

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Сергій КОВБАСА
(підпис)

“ ____ ” _____ 2023 року

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Електромеханічні системи автоматизації,
електропривод та електромобільність»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

на тему: «Лабораторний стенд для дослідження системи автоматизації на базі
програмованих логічних контролерів Siemens Logo»

Виконав: студент 3 курсу, групи _____ ЕП-п01
(шифр групи)

_____ Строєвий Сергій Олегович _____ Строєвий
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник доц, к.т.н., Красношопка Наталія Дмитрівна _____ Рез
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Консультант 4 доц, к.т.н., Бур'ян Сергій Олександрович _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Рецензент доц., к.т.н., Гераскін Олександр Анатолійович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент Строєвий
(підпис)

Київ – 2023 р.

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	141.ЕПП0106.033.БР	Пояснювальна записка	89	
3	A1	141.ЕПП0106.033.БР	Функціональна схема	1	
4	A1	141.ЕПП0106.033.БР	Схема зовнішнього виду	1	
5	A1	141.ЕПП0106.033.БР	Схема електрична принципова	1	
6	A3	141.ЕПП0106.033.БР	Схема електрична підключень ПЛК (Master)	1	
7	A3	141.ЕПП0106.033.БР	Схема електрична підключень ПЛК (Slave)	1	
8	A4	141.ЕПП0106.033.БР	Схема електрична підключень вихідних сигналів	1	
9	A4	141.ЕПП0106.033.БР	Схема електрична підключень живлення	1	
10	A1	141.ЕПП0106.033.БР	Результати моделювання	1	

				141.ЕПП0106.033.БР		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Строєвий С.О.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Красношапка Н.Д.				2	89
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМС-ЕП Гр. ЕП-п01 _____	
Н/контр.						
Зав.каф.	Ковбаса С.М.					

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: «Лабораторний стенд для дослідження системи автоматизації на базі
програмованих логічних контролерів Siemens Logo»

Київ – 2023 р.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет електроенерготехніки та автоматики
 (повна назва)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу
 (повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
 (код і назва)

Освітньо-професійна програма – Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри
 _____ Сергій КОВБАСА
 (підпис)

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Строєвому Сергію Олеговичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: «Лабораторний стенд для дослідження системи автоматизації на базі програмованих логічних контролерів Siemens Logo»,

керівник проекту доц. к.т.н. Красношайка Наталія Дмитрівна,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проекту 12.06.2023

3. Вихідні дані до проекту: параметри двигуна: $P_{2n}=0.37$, $U_{1n}=380$ В, $p_n=2$, $J_d=0.0008$ кг·м², $\eta=0.66$, $\cos\varphi=0.68$, $S_n=0.086$, $S_k=0.43$, $\lambda=2.2$, $f=50$ Гц.

4. Зміст пояснювальної записки: 1. Аналітичний огляд. 2. Розробка функціональної схеми лабораторної установки. 3. Вибір електротехнічного обладнання та розробка схеми електричної принципової. 4. Розробка завдань та

методичних вказівок до лабораторної роботи. 5. Приклад синтезу завдання. 6. Моделювання режимів роботи стенду.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначеннями обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

1. Функціональна схема А1, 2. Схема загального виду А1, 3. Схема електрична принципова А1, 4. Схема електрична підключень ПЛК (Master) А3, 5. Схема електрична підключень ПЛК (Slave) А3, 6. Схема електрична підключень вихідних сигналів А4, 7. Схема електрична підключень живлення А4, 8. Результати моделювання А1.

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Бур'ян С.О. доц. к.т.н.	14.05.23	18.05.23

7. Дата видачі завдання 10 квітня 2023 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітки
1	Вступ	20.04.23	
2	Аналітичний огляд	25.04.23	
3	Розробка функціональної схеми лабораторної установки	04.05.23	
4	Вибір електротехнічного обладнання та розробка схеми електричної принципової	13.05.23	
5	Розробка завдань та методичних вказівок до лабораторної роботи	19.05.23	
6	Приклад синтезу завдання	26.05.23	
7	Моделювання режимів роботи стенду	02.06.23	
8	Оформлення дипломного проекту	10.06.23	

Студент

Строевий

(підпис)

Сергій СТРОЄВИЙ

(ініціали, прізвище)

Керівник дипломного проекту

Рез

(підпис)

Наталія КРАСНОШАПКА

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект містить: сторінок – 92, рисунків – 47 , таблиць – 30, графічну частину на 4 листах А1, на 2 листах А3 та 2 листах А4.

Метою дипломного проекту є розробка лабораторного стенду для дослідження систем автоматизації на базі програмованих логічних контролерів Siemens Logo з освітнього компоненту «Системи автоматизації – 2».

Було проведено аналітичний огляд програмованих логічних контролерів, описано їх характеристики, сфери застосування та наведено приклад реалізованих систем на базі ПЛК. Наведено функціональну схему та схему загально виду стенду.

Вибрано необхідне обладнання та наведено схему електричну принципову лабораторного стенду. Розроблено методичні вказівки до виконання лабораторної роботи на даному стенді, в яких наведені інструкції по користуванню стендом, програмним забезпеченням та створені завдання для студентів.

Наведений приклад розв'язку завдання, показана програма яка виконуватиме дане завдання та перевірена робота стенду. Проведено математичне моделювання прямого та плавного пуску двигуна.

ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД, ПЛК, SIEMENS LOGO, ПЛАВНИЙ ПУСК, ПРЯМИЙ ПУСК, МОДЕЛЮВАННЯ, СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА, СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ.

					141.ЕПП0106.033.БР		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лабораторний стенд для дослідження системи автоматизації на базі програмованих логічних контролерів Siemens Logo		
Розроб.		Строєвий С.О.					
Перевір.		Красношапка Н.Д.					
Н. Контр.							
Затверд.		Ковбаса С.М.					
					Літ.	Арк.	Акрушів
						6	89
					НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", ФЕА, каф. АЕМС-ЕП, гр. ЕП-п01		

SUMMARY

The diploma project contains: pages – 92, figures – 47, tables – 30, a graphic part on 4 sheets of A1, 2 sheets A3 and 2 sheet of A4.

The purpose of the diploma project is to develop a laboratory stand for the study of automation systems based on Siemens Logo programmable logic controllers in the discipline "Automation Systems - 2".

An analytical review of programmable logic controllers was carried out, their characteristics, areas of application were described, and an example of implemented systems based on PLCs was given. A functional diagram and a diagram of the general view of the stand are presented.

The necessary equipment is selected and the electrical schematic diagram of the laboratory bench is presented. Methodical instructions for performing laboratory work on this bench have been developed, which provide instructions for using the bench, software, and tasks for students.

An example of solving a task is given, the program that will perform this task is shown, and the operation of the stand is tested. Mathematical modeling of direct and smooth engine starting is carried out.

LABORATORY STAND, PLC, SIEMENS LOGO, SOFT START, DIRECT START, MODELING, ELECTRICAL CIRCUIT DIAGRAM, AUTOMATION SYSTEM.

					141.EPP0106.033.BW							
	Letter	Nº of doc	Sing.	Date								
Devel.	S. Stroievyyi				Laboratory bench for studying the automation system based on Siemens Logo programmable logic controllers				L		Page	Pages
Checked	N. Krasnoshapka										7	89
									NTUU "KPI them Igor Sikorsky", FEPEA, dep. ESA-ED, EP-p01			
N. Contr.												
Approvad.	S. Kovbasa											

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	11
1.1 Опис ПЛК та мов програмування	11
1.2 Огляд промислових ПЛК різних виробників.....	15
1.3 Огляд систем автоматизації на базі ПЛК	23
2 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАВКИ .	27
3 ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ	32
4 РОЗРОБКА ЗАВДАНЬ ТА МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК ДО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ	41
4.1 Розробка варіантів завдань	41
4.2 Опис роботи у програмному забезпеченні.....	49
4.3 Опис роботи з ПЛК.....	62
5 ПРИКЛАД СИНТЕЗУ ЗАВДАННЯ.....	67
5.1 Приклад розв'язку завдання	67
6 МОДЕЛЮВАННЯ ПУСКОВИХ РЕЖИМІВ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ	72
6.1 Розрахунок номінальних даних двигуна.....	72
6.2 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення	73
6.3 Моделювання режимів роботи в програмному середовищі MATLAB ..	77
ВИСНОВКИ.....	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	85
ДОДАТОК А АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ	90
ДОДАТОК Б МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ.....	92

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

ПЛК – програмований логічний контролер

ЛМІ – Людино машинний інтерфейс

ПК – Персональний комп'ютер

SCADA — диспетчерське управління і збір даних (англ. Supervisory Control And Data Acquisition)

СКУД – система контролю доступу

САК – Система автоматичного керування

АД – Асинхронний двигун

ППП – пристрій плавного пуску

КЗ – коротке замикання

ЕРС – електрорушійна сила

ВСТУП

ПЛК Siemens Logo є популярним засобом для забезпечення автоматизації різних процесів, починаючи від простих домашніх автоматичних систем до складних промислових установок. Він має великий потенціал у різних галузях, таких як промисловість, будівництво, транспорт, енергетика та багато інших. Тому вивчення систем автоматизації на базі ПЛК Siemens Logo є важливим кроком для студентів у галузі промислової автоматизації.

Мета та задачі дипломного проекту. Метою дипломного проекту є розробка лабораторного стенду для дослідження систем автоматизації на базі програмованих логічних контролерів Siemens Logo з освітнього компоненту «Системи автоматизації – 2».

Для досягнення поставлених цілей, необхідно вирішити наступні задачі:

- 1) Розробити схему загального виду та функціональну схему.
- 2) Вибрати необхідне обладнання.
- 3) Розробити схему електричну принципову та схему електричних ідключень.
- 4) Розробити методичні вказівки до лабораторного стенду.
- 5) Розробити лабораторний стенд .

Предметом дипломного проекту є системи автоматизації на базі програмованих логічних контролерів Siemens Logo.

Завданням дипломного проекту є розробка лабораторного стенду, розробка методичних вказівок які включають в себе як письму так і мультимедійну (відеопояснення) частину.

В результаті виконання дипломного проекту було створено лабораторний стенд та відповідного до нього методичні вказівки для виконання лабораторної роботи. В результаті даний стенд повинен розширити навички студентів у використанні ПЛК, розв'язку задач з систем автоматизації та засвоїти навички у підключенні обладнання.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

На сьогоднішній день складно уявити якийсь автоматизований процес на виробництві без використання ПЛК. Застосування ПЛК в якості спеціалізованих комп'ютеризованих засобів автоматизації передбачає їхнє тривале автономне використання практично без обслуговування і втручання людини, частіше всього, в складних умовах експлуатації.

Розвиток ПЛК почався у 1960-х роках і пов'язаний зі зростанням потреб в автоматизації виробничих процесів. Спочатку ПЛК були простими і склалися з невеликої кількості логічних елементів, які були програмовані на спеціальних мовах програмування. Однак з часом ПЛК стали більш потужними, мають багато функцій, включаючи здатність до мережевого зв'язку та розширення функцій за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Сьогодні ПЛК мають широке застосування у багатьох галузях, включаючи виробництво, нафтогазову промисловість, енергетику, транспорт та будівництво. Вони використовуються для керування різноманітними системами, включаючи виробничі лінії, роботизовані системи, автоматизовані транспортні системи, електропостачання та інші.

ПЛК мають багато переваг у порівнянні зі звичайними електромеханічними системами керування. Вони дозволяють зменшити час наладки та ремонту, знизити витрати на робочу силу, підвищити ефективність та точність керування процесами, а також підвищити безпеку працівників та зменшити кількість аварій.

1.1 Опис ПЛК та мов програмування

В минулому для звичайного керування, програмованого за допомогою релейних схем, програмна логіка визначалася схемою з'єднань контакторів та реле. Сьогодні для вирішення задач автоматизації використовуються системи програмного керування. Логіка, закладена в програмну пам'ять системи

автоматизації, не залежить від структури пристрою і з'єднань і може бути в будь-який час змінена за допомогою програматора.

ПЛК належать до пристроїв, призначених для роботи в системах реального часу і мають декілька суттєвих відмінностей від інших подібних електронних пристроїв: мікроконтролерів, вбудованих систем, комп'ютерів. Мікроконтролери – однокристальні комп'ютери, що реалізуються у вигляді окремої мікросхеми та використовуються для керування електронними пристроями [1].

Основні відмінності ПЛК та мікроконтролера::

- 1) ПЛК призначені для контролю процесів виробництва та автоматизації промислових систем, тоді як мікроконтролери використовуються в багатьох інших сферах, включаючи електроніку, робототехніку, автомобільну промисловість та багато інших;
- 2) мікроконтролер зазвичай мають вищу швидкість обробки даних, ніж ПЛК, що дозволяє їм ефективно виконувати складні операції та реагувати на швидкозмінні події;
- 3) ПЛК є більш гнучким до зміни та створення програми, тобто програмування є більш простішим та швидшим;
- 4) ПЛК зазвичай дорожче, ніж мікроконтролер, через більш високу функціональність та більшу кількість входів-виходів;
- 5) одна з переваг ПЛК полягає в тому, що в них є можливість створювати та редагувати програму на самому ПЛК, а мікроконтролери необхідно програмувати через спеціальне середовище.

Структура ПЛК, окрім процесора, містить пристрої пам'яті (ОЗП, ПЗП), порти входів/виводів (I/O), інтерфейси зв'язку, таймери, системний годинник і периферійні пристрої, що забезпечують роботу і взаємодію усіх складових частин і зовнішніх пристроїв ПЛК за допомогою спеціальних мікропрограм, що зберігаються в його внутрішній пам'яті. ПЛК також може мати наступні інтерфейси: RS-232, RS-485, Modbus, CC-Link, Profibus, Device Net, CAN, AS-interface, промисловий Ethernet [1].

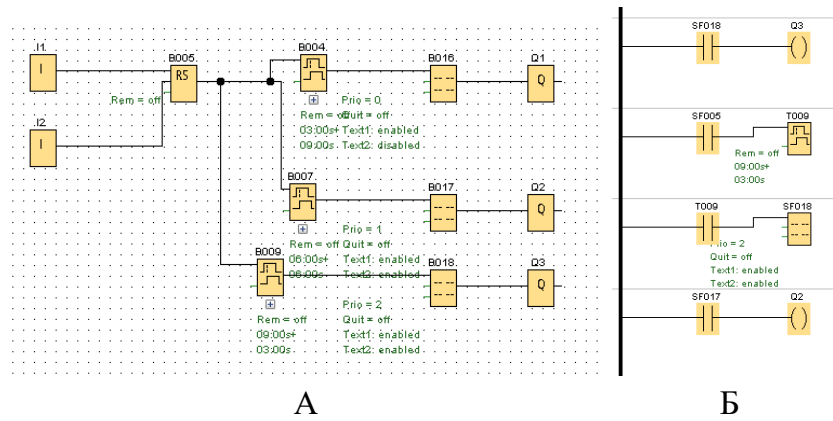
За допомогою ПЛК можна збільшити продуктивність, знизити витрати на оплату праці та підтримку обладнання, зменшити кількість помилок, які виникають при ручному керуванні, забезпечити стабільну та ефективну роботу виробничого процесу.

Існує чотири основні мови програмування ПЛК:

- 1) LD (Ladder Diagram) східчаста діаграма (мова релейних схем) — схема, наближена до класичного технічного електричного креслення;
- 2) FBD (Function Block Diagram) — діаграма функціональних блоків (графічна мова) — послідовність ліній, що містять функціональні блоки;
- 3) IL (Instruction List) список інструкцій — вид асемблера;
- 4) ST (Structured Text) структурований текст — мова, близька до мови Pascal.

Ці мови дозволяють програмістам створювати послідовності дій, які визначають, як ПЛК повинен взаємодіяти з обладнанням. Але кожний ПЛК може не мати можливості програмування на всіх мовах, тому необхідно ознайомлюватися із можливостями контролера та його підтримки мов програмування. Приклад фрагменту програми різними мовами програмування ПЛК наведений на рис. 1.1.

Кожний виробник ПЛК має притримується стандарту IEC 61131-3 [2], в якому описані основні правила для мов програмування. Не зважаючи на даний стандарт, важко знайти у різних виробників ідентичний синтаксис мов програмування, хоча вони опираються на стандарт [2] але все таки вносять невелику зміну до синтаксису мови програмування. Тому перехід з одного контролера на інший не потребує багато часу. На рис. 1.2 наведено приклад відмінності між мовами програмування від різних виробників, зліва наведена мова програмування LD, а з права FBD.



A

Б

0001	LD	X1
0002	ANDN	M2
0003	ANDN	M3
0004	ANDN	M4
0005	S	M1
0006		
0007	LD	M3
0008	OR	M4
0009	ST	M5
0010		
0011	LD	X2
0012	AND	M5
0013	ST	M6

```
FOR icY := 0 TO 8 DO
  FOR icX := 0 TO 16 DO
    IF iaPos[icY, icX] > iLevel THEN
      iBalance := iBalance + 1;
    ELSE
      IF iaPas[icY, icX] < iLevel THEN
        iBalance := iBalance - 1;
      END_IF
    END_IF
  END_FOR
  iLevel := iLevel * 2;
END_FOR
```

B

Г

Рисунок 1.1 – Мови програмування ПЛК: а) FBD; б) LD; в) IL; г) ST

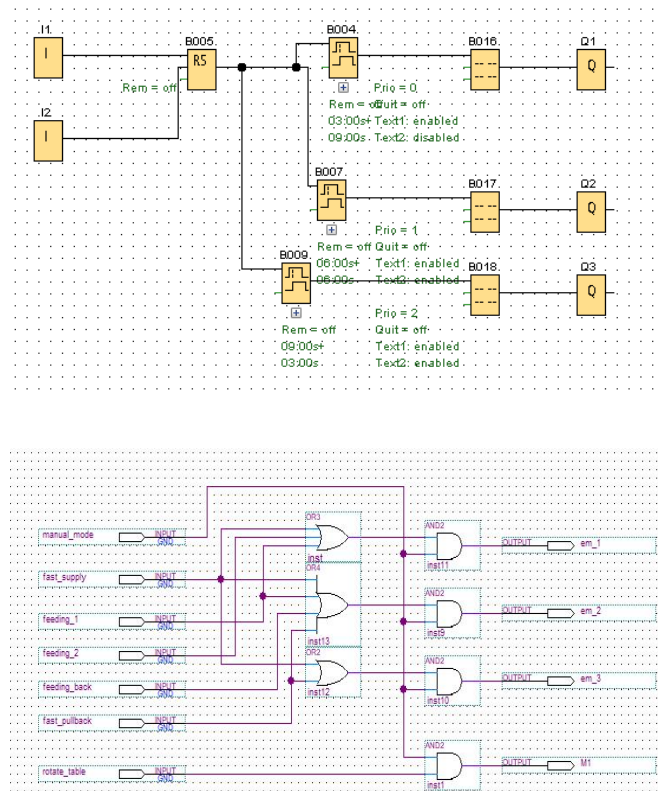
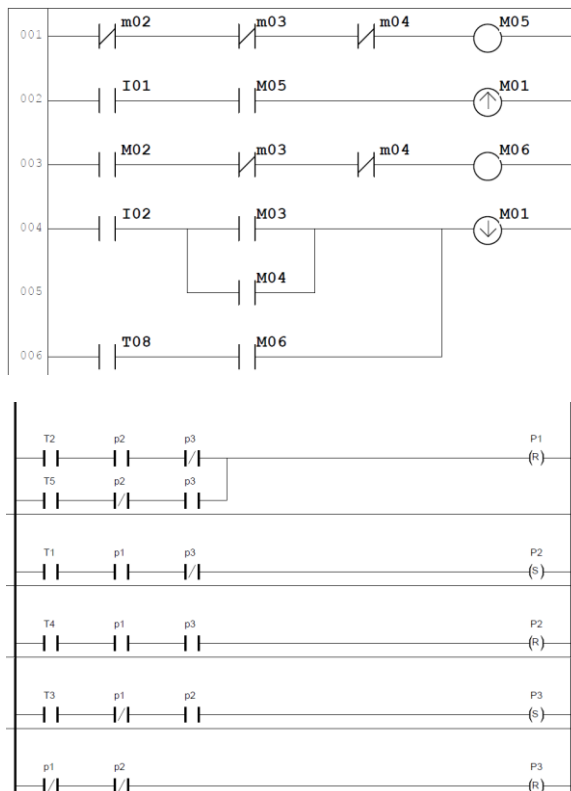


Рисунок 1.2 – Різновиди мов програмування

Найбільш поширеними інструментальними засобами для програмування ПЛК є: CODESYS, ISaGRAF, Beremiz, KLogic. Але існують виробники які створюють свої інструментальні засоби. Прикладом є середовище LOGO!Soft Comfort від компанії SIEMENS яке використовується для програмування ПЛК серії LOGO [3].

Однією з переваг ПЛК є їх гнучкість та можливість легкого змінювати поведінку системи за допомогою програмного забезпечення. Наприклад, якщо потрібно змінити послідовність дій у лінії виробництва, можна просто змінити програму ПЛК без необхідності встановлювати нове обладнання або робити дорогі переробки.

Також одним з плюсів ПЛК є можливість підключення додаткових модулів, які можуть включати в себе додаткові входи/виходи, аналогові входи/виходи, екран для виводу або взаємодії з ним (так звані тач-екрани), різні спеціальні давачі, наприклад температури та інші.

Існує багато інших можливостей ПЛК – можливість моделювання роботи програми в програмованому середовищі, утворення зв'язку з іншими ПЛК, керування через інтернет та ін.

1.2 Огляд промислових ПЛК різних виробників

На світовому ринку основними постачальниками ПЛК є компанії: Allen-Bradley, Berghoff, Siemens, Schneider Electric, Phoenix Contact, Mitsubishi Electric, Advantech, Delta, ViPA, WAGO I/O, Segnetics та ін.

Для початку розглянемо компанію Allen-Bradley. Дана компанія займається виробництвом ПЛК які використовуються у різних сферах та різних системах керування такі як: великі системи керування ПЛК, малі системи керування ПЛК та системи керування мікро-ПЛК.

До великих та малих систем керування належать контролери серії ControlLogix, найновішими являються ControlLogix 5580 [4] та ControlLogix 5380 [5]. Вони забезпечують високошвидкісний зв'язок за допомогою вбудованого

порту Ethernet (1 Гб/с). Присутня наявність вбудованих функцій контролера, які максимізують продуктивність системи: виявлення та фіксація змін в контролері, прошивку контролера з цифровим підписом і контроль доступу на основі ролей для додаткової безпеки. Навний дисплей, який дозволяє розширену діагностику та усунення несправностей та багато іншого. Контролери дозволяють підключення до 128 000 цифрових входів/виходів та до 4000 аналогових [4].

Контролери серії ControlLogix використовуються в наступних галузях промисловості:

- 1) харчова;
- 2) видобувна;
- 3) металургійна;
- 4) нафтова та газова;
- 5) напівпровідники та електроніка;
- 6) автомобільна;
- 7) морська.

До систем керування мікроПЛК відносяться контролери серії Bulletin 2080 Micro [6], [7], [8]. В порівнянні з попередніми контролерами вони мають менші розміри та призначені для невеликих автономних систем керування машинами та дистанційної автоматизації, які потребують гнучкого зв'язку та можливостей вводу/виводу. Контролери даної серії мають декілька типів які відрізняються між собою кількістю входів/виходів, наявністю дисплея та кількістю можливих підключених додаткових модулів розширення.

За допомогою контролерів [6], [7], [8] можна досягти наступних результатів:

- 1) Оптимізація продуктивності праці:
 - 1.1. Зменшення площі контролера за допомогою модулів, що розширюють його функціональність;
 - 1.2. Досягнення ефективності витрат на експлуатацію та апаратне забезпечення шляхом масштабування машини за допомогою підтримка до

восьми модулів розширення вводу/виводу та 304 точок цифрового вводу/виводу;

1.3. Створення надійної системи керування замкненими контурами з вбудованим пропорційно-інтегрально-диференціальним регулятором (ПІД) та обчисленнями з плаваючою комою;

1.4. Скорочення кількості простоїв за допомогою інформації про продуктивність від інтелектуальних пристроїв, підключених до контролера Micro800, і передачу даної інформацію через EtherNet/IP на підприємство.

2) Спрощення проектування та монтажу.

3) Зручне підключення контролерів, включаючи керування електроприводами та спілкування з іншими контролерами [9].

Для програмування контролерів використовується сучасне середовище програмування Studio 5000 Logix Designer. Дане середовище дозволяє:

1) Користувачам працювати разом над проектуванням та обслуговуванням своїх систем;

2) Розроблювати та тестувати програму за допомогою симуляції;

3) Підвищувати продуктивність за допомогою віддаленої перевірки зв'язку, підключаючи пристрої EtherNet/IP до симулятора;

4) Наявність можливості для інтеграції до програми графічного терміналу;

5) Гнучкість в автоматизації об'єктів та інше.

Наступна компанія – це Siemens. Розглянемо платформу SIMATIC та програмоване логічне реле SIEMENS LOGO!.

Платформа SIMATIC об'єднує всі пристрої і системи, як апаратні, так і програмне середовище в єдину високопродуктивну системну платформу. Тим самим зникають наявні раніше системні границі між світом комп'ютерів, контролерів та керування процесом, тобто між середовищами візуалізації та керуванням, між централізованою і децентралізованою автоматизацією [10].

Така комплексна автоматизація пропонує користувачу наступні переваги:

1) апаратні засоби можуть адаптуватися, тобто для поставленої задачі можна знайти оптимальну (ціна/продуктивність) функціональність (контролер або комп'ютер).

2) комплексна автоматизація є відкритою, наявні прилади можна просто розширити, або можуть бути інтегровані поточні і майбутні рішення автоматизації.

3) високопродуктивне програмне забезпечення підвищує продуктивність при реалізації проєкту і знижує витрати на інжиніринг та витрати життєвого циклу.

4) SIMATIC базується на стандартах Windows і завдяки чому може легко використовувати його додатки (стандартне програмне забезпечення) або механізм комунікації [10].

ПЛК в залежності від рівня продуктивності поділяються на мікро-ПЛК (S7-200), ПЛК нижнього/середнього рівня продуктивності (S7-300) та ПЛК середньо/високого рівня продуктивності (S7-400). У SIMATIC серії S7 говорять про комбінацію ПЛК (S7-300) із панеллю оператора системи обслуговування та спостереження ЛМІ. Інтегрування системи програмного керування і панелі оператора в одному приладі дає можливість керування механізмом в невеликому об'ємі за невисоку ціну. WinAC – це рішення, яке базується на використанні ПК. Воно знаходить застосування, коли різні задачі автоматизації (регулювання, візуалізація, обробка даних) повинні вирішуватися з використанням ПК [10].

Останнім часом використанням ПЛК S7-200 замінюється на SIEMENS LOGO!, оскільки дана технологія є застарілою і знята з виробництва. А ПЛК серії S7-300 та S7-400 не можуть повністю задовольнити вимоги щодо керування та продуктивності, тому на їх заміну прийшли контролери нового покоління S7-1500.

Для програмування даної серії контролерів використовують програмне забезпечення STEP 7. SIMATIC WinCC використовується для створення SCADA систем у різних сферах застосування.

Контролери LOGO! пропонують рішення різних технічних завдань, у тому числі в електрообладнанні житлових приміщень (наприклад, зовнішнє освітлення, штори, жалюзі, освітлення вітрин магазинів тощо), у комутаційних шафах, в управлінні машинами та апаратами (наприклад, системи підйому гаражних воріт, системи вентиляції або насоси водопостачання та багато іншого). LOGO! можна також використовувати для управління спеціальними системами, які працюють в оранжереях і теплицях. Він придатний для попередньої обробки сигналів керування та, якщо підключити комунікаційний модуль, для розподіленого управління машинами та процесами на місці. Є спеціальні варіанти без панелі управління та індикації для серійних застосувань у мікромашинобудуванні, апаратобудуванні та шафах управління [11].

Різні базові варіанти та модулі розширення дають змогу зробити дуже гнучку й точну адаптацію до поставленого завдання. LOGO! забезпечує рішення в діапазоні від невеликих домашніх установок і малих завдань автоматизації до складних інженерних рішень, що включають вбудовування системи шин.

Кожен базовий пристрій LOGO! Basic може бути розширено тільки за допомогою модулів розширення того ж класу напруги. Підключенню один до одного пристроїв, що належать до різних класів напруги, перешкоджає механічне кодування (штифти в корпусі).

Для програмування контролерів SIEMENS LOGO! використовують програмне забезпечення LOGO!Soft Comfort.

У різних галузях економіки широко використовуються інтелектуальні контролери Mitsubishi Electric, які виступають центральними системами управління. Основна мета цих пристроїв - передавати та контролювати виконання отриманих команд у блоках управління. Застосування цих пристроїв дозволяє покращити всі аспекти виробничої діяльності, такі як продуктивність, безпека та якість продукції. Контролери Mitsubishi широко використовуються в Україні та інших країнах у промисловості, сфері послуг, житлово-комунальному господарстві, СКУД, системах контролю доступу та навіть в побутових умовах [12].

Виробник випускає 4 лінійки програмованих логічних контролерів:

1) Мікроконтролери ALPHA мають невеликі розміри та просту конструкцію, тому їх часто використовують в побуті та для вирішення невеликих виробничих завдань.

Програмування контролерів ALPHA можна провести за допомогою мови програмування або блок-діаграм, що спрощує їх експлуатацію.

Основні області застосування контролерів ALPHA включають системи автоматичного годування тварин як в домашньому господарстві, так і в тваринництві, системи управління в парниках та автоматизовані системи освітлення.

2) Компактні пристрої FX. Це один з найкращих виборів для середнього рівня складності автоматизованих систем, який поєднує в собі малі габарити, невелику ціну та оптимальний функціонал.

Пристрої використовуються в багатьох сферах діяльності, а також є незамінними при виконанні різної складності сільськогосподарських завдань, наприклад, зрошення землі, в процесі збору врожаю; обробці дерев'яних поверхонь; при автоматизації (заміна стандартної релейної логіки на програмовану) комерційних, житлових, промислових будівель (системи кліматичні, протипожежні, вентиляційні, енергозберігаючі та інші). ПЛК даного типу забезпечує тривалий контроль технологічних процесів, зводить до мінімуму трудовитрати людини в харчовій промисловості і комунальному господарстві.

3) Модульні контролери System Q представляють собою високоінтелектуальні пристрої для складного рівня автоматизації. Вони використовуються для вирішення складних завдань і автономного управління ключовими параметрами.

Області застосування контролерів Mitsubishi серії Q: сільське господарство, автоматизація будівель, будівництво, харчова промисловість, медицина, фармацевтика, автомобілебудування та ін.

4) Модулі віддаленого вводу MELSEC ST компанії Mitsubishi є логічними контролерами, що характеризуються високою швидкістю та

розширеними можливостями обробки даних. Вони використовуються для здійснення віддаленого управління та підключення до мережі Profibus.

Для програмування контролерів Mitsubishi використовуються наступні мови програмування: LD, IL, FBD та ST. Програмне середовище для програмування – GX Works2 та GX Works3. Дані середовища розробки програмного забезпечення підтримують ПЛК серій MELSEC-Q/L/F. Також для програмування більш простих контролерів можна використовувати програмне середовище Codesys.

Schneider Electric має велику кількість ПЛК для різних сфер застосування.

Інтелектуальні реле Zelio Logic призначені для керування простими системами автоматизації й поєднують чудове співвідношення ціни-якості та зручність використання; вони є реальною альтернативою використанню кабельного логічного з'єднання й спеціальних карт.

Zelio Logic представлено двома лінійками: Compact, яка передбачає фіксовані конфігурації, і Modular з модулями розширення. Інтелектуальні реле використовуються для ПД-регулювання систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Zelio Logic дає змогу здійснювати керування й моніторинг установок у будь-якій ситуації як на місцях, так і дистанційно.

Modicon M221, який є логічним контролером, показує найвищу продуктивність серед своїх конкурентів. Цей контролер доступний у компактному або модульному (Book) виконанні і вимагає мінімальних зусиль для його встановлення. Він також відрізняється високим рівнем універсальності. При підключенні простої дистанційної панелі оператора, цей контролер можна використовувати для негайного обслуговування та візуалізації механічного обладнання.

Даний контролер має наступні переваги:

- 1) завдяки масштабованості керування механічним обладнанням, його можна легко оновлювати до високопродуктивних платформ для підвищення ефективності;

2) з'єднання можна встановити в будь-якому місці через Ethernet, також для спрощення інтеграції та технічного обслуговування передбачений доступ через бездротову мережу та вебсервери.

3) продуктивність контролера можна підвищити за допомогою спеціального застосунку для вантажопідйомного та пакувального обладнання.

4) підвищення безпеки механічного обладнання за рахунок системи безпечних входів/виходів Modicon TM3 [13].

Modicon M262 має надвисокі можливості для підключення до інших систем і водночас захищений системою кібербезпеки та має зашифровані канали комунікації між:

1) машиною та пристроями: завдяки відкритим протоколам, наприклад, client/server OPC UA, EtherNet/IP, Modbus TCP, Sercos;

2) машиною та людиною: завдяки вдосконаленій діагностиці, машинному помічнику та вбудованому WebVisu заощаджується час на введення в експлуатацію та технічне обслуговування;

3) машиною та системою: з великим вибором протоколів та сервісів, можна приєднати до ERP, MES, SCADA, CMS, CMMS та інших;

4) машиною та хмарою безпосередньо: з можливістю передачі даних хмарним рішенням, таким як EcoStruxure Machine Advisor. Підвищується можливості контролера і діджиталізованого обладнання за допомогою безлічі хмарних додатків з API.

Продуктивність рухомих машин безпосередньо залежить від часу реакції системи, заданої частоти та функціональних можливостей. Цикл керування синхронізацією осей відбувається в реальному часі з точністю до 1 мс, Modicon M262 є одним з найшвидших і найточніших контролерів переміщень у категорії загального управління рухом, CNC та point-to-point робототехніки:

1) зв'язок в режимі реального часу з великими можливостями автоналаштування в сервоприводах Lexium для високоякісних результатів на виробництві;

- 2) функції кулачкових механізмів для синхронізованого планування руху;
- 3) різні режими актуатора, за синхронною позицією або швидкістю;
- 4) 3D/G редактори коду для планування руху з паралельними текстовими й графічними дисплеями та DXF імпортом;
- 5) бібліотека та редактори CNC з усіма функціональними блоками для інтерполяцій, обчислення шляху та компенсації, функціональні блоки відповідають PLCореню [14].

ПЛК дуже добре адаптований до простих і середніх за складністю програм руху, таких як буріння, фрезерування, друк, пакування або керування кулачковими механізмами.

Zelio Soft є програмним забезпеченням для налаштування конфігурації Zelio Logic, яке забезпечує спрощене програмування маленьких установок мовою Ladder, FBD чи SFC. EcoStruxure Machine Expert Basic використовується для програмування контролерів Modicon M221. Firmware for TMSES4 smart communication module використовується для програмування контролерів Modicon M262.

1.3 Огляд систем автоматизації на базі ПЛК

Для початку розглянемо систему автоматизації та диспетчеризації шестиповерхової будівлі офісно-рекреаційно-розважального центру «Технопарк «Бізнес-сіті» (м. Львів) [15].

В проект входило:

- 1) автоматизація роботи 27 вентиляційних припливно-витяжних установок;
- 2) автоматизація холодильних конденсатно-компресорних блоків;
- 3) автоматизація роботи двох дахових котелень на 9 та 3 газових конденсаційних котла відповідно;

- 4) автоматизація роботи тепlopункту (підігрів басейнів, нагрів бойлерів, управління контурами обігріву та теплових завіс);
- 5) автоматизація роботи холодного водопостачання;
- 6) автоматизація робочого та аварійного освітлення;
- 7) диспетчеризація всіх автоматизованих систем управління будинком.

При автоматизації 27 вентиляційних установок було використано 8 шаф керування, які керували від 2 до 6 вентиляційними установками, при цьому використовувалися контролери Schneider Electric Modicon M238 та програмовані реле Zelio.

Погодозалежна система керування конденсаційними газовими котлами та автоматика тепlopункту побудовані на базі BMS контролерів виробника котлів та силової комутаційної апаратури Schneider Electric серії TeSys E та ACTI9.

Система диспетчеризації побудована на базі інформаційної мережі Ethernet по протоколу Modbus/TCP. Для віддаленого управління освітленням та збору інформації використано віддалені модулі Advantys OTB та контактори і автомати ACTI9.

Наступним прикладом буде модернізація та оптимізація управління котлами та інтеграція їх в єдину систему управління та управління для всього цукрового заводу «Tereos Boiry Sainte Rictrude», який розташований поблизу Арраса (в регіоні Па-де-Кале), Франція. Котли є важливою складовою цукрового заводу, вони можуть виробляти відповідно до 140 і 120 тон пари на годину. 85% цієї пари використовується для виробництва електроенергії; решта 15% використовуються для різних процесів у виробництві цукру. Компанія Tereos, якій належить цукровий завод, вирішила замінити вже застарілу розподілену систему керування двома котлами.

Технічне рішення базується на системи автоматизації процесів PlantPAx, реалізованої на трьох резервованих ПЛК Allen-Bradley ControlLogix PAC і повністю інтегрована в загальну систему керування заводу.

В результаті було покращено керування котлами. Потужність котла тепер досягає 96%. Також збільшилась надійність роботи котлів. Система управління

повністю інтегрована з іншими заводськими системами, що дозволяє централізувати відстеження всього виробничого майданчика: сигнали тривоги, дії оператора та історія процесу [16].

У 2020 році Сіменс Україна розпочала проєкт з цифровізації у фармацевтичній компанії «Фармак». Це дало змогу підвищити гнучкість й автономність виробничих процесів. Такий прогрес став можливим завдяки використанню SIMATIC PCS7 - системи розподіленого управління процесом. Поєднання автоматизації та цифровізації дозволяє швидко змінювати рецепти лікарських засобів та послідовність технологічних процесів. Це дозволяє оператору миттєво вибирати потрібний рецепт, запускати його у виробництво за допомогою панелі управління і контролювати виготовлення серії препарату. [17].

Це дозволило:

- 1) гарантувати чітку повторюваність технології;
- 2) мінімізувати людський фактор;
- 3) відслідковувати й аналізувати всі відхилення від виробничої норми;
- 4) збільшити виробництво фармацевтичних препаратів;
- 5) знизити витрати на виробництво в середньому на 10–20%.

Управління інженерними системами приміщень відповідає за створення оптимального мікроклімату в робочих приміщеннях, забезпечуючи належний повітрообмін, температуру та вологість повітря. Siemens розробив потужну платформу з назвою DESIGO CC, яка інтегрується з модульною системою SIMATIC PCS7.

За допомогою DESIGO CC персонал цеху може контролювати стан всіх інженерних систем та параметри мікроклімату безпосередньо зі своєї робочої станції. В чистих зонах встановлені спеціальні цифрові панелі, на яких відображаються GMP-параметри, такі як мікроклімат, рівень частинок у повітрі та перепади тиску. Це особливо важливо при виробництві асептичних лікарських засобів для ін'єкцій.

Ці параметри мають чітко встановлені норми, тому при будь-яких відхиленнях негайно активується світлова сигналізація на спеціальних сигнальних колонах. Зелене світло означає нормальний перебіг процесів, жовте сигналізує про незначні відхилення, а червоне вказує на критичну ситуацію. У разі червоного сигналу також активується звукова сигналізація. У таких ситуаціях співробітники точно знають, як діяти, оскільки вони мають спеціальні робочі інструкції [17].

Висновок до розділу 1

В даному розділу було описано ПЛК, принцип роботи, наведено переваги, описані програмні засоби для програмування ПЛК та мови програмування які використовуються для їх програмування. Проведено аналіз промислових ПЛК різних виробників, а саме представлено моделі, серії ПЛК їх особливості, функціонал та сфери застосування. Було проведено огляд систем автоматизації на базі ПЛК, а саме наведено приклад проектів системи автоматизації з використанням ПЛК та описано їхнє завдання.

2 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАВКИ

Функціональна схема лабораторного стенду представлена на рис. 2.1. Даний лабораторний стенд повинен відповідати наступним вимогам: простота та зручність експлуатації, наочність монтажу, відсутність потреби в додатковому обладнанні.

Лабораторний стенд повинен складатися із входних, вихідних сигналів та елемента який повинен обробити входний сигнал та створити вихідний. В даному випадку це буде виконувати ПЛК.

Вхідні сигнали складаються з наступних елементів: кнопки, перемикачі, кінцеві вимикачі та давач Холла. Вхідні сигнали потрапляють до ПЛК, там вони обробляються та створюється вихідний керуючий сигнал, який може подаватися на мікродвигуни, вентилятор, сигнальні лампи, магнітні контактори, пристрій плавного пуску та семисегментний індикатор. Пристрій плавного пуску та магнітні контактори в свою чергу мають керувати асинхронними двигунами.

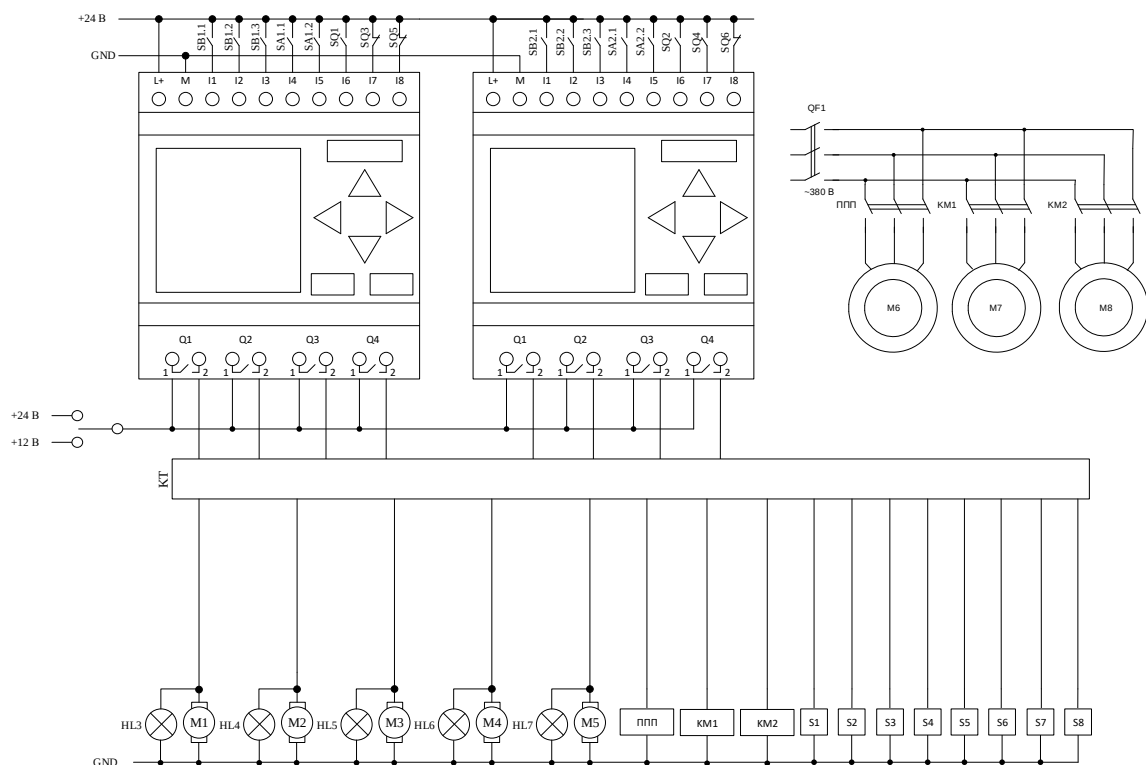


Рисунок 2.1 – Функціональна схема лабораторного стенду

Лабораторний стенд буде складатися із шести кнопок керування без фіксації, двох багатопозиційних кнопок, п'яти кінцевих вимикачів, датчик Холла, п'яти мікродвигунів, семисегментного індикатора, п'яти сигнальних ламп, двох магнітних контакторів та одного пристрою плавного пуску. Для силового живлення та живлення системи керування застосовуються автоматичні вимикачі, вони мають індикацію режиму у вигляді сигнальних ламп.

В залежності від завдання, за допомогою кнопок SB1.1 – SB2.3, двопозиційних кнопок SA1 – SA2, кінцевих вимикачів SQ1 – SQ6 подаються вхідні сигнали на ПЛК. Після подачі сигналів від ПЛК можна бачити роботу схеми, як на стенді (засвітлення сигнальних ламп, спрацювання магнітних контакторів, робота мікродвигуни, робота АД, засвітлення сегментів на семисегментному індикаторі) так і на дисплеї програмованого логічного контролера, якщо це зробити в програмі.

Представлений стенд на рис. 2.2 повинен працювати наступним чином: через автоматичний вимикач SF1 подається живлення на мікродвигуни M1– M5, ПЛК (Master, Slave), магнітні контактори (KM1– KM2), кнопки (SB1.1 – SB2.3, SA1, SA2), семисегментний індикатор, кінцеві вимикачі (SQ1 – SQ6). QF1 подає живлення на асинхронні двигуни через магнітні контактори та пристрій плавного пуску. Наявність живлення після увімкнення SF1 або QF1 сигналізує відповідна лампа HL1 або HL2.

При вмиканні автоматичного вимикача SF1 спрацьовує світлова сигналізація (HL1). В подальшому напруга подається на два блоки живлення: один блок живлення видає постійну напругу 24 В, а інший – постійну напругу 12 В. Постійної напруги 12 В потрібна для керування семисегментним індикатором. Постійна напруга 24 В використовується для живлення інших елементів системи керування. Всі кінцеві вимикачі, окрім SQ5, мають по два типи контактів NC та NO. Кінцевий вимикач SQ5 працює на ефекті Холла. Зона спрацювання датчика 0–10 мм. На задній торцевій частині датчика встановлено червоний світлодіод індикації роботи. Датчик відноситься до NPN типу та є уніполярним.

На схемі електричній принциповій наведено його підключення до даного контролера.

Кінцеві вимикачі SQ1, SQ2, SQ6 мають нормально відкриті контакти. Кінцеві вимикачі SQ3, SQ4, SQ5 мають нормально закриті контакти.

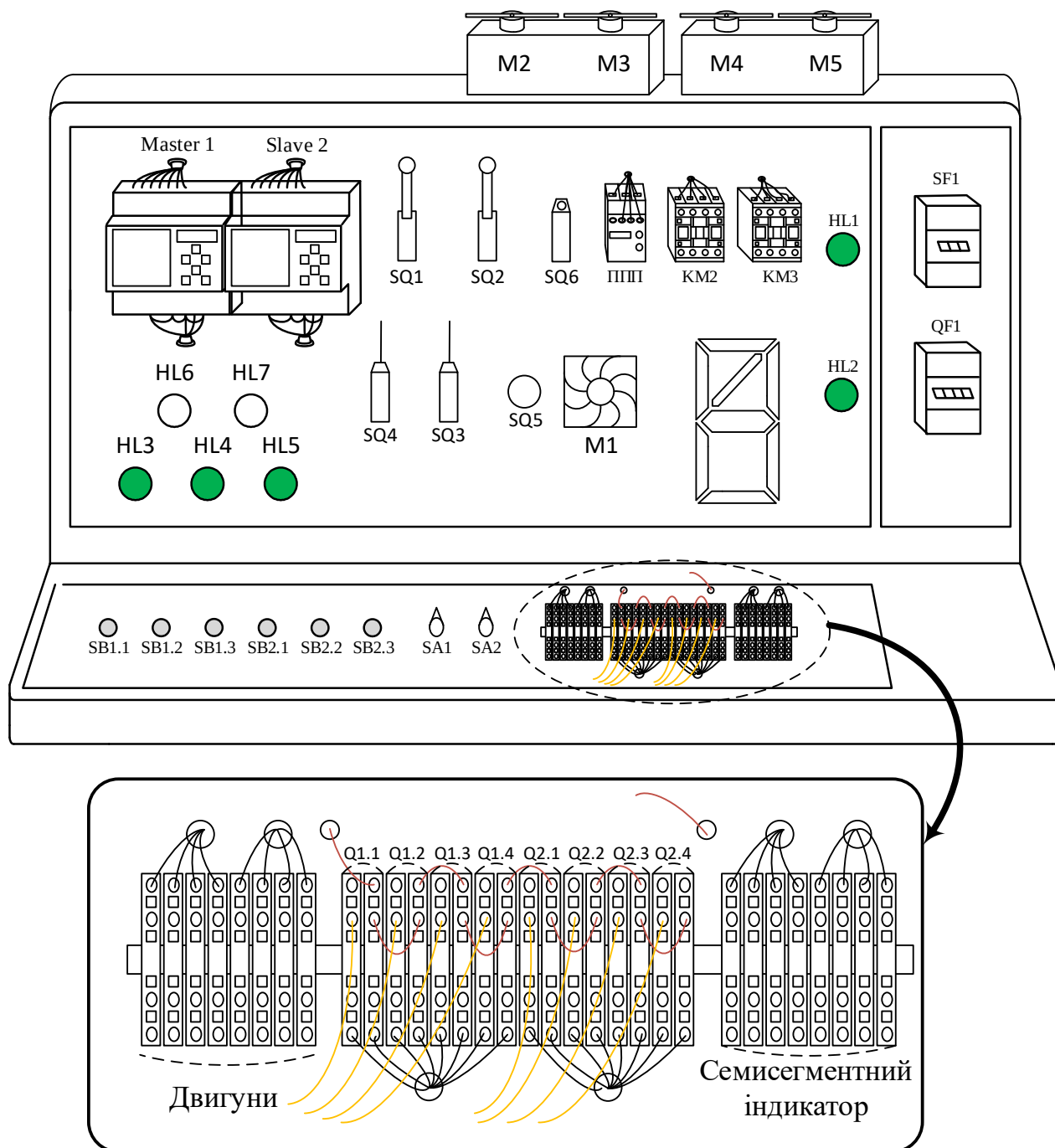


Рисунок 2.2 – Схематичне зображення лабораторного стенду

В табл. 2.1 та 2.2 наведено підключення вхідних сигналів до ПЛК. Вихідні сигнали можна підключити до будь-якого виходу контролера, для цього на передній частині стенду присутня коробка клемна для підключення.

Таблиця 2.1 – Підключення вхідних сигналів до ПЛК (Master)

Входи контролера	Вхідні сигнали
I1	SB1.1
I2	SB1.2
I3	SB1.3
I4	SA1.1
I5	SA1.2
I6	SQ1
I7	SQ3
I8	SQ5

Таблиця 2.2 – Підключення вхідних сигналів до ПЛК (Slave)

Входи контролера	Вхідні сигнали
I1	SB2.1
I2	SB2.2
I3	SB2.3
I4	SA2.1
I5	SA2.2
I6	SQ2
I7	SQ4
I8	SQ6

Висновок до розділу 2

В даному розділу було розроблено функціональну схему лабораторного стенду. Було описано вхідні та вихідні елементи. Було представлено вимоги до лабораторного стенду. Наведено перелік обладнання яке необхідне для лабораторного стенду, наведено опис роботи стенду та показано підключення вхідних сигналів. Отримані результати дають змогу перейти до вибору необхідного обладнання. Наведення схематичного зображення стенду дає змогу подивитися ергономічність розміщення обладнання та перейти до початку реалізації його.

3 ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ

В лабораторному стенді використовується асинхронний двигун АИРМ63В4У2. Оскільки для заданого двигуна немає всіх необхідних параметрів, а саме параметрів Г – подібної схеми заміщення. В даному випадку було взято параметри Г – подібної схеми заміщення аналогового двигуна серії 4А, а саме 4АА63В4У3, табл. 3.2. Але в даному випадку необхідно пам'ятати, що при такому розрахунку вихідні дані не будуть точними, а лише наближені до даних двигуна АИРМ63В4У2.

Таблиця 3.1 – Паспортні дані двигуна АИРМ63В4У2

Параметри	Значення
Номінальна потужність	$P_{2n} = 0.37 \text{ кВт}$
Номінальна лінійна напруга статора	$U_{1n} = 380 \text{ В}$
Число пар полюсів	$p_n = 2$
Момент інерції	$J_d = 0.0008 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Коефіцієнт корисної дії	$\eta = 0.66$
Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi = 0.68$
Перевантажувальна здатність	$\lambda = 2.2$
Номінальне ковзання	$s_n = 0.086$
Критичне ковзання	$s_k = 0.43$
Номінальна частота напруги статора	$f = 50 \text{ Гц}$

Таблиця 3.2 – Параметри Г - подібної схеми заміщення (відносні одиниці)
двигуна 4AA63B4УЗ

Параметри	Значення
Індуктивний опір розсіювання статора	$\overline{x_1}' = 0.086$
Активний опір статора	$\overline{R_1}' = 0.17$
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$\overline{x_2}'' = 0.18$
Приведений активний опір ротора	$\overline{R_2}'' = 0.14$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$\overline{x_\mu} = 1.4$

Основне обладнання було надано фірмою Siemens, перелік та кількість обладнання наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Перелік обладнання

Назва	Кількість
ПЛК	2
Блок живлення	1
Магнітні контактори	2
Пристрій плавного пуску	1
Кнопки без фіксації	6
Багатопозиційні кнопки	2
Сигнальні лампи	7
Автоматичний вимикач двополосний	1
Автоматичний вимикач триполосний	1

В табл. 3.4 наведено параметри ПЛК SIEMENS LOGO 12/24RCE [18]. В стенді використовуються два однакових ПЛК, які можуть працювати по технології MASTER-SLAVE.

Таблиця 3.4 – параметри ПЛК SIEMENS LOGO

Параметри	Значення
Вхідна постійна напруга	12/24 В
Захист від зворотної полярності напруги	Присутній
Споживаний постійний струм при напрузі: 12 В 24 В	30-140 мА 20-75 мА
Кількість цифрових входів	8
Тип виходів	Релейний
Кількість виходів	4
Максимальна вихідна напруга постійного або змінного струму	220 В
Максимальний струм реле	10 А
Максимальна кількість блоків в програмі	400

В табл. 3.5 наведено параметри блоку живлення SIEMENS [19] який забезпечує стенд постійною напругою 24 В. В табл. 3.6 наведено параметри блоку живлення 12 В для семисегментного індикатора [20]. В табл. 3.7 наведено параметри магнітних контакторів SIEMENS SIRIUS 3RT [21]. В табл. 3.8 наведено параметри пристрою плавного пуску SIEMENS SIRIUS 3RM1 [22].

Таблиця 3.5 – Параметри блоку живлення SIEMENS

Параметри	Значення
Вхідна напруга	~220 В
Вихідна напруга	=12–24 В
Максимальний вихідний струм	8 А

Таблиця 3.6 – Параметри блоку живлення для семисегментного індикатора

Параметри	Значення
Вхідна напруга	~220 В
Вихідна напруга	=12 В
Максимальний вихідний струм	5 А

Таблиця 3.7 – Параметри магнітних контакторів SIEMENS SIRIUS 3RT

Параметри	Значення
Номінальна напруга	~400 В
Потужність	3 кВт
Номінальний струм	7 А
Напруга живлення котушки керування	24 В
Додаткові контакти стану	1 NO

Таблиця 3.8 – Параметри пристрою плавного пуску SIEMENS SIRIUS 3RM1

Параметри	Значення
Номінальна напруга	~400 В
Потужність	3 кВт
Номінальний струм	7 А
Напруга живлення котушки керування	24 В
Можливість реверсивного ввімкнення	Так

В табл. 3.9 наведено параметри кінцевих вимикачів САКО ME-8108 [23].
В табл. 3.10 наведено параметри кінцевих вимикачів САКО ME-8169 [24].

Таблиця 3.9 – Параметри кінцевих вимикачів САКО ME-8108

Параметри	Значення
Номінальна напруга	~220 В =110 В
Номінальний струм	~5А =0.4А
Типи контактів	1NO, 1NC

Таблиця 3.10 – Параметри кінцевих вимикачів САКО ME-8169

Параметри	Значення
Номінальна напруга	~220 В =110 В
Номінальний струм	~5А =0.4А
Типи контактів	1NO, 1NC

В табл. 3.11 наведено параметри давача Холла [25].

Таблиця 3.11 – Параметри давача Холла

Параметри	Значення
Напруга живлення	=6-36 В
Вихідний струм	300 мА
Відстань спрацювання	5 мм

В табл. 3.12 наведено параметри кнопок без фіксації SIEMENS [26]. В табл. 3.13 наведено параметри багатопозиційної кнопки SIEMENS [27].

Таблиця 3.12 – Параметри кнопок без фіксації SIEMENS

Параметри	Значення
Максимальний струм	10 А
Контакти кнопки	1NO
Присутність фіксації	Ні

Таблиця 3.13 – Параметри багатопозиційної кнопки SIEMENS

Параметри	Значення
Максимальний струм	10 А
Контакти кнопки	NO
Присутність фіксації	ТАК

В табл. 3.14 наведено параметри сигнальних ламп SIEMENS [28].

Таблиця 3.14 – Параметри сигнальних ламп SIEMENS

Параметри	Значення
Напруга живлення	400 В
Діаметр встановлення	22 мм

В табл. 3.15 наведено параметри двополюсного автоматичного вимикача SIEMENS [29]. В табл. 3.16 наведено параметри триполюсного автоматичного вимикача SIEMENS [30].

Таблиця 3.15 – Параметри двополюсного автоматичного вимикача SIEMENS

Параметри	Значення
Кількість полюсів	1P+N
Номінальна напруга	~230 В
Номінальний струм	16А
Відмикаюча здібність	6 кА
Функціонал	Захист від КЗ та струмів та перегрузів

Таблиця 3.16 – Параметри триполюсного автоматичного вимикача SIEMENS

Параметри	Значення
Номінальна напруга	690 В
Номінальний струм	16 А
Кількість полюсів	3
Механічна та електрична зносостійкість	100000/100000
Тип розриву	Електромагнітний та тепловий

В табл. 3.17 наведено параметри семисегментного індикатора [31].

Таблиця 3.17 – Параметри семисегментного індикатора

Параметри	Значення
Напруга живлення	=12 В
Потужність	5.8 Вт

В табл. 3.18 наведено параметри вентилятора [32].

Таблиця 3.18 – Параметри вентилятора

Параметри	Значення
Напруга живлення	= 24 В
Струм споживання	0.25

В табл. 3.19 наведено параметри мікродвигунів [33]. В табл. 3.20 наведено параметри кінцевого вимикача Lovato KBP2L11 [34].

Таблиця 3.19 – Параметри мікродвигунів

Параметри	Значення
Робоча напруга	=12-36 В
Номінальний струм (неробочий хід)	0.14-0.2 А
Швидкість обертання (неробочий хід)	3500-9000 об/мин

Таблиця 3.20 – Параметри кінцевого вимикача Lovato KBP2L11

Параметри	Значення
Номінальна напруга	690 В
Номінальний струм	10 А
Типи контактів	1NO, 1NC

Визначимо параметри резистора, необхідного для коректного використання давача Холла. Для його розрахунку необхідно знати робочу напругу та струм. Номінальне значення напруги 24 В, а струм не перевищує 0.1 мА. Обираємо струм номіналом 0.03 А.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{24}{0.03} = 800 \text{ Ом.} \quad (3.1)$$

Обираємо резистора VISHAY [35] номіналом 1 кОм параметри якого наведено в табл. 3.21.

Таблиця 3.21 – Параметри резистора VISHAY

Параметри	Значення
Номінальний опір	1 кОм
Номінальна потужність	5 Вт

Висновок до розділу 3

В даному розділі було обрано необхідне обладнання для лабораторного стенду. По результату обраного обладнання було створено схему електричну принципову лабораторного стенду та схеми електричних підключень.

4 РОЗРОБКА ЗАВДАНЬ ТА МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК ДО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ

Основні завдання, які повинні виконати студентам наведені нижче. Ці завдання, інструкції та приклад синтезу увійшли в навчальний посібник з лабораторних робіт з освітнього компоненту «Системи автоматизації – 2» [36].

4.1 Розробка варіантів завдань

В дипломному проекті для виконання лабораторної роботи було розроблено дванадцять завдань, які поділені між шістьма бригадами. Загалом завдання на лабораторну роботу складається із трьох задач: перші дві задачі надаються в методичних вказівках та одна задається індивідуально викладачем. Перші шість завдань є простими, а – більш складними. В табл. 4.1 наведено розподіл завдань між бригадами.

Таблиця 4.1 – Варіанти завдань

Бригада	Номер завдання
1	1, 7, індивідуальне
2	2, 8, індивідуальне
3	3, 9, індивідуальне
4	4, 10, індивідуальне
5	5, 11, індивідуальне
6	6, 12, індивідуальне

Завдання № 1

При натисненні кнопки SB1.1 на семисегментному індикаторі виводяться числа від 0 до 9 по черзі через кожні 1.5 с. При натисненні кнопки SB1.2

індикація скидається і на семисегментному індикаторі світиться цифра 0. Якщо знову натиснути SB1.1, то схема повторює роботу.

Завдання № 2

Схема працює у двох режимах, які перемикаються за допомогою SA1. В першому режимі при натисненні кнопки SB1.1 через кожну секунду на семисегментному індикаторі по черзі з'являються парні числа, якщо натиснути SB1.2 то схема скидається і повертається у вихідне положення, а у другому – по черзі непарні числа із затримкою в 1 секунду при натисненні SB2.1, при натисненні SB2.2 схема скидається і повертається у вихідне положення.

Завдання № 3

Три мотори M1, M2, M3 вмикаються та вимикаються трьома вимикачами SB1.1, SB1.2, SB1.3. Мотор M1 повинен працювати тільки у тому разі, коли замкнений будь-який один вимикач, M2 – коли замкнені перший та третій або перший та другий вимикачі, M3 – якщо замкнені усі три вимикачі.

Завдання № 4

Керування двигунами здійснюється за допомогою кнопок «Пуск» і «Стоп». При натисненні кнопки «Пуск» вмикаються на 5 с M1, M3, M5, потім із затримкою часу 2 с вмикається двигун M6, потім через 4 с вмикається двигун M7 та через 8 с – двигун M8. При натисненні кнопки «Стоп» знову вмикається M2 та M4 на 5 с., потім двигун M6 вимикається без затримки часу, потім через 3 с вимикається двигун M7 та через 4 с – двигун M8.

Завдання № 5

Схема працює у двох режимах, які перемикаються за допомогою SA2. У першому режимі при спрацюванні кінцевого вимикача на семисегментному індикаторі з'являється відповідний номер кінцевого вимикача і зберігається поки не спрацює інший, при натисненні кнопки SB1 схема скидається і на

семисегментному індикаторі з'являється нуль. У другому режимі комбінація працюючих SQ1-SQ3 відповідає двійковому коду і відповідну цифру відображає на семисегментному індикаторі.

Завдання № 6

На семисегментний індикатор повинна виводитися цифра відповідно до натисненої кнопки, відповідного положення перемикача або спрацювання кінцевого вимикача. В табл. 4.2 наведено цифри які повинні з'явитися при спрацювання певного елемента.

Таблиця 4.2 – Варіанти завдань

Елемент	Цифра	Елемент	Цифра
SB1.1	1	SA2.1	9
SB1.2	2	SA2.2	0
SB1.3	3	SQ1	1
SB2.1	4	SQ2	2
SB2.2	5	SQ3	3
SB2.3	6	SQ4	4
SA1.1	7	SQ5	5
SA1.2	8	SQ6	6

Завдання № 7

При натисненні SB1.1 вмикається M1 і починає працювати впродовж 6 секунд. Якщо по закінченню 6 секунд перемикач SA1 знаходився в положенні 1 то вмикається M2, а M1 вимикається. M2 працює до тих пір, поки не спрацює SQ1. Після спрацювання SQ1, M2 вимикається і вмикається M3. При спрацюванні SQ2, M3 зупиняється і чекатиме натиснення SB1.2. Після натиснення SB1.2, M3 знову працює і при спрацюванні SQ3 зупиняється. Якщо по закінченню 6 секунд перемикач SA1 знаходився в положенні 2, то вмикається

М4, а М1 вимикається. М4 працює до тих пір, поки не спрацює SQ4. Після спрацювання SQ4, М4 вимикається і вмикається М5. При спрацюванні SQ5, М5 зупиняється і чекатиме натиснення SB1.3. Після натиснення SB1.3, М5 знову працює і, при спрацюванні SQ6, зупиняється. При натисненні SB2.1 мотори працюють поки не спрацює найближчий кінцевий вимикач.

Завдання № 8

Схема має 5 вхідних сигналів (SA1, SB1.1, SB1.2, SB2.1, SB2.2) і 6 вихідних (М1, М2, S1, S2, S3, S4). Кнопкою SA1 обирається режим роботи. S1–S4 довільні чотири сегменти на індикаторі

В першому режимі роботи при натисканні кнопки SB1.1 вмикається двигун М1. Через 3 секунди вмикаються двигун М2, S3 та S4. При відпусканні кнопки SB1.1 через 2 секунди вимикається двигун М1, S3 та S4. При натисканні SB1.2 вимикається двигун М2 і вмикається S1 та S2 та знову М1. При відпусканні кнопки SB1.2 стан схеми не змінюється. При натисканні SB2.1 S1 та S2 гасяться, вимикається двигун М1. При відпусканні кнопки SB2.1 стан схеми не змінюється. При натисканні SB2.2 спрацьовує S3 та S4. Через 5 секунд після відпускання SB2.2 все вимикається.

В другому режимі роботи при натисканні SB2.1 через 7 секунд запускається двигун М2, S3 та S4. При натисканні SB1.2 S3 та S4 припиняють свою роботу, і через 3 секунди двигун М2 вимикається, вмикається S1 та S2 та двигун М1. При натисканні SB2.2 через 5 секунд вимикаються S1 та S2, при відпусканні SB2.2 все вимикається.

Завдання № 9

Задана схема керування системою охолодження об'єкту, що складається з трьох вентиляторів та давача температури. Давач температури має два пороги: низький та високий і видає відповідні дискретні сигнали.

При натисненні кнопки «Пуск» відразу вмикається перший вентилятор і відбувається перевірку стану об'єкта.

Якщо давач температури видає низький поріг, вентилятор працює 10 секунд, вимикається і переходить у стан очікування. Якщо у режимі очікування давач видає високий поріг, знову вмикається перший вентилятор. При зниженні рівня до низького вентилятор працює ще 10 секунд і знову переходить в режим очікування. Якщо при роботі 30 секунд одного вентилятора поріг не став низьким, вмикається другий вентилятор і, відповідно, через 30 секунд третій. Якщо при роботі всіх вентиляторів, або двох, поріг став низьким, то вимикаються всі вентилятори крім першого, який знову працює 10 секунд і потім вимикається і переходить в режим очікування.

Якщо давач температури відразу видає високий поріг, вмикаються перший і другий вентилятор, і потім, схема працює по попередньому алгоритму, коли було увімкнено два вентилятори.

Вимкнення схеми натисненням кнопки «Стоп» можливе тільки у станах, коли давач температури дає низький поріг.

У якості вентиляторів використовувати двигуни М2, М3, М4. У якості давача температури можна обрати будь-який кінцевий вимикач. Керуючі кнопки також обираються довільно.

Всі вхідні сигнали повинні оброблятися через перший контролер, а вихідні сигнали повинні бути на виході іншого контролера.

Завдання № 10

Задана схема керування приводом конвеєра. Вздовж конвеєра розташовані чотири кінцеві вимикачі (SQ1-SQ4), які видають дискретні сигнали про проходження через них матеріалу. Схема керується кнопками «Пуск» і «Стоп».

При натисненні кнопки «Пуск» перевіряється наявність матеріалу на кінцевих вимикачах (SQ1-SQ4). Якщо хоча б на одному вимикачі, окрім SQ1, знаходиться матеріал, привод конвеєра вмикається у реверс і матеріал повертається на SQ1. Якщо матеріал знаходиться більш ніж на одному кінцевому вимикачі, робота схеми блокується, доки всі кінцеві вимикачі не звільняться, або не залишиться матеріал тільки на одному кінцевому вимикачі (при цьому привод

конвеєра вмикається у реверс і матеріал повертається на SQ1, як і на початку роботи). Поки схема заблокована світиться на індикаторі нуль, при ввімкненні реверсу світиться на індикаторі 1.

Після цього, або якщо матеріал відразу знаходиться на SQ1, подається команда на вмикання приводу штапу, потім, через час 5 секунд, вмикається привод конвеєра, матеріал переміщується до SQ2, штапується другий раз, потім через час 5 секунд матеріал переміщується до SQ3, штапується третій раз, і через 5 секунд переміщується до SQ4.

Далі конвеєр зупиняється, вмикається привод переміщення матеріалу з конвеєра і подається команда на відкриття засувки, що подає на довільний кінцевий вимикач новий матеріал.

Після цього необхідно знову натиснути кнопку «Старт» для початку нового циклу і перевірки кінцевих вимикачів.

Кнопки для керування обирається довільно, в якості приводу переміщення використовувати пристрій плавного пуску, в якому присутній реверс.

Завдання № 11

Задана схема керування приводом ліфту двоповерхової будівлі. Керування здійснюється з кабіни (кнопки «вгору» або «вниз») та з поверхів (кнопка «виклик ліфту»). На кожному поверсі стоять два кінцевих вимикачі – головний та допоміжний. Ліфт має наступні приводи: прямий та інверсний привод руху, прямий та інверсний привод дверей.

При виклику ліфту з поверху перевіряються де знаходиться ліфт:

а) якщо ліфт знаходиться на поточному поверсі – відкривається привод дверей, якщо на іншому – ліфт переміщується на поточний, а потім відкривається привод дверей. Якщо через час 15 секунд після відкриття дверей з кабіни не надійде сигнал «вгору» або «вниз» – двері автоматично закриваються і ліфт залишається стояти на тому поверсі, де він був.

б) якщо з кабіни надійшов сигнал керування, через 10 секунд після його надходження двері зачиняються і ліфт переміщується на інший поверх, двері

відчиняються. Якщо інших сигналів керування не надходить двері зачиняються за 15 секунд.

У дверях стоїть давач зусилля, що спрацьовує коли двері не зачинилися. Цей давач перезапускає таймер дверей. Якщо цей давач спрацював три рази поспіль, разом з наступним перезапуском таймера дверей він включає попереджувальну звукову сигналізація на 3 секунди, яка працює паралельно з таймером закриття дверей.

У кабіні стоїть давач ваги, що спрацьовує, коли перевищена допустима вага. Він блокує роботу всіх приводів, доки вага не стане менше допустимої. При цьому перезапускається таймер закриття дверей. В табл. 4.3 наведено позначення та призначення сигналів.

Таблиця 4.3 – Таблиця позначення та призначення сигналів

Вхідні сигнали (блок вхідних сигналів, який складається з кнопок і давачів)	
Давач верхнього положення кабіни ліфту(1 поверх)	SQ1
Давач нижнього положення кабіни ліфту(1 поверх)	SQ2
Давач верхнього положення кабіни ліфту(2 поверх)	SQ3
Давач нижнього положення кабіни ліфту(2 поверх)	SQ4
Давач максимальної ваги	SQ5
Давач мінімальної ваги	SQ6
Кнопка виклику ліфту (1 поверх)	SB1.1
Кнопка виклику ліфту (2 поверх)	SB1.2
Кнопка в кабіні ліфту (вверх)	SB2.1
Кнопка в кабіні ліфту (вниз)	SB2.2
Вихідні сигнали (магнітні пускачі двигунів та звукова сирена)	
Привод кабіни ліфту (відкриття дверей)	M2
Привод кабіни ліфту (закриття дверей)	M3

Кінець таблиці 4.3

Привод ліфту (рух вверх)	Пристрій плавно пуску, М6
Привод ліфту (рух вниз)	

Завдання № 12

Задана схема керування вантажопотоком траволатора (рухома доріжка для пересування пасажирів). Траволатор має три робочі швидкості: низьку, середню та високу. Завантаженість траволатора контролює дискретний давач, що видає сигнали у відповідності до рівня завантаженості («мале», «середнє» та «велике»).

При натисненні кнопки «Пуск» вмикається на 30 секунд попереджувальний жовтий сигнал. Після 30 секунд сигнал зникає, а вмикається привод малої швидкості і через 3 секунди вмикається привод дверей для проходу на траволатор. Якщо через 5 хвилин навантаження траволатора не стане хоча б «малим», він зупиняється і двері закриваються.

Якщо навантаження збільшилося до «середнього», вмикається привод другої швидкості, а якщо потім збільшилося до «великого» – привод третьої швидкості. Аналогічно схема працює на зменшення навантаження. При зменшенні навантаження нижче «малого», вмикається таймер на 5 хвилин. Весь цей час горить попереджувальний червоний сигнал. Якщо за 5 хвилин навантаження знову не стане хоча б «малим», траволатор зупиняється, закриваються всі двері і зникає попереджувальний сигнал.

Весь час поки траволатор працює під навантаженням горить зелений сигнал дозволу входу на траволатор.

Привод дверей на вихід відкривається через 30 секунд, як на траволаторі з'явиться мінімальне навантаження і починається, після зупинки траволатора.

Кнопка «Аварійний стоп», зупиняє траволатор при роботі під навантаженням і зачиняє всі двері для проходу. В табл. 4.4 наведено позначення та призначення сигналів.

Таблиця 4.4 – Таблиця позначення та призначення сигналів

Вхідні сигнали (блок вхідних сигналів, який складається з кнопок і давача)	
Сигнал давача при малому навантаженні	SQ1
Сигнал давача при середньому навантаженні	SQ2
Сигнал давача при великому навантаженні	SQ3
Кнопка “Пуск”	SB1.1
Кнопка “Аварійний стоп”	SB1.2
Вихідні сигнали (магнітні пускачі двигунів та світлова індикація)	
Привід 1 швидкості	M2
Привід 2 швидкості	M3
Привід 3 швидкості	M4
Привід відкривання дверей для входу	KM1
Привід відкривання дверей для виходу	KM1

4.2 Опис роботи у програмному забезпеченні

В ПЛК Siemens Logo використовуються наступні позначення змінних: великою літерою «I» позначаються вхідні сигнали (I1 – I8), великою літерою «Q» позначаються вихідні сигнали (Q1 – Q4), всі інші елементи програми позначаються «BO» – це тригери, лічильники, логічні елементи, таймери та інші елементи. Даний контролер програмується за допомогою програмного забезпечення LOGO!Soft Comfort на мовах програмування FBD (Function Block Diagram) або LD (Ladder Diagram).

Якщо система автоматизації керується декількома контролерами, при цьому необхідно керувати всіма ними одночасно та мати від них зворотні зв'язки, то для вирішення даної проблеми існує технологія **Master-Slave**. В якості «**Master**» може виступати як сам контролер, так і сервер.

В даній лабораторній роботі використовується два контролери Siemens LOGO які будуть працювати разом по технології **Master-Slave**. **Master-Slave** – це модель асиметричної взаємодії чи комунікації, де один прилад чи процес контролює один чи більше інших пристроїв чи процесів і служить їх комунікаційним концентратором. У деяких системах "Master" обирається з групи придатних пристроїв чи процесів, а інші пристрої чи процеси з цієї групи є "Slave". Зв'язок для даної технології реалізується через інтерфейс RJ45. Тобто в кожного контролера є своя IP-адреса, яка необхідна для розпізнавання пристрою, з яким необхідно працювати [37]. IP **Master 192.168.000.003**, IP **Slave 192.168.000.004**. Також є можливість поміняти IP-адресу контролера. В розділі 4.3 описано як це зробити. Дані контролери уже налаштовані на режим роботи **Master-Slave**. Докладніше про дане налаштування описано нижче.

Перед тим як почати створювати програму для ПЛК необхідно створити файл, в якому буде зберігатися програма, та вибрати мову програмування, на якій буде створюватися програма, рис. 4.1.

На вкладці **Tools** в розділі **Instruction** знаходяться блоки, які необхідно використовувати для створення програми, рис. 4.2.

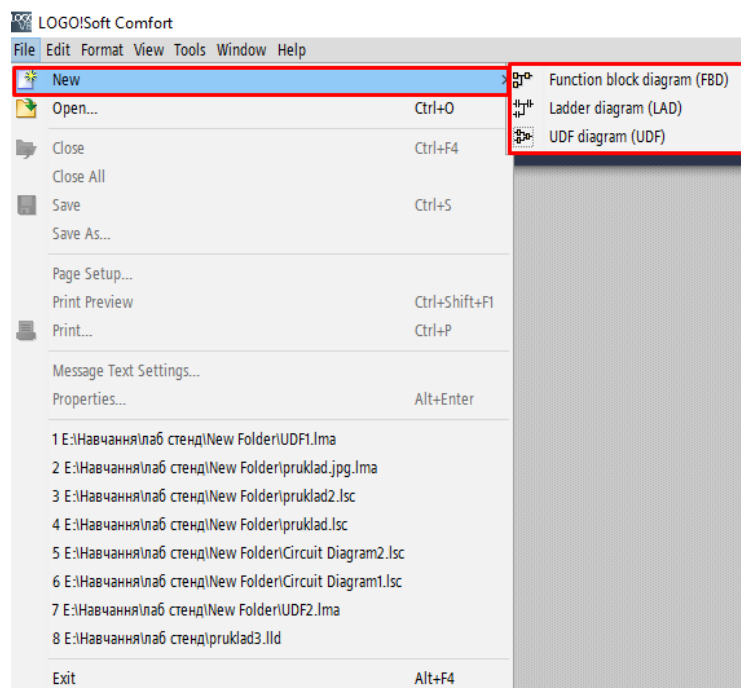


Рисунок 4.1 – Створення файлу та вибір мови програмування

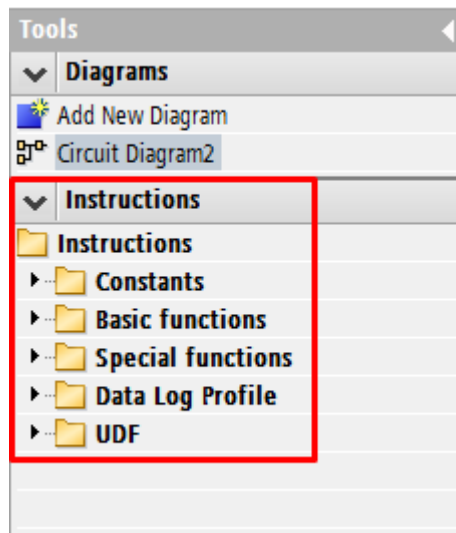


Рисунок 4.2 – Блоки для створення програми

Для виконання лабораторної роботи необхідно використовувати наступні підрозділи в розділі **Instruction**:

- 1) Constants – в ньому містяться цифрові, аналогові та блоки для роботи з мережею.
- 2) Basic functions – в ньому містяться основні функції для обробки сигналів (AND, OR, XOR, NOT).
- 3) Special function – в ньому знаходяться блоки таймерів, лічильників, блоки для роботи з аналоговими сигналами та розділ з додатковими блоками (тригер, пульсуюче реле, конвертація чисел).
- 4) UDF – в ньому зберігаються блоки користувачів.

Для перенесення блоку на робочу поверхню достатньо спочатку натиснути на нього і потім натиснути на робочу поверхню. В даній лабораторній роботі будуть використовуватись тільки дискретні сигнали.

На рис. 4.3 – 4.5 наведено блоки підрозділів які були описані вище.

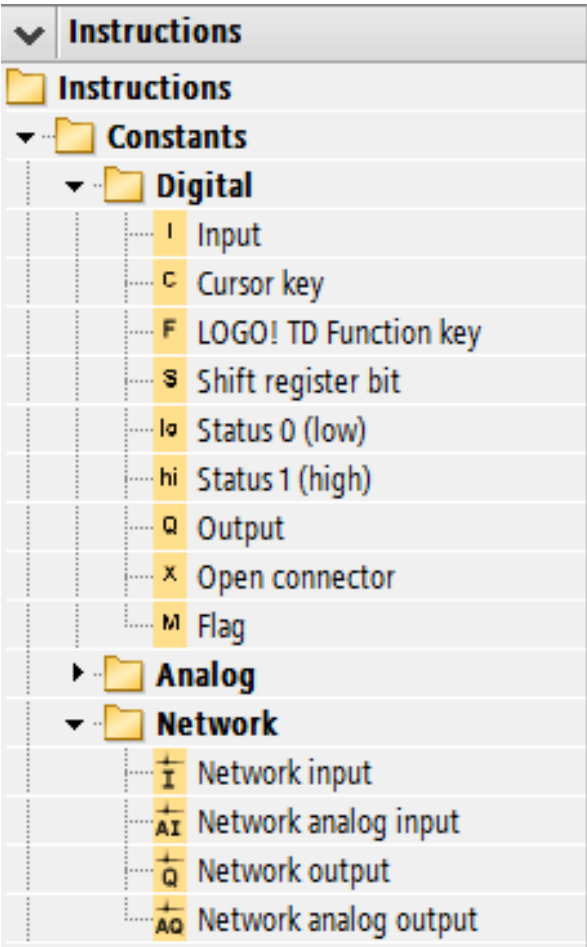


Рисунок 4.3 – Блоки підрозділу Constants

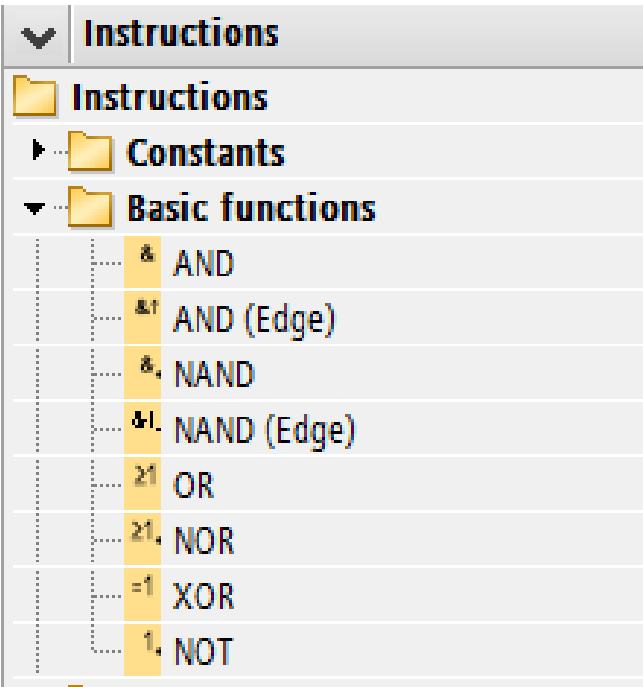


Рисунок 4.4 – Блоки підрозділу Basic functions

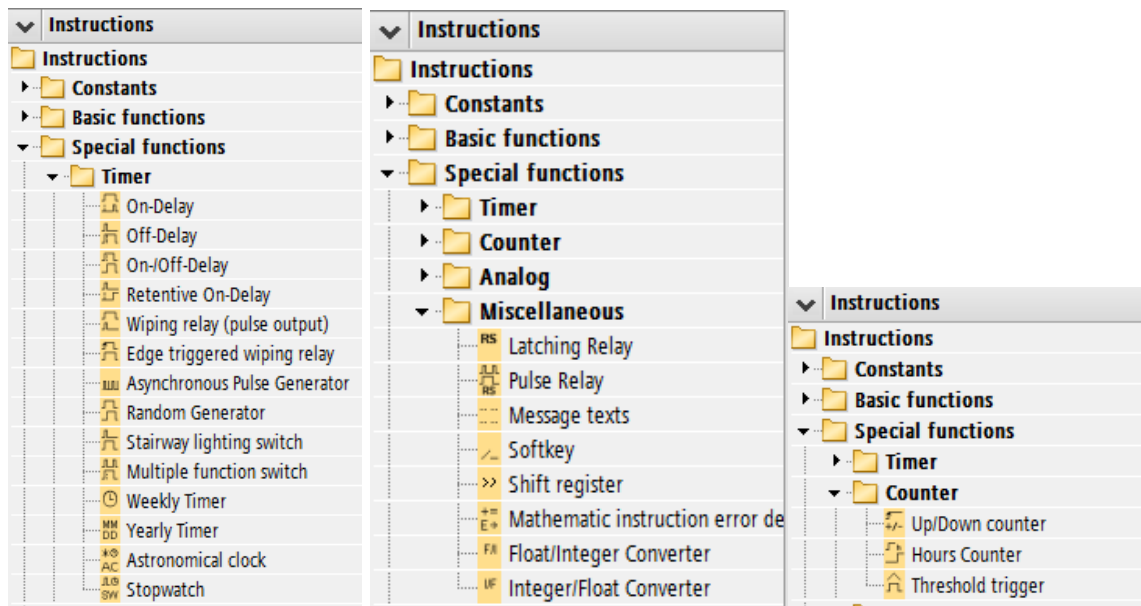


Рисунок 4.5 – Блоки підрозділу Special function

Також для полегшення роботи користувача наведена панель інструментів яка включає в себе наступні елементи, рис. 4.6:

- 1 – Елементи для додавання тексту, ліній зв'язку.
- 2 – Елементи для вимірювання виділених блоків різними способами.
- 3 – Елементи для пересення на передній чи задній план.
- 4 – Елементи для повернення операцій в перед або назад.
- 5 – Дублювання блоків для створення програми.
- 6 – Режими відображення вікон з програмами.
- 7 – Збільшення або зменшення розміру.
- 8 – Елементи для поділу робочого вікна та конвертація програми до мови програмування LD.
- 9 – Інструменти для проведення симуляції та завантаження програми.
- 10 – Додаткові інструменти для показу параметрів блоків програми.

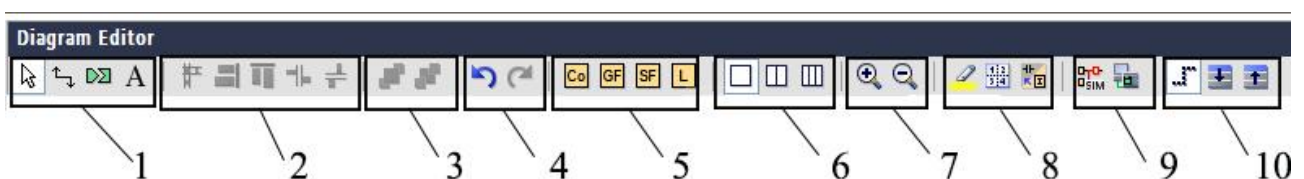


Рисунок 4.6 – Панель інструментів

Для початку внесення програми в ПЛК потрібно увімкнути автомат SF1. Після того як контролери увімкнуться, необхідно підключитися до контролера через інтерфейс з'єднання RJ45. Відкрити програму LOGO!Soft Comfort та вибрати готову програму, так як показано на рис. 4.7.

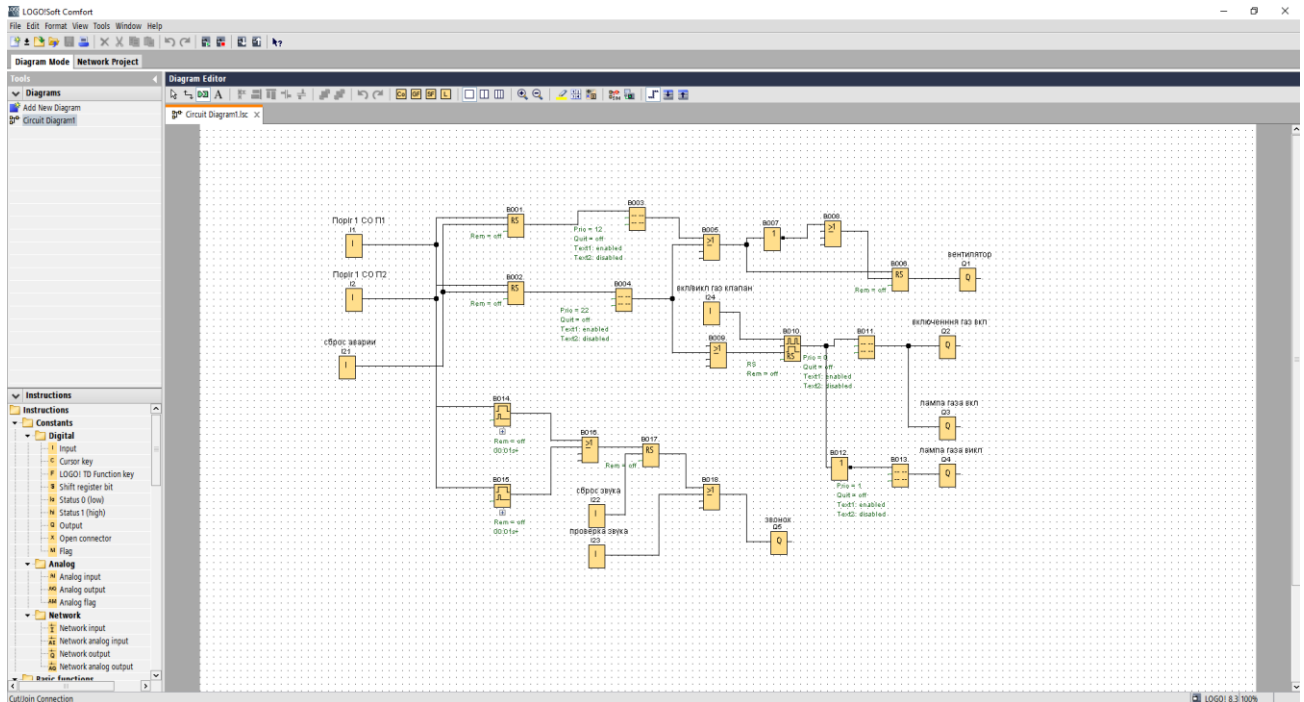


Рисунок 4.7 – Готова програма в LOGO!Soft Comfort

Після відкриття програми необхідно завантажити її до контролера. Це можна реалізувати декількома способами. Один із них – це вибрати на панелі інструментів меню **Tools**, потім вибрати **Transfer** та вибрати **PC->LOGO!**, або застосувати комбінацію клавіш **Ctrl+D**. Також можна вибрати на панелі інструментів кнопку загрузки програми в контролер, рис. 4.8.

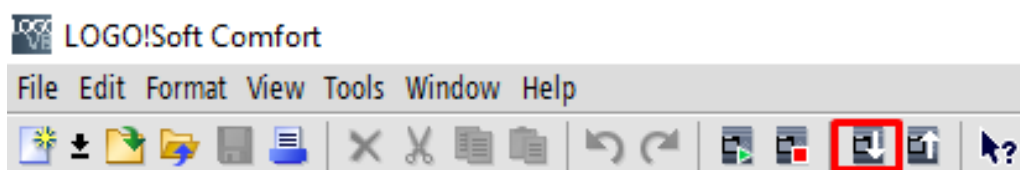


Рисунок 4.8 – Завантаження програми до контролера через панель інструментів

Потім з'являється наступне вікно, рис. 4.10, в якому необхідно вибрати інтерфейс, по якому буде відбуватися завантаження програми в контролер. На рис. 4.10 показано який повинен бути вибраний інтерфейс зв'язку. В полі **Target IP address** необхідно вказати IP-адресу контролера, на який буде завантажуватися програма, рис. 4.10.

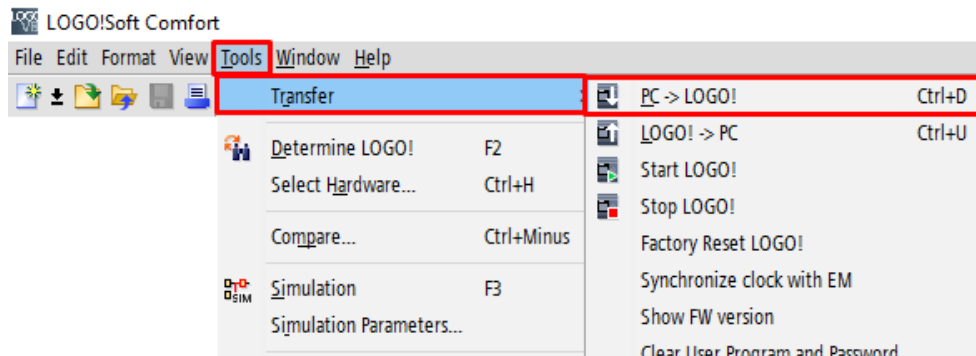


Рисунок 4.9 – Завантаження програми до контролера

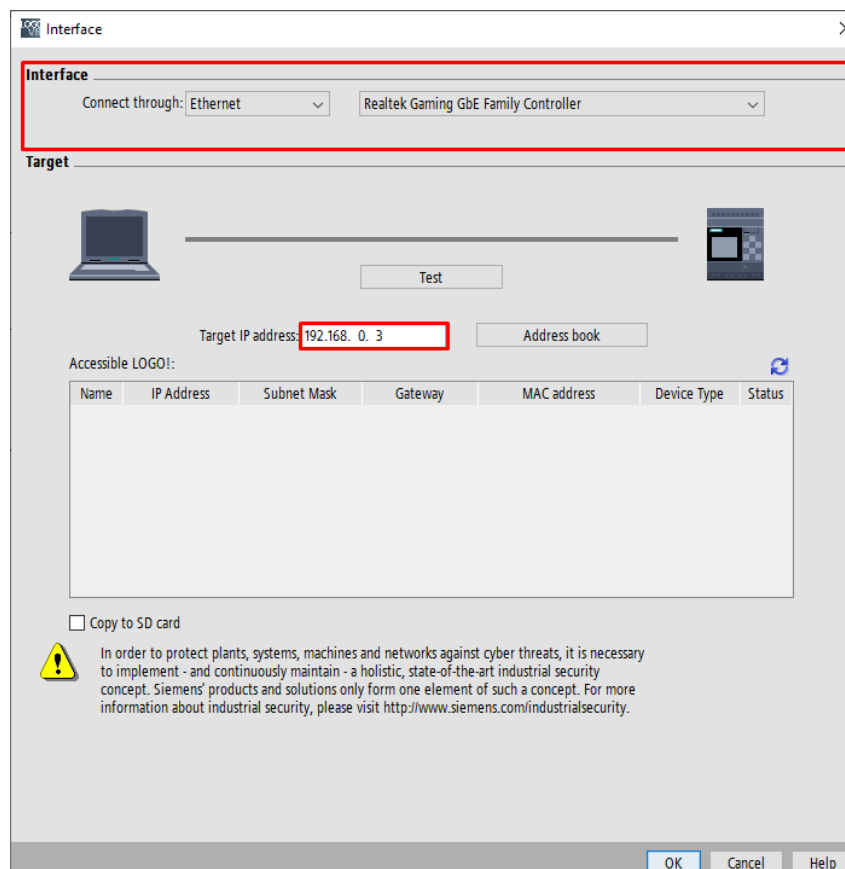


Рисунок 4.10 – Налаштування завантаження програми в контролер

Після налаштування необхідно натиснути кнопку **ОК** і почнеться завантаження програми в контролер. Якщо програма в контролері виконувалась, то з'явиться вікно, яке запропонує призупинити виконання даної програми, необхідно натиснути **ОК**. Потім відбувається завантаження програми в контролер. Після завантаження програми в контролер з'являється вікно, яке пропонує запустити програму, і необхідно вибрати чи одразу її запустити чи запустити пізніше на самому контролері.

Також є можливість перевірки роботи програми за допомогою емуляції роботи. Для цього необхідно натиснути на кнопку, яка знаходиться на панелі інструментів, рис. 4.11.



Рисунок 4.11 – Кнопка для симуляції роботи програми

Знизу з'являться додаткові блоки, які необхідні для проведення симуляції, рис. 4.12. Ці блоки будуть містити блоки вхідних сигналів, які необхідно вмикати вручну та блоки індикації вихідних сигналів. Також, якщо присутні повідомлення, що виводяться на екран, то вони будуть з'являтися по спрацюванню.

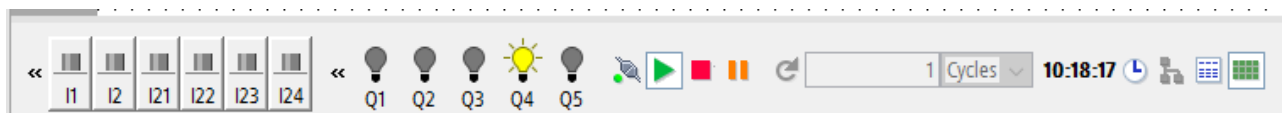


Рисунок 4.12 – Блоки для проведення симуляції

Якщо в програмі використовуються зворотні зв'язки то їх необхідно повертати назад через елемент Flag, який знаходиться в розділі Constants → Digital, рис. 4.13.

Для створення програм із використанням технології **Master-Slave** необхідно перейти від Diagram Mode до Network Project, рис. 4.14.

Потім необхідно спочатку створити пристрій, який буде слугувати Master, налаштування алишити як показано на рис. 4.15.

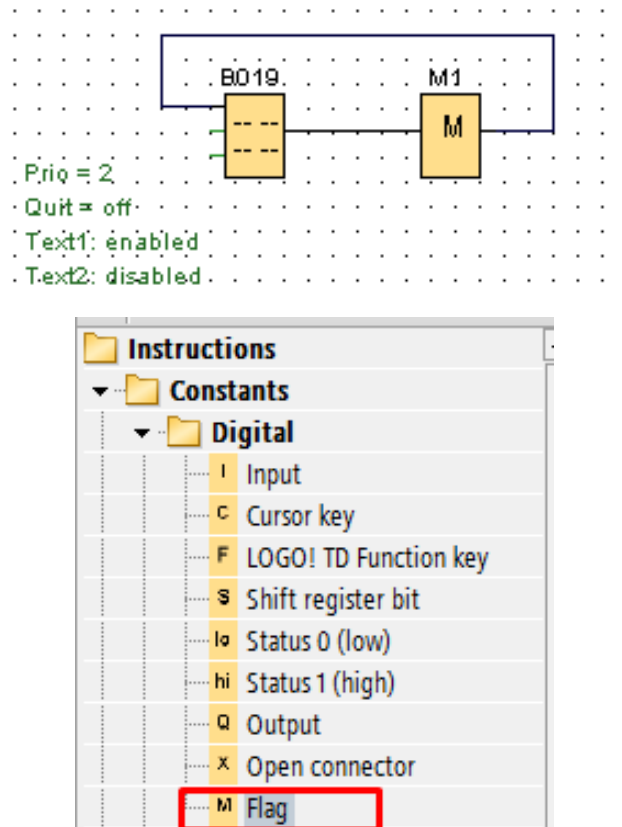


Рисунок 4.13 – Зворотні зв'язки

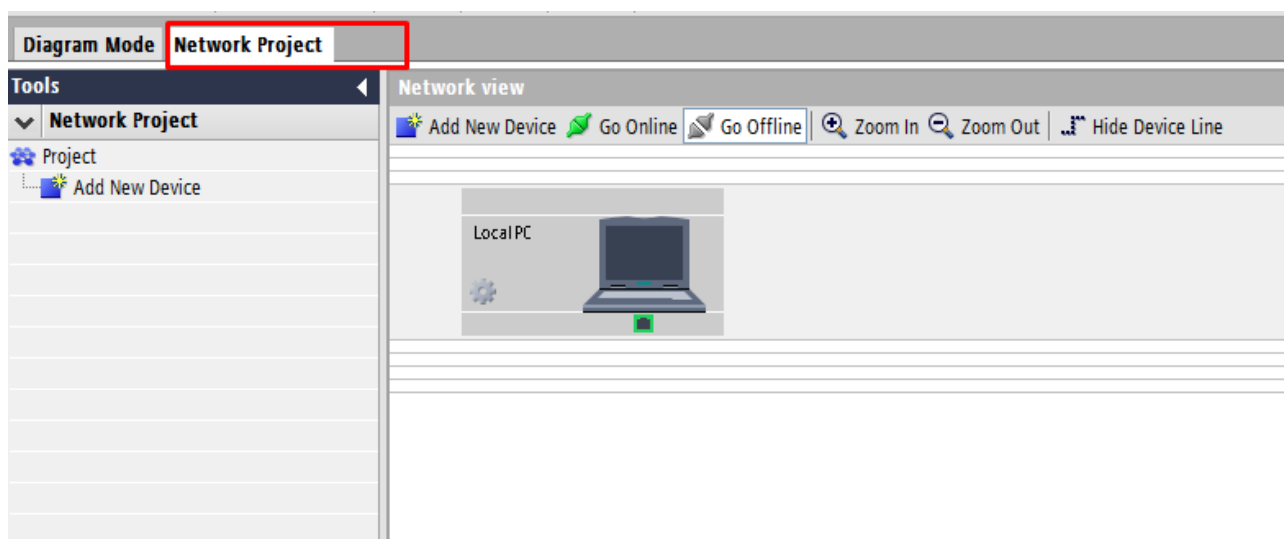


Рисунок 4.14 – Вікно з Network Project

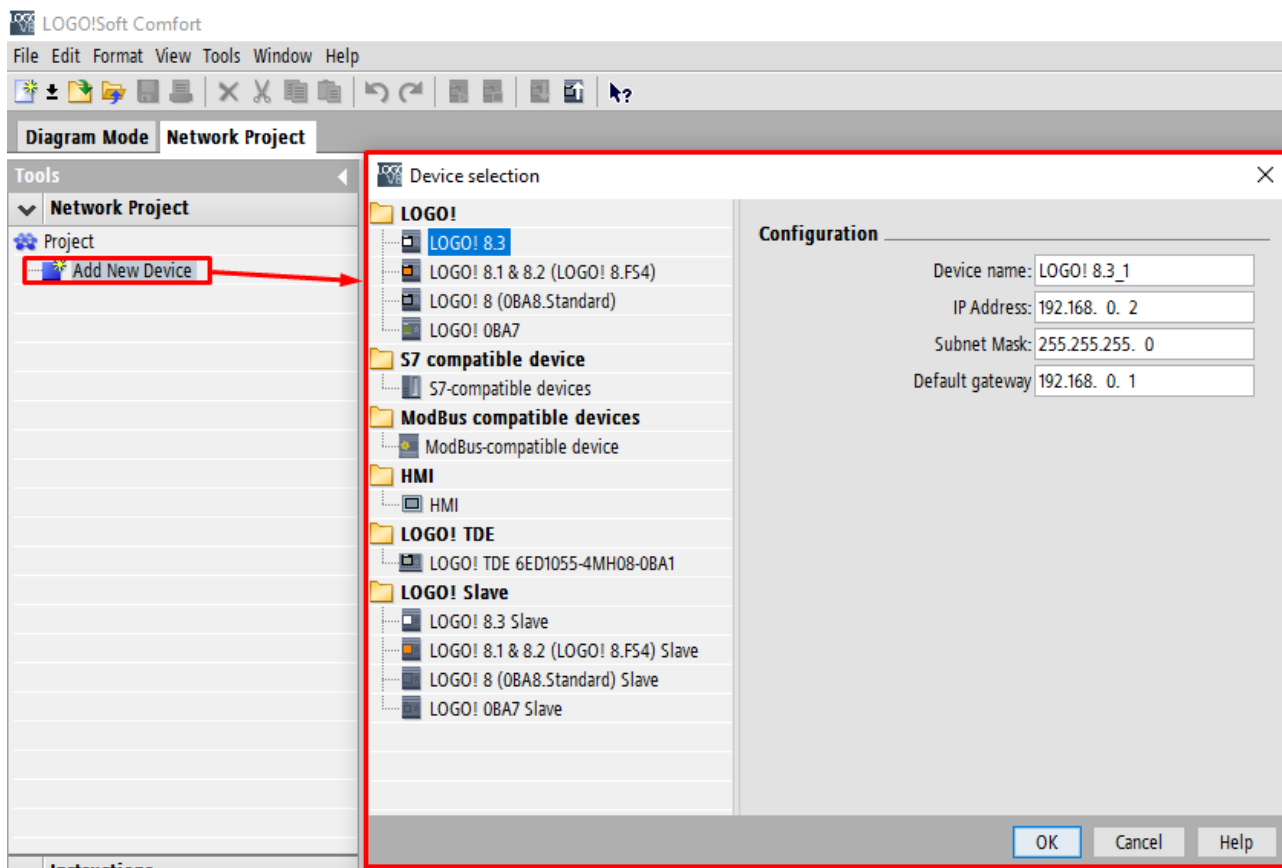


Рисунок 4.15 – Створення пристрою Master

Після створення повинно з'явитися наступне вікно, рис. 4.16. Потім необхідно ще додати контролер який буде Slave. Він створюється аналогічно до попереднього з налаштуваннями, наведеними на рис. 4.17. На рис. 4.18 наведено вікно при створенні двох пристроїв.

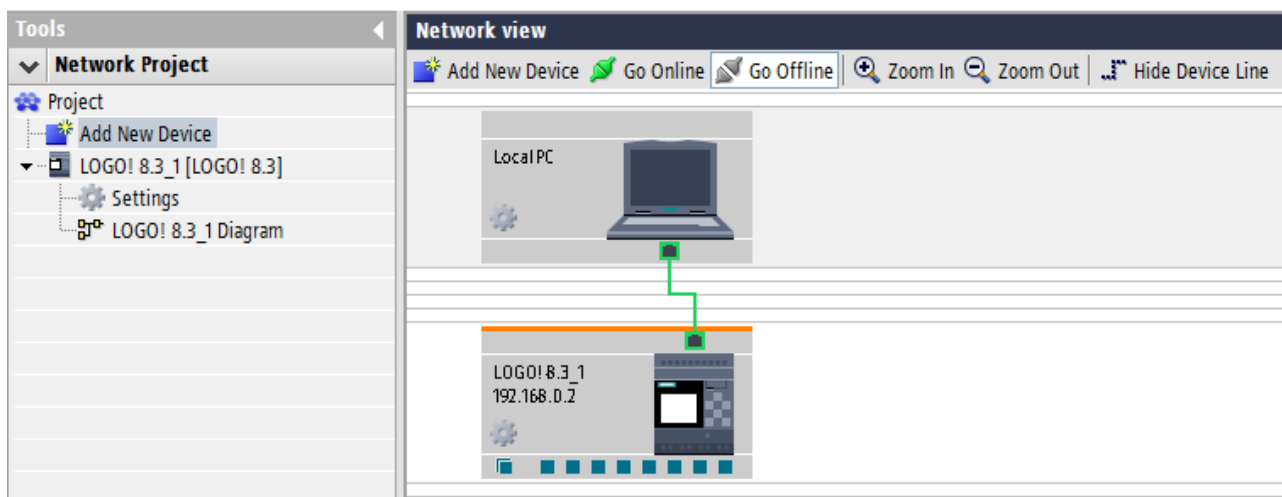


Рисунок 4.16 – Вікно після створення Master

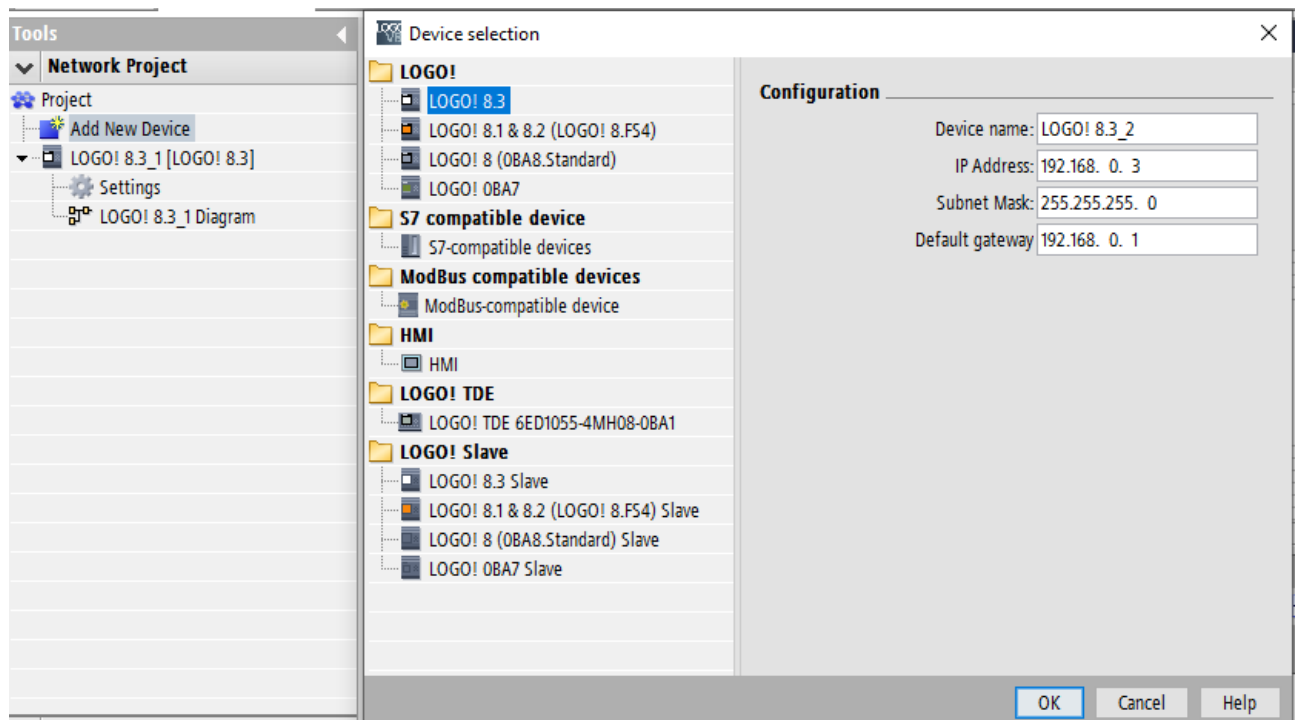


Рисунок 4.17 – Створення пристрою Slave

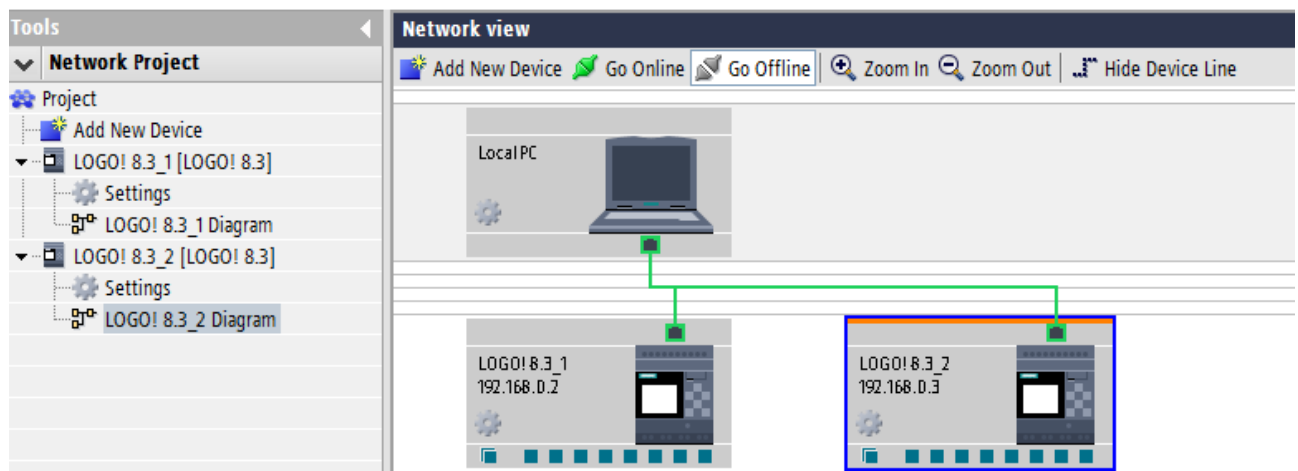


Рисунок 4.18 – Створення двох пристроїв

Для того щоб контролери працювали в режимі **Master-Slave** необхідно вибрати головний контролер та почати із створення програми для нього. Якщо він має передавати сигнал на інший контролер то необхідно в розділі Constants → Network вибрати необхідний сигнал, тобто якщо ми передаємо то вибираємо **Network output**, а якщо приймаємо то вибираємо **Network input**, рис. 4.19. Після цього необхідно налаштувати даний блок. Для початку розглянемо

блок **Network output**. Необхідно відкрити даний блок і вибрати наступні налаштування, рис. 4.20:

- 1) в полі **Write value to** необхідно обрати **Remote device**,
- 2) в полі **Remote device** необхідно в **Device** обрати той пристрій на який необхідно передати сигнал,
- 3) в полі **Block type** необхідно вибрати символ **M**,
- 4) в полі **Block number** необхідно поставити значення від 10.

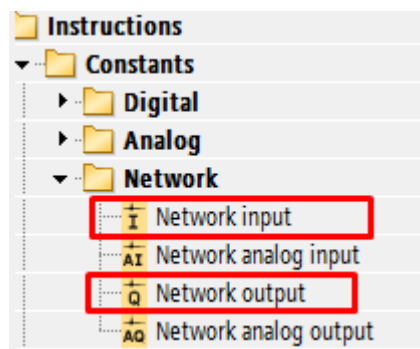


Рисунок 4.19 – Блоки для режиму роботи **Master-Slave**

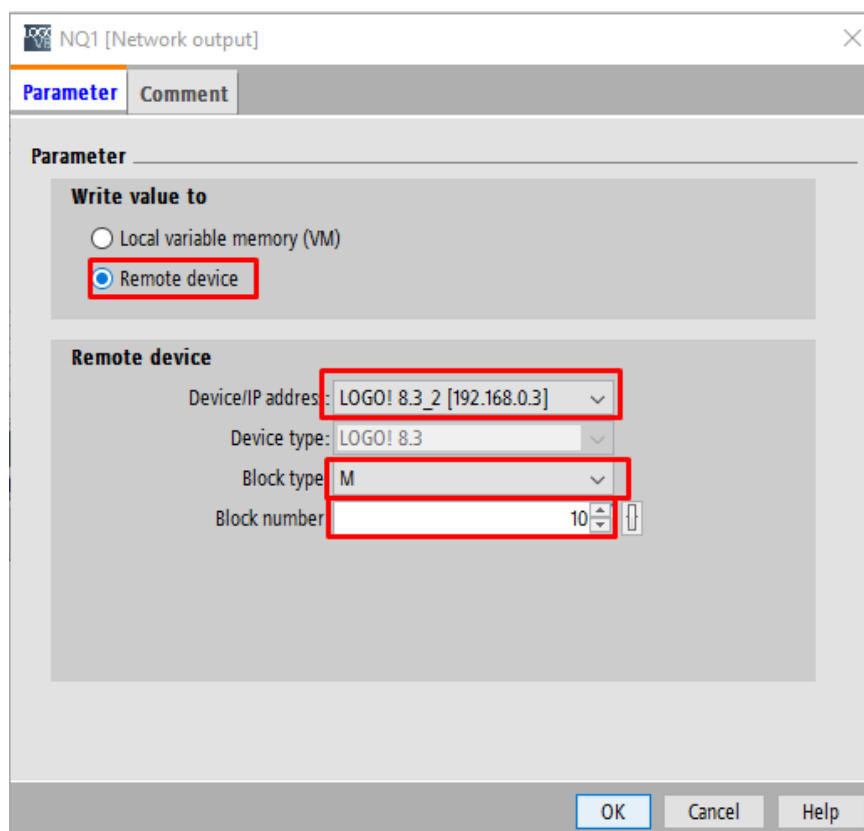


Рисунок 4.20 – Налаштування блоку Network output

Після налаштування даний блок повинен стати зеленим, це означає що блок правильно налаштований, якщо він буде неправильно налаштований то даний блок буде мати червоний колір, рис. 4.21.

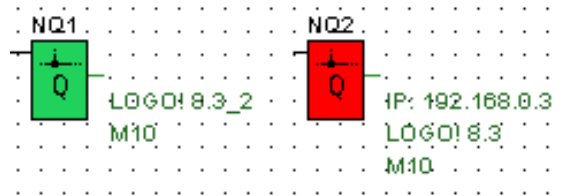


Рисунок 4.21 – Вид блоку Network output

Далі переходимо до програми пристрою Slave та в розділі Constants → Digital обираємо блок **Flag** (рис. 4.22) та номер який був присвоєний в пристрої Master (рис. 4.23). Таким чином сигнал з одного контролера буде передаватися на інший.

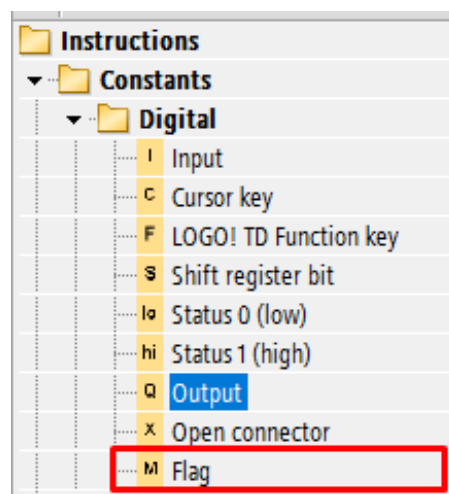


Рисунок 4.22 – Блок **Flag**

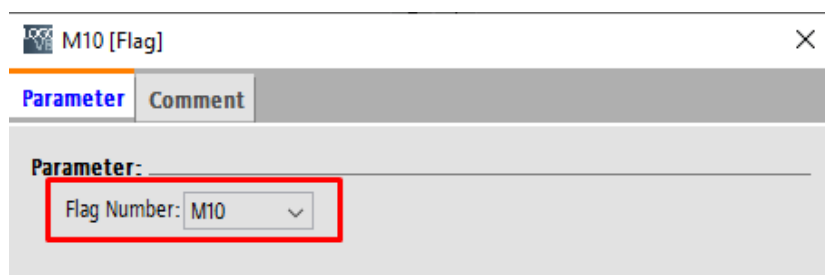


Рисунок 4.23 – Налаштування блоку **Flag**

4.3 Опис роботи з ПЛК

На рис. 4.24 зображено меню контролера при зупиненій програмі. Пункт **Start** відповідає за запуск програми, тобто при натисненні на даний пункт програма, яка знаходиться в контролері, починає працювати. Наступний пункт меню це – **Program**. В даному пункті знаходиться налаштування програми. На рис. 4.25 показано параметри, які можна змінювати в цьому пункті. В даний контролер можна записати програму, яка буде складатися з не більше ніж з 400 блоків.

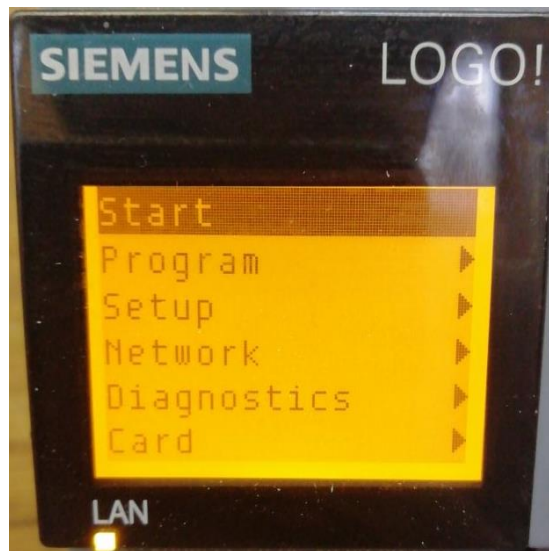


Рисунок 4.24 – Меню контролера при зупиненій програмі



Рисунок 4.25 – Підпункт меню **Program**

В підпункті меню **Program** можна змінити або створити програму, налаштувати її, поставити пароль, тобто захистити від редагування або зчитування. Даний контролер підтримує режим вивантаження програми на пристрій збереження (flash-card) або на комп'ютер за допомогою відповідного програмного забезпечення. Можна присвоювати або змінювати ім'я програми, очистити її або перевірити кількість пам'яті, яку займає програма.

В підпункті меню **Setup** знаходяться налаштування самого контролера. В даному пункті можна налаштовувати початковий екран, затримку, таймери годинник, екран програми, змінювати мову меню та інше. На рис. 4.26 зображено пункт меню **Setup**.



Рисунок 4.26 – Підпункт меню **Setup**

В пункті меню **Network** знаходиться налаштування контролера для налаштування його роботи в мережі. Також в даному пункті відбувається налаштування роботи технології **Master-Slave**, рис. 4.27.

Налаштування режиму **Master-Slave** відбувається наступним чином: спочатку необхідно налаштувати IP-адресу на обох контролерах. Потім для одного контролера вибрати режим **Master**, для іншого – **Slave** та вказати IP-адрес **Master** контролера, рис. 4.28.



Рисунок 4.27 – Підпункт меню **Network**



Рисунок 4.28 – Налаштування режиму **Master-Slave**

В меню пункту **Diagnostics** можна дізнатися інформацію до якого програмного забезпечення підключено контролер, перевірити наявність додаткових модулів та перевірити налаштування, рис. 4.29.



Рисунок 4.29 – Підпункт меню **Diagnostics**

В меню пункту **Card** можна зберегти програму з контролера на flash-card або навпаки з flash-card завантажити програму на контролер, також є можливість зробити копію проекту, рис. 4.30.



Рисунок 4.30 – Підпункт меню **Card**

Висновок до розділу 4

В даному розділі було розроблено методичні вказівки з виконання лабораторної роботи на стенді, що розробляється, а саме було визначено кількість бригад та кількість завдань на бригаду. Було розроблено дванадцять задач, по дві на кожную бригаду. Було створено два рівні задач – легкого та більш складного.

Також було розроблено інструкції по використанню програмного забезпечення, яке необхідне для програмування ПЛК. Було розроблено інструкції по використанню на налаштуванні ПЛК за допомогою вбудованого екрану.

Отримані результати дозволяють використовувати стенд для проведення студентами лабораторні роботи з освітнього компоненту «Системи автоматизації – 2».

5 ПРИКЛАД СИНТЕЗУ ЗАВДАННЯ

5.1 Приклад розв'язку завдання

Завдання.

Трьома механізмами з двигунами M1, M2, M3 керують за допомогою кнопок “Пуск” і “Стоп”. При натисненні кнопки “Пуск” спочатку вмикається звукова попереджувальна сигналізація, а потім через час Δt – двигуни в послідовності M1 – M2 – M3. Після запуску останнього двигуна сигналізація вимикається. При натисненні кнопки “Стоп” двигуни вимикаються без затримки часу в зворотному порядку: M3 – M2 – M1. Зробити індикацію роботи моторів.

Приклад розв'язку.

На рис. 5.1 зображено графоперехід до прикладу завдання. Відповідні позначення на графопереході: Кнопка «Пуск» – А; кнопка «Стоп» – В; $T1 = 10$ с., $T2 = 3$ с., $T3 = 3$ с., $T4 = 3$ с., $T5 = 3$ с. – таймери.

В табл. 5.1 наведено вхідні та вихідні сигнали програми.

Таблиця 5.1 – Сигнали програми

Вхідні сигнали	Вихідні сигнали
Кнопка «Пуск», А	Мотор 1, M1
Кнопка «Стоп», В	Мотор 2, M2
	Мотор 3, M3
	Лампа Індикації 1, HL1
	Лампа Індикації 2, HL2
	Лампа Індикації 3, HL3

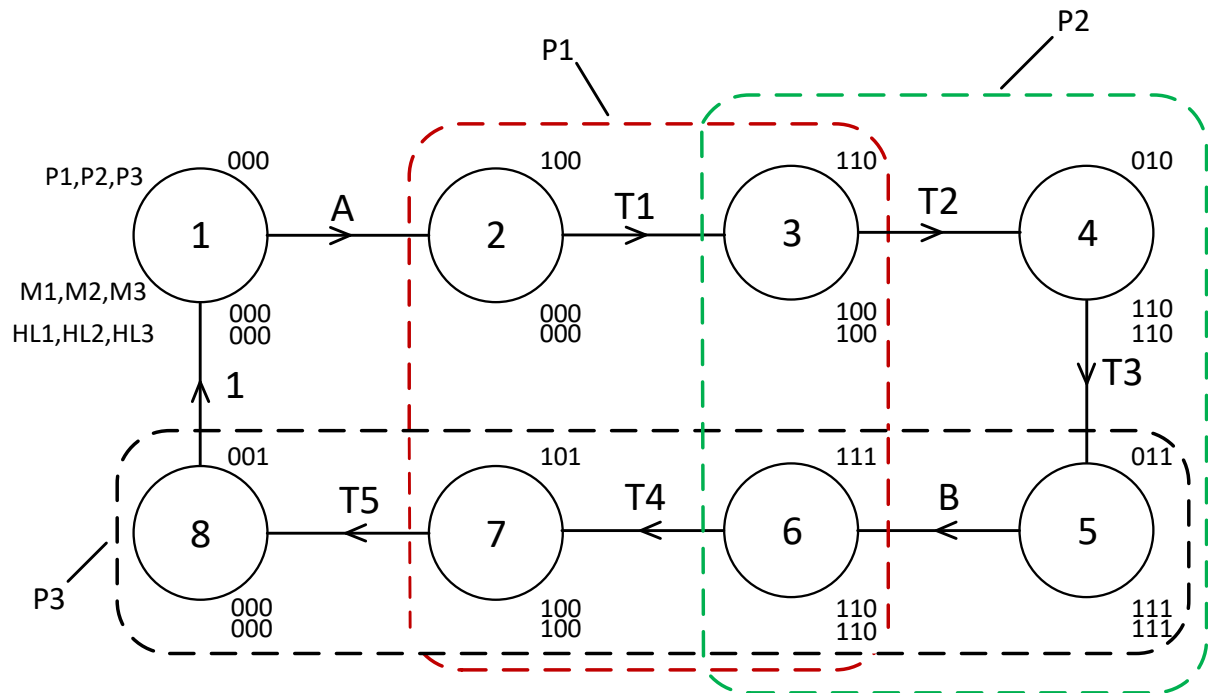


Рисунок 5.1 – Графоперехід відповідно до завдання

Рівняння для графа переходу який зображено на рис. 5.1.

$$Sp_1 = A \cdot \overline{p_2} \cdot \overline{p_3} + B \cdot p_2 \cdot p_3; \quad (5.1)$$

$$Rp_1 = T2 \cdot p_2 \cdot \overline{p_3} + T5 \cdot \overline{p_2} \cdot p_3; \quad (5.2)$$

$$Sp_2 = T1 \cdot p_1 \cdot \overline{p_3}; \quad (5.3)$$

$$Rp_2 = T4 \cdot p_1 \cdot p_3; \quad (5.4)$$

$$Sp_3 = T3 \cdot \overline{p_1} \cdot p_2; \quad (5.5)$$

$$Rp_3 = \overline{p_1} \cdot \overline{p_2}; \quad (5.6)$$

$$T1 = p_1 \cdot \overline{p_2} \cdot \overline{p_3}; \quad (5.7)$$

$$T2 = p_1 \cdot p_2 \cdot \overline{p_3}; \quad (5.8)$$

$$T3 = \overline{p_1} \cdot p_2 \cdot \overline{p_3}; \quad (5.9)$$

$$T4 = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3; \quad (5.10)$$

$$T5 = p_1 \cdot \overline{p_2} \cdot p_3; \quad (5.11)$$

$$M1 = p_2 + p_1 \cdot p_3; \quad (5.12)$$

$$M2 = \overline{p_1} \cdot p_2 + p_2 \cdot p_3; \quad (5.13)$$

$$M3 = \overline{p_1} \cdot p_2 \cdot p_3; \quad (5.14)$$

$$HL1 = p_2 + \overline{p_1} \cdot p_3; \quad (5.15)$$

$$HL2 = \overline{p_1} \cdot p_2 + p_2 \cdot p_3; \quad (5.16)$$

$$HL3 = \overline{p_1} \cdot p_2 \cdot p_3. \quad (5.17)$$

Табл. 5.2 містить адресацію сигналів, в якій наведено відповідність сигналів на графопереході з програмою та елементами на стенді.

Таблиця 5.2 – Адресація сигналів

Сигнал в рівнянні	Сигнал в програмі	Сигнал на стенді
A	I1	SB1.1
B	I2	SB1.2
M1	Q1	M1
M2	Q2	M2
M3	Q3	M2
HL1	Q1	HL3
HL2	Q2	HL4
HL3	Q3	HL5

На рис. 5.2 зображено програму, на мові FBD, відповідно до рівнянь графопереходу.

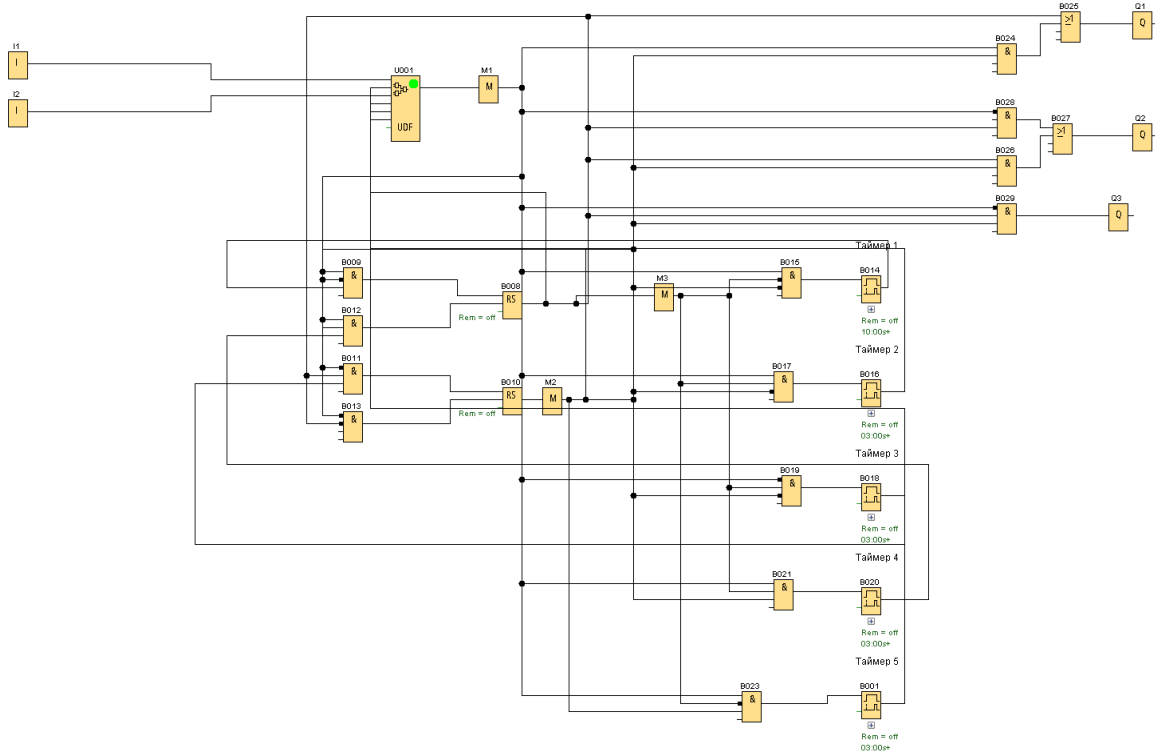


Рисунок 5.2 – Програма яка відповідає мові програмування FBD

На рис. 5.3 зображена мінімізована програма, на мові FBD, яка створена за допомогою блоків таймерів. На рис. 5.4 наведена мінімізована програма на мові LD.

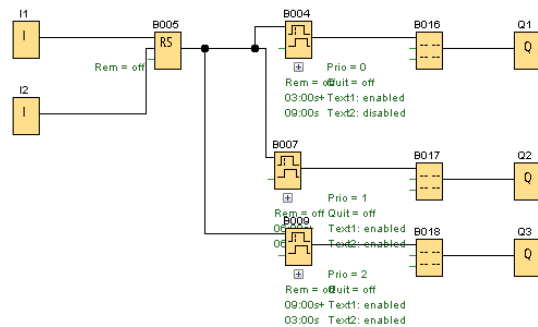


Рисунок 5.3 – Мінімізована програма на мові FBD

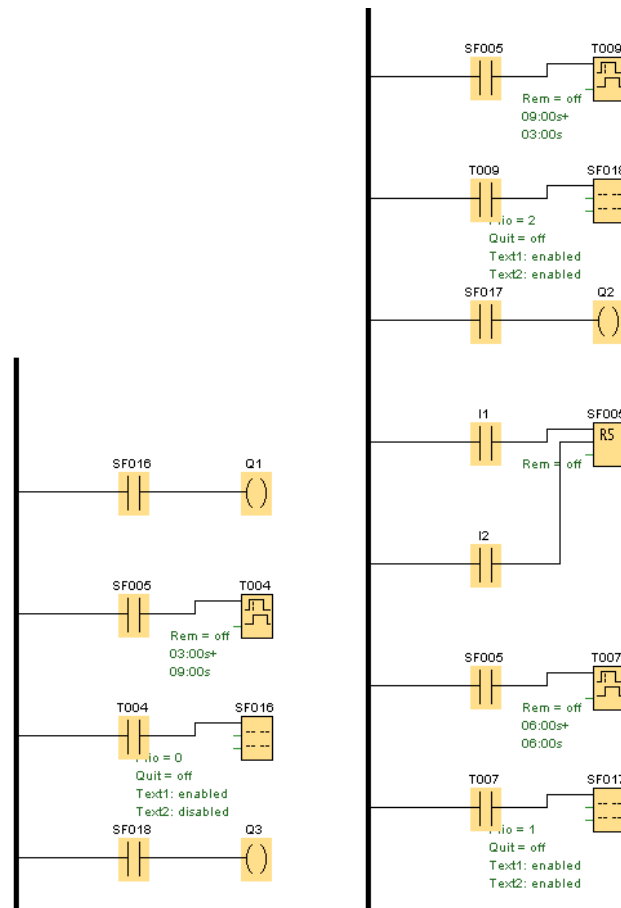


Рисунок 5.4 – Мінімізовано програма на мові LD

Висновок до розділу 5

В даному розділі було наведено приклад розв'язку задачі аналогічної до тих, що наведені в завданні. Був виконаний синтез завдання, складено рівняння та наведено приклади складання програми на мовах програмування ПЛК FBD та LD. Було наведено два способи вирішення одного завдання.

Даний приклад був протестований на лабораторному стенді і в результаті був отриманий позитивний результат. Це дає змогу переконатися у працездатності лабораторного стенду та надати доступ до роботи студентам.

6 МОДЕЛЮВАННЯ ПУСКОВИХ РЕЖИМІВ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

6.1 Розрахунок номінальних даних двигуна

Виконуємо розрахунок номінальних даних двигуна АИРМ63В4У2.

Кутова частота напруги статора:

$$\omega_{0n} = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (6.1)$$

Швидкість ідеального холостого ходу двигуна:

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_{0n}}{p_n} = \frac{314}{2} = 157 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (6.2)$$

Номінальна швидкість двигуна:

$$\omega_n = \omega_{xx} (1 - s_n) = 157 \cdot (1 - 0.086) = 143.5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (6.3)$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_n = \frac{P_{2n}}{\omega_n} = \frac{370}{143.5} = 2.6 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (6.4)$$

Критичний момент двигуна (по перевантажувальній здатності λ з каталогу):

$$M_k = \lambda \cdot M_n = 2.2 \cdot 2.6 = 5.7 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (6.5)$$

Номінальні діючі значення фазної напруги та струму статора:

$$U_n = U_{1n} / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 220 \text{ В}; \quad (6.6)$$

$$I_n = \frac{P_{2n}}{3 \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{370}{3 \cdot 220 \cdot 0.66 \cdot 0.68} = 1.25 \text{ A} . \quad (6.7)$$

Амплітудні значення фазної напруги і струму статора:

$$U_{na} = \sqrt{2} \cdot U_n = \sqrt{2} \cdot 220 = 310.3 \text{ В}; \quad (6.8)$$

$$I_{na} = \sqrt{2} \cdot I_n = \sqrt{2} \cdot 1.25 = 1.8 \text{ А} . \quad (6.9)$$

Амплітудне значення потокозчеплення статора в режимі холостого ходу при $R_1 = 0$:

$$\Psi_{1XX} = \frac{U_{na}}{\omega_{0n}} = \frac{310.3}{314} = 0.99 \text{ Вб} . \quad (6.10)$$

6.2 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення

Розрахунок параметрів схеми заміщення відбувається відповідно до методичних вказівок які наведені в [38]. На рис. 6.1 наведено Т-подібну схему заміщення. На рис. 6.2 наведено Г-подібну схему заміщення.

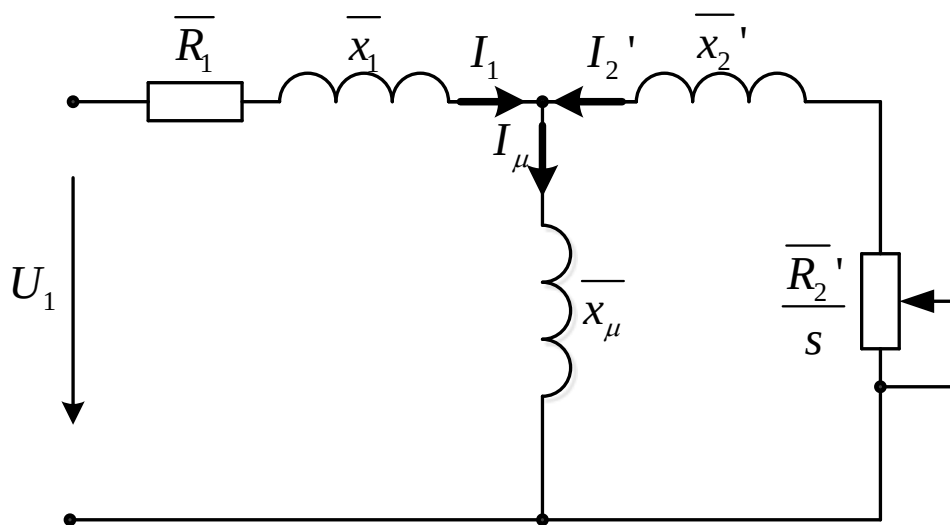


Рисунок 6.1 – Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

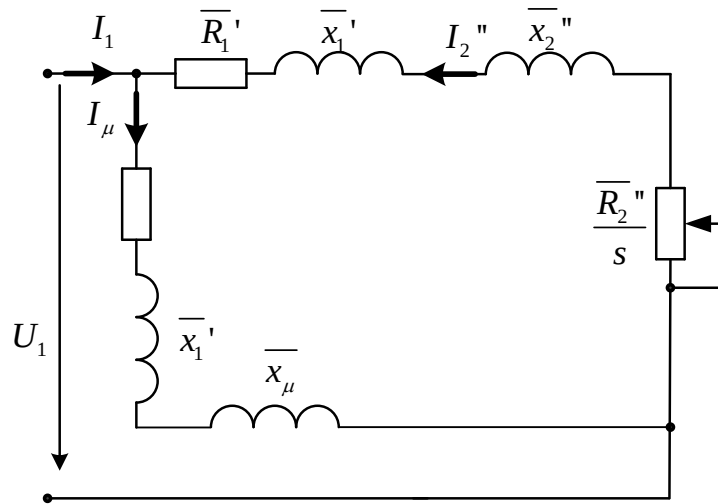


Рисунок 6.2 – Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

В довідниковій літературі наведено параметри Г-подібної схеми заміщення тому перейдемо до Т-подібної схеми за допомогою коефіцієнта перерахунку:

$$c_1 = \frac{\overline{x}_\mu + \sqrt{\overline{x}_\mu^2 + 4 \cdot \overline{x}_1' \cdot \overline{x}_\mu}}{2 \cdot \overline{x}_\mu} = \frac{1.4 + \sqrt{1.4^2 + 4 \cdot 0.086 \cdot 1.4}}{2 \cdot 1.4} = 1.06. \quad (6.11)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення у відносних одиницях:

$$\overline{x}_1 = \frac{\overline{x}_1'}{c_1} = \frac{0.086}{1.06} = 0.081; \quad (6.12)$$

$$\overline{x}_2' = \frac{\overline{x}_2''}{c^2} = \frac{0.18}{(1.06)^2} = 0.16; \quad (6.13)$$

$$\overline{R}_1 = \frac{\overline{R}_1'}{c_1} = \frac{0.17}{1.06} = 0.16; \quad (6.14)$$

$$\overline{R}_2' = \frac{\overline{R}_2''}{c^2} = \frac{0.14}{(1.06)^2} = 0.13. \quad (6.15)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях запишуться:

$$x_1 = \overline{x}_1 \frac{U_n}{I_n} = 0.081 \cdot \frac{220}{1.25} = 14.24 \text{ Ом}; \quad (6.16)$$

$$R_1 = \overline{R}_1 \frac{U_n}{I_n} = 0.16 \cdot \frac{220}{1.25} = 28.16 \text{ Ом}; \quad (6.17)$$

$$x_2' = \overline{x}_2' \frac{U_n}{I_n} = 0.16 \cdot \frac{220}{1.25} = 28.14 \text{ Ом}; \quad (6.18)$$

$$R_2 = \overline{R}_2 \frac{U_n}{I_n} = 0.13 \cdot \frac{220}{1.25} = 21.9 \text{ Ом}; \quad (6.19)$$

$$x_\mu = \overline{x}_\mu \frac{U_n}{I_n} = 1.4 \cdot \frac{220}{1.25} = 245.22 \text{ Ом}. \quad (6.20)$$

Індуктивності розсіювання статора і ротора:

$$L_{1\sigma} = \frac{x_1}{\omega_0} = \frac{14.24}{314} = 45 \text{ мГн}; \quad (6.21)$$

$$L_{2\sigma} = \frac{x_2'}{\omega_0} = \frac{28.14}{314} = 90 \text{ мГн}. \quad (6.22)$$

Індуктивність контуру намагнічування:

$$L_m = \frac{x_\mu}{\omega_0} = \frac{245.22}{314} = 0.78 \text{ Гн}. \quad (6.23)$$

Індуктивності статора і ротора:

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma} = 0.78 + 0.045 = 825 \text{ мГн}; \quad (6.24)$$

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma} = 0.78 + 0.09 = 870 \text{ мГн}. \quad (6.25)$$

На основі проведених розрахунків обчислюємо значення параметрів $\alpha, \alpha_1, \beta, \gamma, \sigma, \mu_1$:

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2} = \frac{21.9}{0.87} = 25.2 \frac{\text{Ом}}{\text{Гн}}; \quad (6.26)$$

$$\alpha_1 = \frac{R_1}{L_1} = \frac{29.16}{0.825} = 34 \frac{\text{Ом}}{\text{Гн}}; \quad (6.27)$$

$$\sigma = L_1 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2} \right) = 0.825 \cdot \left(1 - \frac{0.78^2}{0.825 \cdot 0.87} \right) = 0.13 \text{ Гн}; \quad (6.28)$$

$$\beta = \frac{L_m}{L_2 \cdot \sigma} = \frac{0.78}{0.87 \cdot 0.13} = 7.13 \frac{1}{\text{Гн}}; \quad (6.29)$$

$$\gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha \cdot L_m \cdot \beta = \frac{29.16}{0.13} + 25.2 \cdot 0.78 \cdot 7.13 = 364 \frac{\text{Ом}}{\text{Гн}}; \quad (6.30)$$

$$\mu_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0.78}{0.87} = 1.35. \quad (6.31)$$

Результати розрахунків параметрів двигуна АИРМ63В4У2 зведені до табл.

6.1.

Таблиця 6.1 – Параметри двигуна АИРМ63В4У2

Параметри	Значення	Параметри	Значення
P_{2n} , кВт	0.37	R_1 , Ом	28.16
ω_{xx} , рад / с	157	R_2 , Ом	21.9
ω_n , рад / с	143.5	L_1 , Гн	0.825
M_n , Н · м	2.6	L_2 , Гн	0.87
M_k , Н · м	5.7	L_m , Гн	0.78
λ	2.2	α , Ом / Гн	25.2
I_{na} , А	1.8	α_1 , Ом / Гн	34
ψ_{1xx} , Вб	0.99	σ , Гн	0.13
η	0.66	β , 1 / Гн	7.13
$\cos \varphi$	0.68	γ , Ом / Гн	364
J_d , кг·м ²	0.0008	μ_1	1.35

6.3 Моделювання режимів роботи в програмному середовищі MATLAB

В лабораторному стенді використовуються асинхронні двигуни в яких здійснюється як прямий пуск та і за допомогою пристрою плавного пуску. Відповідного до цього буде відбуватися моделювання плавного та прямого пуску АД. Прямий пуск присутній на двигунах М7 та М8, в плавний лише на двигуні М6.

Прямий пуск здійснюється підключенням до мережі живлення за допомогою магнітних контакторів. Пристрій плавного пуску використовує трифазні тиристорні перетворювачі з зустрічно-паралельним включенням тиристорів на кожен фазу і імпульсно-фазовим керуванням, що дозволяє отримати на виході регульовану по амплітуді основної гармоніки напругу незмінної частоти.

Враховуючи, що регулювання напруги живлення здійснюється у невеликому діапазоні, у більшості сучасних пристроях нижня межа амплітуди напруги становить на рівні 40-70% від номінального значення, це пояснюється тим, що власна регульована характеристика перетворювача є нелінійною, тому вихідна фазна напруга тиристорного перетворювача напруги є суттєво несинусоїдальною, особливо при малому куті провідності тиристорів [39].

Для дослідження використовується Simulink-модель, вона дозволяє досліджувати перехідні процеси АД, що живиться від ідеалізованого тиристорного перетворювача напруги. На рис. 6.3 наведена модель для дослідження.

Дана модель досить просто формує керуючі сигнали: частота напруги статора задається сталою за допомогою блока Constant, а амплітуда напруги в функції часу – за допомогою блоків Ramp та Saturation. Для координатних перетворень використовуються перетворення Кларка та Парка. За рахунок використання SPS-блоку *Asynchronous Machine SI Units* можна побачити фазні величини (напруги, струми, потокозчеплення) без використання координатних

більші значення під час розгону двигуна ніж при плавному пуску без початкового значення напруги, але мають менші значення ніж при прямому пуску двигуна. Тобто можна зробити наступний висновок, що коли необхідно швидко розігнати двигун, але при цьому струми повинні бути меншими за струми прямого пуску до доцільно використовувати так званий режим Boost.

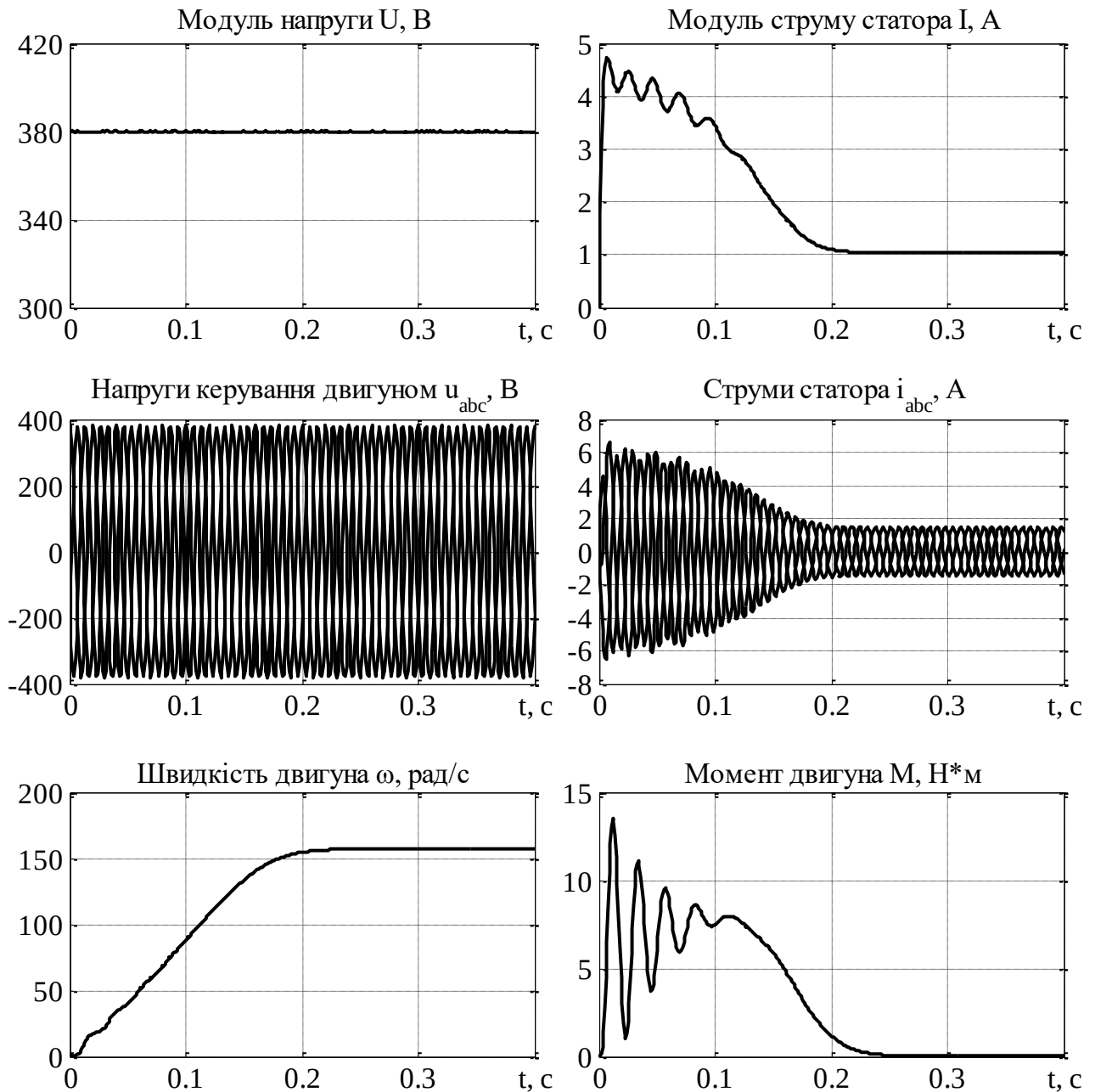


Рисунок 6.4 – Прямий пуск двигуна

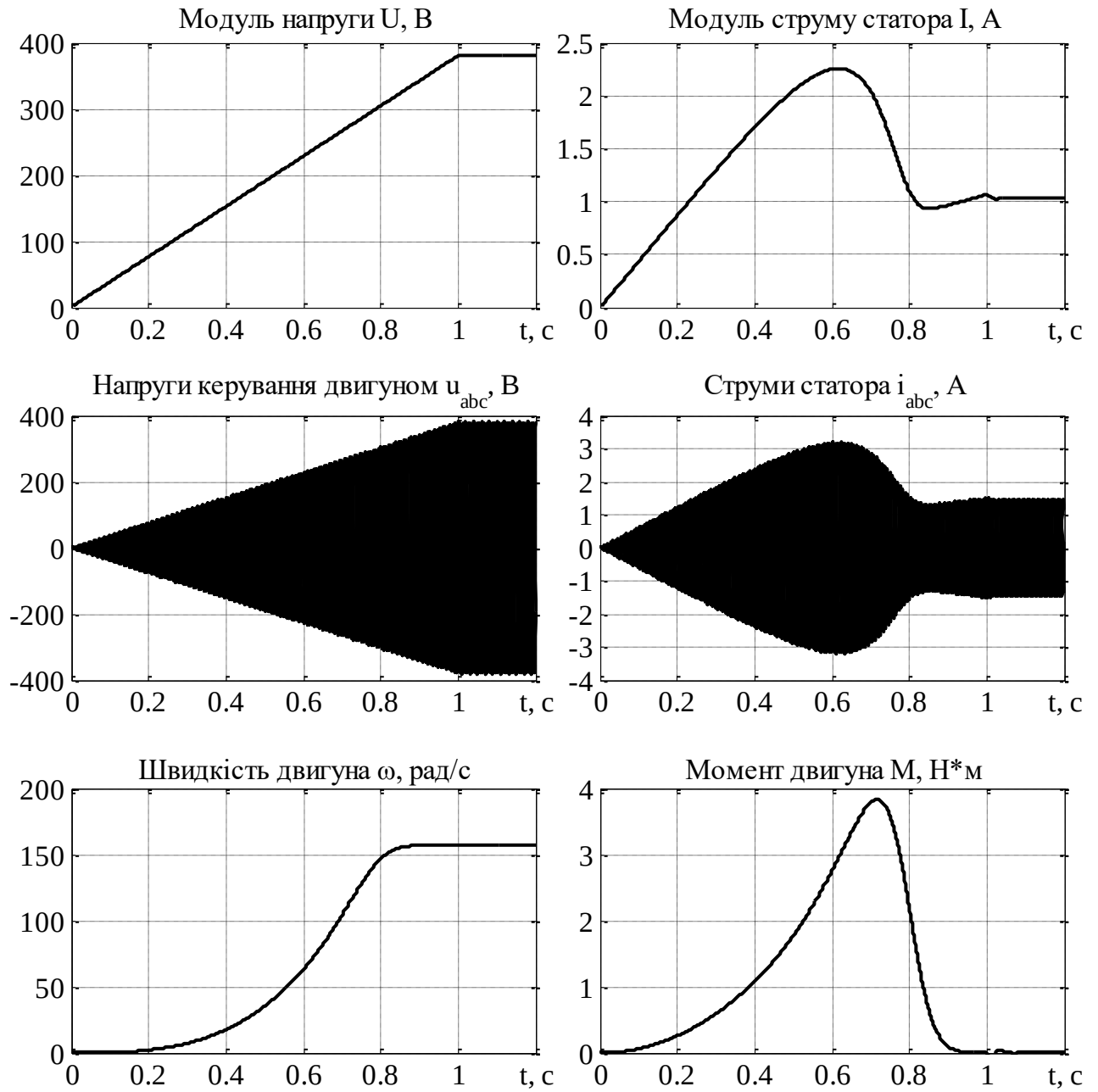


Рисунок 6.5 – Плавний пуск двигуна

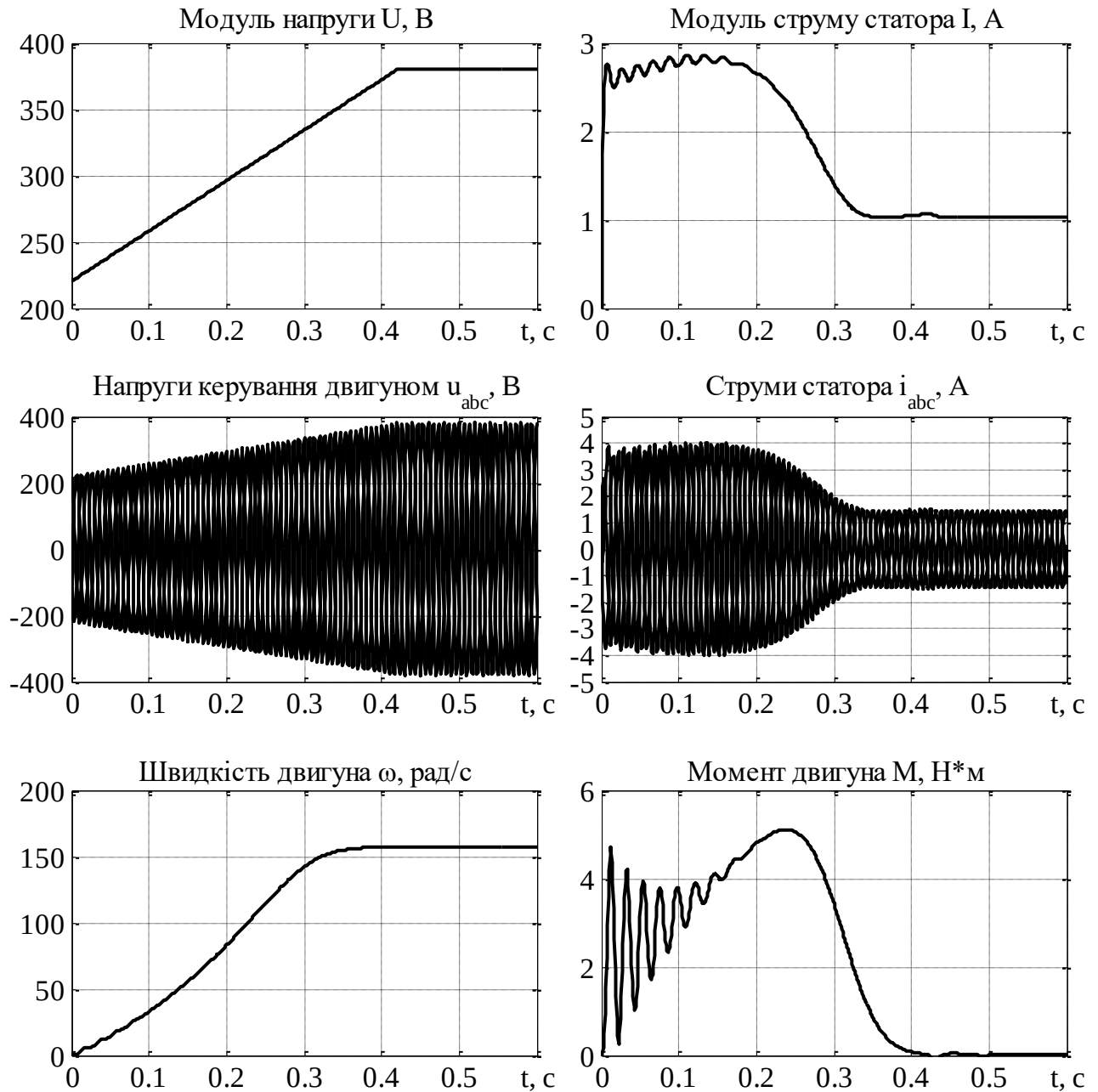


Рисунок 6.6 – Плавний пуск двигуна із початковою напругою

На рис. 6.7 – 6.8 наведено графіки активної та механічної потужності при прямому та плавному пуску з нульовою та початковою напругою. При прямому пуску спостерігають великі втрати потужності. Велике значення активної потужності пояснюється втратами в міді, які пропорційні квадрату струму.

Потужності при плавному пуску мають значно менші значення ніж при прямому пуску. Це пояснюється меншими значеннями струму статора при розгоні.

При плавному пуску із початковим значення напруги спостерігається більше значення споживаною потужності ніж при плавному пуску з нульової напруги, але менші значення ніж при прямому пуску. Це показує, що використання режиму Boost є доцільним і енергоефективним у порівнянні з прямим пуском.

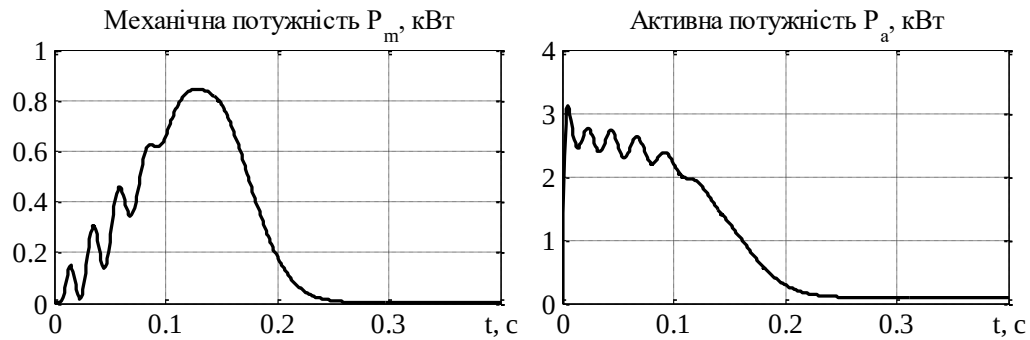


Рисунок 6.7 – Перехідні процеси потужності при прямому пуску

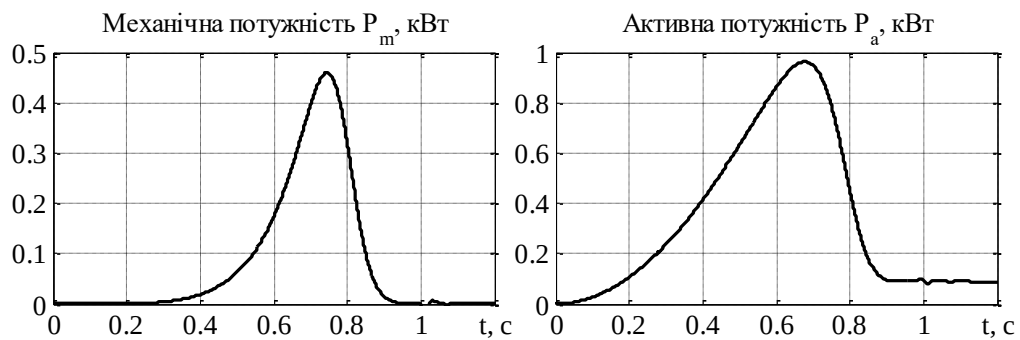


Рисунок 6.8 – Перехідні процеси потужності при плавному пуску з нульової напруги

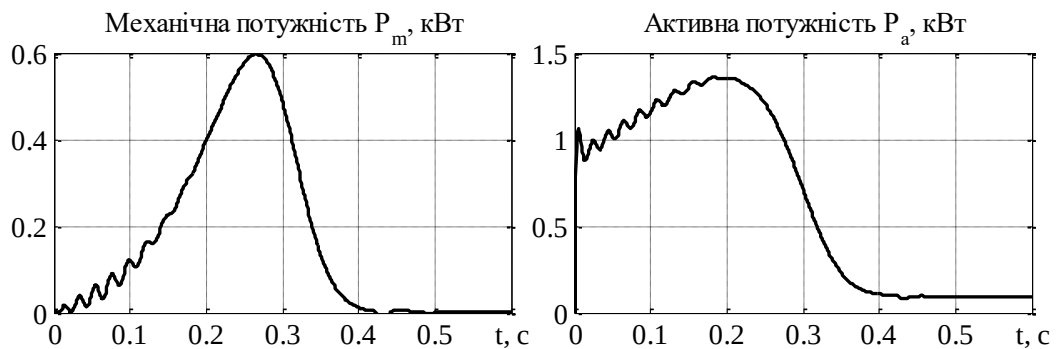


Рисунок 6.9 – Перехідні процеси потужності при плавному пуску із початковим значенням напруги

Висновок до розділу 6

В даному розділі були визначені номінальні параметри двигуна та параметри схеми заміщення. В свою чергу це дало можливість провести моделювання режимів роботи стенду, а саме моделювання прямого та плавного пуску двигуна.

Були промодельовані перехідні процеси при прямому та плавному пуску асинхронного двигуна. Аналіз результатів показав, що використання ППП дозволяє зменшити як пікові значення струмів, та і величини споживаної потужності з мережі під час пуску.

ВИСНОВКИ

В першому розділі було проведено аналітичний огляд ПЛК. Наведено приклади реалізації систем автоматизації із використанням ПЛК. Це дало змогу побачити область застосування та їх можливості від різних виробників та обрати найбільш доцільне рішення, а саме ПЛК Siemens Logo для лабораторного стенду.

В другому розділі була наведена функціональна схема лабораторного стенду яка дає побачити функціонал лабораторного стенду та перейти до вибору обладнання, що буде використовуватися. Також наведено схематичне зображення стенду, для проєктування розміщення обладнання.

В третьому розділі було проведено вибір електротехнічного обладнання, була створена схема електрична принципова та підключень. Наведено перелік елементів.

В четвертому розділі було створено методичні вказівки до виконання лабораторної роботи. Вони складаються з завдання для виконання лабораторної роботи та інструкції з використання стенду та програмним забезпеченням.

В п'ятому розділі наведено приклад розв'язку завдання. Це дає змогу ознайомитися студентам як необхідно виконувати завдання. Також було проведено перевірку роботи стенду.

В шостому розділі було проведено розрахунок параметрів двигуна та схеми заміщення, що дає змогу провести моделювання режимів роботи двигуна. Моделювання дало змогу показати відмінності при прямому та плавному пуску двигуна. Плавний пуск двигуна супроводжується меншими пусковими струмами та меншим пусковим моментом, що покращує енергетичні показники.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Програмування ПЛК в CODESYS : навчальний посібник. Харків : ФОП Панов А. М., 2019. 92 с. ISBN 978-617-7722-62-4.
2. IEC 61131-3:2013 Programmable controllers — Part 3: Programming languages.
3. Програмне забезпечення LOGO! SOFT COMFORT, URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Products/10013817> (дата звернення 21.04.2023).
4. Контролери Allen-Bradley ControlLogix 5580, URL: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers/large-controllers/controllogix/1756controllogix5580.html> (дата звернення 21.04.2023).
5. Контролери Allen-Bradley ControlLogix 5380, URL: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers/small-controllers/compactlogix-family/compactlogix-5380-controllers.html> (дата звернення 21.04.2023).
6. Системи програмованого логічного контролера Micro870, URL: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers/micro-controllers/micro800-family/micro870-controllers.html> (дата звернення 21.04.2023).
7. Системи програмованого логічного контролера Micro820, URL: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers/micro-controllers/micro800-family/micro820-controllers.html> (дата звернення 21.04.2023).
8. Системи програмованого логічного контролера Micro810, URL: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers/micro-controllers/micro800-family/micro810-controllers.html> (дата звернення 21.04.2023).

9. Publication 2080-BR001H-EN-P - November 2022 | Supersedes Publication 2080-BR001G-EN-P - April 2022, 8 p.
10. SIMATIC S7 Комплексная автоматизация – программирование 1, Курс ST-PRO1, 427 с.
11. LOGO! System Manual, 5/2021, A5E33039675-AI, 371 p.
12. Контролери Mitsubishi Electric, URL: <https://trade-control.com.ua/ua/catalog/kontrollery-mitsubishi-electric> (дата звернення 22.04.2023).
13. ПЛК Modicon M221, URL: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/62128-%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%80-modicon-m221/?parent-subcategory-id=3910#overview> (дата звернення 22.04.2023).
14. ПЛК Modicon M262, URL: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/65771-logic-motion-%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%80-modicon-m262/?parent-subcategory-id=3910#overview> (дата звернення 22.04.2023).
15. Реалізації системних інтеграторів Schneider Electric в Україні - ТОВ «ЕТА».
16. Модернізація та оптимізація управління котлами та інтеграція їх в єдину систему управління та управління для всього заводу, URL: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/company/news/case-studies/intelligent-refining-uses-plantpax-process-automation-system.html> (дата звернення 23.04.2023).
17. Цифрова трансформація Фармак — лідера фармацевтичного ринку України, URL: <https://www.siemens.com/ua/uk/kompaniya/references-ua/farmatsevychna-haluz/farmaks-digital-transformation.html> (дата звернення 23.04.2023).

18. ПЛК SIEMENS LOGO 12/24 RCE, URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ru/Catalog/Product/6ED1052-1MD00-0BA8> (дата звернення 14.05.2023).
19. Блок живлення SIEMENS, URL: <https://europromtrading.com.ua/6ep1322-1ld00-siemens> (дата звернення 14.05.2023).
20. Блок живлення для семисегментного індикатора, URL: https://electrica.in.ua/bloki-pitaniya/816-bp-220-12-5a.html?gclid=Cj0KCQjw3a2iBhCFARIsAD4jQB3BF38aqVMNZTlq-B78MjmTh0pnAc3VIEB5OX8-jadLKbO0FdqvRP0aAvUyEALw_wcB (дата звернення 15.06.2023).
21. Контактори SIEMENS 3RT, URL: https://europromtrading.com.ua/3rt2015-2bb41-siemens?gclid=Cj0KCQjw3a2iBhCFARIsAD4jQB06N5DQgyqmbXSLM6xc4X-3Xu3Q-7Xmwd3m8EJeJ0KbqoKVwhcgs_gaAhewEALw_wcB (дата звернення 15.05.2023).
22. Пристрій плавного пуску SIEMENS SIRIUS 3RM1, URL: https://europromtrading.com.ua/3rm1207-2aa04-siemens?gclid=Cj0KCQjw3a2iBhCFARIsAD4jQB3zX6Fen0vX-0lSHOGxoQ-9QlI8p_sWXLhQlN6UPW17gfnFT3QAoFYaAio9EALw_wcB (дата звернення 15.05.2023).
23. Кінцевий вимикач ME 8108, URL: https://axiomplus.com.ua/ua/koncevye-vyklyuchateli/product-40574/?gclid=Cj0KCQjw3a2iBhCFARIsAD4jQB0Sh3msSqdwhZEOVBO7TjJ29Ig_3e3U5hVg6DjusuYSuTXtsYwN3QcaAkgxEALw_wcB (дата звернення 16.05.2023).
24. Кінцевий вимикач ME 8169, URL: https://electro-market.com.ua/ctproduct/me-8169-koncevoi-vikljychatel-1no-1nc-0-4a-provolochnii-schyp-na-pryzhine-a0050030006-asko-ykrem.html?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=bd_performan

[ce_max_101_500_ru&utm_content=&utm_term=&gclid=Cj0KCQjw3a2iBhCFARIsAD4jQB14YAlRYiQCS4JbZiYYZ8Z_pUCVwKm7JMi_plNZ0E5DuoVxpqykX7QaAqejEALw_wcB](https://max101500.ru/?utm_content=&utm_term=&gclid=Cj0KCQjw3a2iBhCFARIsAD4jQB14YAlRYiQCS4JbZiYYZ8Z_pUCVwKm7JMi_plNZ0E5DuoVxpqykX7QaAqejEALw_wcB) (дата звернення 16.05.2023).

25. Давач Холла, URL: https://evse.com.ua/kontsevoj-induktivnyj-datchik-lj12a3-4-z-bx-npn-chpu?gclid=Cj0KCQjw3a2iBhCFARIsAD4jQB051gx7UnLm-bR9wXqrubxVYmUyREaZ4ALFnNX-M_nZh6X_8BzNfRwaAis4EALw_wcB (дата звернення 16.05.2023).

26. Кнопка без фіксації SIEMENS, URL: <https://eleksun.com.ua/3su1100-0ab10-1ba0-knopka-nazhimnaya-utaplivaemaya-seriya-3su-1no-chernyy-siemens.html> (дата звернення 16.05.2023).

27. Багатопозиційна кнопка SIEMENS, URL: <https://eleksun.com.ua/3su1100-2bl60-1na0-pereklyuchatel-povorotnyy-tri-polozheniya-i-o-ii-s-fiksaciey-seriya-3su-1no.html> (дата звернення 16.05.2023).

28. Сигнальні лампи SIEMENS, URL: https://luxelectro.com.ua/ru/sk/ssa.html?custom_parent_id=1&brand=siemens (дата звернення 17.05.2023).

29. Двополюсний автоматичний вимикач SIEMENS, URL: https://zamel.in.ua/p1762957978-5sy6516.html?source=merchant_center&gclid=Cj0KCQjw3a2iBhCFARIsAD4jQB2CveYUSuFe2tKOFZ34mSRGpsj0OMgqU1X9K5Fqgh9R3CAJO8xuUrAaAkvPEALw_wcB (дата звернення 17.05.2023).

30. Триполюсний автоматичний вимикач SIEMENS, URL: <https://luxelectro.com.ua/ru/avtomat-zashchity-transformatora-siemens-3rv2411-10-16a-detail.html> (дата звернення 17.05.2023).

31. Світлодіодна стрічка LED LIGHT, URL: https://amperok.com.ua/strichka_svitlodiodna_led_light_12v_4_8w_zelena_60led_ip65_mtk-300gf3528-12 (дата звернення 17.05.2023).

32. Вентилятор, URL: <https://paton.ua/komplektujuch-do-aparatv/ventiljatori/ventiljator-dc-140x140x38-24v/> (дата звернення 17.05.2023).

33. Мікродвигун, URL: https://zapchasti-market.com/index.php?route=product/product&product_id=42936&gclid=Cj0KCQjw3a2iBhCFARIsAD4jQB2FfyKT9myt8WAcIle7dI4Wj1hj2QXQbBhFQ07Ei0MuAMWs6nDcrVEaAl6rEALw_wcB (дата звернення 17.05.2023).

34. Кінцевий вимикач Lovato KBP2L11, URL: <https://prom.ua/ua/p121874512-kontsevoj-vyklyuchatel-sharnirnyj.html> (дата звернення 17.05.2023).

35. Резистор VISHAY 1 кОм, URL: <https://www.digikey.com/en/products/detail/vishay-sfernice/RWM06341001JS09E1/10742657> (дата звернення 17.05.2023).

36. Системи автоматизації. Лабораторний практикум. Частина 2 [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; укладачі: С. О. Бур'ян, Г. Ю. Землянхуна, Р. С. Волянський. – Електронні текстові дані (1 файл: 5.63 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 208 с.

37. House Control with Master-Slave - LOGO! Set 9Entry ID: 64143308, V2.1, 04/2016.

38. Основи мехатроніки: [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С.М. Пересада, М.В. Пушкар. – К.: КПІ ім. Ігоря – Електронні текстові дані (1 файл: 23,6 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 136 с.

39. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ, НТУУ «КПІ», 2016. – 150 с.

40. Островерхов М.Я., Пижов В.М. Моделювання електромеханічних систем в Simulink: Навч. Посібник для студентів вищих технічних закладів. – К.: ВД «Стилос», 2008.–528 с.

Поз. познач.		Найменування			Кіл.	Примітка						
AA1		Блок живлення 12-24 В, 8А			1	Siemens						
AA2		Блок живлення 12 В, 5А			1							
AA3, AA4		ПЛК LOGO 12/24RCE			2	Siemens						
AA5		Симисегментний індикатор 12 В, 5.8 Вт			1							
HL1...HL7		Сигнальні лампи 400 В			7	Siemens						
KM1, KM2		Магнітні контактори SIRIUS 3RT, 400 В, 7А			2	Siemens						
KMS		Пристрій плавного пуску SIRIUS 3RM1, 3 кВт			1	Siemens						
QF1		Силовий автоматичний вимикач 600 В, 16А			1	Siemens						
R1		Резистор 1кОм			1	VISHAY						
SA1, SA2		Кнопка багатопозиційна, NO			2	Siemens						
SB1...SB2		Кнопка без фіксації, NO			6	Siemens						
SF1		Автоматичний вимикач кола керування, 230 В 16А			1	Siemens						
SQ1, SQ2		Кінцевий вимикач ME-8108, 1NO+1NC			2	ACKO						
SQ3, SQ4		Кінцевий вимикач ME-8169, 1NO+1NC			2	ACKO						
SQ5		Кінцевий індукційний вимикач, NPN			1							
SQ6		Кінцевий вимикач KBP2L11, 1NO+1NC			1	LOVATO						
					14.1.ЕПП0106.033.ДП							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Строєвий С.О.			Перелік елементів		Літ.		Арк.		Аркушів	
Перевір.		Красношапка Н.Д.							1	1		
Реценз.							НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", ФЕА, каф. АЕМС-ЕП, зр. ЕП-п01					
Н. Контр.												
Затверд.		Ковбаса С.М.										