транспортер нереверсивний). Для керування

нереверсивним гідромотором будо достатньо клапана 4/2 із зачиненою позицією для зупинки. Так само за допомогою клапана 4/2 із зачиненою позицією, може бути забезпечено рух у зворотному напрямку. У разі використання одного реверсивного гідромотора одночасний рух в двох напрямках є неможливим, так само, як і в схемі з двома гідрромоторами, однак це забезпечує один клапан 4/3 із зачиненим центром (рис. 4.6).

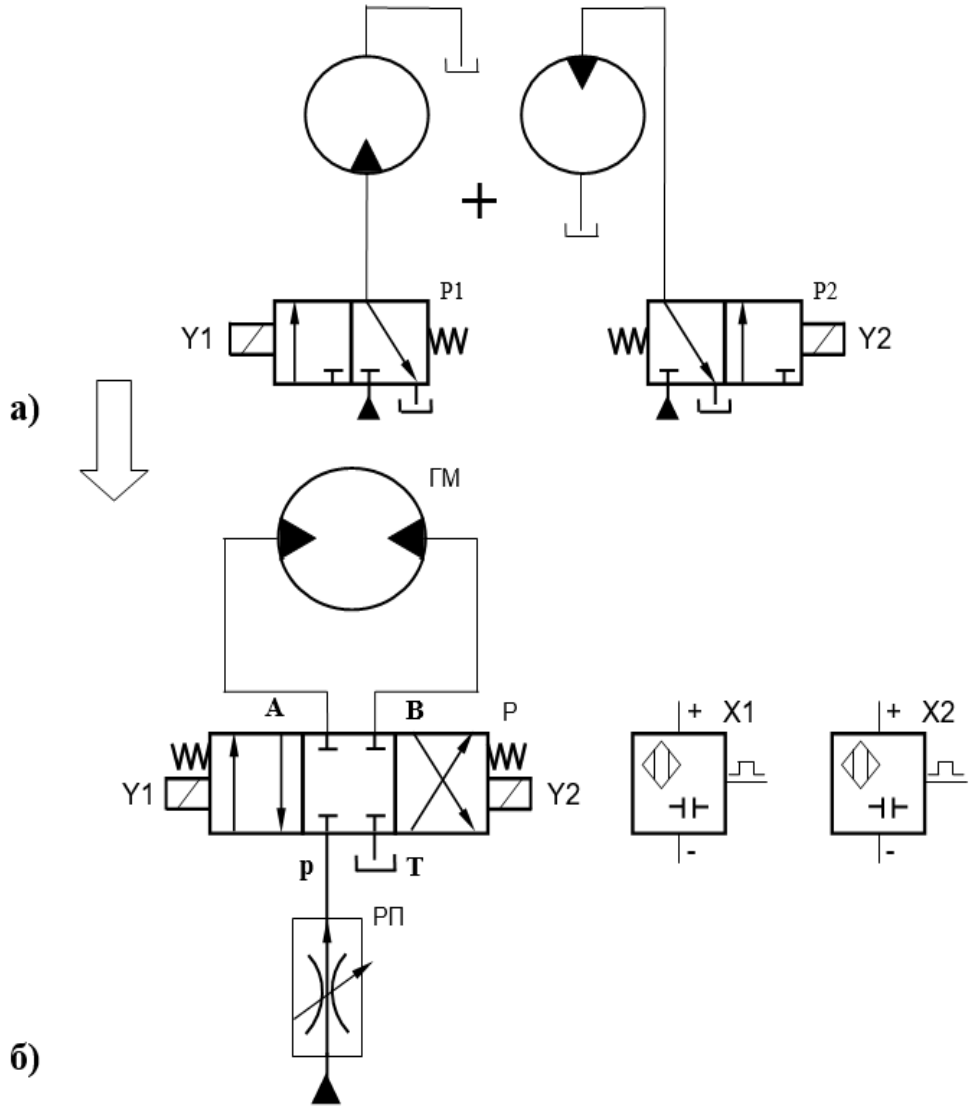


Рис. 4.6. Схема поєднання двох нереверсивних приводів (а) в одному реверсивному модулі (б) транспортера реверсивного гідравлічного

Модуль транспортера реверсивний фактично складається з двох функціональних модулів, реалізація яких частково співпадає – спільний реверсивний виконавчий пристрій (гідромотор), спільний «комбінований» керуючий пристрій (клапан 4/3).

Складна структура модуля потребує узгодженого послідовного вмикання/вимикання його складових, а саме – перш ніж подавати команду на рух вперед, має бути відмінена команда на рух назад, і навпаки.

Сигнали керування і контролю, при використанні клапану 3/4, із зупинками в проміжних положеннях за сигналом від датчика, мають

особливості.

Основна дія – рух до отримання сигналу контролю позиції. Зворотна дія – припинення руху. Таку саму структуру має керування рухом у зворотному напрямку.

Система керування рухом вперед дозволяє: а) під'єднати порожнини гідромотора до напірної та зливної ліній, б) відсікати порожнини гідромотора від ліній (можливо - розвантажувати насосний агрегат). Працює ліва та середня позиції клапану 4/3 (сигнал основної команди: Y1 – рух вперед, сигнал зворотної команди для моностабільного керування – відсутність сигналу основної команди YN1 = N Y1 – припинення руху). Сигнал контролю за відпрацюванням основної команди – сигнал від датчика контролю потрібної позиції X1. Сигнал контролю за відпрацюванням зворотної команди ототожнено з самим сигналом команди із запізненням у часі: XN1 = YN1+ Δt – часове запізнення.

Система керування рухом назад дозволяє:

а) під'єднати порожнини гідромотора до напірної та зливної ліній,

б) відсікати порожнини гідромотора від ліній (можливо – розвантажувати насосний агрегат).

Працює права та середня позиції клапану 4/3 (сигнал основної команди: Y2 – рух назад, сигнал зворотної команди для моностабільного керування – відсутність сигналу основної команди YN2 = N Y2 – припинення руху). Сигнал контролю за відпрацюванням основної команди – сигнал від датчика контролю потрібної позиції X2. Сигнал контролю за відпрацюванням зворотної команди ототожнено з самим сигналом команди із запізненням у часі: XN2 = YN2+ Δt, де Δt – часове запізнення на термін зупинки конвеєра.

Переміщення вантажу зліва направо здійснюється за сигналом команди з додатковою логічною умовою: Y1 AND N X1. Інверсія сигналу (N X1) забезпечує нульове значення сигналу команди в необхідній позиції завершення руху – позиції датчика X1. Під впливом інверсії сигналу (N X1) моностабільний клапан потрапляє в середню позицію, відсікає порожнини гідромотора, можливо - розвантажує насосний агрегат, припиняє рух транспортеру.

Переміщення вантажу зліва направо, так само, здійснюється за сигналом команди з додатковою логічною умовою: Y2 AND N X2. Інверсія сигналу (N X2) забезпечує нульове значення сигналу команди в необхідній позиції завершення руху – позиції датчика X2. Моностабільний клапан потрапляє в середню позицію, відсікає порожнини гідромотора, можливо - розвантажує насосний агрегат, припиняє рух транспортеру.

ПРИМІТКА. Для модулів подібного типу визначення датчиків початкового положення та кінцевого положення залежить від змісту дій, виконує модуль.

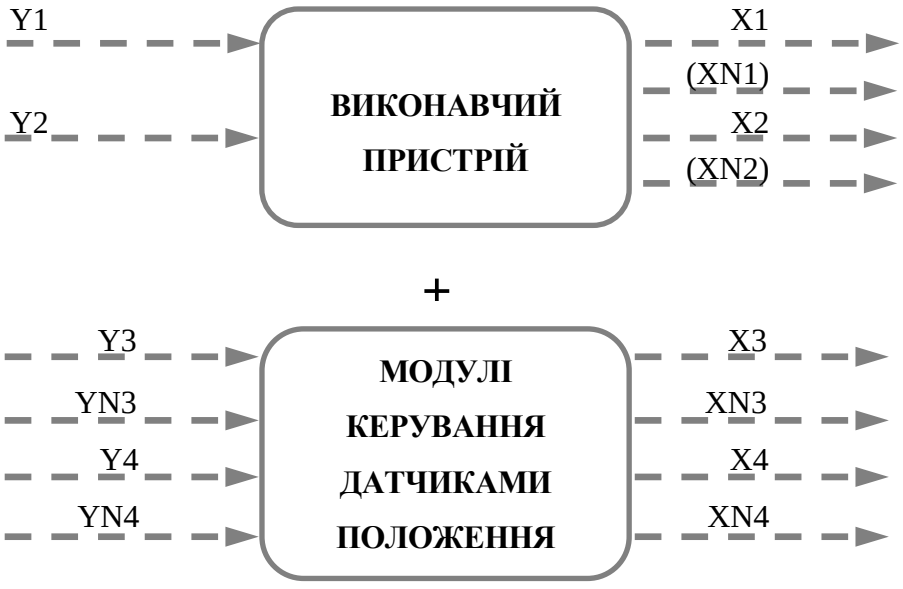
Варіант 1. Основна команда – рух до датчика. Початковим станом для модуля руху вперед і для модуля руху назад є нерухомий транспортер. Кінцевим станом відпрацювання команд також є нерухомий транспортер, але, із зупинкою біля датчика з вантажем. Тобто, транспортер, за сигналом від датчика

буде зупинено за виразом основної команди, що дорівнюватиме нулю (моностабільне керування, без зворотної команди). Але, якщо датчик просто вимкнути, то за основною командою рух буде поновлено. А от після отримання зворотної команди, навіть вимкнення датчика, рух не поновить.

Варіант 2. Основна команда – рух, зворотна команда – припинення руху. Контроль за позицією транспортеру відсутній. Наприклад, основна команда вмикає транспортер для наповнення бункеру-змішувача. Після вмикання транспортеру активізується ланцюг дій інших модулів (вмикання дозаторів, що надають компоненти суміші на транспортер, починає працювати привід змішувача, розпочинається контроль ваги бункера). За сигналом «бункер заповнено» припиняють роботу дозатори і зупиняється транспортер. Результатом відпрацювання основної дії є рухомий транспортер. Для контролю, що рух увімкнено може бути використано датчик руху, а за більш простою схемою - опосередкованою ознакою – ліва позиція клапану. Тобто, сигнал контролю за відпрацюванням основної дії: X1 = Y1+ часова затримка на розгін транспортеру. Аналогічно, сигнал контролю за відпрацюванням зворотної команди: XN1 = N Y1 + часова затримка (оскільки команди YN1 немає внаслідок застосування моностабільного клапану 4/3).

4.3. МАКРОМОДУЛІ ІЗ ЗМІНОЮ НАЛАШТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ

4.3.1. Макромодуль маніпулятора гідравлічного багатопозиційного (Приклад №7)



ПРИЗНАЧЕННЯ: лінійне переміщення робочого органа, наприклад схвата, інструмента чи пристрою контролю, між 3-ма і більше визначеними позиціями (рис. 4.7). Основна дія модуля №1 – переміщання вперед, зворотна дія модуля №1 – вимкнути переміщання вперед, основна дія модуля №2 –

переміщання назад, зворотна дія модуля №2 – вимкнути переміщання назад.

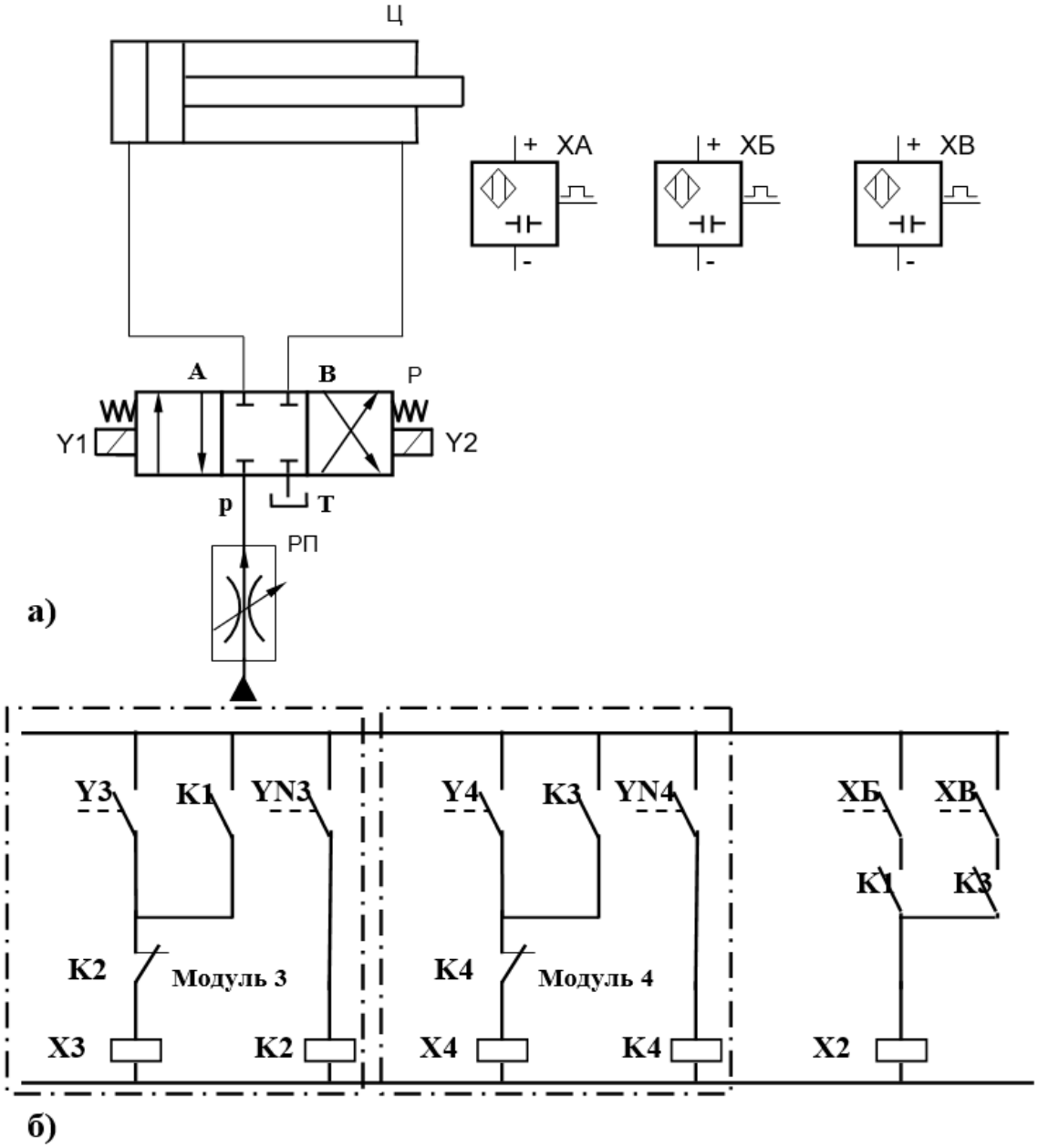


Рис. 4.7. Схема багатопозиційного макромодуля* (модулі №1 і №2): а) з гідроциліндром двосторонньої дії; б) електрорелейна схема керування сигналами датчиків позицій ХБ і ХА (модулі 3 і 4) і формування сигналу Х2

СКЛАД:	Керування	: клапан 4/3 моностабільний (зміна напряму, зупинка).
	Виконання	: циліндр двосторонньої дії.
		: регулятор витрати (обмеження швидкості)
	Контроль	: датчики положення чи сенсори – 3 (…n) шт.
		: модулі керування датчиками – 3 (…n) шт.

Для розподілення деталей за декількома позиціями або використання одного інструменту в декількох зазначених координатах застосовують багатопозиційні гідравлічні і пневматичні приводи з електрорелейним

керуванням (рис. 4.7) [50, 74, 102, 143, 144, 154, 155].

Наприклад, гідропривід маніпулятора (рис. 4.7) розподіляє заготовки з вхідної позиції (ХА) на дві інші, що розташовані з одного боку від неї, і відповідають розташуванню лотків, розташування яких контролюють датчики ХБ і ХВ. При набутті одиничного значення сигналом команди на подачу заготовки горизонтальний привід маніпулятора переходить до вхідної позиції, в якій схват захоплює заготовку. Після цього привід переміщує схват із заготовкою до лотка, біля якого попередньо було увімкнуто датчик. Після отримання від датчика сигналу рух припиняється. Схват вивільняє заготовку. Основна дія завершена.

За наступним набуттям сигналу команди одиничного значення сигналом команди маніпулятор повертається за наступним примірником заготовки.

По змісту дій привід маніпулятора (рис.4.7) схожий на привод реверсивного транспортера (рис. 4.6), який подає та прибирає заготовки. Якщо в системі з транспортером розглянуто всього дві позиції зупинки (завантаження та відвантаження), то у маніпулятора позицій зупинки не менше трьох (ХА, ХБ і ХВ), а може бути і значно більше.

Перший модуль забезпечує рух (основна дія) до вхідної позиції (ХА) з будь якої іншої (ХБ або ХВ) та зупинку (зворотна дія).

Другий модуль забезпечує рух до певного лотку (основна дія) і зупинку (зворотна дія) біля увімкненого на лотку датчика ХБ або ХВ.

Третій модуль задає позицію відвантаження ХБ вмиканням датчика ХБ. Якщо датчик ХБ увімкнено, то порівнявшись з ХБ привід припиняє рух.

Четвертий модуль задає позицію відвантаження ХВ шляхом вмикання датчика ХВ. Якщо датчик ХВ увімкнено, то порівнявшись з ХВ привід припиняє рух.

Для визначення потрібного для відвантаження лотка необхідно увімкнути відповідний датчик, а інший датчик вимкнути.

По аналогії з реверсивним транспортером, для керування рухом вперед/назад та зупинкою використано один клапан 4/3 з перекритим центром.

Для керування кожним датчиком лотка побудована електрорелейна схема елемента пам’яті: елемент пам’яті увімкнено – працює датчик контролю позиції, елемент пам’яті вимкнено - датчик не працює і маніпулятор без затримок пройде повз позицію датчика та відповідного лотка.

Структура такого складного модуля потребує строгої координації окремих дій, в даному випадку - послідовного вмикання/вимикання модулів руху №1 і №2, та вмикання/вимикання модулів датчиків лотків. Так само, як для реверсивного транспортера, для вмикання модуля руху вперед, необхідно попередньо вимкнути модуль руху назад і навпаки стосовно руху назад.

ПРИМІТКА. Макромодуль – комбінація декількох окремих модулів в одному пристрої, що виконує складну функцію. Основна та зворотна дії модулів №1 і №2 мають наступний зміст: основна дія модуля №1 – рух до позиції завантаження (початкової позиції), тобто, рух до отримання сигналу від датчика ХА. Зворотна дія – припинення руху в означеному напрямку. Для

модуля №2 так само.

Система керування модуля №1 дозволяє: а) під'єднати порожнини циліндру до тиску або зливної лінії, б) відсікати порожнини циліндра від ліній. Для керуванням руху до вихідної позиції використано праву та середню позиції трипозиційного моностабільного клапана 4/3 (сигнал основної команди: Y1 - рух вперед, сигнал зворотної команди - для моностабільного керування – відсутність сигналу основної команди N YN1 – припинення руху вперед). Сигнал контролю за виконанням основної команди – сигнал від датчика X1 = XA. Сигнал контролю за виконанням зворотної команди ототожнено з сигналом самої команди з доданим часом на зупинку приводу: XN1 = YN1+ часова затримка Δt.

Система керування модуля №2 (рух до позиції лотка ХБ або ХВ) дозволяє:

а) під'єднати порожнини циліндру до тиску або зливної лінії;

б) відсікати порожнини циліндра від ліній.

Для керуванням рухом до лотків використано ліву та середню позиції трипозиційного моностабільного клапана 4/3 (сигнал основної команди: Y2 - рух до лотка, сигнал зворотної команди – відсутність сигналу основної команди N Y2 – припинення руху). Сигнал контролю виконання основної команди – сигнал від датчика ХБ або від датчика ХВ: X2 = ХБ + ХВ. Сигнал контролю зворотної команди ототожнено з сигналом самої команди з доданим часом на зупинку приводу: XN2 = N Y2 + часова затримка Δt.

Система керування датчиками лотків (ХБ та ХВ) – модулі №3 і №4 дозволяє:

а) під'єднати датчик до роботи у складі системи,

б) вилучати датчик від роботи.

Для керування датчиком використана схема елемента пам'яті. Працюючий елемент пам'яті під'єднує вихід датчика до системи. Вимкнений елемент пам'яті від'єднує вихід датчика від системи. Сигнали основних команд модулів №3 і №4 – Y3 і Y4 - вмикання елементів пам'яті. Сигнали зворотних команд для елементів пам'яті - YN3 і YN4. Контроль за відпрацюванням модулів №3 і №4 здійснено так само, як і для звичайних елементів пам'яті.

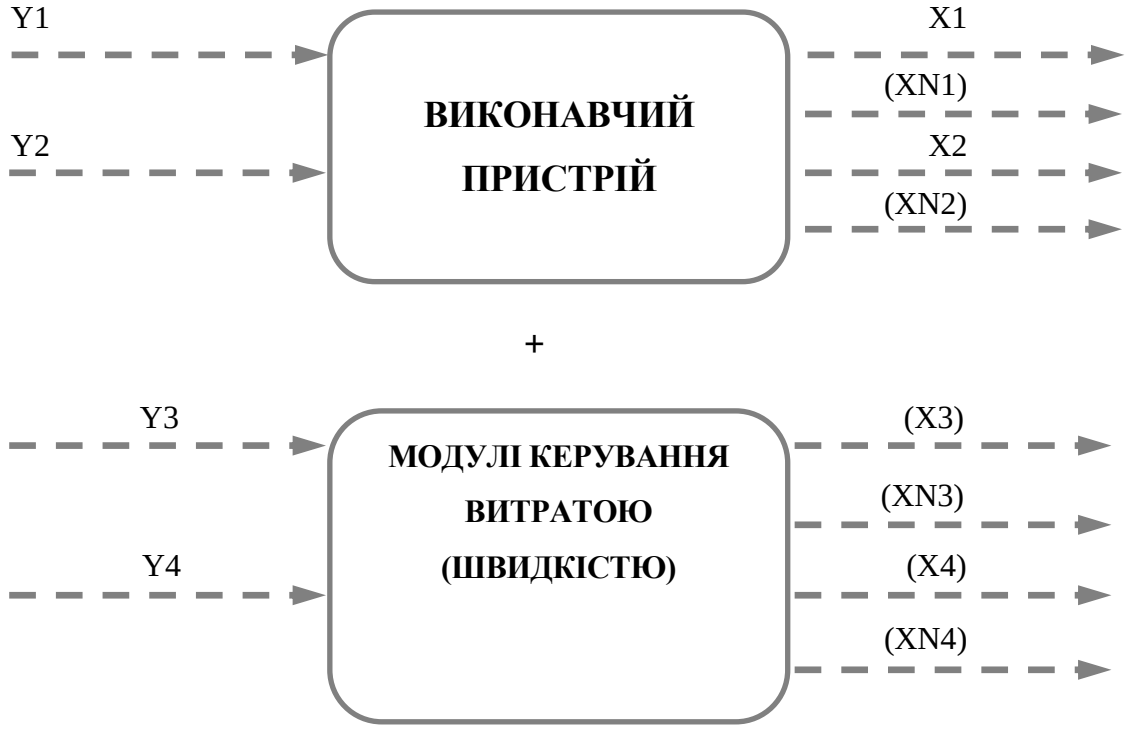
Забезпечення зупинки біля певної позиції (ХА, ХБ і ХВ) здійснено так само, як і для реверсивного транспортера.

Пересування вантажу справа наліво система виконує за сигналом команди модуля №1 з додатковою умовою: Y1 AND N X1. Інверсія сигналу (N X1) забезпечує припинення руху в позиції отримання сигналу X1=1, тобто ХА.

Пересування вантажу зліва на право система виконує за сигналом команди модуля №2 з додатковою умовою: Y2 AND N X2. Інверсія сигналу (N X2) забезпечує припинення руху в позиції отримання сигналу X2=1. Оскільки X2 = ХБ + ХВ, то зупинка здійснена біля під'єднаного в поточний момент до системи датчика і відповідного лотка (ХБ або ХВ). Моностабільний клапан займає середню позицію, порожнини циліндру замкнені і рух припинено.

ПРИМІТКА. За такою схемою може бути забезпечена різна кількість позицій зупинки приводу, при цьому деякі з них можуть бути активними при обох напрямках руху. З цієї причини ідентифікацію датчиків позицій зручніше не пов'язувати з номерами модулів системи.

4.3.2. Модуль гідравлічного приводу з перемиканням швидкості руху (Приклад №8)



ПРИЗНАЧЕННЯ: лінійне переміщення вихідної ланки з різними фіксованими значеннями швидкості, наприклад, інструмента металообробного верстату.

СКЛАД:

Керування	: клапан 4/3 моностабільний (зміна напряму, зупинка).
	: клапан 3/2 вмикання/вимикання регулятора витрати – 2 шт. (1 шт.)
Виконання	: циліндр двосторонньої дії.
	: регулятор витрати (налаштування швидкості) 2 шт.
	: зворотній клапан – байпасна лінія.
Контроль	: датчики положення чи сенсори – 3 (…n) шт.
	: модулі керування датчиками – 3 (…n) шт.

Для забезпечення руху вихідної ланки з різними значеннями швидкості використовують гідравлічні приводи з дискретним перемиканням витрати (рис. 4.8) [71, 79, 118, 144]. Привід може виконувати один і той же діапазон руху з різними значеннями швидкості, проходити різні частини одного інтервалу руху з різними швидкостями, виконувати інші комбінації зміни координати, напрямку руху і швидкості.

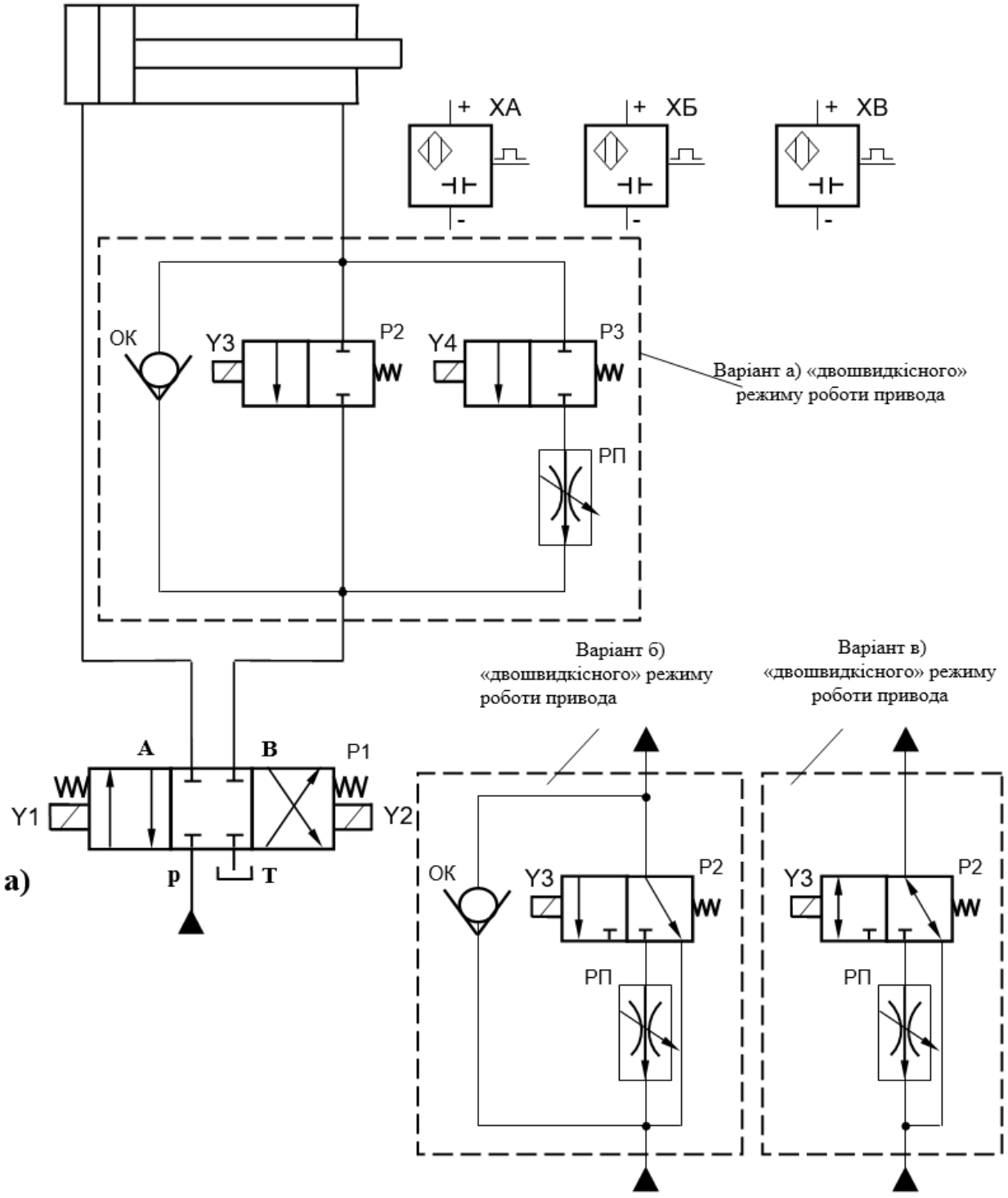


Рис. 4.8. Схема гідроприводу з перемиканням швидкості руху (швидкого підводу та робочої подачі) верстату та варіанти її схемного виконання

Наприклад, привід повздовжньої подачі шліфувального верстату

забезпечує швидкий підвід інструменту з початкового положення А до координати початку обробки Б. Після підводу здійснюється робоча подача с певною технологічною швидкістю до координати В. Після завершення технологічної операції (координата В), за умови відповідної команди, привод пересувається до початкового положення з координатою А.

За порядком виконання дій такий привід подібний до гідроприводу багатопозиційного маніпулятора. Але, при проходженні проміжного датчику рух не припиняється, а вмикається пристрій, який задає потрібне значення швидкості (регулятор витрати). Кількість рівнів швидкості і координати їх вмикання/вимикання визначає автоматизована технологія.

Для багато-швидкісного приводу, так само, як і для багатопозиційного, не існує єдиного на всі випадки формального опису. Обов'язковою вимогою до опису є коректність та повнота, на такому рівні, який дозволить додавати його в систему автоматизованого об'єкта як його формальну складову.

Наприклад, перший модуль забезпечує рух зліва на право і припинення цього руху. Другий модуль забезпечує рух справа на ліво і припинення цього руху. Третій модуль вмикає/вимикає технологічну швидкість. В початковому стані технологічна швидкість вимкнена. Вздовж координати руху встановлено 3 датчики: А – початкова позиція, Б – позиція початку технологічного руху, В – позиція завершення технологічного руху.

Особливість багатокоординатних, багатошвидкісних, або – багато-параметричних виконавчих пристроїв, полягає в тому, що технічні засоби контролю за відпрацюванням дій не співпадають з логічними засобами контролю тих самих дій. Розподілення роботи системи на дії також не є однозначним.

Для даного прикладу можуть бути задіяні 4 модулі (рис. 4.8). В початковий момент вмикаємо рух вперед (Y1) і вмикаємо швидкість підводу інструмента (Y3). При отриманні сигналу від датчика ХБ модуль налаштування швидкості підводу відпрацював і його потрібно вимкнути (YN3). Одночасно вмикаємо швидкість технологічного руху – (Y4). При отриманні сигналу від датчика ХВ модуль технологічної швидкості відпрацював і його вимикаємо (YN4). Рух вперед завершено, вимикаємо його (YN1) та вмикаємо рух повернення у початкову позицію (Y2). Отримання сигналу від датчика ХА засвідчує, що привод повернувся у початкову позицію, тобто рух повернення вимикаємо (YN2). Технологічний цикл роботи 4-х модулів виконано.

Формальний опис засобів контролю і керування може мати декілька варіантів. Наприклад, в системі з 4-х модулів, для кожного з них можуть бути задіяні дві команди:

Y1 і YN1; Y2 і YN2; Y3 і YN3; Y4 і YN4

(На випадок використання моностабільних пристроїв, за основною командою пристрій вмикаємо, а за зворотною – вимикаємо той самий пристрій).

Контроль за відпрацюванням дій (один з варіантів).

Якщо подано сигнал керування Y1, то вважаємо, що рух вперед увімкнуто. Тобто, сигнал контролю за вмиканням руху ототожнюємо з сигналом команди: $X1 = Y1 + \Delta t$ – часова затримка.

Якщо подано сигнал YN1 (вимикаємо магніт Y1), то вважаємо, що рух вперед вимкнуто. При цьому сигнал контролю за вимиканням руху ототожнюємо з сигналом команди: XN1 = YN1+ Δt – часова затримка.

Якщо подано сигнал керування Y2, то вважаємо, що рух назад увімкнуто. Сигнал контролю за вмиканням руху ототожнюємо з сигналом команди: X2 = Y2+ Δt – часова затримка.

Якщо подано сигнал YN2 (вимикаємо магніт Y2), то вважаємо, що рух назад вимкнуто. При цьому сигнал контролю за вимиканням руху ототожнюємо з сигналом команди: XN2 = YN2+ Δt – часова затримка.

Якщо подано сигнал керування Y3, то визначимо зміст дії так: виконати рух вперед з 1-ю швидкістю. Сигнал контролю за відпрацюванням саме такої дії з 1-ю швидкістю: X3 = ХБ * Y1 (отримано сигнал ХБ при русі вперед).

Якщо подано сигнал YN3, можна вважати, що вимкнено задавач 1-го рівня швидкості. Сигнал контролю за відпрацюванням команди: XN3 = YN3 + Δt – часова затримка.

Якщо подано сигнал керування Y4, то визначимо зміст дії так: виконати рух вперед з 2-ю швидкістю. Сигнал контролю за відпрацюванням саме такої дії з 2-ю швидкістю: X4 = ХВ * Y1 (отримано сигнал ХВ при русі вперед).

Якщо подано сигнал YN4, можна вважати, що вимкнено задавач 2-го рівня швидкості. Сигнал контролю за відпрацюванням команди: XN4 = YN4 + Δt – часова затримка.

Якщо процедура оформлення перелічених дій завершена, а їх зв’язки оформлено, то замість утвореної системи, для подальшої роботи можна використовувати її модульне зображення – макромодуль. Основна дія макромодуля: підвід інструмента та робоча подача; зворотна дія макромодуля: повернення у вихідний стан.

Для створення формального опису макромодуля використовуємо послідовність дій його складових. З використанням раніше прийнятих позначень основна дія приводу верстата має вигляд наступної послідовності дій:

$$YM = Y1,Y3 \rightarrow YN3,Y4 \rightarrow YN1 \rightarrow YN4.$$

Сигнал контролю щодо відпрацювання основної дії матиме вигляд:

$$XM = XN1.$$

Зворотну дію макромодуля складають дві дії:

$$YNM = Y2 \rightarrow YN2.$$

Сигнал контролю щодо відпрацювання зворотної дії матиме вигляд:

$$XNM = XN2.$$

Логічні вирази внутрішніх команд макромодуля складають за правилами логічного синтезу систем 1 – 3-го класів (5-й модуль – додатковий елемент пам’яті):

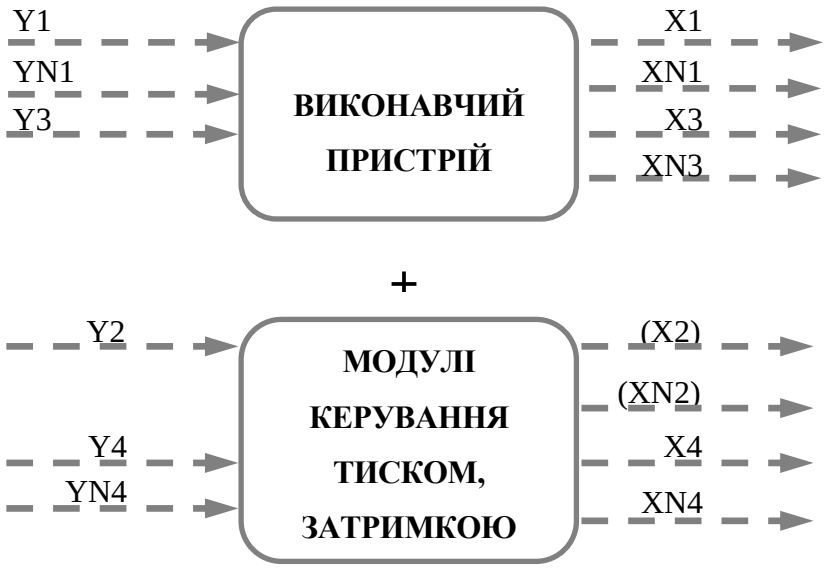
Y1 = YM * XN2 * XN5;
Y2 = YNM * XN4 * XN1 * X5;
Y3 = YM * XN2 * XN5;

YN1 = XN3 * XN4;
YN2 = XN5;
YN3 = X5;

Y4 = X5 * X1; YN4 = XN1;
Y5 = X1 * X3; YN5 = X2.

ПРИМІТКА. За аналогічним принципом може бути побудовано макромодуль і з іншою кількістю значень швидкості. Якщо значень швидкості тільки 2, то в макромодулі достатньо одного внутрішнього модуля для вмикання 2-ї швидкості, а перша швидкість забезпечена налаштуванням, що діє за умов вимкненої другої швидкості.
ПРИМІТКА. Аналогічним чином може бути побудованим макромодуль з дискретною зміною іншого параметру, наприклад тиску – для модуля пресу.

4.3.3. Макромодуль пневматичного приводу пресу з двома рівнями тиску (Приклад № 9)



ПРИЗНАЧЕННЯ: лінійне переміщення вихідної ланки з різними фіксованими значеннями тиску, наприклад, привід з підводом пуансона та тиском пресування.

СКЛАД: Керування : клапан 4/2 бістабільний (зміна напряму).
: клапан 3/2 моностабільний вмикання/вимикання редукційного клапану – 1 шт.
: клапан 3/2 моностабільний (керування циліндром відвантаження) – 1 шт.
Виконання : циліндр двосторонньої дії.
: циліндр односторонньої дії.
: редукційний клапан (налаштування тиску) – 1 шт.
: реле часу – 1 шт.
Контроль : датчики положення чи сенсори – 4 (…n) шт.
: датчик тиску – 1 шт.
: модуль керування реле часу – 1 шт.

За структурою цей макромодуль схожий на макромодуль з дискретним

перемиканням швидкості [144,147,161]. Тобто зміна параметру відпрацювання дії (швидкості чи тиску) відбувається шляхом під'єднання або виключення з лінії певного пристрою (рис. 4.9).

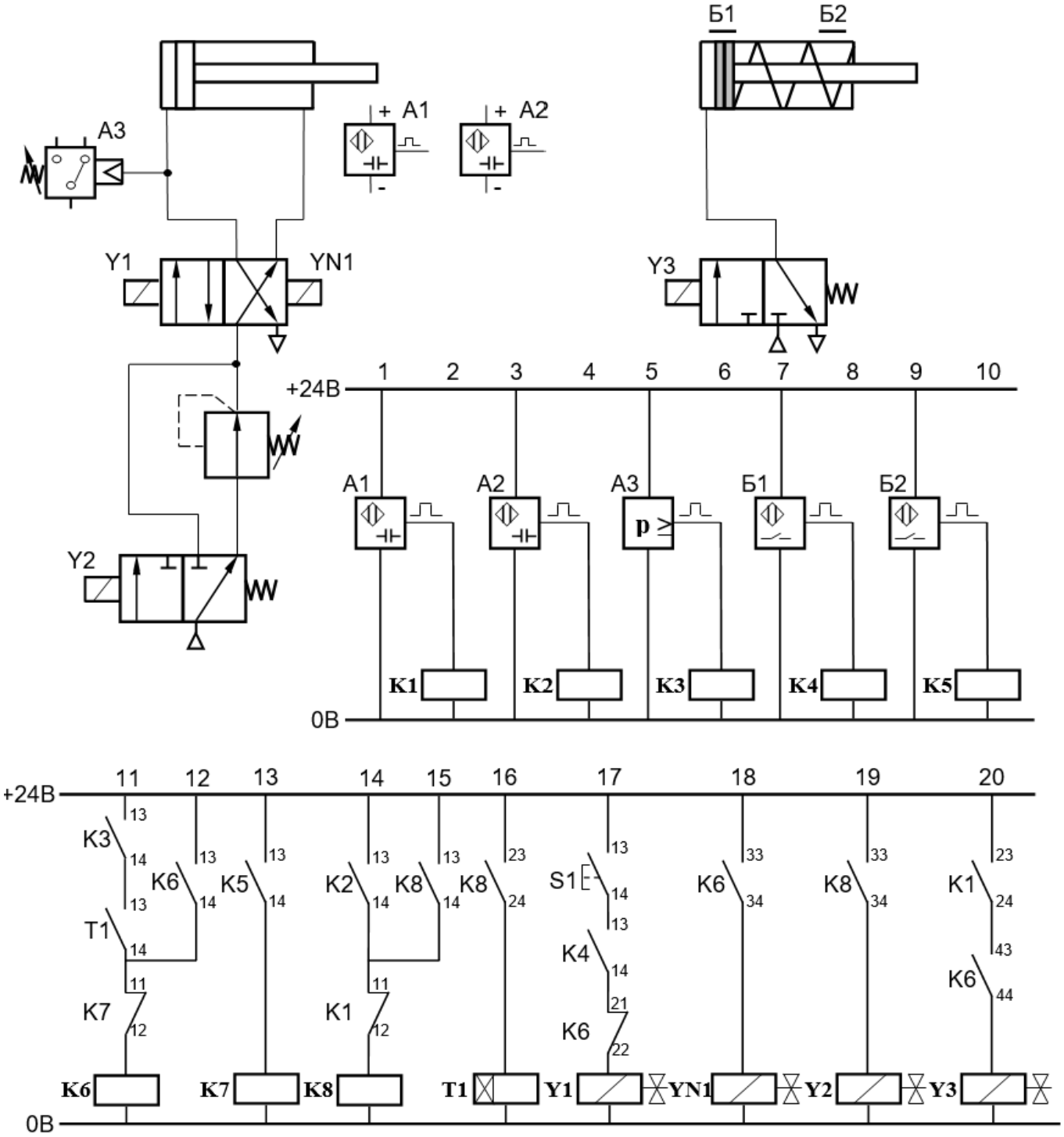


Рис. 4.9. Схема макромодуля пневматичного пресу з двома рівнями зусилля пресування, пристроєм відвантаження та витримкою часу остаточного пресування з контролем тиску

Макромодуль пресу фактично об'єднує два виконавчих пристрої на базі циліндрів та пристрої налаштування параметрів дії, тобто утворює внутрішню систему, що складається:

1. Прес пневматичний (циліндр двосторонньої дії + 4/2 клапан +

редукційний клапан + 3/2 клапан + 2 датчики позицій + реле тиску + реле часу);

2. Пристрій відвантаження (циліндр односторонньої дії + 3/2 клапан + 2 датчики позицій).

Для ущільнення паперових відходів з невеликими, але суттєво різними необхідними зусиллями, використовують преси з пневматичними приводами з дискретною зміною зусилля пресування.

За сигналом S1 привід виконує попереднє ущільнення з початковим рівнем зусилля (тиск Р1) до зменшення об'єму відходів до певного значення (контролює датчик положення Б1). Після відпрацювання першої дії процесу збільшується зусилля – встановлюється тиск налаштування Р2. Процес пресування триває і, по мірі ущільнення відходів, тиск в порожнині циліндру наближається до Р2.

Після отримання значення тиску Р2 (спрацьовує реле тиску) здійснюється витримка часу для остаточного ущільнення відходів (працює реле часу Т1).

Після завершення процесу пресування привід преса повертається у початковий стан (датчик А1), після чого привід відвантаження виштовхує сформований брикет паперових відходів з камери пресування (спрацьовує датчик Б2) та повертається у початкове положення (контроль за датчиком Б1) до наступного циклу пресування.

Початок пресування, у випадку ручного керування, задає сигнал від кнопки S1 з пульта керування.

По опису дій наведений приклад близький за структурою до приводу з дискретним перемиканням швидкості. При проході циліндром преса повз датчик положення Б1 рух не припиняється, а перемикається пристрій, що регулює рівень тиску (редукційний клапан). Кількість рівнів тиску та умови їх перемикання визначає застосована технологія.

Для приводу преса, так само, як і для багато швидкісного приводу, не існує одного формального опису, але вимоги до нього залишаються ті ж самі: коректність та повнота.

Приклад будови формального опису макромодуля:

Перший модуль забезпечує рух пресування та повернення у початковий стан.

Другий модуль вмикає/вимикає додатковий (понижений) рівень тиску.

Третій модуль забезпечує рух відвантаження та повернення відвантажувача.

Четвертий модуль задає витримку часу, потрібного для завершення остаточного пресування.

На початку роботи встановлено понижений рівень тиску, який має бути змінений після першого етапу пресування. Контроль переміщення пресу забезпечено двома датчиками А1 – в початкові позиції, А2 – в позиції зміни рівня тиску. Відпрацювання процесу пресування контролює реле тиску А3, налаштоване на значення Р2. Витримку часу остаточного пресування задає реле часу Т1. По ходу циліндру відвантажувала встановлено два датчики Б1 – в

початковій позиції, Б2 – в кінцевій позиції - відвантаження.

Робота макромодуля починається з сигналу оператора S1. Після цього відбувається вмикання руху пресування (сигнал керування Y1), з одночасним вмиканням пониженого тиску (команда Y2). При отриманні сигналу датчика А2 модуль пониженого тиску відпрацював і його вимикаємо (відміна команди Y2).

Далі вмикаємо витримку часу остаточного пресування (команда Y4 – реле часу). При отриманні сигналу щодо рівня тиску Р2 (реле тиску А3) та при спрацюванні реле часу Т1 модуль пресування відпрацював і циліндр пресу повертається в початковий стан (команда YN1).

Після переходу в початкову позицію (датчик А1) здійснюємо відвантаження брикету (команда Y3) до спрацювання датчика Б2, після чого повертаємо циліндр відвантаження в початковий стан (вимкнути Y3) до отримання сигналу Б1. Після вимикання модуля затримки часу (YN4) цикл завершено.

Варіант формального опису засобів контролю і керування макромодуля пресу. В системі є 4 функціональних модулі, яким у загальному випадку відповідають 8 команд керування:

Y1 і YN1; Y2 і YN2; Y3 і YN3; Y4 і YN4 .

В залежності від типу керування, деякі з них можуть бути відсутні (YN2 і YN3).
Контроль за відпрацюванням дій:

Основна дія модуля №1 сигнал керування Y1 (рух пресування).

Сигнал контролю за відпрацюванням команди: X1 = A3 * XT1.

Зворотна дія модуля №1 сигнал керування YN1 (повернення).

Сигнал контролю за відпрацюванням: XN1 = A1.

Основна дія модуля №2 сигнал керування Y2, можна вважати, що редукційний клапан виключено з лінії живлення пресу.

Сигнал контролю за відпрацюванням: X2 = Y2+ Δt затримка часу.

Зворотна дія модуля №2 сигнал керування YN2, можна вважати, що редукційний клапан підключено у лінію живлення.

Сигнал контролю за відпрацюванням: XN2 = YN2 + Δt затримка часу.

Основна дія модуля №3 сигнал керування Y3 (відвантаження брикету).

Сигнал контролю за відпрацюванням: X3 = Б2.

Зворотна дія модуля №3 сигнал керування вимкнути Y2 (повернення)

Сигнал контролю за відпрацюванням: XN3 = Б1.

Основна дія модуля №4 сигнал керування Y4, зміст дії: почати відлік часу остаточного пресування.

Сигнал контролю за відпрацюванням: вибіг часу: X4 = XT1.

Зворотна дія модуля №4 сигнал керування YN4, можна вважати, що реле часу вимкнено.

Сигнал контролю за відпрацюванням: XN4 = YN4.

Перехід від системи 4-х модулів до одного макромодуля

Робота пневматичного приводу преса може бути подана у вигляді відпрацювання модулем двох дій: основна дія – початкове та остаточне пресування + відвід пуансона + відвантаження брикету; зворотна дія – перехід привода відвантаження в початковий стан. Основна дія макромодуля преса (з використанням наведених позначень) має вигляд наступної послідовності дій:

$$YM = Y1,Y3 \rightarrow YN3,Y4 \rightarrow YN1 \rightarrow Y2.$$

Сигнал контролю основної дії має вигляд: XM = X2.

Зворотна дія макромодуля преса складають дві дії:

$$YNM = \rightarrow YN2 \rightarrow YN4.$$

Сигнал контролю зворотної дії має вигляд: XNM = XN4.

Логічні умови взаємозв'язку складових дій макромодуля визначаємо за правилами логічного синтезу систем 1-3-го класів (5-й модуль – додатковий елемент пам'яті):

Y1 = YM * XN4;

Y2 = XN1 * X5;

Y3 = YM * XN4 * XN5;

Y4 = X5;

Y5 = X1 * X3;

YN1 = XN3 * X4;

YN2 = XNM*XN5;

YN3 = X5;

YN4 = XN2*XN5;

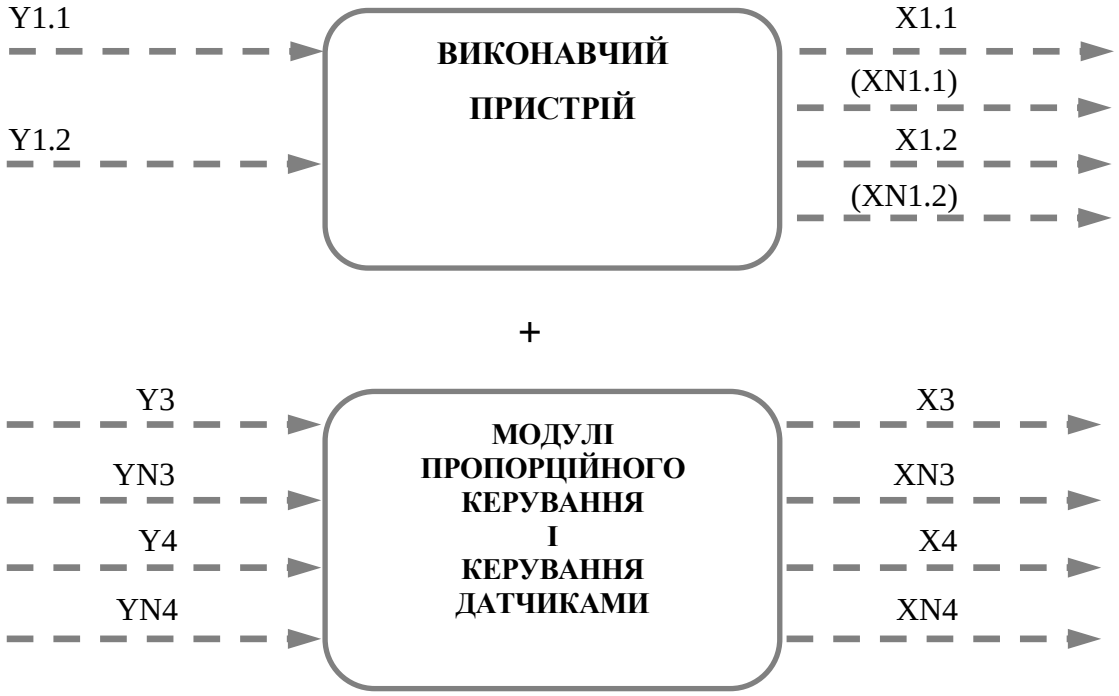
YN5 = X2.

ПРИМІТКА. Розподіл циклу дії макромодуля на «основну» дію і «зворотну» дію може спиратись на вироблення продукції: коли продукція макромодуля стає доступною для оточення макромодуля – вважаємо, що основна дія відпрацьована. Залишок невиконаних за циклом дій відносимо до зворотної дії макромодуля.

ПРИМІТКА. При ототожненні сигналу команди і сигналу стану (наприклад, «XN2 = YN2+ затримка часу) фактично затримка часу може бути відсутня, якщо швидкодія пристрою дозволяє нею нехтувати (у порівнянні з часом відпрацювання інших дій). Наприклад, час перемикання електропневмоклапана може складати соті долі секунди – тоді затримка часу не має змістовного значення. Але неконтрольований час зупинки гідромотора з великою рухомою масою бажано враховувати. Навіть після подачі сигнала перемикання клапана, якщо що відбувався рух із великою масою і швидкістю, до припинення руху пройде деякий час. Клапан для цього випадку буде спеціально «задемпфований», тобто з уповільненим спрацюванням, яке забезпечить плавне гальмування. Миттєве перекриття руху рідини при значній рухомій масі призведе до аварійного закиду тиску і руйнування гідравлічних ліній.

4.4. МАКРОМОДУЛІ ІЗ ПРОПОРЦІЙНИМ КЕРУВАННЯМ

4.4.1. Макромодуль гідравлічного приводу з пропорційним керуванням швидкістю (Приклад №10)



ПРИЗНАЧЕННЯ: лінійне переміщення вихідної ланки з різними фіксованими значеннями швидкості, наприклад, інструмента металообробного верстату.

МАКРОМОДУЛЬ «привід з пропорційним керуванням швидкістю**»**

СКЛАД: Керування : клапан 4/3 пропорційний (зміна напряму, швидкості, зупинка).
: задатчик сигналів з дискретними входами.
Виконання : циліндр двосторонньої дії.

Контроль : датчики положення чи сенсори – 3 (…n) шт.
: модулі керування датчиками – 1 (…n) шт.

Для забезпечення декількох рівнів швидкості руху вихідної ланки може бути застосований варіант дискретного перемикання витрати, а може бути використано пропорційне керування [12, 30, 31]. Останнє, завдяки регулюванню сили струму в обмотках електромагнітів, дозволяє не тільки переміщувати золотник, але і утримувати його в проміжних положеннях, тобто змінювати гідравлічний опір клапану. Саме це забезпечує зміну площі прохідного отвору та відповідну зміну витрати. Тобто, розподільник з пропорційним керуванням об’єднує дві функції – зміну напрямку руху рідини і зміну витрати (рис. 4.10).

Аналогічне рішення може бути побудовано за принципом дискретного перемикання тиску, яке використано в модулі багатошвидкісного гідроприводу.

Застосування розподільника з пропорційним керуванням дозволяє зменшити кількість обладнання з одночасним збільшенням кількості рівнів швидкості, і навіть завданням певної функції зміни швидкості у часі чи в функції координати вихідної ланки. Це дозволяє запобігати закиду тиску при гальмуванні значних рухомих мас. Проте, застосування іншого, у порівнянні з дискретним, типу керування призводить до значного здороження і суттєвого ускладнення системи керування (додаткова електронна частина системи керування, захист від електромагнітних хвиль, підвищені вимоги до чистоти рідини та діапазону температур).

Зміну швидкості руху вихідної ланки забезпечує зміна значення струму керуючого сигналу, що надходить до електромагнітів клапану. Таке керування може бути забезпечено декількома способами. Наприклад, за допомогою алгоритму керування аналоговими виходами контролера, або формуванням циклограми зміни сигналів на підсилювачі. Ще один варіант – це зміна рівня сигналу за рахунок керування дискретними входами задатчика.

Використання розподільника з пропорційним керуванням і задатчика з дискретними входами для керування швидкістю може бути застосовано в гідроприводі повздовжньої подачі шліфувального верстату. Кожний рівень струму, що надходить до електромагніту, відповідає певному вхідному сигналу на дискретних входах задатчика, наприклад (табл. 4.1, рис. 4.10).

Таблиця .4.1

Циклограма сигналів дискретних входів

Режим швидкості	1	2	3	4	5
Напрямок руху	→	→	Зупинка	←	Зупинка
Дискретний вхід, №	1	2	-	3	-
Струм керування	700mA	350mA	0	800mA	0

Структура макромодуля (мінісистеми) складається з чотирьох модулів. Перший модуль забезпечує швидкий підвід з швидкістю Vшп, рух відбувається в напрямку вперед від датчика ХА до датчика ХБ.

Другий модуль забезпечує робочу подачу зі швидкістю Vрп при русі вперед від датчика ХБ до датчика ХВ.

Третій модуль забезпечує повернення приводу у початкове положення зі швидкістю Vпп.

Четвертий модуль під’єднує/від’єднує датчик ХБ.

За такою структурою система макромодуля налічує 4 модуля з двома командами керування (вмикання/вимикання) для кожного модуля:

Y1.1 і YN1.1; Y1.2 і YN1.2; Y2 і YN2; Y3 і YN3 .

Формальний опис процесу роботи макромодуля

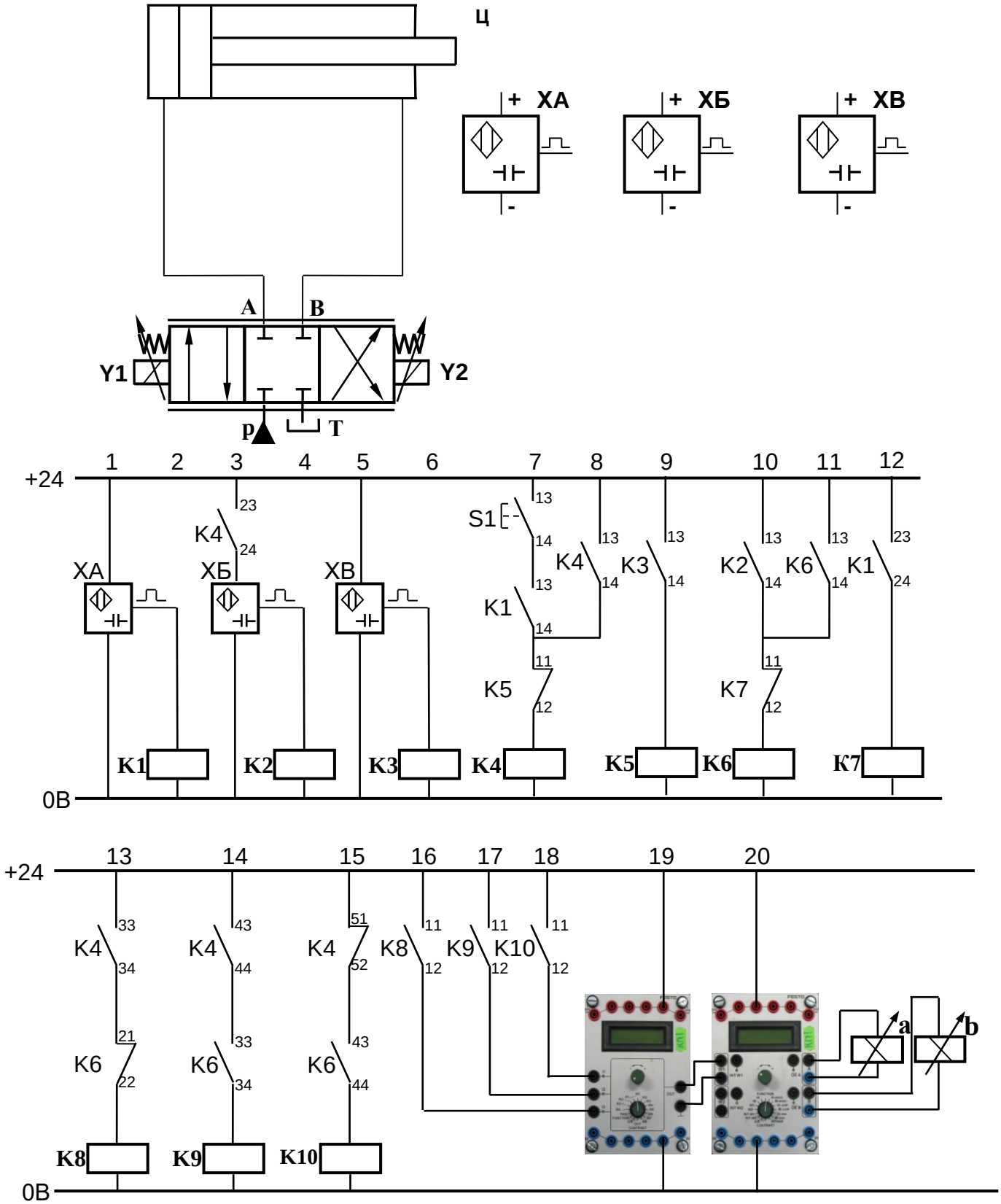


Рис. 4.10. Схема макромодуля гідроприводу та системи керування з пропорційним клапаном і задатчиком струму з дискретними входами

В початковому стані вихідна ланка нерухома і знаходиться в позиції датчика ХА. Клапан обіймає середнє положення, витрата відсутня (рис. 4.10).

Перший крок – вмикання сигналу керування Y1.1, що призводить до подачі на магніт струму із значенням К1, і одночасне надання живлення до датчика ХБ (сигнал керування Y3). Після цього відбувається рух вихідної ланки від датчика ХА до датчика ХБ зі швидкістю Vшп.

Другий крок – при отриманні сигналу від датчика ХБ вимикаємо модуль 1.1 – (вимикаємо швидкість підводу, сигнал керування YN1.1), та задаємо швидкість робочої подачі Vрп (вмикаємо модуль 1.2 – сигнал керування Y1.2, значення струму змінюється на К2).

Третій крок – при отриманні сигналу від датчика ХВ (прямий хід відпрацьовано) вимикаємо модуль 1.2, сигнал керування YN1.2. Одночасно вимикаємо 3-й модуль (сигнал YN3), тим самим прибираємо живлення від датчика ХБ (для запобігання хибного спрацювання під час повернення приводу в початковий стан).

Четвертий крок – повертаємо привід у початковий стан (сигнал керування Y2, рівень струму К3).

П’ятий крок – при отриманні сигналу від датчика ХА рух повернення відпрацьовано – вимикаємо модуль 2 за допомогою сигналу керування YN2. Цикл завершено.

Контроль відпрацювання дій (можливий варіант)

Подано сигнал керування Y1.1, вважаємо, що увімкнуто рух вперед з першим значенням швидкості. Сигнал контролю щодо відпрацювання цього руху приймаємо: X1.1 = ХБ.

Подано сигнал керування YN1.1, тобто має бути вимкнено рух з першим значенням швидкості при русі вперед. Сигнал контролю за відпрацюванням цієї дії запізнюється за сигналом керування на час перемикання клапану, приймаємо: XN1.1 = YN1.1+ Δt – затримка у часі.

Подано сигнал керування Y1.2, здійснює рух вперед з другим значенням швидкості. Сигнал контролю за відпрацюванням дії приймаємо: X1.2 = ХВ.

Подано сигнал керування YN1.2, тобто має бути вимкнено рух з другим значенням швидкості при русі вперед. Сигнал контролю за відпрацюванням дії: XN1.2=YN1.2 + Δt – затримка у часі.

Подано сигнал керування Y2, тобто має бути виконано рух повернення у початкову позицію. Сигнал контролю за відпрацюванням повернення: X2 = ХА.

Подано сигнал керування YN2, тобто має бути вимкнено рух повернення. Сигнал контролю за відпрацюванням руху: XN2 = YN2 + Δt – затримка у часі (перемикання клапану + зупинка рухомих мас).

Подано сигнал керування Y3, тобто підключено живлення до датчика ХБ. Сигнал контролю за відпрацюванням дії ототожнюємо з сигналом команди, нехтуючи часом перемикання електрореле: X3 = Y3.

Подано сигнал керування YN3, тобто прибрано живлення від датчика ХБ. Сигнал контролю за відпрацюванням дії ототожнюємо з сигналом команди,

нехтуючи часом перемикання електрореле: XN3 = YN3.

Перехід від системи керування 4-х модулів до макромодуля

Спочатку роботу макромодуля зображуємо у вигляді послідовності дій (див. приклад №8) :

основна дія – підвід інструмента та робоча подача;

зворотна дія – перехід всіх компонентів в початковий стан.

З використанням вище застосованих умовних позначень основна дія гідроприводу шліфувального верстату має вигляд наступної послідовності дій:

$$YM = Y1.1, Y3 \rightarrow YN1.1, Y1.2 \rightarrow YN1.2, YN3.$$

Сигнал контролю щодо відпрацювання основної дії має вигляд:

$$XM = XN1.2 * XN3 * X4.$$

Зворотну дію макромодуля складають дві дії:

$$YNM = Y2 \rightarrow YN2.$$

Сигнал контролю щодо відпрацювання зворотної дії має вигляд:

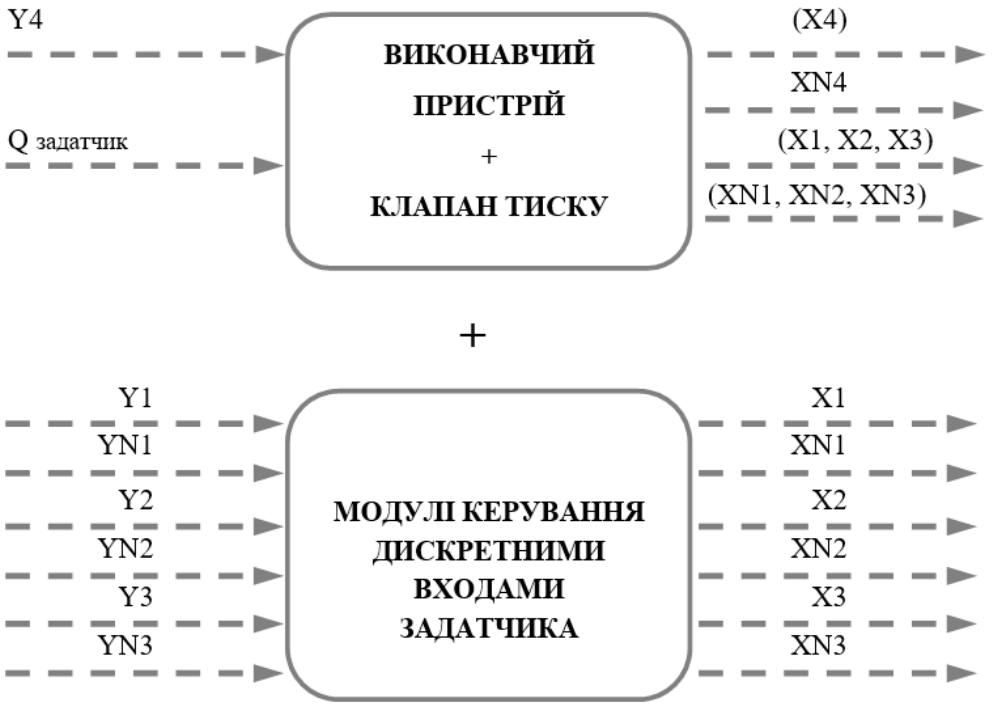
$$XNM = XN2 * XN4.$$

Логічні умови щодо виконання інших дій у складі макромодуля отримуємо за правилами логічного синтезу систем 1 … 3-го класів (4-й і 5-й модулі – додаткові елементи пам’яті):

Y1.1 = X5;	YN1.1 = XN5;
Y1.2 = XN5 * X3 * XN4;	YN1.2 = X4;
Y2 = YNM * XN1.2 * XN3 * X4;	YN2 = XN4;
Y3 = X5;	YN3 = X4;
Y4 = XN1.1 * X1.2;	YN4 = X2;
Y5 = YM * XN2 * XN4 * XN3;	YN5 = X1.1 * X3.

ПРИМІТКА Примітка. За аналогічним принципом може бути побудовано макромодуль з іншою кількістю значень швидкості. Якщо в задатчику 2 дискретних входи, то їм відповідає 4 комбінації вхідних сигналів, тобто можна отримати чотири значення струму сигналів керування.

4.4.2. Макромодуль гідравлічного приводу пресу з пропорційним керуванням зусиллям (Приклад 11)



ПРИЗНАЧЕННЯ: лінійне переміщення вихідної ланки з декількома фіксованими значеннями зусилля, наприклад, привод з підводом пуансона та зусиллям пресування.

СКЛАД:	Керування	клапан 4/2 моностабільний (зміна напряму).
	Виконання	циліндр двосторонньої дії.
		клапан тиску з пропорційним керуванням.
	Контроль	датчики положення чи сенсори – 3 (…n) шт.
		реле тиску – 1 шт.
		модулі керування дискретними входами – 3 шт.

При пресуванні металевих відходів, за відомою технологією, необхідно забезпечувати різні рівні зусилля. Для цього використовують гідропривід з керованим значенням тиску, що може бути забезпечено дискретним перемиканням або пропорційним керуванням [60, 74, 116, 141, 155]. При роботі привод забезпечує підвід пуансона до зони пресування (від датчика ХА до датчика ХВ при значенні тиску p1, рис. 4.11).

Далі відбувається попереднє ущільнення відходів з номінальним зусиллям (під тиском p2 до позиції датчика ХС). Після цього тиск пресування

набуває максимального значення (тиск пресування p3) і процес ущільнення триває до досягнення максимального зусилля з наступною часовою витримкою (реле тиску - сигнал XD, реле часу T1 налаштоване на час витримки під зусиллям). Після відпрацювання операції пресування привод повертає пуансон в початкову позицію (спрацьовує датчик XA).

Вирішення цієї задачі може бути побудовано за принципом дискретного перемикання тиску, яке використано в прикладі модуля пневматичного пресу. Застосування клапану тиску з пропорційним керуванням дозволяє зменшити кількість обладнання з одночасним збільшенням кількості рівнів зусилля, або завданням певної функції змін зусилля за часом чи в функції координати пуансона (рис. 4.11). Проте, застосування іншого, у порівнянні з дискретним, типу керування призводить до ускладнення системи керування (додаткова електронна частина системи керування, підвищені вимоги до чистоти рідини та її температури).

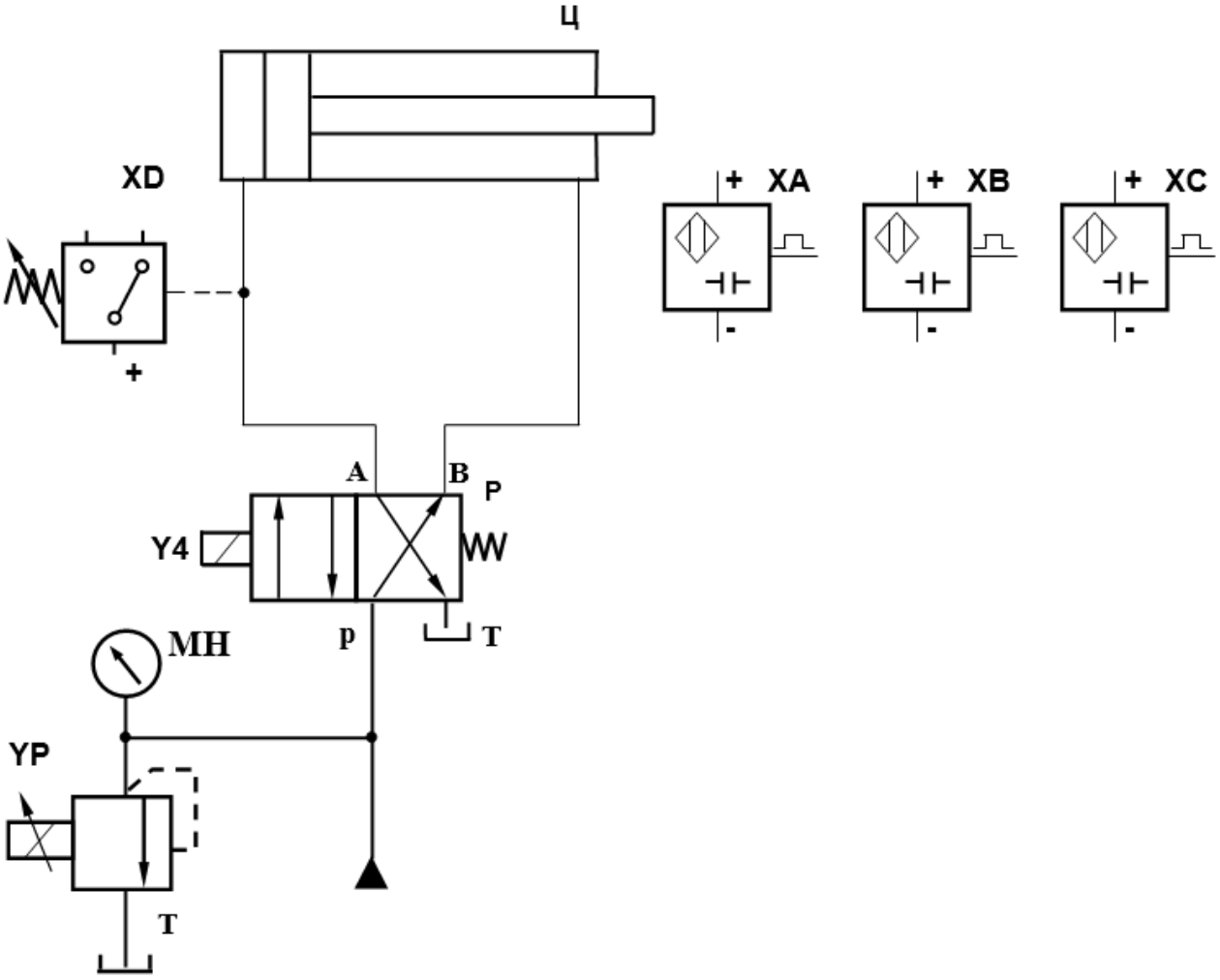


Рис. 4.11. Схема макромодуля гідравлічного приводу пресу з клапаном тиску з пропорційним керуванням і зміною зусилля в контрольованих позиціях XA, XB і XC та витримкою часу для остаточного пресування по отриманні сигналу від реле тиску XD

Забезпечення руху вихідної ланки з різними значеннями зусилля здійснюється за рахунок зміни тиску, а зміну тиску забезпечують різні рівні сигналу керування (струму) пропорційного магніту клапана тиску **YP**.

Зміна сигналу керування може бути виконана так само, як і в прикладі-аналогу з використанням задатчика з дискретними входами (див. табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Циклограма сигналів дискретних входів

Режим зусилля	P1	P2	P3	P1
Напрям руху	→	→	→	←
Дискретний вхід, №	1	2	3	1
Струм керування (YP)	250mA	600mA	800mA	250mA

За описом роботи гідропривід пресу є аналогічним до пневмоприводу преса з дискретним перемиканням рівнів тиску. При русі пуансона повз датчик положення XB рух не припиняється, але здійснюється зміна рівня тиску (струм сигналу керування 600mA). Необхідна кількість рівнів тиску, їх значення та параметри, що викликають їх перемикання, визначають умови застосованої технології.

Система може бути складена з трьох модулів керування зусиллям (тиском) і модуля керування рухом.

Структура макромодуля (системи) складається з чотирьох модулів. Перший модуль забезпечує мінімальний рівень тиску при підводі пуансона до позиції початку пресування (від датчика XA до датчика XB), і при поверненні пуансона (до датчика XA). Зусилля задає сигнал керування на дискретний вхід 1 (струм живлення 250mA).

Другий модуль забезпечує зусилля попереднього пресування при русі вперед (від датчика XB до датчика XC). Зусилля задає сигнал керування на дискретний вхід 2 (струм живлення 600mA).

Третій модуль забезпечує номінальне зусилля пресування при русі вперед (від датчика XC до спрацювання реле тиску XD). Зусилля задає сигнал керування на дискретний вхід 3 (струм живлення 800mA).

Четвертий модуль керує напрямом руху пуансона від датчика XA до спрацювання реле тиску XD, та поверненням в початковий стан до датчика XA.

За такою структурою система макромодуля налічує 4 модуля з двома командами керування (вмикання/вимикання) для кожного (3 модулі керування зусиллям (тиском), які керують клапаном тиску, і модуль керування рухом). Оскільки модулі керування зусиллям надають бінарні сигнали на задатчик, то їх реалізовано за допомогою елементів пам’яті. Кожному з цих модулів відповідає по дві команди керування.

Для модуля руху, враховуючи моностабільний клапан 4/2, достатньо одного сигналу керування, але сигнал зворотної команди буде використано для опосередкованого контролю виконання дії:

тиск: Y1 і YN1, Y2 і YN2, Y3 і YN3;

рух: Y4 і YN4.

Опис процесу роботи макромодуля

В початковому стані вихідна ланка нерухома і знаходиться в позиції датчика ХА, доки не буде подано зовнішній сигнал керування S1.

Перший крок - макромодуль починає роботу з вмикання руху вперед (сигнал керування Y4=1) при мінімальному рівні зусилля (увімкнуто елемент пам'яті Y1, його вихідний сигнал X1 подано на дискретний вхід 1. Відбувається рух пуансона від датчика ХА до датчика ХВ з мінімальним зусиллям (струм живлення 250mA).

Другий крок – по отриманню сигналу від датчика ХВ вимикаємо перший рівень зусилля (елемент пам'яті: Y1=0, YN1=1) і одночасно вмикаємо другий рівень зусилля (елемент пам'яті: Y2=1, YN2=0), вихідний сигнал X2 надходить на дискретний вхід 2 задатчика, що спричиняє зміну струму живлення магніту на 600mA. Рух триває до датчика ХС.

Третій крок - по отриманню сигналу від датчика ХС здійснюється вимикання другого рівня зусилля (елемент пам'яті: Y2=0, YN2=1) і одночасно вмикаємо третій рівень зусилля (елемент пам'яті: Y3=1, YN3=0), вихідний сигнал X3 надходить на дискретний вхід 3 задатчика, що спричиняє зміну струму живлення магніту на 800mA. Рух триває до спрацювання реле тиску XD.

Четвертий крок – по отриманню сигналу від реле тиску XD вмикаємо витримку часу T1. Рух триває до спрацювання реле часу T1.

П'ятий крок - по отриманню сигналу від таймера T1 (вичерпано час остаточного пресування) здійснюється вимикання третього рівня зусилля (елемент пам'яті: Y3=0, YN3=1), вмикаємо перший рівень зусилля (елемент пам'яті: Y1=1, YN1=0), його вихідний сигнал X1 подано на дискретний вхід 1. Одночасно вмикаємо рух повернення (сигнал Y4=0) від поточного положення до вихідного положення – до датчика ХА, з мінімальним тиском (струм живлення 250mA).

Шостий крок - по отриманню сигналу від датчика ХА здійснюється вимикання першого рівня зусилля (елемент пам'яті: Y1=0, YN1=1). Експлуатаційний цикл відпрацьовано.

Для наведеного варіанту гідроприводу преса, так само, як і для багатошвидкісного приводу, не існує однозначного формального опису системи макромодуля, але вимогами залишаються коректність і повнота опису.

В наведеному прикладі розглядатимемо гідроциліндр як реверсивний гідромотор поступової дії. Для нього є актуальними дві дії та дві команди щодо їх відпрацювання: рух вперед, рух повернення. Застосуємо опосередкований контроль до виконання вказаних команд: сигнали стану (здійснюється такий рух чи інший рух, чи рух відсутній) ототожнимо з сигналами команд: X4 = Y4; XN4 = YN4 (для моностабільного варіанту можливо XN4 = N Y4). Якщо команда подана, то вважаємо, що вона виконана.

Вмикання та вимикання модулів зусилля здійснено за допомогою 3-х елементів пам'яті, які активізують дискретні входи задатчика сигналів до пропорційного магніту. В ланцюгах живлення дискретних входів встановлено відповідні ключі: I1 – X1 (нормально розімкнутий), I2 – X2 (нормально розімкнутий), I3 – X3 (нормально розімкнутий). Контроль щодо відпрацювання

пресування з різним зусиллям здійснено за допомогою датчиків завершення етапів пресування з додатковими логічними умовами, наприклад, X2 = XC * Y2: спрацював датчик XC при одиничному значенні сигналу Y2.

Формальний опис процесу дій макромодуля.

Перший перехід: початковий стан і зовнішній сигнал S1 = 1:

- Вмикаємо рух вперед пуансона: (Y4=1),
- Вмикаємо перший рівень зусилля: (Y1=1),
- Контроль вмикання руху вперед: X4 = Y4;
- Контроль відпрацювання пресування з першим рівнем зусилля:

X1 = XB*Y1*Y4 = 1.

Другий перехід:

- Вимикаємо перший рівень зусилля (Y1=0, YN1=1),
- Вмикаємо другий рівень зусилля (Y2=1),
- Контроль вимикання першого рівня зусилля: X1=0,
- Контроль відпрацювання пресування з другим рівнем зусилля:

X2 = XC*Y2 = 1.

Третій перехід:

- Вимикаємо другий рівень зусилля (Y2=0, YN2=1),
- Вмикаємо третій рівень зусилля (Y3=1),
- Контроль вимикання другого рівня зусилля: X2=0,
- Контроль відпрацювання пресування з третім рівнем зусилля:

X3 = XD* Y3+T1 = 1.

Четвертий перехід:

- Вимикаємо третій рівень зусилля (Y3=0, YN3=1),
- Вмикаємо перший рівень зусилля: (YN1=0, Y1=1),
- Вмикаємо рух повернення: (Y4=0),
- Контроль вимикання третього рівня зусилля: X3=0,
- Контроль відпрацювання повернення з першим рівнем зусилля:

X1=XA*Y1*(N Y4),

- Контроль вмикання руху повернення: XN4 = N Y4.

П’ятий перехід (початковий стан):

- Вимикаємо перший рівень зусилля (Y1=0, YN1=1),
- Контроль вимикання першого рівня зусилля: XN1=0.

Перехід від системи керування 5-ти модулів до макромодуля

Робота гідроприводу преса може бути зображена двома послідовностями дій: основна дія гідроприводу преса YM – пресування, зворотна дія гідроприводу преса YNM – перехід в початковий стан. Відповідно до правил логічного синтезу розроблені послідовності дій потребують доповнення елементами пам’яті 5, 6 і 7 (для забезпечення логічної визначеності) (рис. 4.12).

Основна дія макромодуля:

YM = Y1,Y4 $\rightarrow$ Y5 $\rightarrow$ YN1,Y2 $\rightarrow$ Y6 $\rightarrow$ YN2,Y3 $\rightarrow$ Y7.

Сигнал контролю за відпрацюванням основної дії : XM = X7.

Зворотна дія макромодуля:
YNM = YN3,YN4,Y1 $\rightarrow$ YN5 $\rightarrow$ YN1 $\rightarrow$ YN6 $\rightarrow$ YN7 .
Сигнал контролю відпрацювання зворотної дії XNM = XN7.

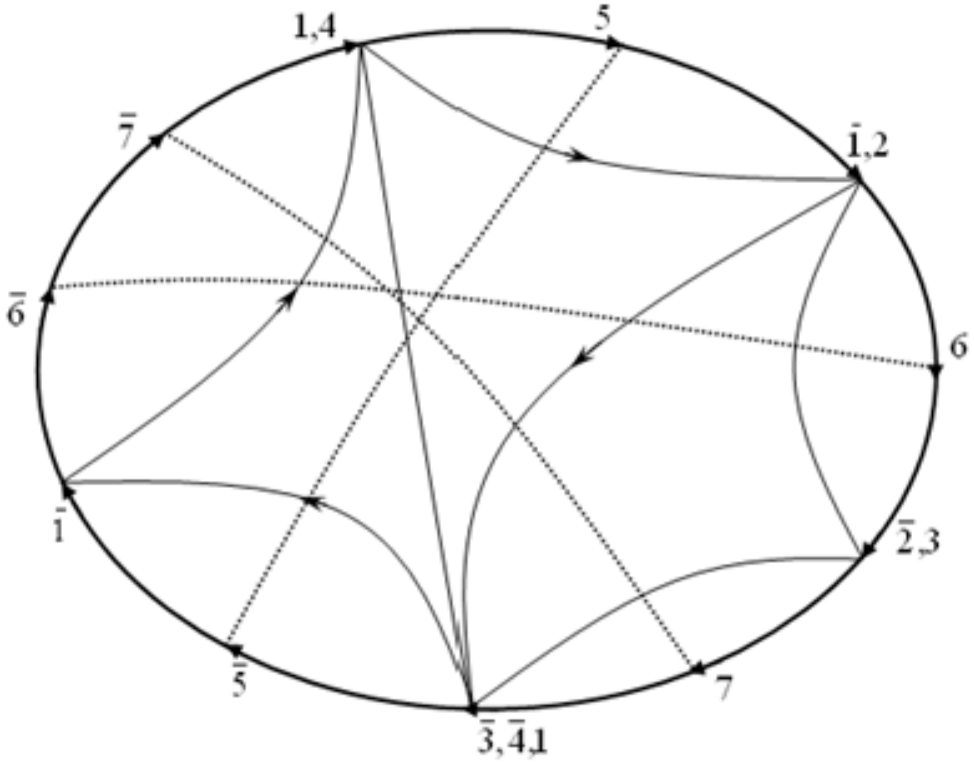


Рис. 4.12. Функціональний граф послідовності дій гідроприводу преса

ПРИМІТКА. Розподіл циклу дії макромодуля на «основну» дію та «зворотну» дію може базуватись на процесі формування продукції: коли результат роботи макромодуля є придатним для переходу до наступних операцій – вважаємо, що «основна» дія виконана. Залишок дій макромодуля відносимо до «зворотної» дії.

Логічні умови щодо виконання дій інших пристроїв макромодуля будуємо за правилами логічного синтезу (5-й, 6-й і 7-й модулі – додаткові елементи пам'яті, 1-й модуль багаторежимний, рис. 4.12, табл. 4.3):

$$Y_1 \Leftarrow Y_M * X_{\bar{7}} * X_{\bar{5}} + Y_{\bar{M}} * X_7 * X_5 \qquad Y_{\bar{1}} \Leftarrow X_5 * X_{\bar{6}} + X_{\bar{5}} * X_6$$

$$Y_2 \Leftarrow X_5 * X_{\bar{6}} \qquad Y_{\bar{2}} \Leftarrow X_6$$

$$Y_3 \Leftarrow X_6 * X_{\bar{7}} \qquad Y_{\bar{3}} \Leftarrow Y_{\bar{M}} * X_7$$

$$Y_4 \Leftarrow Y_M * X_{\bar{7}} \qquad Y_{\bar{4}} \Leftarrow Y_{\bar{M}} * X_7$$

$$Y_5 \Leftarrow X_1 * X_4 \qquad Y_{\bar{5}} \Leftarrow X_1 * X_{\bar{3}} * X_{\bar{4}}$$

$$Y_6 \Leftarrow X_{\bar{1}} * X_2 \qquad Y_{\bar{6}} \Leftarrow X_{\bar{1}} * X_{\bar{5}}$$

$$Y_7 \Leftarrow X_{\bar{2}} * X_3 \qquad Y_{\bar{7}} \Leftarrow X_{\bar{6}}$$

Або для алгоритму керування :

Y1 = YM * XN7 * XN5 + YNM *X7 * X5; YN1 = X5 * XN6 + XN5 * X6;
Y2 = X5 * XN6 ; YN2 = X6;
Y3 = X6 * XN7; YN3 = YNM * X7;
Y4 = YM * XN7; YN4 = YNM * X7;
Y5 = **X1** * **X4**; YN5 = **X1** * XN3 * XN4;
Y6 = XN1 * **X2**; YN6 = XN1 * XN5;
Y7 = XN2 * **X3**; YN7 = XN6.

Система керування включатиме (рис. 4.13, табл. 4.3):

- три елементи пам'яті - керування рівнем зусилля,
- один елемент пам'яті – керування напрямом руху,
- три додаткових елементи пам'яті, забезпечують логічну визначеність,
- три додаткових реле для зчитування сигналів від датчиків положення,
- одно додаткове реле та реле часу (таймер) для зчитування сигналів від датчика тиску та затримки часу для дії остаточного пресування.

Таблиця 4.3

Опис складових макромодуля

Модуль	Режим	Контроль основної дії	Коментар	Контроль зворотної дії	Коментар
1	1	XB*Y1'*Y4= XB* YM * XN7 * XN5* YM * XN7= XB* YM * XN7 * XN5	Сигнал датчика XB при зусиллі Y1 при русі вперед Y4	XN1 = YN1	Стан елемента пам'яті першого рівня зусилля
1	2	XA*Y1"*YN4= XA*YNM *X7 * X5 *YNM * X7 = XA*YNM *X7 * X5	Сигнал датчика XA при зусиллі Y1 при русі повернення YN4	XN1 = YN1	Стан елемента пам'яті першого рівня зусилля
2	1	XC* Y2= XC* X5 * XN6	Сигнал датчика XC при зусиллі Y2	XN2 = YN2	Стан елемента пам'яті другого рівня зусилля
3	1	XD *T1* Y3= XD*T1 *X6 * XN7	Сигнал реле тиску XD Із затримкою часу T1 при зусиллі Y3	XN3 = YN3	Стан елемента пам'яті третього рівня зусилля
4	1	X4 = Y4	Стан елемента пам'яті напряму руху	XN4 = YN4	Стан елемента пам'яті напряму руху

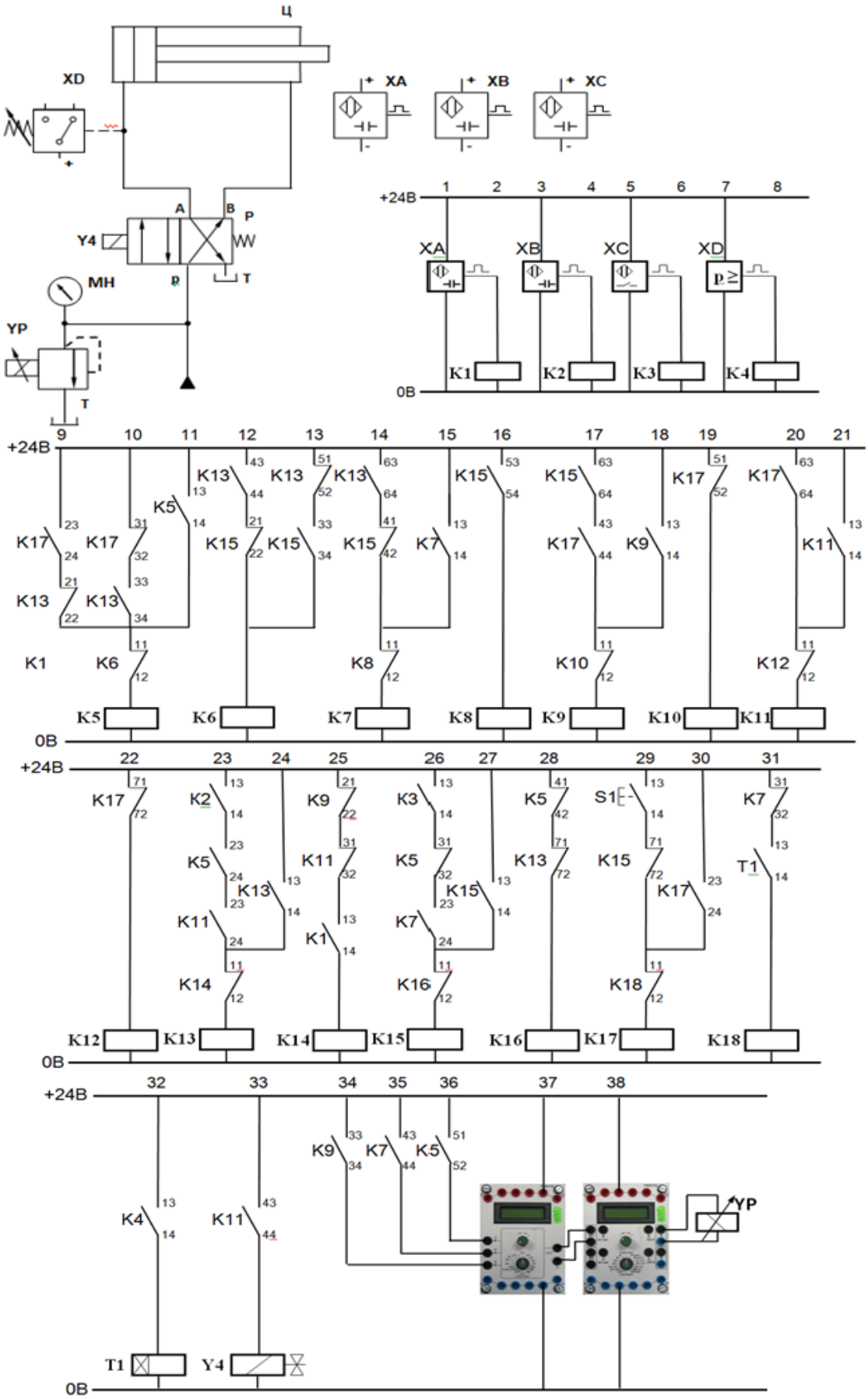


Рис. 4.13. Схема гідравлічного привода пресу та приклад реалізації автоматичної зміни зусилля пресування

ПРИМІТКА. Використання сигналу від датчика положення без припинення руху призводить до того, що сигнал з'являється і зникає. Необхідно його запам'ятати, або врахувати це в інакший спосіб при складанні логічних умов команд керування. Короткостроковий сигнал непридатний для використання в командах при моностабільному керуванні без його подовження.

Особливої уваги заслуговують сигнали опосередкованого контролю за відпрацюванням дій модулів (в виразах команд вони підкреслені). Сигнал **X1** першого режиму (пресування) і другого режиму (повернення пуансона), сигнали **X2** і **X3** (другий та третій рівні зусилля) та **X4** – контроль руху вперед. Усі вони фактично є не сигналами, а логічними функціями. Цим функціям необхідно надати коректні вирази та здійснювати їх коректне використання. Тобто вираз, що його побудовано, має відповідати задачі щодо його використання в командах керування.

При складанні схеми системи керування (рис. 4.13) або розробці алгоритму керування найпростішим є використання сигналів від елементів пам'яті (модулі 5, 6 та 7). Сигнали вимикання рівнів зусилля є так само елементами пам'яті (модулі 1, 2 та 3). Тобто для зміни налаштування тиску на дискретні входи через ключі К5, К7 і К9 потрібно подати певну комбінацію сигналів (табл. 4.2). Так для мінімального тиску сигнал має бути поданим на К5, а лінії К7 і К9 мають бути відімкнені.

ПРИМІТКА. При ототожненні сигналу команди з сигналом контролю (наприклад, «XN3 = YN3 + затримка у часі») затримка у часі може бути відсутня, якщо швидкодія перемикання пристрою дозволяє нею знехтувати (у порівнянні з часом відпрацювання інших дій). Наприклад, час перемикання електропневмоклапану може складати соті долі секунди – тоді затримка часу може не мати принципового значення, якщо паралельно відбувається виконання робочого руху технологічним інструментом. Але час зупинки потужного гідромотора, що приводить в рух транспортер з великим інерційним навантаженням, бажано врахувати.

Схему системи макромодуля зручно розглядати за частинами з певним впорядкуванням. Перша частина схеми (рис. 4.13) відповідає апаратній частині системи керування модуля. Друга частина забезпечує попередню обробку сигналів контролю та зовнішніх сигналів керування. На третю частину припадають елементи пам'яті системи та основна частина команд логічного керування. Четверта частина вміщує схеми під'єднання магнітів керуючих пристроїв, та керування дискретними входами задатчика сигналів для клапанів з пропорційним керуванням.

4.5. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ МОДУЛІ

4.5.1. Модуль лінійного переміщення електромеханічний (приклад №12)

ПРИЗНАЧЕННЯ: лінійне переміщення об’єктів вздовж вісей (вертикальної, горизонтальної, похилої) між двома фіксованими позиціями

СКЛАД:	Керування	: блок керування.
	Виконання	: електромотор постійного струму.
		: лінійна механічна передача.
	Контроль	: безконтактний датчик положення – 2 шт.

Модуль лінійного переміщення використовується в задачах автоматизації для виконання лінійного переміщення об’єктів або інструментів [57,58,168]. При поданні сигналу керування переміщенням каретки "вперед" до положення, яке контролюється датчиком крайнього положення, відбувається рух до спрацювання датчика і наступна зупинка. За відсутності сигналу відбувається повернення вихідної ланки до початкового положення.

До складу модуля входять: механічна лінійна передача з кареткою (пасова передача, гвинтова передача, кульково-гвинтова передача); електромотор постійного струму; безконтактні датчики крайніх положень; блок керування (рис. 4.14). Максимальне переміщення каретки регулюється встановленням датчиків крайніх положень, в межах ходу механічної передачі.

Сигнал керування YS (Y1), який керує роботою модуля, формується зовнішньою системою керування (релейна схема керування, мікроконтролер, PLC, промисловий комп’ютер та ін.). Пряма дія модуля відповідає значенню YS=1 – переміщення "вперед"; обернена дія модуля відбувається при YS=0 – переміщення "назад" (повернення в початкове положення).

Сигнал від датчика Xmax (X1) обмежує переміщення "вперед". Коли Xmax=1 відбувається припинення руху і утримання положення, за умови YS=1.

Сигнал від датчика Xmin (XN1) обмежує переміщення "назад". Коли Xmin=1відбувається припинення руху і утримання положення, за умови YS=0. Додатковий зовнішній сигнал S_EM – сигнал екстреної зупинки і повернення в початкове положення.

За одиничним значенням сигналу переривається виконання основної дії і привід повертає каретку у початкове положення. Це відбувається за умов, що S_EM=0 робота модуля керується поточним значенням сигналу керування YS.

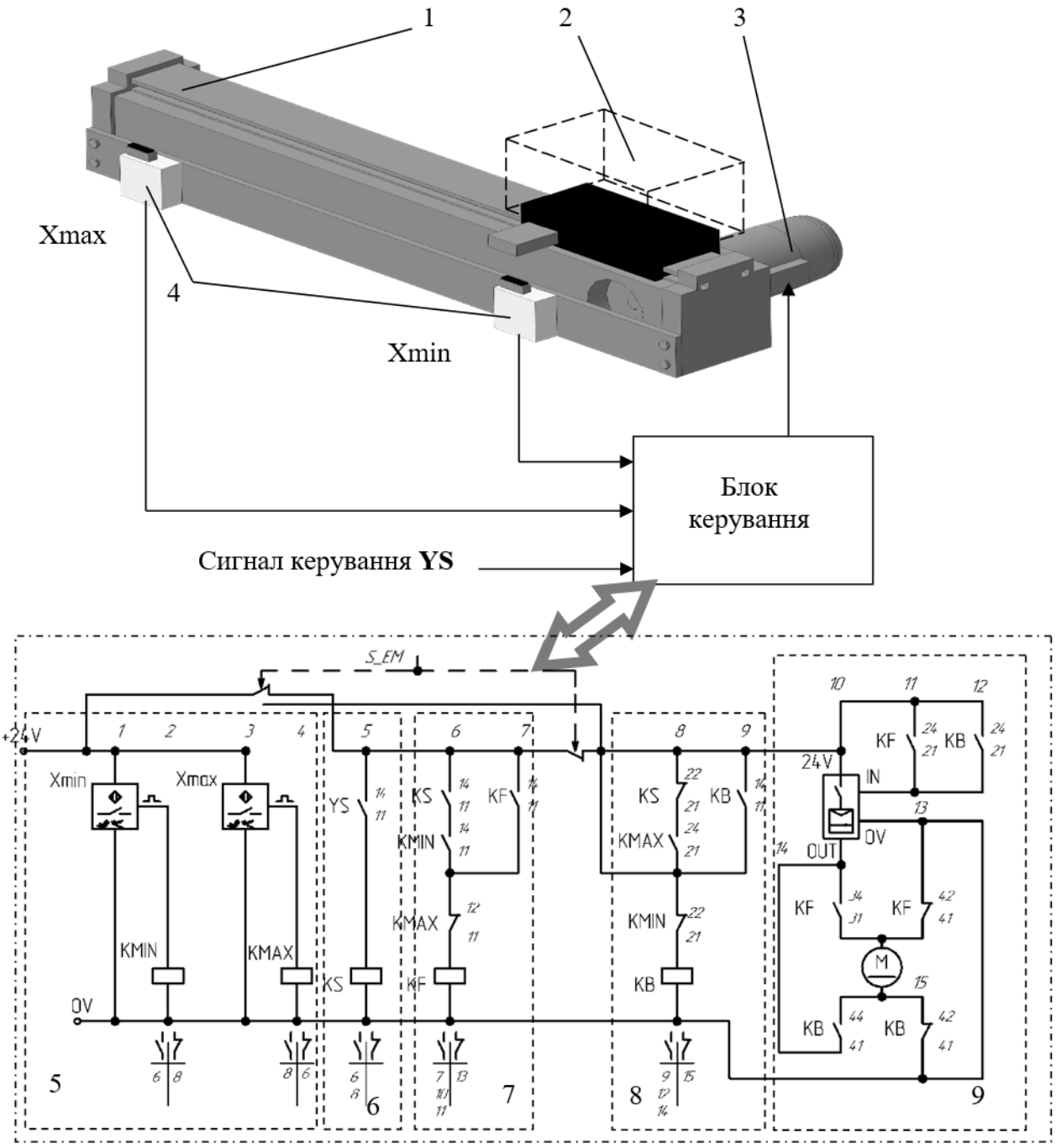


Рис. 4.14. Електромеханічний модуль лінійного переміщення:
1 – механічна лінійна передача; 2 – об'єкт переміщення; 3 – електромотор постійного струму; 4 – безконтактні датчики крайніх положень; 5 –підключення датчиків; 6 – контур формування сигналу керування; 7 – контур керування переміщенням "вперед"; 8 – контур керування переміщенням "назад"; 9 – контур підключення електромотору; S_EM – сигнал екстреної зупинки (примусове повернення у вихідне положення)

Схема блока керування забезпечує наведені варіанти роботи модуля лінійного переміщення (рис. 4.14).

Формування і підтримка команд на переміщення "вперед/назад" здійснюється за допомогою контурів живлення реле.

Реле KF – для переміщення "вперед" (основна дія).

Реле KB – для переміщення "назад", повернення у початкове положення.

В залежності від значень сигналів керування YS і S_EM та значень сигналів контролю Xmin і Xmax модуль виконує наступні дії:

а) YS=1; Xmin=1 – відбувається переміщення "вперед" до отримання системою керування сигналу Xmax=1;

б) YS=1; Xmax=1 – відбувається утримання поточного положення;

в) YS=0; Xmax=1 – відбувається переміщення "назад", до отримання системою керування сигналу Xmin=1;

г) S_EM=1 – примусове переміщення "назад", до отримання сигналу Xmin=1, далі відбувається утримання поточного положення вихідної ланки, а значення сигналу керування YS ігнорується.

Початкове положення каретки відповідає місцю встановлення датчика Xmin. За потреби, початкове положення можна змінити на протилежне, помінявши датчики місцями встановлення. При цьому сигнал YS, на вході в блок керування, має бути інвертовано.

4.5.2. Багатопозиційний модуль лінійного переміщення електромеханічний (Приклад №13)

ПРИЗНАЧЕННЯ: лінійне переміщення об’єкту між позиціями

СКЛАД:	керування	:	блок керування;
	виконання	:	двигун постійного струму з лінійною механічною передачею
	контроль	:	безконтактні датчики положення – 4 шт.

Багатопозиційний модуль лінійного переміщення використовується в технологічних задачах, в яких необхідно забезпечити лінійне переміщення в двох напрямах з можливістю зупинки в проміжних положеннях. Наприклад, сортування деталей по 3-ом або більше лоткам; сортування по коміркам стелажу; переміщення деталі між позиціями обробки, позиціонування маніпулятора складального виробництва.

До складу модуля входять: механічна лінійна передача із кареткою;

електромотор постійного струму; безконтактні датчики положення; блок керування (рис. 4.15).

Максимальне переміщення каретки регулюється встановленням датчиків крайніх положень в межах ходу механічної передачі (Xmin і Xmax).

Зупинка каретки в проміжних положеннях забезпечується за допомогою додаткових датчиків (X1, X2, …), які встановлено на необхідних позиціях зупинки каретки. Необхідна кількість проміжних позицій визначається кількістю датчиків і їх підключенням до блоку керування.

Сигнали увімкнення переміщення «вперед» (YF=1) і «назад» (YF=0) і сигнали, що забезпечують зупинку в проміжних положеннях, формуються зовнішньою системою керування (релейна схема керування, мікроконтролер, PLC, промисловий комп'ютер та ін.).

Вибір позиції зупинки відбувається за допомогою двох додаткових модулів, які вмикають і вимикають проміжні датчики. Сигнал Y1=1 – ввімкнення датчика X1. Сигнал Y2=1 – ввімкнення датчика X2.

У випадку використання алгоритмічного керування може бути використано «маскування» сигналів від проміжних датчиків.

Основна дія відповідає переміщенню в одному з двох напрямків, обернена дія – це зупинка біля датчика.

Основна дія (рух вперед): сигнал YF=1 – переміщення "вперед", зупинка за сигналом від одного із датчиків: X1; X2; Xmax.

Основна дія (рух назад): сигнал YB=1 – переміщення "назад", зупинка за сигналом від одного із датчиків: X2; X1; Xmin.

Сигнали датчиків крайніх положень Xmin и Xmax постійно ввімкнені і зупиняють каретку в крайніх положеннях.

S_EM – додатковий сигнал екстреної зупинки, S_EM=1 – відключення контурів з 7 по 11 (рис. 4.15) від живлення, що призводить до зупинки каретки в поточному положенні. Переміщення у необхідну позицію відбувається після вимкнення сигналу S_EM за допомогою одного із сигналів на переміщення YF чи YB, або в ручному режимі за допомогою кнопок, які їх дублюють (на схемі (рис. 4.15) не позначено).

Команди на рух «вперед» і на рух «назад» не можуть бути подані одночасно. Їх взаємне блокування реалізовано у логічних виразах команд керування.

Команда ввімкнення переміщення "вперед":

$$YF \wedge \overline{YB} \wedge (\overline{X1'} \vee \overline{X2'} \vee \overline{X\max}).$$

Команда ввімкнення переміщення "назад":

$$YB \wedge \overline{YF} \wedge (\overline{X1'} \vee \overline{X2'} \vee \overline{X\min}).$$

Замикання контактів К1 і К2 у контурі 10 (рис. 4.15) відбувається за умов:

для К1: $X1' \Leftarrow [(X1=1)*(Y1=1)]$;

для К2: $X2' \Leftarrow [(X2=1)*(Y2=1)]$.

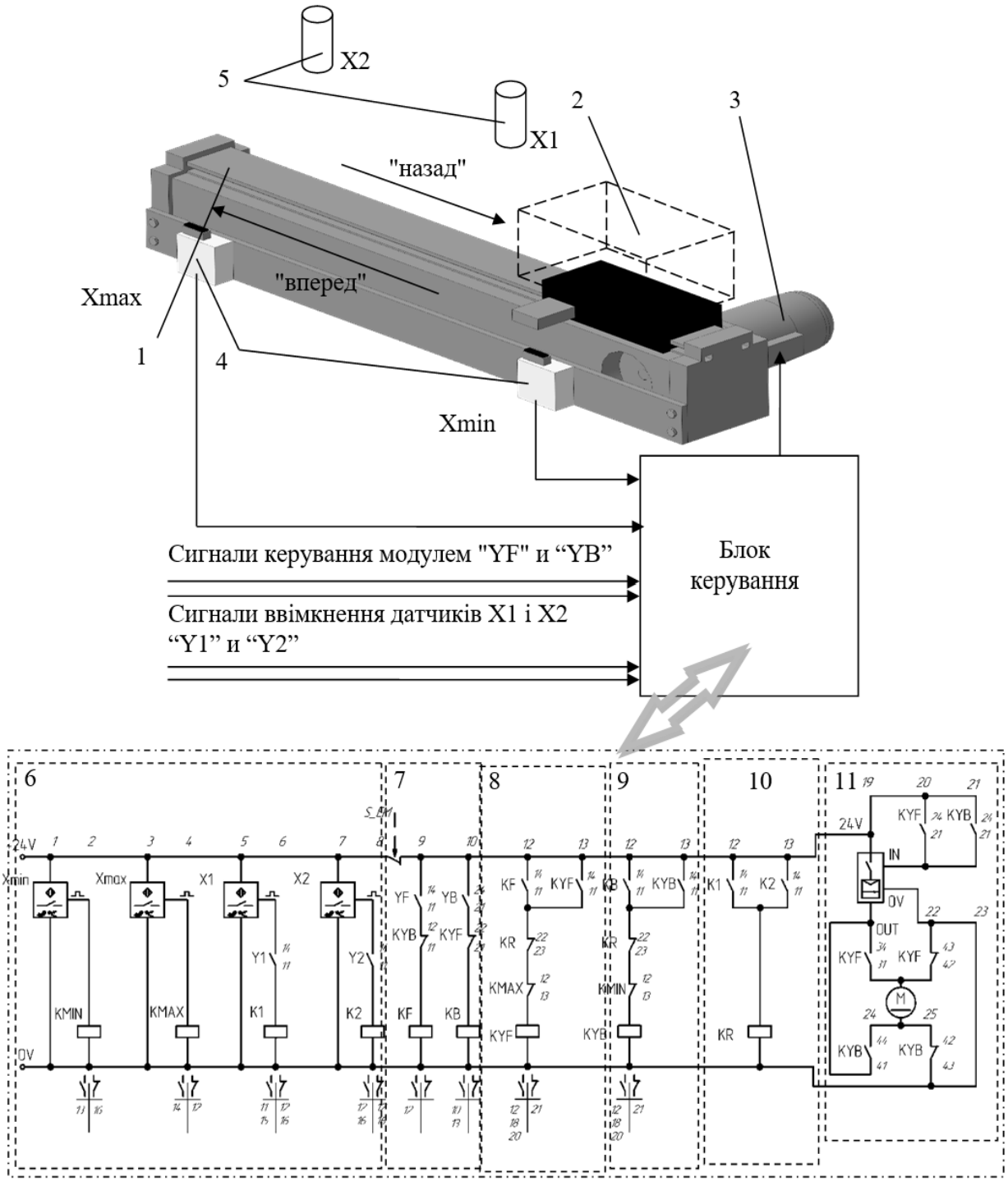


Рис. 4.15. Електромеханічний багатопозиційний модуль лінійного переміщення: 1 – механічна лінійна передача; 2 – об’єкт; 3 – електромотор постійного струму; 4 – безконтактні датчики крайніх положень; 5 – датчики проміжних положень; 6 – підключення датчиків; 7 – контур подачі сигналів на переміщення "вперед/назад"; 8 – контур керування переміщенням "вперед"; 9 – контур керування переміщенням "назад"; 10 – контур зупинки каретки в проміжних положеннях; 11 – контур підключення електромотору; S_EM – сигнал екстреної зупинки

Зупинка і утримання каретки в проміжних положеннях X1 і X2 можлива за будь-якого значення сигналів на переміщення, оскільки контури 8 і 9 (рис. 4.15) розімкнені. Зупинка і утримання каретки в крайніх положеннях

відбувається за умови відсутності сигналу на рух в протилежному напрямку: для положення Xmax – відсутність сигналу YB; для положення Xmin – відсутність сигналу YF.

Початкове положення каретки може відповідати позиції будь-якого з датчиків. Сигнали датчиків мають додатково виводитись на зовнішню систему керування для контролю виконання модулем попередньої дії і контролю повернення у початкове положення.

4.5.3. Електромеханічний модуль поворотного столу нереверсивний (Приклад №14)

ПРИЗНАЧЕННЯ: кругове переміщення деталей між позиціями обробки, з фіксацією положення

СКЛАД:	керування	:	блок керування
	виконання	:	електромотор постійного струму
		:	черв’ячний редуктор
		:	електромеханічний фіксатор
	контроль	:	безконтактний датчик положення – 2 шт.

Для послідовного кругового переміщення деталей або інших об’єктів між позиціями використовуються пневматичні, гідравлічні, електромеханічні поворотні столи. Поворот стола забезпечується за допомогою електромеханічної передачі. Для забезпечення точності позиціонування використовуються датчики, які контролюють величину кута повороту, тобто куту між позиціями обертання столу. Додатковою умовою для позиціонування може бути контроль наявності деталей на позиціях обробки, враховуючи правильність їх розташування. Наприклад, кругове переміщення деталі між 4-ма позиціями (рис. 4.16):

- позиція завантаження (I);
- контроль положення деталі на столі (II);
- обробка деталі (III);
- відвантаження (IV).

При цьому, час знаходження деталі на кожній позиції є однаковим і

регламентується зовнішнім сигналом керування системи та дорівнює часу виконання найбільш тривалої операції.

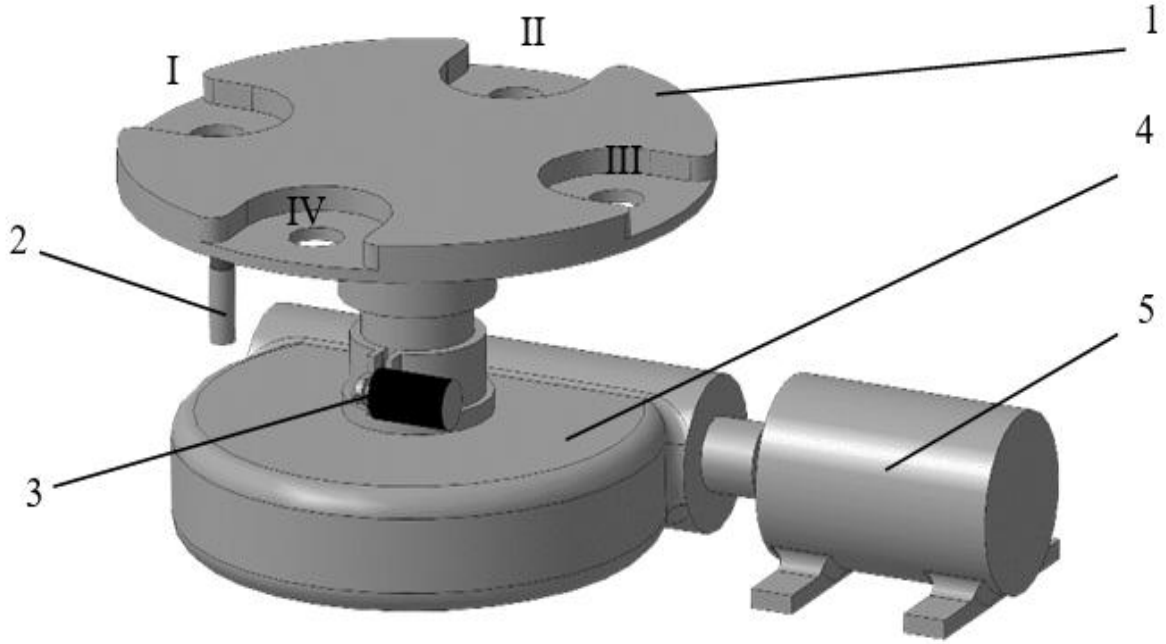


Рис. 4.16. Електромеханічний модуль поворотного столу

До складу модуля поворотного стола входять: електромотор постійного струму; механічна передача (черв'ячний редуктор); електромеханічний фіксатор; датчики положення столу; блок керування (рис. 4.17).

Основна дія модуля відповідає повороту стола на заданий кут; обернена дія – зупинка стола і фіксація поточного положення.

Блок керування забезпечує роботу модуля в автоматичному і в ручному режимах.

Сигнал на виконання повороту стола на заданий кут відбувається при подачі сигналу Y1, при цьому механізм фіксації відключається. Після отримання сигналу X1, що свідчить про поворот стола на заданий кут, виконується відключення живлення мотора і увімкнення живлення електромагніту YB, який забезпечує фіксацію положення. Сигнал Y1 має зніматись через певний час, який відповідає часу повороту стола на визначений кут. Умовою вимкнення сигналу Y1 є отримання сигналу від датчика положення. Час затримки встановлюється за допомогою реле часу КТ. При постійно увімкненому сигналі Y1 буде відбуватись безперервне обертання столу, яке зупиниться після зняття сигналу Y1 по сигналу від датчика X1.

Для налаштування модуля в електрорелейній схемі блоку керування (рис. 4.17) передбачені кнопки (S2…S4) для ручного керування.

Переміщення деталей відбувається наступним чином. При подачі зовнішнього сигналу основної команди Y1 відбувається переривання опитування стану сигналу датчика X1 та відключення живлення електромагніту фіксатора YB. Одночасно з цим подається сигнал на пристрій плавного пуску електромотору, яке забезпечує увімкнення мотору із запізненням, достатнім для зняття фіксації. Після цього має припинятись подача зовнішнього сигналу Y1.

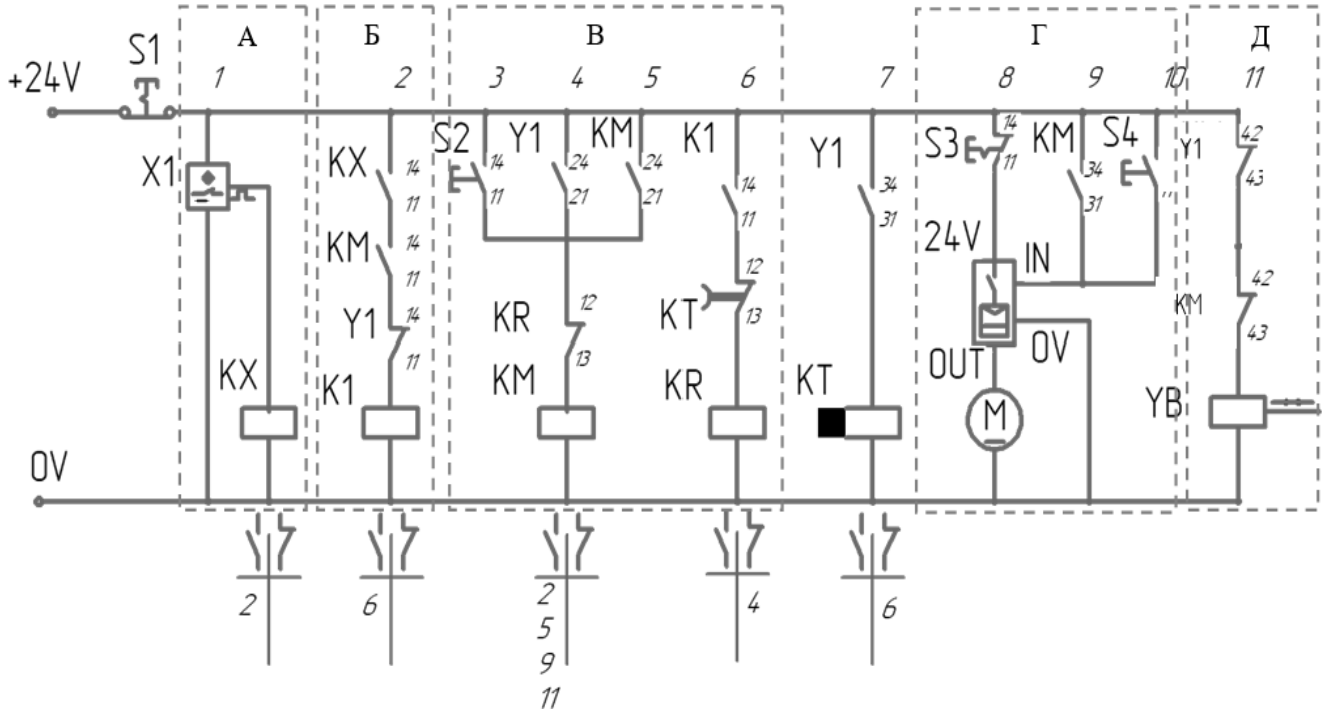


Рис. 4.17. Електрорелейна схема блоку керування:
А – підключення датчика контролю повороту; Б – контур керування опитуванням стану сигналу від датчика X1; В – контур керування сигналом на ввімкнення/вимкнення повороту столу; Г – контур керування електромотором; Д – контур керування елекромагнітом фіксатора.

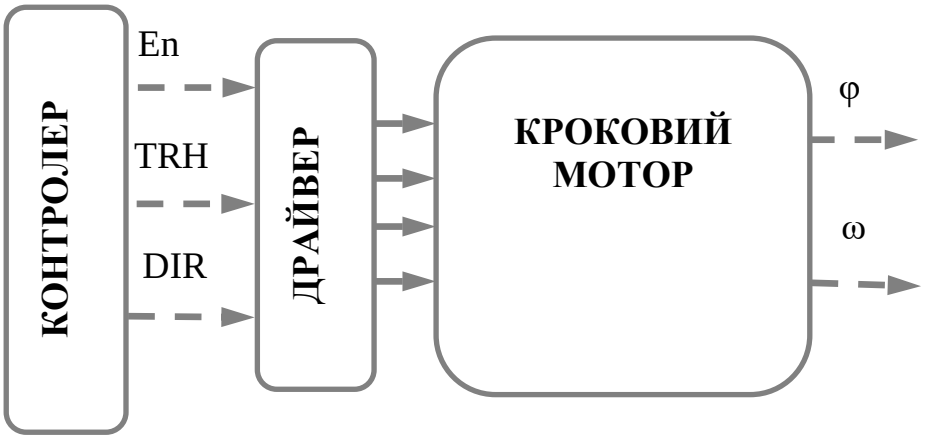
В схемі блоку керування, в контурі керування увімкненням/вимкненням зникнення сигналу Y1, для лінії розриву самопідхвату реле КМ, затримується на час, необхідний для зникнення сигналу від датчика X1. Поворот відбувається до моменту появи сигналу КХ, після чого відбувається розімкнення контуру самопідхвату реле КМ і зупинка електромотору.

Паралельно з цим відсутність сигналів Y1 і КМ замикає контур живлення електромагніту фіксатора YB. При повторній подачі сигналу Y1 відбувається повторний поворот стола на заданий кут.

Початкове і кінцеве положення для модуля поворотного столу відповідає однаковим станам сигналів, до та після подачі сигналу Y1, КХ = 1; КМ = 0.

Контроль стану модуля відбувається за комбінацією сигналів XnM= КХ*nКМ – початковий/кінцевий стан; ХМ=КМ – виконання прямої дії. Опитування стану модуля і визначення, який саме стан модуля за сигналом XnM (початковий чи кінцевий), має враховуватись в алгоритмі керування зовнішньої системи. Також, зовнішньою системою керування має забезпечуватись короткочасність подачі сигналуY1 (сумарна тривалість сигналу Y1 і часу затримки КТ має бути не більша половини часу, який витрачається на один поворот).

4.5.4. Електромеханічний модуль позиціонування на базі крокового електромотора (Приклад №15)



ПРИЗНАЧЕННЯ: переміщення і позиціонування об’єкту з заданою точністю відповідно до відпрацювання одного кроку

СКЛАД:	керування	:	блок керування/контролер;
		:	драйвер крокового мотору.
	виконання	:	кроковий мотор з механічною передачею
	контроль	:	контроль положення реалізовано програмно
		:	додатково датчики крайніх положень у складі механічної передачі;
		:	датчики контролю у складі зовнішньої системи керування.

Крокові мотори широко застосовуються в приводах механізмів і машин різного призначення, де необхідно забезпечити певну точність і швидкість переміщення робочої частини і утримувати задане положення. Характерною ознакою крокових моторів є відсутність зворотного зв’язку по положенню вихідної ланки. Величина і швидкість переміщення обумовлюється кількістю і частотою поданих імпульсів від блоку керування або контролера на драйвер крокового мотору (рис. 4.18).

Сигнал керування представляє собою серію прямокутних імпульсів, кількість яких визначає кут повороту валу крокового мотора, які подаються на вхід драйвера En. Частота переданих імпульсів визначає швидкість повороту валу. Зокрема, окрім характеристики вхідних імпульсів кут повороту і швидкість залежать від режиму роботи, який задається на драйвері крокового мотору. Напрям обертання валу визначається наявністю сигналу на вході драйвера DIR (рис. 4.18).

Вхід драйвера TRH обмежує мінімальне значення амплітуди вхідних

імпульсів, які будуть зчитуватись. Це зроблено з метою фільтрування сторонніх шумів в каналі керування, які можуть бути сприйняті драйвером, як сигнал керування.

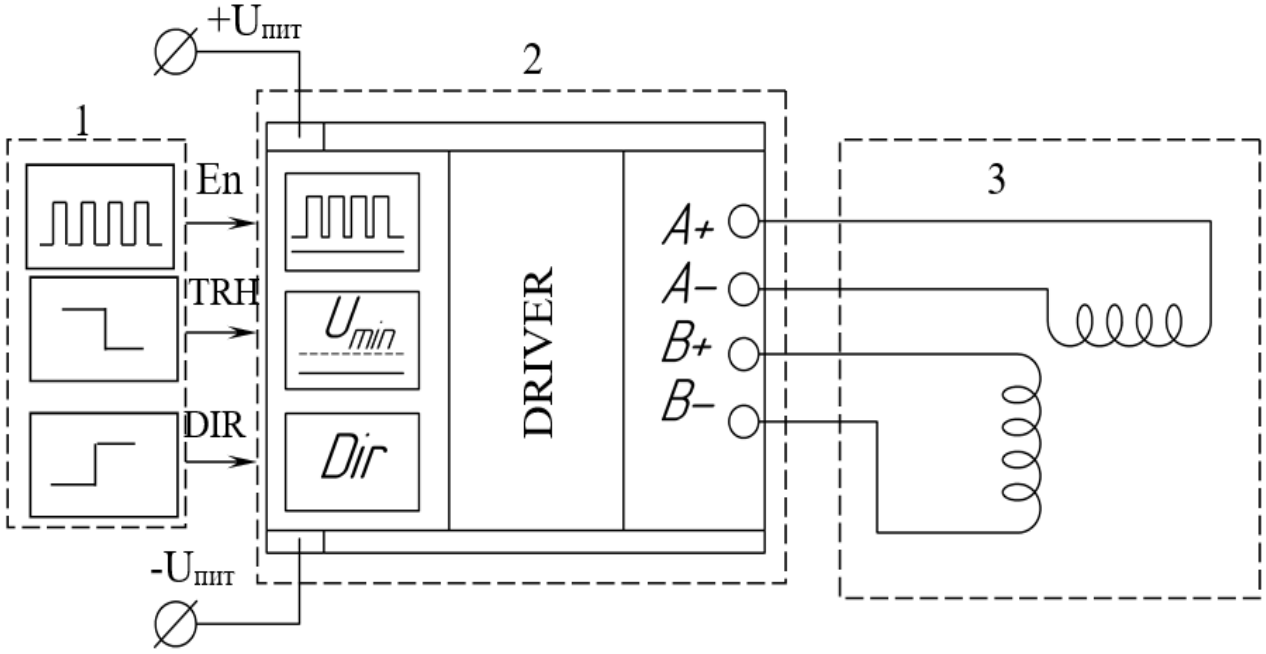


Рис. 4.18. Модуль крокового мотора позіціонуючого пристрою:
1 – контур керування (En – вхідний сигнал, підключення генератора імпульсів; TRH (Treshhold) – сигнал, що встановлює мінімальне значення сигналу на вході En; DIR (Direction) – сигнал керування напрямком обертання валу крокового мотора); 2 – драйвер крокового мотору; 3 – схема підключення обмоток крокового мотору

Керування кроковим мотором може реалізовуватись двома способами:

1) на вхід драйвера En підключено генератор імпульсів постійної частоти за амплітудою Uemax, мінімальний рівень сигналу Uemin. На вхід драйвера TRH подається дискретний сигнал, який приймає значення Utmax і Utmin, які обмежують мінімально допустимий сигнал на вході En. Спрацювання крокового мотору відбувається при виконанні умови Utmin < Uemin. За умови Utmax > Uemax сигнали на вході En не сприймаються драйвером, як сигнали керування, відбувається утримання поточного положення;
2) на вхід TRH подається постійне значення напруги, що фільтрує можливі шуми в каналі керування. Керування кроковим мотором відбувається імпульсами від мікропроцесорної схеми блоку керування або контролера, які подаються на вхід En.

Наявність чи відсутність сигналу на вході DIR визначає напрямок обертання валу мотора.

Крокові мотори можуть, як безпосередньо виконувати поворот робочого органу (дросельна заслінка, кулачковий патрон), так і у складі

електромеханічного приводу виконувати лінійні чи кутові переміщення за допомогою передачі (рис. 4.19).

В залежності від типу передачі, до модуля позиціонування можуть бути додаткові умови, що враховують інерційність механічної системи (обмеження максимальної частоти вхідних імпульсів), обмеженість ходу (необхідність встановлення датчиків крайніх положень в лінійних передачах), фіксоване початкове положення (датчик положення).

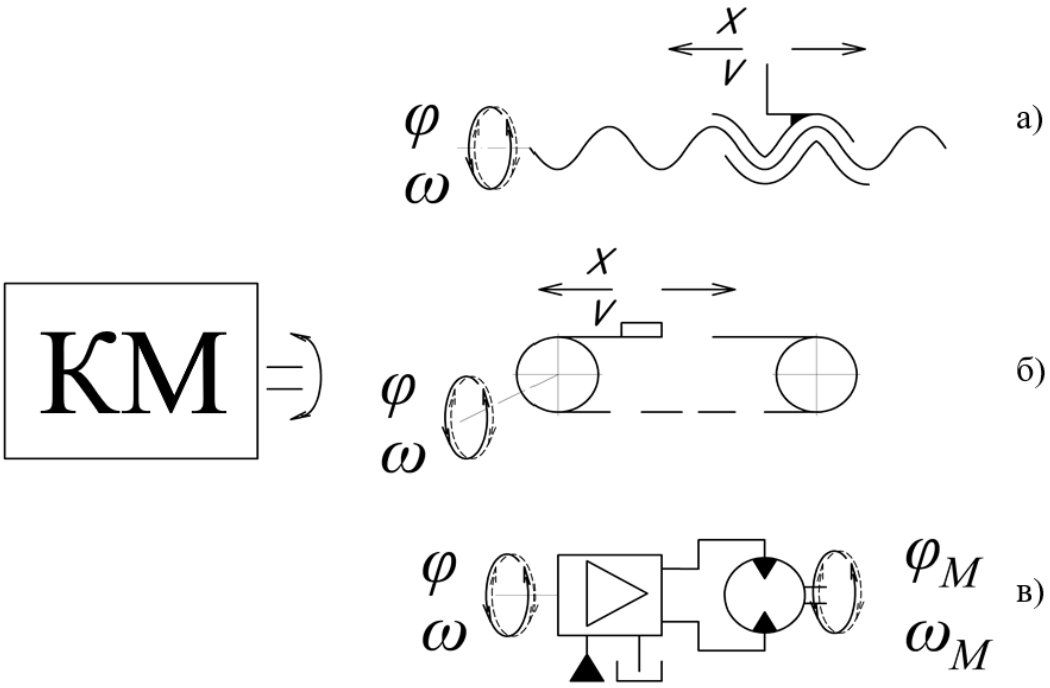


Рис. 4.19. Типові передачі, які використовуються із крововими моторами, електромеханічних приводів позиціонування: а) лінійна передача "гвинт-гайка" або ШГП (кульково-гвинтова передача); б) ремінна передача; в) гідравлічна передача. φ – кут повороту валу крокового мотору; x, v – величина і швидкість переміщення вихідної ланки передачі; φм – кут повороту валу гідромотору; ωм – швидкість повороту вихідного валу гідромотору

При використанні крокового мотору у складі електромеханічного приводу існують переваги, в порівнянні з електромотором постійного струму, які полягають у можливості контролю процесів розгону та гальмування. Це дозволяє без додаткових електричних пристроїв реалізовувати змінну швидкісті переміщення, в залежності від поточного навантаження на вихідній ланці. Також, при роботі модуля з крововим мотором в режимі багатопозиційного приводу, в більшості випадків, достатньо змінити алгоритм керування, без перебудови електричної схеми, для забезпечення виконання потрібних операцій.

Для керування лінійною передачею з крововим мотором – віссю використовують контролер позиціонування, наприклад SPC200 фірми FESTO.

Програма створюється в пакеті WinPISA фірми FESTO і записується у вигляді строкового коду з використанням NC команд.

Керування віссю ззовні відбувається подачею команди керування Y1, яка підключена на вхід I0.0 модуля I/O контролера SPC200.

Приклад програми в програмному пакеті WinPISA фірми FESTO:

```
n001 #TI0.0 1
n002 g01 x50 fx10
n003 g01 x75 fx20
n004 g01 x20 fx10
n005 #TNI0.0 0
n006 m30
```

- Рядок n001 відповідає за зчитування значення стану команди Y1 = 1.
- Після появи на вході I0.0 сигналу відбувається виконання наступного рядка n002, де по NC команді на переміщення g01, відбувається переміщення вихідної ланки вісі на позицію 50 мм, в координатах вісі (x50) із швидкістю 10 мм/с (fx10).
- Після виконання переміщення, зазначеного в рядку n002, відбувається перехід до наступного рядка n003.
- По NC команді g01 відбувається переміщення вихідної ланки вісі на позицію 75 мм, в координатах вісі (x75) із швидкістю 20 мм/с (fx10) і т.д.
- Рядок n005 зчитує значення з входу I0.0 (Y1 = 0), після чого відбувається перехід на рядок n006 з NC командою m30, яка зупиняє виконання коду і повертає програму на зчитування першого рядка n001 – очікування повторної подачі команди Y1.

5. ПРИКЛАДИ БУДОВИ СИСТЕМ І АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ

Розробка принципових схемних рішень має враховувати подальшу технічну реалізацію та особливості фізичних процесів, що забезпечують роботу системи [31, 33, 37, 39, 40]. Тобто використання різних засобів керування, наприклад, пропорційної чи дискретної гідроавтоматики та пневмоавтоматики, будуть надавати різні принципові схемні рішення при виконанні однакових функцій виробничого процесу [106, 107, 161].

5.1. СИСТЕМА ДИСКРЕТНОЇ ГІДРОАВТОМАТИКИ ЛАНКИ МЕТАЛО-ОБРОБЛЮВАЛЬНОГО ЦЕНТРУ З ЕЛЕКТРОРЕЛЕЙНИМ КЕРУВАННЯМ

На ланці відбувається технологічна обробка поверхні заготовок великої ваги в два проходи (1 і 2 робочі подачі) за допомогою поступально-обертального руху робочого інструменту. Для виконання операцій обробки залучено 6 виконавчих пристроїв на основі гідравлічного приводу.
Процес обробки передбачає виконання наступних дій:

1. Завантаження заготовки на початкову позицію;
2. Переміщення заготовки на позицію обробки;
3. Фіксація заготовки для виконання технологічної операції обробки (затискання);
4. Вмикання робочого руху оброблювального інструменту (обертання);
5. Переміщення інструменту в основному напряму зі швидкістю V1;
6. Переміщення інструменту в зворотному напрямку зі швидкістю V2;
7. Вимикання робочого руху оброблювального інструменту (обертання);
8. Вивільнення заготовки фіксатором;
9. Переміщення обробленої заготовки (виробу) на позицію відвантаження;
10. Відвантаження виробу;
11. Повернення приводу переміщення на початкову позицію.

На першому кроці, відповідно до виконуваних дій, обираємо та розраховуємо параметри пристроїв функціональних модулів, що забезпечують виконання необхідних функцій з певними значеннями зусилля, тиску, швидкості, витрати.

Модуль 1 Завантаження заготовки

Основна дія: переміщення заготовки на позицію завантаження.

Зворотна дія: повернення завантажувача в початкове положення.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії із зусиллям, відповідно до маси вантажу і тиску в гідравлічній системі, орієнтовно

16,0 МПа (розрахунок).

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик);

кінцева позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням.

Модулі 2/3 Переміщення в основному напрямку (2), переміщення в зворотному напрямку (3)

Основна дія: переміщення заготовки на робочу позицію або відвантаження виробу.

Зворотна дія: повернення вихідної ланки приводу в початкове положення.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії із зусиллям, відповідно до маси вантажу і тиску в гідравлічній системі, орієнтовно 16,0 МПа (розрахунок).

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик);

позиція обробки – ємнісний датчик;

позиція відвантаження – оптичний датчик.

Засоби керування:

розподільник 5/3 з моностабільним керуванням.

Модуль 4 Фіксація заготовки

Основна дія: затискання заготовки на позиції обробки.

Зворотна дія: вивільнення заготовки.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр односторонньої дії із зусиллям, відповідно до зусилля обробки і тиску в гідравлічній системі, орієнтовно 16,0 МПа (розрахунок).

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик);

кінцева позиція затискання – контроль за тиском, відповідно до тиску утримання заготовки.

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням.

Модуль 5 Робочий рух інструменту (обертання)

Основна дія: вмикання обертання інструменту.

Зворотна дія: припинення обертання інструменту.

Виконавчий пристрій – гідравлічний мотор із крутним моментом, відповідно до зусилля обробки і тиску в гідравлічній системі, орієнтовно 16,0 МПа (розрахунок), регулювання швидкості обертання.

Засоби контролю:

початковий стан – відсутність «1» значення моностабільного сигналу основної команди;

кінцевий стан – наявність «1» значення моностабільного сигналу основної команди.

ОСОБЛИВІСТЬ: оскільки бістабільний розподільник зберігає свій стан після зняття сигналу керування, то відсутність сигналу не є тотожною до протилежного стану. Для запобігання невідповідності в якості індикатору стану може бути використано логічний вираз моностабільної команди або додатковий елемент пам'яті, який працює синхронно з розподільником.

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням.

Модуль 6 Робочий рух інструменту (переміщення)

Основна дія: вмикання першої подачі робочого руху інструменту зі швидкістю V1.

Зворотна дія: повернення інструменту зі швидкістю другої робочої подачі V2.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії із швидкістю, відповідно до робочих подач V1 і V2 і тиску в гідравлічній системі, орієнтовно 16,0 МПа (розрахунок).

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик);

кінцева позиція затискання – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням.

Модуль 7 Відвантаження виробу

Основна дія: переміщення виробу з позиції відвантаження.

Зворотна дія: повернення відвантажувача в початкове положення.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр односторонньої дії із зусиллям, відповідно до маси вантажу і тиску в гідравлічній системі, орієнтовно 16,0 МП (розрахунок).

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик);

кінцева позиція затискання – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням.

На другому кроці формуємо опис роботи системи в технологічному циклі відповідно до дій, виконуваних кожним модулем, включно з їх вимиканням. Записуємо, в порядку технологічного процесу, послідовність дій функціональних модулів з позначенням засобів виконання, керування і контролю для кожної дії.

1. Завантаження заготовки. Модуль 1 (завантаження):

Основна дія: переміщення заготовки на позицію завантаження.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

кінцева позиція переміщення – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням, вмикання електромагніту Y1.

2. Повернення завантажувача в початкове положення. Модуль 1 (завантаження):

Зворотна дія: повернення завантажувача в початкове положення;

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої;

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик);

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням, вимикання магніту Y1.

3. Вмикання переміщення заготовки на позицію обробки. Модулі 2/3 (переміщення в основному напрямку модуль 2):

Основна дія: переміщення заготовки або виробу.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

позиція обробки – сигнал від ємнісного датчика за присутності одиничного значення сигналу команди;

Засоби керування:

розподільник 5/3 з моностабільним керуванням, вмикання електромагніту Y2.

4. Припинення переміщення заготовки до позиції обробки. Модулі 2/3 (переміщення в основному напрямку – модуль 2):

Зворотна дія: припинення переміщення заготовки.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

відсутність сигналу Y2: зупинка руху - середня позиція керуючого розподільника.

Засоби керування:

розподільник 4/3 з моностабільним керуванням, вимикання електромагніту Y2.

5. Затискання заготовки. Модуль 4 (фіксації заготовки):

Основна дія: затискання заготовки на позиції обробки.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр односторонньої дії.

Засоби контролю:

кінцева позиція затискання – реле тиску.

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням, вмикання Y1, вимикання YN1.

6. Вмикання робочого руху інструменту (обертання). Модуль 5 (вмикання обертання інструменту):

Основна дія: вмикання обертання інструменту.

Виконавчий пристрій – гідравлічний мотор із засобами регулювання швидкості обертання.

Засоби контролю:

кінцевий стан наявність сигналу основної команди Y5.

ОСОБЛИВІСТЬ: оскільки бістабільний розподільник зберігає свій стан після зняття сигналу керування, то відсутність сигналу не є тотожною до протилежного стану. Для запобігання невідповідності в якості індикатору стану може бути використано логічний вираз моностабільної команди або додатковий елемент пам'яті, який працює синхронно з розподільником.

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням, вмикання Y5, вимикання YN5.

7. Вмикання робочого руху інструменту основного напрямку. Модуль 6 (вмикання подачі інструменту основного напрямку):

Основна дія: вмикання робочого руху інструменту, швидкість V1.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії з налаштуванням швидкості.

Засоби контролю:

кінцева позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням, вмикання Y6, вимикання YN6.

8. Вмикання робочого руху інструменту зворотного напрямку. Модуль 6 (вмикання подачі інструменту зворотного напрямку):

Зворотна дія: вмикання робочого руху інструменту, швидкість V2;

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії з налаштуванням швидкості;

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик);

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням; вимикання Y6, вмикання YN6.

9. Вимикання робочого руху інструменту (обертання). Модуль 5 (обертання інструменту):

Зворотна дія: вимикання обертання інструменту.

Виконавчий пристрій – гідравлічний мотор із засобами регулювання

швидкості обертання.

Засоби контролю:

початковий стан - відсутність «1» значення моностабільного сигналу основної команди Y5 .

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням, вимикання Y5, вмикання YN5.

10. Вивільнення заготовки. Модуль 4 (фіксації заготовки):

Зворотна дія: вивільнення заготовки на позиції обробки.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр односторонньої дії.

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням: вимикання Y4, вмикання YN4.

11. Вмикання переміщення виробу на позицію відвантаження. Модулі 2/3 (переміщення в основному напрямку модуль 2):

Основна дія: переміщення заготовки або виробу.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

позиція відвантаження – оптичний датчик за наявності сигналу команди Y2.

Засоби керування:

розподільник 5/3 з моностабільним керуванням, вмикання магніту Y2.

12. Припинення переміщення заготовки до позиції відвантаження. Модулі 2/3 (переміщення в основному напрямку (2)):

Зворотна дія: припинення переміщення виробу.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої.

Засоби контролю:

відсутність сигналу Y2: зупинка руху - середня позиція керуючого розподільника.

Засоби керування:

розподільник 5/3 з моностабільним керуванням, вимикання магніту Y2.

13. Відвантаження виробу. Модуль 7 (відвантаження виробу):

Основна дія: переміщення виробу з позиції відвантаження.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр односторонньої дії із зусиллям, що відповідає вантажу.

Засоби контролю:

кінцева позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням: вмикання магніту Y7.

14. Повернення відвантажуючого пристрою. Модуль 7 (відвантаження виробу):

Зворотна дія: повернення відвантажувача в початкове положення.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр односторонньої дії.

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням: вимикання магніту Y7.

15. Вмикання переміщення приводу в позицію завантаження. Модулі 2/3 (переміщення в зворотному напрямку (3)):

Основна дія: повернення вихідної ланки приводу в початкове положення.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач за наявності «1» значення сигналу команди Y3.

Засоби керування:

розподільник -5/3 з моностабільним керуванням, вмикання магніту Y3.

16. Припинення переміщення приводу до позиції завантаження. Модулі 2/3 (переміщення в зворотному напрямку (3)):

Зворотна дія: припинення переміщення.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої.

Засоби контролю:

відсутність сигналу Y3: зупинка руху - середня позиція керуючого розподільника.

Засоби керування:

розподільник 5/3 з моностабільним керуванням, вимикання магніту Y3.

Відпрацювання технологічного циклу завершено і, за умов наявності дозвільного сигналу на продовження роботи системи, має розпочатись виконання наступного циклу (рис. 5.1), а саме – формування команди на подачу наступної заготовки на позицію завантаження.

ЗАУВАЖЕННЯ. Всі обрані технічні засоби мають бути задіяні в описі процесу. Всі функції чи дії, що є складовими технологічного процесу, повинні мати однозначно визначені технічні засоби з переліку вже підібраного обладнання, включно із засобами керування, засобами контролю і виконавчими пристроями.

Формалізація опису процесу роботи системи. Відповідно до комплекту модулів і послідовності дій виконавчих пристроїв в технологічному циклі формалізуємо опис роботи системи у вигляді функціонального графу (рис. 5.1).

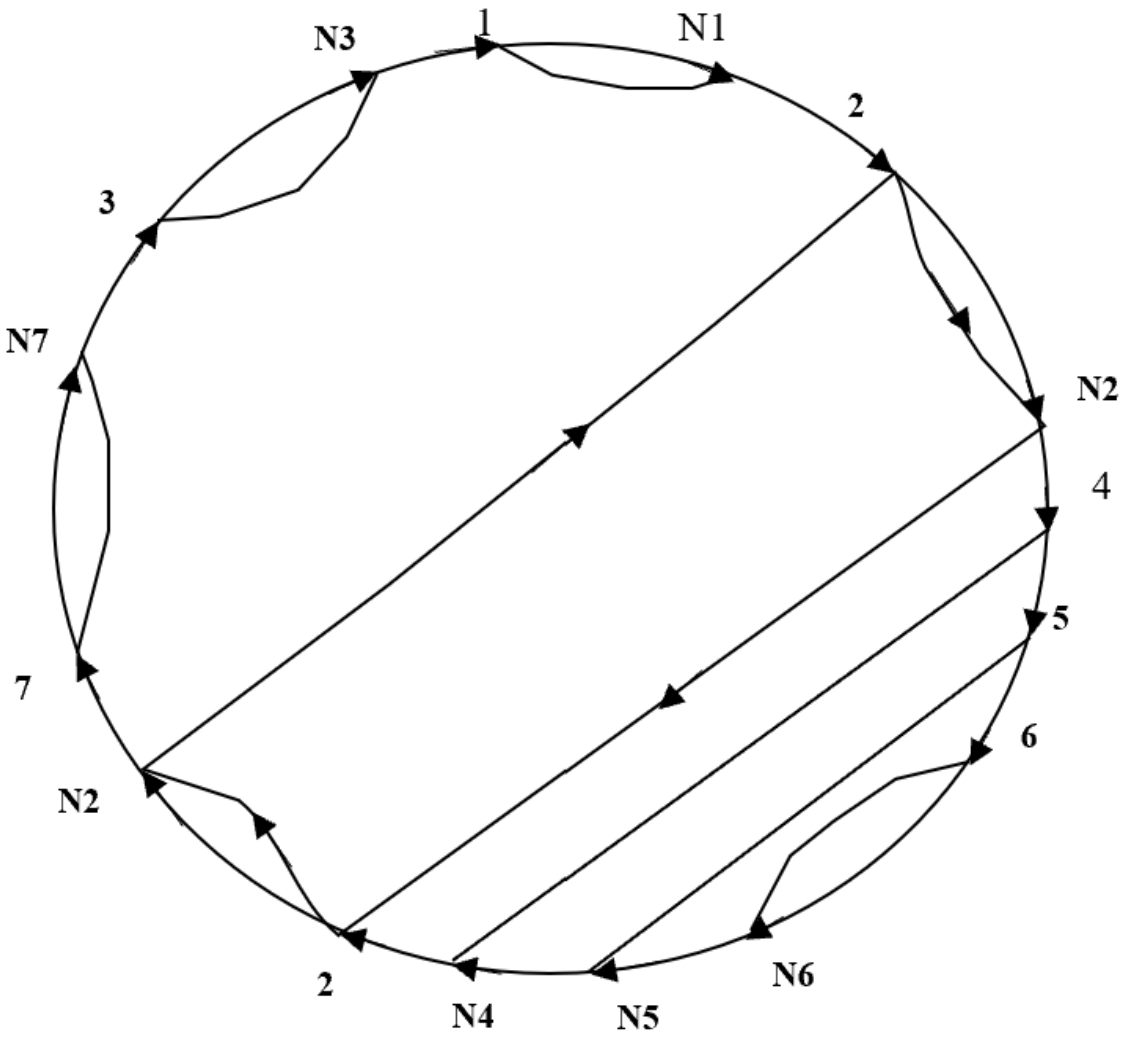


Рис. 5.1. Функціональний граф автоматизованої ланки металооброблювального центру: модулю 1 і 7 завантаження і відвантаження, модуль 4 фіксації заготовки, модулі 2/3 поздовжнього переміщення заготовки/виробу, модулі 5 і 6 переміщення інструменту

На третьому кроці виконуємо дослідження логічної невизначеності системи. Оскільки в системі є тільки один багаторежимний модуль (№2), то дослідження виконано за графічною методикою з двома ітераціями (рис. 5.2).

Підграф невизначеності має як «відокремлюючи» лінії, так і діагональні лінії невизначеності.

Особливу групу складають лінії невизначеності, які утворені послідовним вмиканням і вимиканням одного модуля. Такі лінії утворює робота модулів 1, 2 (двічі), 3, 6 і 7. Ці дуги, вершини яких з'єднує лінія невизначеності вказують на місця обов'язкового розташування вмикання або вимикання елементів пам'яті. Тобто всі ці дуги буду розділені на одну чи більше нових дуг, на які припадатимуть дії елементів пам'яті.

В результаті досліджень функціонального графу маємо 16 ліній невизначеності, тобто, систему необхідно доповнити елементами пам'яті.

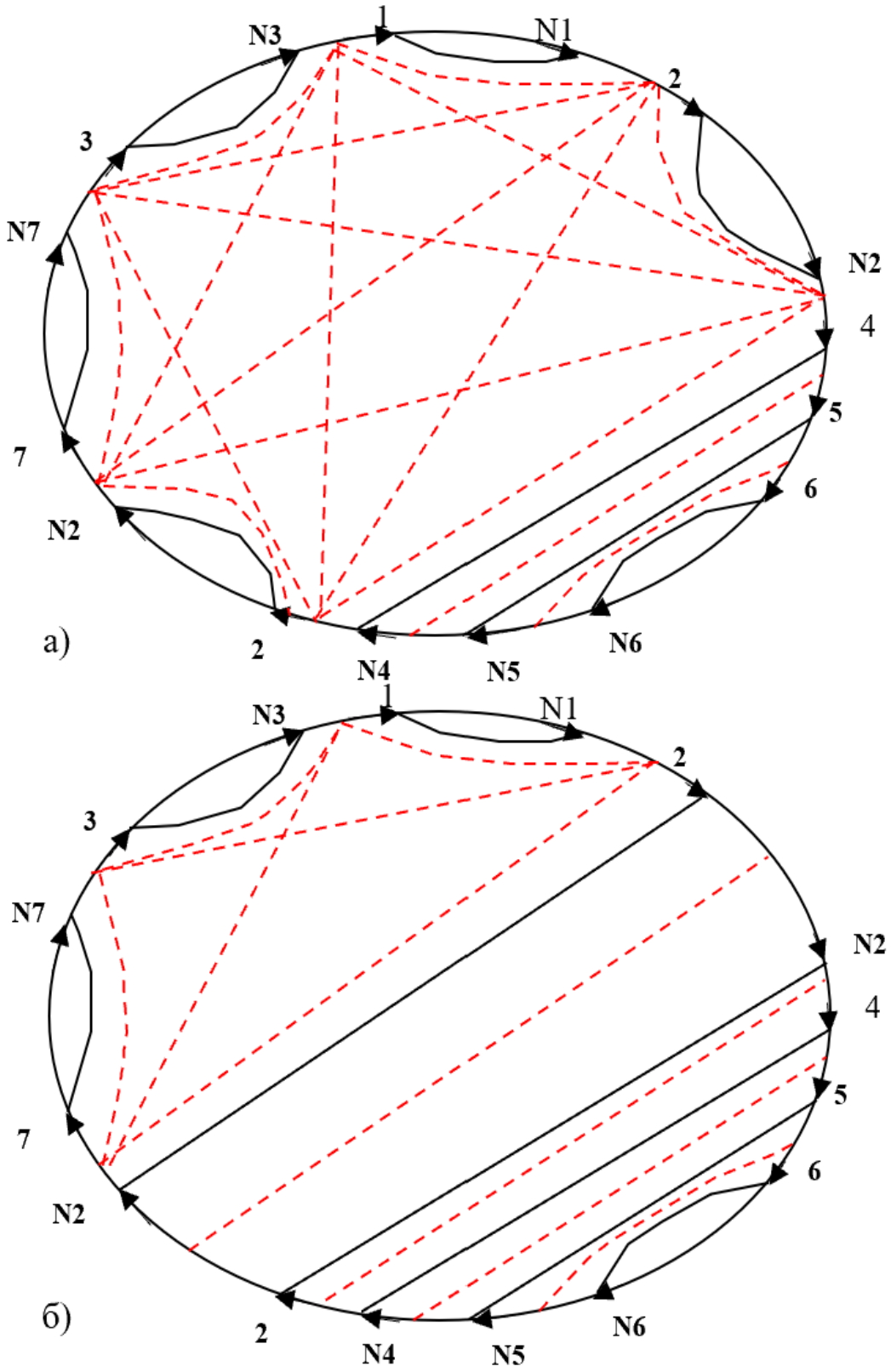


Рис. 5.2. Функціональний граф з підграфом невизначеності : а) – ітерація 2 - N2, б) – ітерація N2 – 2, всього 16 ліній невизначеності

На четвертому кроці виконуємо доповнення системи елементами пам’яті. Виконуємо три ітерації, при цьому кожний наступний елемент пам’яті викреслює максимальну кількість ліній невизначеності, що залишились, і

перетинає максимальну кількість ліній зв’язку. З огляду на симетричний вигляд підграфу невизначеності, використовуємо розташування ліній зв’язку елементів пам’яті «зірочка».

Додаємо до системи модулі елементів пам’яті: №8, №9 і №10 (рис. 5.3). Вмикання і вимикання модулів обираємо так, щоб на початку циклу всі модулі знаходилися в початковому стані. Всі місця вмикання-вимикання елементів пам’яті визначено лініями невизначеності, що з’єднують вершини однієї дуги графа.

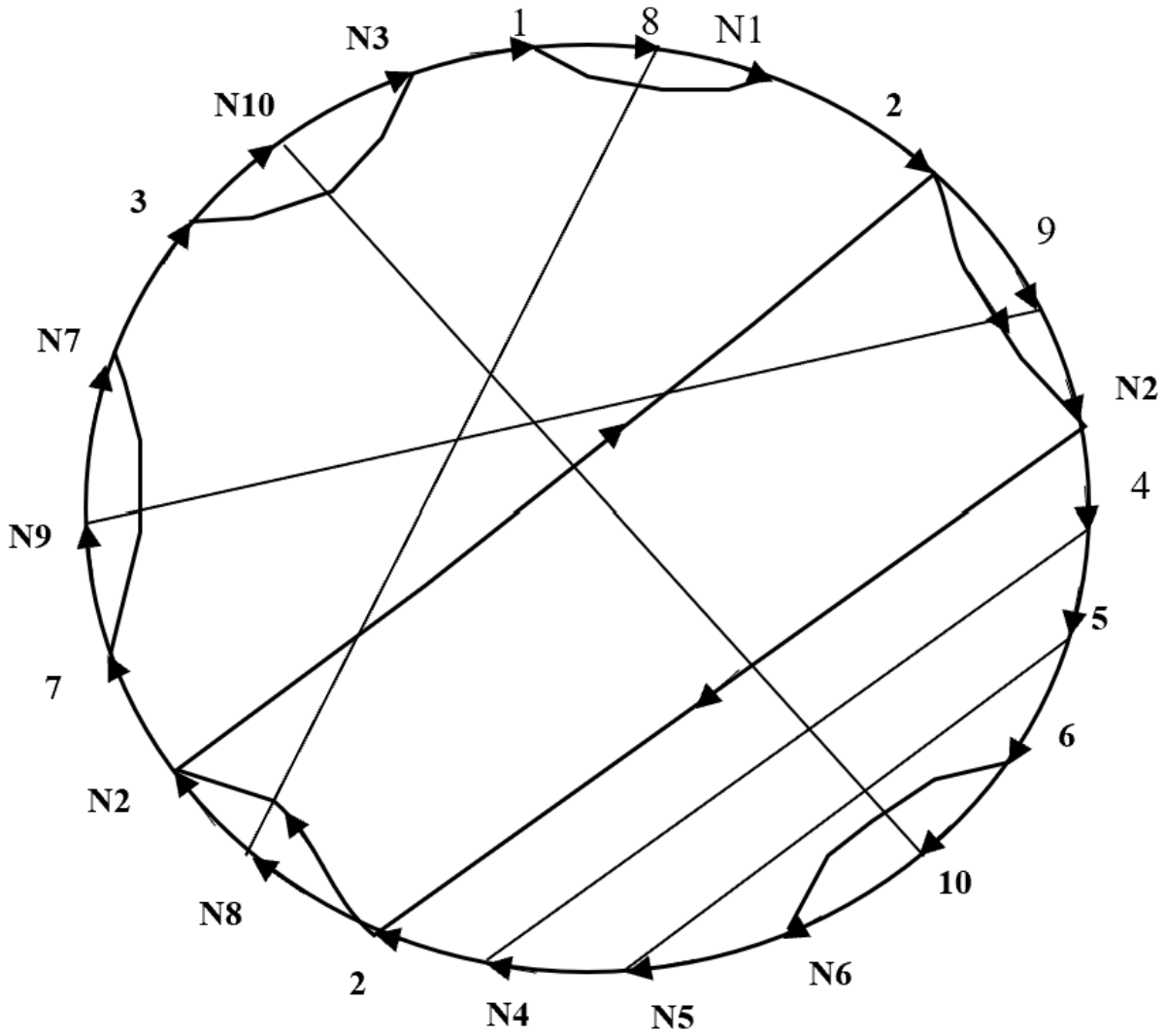


Рис. 5.3. Функціональний граф автоматизованої ланки металооброблювального центру, доповнений елементами пам’яті: модулі 8, 9 і 10

На п’ятому кроці виконуємо логічний синтез команд керування. Оскільки система керування запланована до реалізації засобами електрорелейних схем, то логічні вирази команд керування мають враховувати тип керуючих пристроїв, а саме: бістабільний, моностабільний 4/2, моностабільний 4/3.

Для елементів пам’яті складаємо логічні вирази команд керування у бістабільному варіанті.

Оскільки модулі 2/3 є багатопозиційними, уточнюємо логічні вирази контролю виконання дій (рис. 5.4).

Модуль 2 (сигнал команди Y2 - рух основного напрямку):

$$X2 = XB_{2/3}*XN10 + XC_{2/3}*X10.$$

Модуль 2 (припинення руху основної дії) :

$$XN2 = N\ Y2.$$

Модуль 3 (сигнал команди Y3 - рух зворотного напрямку):

$X3 = XA_{2/3}$ (співпадає з сигналом датчика початкового положення).

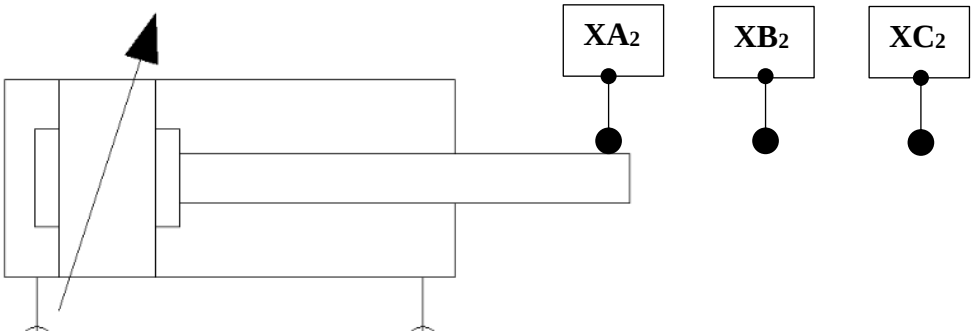


Рис. 5.4. Схема розташування датчиків контролю положення вихідної ланки багатопозиційного модуля №2/3

Модуль 3 (припинення руху зворотного напрямку):

$$XN3 = N\ Y3.$$

Модуль 5 забезпечує обертовий рух інструменту і не має фізичних датчиків положення, тому їх замінюємо опосередкованим контролем:

$$X5 = Y5.$$

Вважаємо, що рух розпочато одразу після подачі сигналу команди. Так само здійснюємо контроль припинення руху:

$$XN5 = N\ Y5.$$

Всі інші модулі мають фізичні датчики контролю за виконанням відповідних дій. За функціональним графом (рис. 5.3) складаємо логічні вирази команд керування у відповідності з обраними пристроями керування.

Модуль №1 (моностабільне керування 4/2):

$$Y1 = XN3*XN10*XN8.$$

Модуль №2 (моностабільне керування 4/3):

$$Y2 = XN1*X8*XN9 + XN4*X10*X8.$$

Модуль №3 (моностабільне керування 4/3):

$$Y3 = XN7*XN9**X10.$$

Модуль №4 (бістабільне керування 4/2):

$$Y4 = XN2*X9*XN10;$$

$$YN4 = XN5*X10.$$

Модуль №5 (бістабільне керування за моностабільною командою керування 4/2 з причини опосередкованого контролю):

$$Y5 = X4*XN10+N(XN6).$$

Модуль №6 (бістабільне керування 4/2):

$$Y6 = X5*XN10;$$

$$YN6 = X10.$$

Модуль №7 (моностабільне керування 4/2):

$$Y7 = XN2*XN8*X9.$$

Модуль №8 (елемент пам’яті):

$$Y8 = X1$$
$$YN8 = X2*X10$$

Модуль №9 (елемент пам’яті):

$$Y9 = X2*XN10;$$
$$YN9 = X7.$$

Модуль №10 (елемент пам’яті):

$$Y10 = X6;$$
$$YN10 = X3.$$

На шостому кроці формуємо склад модулів системи і переходимо до формування принципової схеми і системи керування. Обрані технічні засоби для реалізації функціональних модулів визначають майже повний склад системи (таблиця 5.1). Поза увагою лишаються засоби реалізації логічних функцій в системі керування.

Таблиця 5.1

Склад функціональних модулів

№ модуля	Основна дія	Зворотна дія	Команда Основної дії	Команда Зворотної дії	Контроль виконання Основної дії	Контроль виконання Зворотної дії	Тип виконавчого пристрою	Тип керуючого пристрою
1: модуль	1	N1	Переміщення заготовки на позицію завантаження Y1 Y1 = XN3*XN10*XN8	Повернення завантажувача в початкове положення YN1 відсутня	Реле тиску, відповідно до тиску в системі X1	Кінцевий електроконтактний вимикач XN1	гідравлічний циліндр двосторонньої дії	Розподільник 4/2 моностабільний
2: модуль	2	N2	Переміщення в основному напрямку Y2 Y2=XN1*X8*XN9* + XN4*X10* *X8	Зупинка переміщення в основному напрямку YN2 відсутня	Ємнісний датчик $XB_{2/3}$ Оптичний датчик $XC_{2/3}$ X2 = ($XB_{2/3}$*XN10 + $XC_{2/3}$*X10)*Y2	Опосередкований контроль XN2=NY2	гідравлічний циліндр двосторонньої дії	Розподільник 4/3 моностабільний

Продовження таблиці 5.1

3: модуль переміщення	3	N3	Переміщення в зворотному напрямку Y3 Y3 = XN7*XN9*X10	Зупинка переміщення в зворотному напрямку YN3 відсутня	кінцевий електроконтактний вимикач X3 = $XA_{2/3}$*Y3	Опосередкований контроль XN3=NY3	гідравлічний циліндр двосторонньої дії	Розподільник 4/3 моностабільний
4: модуль фіксації	4	N4	затискання заготовки на позиції обробки Y4 Y4 = XN2*X9*XN10	вивільнення заготовки YN4 YN4 = XN5*X10	Реле тиску: контроль за тиском X4	кінцевий електроконтактний вимикач XN4	гідравлічний циліндр односторонньої дії	Розподільник 4/2 бістабільний
5: модуль обертового робочого руху	5	N5	Обертання інструменту Y5 Y5 = X4*XN10+ +N(XN6)	вивільнення заготовки YN5 відсутній	Опосередкований контроль X5=Y5+(ΔT)	Опосередкований контроль XN5=NY5+ +(ΔT)	гідравлічний циліндр односторонньої дії	Розподільник 4/2 бістабільний
6: модуль поступального робочого руху	6	N 6	Переміщення інструменту в основному напрямку зі швидкістю V1; Y6 Y6 = X5*XN10	Переміщення інструменту в зворотному напрямку зі швидкістю V2; YN6 YN6 = X10	кінцевий електроконтактний вимикач X6	кінцевий електроконтактний вимикач XN6	гідравлічний циліндр односторонньої дії	Розподільник 4/2 бістабільний
7: модуль відвантаження	7	N7	Переміщення виробу з позиції відвантаження Y7 Y7 = XN2*XN8*X9	Повернення відвантажувача в початкове положення YN7 відсутній	Кінцевий електроконтактний вимикач X7	Кінцевий електроконтактний вимикач XN7	гідравлічний циліндр двосторонньої дії	Розподільник 4/2 моностабільний

Продовження таблиці 5.1

8: модуль пам’яті	8	N8	Вмикання елемента пам’яті Y8 Y8 = X1	Вимикання елемента пам’яті YN8 YN8 = X2*X10	Нормально розімкнений ключ реле X8	Нормально замкнений ключ реле XN8	Додаткове реле	електромагніт
9: модуль пам’яті	9	N9	Вмикання елемента пам’яті Y9 Y9 = X2*XN10	Вимикання елемента пам’яті YN9 YN9 = X7	Нормально розімкнений ключ реле X9	Нормально замкнений ключ реле XN9	Додаткове реле	електромагніт
10: модуль пам’яті	10	N10	Вмикання елемента пам’яті Y10 Y10 = X6	Вимикання елемента пам’яті YN10 YN10 = X3	Нормально розімкнений ключ реле X10	Нормально замкнений ключ реле XN10	Додаткове реле	електромагніт

ПРИМІТКА 1. Для модулів, в яких використано опосередкований контроль шляхом ототожнення сигналів контролю з сигналами команд, надано додаткові реле, які визначають стан сигналів команд. Особливо це стосується модулів з бістабільним керуванням, оскільки відсутність сигналу керування може не відповідати стану керуючого пристрою. Тоді мають бути застосовані або вирази моностабільного варіанту для керування бістабільним Розподільником, або мають бути додані елементи пам’яті, що працюють синхронно з Розподільником. Далі, через ключі цього реле, надано живлення на магніти керуючих Розподільників модулів, а розімкнені і замкнені ключі цього реле використано в якості засобів опосередкованого контролю.

ПРИМІТКА 2. У випадку, коли між моментом подачі сигналу команди і зміною стану модуля є відповідний термін, ототожнення сигналів має бути виконано із затримкою у часі на відповідний термін відпрацювання (ΔТ). Наприклад, затримка вказана в модулі обертового руху зважаючи на суттєву кутову швидкість і рухому масу.

ПРИМІТКА 3. Для запобігання ударів в кінці руху обрано гідравлічні циліндри з демпферами.

ПРИМІТКА 4. Для плавного переміщення заготовок чи виробів до позицій завантаження і відвантаження додано дроселі у відповідному напрямку руху.

ПРИМІТКА 5. Стала швидкість робочого руху модуля 6 з інструментом забезпечена встановленням двох регуляторів витрати із зворотними Розподільниками, для окремого налаштування швидкості в протилежних напрямках руху.
ПРИМІТКА 6. Стала швидкість обертального робочого руху модуля 5 забезпечена встановленням регулятору витрати.
ПРИМІТКА 7. Для запобігання пошкодженню заготовки живлення модуля затискання 4 виконано з налаштуванням пониженого тиску за допомогою редукційного Розподільника тиску, а рух затискання уповільнено дроселем.
ПРИМІТКА 8. Для запобігання виходу з ладу датчиків та сенсорів під дією надлишкового струму вихідні сигнали датчиків і сенсорів заводимо на додаткові реле, ключі яких використано в ланцюгах керування замість сигналів чи ключів датчиків та сенсорів.

На сьомому кроці формуємо принципову схему на рівні функціональних модулів (виконавчих пристроїв, оздоблених засобами керування і контролю). Враховуємо додаткові пристрої для виконання дій: регулювання швидкості, регулювання тиску, контролю положень та тиску.

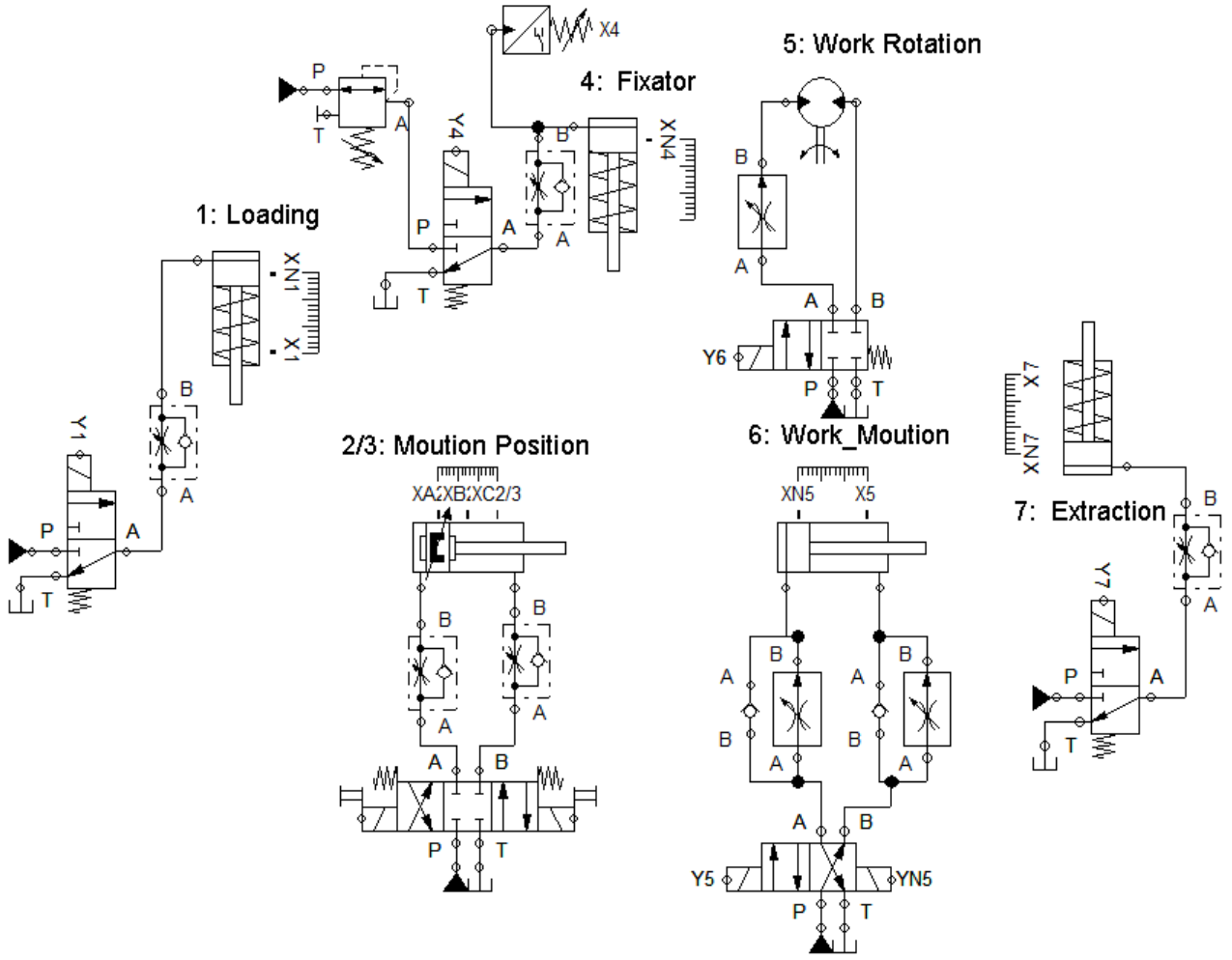


Рис. 5.5. Принципова схема виконавчого рівня автоматизованої ланки оброблювального центру: 1 - модуль завантаження, 2/3 - модуль переміщення, 4 - модуль фіксації, 5 - модуль поступального робочого руху, 6 - модуль обертового робочого руху, 7 - модуль відвантаження

Лінії гідравлічного живлення та лінії відводу рідини не вказуємо на початковому варіанті принциповій схемі (рис. 5.5). Так само не розкриваємо склад насосної станції чи наявність акумулятора, для вибору і обґрунтування яких необхідно провести розрахунки гідравлічної системи, додати засоби фільтрації та кондиціонування рідини, виконати розрахунки ліній живлення та зливу згідно циклограми роботи системи.

На восьмому кроці, з врахуванням позначень обраних датчиків і сенсорів, укладаємо електричну схему під'єднання засобів контролю. Додаємо схему під'єднання кнопок подачі зовнішніх сигналів з пульту керування: START і STOP.

Оскільки додаткові реле мають обмежену кількість ключів, наприклад 4, спочатку бажано підрахувати кількість використань ключів кожного реле. Це стосується елементів пам'яті та допоміжних реле, які: задіяні для сприйняття сигналів датчиків і сенсорів; використовують сигнали команд замість сигналів стану; допоміжні реле попередньої логічної обробки сигналів стану. Маємо наступні результати (таблиця 5.2).

Таблиця 5.2

Підрахунок кількості додаткових реле

№ модуля	X основна	кількість	X зворотна	Кількість	Кількість додаткових реле
1	X1	1	XN1	1	1 + 1
2	X2	4	XN2	2	1 + 1
3	X3	1	XN3	1	1 + 1
4	X4	1	XN4	1	1 + 1
5	X5	1	XN5	1	1 + 1
6	X6	1	XN6	1	1 + 1
7	X7	1	XN7	1	1 + 1
8 пам'ять	X8	2+1	XN8	2	2
9 пам'ять	X9	2+1	XN9	2	2
10 пам'ять	X10	4+1+1	XN10	6+1	3 + 1

Додатково сигнали стану елемента пам'яті 10 мають бути використані при формуванні логічних умов контролю стану модуля 2, модуля 3 і модуля 4. Це призведе до зростання кількості необхідних ключів елемента пам'яті 10 до 13.

Відповідно до результатів підрахунку кількості використань для сигналів кожного датчика або їх імітації потрібно по 1 додатковому реле, тобто, 14.

Два додаткових реле потрібно для вводу сигналів від кнопок з пульта керування. Для індикації стану та лінії самоблокування елементів пам'яті 8 і 9 потрібно по 5 ключів, що забезпечуватимуть по два додаткових реле для кожного.

Для індикації стану та лінії самоблокування елемента пам'яті 10 потрібно 13 ключів, що забезпечуватимуть чотири додаткових реле.

Чотири додаткових реле має бути задіяно для ототожнення сигналів стану з сигналами команд: по зворотним сигналам стану - модулі 2, 3, модуль 5 по двом сигналам стану.

Одне додаткове реле має бути задіяно для формування сигналу X2 за логічною функцією.

В схему додано допоміжне позначення для реле, які виконують подвійну функцію:

- спрацьовують за логічним виразом команд;
- надають ключі як для керування магнітами, так і для керування допоміжними реле опосередкованого контролю: XY2, XY3, XY5.

На дев'ятому кроці, з врахуванням позначень датчиків і магнітів керуючих розподільників, укладаємо електричну схему вхідних сигналів.

В першому фрагменті схеми (рис. 5.6) в лініях 1 і 2 розташовано допоміжні реле, що їх вмикають кнопки START і STOP з пульта керування Надалі буде побудовано елемент пам'яті для вмикання/вимикання системи.

Лінії 3 … 6 відображають схеми підключення датчиків положення модуля завантаження, сигнали яких керуватимуть реле К3 і К4.

Лінії 7 … 12 відображають схеми підключення трьох датчиків положення вихідної ланки модуля переміщення 2/3. Сигнали від датчиків XA2/3, XB2/3 і XC2/3 керують допоміжними реле К5, К6 і К7. Ключі цих реле використано для реалізації логічних виразів для контролю виконання дій модулів 2 і 3.

Лінії 13 … 16 відображають схеми підключення датчиків тиску і положення модуля фіксації 4, сигнали яких керуватимуть реле К8 і К9.

Лінії 17 … 18 відображають схеми опосередкованого контролю стану модуля обертового руху 5. Індикатор увімкненого стану обертового руху реалізовано на реле К10, яке вмикає розімкнений ключ від схеми моностабільної команди на вмикання обертового руху XY5. Індикатор зупиненого стану обертового руху реалізовано на реле К11, яке вмикає замкнений ключ від схеми моностабільної команди на вмикання обертового руху XY5.

Лінії 19 … 20 відображають схему логічного виразу для контролю за виконанням основних дій модуля 2: $X2 = XB_{2/3}*XN10 + XC_{2/3}*X10$. Ключі допоміжного реле X2 надалі буде використано в схемах команд керування замість індикатору стану X2 в схемах команд інших модулів системи.

Лінії 19, 20 і 21 керують допоміжними реле XN2, X3 і XN3, ключі яких будуть використані при формуванні сигналів керування інших модулів у якості індикаторів стану модулів 2 (зворотна дія) і 3 (основна і зворотна дія).

Стан індикаторів ототожнено із значеннями сигналів зворотних команд

для модулів 2 і 3 (зупинка руху), і сигналом від датчика XA2/3 для команди модуля 3.

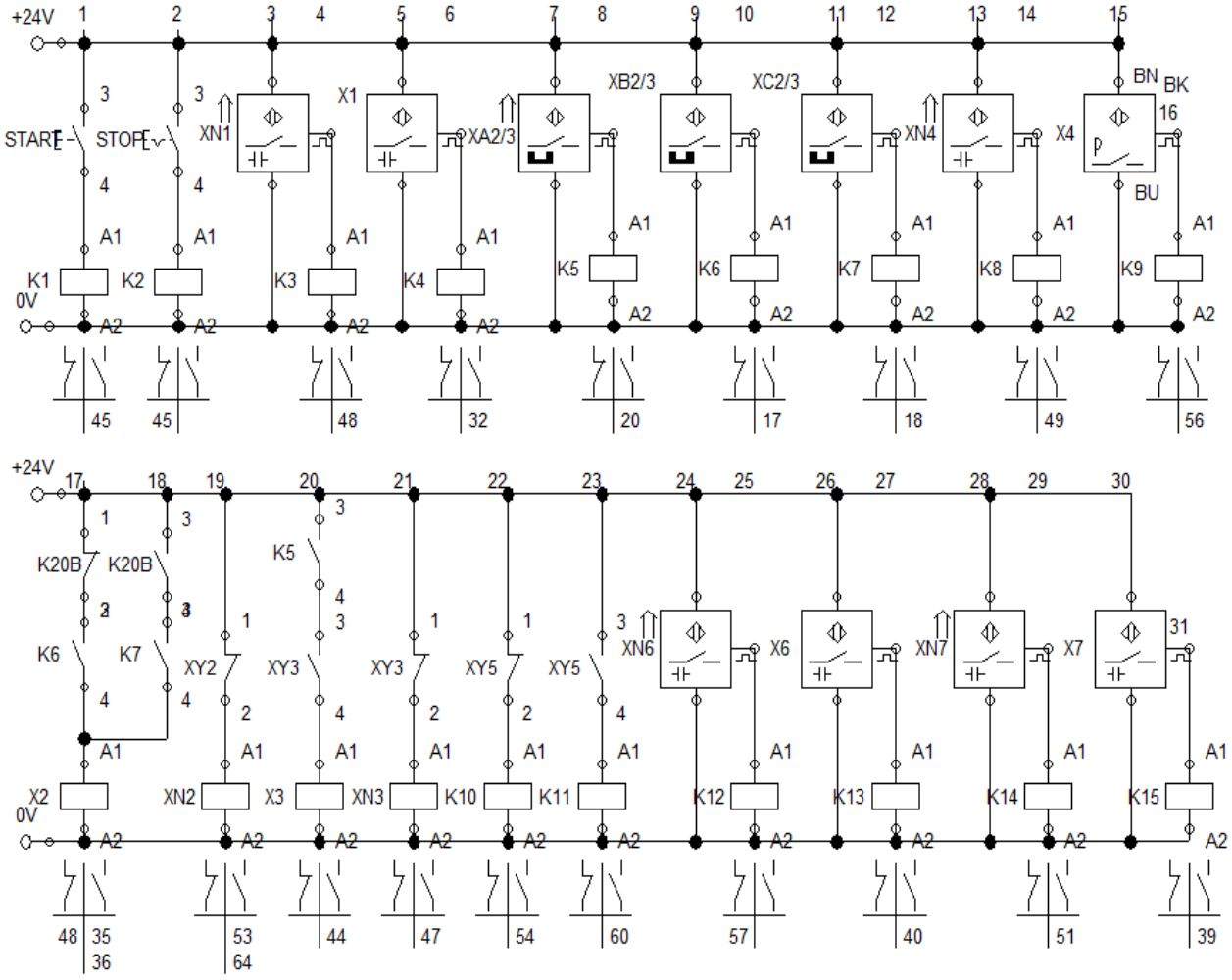


Рис.5.6. Схема підключень засобів контролю та попередньої обробки сигналів стану: ланцюги 3 – 10 і 24 – 31 – під'єднання сенсорів та датчиків, ланцюги 1 і 2 – під'єднання до кнопок пульта керування, ланцюги 17, 18 і 19 – формування сигналу контролю за позиціонуванням і зупинкою модуля 2, ланцюги 20 і 21 - формування сигналу контролю за позиціонуванням і зупинкою модуля 3, ланцюги 22 і 23 - формування сигналу опосередкованого контролю дій модуля 5 (обертовий рух)

Лінії 24 … 27 відображають схеми підключення датчиків положення модуля повздовжньої подачі 6, сигнали яких керуватимуть реле К12 і К13. Ключі допоміжних реле К12 і К13 надалі будуть використані в схемах команд керування замість сигналів датчиків положення XN6 і X6 в схемах команд керування інших модулів системи.

Лінії 28 … 31 відображають схеми підключення датчиків положення модуля відвантаження 7. Сигнали цих датчиків використовуються по декілька раз, тому сигнали датчиків керуватимуть реле К14 і К15, а ключі допоміжних реле К14 і К15 надалі будуть використані в замість сигналів датчиків положення XN7 і X7 в схемах керування інших модулів системи.

В другому фрагменті (рис. 5.7) розташовано схеми керування елементами

пам’яті 8, 9 і 10, та раніш задекларованого елементу пам’яті вмикання/вимикання системи.

В третьому фрагменті (рис. 5.8) розташовано схеми керування модулями системи (лінії живлення магнітів розподільників), та схеми логічних команд модулів, що їх використано для опосередкованого контролю відпрацювання дій, як то для модулів 2, 3 і 5 (відповідні допоміжні реле XY2 – лінії 48 і 49, XY3 – лінія 51, XY5 – лінії 56 і 57). Для 5-го модуля, який має бістабільне керування, для опосередкованого контролю використано моностабільний вираз команди запобігати виникненню зони невизначеності стану модуля.

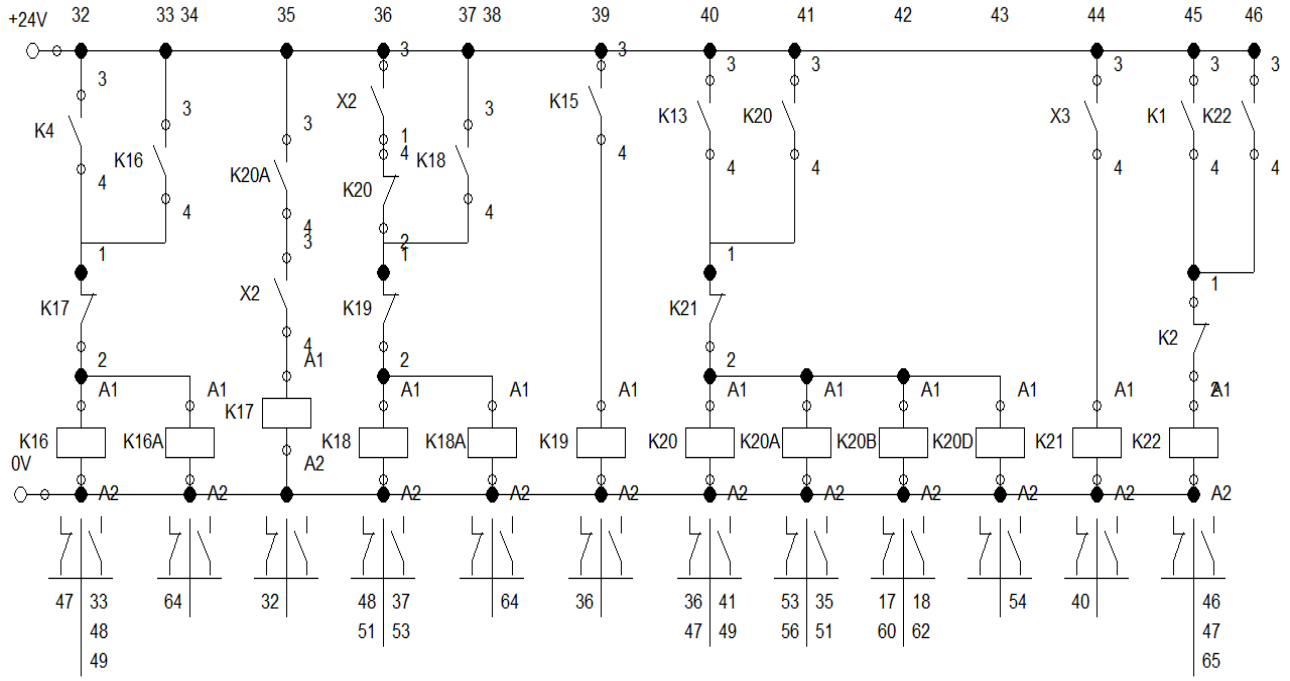


Рис. 5.7. Схема підключень елементів пам’яті: лінії 32, 36 і 40 схеми команд на вмикання елементів пам’яті 8, 9 і 10 з додатковими реле К16 і К16А (елемент 8), К18 і К18А (елемент 9), К20, К20А, К20В і К20D (елемент 10), лінії 33, 37 і 41 – лінії самопідхвату елементів пам’яті; лінії 35, 39 і 44 – лінії команд вимикання елементів пам’яті 8, 9 і 10; лінії 45 і 46 – елемент пам’яті, що формує сигнал вмикання/вимикання системи

ПРИМІТКА. При бістабільному керуванні є проміжок часу, коли жодна з команд модуля не має одиничного значення і визначити стан модуля неможливо, бо він є збереженим після останнього перемикання. Оскільки напрямок останнього перемикання невідомий, то і стан, в загальному випадку, не можна визначити. З цієї причини за основу для визначення стану взято моностабільний вираз команди керування, при якому проміжок з відсутнім сигналом команди не існує.

В систему керування додано три таймери для затримки часу на зупинку руху неконтрольованих за положенням виконавчих пристроїв, а саме модуля обертового руху. Для цього використано таймер Т1, що затримує команду на основний рух модуля повздовжньої подачі 6.

Таймер Т2 затримує початок зворотного руху повздовжньої подачі.

Таймер Т3 додає паузу після зупинки обертового руху перед вивільненням виробу модулем 4.

В систему додано лампочку-індикатор увімкненого стану системи, яким керує елемент пам’яті вмикання/вимикання системи.

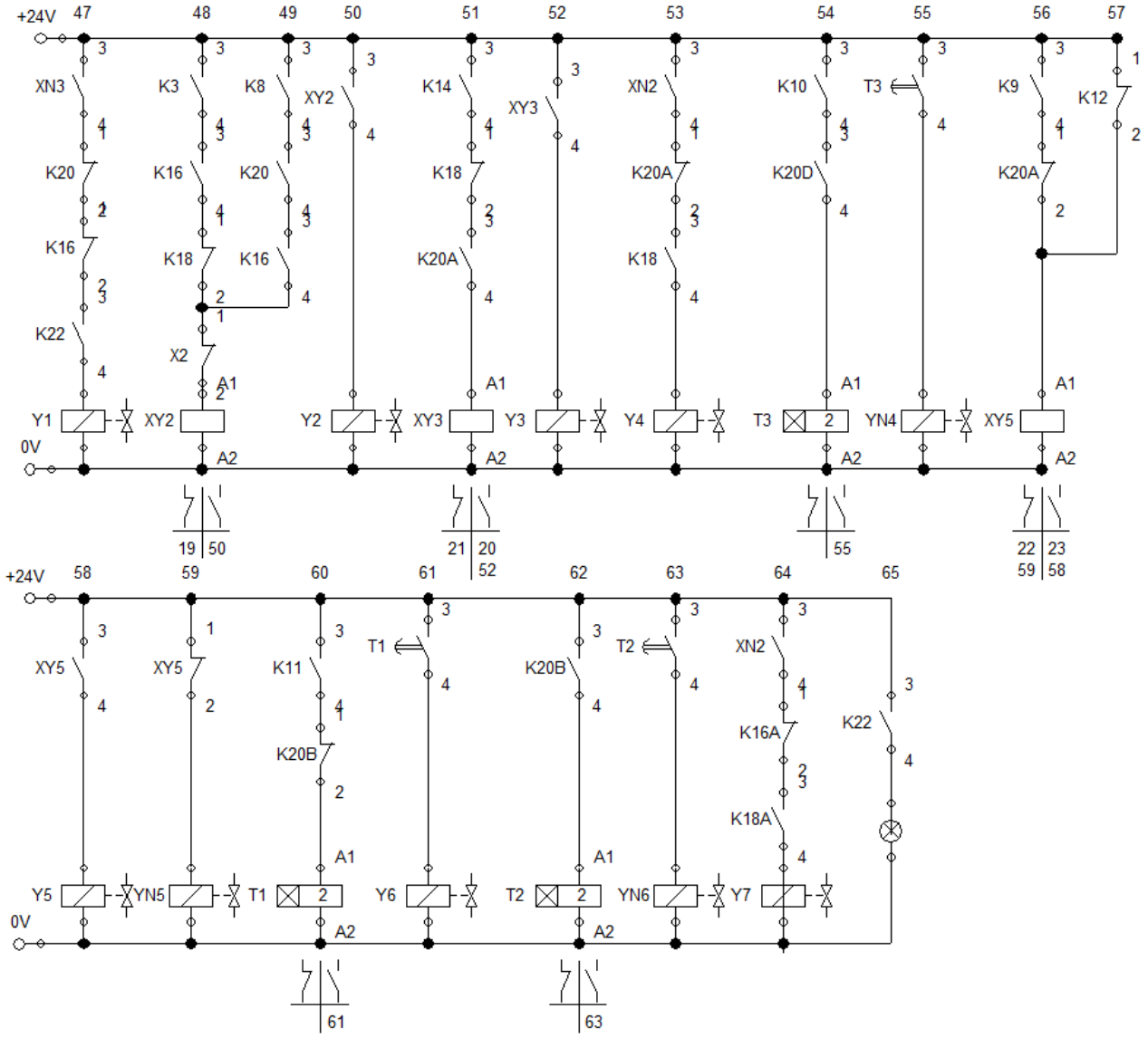


Рис. 5.8. Схема опосередкованого контролю і керування модулів системи: лінія 47 - формування сигналу команди Y1; лінії 48 – 50 – формування сигналу команди Y2; лінії 51 – 52 – формування сигналу команди Y3; лінії 53 – 55 – формування сигналів команд Y4 і YN4; лінії 56 – 59 – формування сигналів команд Y5 і YN5; лінії 60 – 63 – формування сигналів команд Y6 і YN6; лінія 64 – формування сигналу команди Y7; лінія 65 – індикатор стану увімкненої системи

Синтезована електрорелейна схема системи керування для гідравлічної системи виконавчих пристроїв оброблювального центру складена і перевірена в прикладній програмі FluidSim. Імітація роботи системи перевірена в тривалому і одиничному робочому циклі.

Синтезована електрорелейна система керування ланкою метало-оброблювального центру дозволяє налаштовувати:

- Швидкості робочих подач;

- Швидкість обертового руху інструменту;
- Швидкість завантаження заготовки;
- Швидкість відвантаження заготовки;
- Зусилля затискання під час обробки деталі;
- Паузу для розгону обертового руху;
- Паузу для зупинки обертового руху;
- Паузу під час реверсування поздовжнього руху інструменту.

Завдяки циклічно-модульній будові система має відкриту архітектуру і її може бути доповнено виконанням нових функцій, шляхом додавання нових модулів без втручання у відпрацьовану частину системи.

Наприклад:

- до обробки деталі при роботі інструмента може бути додано змащування;
- після обробки і видалення деталі може бути виконано очищення робочої поверхні;
- поздовжня подача інструменту може бути виконана у вигляді модуль-лічильника із завданням кількості проходів.

Всі перелічені зміни відносяться тільки до зв’язків між модулями, тобто вимагатимуть уточнення логічних виразів команд керування модулів, що вже існують – бо потребують уточнення сигнали, що є відправними для вмикання чи вимикання тих модулів, яким передують дії доданих нових складових системи.

Варіант розширення функціональних можливостей буде розглянуто на цьому самому прикладі, але з використанням PLC в системі керування.

5.2. СИСТЕМА ДИСКРЕТНОЇ ГІДРОАВТОМАТИКИ ЛАНКИ МЕТАЛО-ОБРОБЛЮВАЛЬНОГО ЦЕНТРУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМОВАНОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА (PLC) В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯМ

На ланці відбувається технологічна обробка поверхні заготовок великої ваги в чотири проходи: 1-а і 2-а швидкості робочої подачі поступального руху, 1-а і 2-а швидкості обертального руху робочого інструменту.

Шляхом комбінування різних рівнів швидкості поступового руху і швидкості обертання інструменту забезпечується поступове підвищення якості оброблюваної поверхні. Так на останньому проході відбувається повільна повздовжня подача з максимальною швидкістю обертання інструменту.

Перший прохід відбувається за першою подачею і першою швидкістю обертання.

Другий прохід (в зворотному напрямку) відбувається за першою подачею і другою швидкістю обертання.

Третій прохід відбувається за другою подачею і першою швидкістю обертання.

Четвертий прохід (в зворотному напрямку) відбувається за другою подачею і другою швидкістю обертання.

Цей приклад сформовано як розширення функціональних можливостей системи дискретного гідроприводу з попереднього прикладу.

Всі модулі, чиї функції збережено в новому прикладі із попереднього, запозичено з прикладу разом із засобами контролю і керування. Відкрита архітектура модульної системи дозволяє додавати нові модулі і відповідні функції шляхом модернізації логічних зв’язків між діями, тобто, логічних виразів команд керування.

Для виконання операцій обробки залучено 9 виконавчих пристроїв на основі гідравлічних виконавчих пристроїв та клапанів налаштування параметрів гідравлічного приводу.

Виконувані дії, що належать до технологічного процесу обробки деталі:

1. Завантаження заготовки на початкову позицію;
2. Переміщення заготовки на позицію обробки;
3. Фіксація заготовки для виконання технологічної операції обробки (затискання);
4. Вмикання першої швидкості обертання ω1;
5. Вмикання робочого руху оброблювального інструменту (обертання);
6. Переміщення інструменту в основному напряму зі швидкістю V1;
7. Вмикання другої швидкості обертання ω2;
8. Переміщення інструменту в зворотному напрямку зі швидкістю V1;
9. Вмикання першої швидкості обертання ω1;
10. Вмикання швидкості повздовжнього переміщення V2;

11. Переміщення інструменту в основному напряму зі швидкістю V2;
12. Вмикання другої швидкості обертання ω2;
13. Переміщення інструменту в зворотному напрямку зі швидкістю V2;
14. Вимикання швидкості повздовжнього переміщення V2;
15. Вимикання робочого руху оброблювального інструменту (обертання);
16. Вивільнення заготовки фіксатором;
17. Переміщення обробленої заготовки (виробу) на позицію відвантаження;
18. Відвантаження виробу;
19. Повернення відвантажувача на початкову позицію;
20. Повернення приводу переміщення на початкову позицію.

При формуванні опису технологічного процесу є можливість скоротити кількість переходів шляхом суміщення деяких дій модулів у часі. Наприклад, вмикання руху можна сумістити з вмиканням відповідної швидкості. Оскільки вмиканням руху і перемиканням швидкості керують однотипні розподільники, то їх одночасне вмикання не призведе до порушення технологічного процесу обробки. Аналогічне суміщення можна використати при перемиканні швидкості обертового руху.

Суміщення дій на переходах. З врахуванням суміщення окремих дій технологічного циклу у часі отримуємо наступний опис процесу:

1. Завантаження заготовки на початкову позицію;
2. Повернення завантажувача;
3. Переміщення заготовки на позицію обробки;
4. Фіксація заготовки для виконання технологічної операції обробки (затискання);
5. Вмикання робочого руху обертання модуля 5 (швидкість ω1);
6. Вмикання повздовжнього руху модуля 6 в основному напряму (швидкість V1);
7. Вмикання другої швидкості обертання ω2, вмикання повздовжнього руху модуля 6 в зворотному напряму (швидкість V1);
8. Вмикання швидкості обертання ω1; вмикання швидкості повздовжнього руху V2; вмикання повздовжнього руху модуля 6 в основному напряму (швидкість V2);
9. Вмикання швидкості обертання ω2; вмикання повздовжнього руху модуля 6 в зворотному напряму (швидкість V2);
10. Вмикання швидкості повздовжнього переміщення V1; вмикання швидкості обертання ω1; вимикання робочого руху обертання модуля 5;
11. Вивільнення заготовки фіксатором;
12. Переміщення обробленої заготовки (виробу) на позицію відвантаження;
13. Відвантаження виробу;

14.Повернення відвантажувача на початкову позицію.

15.Повернення приводу переміщення на початкову позицію.

На початку роботи системи модулі і пристрої займають початковий стан:

- Штоки всіх циліндрів втягнуто,
- Гідромотор зупинено,
- Налаштування обертової швидкості модуля 5 - ω1,
- Налаштування поздовжньої швидкості модуля 6 - V1.

На першому кроці, відповідно до виконуваних дій, обираємо та розраховуємо параметри пристроїв функціональних модулів, що забезпечують зусилля, тиск, швидкість, витрату. Для модулів з 1-го по 7-й зберігаємо їх склад і опис з попереднього прикладу. Для модулів 8 і 9 формуємо опис і склад модулів відповідно до їх функцій.

Модуль 1 Завантаження заготовки (збережено з базової системи):

Основна дія: переміщення заготовки на позицію завантаження.

Зворотна дія: повернення завантажувача в початкове положення.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії із зусиллям, відповідно до маси вантажу і тиску в гідравлічній системі, орієнтовно 16,0 МПа (розрахунок).

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (ємнісний датчик);

кінцева позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням.

Модулі 2/3 Переміщення в основному напрямку (2), переміщення в зворотному напрямку (3) - (збережено з базової системи):

Основна дія: переміщення заготовки та виробу.

Зворотна дія: повернення вихідної ланки приводу в початкове положення.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії із зусиллям, -відповідно до маси вантажу і тиску в гідравлічній системі, орієнтовно 16,0 МПа (розрахунок).

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (ємнісний датчик);

позиція обробки – ємнісний датчик;

позиція відвантаження – оптичний датчик.

Засоби керування:

розподільник 4/3 з моностабільним керуванням.

Модуль 4 Фіксація заготовки (збережено з базової системи):

Основна дія: затискання заготовки на позиції обробки.

Зворотна дія: вивільнення заготовки (виробу).

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр односторонньої дії із зусиллям, відповідно до зусилля обробки і тиску в гідравлічній системі, орієнтовно 16,0 МПа (розрахунок).

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (ємнісний датчик);

кінцева позиція затискання – контроль за тиском, відповідно до тиску утримання заготовки.

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням.

Модуль 5 Робочого руху інструменту (обертання) - (збережено з базової системи):

Основна дія: вмикання обертання інструменту.

Зворотна дія: припинення обертання інструменту.

Виконавчий пристрій – гідравлічний мотор із крутним моментом, відповідно до зусилля обробки і тиску в гідравлічній системі, орієнтовно 16,0 МПа (розрахунок), регулювання швидкості обертання.

Засоби контролю:

початковий стан – відсутність «1» значення моностабільного виразу основної команди.

кінцевий стан – наявність «1» значення моностабільного виразу основної команди.

ОСОБЛИВІСТЬ: оскільки бістабільний розподільник зберігає свій стан після зняття сигналу керування, то відсутність сигналу не є тотожною до протилежного стану. Для запобігання невідповідності в якості індикатору стану може бути використано логічний вираз моностабільної команди або додатковий елемент пам'яті, який працює синхронно з розподільником.

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням.

Модуль 6 Робочого руху інструменту (переміщення) - (збережено з базової системи):

Основна дія: вмикання першої подачі робочого руху інструменту зі швидкістю V1.

Зворотна дія: повернення інструменту зі швидкістю другої робочої подачі V2.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії із швидкістю, відповідно до робочих подач V1 і V2 і тиску в гідравлічній системі, орієнтовно 16,0 МПа (розрахунок).

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (ємнісний датчик);

кінцева позиція затискання – кінцевий електроконтактний вимикач

(ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням.

Модуль 7 Відвантаження виробу - (збережено з базової системи):

Основна дія: переміщення виробу з позиції відвантаження.

Зворотна дія: повернення відвантажувача в початкове положення.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр односторонньої дії із зусиллям, відповідно до маси вантажу і тиску в гідравлічній системі, орієнтовно 16,0 МП (розрахунок).

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (ємнісний датчик);

кінцева позиція затискання – кінцевий електроконтактний вимикач (ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням.

Модуль 8 Перемикання швидкості обертання ω1 і ω2:

Основна дія: вмикання швидкості обертання інструменту ω1.

Зворотна дія: вмикання швидкості обертання інструменту ω2.

Виконавчий пристрій – розподільник 3/2 із регулятором витрати.

Засоби контролю:

початковий стан – відсутність «1» значення моностабільного виразу основної команди;

кінцевий стан – наявність «1» значення моностабільного виразу основної команди.

Засоби керування:

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням.

Модуль 9 Перемикання швидкості переміщення V1 і V2:

Основна дія: вмикання швидкості робочої подачі V1.

Зворотна дія: вмикання швидкості робочої подачі V2.

Виконавчий пристрій – розподільник 3/2 з регулятором витрати.

Засоби контролю:

початковий стан – відсутність «1» значення моностабільного виразу основної команди;

кінцевий стан – наявність «1» значення моностабільного виразу основної команди.

Засоби керування:

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням.

На другому кроці формуємо опис роботи системи в технологічному циклі. Записуємо, в порядку технологічного процесу, дії функціональних модулів з позначенням засобів виконання, керування і контролю для кожної дії. Додаємо в опис роботи базової системи дії доданих модулів.

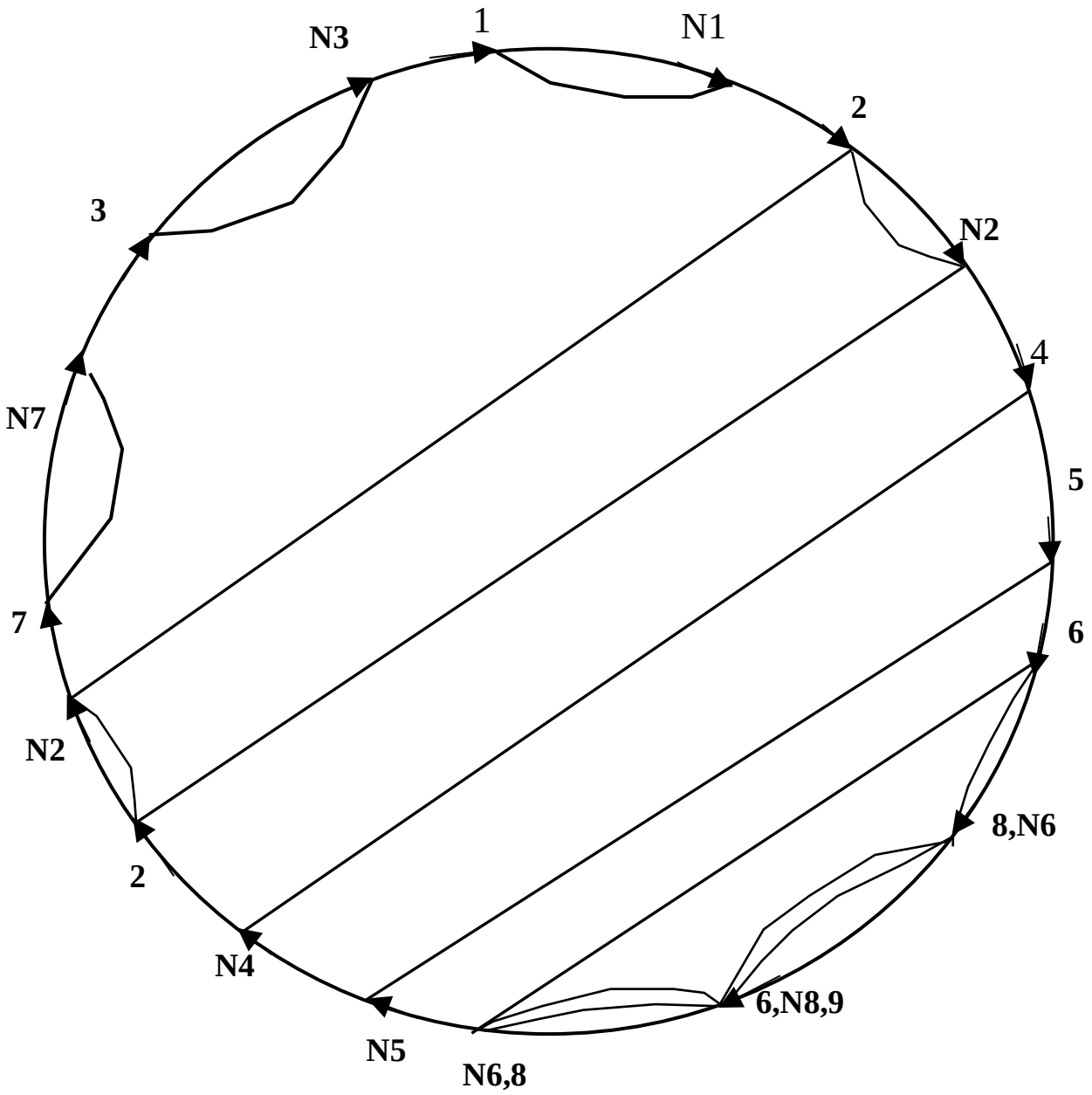


Рис. 5.9. Функціональний граф автоматизованої ланки металооброблювального центру: модулі 1 і 7 завантаження і відвантаження, модуль 4 фіксації заготовки, модулі 2/3 повздовжнього переміщення заготовки/виробу, модулі 5 і 6 переміщення інструменту, модулі 8 і 9 перемикання швидкості, зворотні дії модулів 8)другий режим) і 9 не показано

За можливості поєднуємо дії пристроїв у часі. Використовуємо можливість розташування зворотних дій модулів перемикання швидкостей задля ліквідації логічної невизначеності. Тобто, перемикання швидкості при відсутності руху не призводить до змін технологічного процесу, воно відбувається заздалегідь, але на якому саме переході вирішує розробник.

З цієї причини можна спочатку розташувати всі змістовні дії в порядку технологічного процесу, а після цього, з огляду на виникнення ліній

невизначеності, визначати місця розташування таких зворотних дій (модулів 8 і 9) (рис. 5.9).

1. Завантаження заготовки. Модуль 1 (завантаження):

Основна дія: переміщення заготовки на позицію завантаження.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

кінцева позиція переміщення – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням, вмикання електромагніту Y1.

2. Повернення завантажувача в початкове положення. Модуль 1 (завантаження):

Зворотна дія: повернення завантажувача в початкове положення.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої.

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням, вимикання електромагніту Y1.

3. Вмикання переміщення заготовки на позицію обробки. Модулі 2/3 (переміщення в основному напрямку (2)):

Основна дія: переміщення заготовки або виробу.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

позиція обробки – ємнісний датчик за присутності сигналу команди.

Засоби керування:

розподільник 4/3 з моностабільним керуванням, вмикання електромагніту Y2.

4. Припинення переміщення заготовки до позиції обробки. Модулі 2/3 (переміщення в основному напрямку (2)):

Зворотна дія: припинення переміщення заготовки.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої.

Засоби контролю:

відсутність сигналу Y2: зупинка руху - середня позиція керуючого розподільника.

Засоби керування:

розподільник 4/3 з моностабільним керуванням, вимикання електромагніту Y2.

5. Затискання заготовки. Модуль 4 (фіксації заготовки):

Основна дія: затискання заготовки на позиції обробки.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр односторонньої дії.

Засоби контролю:

кінцева позиція затискання – реле тиску.

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням, вмикання Y4, вимикання YN4.

6. Вмикання робочого руху інструменту (обертання). Модуль 5 (вмикання руху обертання інструменту):

Основна дія: вмикання обертання інструменту (з кутовою швидкістю ω1).

Виконавчий пристрій – гідравлічний мотор із засобами регулювання швидкості обертання.

Засоби контролю:

кінцевий стан - наявність сигналу основної команди Y5.

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням, вмикання Y5, вимикання YN5.

7. Вмикання повздовжнього руху інструменту основного напрямку. Модуль 6 (вмикання руху основного напрямку (швидкість V1)):

Основна дія: вмикання першої подачі робочого руху інструменту.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії з налаштуванням швидкості.

Засоби контролю:

кінцева позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням, вмикання Y6, вимикання YN6.

8. Вмикання робочого руху інструменту зворотного напрямку і вмикання кутової швидкості ω2. Модуль 8 (вмикання кутової швидкості ω2):

Основна дія: вмикання кутової швидкості ω2.

Виконавчий пристрій – розподільник 3/2 з регулятором витрати.

Засоби контролю:

кінцевий стан – одиничне значення сигналу команди Y8.

Засоби керування:

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вмикання Y8.

Модуль 6 (вмикання руху інструменту зворотного напрямку)

Зворотна дія: вмикання другої подачі робочого руху інструменту, швидкість V1.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії з налаштуванням швидкості.

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням, вимикання Y6, вмикання YN6.

9. Вмикання повздовжнього руху інструменту основного напрямку, і вмикання швидкості V2, і **вмикання кутової швидкості ω1.**

Модуль 8 (вмикання кутової швидкості ω1):

Зворотна дія: вмикання кутової швидкості ω1.

Виконавчий пристрій – розподільник 3/2 з регулятором витрати.

Засоби контролю:

кінцевий стан – нульове значення сигналу команди Y8.

Засоби керування:

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вимикання Y8.

Модуль 9 (вмикання швидкості повздовжнього руху V2):

Основна дія: вмикання швидкості руху V2.

Виконавчий пристрій – розподільник 3/2 з регулятором витрати.

Засоби контролю:

кінцевий стан – одиничне значення сигналу команди Y9.

Засоби керування:

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вмикання Y9.

Модуль 6 (вмикання руху основного напрямку, V2):

Основна дія: вмикання робочого руху інструменту.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії з налаштуванням швидкості.

Засоби контролю:

кінцева позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням, вмикання Y6, вимикання YN6.

10. Вимикання робочого руху інструменту (обертання). Модуль 5 (вимикання обертання інструменту):

Зворотна дія: вимикання обертання інструменту.

Виконавчий пристрій – гідравлічний мотор із засобами регулювання швидкості обертання.

Засоби контролю:

початковий стан відсутність «1» значення моностабільного виразу основної команди Y5 .

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням, вимикання Y5, вмикання YN5.

11. Вивільнення заготовки. Модуль 4 (Фіксації заготовки):

Зворотна дія: вивільнення заготовки на позиції обробки.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр односторонньої дії.

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з бістабільним керуванням: вимикання Y4, вмикання YN4.

12. Вмикання переміщення виробу на позицію відвантаження і вмикання кутової швидкості ω1. Модулі 2/3 (Переміщення в основному напрямку (2)):

Основна дія: переміщення заготовки або виробу.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

позиція відвантаження – оптичний датчик за наявності сигналу команди Y2.

Засоби керування:

розподільник 4/3 з моностабільним керуванням, вмикання електромагніту Y2.

Модуль 8 (вмикання кутової швидкості ω1):

Зворотна дія: вмикання кутової швидкості ω1.

Виконавчий пристрій – розподільник 3/2 з регулятором витрати.

Засоби контролю:

кінцевий стан – нульове значення сигналу команди Y8.

Засоби керування:

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вимикання Y8.

13. Припинення переміщення заготовки до позиції відвантаження. Модулі 2/3 (переміщення в основному напрямку (2)):

Зворотна дія: припинення переміщення виробу.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої.

Засоби контролю:

відсутність сигналу Y2: зупинка руху - середня позиція керуючого розподільника.

Засоби керування:

розподільник 4/3 з моностабільним керуванням, вимикання електромагніту Y2.

14. Відвантаження виробу. Модуль 7 (відвантаження виробу):

Основна дія: переміщення виробу з позиції відвантаження.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр односторонньої дії із зусиллям, що відповідає вантажу.

Засоби контролю:

кінцева позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням: вмикання електромагніту Y7.

14. Повернення відвантажуючого пристрою. Модуль 7 (відвантаження виробу):

Зворотна дія: повернення відвантажувача в початкове положення.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр односторонньої дії.

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням: вимикання електромагніту Y7.

15. Вмикання переміщення приводу в позицію завантаження. Модулі 2/3 (переміщення в зворотному напрямку (3)):

Основна дія: повернення вихідної ланки приводу в початкове положення.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач за наявності «1» значення сигналу команди Y3.

Засоби керування:

розподільник 4/3 з моностабільним керуванням, вмикання електромагніту Y3.

16. Припинення переміщення приводу до позиції завантаження. Модулі 2/3 (переміщення в зворотному напрямку (3)):

Зворотна дія: припинення переміщення.

Виконавчий пристрій – гідравлічний циліндр двосторонньої.

Засоби контролю:

відсутність сигналу Y3: зупинка руху - середня позиція керуючого розподільника.

Засоби керування:

розподільник 4/3 з моностабільним керуванням, вимикання електромагніту Y3.

Відпрацювання технологічного циклу завершено і, за умов наявності дозвільного сигналу на продовження роботи системи, має розпочатись виконання наступного циклу, а саме – формування команди на подачу наступної заготовки на позицію завантаження.

Зауважимо, що у завданні та відповідно в запропонованому рішенні не обрано розташування зворотних дій модулів перемикання швидкостей 8 і 9.

ПРИМІТКА. Оскільки є можливість раціонального розташування трьох зворотних команд модулів 8 і 9 їх можна використати задля майбутньої ліквідації ліній невизначеності, замість доданих елементів пам'яті.

Проаналізуємо функціональний граф системи та визначимо місця вимикання відповідних модулів, а саме 8 і 9 (рис. 5.10).

На графі є 8 пар суміжних дуг, на яких виконуються взаємо-зворотні дії (дуги помічено зірочками). Для ліквідації ліній невизначеності, що вони їх охоплюють, безумовно будуть додані нові дуги всередині кожної з них. На цих нових дугах вмикатимуть елементи пам'яті, лінії зв'язку яких перетнуть лінію зв'язку модулів і не дозволять її відокремити від графу лініям невизначеності.

Для заповнення цих позицій діями вмикання/вимикання елементів пам'яті достатньо чотирьох нових модулів. Але є можливість використати для цього лінії зв'язку модулів 8 і 9. Розташовуємо зворотні дії модулів 8 і 9 так, щоб вони утворювали з новими елементами пам'яті «зірочку» (рис. 5.10). Оскільки місце

вимикання модуля 9 в такому випадку передує місцю вмикання модуля 9, то змінюємо зміст дій 9 і N9 одну на одну. Тобто, за командою Y9 вмикається швидкість V1, а за зворотною дією вмикається швидкість V2 (рис. 5.10).

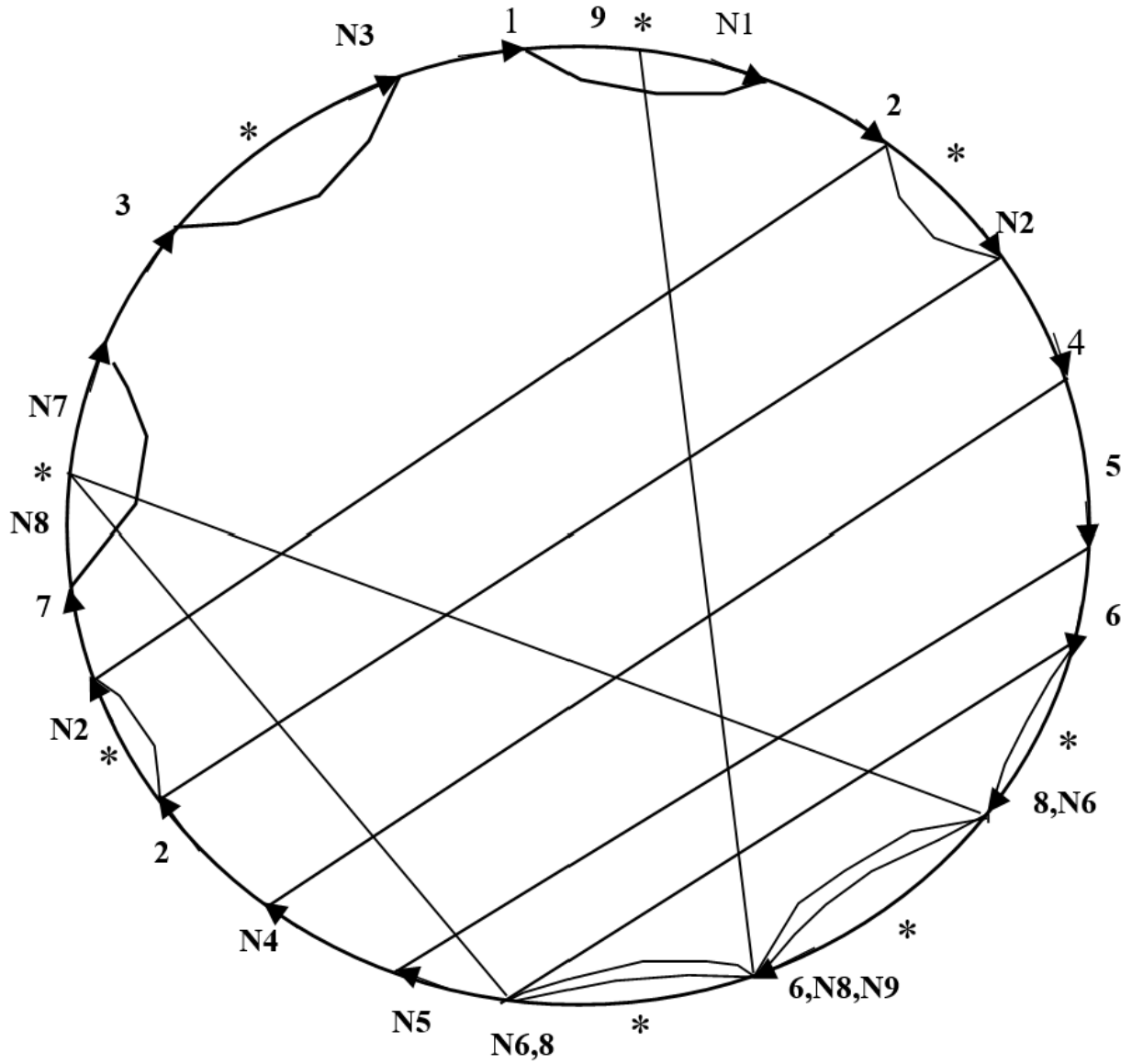


Рис. 5.10. Функціональний граф автоматизованої ланки металооброблювального центру: модулі 1 і 7 завантаження і відвантаження; модуль 4 фіксації заготовки; модулі 2/3 повздовжнього переміщення заготовки/виробу; модулі 5 і 6 переміщення інструменту; модулі 8 і 9 перемикання швидкості, додані зворотні дії модуля 8 (другий режим) і модуля 9

На третьому кроці виконуємо дослідження логічної визначеності системи. В отриманій системі є три багаторежимні пристрої, тому використання графічної методики дослідження логічної визначеності є недоцільним. За результатами використання спрощеної графічно-аналітичної методики отримано наступний підграф невизначеності (рис. 5.11).

Підграф невизначеності утворюють 6 ліній невизначеності, кожна з яких відокремлює від функціонального графу одну дугу, тобто, серед них немає таких ліній, які відокремлюють від графу не тільки лінії зв’язку, але і лінії

невизначеності. Це особливий випадок, який має аналітичний розв'язок і може бути розв'язано без застосування перебору всіх можливих комбінацій місць вмикання і вимикання навіть без розрахунку приведеного значення пам'яті.

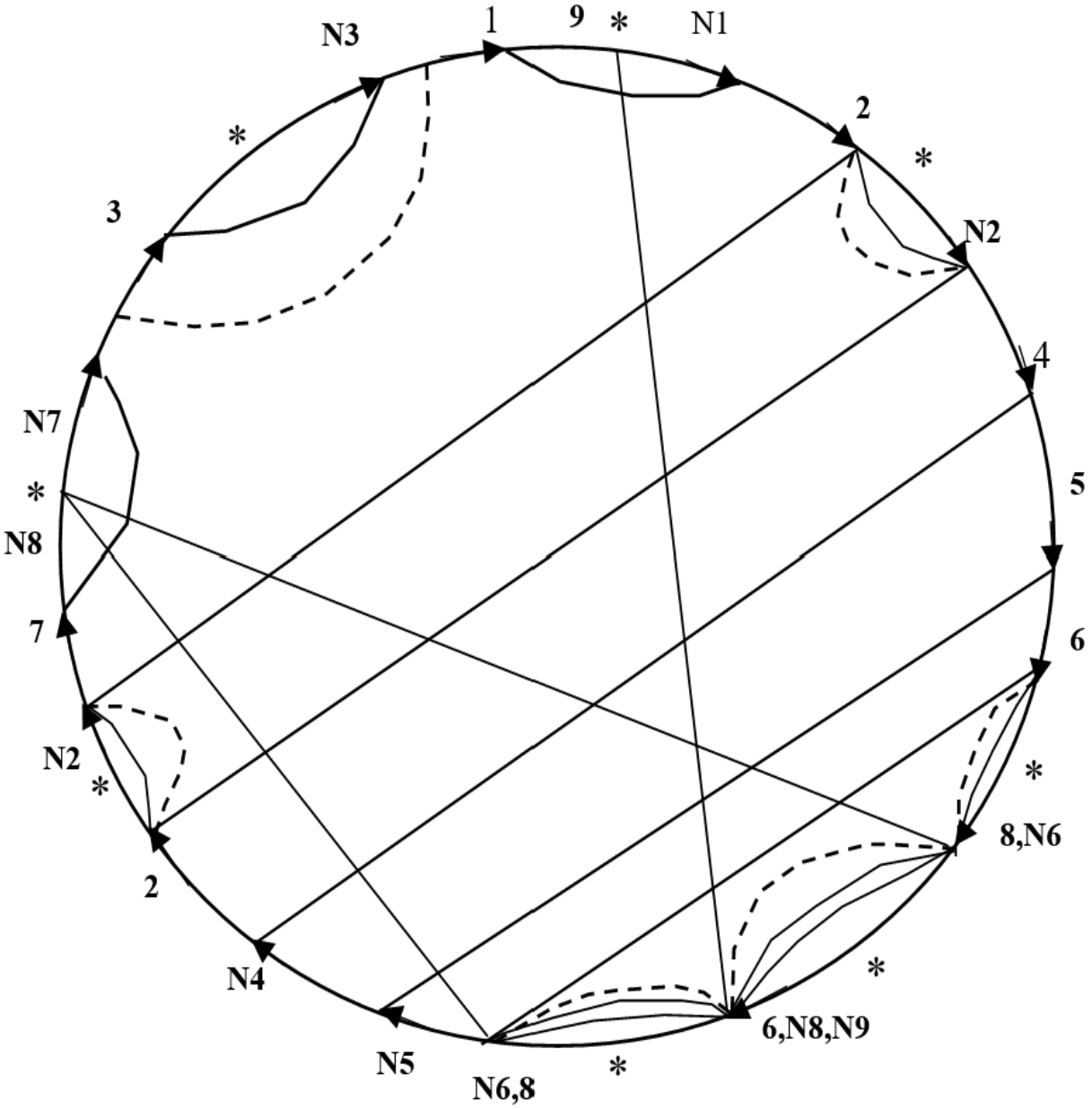


Рис. 5.11. Функціональний граф автоматизованої ланки металооброблювального центру: модулі 1 і 7 завантаження і відвантаження; модуль 4 фіксації заготовки; модулі 2/3 повздовжнього переміщення заготовки/виробу; модулі 5 і 6 переміщення інструменту, модулі 8 і 9 перемикання швидкості, підграф невизначеності має 9 ліній

На четвертому кроці доповнюємо систему елементами пам'яті. В отриманому випадку розташування ліній зв'язку елементів пам'яті має бути по схемі «зірочки». А з огляду на 6 ліній невизначеності достатньо трьох елементів пам'яті (рис. 5.12). Додані нові модулі 10, 11 і 12 - елементи пам'яті – по черзі заповнюють своїми командами місця із зірочками. Спочатку командами на вмикання елементів пам'яті. Після того, як всі елементи пам'яті увімкнено, у такій саме послідовності встановлюємо команди на їх вимикання.

На п’ятому кроці виконуємо логічний синтез команд керування. Оскільки система керування запланована до реалізації засобами програмування PLC, то логічні вирази команд керування не мають враховувати тип керуючих пристроїв (бістабільний, моностабільний 4/2, моностабільний 4/3) і будуть складені у бістабільному варіанті. Врахування конкретних керуючих пристроїв відбуватиметься в алгоритмі керування. Для елементів пам’яті також складаємо логічні вирази команд керування у бістабільному варіанті.

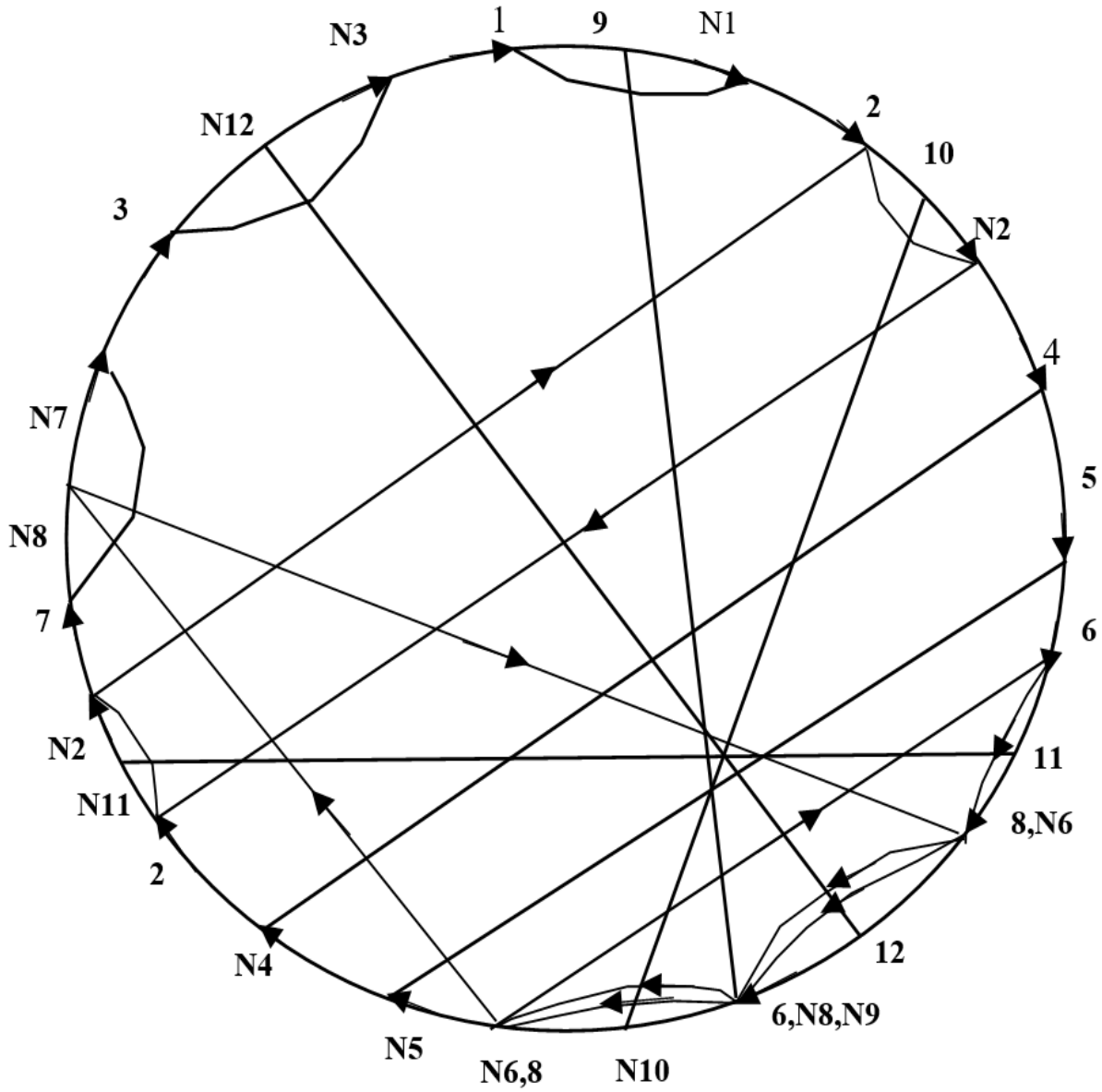


Рис. 5.12 Функціональний граф автоматизованої ланки металооброблювального центру: модулі 1 і 7 завантаження і відвантаження, модуль 4 фіксації заготовки, модулі 2/3 повздовжнього переміщення заготовки/виробу, модулі 5 і 6 переміщення інструменту, модулі 8 і 9 перемикання швидкості, модулі 10, 11 і 12 – елементи пам’яті

Уточнюємо опис багатопозиційних модулів 2/3, коригуємо логічні вирази контролю виконання дій з врахуванням розташування елементів пам’яті (рис. 5.12).

Модуль 2 (сигнал команди Y2 - рух основного напрямку):

$$X2 = (XB_{2/3}*XN12 + XC_{2/3}*X12) * Y2 .$$

Одиничне значення виразу в дужках може означати як завершення руху приводу 2, так і зупинку приводу на позиції датчика, тобто завершення протилежної дії. Для уникнення двозначності додаємо множник – датчик завершення руху є дійсним тільки за умов наявності команди на рух.

Модуль 2 (припинення руху основної дії):

$$XN2 = N\ Y2.$$

Модуль 3 (сигнал команди Y3 - рух зворотного напрямку):

$$X3 = XA_{2/3}*Y3 ,$$

(співпадає з сигналом датчика початкового положення у разі істинності сигналу команди).

Модуль 3 (припинення руху зворотного напрямку):

$$XN3 = N\ Y3.$$

Модуль 5, як і в попередньому прикладі, забезпечує обертовий рух інструменту і не має фізичних датчиків положення, тому їх замінюємо опосередкованим контролем:

$$X5 = Y5.$$

Вважаємо, що рух розпочато одразу після подачі сигналу команди. Так само здійснюємо контроль припинення руху:

$$XN5 = N\ Y5.$$

Модулі перемикання швидкостей 8 і 9 не мають фізичних датчиків стану, тому їх замінюємо опосередкованим контролем:

$$X8 = Y8,\ X9 = Y9.$$

Вважаємо, що перемикання відбувається одночасно з подачею відповідного сигналу керування. Так само здійснюємо контроль припинення руху:

$$XN8 = N\ Y8,\ \ XN9 = N\ Y9.$$

Всі інші модулі зберігають з попереднього прикладу фізичні датчики контролю за виконанням відповідних дій. За функціональним графом (рис. 5.12) складаємо логічні вирази бістабільного варіанту команд керування.
Модуль №1 (моностабільне керування 4/2):

$$Y1 = XN3*XN12*XN9*Xst;$$

$$YN1 = X9.$$

Модуль №2 (моностабільне керування 4/3):

$$Y2 = XN1*X9*XN10 + XN4*X11;$$

$$YN2 = X10 + XN11*XN9.$$

Модуль №3 (моностабільне керування 4/3):

$$Y3 = XN7*XN8*XN12*XN11;$$

$$YN3 = XN12.$$

Модуль №4 (бістабільне керування 4/2):

$$Y4 = XN2*X10;$$

$$YN4 = XN5*X12.$$

Модуль №5 (бістабільне керування 4/2):

$$Y5 = X4*X9;$$

$$YN5 = XN6*X8*XN10.$$

Модуль №6 (бістабільне керування 4/2):

$$Y6 = X5*XN11 + X12*X10;$$

$$YN6 = X11*XN12 + XN10.$$

Модуль №7 (моностабільне керування 4/2):

$$Y7 = XN2*XN11*X8;$$

$$YN7 = XN8.$$

Модуль №8 (моностабільне керування, перемикання швидкості обертання):

$$Y8 = X11*XN12 + XN10*X11;$$

$$YN8 = X12*X10 + X7.$$

Модуль №9 (моностабільне керування, перемикання швидкості повздовжньої):

$$Y9 = X1;$$

$$YN9 = X12.$$

Модуль №10 (елемент пам’яті):

$$Y10 = X2*X9;$$

$$YN10 = X6*XN8*XN9.$$

Модуль №11 (елемент пам’яті):

$$Y11 = X6*XN12;$$

$$YN11 = X2*X12.$$

Модуль №12 (елемент пам’яті):

$$Y12 = X8*X6*X11;$$

$$YN12 = X3.$$

На шостому кроці формуємо склад модулів системи. Це дозволяє впритул наблизитися до формування принципової схеми і системи керування. Обрані технічні засоби для реалізації функціональних модулів визначають склад системи (таблиця 5.3).

Таблиця 5.3

Склад функціональних модулів

№ і назва модуля	**Основна дія**	**Зворотна дія**	**Команда Основної дії**	**Команда Зворотної дії**	**Контроль виконання Основної дії**	**Контроль виконання Зворотної дії**	**Тип виконавчого пристрою**	**Тип керуючого пристрою**
1: модуль завантаження	1	N1	Переміщення заготовки на позицію завантаження Y1 Y1 = XN3*XN10*XN8	Повернення завантажувача в початкове положення YN1 відсутня	Реле тиску, відповідно до тиску в системі X1	Кінцевий електроконтактний вимикач XN1	гідравлічний циліндр двосторонньої дії	Розподільник 4/2 моностабільний
2: модуль переміщення	2	N2	Переміщення в основному напрямку Y2 Y2=XN1*X8*XN9 * + XN4*X10* *X8	Зупинка переміщення в основному напрямку YN2 відсутня	Ємнісний датчик $XB_{2/3}$ Оптичний датчик $XC_{2/3}$ X2 = ($XB_{2/3}$*XN10 + $XC_{2/3}$*X10)*Y 2	Опосередкований контроль XN2=NY2	гідравлічний циліндр двосторонньої дії	Розподільник 4/3 моностабільний
3: модуль переміщення	3	N3	Переміщення в зворотному напрямку Y3 Y3 = XN7*XN9*X10	Зупинка переміщення в зворотному напрямку YN3 відсутня	кінцевий електроконтактний вимикач X3 = $XA_{2/3}$*Y3	Опосередкований контроль XN3=NY3	гідравлічний циліндр двосторонньої дії	Розподільник 4/3 моностабільний
4: модуль фіксації	4	N4	затискання заготовки на позиції обробки Y4 Y4 = XN2*X9*XN10	вивільнення заготовки YN4 YN4 = XN5*X10	Реле тиску: контроль за тиском X4	кінцевий електроконтактний вимикач XN4	гідравлічний циліндр односторонньої дії	Розподільник 4/2 бістабільний

Продовження табл.5.3.

5: модуль обертового робочого руху	5	N5	Обертання інструменту Y5 Y5 = X4*XN10+ +N(XN6)	вивільнення заготовки YN5 відсутній	Опосередкований контроль X5=Y5+(ΔT)	Опосередкований контроль XN5=NY5+ +(ΔT)	гідравлічний циліндр односторонньої дії	Розподільник 4/2 бістабільний
6: модуль поступального робочого руху	6	N 6	Переміщення інструменту в основному напрямку зі швидкістю V1; Y6 Y6 = X5*XN10	Переміщення інструменту в зворотному напрямку зі швидкістю V2; YN6 YN6 = X10	кінцевий електроконтактний вимикач X6	кінцевий електроконтактний вимикач XN6	гідравлічний циліндр односторонньої дії	Розподільник 4/2 бістабільний
7: модуль відвантаження	7	N7	Переміщення виробу з позиції відвантаження Y7 Y7 = XN2*XN8*X9	Повернення відвантажувача в початкове положення YN7 відсутній	Кінцевий електроконтактний вимикач X7	Кінцевий електроконтактний вимикач XN7	гідравлічний циліндр двосторонньої дії	Розподільник 4/2 моностабільний
8: модуль пам’яті	8	N8	Вмикання елемента пам’яті Y8 Y8 = X1	Вимикання елемента пам’яті YN8 YN8 = X2*X10	Нормально розімкнений ключ реле X8	Нормально замкнений ключ реле XN8	Додаткове реле	електромагніт
9: модуль пам’яті	9	N9	Вмикання елемента пам’яті Y9 Y9 = X2*XN10	Вимикання елемента пам’яті YN9 YN9 = X7	Нормально розімкнений ключ реле X9	Нормально замкнений ключ реле XN9	Додаткове реле	електромагніт
10: модуль пам’яті	10	N10	Вмикання елемента пам’яті Y10 Y10 = X6	Вимикання елемента пам’яті YN10 YN10 = X3	Нормально розімкнений ключ реле X10	Нормально замкнений ключ реле XN10	Додаткове реле	електромагніт

ПРИМІТКА 1. Для модулів, в яких використано опосередкований контроль шляхом ототожнення сигналів контролю з сигналами команд, не потрібно використовувати додаткові реле, оскільки стан сигналів команд можна безпосередньо використовувати в алгоритмі керування. Це забезпечує контроль для модулів з бістабільним керуванням, оскільки стан сигналу керування може не відповідати логічному виразу команди внаслідок «внутрішньої» пам'яті бістабільного Розподільника.

ПРИМІТКА 2. Для випадку, коли між моментом подачі сигналу команди і зміною стану модуля є відповідний термін, ототожнення сигналів має бути виконано із затримкою у часі на відповідний термін відпрацювання (ΔТ) за допомогою таймера.

ПРИМІТКА 3. Стала швидкість повздовжнього робочого руху модуля 6 забезпечена диференційною схемою підключення і встановленням двох регуляторів витрати з Розподільником 3/2.

ПРИМІТКА 4. Стала швидкість обертального робочого руху модуля 5 забезпечена встановленням двох регуляторів витрати з розподільником 3/2.

ПРИМІТКА 5. Для запобігання ударів в кінці руху обрано гідравлічні циліндри з демпферами.

ПРИМІТКА 6. Для плавного переміщення заготовок чи виробів до позицій завантаження і відвантаження додано дроселі у відповідному напрямку руху.

ПРИМІТКА 7. Для запобігання пошкодженню заготовки живлення модуля затискання 4 виконано з налаштуванням пониженого тиску за допомогою редукційного клапана тиску, а рух затискання уповільнено дроселем.

ПРИМІТКА 8. Для запобігання виходу з ладу вихідних каналів контролера сигнали виходів заводимо на додаткові реле, ключі яких використано в ланцюгах керування розподільників та іншого обладнання виконавчого рівня (на схемі не показано).

На сьомому кроці формуємо принципову схему. Спочатку формуємо рівень функціональних модулів (виконавчих пристроїв, оздоблених засобами керування і контролю). Враховуємо додаткові пристрої для виконання дій: регулювання швидкості, налаштування і регулювання тиску, контролю положень та тиску.

Лінії гідравлічного живлення та лінії відводу рідини не вказуємо на принциповій схемі, так само, як наявність і склад насосної станції або акумулятора, для вибору яких необхідно провести розрахунки (рис. 5.13).

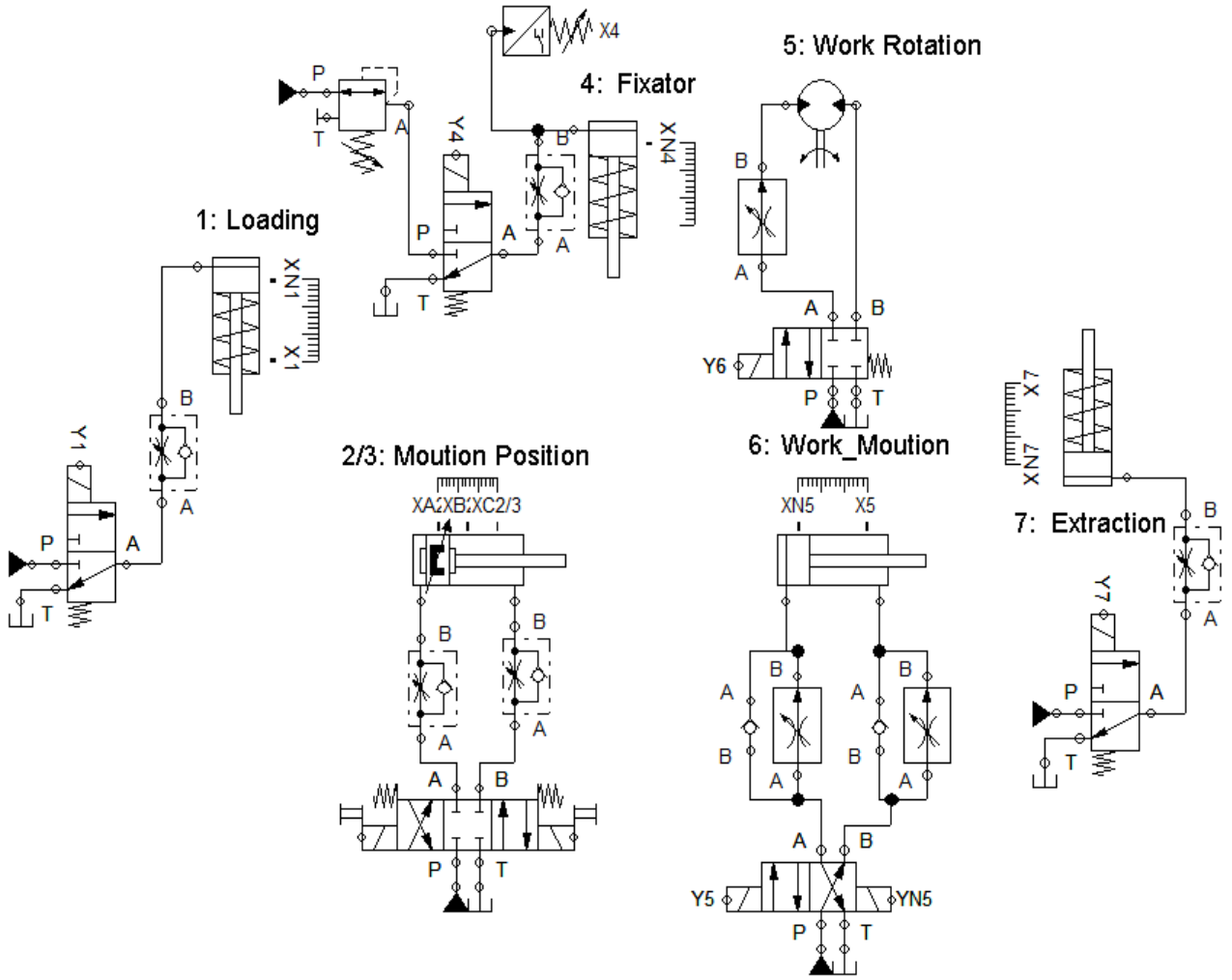


Рис. 5.13. Принципова схема виконавчого рівня автоматизованої ланки оброблювального центру: 1 - модуль завантаження; 2/3 - модуль переміщення; 4 - модуль фіксації; 5 - модуль поступального робочого руху; 6 - модуль обертового робочого руху; 7 - модуль відвантаження, 8 – зміна швидкості обертання; 9 – зміна поздовжньої швидкості.

На восьмому кроці, з врахуванням наданих позначень датчиків і сенсорів, укладаємо електричну схему під'єднання засобів контролю. Додаємо в схему під'єднання кнопок подачі зовнішніх сигналів з пульта керування: START і STOP.

З врахуванням того, що PLC мають обмежену кількість входів і виходів, наприклад 16, розподіляємо сигнали від датчиків і сенсорів по входах контролера (IXX), а керовані пристрої (електромагніти та засоби індикації) розподіляємо по виходах контролера (QXX). Перед вибором контролера потрібно, відповідно до принципової схеми виконавчого рівня (рис. 5.13), підрахувати необхідну кількість входів і виходів PLC. Це не стосується елементів пам'яті, оскільки при використанні PLC елементи пам'яті, так само як лічильники і таймери, формуються алгоритмічно з використанням програмного забезпечення. Маємо наступні результати (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4

Підрахунок необхідної кількості входів і виходів PLC

№ модуля	Входи PLC X_ і XN_		Виходи PLC Y_ і YN_	
	Основна дія	Зворотна дія	Основна дія	Зворотна дія
1	X1	XN1	Y1	--
2	XB2/3, XC2/3	--	Y2	--
3	XA2/3	--	Y3	--
4	X4	XN4	Y4	YN4
5	--	--	Y5	YN5
6	X6	XN6	Y6	YN6
7	X7	XN7	Y7	--
8	--	--	Y8	--
9	--	--	Y9	--
ПУЛЬТ	START	STOP	--	--
ПУЛЬТ	--	--	L1	Lpr

Таким чином для сприйняття інформації від датчиків і сенсорів та з пульту керування потрібно 13 дискретних/бінарних входів. Для керування функціональними модулями потрібно 14 дискретних/бінарних виходів. Обираємо конфігурацію контролера, яка задовольняє вказаним параметрам.

Розподіляємо виходи і входи контролера по засобах керування і контролю (рис. 5.14).

На дев’ятому кроці, з врахуванням позначень та під’єднань датчиків і сенсорів та керованих пристроїв до контролера, розробляємо алгоритм керування системою дискретної гідроавтоматики ланки оброблювального центру. В якості прикладу скористуємося алгоритмічною мовою STL і прикладною програмою FST.

Під’єднання входів і виходів контролера разом із необхідними інформаційними компонентами (операндами) покладено в основу allocationlist [13, 18, 102, 108, 161 70].

Кожний операнд матиме абсолютне ім’я, прописане в конфігурації контролера, і символьне ім’я – яке відображає інформаційний зв'язок з об’єктом керування. Для укладання алгоритму достатньо абсолютних імен, проте застосування символьних імен дозволяє не втрачати зв'язок між автоматизованим об’єктом і його відображенням в інформаційному полі контролера (рис. 5.13).

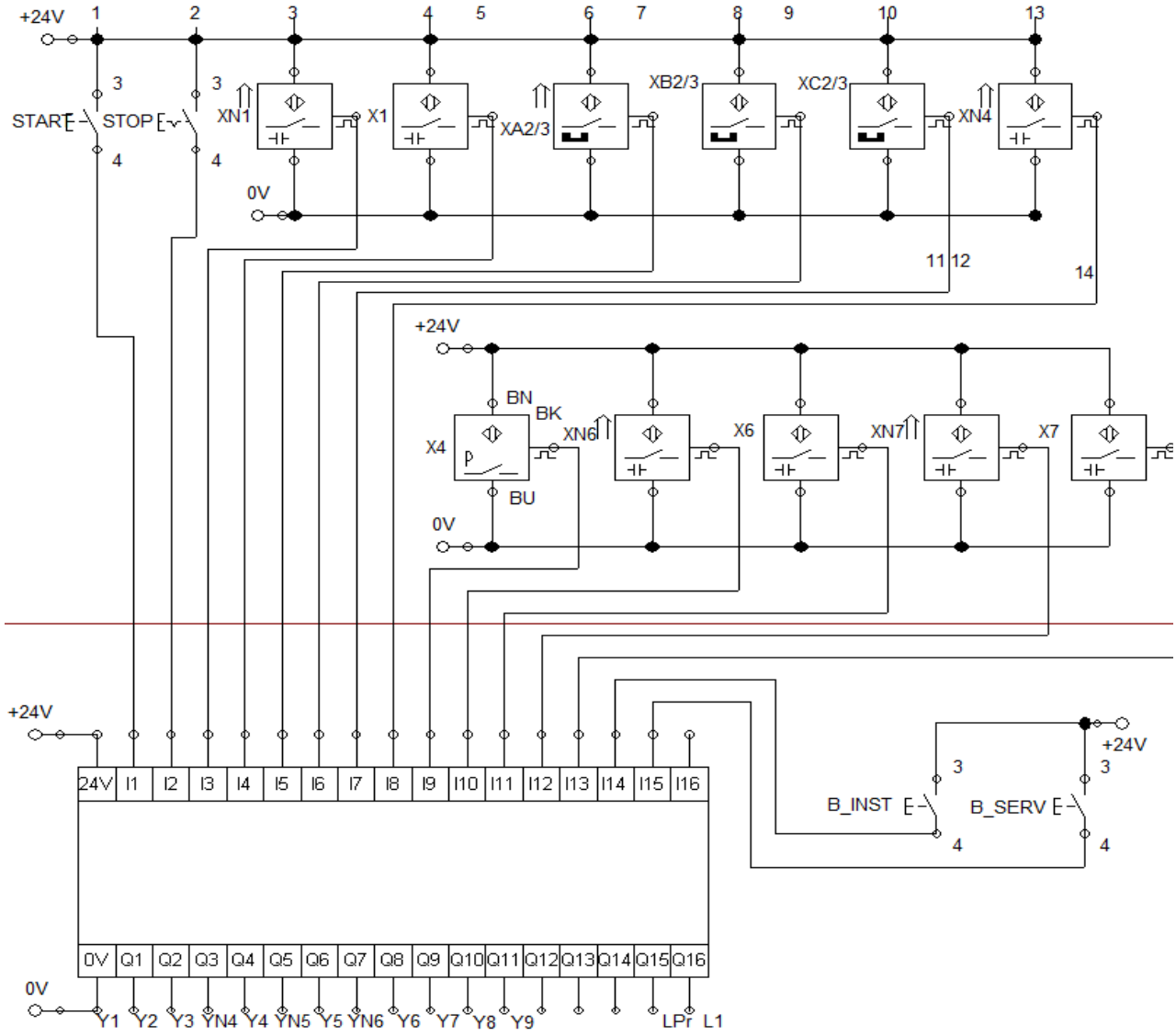
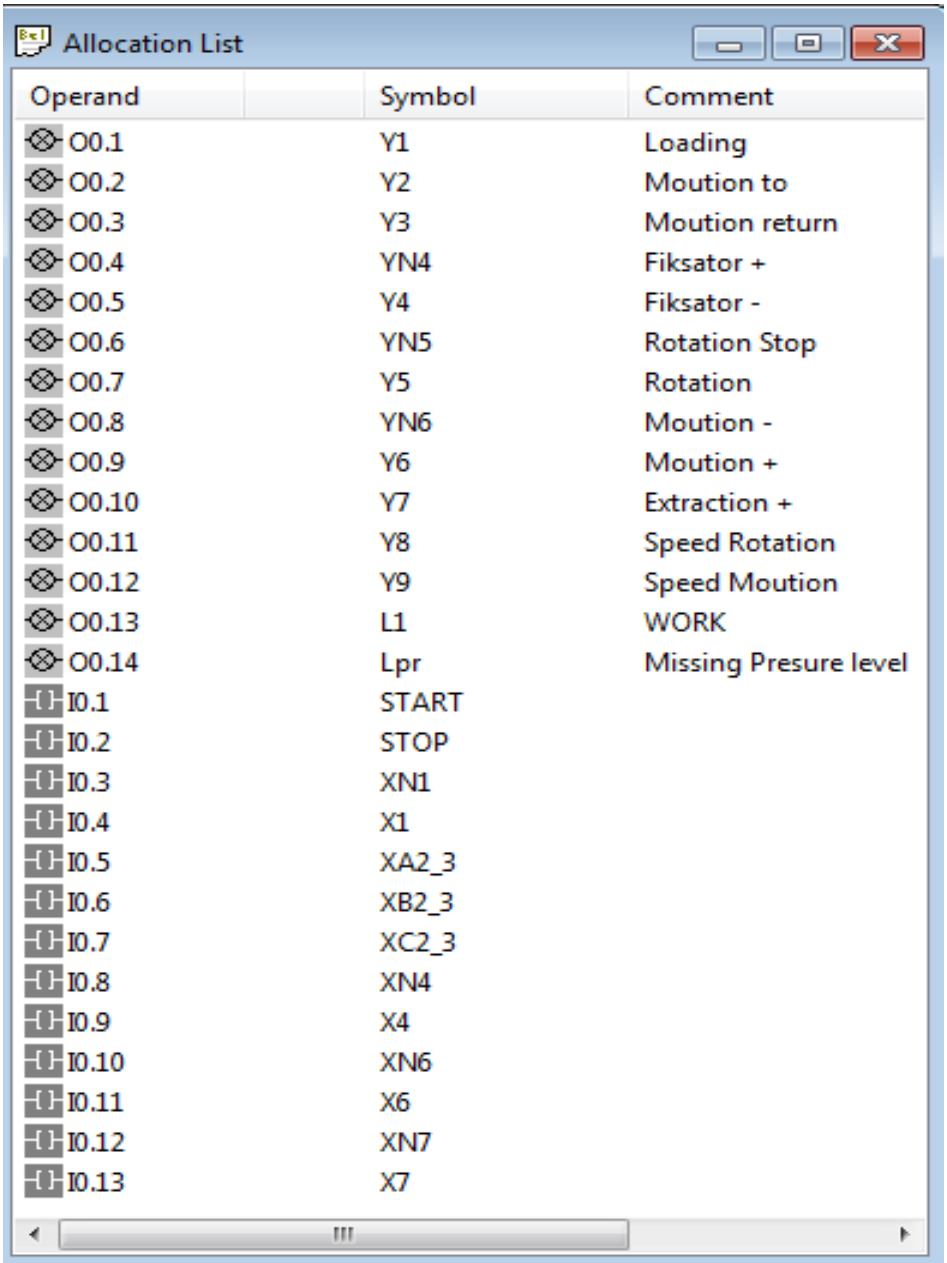


Рис. 5.14. Схема підключень засобів контролю та керування системи дискретної гідроавтоматики до PLC: входи I1 і I2 – під'єднання зовнішніх сигналів керування, входи I3 і I4 – під'єднання сенсорів 1-го модуля (завантаження), входи I5, I6, I7 – під'єднання датчиків положення пристрою переміщення, входи I8 і I9 – під'єднання датчиків 4-го модуля (фіксації), входи I10 і I11 – під'єднання сенсорів 6-го модуля (повздовжньої подачі), входи I12 і I13 – під'єднання сенсорів 7-го модуля (відвантаження), входи I14 і I15 – під'єднання кнопок, вихід Q1 – під'єднання модуля 1, виходи Q2 і Q3 – під'єднання модулів 2/3, виходи Q4 і Q5 – під'єднання модуля 4, виходи Q6 і Q7 – під'єднання модуля 5, виходи Q8 і Q9 – під'єднання модуля 6, вихід Q10 – під'єднання модуля 7, вихід Q11 – під'єднання модуля 8, вихід Q12 – під'єднання модуля 9, виходи Q15 і Q16 – під'єднання лампочок індикаторів тиску Lpr і роботи системи L1 в технологічному циклі

Для випадків опосередкованого контролю чи використання логічних функцій для визначення стану модуля (модуль 2) в опис додано допоміжні бінарні змінні із ім'ям контрольованого стану модулів. Наприклад, змінна X2, одиничне значення якої має засвідчувати завершення виконання дії Y2, є логічною функцією від декількох сигналів контролю і індикаторів стану елементів пам'яті.

Так само і елементи пам’яті в алгоритмі представлені парами бінарних змінних, які змінюють своє значення в протифазі один до одного, наприклад X10 і XN10. При вмиканні модуля 10 (елемента пам’яті) матимемо: X10 = 1, XN10 = 0. При вимиканні модуля 10 (елемента пам’яті) матимемо: X10 = 0, XN10 = 1.



Operand	Symbol	Comment
O0.1	Y1	Loading
O0.2	Y2	Moution to
O0.3	Y3	Moution return
O0.4	YN4	Fiksator +
O0.5	Y4	Fiksator -
O0.6	YN5	Rotation Stop
O0.7	Y5	Rotation
O0.8	YN6	Moution -
O0.9	Y6	Moution +
O0.10	Y7	Extraction +
O0.11	Y8	Speed Rotation
O0.12	Y9	Speed Moution
O0.13	L1	WORK
O0.14	Lpr	Missing Presure level
I0.1	START	
I0.2	STOP	
I0.3	XN1	
I0.4	X1	
I0.5	XA2_3	
I0.6	XB2_3	
I0.7	XC2_3	
I0.8	XN4	
I0.9	X4	
I0.10	XN6	
I0.11	X6	
I0.12	XN7	
I0.13	X7	

Рис. 5.15. Allocation List підключень функціональних модулів і пульта керування до входів і виходів контролера: модуль 1: Y1, XN1, X1; модуль 2: Y2, XB2_3, XC2_3; модуль 3: Y3, XA2_3; модуль 4: YN4, Y4, XN4, X4; модуль 5: YN5, Y5; модуль 6: YN6, Y6, XN6, X6; модуль 7: Y7, XN7, X7; модуль 8: Y8; модуль 9: Y9; вмикання системи: START; вимикання системи: STOP; індикатор роботи: L1; індикатор тиску: Lpr

Оскільки у елементів пам’яті відсутні «виконавчі пристрої», які перетворюють сигнали команд на сигнали контролю за їх виконанням, то за логічними виразами команд для елементів пам’яті мають вмикатися або вимикатися безпосередньо індикатори стану, тобто бінарні змінні. Для кожного елементу пам’яті додаємо по дві змінних, які мають ім’я індикаторів стану

елементів пам’яті, тобто: XN10, X10, XN11, X11, XN12, X12. В пакеті FST цьому відповідатимуть прапори, які будуть занесені в allocationlist (рис. 5.16).

У логічних виразах команд керування присутні сигнали або індикатори стану всіх модулів системи, але не всі модулі мають фізичні засоби контролю свого стану. Додаємо індикатори для відсутніх засобів контролю за виконанням дій модулів системи. Здебільшого це стосується опосередкованого контролю або використання логічних виразів для контролю стану (модулі 2 і 3).

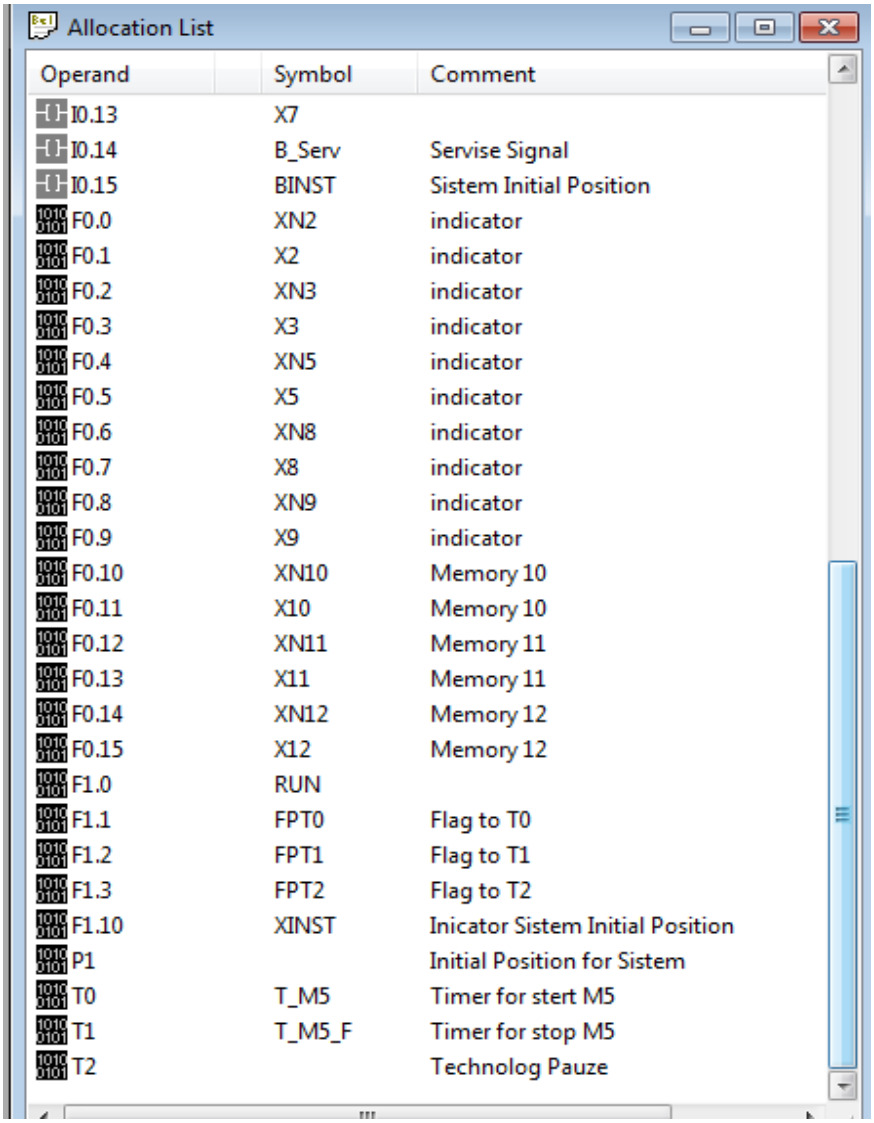


Рис. 5.16. Додаткові компоненти в allocation List: B_Serv – сервісна кнопка; BINST – початковий стан системи; Індикатори стану модулів: модуль 2: XN2, X2; модуль 3: XN3, X3; модуль 5: XN5, X5; модуль 8: XN8, X8; модуль 9: XN9, X9. Елементи пам’яті: модуль 10: XN10, X10; модуль 11: XN11, X11; модуль 12: XN12, X12. Таймери з прапорами покриття: для вмикання модуля 5: T_M5 (T0), FPT0; для зупинки модуля 5: T_M5_F (T1), FPT1; для технічних потреб: T2(T2), FPT2. Дозвільна змінна циклу: RUN. Індикатор початкового стану системи: XINST. Підпрограма встановлення в початковий стан P1

В алгоритмі роль індикаторів виконуватимуть бінарні змінні або прапори з відповідним символьним ім’ям.

Модуль 2: відсутні XN2 і X2.

Модуль 3: відсутні XN3 і X3.

Модуль 5: відсутні XN5 і X5.

Модуль 8: відсутні XN8 і X8.

Модуль 9: відсутні XN9 і X9.Відсутність деяких сигналів команд керування при моностабільному керуванні не потребує доповнення за допомогою індикаторів. Так за логічним виразом основної команди вихід контролера вмикатиметься, а за логічним виразом зворотної команди той самий вихід контролера вимикатиметься.

Для керування роботою системи (вмикання і вимикання) додаємо дозвільну змінну RUN яка увійде в якості множника в першу дію технологічного циклу. Її вмикання здійснюватиметься з пульта за сигналом START, а вимикання забезпечить сигнал з пульта STOP.

Сигнал вимикання матиме пріоритет над вмиканням. Змінна RUN увійде до алгоритму у вигляді бінарної змінної, що буде додана до allocationlist (рис. 5.16).

Оскільки в технологічному циклі передбачено затримки часу за певними логічними умовами, то до компонентів алгоритму буде залучено таймери та прапори покриття до них.

Перша затримка передбачена після вмикання обертового руху до початку робочої подачі (розгін на певну кутову швидкість). Друга затримка передбачена після вимикання обертового руху перед вивільненням заготовки (гальмування обертання інструменту). Технологічна пауза дозволяє виконувати певний контроль за нормальним перебігом процесу.

На початку роботи всі компоненти системи необхідно встановити в початковий стан. Це стосується не тільки фізичних компонентів системи, але і інформаційних компонентів, тобто елементів пам’яті, індикаторів стану модулів, керуючих змінних, прапорів покриття. Оскільки вони не поєднані з керуванням під час технологічного циклу, їх відокремлено в підпрограму P1 (рис. 5.17).

Основана частина алгоритму керування роботою системи розташована в програмі P0 і складає декілька сегментів.

Перший сегмент, за певними логічними умовами, передає керування на сегмент скануючого циклу.

В скануючому циклі розташовані умови спрацювання основних і зворотних дій всіх модулів системи. Так само в цьому циклі розташовано додаткові функції, такі як: затримки у часі, попередньої обробки сигналів, логічні вирази опосередкованого контролю і інші. У цьому циклі міститься опитування зовнішніх сигналів з можливістю виходу із скануючого циклу.

У виразі першої команди технологічного циклу додано множник RUN, за одиничного значення якого, якщо система знаходиться в початковому стані, буде виконано першу дію технологічного циклу. Далі, за ланцюгом причинно-наслідкових зв’язків, буде відпрацьовано весь цикл. У випадку, коли по завершенні циклу змінна RUN знову матиме одиничне значення технологічний

цикл буде відпрацьовано знову. Таким чином система працюватиме за циклом доти, доки змінна RUN матиме одиничне значення.

```
STEP A0
 IF            BINST      'Sistem Initial Position
 THEN  RESET      Y1        'Loading
     RESET       Y2        'Moution to
     SET         Y3        'Moution return
     SET         YN4       'Fiksator +
     RESET       Y4        'Fiksator -
     RESET       Y5        'Rotation
     SET         YN5       'Rotation Stop
     RESET       Y6        'Moution +
     SET         YN6       'Moution -
     RESET       Y7        'Extraction +
     RESET       Y8        'Speed Rotation
     RESET       Y9        'Speed Moution
     RESET       X2        'indicator
     SET         XN2       'indicator
     RESET       X3        'indicator
     RESET       X5        'indicator
     SET         XN5       'indicator
     SET         XN8       'indicator
     RESET       X8        'indicator
     RESET       X9        'indicator
     SET         XN9       'indicator
     SET         XN10      'Memory 10
     RESET       X10       'Memory 10
     SET         XN11      'Memory 11
     RESET       X11       'Memory 11
     SET         XN12      'Memory 12
     RESET       X12       'Memory 12
     RESET       RUN
 RESET       FPT0       'Flag to T0
     RESET       FPT1      'Flag to T1
     RESET       FPT2      'Flag to T2
 IF            XN1
     AND         XN2       'indicator
     AND         XA2_3
     AND         XN4
     AND         XN6
     AND         XN7
     AND    N    RUN
 THEN  SET        XINST     'Inicator Sistem Initi
Position
     SET         XN3       'indicator
     RESET       YN4       'Fiksator +
     RESET       YN5       'Rotation Stop
     RESET       YN6       'Moution -
     RESET       Y3        'Moution return
     SET         L1        'WORK
 OTHRW JMP TO A0
```

Рис. 5.17. Фрагмент алгоритму керування (мова STL): підпрограма встановлення системи в початковий стан P1, BINST - сигнал з пульту керування на перехід системи в початковий стан, XINST – індикатор початкового стану системи, L1 – світлова індикація готовності системи до відпрацювання технологічного циклу

Окрему частину скануючого циклу складатимуть умови вмикання і вимикання змінної RUN під дією зовнішніх сигналів від кнопок START і STOP.

При цьому натискання кнопки START при відсутності сигналу STOP вмикатиме змінну RUN. При натисканні кнопки STOP змінна RUN вимикатиметься незалежно від сигналу START. Таким чином забезпечено пріоритет вимикання над вмиканням і керування системою в режимі тривалого чи одиничного циклу.

Як правило, при укладанні алгоритму виникають поточні потреби в застосування додаткових засобів, таких як: прапори, таймери, лічильники, підпрограми та ін.. Подібні зміни вноситимуться в allocationlist, який тільки після завершення тестування і коригування алгоритму отримає остаточний вигляд.

Основний сегмент керування починає STEP A02 (рис. 5.18). Два наступні рядки надають оператору можливість зупинити сканування виразів команд керування та не оновлювати вирази індикаторів стану за допомогою кнопки B_Serv. При натиснутій кнопці B_Serv обробка програми знов і знов повертається до рядка STEP A02. Таким чином всі наступні рядки алгоритму не підпадають врахуванню при формування сигналів керування.

Якщо кнопка B_Serv вивільнена, то обробці підлягають наступні рядки з виразами команд керування фізичними модулями системи (рис. 5.18).

```
"" Initial position for system
STEP A00
 IF            BINST       'Sistem Initial Position
 THEN  SET        P1       'Initial Position for Sistem
 IF            L1          'WORK
 THEN  RESET      P1       'Initial Position for Sistem
 IF            START
    AND        L1          'WORK
 THEN  JMP TO A01
 OTHRW JMP TO A00
"" Scan  Cikl   Start/Stop
STEP A01
 IF            START
    AND    N    STOP
 THEN  SET        RUN
 IF            STOP
 THEN  RESET      RUN
 IF            RUN
 THEN  JMP TO A02
 OTHRW JMP TO A01
"" Scan  Cikl   for   Sistem
STEP A02
"" Scan  Cikl   Pauze
 IF            B_Serv      'Servise Sign
 THEN  JMP TO A02
 IF            B_Serv      'Servise Sign
 AND    STOP
 THEN  JMP TO A00
```

Рис. 5.18. Початковий фрагмент алгоритму керування основної програми (мова STL) P0: BINST - сигнал з пульту керування на перехід системи в початковий стан і вмикання підпрограми P1, вимикання підпрограми P1 за умов підтвердження початкового стану системи (L1), перехід до скануючого циклу з вмиканням дозвільної змінної RUN за сигналом START при відсутності сигналу STOP , затримка роботи системи за сигналом B_SERV, L1 – світлова індикація готовності системи до відпрацювання технологічного циклу, перезавантаження системи за сигналами STOP і B_SERV

Оскільки всі логічні вирази команд побудовано у варіанті бістабільного керування, а модулі системи мають три різних варіанти керуючих пристроїв, то вмикання і вимикання виходів контролера відбуватиметься за різними схемами.

У випадку бістабільного керуючого пристрою (4/2, є 2 електромагніти):

- За виразом основної команди вмикатиметься електромагніт розподільника, відповідальний за виконання основної дії, і вимикатиметься електромагніт протилежної дії.
- За виразом зворотної команди вмикатиметься електромагніт розподільника, відповідальний за виконання зворотної дії, і вимикатиметься електромагніт протилежної дії.

Під такий варіант формування керуючих сигналів підпадають модулі затискання 4, обертового руху 5 і повздовжнього руху 6.

У випадку моностабільного керуючого пристрою (4/2, 1 електромагніт):

- За виразом основної команди вмикатиметься електромагніт розподільника, відповідальний за виконання основної дії.
- За виразом зворотної команди вимикатиметься електромагніт розподільника, відповідальний за виконання основної дії.

Під такий варіант формування керуючих сигналів підпадають модулі завантаження 1, перемикання швидкості обертового руху 8, перемикання швидкості повздовжнього руху 9 і відвантаження 7.

У випадку моностабільного керуючого пристрою (4/3, 2 електромагніти) у розгляді одночасно є два модулі, що об'єднують начебто два пристрої, керовані двома Розподільниками 4/2 моностабільними. Для такого варіанту маємо чотири бістабільних команди для двох модулів, об'єднаних в одному 4/3 Розподільнику, тобто, Y1(4/3) і YN1(4/3), та Y2(4/3) і YN2(4/3).

- За виразом основної команди першого напів-модуля вмикатиметься електромагніт Розподільника, відповідальний за виконання першої дії.
- За виразом зворотної команди першого напів-модуля вимикатиметься той самий електромагніт і виконання першої дії переривається.
- За виразом основної команди другого напів-модуля вмикатиметься електромагніт Розподільника, відповідальний за виконання другої дії.
- За виразом зворотної команди другого напів-модуля вимикатиметься той самий електромагніт і виконання другої дії переривається.

Під такий варіант формування керуючих сигналів підпадають модулі переміщення 2/3 (рис. 5.19).

До скануючого циклу належать алгоритми керування елементами пам'яті (модулі 10, 11 і 12). Їх керування відбувається за схемою бістабільних пристроїв, але за логічними виразами команд вмикаються не виконавчі пристрої, а безпосередньо індикатори стану елементів пам'яті (рис. 5.20).

Третій сегмент компенсує те, що не всі модулі системи мають датчики чи сенсори, які є засобами контролю за завершенням запланованих дій, для індикації таких дій застосовано опосередкований контроль, контроль за логічними умовами, контроль за часом. Наступний фрагмент скануючого циклу припадає на підготовку засобів контролю за виконанням «неконтрольованих» дій (рис. 5.20).

Для основної дії багатопозиційного приводу 2 контроль завершення дії має враховувати додаткові логічні умови. Ці умови є відмінними при переміщенні деталі на позицію обробки і при переміщенні виробу на позицію відвантаження. Тобто, до сигналів датчиків положення додано контекст спрацювання датчику – під час якої дії він спрацював.

Для зворотної дії багатопозиційного приводу 2 контроль завершення дії, тобто зупинки, не має відповідних фізичних засобів. За виконання зупинки прийнято переведення Розподільника 4/3 в нейтральну позицію, яка унеможливлює подальший рух. Тобто, сигнал контролю за зупинкою ототожнено з сигналом керування на припинення руху.

Для основної дії модуля 3 контроль завершення дії має враховувати додаткові логічні умови. Тобто, спрацювання датчику початкового положення приводу є ознакою відпрацювання основної дії модуля 3 тільки за умов, що команда на повернення в початковий стан є дійсною. Додаткова умова враховує той факт, що після зупинки руху за зворотною командою сигнал від цього датчику існуватиме, що суперечить взаємо-зворотності руху і зупинки.

```
"" Scan  Cikl   Modules Control
"" Module 1
 IF            XN3          'indicator
    AND        XN12         'Memory 12
    AND        XN9          'indicator
    AND        RUN
 THEN  SET       Y1          'Loading
 IF            X9           'indicator
 THEN  RESET     Y1          'Loading
"" Module 2
 IF            XN1
    AND        X9           'indicator
    AND        XN10         'Memory 10
    OR         XN4
    AND        X11          'Memory 11
 THEN  SET       Y2          'Moution to
 IF            X10          'Memory 10
    OR         XN11         'Memory 11
    AND        XN9          'indicator
 THEN  RESET     Y2          'Moution to
"" Module 3
 IF            XN7
    AND        XN8          'indicator
    AND        XN12         'Memory 12
    AND        XN11         'Memory 11
 THEN  SET       Y3          'Moution return
 IF            XN12         'Memory 12
 THEN  RESET     Y3          'Moution return
"" Module 4
 IF            XN2          'indicator
    AND        X10          'Memory 10
 THEN  SET       Y4          'Fiksator -
    RESET      YN4          'Fiksator +
 IF            XN5          'indicator
    AND        X12          'Memory 12
 THEN  RESET     Y4          'Fiksator -
    SET        YN4          'Fiksator +
"" Module 5
 IF            X4
    AND        X9           'indicator
 THEN  SET       Y5          'Rotation
    RESET      YN5          'Rotation Stop
 IF            XN6
    AND        X8           'indicator
    AND        XN10         'Memory 10
 THEN  RESET     Y5          'Rotation
    SET        YN5          'Rotation Stop

"" Module 6
 IF            X5           'indicator
    AND        XN11         'Memory 11
    OR         X12          'Memory 12
    AND        X10          'Memory 10
 THEN  SET       Y6          'Moution +
    RESET      YN6          'Moution -
 IF            X11          'Memory 11
    AND        XN12         'Memory 12
    OR         XN10         'Memory 10
 THEN  RESET     Y6          'Moution +
    SET        YN6          'Moution -
"" Module 7
 IF            XN2          'indicator
    AND        XN11         'Memory 11
    AND        X8           'indicator
 THEN  SET       Y7          'Extraction +
 IF            XN8          'indicator
 THEN  RESET     Y7          'Extraction +
"" Module 8
 IF            X11          'Memory 11
    AND        XN12         'Memory 12
    OR         XN10         'Memory 10
    AND        X11          'Memory 11
 THEN  SET       Y8          'Speed Rotation
 IF            X12          'Memory 12
    AND        X10          'Memory 10
    OR         X7
 THEN  RESET     Y8          'Speed Rotation
"" Module 9
 IF            X1
 THEN  SET       Y9          'Speed Moution
 IF            X12          'Memory 12
 THEN  RESET     Y9          'Speed Moution
```

Рис. 5.19. Фрагмент скануючого циклу алгоритму керування основної програми (мова STL) з формуванням сигналів керування фізичними модулями системи відповідно до логічних виразів команд керування та типу керуючих пристроїв

Для зворотної дії модуля 3 контроль завершення дії, тобто зупинки, не має відповідних фізичних засобів. За виконання зупинки прийнято переведення Розподільника 4/3 в нейтральну позицію, яка унеможливлює подальший рух.

Тобто, сигнал контролю за зупинкою ототожнено з сигналом керування на припинення руху.

```
"" Module 10 Memory
IF          X2        'indicator
   AND      X9        'indicator
THEN SET    X10       'Memory 10
   RESET    XN10      'Memory 10
IF          X6
   AND      XN8       'indicator
   AND      XN9       'indicator
THEN SET    XN10      'Memory 10
   RESET    X10       'Memory 10
"" Module 11 Memory
IF          X6
   AND      XN12      'Memory 12
THEN SET    X11       'Memory 11
   RESET    XN11      'Memory 11
IF          X2        'indicator
   AND      X12       'Memory 12
THEN SET    XN11      'Memory 11
   RESET    X11       'Memory 11

"" Module 12 Memory
IF          X8        'indicator
   AND      X6
   AND      X11       'Memory 11
THEN SET    X12       'Memory 12
   RESET    XN12      'Memory 12
IF          X3        'indicator
THEN SET    XN12      'Memory 12
   RESET    X12       'Memory 12
```

Рис. 5.20. Фрагмент скануючого циклу алгоритму керування основної програми (мова STL) з вмиканням/вимиканням елементів пам'яті (модулі 10, 11 і 12)

Для основної дії модуля 5 (почати обертальний рух) використано опосередкований контроль. Тобто, спрацювання Розподільника, що подає рідину і розпочинає обертовий рух, є ознакою відпрацювання основної дії модуля 5. Індикатор стану ототожнено з сигналом команди.

Оскільки обертальний рух модуля має суттєве інерційне навантаження, вихід на заплановану кутову швидкість не є миттєвим. Тобто, між перемиканням Розподільника за командою Y5 і отриманням кутової швидкості робочої подачі є певний проміжок часу, наприклад, 2 секунди. Для врахування цього факту застосовано таймер і проміжну бінарну змінну X5T. Проміжна бінарна змінна ототожнена з сигналом команди: X5T = Y5. Одночасно, за умовою виникнення сигналу команди, вмикається відлік часу на 2 секунди (таймер T0). Після вибігу часу індикатор завершення основної дії 5-го модуля X5 приймає одиничне значення.

Так само здійснена затримка вмикання індикатора контролю виконання зворотної дії модуля 5. Для цього використано проміжну бінарну змінну XN5T і таймер T1, налаштований на 1 секунду.

Для основної дії модуля 8 (перемикання швидкості обертання) контроль завершення дії ототожнено з сигналом команди: X8 = Y8. Але при отриманні стану виконання основної дії має втрачатись стан виконання зворотної команди. Оскільки модуль 8 має моностабільне керування і сигнал зворотної команди відсутній, то умовою вимикання індикатора зворотної дії є також Y8 (рис. 5.21).

```
"" Signal and Indicator Prepearing
"" Module 2
IF          ( XB2_3
   AND        XN12          'Memory 12
   OR         XC2_3
   AND        X12   )       'Memory 12
    AND       Y2              'Moution to
THEN  SET      X2           'indicator
OTHRW RESET    X2           'indicator
IF       N     Y2            'Moution to
THEN  SET      XN2          'indicator
OTHRW RESET    XN2          'indicator
"" Module 3
IF          XA2_3
   AND        Y3            'Moution return
THEN  SET      X3           'indicator
IF       N     Y3            'Moution return
THEN  SET      XN3          'indicator
OTHRW RESET    XN3          'indicator
"" Module 5
IF          Y5               'Rotation
THEN  SET      X5T
   RESET       XN5          'indicator
   RESET       XN5T
IF       N     Y5            'Rotation
THEN  SET      XN5T
   RESET       X5           'indicator
   RESET       X5T
"" Time Pauze
IF          X5T
   AND   N     FPT0          'Flag to T0
THEN  SET      FPT0         'Flag to T0
   SET         T0           'Timer for start M5
    WITH       2s
IF          FPT0            'Flag to T0
   AND   N     T0           'Timer for start M5
THEN  SET      X5           'indicator
IF       N     X5            'indicator
THEN  RESET    FPT0         'Flag to T0

"" Time Pauze
IF          XN5T
   AND   N     FPT1         'Flag to T1
THEN  SET      FPT1          'Flag to T1
   SET         T1           'Timer for stop M5
    WITH       1s
IF          FPT1            'Flag to T1
   AND   N     T1           'Timer for stop M5
THEN  SET      XN5          'indicator
IF       N     XN5           'indicator
THEN  RESET    FPT1          'Flag to T1
"" Module 8
IF          Y8               'Speed Rotation
THEN  SET      X8           'indicator
   RESET       XN8          'indicator
IF       N     Y8            'Speed Rotation
THEN  SET      XN8          'indicator
   RESET       X8           'indicator
"" Module 9
IF          Y9               'Speed Moution
THEN  SET      X9           'indicator
   RESET       XN9          'indicator
IF       N     Y9            'Speed Moution
THEN  SET      XN9          'indicator
   RESET       X9           'indicator
IF          NOP
THEN  JMP TO A02
```

Рис. 5.21. Фрагмент скануючого циклу алгоритму керування основної програми (мова STL) з вмиканням/вимиканням індикаторів стану за логічними умовами (модулі 2 і 3), за опосередкованим контролем (модулі 2, 3, 5, 8 і 9), із затримкою часу на завершення неконтрольованих дій (модуль 5)

Для зворотної дії модуля 8 контроль її завершення ототожнено із зникненням сигналу команди Y8. Оскільки модуль 8 має моностабільне керування і сигнал зворотної команди відсутній, то умовою вимикання індикатора основної дії є також вимикання Y8 (рис. 5.21).

Індикатори стану модуля 9 (перемикання швидкості повздовжньої подачі) побудовані аналогічно до модуля перемикання швидкості обертового руху (рис. 5.21).

Останнє речення наведеного фрагменту алгоритму (IF NOP THEN JMP TO A02) перекидає обробку програми на крок A02, тобто на початок скануючого

циклу, і надалі опрацювання алгоритму керування повторюється. На цьому алгоритм основної програми P0 завершено.

Підпрограма P1 забезпечує встановлення всіх компонентів системи і алгоритму в початковий стан (рис. 5.22). Перехід в початковий стан є керованим за допомогою сигналу BINST. Вмикання підпрограми припадає на крок STEP A00 основної програми (рис. 5.18). Вимикання підпрограми відбувається за умови позитивного результату перевірки початкового стану всіх компонентів системи.

В підпрограмі P1 на кроці A0 для модулів, що мають бістабільне керування, відбувається вмикання всіх сигналів зворотних команд та вимикання сигналів всіх основних команд модулів.

Так само виглядає встановлення в початковий стан елементів пам'яті – модулів 10, 11 і 12. У випадку елементів пам'яті вмикання і вимикання за логічними виразами основних і зворотних команд стосується не сигналів керування, а індикаторів стану елементів пам'яті.

В підпрограмі P1 на кроці A0 для модулів, що мають моностабільне двопозиційне керування (4/2, 5/2, 3/2, 2/2) за основною командою відбувається вимикання всіх сигналів основних команд.

```
STEP A0
 IF            BINST      'Sistem Initial Position
 THEN RESET      Y1       'Loading
    RESET       Y2        'Moution to
    SET         Y3        'Moution return
    SET         YN4       'Fiksator +
    RESET       Y4        'Fiksator -
    RESET       Y5        'Rotation
    SET         YN5       'Rotation Stop
    RESET       Y6        'Moution +
    SET         YN6       'Moution -
    RESET       Y7        'Extraction +
    RESET       Y8        'Speed Rotation
    RESET       Y9        'Speed Moution
    RESET       X2        'indicator
    SET         XN2       'indicator
    RESET       X3        'indicator
    RESET       X5        'indicator
    SET         XN5       'indicator
    SET         XN8       'indicator
    RESET       X8        'indicator
    RESET       X9        'indicator
    SET         XN9       'indicator
    SET         XN10      'Memory 10
    RESET       X10       'Memory 10
    SET         XN11      'Memory 11
    RESET       X11       'Memory 11
    SET         XN12      'Memory 12
    RESET       X12       'Memory 12
    RESET       RUN
    RESET       FPT0      'Flag to T0
    RESET       FPT1      'Flag to T1
    RESET       FPT2      'Flag to T2
IF              XN1
    AND         XN2        'indicator
    AND         XA2_3
    AND         XN4
    AND         XN6
    AND         XN7
    AND   N     RUN
 THEN SET       XINST      'Inicator Sistem Initial
Position
    SET         XN3        'indicator
    RESET       YN4        'Fiksator +
    RESET       YN5        'Rotation Stop
    RESET       YN6        'Moution -
    RESET       Y3         'Moution return
    SET         L1       'WORK
 OTHRW JMP TO A0
```

Рис. 5.22. Алгоритм керування підпрограми P1: встановлення системи в початковий стан (мова STL) за натисканням кнопки BINST, L1 – індикатор робочого стану системи, BINST – зовнішній сигнал на встановлення компонентів системи в початковий стан

Для модулів, що мають моностабільне двопозиційне керування (4/2, 5/2, 3/2, 2/2) але за зворотною командою, відбувається вмикання сигналів зворотних команд. Надалі треба очікувати повернення цих модулів в початковий стан.

Також на кроці А0, для виконавчих пристроїв, що мають моностабільне трипозиційне керування (4/3, 3/3) і позначені як комплект з двох модулів (в прикладі 2 + 3) встановлення в початковий стан відбувається окремо для кожного модуля. При цьому потрібно, щоб вихідна ланка виконавчого пристрою також отримала необхідну позицію або стан. Оскільки середня позиція пристрою керування є спільною для обох модулів і засвідчує відсутність обох основних команд, то це положення керуючого пристрою має відповідати початковому положенню і виконавчого органу. Але при відсутності жодного з сигналів команд переміщення вихідної ланки неможливе. В такому випадку має бути подана та основна команда, яка приведе до необхідного положення виконавчого пристрою (наприклад втягнутого штоку). Після того, як виконавчий пристрій опанував початкове положення обидві основні команди двох модулів мають бути скасовані.

Окрім встановлення самих модулів в початковий стан необхідно імітувати встановлення в початковий стан засобів непрямого чи опосередкованого контролю за виконанням основних і зворотних дій.

Для модулів, в яких зворотна дія - це припинення руху, індикатори початкового стану є тотожними до сигналу команди на припинення руху або відміни команди на рух (для пристроїв з моностабільним керуванням). За таким варіантом вмикаються індикатори обертового руху чи багатопозиційних приводів. Проте вимиканню команди на продовження руху має передувати встановлення вихідної ланки в початкове положення, як модуль 3 в прикладі.

Для модулів, в яких виконавчий пристрій це Розподільник з додатковими апаратами, взагалі переміщення вихідної ланки відсутнє. Тобто, стан модуля можна ототожнювати із значенням сигналу команди або з інверсією цього сигналу (для моностабільних пристроїв). Тобто, сигнал стану, що контролює виконання основної команди дорівнює сигналу основної команди, а сигнал стану, що контролю виконання зворотної команди, дорівнює сигналу зворотної команди. У випадку моностабільного варіанту з подачею основної команди сигнал стану, що контролює виконання основної команди, дорівнює сигналу основної команди, а сигнал стану, що контролю виконання зворотної команди, дорівнює інверсії від сигналу основної команди.

В наведеному прикладі модулі 4 і 6 мають контроль за варіантом бістабільного керування без опосередкованого контролю.

Модулі 1 і 7 мають контроль за варіантом моностабільного керування без опосередкованого контролю.

Модулі 2 і 3 (зі спільним виконавчим і керуючим пристроями) мають контроль за варіантом моностабільного керування з опосередкованим контролем зворотних дій і контролем за логічною умовою для основної дії модуля 2.

Для модуля 3 контроль початкового стану пов’язано з початковим положенням виконавчого пристрою. Тобто, наявність сигналу від датчика ХА, за умов відсутності команди на рух Y3 (основної дії), не є сигналом контролю за

виконанням команди Y3. Але наявність сигналу XA є засвідченням початкового стану виконавчого пристрою. Для індикації початкового стану модулів 2 і 3 потрібно мати сигнал від датчика XA, мати відсутність сигналів основних команд Y2 і Y3.

Модуль 5 має опосередкований контроль виконання обох дій за варіантом моностабільного двопозиційного керування (з використанням інверсії від сигналу команди).

Модулі перемикання швидкості 8 і 9, в яких відсутнє переміщення вихідної ланки, мають опосередкований контроль як за основною, так і за зворотною діями у варіанті моностабільного керування. Тобто, індикатори виконання основної дії вмикаються/вимикаються синхронно з керуючими пристроями. А індикатори виконання зворотної дії працюють в протифазі до індикаторів основної дії.

Синтезована система керування і алгоритм керування до гідравлічної системи виконавчих пристроїв оброблювального центру складені і перевірені в прикладних програмах FluidSim і FST 4.10.

Система дозволяє налаштовувати:

- Швидкість переміщення деталі;
- Налаштовувати і перемикати дві швидкості робочих подач;
- Налаштовувати і перемикати дві швидкість обертового руху інструменту;
- Швидкість завантаження заготовки;
- Швидкість відвантаження заготовки;
- Зусилля затискання під час обробки деталі;
- Паузу для розгону обертового руху;
- Паузу для зупинки обертового руху;
- Паузу під час відпрацювання системою технологічного циклу;
- Роботу в режимі тривалого та одиничного циклу.

Завдяки циклічно-модульній будові система має відкриту архітектуру і її може бути доповнено виконанням нових функцій, шляхом додавання нових модулів без втручання у відпрацьовану частину системи.

Наприклад:

- до обробки деталі при роботі інструмента може бути додано її позиціонування за двома координатами,
- обробка деталі може виконуватись двома різними інструментами,
- може бути додана операція вихідного контролю розміру деталі.

Всі перелічені зміни торкатимуться тільки зв’язків між модулями, тобто вимагатимуть уточнення логічних виразів команд керування і залучення до системи нових функціональних модулів.

5.3. СИСТЕМА ДИСКРЕТНОЇ ПНЕВМОАВТОМАТИКИ ЛАНКИ ОБРОБЛЮВАЛЬНОГО ЦЕНТРУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМОВАНОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА (PLC) В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯМ

Система дискретної пневмоавтоматики ланки оброблювального центру має у своєму складі багатопозиційний пневматичний маніпулятор (рис.5.23). Цей приклад розглядає узагальнений опис багатопозиційного приводу.

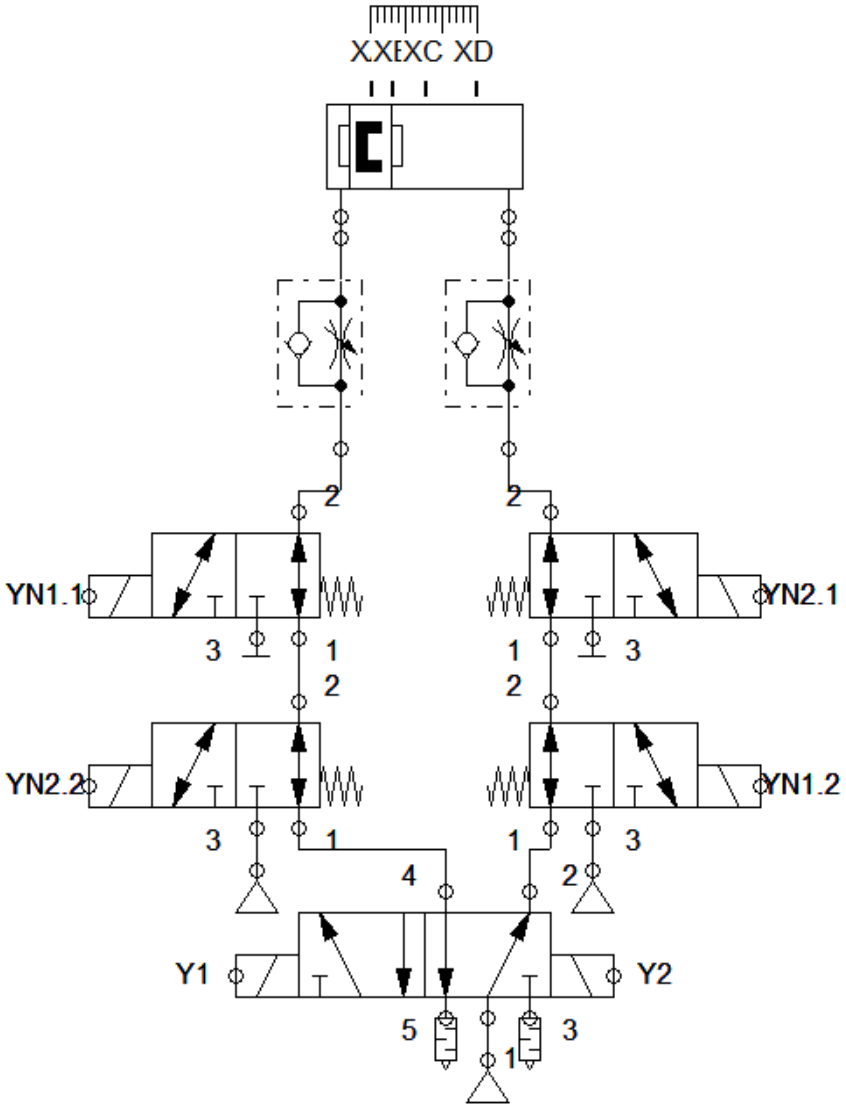


Рис. 5.23. Принципова схема підключення багатопозиційного пневматичного приводу маніпулятора: Y1 і Y2 – керування напрямом основного і реверсного руху, YN1.1 і YN1.2 – керування зупинкою основного руху, YN2.1 і YN2.2, - керування зупинкою реверсного руху

Особливість опису багатопозиційного приводу, що працює за схемою «рух до першого зустрічного датчику» або «рух до датчику», полягає в тому, що самі сигнали від датчиків не є засобом контролю відпрацювання «руху до датчику». Для контролю за відпрацюванням основної дії і для контролю за відпрацюванням зворотної дії створені спеціальні індикатори, які в своїй основі мають елементи пам’яті або тригери.

Ланка автоматизованого виробництва передбачає пересування оброблюваної деталі по чотирьох позиціях, що їх контролюють геркони XA, XB, XC і XD.

На позицію XA потрапляє примірник заготовки. Маніпулятор переміщує заготовку на позицію XB і зупиняється. На позиції XB здійснюється обробка заготовки виконавчим пристроєм 3.

Після завершення обробки маніпулятор переміщує заготовку на позицію XC. На позиції XC здійснюється обробка заготовки виконавчим пристроєм 4.

Після завершення обробки маніпулятор переміщує заготовку на позицію XD. На позиції XD здійснюється фінальна обробка заготовки виконавчим пристроєм 5.

Після завершення обробки маніпулятор повертається на позицію XA для завантаження наступного примірника заготовки.

Для виконання операцій обробки залучено 4 виконавчих пристрої на основі пневматичних виконавчих пристроїв та клапанів налаштування параметрів.
Виконувані дії, що належать до технологічного процесу обробки деталі, наступні:

1. Переміщення маніпулятором заготовки на позицію обробки XB;
2. Зупинка переміщення;
3. Перша операція обробки пристроєм 3;
4. Повернення пристрою 3 у початкове положення;
5. Переміщення маніпулятором заготовки на позицію обробки XC;
6. Зупинка переміщення;
7. Друга операція обробки пристроєм 4;
8. Повернення пристрою 4 у початкове положення;
9. Переміщення маніпулятором заготовки на позицію обробки XD;
10. Зупинка переміщення;
11. Третя операція обробки пристроєм 5;
12. Повернення пристрою 5 в початкове положення;
13. Повернення маніпулятора на позицію завантаження XA.

На початку роботи системи модулі і пристрої займають початковий стан:

- штоки всіх циліндрів втягнуто,
- маніпулятор знаходиться в позиції XA.

На першому кроці, відповідно до виконуваних дій, обираємо технічні засоби та розраховуємо параметри пристроїв функціональних модулів, що забезпечують зусилля, тиск, швидкість.

Модулі 1/2 Переміщення маніпулятора в основному напрямку (1), переміщення маніпулятора в зворотному напрямку (2):

Основна дія модуль 1: переміщення заготовки на робочу позицію.

Зворотна дія модуль 1: заборона переміщення.

Основна дія модуль 2: повернення маніпулятора в початкову позицію XA.

Зворотна дія модуль 2: заборона переміщення.

Виконавчий пристрій – пневматичний циліндр двосторонньої дії із зусиллям, відповідно до маси вантажу і тиску в пневматичній системі, орієнтовно 0,6 МПа (розрахунок).

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик);

позиція завантаження XA – ємнісний датчик;

позиція обробки XB – ємнісний датчик;

позиція обробки XC – ємнісний датчик;

позиція обробки XD – ємнісний датчик.

Засоби керування:

розподільник 5/2 з бістабільним керуванням;

розподільник 3/2 нормально відчинений з моностабільним керуванням (4 шт.).

Модуль 3 Перша операція обробки:

Основна дія: переміщення інструменту зі швидкістю V1.

Зворотна дія: повернення інструменту в початкове положення.

Виконавчий пристрій – пневматичний циліндр двосторонньої дії із зусиллям, відповідно до робочого зусилля і тиску в пневматичній системі, орієнтовно 0,6 МПа (розрахунок).

Засоби налаштування:

дросель із зворотним клапаном.

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (ємнісний датчик);

кінцева позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням.

Модуль 4 Друга операція обробки:

Основна дія: переміщення інструменту зі швидкістю V2.

Зворотна дія: повернення інструменту в початкове положення.

Виконавчий пристрій – пневматичний циліндр двосторонньої дії із зусиллям, відповідно до робочого зусилля і тиску в пневматичній системі, орієнтовно 0,6 МПа (розрахунок).

Засоби налаштування:

дросель із зворотним клапаном.

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач;

кінцева позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням.

Модуль 5 Третя операція обробки:

Основна дія: переміщення інструменту зі швидкістю V3.

Зворотна дія: повернення інструменту в початкове положення.

Виконавчий пристрій – пневматичний циліндр двосторонньої дії із зусиллям, відповідно до робочого зусилля і тиску в пневматичній системі, орієнтовно 0,6 МПа (розрахунок).

Засоби налаштування:

дросель із зворотним клапаном.

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (ємнісний датчик);

кінцева позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням.

На другому кроці формалізуємо опис роботи системи в технологічному циклі. Записуємо, в порядку технологічного процесу, дії функціональних модулів з позначенням засобів виконання, керування і контролю для кожної дії.

Додаємо в опис роботи базової системи дії доданих модулів. Технологічний цикл має наступну послідовність виконання перелічених дій:

1B – N1 – 3 – N3 – 1C - N1 – 4 – N4 – 1D – N1 – 5 – N5 – 2 – N2.

1. Переміщення заготовки на позицію ХВ. Модуль 1 (переміщення в основному напрямку):

Основна дія: переміщення заготовки на позицію ХВ.

Виконавчий пристрій – пневматичний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

кінцева позиція переміщення – індикатор стану: ємнісний датчик ХВ «*» сигнал команди Y1 «*» сектор переміщення.

Засоби керування:

розподільник 5/2 з бістабільним керуванням, вмикання електромагніту Y1;

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вимикання електромагніту YN1.1;

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вимикання електромагніту YN1.2.

2. Заборона переміщення заготовки на позиції ХВ. Модуль 1 (переміщення в основному напрямку):

Зворотна дія: заборона переміщення заготовки на позиції ХВ.

Виконавчий пристрій – пневматичний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

заборона переміщення – індикатор стану - інверсія сигналу команди на переміщення.

Засоби керування:

розподільник 5/2 з бістабільним керуванням, вмикання

електромагніту Y1;

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вмикання електромагніту YN1.1;

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вмикання електромагніту YN1.2.

3. Вмикання руху інструменту першої операції обробки. Модуль 3 (пристрій першої операції обробки (швидкість V1)):

Основна дія: вмикання руху інструменту.

Виконавчий пристрій – пневматичний циліндр двосторонньої дії з налаштуванням швидкості.

Засоби контролю:

кінцева позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням, вмикання Y3.

4. Повернення виконавчого пристрою першої операції обробки. Модуль 3 (пристрій першої операції обробки (швидкість V1)):

Зворотна дія: повернення в початкове положення.

Виконавчий пристрій – пневматичний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням: вимикання електромагніту Y3.

5. Переміщення заготовки на позицію ХС. Модуль 1 (переміщення в основному напрямку):

Основна дія: переміщення заготовки на позицію ХС.

Виконавчий пристрій – пневматичний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

кінцева позиція переміщення – індикатор стану: ємнісний датчик ХС «*» сигнал команди Y1 «*» сектор переміщення.

Засоби керування:

розподільник 5/2 з бістабільним керуванням, вмикання електромагніту Y1;

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вимикання електромагніту YN1.1;

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вимикання електромагніту YN1.2.

6. Заборона переміщення заготовки на позиції ХС. Модуль 1 (переміщення в основному напрямку):

Зворотна дія: заборона переміщення заготовки на позиції ХС.

Виконавчий пристрій – пневматичний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

заборона переміщення – індикатор стану - інверсія сигналу

команди Y1 на переміщення.

Засоби керування:

розподільник 5/2 з бістабільним керуванням, вмикання електромагніту Y1;

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вмикання електромагніту YN1.1;

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вмикання електромагніту YN1.2.

7. Вмикання руху інструменту другої операції обробки. Модуль 4 (пристрій другої операції обробки (швидкість V2)):

Основна дія: вмикання руху інструменту.

Виконавчий пристрій – пневматичний циліндр двосторонньої дії з налаштуванням швидкості.

Засоби контролю:

кінцева позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням, вмикання Y4.

8. Повернення виконавчого пристрою другої операції обробки. Модуль 4 (пристрій другої операції обробки (швидкість V2)):

Зворотна дія: повернення в початкове положення.

Виконавчий пристрій – пневматичний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням: вимикання електромагніту Y4.

9. Переміщення заготовки на позицію XD. Модуль 1 (переміщення в основному напрямку):

Основна дія: переміщення заготовки на позицію XD.

Виконавчий пристрій – пневматичний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

кінцева позиція переміщення – індикатор стану: ємнісний датчик XD «*» сигнал команди Y1 «*» сектор переміщення.

Засоби керування:

розподільник 5/2 з бістабільним керуванням, вмикання електромагніту Y1;

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вимикання електромагніту YN1.1;

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вимикання електромагніту YN1.2.

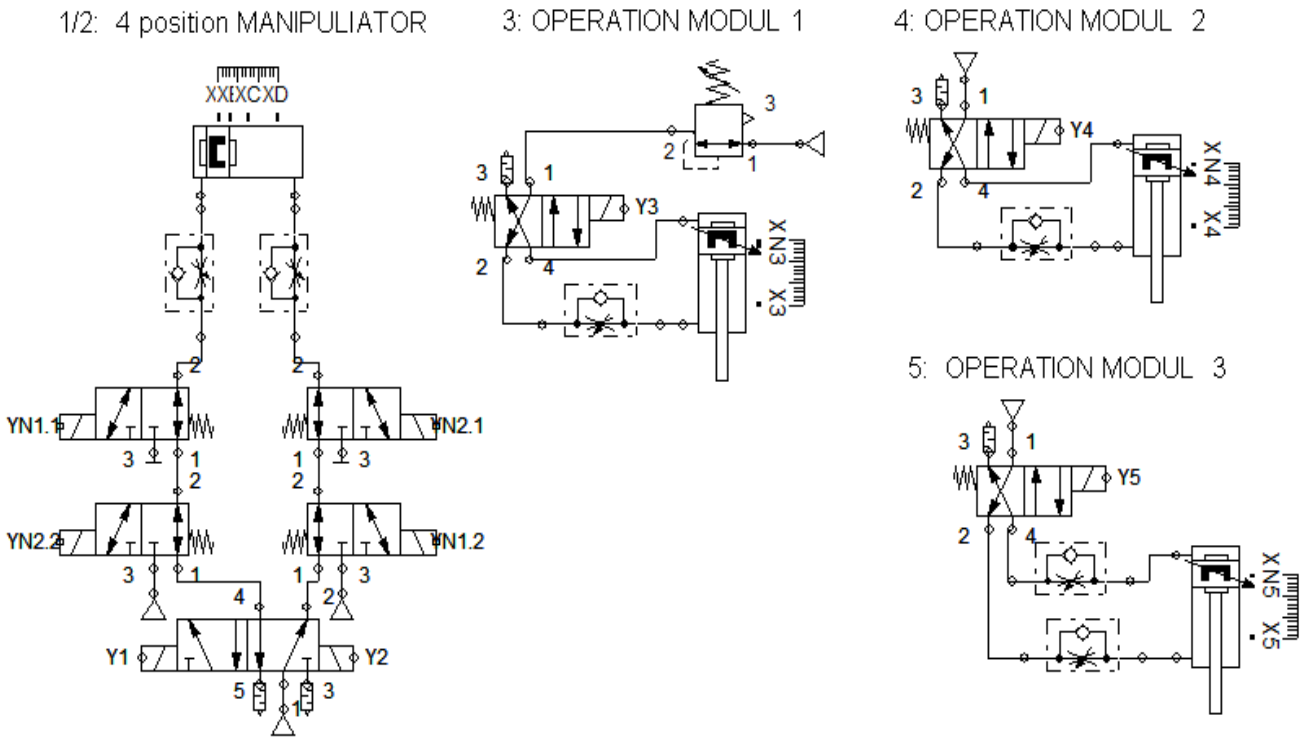


Рис. 5.24. Комплект виконавчих пристроїв пневматичного оброблювального центру: модуль 1/2 - багатопозиційний привод маніпулятора, модуль 3 – виконавчий пристрій першої обробки, модуль 4 – виконавчий пристрій другої обробки, модуль 5 – виконавчий пристрій третьої обробки

10. Заборона переміщення заготовки на позиції XD. Модуль 1 (переміщення в основному напрямку):

Зворотна дія: заборона переміщення заготовки на позиції XD.

Виконавчий пристрій – пневматичний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

заборона переміщення – індикатор стану - інверсія сигналу команди Y1 на переміщення.

Засоби керування:

розподільник 5/2 з бістабільним керуванням, вмикання електромагніту Y1;

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вмикання електромагніту YN1.1;

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вмикання електромагніту YN1.2.

11. Вмикання руху інструменту третьої операції обробки. Модуль 5 (пристрій третьої операції обробки (швидкість V3)):

Основна дія: вмикання руху інструменту.

Виконавчий пристрій – пневматичний циліндр двосторонньої дії з налаштуванням швидкості.

Засоби контролю:

кінцева позиція – кінцевий електроконтактний вимикач X5 (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням, вмикання Y5.

12. Повернення виконавчого пристрою третьої операції обробки. Модуль 5 (пристрій третьої операції обробки (швидкість V3)):

Зворотна дія: повернення в початкове положення.

Виконавчий пристрій – пневматичний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

початкова позиція – кінцевий електроконтактний вимикач XN5 (або ємнісний датчик).

Засоби керування:

розподільник 4/2 з моностабільним керуванням: вимикання електромагніту Y5.

13. Повернення маніпулятора в початкову позицію ХА. Модуль 2 (переміщення в реверсному напрямку):

Основна дія: переміщення маніпулятора на позицію ХА.

Виконавчий пристрій – пневматичний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

кінцева позиція переміщення – індикатор стану: ємнісний датчик ХА «*» сигнал команди Y2 «*» сектор переміщення.

Засоби керування:

розподільник 5/2 з бістабільним керуванням, вмикання електромагніту Y2;

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вимикання електромагніту YN2.1;

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вимикання електромагніту YN2.2.

14. Заборона переміщення заготовки на позиції ХА. Модуль 2 (переміщення в реверсному напрямку):

Зворотна дія: заборона переміщення заготовки на позиції ХА.

Виконавчий пристрій – пневматичний циліндр двосторонньої дії.

Засоби контролю:

заборона переміщення – індикатор стану - інверсія сигналу команди Y2 на переміщення.

Засоби керування:

розподільник 5/2 з бістабільним керуванням, вмикання електромагніту Y2;

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вмикання електромагніту YN2.1;

розподільник 3/2 з моностабільним керуванням, вмикання електромагніту YN2.2.

Відпрацювання технологічного циклу завершено і, за умов наявності дозвільного сигналу на продовження роботи системи, має розпочатись виконання наступного циклу, а саме – формування команди на переміщення наступної заготовки на позицію обробки ХВ.

За результатами формального опису системи побудовано функціональний граф з підграфом зв’язку (рис. 5.25).

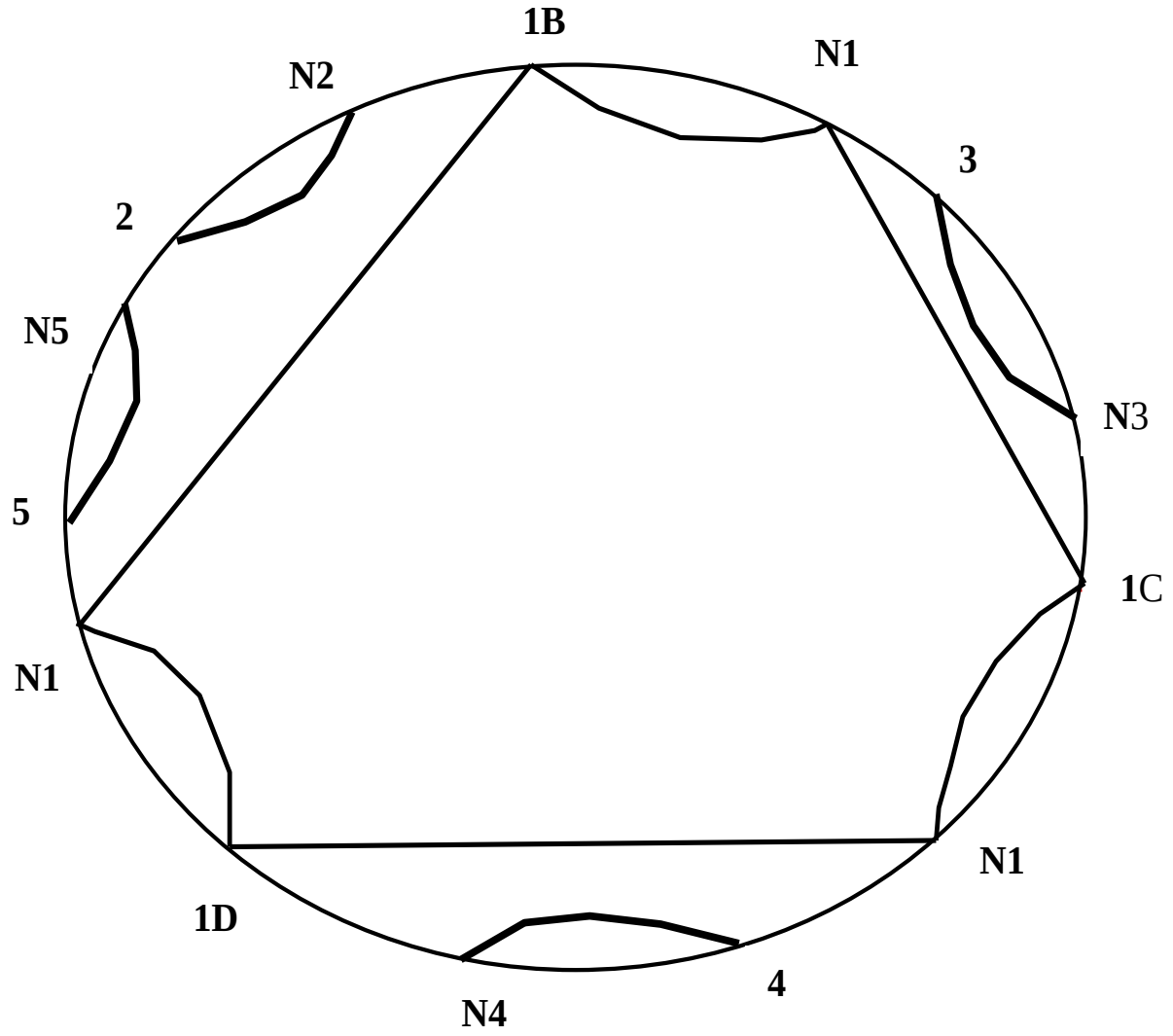


Рис. 5.25. Функціональний граф системи пневматичного маніпулятора: модуль 1 - багатопозиційний привод (основний рух); модуль 2 - багатопозиційний привод (реверсний рух); модуль 3 – виконавчий пристрій першої операції обробки; модуль 4 – виконавчий пристрій другої операції обробки; модуль 5 – виконавчий пристрій третьої операції обробки

На третьому кроці виконуємо дослідження логічної визначеності системи. Дослідження логічної визначеності є обов’язковим кроком, але є окремі випадки, коли необхідність додавання елементів пам’яті є наслідком будови функціонального графу.

При вмиканні руху «до датчику» одна за однією слідують основна і зворотна дії одного модуля: увімкнути рух «до датчика» – заборонити рух. Тобто, вершини двох послідовних дуг з’єднує лінія зв’язку цього модуля (рис. 5.25). Як наслідок є те, що лінія зв’язку не перетинає жодної іншої лінії зв’язку і виникає лінія невизначеності. Ця лінія невизначеності відокремлює саме цю лінію зв’язку від графу системи (показано пунктирними лініями, рис. 5.26).

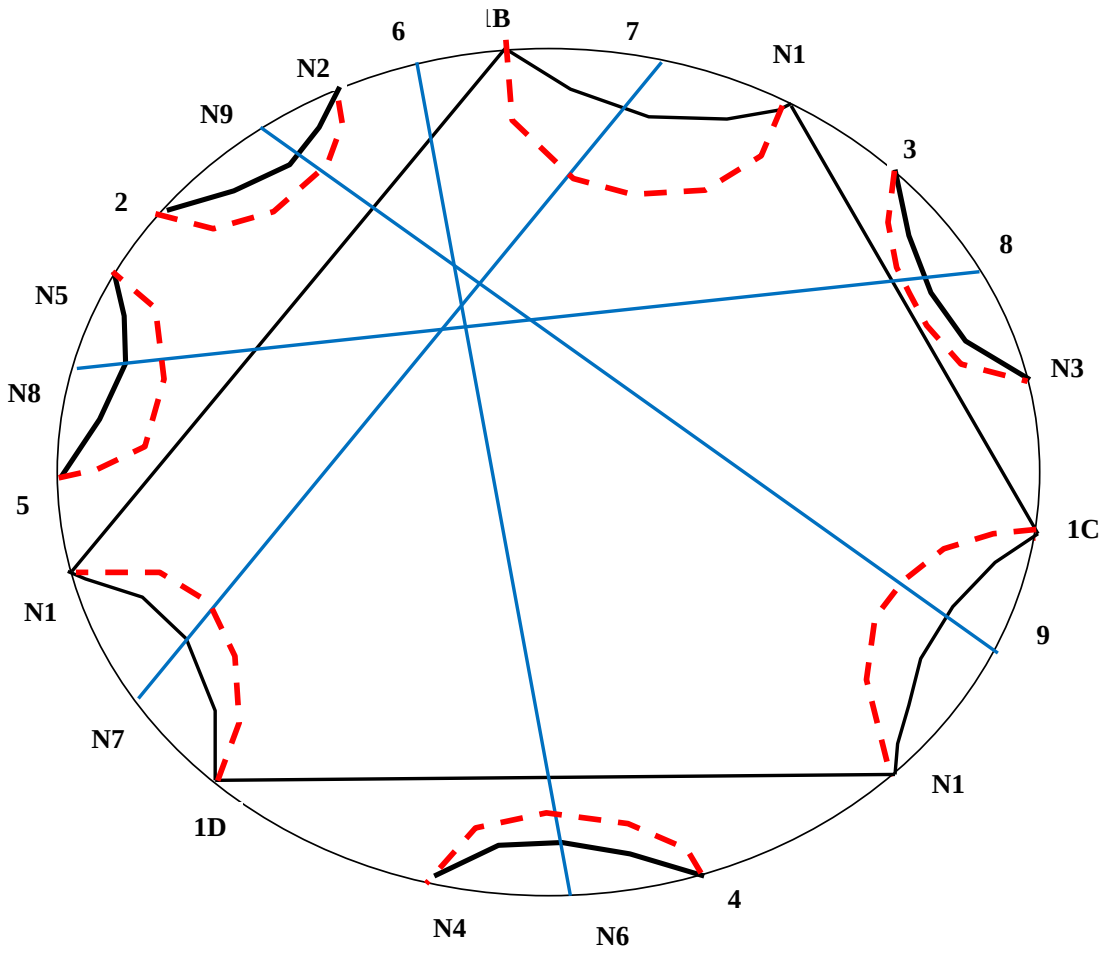


Рис. 5.26. Функціональний граф з під графами зв'язку та невизначеності (пунктирні лінії), та доданими елементами пам'яті (модулі 6, 7, 8 і 9)

Так само основна і зворотна дія модулів обробки 3, 4 і 5 розташовані також на сусідніх дугах графу, і вони породжують додаткові лінії невизначеності. Тобто поміж цими парами суміжних дуг із взаємо-зворотними діями має бути додана ще одна дуга, на якій буде задіяний елемент пам'яті. Саме його лінія зв'язку перетинатиме лінію зв'язку модуля «рух до датчику» або модуля обробки і відповідну лінію невизначеності. Таким чином ще до повного дослідження логічної невизначеності є можливість додати елементи пам'яті для дій «рух до датчику» і дій виконавчих пристроїв. Для забезпечення максимальної кількості перетинань ліній зв'язку елементів пам'яті з лініями зв'язку однорежимних модулів розташовуємо їх за схемою зірочки – кожна перетинає всі інші.

На четвертому кроці доповнюємо систему елементами пам'яті. В отриманому випадку розташування ліній зв'язку елементів пам'яті має бути по схемі зірочки.

Додані нові модулі 6, 7, 8 і 9 - елементи пам'яті – по черзі заповнюють своїми командами місця обов'язкового вмикання чи вимикання елементів пам'яті. Спочатку розташовуємо команди на вмикання елементів пам'яті. Після того, як всі елементи пам'яті увімкнено, у такій саме послідовності, встановлюємо команди на їх вимикання. Таким чином здійснено доповнення

системи «необхідними» елементами пам’яті 6, 7, 8 і 9, згідно функціонального графу, і отримано уточнений технологічний цикл (рис. 5.26):

6 - 1B – 7 - N1 – 3 – 8 - N3 – 1C – 9 - N1 – 4 – N6 - N4 – 1D – N7 - N1 – 5 – N8 - N5 – 2 – N9 - N2 .

При наведеному розташуванні необхідних елементів пам’яті виявилось, що додатково жодної лінії невизначеності не можна побудувати (рис. 5.26, див. графоаналітичну методику дослідження). Тобто, необхідні елементи пам’яті виявились достатніми, і може бути виконано логічний синтез.

На п’ятому кроці виконуємо логічний синтез команд керування. Оскільки система керування запланована до реалізації засобами програмування PLC, то логічні вирази команд керування не обов’язково мають враховувати тип керуючих пристроїв (бістабільний, моностабільний 4/2, моностабільний 4/3). Для елементів пам’яті також складаємо логічні вирази команд керування у бістабільному варіанті.

Система, згідно графу, розпочинає свою роботу з вмикання основної дії елемента пам’яті 6, що забезпечує доданий множник у виразі команди (дозвільний сигнал), наприклад, Bst. За результатами синтезу отримано наступні логічні вирази команд керування (в бістабільному варіанті для елементів пам’яті і модулів 1/2, для всіх інших модулів – в моностабільному варіанті рис. 5.24):

Y1 = X6*XN7 + XN3*X8*XN9 + XN4*XN6*X7
YN1 = X7*XN8 + X9*X6 + XN7*X8
Y2 = XN5*XN8*X9 YN2 = XN9
Y3 = XN1*X7*XN9
Y4 = XN1*X9*X6
Y5 = XN1*XN7*X8
Y6 = XN2*XN9*Bst YN6 = X4
Y7 = X1*X6 YN7 = X1*XN6
Y8 = X3 YN8 = X5
Y9 = X1*X8 YN9 = X2

Окремо зауважимо, що для модуля 1/2, незважаючи на бістабільний клапан керування напрямком руху, використані моностабільні вирази команд. Це спричинено тим, що логічно це два окремих модулі, і кожний з них повинен мати основну і зворотну команди, або одну моностабільну команду, відсутність одиничного значення якої тотожна поданому сигналу зворотної команди.

ПРИМІТКА 1. Для всіх модулів сигнал стану модуля має змінюватись тільки під час відпрацювання команди і надалі має зберігати своє значення до початку виконання протилежної дії. Для багатопозиційних пристроїв «рух до датчику» стає окремим питанням формування сигналів стану за відпрацюванням основних і зворотних дій модулів. Основна дія – рух до датчика. Зворотна дія –

припинення руху до датчика. Особливість полягає в тому, що сигнал стану, що засвідчує відпрацювання основної дії, має існувати до миті подачі команди на виконання зворотної дії. Хоча після подачі зворотної команди датчик знаходиться під дією виконавчого пристрою. Так само сигнал стану, щодо відпрацювання зворотної дії, має існувати до подачі основної команди.

У багатопозиційних приводів немає фізичних датчиків, які засвідчують стан модуля. Тобто, маємо справу не з сигналами сенсорів, а з індикаторами стану у вигляді бінарних змінних, прапорів чи додаткових елементів пам'яті (рис. 5.27). Їх вмикаємо за умов спрацювання «датчика», але тільки при наявності сигналу основної команди і відсутності сигналу зворотної команди:

IF (XA * Y1 * N(YN1)) THEN X1:= TRUE; END_IF,

або IF (XA * Y1 * N(YN1)) THEN SET X1 ,

де := означає присвоїти, SET - означає увімкнути, X1 – індикатор стану відпрацювання команди Y1.

При подачі зворотної команди модуль втрачає стан відпрацювання основної дії без додаткових умов:

IF YN1 THEN X1 := FALSE; END_IF, або IF YN1 THEN RESET X1 .

В прикладі багатопозиційного маніпулятора контроль відпрацювання основних команд для руху вперед здійснюється за допомогою трьох датчиків: $XB_{1/2}$, $XC_{1/2}$, $XD_{1/2}$. Але кожний з цих датчиків має свій сектор дії в циклограмі процесу. Датчик $XB_{1/2}$, в якості засобу контролю, діє тільки при першому русі вперед, що може бути визначено за додатковими умовами, а саме – коли добуток інших сигналів визначає саме перше спрацювання: X6*XN8.

Тобто, для контролю за першим відпрацюванням команди Y1 буде задіяно логічний вираз індикатору X1, одним з доданків якого є $XB_{1/2}$*X6*XN8.

При другому спрацювання має бути враховано датчик $XC_{1/2}$, але так само тільки в секторі другого спрацювання ходу вперед. Додатковими умовами для другого спрацювання ходу вперед буде добуток сигналів: X8*X6. Логічний вираз індикатора X1 отримає другий доданок: $X1 = XB_{1/2}$*X6*XN8 + $XC_{1/2}$* X8*X6.

Аналогічно будуємо логічну умову для контролю за третім ходом вперед: XN6*X8. Логічний вираз індикатору стану X1 отримає третій доданок:

$X1 = XB_{1/2}$*X6*XN8 + $XC_{1/2}$* X8*X6 + $XD_{1/2}$* XN6*X8.

Але є протиріччя - отриманий результат не враховує те, що логічний вираз X1 зберігатиме одиничне значення після зупинки приводу навіть після поданої зворотної команди. Тобто, одночасно одиничне значення матимуть і індикатор стану про відпрацювання зворотної дії (XN1 = YN1) і індикатор стану про відпрацювання основної дії X1 за сформованим виразом.

ПРИМІТКА 2. Для багатопозиційних пристроїв для контролю за станом після відпрацювання основних команд («рух до датчика») є додаткова умова. Якщо привод здійснив рух до датчика, датчик спрацював і рух було припинено, то датчик і надалі залишається під дією приводу. В певний момент сигнал основної команди зникне але датчик залишається під дією нерухомого привода. Через деякий час буде подана зворотна команда – на заборону руху. Починаючи з цього

моменту стан модуля змінився і сигнал від датчика, наприклад $XB_{1/2}$, вже не засвідчує стан відпрацювання основної дії, бо її вже скасовано і вже відпрацьована зворотна дія. Стан модуля змінився на протилежний і сигнал $XB_{1/2}$ фактично засвідчує припинення руху. У загальному випадку додатковою умовою для сигналу контролю за «рухом до датчика» є відсутність сигналу зворотної команди, тобто, $X1 = (XB_{1/2}*X6*XN8 + XC_{1/2}* X8*X6 + XD_{1/2}* XN6*X8) * N(YN1)$.

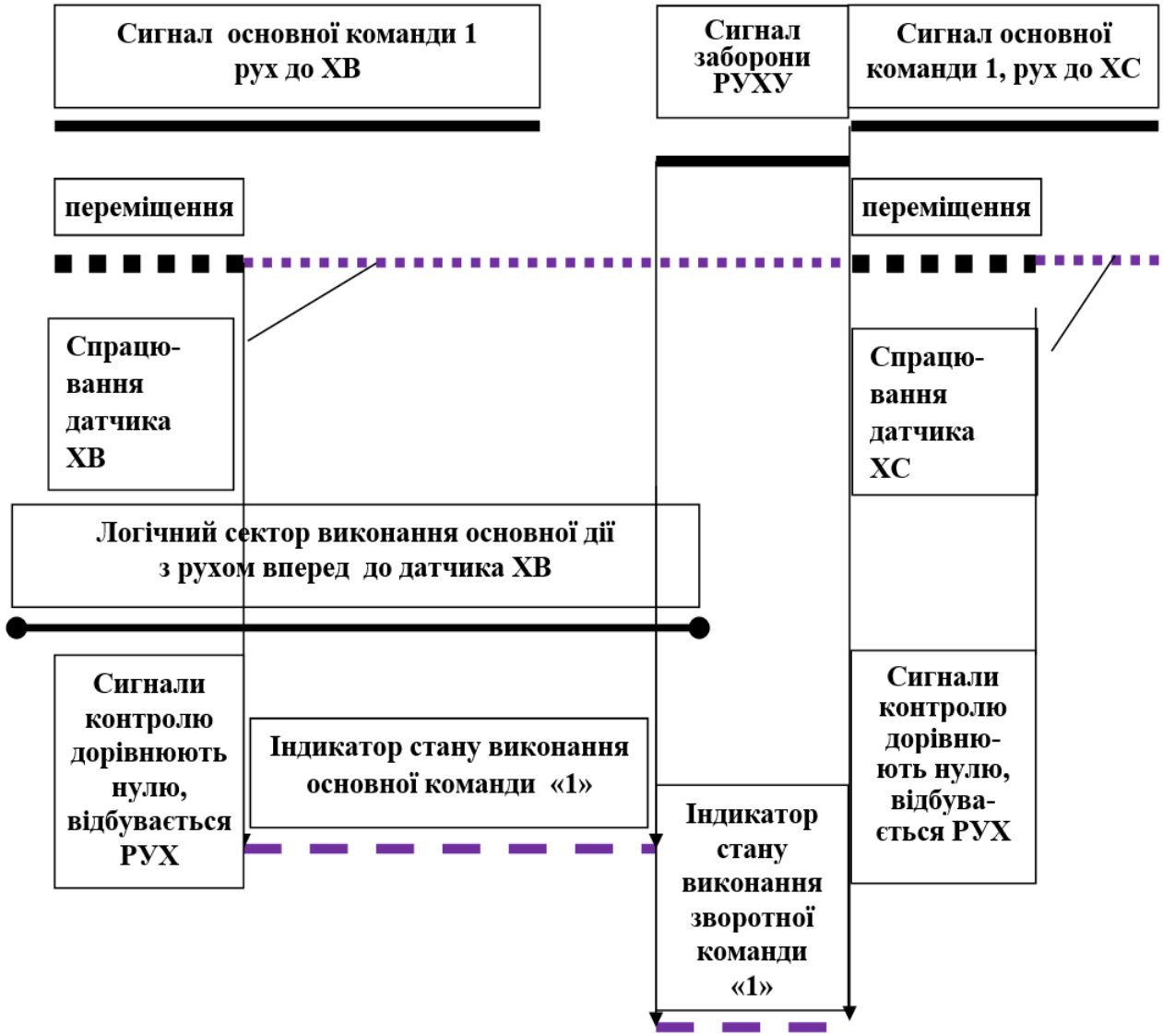


Рис. 5.27. Схема формування сигналів індикаторів стану відпрацювання основної та зворотної дії для багатопозиційного приводу 1 (з ліва на право перебіг процесу) : стовщені чорні лінії – сигнали команд, чорна стовщена пунктирна лінія – переміщення, крапчасті лінії – спрацювання датчиків положення вздовж руху, пунктирні лінії – наявність сигналів від датчиків контролю положення

Для попереднього прикладу (бістабільне керування) вираз індикатору стану, що контролює «рух до датчику» матиме вигляд:
$X1 = XB_{1/2}$*(локальна зона першого спрацювання)*N(YN1) + $XC_{1/2}$*(локальна зона другого спрацювання)*N(YN1) + $XD_{1/2}$*(локальна зона третього

спрацювання) *N(YN1) = {$XB_{1/2}$*(локальна зона 1) + $XC_{1/2}$* (локальна зона 2) + $XD_{1/2}$*(локальна зона 3)}*N(YN1).

У випадку використання команд для моностабільного керування додаткова умова перетвориться на відсутність сигналу основної команди:
X1 = {$XB_{1/2}$*(локальна зона 1) + $XC_{1/2}$* (локальна зона 2) + $XD_{1/2}$*(локальна зона 3)}*N(Y1).
Таким чином, після подачі команди «рух до датчику»:

- стан індикатора дорівнюватиме «0» до спрацювання датчика;
- під час спрацювання датчику індикатор отримає значення «1»;
- надалі це одиничне значення зберігатиметься до подачі сигналу зворотної команди (бістабільне керування) або відміни сигналу основної команди (моностабільне керування).

ПРИМІТКА 3. Для багатопозиційних пристроїв контроль за відпрацюванням зворотних команд, що визначають заборону руху, має особливість. Датчика «заборони руху» немає, а сигнал від датчика положення, який спрацював після завершення основної дії, може залишатися під дією приводу і після подачі зворотної команди на заборону руху. Але в певний момент основна команда буде відмінена і далі буде подана зворотна команда – на заборону руху, хоча жодних змін в положенні чи спрацюванні датчиків не відбувається. Саме з моменту подачі сигналу зворотної команди рух логічно заборонено (не залежно від того чи є сигнал кінцевого датчика чи ні). З цього моменту і до наступної подачі основної команди на «рух до датчика» одиничне значення матиме індикатор стану про відпрацювання зворотної дії, тобто, заборони руху.

Для попереднього прикладу (використання бістабільних команд керування) так само має бути застосовано індикатор стану модуля, що засвідчує відпрацювання зворотної команди (заборона «руху до датчику»). Індикатор побудований на елементі пам’яті, який вмикатиметься за сигналом зворотної команди і вимикатиметься за сигналом основної команди:

IF YN1 THEN XN1 := TRUE; END_IF,

або IF YN1 THEN SET XN1 ,

При подачі основної команди індикатор зворотного стану вимикається без додаткових умов:

IF Y1 THEN XN1 := FALSE; END_IF, або IF Y1 THEN RESET XN1 .

У випадку використання виразів команд моностабільного керування вираз індикатору зворотного стану (заборона «руху до датчику») матиме вигляд:

IF NOT Y1 THEN XN1:= TRUE; ELSE XN1:= FALSE; END_IF,

або IF N Y1 THEN SET XN1 OTHRW RESET XN1.

ПРИМІТКА 4. Для багатопозиційних пристроїв відпрацювання зворотної дії означає заборону руху тільки в одному напрямку. Тобто основна дія суміжного модуля (рух в протилежному напрямку) може відбуватись під час заборони руху в першому напрямку, і навпаки.

Узагальнений логічний вираз індикатора контролю стану відпрацювання основних дій модуля, що працює за схемою «рух до першого зустрічного датчику», має наступну структуру:

$$Xi = XA*\{XAk1*XAk2*\ldots*XAkn\}*N(YNi)+XB*\{XBk1*XBk2*\ldots \ldots*XBkn\}*N(YNi)+\ldots ,$$

де Xi – індикатор контролю стану виконання основної дії; XA, XB, … - сигнали від датчиків позицій зупинки; {XAk1*XAk2*…*XAkn} – логічна умова сектору виконання контрольованого руху до позиції XA, XB, … ; N(YNi) – інверсія логічного виразу зворотної команди (заборона руху).

Узагальнений логічний вираз індикатору контролю стану відпрацювання зворотних дій модуля, що працює за схемою «рух до першого зустрічного датчику», має наступну структуру:

$$XNi = NYi = N(YiA + YiB + \ldots YiD),$$

де NYi – інверсія від моностабільного логічного виразу основної команди, (YiA + YiB + … YiD) - сума виразів команд для режимів роботи модуля «i».

ПРИМІТКА 5. Якщо для керування моностабільним клапаном використано логічні вирази бістабільних команд, то для контролю за відпрацюванням зворотних команд, що визначають припинення руху, має бути застосовано елемент пам'яті. Він вмикатиметься за основною командою, вимикатиметься за зворотною командою, інверсний стан елемента пам'яті є індикатором відпрацювання зворотної команди.

На шостому кроці формуємо склад модулів системи. Підбираємо засоби для виконання функцій, керування і контролю основних і зворотних дій функціональних модулів (таблиця 5.5).

При виборі технічних засобів враховуємо тип обраного контролера, в даному випадку це логічний контролер FC100. В якості мови програмування обираємо алгоритмічну мову ST [61]. Контролер має 8 бінарних входів та 8 бінарних виходів. З врахуванням середовища і мови програмування передбачимо використання віртуального пульта або панелі керування, яку побудуємо засобами анімації пакету CoDeSys [10]. Ця обставина послабить обмеження по кількості входів контролера, оскільки фізичні кнопки на панелі керування замінять їх анімаційні аналоги. Щодо засобів контролю, то контроль положень багатопозиційного маніпулятора вважаємо обов'язковим, а контроль за виконанням руху операцій обробки може бути замінено на контроль за часом. Оскільки технологічні операції обробки відпрацьовані, то є відомим і час їх відпрацювання. Вважаємо, що час виконання 2-ї операції не перевищує 5 секунд, а час виконання 3-ї операції обробки не перевищує 25 секунд. Ці значення застосуємо в преселекторах таймерів контролю відпрацювання дій модулів 4 і 5.

Щодо сигналів керування зупинкою руху, то використаємо той факт, що магніти YN1.1 і YN1.2 вмикаються і вимикаються одночасно. Так само для реверсного руху магніти YN2.1 і YN2.2 вмикаються і вимикаються одночасно. Тобто є можливість використовувати два виходи контролера для керування чотирма магнітами. Таким чином, з врахуванням вказаних особливостей, для побудови системи керування достатньо обраного контролера FC100.

Таблиця 5.5

Склад функціональних модулів

№ і назва модуля	Основна дія	Зворотна дія	Команда Основної дії	Команда Зворотної дії	Контроль виконання Основної дії	Контроль виконання Зворотної дії	Тип виконавчого пристрою	Тип керуючого пристрою
1: модуль переміщення	1	N1	Переміщення в основному напрямку Y1 Y1 = X6*XN7 + XN3*X8*XN9 + XN4*XN6*X7	Заборона переміщення в основному напрямку YN1=YN1.1 = YN1.2 = =X7*XN8 + X9*X6 + XN7*X8	Ємнісний датчик $XB_{1/2}$ Ємнісний датчик $XC_{1/2}$ Ємнісний датчик $XD_{1/2}$ X1 = ($XB_{1/2}$*X6*XN8 + $XC_{1/2}$* X8*X6 + $XD_{1/2}$* XN6*X8) * Y1	Опосередкований контроль XN1=YN1	пневматичний циліндр двосторонньої дії, дроселі	Розподільник 4/2 Бістабільний, 2 клапани зупинки 3/2 моностабільні
2: модуль переміщення	2	N2	Переміщення в реверсному напрямку Y2 Y2 = XN5*XN8*X9	Заборона переміщення в реверсному напрямку YN2=YN2.1 = YN2.2 = XN9	Ємнісний датчик $XB_{1/2}$ Ємнісний датчик $XC_{1/2}$ Ємнісний датчик $XD_{1/2}$ X2 = ($XA_{1/2}$*XN8* X9) * Y2	Опосередкований контроль XN2=YN2	пневматичний циліндр двосторонньої дії, дроселі	Розподільник 4/2 Бістабільний, 2 клапани зупинки 3/2
3: модуль 1-ї обробки	3	N3	Рух першої операції обробки Y3 Y3 = XN1*X7*XN9	Повернення в початкове положення YN3 відсутня	Ємнісний датчик X3	Ємнісний датчик XN3	пневматичний циліндр двосторонньої дії,	Розподільник 5/2 моностабільний
4: модуль 2-ї обробки	4	N4	Рух другої операції обробки Y4 Y4 = XN1*X9*X6	Повернення в початкове положення YN4 відсутня	Контроль за часом (або ємнісний датчик) X4 Таймер 5 секунд	Ємнісний датчик XN4	пневматичний циліндр двосто-ронньої дії,	Розподільник 5/2 моностабільний
5: модуль 3-ї обробки	5	N5	Рух третьої операції обробки Y5 Y5 = XN1*XN7*X8	Повернення в початкове положення YN5 відсутня	Контроль за часом (або ємнісний датчик) X5 Таймер 25 секунд	Ємнісний датчик XN5	пневматичний циліндр двосторонньої дії, дроселі	Розподільник 5/2 моностабільний

Продовження табл.5.5.

6: модуль пам’яті	6	N6	Вмикання елемента пам’яті Y6 Y6 = XN2*XN9*Bst	Вимикання елемента пам’яті YN6 YN6 = X4	Бінарна змінна X6	Бінарна змінна XN6	Бінарні змінні	
7: модуль пам’яті	7	N7	Вмикання елемента пам’яті Y7 Y7 = X1*X6	Вимикання елемента пам’яті YN7 YN7 = X1*XN6	Бінарна змінна X7	Бінарна змінна XN7	Бінарні змінні	
8: модуль пам’яті	8	N8	Вмикання елемента пам’яті Y8 Y8 = X3	Вимикання елемента пам’яті YN8 YN8 = X5	Бінарна змінна X8	Бінарна змінна XN8	Бінарні змінні	
9: модуль пам’яті	9	N9	Вмикання елемента пам’яті Y9 Y9 = X1*X8	Вимикання елемента пам’яті YN9 YN9 = X2	Бінарна змінна X9	Бінарна змінна XN9	Бінарні змінні	

На сьомому кроці формуємо принципову схему. Спочатку формуємо рівень функціональних модулів (виконавчих пристроїв, оздоблених засобами керування і контролю). Враховуємо додаткові пристрої для налаштування параметрів дій: регулювання швидкості, регулювання тиску (рис. 5.28).

Лінії пневматичного живлення та лінії відводу повітря не вказуємо на принциповій схемі, так само, як наявність і склад компресорної станції або ресивера.

Живлення на електромагніти клапанів підведено через додаткові реле (на рис. 5.28 не показано), що запобігає перевищенню потужності магніті над потужністю виходів контролера і надає можливість застосування окремого джерела живлення для магнітів, у тому числі і з іншими значеннями струму та напруги.

На восьмому кроці, з врахуванням наданих позначень електромагнітів клапанів, датчиків, сенсорів і додаткових реле, укладаємо електричну схему під’єднання засобів контролю і керування. За необхідності, додаємо в схему під’єднання лампочку індикатор роботи системи L.

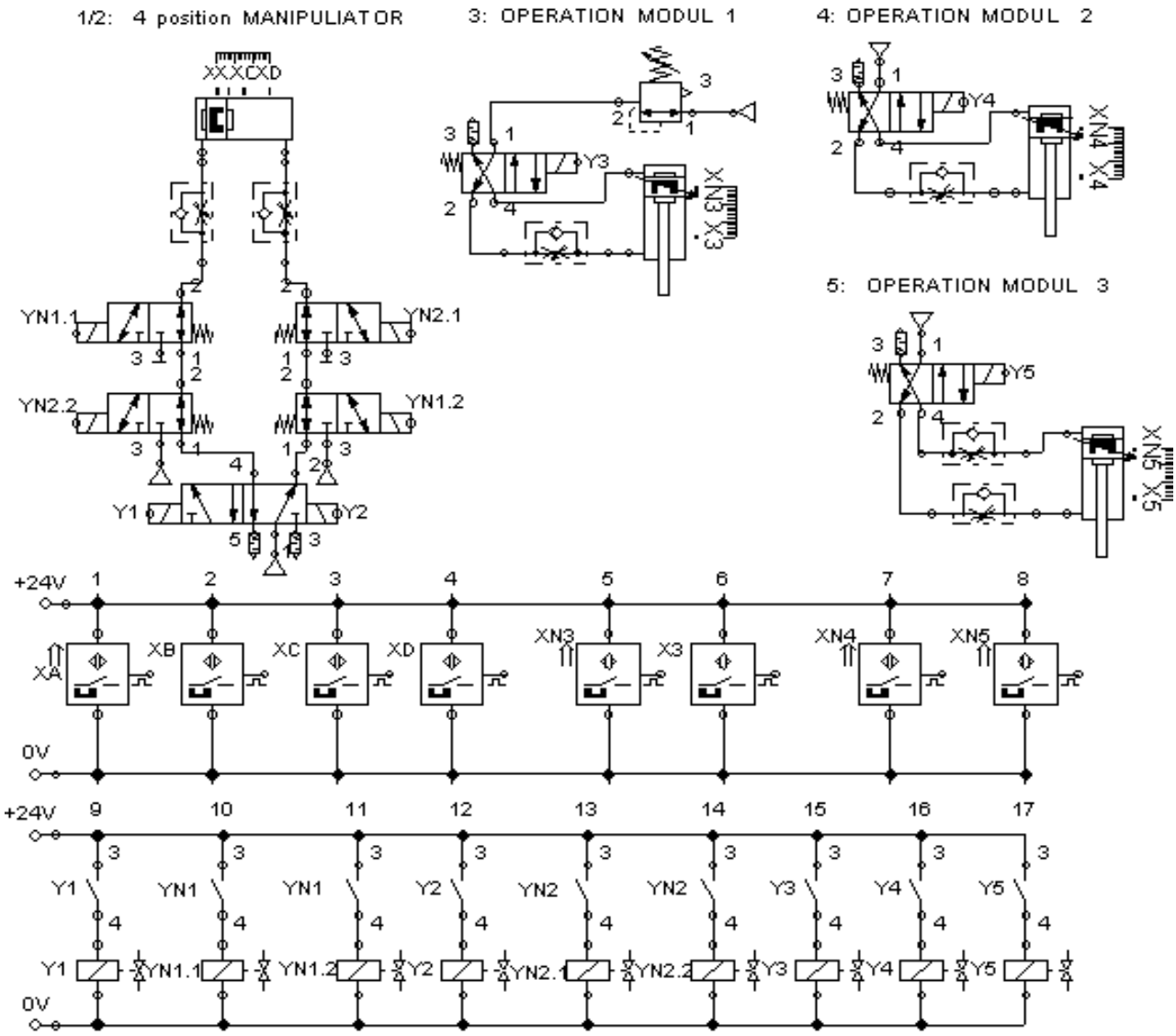


Рис. 5.28. Принципова схема виконавчого рівня автоматизованої ланки оброблювального центру: 1/2 - модуль багатопозиційного маніпулятора переміщення; 3 - модуль першої операції оброблення; 4 - модуль другої операції оброблення; 5 - модуль третьої операції оброблення, комплект засобів контролю (XA, XB, XC, XD, XN3, X3, XN4, X4, XN5, X5), комплект засобів керування (Y1, YN1,YN1.1, YN1.2, Y2,YN2, YN2.1, YN2.2, Y3, Y4, Y5)

З врахуванням того, що PLC мають фіксовану кількість входів і виходів, наприклад 8, розподіляємо сигнали від датчиків і сенсорів по входах контролера (IXX), а керовані пристрої (електромагніти та засоби індикації) розподіляємо по виходах контролера (QXX). Маємо наступні результати (таблиця 5.6).

Таким чином, для сприйняття інформації від датчиків і сенсорів, достатньо 8 дискретних/бінарних входів. Для керування функціональними модулями і індикацією достатньо також 8 дискретних/бінарних виходів. Обираємо конфігурацію контролера, яка задовольняє вказаним параметрам. Розподіляємо виходи і входи контролера по засобах керування і контролю (рис. 5.29).

На дев'ятому кроці, з врахуванням позначень та під'єднань датчиків і сенсорів та керованих пристроїв до контролера, розробляємо алгоритм

керування системою дискретної пневмоавтоматики для ланки оброблювального центру. В якості прикладу скористаємося алгоритмічною мовою ST і прикладною програмою CoDeSys.

Таблиця 5.6

Підрахунок необхідної кількості входів і виходів PLC

№ модуля	**Входи PLC X_ і XN_**		**Виходи PLC Y_ і YN_**	
	Основна дія	Зворотна дія	Основна дія	Зворотна дія
1	XB1/2, XC1/2, XD1/2 I01, I02, I03	--	Y1 Q01	YN1.1, YN1.2 Q02
2	XA1/2 I04	--	Y2 Q03	YN2.1, YN2.2 Q04
3	X3 I05	XN3 I06	Y3 Q05	--
4	X4 (анімація)	XN4 I07	Y4 Q06	--
5	X5 (анімація)	XN5 I08	Y5 Q07	--
ПАНЕЛЬ	ST (анімація)	--	--	--
ПАНЕЛЬ	--	--	L Q08	

Під'єднання входів і виходів контролера, разом із описом необхідних інформаційних компонентів (операндів), припадає на опис глобальних та локальних змінних (символьне ім'я відображає інформаційний зв'язок з об'єктом керування рис. 5.30) та конфігурацію контролера з розподілом входів і виходів (PLC configuration рис. 5.31).

Для випадків опосередкованого контролю чи використання логічних функцій для визначення стану модуля (модулі 1 і 2) в опис додано допоміжні бінарні змінні із ім'ям контролюємого стану модулів.

Наприклад X1, значення «TRUE» засвідчує завершення виконання дії Y1 і збереження результату виконання. Для XN1, значення «TRUE» засвідчує виконання дії YN1 і збереження результату виконання. Значення змінних є логічними функціями від сигналів контролю і індикаторів стану елементів пам'яті.

Елементи пам'яті в алгоритмі керування представлені парами бінарних змінних, які змінюють своє значення в протифазі один до одного (рис. 5.30). Наприклад, X6 і XN6. При вмиканні модуля 6 (елемента пам'яті) матимемо:

X6:= TRUE; XN6:=FALSE;

При вимиканні модуля 6 (елемента пам'яті) матимемо:

X6:= FALSE; XN6:=TRUE;

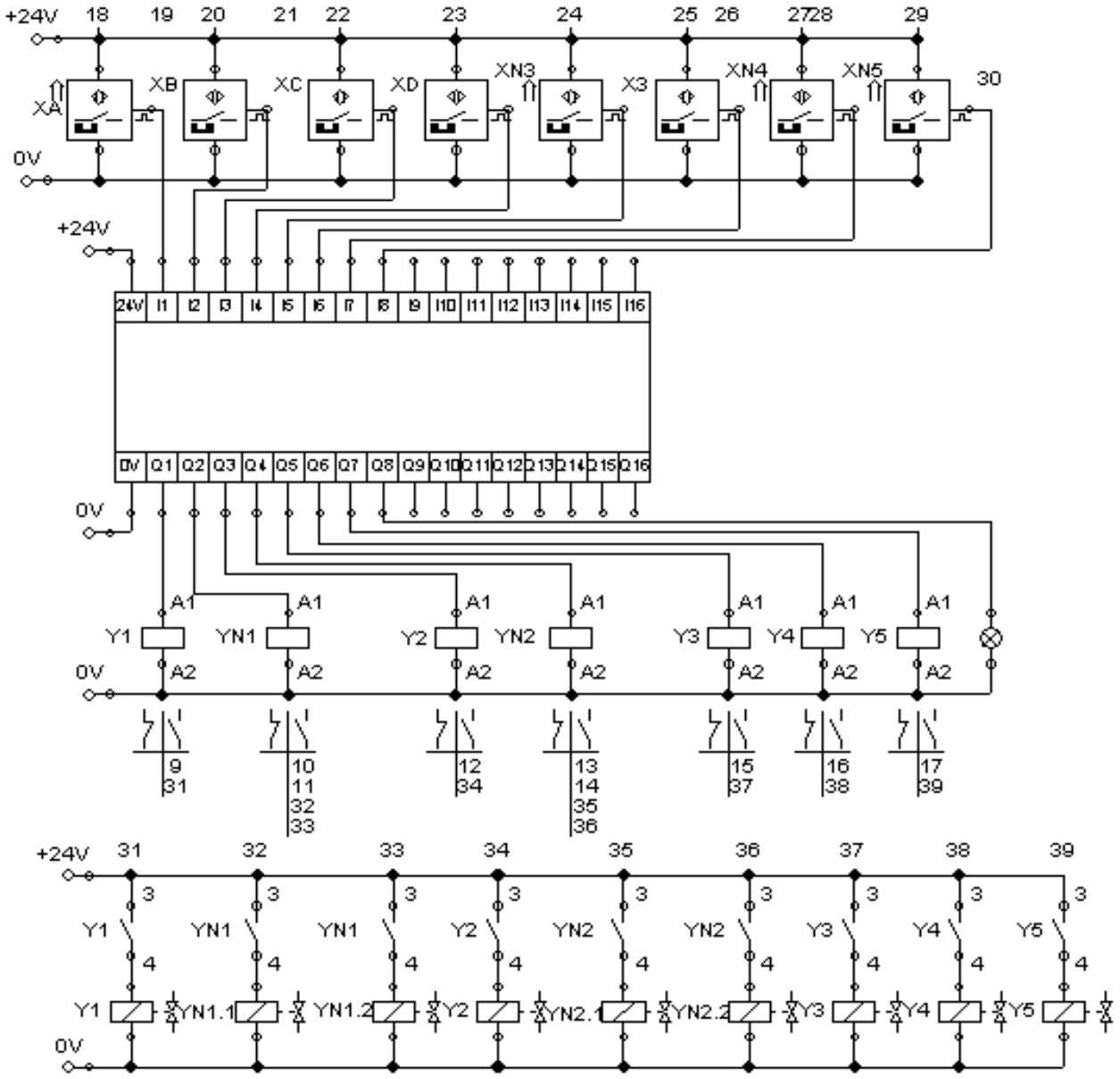


Рис. 5.29. Схема підключень засобів контролю та керування до PLC: входи I1, I2, I3 і I4 – під'єднання сенсорів маніпулятора, входи I5, I6 – під'єднання датчиків положення пристрою 1-ї обробки, вхід I7 – під'єднання датчика початкового положення пристрою 2-ї обробки, вхід I8 – під'єднання датчика початкового положення пристрою 3-ї обробки, виходи Q1 і Q2 – під'єднання модуля 1, виходи Q3 і Q4 – під'єднання модуля 2, вихід Q5 – під'єднання модуля 3, вихід Q6 – під'єднання модуля 4, вихід Q7 – під'єднання модуля 5, вихід Q8 – під'єднання лампочки індикатора роботи системи в технологічному циклі

За логічними виразами команд для елементів пам'яті мають вмикатися або вимикатися безпосередньо індикатори стану, тобто бінарні змінні. Для кожного елементу пам'яті додаємо по дві змінних, які мають ім'я індикаторів стану елементів пам'яті, тобто: XN6, X6, XN7, X7, XN8, X8, XN9, X9 (рис. 5.30).

Логічні вирази команд керування мають вигляд логічних функцій, аргументами яких є або сигнали стану модулів або індикатори стану модулів системи. Оскільки не всі модулі мають фізичні засоби контролю основного і

зворотного стану до них додано індикатори стану. Здебільшого це стосується опосередкованого контролю або використання логічних виразів для контролю стану (модулі 1 і 2), або використання таймерів. В алгоритмі роль індикаторів стану виконуватимуть бінарні змінні з відповідним ім'ям, наприклад:

Модуль 1: індикатори стану XN1 і X1.

Модуль 2: індикатори стану XN2 і X2.

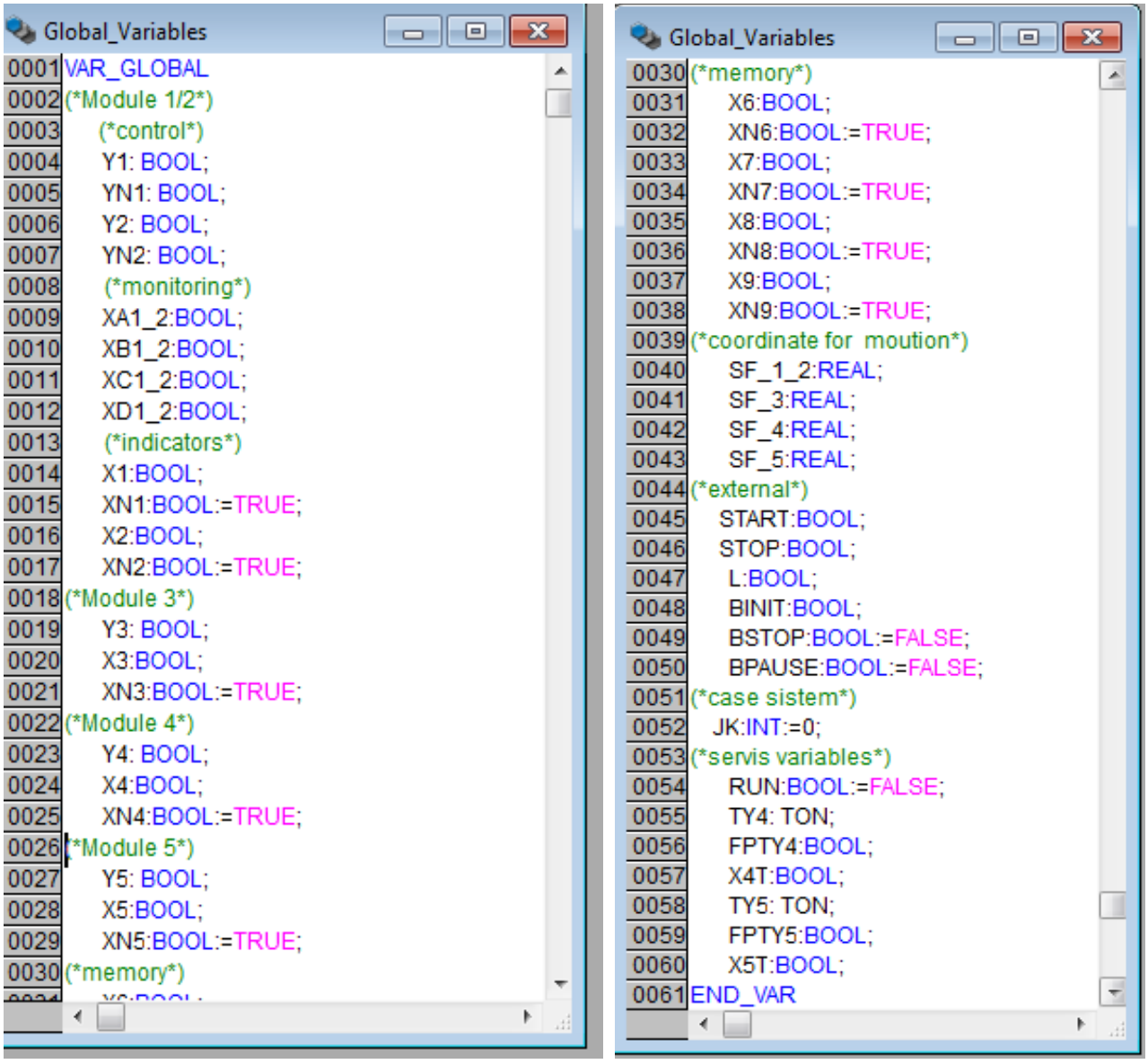


Рис. 5.30. Опис змінних, задіяних в алгоритмі керування оброблювальною ланкою з пневматичним маніпулятором. Керування: модуль 1: Y1, YN1.1, YN1.2, модуль 2: Y2, YN2.1, YN2.2, модуль 3: Y3, модуль 4: Y4, модуль 5: Y5. Контроль: модуль 1/2: XA1_2, XB1_2, XC1_2, XD1_2; модуль 3: X3, XN3; модуль 4: X4, XN4; модуль 5: X5, XN5. Координати руху в анімаційній моделі: модуль 1/2 - SF_1_2; модуль 3 - SF_3; модуль 4 - SF_3; модуль 5 - SF_5; Вмикання/вимикання системи: START, STOP. Встановлення в початковий стан: BINT. Зупинка системи: BSTOP. Пауза в роботі: BPAUSE. Керуюча змінна циклу RUN. Керуюча змінна в CASE – JK. Контроль за часом модуля 4 : TY4, FPTY4, X4T. Контроль за часом модуля 5 : TY5, FPTY5, X5T

Дублювання. Задля можливості створення анімації автоматизованої системи засобами програмування впроваджуємо «дублерів» до зовнішніх

сигналів датчиків і сигналів керування (рис.5.32) Фізичні сигнали позначаємо так само, як і «дублерів», але з доданою літерою «R» - real, наприклад, для 5-го модуля: X5 і X5R, Y5 і Y5R, XN5 і XN5R, YN5 і YN5R.

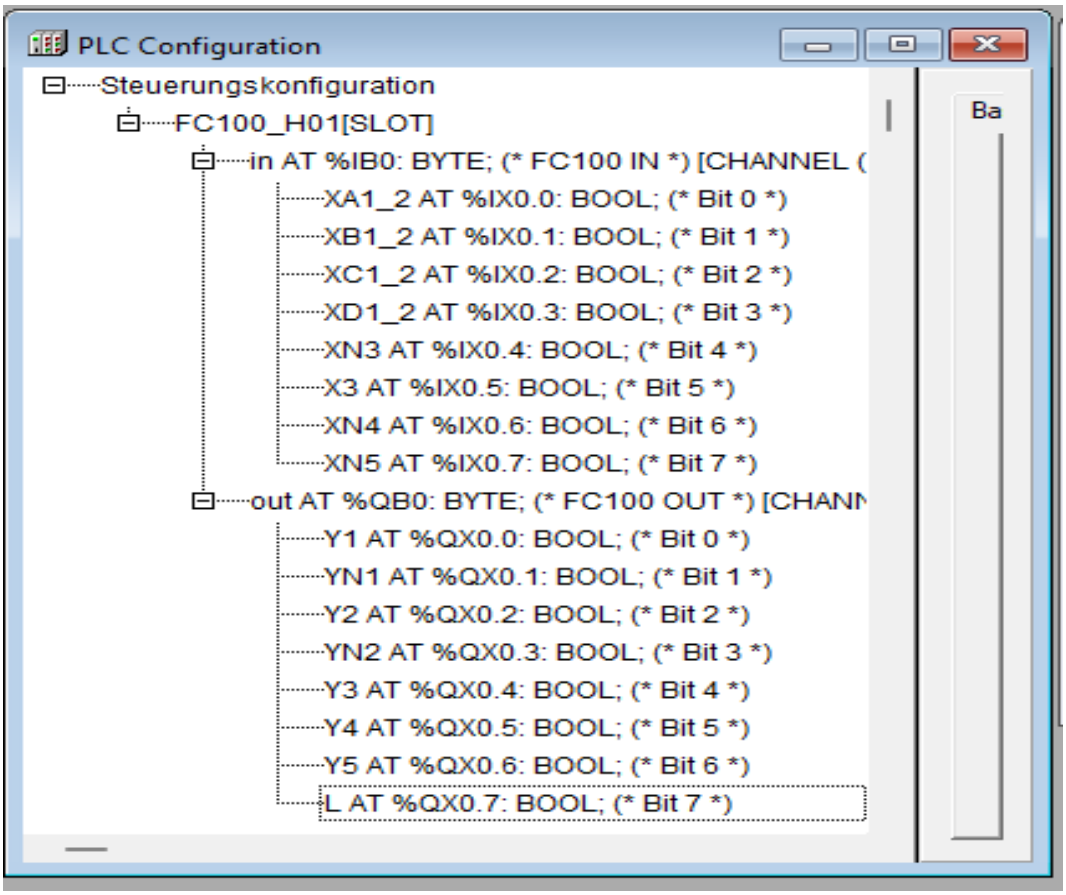


Рис. 5.31. Розподіл засобів контролю і керування по входах і виходах контролера FC100: XA1_2, XB1_2, XC1_2, XD1_2 – входи контролера, під'єднані до датчиків контролю положення багатопозиційного приводу маніпулятора; XN3, XN4, XN5 - входи контролера, що під'єднані до датчиків контролю початкових положень пристроїв 3, 4 і 5; X3 – вхід контролера, що під'єднано до датчику контролю кінцевого положення пристрою 3; Y1, YN1, Y2, YN2, Y3, Y4, Y5 – виходи контролера, що під'єднані до електромагнітів клапанів керування модулями 1, 2, 3, 4 і 5, L – індикатор стану системи

Алгоритм керування працюватиме на «дублерах» і з «дублерами» наступним чином. Вхідні сигнали безумовно віддзеркалюватимуться в стані їх «дублерів»:

IF X5R THEN X5:=TRUE; ELSE X5:=FALSE; END_IF

IF XN5R THEN XN5:=TRUE; ELSE XN5:=FALSE; END_IF .

Вихідні сигнали з PLC самі безумовно повторюватимуть стан їх «дублерів»:

IF Y5 THEN Y5R:=TRUE; ELSE Y5R:=FALSE; END_IF

IF YN5 THEN YN5R:=TRUE; ELSE YN5R:=FALSE; END_IF .

Для інформаційних компонентів, таких, як елементи пам'яті та ідентифікатори контролю за станом, у тому числі для контролю за часом, додаткові дублери будуть відсутні.

Подібний перехід буде впроваджено стосовно всіх задіяних входів і

виходів контролера. Алгоритмічно цей перехід може бути виконаним в окремій підпрограмі, наприклад, TRANS_SIGN, яка активізується під час переводу основної програми у режим виконання: PLC_PRG TRANS_SIGN.

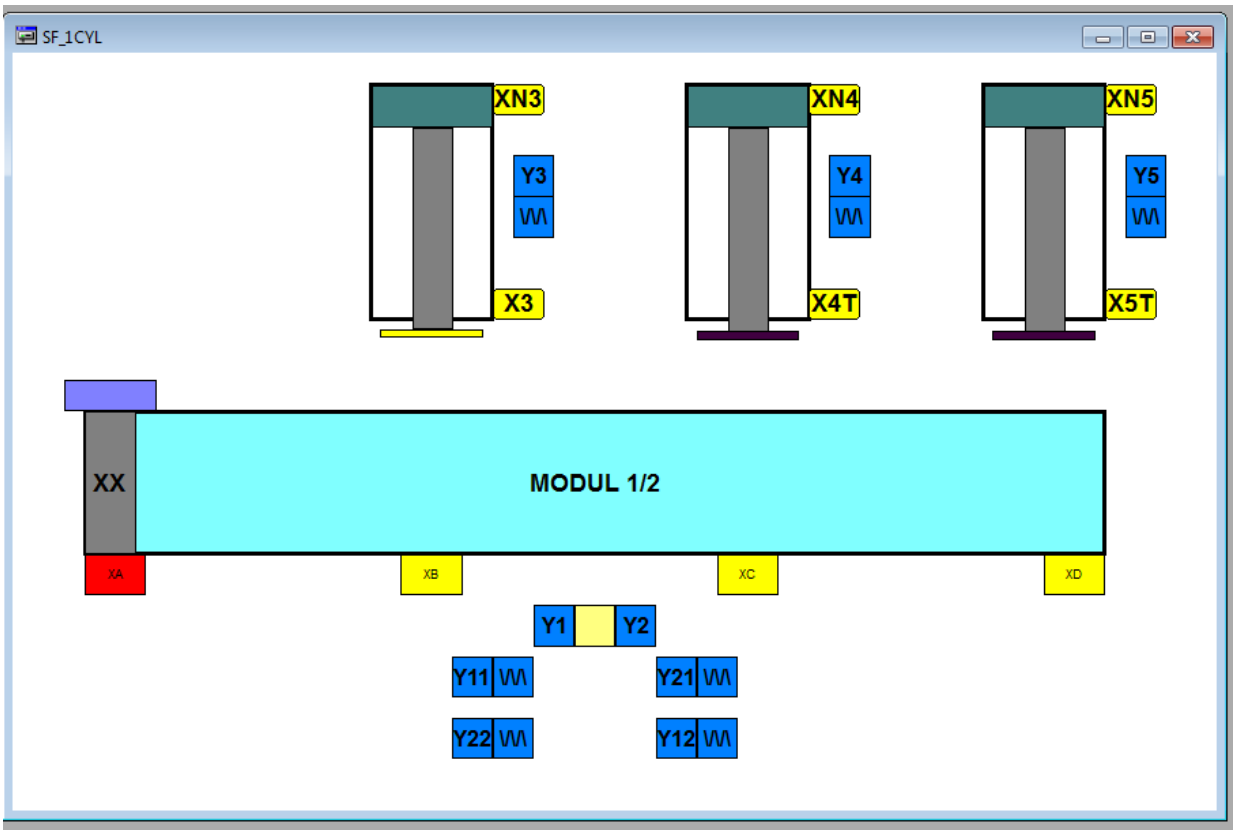


Рис. 5.32. Приклад анімації ланки оброблювального центру: MODUL 1/2 – багатопозиційний пневматичний маніпулятор; XA, XB, XC, XD анімація датчиків позицій маніпулятора; Y1, Y11, Y12, Y2, Y21, Y22 анімація керування маніпулятора; Y3, Y4, Y5 - анімація керування виконавчими пристроями технологічних модулів; XN3, XN4, XN5, X3 – анімація датчиків контролю виконавчих пристроїв, X4T, X5T – анімація контролю за часом основних дій модулів 4 і 5

Використання анімаційної моделі об’єкта автоматизації, яка відпрацьовує той самий алгоритм керування, що і реальна система, є потужним інструментальним засобом при налагодженні алгоритмів керування систем мехатроніки та їх тестуванні. Використання анімаційної моделі запобігає витратам додаткової енергії та зменшенню ресурсу реального вартісного обладнання на етапі створення системи керування. При налагодженні алгоритму керування на анімаційній моделі відсутня потреба у під’єднанні периферії до контролера, достатньо тільки відімкнути підпрограму TRANS_SIGN, наприклад, так (*TRANS_SIGN*). В наступному прикладі представлено анімаційний варіант алгоритму, в якому не задіяно фізичні входи і виходи контролера.

Для анімації руху виконавчих пристроїв в алгоритмі задіяно змінні формату real, які ототожнено з координатами вихідних ланок. Так SF_1_2 – анімаційна координата модуля 1/2, SF_3 – анімаційна координата модуля 3, SF_4 – анімаційна координата модуля 4, SF_5 – анімаційна координата модуля 5.

Відповідно до складу системи та типу задіяного обладнання здійснено

опис використаних компонентів в алгоритмі керування (рис.5.30). Тобто, відповідно до кількості сигналів керування, кількості сигналів контролю, допоміжних змінних.

Підготовка системи до роботи. Для керування роботою системи (вмикання і вимикання) додаємо дозвільну змінну RUN яка увійде в якості множника в першу дію технологічного циклу – вмикання елемента пам'яті. Присвоєнні змінній RUN значень «TRUE» і «FALSE» здійснюватиметься з віртуального пульта на панелі керування за сигналом від кнопки START (рис.5.33).

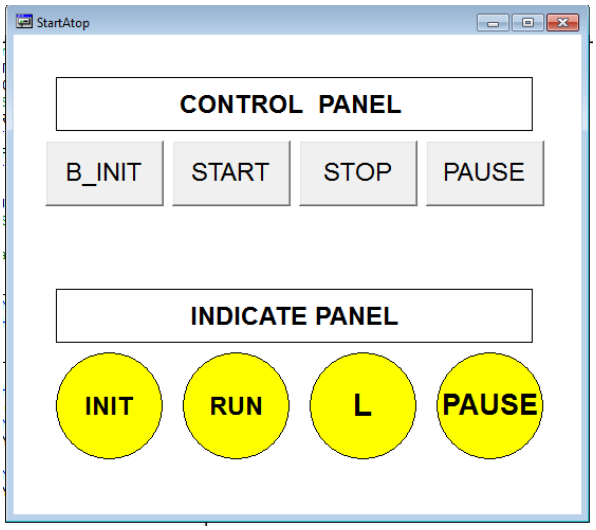


Рис. 5.33. Панель керування системи багатопозиційного маніпулятора: B_INIT – кнопка встановлення системи в початковий стан; START – кнопка вмикання/вимикання системи; STOP - кнопка зупинки системи без доопрацювання циклу; PAUSE – кнопка призупинки роботи системи; INIT – індикатор початкового стану; RUN – індикатор тривалого циклу; L – індикатор технологічного циклу; PAUSE індикатор паузи

Перше натискання кнопки START присвоюватиме змінній RUN значення TRUE, а друге натискання кнопки змінить значення на FALSE. На початку роботи всі компоненти системи необхідно встановити в початковий стан. Це стосується як фізичних компонентів системи, так і інформаційних компонентів (елементів пам'яті, індикаторів стану, керуючих змінних). Оскільки такі дії відбуваються до відпрацювання технологічного циклу, їх можна відокремити в окремий сегмент або в підпрограму P_INIT, яка вмикатиметься при короткочасному натисканні кнопки B_INIT на панелі керування (рис. 5.33):

```
IF BINIT THEN Y1:=FALSE; Y2:=TRUE; Y3:=FALSE;Y4:=FALSE;Y5:=FALSE;
END_IF
IF XA1_2 THEN Y2:=FALSE; END_IF
IF BINIT THEN X1:=FALSE; XN1:=TRUE; X2:=FALSE; XN2:=TRUE;
X4:=FALSE; X5:=FALSE; X5T:=FALSE; X6:=FALSE; X6T:=FALSE;
XN6:=TRUE; X7:=FALSE; XN7:=TRUE; X8:=FALSE; XN8:=TRUE;
X9:=FALSE; XN9:=TRUE; RUN:=FALSE; JK:=0; FPTY4:=FALSE;
FPTY5:=FALSE; END_IF
```

Особливі випадки. Оскільки в задіяному обладнанні передбачено контроль

за часом для основних дій модулів 4 і 5, то до компонентів алгоритму буде залучено таймери, прапори покриття та індикатори стану відпрацювання означених команд, а саме: {TY4: TON; FPTY4: BOOL; X4T: BOOL; TY5: TON; FPTY4:BOOL; X4T:BOOL;} .

Алгоритм контролю за часом керуватиметься сигналами відповідних основних і зворотних команд (вмикатимуть таймери) та станом таймерів (рис. 5.34, 5.35).

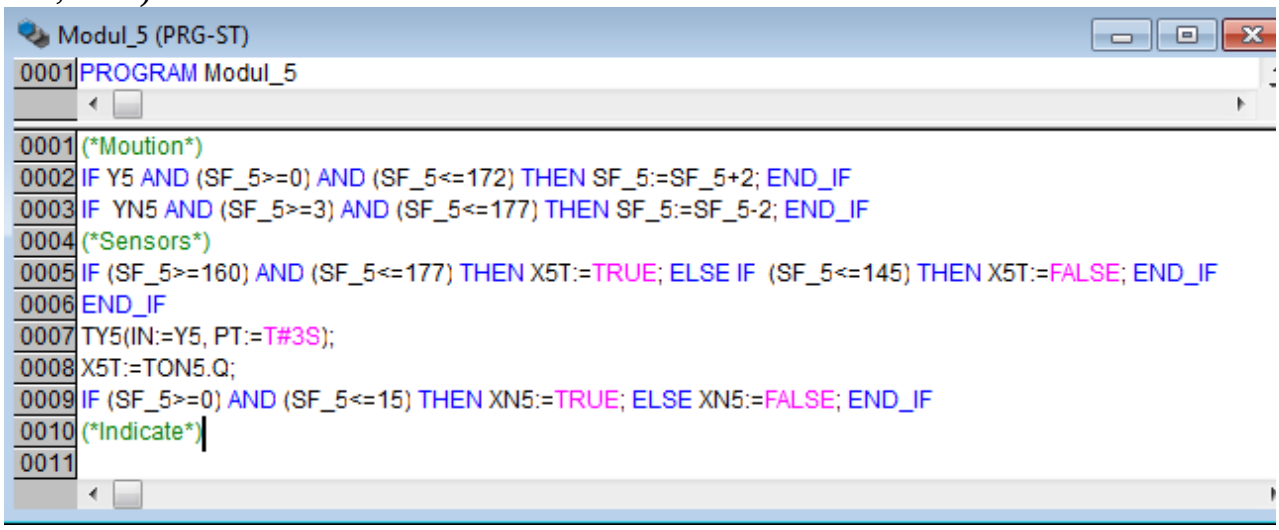


Рис. 5.34. Приклад фрагменту алгоритму підпрограми анімації виконавчого пристрою модуля 5:X5T – анімація контролю за часом, SF_5 – координата поточної позиції вихідної ланки модуля 5, TY5 – таймер контролю за часом модуля 5

За сигналом основної команди Y4 має вмикатись відлік часу TY4 і прапор покриття FPTY4:=TRUE. Після вибігу часу, тобто завершення основної дії, має вмикатись індикатор контролю за часом X4T:=TRUE.

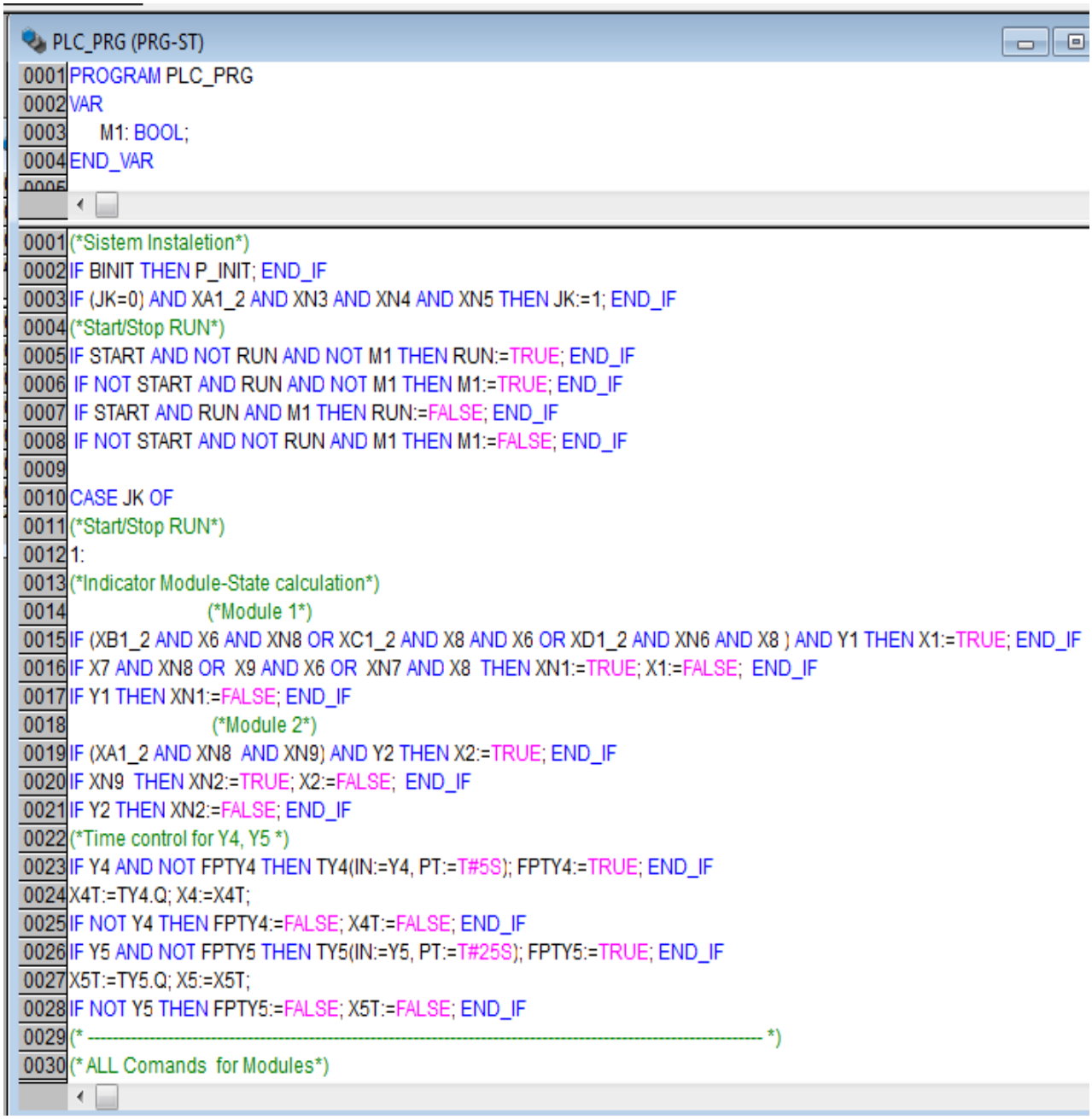
За сигналом зворотної команди (NOT Y4) починається виконання зворотної дії і вимикається індикатор контролю за часом основної дії X4T:=FALSE, та вимикається прапор покриття таймера FPTY4:= FALSE.

За сигналом основної команди Y5 має вмикатись відлік часу TY5 і прапор покриття FPTY5:=TRUE. Після вибігу часу, тобто, завершення основної дії, має вмикатись індикатор контролю за часом X5T:=TRUE.

За сигналом зворотної команди (NOT Y5) починається виконання зворотної дії і вимикається індикатор контролю за часом основної дії X5T:=FALSE, та вимикається прапор покриття таймера FPTY5:= FALSE.

В алгоритмі керування контроль за часом основних дій модулів 4 і 5 матиме наступний вигляд:

```
IF Y4 AND NOT FPTY4 THEN TY4(IN:=Y4, PT:=T#5S); FPTY4:=TRUE; END_IF
X4T:=TY4.Q;
IF NOT Y4 THEN FPTY4:=FALSE; X4T:=FALSE; END_IF
IF Y5 AND NOT FPTY5 THEN TY5(IN:=Y5, PT:=T#25S); FPTY5:=TRUE;
END_IF
X5T:=TY5.Q;
IF NOT Y5 THEN FPTY5:=FALSE; X5T:=FALSE; END_IF .
```



```
PLC_PRG (PRG-ST)
0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003     M1: BOOL;
0004 END_VAR
0005
0001 (*Sistem Instaletion*)
0002 IF BINIT THEN P_INIT; END_IF
0003 IF (JK=0) AND XA1_2 AND XN3 AND XN4 AND XN5 THEN JK:=1; END_IF
0004 (*Start/Stop RUN*)
0005 IF START AND NOT RUN AND NOT M1 THEN RUN:=TRUE; END_IF
0006  IF NOT START AND RUN AND NOT M1 THEN M1:=TRUE; END_IF
0007  IF START AND RUN AND M1 THEN RUN:=FALSE; END_IF
0008  IF NOT START AND NOT RUN AND M1 THEN M1:=FALSE; END_IF
0009
0010 CASE JK OF
0011 (*Start/Stop RUN*)
0012 1:
0013 (*Indicator Module-State calculation*)
0014                     (*Module 1*)
0015 IF (XB1_2 AND X6 AND XN8 OR XC1_2 AND X8 AND X6 OR XD1_2 AND XN6 AND X8 ) AND Y1 THEN X1:=TRUE; END_IF
0016 IF X7 AND XN8 OR  X9 AND X6 OR  XN7 AND X8  THEN XN1:=TRUE; X1:=FALSE;  END_IF
0017 IF Y1 THEN XN1:=FALSE; END_IF
0018                      (*Module 2*)
0019 IF (XA1_2 AND XN8  AND XN9) AND Y2 THEN X2:=TRUE; END_IF
0020 IF XN9  THEN XN2:=TRUE; X2:=FALSE;  END_IF
0021 IF Y2 THEN XN2:=FALSE; END_IF
0022 (*Time control for Y4, Y5 *)
0023 IF Y4 AND NOT FPTY4 THEN TY4(IN:=Y4, PT:=T#5S); FPTY4:=TRUE; END_IF
0024 X4T:=TY4.Q; X4:=X4T;
0025 IF NOT Y4 THEN FPTY4:=FALSE; X4T:=FALSE; END_IF
0026 IF Y5 AND NOT FPTY5 THEN TY5(IN:=Y5, PT:=T#25S); FPTY5:=TRUE; END_IF
0027 X5T:=TY5.Q; X5:=X5T;
0028 IF NOT Y5 THEN FPTY5:=FALSE; X5T:=FALSE; END_IF
0029 (* ---------------------------------------------------------------------------------------------------- *)
0030 (* ALL Comands  for Modules*)
```

Рис. 5.35. Початкова частина головної програми алгоритму керування: 1) сегмент встановлення в початковий стан; 2) сегмент вмикання/вимикання системи в режим тривалого циклу (змінна RUN, кнопка START); 3) сегмент експлуатаційного циклу (CASE JK OF); 3.1) обчислення індикаторів стану модулів 1 і 2; 3.2) алгоритм контролю за часом основних дій модулів 4 і 5.

Робота системи. В головній програмі матимуть місце декілька окремих змістовних сегментів і застосована структура CASE, що може вміщувати сегменти для супроводу різних етапів експлуатаційного циклу (Рис. 5.35, рис. 5.36).

В першому окремому сегменті, на початку роботи, після короткочасного натискання кнопки BINIT, активізується підпрограма встановлення в початковий стан P_INIT (рядок 2, рис.5.35). Під час цього натискання будуть подані

відповідні сигнали команд на керовані пристрої та встановлені початкові значення змінних. Змінні опанують початкові значення, а пристрої почнуть переходити в початковий стан. Наступний рядок перевіряє встановлення всіх пристроїв в початкові положення і, в разі позитивного результату, керуюча змінна JK отримає значення «1», тобто надає дозвіл на входження в структуру CASE.

Рис. 5.36. Змістовна частина алгоритму керування CASE JK OF: 3.3) скануючий цикл перерахунку логічних виразів команд керування відповідно до поточного стану модулів системи

В другому окремому сегменті, який розташовано перед структурою CASE, керуючій змінній RUN задається значення TRUE або FALSE. При цьому використано додаткову бінарну змінну M1 і кнопку на панелі керування START.

Змістовне відпрацювання структури CASE починається з сегменту 1, який активізується після отримання змінною JK значення 1. Перша частина цього сегменту здійснює попередню обробку інформації щодо стану системи - виконуються допоміжні операції. Для модулів 1 і 2 здійснено обрахунок стану індикаторів модулів 1 і 2 та встановлення відповідних значень індикаторів (X1,

XN1, X2, XN2). Для модулів 4 і 5 відбувається опрацювання контролю за виконанням їх основних дій за часом (якщо подані команди) і також встановлюються значення індикаторів стану (X4 і X5). На цьому виконання підготовчих операцій завершено і система готова до початку технологічного циклу.

Далі, в скануючому циклі, розташовані всі логічні вирази команд керування модулями системи, включно з елементами пам'яті (рис. 5.35).

В наступних сегментах **CASE** структури надана можливість для роботи системи в інших режимах відпрацювання експлуатаційного циклу (рис. 5.37). Вони можуть бути використані на етапах налагодження системи, її модернізації, вирішення проблем, що виникають у аварійних ситуаціях. Для реалізації таких переходів використано керуючу змінну JK. Натискання певної кнопки під час роботи системи змінює значення JK і сегмент «1» CASE структури перестає бути активним.

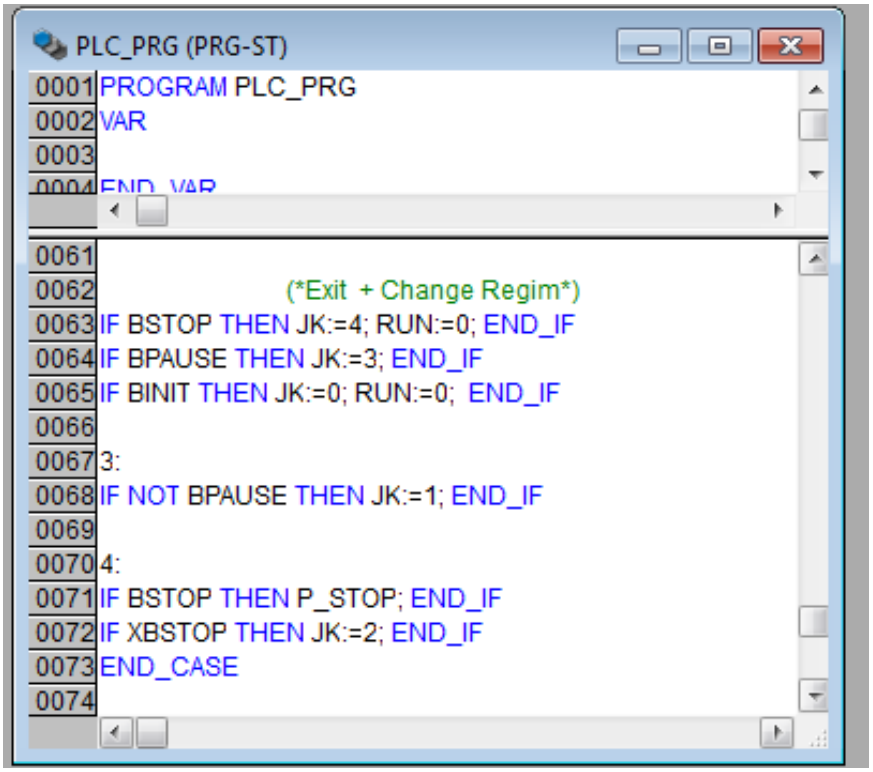


Рис. 5.37. Завершальна частина алгоритму керування CASE JK OF: заміна режиму JK=0 – перехід в режим встановлення системи в початковий стан, JK=2 – вихід з CASE структури, заміна режиму JK=3 – перехід в режим паузи, заміна режиму JK=4 – перехід в режим зупинки

Наприклад, натискання кнопки BSTOP змінює значення JK на 4. Активна фаза полишає сегмент 1 і починає відпрацьовувати сегмент 4.

В сегменті 4, за умов дійсності сигнала BSTOP, стає активною підпрограма P_STOP. Підпрограма P_STOP зупиняє роботу системи без можливості поновлення технологічного циклу з поточного стану, тобто припиняє оновлення значень сигналів команд відповідно до змін сигналів та індикаторів стану системи. В цій підпрограмі можливе задіяння додаткового обладнання для

миттєвого припинення руху, наприклад в разі аварійної ситуації. Бінарна змінна XBSTOP контролює завершення зупинки руху. Після цього наступне значення керуючої змінної JK=2 і структура CASE перестає бути активною до втручання оператора.

Аналогічно натискання кнопки BPAUSE змінює значення JK на 3 і оновлення сигналів команд припиняється. Повернення до відпрацювання технологічного циклу потребує вивільнення кнопки BPAUSE, після чого значення JK змінюється на 1 і система поновлює відпрацювання технологічного циклу.

Аналогічно натискання кнопки BINIT змінює значення JK на 0 після чого структура CASE перестає бути активною і активною стає підпрограма встановлення в початковий стан P_INIT.

Таким чином, шляхом подачі зовнішніх сигналів з пульта чи панелі керування, відбувається зміна режимів роботи системи так само, як було розглянуто в прикладах з електрорелейним або пневматичним керуванням.

Синтезована система і алгоритм керування до пневматичної системи виконавчих пристроїв оброблювального центру складені і перевірені в прикладних програмах FluidSim і CoDeSys (мова ST).

Система забезпечує:

- Керування багатопозиційним пневматичним маніпулятором;
- Контроль за часом виконавчими пристроями (модулі 4 і 5);
- Відпрацювання одиничного і тривалого технологічного циклу;
- Призупинку роботи системи в режимі ПАУЗА;
- Зупинку роботи системи в поточному стані;
- Встановлення системи в початковий стан;
- Анімаційний супровід роботи системи.

Завдяки циклічно-модульній будові система має відкриту архітектуру і її може бути доповнено виконанням нових функцій, шляхом додавання нових модулів, додаванням нових позицій в роботі багатопозиційного маніпулятора без втручання у відпрацьовану частину системи. Додані функції можуть бути реалізовані додаванням підпрограм, наприклад, для дій системи в особливих режимах – налагодження, аварійної зупинки та інших.

6. ДОПОМІЖНІ ТА СЕРВІСНІ ФУНКЦІЇ СИСТЕМИ, РЕЖИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

6.1. БАГАТОРЕЖИМНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ

Більшість практичних задач призводять до створення систем з тривалим терміном експлуатації, під час якої система виробляє продукцію. Іноді цей термін складає декілька місяців, після чого кількість виробленої продукції задовольняє потреби користувачів на тривалий термін. Після цього система може бути модернізована на вироблення іншого різновиду виробів. Іноді системи працюють майже без перерв десятки років. За такий тривалий термін система проходить через низку модернізацій, замін обладнання, що вичерпало ресурс, реінжиніринг у зв'язку із зникненням певних видів обладнання і появою новітньої техніки.

Найбільш швидкоплинні процеси оновлення технічних систем відбуваються в системах керування, елементна база яких іноді повністю змінюється за декілька років.

Таким чином, значну частину терміну експлуатації технічна система знаходиться в стані створення, складання, випробування, тестування та налагодження, модернізації, реінжинірингу і ліквідації. Період безперервної експлуатації з випуском продукції складає лише частину життєвого циклу мехатронної системи. В результаті, тільки на вироблення продукції, припадає лише частка часу, витраченого на експлуатацію чи роботу з системою. Весь інший час дії системи не підпадають під визначення «відпрацювання технологічного циклу». Тобто, певні дії в системі мають відбуватись, їх треба контролювати, ними потрібно керувати, але вони принципово відрізняються від циклічного виготовлення продукції.

Інколи всі перелічені варіанти роботи системи достатньо прості, щоб не розробляти додаткові алгоритми керування, наприклад, задіяні при складанні чи випробуванні системи. Але більшість промислових об'єктів є надто складними, щоб оператор чи майстер якимось чином самостійно, без залучення додаткових технічних засобів, зміг вирішувати поточні задачі випробування чи реінжинірингу, які не пов'язані з відпрацювання виробничого циклу. Наприклад, багатократне повернення потужного гідравлічного циліндру пресу у початкове положення та переведення його у кінцеве положення потрібно для налаштувань швидкості і зусилля. Такий «спрощений» цикл дії одного виконавчого пристрою не передбачений в алгоритмі відпрацювання технологічного циклу пресування. Тобто, для налаштувань потрібно або надати оператору можливість керувати в «ручному» режимі, або передбачити додаткові варіанти роботи системи в загальному алгоритмі керування. Як в першому випадку, так і в другому випадку, такі дії системи і оператора мають бути узгоджені з алгоритмом керування пресом в технологічному циклі.

Багаторежимне керування необхідне для супроводу системи протягом її життєвого циклу. Різні режими керування відповідають різним етапам

функціонування і експлуатації. Частина цих етапів може бути реалізована в системах за рахунок автоматизованого чи напів-автоматизованого керування, а інша частина матиме ручне керування, чи має здійснюватися в діалоговому режимі роботи оператора, чи комбінувати різні варіанти.

Якщо розглянути процес побудови системи, то можна виділити, наприклад, наступні практичні завдання:

- Монтаж виконавчих пристроїв та засобів енергозабезпечення і керування;
- Під'єднання засобів керування;
- Під'єднання засобів контролю;
- Налагодження параметрів виконавчих пристроїв та енергетичних потоків;
- Налагодження засобів контролю;
- Складання функціональних модулів;
- Налагодження функціональних модулів;
- Складання локальних засобів керування модулями;
- Об'єднання модулів в систему;
- Налагодження технологічного циклу;
- Налагодження вмикання/вимикання системи;
- Повернення системи в початковий стан.

У випадку додавання до системи засобів автоматизації щодо виконання перелічених практичних завдань, одночасно до системи додаються відповідні режими функціонування, частина з яких не призводять до випуску продукції, а інші режими забезпечують різні варіанти виконання технологічного циклу.

Умовно, більшість режимів функціонування системи може бути розподілена на циклові та нециклові режими, і комбіновані режими [96, 102, 153].

Циклові режими відтворюють різні варіанти відпрацювання технологічного або експлуатаційного циклу [16, 96, 144].

Нециклові режими охоплюють функції системи, які необхідні, як правило, за не підпорядкованих циклічній роботі системи обставин.

Комбіновані режими охоплюють дії системи, які необхідні на початкових етапах роботи та при модернізації системи, вони поєднують сегменти циклового режиму з окремими діями, що не підпорядковані циклічній роботі.

Циклові режими. Метою створення системи найчастіше є певний технологічний цикл, для виконання якого необхідна група допоміжних режимів або внутрішніх функцій, що можуть бути задіяні під час циклічної роботи системи. До таких функцій чи режимів належать:

- Вмикання/вимикання і відпрацювання циклу;
- Одиничний цикл;

- Тривалий цикл;
- Покрокове відпрацювання циклу;
- Пауза (призупинення/продовження) циклу;
- Інші варіанти.

Найчастіше циклові режими є автоматизованими або автоматичними. Зміст циклу може частково змінюватись в межах циклічного режиму експлуатації, наприклад, відповідно до зміни моделі продукції, зміни деяких комплектуючих чи параметрів, виконання селективного складального процесу.

Нециклові режими. Більшість нециклових режимів належить до підготовчого періоду (налагодження та тестування обладнання і системи, вихід з нерегламентованих ситуацій). До основних завдань нециклових режимів, можна віднести налаштування та тестування (пристрою, модуля, підсистеми, системи). Прикладами таких режимів є:

- Встановлення пристроїв системи у початковий стан;
- Ручне керування вмиканням/вимиканням пристрою чи модуля;
- Зупинка системи;
- Аварійна зупинка системи;
- Розвантаження виконавчих та/або енергетичних пристроїв живлення.

Кількість автоматизованих нециклових режимів зростає відповідно до складності автоматизованого об’єкту.

Для нескладних систем більшість нециклових режимів може бути виконано в режимі ручного керування оператора або в діалоговому чи напівавтоматичному режимах.

Розробка систем керування багаторежимних систем має три основні складові:

- ***розробка логіки взаємодії всіх передбачених режимів;***
- ***забезпечення коректного виходу з режиму;***
- ***забезпечення коректного входу в режим.***

Узгодженість двох останніх складових обумовлює неприпустимість деяких переходів, або можливість одночасного знаходження системи в декількох режимах. Наприклад, після аварійної зупинки неможливим є продовження технологічного циклу без поновлення певного стану системи. Після роботи оператора в ручному режимі бажано бути впевненим, що система повернулась в початковий стан, і тільки після цього можна виконати пробний пуск в автоматичному режимі. В той же час режим ПАУЗА - призупинка виконання нових команд, може бути використано, за потреби, в будь якому режимі.

Надалі будуть розглянуті приклади багаторежимних систем, що мають

майже однаковий технологічний цикл і однотипні виконавчі, контролюючі і керуючі пристрої, наприклад: 1 – 2 – 3 – N1 – N2 – N3.

Модулі мають бістабільне або моностабільне керування з клапанами 5/2 чи 4/2. Всі модулі мають по два датчики стану: початкового і кінцевого.

Деякі режими потребують додаткового обладнання чи інших варіантів основних засобів керування, наприклад, замість клапану 5/2 використати клапан 5/3, або додавання допоміжних елементів пам'яті.

Приклади систем з пневматичним керуванням і електрорелейним керуванням розглянуті паралельно. Це допоможе побачити зв'язки між схемними рішеннями пневмоавтоматики та електрорелейного керування для кожного з режимів роботи системи.

Приклад багаторежимної системи з програмованим керуванням та залученням PLC розглянуто окремо із використанням мови програмування STL. Це зроблено тому, що структура алгоритму керування суттєво відрізняється від структури схемних рішень пневмоавтоматики і електрорелейних схем. Наприклад, застосування елементів пам'яті в алгоритмі не потребує схемних аналогів, так само, як використання таймерів чи лічильників.

Додаткову можливість алгоритмічного керування надають підпрограми. Перехід з однієї підпрограми до іншої фактично від'єднує систему від одного алгоритму керування і під'єднує до іншого алгоритму керування, чому відповідає зміна режиму роботи системи.

Зауважимо, що жодний алгоритм не зможе змінити тиск, якщо немає відповідного клапану, те саме відноситься до зупинки системи у разі відсутності спеціального обладнання. Так само алгоритм не забезпечить певну точність позиціонування всупереч законам стисливості рідини чи термодинамічним процесам в стиснутому повітрі.

Побудова алгоритму керування експлуатацією системи, а не керування виробничим циклом, базуватиметься на тих самих прикладах, що і наведені електрорелейні схеми систем керування.

6.2. ЦИКЛОВІ РЕЖИМИ РОБОТИ СИСТЕМИ

Циклові режими дозволяють системі відпрацьовувати багатократне повторювання певної циклової послідовності дій. Така послідовність може співпадати з технологічним циклом, але може і відрізнятися від нього. В другому випадку це може бути режим виконання налагоджувальних робіт окремого обладнання чи відпрацювання частини технологічного циклу, наприклад роботу ланок завантаження і відвантаження продукції без відпрацювання виробничих операцій. В будь-якому варіанті циклові режими дозволяють оператору керувати цикловою роботою системи.

6.2.1. Режим «Вмикання/вимикання» (пневмоавтоматика)

Режим є додатковим до іншого циклового чи нециклового режиму, наприклад, технологічного циклу чи встановлення в початковий стан.

Для реалізації використовують керуючий сигнал в першому переході процесу або першому тригері, при схемі з кроковою структурою (рис. 6.1):

$$y_1 \Leftarrow (\{Y_1\}) * X_{start/stop}. \qquad (6.1)$$

Якщо на першому переході система виконує декілька команд, то дозвільний сигнал має бути множником в кожній з них.

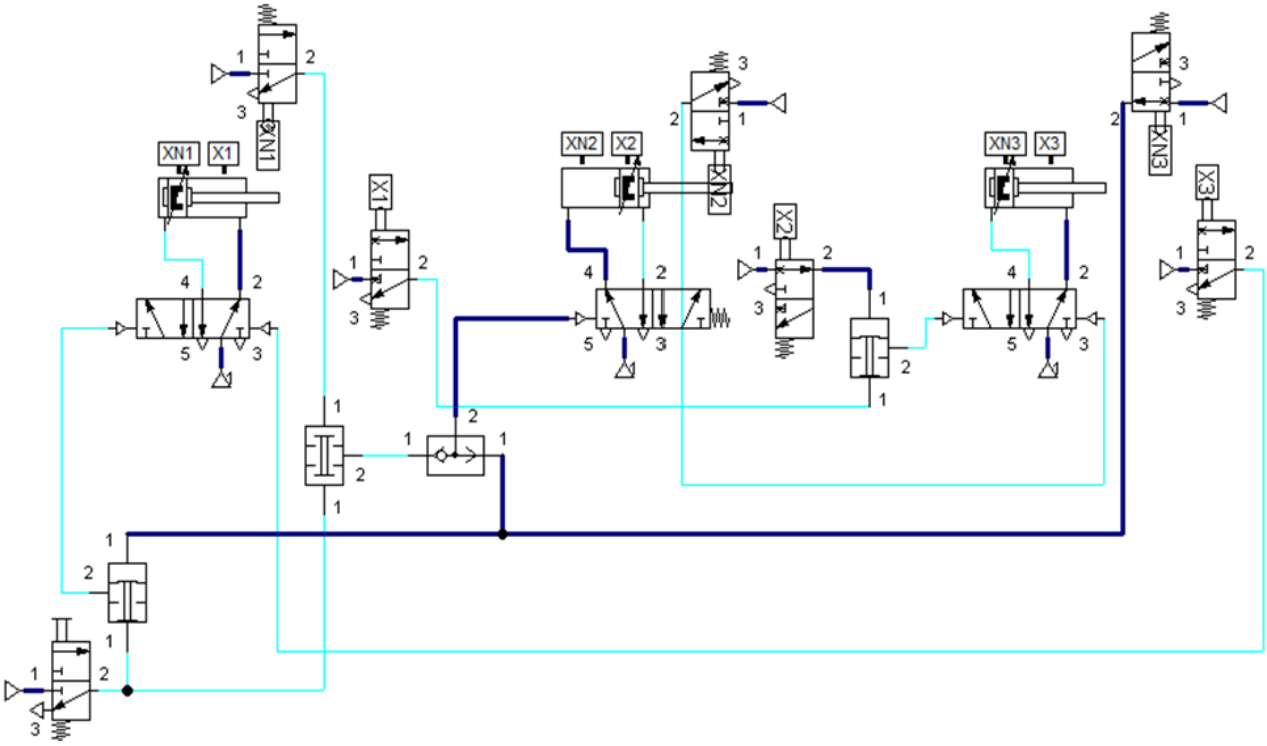


Рис. 6.1. Принципова схема циклової системи з трьома модулями, 1-й і 3-й модулі мають бістабільне керування, 2-й модуль має моностабільне керування, ВМИКАННЯ системи для відпрацювання одиничного циклу здійснюється короткочасним натисканням кнопки без фіксатора

Режим «вмикання/вимикання» при керуванні оператором не передбачає подачі додаткових сигналів команд керування на окремі модулі.

Для формування керуючого сигналу традиційно використовують:

- механічну (кнопка-тумблер),
- схемну пам'ять (елемент пам’яті),
- дві окремі кнопки для вмикання і для вимикання (без елемента пам’яті, але з ланцюгом «самоблокування»),
- кнопку без фіксатора (у випадку бістабільного керування на першому кроці технологічного циклу).

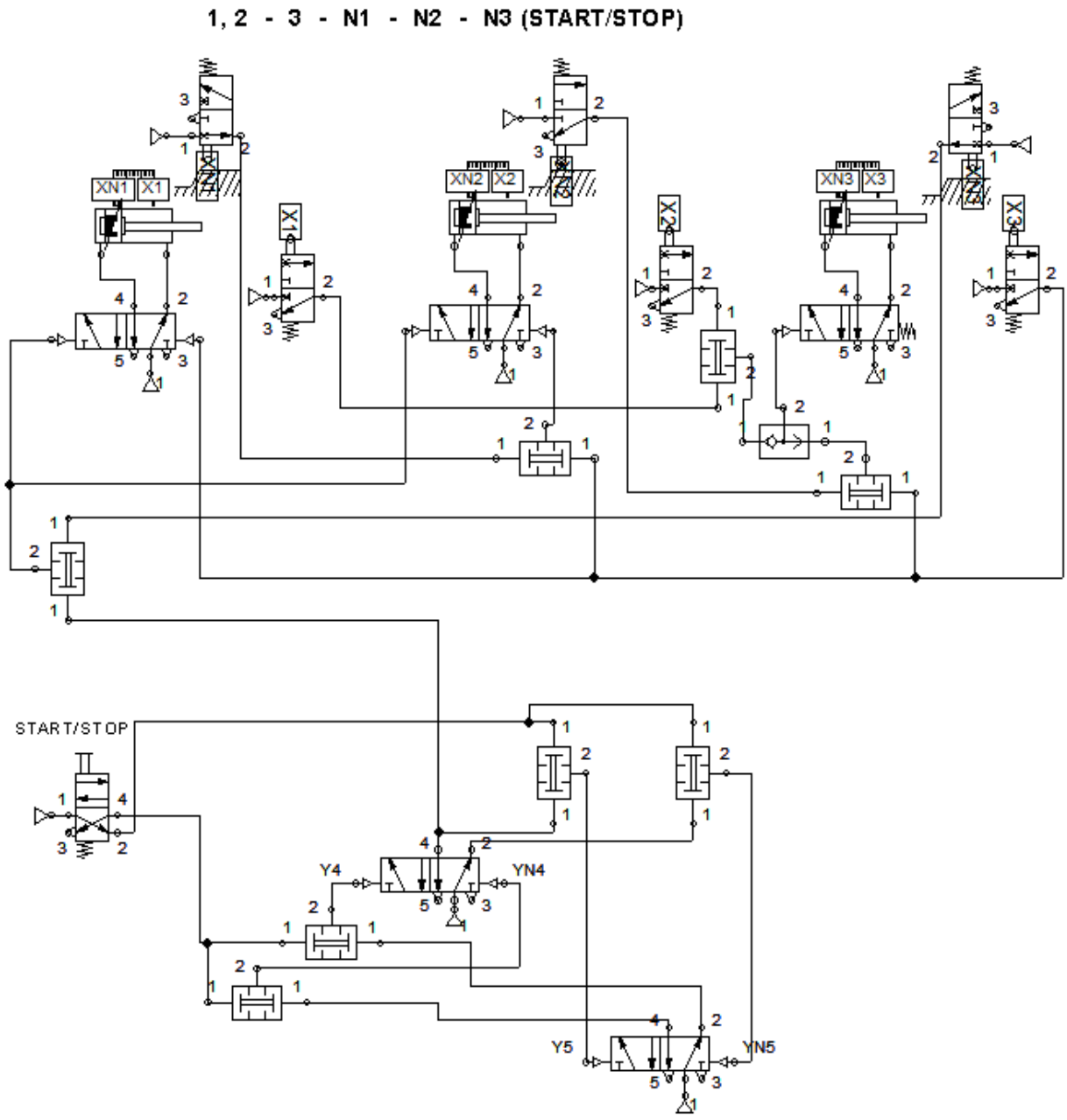


Рис. 6.2. Принципова схема циклової системи з трьома модулями, 1-й і 2-й модулі мають бістабільне керування, 3-й модуль має моностабільне керування, вмикання і вимикання системи для відпрацювання циклу здійснюється короткочасним натисканням кнопки START/STOP без фіксатора

Якщо команда першого переходу належить багаторежимному модулю, то дозвільний множник присутній тільки у виразі команди для першого режиму.

Вмикання/вимикання може здійснюватися однією кнопкою (за схемою елемента пам'яті з підрахунком). Схема за першим натисканням кнопки вмикає дозвільний сигнал (від елемента пам’яті), а за повторним натисканням кнопки дозвільний сигнал зникає (рис. 6.2). Система допрацьовує поточний цикл і припиняє свою роботу.

Недоліки:
- блок керування складніший за схему з двома кнопками;
- використання двох елементів пам’яті потребує їх встановлення в початковий стан при вмиканні системи;
- блок керування не забезпечує пріоритет вимикання над вмиканням.

Переваги:
- зручна робота оператора;
- виключена можливість одночасного вмикання і вимикання системи.

6.2.2. Режим «Вмикання/вимикання» (електрорелейна схема)

Режим є додатковим до іншого циклового або нециклового режиму, наприклад, технологічного циклу.

Для реалізації режиму, так як і в пневмоавтоматиці, використовують керуючий сигнал в першому переході процесу або першому тригері, при схемі з кроковою структурою (рис.6.1).

Для формування керуючого сигналу використовують:

- електроконтактну кнопку (кнопка-тумблер),
- схемну пам'ять (елемент пам’яті),
- дві окремі кнопки для вмикання і для вимикання (з ланцюгом «самоблокування»),
- кнопку без фіксатора (у випадку бістабільного керування на першому кроці технологічного циклу).

Схема, представлена на рис.6.3, побудована для узагальненого прикладу, аналогічного до розглянутого в пневмоавтоматиці. В схемі застосовано керування «вмиканням/вимиканням» системи за допомогою додаткового елемента пам’яті.

Пристрої 1 і 2 мають бістабільне керування, пристрій 3 має моностабільне керування 4/2. Тобто виконавчі пристрої мають бістабільне та моностабільне керування, всі пристрої мають по 2 датчики стану – початкового і кінцевого.

Додатковий елемент пам’яті побудовано на лініях 12 – 14. Ключі від допоміжних реле К7 і К9 забезпечують вмикання і вимикання системи за допомогою елемента пам'яті (лінії 12, 13, 14).

Для керування елементом пам’яті використано кнопки без фіксатора ST і STOP і додаткові реле, що встановлені в лініях 7 і 8.

Безпосередньо вмикання і вимикання системи керування забезпечено реле К13, увімкненого за схемою елемента пам’яті з пріоритетом по вимиканню (лінії 12,13 і 14). Лампочка (лінія 21) є індикатором увімкненого стану системи.

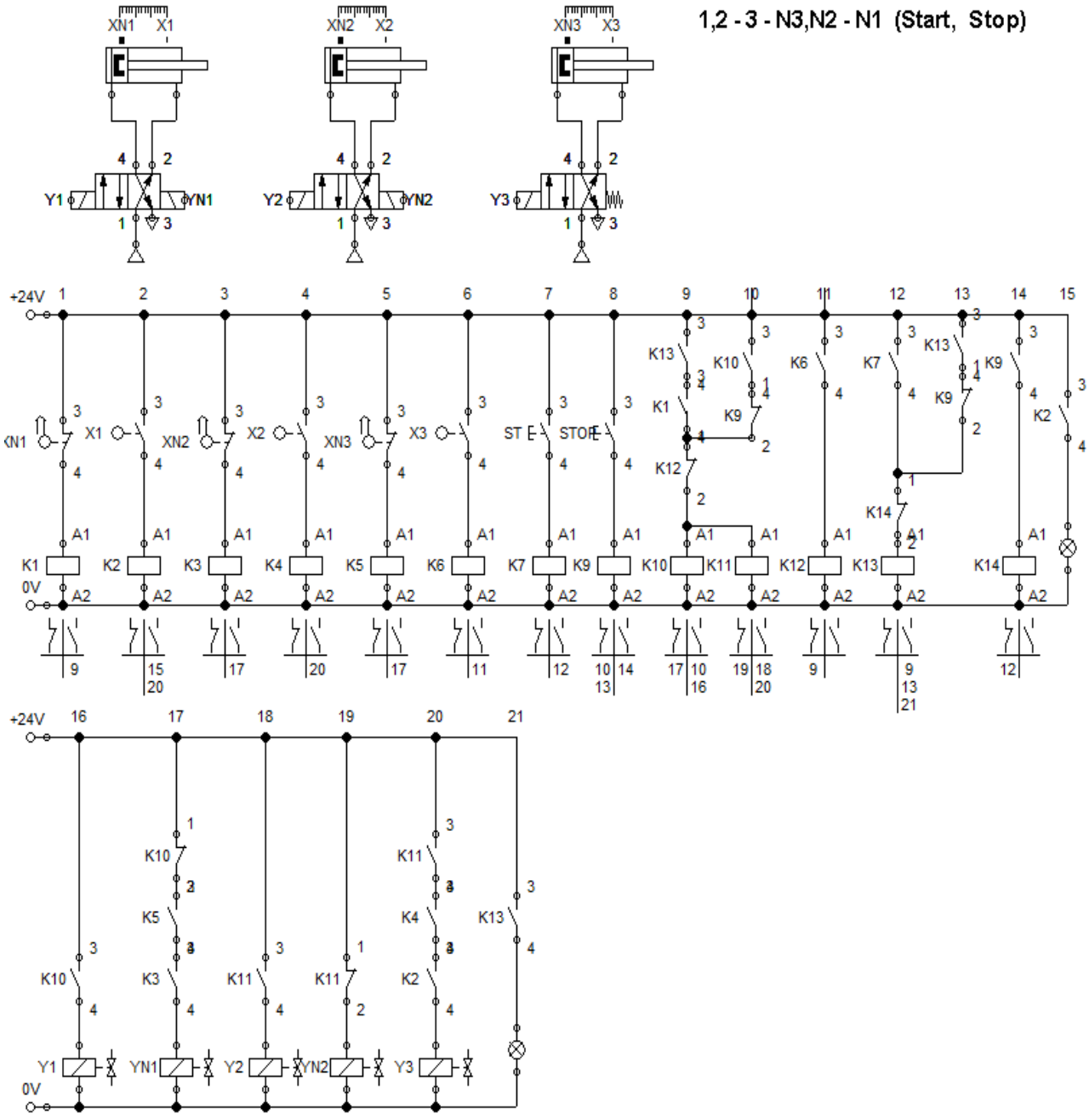


Рис. 6.3. Принципова схема циклової системи з трьома модулями, 1-й і 2-й модулі мають бістабільне керування, 3-й модуль має моностабільне керування, вмикання і вимикання системи здійснюється кнопками ST і STOP, які вмикають і вимикають додатковий елемент пам’яті (К13 і К14), лампочка в лінії 21 є індикатором увімкнутої системи

6.2.3. Режим «Одиничний/Тривалий» цикл (пневмоавтоматика)

Режим є додатковим до іншого циклового режиму, наприклад, технологічного циклу. Для реалізації потребує додаткових технічних засобів.

Перемикання системи з одного режиму на інший режим не є вмиканням системи в роботу. Встановлення режиму «ONE/CONT» передує вмиканню роботи системи (START), але зміна режиму можлива і у випадку, коли система вже працює (рис. 6.4).

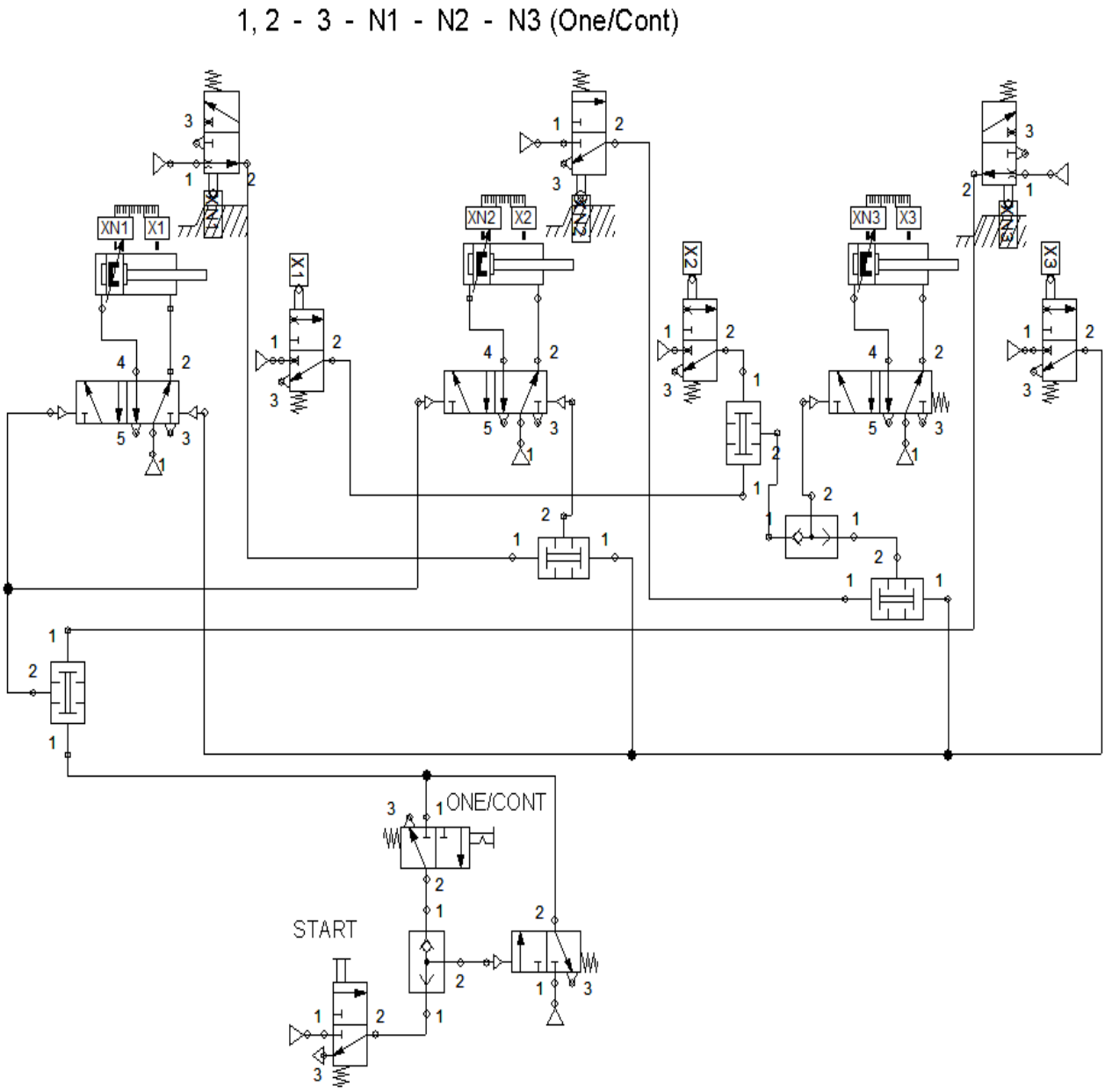


Рис. 6.4. Принципова схема циклової системи з трьома модулями, 1-й і 2-й модулі мають бістабільне керування, 3-й модуль має моностабільне керування, вмикання системи для відпрацювання технологічного циклу здійснюється короткочасним натисканням кнопки без фіксатора START, якщо кнопка ONE/CONT не натиснута, то система відпрацює одиничний цикл, інакше система працюватиме у тривалому циклі

Перемикання між тривалим і одиничним циклом може бути здійснено шляхом використання:

- кнопки «СТАРТ» з фіксатором,
- додатковим елементом пам’яті,
- схеми з керованим самопідхватом.

При використанні кнопки з фіксатором, при натиснутій кнопці, система працюватиме в режимі тривалого циклу, а при відпусканні кнопки система допрацьовуватиме поточний цикл і зупинятиметься. При короткочасному натисканні і відпусканні кнопки «СТАРТ» система відпрацює одиничний цикл.

Недоліки: - використання додаткової схеми перемикання, у порівнянні з кнопкою з фіксатором, є більш складною реалізацією.

Переваги: - додана схема дозволяє встановлювати режим до початку роботи системи.

Система керування тривалим циклом може бути модифікована з використанням таймера чи лічильника для обмеження терміну або відпрацювання певної кількості циклів у режимі тривалої роботи.

6.2.4. Режим «Одиничний/Тривалий» цикл (електрорелейна схема)

Режим є додатковим до іншого циклового режиму, наприклад, технологічного циклу чи режиму налагодження окремої операції. Перехід від одиничного до тривалого циклу забезпечує дозвільний сигнал, який використано в якості множника у виразах перших в циклі команд керування.

Для реалізації режиму, так як і в пневмоавтоматиці, використовують керуючий сигнал CONT для режиму «Тривалий цикл».

Для формування керуючого сигналу використовують:

- електроконтактну кнопку (кнопка-тумблер),
- схемну пам'ять (елемент пам’яті),
- дві окремі кнопки для вмикання і для вимикання (з ланцюгом «самоблокування»).

Схема, представлена на рис. 6.5, побудована для узагальненого прикладу, аналогічного до розглянутого в пневмоавтоматиці.

Ключі від допоміжних реле К7 і К9 забезпечують вмикання і вимикання додаткового елементу пам'яті (рядки 13, 14, 15).

Керування реле К7 і К9 здійснено кнопками без фіксатора ST і STOP (рядки 7 і 9).

Для керування тривалим циклом застосовано кнопку з фіксатором CONT (рядок 8). За відсутності цього сигналу лінія самоблокування в допоміжному елементі пам'яті розірвана (лінія 14) і елемент пам'яті фактично не працює.

При натисканні на кнопку CONT лінія самоблокування (14) спрацьовує і елемент пам'яті постійно подає сигнал (від реле К13) на продовження виконання першого кроку роботи системи.

Вмикання і вимикання системи керування забезпечує реле К13,

увімкненого за схемою елемента пам’яті з пріоритетом по вимиканню (лінії 13,14 і 15). Лампочка (лінія 22) є індикатором увімкненого стану системи.

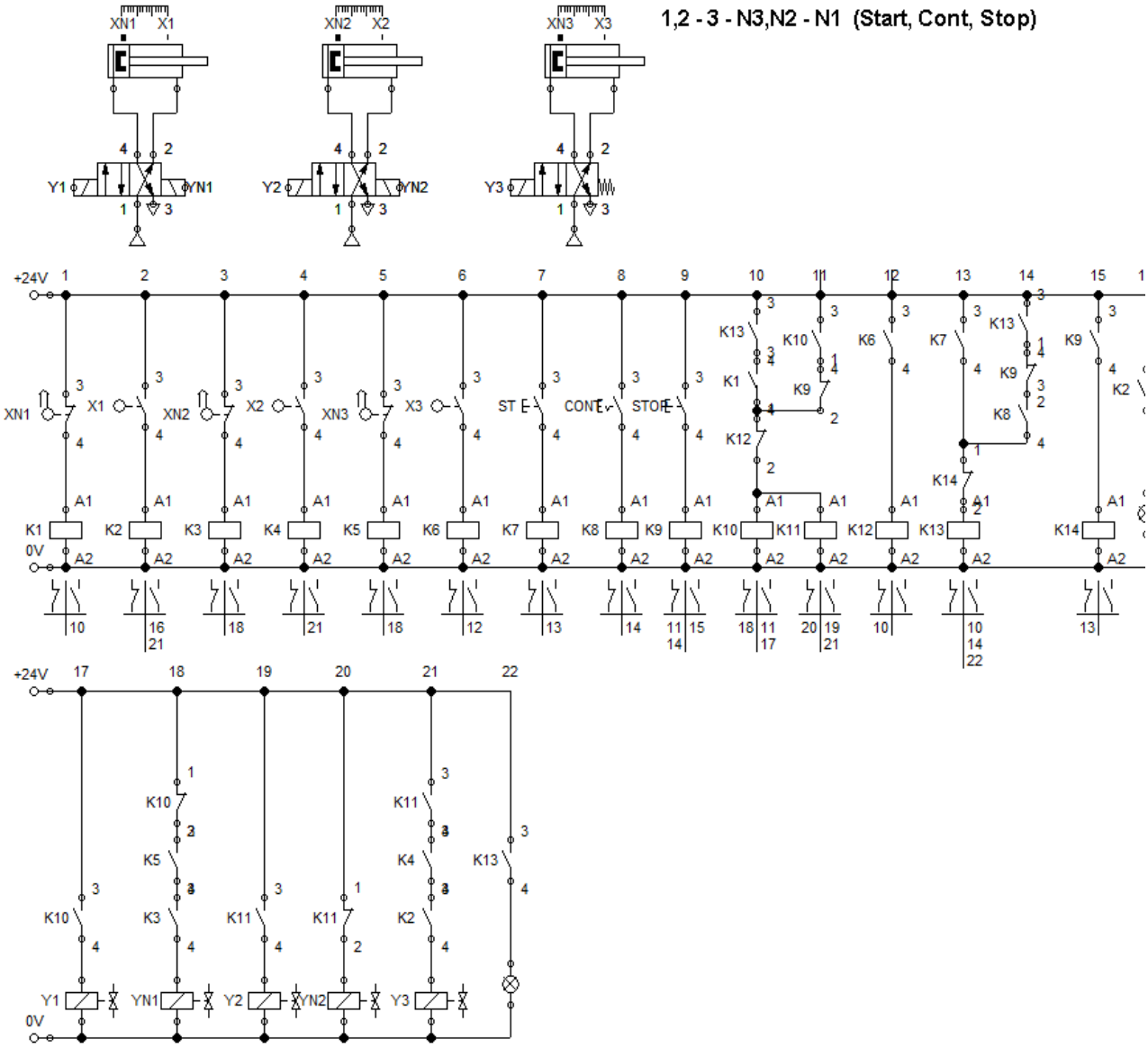


Рис. 6.5. Принципова схема циклової системи з трьома модулями, 1-й і 2-й модулі мають бістабільне керування, 3-й модуль має моностабільне керування, вмикання і вимикання системи здійснюється кнопками ST, і STOP, встановлення режиму одиничного/тривалого циклу CONT забезпечено кнопкою з фіксатором

6.2.5. Режим пауза (загальні питання)

Режим є додатковим до іншого циклового чи нециклового режиму, наприклад, технологічного циклу чи режиму ручного керування.

В цьому режимі система перериває виконання технологічного процесу чи іншого режиму роботи, і всі розпочаті дії тільки завершуються, а нові команди система керування не формує. Для суто гідравлічних систем майже не використовують апаратну реалізацію автоматичного режиму пауза.

Для пневматичних та електрорелейних систем режим пауза здійснюється завдяки бістабільному керуванню або додатковим елементом пам'яті.

Режим пауза (пневматика, електропневматика) передбачає додавання у вирази всіх команд керування дозвільного сигналу щодо відсутності паузи (інвертований сигнал або нормально відкрита кнопка/клапан) $X_{\overline{\text{pause}}}$, наприклад:

$$y_1 \Leftarrow (X_{\overline{11}} * X_{\overline{5}} + X_6 * X_{14}) * X_{\overline{\text{pause}}}. \qquad (6.2)$$

В пневматичній схемі цьому відповідає додатковий елемент множення у всіх командах (6.2). Відсутність цього сигналу не тільки не дозволяє оновити команду за поточними змінами сигналів стану, але і безумовно робить нульовим сигнал команди.

Особливість. Для моностабільних модулів додається бістабільний керуючий клапан 3/2, який подає або вимикає сигнал команди на основний моностабільний розподільник (на зразок пілотного керування).

Додатковий клапан виконує функцію елемента пам'яті. Він має основну і зворотну команди, складені для цього самого модуля за бістабільним варіантом. Моностабільний логічний вираз команд для складання схем, в такому випадку, не використовується.

При побудові електрорелейної схеми у вирази команд керування додається дозвільний множник - сигнал (6.2), який дорівнює «1» за відсутності режиму ПАУЗА (інвертований сигнал або нормально замкнений ключ).

В електросхемі цьому відповідає додатковий дозвільний ключ у всіх ланцюгах команд керування (можливо, окрім елементів пам'яті). Відсутність цього сигналу не дозволяє оновлювати команди за поточними змінами сигналів стану поточних дій системи.

Особливість. Для моностабільних модулів додається елемент пам'яті, наприклад, за схемою з пріоритетом за вимиканню. Ключі цього елементу вмикають і вимикають живлення моностабільного розподільника, що керує приводом (на зразок пілотного керування).

Додатковий елемент пам'яті має основну і зворотну команди, складені для цього самого модуля, за бістабільним варіантом. Моностабільний логічний вираз команд для складання схем, в такому випадку, не використовується.

6.2.5.1. Режим «ПАУЗА» (пневмоавтоматика)

Режим є додатковим до іншого режиму, наприклад, технологічного циклу або певної послідовності дій при встановленні системи в початковий стан.

Для реалізації режим ПАУЗА потребує додаткових апаратних засобів і використання дублюючого елемента пам'яті та схем бістабільного керування (модуль 3, рис. 6.6).

Варіант 1. За допомогою схеми з перемиканням регістрів (схема з покроковим перемиканням елементів пам'яті з прив'язкою дій до кроків).
Недоліки:
- кількість додаткових елементів пам'яті дорівнює кількості тактів,

- кількість додаткових елементів множення дорівнює кількості тактів,
- система з жорсткою архітектурою (складна для модернізації).

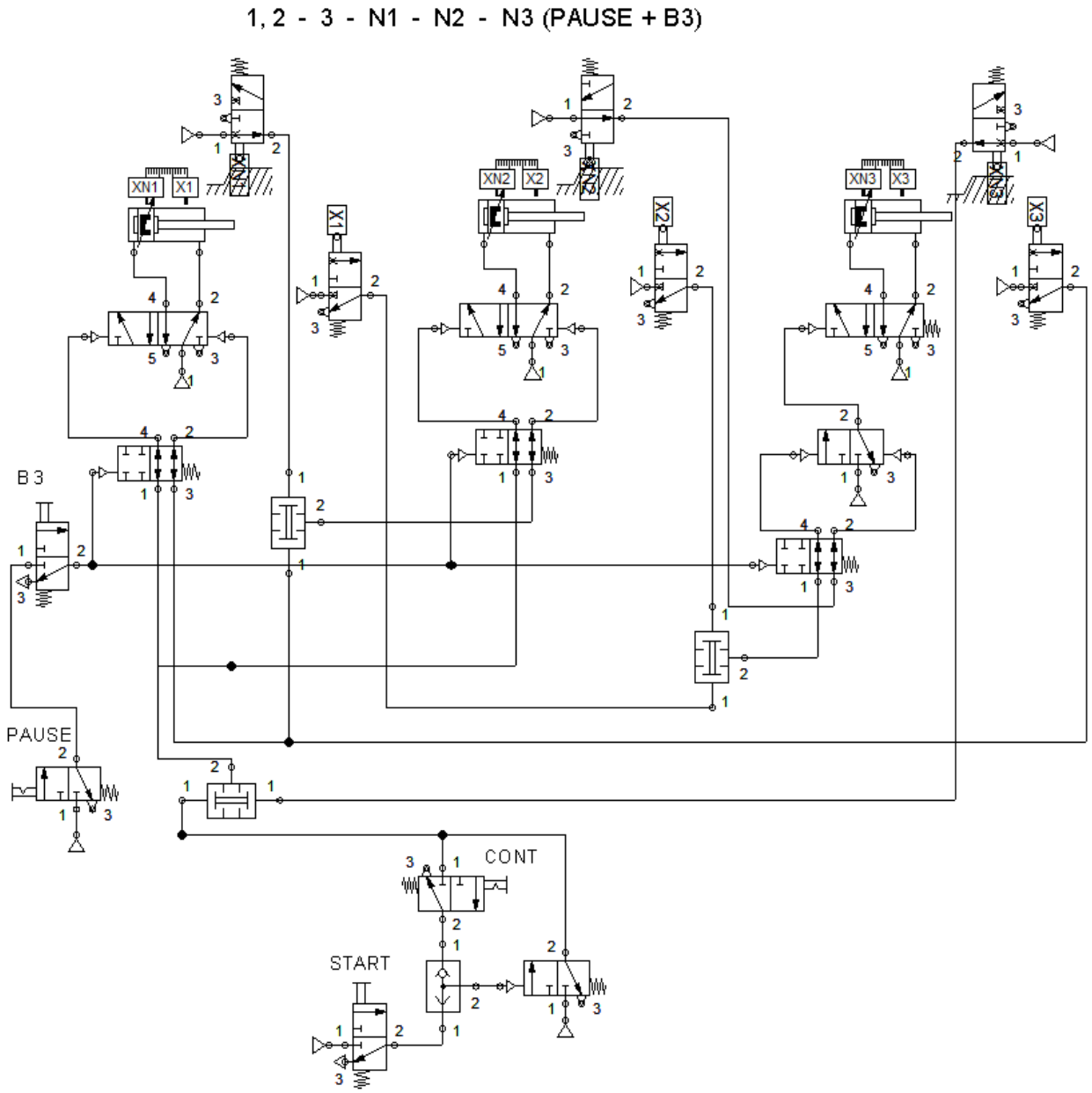


Рис. 6.6. Принципова схема циклової системи з трьома модулями, 1-й і 2-й модулі мають бістабільне керування, 3-й модуль має моностабільне керування, перехід в режим «Пауза» здійснюється тумблером PAUSE, призупинка роботи системи, при увімкненому тумблері, забезпечена натисканням кнопки B3, натискання кнопки B3 поза режимом ПАУЗА не призводить до зупинки роботи системи

Переваги :
- не потребує логічного синтезу;
- має однорідну структуру.

Варіант 2. Шляхом призупинки оновлення команд керування: $y_1 \Leftarrow (\{Y_1\}) * \overline{X}_{\text{pause}}$ (схема з тумблером РЕЖИМУ і кнопкою ПАУЗИ або «відсічні клапани» в пневмоавтоматиці).

Недоліки:
- неоднорідність структури;
- додаткові елементи пам’яті для моностабільного керування.

Переваги:
- відкрита архітектура;
- збереження модульної структури системи.

6.2.5.2. Режим «ПАУЗА» (елекрорелейна схема)

Режим є додатковим до іншого режиму, наприклад, технологічного циклу або покрокового повернення системи в початковий стан. Для реалізації потребує додаткових технічних засобів в системі керування без змін у виконавчій частині (рис. 6.7).

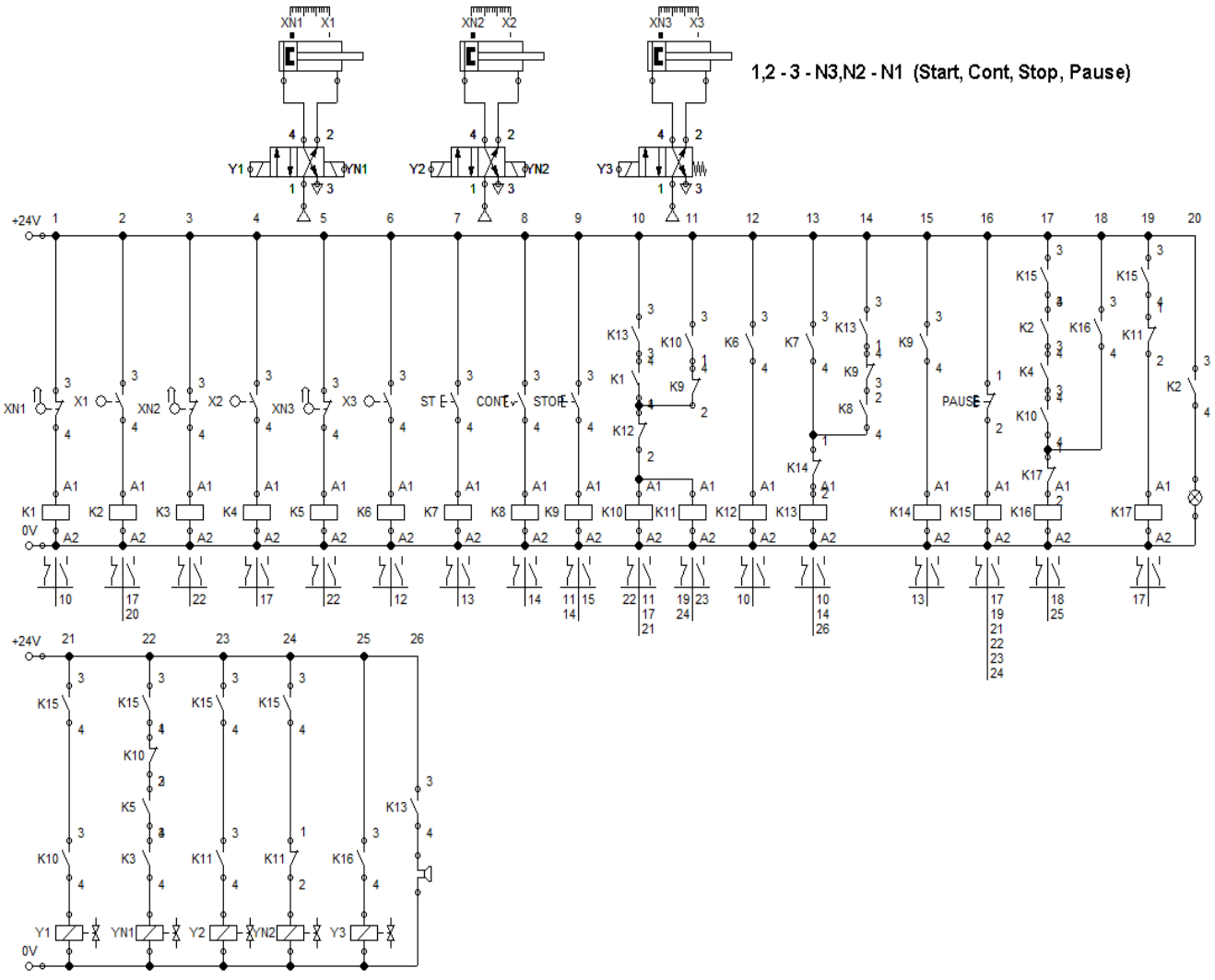


Рис. 6.7. Принципова схема циклової системи з трьома модулями, 1-й і 2-й модулі мають бістабільне керування, 3-й модуль має моностабільне керування, вмикання і вимикання системи здійснюється кнопками ST, і STOP, встановлення режиму PAUSE забезпечено кнопкою без фіксатора, для керування моностабільним клапаном застосовано додатковий елемент пам’яті (К16 і К17)

Найпростіші варіанти реалізації режиму «ПАУЗА»:

- схема з перемиканням регістрів,
- схема призупинки оновлення команд керування.

Недоліки і переваги варіантів реалізації, в основному, такі ж самі, як і для засобів пневмоавтоматики.

Варіант 1. З перемиканням регістрів (або схема з покроковим перемиканням елементів пам'яті).

Недоліки:

- кількість додаткових елементів пам'яті дорівнює кількості тактів, що не так суттєво, як для пневмоавтоматики;
- кількість додаткових логічних множень дорівнює кількості тактів;
- система з жорсткою архітектурою (складна для модернізації).

Переваги :

- не потребує логічного синтезу;
- має однорідну структуру.

Варіант 2. Шляхом призупинки оновлення команд керування за допомогою дозвільного ключа від допоміжного реле: $y_1 \Leftarrow (\{Y_1\}) * \overline{X}_{pause}$ (схема з перемикачем РЕЖИМУ і електроконтактною кнопкою ПАУЗИ).

У вирази команд керування додано дозвільний сигнал. В електросхемі цьому відповідає додатковий дозвільний ключ у всіх ланцюгах команд керування. Відсутність цього сигналу не дозволяє оновлювати команди за поточними змінами сигналів стану поточний дій системи.

Для моностабільного модуля 3 додано елемент пам'яті (лінії 16, 17 і 18), який і подає і вимикає живлення на моностабільний розподільник (лінія 25).

Недоліки:

- неоднорідність структури;
- додаткові елементи пам'яті для моностабільного керування.

Переваги:

- відкрита архітектура;
- збереження модульної структури системи.

6.2.6. Режим «ТАКТ» (пневмоавтоматика)

Режим є додатковим до іншого циклового режиму, наприклад, технологічного циклу чи режиму налагодження певної послідовності дій.

При налагодженні системи та пошуку несправностей дозволяє відпрацьовувати поточний режим по тактах.

Для реалізації потребує застосування додаткових технічних засобів керування роботою виконавчих пристроїв. Для гідроавтоматики і пневмоавтоматики може суттєво впливати на вартість системи керування.

Варіант 1. Може бути реалізовано за допомогою схеми з перемиканням

регістрів (аналогічно до режиму «ПАУЗА»).

Недоліки:

- кількість додаткових елементів пам’яті дорівнює кількості тактів,
- кількість додаткових елементів множення дорівнює кількості тактів,
- система з жорсткою архітектурою (складна для модернізації).

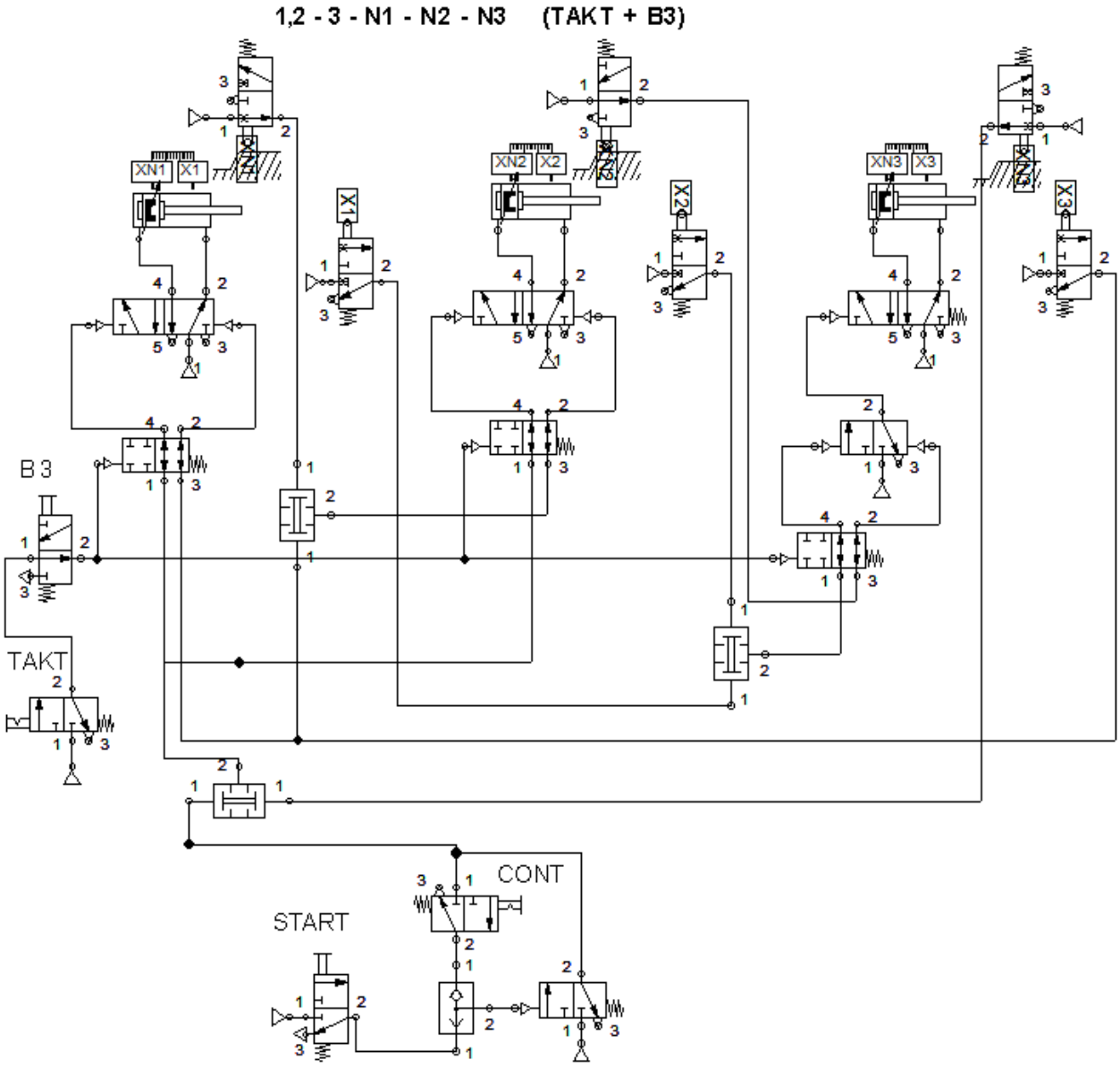


Рис. 6.8. Принципова схема циклової системи з трьома модулями, вмикання системи для відпрацювання одиничного/тривалого циклу здійснюється короткочасним натисканням кнопки START без фіксатора і відповідним положенням тумблера CONT, відпрацювання одного кроку забезпечує короткочасне натискання кнопки В3 при натиснутому тумблері ТАКТ

Переваги :

- не потребує логічного синтезу;
- має однорідну структуру.

Варіант 2. Може бути реалізовано шляхом керованого дозволу від

оператора на оновлення сигналів команд при збереженні вже поданих сигналів команд (6.3):

$$y_1 \Leftarrow (\{Y_1\}) * X_{takt}. \qquad (6.3)$$

Недоліки:

- неоднорідність структури;
- додаткові клапани для переривання оновлень і моностабільного керування.

Переваги:

- відкрита архітектура;
- збереження модульної структури системи.

6.2.7. Режим «ТАКТ» (електрорелейна схема)

Режим є додатковим до іншого режиму, що має автоматично виконувати певну послідовність дій, наприклад, встановлення в початковий стан чи технологічний цикл.

При налагодженні системи та пошуку несправностей можливо відпрацьовувати поточний режим по тактах. Для реалізації необхідно додаткові технічні засоби для переривання і для оновлення сигналів команд за поточним станом системи або елементів пам'яті для запам'ятовування перерваних сигналів (рис. 6.9).

Потребує застосування додаткових технічних засобів в системі керування.

Варіант 1. Може бути реалізовано за допомогою схеми з перемиканням регістрів (аналогічно до «ПАУЗА»).

Недоліки:

- кількість додаткових елементів пам'яті дорівнює кількості тактів,
- кількість додаткових функцій множення дорівнює кількості тактів,
- система з жорсткою архітектурою (складна для модернізації).

Переваги :

- не потребує логічного синтезу;
- має однорідну структуру.

Варіант 2. Може бути реалізовано шляхом керованого дозволу від оператора на оновлення команд: $y_1 \Leftarrow (\{Y_1\}) * X_{takt}$.

Недоліки:

- неоднорідність структури;
- додаткові клапани для переривання оновлень і у випадку моностабільного керування.

Переваги:

- відкрита архітектура;
- збереження модульної структури системи.

Призупинка роботи системи після відпрацювання поточного такту здійснюється шляхом невідновлення сигналів команд після отримання змінених

значень сигналів стану модулів системи. Для керування режимом задіяні дві кнопки на пульті керування: TAKT і STEP.

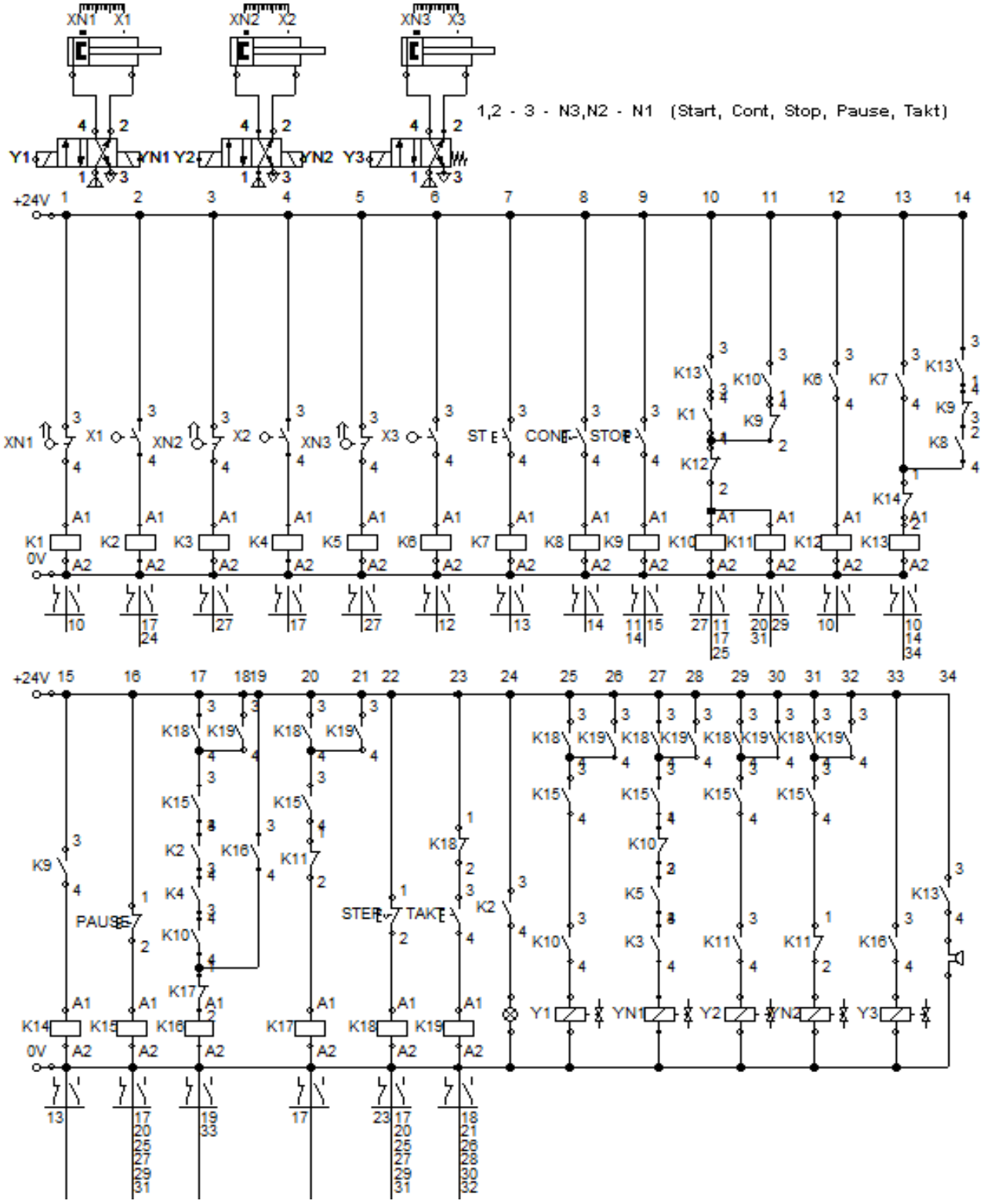


Рис. 6.9. Принципова схема циклової системи з трьома модулями, 1-й і 2-й модулі мають бістабільне керування, 3-й модуль має моностабільне керування, вмикання і вимикання системи здійснюється кнопками ST і STOP, зумер в лінії 34 є індикатором увімкнутої системи, система має режими тривалого циклу і пауза, кнопки STEP і TAKT переводять систему в режим покрокового відпрацювання циклу і відпрацювання поточного такту

Для керування модулем №3, що має моностабільний клапан, додано елемент пам’яті з бістабільним керуванням, який забезпечує зберігання попереднього значення сигналу команди.

Сигнал STEP (кнопка з фіксатором), за допомогою додаткового реле К18, перериває ланцюги автоматичного керування модулями системи, у тому числі доданим до модуля 3 елементом пам’яті. Таким чином відбувається вмикання роботи системи в режим покрокового відпрацювання циклу.

Сигнал ТАКТ, при короткочасному натисканні, надає додаткове живлення до ланцюгів автоматичного керування. Таким чином відбувається оновлення значень сигналів команд керування для всіх модулів. Ці сигнали запам’ятовують модулі з бістабільним керуванням за допомогою клапанів. Для модуля з моностабільним керуванням, доданий елемент пам’яті запам’ятовує поточне значення сигналу керування (модуль №3) і зберігає його після зникнення додаткового живлення від короткочасного натискання кнопки ТАКТ.

При вимкненні кнопки з фіксатором STEP, за допомогою додаткового реле К18, подається живлення на ланцюги автоматичного керування модулями системи, у тому числі елемента пам’яті, що додано до моностабільного керування модулем №3. Система відновлює роботу в попередньому режимі.

6.3. НЕЦИКЛОВІ РЕЖИМИ РОБОТИ СИСТЕМИ

Нециклові режими, такі, як встановлення в певний стан, аварійна зупинка, повернення в початковий стан чи ручне керування, в більшості випадків припадають на експлуатацію системи поза технологічним чи виробничим циклом.

На практиці, якщо система доволі не складна, то автоматизувати її керування в «не виробничих» ситуаціях є недоцільним. Багато пристроїв керування, як то розподільники в гідроавтоматиці і пневмоавтоматиці, мають додаткове ручне керування, навіть, якщо основне керування здійснено за допомогою електромагнітів.

Якщо система має в своєму складі виконавчі пристрої великої потужності, наприклад – гідропривід ливарного виробництва потужністю в сотні кВт, то більшість дій системи перекласти на автоматизоване керування через вимоги до надійності та виключення людського фактору. Таке керування може відбуватись в діалоговому режимі з оператором чи фрагментарно автоматизоване на деякі виробничі ситуації.

Фактор складності і чисельності керованих пристроїв в системі також спонукає до більшого відсотку автоматизованих дій системи, навіть на етапах складання системи, налагодження окремих пристроїв, відпрацювання пусконалагоджувальних робіт.

Деякі нециклові режими, такі, як аварійна зупинка роботи системи та повернення в початковий стан, пов’язані з безпекою експлуатації. Для їх реалізації можуть бути залучені додаткові пристрої, наприклад, розвантаження чи зниження рівня тиску, і задля цього створені відповідні сегменти в системі

керування. Такі сегменти, в наслідок підвищених вимог до надійності, можуть мати дублююче та фізично різнорідне керування, як то в авіаційному гідроприводі, і можуть утворювати окремі підсистеми з окремими джерелами живлення та дублюючими ланцюгами контролю і керування.

6.3.1. Режим ручного керування, загальні питання

Режим «Ручне керування» є нецикловим режимом і потребує додаткових пристроїв і схемних рішень, які не належать до системи автоматичного керування. В режимі «РУЧНЕ КЕРУВАННЯ» система нехтує логічними зв'язками технологічного процесу чи циклу, і всі дії відбуваються тільки за сигналами керування, що надходять з пульту керування.

Найчастіше не всі модулі системи мають режим ручного керування. Перехід в режим ручного керування може здійснюватися за сигналом тумблера на пульті керування $X_{avt/man}$. Якщо значення сигналу дорівнює "1", то система знаходиться в автоматичному режимі, інакше автоматичне керування відімкнуте, і працює тільки керування від оператора або додаткових пристроїв з ручним керуванням.

Цей режим може бути утворено і шляхом побудови двокомпонентних виразів команд керування, і шляхом створення окремої підсистеми для ручного керування.

Двокомпонентна команда з режимом ручного керування має наступну структуру:

$$y_i \Leftarrow \{Y_{i/cikl}\} * X_{avt/man} + Y_{i/man} * \overline{X}_{avt/man}, \qquad (6.4)$$

де $\{Y_{i/cikl}\}$ - логічний вираз команди автоматизованого керування і-го модуля, $Y_{i/man}$ - сигнал ручного керування оператора для і-го модуля, $X_{avt/man}$ - сигнал перемикання режиму автоматичного і ручного керування.

За умов одиничного значення сигналу від тумблера $X_{avt/man}$ працює ліва складова виразу (6.4), інакше працює права складова з використанням індивідуального сигналу керування для кожного модуля.

Наприклад, команда 1-го модуля з бістабільним керуванням у формі (6.4) матиме вигляд:

$$y_1 \Leftarrow (X_{\overline{11}} * X_{\overline{5}} + X_6 * X_{14}) * X_{avt/man} + Y_{1/man} * \overline{X}_{avt/man} . \qquad (6.5)$$

Найпростіший випадок, коли кожному керованому в ручному режимі модулю відповідає один зовнішній сигнал з пульту керування (в прикладі Y1MAN спрямовано на перший модуль).

Ручне керування для **моностабільного варіанту** з одним сигналом керування: за зовнішнім сигналом BY1MAN вмикаємо основну команду відповідного модуля, а за відсутністю цього сигналу вимикаємо основну команду модуля.

Ручне керування для **бістабільного варіанту** з одним сигналом керування:

за зовнішнім сигналом BY1MAN вмикаємо основну команду і вимикаємо зворотну відповідного модуля, а за відсутністю цього сигналу вимикаємо основну команду і вмикаємо зворотну команду модуля.

Ручне керування для **моностабільного варіанту 4/3** з двома керуючими сигналами (розподільник 4/3) здійснюється так само, як і для бістабільного варіанту. Але, якщо рух має відбуватися тільки в обмеженому діапазоні, наприклад від позиції датчика XN1M до позиції датчика X1M, то умови керування включатимуть обмежуючий сигнал: або X1M для основної дії, або XN1M для зворотної дії, тобто режим роботи є напів-автоматичним:

$$y_1 \Leftarrow (X_{\overline{11}} * X_{\overline{5}} + X_6 * X_{14}) * X_{avt/man} + Y1_{man} * \overline{X}_{1C} * \overline{X}_{avt/man}, \qquad (6.6)$$

Зупинку рухомої ланки біля певного датчику позиції або відміну сигналу керування по досягненні потрібної позиції забезпечує інверсія від сигналу датчика положення, який застосовано в другій складовій команди під час відпрацювання режиму ручного керування. Таку саму структуру має і зворотна команда модуля.

6.3.2. Режим «Ручне керування» (пневмоавтоматика)

Режим є альтернативним до інших режимів, наприклад, технологічного циклу. При налагодженні системи та пошуку несправностей дозволяє відпрацьовувати дії окремих пристроїв та модулів системи (рис. 6.10).

Для реалізації потребує додаткових технічних засобів для переривання сигналів автоматичного керування і під'єднання ліній, що надають сигнали керування від оператора.

Може бути реалізовано шляхом перемикання 4/2 тумблера «Avt/Man» та індивідуального керованого сигналу від оператора на керування окремим модулем (6.6). Тумблер «Avt/Man» вимикає лінії керування від автоматичної системи і під'єднує лінії від індивідуальних кнопок керування окремими модулями.

Недоліки:

- додаткові клапани для переривання автоматичного керування;
- додаткові клапани для ручного керування;
- після переходу в режим ручного керування може виникати самоспрацювання пристроїв з моностабільним керуванням.

Переваги:

- відкрита архітектура;
- збереження модульної структури системи;
- просте узгодження з іншими режимами роботи системи.

Особливості реалізації індивідуального керування виконавчими пристроями.

Для керування бістабільним клапаном може бути використано кнопку з прямим і інверсним виходами.

Для керування моностабільним двопозиційним клапаном достатньо однієї кнопки 3/2.

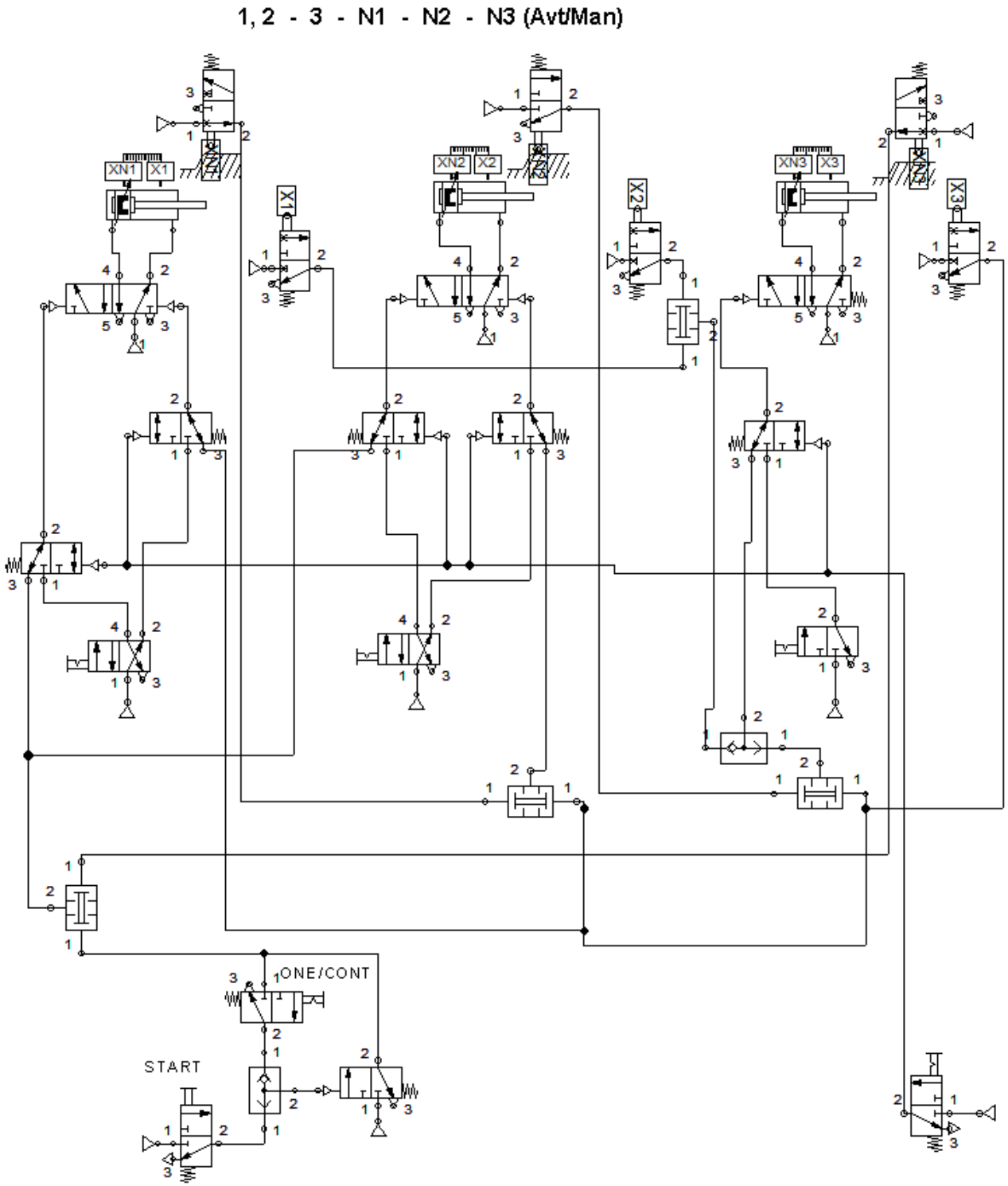


Рис. 6.10. Принципова схема циклової системи з трьома модулями, 1-й і 2-й модулі мають бістабільне керування, 3-й модуль має моностабільне керування, вмикання системи і встановлення режиму одиничного/тривалого циклу здійснюється окремим блоком керування, перехід в режим РУЧНЕ КЕРУВАННЯ забезпечено кнопкою з фіксатором, ручне керування окремими модулями забезпечено індивідуальними кнопками з фіксаторами

Для керування моностабільним трипозиційним клапаном 4/3 чи 5/3 бажано мати 2 кнопки 3/2 для можливості перевірки роботи пристрою при встановленні клапана в кожну з трьох позицій.

6.3.3. Режим «Ручне керування» (електрорелейна схема)

Режим є альтернативним до іншого режиму, наприклад, технологічного циклу, чи може бути застосованим після аварійної зупинки (рис. 6.11).

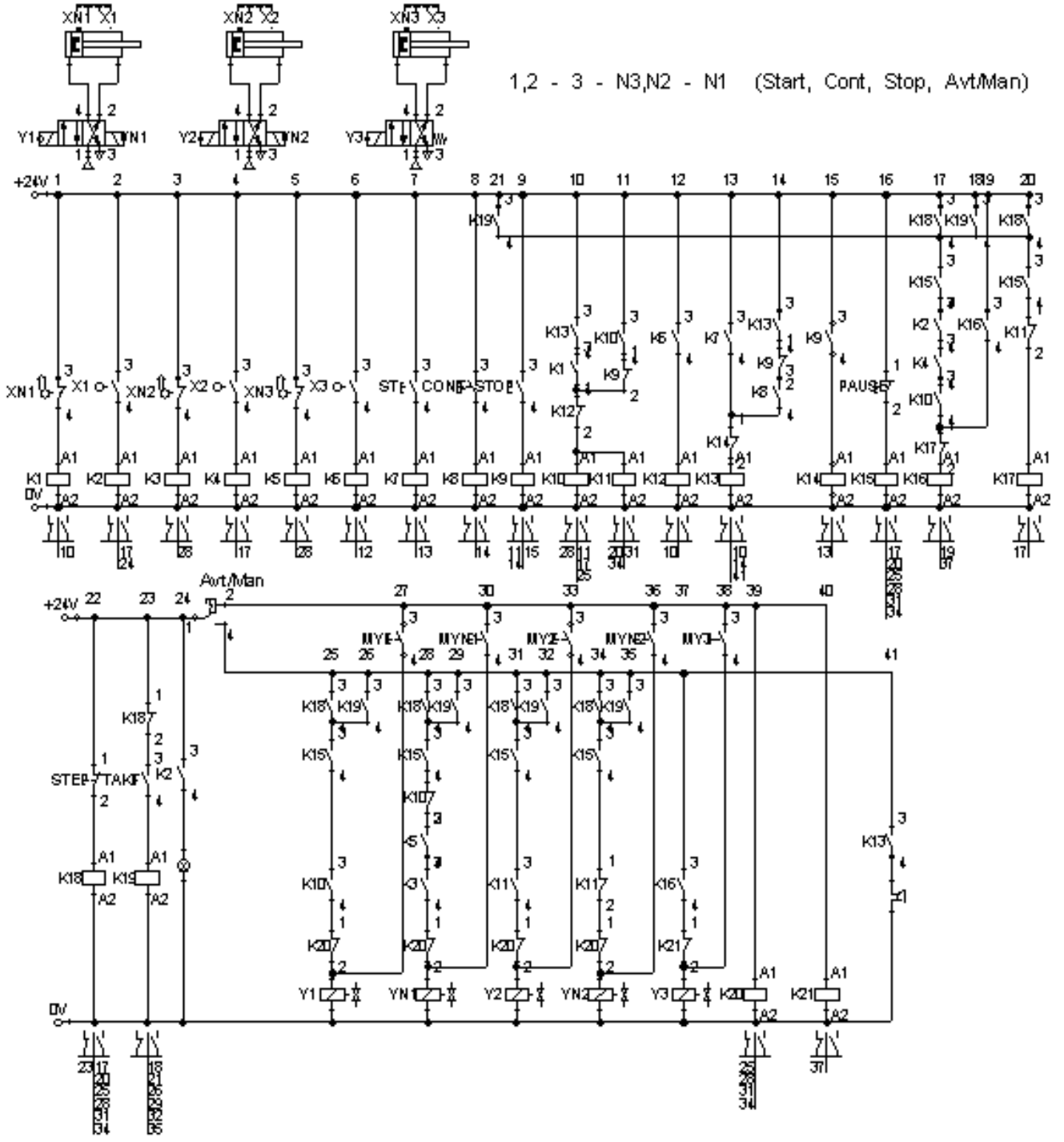


Рис. 6.11. Принципова схема циклової системи з трьома модулями, вмикання і вимикання системи здійснюється кнопками ST і STOP; перехід в режим ручного керування (верхня гілка живлення) забезпечує перемикач Avt/Man після лінії 24; додаткові реле К20 і К21 унеможливлюють подання живлення від ручного керування на лінію автоматичного керування, ручне керування забезпечують електроконтактні кнопки MY1, MYN1, MY2, MYN2, MY3

Після виходу з нештатних ситуацій, при налагодженні системи та пошуку несправностей, цей режим дозволяє відпрацьовувати та налагоджувати дії окремих пристроїв та модулів, відокремлених в цьому режимі від системи. Реалізація переходу від поточного режиму до режиму ручного керування може здійснюватися шляхом зміни лінії живлення автоматичного керування на лінію живлення ручного керування за допомогою перемикача з фіксатором Avt/Man (рис. 6.11).

Перемикання з технологічного режиму (нижня гілка живлення) в режим ручного керування (верхня гілка живлення) забезпечує перемикач Avt/Man, що встановлено після лінії 24. Додаткові реле К20 і К21 унеможливлюють подання живлення від ручного керування будь якого виконавчого пристрою на лінію автоматичного керування. Ручне керування забезпечують електроконтактні кнопки MY1, MYN1, MY2, MYN2, MY3 індивідуального керування виконавчими пристроями. Для початку роботи системи за технологічним циклом перемикач Avt/Man має бути перемкнутим на живлення нижньої лінії.

Особливість режиму ручного керування полягає в умовах повернення роботи системи до автоматичного керування. Автоматичне керування передбачає певний початковий стан системи, що відображено в логічних умовах команд керування для початкових дій циклу. Встановлення системи в початковий стан має бути автоматизовано, або покладено на відповідальність оператора.

6.3.4. Режим «Початковий Стан» (пневмоавтоматика)

Режим є попереднім для циклових і не циклових режимів.

Призначений для встановлення обладнання в безпечний стан до початку роботи системи. Для реалізації, як правило, потребує додаткових технічних засобів, особливо для пристроїв з моностабільним керуванням (рис.6.12).

Зауваження:

- у випадку моностабільного керування в командах першого переходу може виникати самоспрацювання або переривання дії;
- для бістабільних пристроїв і елементів пам’яті характерно те, що вони зберігають останній, невідомо який, стан.

Для встановлення в початковий стан при бістабільному керуванні необхідно передбачити додаткові суматори з подачею зворотних команд і від кнопки з пульту і команд автоматичного керування.

Для реалізації режиму при перших діях з моностабільним керуванням:

- бажано додавання елементу пам’яті і «0» такту в роботі системи (пам'ять з бістабільним керуванням),
- використання моностабільного сигналу для зворотної команди, відміна якої призведе до подачі основної на початку циклу, потребує додаткового елемента пам’яті або схеми з самоблокуванням.

Можливо додавання кнопки з фіксатором для утримання в початковому стані моностабільного модуля.

В залежності від типу керування і початкового стану модулів може відбуватись «несанкціоноване» спрацювання на початку циклу. Таке

спрацювання є наслідком моностабільного керування, коли зворотна пружина «подає» певну команду до вмикання системи. Для уникання несанкціонованого спрацювання бажано не ставити моностабільне керування на початку циклу. Можна відносити до пружини зворотну команду і відповідно до необхідного початкового положення пристрою коригувати з'єднання каналів з виконавчим пристроєм.

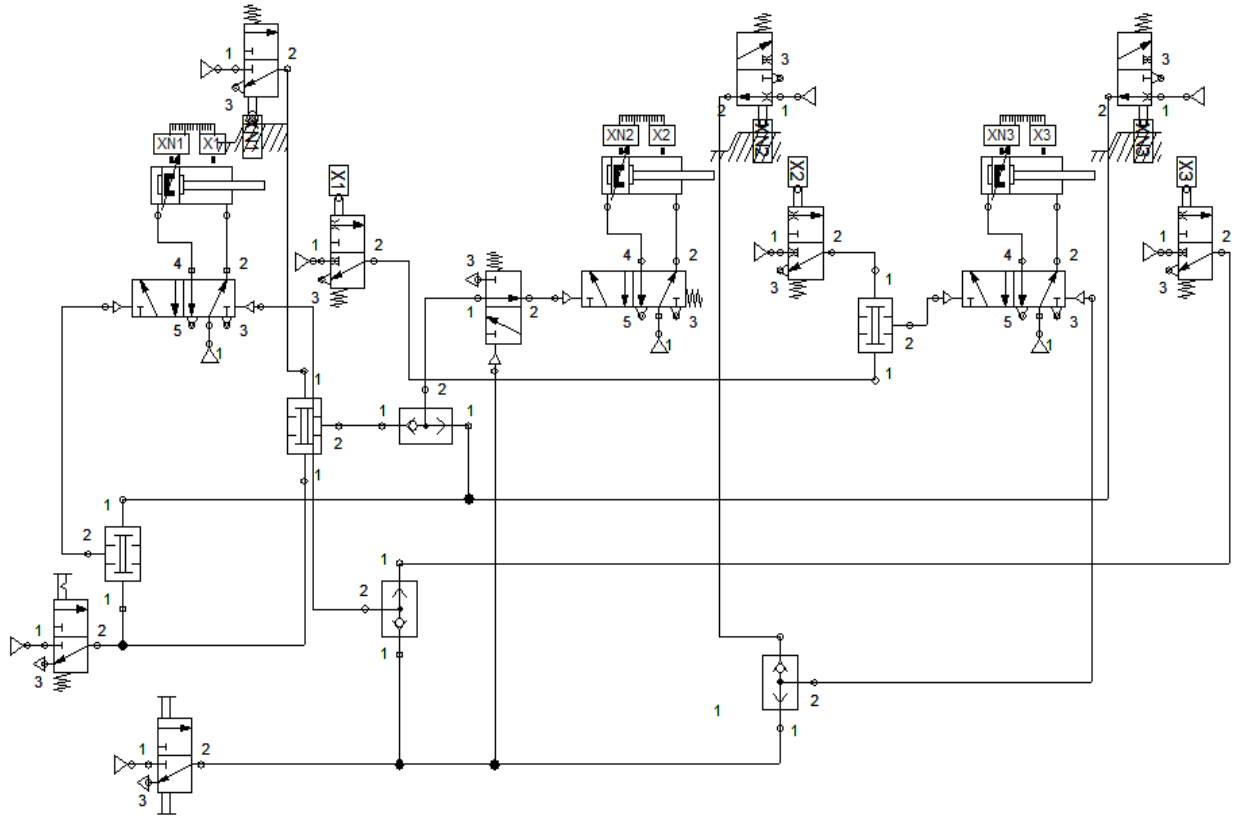


Рис. 6.12. Принципова схема циклової системи з трьома модулями, 1-й і 3-й модулі мають бістабільне керування, 2-й модуль має моностабільне керування, вмикання системи для відпрацювання одиничного циклу здійснюється короткочасним натисканням кнопки без фіксатора, попереднє встановлення системи в початковий стан забезпечено бістабільним тумблером з ручним керуванням

6.3.5. Режим «Початковий Стан» (електрорелейна схема)

Режим є попереднім для циклових і не циклових режимів (рис. 6.13). Призначений для встановлення обладнання в безпечний стан до початку роботи системи чи після непередбаченої зупинки. Може потребувати додаткових елементів пам'яті для пристроїв з моностабільним керуванням.

Встановлення виконавчих пристроїв в початковий стан потребує під'єднання до них відповідного типу живлення (пневматичного, гідравлічного, електричного). Це спричинено наявністю багатьох керуючих пристроїв з підсиленням, яким, для спрацювання, потрібен не тільки сигнал команди керування, а і достатній рівень силового живлення (тиск, напруга). Для реалізації, як правило, потребує додаткових технічних засобів.

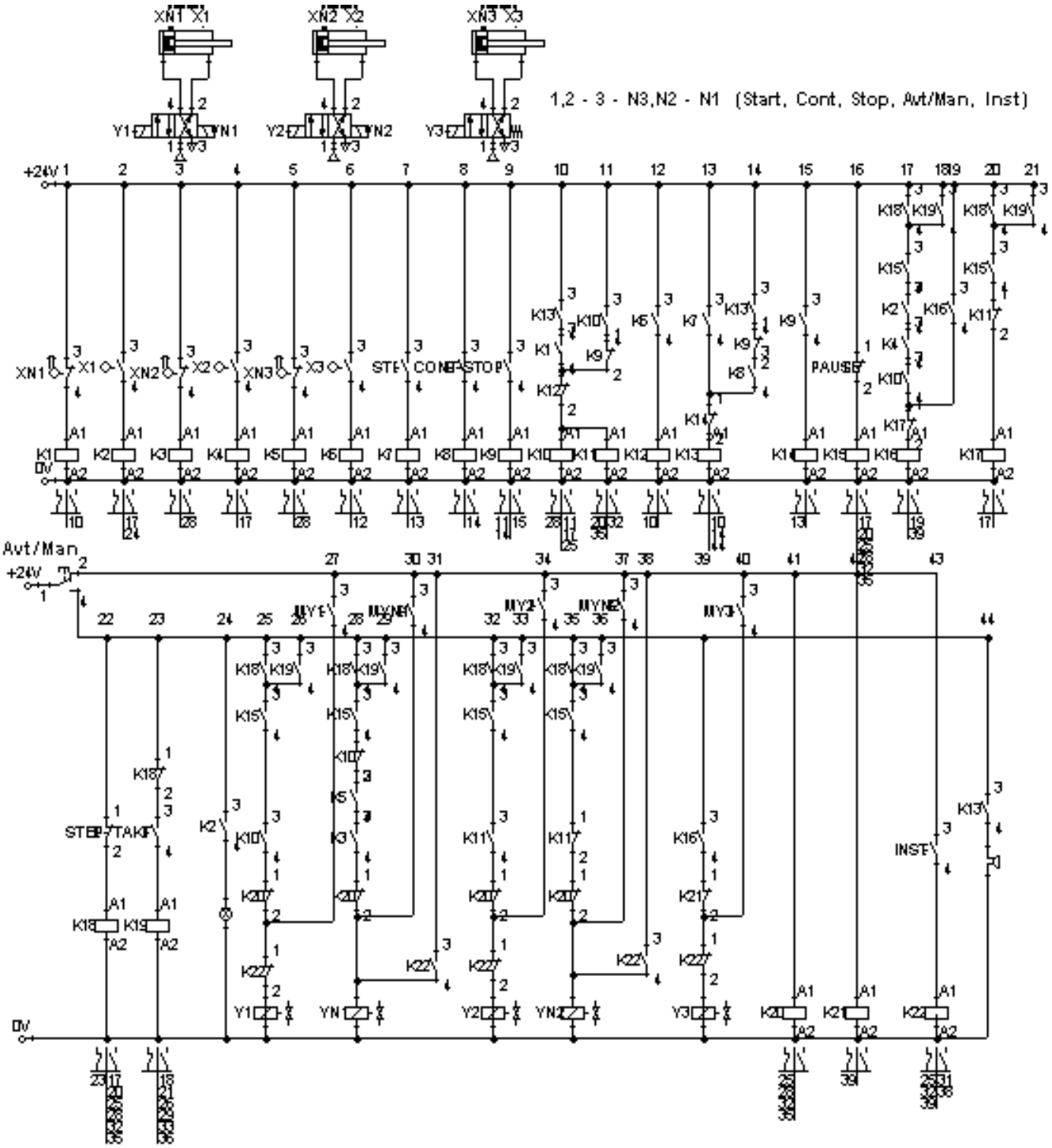


Рис. 6.13. Принципова схема циклової системи з трьома модулями, вмикання і вимикання системи здійснюється кнопками ST і STOP, зумер в лінії 44 є індикатором увімкнутої системи, система має режими тривалого циклу і пауза, кнопки STEP і TAKT переводять систему в режим покрокового відпрацювання, електроконтактна кнопка з фіксатором INST забезпечує встановлення системи в початковий стан

ЗАУВАЖЕННЯ. У випадку моностабільного керування в командах першого переходу виникає самоспрацювання або переривання дії в залежності від сигналу команди і живлення силової частини системи;- для бістабільних пристроїв і елементів пам'яті характерно збереження останнього, невідомо якого, стану.

Для встановлення в початковий стан при бістабільному керуванні бажано передбачити суматори з подачею зворотних команд і від кнопки з пульту і від системи керування.

Для реалізації перших дій з моностабільним керуванням при встановленні в початковий стан системи:

- додавання «нульового» переходу з бістабільним керуванням шляхом введення додаткового елементу пам'яті, що спрацьовує до початку основної роботи,
- якщо є використання моностабільного сигналу для зворотної команди, її відміна призведе до подачі основної команди на початку циклу.

Можливо додавання кнопки з пам'яттю для утримання в початковому стані моностабільного модуля або додавання елемента пам'яті, який працює тільки в режимі встановлення в початковий стан.

Натискання кнопки INST в лінії 43 і спрацювання додаткового реле К22 від'єднують ланцюги автоматичного керування основних команд виконавчих пристроїв (лінії 25, 32, 39) і подають зворотні сигнали команд на модулі системи (рис. 6.13).

6.3.6. Режим аварійної зупинки (загальні питання)

Режим «Аварійна зупинка» є найвідповідальнішим з нециклових режимів. На відміну від всіх інших режимів «Аварійна зупинка» не має чіткого визначення щодо дій системи. Для реалізації потребує додаткових технічних засобів і схемних рішень.

В цьому режимі система нехтує логічними зв'язками технологічного процесу чи циклу, і всі дії відбуваються тільки за сигналом «Аварійна зупинка».

Найчастіше не всі модулі системи мають керування в режимі «Аварійна зупинка». Перехід в режим «Аварійна зупинка» може здійснюватися за сигналом тумблера з фіксатором на пульті керування $X_{a\,var}$ (рис. 6.14, 6.15).

Режим «Аварійна зупинка» не обов'язково означає припинення руху. Головне – це переведення обладнання в більш безпечний варіант роботи чи стан системи. Як правило, таке рішення потребує залучення додаткового обладнання, яке не задіяно у режимах технологічного циклу. Таке обладнання може забезпечувати розвантаження приводів (відключення тиску), з'єднання штокової і поршневої порожнин, переміщення робочого органу в певну позицію (опущено, піднято), подачу тиску в обидві порожнини, ізоляцію порожнин від мережі, а також припинення руху.

Режим «Аварійна зупинка» може бути адаптивним – тобто, команди керування формуються в залежності від поточного стану системи і перебігу активних процесів. Якщо значення сигналу **AVAR** дорівнює "0", то система знаходиться в раніше встановленому експлуатаційному режимі. Якщо сигнал **AVAR** дорівнює "1", то все інше керування буде відімкнутим, і працює тільки керування за сигналом «Аварійна зупинка».

Цей режим, в деяких випадках, може бути утворено шляхом побудови двокомпонентних виразів команд керування. Тобто, на керуючі пристрої

подаватиметься окремий сигнал, передбачений на випадок аварійного переривання роботи системи, і шляхом створення окремої підсистеми керування для припинення роботи системи виконавчих пристроїв.

Двокомпонентна команда з режимом аварійної зупинки має структуру:

$$y_i \Leftarrow (\{Y_{i/cikl}\} * X_{avt/man} + Y_{i/man} * \overline{X}_{avt/man}) * \overline{X}_{a\,var} + Y_{i/a\,var} * X_{a\,var}, \qquad (6.7)$$

де $\{Y_{i/cikl}\}$ - логічний вираз команди автоматизованого керування і-го модуля, $Y_{i/a\,var}$ - сигнал аварійного керування для і-го модуля, $X_{a\,var}$ - сигнал вмикання режиму аварійної зупинки системи.

За умов одиничного значення сигналу «Аварійна зупинка» працює права складова в командах всіх виконавчих пристроїв з використанням індивідуального сигналу керування для кожного модуля. За умов нульового значення сигналу «Аварійна зупинка» працює ліва складова виразів команд у раніше встановленому режимі. Безпосередньо сигнал керування може відноситися як до спеціального пристрою (рис. 6.14), так і до розподільника чи пристрою, який керує і в режимі технологічного циклу. Наприклад, для керування гідравлічним мотором використано клапан 4/3 з перекритим центром. Тоді відсутність сигналів керування на обох магнітах клапана виконуватиме роль команди $Y_{i/a\,var}$.

6.3.7. Режим «Аварійна зупинка» (пневмоавтоматика)

Режим має найвищий пріоритет серед інших режимів роботи системи. Він може бути застосованим як альтернатива для будь якого іншого режиму. Режим може бути виконано різними варіантами підключення виконавчих пристроїв до живлення та застосуванням спеціалізованих апаратів для уникнення руйнівних процесів в обладнанні і небезпечних дій технічних засобів для обслуговуючого персоналу.

Неконтрольоване від'єднання пневматичних виконавчих пристроїв від живлення може призвести до падіння вантажів, небажаної зупинки рухомих елементів, вириву деталей із затискачів, втрати рівноваги конструкцій і інших небажаних наслідків.

Поширеними серед способів запобігання руйнації та аварійних ситуацій з персоналом для систем пневмоавтоматики є швидка зупинка рухомих елементів, розвантаження силових пристроїв, розвантаження напірних ліній, відсікання виконавчих пристроїв від повітря під тиском, повернення пристроїв в безпечний стан чи безпечне положення та інші.

Наприклад, в системі з трьома виконавчими пристроями застосовано наступні заходи (Рис. 6.14).

Для керуванням циліндром модуля 1 додано клапан, який з'єднує обидві порожнини і ізолює їх від подальшої подачі повітря під тиском. Відповідно до навантаження поршень займатиме одне з крайніх положень, а швидкість переміщення залежить як від навантаження, так і від пропускної спроможності доданого клапана.

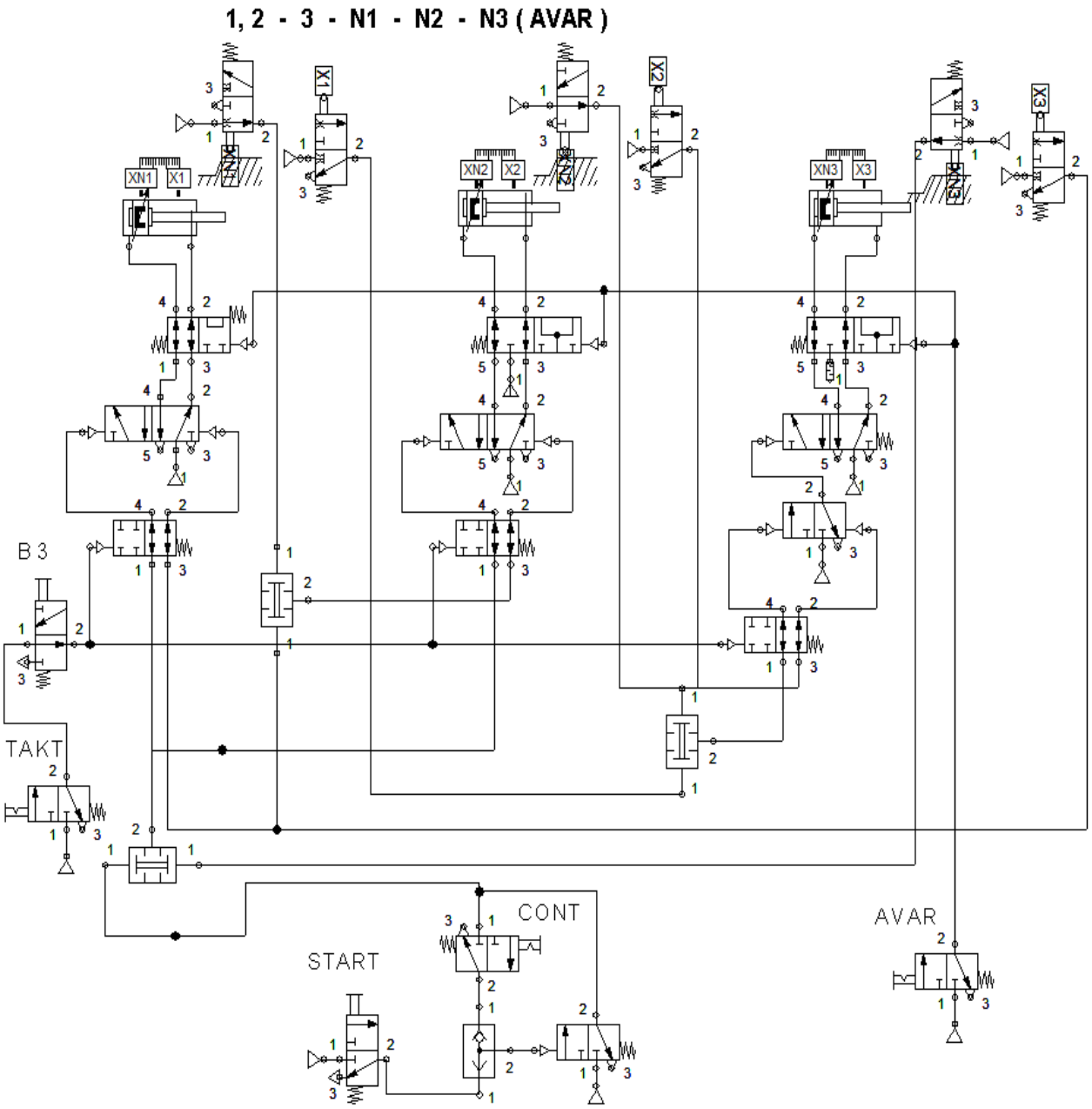


Рис. 6.14. Принципова схема циклової системи з трьома модулями, вмикання системи і встановлення режиму одиничного/тривалого циклу здійснюється окремим блоком керування, перехід в режим «Аварійна зупинка» забезпечено кнопкою AVAR з фіксатором: циліндр модуля 1 – замикання порожнин, циліндр модуля 2 – подача тиску в обидві порожнини, циліндр модуля 3 – розвантаження обох порожнин від тиску

Для керування циліндром модуля 2 додано клапан, що забезпечує одночасну подача тиску в обидві порожнини. Тобто, тиск в порожнинах вирівнюється а положення вихідної ланки визначатиме співвідношення навантаження і ефективних площ порожнин циліндру.

Для керування циліндром модуля 3 додано клапан, який забезпечує швидке розвантаження порожнин від тиску. Тобто, у випадку загрози для персоналу, або у випадку зовнішнього руйнівного навантаження, зусилля, що його створює циліндр, буде мінімальним.

6.3.8. Режим «Аварійна зупинка» (електрорелейна схема)

Режим має найвищий пріоритет серед інших режимів роботи системи. Він може бути застосованим, у разі необхідності, як альтернатива для будь-якого іншого режиму. Режим забезпечують додаткові засоби керування пневмоавтоматики у поєднанні з електрорелейними варіантами їх керування (рис. 6.15).

Комбінація електрорелейних засобів керування і додаткового пневматичного обладнання має забезпечувати уникнення руйнівних процесів в обладнанні і небезпечних дій технічних засобів для обслуговуючого персоналу. У порівнянні із засобами пневмоавтоматики роль додаткових електрорелейних елементів керування дозволяє більш ефективно запобігати небажаним наслідкам в роботі системи. Додатково збільшується швидкість реакції системи на подачу сигналу «Аварійна зупинка».

В прикладі (рис. 6.15) для вмикання режиму «Аварійна зупинка» встановлена електроконтактна кнопка AVAR з додатковим реле (лінія 16). Нормально замкнені ключі додаткового реле встановлені в лініях живлення магнітів клапанів (лінії 17, 18, 19, 20, 22).

При вмиканні кнопки AVAR ці ключі вимикають керування магнітами за ланцюгами автоматичного керування. При цьому нормально розімкнені ключі цього реле вмикають додаткові елементи та додаткові лінії живлення (лінії 21, 42, 25, 26, 27) які не працюють в автоматичному режимі роботи системи.

В системі застосовано додаткові апаратні засоби для виконання перелічених функцій режиму «Аварійна зупинка».

Для циліндра модуля 1 застосовано моностабільний керуючий клапан 5/3, який забезпечує відсікання порожнин циліндра від ліній живлення при відсутності обох сигналів керування (лінії 17 і 18). В результаті поршень переміщуватиметься до врівноваження тисків в порожнинах циліндру і навантаження.

Для циліндра модуля 2 збережено бістабільне керування. За вимогою безпеки, в режимі «Аварійна зупинка», шток циліндра має бути втягнуто. Це забезпечено додатковою лінією 21 живлення магніту та перериванням живлення протилежного магніту по лінії 20.

Для циліндра модуля 3 реалізована функція зупинки в поточному положенні. Зупинка здійснюється шляхом запирання порожнини, що є під тиском, і підключення тиску до протилежної порожнини.

В залежності від напрямку руху порожнини по підключенню тиску і відсіканню міняються місцями. Для визначення напрямку руху використано додаткове реле 16 (лінія 22), що повторює команду керування для 3-го модуля. Один з ключів реле 16 використано для керування моностабільним клапаном модуля 3 (лінія 23).

Для керування подачею тиску та відсіканням порожнин циліндра застосовано 4 додаткових клапани 3/2 з моностабільним керуванням: сигнали керування Y3.1, Y3.4 – при висуванні штока; сигнали Y3.2 і Y3.3 при втягуванні штока.

Умовою вмикання клапанів є сигнал режиму «Аварійна зупинка» (ключ реле 15) помножений на сигнал напрямку руху поршня (замкнені і розімкнені ключі реле 16). Лампочка в лінії 28 є індикатором робочого стану системи в технологічному циклі.

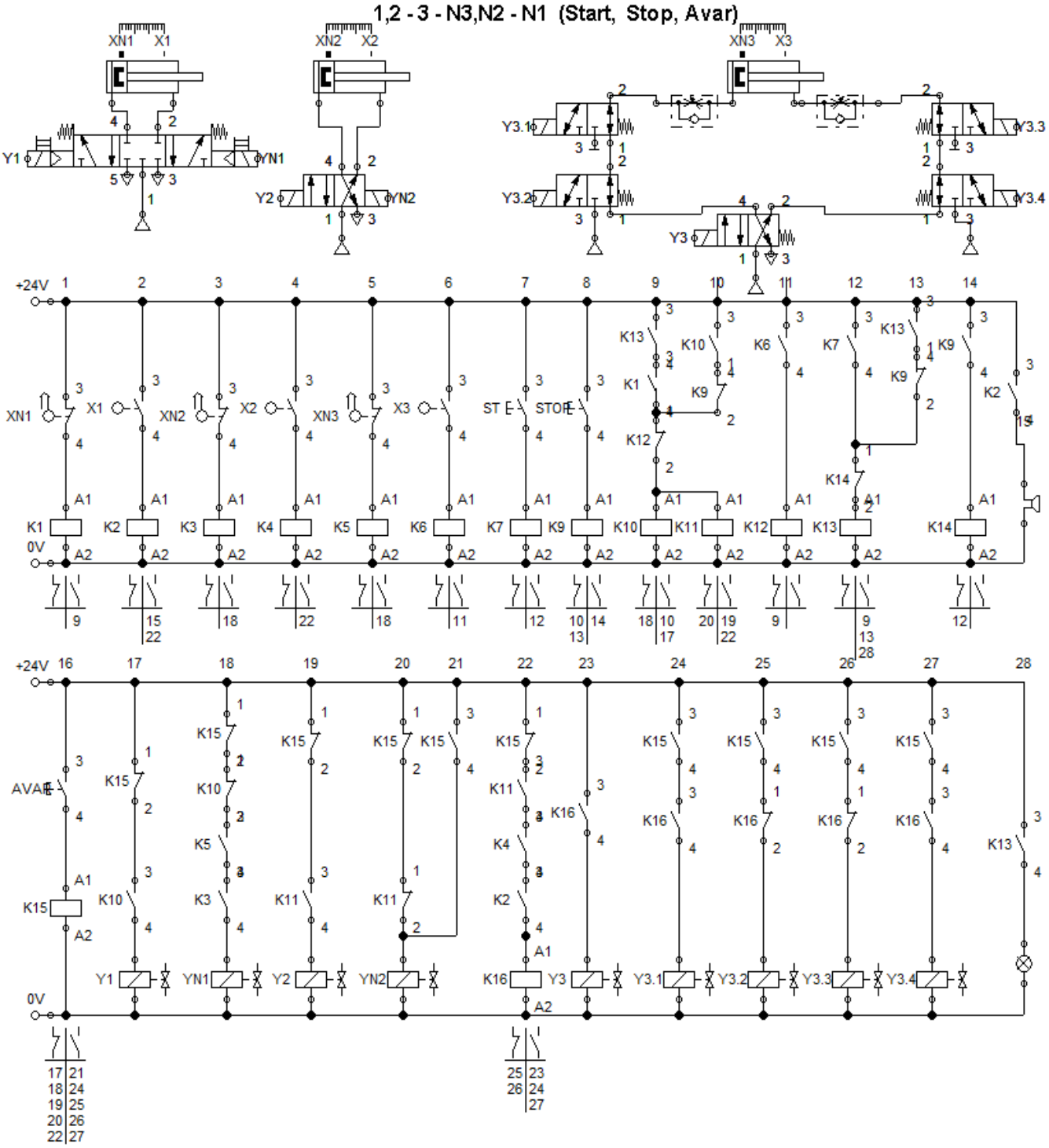


Рис. 6.15. Принципова схема циклової системи з трьома модулями, вмикання і вимикання системи здійснюється кнопками ST і STOP, зумер в лінії 15 є індикатором висунутого штока 1-го модуля, система має режими аварійної зупинки «Avar», який вмикає електроконтактна кнопка AVAR: циліндр модуля 1 відсікається від ліній живлення, циліндр модуля 2 втягує шток, циліндр модуля 3 зупиняється в поточному положенні

6.4. БАГАТОРЕЖИМНА СИСТЕМА З АЛГОРИТМІЧНИМ КЕРУВАННЯМ (МОВА STL)

Першою особливістю алгоритмічного керування з використанням PLC – вільно-програмованого контролера – є структура системи керування. Структура складається з фізичної частини, що майже не відрізняється від системи з електрорелейним керуванням, і контролера (рис. 6.16).

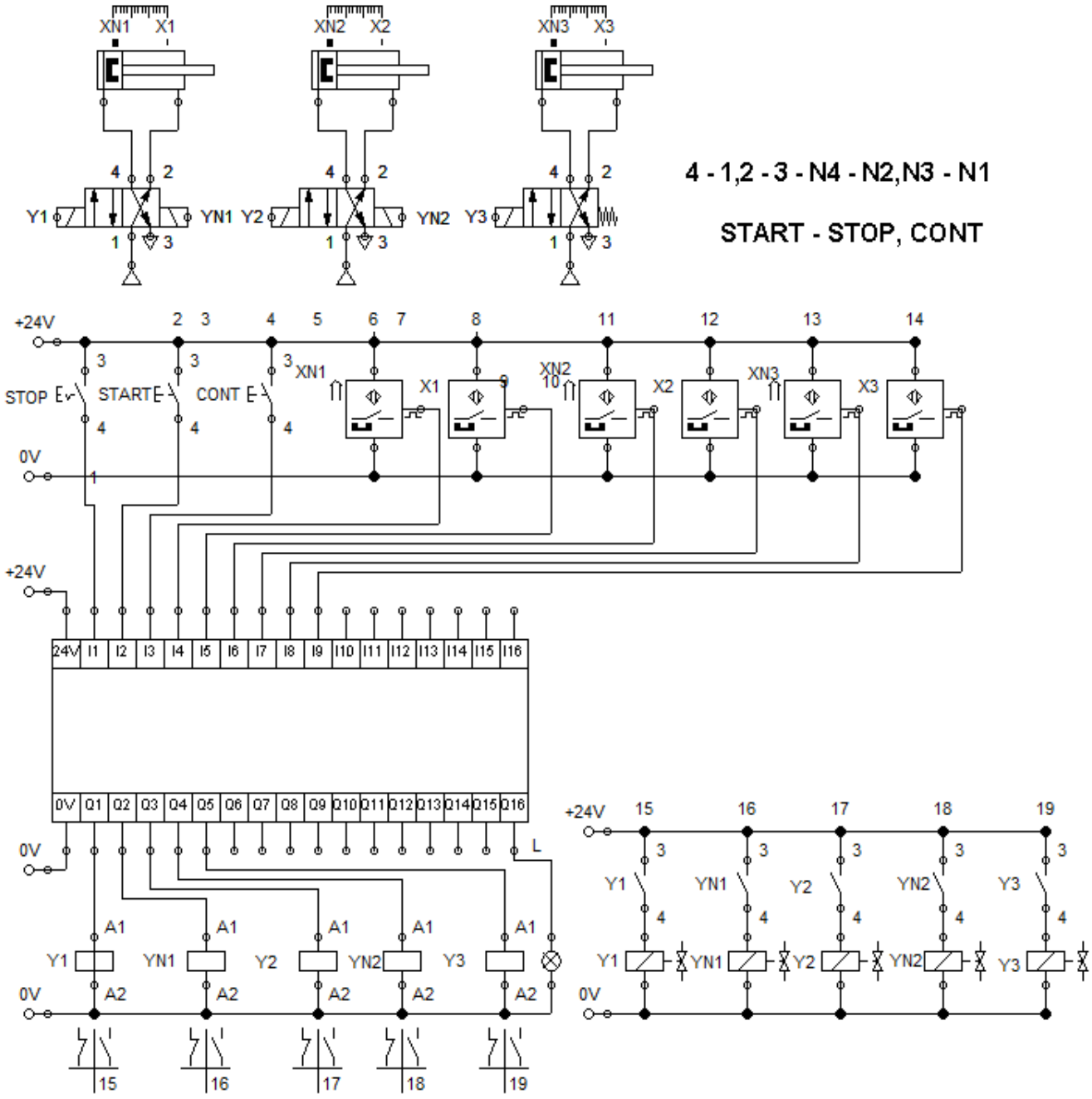


Рис. 6.16. Принципова схема під'єднання контролера до циклової системи з трьома модулями, вмикання і вимикання системи здійснюється кнопками ST і STOP, кнопка CONT вмикання тривалого циклу, 4 – елемент пам'яті, L – індикатор працюючого стану системи

Можливо додавання в схему окремих елементів для узгодженого з'єднання контролера і фізичної частини. До фізичної частини належать виконавчі пристрої, засоби керування, засоби контролю, пристрої налаштування параметрів.

Контролер має відповідну кількість входів (вони сприймають сигнали від датчиків та сенсорів контролю стану і сигнали з пульту керування), і кількість виходів (вони надають сигнали керування на керуючі пристрої). Якщо за формою і параметрами сигналів датчики і сенсори та засоби керування (електромагніти клапанів) узгоджені з контролером, то під'єднання входів і виходів відбувається безпосередньо до контролера. Якщо є певні відмінності, то мають бути застосовані додаткові перехідні елементи, наприклад, додаткові реле (рис. 6.16).

Якщо на початку будови принципового рішення відбулась ідентифікація зв'язків фізичних компонентів системи, то наступним кроком має бути ідентифікація інформаційних компонентів системи. Для цього в прикладі використано мову STL і програмування контролера в середовищі FST.

В проекті алгоритму керування системою має бути зазначено який датчик надає свій сигнал на який вхід контролера (рис. 6.17).

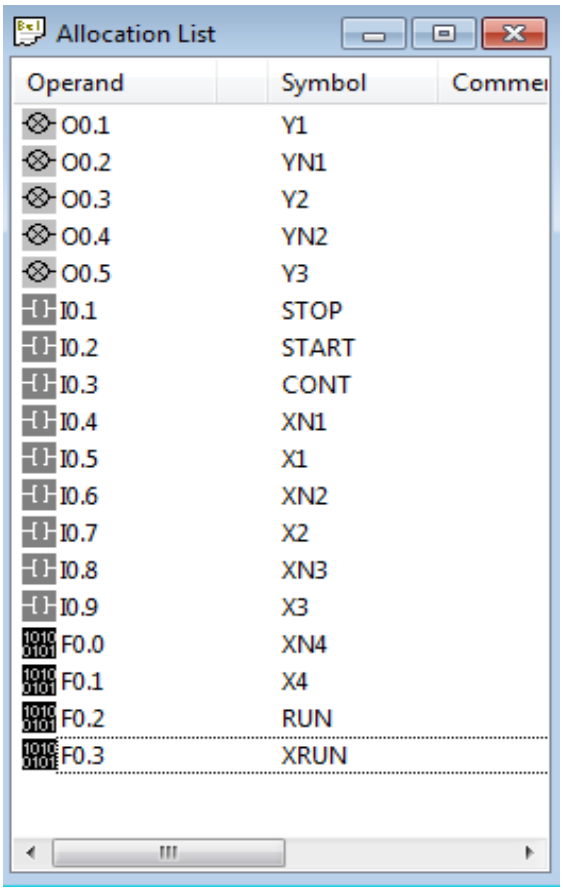


Рис. 6.17. allocationlist системи керування відповідно до схеми, наведеної на рис. 6.16

Тільки після цього, шляхом опитування входів контролера, буде з'ясовано стан модулів системи. Так само має бути зазначено який магніт розподільника

отримує сигнал керування від якого виходу контролера. Після цього, шляхом обчислення логічних виразів команд, буде визначено, чи подається сигнал на відповідний вихід контролера і, в решті, на електромагніт клапана.

Для встановлення відповідності між входами і виходами контролера та периферією маємо заповнити allocationlist (рис. 6.17). Тобто всі фізичні з'єднання пристроїв керування (електромагнітів клапанів, кнопок блоку керування), засобів контролю (датчиків і сенсорів), додаткових реле і допоміжних технічних засобів мають відповідати занесеним позначенням в allocationlist.

Окрім під'єднання входів та виходів контролера в allocationlist прописуємо всі інформаційні компоненти системи, такі як: елементи пам'яті, таймери, лічильники, регістри, підпрограми, керуючі змінні. В прикладі для опису елемента пам'яті (модуль №4) використано два прапори X4 і XN4, та додано керуючі бінарні змінні RUN і XRUN, для яких використано ще два прапори.

Для функціонування системи, відповідно до технологічного циклу, скористуємося виразами команд керування в бістабільному варіанті:

$$Y1 = X4$$

$$YN1 = XN3*XN2*XN4$$

$$Y2 = X4$$

$$YN2 = XN4$$

$$Y3 = X1*X2*X4$$

$$YN3 = XN4$$

$$Y4 = XN1*RUN$$

$$YN4 = X3$$

У вираз першої дії (вмикання елемента пам'яті 4) додано множником керуючу змінну (RUN або XRUN), що забезпечує відпрацювання одиничного чи тривалого циклу.

6.4.1. Режим «вмикання/вимикання» і «тривалого/одиничного» циклу

Після того, як всі компоненти системи ідентифіковано в пакеті FST та отримано вирази команд керування модулями системи складаємо алгоритм.

Першою задачею алгоритму буде встановлення всіх компонентів системи в початковий стан.

Другою задачею алгоритму буде вмикання системи з відпрацюванням одиничного або тривалого циклу.

Третьою задачею алгоритму буде перемикання з одиничного на тривалий цикл і навпаки.

Встановлення системи в початковий стан виконано в першому сегменті програми: STEP A00 (рядки від першого до сімнадцятого, рис. 6.18).

```
STEP A00
"" Initial State
 IF            NOP
 THEN  RESET       Y1          'Module 1  ON
     SET         YN1         'Module 1  OF
     RESET        Y2          'Module 2  ON
     SET         YN2         'Module 2  OF
     RESET        Y3          'Module 3  ON
     SET         XN4         'Memory OF
     RESET        X4          'Memory  ON
     RESET        RUN
     RESET        XRUN
 IF            XN1         'Module 1  OF
     AND         XN2          'Module 2  OF
     AND         XN3          'Module 3  OF
 THEN  JMP TO A01
 OTHRW JMP TO A00
STEP A01

"" Start - Stop - Continue
 IF            START
    AND    N     STOP
 THEN  SET         RUN
 IF            RUN
    AND         CONT
 THEN  SET         XRUN
 IF            STOP
 THEN  RESET       RUN
    RESET       XRUN
 IF         N     START
 THEN  RESET       RUN
```

```
"" Modules control
 IF            X4          'Memory  ON
 THEN  SET         Y1          'Module 1  ON
    RESET       YN1         'Module 1  OF
 IF            XN3         'Module 3  OF
    AND         XN2          'Module 2  OF
    AND         XN4         'Memory OF
 THEN  SET         YN1         'Module 1  OF
    RESET       Y1          'Module 1  ON
 IF            X4          'Memory  ON
 THEN  SET         Y2          'Module 2  ON
    RESET       YN2         'Module 2  OF
 IF            XN4         'Memory OF
 THEN  SET         YN2         'Module 2  OF
    RESET       Y2          'Module 2  ON
 IF            X1          'Module 1  ON
    AND         X2          'Module 2  ON
    AND         X4          'Memory  ON
 THEN  SET         Y3          'Module 3  ON
 IF            XN4         'Memory OF
 THEN  RESET       Y3          'Module 3  ON
 IF            XN1         'Module 1  OF
    AND      (   RUN
    OR          XRUN     )
 THEN  SET         X4          'Memory  ON
    RESET       XN4         'Memory OF
 IF            X3          'Module 3  ON
 THEN  SET         XN4         'Memory OF
    RESET       X4          'Memory  ON
 IF            NOP
 THEN  JMP TO A01
```

Рис. 6.18. Фрагмент алгоритму безумовного встановлення системи в початковий стан, вмикання/вимикання системи та відпрацювання одиничного чи тривалого технологічного циклу

Після відпрацювання означених рядків, на що піде менше 0,001 секунди, змінна RUN ще може мати одиничне значення внаслідок утримання кнопки START.

Рядки 2 – 11. Без додаткових умов подано зворотні команди і вимкнено основні команди на всі модулі системи, що мають бістабільне керування (модулі 1 і 2). Прибрані всі основні команди для модулів з моностабільним керуванням 4/2 (модуль 3). Вимкнені основні і увімкнені зворотні ідентифікатори елементів пам’яті (модуль 4).

Рядки 12 – 15. Перевірка встановлення всіх фізичних модулів в початковий стан: XN1=1, XN2=1, XN3=1. Якщо всі модулі повернулись в початковий стан – здійснено перехід на виконання сегменту STEP A01 (рядок 16). Якщо ні – повернення на відпрацювання першого сегменту (рядок 17).

Вмикання системи з відпрацюванням одиничного або тривалого циклу

припадає на рядки 18 – 29 сегменту STEP A01, а саме – формування значень керуючих змінних RUN і XRUN.

За умов натискання кнопки START і відсутності сигналу STOP змінна RUN отримує одиничне значення (рядки 19 – 21).

Далі, за натиснутої кнопки CONT і одиничного значення змінної RUN, отримує одиничне значення змінна XRUN (рядки 22 – 24).

Кнопка STOP має пріоритет, тому за її натисканням стан керуючих змінних змінюється на нульовий (рядки 25 – 27).

При вивільненні кнопки START змінна RUN отримує нульове значення (рядки 28 – 29).

Також одиничне значення, за умов одиничного значення RUN, матиме змінна XRUN, але тільки при натиснутій кнопці CONT.

Таким чином, якщо потрібно увімкнути систему в режимі одиничного циклу, потрібно натиснути тільки кнопку START, і одиничне значення змінної RUN запустить виконання першої дії циклу, а саме вмикання елемента пам’яті 4. Після зникнення сигналу START змінна RUN втратить одиничне значення і на наступному циклі перша команда циклу (вмикання модуля 4) не спрацює.

Якщо потрібно увімкнути систему в режимі тривалого циклу, потрібно увімкнути тумблер CONT. Далі натиснути кнопку START, і одиничне значення отримають змінні RUN і XRUN. Їх сума запустить виконання першої дії циклу, а саме вмикання елемента пам’яті 4. Після зникнення сигналу START змінна RUN втратить одиничне значення, а змінна XRUN збереже одиничне значення і на наступному циклі перша команда циклу (вмикання модуля 4) спрацює. Для припинення роботи системи в тривалому циклі потрібно натиснути кнопку STOP. За цим сигналом змінна XRUN втратить одиничне значення і сума змінних RUN і XRUN отримає нульове значення. Система допрацює поточний цикл і зупиниться, оскільки не отримає дозволу на виконання першої дії наступного циклу, а саме – вмикання модуля 4.

Відпрацювання технологічного циклу припадає на рядки з 31 і до кінця алгоритму, які утворюють скануючий цикл перерахунку всіх виразів команд керування модулями системи починаючи з першого і до останнього – модуля 4 – елемента пам’яті.

Рядки з 31 до 39 припадають на керування модулем 1. За умовою основної команди вмикається вихід Y1 і вимикається вихід YN1. За умовою зворотної команди вимикається вихід Y1 і вмикається вихід YN1.

Так само побудовано алгоритм керування модуля 2. Рядки 46 – 51 припадають на керування моностабільним модулем 3. За умов основної команди вмикатиметься вихід Y3. За умов зворотної команди вимикатиметься той самий вихід Y3.

Рядки з 52 до 59 припадають на керування модулем 4 – елементом памяті. За умовою основної команди вмикається індикатор основного стану модуля 4 X4 і вимикається індикатор зворотного стану XN2. За умовою зворотної команди вимикається індикатор основного стану модуля 4 X4 і вмикається індикатор зворотного стану XN4.

Після оновлення логічних виразів всіх команд відбувається безумовний

перехід на початок сегменту STEP A01. За необхідності відбувається оновлення значень керуючих змінних RUN і XRUN і відповідно продовжується робота системи.

6.4.2. Режими «ПАУЗА» і «ТАКТ» (алгоритмічне керування)

Режими є додатковими до інших циклових і нециклових режимів, що мають автоматично виконувати певну послідовність дій, наприклад, технологічний цикл чи перехід системи в певний визначений стан.

При налагодженні системи та пошуку несправностей режим ТАКТ дозволяє відпрацьовувати поточний режим по тактах. Для реалізації потребує додаткових технічних засобів для переривання та оновлення сигналів команд за поточним станом системи та значеннями керуючих змінних. Потребує застосування додаткових технічних засобів в системі керування (рис. 6.19).

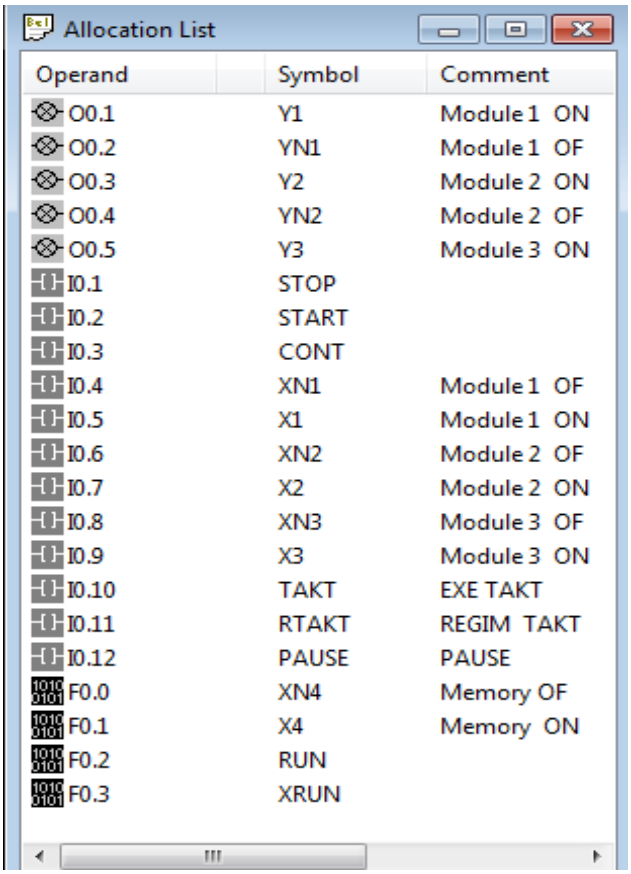


Рис. 6.19. allocationlist системи керування відповідно до схеми, наведеної на рисунку 6.20

Для режиму «ПАУЗА» достатньо одного вхідного сигналу з пульта керування PAUSE.

Для режиму «ТАКТ» потрібно два вхідних сигнали, один з яких засвідчує сам режим покрокового відпрацювання системи RTAKT, а другий, дозвільний сигнал TAKT, дає дозвіл на відпрацювання наступного такту.

```
STEP A00
"" Initial State
 IF            NOP
 THEN  RESET       Y1        'Module 1  ON
       SET         YN1       'Module 1  OF
       RESET       Y2        'Module 2  ON
       SET         YN2       'Module 2  OF
       RESET       Y3        'Module 3  ON
       SET         XN4       'Memory OF
       RESET       X4        'Memory  ON
       RESET       RUN
       RESET       XRUN
 IF            XN1         'Module 1  OF
       AND         XN2       'Module 2  OF
       AND         XN3       'Module 3  OF
 THEN  JMP TO A01
 OTHRW JMP TO A00
STEP A01
"" Start - Stop - Continue
 IF            START
       AND   N     STOP
 THEN  SET         RUN
 IF            RUN
       AND         CONT
 THEN  SET         XRUN
 IF            STOP
 THEN  RESET       RUN
       RESET       XRUN
 IF          N     START
 THEN  RESET       RUN
"" Pause + Takt
 IF            PAUSE       'PAUSE
 THEN  JMP TO A01
 IF            RTAKT       'REGIM  TAKT
       AND   N     TAKT        'EXE TAKT
 THEN  JMP TO A01
```

```
"" Modules control
 IF            X4          'Memory  ON
 THEN  SET         Y1          'Module 1  ON
       RESET       YN1         'Module 1  OF
 IF            XN3         'Module 3  OF
       AND         XN2         'Module 2  OF
       AND         XN4         'Memory OF
 THEN  SET         YN1         'Module 1  OF
       RESET       Y1          'Module 1  ON
 IF            X4          'Memory  ON
 THEN  SET         Y2          'Module 2  ON
       RESET       YN2         'Module 2  OF
 IF            XN4         'Memory OF
 THEN  SET         YN2         'Module 2  OF
       RESET       Y2          'Module 2  ON
 IF            X1          'Module 1  ON
       AND         X2          'Module 2  ON
       AND         X4          'Memory  ON
 THEN  SET         Y3          'Module 3  ON
 IF            XN4         'Memory OF
 THEN  RESET       Y3          'Module 3  O
 IF            XN1         'Module 1  OF
       AND     (   RUN
       OR          XRUN    )
 THEN  SET         X4          'Memory  ON
       RESET       XN4         'Memory OF
 IF            X3          'Module 3  ON
 THEN  SET         XN4         'Memory OF
       RESET       X4          'Memory  ON
 IF            NOP
 THEN  JMP TO A01
```

Рис. 6.20. Фрагмент алгоритму безумовного встановлення системи в початковий стан, вмикання/вимикання системи, відпрацювання одиничного чи тривалого технологічного циклу, режиму призупинки системи PAUSE і режиму покрокового відпрацювання технологічного циклу TAKT

Режими ПАУЗА і ТАКТ можуть бути реалізовані різними варіантами, у тому числі так само, як в системах пневмоавтоматики і електрорелейного керуванням. Але алгоритмічне керування надає суттєві переваги для реалізації цих режимів.

Ржим ПАУЗА. Для того, щоб система відпрацювала певні дії і перервала свою роботу, достатньо просто не оновлювати логічні вирази команд керування. Якщо за алгоритмом оновлення не відбулось, нові значення на потрапляють на виходи контролера і на керуючі пристрої системи. Тобто, система допрацьовує поточні команди і зупиняється. Оновлені сигнали від датчиків і сенсорів контролер отримає, а перерахунку значень логічних виразів команд не виконуватиме. Для забезпечення відсутності перерахунку достатньо, за певною умовою, обійти певну частину скануючого циклу, яка вміщує логічні вирази команд керування (в попередньому прикладі – рядки 31 – 59). Проте оновлення значень керуючих змінних, які керують структурою алгоритму, має відбуватись навіть в режимі пауза (Рис. 6.20, два рядки виділені жирним шрифтом і підкресленням).

Режим ТАКТ. Для того, щоб система покроково відпрацьовувала технологічний цикл має бути використано два зовнішніх сигнали.

Перший сигнал RTAKT має бути дійсним весь час, коли система знаходиться в режимі покрокового відпрацювання циклу. Другий сигнал TAKT є дозвільною змінною, яка дозволяє здійснити оновлення логічних виразів команд під час знаходження системи в режимі покрокової роботи.

Два передостанніх рядка в лівій частині вікна (рис. 6.20) задають логічну умову, яка не дозволяє перераховувати вирази команд в покроковому режимі (RTAKT=1) за умов відсутності дозволу на поточний перерахунок (TAKT=0). Коли оператор короткочасно подає сигнал дозволу на перерахунок (TAKT=1) логічні вирази команд оновлюються і пристрої системи отримують команди на відпрацювання наступного такту.

Натискання кнопки TAKT має бути короткочасним, тобто тривати менше за час відпрацювання такту виконавчими пристроями. Якщо кнопка буде постійно натиснута, то система відпрацьовуватиме всі такти по черзі, як при роботі у технологічному циклі.

6.4.3. Режим «Ручне керування» (алгоритмічне керування)

Режим є нецикловим, корисним при налагодженні системи чи на етапі її складання, особливо для систем гідроприводу чи систем великої потужності. Режим є дуже важливим для поновлення роботи системи після аварійної зупинки, чи виходу з нештатних ситуацій.

Режим дозволяє відпрацьовувати по декілька разів та налагоджувати дії окремих пристроїв та модулів, відокремлених в цьому режимі від системи.

Реалізація переходу від поточного режиму до режиму ручного керування може здійснюватися за допомогою керуючої змінної, за певних обставин, або за сигналом від кнопки з фіксатором з пульту керування Avt/Man.

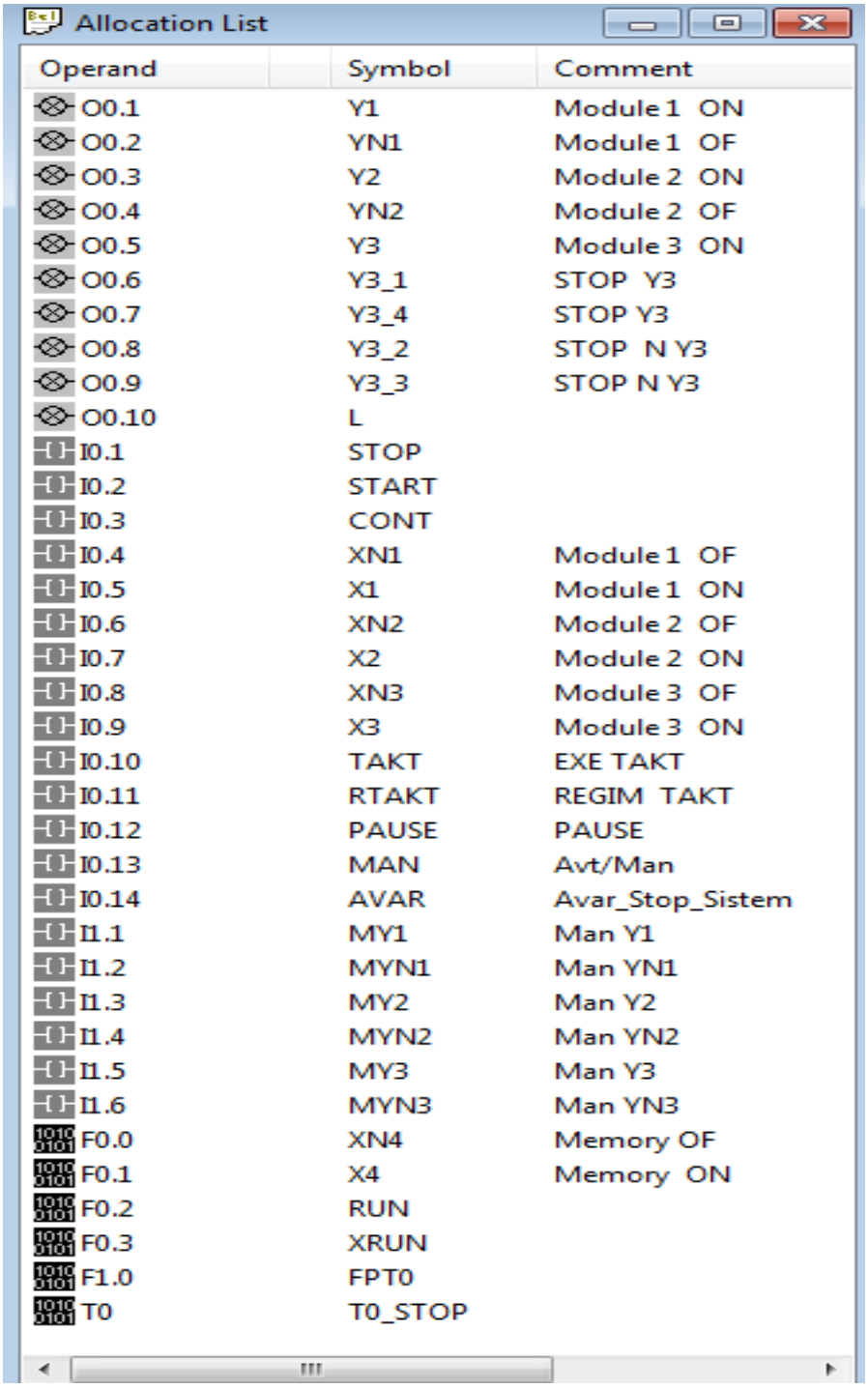


Рис. 6.21. allocationlist системи керування з доданими операндами ручного керування і аварійної зупинки системи

Ручне керування окремими модулями системи забезпечують кнопки з пульту керування. Для індивідуального керування виконавчими пристроями прикладу (рис. 6.16) застосуємо 6 вхідних сигналів з наступними іменами: MY1, MYN1, MY2, MYN2, MY3 і MYN3. Наявність двох сигналів для керування кожним модулем надає можливість відпрацювання технологічного циклу в ручному режимі (рис. 6.21).

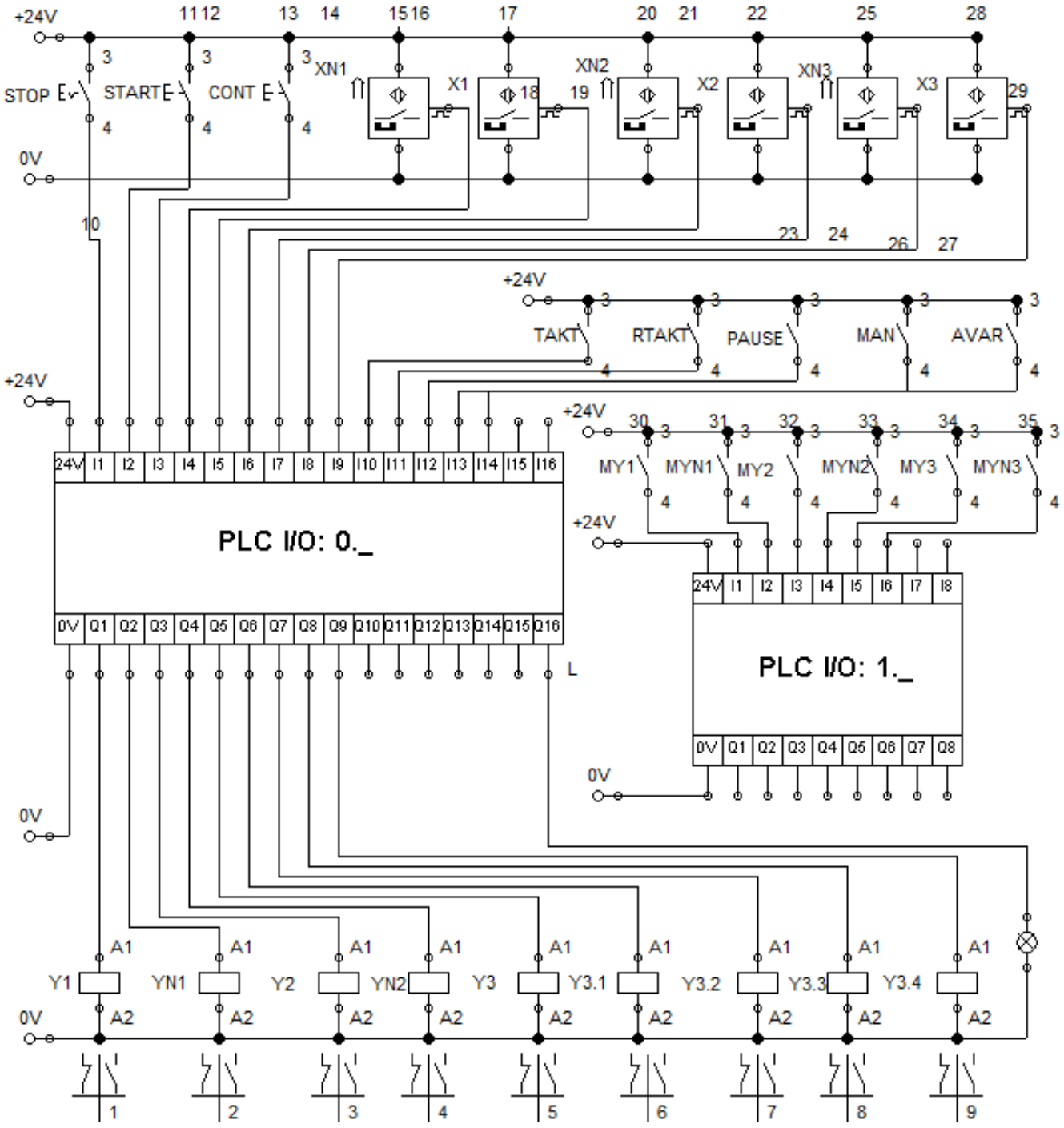


Рис. 6.22. Схема під'єднання входів і виходів контролера до засобів контролю і керування, блок I/O 1._ вхідні сигнали ручного керування

Важливою перевагою використання двох вхідних сигналів для ручного керування одним модулем є безпека при переході на режим ручного керування. В такому випадку, доки жодна кнопка ручного керування модулями не натиснута, система зберігає попередні значення сигналів керування. Тобто при вмиканні режиму ручного керування система не продукує жодних нових сигналів керування і запобігає самочинному спрацюванню кожного з модулів.

```
STEP A00
"" Initial State
 IF              NOP
 THEN  RESET      Y1          'Module 1  ON
       SET        YN1         'Module 1  OF
       RESET      Y2          'Module 2  ON
       SET        YN2         'Module 2  OF
       RESET      Y3          'Module 3  ON
       SET        XN4         'Memory OF
       RESET      X4          'Memory  ON
       RESET      RUN
       RESET      XRUN
 IF              XN1         'Module 1  OF
       AND        XN2         'Module 2  OF
       AND        XN3         'Module 3  OF
 THEN  JMP TO A01
 OTHRW JMP TO A00

"" Main Cikl
STEP A01
"" Man/Avt
 IF              MAN         'Avt/Man
 THEN  JMP TO A02
"" Start - Stop - Continue
 IF              START
       AND   N   STOP
 THEN  SET       RUN
 IF              RUN
       AND       CONT
 THEN  SET       XRUN
 IF              STOP
 THEN  RESET     RUN
       RESET     XRUN
 IF        N     START
 THEN  RESET     RUN

"" Pause + Takt
 IF              PAUSE       'PAUSE
 THEN  JMP TO A01
 IF              RTAKT       'REGIM  TAKT
       AND   N   TAKT        'EXE TAKT
 THEN  JMP TO A01

"" Modules control
 IF              X4          'Memory  ON
 THEN  SET       Y1          'Module 1  ON
       RESET     YN1         'Module 1  OF
 IF              XN3         'Module 3  OF
       AND       XN2         'Module 2  OF
       AND       XN4         'Memory OF
 THEN  SET       YN1         'Module 1  OF
       RESET     Y1          'Module 1  ON
 IF              X4          'Memory  ON
 THEN  SET       Y2          'Module 2  ON
       RESET     YN2         'Module 2  OF
 IF              XN4         'Memory OF
 THEN  SET       YN2         'Module 2  OF
       RESET     Y2          'Module 2  ON
 IF              X1          'Module 1  ON
       AND       X2          'Module 2  ON
       AND       X4          'Memory  ON
 THEN  SET       Y3          'Module 3  ON
 IF              XN4         'Memory OF
 THEN  RESET     Y3          'Module 3  ON
 IF              XN1         'Module 1  OF
       AND   (   RUN
       OR        XRUN    )
 THEN  SET       X4          'Memory  ON
       RESET     XN4         'Memory OF
 IF              X3          'Module 3  ON
 THEN  SET       XN4         'Memory OF
       RESET     X4          'Memory  ON
 IF              NOP
 THEN  JMP TO A01
"" Avt/Man
STEP A02
 IF        N     MAN         'Avt/Man
 THEN  JMP TO A00
"" Modules manual control
 IF              MY1         'Man Y1
       AND   N   MYN1        'Man YN1
 THEN  SET       Y1          'Module 1  ON
 IF        N     MY1         'Man Y1
 THEN  RESET     Y1          'Module 1  ON
 IF              MYN1        'Man YN1
       AND   N   MY1         'Man Y1
 THEN  SET       YN1         'Module 1  OF
 IF        N     MYN1        'Man YN1
 THEN  RESET     YN1         'Module 1  OF

 IF              MY2         'Man Y2
       AND   N   MYN2        'Man YN2
 THEN  SET       Y2          'Module 2  ON
 IF        N     MY2         'Man Y2
 THEN  RESET     Y2          'Module 2  ON
 IF              MYN2        'Man YN2
       AND   N   MY2         'Man Y2
 THEN  SET       YN2         'Module 2  OF
 IF        N     MYN2        'Man YN2
 THEN  RESET     YN2         'Module 2  OF

 IF              MY3         'Man Y3
       AND   N   MYN3        'Man YN3
 THEN  SET       Y3          'Module 3  ON

 IF              MYN3        'Man YN3
       AND   N   MY3         'Man Y3
 THEN  RESET     Y3          'Module 3  ON
IF               NOP
 THEN  JMP TO A02
```

Рис. 6.23. Фрагмент алгоритму безумовного встановлення системи в початковий

Якщо для трьох модулів застосувати три вхідних сигнали ручного керування (по одному на модуль), то навіть «нульове» значення такого сигналу

відповідатиме, наприклад, сигналу зворотної команди модуля. Якщо перед вмиканням режиму ручного керування на модуль була подана команда основної дії, то в момент вмикання ручного керування на модуль буде подана команда на зворотну дію без участі оператора. Саме з цієї причини в прикладі застосовано додатковий модуль вводу/виводу контролера (рис. 6.22).

Для початку роботи системи в режимі ручного керування перемикач Avt/Man має бути увімкненим (режим автоматичної роботи є активним «по замовчуванню»). При вмиканні перемикача система отримує одиничне значення керуючої змінної MAN. За умовою одиничного значення змінної MAN алгоритм полишає скануючий цикл і потрапляє до окремого кроку: STEP A02 (рис.6.23).

Структура алгоритму в кроці STEP A02 аналогічна до попереднього кроку: спочатку відбувається опитування входів контролера та оновлення значень керуючих змінних. Далі розташовано скануючий цикл з оновленням сингалів ручного керування функціональними модулями системи відповідно до натиснутих кнопок на панелі керування. Для запобігання одночасного існування протилежних команд одного модуля у логічні вирази додана відповідна перевірка.

Особливість режиму ручного керування полягає в умовах повернення роботи системи до автоматичного керування. Автоматичне керування передбачає певний початковий стан системи, що відображено в логічних умовах команд керування для початкових дій циклу. Встановлення системи в початковий стан в прикладі автоматизовано: при нульовому значенні змінної MAN алгоритм покидає крок A02 і відпрацьовує крок A00 – встановлення системи в початковий стан.

6.4.4. Режими «АВАРІЙНА ЗУПИНКА» (алгоритмічне керування)

Режим «Аварійна зупинка» має найвищий пріоритет серед інших режимів роботи системи, тому умова переходу в цей режим має бути завжди активною. Режим аварійної зупинки потребує використання додаткових засобів керування пневмоавтоматики чи гідроавтоматики, які не задіяні при відпрацюванні технологічного циклу. До таких засобів можуть бути віднесені клапани зупинки в поточному положенні, пристрої розвантаження системи чи окремих приводів, додаткові гальмівні пристрої та інші, такі, що захищають працівників від травмування і техніку від руйнування (рис. 6.24).

Використання алгоритмічного керування дозволяє більш ефективно запобігати небажаним наслідкам, у тому числі шляхом гнучкого реагування на поточний стан системи.

Для циліндра модуля 1 застосовано моностабільний керуючий клапан 5/3, який забезпечує відсікання порожнин циліндра від ліній живлення, що можна вважати частковим розвантаженням. Для циліндра модуля 2 збережено бістабільне керування. За вимогою безпеки, в режимі «Аварійна зупинка», шток циліндра 2 має бути втягнуто, але тільки після запинки циліндру модуля 3. Для циліндра модуля 3 реалізована функція зупинки в поточному положенні. Зупинка

здійснюється шляхом запирання порожнини, що є під тиском, і підключення тиску до протилежної порожнини. В залежності від напрямку руху порожнини по підключенню тиску і відсіканню міняються місцями. Для визначення напрямку руху використано стан команди Y3. Для керування подачею тиску та відсіканням порожнин циліндра застосовано 4 додаткових клапани 3/2 з моностабільним керуванням: сигнали керування Y3.1, Y3.4 – при висуванні штока; сигнали Y3.2 і Y3.3 при втягуванні штока. Умовою вмикання клапанів є стан режиму «Аварійна зупинка» помножений на сигнал Y3 або на його інверсію. Лампочка є індикатором аварійного стану системи.

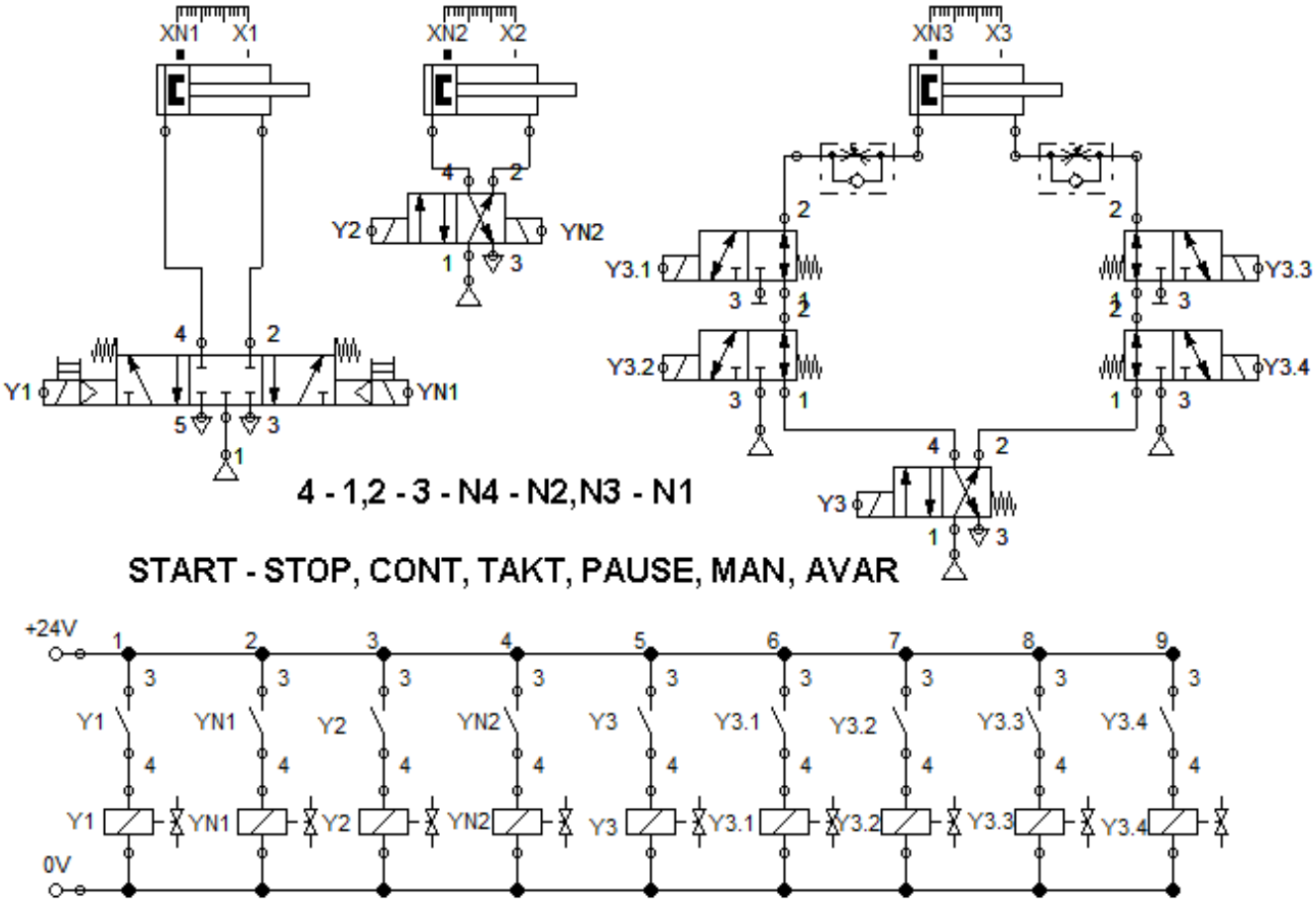


Рис.6.24. Схема підсистеми виконавчих пристроїв з доданими елементами гальмування (модуль 1) і зупинки в поточному положенні (модуль 3)

Для переходу в режим «Аварійна зупинка» необхідно подати сигнал AVAR з пульту керування. Опитування цього сигналу присутнє у всіх кроках алгоритму програми, включно з нульовим (рис. 6.26). За умови істинності сигналу AVAR алгоритм керування починає відпрацьовувати крок A03, безумовно полишаючи виконання всіх інших кроків.

На початку кроку A03 стоїть перевірка істинності сигналу AVAR. Якщо сигнал відсутній, то алгоритм перестає оновлювати команди аварійної зупинки, але не полишає кроку A03. Не контрольований вихід з режиму аварійної зупинки може призвести систему до небажаних наслідків, бо невідомо в якому стані система була зупинена. Тому в кроці A03 передбачено один єдиний перехід в

режим Ручного керування, і тільки після відміни або за відсутності сигналу AVAR і при поданому оператором сигналу MAN. В такому випадку система зберігає всі пристрої в нерухомому стані незалежно від їх поточного стану.

Далі відбувається керування модулями системи відповідно до висунутих розробником вимог (рис.6.25, 6.26), наприклад.

```
STEP A00
"" Initial State
 IF              NOP
 THEN  RESET      Y1          'Module 1  ON
       SET        YN1         'Module 1  OF
       RESET      Y2          'Module 2  ON
       SET        YN2         'Module 2  OF
       RESET      Y3          'Module 3  ON
       SET        XN4         'Memory OF
       RESET      X4          'Memory  ON
       RESET      RUN
       RESET      XRUN
       RESET      FPT0
 IF              XN1         'Module 1  OF
       AND        XN2         'Module 2  OF
       AND        XN3         'Module 3  OF
 THEN  JMP TO A01
 OTHRW JMP TO A00
"" Main Cikl
STEP A01
"" Man/Avt  Start
 IF              MAN         'Avt/Man
 THEN  JMP TO A02
"" Start - Stop - Continue
 IF              START
       AND   N   STOP
 THEN  SET       RUN
 IF              RUN
       AND       CONT
 THEN  SET       XRUN
 IF              STOP
 THEN  RESET     RUN
       RESET     XRUN
 IF        N     START
 THEN  RESET     RUN
"" Pause + Takt
 IF              PAUSE       'PAUSE
 THEN  JMP TO A01
 IF              RTAKT       'REGIM  TAKT
       AND   N   TAKT        'EXE TAKT
 THEN  JMP TO A01
"" Modules control
 IF              X4          'Memory  ON
 THEN  SET       Y1          'Module 1  ON
       RESET     YN1         'Module 1  OF
 IF              XN3         'Module 3  OF
       AND       XN2         'Module 2  OF
       AND       XN4         'Memory OF
 THEN  SET       YN1         'Module 1  OF
       RESET     Y1          'Module 1  ON
 IF              X4          'Memory  ON
 THEN  SET       Y2          'Module 2  ON
       RESET     YN2         'Module 2  OF
 IF              XN4         'Memory OF
 THEN  SET       YN2         'Module 2  OF
       RESET     Y2          'Module 2  ON
 IF              X1          'Module 1  ON
       AND       X2          'Module 2  ON
       AND       X4          'Memory  ON
 THEN  SET       Y3          'Module 3  ON
 IF              XN4         'Memory OF
 THEN  RESET     Y3          'Module 3  ON
 IF              XN1         'Module 1  OF
       AND   (   RUN
       OR        XRUN    )
 THEN  SET       X4          'Memory  ON
       RESET     XN4         'Memory OF
 IF              X3          'Module 3  ON
 THEN  SET       XN4         'Memory OF
       RESET     X4          'Memory  ON
 IF              NOP
 THEN  JMP TO A01
"" Man/avt  continue
STEP A02
 IF        N     MAN         'Avt/Man
 THEN  JMP TO A00
"" Modules manual control
 IF              MY1         'Man Y1
       AND   N   MYN1        'Man YN1
 THEN  SET       Y1          'Module 1  ON
```

Рис. 6.25. Перший фрагмент алгоритму керування з режимами ручного керування MAN/AVT і аварійної зупинки системи AVAR STOP

Здійснюється, без додаткових умов, часткове розвантаження 1-го модуля.

Здійснюється зупинка 3-го модуля в поточному положенні з врахуванням напрямку руху шляхом подачі команд Y3.1, Y3.4 та вимикання Y3.2 і Y3.3 (при русі висування штоку), і навпаки – вимикання команд Y3.1, Y3.4 та вмикання Y3.2 і Y3.3 (при русі втягування).

Одночасно з подачею команд на зупинку модуля 3 вмикається контроль за часом (таймер T0) на 3 секунди, який контролює припинення руху.

Після зупинки модуля 3 (спрацювання таймера) подаються команди на втягування штоку циліндром модуля 2. Таким чином система переведена в нерухомий стан за попередніми умовами щодо кожного модуля.

```
"" Man/avt  continue

IF          N      MY1          'Man Y1
 THEN  RESET        Y1           'Module 1  ON
IF              MYN1          'Man YN1
    AND     N      MY1          'Man Y1
 THEN  SET          YN1          'Module 1  OF
 IF          N      MYN1         'Man YN1
 THEN  RESET        YN1          'Module 1  OF
 IF              MY2          'Man Y2
    AND     N      MYN2         'Man YN2
 THEN  SET          Y2           'Module 2  ON
 IF          N      MY2          'Man Y2
 THEN  RESET        Y2           'Module 2  ON
 IF              MYN2         'Man YN2
    AND     N      MY2          'Man Y2
 THEN  SET          YN2          'Module 2  OF
 IF          N      MYN2         'Man YN2
 THEN  RESET        YN2          'Module 2  OF
 IF              MY3          'Man Y3
    AND     N      MYN3         'Man YN3
 THEN  SET          Y3           'Module 3  ON
    RESET        Y3_1         'STOP  Y3
    RESET        Y3_4         'STOP Y3
 IF              MYN3         'Man YN3
    AND     N      MY3          'Man Y3
 THEN  RESET        Y3           'Module 3  ON
    RESET        Y3_2         'STOP  N Y3
    RESET        Y3_3         'STOP N Y3
 IF              NOP
 THEN  JMP TO A02
"" Man/avt  Finish

"" Sistem AVAR STOP
STEP A03
 IF          N      AVAR         'Avar_Stop_Sistem
    AND          MAN          'Avt/Man
 THEN  JMP TO A02
 IF          N      AVAR         'Avar_Stop_Sistem
 THEN  JMP TO A03
 IF              AVAR         'Avar_Stop_Sistem
 THEN  SET          L
 OTHRW RESET        L
```

```
"" Modules AVAR control
"" Module 1 AVAR control
 IF              NOP
 THEN  RESET        Y1           'Module 1  ON
    RESET        YN1          'Module 1  OF
"" Module 3 AVAR control
 IF              Y3           'Module 3  ON
 THEN  SET          Y3_1         'STOP  Y3
    SET          Y3_4         'STOP Y3
    RESET        Y3_2         'STOP  N Y3
    RESET        Y3_3         'STOP N Y3
"" Module 2 AVAR control
 IF              Y3           'Module 3  ON
    AND     N      FPT0
 THEN  SET          FPT0
    SET          T0
     WITH        3s
 IF          N        TO
    AND          FPT0
 THEN  RESET        Y2           'Module 2  ON
    SET          YN2          'Module 2  OF
    RESET        FPT0
"" Module 3 AVAR control
 IF          N      Y3           'Module 3  ON
 THEN  RESET        Y3_1         'STOP  Y3
    RESET        Y3_4         'STOP Y3
    SET          Y3_2         'STOP  N Y3
    SET          Y3_3         'STOP N Y3
"" Module 2 AVAR control
 IF          N      Y3           'Module 3  ON
    AND     N      FPT0
 THEN  SET          FPT0
    SET          T0
     WITH        3s
 IF          N        TO
    AND          FPT0
 THEN  RESET        Y2           'Module 2  ON
    SET          YN2          'Module 2  OF
    RESET        FPT0
 IF              NOP
 THEN  JMP TO A03
```

Рисунок 6.26. Другий фрагмент алгоритму керування з режимами ручного керування MAN/AVT і аварійної зупинки системи AVAR STOP

Вихід з режиму аварійної зупинки дозволено тільки в режим ручного керування. Але є додаткові умови: при зупинці модуля 3 були задіяні додаткові клапани з сигналами керування Y3.1, Y3.4 при русі вперед і Y3.2 і Y3.3 при русі повернення.

Тобто, в алгоритм ручного керування третім модулем, має бути додано вимикання означених клапанів (рис. 6.25).

Увімкнений стан перелічених клапанів заблокує рух як при примусовій зупинці, так і при всіх інших режимах (рис. 6.25). В циклічній роботі системи означені клапани не задіяні, тобто їх використання в режимі аварійної зупинки має вміщувати як вмикання сигналів Y3.1, Y3.4 та Y3.2 і Y3.3, так і їх обов'язкове вимикання.

У випадку знаходження системи в режимі аварійної зупинки вмикається індикаторна лампочка L аварійної сигналізації.

Відповідні доповнення складу інформаційних компонентів системи внесені в allocationlist (рис. 6.21).

На відмінність від систем керування із апаратною реалізацією, будь то пневмоавтоматика, гідроавтоматика, механіка чи електрорелейна керування, застосування алгоритмічного керування надає значно більші можливостей щодо автоматизації додаткових функції, врахування стану системи, запровадження алгоритмів адаптивного чи гнучкого функціонування, створення сегментів ситуативного керування на не враховані в технічному завданні випадки.

ЗАУВАЖЕННЯ. Разом з цим алгоритмічне керування створює і нові можливості для помилок, оскільки алгоритмічна мова не тотожна до «жорсткої» механічної системи. Наприклад, майже одночасне вмикання і вимикання одного виходу контролера, який керує електромагнітом клапана, не є помилкою для алгоритмічної мови, але суперечить можливостям і магніту і клапана. Так само, якщо в одному режимі було залишено увімкненими певні виходи контролера, то при переході до іншого сегменту програми, з іншим режимом роботи системи, всі ці виходи лишатимуться увімкненими, незалежно від нового спрямування режиму роботи системи. Подібні ситуації лягають на відповідальність проектувальника при розробці алгоритмів керування.

7. СКЛАДАННЯ І НАЛАГОДЖЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

7.1. СКЛАДАННЯ І НАЛАГОДЖЕННЯ СИСТЕМ З ЦИКЛІЧНО-МОДУЛЬНОЮ СТРУКТУРОЮ

Використання циклічно-модульної будови призводить до певних особливостей при складанні і налагодженні автоматичних систем виконавчих пристроїв, систем дискретної пневмоавтоматики, систем дискретної гідроавтоматики, систем мехатроніки та їх різноманітних комбінацій. Адаптований до структури системи порядок її складання надає наступні переваги:

- скорочення часу пуско-налагоджувальних робіт розробленої системи;
- зменшення кількості суто технічних помилок при комутації пристроїв та інших компонентів системи;
- поетапне тестування системи керування і засобів контролю;
- додаткове тестування відкритої архітектури системи;
- зручність пошуку помилок логічного синтезу;
- можливість внесення локальних корегувань в функціонування окремих модулів та виконавчих пристроїв;
- зменшення вартості системи.

Складанню будь-якої системи передує підбір комплектуючих в заданій кількості та з відповідними параметрами і конфігурацією. Більшість параметрів для такого підбору виконавчих пристроїв, засобів контролю за відпрацюванням дій і засобів керування можна знайти в описі функціональних модулів та їх принципових схемах. Щодо підсистем та пристроїв загальносистемного призначення, таких як: система живлення, система захисту від зовнішніх втручань, систему безпечної експлуатації, то вимоги до них мають бути окремо розраховані здебільшого за інтегральними показниками всієї системи з врахуванням різноманіття її фізичної природи. Кількісні показники по кожному типу обладнання отримуємо як інтегральні по всіх модулях системи, та всіх підсистемах загального застосування.

Підготовчий етап складання системи передбачає підрахунок кількості та типів необхідного обладнання для виконання, контролю і керування відпрацюванням передбачених функцій та замовлення відповідного обладнання, засобів з’єднання обладнання і передачі сигналів і енергетичних потоків:

- виконавчі пристрої,
- засоби регулювання параметрів,
- засоби керування модулів,
- засоби контролю модулів,
- підсистеми автоматизованого об’єкту.

Зазначений комплект забезпечує виконання функцій та дій технологічного

циклу, тобто, такий комплект обладнання є незалежним від запропонованих чи розроблених схем системи керування.

Цьому етапу передує покроковий аналіз технологічного циклу з формалізованим описом всіх дій, операцій і функцій, що його складають.

Друга частина підготовчого етапу складання системи передбачає підрахунок кількості та типів необхідного обладнання для побудови підсистем керування для кожного з модулів та загальної частини системи керування (за виключенням систем живлення до окремих підсистем та системи керування):

- засоби реалізації логічних виразів команд керування,
- засоби попередньої обробки та узгодження сигналів,
- засоби реалізації додаткових та сервісних функцій.

Виконанню другої частини підготовчого етапу передує доповнення системи елементами пам'яті, логічний синтез виразів команд керування, визначення типу керування, локальна мінімізація системи керування.

Пошук локальних можливостей спрощення схеми системи керування:

- шляхом багатократного використання повторюваних логічних виразів,
- шляхом виконання логічних функцій іншими пристроями системи,
- шляхом винесення за дужки спільних множників у виразах логічних команд.

Ефективність перелічених заходів суттєво залежить від фізичної природи засобів системи керування і в меншому ступені від різноманіття засобів контролю і керування та масштабного показника системи.

Так засоби реалізації логічної функції «АБО» чи «І» чи «НІ» в гідроавтоматиці і пневмоавтоматиці відрізнятимуться на порядок за вартістю навіть не враховуючи необхідності встановлення шляхових підсилювачів сигналу для гідроавтоматики. До вартості можуть додаватись швидкодія, надійність, термін експлуатації та інше.

Реалізація перелічених логічних функцій у випадку електрорелейної схеми в системі керування підвищує швидкодію і дуже суттєво зменшує вартість, але може мати певні вади внаслідок властивостей електричних реле та їх циклічного використання.

За умов використання програмованих контролерів питання вартості реалізації логічних функцій і швидкодії взагалі відпадають. Але виникають додаткові питання щодо узгодженості сигналів, питання вартості контролера та відповідних датчиків для моніторингу стану системи і відповідних пристроїв керування для виконавчих пристроїв системи.

Тобто, для побудови системи достатньо збалансованої у кількісному та якісному показниках, бажано на підготовчому етапі ретельно обрахувати та врахувати наслідки перелічених та інших особливостей розроблюваної системи.

Локальна мінімізація системи керування. Виконання логічних функцій іншими пристроями системи. Наприклад, розроблюємо пневматичну систему керування. Деякий сигнал від датчику стану (наприклад XN5) задіяно тільки один раз в командах керування (вираз команди, наприклад, YN3 = XN5 *

X4 * XN3). В такому випадку є можливість зменшити кількість клапанів множення, шляхом подавання добутку X4 * XN3 на живлення датчика XN5 (економія клапана і 3 шлангів). Тобто, в системі сигнал XN5 взагалі буде відсутнім, оскільки датчик працюватиме тільки за умов істинності добутку X4 * XN3. Якщо дивитись на розглянутий канал керування, то здешевлення можна оцінити в 20 … 25%.

Наприклад, попередня задача виникла при розробці системи гідроавтоматики. Застосування гідравлічного кінцевого вимикача для виконання функції множення призведе до тих самих структурних наслідків, але додається ще одна зливна лінія. У відсотковому вимірі економія майже не зміниться, а у вартісному – зросте в 8 … 10 разів. Але, потрібно врахувати довжини гідравлічних ліній передачі сигналів. Якщо їх опір суттєво вплине на величину сигналу, то доведеться ставити підсилювач, і це ще додає вартості системі і зменшить її швидкодію.

Наприклад, попередня задача виникла при розробці електрорелейної схеми керування для системи гідроавтоматики. Тоді виникне додаткове питання підводу електричного сигналу добутку X4 * XN3 до кінцевого вимикача, що розташовано в зоні виконавчого пристрою. Цей добуток формується в блоці реле, до якого постачають сигнали датчики стану інших виконавчих пристроїв. Тобто, економія двох ключів реле, які виконують функцію логічного множення, при необхідності підводу електричного сигналу добутку до виконавчого пристрою від блоку реле – надає сумнівні переваги, а можливо і зашкодить вартості і надійності системи.

Наприклад, попередня задача виникла при розробці системи керування на базі PLC. Додаткова функція множення – це залучення до обробки однобітової бінарної змінної сигналу стану XN5. Наявність 2-х чи 3-х множників у виразі добутку в алгоритмі керування навряд чи вплине на вартість чи швидкодію, чи надійність системи керування. У позитивному вимірі можна розглядати зменшення кількості входів контролера на один дискретний вхід та відсутність каналу передачі сигналу стану XN5 до контролера. В негативному напрямку це або створення окремої електрорелейної схеми для визначення добутку X4 * XN3 і передачі цього сигналу до датчика стану, або задіяння ще одного виходу контролера, з якого цей самий добуток буде підведено на живлення датчика XN5. Без конкретного розрахунку для певного обладнання і його розташування віддати перевагу жодному варіанту складно. До переліченого бажано додати ще фактор неоднорідності системи керування – частина електрорелейна, частина алгоритмічна – доцільність такого рішення - це питання до розробника автоматизованої системи.

Це саме питання може бути розглянуто і у випадку комбінації пневмоавтоматики, електрорелейної схеми і контролера. Наприклад, перевагою пневмоавтоматики є нечутливість до змін температури, нечутливість до електромагнітного випромінювання, нечутливість до вібрацій. Тобто є задачі і умови використання в яких і така комбінація може бути найкращою.

Винесення за дужки спільних множників у виразах логічних команд. Наприклад, розроблюємо пневматичну систему керування. Сигнал команди

керування отримуємо через наступний логічний вираз, який складено під час логічного синтезу: Y3 = XN2 * X7 + X1 * XN2 * X8. Якщо вираз команди має декілька доданків, то є можливість перевірити, чи мають вини спільні множники. У даному виразі така можливість є – це сигнал XN2. Коригуємо вираз логічної команди:

$$Y3 = XN2 * X7 + X1 * XN2 * X8 = XN2*(X7 + X1 * X8).$$

В результаті отримуємо вираз, в якому замість трьох клапанів множення залишилось 2 клапани множення. Тобто, маємо економію 1 клапана множення і 3 шлангів. Якщо віддаленість датчиків, що надають сигнали до добутку, дозволяє отримати добуток в пневматичній реалізації достатньо компактною, то рішення є корисним. Маємо скорочення вартості, скорочення кількості монтажних операцій, скорочення кількості ущільнень в системі. Тобто, якщо дивитись на підсистему керування окремого модуля, то маємо 15 … 20% економії вартості.

Наприклад, розроблюємо гідравлічну систему керування. Використовуємо можливість скорочення кількості логічних функцій у виразі команди модуля №3:

$$Y3 = XN2 * X7 + X1 * XN2 * X8 = XN2*(X7 + X1 * X8).$$

В результаті в гідравлічній схемі замість трьох клапанів множення залишилось 2 клапани множення. Для гідроавтоматики кожний клапан це і вартість, і падіння тиску, і додаткова витрата робочої рідини. Тобто, маємо не тільки структурну економію 1 клапана множення і 3 шлангів, а і поліпшення енергетичних показників системи керування. Додаємо до цього зменшення кількості ущільнень при з'єднаннях шлангів і клапанів. З точки зору покращення показників таке рішення є привабливим, але остаточне рішення за розробником та результатами розрахунків, які враховують і конкретне обладнання і його розташування.

Наприклад, попередня задача виникла при розробці електрорелейної схеми керування для системи гідроавтоматики. Тоді виникне додаткове питання – оскільки всі сигнали, що і до спрощення, що і після нього, мають бути оброблені системою керування, то різниця полягає тільки в одному додатковому ключі в ланцюгу електрорелейної реалізації виразу команди:

$$Y3 = XN2 * X7 + X1 * XN2 * X8 \text{ або } Y3= XN2*(X7 + X1 * X8).$$

Казати про зміни вартості чи надійності чи швидкодії системи керування не має підстав. Але, якщо два доданки це наслідок багаторежимного використання модуля, то таке перетворення зменшує відкритість архітектури системи керування, тобто, заважатиме, наприклад, доопрацюванню одного з двох режимів.

Наприклад, попередня задача виникла при розробці системи керування на базі PLC. Наявність 2-х чи 3-х множників у виразі команди в алгоритмі керування навряд чи вплине на вартість чи швидкодію, чи надійність системи керування. В негативному напрямку це, як і у випадку електрорелейної схеми,

зменшує відкритість архітектури системи керування, тобто, заважатиме, наприклад, доопрацюванню одного з двох режимів та ускладнить пошук похибок в алгоритмі керування, бо неспрацювання чи помилкове спрацювання може бути віднесено до обох режимів, і об'єм потрібної перевірки також подвоїться.

Пошук спільних сегментів в командах керування модулів системи. Цей варіант спрощення системи майже тотожній попередньому з винесенням спільних сигналів в доданках за дужки, але це питання вже відноситься не до окремого виразу логічної команди а до декількох команд однієї системи.

Наприклад, розроблюємо пневматичну систему керування. Два вирази команд керування, що отримані в результаті логічного синтезу, мають наступний вигляд:

основна дія 5-го модуля Y5 = **XN2 * X7** + X1 * XN4 * X8
зворотна дія 4-го модуля YN4 = **XN2 * X7** * XN9

Оскільки в результаті логічного синтезу отримано комплект команд до всіх модулів системи, то є можливість перевірити, чи мають ці вирази команд однакові сегменти, складені з тих самих сигналів. У даному виразі така можливість є – це добуток сигналів XN2 * X7. Він присутній в обох виразах команд. Тобто, добуток має бути використаним двічі. Але можна його вираховувати один раз, а використати двічі. Переваги і недоліки такого спрощення такі самі, як і у випадку винесення спільних множників за дужки в одній команді. Тобто, в прикладі це скорочення одного клапану множення в пневмоавтоматиці чи гідроавтоматиці, чи одного ключа реле в схемі, чи одного логічного виразу добутку в алгоритмі програми. Водночас це додавання ліній передачі добутку і трійників в пневматичній і гідравлічній реалізації, додавання ключів і ліній передачі сигналу в електричній схемі системи керування.

Інші локальні спрощення системи керування. Якщо у виразах команд керування присутні інверсії від сигналів стану елементів пам'яті, то можливі наступні заміни:

$$NXN4 \approx X4, \qquad NX4 \approx XN4.$$

Тобто, замість інверсії сигналу зворотного стану елемента пам'яті можна використати основний сигнал стану елемента пам'яті. Так само, замість інверсії сигналу основного стану елемента пам'яті можна використати сигнал зворотного стану елемента пам'яті. Це призводить до економії одного клапану інвертора та декількох ліній передачі сигналів.

Однак це вноситиме певну похибку в роботу системи, бо між отриманням одиничних значень означених сигналів елемент пам'яті має змінити свій стан. Спочатку зникає одиничне значення певного сигналу, а тільки після перемикання елемента пам'яті виникає одиничне значення інверсії від протилежного сигналу стану. Тобто різниця становить час перемикання. Для пневматичної реалізації цей час становить, як правило, соті чи десяті долі секунди, для гідравлічного елемента пам'яті час перемикання може становити декілька десятих долей секунди, у випадку електрорелейної реалізації елемента пам'яті час перемикання буде дещо меншим за пневмоавтоматику. Але при цьому бажано враховувати і час передачі сигналу по електричних, пневматичних

і гідравлічних лініях. Швидкість проходження хвилі тиску в пневматиці в декілька разів менша за гідравліку, не кажучи про електричний сигнал.

Якщо сигнал СТАРТ задіяно тільки один раз в одній команді керування в системі. Є можливість зменшити на один кількість клапанів множення, шляхом подавання готового сигналу команди на живлення кнопки СТАРТ. Такий варіант можливий при будь якій реалізації, але треба зважати на вартість елемента множення і на звуження можливості керування режимами роботи системи.

Якщо вираз команди керування для одного режиму окремого модуля має «дуже» складний вигляд (налічує більше 5 сигналів), то можна в технологічний цикл додати «надлишковий» елемент пам'яті. Його в цикл системи бажано встановити так, щоб його лінія зв'язку замінила всю траєкторію команди, у тому числі і позбавила необхідності формувати обмежуючи чи подовжуючи множники, чи доданки.

Це надає економію 4 і більше клапанів множення чи додавання з відповідною кількістю ліній передачі сигналів (шлангів чи дротів). Якщо вартість одного пневматичного елементу пам'яті приблизно втричі більша за вартість елементу множення чи додавання, то користь від такої заміни можлива. Але треба скласти вирази команд керування доданого елемента пам'яті – це додаткові лінії керування і додана вартість системи. Рішення розробник приймає за розрахунками кращого варіанту. Проте є і додаткова користь – спрощення процедури логічного синтезу, зменшення ймовірності помилок у виразах команд керування, спрощення процедури складання системи та зменшення кількості суто технічних помилок. Для випадку PLC керування цей аспект – уникнення помилок логічного синтезу, може бути вирішальним, оскільки доданий елемент пам'яті – бінарна змінна – не ускладнює систему.

Загальні питання складання циклічно-модульних систем. Порядок складання компонентів систем може впливати на швидкість складання, тривалість налагодження та наявність помилок і складність їх подальшого пошуку і виправлення. Завдяки циклічно-модульній будові є можливість «пошарового» складання і «помодульного» налагодження систем керування.

Загальна послідовність складання та перелік етапів чи кроків можуть відрізнятися в залежності від засобів технічної реалізації, складності системи, досвіду розробника і технічного персоналу, і інших вимог та показників щодо розробленої системи.

В наступних прикладах розглянуто варіанти нескладних систем з різними технічними засобами. Технічні особливості, що розглянуті на наступних прикладах, є приналежними і для систем більшої складності, і, за певних умов, можуть бути поширені і на інші технічні засоби. Загальні етапи послідовного нарощування системи будуть подані на прикладах. Таким чином при розгляді кожного поточного етапу розробник повинен обґрунтовано знати, що і навіщо має бути виконано для переходу до наступного етапу.

7.2. ЗАГАЛЬНА ПОСЛІДОВНІСТЬ СКЛАДАННЯ ПНЕВМАТИЧНОЇ ЦИКЛІЧНО-МОДУЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Складання пневмосистеми відбувається по-модульно, з перевіркою функцій кожного модуля (виконавчий пристрій, засоби керування, засоби контролю) з подальшим об'єднанням перевірених модулів в систему за допомогою системи керування.

7.2.1. Рекомендації щодо складання системи пневмоавтоматики

1. Складання функціональних модулів

(Для перевірки використовуємо додаткове обладнання, яке тимчасово під'єднуємо до системи – кнопки ручного керування, лампочки-індикатори вихідних сигналів, налагоджуємо дроселі, реле часу, реле тиску, лічильники, редукційні клапани.)

1.1. ВСТАНОВЛЮЄМО ВИКОНАВЧІ ПРИСТРОЇ МОДУЛІВ СИСТЕМИ.

1.2. ВСТАНОВЛЮЄМО КЕРУЮЧІ КЛАПАНИ ДО КОЖНОГО ВИКОНАВЧОГО ПРИСТРОЮ.

1.3. ВСТАНОВЛЮЄМО ДОДАТКОВІ ПРИСТРОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛІВ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ПЕВНІ ФУНКЦІОНАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ (ДРОСЕЛІ, КЛАПАНИ ТИСКУ, ДЕМПФЕРИ І Т. ІН.).

1.4. ПІД'ЄДНУЄМО ВИКОНАВЧІ ПРИСТРОЇ ДО КЛАПАНІВ ТА ДОПОМІЖНИХ ПРИСТРОЇВ.

1.5. ПОДАЄМО ЖИВЛЕННЯ НА КЕРУЮЧІ КЛАПАНИ.

1.6. ПІД'ЄДНУЄМО ТИМЧАСОВІ КНОПКИ ДО КЕРУВАННЯ КЕРУЮЧИХ КЛАПАНІВ.

1.7. ПЕРЕВІРЯЄМО РОБОТУ ВИКОНАВЧИХ ПРИСТРОЇВ, НАЛАШТОВУЄМО ПАРАМЕТРИ (ШВИДКІСТЬ, ТИСК І Т. ІН.).

1.8. ВСТАНОВЛЮЄМО ДАТЧИКИ КОНТРОЛЮ ВІДПРАЦЮВАННЯ ФУНКЦІЙ:

-ВСТАНОВЛЮЄМО ДАТЧИКИ КОНТРОЛЮ ПОЛОЖЕННЯ ВИКОНАВЧИХ ПРИСТРОЇВ (КІНЦЕВІ ВИМИКАЧІ);

-ВСТАНОВЛЮЄМО РЕЛЕ ТИСКУ (ЯКЩО Є КОНТРОЛЬ ЗА ТИСКОМ);

-ВСТАНОВЛЮЄМО РЕЛЕ ЧАСУ (ЯКЩО Є КОНТРОЛЬ ЗА ЧАСОМ);

-ВСТАНОВЛЮЄМО ЛІЧИЛЬНИК (ЯКЩО Є КОНТРОЛЬ ЗА КІЛЬКІСТЮ).

1.9. ПОДАЄМО ЖИВЛЕННЯ НА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ (ЗА НАЯВНОСТІ ІНВЕРСНИХ ВИХОДІВ СТАВИМО ЗАГЛУШКИ).

1.10.ПЕРЕВІРЯЄМО ВІДПРАЦЮВАННЯ ФУНКЦІЙ ВИКОНАВЧИМИ ПРИСТРОЯМИ ІЗ ЗАСОБАМИ КОНТРОЛЮ, ВИКОРИСТОВУЄМО ТИМЧАСОВІ КНОПКИ ДЛЯ ПОДАЧІ КОМАНД І ДОДАТКОВІ ІНДИКАТОРИ (ЛАМПОЧКИ) ДЛЯ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ.

Результат перелічених дій – комплект налагоджених і перевірених функціональних модулів.

2. Об'єднання функціональних модулів в систему

(Перевірку логіки спрацювань виконуємо візуально, можлива відеофіксація, встановлення всіх модулів включно з елементами пам'яті в початковий стан є обов'язковим! Для цього, за необхідності, залучаємо додаткове обладнання.).

2.1. складаємо лінії керування основних і зворотних (якщо є) команд для наступного з модулів в порядку їх спрацювання в циклі.

2.2. встановлюємо всі складені модулі в початковий стан.

2.3. подаємо живлення на всі елементи системи, натискаємо кнопку ПУСК (якщо вона є).

2.4. порівнюємо порядок спрацювань складених модулів системи із заданим технологічним циклом.

2.5. якщо є невідповідність переходимо до пошуку помилок в лініях керування останнього складеного модуля, після виправлення повертаємось до п. 2.4. (оскільки всі модулі перевірені, то помилка внесена в останній складеній ланці системи керування).

2.6. оскільки цикл допрацьований в повному обсязі переходимо до складання схем керування багаторежимною експлуатацією (за потребами об'єкту автоматизації).

7.2.2. Приклад поетапного складання пневматичної циклічно-модульної системи

Розроблена система пневмоавтоматики призначена для відпрацювання наступного технологічного циклу (рис. 7.1):

1 ,2 - 3 - N1 - N2 - N3 .

Крок 1: встановлення виконавчих пристроїв із засобами контролю і керування.

В якості виконавчих пристроїв застосовано наступні компоненти:

- Модуль 1 циліндр двосторонньої дії, початкове положення із втягнутим штоком.
- Модуль 2 циліндр двосторонньої дії, початкове положення із втягнутим штоком.
- Модуль 3 циліндр двосторонньої дії, початкове положення із втягнутим штоком.

В якості засобів керування виконавчих пристроїв застосовано наступні компоненти:

Модуль 1: клапан 5/2 з бістабільним керуванням, команди Y1 і YN1;

Модуль 2: клапан 5/2 з бістабільним керуванням, команди Y2 і YN2;

Модуль 3 клапан 5/2 з моностабільним керуванням, команда Y3.

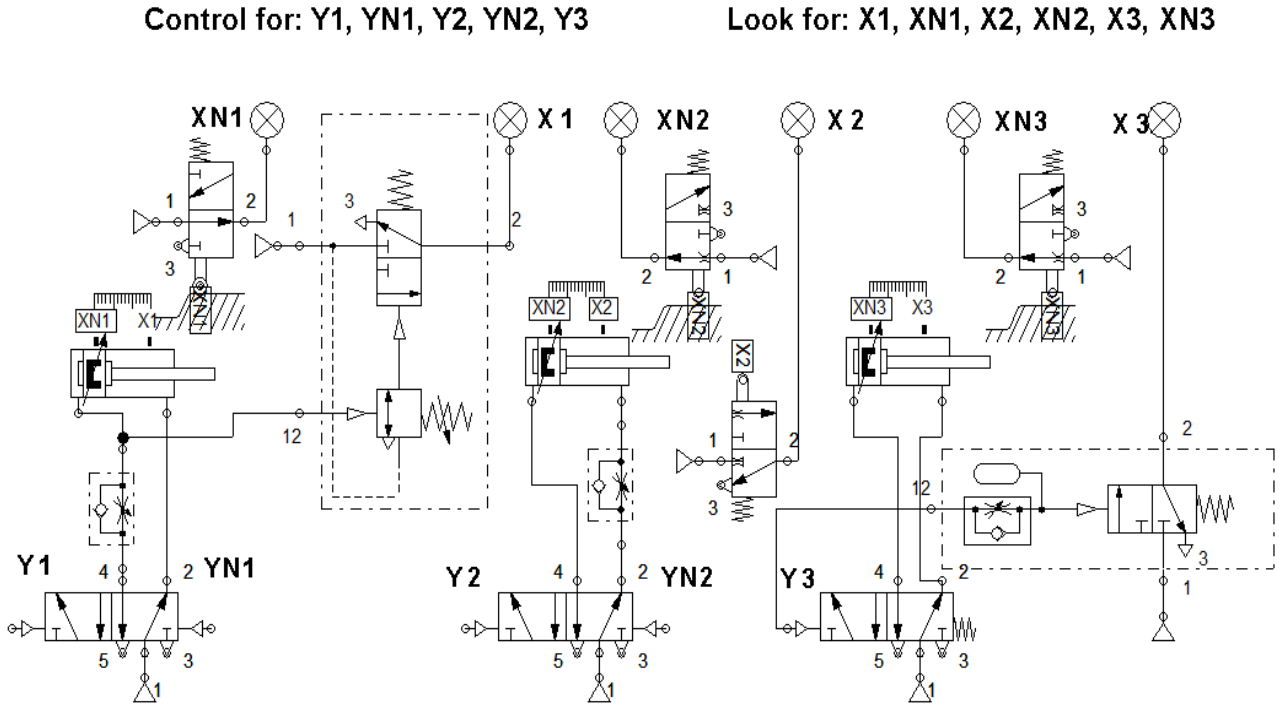


Рис. 7.1. Принципова схема комплекту виконавчих пристроїв із під'єднаними засобами керування і контролю. В системі використано: контроль за тиском (X1), контроль за часом (X3), контроль за положенням (XN1, XN2, X2, XN3), модулі 1 і 2 мають бістабільне керування, модуль 3 має моностабільне керування 5/2

В якості засобів контролю дій виконавчих пристроїв застосовано наступні компоненти:

Модуль 1 основна дія, сигнал X1: контроль за тиском в поршневій порожнині за допомогою нормально зачиненого пневматичного реле тиску (додатково застосовано дросель із зворотним клапаном для можливості контролю тиску в порожнині циліндра, а не в лінії підводу тиск);

Модуль 1 зворотна дія, сигнал XN1: контроль за положенням за допомогою кінцевого вимикача на основі нормально зачиненого пневматичного моностабільного клапана 3/2 з механічним керуванням;

Модуль 2 основна дія, сигнал X2: контроль за положенням за допомогою кінцевого вимикача на основі нормально зачиненого пневматичного моностабільного клапана 3/2 з механічним керуванням;

Модуль 2 зворотна дія, сигнал XN2: контроль за положенням за допомогою кінцевого вимикача на основі нормально зачиненого пневматичного моностабільного клапана 3/2 з механічним керуванням;

Модуль 3 основна дія, сигнал X3 : контроль за часом за допомогою нормально зачиненого пневматичного реле часу із затримкою за переднім фронтом сигналу керування основної дії модуля 3;

Модуль 3 зворотна дія, сигнал XN3: контроль за положенням за допомогою кінцевого вимикача на основі нормально зачиненого пневматичного моностабільного клапана 3/2 з механічним керуванням.

Всі засоби контролю облаштовано лампочками-індикаторами наявності/відсутності сигналу.

До засобів контролю і засобів керування підведено живлення для можливості наступної перевірки дій функціональних модулів.

Крок 2: перевірка засобів контролю дій функціональних модулів, складених з виконавчих пристроїв із засобами контролю і керування

Оскільки до засобів контролю підведено живлення, то для можливості перевірки їх спрацювання необхідно імітувати спрацювання виконавчих пристроїв функціональних модулів (рис. 7.2).

Для імітації спрацювання засобів контролю положення (кінцевих вимикачів) достатньо виконати механічне навантаження чутливих елементів цих пристроїв (клапанів з механічним керуванням). Це можна зробити шляхом пересування вихідної ланки виконавчих пристроїв (за умов відсутності їх живлення), або шляхом контактного натискання чутливих елементів клапанів, або шляхом ручного керування клапанами за допомогою дублюючих засобів ручного керування.

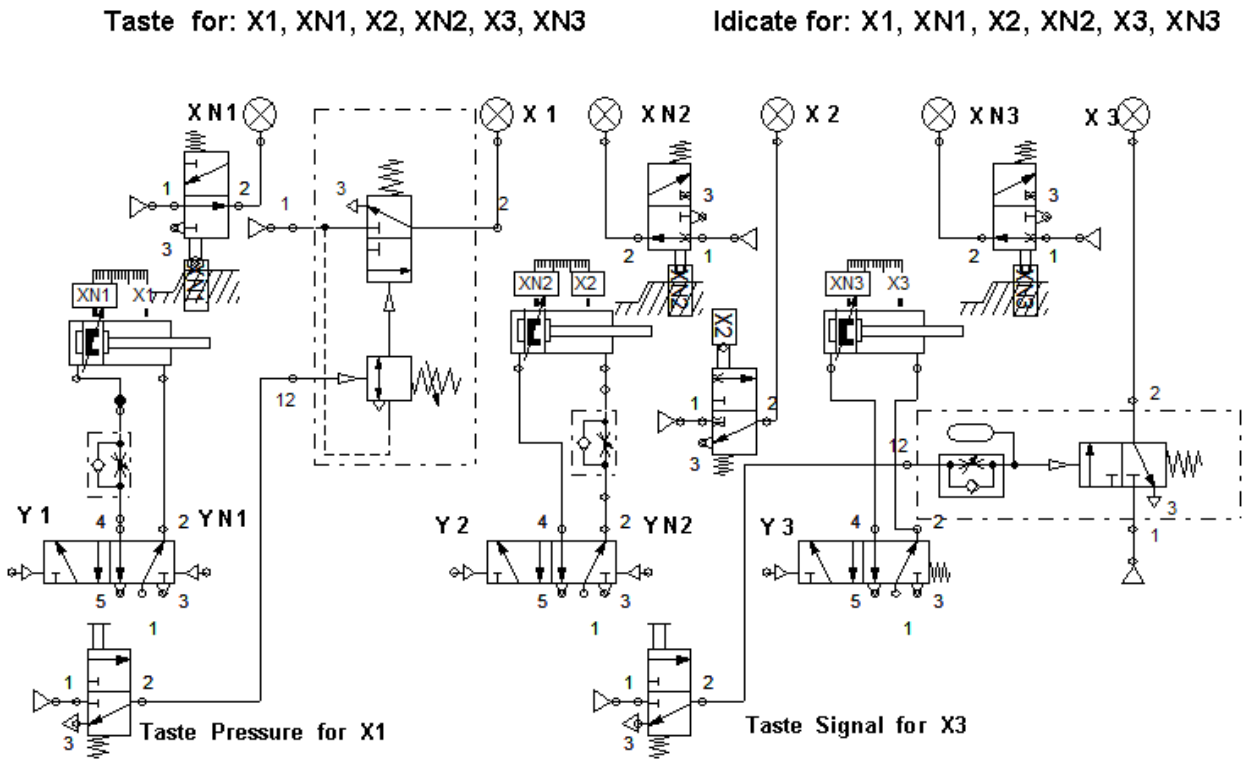


Рис. 7.2. Принципова схема складених функціональних модулів (без живлення) із тимчасовими доданими засобами тестування сигналів стану (індикаторні лампочки, тестове живлення). В системі використано: контроль за тиском (X1), контроль за часом (X3), контроль за положенням (XN1, XN2, X2, XN3), модулі 1 і 2 мають бістабільне керування, модуль 3 має моностабільне керування 5/2, в початковому стані всі штоки циліндрів втягнуті

В даному прикладі скористаємося відсутністю живлення засобів керування (клапанів 5/2) і пересуватимемо шток з копіром до натискання роликів кінцевих вимикачів (рис. 7.2).

Ознакою спрацювання кінцевих вимикачів вважаємо спрацювання індикаторних лампочок, під'єднаних до виходів кожного з кінцевих вимикачів. Таким чином, перевіряємо наявність чи відсутність сигналів контролю за відпрацюванням команд YN1, YN2, Y2 і N (Y3) за допомогою сигналів стану XN1, XN2, X2 і XN3. Таким чином залишились неперевіреними сигнали контролю X1 і X3.

Для перевірки сигналів контролю X1 і X3 застосовуємо додатковий, тимчасово під'єднаний елемент: пневматична кнопка, що надає тестовий сигнал відповідного рівня тиску.

Спочатку кнопку під'єднуємо до реле тиску. За натисканням кнопки перевіряємо і налаштовуємо реле тиску з виходу якого отримуємо сигнал X1. При відпусканні кнопки сигнал X1 має швидко зникати.

Далі під'єднуємо кнопку до входу реле часу. Натискаємо кнопку і утримуємо натиснутою на протязі часу, більшого за передбачений час контролю відпрацювання команди Y3. Індикаторна лампочка має засвідчити спрацювання реле часу і вироблення сигналу X3. Заміряємо час від натискання кнопки до спрацювання лампочки і налаштовуємо затримку часу реле за допомогою дроселя. При відпусканні кнопки сигнал X3 має швидко зникати.

Таким чином тестування засобів контролю дій всіх модулів системи завершена. Наступним кроком є перевірки відпрацювання модулями своїх основних і зворотних дій, тобто із залученням команд керування і взаємодією виконавчих пристроїв із засобами контролю.

Крок 3: перевірка засобів керування функціональних модулів, складених з виконавчих пристроїв із засобами контролю і керування

Для перевірки дій функціональних модулів за відсутності системи керування додаємо тимчасові засоби керування у відповідності із задіяними керуючими пристроями.

Оскільки в системі використано керуючі клапани з пневматичним керуванням без підсилення є можливість генерувати сигнали керування за допомогою нормально зачинених пневматичних кнопок на базі клапанів 3/2 з механічним керуванням, під'єднаних до загальної пневматичної мережі живлення (рис. 7.3).

Зважаючи на однакові параметри сигналів керування для всіх модулів системи можна використати однакові пристрої для їх генерування. Однак, враховуючи, що перевірку дій всіх модулів можна виконувати без узгодження їх впорядкування, застосовуємо послідовну перевірку дій всіх модулів. В наслідок цього при перевірці модулів немає необхідності мати одночасно декілька сигналів керування, це дозволяє застосувати одну пневматичну кнопку по черзі для перевірки відпрацювання дій всіх модулів.

Під час тестування здійснюємо по черзі під'єднання виходу тестової кнопки до входів сигналів до керуючих пристроїв Y1, YN1, Y2, YN2 і Y3. На рис. 7.3 кнопка під'єднана до команди Y1.

Бістабільне керування. Після короткочасного натискання кнопки для команд Y1, YN1, Y2, YN2 візуально спостерігаємо за рухом виконавчого

пристрою (штоку циліндра) і контролюємо спрацювання засобів контролю сигналів X1, XN1, X2, XN2. Оскільки попередньо було перевірено спрацювання всіх засобів контролю, то у випадку відсутності їх спрацювання під дією виконавчих пристроїв налагоджуємо взаємодію чутливих елементів кінцевих вимикачів з копірами виконавчих пристроїв. Тестування завершуємо після спрацювання всіх кінцевих вимикачів і реле тиску.

Моностабільне керування. Після тривалого натискання кнопки для команди Y3 візуально спостерігаємо за рухом виконавчого пристрою (штоку циліндра) і очікуємо на спрацювання засобу контролю – реле часу X3 через встановлений термін. Після спрацювання лампочки вивільняємо кнопку, спрацьовує пружина клапану і пристрій виконує зворотну дію. Очікуємо на отримання сигналу XN3 від кінцевого вимикача. Налагодження цього сигналу здійснюємо так само, як і в попередніх тестуваннях модулів. У разі невідповідності терміну спрацювання реле часу X3 і технічного завдання, регулюємо дросель в реле часу і повторно перевіряємо термін спрацювання.

Після завершення тестувань спрацювання модулів за поданими сигналами керування вважаємо, що всі функції системи, що задіяні в технологічному циклі, виконані у відповідності із завданням. Залишилось автоматизувати їх взаємодію, тобто, додати схемну реалізацію логічних виразів команд керування.

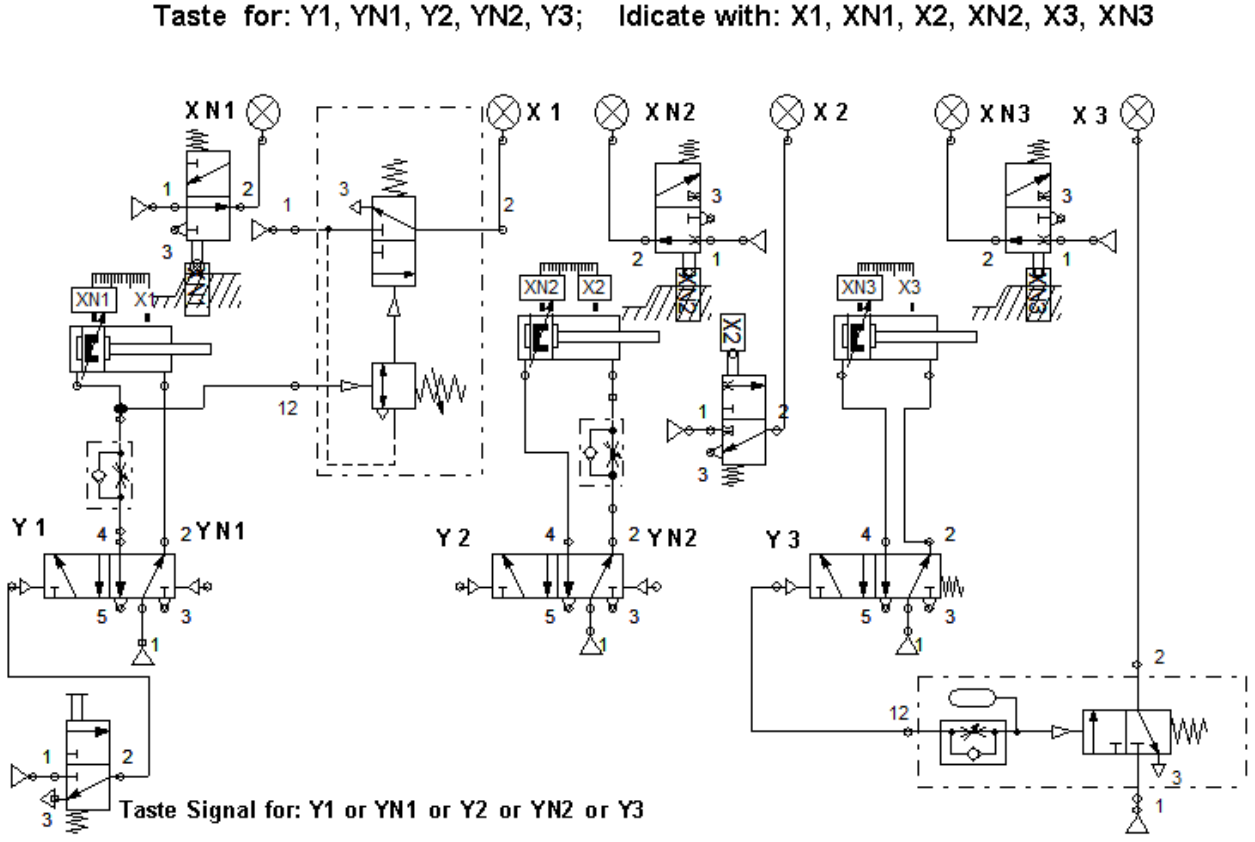


Рис. 7.3. Принципова схема складених функціональних модулів із засобами їх тестування (кнопка без фіксатора, індикатори сигналів датчиків). В системі використано: контроль за тиском (X1), контроль за часом (X3), контроль за положенням (XN1, XN2, X2, XN3), модулі 1 і 2 мають бістабільне керування, модуль 3 має моностабільне керування 5/2, додана кнопка TASTE для подачі тестових сигналів на керуючі пристрої

Крок 4: перевірка об'єднання функціональних модулів в систему за допомогою логіки взаємодії у відповідності з логічними виразами команд керування.

Для перевірки взаємодії функціональних модулів під час відпрацювання технологічного циклу (рис. 7.4) додаємо схемну реалізацію логічних виразів команд керування, побудовану з раніш обраних технічних засобів та засобів комутації та передачі сигналів.

Оскільки в системі використано керуючі клапани з пневматичним керуванням, застосовуємо для схемної реалізації пневматичні клапани логічного множення, клапан логічного додавання і моностабільний нормально відчинений клапан 3/2 для виконання функції інвертування сигналу XN2 (рис. 7.4).

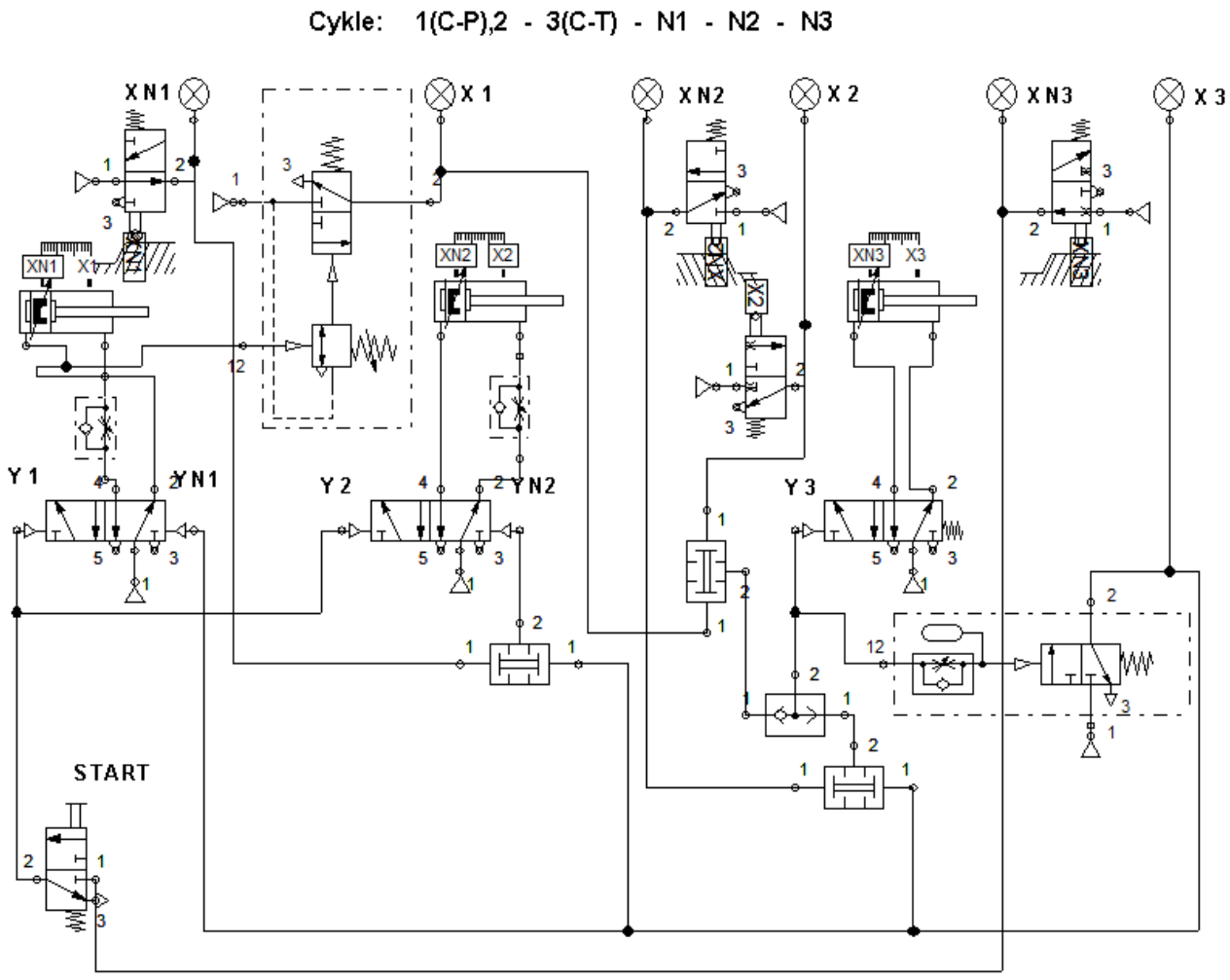


Рис. 7.4. Принципова схема складеної і налаштованої пневматичної системи без блоку керування експлуатацією, вмикання циклу відбувається шляхом розблокування команд до модулів 1 і 2 кнопкою START. В системі використано: контроль за тиском (X1), контроль за часом (X3), контроль за положенням (XN1, XN2, X2, XN3), модулі 1 і 2 мають бістабільне керування, модуль 3 має моностабільне керування 5/2

Для побудови ланцюгів керування (рис. 7.4) використовуємо результати логічного синтезу виразів команд керування:

$$Y1 \leftarrow XN3 * Xst$$

$$YN1 \leftarrow X3$$

$Y2 \leftarrow XN3 * Xst$

$YN2 \leftarrow XN1 * X3$

$Y3 \leftarrow X1 * X2 + X3 * N(XN2)$.

Враховуємо можливості локальної мінімізації системи керування.

Основні команди 1-го і 2-го модулів мають однаковий вигляд, тобто одна схема генерування сигналу команди може бути задіяна в командах основних дій модулів 1 і 2.

Інвертований в команді третього модуля сигнал XN2 більше ніде не використано. Це дозволяє поєднати виконання логічної функції інвертування із засобом контролю положення вихідної ланки модуля. В якості засобу контролю використано не нормально зачинений клапан 3/2 (кінцевий вимикач), а нормально відкритий клапан 3/2, який одразу надаватиме інвертований сигнал контролю N(XN2).

У вирази перших команд технологічного циклу додано сигнал з пульту керування Xst, який забезпечує вмикання системи, а за його відсутності – вимикання системи після доопрацюванням поточного циклу (рис. 7.4).

Крок 5: додавання в систему керування засобів для експлуатації системи. Для надання оператору можливості керувати роботою системи під час експлуатації додаємо до системи блок керування, який має забезпечувати передбачені в технічному завданні можливості (рис. 7.5).

Припустимо, що система має можливість відпрацьовувати необмежену кількість технологічних циклів після вмикання. За сигналом вимикання система має допрацювати поточний цикл і зупинитись в початковому стані для можливості повторного вмикання (рис. 7.5). Для реалізації вказаної функції, замість кнопки «START», задіяної на попередньому етапі тестувань, додаємо до системи схему генерування дозвільного сигналу на виконання перших дій технологічного циклу. Ця схема вміщує дві кнопки «START» і «STOP», елемент логічного додавання з моностабільним клапаном-повторювачем в ланцюгу самоблокування. Кнопка «START» побудована на базі нормально зачиненого клапану 3/2, а кнопка «STOP» побудована на базі нормально відчиненого клапану 3/2.

Для забезпечення режимів роботи системи в тривалому або одиничному циклі додаємо в лінію зворотного зв’язку в блоці керування додатковий клапан з фіксатором (CONT).

При не натиснутому клапані «CONT» лінія самопідхвату обірвана і система, за сигналом «START», відпрацює один цикл.

При натиснутому клапані «CONT» система, за сигналом «START», перейде в режим тривалого циклу.

Вихід з тривалого циклу може бути забезпечено або натисканням кнопки «STOP», або перемиканням клапану «CONT».

За необхідності в систему керування можуть бути додані засоби для покрокового відпрацювання технологічного циклу, для режиму паузи, для ручного керування чи аварійної зупинки системи (див. приклад в Розділі 6).

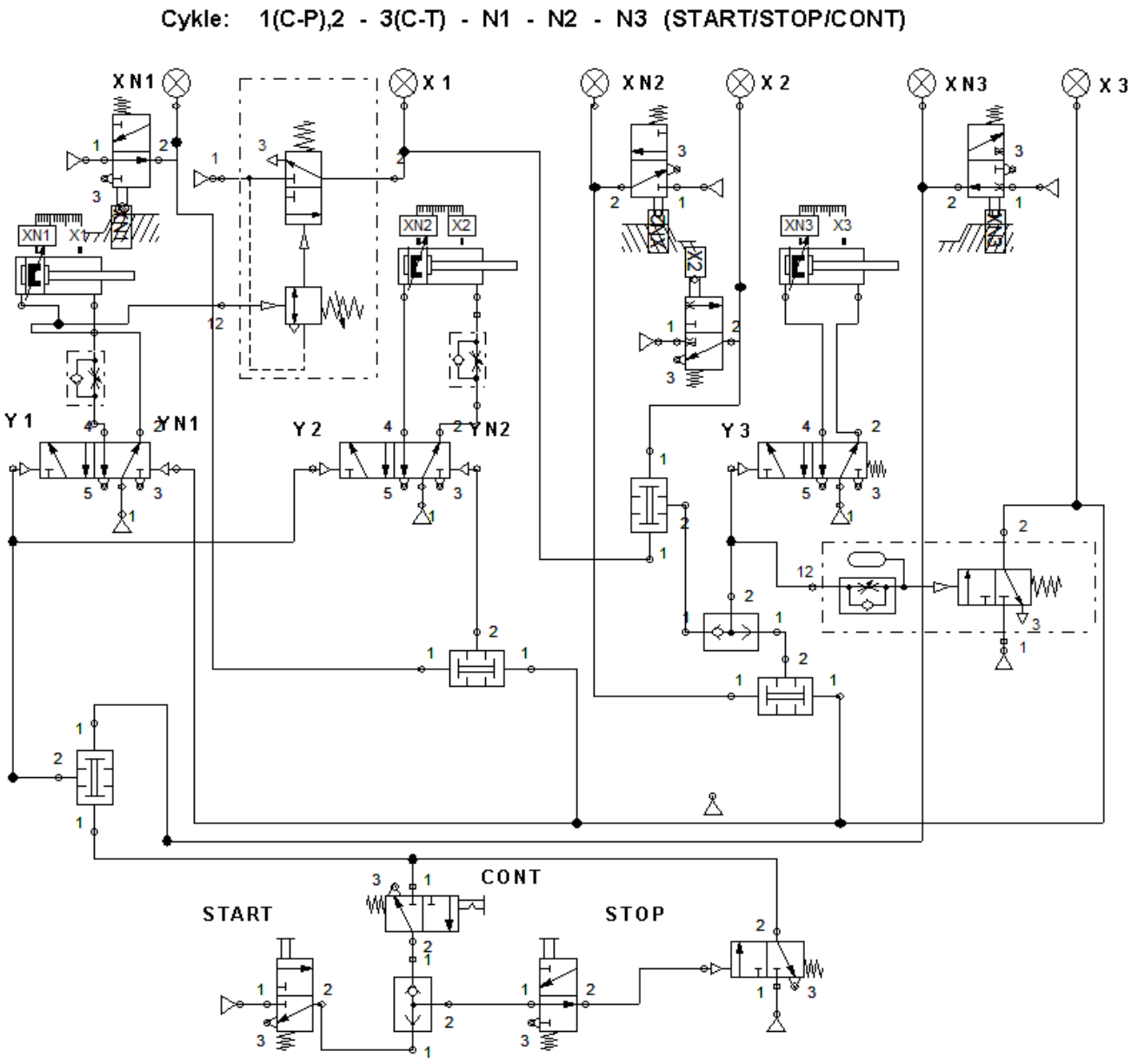


Рис. 7.5. Принципова схема складеної і налаштованої пневматичної системи з вмиканням і вимиканням режиму тривалого циклу. В системі використано:
контроль за тиском (X1), контроль за часом (X3),
контроль за положенням (XN1, XN2, X2, XN3),
вмикання відпрацювання циклу (START),
вимикання з доопрацюванням останнього циклу (STOP),
модулі 1 і 2 мають бістабільне керування,
модуль 3 має моностабільне керування 5/2

Але подальше ускладнення системи, з додаванням нових функцій, безпосередньо пов’язане з підвищенням вартості чи пониженням надійності, з одного боку, і зручним і безпечним керуванням з іншого боку, вибір за розробником.

На цьому складання, налагодження і тестування пневматичної циклічно-модульної системи можна вважати завершеним.

7.3. ЗАГАЛЬНА ПОСЛІДОВНІСТЬ СКЛАДАННЯ ЕЛЕКТРОРЕЛЕЙНОЇ ЦИКЛІЧНО-МОДУЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Складання електрорелейної системи керування пневматичними і гідравлічними пристроями відбувається помодульно, з перевіркою функцій кожного модуля (виконавчий пристрій, засоби керування, засоби контролю) з подальшим об'єднанням перевірених модулів в систему. Складання функціональних модулів для систем з електрорелейним керуванням майже тотожне до систем пневмоавтоматики і гідроавтоматики і тому не розглядатиметься окремо. Особливість складання систем гідроавтоматики перш за все пов'язана з використанням робочої рідини, значно більшим діапазоном змін тиску і гідравлічним опором пристроїв і каналів, який в сотні і тисячі раз перевищує опір пневмоавтоматики і може викликати непрацездатність правильно складеної системи. Ще одна відмінність полягає в особливості використання датчиків стану з електричними виходами, чому присвячено п. 1.1 методики складання.

7.3.1. Рекомендації щодо складання системи електрорелейного керування пневмоавтоматики (гідроавтоматики)

1. Складання функціональних модулів. (Підготовчий етап складання передбачає підрахунок кількості та типів необхідного обладнання електро-релейної схеми: додаткові реле, реле часу, елементи пам'яті, додаткові засоби контролю і керування (кнопки, індикатори), підрахунок кількості елементів виконуємо за результатами складання логічних виразів команд керування).

1.1. Встановлюємо виконавчі пристрої модулів системи, встановлюємо і під'єднуємо керуючі клапани до кожного виконавчого пристрою, встановлюємо і налаштовуємо допоміжні пристрої (клапани тиску, дроселі, регулятори та ін.), встановлюємо датчики контролю за відпрацюванням функцій.

1.2. В електросхемі монтуємо лінії живлення додаткових реле для сприйняття сигналів від датчиків-сенсорів всіх функціональних модулів в порядку їх нумерації, під'єднуємо до реле «-».

1.3. Далі – В електросхемі монтуємо лінії живлення додаткових реле для сприйняття сигналів від зовнішніх сигналів (СТАРТ, СТОП та інші), під'єднуємо до реле «-».

1.4. Далі – В електросхемі монтуємо лінії живлення для додаткових реле формування сигналів стану з сигналів датчиків та сенсорів, під'єднуємо до реле «-».

1.5. Далі – В електросхемі резервуємо лінії живлення для додаткових реле елементів пам'яті (з врахуванням кількості використаних ключів в командах керування), під'єднаємо до реле «-».

1.6. Далі – В електросхемі резервуємо лінії живлення для додаткових реле для реле часу і лічильників, під'єднаємо до реле «-».

1.7. Далі – В електросхемі резервуємо лінії живлення для додаткових реле електромагнітів клапанів в порядку нумерації модулів, під'єднаємо до реле «-».

1.8. Під'єднаємо «-» до всіх магнітів клапанів, під'єднаємо «-» до всіх сенсорів і датчиків (якщо це передбачено).

1.9. Під'єднаємо «+» до всіх сенсорів і датчиків (якщо це передбачено).

1.10. Подаємо живлення на всі засоби контролю і кнопки та пульти зовнішніх сигналів.

1.11. Перевіряємо спрацювання засобів контролю і відповідних до них додаткових реле шляхом імітації спрацювання виконавчих пристроїв, виправляємо у разі не спрацювання.

1.12. Подаємо пневматичне і гідравлічне живлення на всі засоби керування.

1.13. Перевіряємо спрацювання засобів керування і виконавчих пристроїв шляхом ручної подачі сигналів керування від електроконтактної кнопки до магнітів, виправляємо у разі неспрацювання (увага – може відбуватися рух виконавчих пристроїв!).

1.14. Перевіряємо по черзі спрацювання функціональних модулів шляхом ручної подачі сигналів керування від електроконтактної кнопки до магнітів клапанів і перевірки спрацювань додаткових реле контролю сигналів стану, виправляємо у разі неспрацювання.

2. **Об'єднання функціональних модулів в систему.** (Перевірку логіки спрацювань виконуємо візуально, можлива відеофіксація. Встановлення всіх модулів включно з елементами пам'яті в початковий стан є обов'язковим!).

2.1. Складаємо лінії керування основних і зворотних (якщо є) команд для наступного з модулів в порядку їх спрацювання в циклі.

2.2. Встановлюємо всі складені модулі в початковий стан.

2.3. Подаємо живлення на всі елементи системи, натискаємо кнопку ПУСК (якщо вона є).

2.4. Порівнюємо порядок спрацювань вже складених модулів системи із заданим технологічним циклом.

2.5. Якщо є невідповідність переходимо до пошуку помилок в лініях керування останнього складеного модуля, після виправлення повертаємось до п. 2.4. (всі модулі перевірені, помилка внесена в останній складеній ланці керування).

2.6. Оскільки цикл допрацьований в повному обсязі переходимо до складання схем багаторежимної експлуатації, наприклад, тривалого і одиничного циклу.

7.3.2. Приклад поетапного складання пневматичної циклічно-модульної системи з електрорелейним керуванням

Розроблена система електропневмоавтоматики призначена для відпрацювання наступного технологічного циклу із використанням пневматичного обладнання з електрорелейним керуванням (рис. 7.6):

1 ,2 - 3 - N3,N2 - N1 .

Крок 1: Встановлення виконавчих пристроїв із засобами контролю і керування. В якості виконавчих пристроїв застосовано наступні компоненти:

Модуль 1 циліндр двосторонньої дії з регулюванням швидкості висування штоку, початкове положення із втягнутим штоком.

Модуль 2 циліндр двосторонньої дії з пониженим тиском, початкове положення із втягнутим штоком.

Модуль 3 циліндр двосторонньої дії з незалежним регулюванням швидкості втягування і висування штоку, початкове положення із втягнутим штоком.

В якості засобів керування виконавчих пристроїв застосовано наступні компоненти:

Модуль 1 клапан 5/2 з бістабільним керуванням, команди Y1 і YN1.

Модуль 2 клапан 5/2 з бістабільним керуванням, команди Y2 і YN2.

Модуль 3 клапан 5/2 з моностабільним керуванням, команда Y3.

В якості засобів контролю дій виконавчих пристроїв застосовано наступні компоненти:

Модуль 1 основна дія, сигнал X1: контроль за положенням за допомогою кінцевого вимикача на основі нормально зачиненого контакту з механічним керуванням.

Модуль 1 зворотна дія, сигнал XN1: контроль за положенням за допомогою кінцевого вимикача на основі нормально розімкненого контакту з механічним керуванням.

Модуль 2 основна дія, сигнал X2: контроль за тиском в поршневій порожнині за допомогою нормально розімкненого пневмоелектричного реле тиску з додатковим контролем положення за допомогою кінцевого вимикача на основі нормально розімкненого контакту з механічним керуванням.

Модуль 2 зворотна дія, сигнал XN2: контроль за положенням за допомогою кінцевого вимикача на основі нормально розімкненого контакту з механічним керуванням.

Модуль 3 основна дія, сигнал X3 : контроль за положенням за допомогою кінцевого вимикача на основі нормально розімкненого контакту з механічним керуванням.

Модуль 3 зворотна дія, сигнал XN3: контроль за положенням за допомогою кінцевого вимикача на основі нормально розімкненого контакту з механічним керуванням.

Всі засоби контролю облаштовано світлодіодними лампочками-індикаторами наявності/відсутності сигналу.

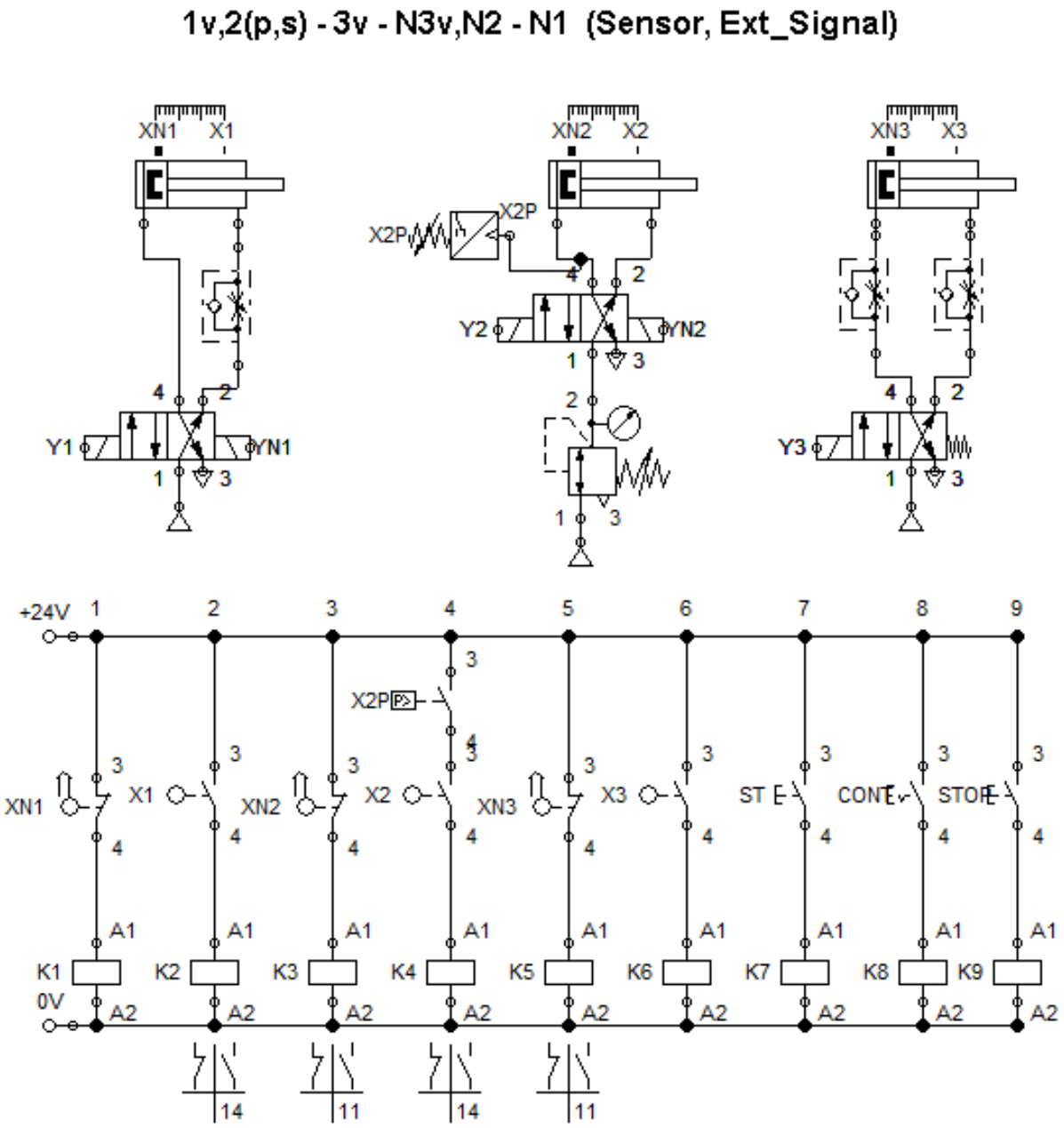


Рис. 7.6. Принципова схема комплекту пневматичних виконавчих пристроїв із встановленими засобами керування і контролю. В системі використано: одночасний контроль за тиском і положенням (X2ps лінія 4), регулювання швидкості (Y2v, Y3v, YN3v), понижений тиск (Y2, YN2), контроль положення (X1, XN1, XN2, X3, XN3), модулі 1 і 2 мають бістабільне керування, модуль 3 має моностабільне керування 5/2, додаткові кнопки для зовнішніх сигналів ST, CONT, STOP

В системі встановлено три кнопки для зовнішніх сигналів: вмикання (ST), вимикання (STOP) і переходу від роботи в одиничному циклі до роботи в тривалому циклі (CONT).

До засобів контролю і засобів керування підведено живлення для можливості перевірки дій функціональних модулів.

Крок 2: перевірка дії засобів контролю дій функціональних модулів, складених з виконавчих пристроїв із засобами контролю і керування.

Оскільки до засобів контролю підведено живлення, то для можливості

перевірки їх спрацювання, необхідно імітувати спрацювання виконавчих пристроїв функціональних модулів (рис. 7.7). Перевірці підлягають датчики положення і реле тиску.

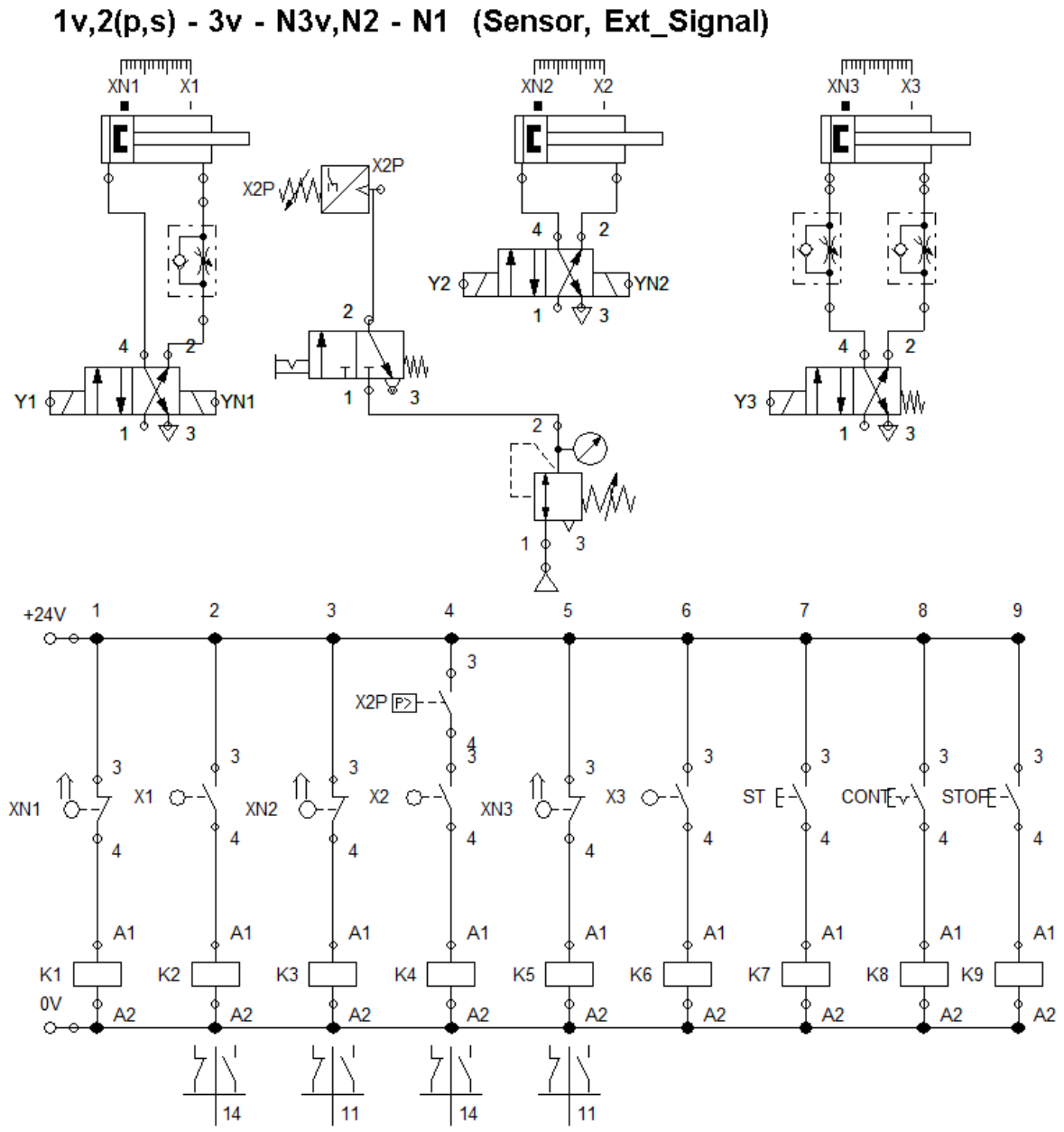


Рис. 7.7. Принципова схема перевірки роботи засобів контролю і зовнішнього керування. В системі використано: одночасний контроль за тиском і положенням (X2ps лінія 4), контроль положення (X1, XN1, XN2, X3, XN3), додано пневматичний перемикач для підведення тиску до реле тиску, знято пневматичне живлення засобів керування, додаткові кнопки для зовнішніх сигналів ST, CONT, STOP,

Для імітації спрацювання засобів контролю положення (кінцевих вимикачів) достатньо виконати механічне навантаження чутливих елементів цих пристроїв (натискачів). Це можна зробити шляхом пересування вихідної ланки виконавчих пристроїв (за умов відсутності живлення тиском), або шляхом контактного натискання чутливих елементів вимикачів, або шляхом ручного керування клапанами (при наявності тиску) за допомогою дублюючих засобів ручного керування.

В даному прикладі скористаємося відсутністю пневматичного живлення засобів керування (клапанів 5/2) і пересуватимемо шток з копіром до натискання роликів кінцевих вимикачів (рис. 7.7). Ознакою спрацювання кінцевих вимикачів вважаємо спрацювання індикаторних лампочок кінцевих вимикачів та реле тиску (на схемі не показано). Так само перевіряємо наявність чи відсутність сигналів контролю за відпрацюванням команд YN1, YN2, Y2 і N (Y3) за допомогою сигналів від кінцевих вимикачів XN1, XN2, X2 і XN3 та X3.

Залишились неперевіреними сигнали контролю від реле тиску. Для цього, шляхом перемикання допоміжного клапану з ручним керуванням, подаємо тиск на реле тиску. Налаштовуємо необхідний тиск на редукційному клапані і налаштовуємо контрольне значення тиску на реле тиску. За умов одночасного спрацювання реле тиску і кінцевого вимикача X2 має перемикатись допоміжне реле К4. Перевіряємо це за допомогою світлодіодних лампочок контролю за спрацюванням реле (на схемі не показано).

Таким чином тестування засобів контролю дій всіх модулів системи завершена. Наступним кроком є перевірки відпрацювання модулями своїх основних і зворотних дій, тобто, із залученням сигналів керування і взаємодією виконавчих пристроїв із засобами контролю.

Крок 3: перевірка дії засобів керування функціональних модулів, складених з виконавчих пристроїв із засобами контролю і керування. Для перевірки дій функціональних модулів, за відсутності системи керування, додаємо тимчасові засоби керування у відповідності із задіяними керуючими пристроями.

Оскільки в системі використано керуючі клапани з електромагнітним керуванням є можливість генерувати сигнали керування для всіх команд за допомогою нормально розімкнених ключів кнопок (рис. 7.8). Для цього до всіх керуючих магнітів підводимо «-» на постійній основі і по черзі подаємо «+» за допомогою додаткової кнопки.

Під час тестування здійснюємо по черзі під’єднання виходу тестової кнопки до входів магнітів керуючих пристроїв Y1, YN1, Y2, YN2 і Y3.

Бістабільне керування. Після короткочасного натискання кнопки для команд Y1, YN1, Y2, YN2 візуально спостерігаємо за рухом виконавчого пристрою (штоку циліндра) і контролюємо спрацювання засобів контролю сигналів X1, XN1, X2 (положення, контроль тиску), XN2. Позитивним результатом перевірки вважаємо спрацювання додаткових реле: X1 - К2, XN1 - К1, X2 (положення, контроль тиску) - К4, XN2 - К3. Спрацювання реле засвідчує спрацювання індикаторних лампочок.

Оскільки попередньо було перевірено спрацювання всіх засобів контролю, то у випадку відсутності спрацювання реле під дією виконавчих пристроїв налагоджуємо взаємодію чутливих елементів кінцевих вимикачів з копірами виконавчих пристроїв та тиску в реле тиску і тиску редукційного клапану.

Тестування завершуємо після спрацювання всіх допоміжних реле, що дублюють сигнали від датчиків та сенсорів.

Моностабільне керування. Після тривалого натискання кнопки для

команди Y3 візуально спостерігаємо за рухом виконавчого пристрою (штоку циліндра) і очікуємо на спрацювання засобу контролю – кінцевого вимикача X3. Після спрацювання лампочки-індикатора допоміжного реле до X3 вивільняємо кнопку. Після цього спрацьовує пружина клапану і виконавчий пристрій виконує зворотну дію.

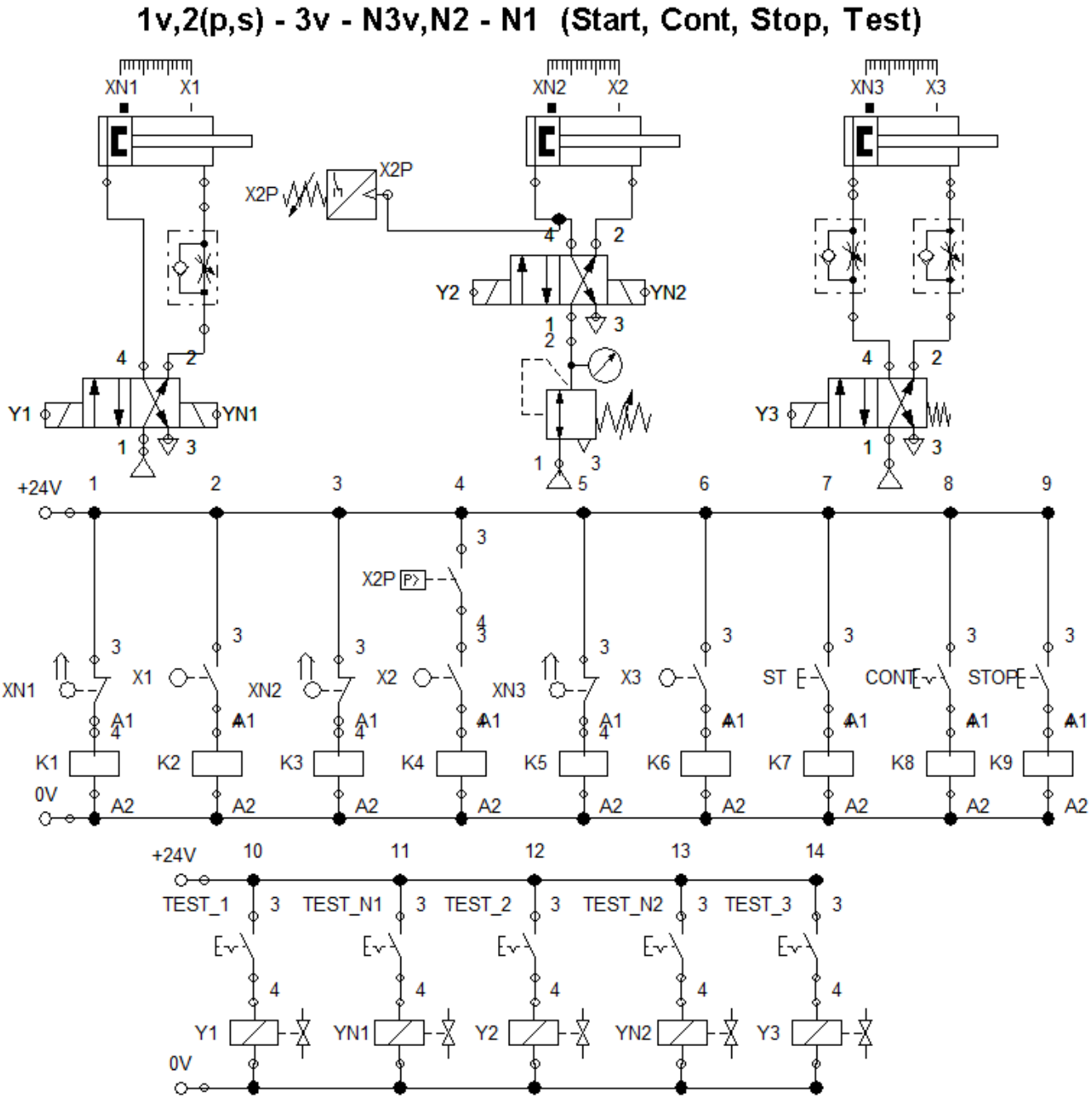


Рис. 7.8. Принципова схема перевірки дії засобів керування виконавчих пристроїв із засобами контролю. В системі використано: одночасний контроль за тиском і положенням (X2ps лінія 4), контроль положення (X1, XN1, XN2, X3, XN3), надано пневматичне живлення засобів керування, додаткові кнопки для генерування сигналів керування магнітами клапанів: Y1, YN1, Y2, YN2, Y3

Очікуємо на отримання сигналу XN3 від кінцевого вимикача і підтвердження спрацювання допоміжного реле за допомогою індикаторної лампочки.

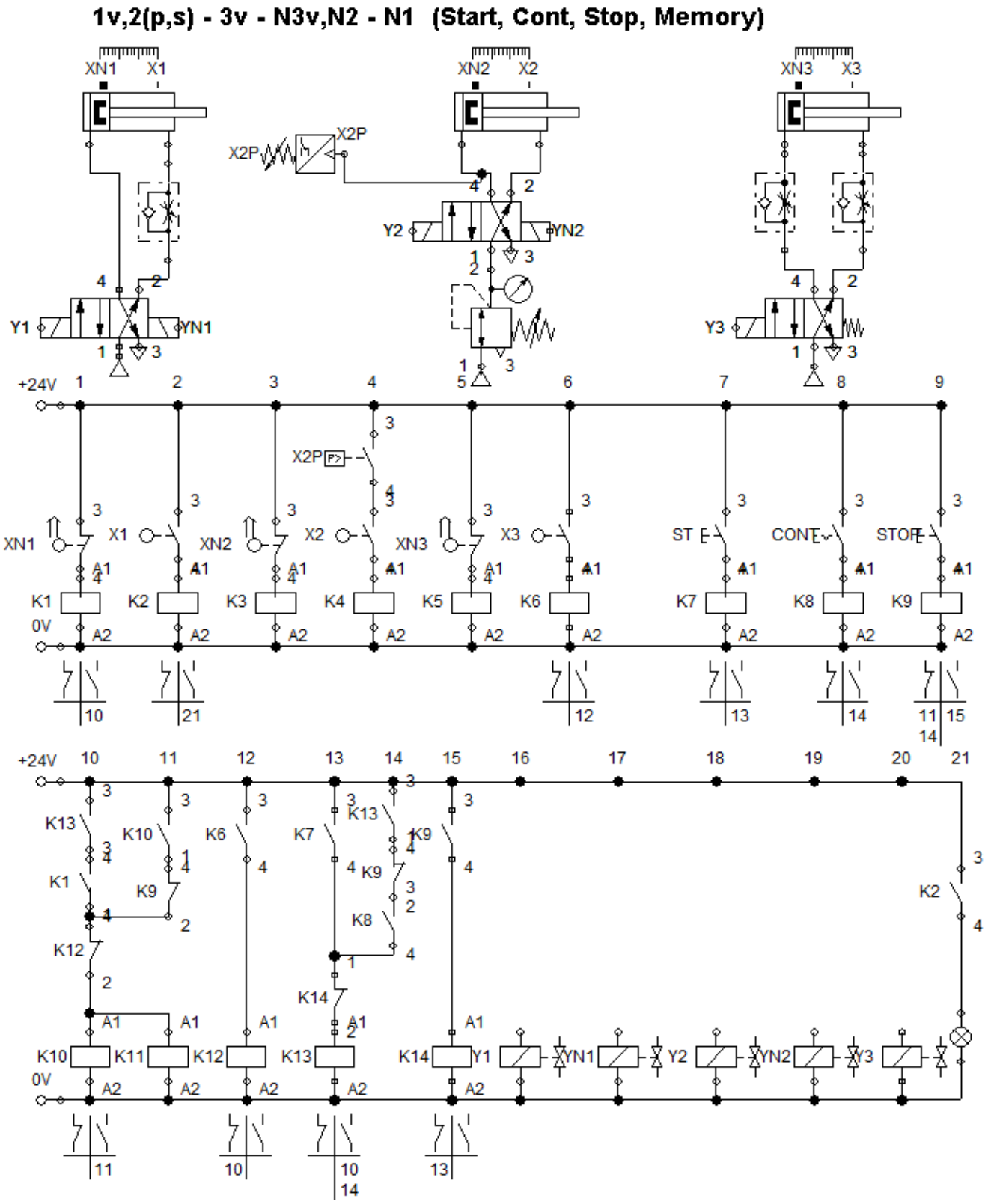


Рис. 7.9. Принципова схема перевірки роботи елементів пам'яті та блоку вмикання/вимикання системи за допомогою сигналів ST, CONT, STOP та імітації спрацювання датчиків

Налагодження цього сигналу здійснюємо так само, як і в попередніх тестуваннях модулів. Після завершення тестувань виконавчих пристроїв за поданими командами керування вважаємо, що всі функції системи, що задіяні в технологічному циклі, виконані у відповідності із завданням.

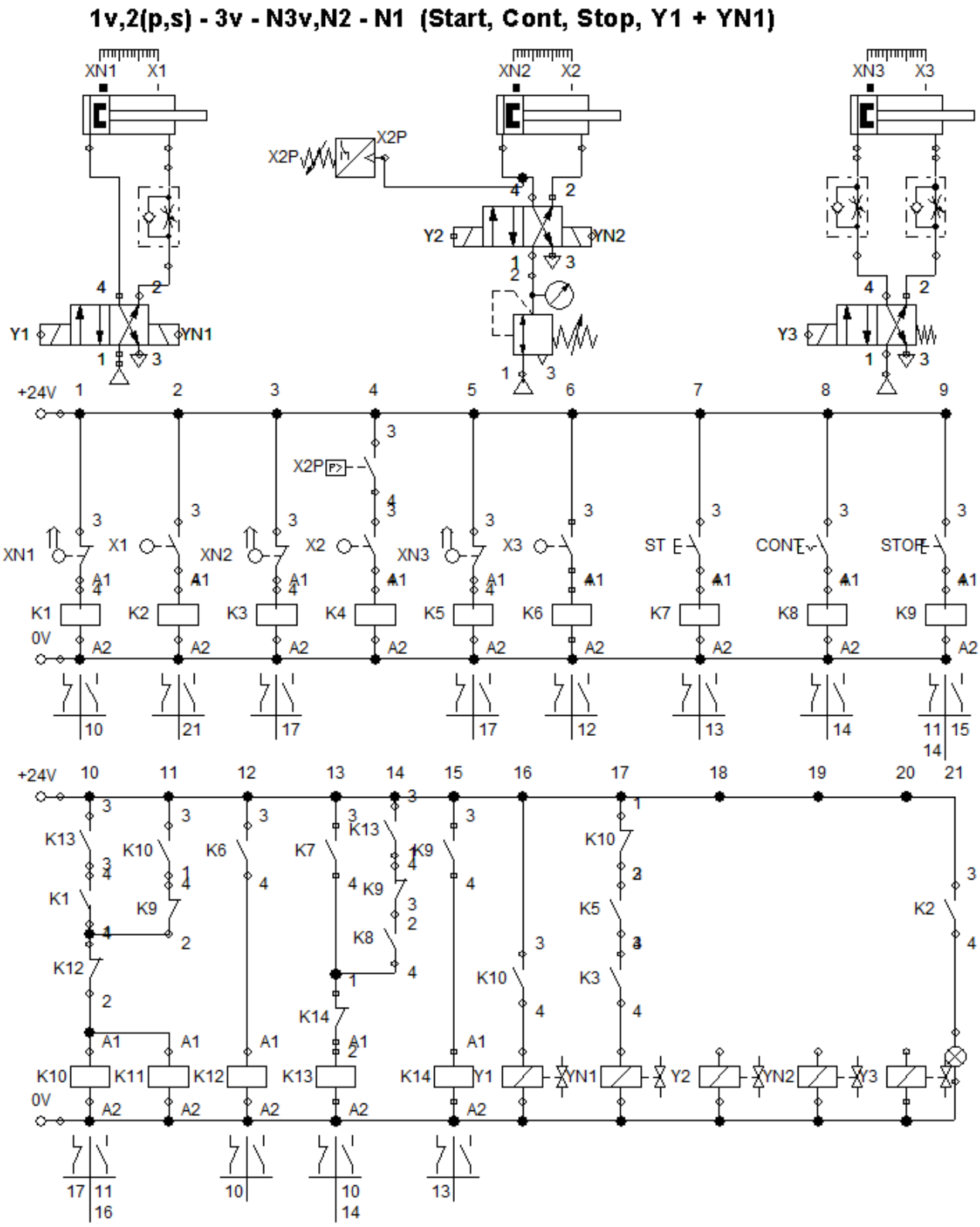


Рис. 7.10. Принципова схема перевірки роботи системного модуля №1 з імітацією відпрацювання технологічного циклу, елементи пам'яті відпрацьовують за імітацією сигналів стану модулів системи

Залишилось автоматизувати їх взаємодію, тобто, додати елементи пам'яті і схемну реалізацію логічних виразів команд керування (рис. 7.10). Додавання елементів пам'яті дозволяє перевірити коректність їх встановлення шляхом

імітації спрацювань всіх інших модулів системи. Здійснюючи послідовну імітацію спрацювання датчиків стану, у відповідності з технологічним циклом, здійснюємо перевірку логічних команд вмикання/вимикання елементів пам’яті.

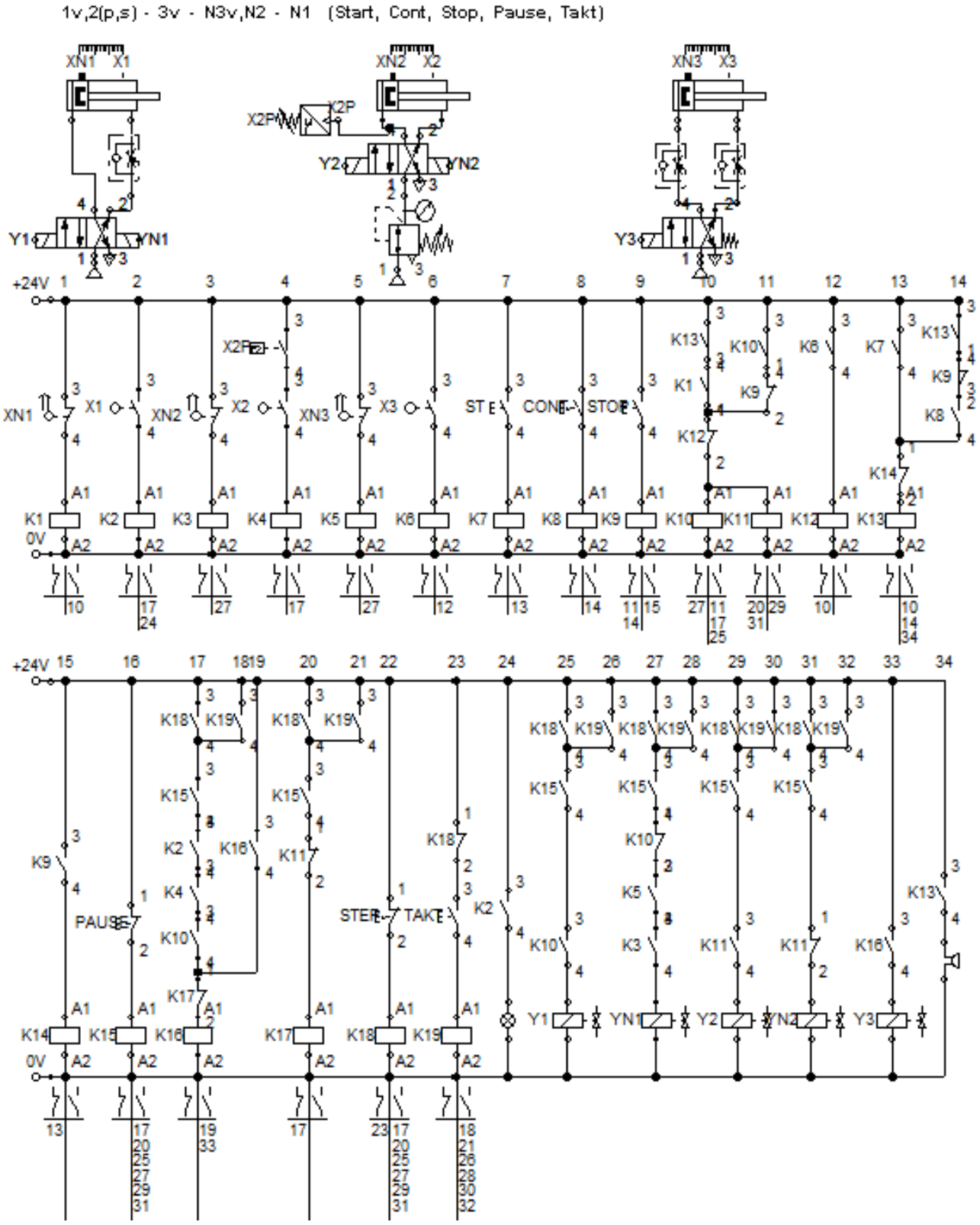


Рис. 7.11. Принципова схема перевірки відпрацювання технологічного циклу: в системі керування забезпечено режими призупинки роботи (лінія 16, PAUSE), покрокової роботи (лінії 22, 23, STEP, TAKT) одиничного і тривалого циклу (лінія 8, CONT)

Для цього укладаємо схеми ланцюгів керування елементів пам’яті з використанням сигналів стану інших модулів системи та елемента, відповідального за вмикання та вимикання системи (рис. 7.10).

Крок 4: перевірка об’єднання функціональних модулів в систему за допомогою логіки взаємодії у відповідності з логічними виразами команд керування. Аналогічно відбувається по-модульне тестування всієї системи з почерговим підключенням всіх функціональних модулів до ланцюгів керування, побудованих за логічними виразами команд керування (аналогічно до рис. 7.10, схема тестування модуля №1).

Послідовно здійснюється тестування всіх інших модулів системи. По завершенні тестування останнього модуля можна сказати, що логічний синтез виконано коректно і система є придатною до відпрацювання технологічного циклу. Для більшої впевненості бажано здійснити пробне відпрацювання декількох циклів, далі – вимкнути систему, і далі поновити роботу системи в тривалому циклі.

Крок 5: додавання в систему керування засобів для експлуатації системи. Наступним кроком є доповнення системи керування засобами експлуатаційного керування, тобто додатковими сервісними функціями чи режимами, які передбачено в технічному завданні. Для наведеного прикладу такими сервісними режимами обрано режим пауза і режим покрокового відпрацювання. Обидва режими потребують одночасного втручання в ланцюги керування всіх модулів системи, для чого в схему додаються допоміжні реле і елементи пам’яті (рис. 7.11). Лінії від 16 до 21 забезпечують призупинку роботи системи (режим ПАУЗА). Додатковий елемент пам’яті (лінії 17 – 21) побудований у вигляді дублюючого бістабільного керування для модуля №3, що має моностабільне керування. Це забезпечує коректну призупинку роботи пристрою з моностабільним керуванням (Y3).

Лінії 22 і 23 застосовано для покрокового відпрацювання технологічного циклу. Тобто, при натиснутій кнопці з фіксатором STEP кожне короткочасне натискання кнопки ТАКТ оновлює сигнали команд у відповідності з поточними змінами сигналів стану. Таким чином забезпечено відпрацювання одного такту в технологічному циклі. Лінії 24 і 34 є допоміжними індикаторами роботи системи: лампочка засвідчує спрацювання першого модуля, а зумер діє під час знаходження системи в технологічному циклі.

7.3.3. Особливості електрорелейного керування для систем дискретної гідроавтоматики

Особливості керування для систем гідроавтоматики здебільшого мають коріння в особливостях і властивостях виконавчих пристроїв і варіантах та засобах керування ними [11, 12, 13, 183]:

- маса рухомих елементів гідравлічних виконавчих пристроїв є занадто великою, щоб можна було здійснювати пересування вихідної ланки вручну;

- для систем з одночасним спрацюванням декількох виконавчих пристроїв різного розміру чи з різними зусиллями вихідної ланки повинна бути реалізована система забезпечення різних рівнів робочого тиску;
- для систем з одночасним спрацюванням декількох виконавчих пристроїв різного розміру чи з різним швидкостями вихідної ланки повинна бути реалізована система забезпечення сумарної витрати робочої рідини;
- для систем з індивідуальним та одночасним спрацюванням декількох виконавчих пристроїв повинна бути реалізована система розвантаження насосної станції при роботі одного виконавчого пристрою;
- гідравлічна система повинна бути додатково оснащена системою очистки робочої рідини від забруднень (механічних, води, повітря);
- гідравлічна система повинна бути додатково оснащена системою підтримки температурного режиму робочої рідини (нагрів та охолодження).

В системах дискретної гідроавтоматики, внаслідок перелічених та інших властивостей гідравлічних систем і їх пристроїв, коректна принципова схема не забезпечує працездатність системи [28, 29, 30, 31]. Можуть виявитися такі режими роботи системи, при яких будуть порушені співвідношення витрати і тиску, що призведе до втрати працездатності, наприклад, розподільчого клапану з підсилювачем чи клапану тиску. Додатково подібним проблемам сприяє різноманіття технічних засобів в гідроприводі, яке в декілька разів перевищує цей показник для пневмоприводу.

Таким чином, засоби гідроавтоматики мають декілька суттєвих відмінностей, які впливають на складання і налагодження систем керування:

- скидання робочої рідини в гідроприводі здійснюється під тиском в зливні лінії, через які рідина потрапляє до баку (в пневматичних система, найчастіше, відбувається скидання повітря в атмосферу);
- гідравлічний опір трубопроводів та клапанів є занадто великим, щоб можна було здійснювати пересування вихідної ланки вручну;
- керуючі електромагніти клапанів потребують значно більшої потужності у порівнянні з пневмоприводом;
- застосування трипозиційних клапанів з перекритим центром блокують рух вихідної ланки при відсутності сигналу керування;
- застосування трипозиційних клапанів з розвантаженим центром знижують тиск в системі, що блокує роботу клапанів з гідравлічним підсиленням;
- використання керування за тиском унеможливлює спрацювання клапанів при пониженому тиску в системі;
- використання клапанів з гідравлічним підсиленням, які не спрацьовують за електричними сигналами керування при відсутності належного тиску в системі.

В наслідок переліченого, на підвищену увагу заслуговують питання безпеки пуско-налагоджувальних робіт в системі.

При реалізації налагоджувальних робіт можна частково їх виконувати для окремих виконавчих пристроїв та модулів системи. Наприклад, налаштування клапану тиску можливо виконати в окремій спрощеній схемі. В систему клапан встановлюють вже налаштованим на потрібний тиск, або на клапані нанесено позначку, на яку його потрібно встановити в системі. Так само можуть бути налаштовані клапани витрати, реле тиску, реле часу, витратоміри і інше обладнання.

На роботу гідравлічного обладнання може суттєво впливати температура рідини. Так зниження температури, нижче передбаченої, може викликати збільшення втрат тиску в лініях в декілька разів, тобто тиск, який буде підходити до підсилювача клапану з електромагнітним керуванням, виявиться недостатнім для його спрацювання. Але з часом тиск в глухій камері зросте і клапан спрацює, але одразу після відкриття клапану (збільшення витрат) тиск понизиться і клапан знову закриється. Тобто, в системі почнеться коливальний процес.

Одночасна робота декількох модулів може викликати неспрацювання і в електричній частині системи керування. В момент подачі керуючого сигналу на магніт клапана споживана потужність має більше значення, ніж після спрацювання клапану. В такому випадку, при одночасному поданні сигналів команд на декілька клапанів, їх сумарна споживана потужність може перевищити допустимі параметри джерела живлення. Тобто, світлодіодні індикатори клапанів та реле, через яке відбувається живлення, вказують на наявність команд. Але виконавчі пристрої залишаються нерухомими, бо фактичного перемикання клапанів не відбулося. В подібному випадку перевірка принципової схеми і анімація її роботи матимуть позитивний результат, а реальна система не працюватиме.

Деякі типові принципові рішення систем гідроприводу, з гідравлічним і електрорелейним керуванням, наведені в розділі «Приклади будови функціональних і системних модулів» та «Приклади будови систем і алгоритмів керування».

ПІДСУМОК

Не порушуватимемо сучасні традиції і звернемося до Інтернету та побачимо:

«… особливість підходу обумовлена новим поколінням технічних засобів реалізації, що породили відповідні принципи організації технічних систем. До переліку вказаних засобів і принципів належать наступні:

- електроні сенсорні пристрої;
- комп'ютерні засоби обробки інформації та керування;
- стандартні та спеціальні електро-пневмо-гідро-механічні приводи;
- виконавчі та технологічні пристрої та устаткування;
- індивідуальне комп'ютерне керування модулями і агрегатами;
- інформаційні технології будови інтелектуальних механічних систем.

Бажано підкреслити, що на ділі підхід зарекомендував себе як універсальний та широко вживаний в машинах і системах різного призначення. Втім маємо відзначити, що забезпечити дійсно високу якість керування мехатронною системою можливо тільки з врахуванням конкретного керованого об'єкта. Тобто вивчення мехатроніки бажано здійснювати за певними спеціалізаціями, предметом розгляду яких є конкретні класи машин та процесів».

Але час змінює не тільки технічні засоби, але і розуміння того явища, що спостерігає сучасний «творець» новітньої техніки. Поруч з швидким, можна сказати революційним, проникненням штучного інтелекту в різні задачі та сфери діяльності, відбувається поступове, еволюційне, усвідомлення природнього інтелекту технічних об'єктів. Робокари, літаки, штучне серце, екзоскелети, «розумний дім», вітростанції, логістичні мережі і багато інших творінь людини, хоч і є «рукотворними», але мають в своїй основі фізичні, механічні, електричні, оптичні та інші природні явища. Навіть інформаційні системи та технології не існуватимуть поза природніх законів збереження, трансформації, проникнення, переносу, «кристалізації», відокремлення, успадкування, злиття, накопичення та інших.

Уявлення, що системі керування достатньо подати «команду» і техніка її виконає, поступово замінює розуміння, що це техніка надає можливість системі керування подати таку команду і в такий час, що вона буде виконана. І саме в цьому розумінні природніх можливостей техніки можна побачити її природній інтелект.

Чи можна керувати тим, чого не розумієш? З огляду на досвід – можна. Це відбуватиметься за схемою «спроб і помилок», і позитивні результати підсилюють впевненість користувача, що керування вийшло вдале. Інколи такий підхід є виправданим і результат доволі корисним, але інколи, наприклад в літакобудуванні чи медицині, є доволі ризикованим. Саме так, без усвідомлення «механізму» формування і функціонування ДНК і генетики, багато сучасних досягнень були би просто неможливими, або випадковими.

Приблизно так, на наш погляд, виглядають дві основних тенденції в розвитку техніки автоматизації.

Перша тенденція спирається на накопичений позитивний досвід вирішення аналогічних задач. Він надає підґрунтя для використання статистичних методів, ієрархічних та нейронних мереж, застосування принципу «роби як я» і штучного інтелекту для формування технічних рішень.

Друга тенденція бере за основу той факт, що в замкненій технічній системі нічого не відбувається випадково і будь який результат впливає на подальший перебіг подій.

Другий варіант потребує розуміння внутрішніх логічних зв'язків між перетвореннями, що відбуваються в технічній системі. Наприклад, додавання повітря в балон призведе до зростання тиску, бо об'єм той самий, а повітря стає більше. А збільшення кількості повітря призведе до підвищення густини і температури (спільне помешкання для більшої кількості молекул). А підвищення температури призведе до додаткового підвищення тиску, і так до встановлення певної рівноваги, яку називають адіабатним процесом. Технічна система врахує і збільшення густини повітря, і підвищення температури, і додаткове збільшення тиску, і час, який буде витрачено на ці процеси. І кожна зміна викликатиме в системі дії - відповіді. Наприклад - спрацювання запобіжного клапану, вмикання системи охолодження, спрацювання пресового обладнання.

За аналогічною схемою може бути розглянута автоматична мехатронна система. Якщо вже подана заготівка, вона зафіксована, виконане змащування, тиск в системі достатній, тобто є всі передумови для штампування, то штампування відбудеться так само неминуче, як за умов сили, прикладеної до маси, з'явиться прискорення. От тільки сила в даному випадку логічна, а прискорення є реакцією системи на силу. Розробнику мехатронної системи потрібно тільки побудувати логічні передумови та перекласти їх на мову мехатроніки, тобто донести цю «логічну силу» до конкретних пристроїв механічної системи. Фактично має відбутись спряження двох суміжних сегментів одного інтелектуального об'єкта: логіки організації технологічного процесу і логіки функціонування механічної системи.

Як підказує досвід розробників, кожна реальна задача є унікальною зі своїми особливостями, передумовами, терміном, бюджетом, персоналом і багато чим іншим. Тому сподіватись на створення якогось універсального підходу до синтезу всіх систем мехатроніки марно. Але користь в гарному наборі інструментальних засобів є. На окремих етапах створення системи буде використано досвід попередніх рішень, наприклад, підбір виконавчих та керуючих пристроїв для виконання аналогічних технологічних операцій. На інших етапах рішення будуть запозичені з інших галузей, наприклад, сенсорний і візуальний контроль та прогнозування наступних дій в системі керування.

Але в будь якому разі система не зможе функціонувати порушуючи фізичні закони механічного об'єкту. Якщо була додана енергія, вона має бути на щось витрачена, якщо відбулось завантаження, то має бути і вивантаження. Як раз тут може бути корисним циклічно-модульний підхід, який каже, що систему складають тільки циклічні модулі але з необмеженим різноманіттям функцій: запам'ятав – забув, увімкнув – вимкнув, притиснув – вивільнив, завантажив –

відвантажив, прискорився – пригальмував, відчинив – зачинив, перемістився – повернувся, занурив – підняв і так далі відповідно до операцій кожного технологічного процесу. Далі – методики циклічно-модульного синтезу – від формального опису до технології складання і налагодження системи.

Якщо створена система відповідає всім вимогам замовника і якісно відпрацьовує технологічний процес, то штучне впровадження циклічно-модульного підходу нічого корисного не додає. Проте деякі нові функції, які забезпечують додаткові опції, можуть мати вигляд підсистем з циклічно-модульною будовою.

Починати використання нового інструментарію бажано з малого, наприклад, створення малих засобів автоматизації (робот-косарка), додаткових макромодулів до існуючих об’єктів (модуль вихідного контролю), реінжинірингу систем керування (перехід з РКС на PLC). Проте жодні поради, книги, Інтернет, відео, інтерактивні засоби навчання не замінять контакт з реальним обладнанням. Пневматичний маніпулятор, що вправно утримує і куряче яйце, і цукерки, і таблетки на фармацевтичній фабриці, і майже миттєво перестрибує на наступну позицію, або гідропривід, що з легкістю керує кутом атаки 70 метрової лопаті вітротурбіни, що рухається майже зі швидкістю звуку, або сервопривод з пропорційним керуванням, який повторює рухи руки людини, а також сенсори, адаптери, контролери, компаратори, датчики і інші компоненти, що забезпечують спілкування механічного і людського інтелекту. Це технічні стейкхолдери, яких необхідно розуміти і з якими треба співпрацювати при створенні корисної і зрозумілої інтелектуальної механічної системи.

Остання порада – найкращий експерт з оцінки кваліфікації розробника – технічні засоби і реальні системи, що вийшли з під його рук. Спробуйте працювати з ними наче з компаньйонами, не бійтеся відчути себе ніби то студентом на заліку при спілкуванні з природнім інтелектом механізмів, сенсорів, контролерів, принципових схем, алгоритмів – скористайтесь їх досвідом і порадами.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Agostini, T., De Negri, V., Minav, T., & Pietola, M. (2020, February). Effect of energy recovery on efficiency in electro-hydrostatic closed system for differential actuator. In Actuators (Vol. 9, No. 1, p. 12). MDPI.

2. Andreja Rojko. Industry 4.0 Concept: Background and Overview / Andreja Rojko // iJIM Vol. 11, No. 5, 2017, p. 77-90. eISSN: 1865-7923 https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072

3. Ballee, S. A., Shearer, G. R. *Industrial Maintenance and Mechatronics*. 1-e ed. Tinley Park, IL: Goodheart-Wilcox Company, Incorporated, 2018. 944 p. ISBN 978-1-63563-427-3.

4. Bin Zhang, Jien Ma, Analysis of the flow dynamics characteristics of an axial piston pump based on the computational fluid dynamics method, Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, Volume 11, 2017 - Issue 1

5. Bolton, W. *Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering*. 7 ed. London: Pearson Education, 2018. 688 p. ISBN 978-1-292-25097-7.

6. Bosch Rexroth AG: http://www.boschrexroth.de

7. Březina, Tomáš; Jabłoński, Ryszard. *Mechatronics 2017: Recent Technological and Scientific Advances*. Vol. 644, Advances in Intelligent Systems and Computing. Cham: Springer, 2018. XIV, 753 p. ISBN 978-3-319-65960-2 (eBook), ISBN 978-3-319-65959-6 (softcover).

8. Burennikov Y. Mechatronic Hydraulic System with Adaptive Controller on the Basis of Neural Networks / Kozlov L., Burennikov Y. // Universitatea Tehnica "Gheorghe Asachi" din Iasi Tomul LXI (LXV), Fasc. 1-2, 2015 – P. 132-151.

9. Camozzi Pnevmatika Co., Ltd.: http://www.camozzi.com/, http://www.camozzi.ru/

10. CODESYS Group. CODESYS Visualization Animation Package, версія X.Y.Z, програмний пакет. – Режим доступу URL

11. Ćwikła, G. and Szewczyk, M. (2024) 'Station for Tuning and Testing Digital Twin in Hydraulic Actuator Control Systems under Programmable Load—Methodology, Design, and Tests', *Electronics*, 13(17), p. 3528. doi: https://doi.org/10.3390/electronics13173528

12. Didactic systems: Fluidprax, Hydraulik, Elektrik/Elektronik.-Bosch Rexroth AG.-ErbachOdenwald.-2002.-128 S.

13.Ebel F., von Terzi M. Festo Didactic. Mechatronics.: Festo Didactic GmbH&Co., D73770 Denkendorf, 2000.- 108 S.

14.Egeland, O., Gravdahl, J.T.: Modeling and Simulation for Automatic Control. Marine Cybernetics, Trondheim, Norway (2002)

15.Elektrohydraulik: elektrische Steuerungen fur Hydraulik.- Ruksaldruk, Berlin: Beuth.-1990.-90 S.

16.Elektropneumatik: elektrische Steuerungen fur Pneumatik.- Ruksaldruk, Berlin: Beuth.-1990.-105 S.

17.Estrada M. A., Ruderman M., Texis-Loaiza O., Fridman L. Hydraulic actuator control based on continuous higher order sliding modes // Control Engineering Practice. – 2025. – T. 156. – C. 106218. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2024.106218.

18.Festo: http://www.festo.com

19.Gavva A. Structural-parametric synthesis of a hydro-mechanical drive of lifting mobilizing mechanism of packet-configuring machines / A. Gavva, L. Kryvoplias-Volodina, N. Yakymchuk // Східно-Європейський журнал передових технологій (Applied mechanics). – Харків, 2017. – 5/7 (89) 2017. – с.38-44.

20.Gebhardt N., Weber J. Hydraulik – Fluid-Mechatronik, 7. Auflage, ©Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2020, https://doi.org/10.1007/978-3-662-60664-3

21.González, J., Pérez, M. and Rodríguez, L. (2022) 'Modeling and control of hydraulic actuator in steel-making unit', Heliyon, 8(11), e11234. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e11234.

22.Gosiewski, Z., Kulesza, Z. (ред.). *Mechatronic Systems and Materials VIII: Selected Papers from the 12th Mechatronic Systems and Materials Conference (MSM 2016, Białystok, Poland, July 3-8, 2016)*. Trans Tech Publications Ltd / Scientific.Net, 2017. 310 p. ISBN 978-3-0357-3167-5 (e-book); 978-3-0357-1167-7 (softcover).

23.Guo, D. M., Wang, L., Jia, Z., Liang, J., Wang, D.. *Advances in Mechatronics and Machinery: 20th ICMT 2016, Dalian, China, October 28-31, 2016*. Trans Tech Publications Ltd / Scientific.Net, 2017. 394 p. ISBN 978-3-0357-3177-4 (eBook); 978-3-0357-1177-6 (softcover).

24.Hawe: http://www.hawe.de

25.Helian, B., Chen, Z. and Yao, B. (2021) 'Energy-saving and accurate motion control of a hydraulic actuator with uncertain negative loads', *Chinese Journal of Aeronautics*, 34(5), pp. 253–264. doi: https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.12.025.

26.Hydraulik, Grundlagen, Komponenten, Systeme, Dieter Will, Norbert Gebhardt, 6. Auflage, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014, DOI 10.1007/978-3-662-44402-3

27.Judge, Andy. *Mechatronics and Dynamic System Design*. – 3th ed. – Lulu.com, 2019. – 324 p. – ISBN 978-0359945986.

28.Kozlov L., Bogachuk V., Bilichenko V., Tovkach A. etc. Determining of the optimal parameters for a mechatronic hydraulic drive, Proc . SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry and High-Energy Physics Experiments 2018, 1080861 (1 October 2018); doi : 10.1117/12.2501528; https://doi.org/10.1117/12.2501528

29.Leonid K. Polishchuk, Leonid G. Kozlov, Oleh V. Piontkevych, and etc. Study of the dynamic stability of the conveyor belt adaptive drive, Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 1080862 (1 October 2018); doi: 10.1117/12.2501535; https://doi.org/10.1117/12.2501535

30.Li, Q. and Uzunov, O. (2022) 'Quantitative Evaluation of Properties of Structural Solutions of Electrohydraulic Positioning Actuators', Mechanics and Advanced Technologies, 6(2), pp. 148–155. doi: 10.20535/2521-1943.2022.6.2.263130.

31.Li, Y., Wang, H. and Zhang, J. (2024) 'Precise control of hydraulic actuators using adaptive backstepping and neural networks', Computers, Materials & Continua, 141(2), pp. 1235–1250. DOI: 10.32604/cmc.2024.041234.

32.Lucia Knapčíková. Industry 4.0: Trends in Management of Intellegent Manufacturing Systems. Springer, 2019, 146 p. ISBN 3030140113, 9783030140113

33.Matti Karvonena, Mikko Heikkiläa, Mikko Huovaa, Matti Linjamaa Analysis by Simulation of Different Control Algorithms of A Digital Hydraulic Two-Actuator System / International Journal of Fluid Power Volume 15, Issue 1, 2014, pages 33-44.

34.Mechatronic Systems Design and Solid Materials: Methods and Practices / eds. Satya Bir Singh, Prabhat Ranjan, Alexander V. Vakhrushev, A. K. Haghi. – Milto : Apple Academic Press, 2021. – 248 p. – ISBN 978-1-77188-9155 (print); 978-1-00304-5748 (e-book).

35.Mechatronics 2019: Recent Advances Towards Industry 4.0 / eds. Roman Szewczyk, Jiří Krejsa, Michał Nowicki, Anna Ostaszewska-Liżewska. – Cham: Springer, 2020. – Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1044. – XIV, 515 p. – ISBN 978-3-030-29992-7 (print); 978-3-030-29993-4 (e-book).

36.Mechatronics System Design in Medical Engineering / eds. Florin Popişter, Sergiu Dan Stan, Nikola Vitković, Milan Banić. – Basel: MDPI Books, 2025. – 152 p. – ISBN 978-3-7258-4403-6 (hardback); 978-3-7258-4404-3 (PDF).

37.Mechatronics. Dynamical systems approach and theory of holors / eds. B. T. Fijalkowski. - Cham: Iop Publishing Ltd, 2017. – 504 p. – ISBN 978-0750313513
38.Mechatronics: Ideas, Challenges, Solutions and Applications / eds. Jan Awrejcewicz, Krzysztof J. Kaliński, Roman Szewczyk, Małgorzata Kaliczyńska. – Cham: Springer International Publishing, 2015 (1th ed., 2016). – Advances in Intelligent Systems and Computing, 414. – X, 285 p. – ISBN 978-3-319-26885-9 (print); 978-3-319-26886-6 (e-book).
39.Mechatronika/ pod kier. Dietmara Schmida.- Polish edition REA, Warshawa.- 2002.- 384p.
40.Mobile equipment hydraulics: a systems and troubleshooting approach, Ben Watson, © 2011 Delmar, Cengage Learning , 2015.
41.Mobilhydraulik und Elektronik. Mannesmann Rexroth.- Bonitas-Bauer.- Wurzburg.-1992.-416 S.
42.Nazarenko, I., Dedov, O., Ruchynskyi, M., Zapryvoda, A., Mishchuk, Ye., Slyusar, V., Nesterenko, M., & Bondarenko, A. (2024). Research on energy-saving vibrating machines for technological purposes. Proceedings of the scientific and technical conference “Progressive Technology, Engineering, and Engineering Education”, (XXIV), 147–148. https://doi.org/10.20535/.2024.XXIV.322349 (in Ukrainian)
43.Nisar, Z. and Munawar, H. (2021) ‘System identification and controller design for hydraulic actuator’, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 143(8), p. 081005. DOI: 10.1115/1.4049876.
44.Ölhydraulik, Handbuch der hydraulischen Antriebe und Steuerungen, Dietmar Findeisen, Siegfried Helduser, 6. Auflage, ©Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015, DOI 10.1007/978-3-642-54909-0
45.Ottaviano, E., Pelliccio, A., Gattulli, V.. *Mechatronics for Cultural Heritage and Civil Engineering*. Серія: Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering, том 92. Cham: Springer, 2018. X, 373 p. ISBN 978-3-319-68645-5, ISBN 978-3-319-68646-2 (e-book).
46.Parker: http://www.parker.com
47.Parr Andrew. Hydraulics and Pneumatics: A Technician's and Engineer's Guide, Publisher: Butterworth-Heinemann Ltd, 2011.
48.Pasolli, P. and Ruderman, M. (2020) ‘Hybrid position and force control for hydraulic actuators’, Control Engineering Practice, 98, p. 104345. DOI: 10.1016/j.conengprac.2020.104345.

49. Peña, Oscar R., Leamy, Michael J. An efficient architecture for energy recovery in hydraulic elevators / International Journal of Fluid Power, Vol. 16, no. 2, 2015. pp. 83-98. https://doi.org/10.1080/14399776.2015.1055991

50. Proportional Hydraulics. Workbook Basic Level/ D. Scholz, A. Zimmermann, Festo Didactic GmbH&Co, OCKER Ingenieurbüro, Denkendorf 1998, 352 S.

51. Proportional- und Servoventil-Technik Der Hydraulik Trainer Band 2/ R. Ewald, J. Hutter, D. Kretz, A. Schmitt, Mannesmann Rexroth GmbH, Lohr am Main, Würzburg 1998, 304 S.

52. Qu, S., Fassbender, D., Vacca, A., & Busquets, E. (2021). A cost-effective electro-hydraulic actuator solution with open circuit architecture. International Journal of Fluid Power, 22(2).

53. Qu, S., Fassbender, D., Vacca, A., & Busquets, E. (2021). A high-efficient solution for electro-hydraulic actuators with energy regeneration capability. Energy, 216, 119291

54. Reinventing Mechatronics: Developing Future Directions for Mechatronic Systems / ed. by Xiu-Tian Yan, David Bradley, David Russell, Philip Moore. – Cham: Springer, 2021. – 246 p. – ISBN 978-3030291334.

55. Schmidt, L., & Hansen, K. V. (2022). Electro-Hydraulic Variable-Speed Drive Networks—Idea, Perspectives, and Energy Saving Potentials. Energies, 15(3), 1228.

56. Schmidt, L., Ketelsen, S., Brask, M. H., & Mortensen, K. A. (2019). A class of energy efficient self-contained electro-hydraulic drives with self-locking capability. Energies, 12(10), 1866.

57. Schneider Electric: http://www.schneider-electric.com/, http://www.schneider-electric.com.ua/, http://www.schneider-electric.ru/

58. Siemens: http://www.siemens.com, http://www.siemens.com.ua

59. SMC: http://www.smc.com

60. SPC200 Smart Positioning Controller. Electronics manual. Stepping motor indexer module Type SPC200−SMX−1. Festo AG & Co. KG, D-73726 Esslingen, Federal Republic of Germany, 2003

61. Structured Text (ST), Extended Structured Text (ExST) - CODESYS Help Documentation. https://content.helpme-codesys.com/en/CODESYS%20Development%20System/_cds_f_programming_language_st.html

62. Subramanya K., Fluid Mechanics and Hydraulic Machines: Problems and Solutions, Paperback – 26 July 2010.

63. Synthesis of control schemes for hydroficated automation objects.- GmbH & Co. KG. Printed in Germany, 2018 Y. Sokol, M. Cherkashenko, ets.
64. Synthesis of discrete drives control systems, M. Cherkashenko, Hydraulic machines and hydrounits 1322 (46), 4-9
65. Szewczyk, R., Krejsa, J., Nowicki, M., Ostaszewska-Liżewska, A.. *Mechatronics 2019: Recent Advances Towards Industry 4.0*. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 1044. Cham: Springer, 2020. XIV, 515 p. ISBN 978-3-030-29992-7 (softcover); 978-3-030-29993-4 (e-book). DOI:10.1007/978-3-030-29993-4.
66. T.Bauernhansl, M. ten Hompel, B. Vogel-Heuser. Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung Technologien Migration. Springer-Verlag, 648 s., 2014.
67. Thakur, Tilak. Mechatronics**. –** 1th ed. – New Delhi : Oxford University Press, 2016. – 760 c. – ISBN 978-0199459629.
68. Vickers: http://www.hydraulics.eaton.com/
69. Wu, P., Lai, Z., Wu, D., Wang, L. (2014). "Optimization Research of Parallel Pump System for Improving Energy Efficiency". Journal of Water Resources Planning and Management, DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000493.
70. Zhao, S., Chen, K., Zhang, X., Zhao, Y., Jing, G., Yin, C. and Xiao, X. (2021) 'A High-Order Load Model and the Control Algorithm for an Aerospace Electro-Hydraulic Actuator', Actuators, 10(3), p. 53. doi: https://doi.org/10.3390/act10030053.
71. Абрамов Е. И. Элементы гидропривода : Справочник. / Е. И. Абрамов, К. А. Колесниченко, В. Т. Маслов. – Киев, 1977. – 320 с.
72. Аврунин Г.А., Грицай И.В., Кириченко И.Г., Мороз И.И., Щербак О.В. Объемный гидропривод и гидропневмоавтоматика.- Харьков: ХНАДУ, 2008.- 412 с.
73. Автоматизация проектирования вычислительных систем. Языки, моделирование и базы данных /Под ред. М.Брайера.- М.:Мир.- 1979.- 464с.
74. Автоматизація виробничих процесів: Підруч./ І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. – Вид. 2-ге, виправлене. – К.: Вид. Ліра-К, 2015. – 378 с. ISBN 978-966-2609-81-3
75. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості: Підруч./ А.П. Ладанюк, В.Г. Трегуб, І.В. Ельперін, В.Д. Цюцюра. – К.: Аграрна освіта, 2001. – 224 с.

76.Автоматизированное проектирование цифровых устройств /С.С.Бадулин, Ю.М.Барнаулов, В.А.Бердышев и др.; Под ред. С.С.Бадулина.- М.:Радио и Связь.- 1981.- 240с.

77.Анохин П.К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса.-М.: Медицина, 1968.-547с.

78.Асаи К. Прикладные нечеткие системы / К. Асаи, Д. Витада, С. Иваии др..: Пер. С япон. М.:Мир, 1993.-342 с.

79.Башта Т. М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы : Учебник для машиностроительных вузов; 2-е изд., перераб. / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др. — М. : Машиностроение, 1982. – 423 с.

80.Бибило П.Н., Кириенко Н.А. Сравнение способов синтеза логических схем на основе ПЛМ структур// УСиМ. – 2003.-№3. – с.46-51.

81.Бочаров В. П. Гідравліка та гідропневмопристрої авіаційної техніки: Навчальний посібник / В.П.Бочаров, М.М.Глазков, Г.Й.Зайончковський, Т.В. Тарасенко, В.А.Трофімов. – К. : «НАУ-друк», 2011. – 472 с.

82.Бурєнніков Ю.А. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи : навчальний посібник /Ю.А.Бурєнніков, І.А.Немировський, Л.Г.Козлов. Вінниця: ВНТУ, 2013. – 273 с.

83.Бусленко В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем.-М.:Наука.-1977.-240с.

84.Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем.— М.: Наука, 1978.—399 с.

85.Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения.- М.: Конкорд, 1992.-519с.

86.Вельбицкий И.В. Алгебра конструирования алгоритмов и программ//УСиМ.-1987.-N6.-С.99-110.

87.Гаврилов М.А., Девятков В.В., Пупырев Е.И. Логическое проектирование дискретных автоматов.-М.:Наука,1977.- 352с.

88.Ганпанцурова О.С., Губарев О.П. Логіко-інерційна складова команд керування виконавчим модулем мехатронної системи / Матеріали XVII МНТК АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика» 2016: тези доповідей. Харків, 2016, с. 72.

89.Герц Е.В., Зенченко В.П., Крейнин Г.В. Синтез пневматических приводов.-М.: Машиностроение, 1966.-216с.

90.Гідравліка, гідро- та пневмопривод : підручник для студ. вищ. навч. закл. : 2-ге вид., перероб. і доп. /за ред. О.О. Федорця, О.Ф. Саленка. – Київ :Знання, 2009. – 502 с.

91.Гідроприводи та гідропневмоавтоматика. Підручник./ В.О. Федорець, М.Н. Педченко, В.Б.Струтинський та ін.- К.: Вища шк., 1995.- 463с.

92.Гласс Р. Руководство по надежному программированию: Пер. с англ.-М.: Финансы и статистика, 1982.- 256с.

93.Глушков М.В., Капитонова Ю.В., Мищенко А.Т. Логическое проектирование дискретных устройств.- К.: Наукова думка, 1987.-264с.

94.Гогричиани Г.В. К построению дискретных пневматических систем управления по частично совпадающим алгоритмам//Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления.- М.: Машиностроение, 1973. Вып.1.- С. 196-203.

95.Губарев А.П. Дискретно-логическая модель систем циклического действия на примере систем гидропневмоавтоматики/В кн.: Моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць ІПМЕ ім. Пухова НАНУ.-К.:ІПМЕ.-2002.- Вип. 13, с.25-34.

96.Губарев А.П. Дискретно-логическое управление в системах гидропневмоавтоматики: Учебное пособие.- К.: ИСМО, 1997.- 224с.

97.Губарев А.П. К вопросу адаптации логического управления.- Депонент /УкрНИИНТИ, 1986,N282-Ук86.-29с.

98.Губарев А.П. Причинно-следственная модель объектов гидропнев-моавтоматики – особенности и свойства.-К.: НТУУ «КПИ», 1999.-107с.

99.Губарев А.П. Системный модуль в задаче структурного синтеза дискретных систем циклического действия/В кн.: Вестник Национального технического университета Украины («КПИ») Серия машиностроение.- Киев.: НТУУ, вып.42, т.2.- 2002, с.59-63.

100. Губарев А.П., Козинец Д.А., Левченко О.В. MAS-1.0 - Упрощенное моделирование многоприводных гидропневматических систем циклического действия/Всеукраїнський науково-технічний журнал “Промислова гідравліка і пневматика” №4 (10).- 2005.- с. 72-77.

101. Губарев А.П., Козинец Д.А., Левченко О.В. Проверка логики функционирования цикловых систем гидравлических и пневматических приводов/Всеукраїнський науково-технічний журнал “Промислова гідравліка і пневматика” №3.- 2004.- с. 64-69.

102. Губарев А.П., Левченко О.В. Механотроника: от структуры системы к алгоритму управления: Учеб. Пособие.- К.: НТУУ «КПИ», 2007.- 180с.

103. Губарев А.П., Пыжиков Ю.А. Механические аспекты в управляющих программах для цикловой гидропневмоавтоматики/В кн.: Вісник Сумського державного университету, Серія Технічні науки.- Суми.: СумДУ, №12 (58), 2003, с.212-223.

104. Губарев О. П. Адаптація логіки керування пневматичним виконавчим модулем мехатронної системи / О. П. Губарев, О. С. Ганпанцурова // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Гідравлічні машини та гідроагрегати. – Харків : НТУ "ХПІ", 2016. – № 41 (1213). – С. 32-38.

105. Губарев О.П., Аверін В.З., Левченко О.В. “Програмовані контролери в системах керування гідропневмоавтоматики” (частина 2) Методичні вказівки до лабораторних робіт, для студентів спеціальності "Гідравлічні і пневматичні машини", «Прикладна механіка».- Київ: НТУУ»КПІ».- Вид. Біла Церква: “БК Нафтохім-Аваль”.- 2006.- 52с.

106. Губарев О.П., Ганпанцурова О.С. “Дискретні системи керування гідропневмоавтоматики” (частина 4 Пропорційна гідравліка) Методичні вказівки до лабораторних робіт, для студентів спеціальності "Гідравлічні і пневматичні машини".- Київ: НТУУ«КПІ».- Вид. Біла Церква: ВАТ“Білоцерківська друкарня”.- 2009.- 56с.

107. Губарев О.П., Ганпанцурова О.С. Мехатроніка: Циклічно-модульний підхід до вирішення практичних задач автоматизації.- Київ: НТУУ«КПІ».- ВАТ “Білоцерківська друкарня”, 2016, 160с.

108. Губарев О.П., Левченко О.В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу “Програмовані контролери в системах керування гідропневмоавтоматики” (частина 1) студентам, що навчаються за фахом “Гідравлічні і пневматичні машини”.– Київ, НТУУ “КПІ”, 2005.- 48 с.

109. Губарев О.П., Левченко О.В., Ганпанцурова О.С. “Дискретні системи керування гідропневмоавтоматики” (частина 1 - Пневмоавтоматика) Методичні вказівки до лабораторних робіт, для студентів спеціальності "Гідравлічні і пневматичні машини".- Київ: НТУУ»КПІ».- Вид. Біла Церква: “БК Нафтохім-Аваль”.- 2007.- 52с.

110. Давыгора В.Н. Логические процедуры синтеза и анализа при разработке технологии сборки/ Прогрессивная техника и технология машиностроения, приборостроения и сварочного производства: Труды международной конференции, Киев, НТУУ «КПИ».- ВИПОЛ, 1998.-т2, с.128-134.

111. Дал У., Дейкстра Э., Хоор К. Математическое обеспечение ЭВМ. Структурное программирование.-М.: Мир. /Пер. с англ., 1975.-248с.

112. Диксон Дж. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений.- М.: Мир, 1969.- 440с.

113. Дискретное управление электрогидравлическим приводом/Под ред. Г.Н.Посохина.- М.: Энергия, 1975.- 88с.

114. Дитрихю Я. Проектирование и конструирование: Системный подход.- М.: Мир,1981.- 456с.

115. Дослідження та розробка системних моделей із застосуванням параметричної оптимізації / Валерій Яковенко, Іван Назаренко, Євген Міщук- 2022 - ЕНЕРГООЩАДНІ МАШИНИ І ТЕХНОЛОГІЇ – с. 156 – 160.

116. Ельперін І.В. Промислові контролери: Навч. посіб.– К.: НУХТ, 2003. – 320 с.

117. Ермолаев В. Я. Гидравлика, гидро- и пневмопривод : учебно-метод. пособ. / В. Я. Ермолаев. – Харьков : ХНАДУ, 2008. – 240 с.

118. Зайченко Е. Т. Гидравлика и гидроприводы / Е. Т. Зайченко. Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 132 с.

119. Залманзон Л.А. Теория аэрогидродинамических систем автоматического управления.- М.: 1977.- 416с.

120. Зюбин В.Е. Программирование информационно-управляющих систем на основе конечных автоматов: Учеб.-метод. Пособие/ В.Е. Зюбин; Новосиб. Гос. Ун-т. Новосибирск, 2006. –96с.

121. Информационные технологии в испытаниях сложных объектов: методы и средства/ В.И.Скурихин, В.Г.Квачев, Ю.Р.Валькман, Л.П.Яковенко.- К.: Наукова думка, 1990.- 320с.

122. Келлерман Ю.И., Черкашенко М.В. Графоаналитический метод синтеза пневматических систем управления.//Гидропривод и гидропневмоавтоматика.- 1976.- N12.- С.76-81.

123. Келлерман Ю.И., Черкашенко М.В. К вопросу минимизации комбинационной части пневматических систем управления машин-автоматов//Сб. Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления. Вып.5.-М.:Машиностроение, 1978.- С. 144-150.

124. Киндлер Е.Я. Языки моделирования/ Пер. с чеш. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 288с.

125. Кириллов В.П. Технология SSADM: методика определения требований к автоматизированной системе//Компьютеры + программы, 1994.- №3. – с.30-36.

126. Козлов Л. Г. Характеристики мехатронного приводу під час просторового руху маніпулятора. Наукові праці Вінницького національного технічного університету, [S.l.], n. 2, june 2017. ISSN 2307-5376.

127. Козлов Л. Г., Богачук В. В., Товкач А. Є. Оптимізація конструктивних параметрів мехатронного гідропривода з насосом змінного робочого об'єму Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Машинобудування», 2016, № 3(78), С. 59–64. DOI: 10.20535/2305-9001.2016.78.75907

128. Козлов Л.Г. Вплив параметрів регуляторів на стійкість та динамічні характеристики мехатронної гідросистеми / Л.Г. Козлов, М.П. Коріненко, В. Г. Пилявець // Техніка, енергетика, транспорт АПК, 2018. - №3. - С. 105 – 116.

129. Колмогоров А.Н. Три подхода к определению понятия "количество информации"/ В кн.:Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. -М.:Наука, 1987, С.213-223.

130. Костюк В.И., Ямпольский Л.С. Гибкие робототехнические системы. Общий подход. - К.: Вища школа, 1988.- 70с.

131. Котов В.Е. Сети Петри.-М.: Наука,1984.-160с.

132. Котов В.Е., Сабельфельд В.К. Теория схем программ.- М.: Наука, 1991.- 366 с.

133. Кравецький Ю. А., Чернов О. В. Підвищення динамічної точності позиціонування електрогідравлічного приводу Mechanics and Advanced Technologies, 2024, Т. 8, № 3, С. 271–279. DOI: 10.20535/2521-1943.2024.8.3(102).310508

134. Кудрявцев А.И., Лимонов Ю.М., Черкашенко М.В. Синтез дискретных систем управления промышленных роботов//Автоматика и телемеханика.- 1981.-№5.-С. 148-153.

135. Кузьмук В.В. Сети Петри и моделирование параллельных процессов// Препринт Институт проблем моделирования в энергетике.-К.:1985.-64 с.

136. Кулінченко В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини та гідропневмопривід : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Інженерна механіка» / В. Р. Кулінченко, І. В. Дубковецький, О. М. Деменюк. – Київ : НУХТ, 2011- 246 с.

137. Лапковский С.В. К вопросу о декомпозиции сборочных изделий/ Прогрессивная техника международной конференции, Киев, НТУУ «КПИ».- ВИПОЛ, 1998.-т2, с.218-224.

138. Лі Цян, Узунов О. Кількісна оцінка властивостей структурних рішень електрогідравлічних позиційних приводів Mechanics and Advanced Technologies, 2022, Т. 6, № 2, С. 148–155. DOI: 10.20535/2521-1943.2022.6.2.263130

139. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы.- М.: Мир, 1978.- 360 с.

140. Метод синтеза логических блоков дискретных систем управления / М.Н. Педченко, А.П. Губарев, А.Н. Жилин, Л.Ю. Николаенко. – Депонент / УкрНИИИНТИ, 1980, №1982. – 13 с.

141. Мікропроцесорні пристрої і системи управління в харчовій промисловості: Навч. посібник /І.В. Ельперін, Є.Л. Календро, А.П. Ладанюк. – К.: ІСДО, 1994. – 140 с.

142. Обґрунтування схеми керування режимом роботи вібраційної установки з просторовими коливаннями. Назаренко І.І., Міщук Є.О., Дьяченко О.С., Бондаренко Б.С. Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: матеріали XXV Міжнар. наук.-техн. конф., м.Київ, 6–9 жовтня 2020 р. К.: НТУУ «КПІ», 2020. С.358–359.

143. Орловський Б. В. Мехатроніка в галузевому машинобудуванні [Текст] : навч. посіб. для студентів ден., заоч. та дистанц. форм навчання за галуззю знань "Механічна інженерія" спец. 133 "Галузеве машинобудування" та 131 "Прикладна механіка" / Б. В. Орловський ; Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. - Київ : КНУТД, 2018. - 415 с. : рис., табл. - Бібліогр.: с. 413-415. - 20 прим. - ISBN 978-617-7506-11-8

144. Пашков Е.В., Осинский Ю.А., Четверкин А.А. Электропневмоавтоматика в производственных процессах, 2-е изд.- Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2003.- 496 с.

145. Педченко М.Н., Федорец В.А. Упрощенный метод синтеза цикловых пневматических систем управления.//Гидропривод и гидропневмоавтоматика.- 1974.-N10.- С.112-116.

146. Петренко А.И., Ладогубец В.В., Чкалов В.В. Автоматизация схемотехнического проектирования в машиностроении: Учебное пособие.- К.: УМК ВО, 1988.- 180 с.

147. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования/ - М.: СОЛОН-Пресс, 2004.- 236с.

148. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем.-М.: Мир, 1984.-640 с.

149. Плагеманн Б. Контактная схема систем управления FPC фирмы FESTO.- Фесто КГ, Эсслинген, 1990.- 303 с.

150. Погребной В.К. ЭФ-технология моделирования и автоматизированного проектирования систем реального времени//УСиМ.-1988.-№4.-с.23-30.

151. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика.- М.: Наука,1986.-288 с.

152. Пригожин И. Перспективы исследования сложности// Системные исследования: Методол. Пробл. Ежегодник, 1986.-М.: Наука, 1987.- С.45-57.

153. Прикладна гідроаеромеханіка і механотроніка:Підручник/Яхно О.М., Луговський О.Ф., Ковалев В.А., Мовчанюк А.В., Коц І.І., Губарев О.П., Узунов О.В.- Вінниця: ВНТУ, 2015. – 680 с. українською мовою; № протокола метод. ради 1/11-1135 ; дата 29.01.2014

154. Программируемые контроллеры для систем управления /Г.И. Загарий, Н.О. Ковель, В.И. Поддубняки др. – Ч.1: Архитектура и технология применения. – Х. «Регион-Информ», 2001. – 316 с.

155. Пупена О.М., Ельперін І.В. Програмування промислових контролерів у середовищі UNITY PRO: Навчальний посібник.- К.: Видавництво Ліра-К, 2013.- 376 с.

156. Руднев В.В. К вопросу об описании конвейерных процессов сетями Петри.// Автоматика и телемеханика.- 1985.-N8.- С.115-121.

157. Струйная пневмогидроавтоматика: пер. с англ. под ред. В.И. Чернышова.- М.: МИР.-1968.-38 4с.

158. Структурний та параметричний синтез вібраційних машин / І.І. Назаренко, М.М. Нестеренко, О.В. Орисенко, В.В. Ведмідь // Академічна й університетська наука: результати та перспективи : зб. наук. пр. XIV Міжнар. наук.-практ. конф. 09 груд. 2021 р. – Полтава : Нац. ун-т імені Юрія Кондратюка, 2021. – С. 282–285 с.

159. Тарасик В.П. Интелектуальные системы управления автотранспортними средствами: Монография / В.П. Тарасик, С.А.Рынкевич.- Мн.:УП «Технопринт», 2004.- 512 с. ISBN 985-464-664-5

160. Управление в технических системах с жидким и газовым компонентами: Учебное пособие /Ю.А.Абрамов, А.П.Губарев, А.В.Узунов и др.- К.: ИСМО, 1997.- 288 с.

161. Функціональні модулі систем мехатроніки з пневматичними, електромеханічними та гідравлічними виконавчими пристроями / О.П. Губарев,

О.С. Ганпанцурова, К.О. Бєліков, А.М. Муращенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 104 с.

162. Хьюз Дж., Митчом Дж. Структурный подход к программированию.- М.: Мир, 1980.-476 с.

163. Челноков В.М. К операционализации понятия целостности в представлении знаний.- В кн.: Системные исследования: Методол. Пробл. Ежегодник, 1985.-М.: Наука, 1986, с.103-112.

164. Черкашенко М.В. Автоматизація проектування систем гідро- і пневмоприводів з дискретним управлінням: Навч.посібник.-2-е вид., перероб.- Харків: НТУ"ХПІ", 2001.-182 с.

165. Черкашенко М.В. Гидропневмоавтоматика. Под общ. ред. К.В.Савельева.- Харьков: ГИДРОЄЛЕКС, 2002.- 75 с.

166. Черкашенко М.В., Келлерман Ю.И. Синтез пневматических систем управления с использованием ориентированных графов.// Гидропривод и гидропневмоавтоматика.- 1976.- N12.- С.82-87.

167. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем - искусство и наука.- М.: Мир, 1978.-420 с.

168. Шульга О.В. Автоматизоване керування електроприводами / О.В. Шульга // Навчальний посібник. – Полтава, ПолтНТУ: 2007, 292 с.

169. Экснер Х. Гидропривод. Основы и компоненты. Учебный курс по гидравлике. Том 1. / Х. Экснер, Р. Фрейтаг и др.; Под ред. В. К. Свешникова. – Эрбах: Бош Рекстрот АГ, 2003. – 323 с.

170. Юдицкий С.А., Белоусов О.О. Описание и синтез систем логического управления объектами ГАП на основе иерархических сетевых моделей./ В кн. X Всесоюзное совещание по проблемам управления: Тезисы докладов, книга 2, М.- 1986.- С.211-212.

171. Юдицкий С.А., Покалев С.С. Логическое управление гибким интегрированным производством.- М.:ИПУ, 1989.-56 с.

172. Ямпольский Л.С., Николаенко Л.Ю., Губарев А.П. О синтезе дискретных систем управления робото-технологических комплексов/ Респ. Межведомств. Научн-техн. сб. Автоматизация производственных процессов в машиностроении и приборостроении.-ЛоЛПИ, 1984.- С.71-74.