



Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»



Кафедра автоматизації
електромеханічних систем та
електроприводу ФЕА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

СИНТЕЗ ЛОГІЧНИХ СХЕМ ПРАКТИКУМ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та
електромобільність»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Укладачі: С.О. Бур'ян, Г.Ю. Землянухіна

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Рецензент *Будько В.І., д-р. техн. наук, доц., зав. каф. відновлювальних джерел енергії КПІ ім. Ігоря Сікорського*

Відповідальний редактор *Красношапка Н.Д., канд. техн. наук, доц.*

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 6 від 24.06.2022 р.)
за поданням Вченої ради факультету електроенерготехніки та автоматики
(протокол № 10 від 20.06.2022 р.)*

Навчальний посібник включає завдання, приклади та методичні рекомендації до практичних занять з дисципліни «Синтез логічних схем» для освітньої програми підготовки бакалаврів «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність». Поданий матеріал може бути корисний здобувачам інших освітніх програм, що навчаються за спеціальністю спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Реєстр. № НП 21/22-710. Обсяг 1,7 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

Вступ

Відповідно до навчального плану з дисципліни “Синтез логічних схем” в III учбовому семестрі для проведення практичних занять передбачено 18 аудиторних годин, тобто проводиться 9 занять.

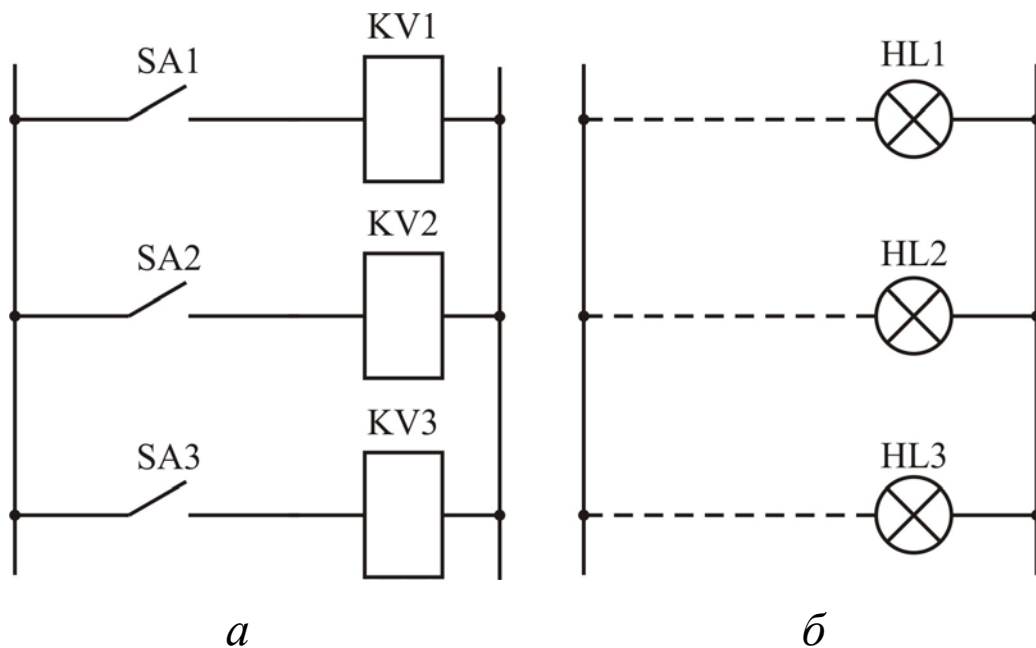
Методичні вказівки містять 9 тем практичних занять. З кожної теми викладаються основні теоретичні відомості та надаються завдання для аудиторних занять і самостійної роботи студентів. Мета практичних занять - закріпити знання методів синтезу дискретних схем автоматики, навчитися самостійно розробляти схеми автоматики, виходячи із заданих умов їх роботи, та проектувати схеми на сучасній елементній базі.

Перше практичне заняття не має безпосереднього відношення до логічного синтезу дискретних схем автоматики. Це заняття пропонується проводити у тому разі, коли практичні заняття випереджають лекційний курс. Мета цього заняття – підготувати студентів до усвідомленого сприйняття методів синтезу схем автоматики, що базуються на застосуванні математичного апарату алгебри логіки.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1
ІНТУЇТИВНА РОЗРОБКА СХЕМ АВТОМАТИКИ ЗА ЗАДАНИМИ
УМОВАМИ ЇХ РОБОТИ

Завдання для аудиторних занять

1. Вимикачами SA1, SA2, SA3 вмикаються три проміжних реле KV1, KV2, KV3 (рис. 1.1, а). Вважаючи, що кожне з проміжних реле має будь-яку необхідну кількість замикаючих та розмикаючих контактів, спроектувати схему керування трьома лампочками HL1, HL2, HL3 (рис. 1.1, б). Лампочка HL1 повинна світитися тільки у тому разі, коли замкнені будь-які два вимикачі; лампочка HL2 – якщо замкнутий один (будь-який) вимикач або усі три; лампочка HL3 – якщо замкнуті будь-які два або усі три вимикачі.



*Рисунок 1.1 – Задана схема керування лампочками: а) – проміжні реле; б) –
робоче місце для проектування схеми керування*

2. На основі вимикачів і реле (рис. 1.1, а) спроектувати схему керування трьома лампочками HL1, HL2, HL3. Лампочка HL1 святиться тільки у тому разі, якщо замкнуті усі три вимикачі, але вимикач SA1 був замкнутим першим; лампочка HL2 світиться тільки у тому разі, якщо замкнуті усі три вимикачі, але

вимикач SA1 був замкнутим останнім; лампочка HL3 світиться тільки у тому разі, якщо замкнуті усі три вимикачі, але вимикач SA1 був замкнутим другим, тобто після замикаання вимикача SA2 або SA3.

3. Спроекувати схему керування двома двигунами M1 і M2 за допомогою двох кнопок з самоповерненням SB1 і SB2. При натисненні кнопки SB1 відразу вмикається двигун M1, а потім із затримкою часу Δt_1 – двигун M2. При натисненні кнопки SB2 відразу вимикається двигун M2, а потім із затримкою часу Δt_2 – двигун M1.

Завдання для самостійної роботи

1. Скласти схему керування асинхронним двигуном M за допомогою кнопок «Вперед», «Назад», «Стоп». Кнопки розміщено на двох різних постах керування. Пуск «Вперед» відбувається при натисненні кнопок SB1 або SB2, пуск «Назад» – при натисненні кнопок SB3 або SB4, зупинка двигуна – при натисненні кнопок SB5 або SB6. При складанні схеми запобігти можливості короткого замикання фаз живильної мережі при одночасному натисненні кнопок «Вперед» і «Назад».

2. Скласти схему керування асинхронними двигунами M1, M2, M3 за допомогою кнопок SB1, SB2, SB3, SB4. При натисненні кнопки SB1 вмикається двигун M1, при натисненні кнопки SB2 вмикається двигун M2 і вимикається двигун M1, при натисненні кнопки SB3 вмикається двигун M3 і вимикається двигун M2. При натисненні кнопки SB4 вимикається двигун M3. Кнопки дозволяється натискати тільки по черзі – SB1, SB2, SB3, SB4.

3. Скласти схему керування двома асинхронними двигунами M1 і M2. Схема повинна забезпечувати роботу в двох режимах: перший – при натисненні кнопки «Пуск» відразу вмикається двигун M1, а потім із затримкою часу Δt_1 – двигун M2; при натисненні кнопки «Стоп» відразу вимикається двигун M2, а потім із затримкою часу Δt_2 – двигун M1; другий (поштовховий) – двигун M1

ввімкнений тільки тоді, коли натиснуто кнопку «Поштовх 1», двигун М2 ввімкнений тільки тоді, коли натиснуто кнопку «Поштовх 2». Перехід від першого режиму до другого здійснюється перемикачем SA.

Практичне заняття № 2

ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКОНІВ АЛГЕБРИ ЛОГІКИ ДЛЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЛОГІЧНИХ ФУНКЦІЙ

Основні теоретичні положення

Основні закони алгебри логіки, побудовані на застосуванні операцій І, АБО, НІ, зведені в табл.1.

Таблиця 1.

Номер формули	Математичний вираз	Назва закону
1	$0bc...w=0$	Нульової безлічі
2	$1+a+b+c+...+w=1$	Універсальної безлічі
3а 3б	$\left. \begin{aligned} abc... &= bca = ...cba \\ a + b + c + ... &= b + a + c + ... \end{aligned} \right\}$	Комутативний переставний
4а 4б	$\left. \begin{aligned} a(bc) &= (ab)c = abc \\ a + (b + c) &= (a + b) + c \end{aligned} \right\}$	Асоціативний (сполучний)
5а 5б	$\left. \begin{aligned} a(b + c) &= ab + ac \\ a + bc &= (a + b)(a + c) \end{aligned} \right\}$	Дистрибутивний (розподільний)
6а 6б	$\left. \begin{aligned} a \cdot a \cdot a...a &= a \\ a + a + a + ... + a &= a \end{aligned} \right\}$	Повторення (тавтології)
7	$\bar{\bar{a}} = a$	Подвійної інверсії
8	$a\bar{a} = 0$	Логічного протиріччя
9	$a + \bar{a} = 1$	Виключеного третього
10а 10б	$\left. \begin{aligned} a(a + b)(a + c)...(a + w) &= a \\ a + ab + ac + ... + aw &= a \end{aligned} \right\}$	Поглинання
11а 11б	$\left. \begin{aligned} ab + a\bar{b} &= a \\ (a + d)(a + \bar{d}) &= a \end{aligned} \right\}$	Склеювання

12a 12б	$\left. \begin{aligned} ab + \bar{a}c + bc &= ab + \bar{a}c \\ (a+b)(\bar{a}+c)(b+c) &= (a+b)(\bar{a}+c) \end{aligned} \right\}$	Узагальненого склеювання
13a 13б	$\left. \begin{aligned} \overline{a+b+c+\dots+w} &= \bar{a}\bar{b}\bar{c}\dots\bar{w} \\ \overline{abc\dots w} &= \bar{a} + \bar{b} + \bar{c} + \dots + \bar{w} \end{aligned} \right\}$	Де Моргана

Використовуючи ці закони, можна перетворювати та спрощувати логічні функції. При цьому слід мати на увазі, що всі перелічені закони лишаються справедливими, якщо окремі аргументи в них замінити будь-якими виразами. Наприклад, закон склеювання можна застосувати до виразів:

$$abcd + ab\bar{c}d = abd;$$

$$abcd + ab\bar{c}d = ab;$$

$$(a+b)(c+d) + (a+b)(\overline{c+d}) = a+b.$$

Для визначення інверсії функції зручно використовувати узагальнення законів де Моргана, яке запропоновано Шенноном:

$$\overline{f(a,b,c,\dots,w,+,+)} = f(\bar{a},\bar{b},\bar{c},\dots,\bar{+},\bar{+}),$$

тобто для визначення інверсії функції достатньо замінити усі аргументи їх інверсіями, усі операції I операціями АБО, а операції АБО – операціями I.

Наприклад, якщо

$$f = ab + \bar{c}d + \bar{a}d,$$

$$\text{то } \bar{f} = (\bar{a} + \bar{b})(c + \bar{d})(a + \bar{d}),$$

$$\text{або якщо } f = (a + \bar{b})(\bar{c} + d) + \bar{b}\bar{d},$$

$$\text{то } \bar{f} = (\bar{a}b + c\bar{d})(b + d).$$

Для перетворення і спрощення логічних функцій використовуються також теореми розкладання:

$$f(a,b,c,\dots,w) = af(1,b,c,\dots,w) + \bar{a}f(0,b,c,\dots,w); \quad (14)$$

$$f(a,b,c,\dots,w) = [a + f(0,b,c,\dots,w)][\bar{a} + f(1,b,c,\dots,w)] \quad (15)$$

Застосуємо формулу (14) для доведення закону узагальненого склеювання в формі (12 а), тобто для спрощення вихідного виразу:

Застосуємо формулу (14) для доведення закону узагальненого склеювання в формі (12 а), тобто для спрощення вихідного виразу:

$$\begin{aligned} ab + \bar{a}c + bc &= a(1 \cdot b + 0 \cdot c + bc) + \bar{a}(0 \cdot b + 1 \cdot c + bc) \\ &= a(b + bc) + \bar{a}(c + bc) = ab + \bar{a}c, \end{aligned}$$

тому що $b + bc = b$; $c + bc = c$ на підставі закону поглинання (10 б).

Для спрощення логічних виразів зручно також застосовувати такі теореми:

$$af(a, \bar{a}, b, c, \dots, w) = af(1, 0, b, c, \dots, w); \quad (16)$$

$$\bar{a}f(a, \bar{a}, b, c, \dots, w) = \bar{a}f(0, 1, b, c, \dots, w); \quad (17)$$

$$a + f(a, \bar{a}, b, c, \dots, w) = a + f(0, 1, b, c, \dots, w); \quad (18)$$

$$\bar{a} + f(a, \bar{a}, b, c, \dots, w) = \bar{a} + f(1, 0, b, c, \dots, w). \quad (19)$$

Розглянемо приклади застосування перелічених законів і теорем алгебри логіки.

Приклад 1. Перевірити справедливість рівності

$$\bar{a}\bar{b} + c + \bar{a}\bar{c}d + b\bar{c}d = c + \bar{a}\bar{b} + d.$$

Для лівої частини виразу застосуємо теорему (18), тоді отримаємо

$$\bar{a}\bar{b} + c + \bar{a}\bar{c}d + b\bar{c}d = \bar{a}\bar{b} + c + \bar{a} \cdot 1 \cdot d + b \cdot 1 \cdot d = \bar{a}\bar{b} + c + \bar{a}d + bd.$$

Використаємо дистрибутивний закон (5а) і закон де Моргана (13 б)

$$\bar{a}\bar{b} + c + \bar{a}d + bd = \bar{a}\bar{b} + c + d(\bar{a} + b) = c + \bar{a}\bar{b} + d\bar{\bar{a}b},$$

після цього застосуємо до двох останніх доданків рівносильність вигляду $a + \bar{a}b = a + b$, яка випливає з теореми (18), тоді остаточно отримаємо

$$c + \bar{a}\bar{b} + d\bar{\bar{a}b} = c + \bar{a}\bar{b} + d.$$

Одержаний вираз збігається з правою частиною вихідної рівності, отже справедливість рівності доведено.

Приклад 2. Перевірити справедливість рівності

$$\bar{a}\bar{d} + ad + b\bar{c}\bar{d} = \bar{a}\bar{d} + ad + abc.$$

Ліва і права частини цього виразу відрізняються тільки членами $b\bar{c}\bar{d}$ і abc .

Тому доповнимо ці члени відсутньою змінною, помноживши член $b\bar{c}\bar{d}$ на

одиницю у вигляді $a + \bar{a}$, а член abc на одиницю у вигляді $d + \bar{d}$, тоді отримаємо

$$\bar{a} \bar{d} + ad + bc\bar{d}(a + \bar{a}) = \bar{a} \bar{d} + ad + abc(d + \bar{d}),$$

або після відкриття дужок

$$\bar{a} \bar{d} + ad + abc\bar{d} + \bar{a}bc\bar{d} = \bar{a} \bar{d} + ad + abcd + abc\bar{d}.$$

На підставі закону поглинання (10 б) $\bar{a} \bar{d} + \bar{a}bc\bar{d} = \bar{a} \bar{d}$ і $ad + abcd = ad$, тому остаточно отримаємо

$$\bar{a} \bar{d} + ad + abc\bar{d} = \bar{a} \bar{d} + ad + abc\bar{d},$$

тобто ліва і права частини вихідного виразу перетворюються в однакові вирази.

Приклад 3. Перевірити справедливість рівності

$$\bar{a} \bar{d} + ad + bc\bar{d} = (a + \bar{d})(\bar{a} + c + d)(\bar{a} + b + d).$$

Будемо перетворювати праву частину заданого виразу. Спочатку відкриємо дужки, враховуючи, що $a\bar{a} = 0$ і $aa = a$, тоді отримаємо

$$\begin{aligned} (a + \bar{d})(\bar{a} + c + d)(\bar{a} + b + d) &= (ac + ad + \bar{a} \bar{d} + c\bar{d})(\bar{a} + b + d) = \\ &= abc + acd + abd + ad + \bar{a} \bar{d} + \bar{a}b\bar{d} + \bar{a}c\bar{d} + bc\bar{d}. \end{aligned}$$

Застосуємо закон поглинання для групи членів цього виразу:

$$\begin{aligned} ad + acd + abd &= ad; \\ \bar{a} \bar{d} + \bar{a}b\bar{d} + \bar{a}c\bar{d} &= \bar{a} \bar{d}, \end{aligned}$$

тоді отримаємо

$$ad + \bar{a} \bar{d} + abc + bc\bar{d}.$$

Помножимо член abc на одиницю у вигляді $d + \bar{d}$, тоді отримаємо

$$ad + \bar{a} \bar{d} + abc(d + \bar{d}) + bc\bar{d} = ad + \bar{a} \bar{d} + abcd + abc\bar{d} + bc\bar{d}.$$

Застосуємо закон поглинання для виразів

$$ad + abcd = ad; \quad bc\bar{d} + abc\bar{d} = bc\bar{d},$$

тоді остаточно отримаємо

$$ad + \bar{a} \bar{d} + bc\bar{d},$$

тобто вираз, який збігається з лівою частиною вихідного виразу.

Приклад 4. Мінімізувати логічну функцію

$$f = d + \bar{d}ab + \bar{d}\bar{a}c + bc + abcd.$$

Застосуємо теорему (18) і подамо f у вигляді

$$f = d + ab + \bar{a}c + bc.$$

Використавши закон узагальненого склеювання (12 а), отримаємо

$$f = d + ab + \bar{a}c.$$

Приклад 5. Мінімізувати логічну функцію

$$f = (a + \bar{d})(\bar{b} + \bar{d})(a + \bar{d}).$$

Застосуємо закон повторення (6 а), відкриємо дужки та застосуємо закон поглинання (10 б), тоді отримаємо

$$f = (a + \bar{d})(\bar{b} + \bar{d})(a + \bar{d}) = (a + \bar{d})(\bar{b} + \bar{d}) = a\bar{b} + a\bar{d} + \bar{b}\bar{d} + \bar{d} = a\bar{b} + \bar{d}$$

Завдання для аудиторних занять

Визначити інверсії таких функцій:

$$f_1 = (a + \bar{b} + c)(b + \bar{a}d) + \bar{b}\bar{d};$$

$$f_2 = a\bar{b}(c + \bar{b}\bar{d});$$

$$f_3 = \overline{a(\bar{c}d + bd)} + \bar{a}(\bar{c} + d).$$

Перевірити справедливість таких рівностей:

$$ab + \bar{a}\bar{b} + bcd = ab + \bar{a}\bar{b} + \bar{a}cd;$$

$$ab + \bar{c}\bar{d} + \bar{a}bcd + \bar{a}\bar{b}cd = (a + \bar{d})(b + \bar{c});$$

$$(a\bar{b} + c)(a + \bar{b})c = (a + \bar{b})c;$$

$$ab + ad + \bar{a}c + \bar{b}cd = ab + ad + \bar{a}c.$$

Мінімізувати логічні функції:

$$f_1 = ab + \bar{a}\bar{b}\bar{c} + bc;$$

$$f_2 = a\bar{b} + c + (a + \bar{b})c;$$

$$f_3 = a\bar{b} + c + (\bar{a} + b)\bar{c};$$

$$f_4 = a + \bar{a}\bar{b} + \bar{a}\bar{b}c + \bar{a}\bar{b}\bar{c}d;$$

$$f_5 = abd + a\bar{b} + a\bar{d} + abc;$$

$$f_6 = c\bar{d} + a\bar{d} + \bar{a}\bar{d};$$

$$f_7 = (\bar{a} + \bar{d})(a + \bar{d})(\bar{c} + \bar{d}).$$

Завдання для самостійної роботи

Визначити інверсії таких функцій:

$$f_1 = (a + \bar{b}c)(\bar{a}b + c);$$

$$f_2 = (abc + \bar{a}\bar{b}\bar{c})d + bcd;$$

$$f_3 = \overline{\bar{a} + \bar{b}c} + \bar{a}bc.$$

Перевірити справедливість таких рівностей:

$$\bar{a}\bar{c}d + \bar{a}cd + abd = \bar{a}d + bd;$$

$$ab + cd = (a + c)(a + d)(b + c)(b + d);$$

$$(a + b)(\bar{a} + c) = ac + \bar{a}b;$$

$$a\bar{b} + b\bar{c} + \bar{a}c = \bar{a}b + \bar{b}c + a\bar{c}.$$

Мінімізувати логічні функції:

$$f_1 = ab + abc + bc;$$

$$f_2 = (a\bar{b} + c)(a + \bar{b})c;$$

$$f_3 = (a\bar{b} + c)(\bar{a} + b)\bar{c};$$

$$f_4 = (a + \bar{b})(b + \bar{c})(c + \bar{a})(abc + \bar{a}\bar{b}\bar{c});$$

$$f_5 = ad + ab + \bar{a}c + \bar{b}cd.$$

Практичне заняття № 3

КАРТИ КАРНО

Основні теоретичні положення

Карта Карно – один з графічних способів подання логічних функцій. Для функцій n змінних вона складається з 2^n клітинок, причому кожна клітинка відповідає певному набору змінних. Вигляд карт Карно для функцій 2,3,4,5 і 6-

ти змінних зображений на рис.2. Вхідні змінні розміщуються з зовнішніх сторін карти проти її рядків або стовпців. Значення вхідної змінної стосується усіх клітинок у рядку або стовпці і дорівнює 1, якщо проти рядка або стовпця є дужка з позначенням цієї змінної. Для решти рядків і стовпців значення змінної дорівнює 0. У клітинках карти записується те значення функції, яке вона має при наборах вхідних змінних, що відповідають цим клітинкам.

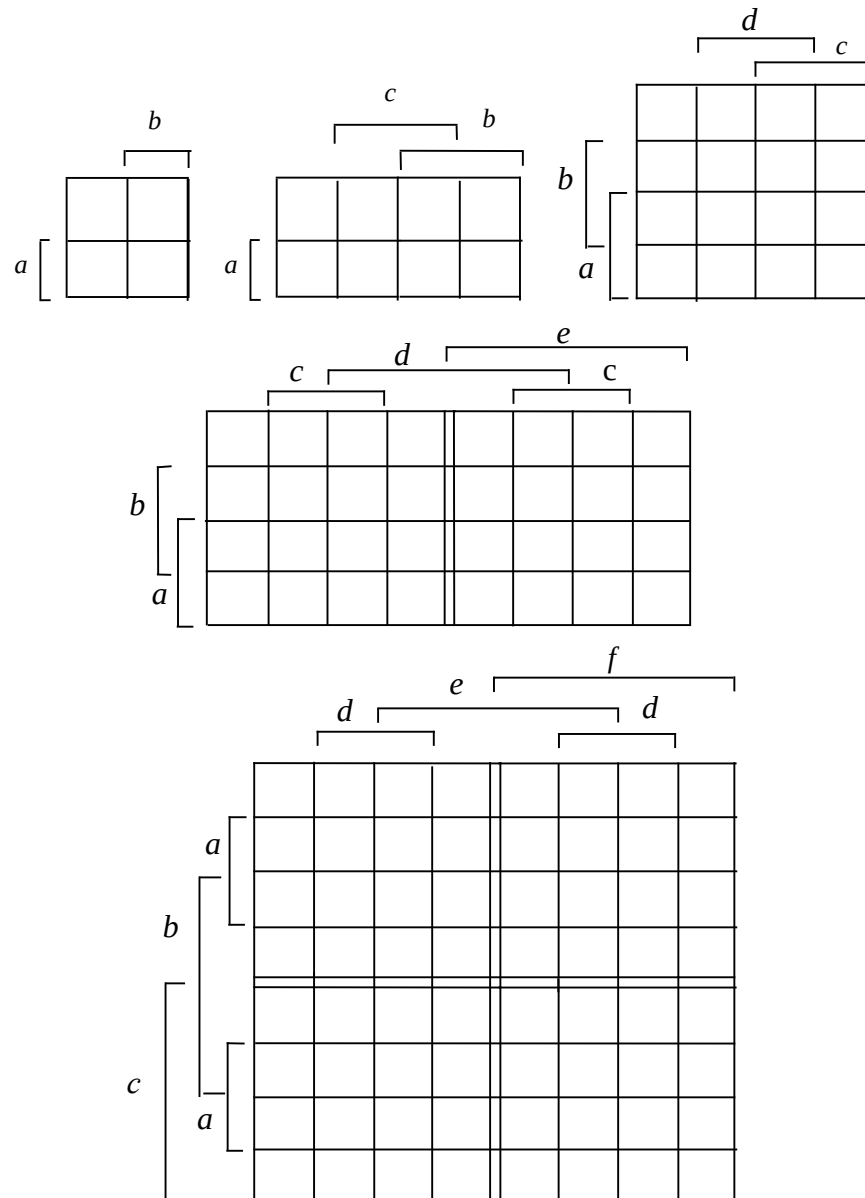


Рис.2

Функцію, задану алгебраїчним виразом, можна подати у вигляді карти Карно. Для цього перед усім задану функцію треба подати в диз'юнктивній (ДНФ) або кон'юнктивній (КНФ) нормальній формі. Розглянемо, як складається карта Карно для функції

$$f_1 = abc + \bar{a}\bar{b} + bcd,$$

поданої в ДНФ. Задана функція є функцією чотирьох змінних. Карту Карно для неї зображено на рис.3, а. Кон'юнкції abc відповідають дві клітинки, для яких $a=1, b=1, c=1$ (це 11-та і 12-та клітинки), кон'юнкції $\bar{a}\bar{b}$ – чотири клітинки, для яких $a=0, b=0$ (1,2,3 і 4-та), кон'юнкції bcd – клітинки, для яких $b=1, c=1, d=1$ (7-ма і 11-та). Заповнивши ці клітинки одиницями, а решту нулями, отримаємо карту Карно, що зображує функцію f_1 (клітинки пронумеровано тільки для зручності пояснення процесу заповнення карти Карно).

Розглянемо тепер, як заповнюється карта Карно для функції, поданої у КНФ,

$$f_2 = (a + b)(b + \bar{c} + d)(\bar{c} + d).$$

	$\begin{array}{c} d \\ \hline c \\ \hline \end{array}$					$\begin{array}{c} d \\ \hline c \\ \hline \end{array}$				
	1	2	3	4		1	2	3	4	
	1	1	1	1		0	0	0	0	
	5	6	7	8		5	6	7	8	
	0	0	1	0		1	1	0	1	
	9	10	11	12		9	10	11	12	
	0	0	1	1		1	1	0	1	
	13	14	15	16		13	14	15	16	
	0	0	0	0		1	1	0	0	
b	$\left[\begin{array}{c} \\ \\ \\ \end{array} \right]$				f_1	$\left[\begin{array}{c} \\ \\ \\ \end{array} \right]$				f_2
a					a					b

Рис.3

Диз'юнкції $a + b$ відповідає група клітинок, для яких $a + b = 0$, тобто $a=0, b=0$ (1,2,3 і 4-та клітинки карти Карно на рис.3,б). Диз'юнкції $b + \bar{c} + d = 0$ відповідають клітинки, для яких $b=0, c=1, d=0$, тобто 4 та 16-та. Диз'юнкції $\bar{c} + d = 0$ відповідає група клітинок, для яких $c=1, d=1$. Це 3,7,11 і 15-та клітинка. Заповнивши ці клітинки нулями, а решту – одиницями, отримаємо карту Карно, що зображує функцію f_2 .

За допомогою карт Карно досить просто відшукувати кон'юнкції або диз'юнкції, до яких можна застосувати закон склеювання (11 а) або (11 б) і таким чином мінімізувати логічну функцію. Вираз для клітинки з одиницею складається у вигляді кон'юнкції усіх змінних, причому, якщо змінна для цієї клітинки дорівнює одиниці, то вона записується без знака інверсії, а якщо дорівнює нулеві – із знаком інверсії. Наприклад, для клітинок 1 і 2 з одиницями (рис.3,а) ці вирази мають вигляд $\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}$ і $\bar{a}\bar{b}\bar{c}d$. Вираз для клітинки з нулем записується у вигляді суми усіх змінних, причому, якщо змінна для цієї клітинки дорівнює нулеві, то вона записується без знака інверсії, а якщо дорівнює одиниці – із знаком інверсії. Наприклад, для клітинок 5 і 6 з нулями (рис.3, а) ці вирази мають вигляд:

$$a + \bar{b} + c + d, \quad a + \bar{b} + c + \bar{d}.$$

Вирази для клітинок, що розміщуються поряд, відрізняються значенням тільки однієї змінної, тобто до них можна застосувати операцію склеювання, отже, для клітинок 1 і 2.

$$\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d} + \bar{a}\bar{b}\bar{c}d = \bar{a}\bar{b}\bar{c},$$

а для клітинок 5 і 6

$$(a + \bar{b} + c + d)(a + \bar{b} + c + \bar{d}) = (a + \bar{b} + c).$$

Будь-які клітинки, яким відповідають склеювані комбінації вхідних змінних, називаються сусідніми. Сусідніми є не тільки клітинки, що розміщені поряд одна одної у одному рядку або стовпці, але й клітинки у протилежних кінцях одного рядка або стовпця карти чотирьох змінних.

Для карти чотирьох змінних знаходити сусідні клітинки досить просто. Задача деякою мірою ускладнюється для карт п'ятьох, шістьох і більшої кількості змінних. Карту п'ятьох змінних можна подати у вигляді двох карт чотирьох змінних, карту шістьох змінних – у вигляді чотирьох карт чотирьох змінних тощо. Карти чотирьох змінних, що відрізняються значенням тільки однієї змінної, можна назвати сусідніми. Тоді сусідні карти будуть розміщуватися поряд одна одної або у протилежних кінцях одного рядка або

стовпця з карт чотирьох змінних і, отже, сусідніми будуть клітинки, що є сусідніми у тієї ж самої карти чотирьох змінних, або клітинки у сусідніх картах, які розміщуються симетрично відносно ліній, що ділять карту великої кількості змінних на карти чотирьох змінних.

При використанні карт Карно для мінімізації логічних функцій необхідно побудувати карту для відповідної кількості змінних і нанести на неї задану функцію. Потім слід об'єднати сусідні клітинки з одиницями в контури, записати вирази для контурів і скласти їх диз'юнкцію.

Сусідні клітинки спочатку об'єднують в пари, потім четвірки з сусідніх пар, тобто пар, що відрізняються тільки однією змінною, після цього сусідні четвірки об'єднують у вісімки тощо. Чим більше клітинок об'єднано в контур, тим простіший вираз, що відповідає контуру. Тому слід прагнути того, щоб кожний контур мав якомога більше клітинок. При цьому деякі контури можуть частково перекриватися, тобто ті ж самі клітинки можуть одночасно входити у кілька контурів. У контур можна об'єднувати не будь-яку парну кількість клітинок, а тільки 2^n клітинок, тобто 2,4,8,16 тощо. Крім того, необхідно уникати створення зайвих контурів, тобто контурів, усі клітинки яких вже належать до інших контурів. Для цього об'єднування слід починати з тих клітинок з одиницями, які можуть увійти тільки у один контур. Це положення ілюструється картою Карно на рис.4,*a*. Контур з чотирьох одиниць тут зайвий через те, що усі клітинки цього контуру вже увійшли до інших контурів.

Вираз для функції, яку задано картою Карно на рис.4,*a*, має вигляд:

$$\overline{a}\overline{b}\overline{d} + \overline{b}cd + abd + bcd$$

У контури можна об'єднувати клітинки не тільки з одиницями, а й з нулями. При цьому усі правила об'єднування залишаються попередніми, але функція записується у вигляді кон'юнкції диз'юнкцій, яким відповідають контури з нулями.

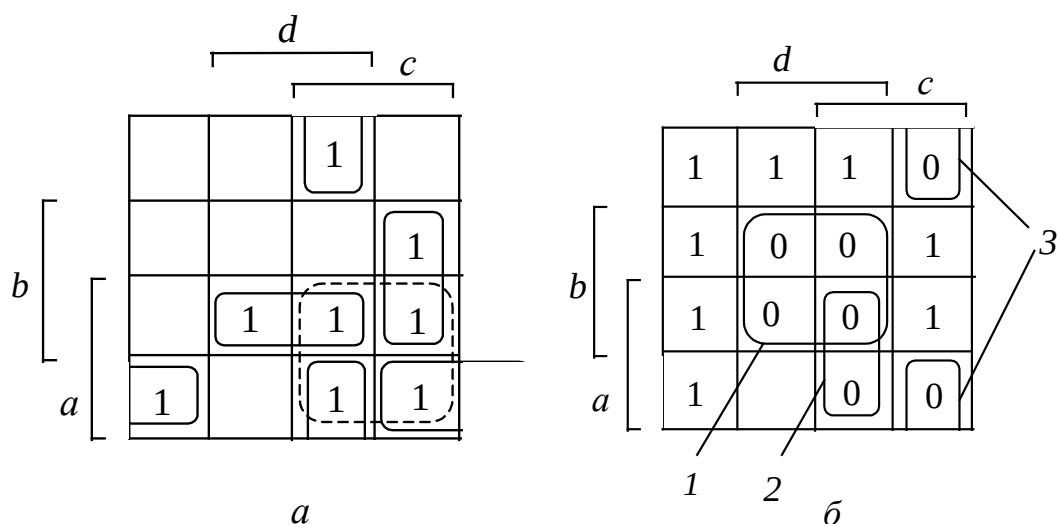


Рис.4

Вираз для контуру з нулями записується у вигляді диз'юнкції інверсій координат контуру. Наприклад, об'єднавши клітинки з нулями в карті Карно на рис.4,б, отримаємо для першого контуру вираз $\bar{b} + \bar{d}$, для другого $\bar{a} + \bar{c} + \bar{d}$, для третього $b + \bar{c} + d$. Функція у КНФ матиме вигляд:

$$(\bar{b} + \bar{d})(\bar{a} + \bar{c} + \bar{d})(b + \bar{c} + d).$$

Приклади мінімізації логічних функцій за допомогою карт Карно ілюструються рис.5, де показано способи об'єднання клітинок з одиницями в контури. У результаті виконаних об'єднань отримано такі мінімізовані вирази функцій:

$$f_1 = \bar{a}\bar{b}\bar{c} + \bar{a}d + \bar{b}c + cd;$$

$$f_2 = \bar{c}\bar{d}\bar{e} + \bar{b}\bar{c}d + \bar{a}\bar{b}\bar{e} + acd.$$

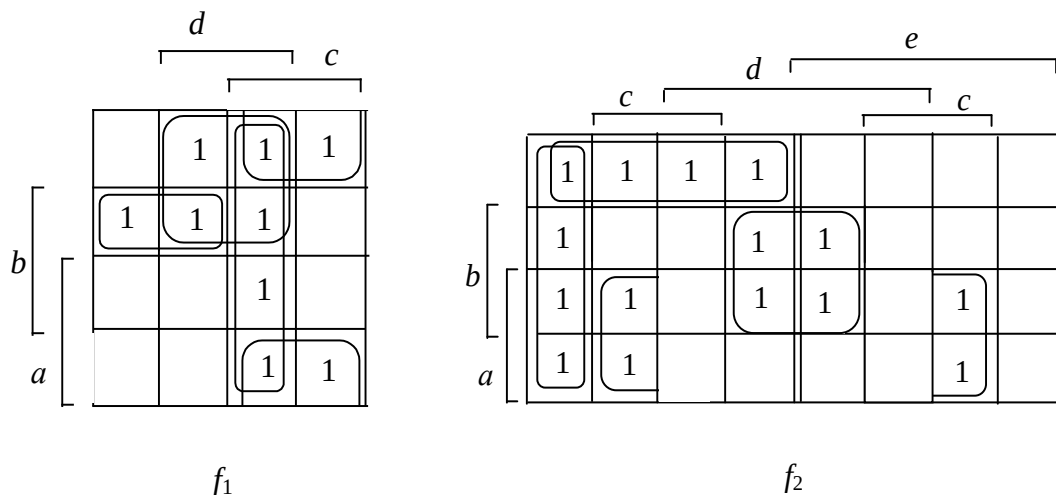


Рис.5

Завдання для аудиторних занять

1. Мінімізувати такі логічні функції за допомогою карти Карно:

$$\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d} + \bar{a}\bar{b}cd + \bar{a}\bar{b}c\bar{d} + \bar{a}b\bar{d} + bcd + acd + \bar{a}\bar{b}\bar{d};$$

$$(a\bar{b} + c)(a + \bar{b})c + \bar{a}\bar{b}\bar{c};$$

$$a + \bar{a}b + \bar{a}\bar{b}c + \bar{a}\bar{b}\bar{c}d + \bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}e;$$

$$\bar{a}d(\bar{b} + c) + \bar{a}\bar{d}(b + \bar{c}) + (\bar{b} + c)(b + \bar{c}) + abcd.$$

2. Перевірити справедливість таких рівностей:

$$ab + \bar{a}\bar{b} + bcd = ab + \bar{a}\bar{b} + \bar{a}cd;$$

$$ab + \bar{c}\bar{d} + \bar{a}bcd + \bar{a}\bar{b}\bar{c}d = (a + \bar{d})(b + \bar{c})$$

3. Записати мінімізовані ДНФ та КНФ функцій, поданих картами Карно на рис.6.

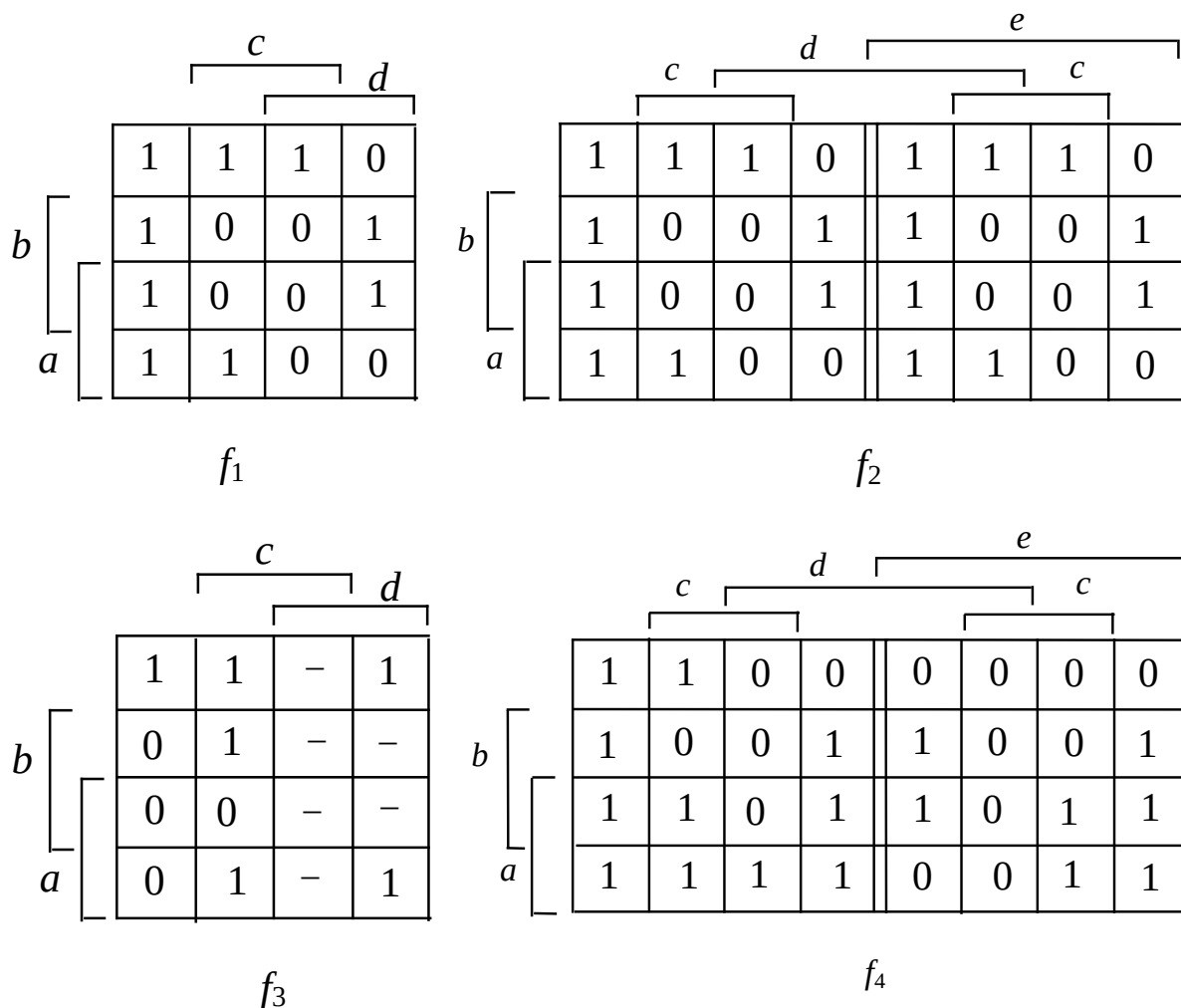


Рис.6

Завдання для самостійної роботи

1. Мінімізувати такі логічні функції за допомогою карти Карно:

$$\bar{a} \bar{c} \bar{d} + b \bar{c} \bar{d} + a \bar{c} \bar{d} + \bar{a} \bar{c} d + \bar{a} \bar{b} c + a c \bar{d} + a b \bar{c};$$

$$ad + ab + a\bar{c} + \bar{b}cd + ab\bar{d};$$

$$(a + b + \bar{c} + d)(a + \bar{b} + c + \bar{d})(a + \bar{b} + \bar{c} + d)(a + \bar{b} + \bar{c} + \bar{d});$$

$$(a + \bar{b})(b + \bar{c})(c + \bar{a}) + abc + \bar{a} \bar{b} \bar{c}.$$

2. Перевірити справедливості таких рівностей:

$$(a\bar{b} + c)(a + \bar{b})d + \bar{a}bd = \bar{a}bd + acd + \bar{b}cd;$$

$$\bar{b} \bar{c} + ad + \bar{b}d = (\bar{c} + d)(\bar{b} + a)(\bar{b} + d).$$

3. Записати мінімізовані ДНФ та КНФ функцій, поданих картами Карно на рис.7.

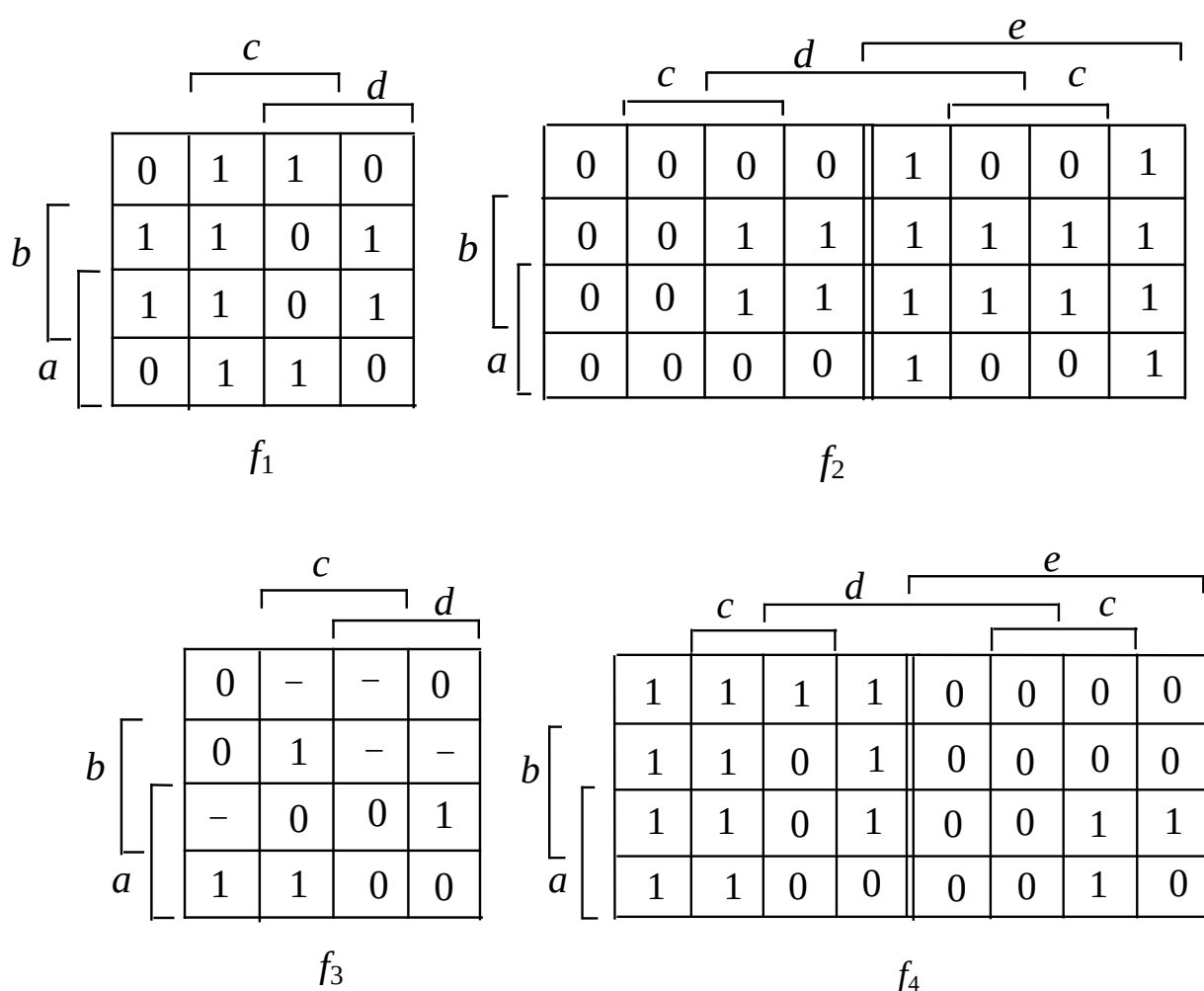


Рис.7

Практичне заняття № 4

СИНТЕЗ ОДНОТАКТНИХ СХЕМ

Основні теоретичні положення

Схема називається однотоктною, якщо стан її виходів визначається тільки комбінацією значень вхідних сигналів і не залежить від послідовності їх надходження. Отже, робота однотоктної схеми повністю описується таблицею істинності. Тому синтез однотоктної схеми можна виконати у такому порядку:

- 1) за заданими умовами роботи складається таблиця істинності;
- 2) за таблицею істинності записуються логічні формули для вихідних змінних;
- 3) якщо є можливість, записані функції мінімізуються.

При великій кількості вхідних змінних таблицею істинності користуватися незручно через те, що вона складатиметься з великої кількості рядків. У цьому разі умови роботи схеми зручно одразу перенести на карту Карно і застосувати цю карту для мінімізації функції.

Як приклад розглянемо синтез схеми, яка виявляє неприпустимі комбінації в двійково-десятковому коді 8421. Умова роботи схеми: схема має чотири входи і один вихід. На входи надходять сигнали 0 і 1, які є розрядами двійкового числа. Якщо це число менше або дорівнює 9, то вихідний сигнал схеми дорівнює нулю, якщо числа на вході більше 9, вихідний сигнал дорівнює одиниці.

За заданими умовами роботи складаємо таблицю істинності (табл.2), в якій прийнято, що a – старший, а d – молодший розряди вхідного двійкового числа.

За даними табл.2 записуємо вираз функції f у доконаній диз'юнктивній нормальній формі (ДДНФ):

$$f = \overline{a}\overline{b}\overline{c}\overline{d} + \overline{a}\overline{b}cd + ab\overline{c}\overline{d} + ab\overline{c}d + abcd + abcd.$$

Таблиця 2

Вхідні сигнали				Вихідний сигнал
a	b	c	d	f
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1

Застосувавши закон склеювання, мінімізуємо записану функцію

$$f = a\bar{b}c + ab\bar{c} + abc = ac + ab.$$

Цю задачу можна розв'язати більш простим способом, якщо скласти карту Карно безпосередньо за умовою роботи схеми і застосувати цю карту для мінімізації функції. Карту Карно зображено на рис.8. Вираз функції має вигляд:

$$f = ab + ac.$$

У розглянутому прикладі кількість вхідних змінних була порівняно невеликою, тому умову роботи було зручно подавати у вигляді таблиці істинності або карти Карно. Задача суттєво ускладнюється при збільшенні кількості вхідних змінних. Наприклад, для восьми вхідних змінних таблиця істинності складатиметься з 256 рядків, а карта Карно стає досить громіздкою. Тому у багатьох випадках найбільш доцільним є розроблення функціональної схеми, тобто подання однієї складної схеми у вигляді сполучення окремих

структурних елементів (функціональних вузлів або блоків), які мають невелику кількість вхідних сигналів.

		c		d	
		0	0	0	0
		0	0	0	0
b	a	1	1	1	1
		0	1	1	0
			f		

Рис.8

У багатьох практичних задачах зустрічаються так звані невикористані стани входів, тобто такі набори вхідних змінних, які при заданих умовах роботи ніколи не матимуть місця, наприклад, комбінації сигналів, які відповідають числам більше 9 у двійково-десятковому коді. У клітинках карти Карно, що відповідають невикористаним станом, проставляють риски. Клітинки з рисками при мінімізації функцій можна об'єднувати в контури з клітинками, що містять одиниці або нулі. Це дозволяє спростити синтезовану логічну функцію.

Іноді при синтезі одноктактних схем не обов'язково складати повну таблицю істинності, а достатньо розглянути тільки ті комбінації вхідних сигналів, які мають місце у реальних умовах роботи.

Завдання для аудиторних занять

1. Спроекувати одноктактну схему, яка має чотири вхідні (a, b, c, d) і три вихідні сигнали (f_1, f_2, f_3). Сигнал $f_1=1$, якщо більшість вхідних сигналів дорівнює одиниці; сигнал $f_2=1$, якщо жоден з вхідних сигналів не дорівнює одиниці, сигнал $f_3=1$, якщо хоч один з вхідних сигналів дорівнює одиниці.

2. Виконати синтез одноктактної схеми, що має чотири вхідні (a, b, c, d) і чотири вихідні (f_1, f_2, f_3, f_4) сигнали. Вхідні сигнали a і b являють собою число M в двійковому коді, сигнали c і d – число N . Вихідні сигнали f_1, f_2, f_3, f_4 повинні

являти собою добуток MN в двійковому коді, причому f_1 - старший розряд, f_4 – молодший.

3. Схема виконує вибір “за більшістю” з чотирьох сигналів a, b, c, d . Значення сигналу на виході схеми збігається із значенням більшості вхідних сигналів. Якщо два вхідних сигнали дорівнюють нулю, а два інших – одиниці, то вихідний сигнал дорівнює нулю.

4. Схема має вісім вхідних сигналів і виконує перевірку на парність. Вихідний сигнал схеми дорівнює одиниці тільки у тому разі, якщо парна кількість вхідних сигналів дорівнює одиниці. Нуль вважати парним числом.

5. Схема виконує функцію чотирирозрядного двійково-десятькового дешифратора. Дешифратор має чотири входи, на які подаються сигнали розрядів двійкового числа, і десять виходів. При поданні на вхід комбінації сигналів, яка являє собою двійкове число, з’являється сигнал тільки на одному з виходів, номер якого відповідає двійковому числу на вході.

Завдання для самостійної роботи

1. Виконати синтез схеми, що виконує функції однорозрядного повного двійкового суматора, тобто має три вхідні (a, b, c) і два вихідні (S, P) сигнали. Вхідні сигнали: a, b - доданки, c – сигнал переносу з молодшого розряду; вихідні сигнали; S – сума, P – сигнал переносу в наступний розряд.

2. Схема визначає різницю $A - B$ двох дворозрядних двійкових чисел $A = a_2a_1$ і $B = b_2b_1$, де a_2, b_2 - старші розряди чисел A і B . Вихідний сигнал являє собою дворозрядне двійкове число $C = c_2c_1$. Комбінації вхідних сигналів, що відповідають значенням $B > A$, на вхід не подаються.

3. Схема має вісім вхідних сигналів і виконує перевірку на непарність. Вихідний сигнал схеми дорівнює одиниці тільки у тому разі, якщо непарна кількість вхідних сигналів дорівнює одиниці.

Практичне заняття № 5

СИНТЕЗ БАГАТОТАКТНИХ СХЕМ МЕТОДОМ ТАБЛИЦЬ ПЕРЕХОДІВ І КАРТ КАРНО

Основні теоретичні положення

Схема називається багатотактною, якщо стан її виходів залежить не тільки від набору вхідних сигналів у даний момент часу, але й від послідовності їх надходження.

Синтез схеми методом таблиць переходів і карт Карно виконується в такій послідовності:

- 1) складання первинної таблиці переходів;
- 2) стиснення первинної таблиці переходів;
- 3) визначення кількості і розміщення станів проміжних змінних;
- 4) складання карт Карно для проміжних і вихідних змінних і визначення за ними алгебричних виразів.

Розглянемо методику синтезу на такому прикладі. Виконати синтез схеми, виходячи з таких умов її роботи: схема має три вхідних сигнали a, b, c і один вихідний X ; вихідний сигнал $X=1$ тільки у тому разі, якщо усі три вхідні сигнали дорівнюють одиниці, причому сигнал a був поданий другим, тобто після сигналу b або c .

1. *Складання первинної таблиці переходів.* Цей етап починається з визначення кількості вихідних станів схеми. Оскільки умови роботи схеми не передбачають жодних обмежень на послідовність надходження вхідних сигналів, тому слід розглянути усі можливі комбінації вхідних сигналів і для кожної з них визначити кількість можливих станів схеми. Для цього рекомендується скласти табл.3.

Кожній з перших п'яти комбінацій вхідних сигналів відповідає свій однозначний (1...5) стан схеми. Кожній з решти трьох комбінацій сигналів

Таблиця 3.

Номер стану схеми	Комбінації вхідних сигналів			Значення вихідного сигналу X	Коментар
	a	b	c		
1	0	0	0	0	
2	0	0	1	0	
3	0	1	0	0	
4	0	1	1	0	
5	1	0	0	0	
6	1	0	1	0	a поданий першим
7	1	0	1	0	a поданий другим
8	1	1	0	0	a поданий першим
9	1	1	0	0	a поданий другим
10	1	1	1	0	a поданий не другим
11	1	1	1	1	a поданий другим

a, b, c (101, 110, 111) відповідають по два стани схеми через те, що схема повинна відрізняти черговість надходження сигналу a . Отже, загальна кількість станів схеми – 11.

Після визначення кількості станів схеми будуюмо первинну таблицю переходів (рис.9), яка має 11 рядків – по одному для кожного стану схеми. У крайньому лівому стовпці записуються номери вихідних станів, у крайньому правому – відповідні їм значення вихідної змінної. У стовпцях середньої частини таблиці записують номери тих станів, у які переходить схема з вихідного при наборі вхідних сигналів, що відповідають стовпцям.

Номер вихідного стану	Наступні стани								Вихідна змінна X
	a	b	c	a	b	c	a	b	
1	< 1 >	5	–	3	–	–	–	2	0
2	1'	–	–	–	4	–	7	< 2 >	0
3	1	–	9	< 3 >	4	–	–	–	0
4	–	–	–	3	< 4 >	10	–	2	0
5	1	< 5 >	8	–	–	–	6	–	0
6	–	5	–	–	–	10	< 6 >	2	0
7	–	5	–	–	–	11	< 7 >	2	0
8	–	5	< 8 >	3	–	10	–	–	0
9	–	5	< 9 >	3	–	11	–	–	0
10	–	–	8	–	4	< 10 >	6	–	0
11	–	–	9	–	4	< 11 >	7	–	1

Рис. 9

При заповненні середньої частини таблиці необхідно мати на увазі, що багатотактні схеми можуть перебувати в двох станах – стійкому і нестійкому. Стійкий стан характеризується тим, що при незмінному наборі вхідних змінних він також не змінюється протягом скільки завгодно тривалого часу. Номери стійких станів записуються в кутових дужках $\langle \rangle$. Нестійкий стан спостерігається у тому разі, коли набір вхідних сигналів змінився, а внутрішній стан схеми, тобто стан вихідних і проміжних змінних, ще не набув відповідності новому наборові вхідних сигналів. Тривалість нестійкого стану визначається часом запізнювання в передачі вхідної дії на вихід. Номери нестійких станів записуються без дужок.

Середню частину таблиці переходів рекомендується заповнювати в такій послідовності. Спочатку записують номери стійких станів на перетині рядків з тим самим номером вихідного стану і стовпців, яким відповідає набір вхідних змінних для цього стану схеми. Номери вихідних станів і відповідні їм набори вхідних змінних беруть з табл.3. Стійкий стан $\langle 1 \rangle$ записують у першому рядку і стовпці, для якого $a=0, b=0, c=0$; стійкий стан $\langle 2 \rangle$ - у другому рядку і стовпці, для якого $a=0, b=0, c=1$ тощо.

Після запису стійких станів визначаємо усі можливі переходи з кожного стійкого стану в інші і записуємо номери нестійких станів. З кожного стійкого стану можливі тільки три переходи при змінюванні кожної вхідної змінної окремо. Наприклад, у стані $\langle 1 \rangle$ вхідні змінні $a=0, b=0, c=0$ (набір 000), тому слід розглядати переходи схеми при змінюванні кожної змінної a, b, c з 0 на 1. При змінюванні a з 0 на 1 (набір 100) схема переходить у стан 5 (див.табл.3), при змінюванні b з 0 на 1 (набір 010) - у стан 3, а при змінюванні c з 0 на 1 (набір 001) - у стан 2. Ці номери нестійких станів записують у першому рядку таблиці переходів. Решту клітинок у цьому рядку заповнюють рисками.

Запишемо тепер переходи з стану $\langle 2 \rangle$ (набір вхідних змінних 001). Можливі змінювання вхідних сигналів: a з 0 на 1, b з 0 на 1, c з 1 на 0. При змінюванні a з 0 на 1 (набір 101) схема переходить у стан 7, а не 6, тому що у

стані $\langle 2 \rangle$ сигнал c вже дорівнював 1 і, отже, сигнал a подається другим. При змінюванні сигналу b з 0 на 1 (набір 011) схема переходить у стан 4, а при змінюванні c з 1 на 0 (набір 000) – у стан 1.

Аналогічно заповнюємо решту рядків таблиці переходів.

2. *Стисненням первинної таблиці переходів.* Ця операція виконується з метою скорочення кількості рядків таблиці шляхом сполучення кількох рядків в один. Сполучення рядків виконується за такими правилами:

1) кілька рядків можна об'єднати в один, якщо номери станів в них у тих самих стовпцях однакові або замість номера стану стоїть риска;

2) якщо об'єднуються стійкий і нестійкий стани, то в сполученому рядку записується стійкий стан;

3) можна об'єднувати рядки як з однаковими значеннями вихідних змінних, так і з різними;

4) у стисненій таблиці переходів значення вихідних змінних не записуються.

Кількість рядків первинної таблиці переходів на рис.9 можна зменшити до двох, об'єднавши рядки 1, 2, 3, 7, 9, 11 і 4, 5, 6, 8, 10. Тоді стиснена таблиця переходів матиме вигляд, показаний на рис.10.

Номери вихідних станів	Наступні стани							
1,2,3, 7,9,11	$\langle 1 \rangle$	5	$\langle 9 \rangle$	$\langle 3 \rangle$	4	$\langle 11 \rangle$	$\langle 7 \rangle$	$\langle 2 \rangle$
4,5,6, 8,10	1	$\langle 5 \rangle$	$\langle 8 \rangle$	3	$\langle 4 \rangle$	$\langle 10 \rangle$	$\langle 6 \rangle$	2

Рис.10

3. *Визначення кількості і розміщення станів проміжних змінних.* Кількість проміжних змінних визначається виходячи з того, що кожному рядку стисненої таблиці переходів повинна відповідати своя певна комбінація значень

проміжних змінних. Мінімальна кількість проміжних змінних визначається з формули

$$2^{S_{\min}} \geq N,$$

де $S_{\min}$ – мінімально необхідна кількість проміжних змінних; N - кількість рядків стисненої таблиці переходів.

Після вибору кількості проміжних змінних кожному рядку стисненої таблиці необхідно покласти у відповідність певну комбінацію проміжних змінних так, щоб рядки розрізнялися між собою як мінімум значенням однієї змінної. Ця операція називається розміщенням станів проміжних змінних.

У розглядуваному прикладі стиснена таблиця переходів має два рядки, тому достатньо ввести тільки одну проміжну змінну P . Значення проміжної змінної для першого і другого рядків таблиці можна приймати довільно. Прийmemo, що в станах 1, 2, 3, 7, 9, 11 (перший рядок) змінна $P=1$, а в станах 4, 5, 6, 8, 10 (другий рядок) змінна $P=0$.

4.Складання карт Карно для проміжних і вихідних змінних і визначення за ними алгебричних виразів. Карти Карно складають так, щоб вхідні змінні розміщувалися зверху карт так само, як і у середній частині таблиці переходів, а проміжні змінні – ліворуч.

Карту Карно для проміжної змінної P , яка відповідає стисненій таблиці переходів на рис.10, показано на рис.11,*а*. Заповнюється вона так. Спочатку визначаються рядки карти, що відповідають рядкам стисненої таблиці переходів. Верхній рядок карти ($P=0$) відповідає другому рядку таблиці на рис.10. Ця обставина позначена символом $S - 4, 5, 6, 8, 10$ проти верхнього рядка. Нижній рядок карти ($P=1$) відповідає першому рядку таблиці. Його позначено символом $S - 1, 2, 3, 7, 9, 11$. Після цього замість номера стану в таблиці переходів у клітинках карти Карно записується значення проміжної змінної, яке вона має у цих станах, тобто замість станів 1, 2, 3, 7, 9, 11 записується одиниця, а замість станів 4, 5, 6, 8, 10 – нуль.

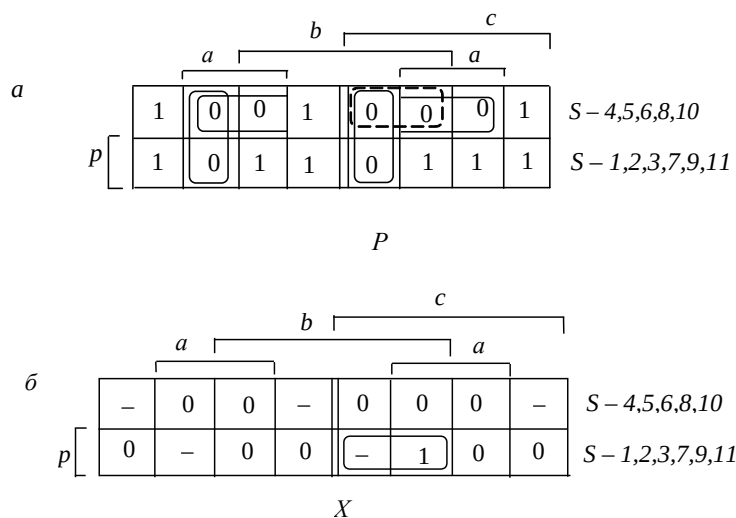


Рис.11

При складанні виразу для P у контури об'єднували клітинки з нулями, тому функцію отримано у КНФ. У виразі для P введено додатковий член $(\bar{b} + \bar{c} + p)$, зайвий за умовами мінімізації. Цей член відповідає зчепленому контуру і (показаний штриховою лінією на рис.11) і не залежить від a . Тому він зберігає значення $P = 0$ у разі, коли сигнал a надходить останнім, причому a стає рівним 1 раніше, ніж $\bar{a}$ набуває значення 0.

Карти Карно для вихідних змінних заповнюються аналогічно, різниця полягає лише у тому, що враховуються тільки стійкі стани в таблиці переходів, а номери нестійких станів замінюються ризиками. Замість номера стійкого стану у відповідну клітинку карти Карно записується значення вихідної змінної, яке вона має у цьому стані. Оскільки значень вихідної змінної в стисненій таблиці переходів немає, то слід користуватися первинною (не стисненою) таблицею переходів. Зокрема, при заповненні карти Карно для вихідної змінної X стійкий стан $\langle 11 \rangle$ замінюється на одиницю, решта стійких станів – на нулі, нестійки стани - на ризики. Отриману таким чином карту Карно показано на рис.11,б.

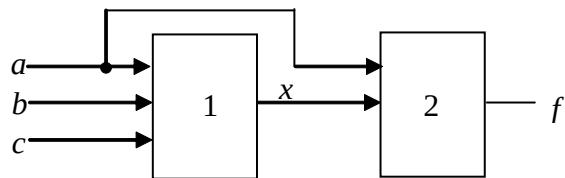
За картами Карно на рис.11 складають алгебраїчні вирази для проміжної змінної P і вихідної X :

$$P = (\bar{a} + p)(\bar{a} + b + c)(a + \bar{b} + \bar{c})(\bar{b} + \bar{c} + p);$$

$$X = pbc.$$

Розглянутий приклад відносно простий і не повністю виявляє усі деталі методу синтезу. Для більш повного розкриття особливостей цього методу розглянемо ще кілька прикладів.

Розв'яжемо попередню задачу, додавши умову, що після того, як вихідний сигнал набуває значення 1, воно зберігається доти, поки сигнал $a=1$. Ця додаткова умова суттєво збільшує кількість станів схеми. Так наприклад, комбінації сигналів $a=1, b=0, c=0$ вже відповідатимуть два стани схеми (перший - для вихідного сигналу $X=1$, другий - для $X=0$, де X - вихідний сигнал схеми, синтез якої розглядався у попередньому прикладі), комбінаціям $a=1, b=0, c=1$ і $a=1, b=1, c=0$ відповідатимуть по три різних стани через те, що додаються стани, які виникають після того, як сигнал X набув значення 1.



a

Номер вихідного стану	Наступні стани				Вихідна Змінна f
	b				
	a				
1	< 1 >	3	–	–	0
2	1	< 2 >	4	–	1
3	1	< 3 >	4	–	0
4	–	2	< 4 >	–	1

б

Номери вихідних станів	Наступні стани			
		a	b	
1,3	< 1 >	< 3 >	4	–
2,4	1	< 2 >	< 4 >	–

в

f		a	x	
	0	0	1	–
	0	1	1	–

г

Рис.12

Для спрощення синтезу загальну схему доцільно подати у вигляді двох блоків (рис.12,а). Умова роботи блока 1 збігається з умовою роботи схеми у попередньому прикладі, тобто вихідний сигнал $X=1$ тільки у тому разі, якщо усі три вхідних сигнали дорівнюють 1 і сигнал a надійшов другим. Умову роботи блока 2 можна сформулювати так: вихідний сигнал f набуває значення 1, якщо $X=1$, і це значення зберігається після того, як X стає рівним нулеві, а сигнал a залишається рівним одиниці. При $a=0$ вихідний сигнал $f=0$.

Для визначення кількості станів блока 2 складемо табл.4.

Таблиця 4.

Номер стану блока 2	Комбінації вхідних сигналів		Значення вихідного сигналу f	Коментар
	a	X		
1	0	0	0	-
-	0	1	-	Неможлива комбінація a і X за умовами роботи схеми
2	1	0	1	Перед переходом до цієї комбінації X дорівнював одиниці
3	1	0	0	Перед переходом до цієї комбінації X дорівнював нулеві
4	1	1	1	-

Загальна кількість станів дорівнює 4. Таблицю переходів, що відповідає умові роботи блока 2, подано на рис.12,б.

Комбінація сигналів $a = 0$, $X = 1$ неможлива за умовами роботи схеми, тому у відповідному стовпці таблиці переходів на рис.12, б ставимо риски. Із стану $\langle 1 \rangle$ при змінюванні сигналу a з 0 на 1 відбувається перехід в стан 3, а не 2 через те, що у вихідному стані $\langle 1 \rangle$ сигнал $X=0$. Із станів $\langle 2 \rangle$ і $\langle 3 \rangle$ при змінюванні сигналів a і X відбуваються переходи в стани 1 і 4, а з стану $\langle 4 \rangle$ при змінюванні сигналу X з 1 на 0 можливий перехід тільки в стан 2, а не 3 через те, що у вихідному стані $\langle 4 \rangle$ сигнал $X = 1$.

Первинна таблиця переходів (рис.12,б) стискається за рахунок об'єднання рядків 1, 3 і 2, 4 і набуває вигляду рис.12,в. При стисненні первинної таблиці переходів об'єднувалися рядки з однаковими значеннями вихідної змінної, тому з'являється можливість застосувати вихідну змінну як проміжну.

Використаємо цю можливість, тобто проміжною змінною будемо вважати вихідну змінну f . При цьому необхідно враховувати таку обставину. Якщо вихідна змінна використовується як проміжна, то карта Карно для неї складається за тими самими правилами, що й для проміжної змінної, тобто враховуються всі стани, як стійкі, так і нестійкі.

Карту Карно для змінної f показано на рис.12,з. Згідно з цією картою

$$f = x + af.$$

Отже, вся схема, яка складається з блоків 1 і 2, описується рівняннями

$$P = (\bar{a} + p)(\bar{a} + b + c)(a + \bar{b} + \bar{c})(\bar{b} + \bar{c} + p);$$

$$X = pbc;$$

$$f = x + af.$$

Завдання для аудиторних занять

1. Виконати синтез схеми, що має два вхідних (a і b) і два вихідних (f_1 і f_2) сигнали. Сигнал $f_1=1$, якщо $a = 1, b=0$ або $a = 1, b = 1$, причому сигнал a надійшов першим. Сигнал $f_2=1$, якщо $a = 0, b = 1$ або $a = 1, b = 1$, але першим надійшов сигнал b .

2. Виконати синтез схеми, що має три вхідні (a, b, c) і один вихідний сигнал f . Сигнал $f=1$, якщо $a=1, b=1, c=1$, причому сигнал a подано першим, а потім сигнали b і c у будь-якій послідовності. Після того, як вихідний сигнал набуває значення 1, воно зберігається доти, поки сигнал $a=1$, незалежно від значення сигналів b і c .

3. Виконати синтез схеми керування двигунами $M1, M2, M3$ за допомогою кнопок “Пуск” і “Стоп”. При натисненні кнопки “Пуск” двигун $M1$ вмикається без затримки часу, а потім із затримкою t_1 вмикається двигун $M2$ і з затримкою t_2 – двигун $M3$. При натисненні кнопки “Стоп” усі двигуни вимикаються без затримки часу.

Завдання для самостійної роботи

1. Виконати синтез схеми, що має три вхідні (a, b, c) сигнали і один вихідний f . Сигнал f набуває значення 1 при надходженні сигналів a або b і зберігає це значення після зняття цих сигналів. При надходженні сигналу c вихідний сигнал $f=0$ незалежно від стану сигналів a і b .

2. Виконати синтез схеми, що має два вхідні сигнали a і b і два вихідні f_1 і f_2 . Стан входів розглядається як двійкове число. Якщо при змінюванні входів це число збільшується, то $f_1=1, f_2=0$, якщо зменшується, то $f_1=0, f_2=1$.

3. Виконати синтез схеми керування двигуном M за допомогою кнопок "Пуск" і "Стоп". Двигун вмикається через час t_1 після натиснення кнопки "Пуск" і вимикається через час t_2 після натиснення кнопки "Стоп".

Практичне заняття № 6

СИНТЕЗ СХЕМ З ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ЗАТРИМКАМИ МЕТОДОМ ТАБЛИЦЬ ПЕРЕХОДІВ І КАРТ КАРНО

Основні теоретичні положення

В деяких схемах за умовами роботи передбачаються затримки часу при переході з одного стану в інший. Синтез таких схем має свої особливості. По-перше, затримки часу здійснюються за рахунок затримки сигналів проміжних змінних, тому їх мінімальна кількість дорівнює кількості незалежних затримок, передбачених умовами роботи схеми. По-друге, в таблиці переходів з'являються рядки, які відповідають нестійким станам, пов'язаним із затримками. В іншому синтез схеми із затримками виконується аналогічно синтезу схем без затримок. Розглянемо такий приклад.

Виконати синтез схеми керування двигунами M_1 і M_2 за допомогою кнопок "Пуск" і "Стоп". При натисненні кнопки "Пуск" вмикається двигун M_1 без затримки, а потім двигун M_2 з затримкою t_1 . При натисненні кнопки "Стоп"

двигун M2 вимикається без затримки, а потім двигун M1 вимикається з затримкою t_2 .

Введемо такі позначення вхідних і вихідних сигналів: a -сигнал кнопки "Пуск"; b -сигнал кнопки "Стоп"; X - сигнал на вмикання двигуна M1; Y - сигнал на вмикання двигуна M2.

Схема має лише два стійких стани: обидва двигуни вимкнені і обидва двигуни ввімкнені. Крім цих станів, до таблиці переходів слід ввести ще й нестійкі стани, пов'язані з затримками: 1) після натиснення кнопки "Пуск" ввімкнений двигун M1, але ще не ввімкнений двигун M2; 2) після натиснення кнопки "Стоп" вимкнений двигун M2, але ще не вимкнений двигун M1. Отже, схема може перебувати у чотирьох станах:

- 1) вимкнені двигуни M1 і M2 ($a=0$; $b=0$ або $b=1$; $X=0$; $Y=0$);
- 2) ввімкнений двигун M1 і ще не ввімкнений двигун M2 ($a=1$ або $a=0$; $b=0$; $X=1$; $Y=0$);
- 3) ввімкнені обидва двигуни ($a=0$ або $a=1$; $b=0$; $X=1$; $Y=1$);
- 4) вимкнений двигун M2 і ще не вимкнений двигун M1 ($a=0$; $b=1$ або $b=0$; $X=1$; $Y=0$).

Стани 1 і 3 є стійкими, а стани 2 і 4 – нестійкими через те, що без змінювання зовнішніх сигналів вони зберігаються тільки протягом часу t_1 і t_2 відповідно.

Первинну таблицю переходів показано на рис.13,а. Стійкий стан $\langle 1 \rangle$ зберігається при $a = 0$, $b = 0$ або $a = 0$, $b = 1$ і переходить в стан 2 при $a = 1$. Проте стан 2 нестійкий і з затримкою t_1 він переходить в стійкий стан $\langle 3 \rangle$. Цей же перехід здійснюється також при $a = 0$, $b = 0$, тобто коли кнопка "Пуск" буде відпущеною після її натиснення. З стану $\langle 3 \rangle$ при $b = 1$ відбувається перехід в стан 4. Він також нестійкий і через час t_2 переходить в стійкий стан $\langle 1 \rangle$. Такий самий перехід здійснюється також при $b = 0$, тобто після того, як кнопку "Стоп" буде відпущено.

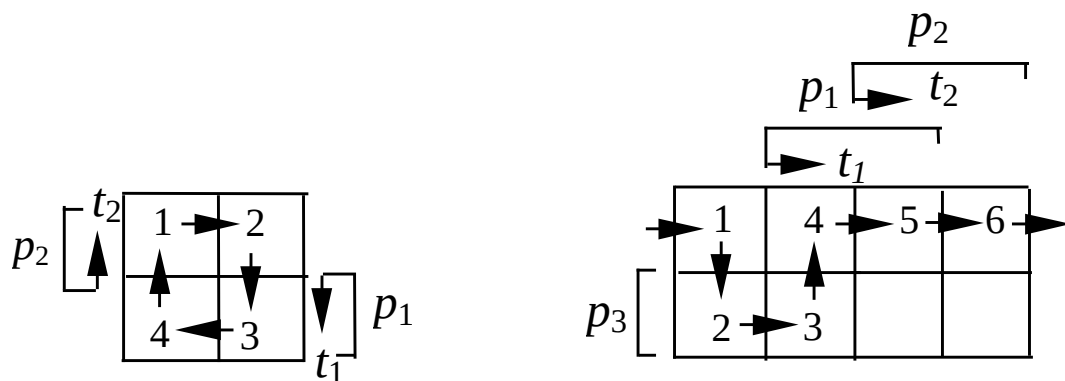
За умовами роботи схеми необхідно забезпечити дві незалежні затримки часу t_1 і t_2 , тому мінімальна кількість проміжних змінних – дві (P_1 і P_2). З ціллю визначення відповідності між станами схеми й значеннями проміжних змінних за таблицею переходів складаємо карту відповідності (рис.13,б).

У клітинках карти записують номери вихідних станів схеми, а вхідними змінними є вибрані проміжні змінні P_1 і P_2 .

Стрілками позначено напрямки змінювань проміжних змінних (від 0 до 1), що супроводжуються затримками t_1 і t_2 , тобто показано, що перехід з стану 2 в стан 3 супроводжується затримкою t_1 при змінюванні P_1 з 0 на 1, а перехід з стану 4 в стан 1 – затримкою t_2 і змінюванням змінної P_2 також з 0 на 1.

Номер вихідного стану	Затримка	Наступні стани				Вихідні змінні	
		a b 				X	Y
1		< 1 >	2	–	< 1 >	0	0
2	t_1	3 t_1	3 t_1	–	–	1	0
3		< 3 >	< 3 >	–	4	1	1
4	t_2	1 t_2	–	–	1 t_2	1	0

a



б

в

Рис.13

З рис.13,б випливає, що під час переходу з стану 2 в стан 3, а також з стану 4 в стан 1 змінюються одразу дві проміжні змінні, що може спричинити змагання. Крім того, станам 1 і 2, а також 3 і 4 відповідають однакові набори значень проміжних змінних, що не є припустимим. Тому необхідно ввести

додаткову проміжну змінну P_3 . Тоді карта відповідності матиме вигляд, показаний на рис.13,в. Для переходу з стану 4 в стан 1 введено два додаткові нестійкі стани 5 і 6, які забезпечують цілком визначений порядок змінювання проміжних змінних при переході з стану 4 в стан 1 (спочатку P_2 змінюється від 0 до 1, потім P_1 – від 1 до 0 і нарешті P_2 – від 1 до 0).

Номер вхідного стану	Затримка	Наступні стани				Вихідні змінні	
		a b				X	Y
1		< 1 >	2	–	<1 >	0	0
2	t_1	$3 t_1$	$3 t_1$	–	–	1	0
3		< 3 >	< 3 >	–	4	1	1
4	t_2	$5 t_2$	–	–	$5 t_2$	1	0
5		6	–	–	6	–	–
6		1	–	–	1	–	–

Рис.14

Таблиця переходів з додатковими станами має вигляд, показаний на рис.14. З таблиці видно, що з стану 4 схема переходить в стан 5, потім в стан 6 і з нього в стійкий стан $\langle 1 \rangle$.

Решта етапів синтезу аналогічна етапам синтезу схем без затримок. Карти Карно для проміжних змінних P_1 , P_2 , P_3 показано на рис.15. За картами отримано такі алгебричні вирази:

$$P_1 = p_3 + p_1 \bar{p}_2;$$

$$P_2 = p_1 \bar{p}_3;$$

$$P_3 = a + p_3 \bar{b}.$$

Оскільки первинна таблиця переходів не стискалася, вихідні змінні X і Y можна визначити як комбінаційні функції тільки проміжних змінних. Карти Карно для X і Y показано на рис.15. Під час заповнення карт враховано, що $X=1$ в станах 2, 3, 4, а $Y=$ в стані 3. Клітинки карти, що відповідають додатковим станам 5 і 6, заповнено рисками. За картами Карно для X і Y отримано вирази

$$X = p_1 + p_3;$$

$$Y = p_1 p_3.$$

За алгебричними виразами для проміжних і вихідних змінних побудовано схему, що показана на рис.16. При побудові схеми враховано, що елементи часу затримують сигнали проміжних змінних P_1 і P_2 , а при реалізації функцій, що визначають проміжні і вихідні змінні, використовуються затримані сигнали p_1 і p_2 .

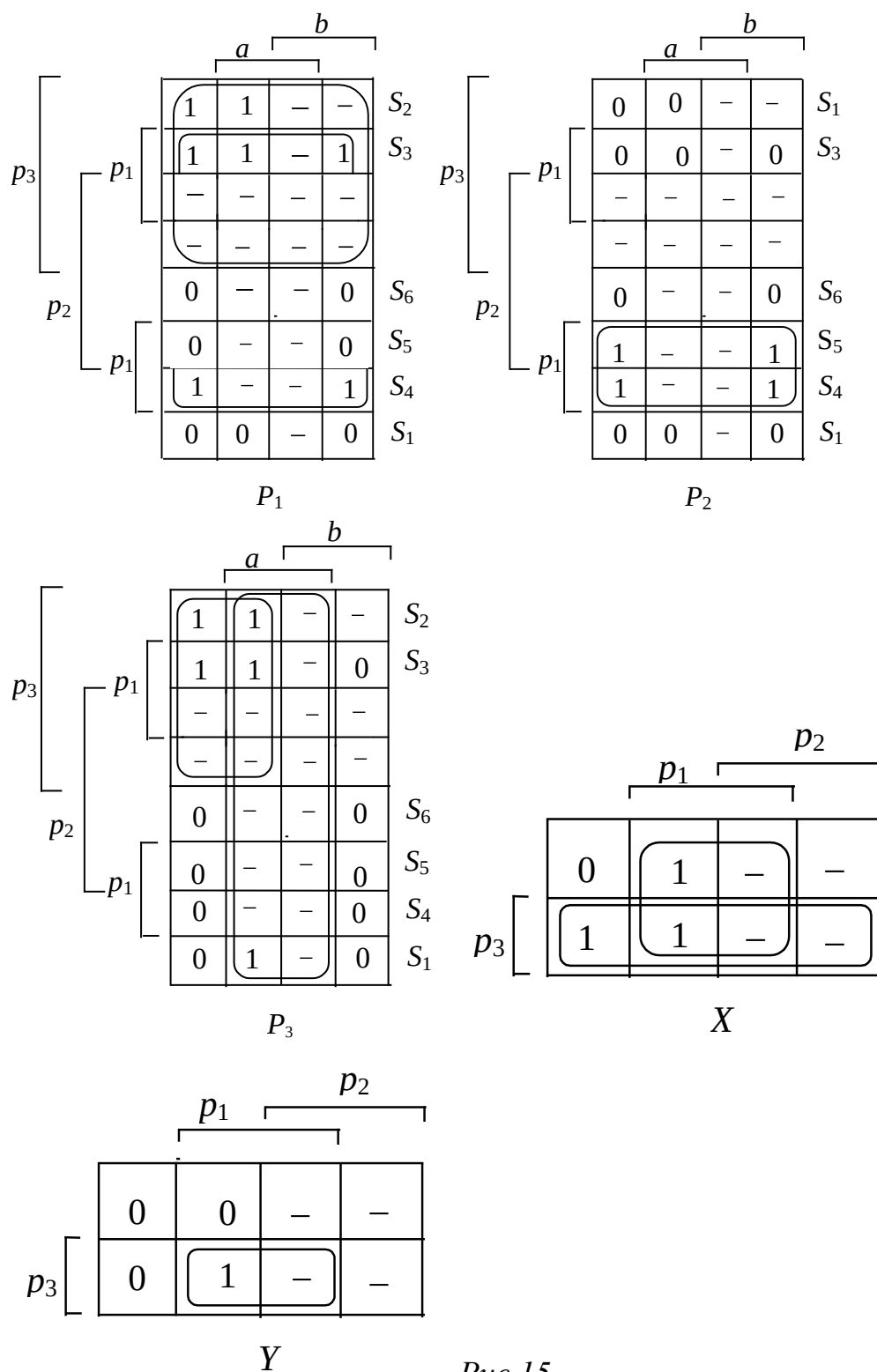


Рис.15

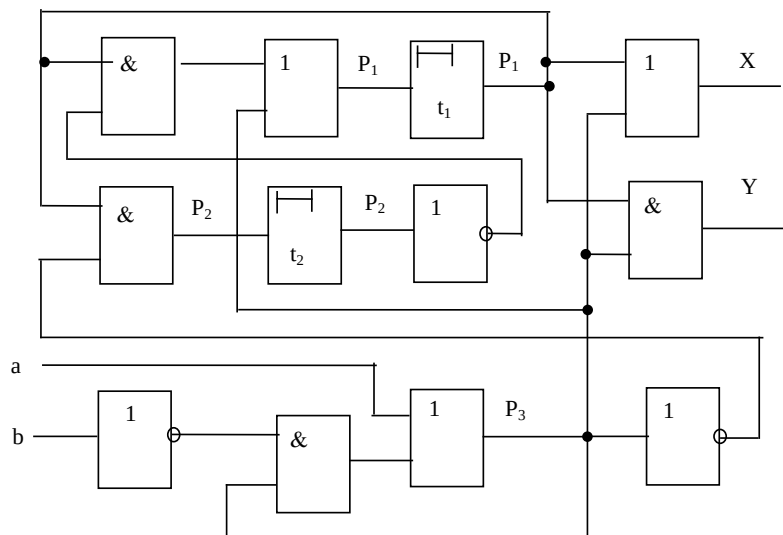


Рис.16

Завдання для аудиторних занять

1. Виконати синтез схеми керування двигуном М за допомогою кнопок “Пуск” і “Стоп”. Двигун вмикається через час t_1 після натиснення кнопки “Пуск” і вимикається через час t_2 після натиснення кнопки “Стоп”.

2. Для керування двигунами М1 і М2 призначені кнопки “Пуск” і “Стоп”. При натисненні кнопки “Пуск” двигун М1 вмикається без затримки часу, а двигун М2 – із затримкою Δt_1 . При натисненні кнопки “Стоп” обидва двигуни вимикаються із затримкою часу Δt_2 .

3. Пристрій для транспортування сипких матеріалів складається з транспортера і завантажувального бункера. Схема керування пристроєм працює так. При натисненні кнопки “Пуск” вмикається привод транспортера, його стрічка набуває потрібної швидкості, спрацьовує датчик швидкості стрічки і подає команду на відкриття заслінки завантажувального бункера. При натисненні кнопки “Стоп” подається команда на закриття заслінки бункера, а потім із затримкою часу Δt - команда на зупинку транспортера.

Завдання для самостійної роботи

1. Виконати синтез схеми керування двигунами М1, М2, М3 за допомогою кнопок “Пуск” і “Стоп”. При натисненні кнопки “Пуск” двигун М1 вмикається

без затримки часу, а потім із затримкою t_1 вмикається двигун М2 і з затримкою t_2 – двигун М3. При натисненні кнопки “Стоп” усі двигуни вимикаються без затримки часу.

2.Для керування агрегатом застосовуються три приводи: головний, допоміжний і маслонасос. Під час пуску агрегату (команда “Пуск”) спочатку вмикається привод маслонасосу. Після досягнення потрібного тиску масла в гідросистемі (сигнал $m = 1$) вмикається допоміжний привод, а потім із затримкою Δt_1 – головний привод. При надходженні команди “Стоп” першим вимикається головний привод (без затримки часу), а потім із затримкою Δt_2 - допоміжний привод і маслонасос.

3.Керування трьома двигунами М1,М2,М3 здійснюється за допомогою кнопок “Пуск” і “Стоп”. При натисненні кнопки “Пуск” вмикається двигун М1 без затримки часу, потім через час Δt_1 – двигун М2, потім через час Δt_2 – двигун М3. При натисненні кнопки “Стоп” двигун М3 вимикається без затримки часу, потім через час Δt_3 – двигун М2, а через час Δt_4 – двигун М1.

Додаткове завдання для самостійної роботи

4.Виконати синтез і побудувати схему керування механізмом М, який працює у режимі циклів, що повторюються. У вихідному положенні механізму натиснутий кінцевий вимикач SQ1. Цикл роботи починається після надходження команди “Пуск”. Механізм переміщується в положення, яке фіксується кінцевим вимикачем SQ2, стоїть протягом часу t_1 , потім переміщується в положення, яке фіксується кінцевим вимикачем SQ3, стоїть протягом часу t_2 , а потім повертається у вихідний стан. Для повторення циклу необхідно знов подати команду “Пуск”.

СИНТЕЗ СХЕМ КЕРУВАННЯ НА ОСНОВІ ЦИКЛОГРАМ

Основні теоретичні положення

Циклограма – це графічне зображення послідовності роботи окремих елементів схеми у часі. Робота елемента і відповідна йому змінна (сигнал) зображується на циклограмі відрізком горизонтальної прямої. Позначення змінної або елемента ставиться ліворуч від відрізка. Товстою лінією позначаються сигнали командних і виконавчих елементів, тонкою – додаткових проміжних, пунктиром – умовне вмикання елементів. Умовне вмикання елемента відповідає байдужому стану, при якому він не впливає на стан вихідних елементів схеми незалежно від того, ввімкнутий цей елемент або ні.

Черговість вмикання елементів визначається положенням лівих кінців відрізків, черговість вимикання – правих. Дія одного елемента на інший зображується на циклограмі стрілкою, що зазначає напрям дії. Наприклад, циклограма на рис.17 відповідає такій послідовності роботи елементів: спочатку надходить сигнал *a*, який діє на вихідний *X* і проміжний *P* елементи і вмикає їх (зникнення сигналу *a* не впливає на вихідний і проміжний елементи); потім надходить сигнал *b*, який діє на елемент *P* і вимикає його; після зникнення сигналу *b* вимикається елемент *X* і схема повертається у вихідний стан.

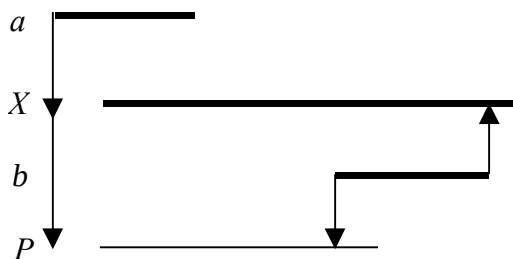


Рис.17

При синтезі схем на основі циклограм застосовуються такі поняття.

Такт – період часу, протягом якого в схемі не змінюються стани жодного з сигналів: командних (вхідних), проміжних, виконавчих (вихідних). Кожне змінювання стану будь-якого сигналу або кількох сигналів одночасно є початком нового такту.

Період умикання елемента – безперервний ряд тактів, протягом яких цей елемент перебуває у ввімкнутому стані. Період умикання елемента на циклограмі позначається відрізком прямої лінії.

Період вимикання елемента – безперервний ряд тактів, протягом яких елемент перебуває в вимкнутому стані. В періоді вимикання лінія на циклограмі відсутня.

Умикальний такт – такт, що передує періоду вмикання.

Вимикальний такт – такт, що передує періоду вимикання.

Умикальний період – відрізок часу, що складається з умикального такту і періоду вмикання без вимикального такту.

Вимикальний період – відрізок часу, що складається з вимикального такту і періоду вимикання без умикального такту. Це поняття вводиться при наявності кількох періодів вмикання.

Перелічені поняття ілюструє рис.18.

Синтез схеми на основі циклограм виконують в такій послідовності.

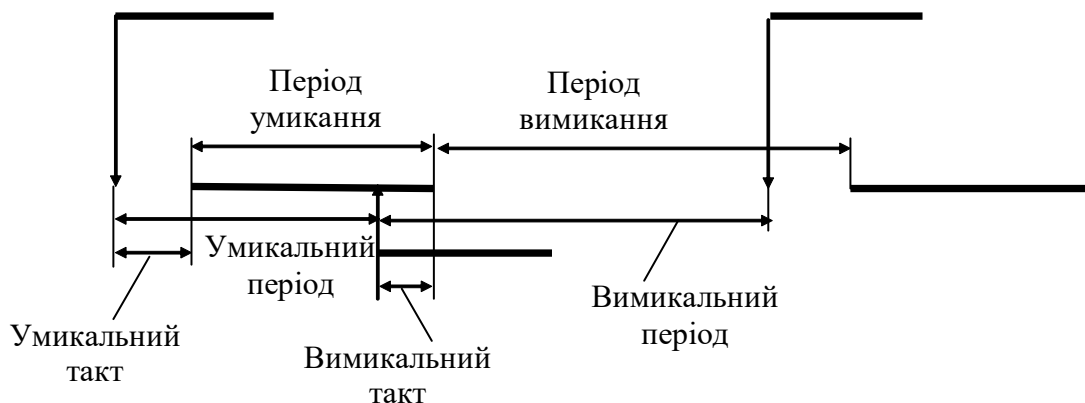


Рис.18

1. Записують умову спрацьовування у вигляді формули f' , до якої входить сигнал, змінювання стану якого визначає початок умикального такту. В умові

спрацьовування він записується в тому стані, в якому він перебуває у вмикальному такті. Наприклад, для циклограми на рис.17 умова спрацьовування

$$f' = a$$

2. Виконують першу перевірку реалізованості циклограми. Її суть полягає у тому, що перевіряють, чи зберігається значення $f' = 1$ протягом усього вмикального періоду. Якщо ця умова виконується, то попередньо записана функція f' є остаточною і змінюванню не підлягає. Якщо ж функція f' змінює своє значення протягом вмикального періоду, то звичайно вводиться самоблокування і умова спрацьовування записується у вигляді

$$f' = a + x.$$

Для циклограми на рис.17 необхідно ввести самоблокування, через те що умова спрацьовування $f' = a$ змінюється протягом вмикального періоду елемента X .

3. Записують умову неспрацьовування у вигляді формули $\overline{f''}$, до якої входить сигнал елемента, що змінює свій стан на початку вимикального такту. Сигнал цього елемента записується у вигляді інверсії того стану, в якому він перебуває у вмикальному такті. Для циклограми на рис.17 умова неспрацьовування

$$\overline{f''} = \overline{\overline{b}} = b.$$

4. Виконують другу перевірку реалізованості циклограми. При цьому перевіряють, чи зберігається значення $\overline{f''} = 1$ протягом усього вмикального періоду. Якщо ця умова виконується, то попередньо записана функція $\overline{f''}$ є остаточною. Якщо ж функція $\overline{f''}$ змінює своє значення протягом вмикального періоду, то необхідно ввести проміжний елемент P , який змінює свій стан протягом періоду вмикання вихідного елемента, але після того, як зміниться значення функції $\overline{f''}$, і залишається у цьому стані принаймні до кінця періоду вмикання вихідного елемента. Умова неспрацьовування при введенні

проміжного елемента записується у вигляді інверсії кон'юнкції двох сигналів f'' і p , тобто $\overline{f''p}$. Стани сигналів f'' і p приймаються такими, які вони мають у вимикальному такті. Для циклограми на рис.17 друга перевірка не задовольняється, тому введена проміжна змінна P , лінію дії якої показано на рисунку. Після введення проміжної змінної умова неспрацьовування матиме вигляд

$$\overline{f''} = \overline{\overline{b} p} = b + p.$$

5. Записують попередню формулу вмикання елемента у вигляді добутку умов спрацьовування і неспрацьовування, отриманих після виконання перших двох перевірок. Для циклограми на рис.17

$$X = f' \cdot \overline{f''} = (a + x)(b + p).$$

6. Виконують третю перевірку реалізованості циклограми. Для цього функцію $f' \overline{f''}$ треба подати в диз'юнктивній нормальній формі (ДНФ), розкривши лапки, і перевірити, чи не набуває значення одиниця у вимикаючому періоді будь-яка елементарна кон'юнкція в одержаній ДНФ. Якщо таких елементарних кон'юнкцій немає, то третя перевірка задовольняється і логічну формулу для вихідного елемента змінювати не треба. Якщо ж така кон'юнкція є, то це спричиняє помилкове спрацьовування вихідного елемента. У цьому разі треба ввести проміжний елемент P , який мав би різні значення для комбінації сигналів, що відповідає цієї кон'юнкції, у вмикальному та вимикальному періодах. Сигнал проміжного елемента додається у вигляді кон'юнкції до тієї елементарної кон'юнкції, яка дорівнює одиниці одночасно у вмикальному і вимикальному періодах. Стан цього елемента приймається таким, який він має у вмикальному періоді при комбінації сигналів, що відповідають розглядуваній кон'юнкції.

Для циклограми на рис.17

$$X = (a + x)(b + p) = ab + ap + xb + xp$$

і третя перевірка задовільняється, тому що жодна з комбінацій сигналів ($a=1, b=1; a=1, p=1; x=1, b=1; x=1, p=1$) не зустрічається у вимикаючому періоді елемента X . Тому формула $X=(a+x)(b+p)$ є остаточною.

7. Складаються логічні формули для усіх проміжних елементів, введених при виконанні перевірок реалізованості циклограми, за такими ж самими правилами, як і для вихідних елементів. Наприклад, для циклограми на рис.17 введено один проміжний елемент P . Складемо для нього логічну формулу.

Умова спрацьовування

$$f'_p = a,$$

умова неспрацьовування

$$\overline{f''_p} = \overline{b}.$$

Перша перевірка: значення $f'_p=1$ не зберігається протягом усього вмикального періоду, тому застосовуємо самотримування і записуємо умову спрацьовування у вигляді

$$f'_p = a + p.$$

Друга перевірка задовольняється через те, що значення $\overline{f''_p}=1$ зберігається протягом усього вмикального періоду елемента P .

Третя перевірка: записуємо функцію в ДНФ

$$P = f'_p \overline{f''_p} = (a + p) \overline{b} = a \overline{b} + p \overline{b}.$$

Комбінації сигналів $a=1, b=0$ і $p=1, b=0$ не зустрічаються у вмикальному періоді елемента P , тому функція P не набуває значення одиниця у цьому періоді і третя перевірка задовольняється. Остаточна формула для елемента P має вигляд

$$P = (a + p) \overline{b}.$$

Якщо елемент має кілька періодів умикання і вимикання, то умови спрацьовування і неспрацьовування складаються для кожного періоду і

загальна формула записується у вигляді диз'юнкції кон'юнкцій умов спрацьовування і неспрацьовування для усіх періодів умикання, тобто

$$X = f_1' \overline{f_1''} + f_2' \overline{f_2''} + \dots + f_n' \overline{f_n''}.$$

Крім того, якщо при виконанні першої перевірки застосовується самоблокування, то слід виконати ще одну перевірку, тому що після першого вмикання елемент надалі може не вимикатися при появі умов неспрацьовування (утримуватися сигналами самоблокування інших періодів). Розглянемо, наприклад, циклограму на рис.19, *а*. Якщо застосувати правила складання логічних формул для циклограм, що мають один період умикання, то отримаємо:

$$\begin{aligned} X_1 &= (a + x) \overline{b}; \\ X_2 &= (c + x) \overline{d}; \\ X &= X_1 + X_2 = (a + x) \overline{b} + (c + x) \overline{d} = a \overline{b} + x \overline{b} + c \overline{d} + x \overline{d}. \end{aligned}$$

Вираз з сигналом самоблокування $x \overline{b} + x \overline{d}$ після вмикання елемента X залишається рівним одиниці при надходженні сигналу b і відсутності сигналу d або при надходженні сигналу d і відсутності сигналу b . Тому елемент X не вимикається при появі умов неспрацьовування першого або другого періоду, тобто при такому введенні самоблокування схема є непрацездатною.

Елемент X вимикатиметься при появі умов неспрацьовування будь-якого періоду, якщо вираз з сигналом самоблокування набуватиме нульове значення при надходженні будь-якого сигналу b або d . Щоб це відбулося, сигнал $\overline{d}$ слід додати у вигляді кон'юнкції до виразу з самоблокуванням у формулі для X_1 , а сигнал $\overline{b}$ – у формулі для X_2 . Тоді отримаємо

$$\begin{aligned} X_1 &= (a + x \overline{d}) \overline{b}; \\ X_2 &= (c + x \overline{b}) \overline{d}; \\ X &= (a + x \overline{d}) \overline{b} + (c + x \overline{b}) \overline{d} = a \overline{b} + x \overline{b} \overline{d} + c \overline{d}. \end{aligned}$$

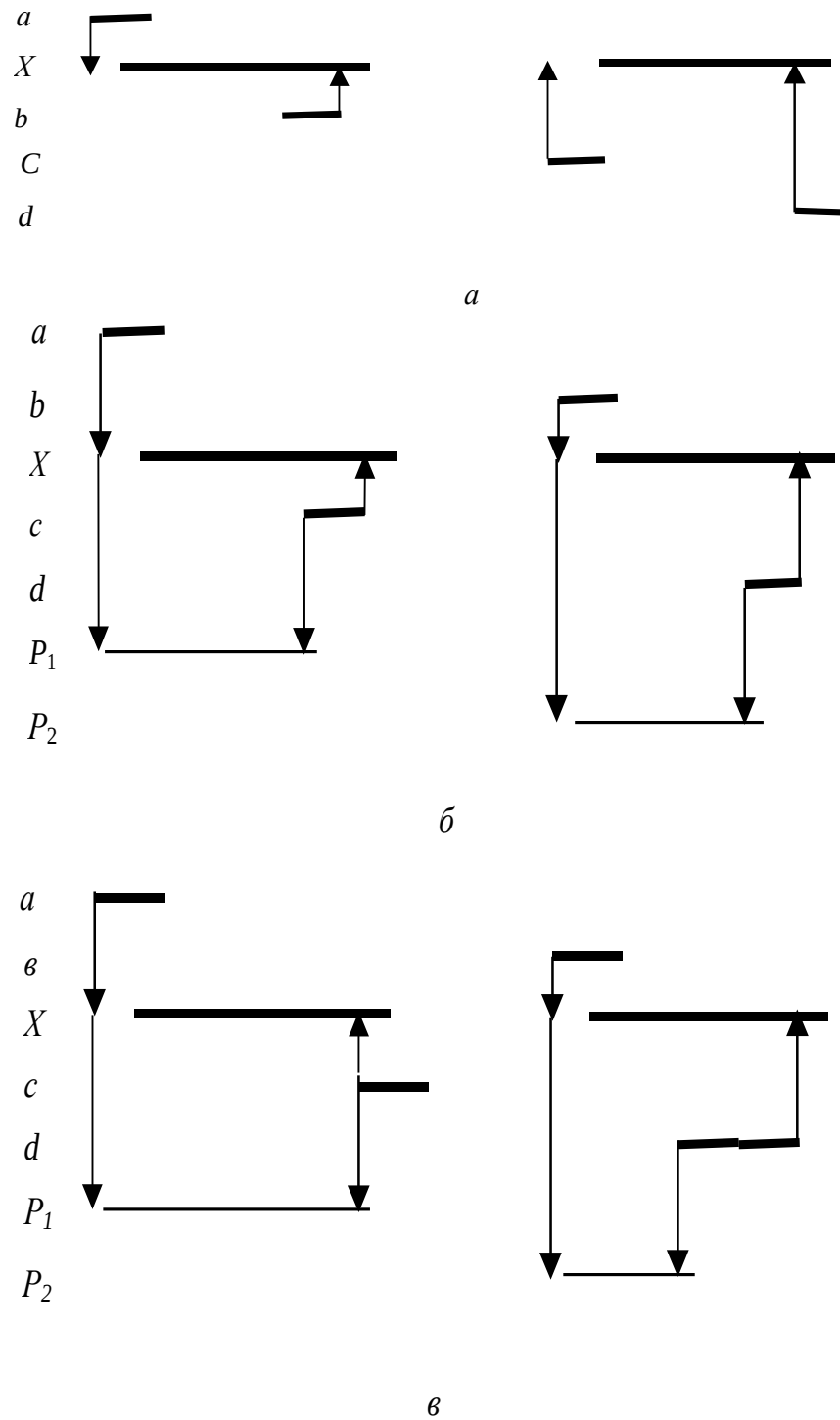


Рис.19

Введення самоблокування в одному з періодів не завжди впливає на роботу схеми в інших періодах. Наприклад, для циклограми на рис.19, б рівняння, що описують роботу схеми, мають вигляд

$$X_1 = (a + x)(c + p_1);$$

$$X_2 = (b + x)(d + p_2);$$

$$P_1 = (a + p_1)\bar{c};$$

$$P_2 = (b + p_2)\bar{d};$$

$$\begin{aligned} X &= X_1 + X_2 = (a + x)(c + p_1) + (b + x)(d + p_2) = \\ &= ac + ap_1 + xc + xp_1 + bd + bp_2 + xd + xp_2. \end{aligned}$$

Вираз з сигналом самоблокуванням $xd + xp_2$ другого періоду вмикання дорівнює нулеві в першому вмикальному періоді, через те що в першому періоді $d = 0$; $p_2 = 0$, а вираз з сигналом самоблокуванням $xc + xp_1$ першого періоду дорівнює нулеві в другому періоді ($c = 0$, $p_1 = 0$). Тому вирази з сигналами самоблокуванням одного з періодів не впливають на роботу схеми в іншому періоді і додаткових заходів для забезпечення працездатності схеми вживати не треба.

Нарешті бувають випадки, коли вплив самоблокування одного періоду на роботу схеми в інших періодах усунути неможливо. Розглянемо циклограму на рис.19,в. Логічні вирази, що описують роботу схеми в кожному періоді окремо, мають вигляд:

$$X_1 = (a + x)\bar{c};$$

$$X_2 = (b + x)(d + p_2);$$

$$P_2 = (b + p_2)\bar{d};$$

$$X = (a + x)\bar{c} + (b + x)(d + p_2) = a\bar{c} + x\bar{c} + bd + bp_2 + xd + xp_2.$$

Вираз з самоблокуванням $xd + xp_2$ другого періоду дорівнює нулю в першому вмикальному періоді, тому самоблокування другого періоду не впливає на роботу схеми в першому періоді.

Вираз з самоблокуванням $x\bar{c}$ першого періоду дорівнює одиниці в другому вмикальному періоді, тому самоблокування першого періоду впливає на роботу схеми в другому періоді. Проте для усунення цього впливу не можна до виразу $x\bar{c}$ додавати у вигляді кон'юнкції умову неспрацьовування $d + p_2$ другого періоду через те, що $d + p_2 = 0$ в першому вмикальному періоді і функція $X_1 = a\bar{c} + x\bar{c}(d + p_2)$ всупереч циклограмі при $a = 0$ в першому періоді не зберігає значення одиниця. Отже, у розглядуваному випадку

самоблокування у першому періоді взагалі застосовувати не можна. В цьому разі необхідно вводити проміжну змінну P_1 (див.рис.19,в). Після цього система рівнянь, що описує роботу схеми, матиме вигляд

$$X = X_1 + X_2 = (a + p_1)\bar{c} + (b + x)(d + p_2);$$

$$P_1 = (a + p_1)\bar{c};$$

$$P_2 = (b + p_2)\bar{d}.$$

Завдання для аудиторних занять

1. В За заданими циклограмами виконати логічний синтез та побудувати релейно-контакторні схеми та схеми на логічних елементах.

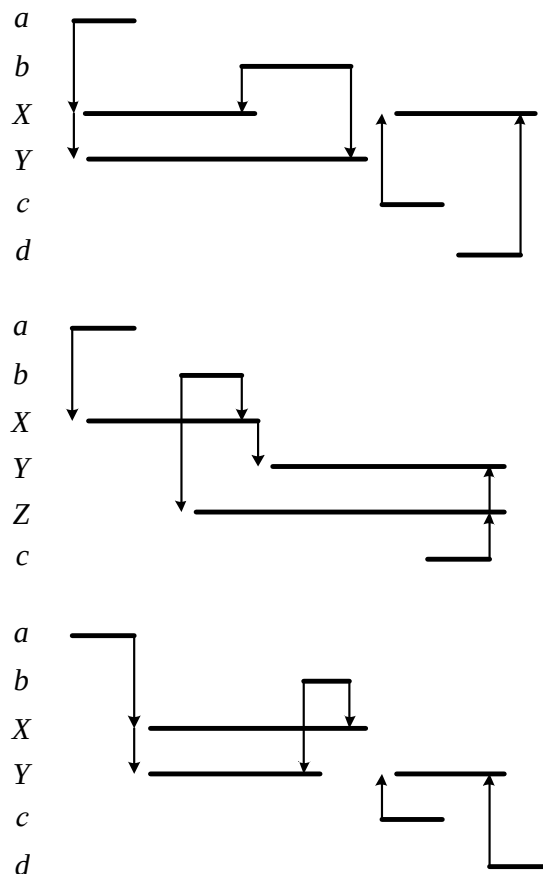


Рис.20

Завдання для самостійної роботи

1. За заданими циклограмами виконати логічний синтез та побудувати релейно-контакторні схеми та схеми на логічних елементах.

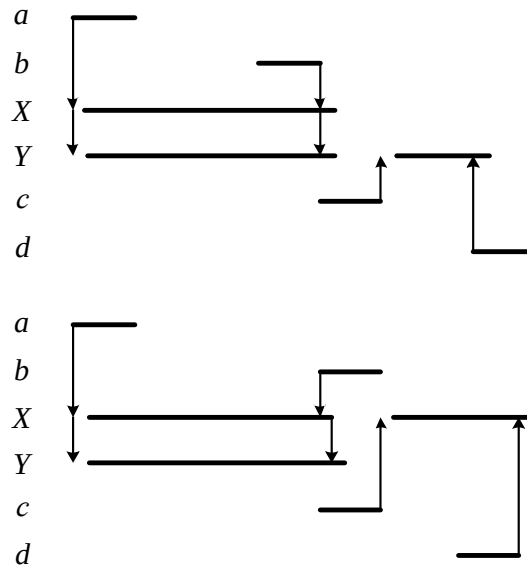


Рис.21

Додаткове завдання для самостійної роботи

1. За заданими циклограмами виконати логічний синтез та побудувати релейно-контакторні схеми та схеми на логічних елементах.

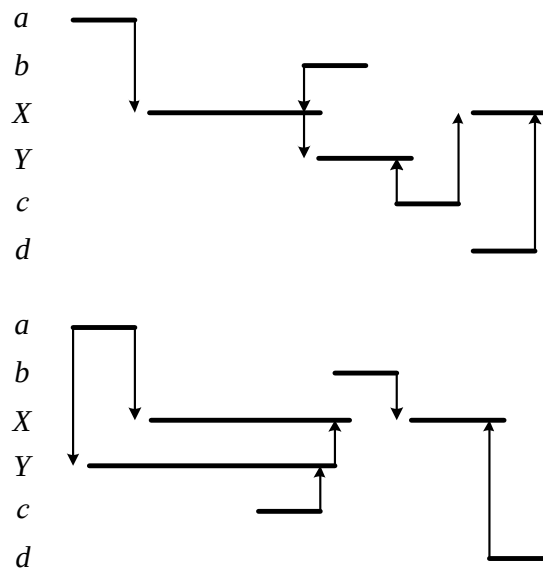


Рис.22

Практичне заняття №8

СИНТЕЗ СХЕМ З ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ЗАТРИМКАМИ НА ОСНОВІ ЦИКЛОГРАМ

Основні теоретичні положення

Під час синтезу схем з технологічними затримками на циклограмі позначаються величини затримок часу і лінії дії елементів часу (таймерів). Нехай, наприклад, елемент X треба ввімкнути із затримкою часу t після надходження сигналу a і вимкнути без затримки часу в разі його зникнення. Час дії сигналу a перевищує величину затримки t .

Циклограму, що відповідає цим умовам роботи, зображено на рис. 23.

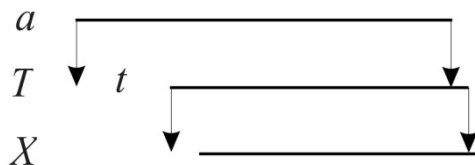


Рис. 23

Виконаємо синтез схеми.

Умови спрацьовування елемента X

$$f'_X = t,$$

умови неспрацьовування

$$\bar{f}''_X = \bar{t} = t.$$

Перша та друга перевірки задовольняються, тому

$$X = tt = t.$$

Третя перевірка також задовольняється і вираз для X залишається незмінним.

Для елемента часу T умови спрацьовування та неспрацьовування такі:

$$f'_T = a; \quad \bar{f}''_T = a$$

$$T = a.$$

Отже, в результаті синтезу отримали найпростіші вирази для елементів X і T . Це стало можливим тому, що ці елементи вмикаються тими самими сигналами, що й вимикаються.

Якщо тривалість сигналу, що дає команду починати відлік затримання часу, менша за величину затримки часу, то цей сигнал не можна безпосередньо застосовувати для керування таймером. У цьому разі необхідно ввести проміжний елемент, змінювання стану якого дає команду починати відлік затримання часу. Надалі стан цього елемента не повинен змінюватися принаймні до кінця затримки часу.

Логічні формули для таймерів визначають за тими ж самими правилами, що й для вихідних та проміжних елементів.

Приклад 8.1. Виконати синтез схеми керування двигуном за допомогою кнопок «Пуск» і «Стоп». Двигун вмикається із затримкою Δt_1 після натиснення кнопки «Пуск» і вимикається із затримкою Δt_2 після натиснення кнопки «Стоп». Час натиснення кнопок менший за затримку часу.

Уведемо такі позначення вхідних і вихідного сигналів: a – сигнал кнопки «Пуск», b – сигнал кнопки «Стоп», X – сигнал керування двигуном (якщо $X = 1$, двигун вмикається, якщо $X = 0$, – вимикається).

Синтез схеми починається зі складання циклограми, що відповідає умовам її роботи (рис. 8.2). Час натиснення кнопки «Пуск» менший за затримку часу, тому вводимо проміжну змінну P_1 , яка вмикається сигналом a і дає команду на початок відліку часу Δt_1 . Із появою сигналу таймера T_1 вмикається двигун ($X = 1$). Час натиснення кнопки «Стоп» менший за затримку часу Δt_2 , тому вводимо другу проміжну змінну P_2 , яка вмикається сигналом b і дає команду на відлік часу Δt_2 . У разі появи вихідного сигналу таймера T_2 двигун вимикається ($X = 0$).

Після того як складена частина циклограми, що відображає умови появи і зникнення вхідних та вихідного сигналів, треба визначити, якими сигналами вимикатимуться проміжні змінні й таймери. Це завдання можна вирішувати по-

різному, але треба прагнути того, щоб формули для цих елементів вийшли найпростішими. Наприклад, якщо таймер вмикається сигналом P , то й вимикати його, якщо це можливо, бажано тим самим сигналом. У цьому разі формула для таймера буде найпростішою: $T = P$. Виходячи з цих умов, на рис. 24 обрано сигнали, що вимикають проміжні змінні і таймери. На цьому побудова циклограм закінчується.

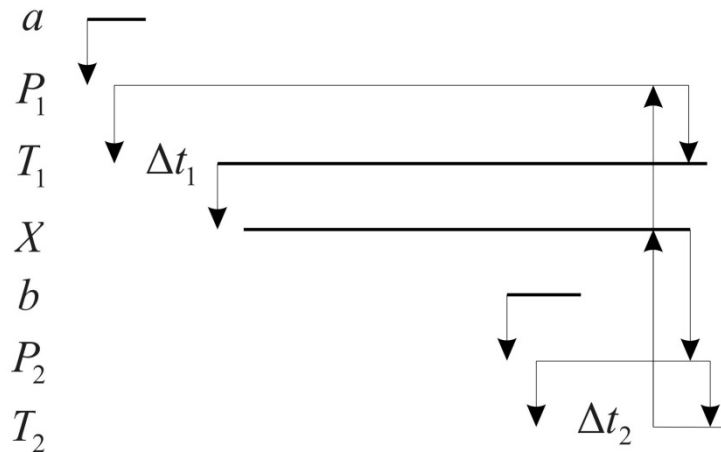


Рис. 24

За циклограмою, використовуючи раніше викладені правила, визначаємо такі логічні формули:

$$P_1 = (a + p_1)\bar{t}_2; \quad T_1 = p_1; \quad X = t_1\bar{t}_2; \quad P_2 = (b + p_2)x; \quad T_2 = p_2.$$

За цими формулами на рис. 25, а побудовано релейно-контактну схему, а на рис. 25, б – безконтактну. Під час побудови безконтактної схеми логічні формули подано у вигляді:

$$P_1 = \overline{\overline{a + p_1 + t_2}}; \quad X = \overline{\overline{t_1 t_2}}; \quad P_2 = \overline{\overline{b + p_2 + x}}.$$

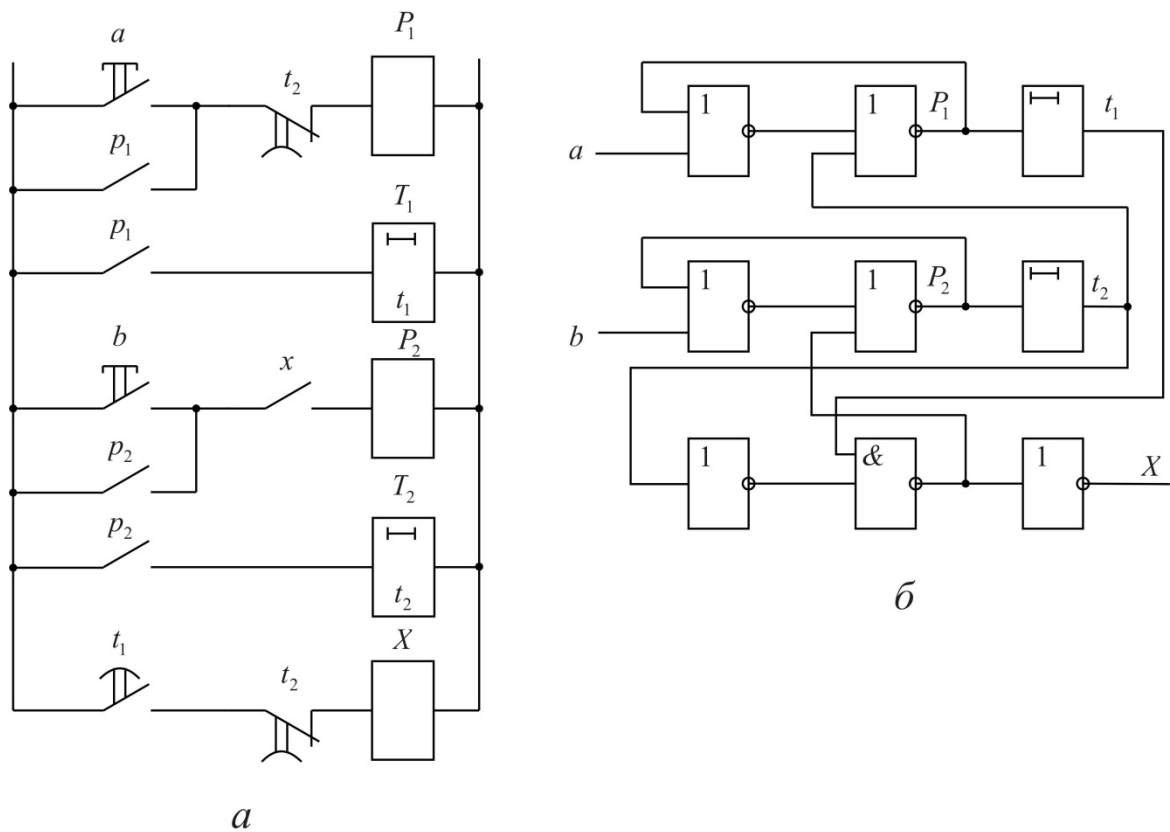


Рис. 25

Завдання для аудиторних занять

1. Керування трьома двигунами М1, М2, М3 здійснюється за допомогою кнопок “Пуск” і “Стоп”. При натисненні кнопки “Пуск” спочатку із затримкою часу Δt_1 вмикаються двигуни М1 та М2, а потім через час Δt_2 – двигун М3. При натисненні кнопки “Стоп” всі двигуни вимикаються без затримки часу. Виконати синтез методом циклограм та побудувати релейно-контакторну схему та схему на логічних елементах.

2. Виконати синтез схеми керування двигуном М за допомогою кнопок “Пуск” і “Стоп”. Двигун М вмикається через час t_1 після натиснення кнопки “Пуск” і вимикається через час t_2 після натиснення кнопки “Стоп”. Виконати синтез методом циклограм та побудувати релейно-контакторну схему та схему на логічних елементах.

3. Для керування агрегатом застосовуються три приводи: головний, допоміжний і маслонасосу. Під час пуску агрегату (команда “Пуск”) спочатку

вмикається привод маслonaсосу. Після досягнення потрібного тиску масла в гідросистемі (сигнал $b=1$) вмикається допоміжний привод, а потім з затримкою t_1 – головний привод. При надходженні команди “Стоп” першим вимикається головний привод (без затримки часу), а потім із затримкою t_2 – допоміжний привод і маслonaсос. Виконати синтез методом циклограм та побудувати релейно-контакторну схему та схему на логічних елементах.

Завдання для самостійної роботи

1. Керування трьома двигунами $M1$, $M2$, $M3$ здійснюється за допомогою кнопок “Пуск” і “Стоп”. При натисненні кнопки “Пуск” спочатку із затримкою часу Δt_1 вмикається двигун $M1$, а потім через час Δt_2 – двигуни $M2$ та $M3$. При натисненні кнопки “Стоп” всі двигуни вимикаються із затримкою часу Δt_3 .

2. Керування трьома двигунами $M1$, $M2$, $M3$ здійснюється за допомогою кнопок “Пуск” і “Стоп”. При натисненні кнопки “Пуск” вмикається двигун $M1$, а потім через час Δt_1 – двигуни $M2$ та $M3$. При натисненні кнопки “Стоп” всі двигуни вимикаються із затримкою часу Δt_2 .

3. Керування трьома двигунами $M1$, $M2$, $M3$ здійснюється за допомогою кнопок “Пуск” і “Стоп”. При натисненні кнопки “Пуск” спочатку із затримкою часу Δt_1 вмикаються двигуни $M1$ та $M2$, а потім через час Δt_2 – двигун $M3$. При натисненні кнопки “Стоп” всі двигуни вимикаються із затримкою часу Δt_3 .

Додаткове завдання до самостійної роботи

1. Керування трьома двигунами $M1$, $M2$, $M3$ здійснюється за допомогою кнопок “Пуск” і “Стоп”. При натисненні кнопки “Пуск” спочатку вмикається двигун $M1$, а потім через час Δt_1 – двигун $M2$, потім через час Δt_2 – двигун $M3$. При натисненні кнопки “Стоп” всі двигуни вимикаються без затримки часу.

2. Керування трьома двигунами $M1$, $M2$, $M3$ здійснюється за допомогою кнопок “Пуск” і “Стоп”. При натисненні кнопки “Пуск” спочатку вмикається

двигун $M1$, а потім через час Δt_1 – двигун $M2$, потім через час Δt_2 – двигун $M3$. При натисненні кнопки “*Стоп*” всі двигуни вимикаються із затримкою часу Δt_3 .

Практичне заняття № 9

СИНТЕЗ СХЕМ КЕРУВАННЯ НА ОСНОВІ ТАКТОВОГО РОЗПОДІЛЬНИКА

Основні теоретичні положення

Метод зручно використовувати для синтезу схем, які працюють циклічно. Такими є схеми керування приводами подач агрегатних верстатів, маніпуляторами верстатів автоматів та іншими механізмами.

Схема автоматичного керування будується на основі тактового розподільника, який являє собою ряд з’єднаних певним чином одна з одною схем пам’яті. Схеми пам’яті, побудовані на елементах І-НІ, з’єднуються між собою таким чином: інверсний вихід наступної пам’яті подається на вхід “Скидання” попередньої пам’яті, а прямий вихід попередньої пам’яті подається через схему І-НІ на вхід “Вмикання” наступної пам’яті. Схему частини тактового розподільника, побудованого на елементах І-НІ, зображено на рис.26.

При вмиканні пам’яті P_i її вихідний сигнал $p_i=1$. Цей сигнал надходить на один з входів схеми І-НІ $_{i+1}$, тому при надходженні сигналу $a_{i+1}=1$ сигнал на виході схеми І-НІ $_{i+1}$ набуває значення нуль, пам’ять P_{i+1} вмикається, скидає попередню пам’ять P_i і одночасно дає дозвіл на вмикання наступної пам’яті P_{i+2} . Для вмикання цієї пам’яті необхідно подати сигнал $a_{i+2}=1$, причому пам’ять P_{i+2} вмикається тільки у тому разі, якщо до цього була ввімкнута пам’ять P_{i+1} .

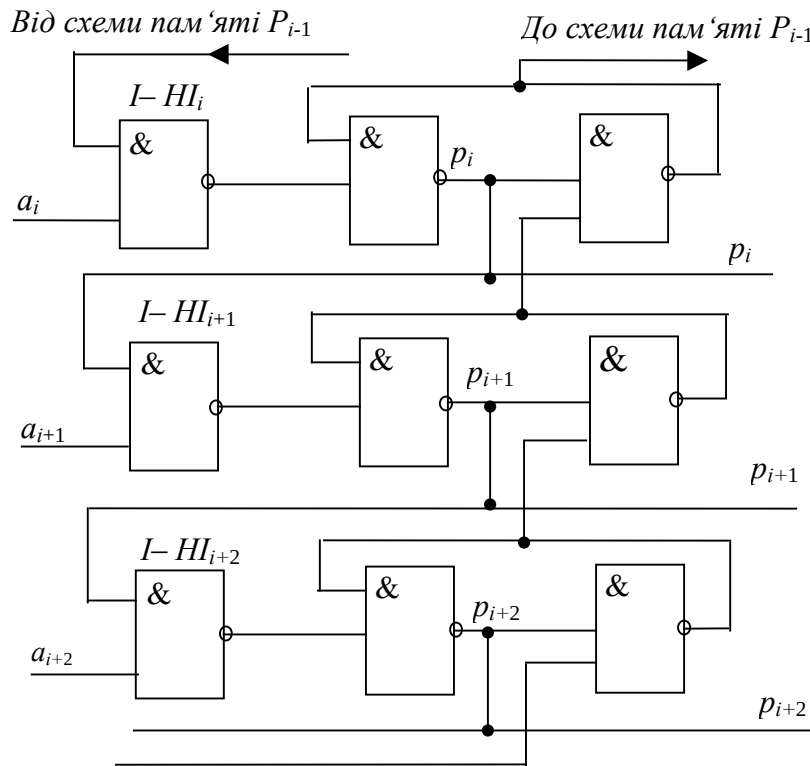


Рис.26

Наявність кіл взаємного скидання схем пам'яті призводить до того, що в будь - який момент часу буде ввімкнутою тільки одна схема пам'яті, а усі інші – вимкнутими (скинутими).

При вмиканні напруги живлення схема пам'яті набуває довільного стану. Тому при проектуванні схеми необхідно передбачити установлення усіх схем пам'яті у вихідний стан. Для цього, якщо схему пам'яті побудовано на елементах І-НІ, достатньо короткочасно подати сигнал 0 на вхід "Складання" для встановлення пам'яті в нуль (пам'ять скинуто) або на вхід "Вмикання" для встановлення пам'яті в одиницю (пам'ять ввімкнуто). Звичайно в одиницю встановлюється пам'ять, що відповідає вихідному стану схеми, а усі інші схеми пам'яті встановлюються в нуль.

Робота схеми пам'яті описується формулою

$$P_i = (f'_i + p_i) \bar{f}''_i,$$

де f'_i –умови вмикання пам'яті; $\bar{f}''_i$ –умови скидання пам'яті.

Кількість схем пам'яті в тактовому розподільнику приймається рівною кількості тактів схеми, тому цикл роботи схеми попередньо розподіляється на

такти. Вихідний стан схеми завжди вважається першим тактом, початок кожного наступного такту визначається змінюванням певного вхідного сигналу. Отже, синтез схеми керування по суті зводиться до визначення умов вмикання і скидання схем пам'яті, з яких складається схема тактового розподільника. Після цього визначаються формули для вихідних сигналів схеми, як функції вихідних сигналів схем пам'яті.

Розглянемо такий приклад. Нехай цикл роботи схеми складається з шести тактів (табл. 5).

Таблиця 5.

Номер такту	Найменування такту	Функція, що визначає початок такту	Вихідний сигнал, що дорівнює одиниці в даному такті
1	Вихідний стан	a_1	-
2		a_2	F_1
3		a_3	F_1, F_2
4		a_4	F_2
5		a_5	F_1
6		a_6	F_2

Вихідний стан схеми визначається умовою $a_1=1$. Команди на початок наступних тактів дають умови $a_2=1$, $a_3=1$, $a_4=1$, $a_5=1$ і $a_6=1$ відповідно. Тоді рівняння, що визначають умови вмикання і скидання схем пам'яті, матимуть вигляд:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= (a_1 p_6 + k + p_1) \bar{p}_2; \\
 P_2 &= (a_1 a_2 p_1 + p_2) \overline{p_3 + k}; \\
 P_3 &= (a_3 p_2 + p_3) \overline{p_4 + k}; \\
 P_4 &= (a_4 p_3 + p_4) \overline{p_5 + k}; \\
 P_5 &= (a_5 p_4 + p_5) \overline{p_6 + k}; \\
 P_6 &= (a_6 p_5 + p_6) \overline{p_1 + k},
 \end{aligned}$$

де p_i – сигнал, що визначає стан схеми пам'яті, яка ввімкнута під час відпрацьовування i -того такту; a_i – функція, що визначає початок i -го такту ($a_i=1$ – команда на початок i -го такту); k – сигнал установаження схем пам'яті у вихідний стан при вмиканні напруги живлення.

В рівнянні для P_2 застосовуються обидві функції : $a_1=1$ у вихідному стані схеми і $a_2=1$, що дає команду на початок другого такту. Це необхідно у тому разі, коли ставиться умова, що цикл роботи обов'язково повинен починатися тільки з вихідного стану. Дійсно, при вмиканні напруги живлення сигнал k установлює вихідний сигнал першої пам'яті P_1 в стан одиниця незалежно від того, перебуває керований механізм у вихідному стані чи ні. Тому при надходженні команди на початок другого такту вираз $a_2 p_1$ набуває значення одиниця і ,отже, p_2 також стає рівним одиниці у будь-якому стані керованого механізму, що у багатьох випадках неприпустимо.

Формули для вихідних сигналів визначаються як функції сигналів p_i . Вихід F_1 відповідно до табл.5 повинен бути ввімкнутим тільки в тактах 2, 3, 5, а вихід F_2 – в тактах 3, 4 і 6, тому

$$F_1=p_2+p_3+p_5;$$

$$F_2=p_3+p_4+p_6.$$

Завдання для аудиторних занять

1. Виконати синтез схеми, що забезпечує керування чотирма лампами від однієї кнопки. У вихідному стані світиться перша і друга лампи. Якщо натиснути кнопку перший раз, то світитимуться друга і третя лампи, а перша погасне. Якщо кнопку відпустити, то стан схеми не зміниться. Якщо натиснути кнопку другий раз, то світитимуться третя і четверта лампи, а друга погасне. Якщо натиснути кнопку третій раз, то світитимуться четверта і перша лампи, а третя погасне. Якщо натиснути кнопку четвертий раз, то схема повернеться у вихідний стан. Після цього цикл роботи схеми повторюється.

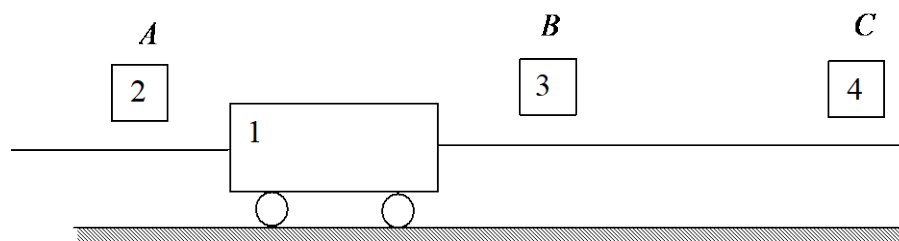


Рис.27

2. Виконати синтез і на основі тактового розподільника побудувати схему керування човниковим транспортером. Човниковий транспортер (рис.27) – це вантажна платформа, що переміщується за допомогою тягового троса між одним пунктом завантаження А і двома пунктами розвантаження В і С. Під час прибуття в ці пункти замикаються кінцеві вимикачі 2,3,4 (сигнали a, b, c). Автоматичний цикл роботи транспортера: стоянка в пункті завантаження А протягом часу t_1 , переміщення в перший пункт розвантаження В, стоянка в пункті В протягом часу t_2 , переміщення в другий пункт розвантаження С, стоянка в пункті С протягом часу t_3 , переміщення в пункт завантаження А без проміжної зупинки в пункті В. При наявності сигналу d (пуск) цикл роботи повторюється (автоматичний режим). Якщо сигнал d подається короткочасно, то відпрацьовується один цикл і транспортер зупиняється в пункті А, очікуючи чергової подачі команди d (напіваавтоматичний режим). При розробці схеми передбачити автоматичний, напіваавтоматичний і ручний режими роботи, тобто можливість переміщувати транспортер незалежно від сигналів кінцевих вимикачів.

Завдання для самостійної роботи

1. Виконати синтез і побудувати схему керування трьома магнітними пускачами за допомогою однієї кнопки. У вихідному стані усі пускачі вимкнуті. Якщо натиснути кнопку перший раз, то вмикається перший пускач. Після відпускання кнопки він залишається ввімкнутим. Якщо натиснути кнопку другий раз, то вмикається другий пускач, а перший вимикається і так далі. Якщо натиснути кнопку четвертий раз, то схема повернеться у вихідний стан.

2. Виконати синтез і побудувати схему керування механізмом М, який працює у режимі циклів, що повторюються. У вихідному положенні механізму натиснутий кінцевий вимикач SQ1. Цикл роботи починається після надходження команди “Пуск”. Механізм переміщується в положення, яке фіксується кінцевим вимикачем SQ2, стоїть протягом часу t_1 , потім

переміщується в положення, яке фіксується кінцевим вимикачем SQ3, стоїть протягом часу t_2 , а потім повертається у вихідний стан. Для повторення циклу необхідно знов подати команду “Пуск”.

Список рекомендованої літератури

1. Синтез логічних схем. Розрахунково-графічна робота [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С.О. Бур'ян. – Електронні текстові дані (1 файл: 8,05 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 80 с. (доступ за посиланням <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38275>).

2. Vingron, S. P. (2012). Logic circuit design: Selected methods. Springer Science & Business Media.

3. Ковальчук О.В. Логічний синтез дискретних схем автоматики: навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 168 с. ISBN 978-966-622-294-0.

4. Бур'ян С.О. Логічний синтез дискретних систем автоматичного керування при використанні програмованих реле низького рівня / С.О. Бур'ян, М.В. Печеник, Г.Ю. Землянхуїна, І.С. Єпіфанцев // Збірник наукових праць національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. – 2021 - №1 (484). – С. 54-60 (доступ за посиланням [https://doi.org/10.15589/znp2021.1\(484\).7](https://doi.org/10.15589/znp2021.1(484).7)).

5. Дичка, І. А. Основи прикладної теорії цифрових автоматів [Електронний ресурс] : підручник / І. А. Дичка, В. П. Тарасенко, М. В. Онаї ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 23,22 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 506 с. – Назва з екрана (доступ за посиланням <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/29295>).

6. Схемотехніка: Пристрої цифрової електроніки [Електронний ресурс]: в 2 т. : підручник для студентів, що навчаються за спеціальності «Електроніка» / В. М. Рябенський, В. Я. Жуйков, Ю. С. Ямненко, А. В. Заграничний ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (2 файли: 5,06 Мбайт, 5,46 Мбайт). – Київ, 2016. – 757 с. – Назва з екрана. (доступ за посиланням <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/18970>).

Зміст

	стор.
Вступ	3
Практичне заняття №1. Інтуїтивна розробка схем автоматики за заданими умовами їх роботи	4
Практичне заняття №2. Застосування законів алгебри-логіки для перетворення логічних функцій	6
Практичне заняття №3. Карти Карно	11
Практичне заняття №4. Синтез одноктактних схем	19
Практичне заняття №5. Синтез багатотактних схем методом таблиць переходів і карт Карно	23
Практичне заняття №6. Синтез схем з технологічними затримками методом таблиць переходів і карт Карно	32
Практичне заняття №7. Синтез схем керування на основі циклограм	39
Практичне заняття №8. Синтез схем з технологічними затримками на основі циклограм	49
Практичне заняття №9. Синтез схем керування на основі тактового розподільника	54
Список рекомендованої літератури	60