

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП -14.00.00.000 ПЗ

Група АКП -22-1

Богдан Тимчук

2026

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Тимчук Богдан Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК ____ 681.53
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розподілене керування лабораторними об'єктами з використанням

(назва роботи)

е-РАС контролера MODICON M580

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Нормоконтроль

доцент		О.В. Кучмистенко	
(посада)	(підпис)	(дата)	(ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент		В.С.Борин	
(посада)	(підпис)	(дата)	(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-22-1		Б.І.Тимчук	
(шифр групи)	(підпис)	(дата)	(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент		М.І.Когутяк	
(посада)	(підпис)	(дата)	(ініціали та прізвище)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доцент		А.І. Лагойда	
(посада)	(підпис)	(дата)	(ініціали та прізвище)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

А.І. Лагойда.

« » 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Тимчуку Богдану Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розподілене керування лабораторними об'єктами з використанням е-РАС контролера MODICON M580

керівник роботи Когуляк Мирослав Іванович к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «29» травня 2026 року № 192/7

2. Строк подання студентом роботи 12.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи матеріали переддипломної практики, методичні вказівки, технічна література, інтернет-ресурс.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Розроблення розподіленої системи керування лабораторними об'єктами на базі е-РАС PLC TM 580;

2. Монтаж, налагодження та тестування стенда з віддаленим островом;

3. Ідентифікація та моделювання роботи окремих вузлів стенда;

4. Розроблення проектних документів лабораторної установки;

5. Висновки.

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Лист 1 – Комп'ютерно-інтегрована система лабораторного стенду – БР.АКП – 14.00.00.000 01;

Лист 2 – FBD-схеми калібрування аналогових датчиків – БР.АКП – 14.00.00.000 02;

Лист 3 – Аналіз і синтез замкненої системи ПІ-регулятора – БР.АКП – 14.00.00.000 03;

Лист 4 – Принципова функціональна схема – БР.АКП – 14.00.00.000 04;

Лист 5 – Принципова електрична схема реверсивного електродвигуна – БР.АКП – 14.00.00.000 05;

Лист 6 – Принципова електрична схема кінцевих вимикачів – БР.АКП – 14.00.00.000 06.

7.Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 06.11.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розроблення розподіленої системи	12.05.2026 р.	
	Керування лабораторними об'єктами на базі е-РАС PLS TM 580		
2	Монтаж, налагодження та тестування Стенда з віддаленим островом	15.05.2026 р.	
3	Ідентифікація та моделювання роботи Окремих вузлів системи	19.05.2026 р.	
4	Розробка проектних документів Лабораторної установки	29.05.2026 р.	

Студент _____
(підпис)

Б.І.Тимчук
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

М.І.Когутяк
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота: 84 с., 52 рис., 2 табл., 10 джерел.

Тема: «Розроблення розподіленої системи керування лабораторними об'єктами на базі є-РАС PLC TM580».

У бакалаврській роботі розроблено та досліджено лабораторний стенд розподіленої системи керування на базі контролера Modicon M580 і віддаленого острова введення/виведення ВМЕСРА31210. До складу стенда входять лінійна платформа повзункового типу, тепловий та освітлювальний об'єкти, давачі положення, температури й освітленості, виконавчі механізми та операторська панель Harmony ET6.

Метою роботи є: розроблення, монтаж, налагодження та дослідження стенда для керування дискретними й неперервними об'єктами, контролю положення лінійної платформи та обробки сигналів давачів. У роботі виконано аналіз архітектури розподілених систем керування, налаштовано апаратну конфігурацію контролера, розроблено алгоритми керування у середовищі EcoStruxure Control Expert мовами ST і LD.

Розроблено: алгоритм керування лінійною платформою з використанням кінцевих вимикачів, індуктивних давачів і реле. Проведено калібрування давачів температури та освітленості, ідентифіковано тепловий об'єкт і побудовано його модель у MATLAB/Simulink. Відповідність моделі експериментальним даним становить 96,97 %. Синтезовано ПІ-регулятор з параметрами $P = 2,1213$; $I = 0,019494$ та ПІД-регулятор з параметрами $P = 8,1581$; $I = 0,045256$; $D = 298,4085$; $N = 0,088121$.

Ключові слова: Modicon M580, ВМЕСРА31210, розподілена система керування, лабораторний стенд, лінійна платформа, тепловий об'єкт, ПІ-регулятор, ПІД-регулятор, MATLAB/Simulink, EcoStruxure Control Expert.

ABSTRACT

Bachelor's thesis: 84 pages, 52 figures, 2 tables, 10 references.

Topic: "Development of a Distributed Control System for Laboratory Objects Based on the e-PAC PLC TM580".

The bachelor's thesis: is devoted to the development and investigation of a laboratory stand for a distributed control system based on the Modicon M580 controller and the BMECRA31210 remote input/output island. The stand includes a slider-type linear platform, thermal and lighting objects, position, temperature and illumination sensors, actuating devices, and the Harmony ET6 operator panel.

The aim of the work is to develop, install, adjust and investigate a laboratory stand for controlling discrete and continuous objects, monitoring the position of the linear platform and processing sensor signals. The work includes analysis of distributed control system architecture, hardware configuration of the controller, and development of control algorithms in EcoStruxure Control Expert using ST and LD languages.

A control algorithm: for the linear platform was developed using limit switches, inductive sensors and relays. Temperature and illumination sensors were calibrated, the thermal object was identified, and its mathematical model was created in MATLAB/Simulink. The correspondence between the model and experimental data is 96.97 %. A PI controller with parameters $P = 2.1213$; $I = 0.019494$ and a PID controller with parameters $P = 8.1581$; $I = 0.045256$; $D = 298.4085$; $N = 0.088121$ were synthesized.

Keywords: Modicon M580, BMECRA31210, distributed control system, laboratory stand, linear platform, thermal object, PI controller, PID controller, MATLAB/Simulink, EcoStruxure Control Expert.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП	10
1 РОЗРОБЛЕННЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЛАБОРАТОРНИМИ ОБ'ЄКТАМИ НА БАЗІ e-PAC PLC TM 580.....	11
1.1 Технічне завдання на розробку системи	11
1.2. Архітектура лабораторного стенда.....	13
1.3 Характеристика складових елементів та обладнання	15
Висновки до розділу.....	25
2 МОНТАЖ , НАЛАГОДЖЕННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СТЕНДА З ВІДДАЛЕНИМ ОСТРОВОМ.....	26
2.1 Загальний монтаж обладнання на панелі і платформі острова.....	26
2.2 Налагодження роботи основного обладнання системи	28
2.3 Налагодження та тестування роботи вузлів з реальними об'єктами.....	31
Висновки до розділу.....	40
3 ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ СИСТЕМИ	41
3.1 Дослідження та калібрування датчиків температури та освітленості	41
Калібрування датчика температури.....	41
3.2 Ідентифікація та моделювання каналу регулювання температури.....	46
3.3 Синтез та дослідження системи автоматичного регулювання температури	56
3.4 Дослідження роботи ПІ-регулятора для нагрівального елемента лабораторного стенда.....	64
Висновки до розділу.....	66
4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЕКТНИХ ДОКУМЕНТІВ ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ.....	68
4.1 Проектування функціональної схеми автоматизації.....	68

					БР. АКП-14.00.00.000.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Тимчук Б.І.			Розподілене керування лабораторними об'єктами з використанням e-PAC контролера MODICON M580	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Когутяк М.І.				Д	9	84
Реценз.		Борин В.С.				АКП-22-1 ІФНТУНГ		
Н. Контр.		Кучмистенко О.В.						
Затверд.		Лагойда А.І.						

4.2 Розроблення принципів електричних схем та схем підключень обладнання	70
4.3 Приклади розроблення програмного забезпечення для М580 та панелі оператора ЕТ6	76
Висновки до розділу	80
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	84

					БР. АКП-14.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АРМ - автоматизоване робоче місце.

ПЛК -програмований логічний контролер.

PLC — Programmable Logic Controller.

e-PAC — Ethernet Programmable Automation Controller.

M580 — програмований контролер Modicon M580.

BMCR31210 — адаптер віддаленого острова введення/виведення.

RIO — Remote Input/Output, віддалене введення/виведення.

HMI — Human Machine Interface, людино-машинний інтерфейс.

Ethernet — мережа обміну даними між елементами системи.

Modbus TCP — промисловий протокол обміну даними.

Control Expert — середовище програмування контролера Modicon M580.

ST — Structured Text, мова структурованого тексту.

LD — Ladder Diagram, мова релейно-контактних схем.

MATLAB/Simulink — середовище математичного моделювання.

ПІ-регулятор — пропорційно-інтегральний регулятор.

ПІД-регулятор — пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор.

ВСТУП

Сучасні автоматизовані системи керування широко застосовуються у промисловості та навчально-дослідних лабораторіях для підвищення точності, надійності та зручності керування технологічними об'єктами. Особливе значення мають розподілені системи керування, у яких контролер, модулі введення/виведення, операторська панель і об'єкти керування об'єднуються між собою промисловою мережею.

Актуальність роботи полягає у розробленні лабораторного стенда, який дозволяє досліджувати принципи побудови, монтажу, налагодження та програмування розподілених систем керування на базі сучасних засобів автоматизації Schneider Electric.

Об'єктом дослідження є лабораторний стенд на базі контролера Modicon M580 та віддаленого острова введення/виведення ВМЕСРА31210, до складу якого входять лінійна платформа повзункового типу, тепловий та освітлювальний об'єкти.

Метою бакалаврської роботи є розроблення, монтаж, налагодження та дослідження розподіленої системи керування лабораторними об'єктами на базі e-RAC PLC TM 580.

Для досягнення мети виконано аналіз структури стенда, розглянуто основні технічні засоби системи, здійснено монтаж і налагодження обладнання, перевірено роботу дискретних та аналогових каналів, розроблено алгоритм керування лінійною платформою, проведено калібрування давачів, ідентифікацію теплового об'єкта та дослідження ПІ- і ПІД-регуляторів.

Практичне значення роботи полягає у створенні лабораторного стенда, який може використовуватися для навчання, дослідження та тестування алгоритмів автоматизованого керування на базі контролера Modicon M580

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1 РОЗРОБЛЕННЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЛАБОРАТОРНИМИ ОБ'ЄКТАМИ НА БАЗІ e-PAC PLC TM 580

1.1 Технічне завдання на розробку системи

Призначення стенда та мета дослідження.

Лабораторний стенд призначений для отримання навичок в розробленні програмного забезпечення розподілених систем управління типовими технологічними вузлами різних виробництв на базі e-PAC PLC TM 580. Метою роботи є проектування , монтаж , налагодження лабораторного стенда та дослідження систем логіко-програмного керування дискретними та неперервними процесами фізичних моделей окремих технологічних вузлів з використанням TM 580 та віддаленого острова на базі модулів X80.

Структура лабораторного стенда.

Лабораторний стенд відтворює в мініатюрі АСК ТП на прикладі простих фізичних моделей технологічного об'єкта. Система має ієрархічну структуру з трьома рівнями :

- макети реальних об'єктів (лінійна платформа з набором датчиків позиції та теплогенератора і нагрівальних ламп);
- RIO система збору і керування на базі модулів X80;
- локальний рівень керування (PLC e-PAC M580) та панель оператора Harmony ET6;
- верхній рівень керування -автоматизоване робоче місце (АРМ) дослідника з необхідним інструментальним середовищем розробки.

Вимоги до реальних фізичних макетів об'єкта.

Макет реального віддаленого об'єкта має автономну компоновку з клемником для підключення шлейфу до RIO модулів. Конструкція є мобільною з можливістю установки на інші стенди.

Макет локального об'єкта є лінійною платформою з безпосереднім монтажем на модулі контролера.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Режими роботи.

Для дослідження роботи розподіленої системи передбачені такі режими роботи:

- тестування роботи обладнання та макетів об'єктів в режимі локального та віддаленого управління;
- дискретне логіко-командне керування лінійною платформою з точками позиціонування ;
- автоматичне віддалене керування тепловим та освітлювальним об'єктом;
- супервізорне керування з панелі HMI Harmony ET6;
- режим SCADA- системи для керування , візуалізації та реєстрації ходу дослідження

Візуалізація процес керування та дослідження.

Візуалізація процесу дослідження та керування здійснюється у декілька способів:

- оперативний контроль ходу лінійної платформи та засоби індикації дискретних сигналів (світлова колонка) ;
- повна візуалізація процесу дослідження на HMI Harmony ET6;
- візуалізація ходу процесу дублюється в SCADA в ARM -дослідника з можливістю реєструється та архівується необхідна інформація.

Загальні вимоги щодо компоновки обладнання.

Все обладнання лабораторного стенда компонується в підвісній приладній перфорованій панелі (габаритні розміри 800 × 600 мм).

Живлення : напруга змінного струму 220В ± 15 В, частотою 50 Гц;
стабілізована напруга постійного струму 24 В.

Макет реальних об'єктів змонтовані на пластикових платформах або кріпляться безпосередньо до панелі стенда.

Кола керування силовим обладнанням повинні бути гальванічно розв'язані від кіл керування. Підключення об'єкта на острові через шлейф на 37 пінів.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Універсальне підключення до модулів X80 реалізувати через виносний клемник-роз'єм до якого підмикають шлейф.

Монітор АРМ- дослідника монтується на приставному столі разом з системним блоком . Операторська панель Harmony ET6 кріпиться на підвісній панелі (може бути встановлена на інших панелях з можливістю використання через Ethernet канал.

Проміжне обладнання та контролери монтуються на DIN рейках. З'єднувальні провідники необхідно укласти в монтажні коробки.

1.2.Архітектура лабораторного стенда

Архітектура даного лабораторного стенда була розроблена для дослідження та тестування системи автоматизації технологічних процесів з використанням контролера серії MODICON M580 і мережевого адаптера віддаленого керування ВМЕСРА31210. Даний стенд може бути використаний як для лабораторних робіт так і для дослідницьких. В основі лежить Ethernet-з'єднання, яке забезпечує зв'язок між усіма елементами лабораторного стенда.

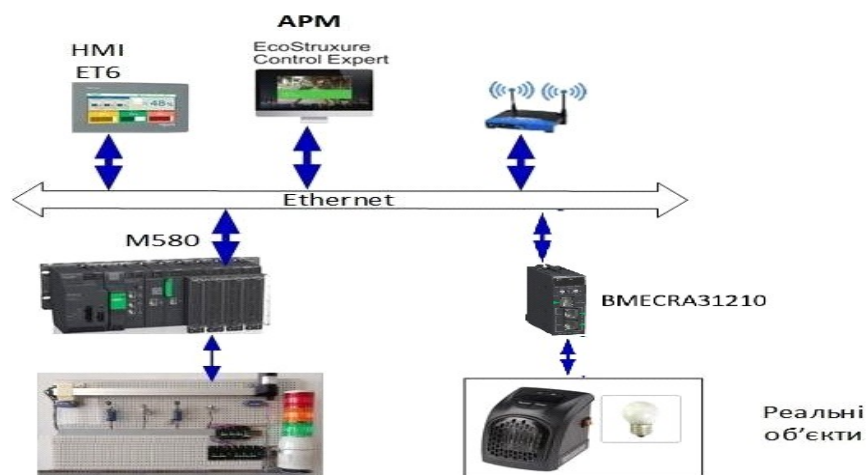


Рисунок 1.1 – Комп'ютерно-інтегрована система лабораторного стенду

Даний стенд складається з автоматизованого робочого місця(АРМ) з програмним забезпеченням EcoStruxure Control Expert, панелі оператора з

сенсорним екраном(Harmony ET6), контролера(M580), мережевого адаптера віддаленого керування (BMECRA31210), об'єктів керування і Ethernet з'єднання яке забезпечує зв'язок між усіма елементами лабораторного стенду.

Основними елементами даного лабораторного стенду є контролер(M580) і адаптер віддаленого керування (BMECRA31210). Контролер керує модулями введення/виведення як дискретного типу так і аналогового а адаптер BMECRA31210 виконує функцію адаптера віддаленого острова введення/виведення. Він забезпечує обмін даними між центральним процесором Modicon M580 та віддаленими модулями X80 через мережу Ethernet який приймає сигнали від основного контролера і також може керувати модулями дискретного або аналогового типу. Також завдяки зв'язку типу Ethernet або Modbus TCP є можливість взаємодіяти з панеллю оператора(HMI ET6).

Автоматизоване робоче місце(APM) – це особистий комп'ютер з програмним забезпеченням EcoStruxure Control Expert який є основою і можливістю корегування або моніторингу контролера і модулів. Зв'язок з контролером може бути як через Ethernet з'єднання так і через універсальний кабель типу Micro type-C.

Сенсорна панель оператора(Harmony ET6) це елемент лабораторного стенду завдяки якому можна керувати об'єктами на відстані а також моніторити стан самого лабораторного стенду включно з усіма його елементами.

Адаптер мережевого з'єднання Ethernet є основою усіх елементів даного лабораторного стенду. Він дає змогу одночасно як надсилати сигнали на контролер і панель оператора так і приймати їх у реальному часі з мінімальною затримкою що дає змогу моніторити і відкоригувувати об'єкти наживо. Також завдяки даному типу зв'язку є можливість використовувати одночасно і адаптер віддаленого керування, контролер і панель оператора.

Архітектура даного лабораторного стенду дає можливість повністю вивчити увесь цикл автоматизації: від програмування до тестування і налагодження постійної роботи реальних об'єктів керування.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

1.3 Характеристика складових елементів та обладнання

Даний лабораторний стенд (рис. 1.2, 1.7) призначений як для програмування контролера і адаптера віддаленого керування так і для дослідження і вивчення системи автоматизації технологічних процесів. Для точних результатів більшість елементів лабораторного стенду є від компанії Schneider Electric що забезпечує високу якість лабораторного стенду.

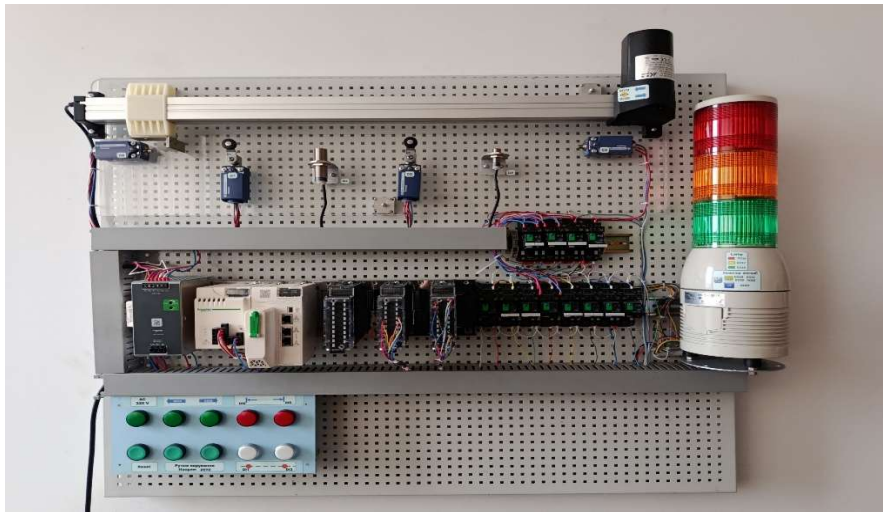


Рисунок 1.2 - Загальний вигляд лабораторного стенду основної частини(З контролером M580)

Елементи що включає стенд:



Рисунок 1.3-Modicon M580

Контролер Modicon M580 – це один із найсучасніших програмованих логічних контролерів компанії Schneider Electric. Він призначений для автоматизації складних промислових систем та технологічних процесів. Часто

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

використовується у галузях енергетики, промислового виробництва, водопостачання, транспорту та керування технологічними лініями.

Технічні характеристики:

- Напруга живлення: 24 В постійного струму.
- Тип контролера: ePAC (Ethernet Programmable Automation Controller).
- Підтримка мереж: Ethernet, Modbus TCP, CANopen.
- Кількість входів/виходів: залежить від конфігурації модулів розширення.
- Робоча температура: 0 °C – +60 °C.
- Об'єм пам'яті: до 64 МБ для програм та даних.
- Швидкодія: високопродуктивний багатозадачний процесор.
- Ступінь захисту: IP20.
- Підтримка гарячої заміни модулів (Hot Swap).
- Програмування здійснюється у середовищі EcoStruxure Control Expert.



Рисунок 1.4- Блок живлення ABLS1A24050

Пристрій ABLS1A24050 – це імпульсний блок живлення компанії Schneider Electric, призначений для живлення промислових систем автоматизації та контролерів. Він часто використовується для живлення ПЛК, НМІ-панелей, датчиків та іншого обладнання в системах автоматизації. Монтується на DIN-рейку та застосовується у промисловості, енергетиці й системах керування технологічними процесами.

Технічні характеристики:

- Напруга живлення: 100–240 В AC або 140–340 В DC.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

- Вихідна напруга: 24 В постійного струму.
- Вихідний струм: 5 А.
- Потужність: 120 Вт.
- Тип блока живлення: імпульсний (Switch Mode Power Supply).
- Монтаж: на DIN-рейку.
- Робоча температура: -20 °С – +70 °С.
- Ступінь захисту: IP20.
- ККД: до 88 %.
- Захист: від короткого замикання, перевантаження та перегріву.
- Габаритні розміри: 123.6 × 117.6 × 40 мм



Рисунок 1.5- Модулі вводу/виводу серії DDM

Модулі вводу/виводу серії DDM – це дискретні модулі компанії Schneider Electric, які використовуються разом із контролерами Modicon M580 та Modicon M340.

Вони призначені для підключення дискретних датчиків, кнопок, кінцевих вимикачів, ламп, реле та інших виконавчих механізмів у системах автоматизації. Модулі серії DDM входять до платформи Modicon X80 та забезпечують швидкий обмін сигналами між обладнанням і контролером.

Технічні характеристики:

- Напруга живлення входів/виходів: 24 В постійного струму.
- Кількість входів: 8 дискретних входів.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

- Кількість виходів: 8 дискретних виходів.
- Тип виходів: транзисторні (solid state).
- Струм виходу: 0.5 А на канал.
- Час спрацювання входів: 4–7 мс.
- Час спрацювання виходів: 1.2 мс.
- Підтримка 2-провідних і 3-провідних датчиків.
- Робоча температура: 0 °С – +60 °С.
- Ступінь захисту: IP20.
- Наявність світлодіодної індикації стану каналів та помилок.
- Захист від короткого замикання, перевантаження та переполюсовки.



Рисунок 1.6- Світлосигнальна колона серії Harmony XVC

Harmony XVC XVC1M3HK – це світлосигнальна колона серії Harmony XVC компанії Schneider Electric. Вона призначена для світлової та звукової сигналізації стану промислового обладнання, технологічних процесів і автоматизованих систем. Часто використовується на виробничих лініях, конвеєрах, верстатах та лабораторних стендах.

Технічні характеристики:

- Тип пристрою: світлосигнальна колона (Tower Light).
- Серія: Harmony XVC.
- Кількість світлових секцій: 3.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

- Кольори індикації: червоний, помаранчевий, зелений.
- Тип освітлення: LED.
- Режими роботи: постійне світіння або миготіння.
- Наявність звукової сигналізації: сирена до 102 дБ.
- Напруга живлення: 100–240 В AC.
- Ступінь захисту: IP54.
- Діаметр колони: 100 мм.
- Висота: 449 мм.
- Робоча температура: –20 °С до +50 °С.
- Монтаж: на основу (base mounting).
- Матеріал корпусу: ABS-пластик і полікарбонат.
- Довжина кабелю підключення: 500 мм.
- Споживаний струм: 320 мА

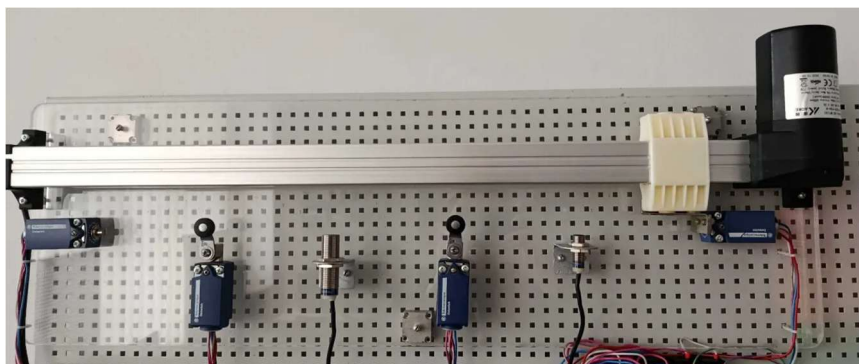


Рисунок 1.7- Об'єкт лінійної платформи повзункового типу

Лінійна платформа повзункового типу – це лабораторний стенд, призначений для дослідження та автоматизованого керування лінійним переміщенням рухомого об'єкта (повзунка) вздовж направляючої.

Платформа використовується для вивчення принципів роботи систем автоматизації, програмування ПЛК та налаштування датчиків положення. Переміщення повзунка здійснюється за допомогою електродвигуна, а контроль

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

крайніх та проміжних положень виконується кінцевими й індуктивними датчиками.

Основні елементи стенду:

- алюмінієва лінійна направляюча;
- рухомий повзунок;
- електродвигун приводу;
- кінцеві та індуктивні датчики положення;
- система керування на базі контролера M580;
- світлосигнальна індикація стану роботи.

Такий стенд дозволяє реалізувати задачі позиціонування, реверсивного руху, автоматичної зупинки та циклічного керування платформою.

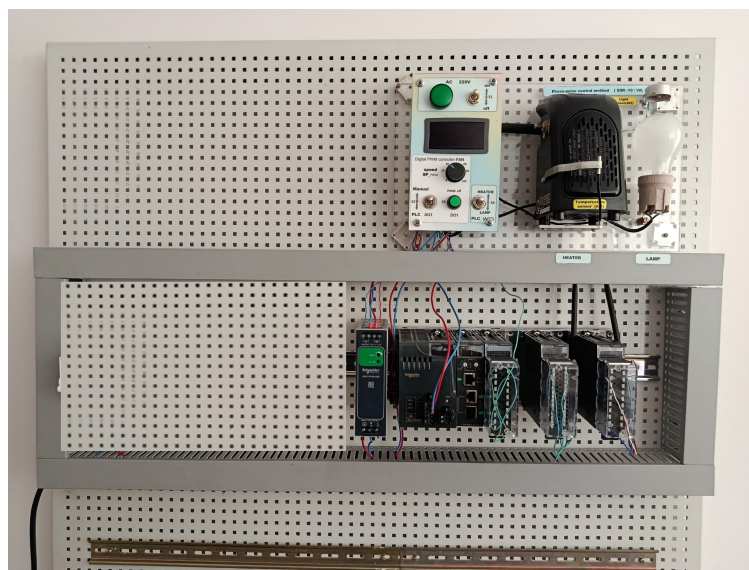


Рисунок 1.8 - Загальний вигляд лабораторного стенду віддаленого керування(З адаптером ВМЕСРА31210)

Включає такі елементи:

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20



Рисунок 1.9-Адаптер віддаленого керування BMECRA31210

Modicon X80 BMECRA31210 – це модуль віддаленого керування серії Modicon X80 компанії Schneider Electric. Він призначений для підключення віддалених модулів вводу/виводу в системах автоматизації на базі контролерів Modicon M580. Часто використовується у промислових системах керування та лабораторних стендах.

Технічні характеристики:

- Тип пристрою: Ethernet RIO Drop Adapter.
- Серія: Modicon X80.
- Сумісність: Modicon M580.
- Кількість Ethernet-портів: 3 RJ45.
- Тип мережі: EtherNet/IP.
- Швидкість передачі даних: 10/100 Мбіт/с.
- Підтримка протоколів: EtherNet/IP, Modbus TCP.
- Напруга живлення: 3.3 В DC.
- Споживаний струм: 1800 мА.
- Ступінь захисту: IP20.
- Робоча температура: 0 °C до +60 °C.
- Монтаж: у стійку (Rack-mounted).

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

- Габарити: 32 × 100 × 87.5 мм.
- Маса: 0.225 кг.



Рисунок 1.10- Блок живлення BMXCPS2010

Modicon X80 BMXCPS2010 – це модуль живлення серії Modicon X80 компанії Schneider Electric.

Він призначений для живлення контролерів та модулів вводу/виводу систем автоматизації Modicon M340 і M580. Часто використовується у промислових системах керування та лабораторних стендах.

Технічні характеристики:

- Тип пристрою: модуль живлення (Power Supply Module).
- Серія: Modicon X80.
- Напруга живлення: 24 В DC.
- Потужність: 16.8 Вт.
- Тип мережі живлення: постійний струм (DC).
- Вихідний струм: 0.7 А / 24 В DC, 2.5 А / 3.3 В DC.
- Кількість індикаторів: 1 LED (зелений).
- Наявність кнопки RESET: так.
- Ступінь захисту: IP20.
- Робоча температура: 0 °C до +60 °C.
- Монтаж: у стійку (Rack-mounted).

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- Маса: 0.29 кг.
- Захист: від короткого замикання, перенапруги та перевантаження.



Рисунок 1.11-Аналогові модулі BMXAMO0210 та BMXAMI0810

Modicon X80 BMXAMO0210 та BMXAMI0810 – це аналогові модулі серії Modicon X80 компанії Schneider Electric. Вони використовуються у системах автоматизації на базі контролерів Modicon M340 і M580 для роботи з аналоговими сигналами. BMXAMO0210 призначений для формування аналогових вихідних сигналів, а BMXAMI0810 – для зчитування аналогових вхідних сигналів від датчиків та інших пристроїв.

Технічні характеристики:

- Серія: Modicon X80.
- BMXAMO0210: 2 аналогові виходи.
- BMXAMI0810: 8 аналогових входів.
- Типи сигналів: 0–20 мА, 4–20 мА, ± 10 В.
- Роздільна здатність: 15 біт + знак.
- Ступінь захисту: IP20.
- Робоча температура: 0 °С до +60 °С.
- Монтаж: у стійку (Rack-mounted).

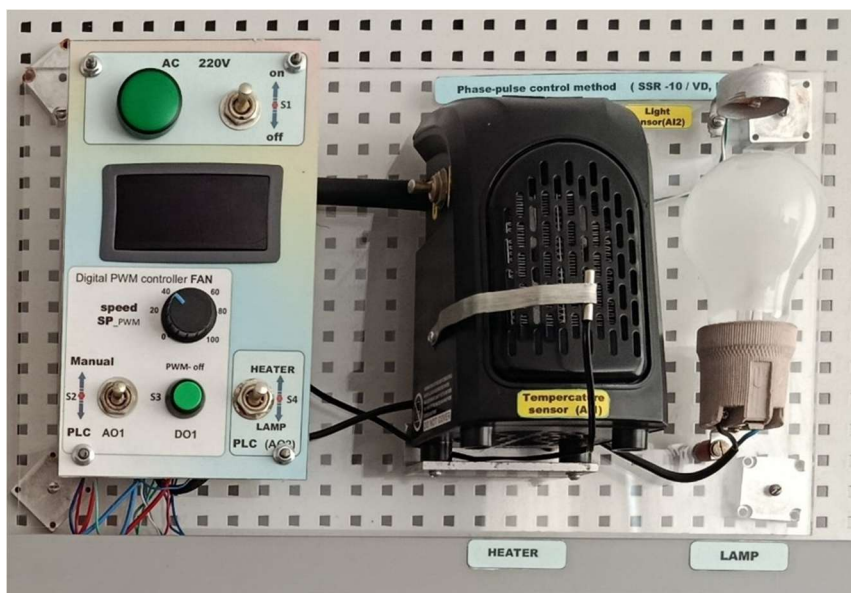


Рисунок 1.12-Тепловий та освітлювальний об'єкт

Тепловий і освітлювальний об'єкт – це лабораторний стенд, призначений для дослідження та керування процесами нагрівання й освітлення. Він використовується у системах автоматизації для моделювання роботи промислових об'єктів та тестування алгоритмів керування. До складу стенда входять нагрівальний елемент, освітлювальна лампа, кнопки керування, сигнальні елементи та датчики. Керування об'єктом може здійснюватися за допомогою контролера PLC та операторської панелі HMI.

Технічні характеристики:

- Тип об'єкта: тепловий і освітлювальний лабораторний стенд.
- Наявність нагрівального елемента
- Тип освітлення: лампа розжарювання.
- Напруга живлення: 24 В / 220 В.
- Наявність сигнальної індикації: LED-індикатори.
- Можливість автоматичного керування: так.
- Сумісність із PLC: Modicon M580 та іншими контролерами.
- Призначення: дослідження систем автоматичного керування температурою та освітленням.

Висновки до розділу

У даному розділі було розроблено структуру лабораторного стенда на базі контролера Modicon M580 та віддаленого острова вводу-виводу ВМЕСРА31210. Визначено технічні вимоги до системи, розроблено її архітектуру та виконано аналіз основних складових елементів. Розглянуто призначення та технічні характеристики контролера, модулів вводу-виводу, джерел живлення, засобів сигналізації та фізичних об'єктів керування. Запропонована структура забезпечує можливість дослідження як дискретних, так і неперервних процесів керування, а також реалізації розподіленої системи автоматизації з використанням сучасних промислових засобів Schneider Electric. Отримані результати стали основою для подальшого монтажу, налагодження та тестування лабораторного стенда.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

2 МОНТАЖ , НАЛАГОДЖЕННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СТЕНДА З ВІДДАЛЕНИМ ОСТРОВОМ

2.1 Загальний монтаж обладнання на панелі і платформі острова

Конструктивна основа стенда головної панелі реалізована на базі сталевого перфорованого листа, що забезпечує високу механічну жорсткість та універсальність при розміщенні компонентів. Використання перфорації дозволяє реалізувати прихований монтаж, що мінімізує ризик механічних пошкоджень ізоляції та покращує умови охолодження обладнання.

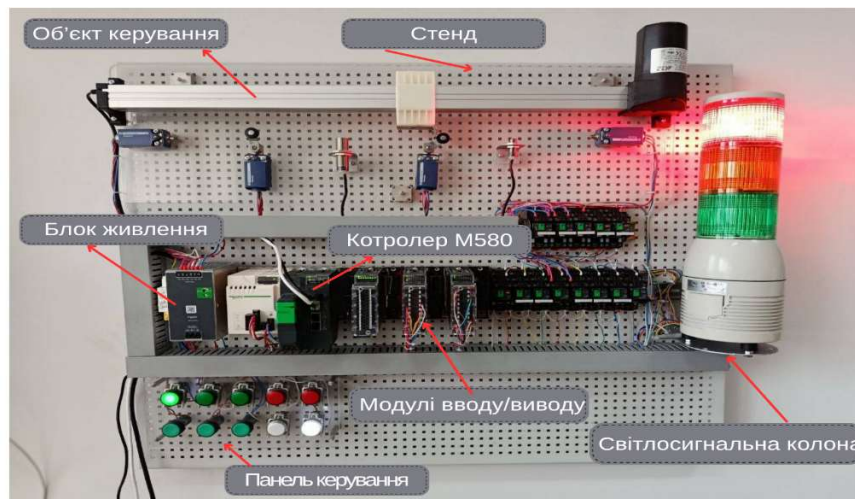


Рисунок 2.1-Загальний монтаж на головній панелі стенду

Монтаж виконаний за функціонально-вузловим принципом. У верхній зоні панелі змонтовано об'єкт керування лінійного переміщення, основою якої є прецизійна алюмінієва направляюча. Вузол приводу, що складається з електродвигуна з інтегрованим редуктором. Для забезпечення безпечної експлуатації та визначення нульової точки позиціонування на робочій осі встановлено систему механічних та індуктивних датчиків. Візуалізація поточного стану установки здійснюється за допомогою світлосигнальної трирівневої колони з звуковою колоною, змонтованої на вертикальній стійці, що забезпечує круговий огляд світлової та звукової індикації.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Електронна частина системи зосереджена в центральному секторі та базується на стандартних DIN-рейках. Модуль (ПЛК) Schneider Electric разом із модулями розширення вводу-виводу утворюють ядро системи керування. Монтаж модулів виконаний щільно, з використанням стандартних шинних з'єднувачів для забезпечення надійної передачі даних по внутрішній шині контролера. Живлення логічної частини забезпечується імпульсним джерелом живлення. Силова комутація реалізована через блок проміжних електромагнітних реле, розташованих праворуч. Уся кабельна мережа всередині панелі впорядкована за допомогою полімерних перфорованих кабель-каналів з кришками, що дозволяє чітко розмежувати сигнальні та силові лінії живлення.

Нижній рівень панелі займає панель ручного керування. Кнопки та світлові індикатори встановлені безпосередньо в перфоровані отвори панелі з дотриманням ергономічних норм для зручності ручного керування в налагоджувальному режимі.

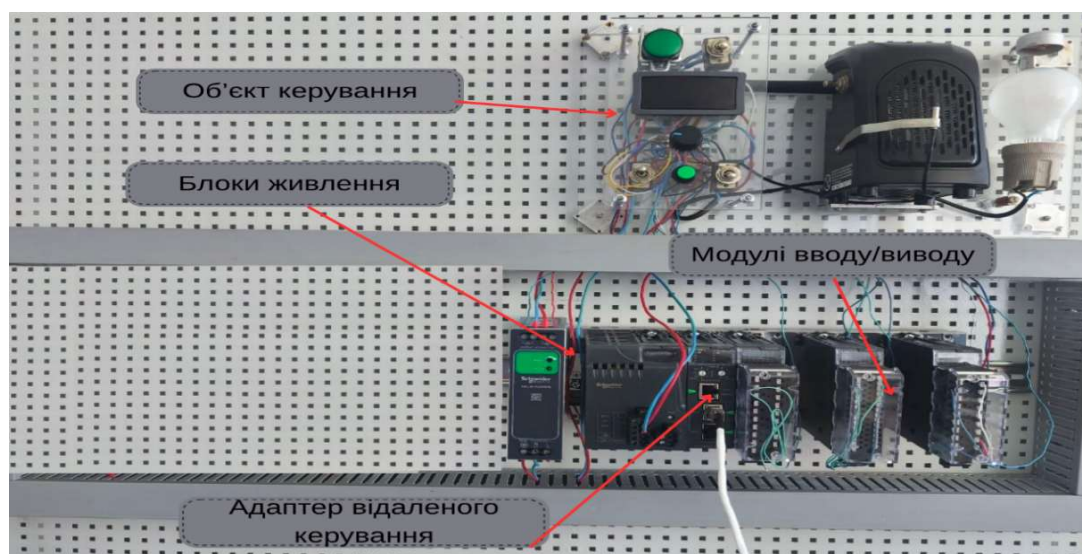


Рисунок 2.2- Загальний монтаж на панелі острова

Платформа острова спроектована як автономний вузол, призначений для виконання віддалених технологічних процесів. Монтажна концепція острова

повторює архітектуру основної панелі, що забезпечує єдність технічних рішень усього проекту.

Особливістю монтажу острова є використання комбінованих матеріалів: на металевій перфорованій базі встановлено додаткову діелектричну панель з акрилу. Це рішення використане для монтажу пристроїв віддаленого моніторингу цифрового індикатора та органів аналогового регулювання. Такий підхід забезпечує додатковий захист електроніки від вібрацій, що виникають під час роботи розташованого поруч об'єкта керування.

Електричне живлення та інформаційний зв'язок острова реалізовані за принципом децентралізації. На нижній DIN-рейці встановлено індивідуальне джерело живлення, що дозволяє уникнути падіння напруги в довгих лініях зв'язку між основним стендом та островом. Комунікація між ПЛК основної панелі та обладнанням острова здійснюється через (Ethernet) кабель який підведено до відповідного порту в центральній частині модуля.

2.2 Налагодження роботи основного обладнання системи

Для налагодження роботи основного обладнання системи використовується персональний комп'ютер зі встановленим спеціалізованим програмним забезпеченням за допомогою якого здійснюється конфігурація контролера та адаптера віддаленого керування. Роль персонального комп'ютера полягає в програмуванні, налагодженні та тестуванні обладнання і об'єктів керування.

Control Expert Classic — це програмне забезпечення для програмування та налаштування контролера Modicon M580 від компанії Schneider Electric.

У середовищі Control Expert Classic створюється апаратна конфігурація контролера M580, додаються процесор, модулі вводу-виводу та мережеві модулі, після чого розробляється програма керування технологічним процесом. Програмне забезпечення дозволяє завантажувати проекти в контролер, виконувати онлайн-моніторинг змінних, проводити діагностику обладнання та

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

змінювати програму без зупинки роботи системи. Також підтримуються стандартні мови програмування IEC 61131-3, зокрема LD, FBD, ST та SFC.

Для контролерів серії M580 Control Expert є основним інструментом розробки та обслуговування систем автоматизації, забезпечуючи налаштування комунікацій Ethernet, конфігурацію модулів X80 і роботу з розподіленими мережами вводу-виводу. На рисунку 2.3 представлено головне меню програмного забезпечення з апаратною конфігурацією відповідно до головної панелі рисунок 2.1

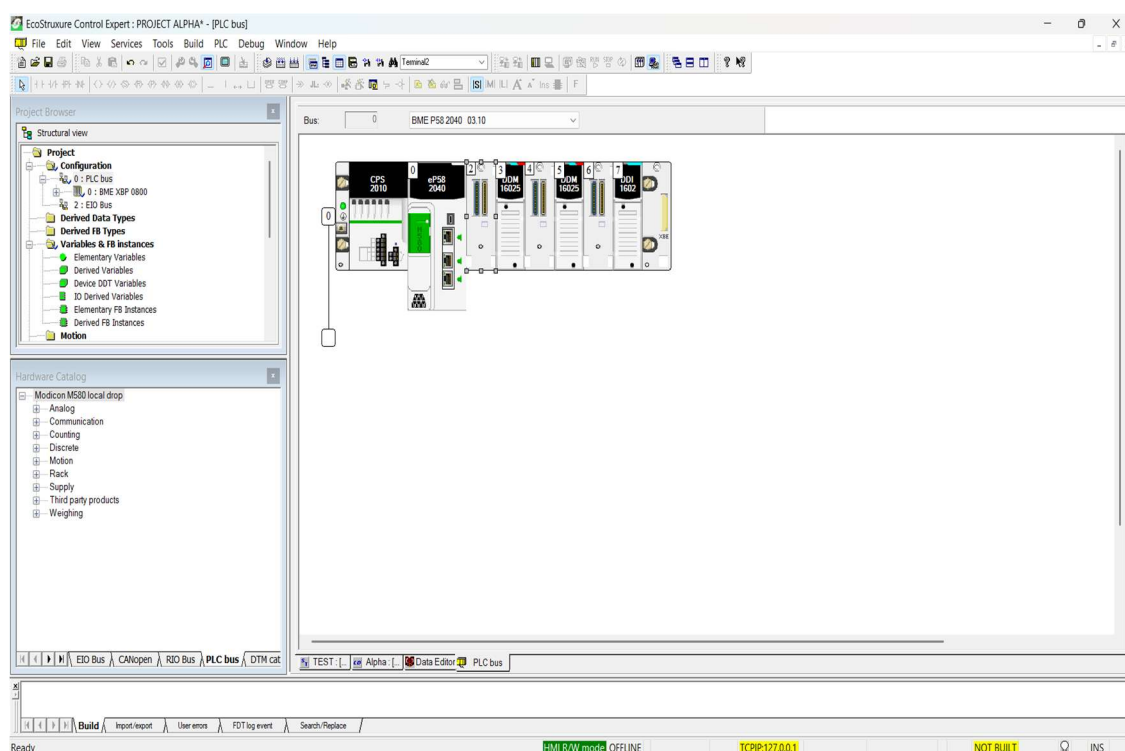


Рисунок 2.3-Головне меню програмного забезпечення

Також у даному програмному забезпеченні налаштовується одночасно апаратне забезпечення для панелі острова. Завдяки цьому є можливість одночасно моніторити параметри апаратного забезпечення як на основній панелі так і на панелі острова. На рисунку 2.4 показано меню налаштування апаратного забезпечення для панелі острова рисунок 2.2

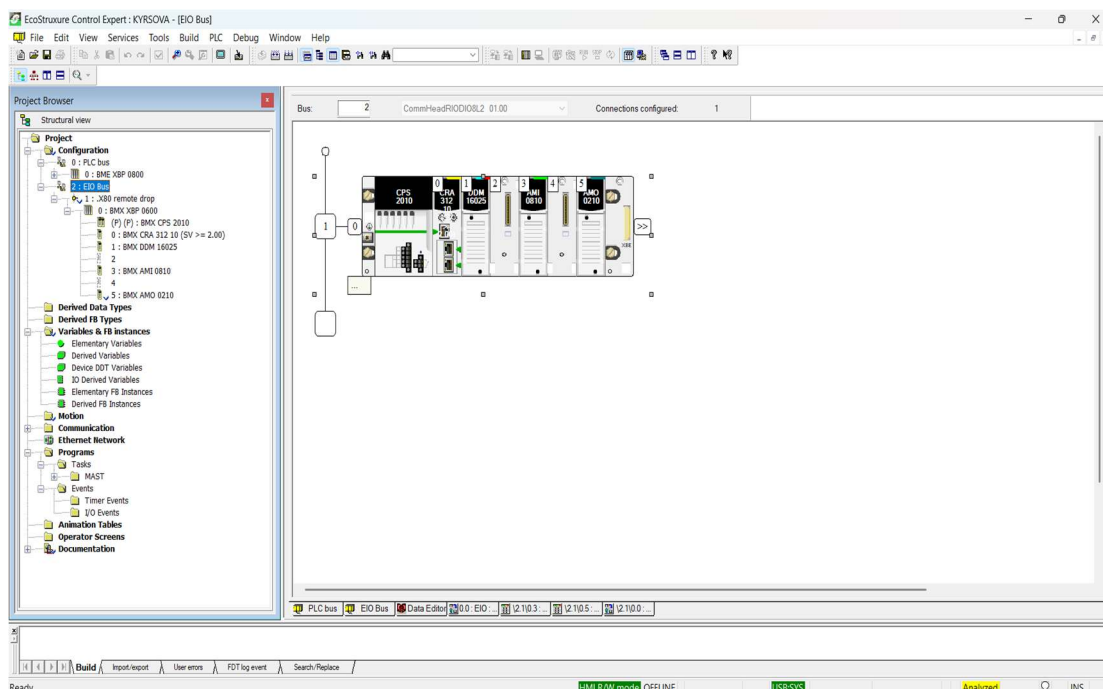


Рисунок 2.4-Налаштування апаратного забезпечення для панелі острова

У складі лабораторного стенда використовується віддалений острів вводу-виводу, який призначений для підключення теплового та освітлювального об'єктів. Основним елементом острова є адаптер ВМЕСРА31210, що забезпечує обмін даними між модулями вводу-виводу та контролером Modicon M580 через мережу Ethernet.

До віддаленого острова підключено модулі аналогового вводу та виводу. Модуль ВМХАМІ0810 використовується для приймання сигналів від датчиків температури та освітленості, а модуль ВМХАМО0210 — для формування керуючих сигналів на тепловий і освітлювальний об'єкти. У середовищі Control Expert віддалений острів налаштовується як частина апаратної конфігурації системи, що дозволяє виконувати моніторинг і керування його каналами з одного проєкту.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

2.3 Налагодження та тестування роботи вузлів з реальними об'єктами

2.3.1 Налагодження роботи лінійної платформи повзункового типу

Для перевірки справної роботи платформи повзункового типу було розроблено тестову програму з використанням кінцевих вимикачів і датчиків індуктивного типу у додатку А наведено фрагменти програми. На рисунку 2.5 наведені елементарні зміни які були задіяні у тестовій програмі для лінійної платформи. Також на рисунку 2.6 наведені зміни які адресовані на канали дискретного модуля виводу для передачі сигналу. А на рисунку 2.7 наведені зміни які адресовані на канали дискретного модуля вводу які приймають сигнали з кінцевих вимикачів і індуктивних датчиків що забезпечує правильну роботу тестової програми.

Variables DDT Types Function Blocks DFB Types									
Filter									
Name	Type	Value	Comment	Alias	Alias of	Address	HMI variable	R/W Rights of Referenced Variable	Data Protect
B1	BOOL	FALSE							
B2	BOOL	FALSE							
B3	BOOL	FALSE							
B4	BOOL	FALSE							
B5	BOOL	FALSE							
Indyk1	BOOL								
Indyk2	BOOL								
Left	BOOL								
MoveLeft	BOOL	FALSE							
rele1	EBOOL				PLC0_d0_r0_s5_...				
rele2	EBOOL				PLC0_d0_r0_s5_...				
rele3	EBOOL				PLC0_d0_r0_s5_...				
rele4	EBOOL				PLC0_d0_r0_s5_...				
rele5	EBOOL				PLC0_d0_r0_s5_...				
rele7	EBOOL				PLC0_d0_r0_s5_...				
Right	BOOL								
Start	BOOL								
State	INT	0							
Terminal1	BOOL								
Terminal2	BOOL								
Terminal3	BOOL								
Terminal4	BOOL								

Рисунок 2.5- Елементарні зміни тестової програми для лінійної платформи

rele1	EBOOL				PLC0_d0_r0_s5_...
rele2	EBOOL				PLC0_d0_r0_s5_...
rele3	EBOOL				PLC0_d0_r0_s5_...
rele4	EBOOL				PLC0_d0_r0_s5_...
rele5	EBOOL				PLC0_d0_r0_s5_...
rele7	EBOOL				PLC0_d0_r0_s5_...

Рисунок 2.6-Зміни які адресовані на модуль дискретного виводу

Terminal1	BOOL				PLC0_d0_r0_s7_...
Terminal2	BOOL				PLC0_d0_r0_s7_...
Terminal3	BOOL				PLC0_d0_r0_s7_...
Terminal4	BOOL				PLC0_d0_r0_s7_...
Indyk1	BOOL				PLC0_d0_r0_s7_...
Indyk2	BOOL				PLC0_d0_r0_s7_...

Рисунок 2.7-Зміні які адресовані на модуль дискретного вводу

Перед запуском тестової програми лінійна платформа була протестована у ручному режимі за допомогою ручної панелі керування. Тестування було успішним повзунок рухався у напрямку у якому була натиснута кнопка а світлові індикатори свідчили про справність кінцевих вимикачів. Індуктивні датчики також працюють успішно інтегровані світлові індикатори на них свідчать про це.

Тестовий код був розроблений двома мовами програмування ST і LD. Це дозволяє розбивати складний і великий процес на окремі частини, що запобігає перевантаженню програми, спрощує пошук помилок та підвищує зручність налагодження.

Тестовий код на мові ST був розроблений для перевірки роботи лінійної платформи повзункового типу. Алгоритм реалізовано у вигляді автомата станів (State Machine), що забезпечує послідовне переміщення повзунка між контрольними точками з використанням кінцевих та індуктивних датчиків. Під час роботи виконується керування світлосигнальною колоною та контроль часових затримок на кожній позиції. Загальний вигляд програми наведено на рисунку 2.8. Далі наведені фрагменти коду.

```

CASE State OF
(* ===== *)
(* ===== ОЧІКУВАННЯ START ===== *)
(* ===== *)
0:
    Right := FALSE;
    Left  := FALSE;

    rele1 := FALSE;
    rele2 := FALSE;
    rele3 := FALSE;
    rele7 := FALSE;

    tDelay(IN := FALSE);

    B1 := FALSE; B2 := FALSE; B3 := FALSE; B4 := FALSE; B5 := FALSE;
    MoveLeft := FALSE;

    IF Start THEN
        State := 10;
    END_IF;

```

Рисунок 2.8 – Ініціалізація алгоритму керування.

На даному фрагменті реалізовано початковий стан алгоритму. Виконується скидання всіх вихідних сигналів, таймера та елементарних змінних. Після натискання кнопки Start відбувається перехід до першого етапу руху платформи.

```

10: (* Terminal2 *)
    Right := TRUE;
    IF Terminal2 AND NOT B1 THEN
        B1 := TRUE;
        Right := FALSE;
        tDelay(IN := TRUE, PT := T#10s);
        State := 11;
    END_IF;

```

Рисунок 2.9 – Рух платформи до першої контрольної точки.

Даний фрагмент забезпечує рух повзунка вправо до спрацювання датчика Terminal2. Після його активації рух зупиняється, запускається таймер затримки та формується сигнал світлової індикації. Після завершення затримки платформа продовжує рух до наступної контрольної точки.

```

32: IF NOT Terminal3 THEN State := 40; END_IF;

40: (* Indyk2 *)
Right := TRUE;
IF Indyk2 AND NOT B4 THEN
    B4 := TRUE;
    Right := FALSE;
    tDelay(IN := TRUE, PT := T#10s);
    State := 41;
END_IF;

41:
rele1 := TRUE;
tDelay(IN := TRUE);
IF tDelay.Q THEN
    rele1 := FALSE;
    tDelay(IN := FALSE);
    Right := TRUE;
    State := 42;
END_IF;

42: IF NOT Indyk2 THEN State := 50; END_IF;

20: (* Indyk1 *)
Right := TRUE;
IF Indyk1 AND NOT B2 THEN
    B2 := TRUE;
    Right := FALSE;
    tDelay(IN := TRUE, PT := T#10s);
    State := 21;
END_IF;

21:
rele1 := TRUE;
tDelay(IN := TRUE);
IF tDelay.Q THEN
    rele1 := FALSE;
    tDelay(IN := FALSE);
    Right := TRUE;
    State := 22;
END_IF;

22: IF NOT Indyk1 THEN State := 30; END_IF;

30: (* Terminal3 *)
Right := TRUE;
IF Terminal3 AND NOT B3 THEN
    B3 := TRUE;
    Right := FALSE;
    tDelay(IN := TRUE, PT := T#10s);
    State := 31;
END_IF;

31:
rele2 := TRUE;
tDelay(IN := TRUE);
IF tDelay.Q THEN
    rele2 := FALSE;
    tDelay(IN := FALSE);
    Right := TRUE;
    State := 32;
END_IF;

```

Рисунок 2.10-Обробка проміжних датчиків.

У цьому фрагменті реалізовано послідовне проходження проміжних датчиків Indyk1, Terminal3 та Indyk2. При спрацюванні кожного датчика рух тимчасово зупиняється на заданий інтервал часу, після чого система переходить до наступного етапу. Одночасно здійснюється керування світлосигнальною колоною для індикації поточного стану системи.

```

50: (* Terminal4 *)
Right := TRUE;
IF Terminal4 AND NOT B5 THEN
    B5 := TRUE;
    Right := FALSE;
    tDelay(IN := TRUE, PT := T#30s);
    State := 51;
END_IF;

51:
rele3 := TRUE;
rele7 := TRUE;
tDelay(IN := TRUE);
IF tDelay.Q THEN
    rele3 := FALSE;
    rele7 := FALSE;
    tDelay(IN := FALSE);

    (* СКИДАМО БЛОКУВАННЯ ПЕРЕД РУХОМ НАЗАД *)
    B1 := FALSE;
    B2 := FALSE;
    B3 := FALSE;
    B4 := FALSE;
    B5 := FALSE;

    Right := FALSE;
    Left := TRUE;
    MoveLeft := TRUE;

    State := 60;
END_IF;

```

Рисунок 2.11-Досягнення крайнього правого положення

Даний фрагмент відповідає за обробку крайнього правого положення платформи. Після спрацювання датчика Terminal4 виконується тривала затримка, активується відповідна світлова індикація та здійснюється підготовка системи до руху у зворотному напрямку.

```
60: (* Indyk2 *)
    Left := TRUE;
    IF Indyk2 AND NOT B4 THEN
        B4 := TRUE;
        Left := FALSE;
        tDelay(IN := TRUE, PT := T#10s);
        State := 61;
    END_IF;
```

Рисунок 2.12-Алгоритм руху у зворотному напрямку

Після завершення руху вправо система переходить до режиму повернення. Повзунок рухається вліво через ті самі контрольні точки. Для кожного датчика передбачено зупинку, затримку та відповідну світлову індикацію, що дозволяє перевірити коректність роботи алгоритму в обох напрямках.

```
100: (* Terminal1 - ФІНАЛ *)
    Left := TRUE;
    IF Terminal1 THEN
        Left := FALSE;
        tDelay(IN := TRUE, PT := T#10s);
        State := 101;
    END_IF;

101: (* ПОВНИЙ RESET *)
    tDelay(IN := TRUE);
    IF tDelay.Q THEN
        tDelay(IN := FALSE);
        State := 0;
    END_IF;

END_CASE;
```

Рисунок 2.13-Завершення циклу роботи та скидання системи

Після досягнення початкового положення, яке контролюється датчиком Terminal1, рух платформи припиняється. Після завершення фінальної затримки

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

виконується повне скидання алгоритму та повернення до початкового стану очікування нового циклу роботи.

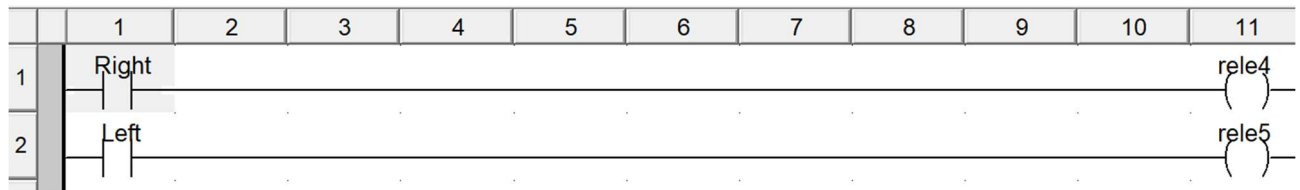


Рисунок 2.14-Логіка керування виконавчими реле руху платформи

На даному фрагменті програми реалізовано керування напрямком руху лінійної платформи. При активації змінної Right формується сигнал на вихід rele4, який забезпечує рух повзунка вправо. Аналогічно, при активації змінної Left формується сигнал на вихід rele5, що відповідає за рух платформи вліво. Такий підхід дозволяє розділити логіку прийняття рішень, реалізовану мовою ST, та безпосереднє керування виконавчими механізмами, реалізоване мовою LD. Це спрощує структуру програми, підвищує її наочність та полегшує процес налагодження.

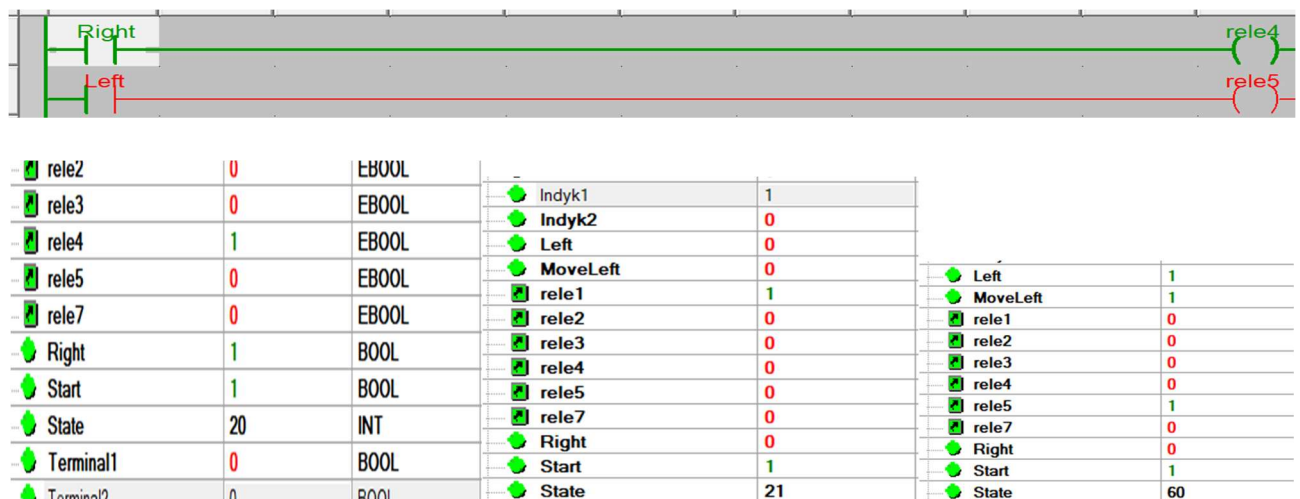


Рисунок 2.15- Результати налагодження і тестування платформи повзункового типу

Результати рисунок підтвердили коректну роботу датчиків, виконавчих механізмів та світлової індикації на всіх етапах руху платформи.

2.3.2 Налагодження роботи теплового та освітлювального об'єкта на острові

Перед налагодженням теплового та освітлювального об'єктів було перевірено працездатність віддаленого острова вводу-виводу. Під час перевірки контролювалась наявність зв'язку між контролером Modicon M580, адаптером ВМЕСРА31210 та аналоговими модулями, встановленими на острові.

За допомогою Animation Table було виконано моніторинг аналогових входів і виходів. Це дозволило перевірити правильність надходження сигналів від датчиків температури та освітленості, а також формування керуючого сигналу на аналоговому виході.

Для налагодження теплового та освітлювального об'єкта використовувався інструмент Animation Table середовища Control Expert. За його допомогою здійснювався моніторинг аналогових входів і виходів системи, контроль роботи датчиків та перевірка коректності передавання сигналів між контролером і віддаленим островом вводу-виводу.

EIO2_d1_r0_s5_AMO0210		T_U_ANA_STD_...	
EIO2_d1_r0_s5_AMO0...	1	BOOL	Module health
EIO2_d1_r0_s5_AMO0...	0	BYTE	Module faults
EIO2_d1_r0_s5_AMO0...		ARRAY[0..1] OF ...	
EIO2_d1_r0_s5_A...		T_U_ANA_STD_...	
EIO2_d1_r0_s5_A...		T_U_ANA_STD_...	
EIO2_d1_r0_s...	1	WORD	Function type
EIO2_d1_r0_s...	1	BOOL	Channel health
EIO2_d1_r0_s...		T_U_ANA_VALU...	
EIO2_d1_...	10000	INT	Analog output value
EIO2_d...	0	INT	Forced value
EIO2_d...	0	BOOL	Force command
EIO2_d1_...	0	BOOL	Forced state
EIO2_d1_...	10000	INT	Physical value

Рисунок 2.16 – Моніторинг аналогового виходу модуля ВМХАМО0210.

Рисунок 2.16 демонструє моніторинг аналогового виходу модуля ВМХАМО0210. Значення аналогового сигналу становить 10000, що відповідає потужності, яка подавалася на тепловий та освітлювальний об'єкти. Контроль даного параметра дозволяв перевірити правильність формування керуючого впливу та роботу аналогового каналу виводу.

name	value	type	comment
EIO2_d1_r0_s3_AMI0810		T_U_ANA_STD_I...	
EIO2_d1_r0_s3_AMI08...	1	BOOL	Module health
EIO2_d1_r0_s3_AMI08...	0	BYTE	Module faults
EIO2_d1_r0_s3_AMI08...		ARRAY[0..7] OF ...	
EIO2_d1_r0_s3_A...		T_U_ANA_STD_...	
EIO2_d1_r0_s...	1	WORD	Function type
EIO2_d1_r0_s...	1	BOOL	Channel health
EIO2_d1_r0_s...	0	BOOL	Channel warning
EIO2_d1_r0_s...		T_U_ANA_VALU...	
EIO2_d1_...	5046	INT	Analog input value
EIO2_d...	0	INT	Forced value
EIO2_d...	0	BOOL	Force command
EIO2_d1_...	0	BOOL	Forced state
EIO2_d1_...	5046	INT	Physical value
EIO2_d1_r0_s...	0	INT	Measurement status word
EIO2_d1_r0_s...	0	BOOL	Aligned channel
EIO2_d1_r0_s...	0	BOOL	Measurement within lower tolerance zone
EIO2_d1_r0_s...	0	BOOL	Measurement within upper tolerance zone
EIO2_d1_r0_s...	0	BOOL	Internal offset error
EIO2_d1_r0_s...	0	BOOL	Internal reference error
EIO2_d1_r0_s...	0	BOOL	Power supply error
EIO2_d1_r0_s...	0	BOOL	SPI communication error

Рисунок 2.17 – Моніторинг сигналу датчика температури.

Рисунок 2.17 демонструє результати моніторингу датчика температури, підключеного до модуля ВМХАМІ0810. За допомогою Animation Table здійснювався контроль поточного значення аналогового сигналу, який надходив від температурного перетворювача.

EIO2_d1_r0_s3_A...		T_U_ANA_STD_...	
EIO2_d1_r0_s...	1	WORD	Function type
EIO2_d1_r0_s...	1	BOOL	Channel health
EIO2_d1_r0_s...	0	BOOL	Channel warning
EIO2_d1_r0_s...		T_U_ANA_VALU...	
EIO2_d1_...	7713	INT	Analog input value
EIO2_d...	0	INT	Forced value
EIO2_d...	0	BOOL	Force command
EIO2_d1_...	0	BOOL	Forced state
EIO2_d1_...	7713	INT	Physical value

Рисунок 2.18 – Моніторинг сигналу датчика освітленості.

Рисунок 2.18 відображає значення сигналу, отриманого від датчика освітленості через модуль аналогового вводу BMXAMI0810. Під час налагодження контролювалась зміна значення Analog Input Value залежно від рівня освітленості об'єкта, що дозволило підтвердити працездатність вимірювального каналу та правильність підключення датчика.

Після перевірки аналогових входів і виходів було виконано тестування послідовності роботи регулятора та освітлювального об'єкта. Для цього використано тестовий фрагмент програми, у якому після запуску тестового режиму вихід регулятора поступово збільшується від 0 до 10000. Значення 10000 відповідає 100 % вихідної потужності регулятора.

Після досягнення регулятором максимального значення формується дозвіл на роботу освітлювального об'єкта. Далі аналоговий вихід, який відповідає за керування лампою, збільшується до значення 5000. Це дозволило перевірити правильність послідовності роботи алгоритму: спочатку активується регулятор, а після досягнення ним максимального значення вмикається освітлювальний об'єкт.

Контроль роботи тестового алгоритму здійснювався за допомогою Animation Table середовища Control Expert. Під час перевірки контролювалися змінні StartObjTest, ObjTestActive, RegulatorOut, RegulatorAtMax та OsvitSustem. Результати перевірки підтвердили, що після запуску тесту регулятор досягає значення 10000, після чого освітлювальний об'єкт отримує керуючий сигнал 5000. Програмний код тестування та результати моніторингу змінних наведено у додатку А.

Під час проведення налагоджувальних робіт помилок у роботі аналогових каналів вводу та виводу не виявлено. Усі сигнали коректно передавалися між польовими пристроями, модулями вводу-виводу контролером Modicon M580 і віддаленим островом, що підтверджує працездатність створеної системи керування.

Висновки до розділу

У другому розділі виконано монтаж, налагодження та тестування лабораторного стенда з віддаленим островом вводу-виводу. Проведено встановлення та підключення обладнання, налаштовано апаратну конфігурацію контролера Modicon M580 і адаптера ВМЕСРА31210 у середовищі EcoStruxure Control Expert. Для перевірки працездатності системи розроблено тестові алгоритми керування лінійною платформою повзункового типу та виконано налагодження теплового й освітлювального об'єктів. Результати випробувань підтвердили правильність роботи датчиків, виконавчих механізмів, аналогових і дискретних каналів вводу-виводу, а також стабільний обмін даними між усіма вузлами системи. Отримані результати підтверджують працездатність створеного лабораторного стенда та можливість його використання для подальших досліджень систем автоматичного керування.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

3 ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ СИСТЕМИ

3.1 Дослідження та калібрування давачів температури та освітленості

Калібрування давача температури

Для забезпечення коректного вимірювання температури було проведено калібрування давача температури, підключеного до аналогового входу модуля ВМХАМІ0810. Необхідність калібрування зумовлена тим, що сире значення аналогового входу не відображає температуру безпосередньо в градусах Цельсія.

Калібрування виконувалося експериментальним методом. Для цього використовувався зовнішній електронний термометр, який був розміщений біля давача температури. Під час нагрівання об'єкта одночасно фіксувалися покази зовнішнього термометра та сирі значення аналогового входу в середовищі EcoStruxure Control Expert.

Таблиця 3.1 – Експериментальні дані для калібрування давача температури

№ досліду	Сире значення аналогового входу	Температура за зовнішнім термометром, °C
1	4931	26
2	2879	38

Як видно з таблиці 3.1, при збільшенні температури від 26 °C до 38 °C сире значення аналогового входу зменшується з 4931 до 2879. Це свідчить про обернену залежність між температурою та вихідним сигналом вимірювального перетворювача.

Для визначення коефіцієнта масштабування було знайдено зміну температури:

$$\Delta T = 38 - 26 = 12 \text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (3.1)$$

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Далі було визначено зміну сирого значення аналогового входу:

$$\Delta X = 4931 - 2879 = 2052. \quad (3.2)$$

Коефіцієнт масштабування визначався за формулою:

$$k = \frac{\Delta T}{\Delta X}. \quad (3.3)$$

Після підстановки експериментальних значень отримано:

$$k = \frac{12}{2052} \approx 0.0059. \quad (3.4)$$

Оскільки характеристика вимірювального каналу є оберненою, для перерахунку сирого значення аналогового входу в температуру використано формулу:

$$T = 26 + (4931 - X) \times 0.0059, \quad (3.5)$$

де:

T – відкаліброване значення температури, °C;

X – поточне сире значення аналогового входу модуля ВМХАМІ0810;

4931 – сире значення аналогового входу, яке відповідає температурі 26 °C;

0,0059 – коефіцієнт масштабування.

Програмна реалізація калібрування виконана у середовищі EcoStruxure Control Expert мовою FBD.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

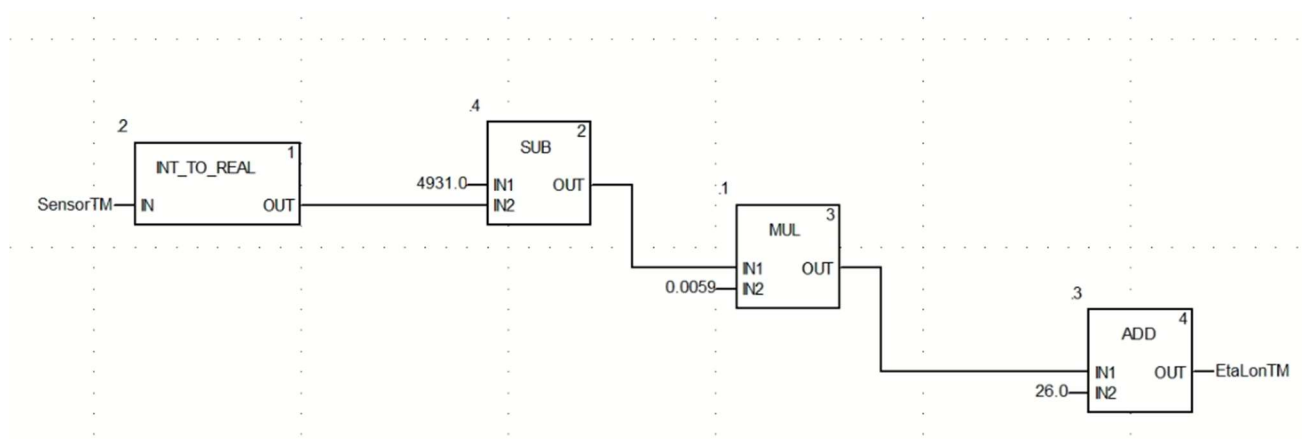


Рисунок 3.1 – Програма калібрування давача температури

На рисунку 3.1 наведено програмну реалізацію калібрування давача температури. Спочатку сире значення аналогового входу перетворюється у формат REAL за допомогою блока INT_TO_REAL. Це необхідно для виконання математичних операцій з дробовими значеннями.

Далі за допомогою блока SUB виконується віднімання поточного сирого значення аналогового входу від опорного значення 4931. Це враховує обернену характеристику вимірювального каналу, оскільки при збільшенні температури сире значення зменшується.

Після цього результат надходить на блок MUL, де множиться на коефіцієнт масштабування 0,0059. Даний коефіцієнт був визначений експериментально на основі показів зовнішнього електронного термометра.

На завершальному етапі блок ADD додає базове значення температури 26 °C. У результаті формується відкаліброване значення температури, яке записується у змінну EtaLonTM та використовується для подальшого відображення і дослідження теплового об'єкта.

Таким чином, виконане калібрування дозволило перетворити сире значення аналогового входу у фізичну величину температури та забезпечити коректне використання давача температури в системі керування.

Калібрування давача освітленості

Для забезпечення коректного вимірювання освітленості було проведено калібрування давача освітленості, підключеного до аналогового входу модуля ВМХАМІ0810. Калібрування виконувалося експериментальним методом із використанням зовнішнього люксометра, який застосовувався як еталонний вимірювальний прилад.

Під час проведення дослідження фіксувалися покази люксометра та відповідні сирі значення аналогового входу в середовищі EcoStruxure Control Expert. Вимірювання проводилися у двох режимах: при кімнатному освітленні та при максимальному освітленні від лампи.

Таблиця 3.2 – Експериментальні дані для калібрування давача освітленості

№ досліду	Значення аналогового входу	Освітленість за люксометром, лк	Примітка
1	3185	7200	Кімнатне освітлення
2	6695	49100	Максимальне освітлення від ламп

Як видно з таблиці 3.2, при збільшенні рівня освітленості сире значення аналогового входу також збільшується. Отже, вимірювальний канал освітленості має пряму характеристику.

Для визначення коефіцієнта масштабування було знайдено зміну освітленості:

$$\Delta E = 49100 - 7200 = 41900 \text{ лк.} \quad (3.6)$$

Далі було визначено діапазон зміни сирого значення аналогового входу:

$$\Delta X = 6695 - 3185 = 3510. \quad (3.7)$$

Коефіцієнт масштабування визначався за формулою:

$$k = \frac{\Delta E}{\Delta X}. \quad (3.8)$$

Після підстановки експериментальних значень отримано:

$$k = \frac{41900}{3510} = 11.94. \quad (3.9)$$

Оскільки характеристика вимірювального каналу є прямою, для перерахунку сирого значення аналогового входу в освітленість використано формулу:

$$E = 7200 + (X - 3185) \times 11.94. \quad (3.10)$$

де:

E – відкаліброване значення освітленості, лк;

X – поточне сире значення аналогового входу модуля ВМХАМІ0810;

3185 – сире значення аналогового входу

7200 – значення освітленості при кімнатному освітленні

11,94 – коефіцієнт масштабування.

Програмна реалізація калібрування виконана у середовищі EcoStruxure Control Expert мовою FBD.

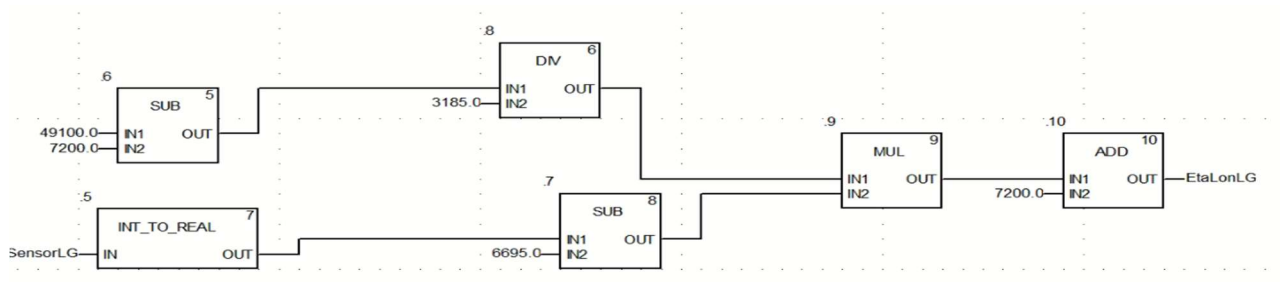


Рисунок 3.2 – Програма калібрування датчика освітленості

На рисунку 3.2 наведено програмну реалізацію калібрування датчика освітленості. Спочатку сире значення аналогового входу перетворюється зі змінної типу INT у формат REAL за допомогою функціонального блока INT_TO_REAL. Це необхідно для виконання подальших математичних операцій з дробовими значеннями.

У верхній частині програми за допомогою блока SUB визначається діапазон зміни освітленості за показами люксометра. Для цього від максимального значення 49100 лк віднімається мінімальне значення 7200 лк. Отриманий результат становить 41900 лк.

Далі за допомогою блока DIV виконується ділення діапазону освітленості на діапазон зміни сирого сигналу аналогового входу. Таким чином визначається коефіцієнт масштабування, який становить 11,94.

У нижній частині програми поточне сире значення давача освітленості порівнюється з мінімальним значенням 3185. Для цього за допомогою блока SUB визначається різниця між поточним значенням аналогового входу та мінімальним опорним значенням.

Після цього отримана різниця надходить на блок MUL, де множиться на коефіцієнт масштабування 11,94. На завершальному етапі блок ADD додає мінімальне значення освітленості 7200 лк. У результаті формується відкаліброване значення освітленості, яке записується у відповідну змінну та використовується для подальшого дослідження освітлювального об'єкта.

Таким чином, виконане калібрування дозволило перетворити сире значення аналогового входу у фізичну величину освітленості в люксах та забезпечити коректне використання давача освітленості в системі керування.

3.2 Ідентифікація та моделювання каналу регулювання температури

Для побудови ефективної системи автоматичного керування температурою необхідно отримати математичну модель теплового об'єкта. Математична модель дозволяє описати динамічні властивості об'єкта, оцінити його інерційність та використати отримані результати для подальшого синтезу регулятора.

У даній роботі об'єктом дослідження є тепловий об'єкт лабораторного стенда, керування яким здійснюється за допомогою аналогового виходу модуля ВМХАМО0210 контролера Modicon M580. Вимірювання температури

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

виконується датчиком температури, сигнал якого надходить на аналоговий вхід модуля ВМХАМІ0810. Після попереднього калібрування сигналу отримане значення температури використовується як вихідна координата об'єкта керування.

Ідентифікація каналу регулювання температури виконувалася експериментальним методом. На нагрівальний елемент подавався керуючий вплив, після чого фіксувалася зміна температури об'єкта в часі. Реєстрація температури здійснювалася автоматично у середовищі EcoStruxure Control Expert шляхом запису значень у масив TempLog. Отримані експериментальні дані були використані для побудови перехідної характеристики та подальшого визначення передавальної функції об'єкта у середовищі MATLAB System Identification Toolbox

3.2.1 Експериментальне дослідження теплового об'єкта

Для визначення динамічних характеристик теплового об'єкта було проведено експериментальне дослідження його реакції на керуючий вплив. Під час експерименту на нагрівальний елемент подавався постійний сигнал керування, внаслідок чого відбувався поступовий нагрів об'єкта.

З метою автоматизації збору експериментальних даних у середовищі EcoStruxure Control Expert було реалізовано програму реєстрації температури. Значення температури зберігалися у масив TempLog через кожні 30 секунд. Після накопичення 21 значення запис автоматично припинявся, що дозволило отримати масив даних для подальшої обробки та аналізу.

На рисунку 3.3 наведено результати реєстрації температури під час експерименту.

TempLog		ARRAY[0..20] OF ...
TempLog[0]	73.476	REAL
TempLog[1]	73.411	REAL
TempLog[2]	73.203	REAL
TempLog[3]	72.995	REAL
TempLog[4]	72.696	REAL
TempLog[5]	72.28	REAL
TempLog[6]	71.76	REAL
TempLog[7]	71.162	REAL
TempLog[8]	70.304	REAL
TempLog[9]	68.952	REAL
TempLog[10]	67.34	REAL
TempLog[11]	65.234	REAL
TempLog[12]	62.582	REAL
TempLog[13]	59.345	REAL
TempLog[14]	55.523	REAL
TempLog[15]	50.999	REAL
TempLog[16]	45.942	REAL
TempLog[17]	40.352	REAL
TempLog[18]	34.788	REAL
TempLog[19]	30.251	REAL
TempLog[20]	27.638	REAL

Рисунок 3.3 – Масив експериментальних даних TempLog у середовищі EcoStruxure Control Expert

Отримані дані характеризують процес нагрівання теплового об'єкта та відображають його інерційні властивості. Як видно з експериментальних результатів, температура поступово зростає від початкового значення 27.6 °C до усталеного значення близько 73.5 °C. Такий характер зміни температури є типовим для теплових об'єктів і свідчить про відсутність коливань та стійкість процесу нагрівання.

3.2.2 Імпорт експериментальних даних до середовища MATLAB

Після завершення експериментальних досліджень та отримання масиву значень температури було виконано підготовку даних для подальшої математичної обробки. Для цього використовувався пакет System Identification Toolbox середовища MATLAB, який призначений для побудови математичних моделей об'єктів керування на основі експериментальних даних.

На першому етапі виконувалося завантаження результатів експерименту до середовища MATLAB. Під час імпорту було сформовано набір даних типу `iddata`, який містив значення вхідного та вихідного сигналів об'єкта. Як вихідний сигнал використовувалась температура теплового об'єкта, а часовий інтервал дискретизації становив 30 секунд, що відповідає умовам проведення експерименту.

Результати налаштування параметрів імпорту даних наведені на рисунку 3.8.

The image shows the 'Import Data' window in MATLAB. It has three main sections: 'Data Format for Signals' with a dropdown menu currently showing 'Time Domain Signals'; 'Workspace Variable' with input and output fields set to 'x' and 'y' respectively; and 'Data Information' with fields for 'Data Name' (mydata), 'Start Time' (0), and 'Sample time' (30). At the bottom, there are four buttons: 'Import', 'Reset', 'Close', and 'Help'.

Рисунок 3.4 – Імпорт експериментальних даних до середовища MATLAB

Після завершення імпорту даних було сформовано інформаційну модель експерименту, яка надалі використовувалася для визначення передавальної функції теплового об'єкта.

3.2.3 Визначення математичної моделі теплового об'єкта

Для побудови математичної моделі об'єкта було використано два підходи параметричної ідентифікації: метод оцінювання передавальної функції TFEST та метод Process Models.

На першому етапі було виконано пошук математичної моделі за допомогою алгоритму TFEST. Під час налаштування задавалася структура моделі з двома полюсами та двома нулями.

Результати налаштування параметрів алгоритму наведені на рисунку 3.9.

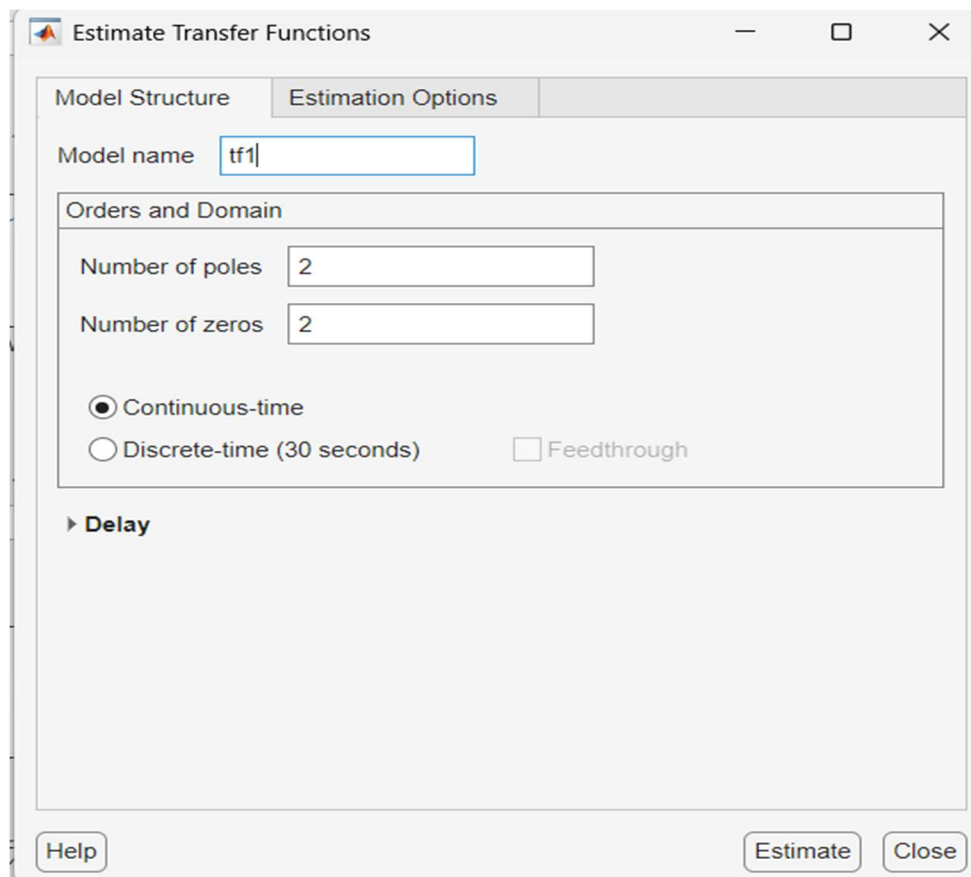


Рисунок 3.5 – Налаштування параметрів моделі TFEST

У результаті роботи алгоритму була отримана модель tf3, яка забезпечила високий ступінь відповідності експериментальним даним.

Результати ідентифікації наведені на рисунку 3.10.

Data/model Info: tf3

Model name:

Color:

Number of poles: 2 Number of zeros: 2
 Number of free coefficients: 5
 Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
 Estimated using TFEST on time domain data "mydata".
 Fit to estimation data: 98.83% (stability enforced)
 FPE: 0.06301, MSE: 0.03151

Diary and Notes

```
% Details about Estimation Data
% Import    mydata

% Transfer function estimation
Options = tfestOptions;
Options.Display = 'on';
Options.EnforceStability = true;

tf3 = tfest(mydata, 2, 2, Options)
```

Рисунок 3.6 – Параметри математичної моделі tf3

Для отриманої моделі було досягнуто показника відповідності експериментальним даним:

Fit = 98.83 %

Отриманий результат свідчить про високу точність апроксимації експериментальної характеристики теплового об'єкта.

Паралельно було виконано ідентифікацію методом Process Models. Для опису теплового об'єкта використовувалась структура P2Z, яка містить два полюси та один нуль.

Параметри моделі наведені на рисунку 3.11.

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	☐	0.18736	Auto	[-Inf Inf]
Tp1	☐	101.9523	Auto	[0 179298.61]
Tp2	☐	93.3664	Auto	[0 65246.540]
Tp3	☐	0	0	[0 Inf]
Tz	☐	12.4312	Auto	[-Inf Inf]
Td	☐	0	0	[0 Inf]

Рисунок 3.7 – Параметри моделі типу P2Z

У результаті ідентифікації отримано такі параметри:

1. $K_p = 0.18736$;
2. $T_{p1} = 101.95$ с;
3. $T_{p2} = 93.366$ с;
4. $T_z = 12.431$ с.

Ступінь відповідності моделі наведений на рисунку 3.12 експериментальним даним становив 96.97 %, що також свідчить про достатню точність отриманої моделі.

```

{'P2Z'}
Number of free coefficients: 4
Use "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
Estimated using PROCEST on time domain data "mydata".
Fit to estimation data: 96.97%
FPE: 0.3771, MSE: 0.2095

```

Рисунок 3.8-Ступінь відповідності моделі

3.2.4 Порівняння результатів ідентифікації та вибір структури моделі

Для вибору найбільш придатної математичної моделі було виконано порівняльний аналіз результатів ідентифікації.

Результати порівняння моделей tf3 та P2Z наведені на рисунку 3.13

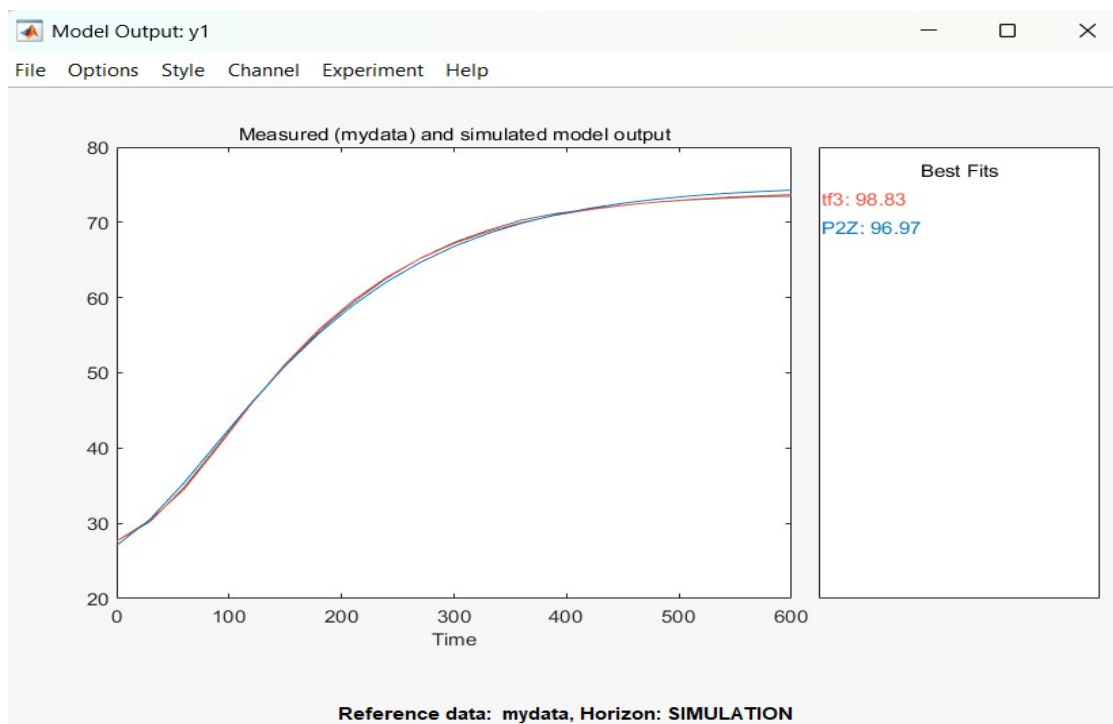


Рисунок 3.9 – Порівняння моделей tf3 та P2Z

Аналіз отриманих результатів показав, що модель tf3 забезпечує вищий показник відповідності експериментальним даним (98.83 %), тоді як модель P2Z забезпечує відповідність на рівні 96.97 %.

Незважаючи на дещо менше значення показника Fit, для подальшого синтезу системи автоматичного регулювання було обрано модель P2Z. Такий вибір обумовлений тим, що структура моделі дозволяє представити об'єкт через коефіцієнт підсилення та сталі часу, які мають фізичний зміст і значно спрощують аналіз системи та налаштування регуляторів.

3.2.5 Перетворення моделі до канонічного вигляду

Після проведення процедури ідентифікації теплового об'єкта та аналізу отриманих результатів для подальших досліджень було обрано модель типу P2Z. Вибір саме цієї структури зумовлений тим, що вона забезпечує достатньо високу точність опису динамічних властивостей об'єкта та дозволяє представити його поведінку через фізично зрозумілі параметри, а саме коефіцієнт підсилення та сталі часу.

Отримана математична модель може використовуватись для аналізу роботи системи автоматичного регулювання температури, проте для її реалізації у середовищі MATLAB Simulink необхідно виконати перетворення до канонічного вигляду. Таке представлення дозволяє безпосередньо використовувати модель у стандартному блоці **Transfer Fcn**, який задається коефіцієнтами чисельника та знаменника передавальної функції.

У результаті ідентифікації методом Process Models були визначені наступні параметри моделі:

1. коефіцієнт підсилення об'єкта $K_p = 0.18736$;
2. перша стала часу $T_{p1} = 101.95 \text{ c}$;
3. друга стала часу $T_{p2} = 93.366 \text{ c}$;
4. стала часу нуля $T_z = 12.431 \text{ c}$.

Загальний вигляд моделі типу P2Z описується таким співвідношенням:

$$G(s) = K_p \frac{1 + T_z s}{(1 + T_{p1} s)(1 + T_{p2} s)}. \quad (3.11)$$

Підставляючи отримані під час ідентифікації параметри до рівняння (3.11), одержимо передавальну функцію теплового об'єкта:

$$G(s) = 0.18736 \times \frac{1 + 12.431s}{(1 + 101.95s)(1 + 93.366s)}. \quad (3.12)$$

Для подальшої реалізації моделі необхідно привести чисельник та знаменник до поліноміального вигляду. Спочатку виконаємо перетворення

чисельника передавальної функції. Для цього коефіцієнт підсилення множиться на вираз у дужках.

$$0.18736(1 + 12.431s). \quad (3.13)$$

Після виконання множення отримаємо:

$$0.18736 + 2.3291s. \quad (3.14)$$

або після впорядкування членів:

$$2.3291s + 0.1873. \quad (3.15)$$

Далі виконується розкриття дужок у знаменнику передавальної функції. Оскільки знаменник містить добуток двох аперіодичних ланок першого порядку, необхідно виконати множення відповідних поліномів.

$$(1 + 101.95s)(1 + 93.366s). \quad (3.16)$$

Після розкриття дужок отримаємо:

$$1 + 93.366s + 101.95s + (101.95 \times 93.366)s^2. \quad (3.17)$$

Після виконання множення та приведення подібних членів знаменник набуде вигляду:

$$1 + 195.316s + 9518.6637s^2. \quad (3.18)$$

Після впорядкування членів за спаданням степенів змінної s остаточно одержимо:

$$9518.6637s^2 + 195.316s + 1. \quad (3.19)$$

Таким чином, канонічний вигляд передавальної функції теплового об'єкта має вигляд:

$$G(s) = \frac{2.3291s + 0.18736}{9518.6637s^2 + 195.316s + 1}. \quad (3.20)$$

Отримана передавальна функція повністю описує динамічні властивості досліджуваного теплового об'єкта та може бути безпосередньо використана для

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

побудови математичної моделі в середовищі MATLAB Simulink. Для цього коефіцієнти чисельника та знаменника були внесені до блоку Transfer Fcn, після чого було сформовано структурну схему об'єкта керування.

Перевагою такого представлення є можливість подальшого синтезу регуляторів, дослідження стійкості системи, аналізу перехідних процесів та оцінювання показників якості автоматичного регулювання. Саме отримана передавальна функція була використана на наступному етапі роботи для налаштування ПІ та ПІД-регуляторів і дослідження їх впливу на динаміку системи керування температурою.

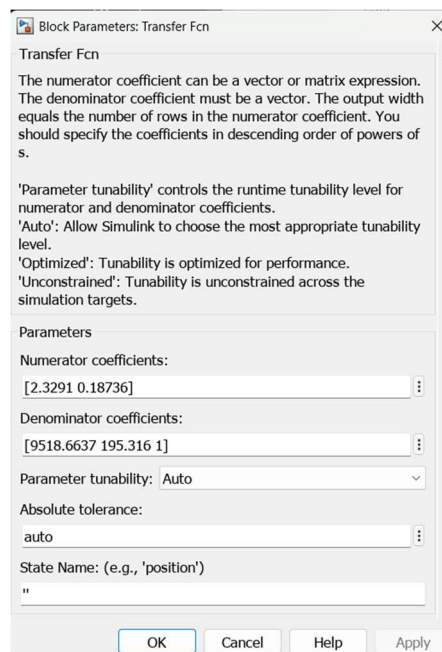


Рисунок 3.10 – Реалізація математичної моделі теплового об'єкта у блоці Transfer Fcn середовища MATLAB Simulink

3.3 Синтез та дослідження системи автоматичного регулювання температури

Після проведення ідентифікації теплового об'єкта та отримання його математичної моделі було виконано синтез системи автоматичного регулювання температури. Основною метою даного етапу є вибір і налаштування регулятора,

який забезпечує стійку роботу системи, плавне наближення вихідної величини до заданого значення, мінімальне перерегулювання та прийнятний час перехідного процесу.

Дослідження системи автоматичного регулювання виконувалося у середовищі MATLAB Simulink. Отримана у попередньому підрозділі передавальна функція теплового об'єкта була реалізована за допомогою блоку Transfer Fcn. На основі цієї моделі було побудовано замкнену систему автоматичного регулювання температури з одиничним зворотним зв'язком.

Передавальна функція теплового об'єкта, яка використовувалася під час синтезу регуляторів, має вигляд:

$$G(s) = \frac{2.3291s + 0.18736}{9518.6637s^2 + 195.316s + 1}, \quad (3.21)$$

Де $G(s)$ - передавальна функція теплового об'єкта;

s —оператор Лапласа.

Замкнена система автоматичного регулювання температури складається із задавального сигналу, суматора, регулятора, математичної моделі об'єкта керування та каналу зворотного зв'язку. Задавальний сигнал визначає необхідне значення температури, а сигнал зворотного зв'язку відповідає поточному значенню вихідної величини. Різниця між заданим і фактичним значенням формує похибку регулювання, яка подається на вхід регулятора.

Похибка регулювання визначається за виразом:

$$e(t) = r(t) - y(t), \quad (3.22)$$

де $e(t)$ — похибка регулювання;

$r(t)$ — задане значення температури;

$y(t)$ — поточне значення температури на виході об'єкта.

Для замкненої системи з одиничним зворотним зв'язком передавальна функція має вигляд:

$$W(s) = \frac{C(s) \times G(s)}{1 + C(s) \times G(s)}, \quad (3.23)$$

де $W(s)$ – передавальна функція замкненої системи;

$C(s)$ – передавальна функція регулятора;

$G(s)$ – передавальна функція об'єкта керування.

Реалізацію замкненої системи автоматичного регулювання температури з ПІ-регулятором у середовищі MATLAB Simulink наведено на рисунку 3.15.

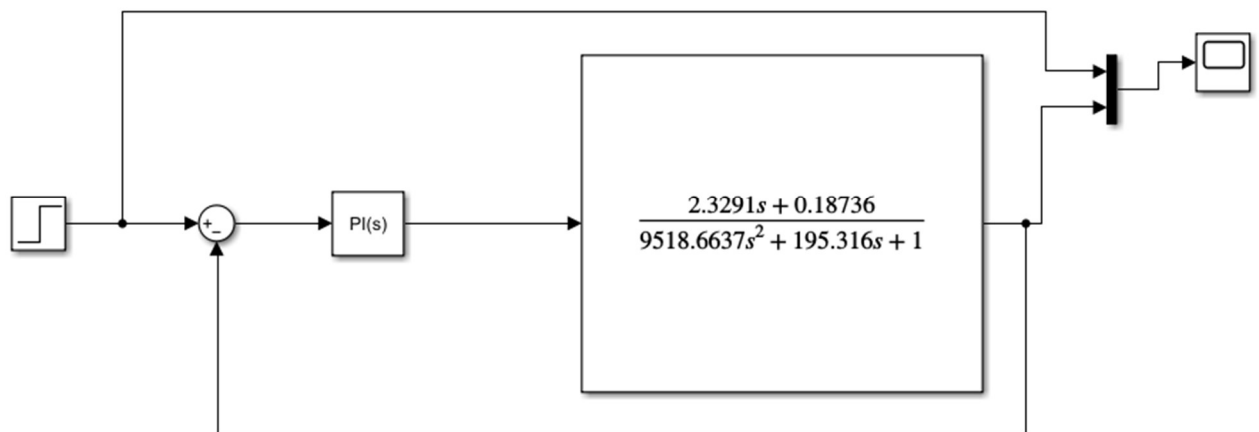


Рисунок 3.11 – Структурна схема замкненої системи автоматичного регулювання температури з ПІ-регулятором у середовищі MATLAB Simulink

На першому етапі було виконано синтез ПІ-регулятора. Використання ПІ-регулятора є доцільним для теплових об'єктів, оскільки такі об'єкти мають значну інерційність і не потребують різких змін керуючого впливу. Пропорційна складова забезпечує реакцію системи на поточне значення похибки, а інтегральна складова дозволяє усунути статичну похибку регулювання.

Закон керування ПІ-регулятора у часовій області має вигляд:

$$u(t) = P \times e(t) + I \times \int e(t)dt, \quad (3.24)$$

де $u(t)$ – керуючий сигнал регулятора;

P – коефіцієнт пропорційної складової;

I – коефіцієнт інтегральної складової;

$e(t)$ — похибка регулювання.

У передавальній формі ПІ-регулятор записується так:

$$C_{PI}(s) = P + \frac{I}{s}. \quad (3.25)$$

У результаті автоматичного налаштування були отримані такі параметри ПІ-регулятора: $P = 2.1213, I = 0.019494$. Після підстановки цих значень отримаємо передавальну функцію ПІ-регулятора:

$$C_{PI}(s) = 2.1213 + \frac{0.019494}{s}. \quad (3.26)$$

Отримані параметри були внесені у блок PI Controller, після чого було виконано моделювання перехідного процесу замкненої системи автоматичного регулювання температури.

Параметри та показники якості ПІ-регулятора наведено на рисунку 3.16.

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	2.1213	2.1213
I	0.019494	0.019494
D	n/a	n/a
N	n/a	n/a

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	463 seconds	463 seconds
Settling time	761 seconds	761 seconds
Overshoot	0.0263 %	0.0263 %
Peak	1	1
Gain margin	Inf dB @ NaN rad/s	Inf dB @ NaN rad/s
Phase margin	75.6 deg @ 0.0035 rad/s	75.6 deg @ 0.0035 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

Рисунок 3.12 – Параметри та показники якості ПІ-регулятора

За результатами моделювання було отримано перехідну характеристику системи з ПІ-регулятором. Аналіз графіка показує, що система є стійкою, а вихідна величина плавно наближається до заданого значення. Перерегулювання практично відсутнє, що є позитивним показником для системи регулювання температури, оскільки для теплового об'єкта небажані різкі перевищення заданого значення.

Перехідну характеристику системи автоматичного регулювання температури з ПІ-регулятором наведено на рисунку 3.17.

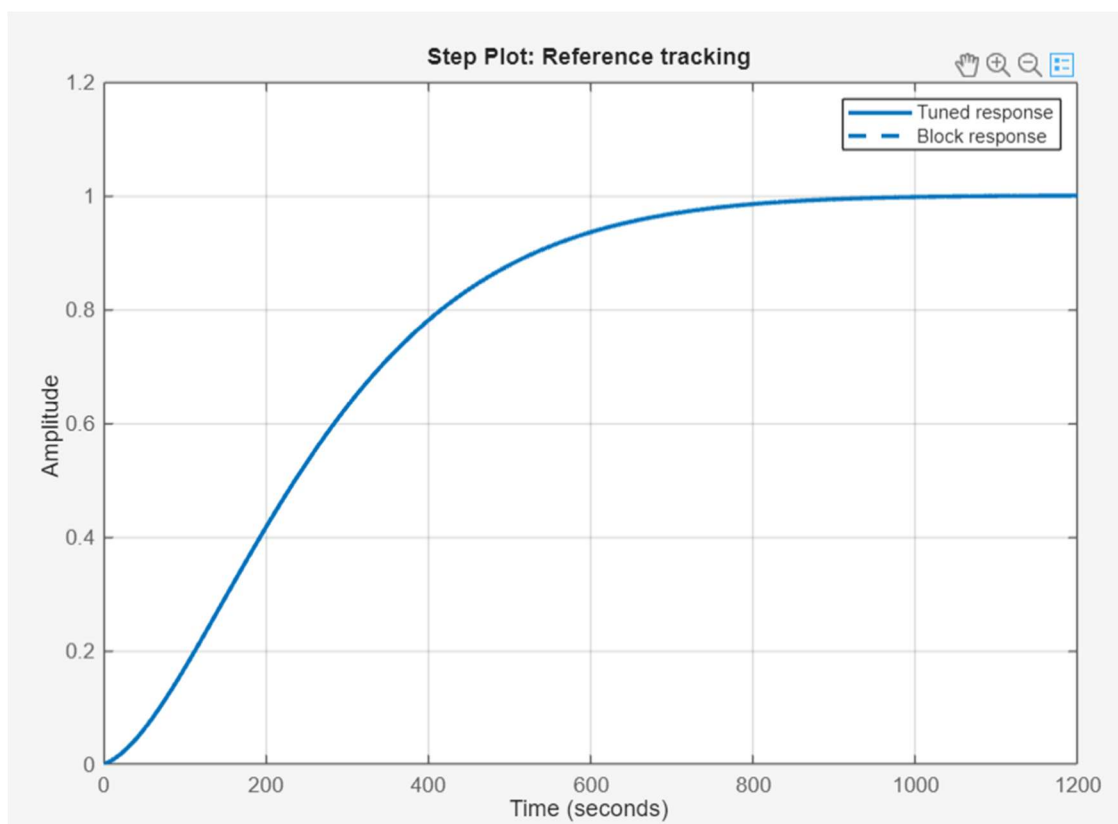


Рисунок 3.14 – Перехідна характеристика системи автоматичного регулювання температури з ПІ-регулятором

Основні показники якості перехідного процесу для системи з ПІ-регулятором становлять: час наростання — 463 с, час регулювання — 761 с, перерегулювання — 0,0263 %, максимальне значення вихідної величини — 1, запас стійкості за фазою — 75,6°. Отримані результати свідчать про те, що ПІ-

регулятор забезпечує стійку роботу системи та практично повністю усуває перерегулювання. Однак час наростання та час регулювання залишаються досить значними, що пояснюється інерційністю теплового об'єкта.

Для покращення динамічних властивостей системи було виконано синтез ПІД-регулятора. ПІД-регулятор, на відміну від ПІ-регулятора, містить диференціальну складову, яка реагує на швидкість зміни похибки. Це дозволяє зменшити тривалість перехідного процесу та покращити швидкодію системи.

Закон керування ПІД-регулятора у часовій області має вигляд:

$$u(t) = P \times e(t) + I \times \int e(t)dt + D \times \frac{de(t)}{dt}. \quad (3.27)$$

де D – коефіцієнт диференціальної складової регулятора.

У середовищі MATLAB Simulink ПІД-регулятор реалізується з урахуванням фільтрації диференціальної складової. Це необхідно для зменшення впливу різких змін сигналу та підвищення стійкості роботи регулятора.

Передавальна функція ПІД-регулятора з урахуванням фільтрації диференціальної складової має вигляд:

$$C_{PID}(s) = P + \frac{I}{s} + \frac{D \times N \times s}{s + N}. \quad (3.28)$$

Реалізацію замкненої системи автоматичного регулювання температури з ПІД-регулятором у середовищі MATLAB Simulink наведено на рисунку 3.18.

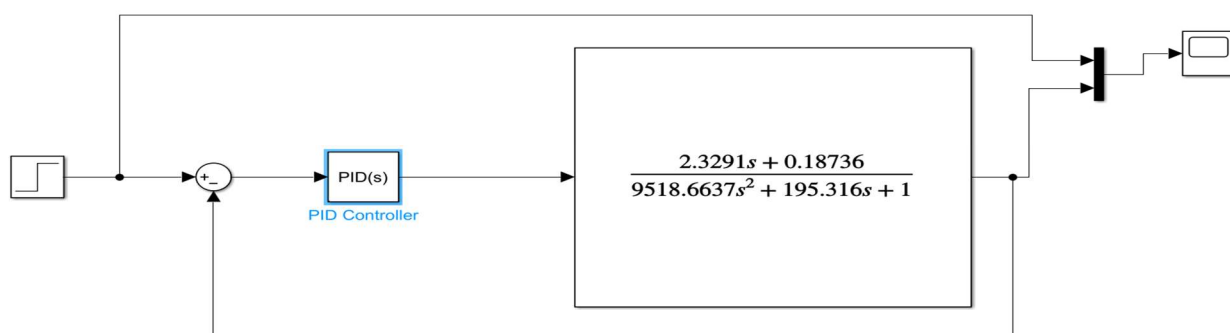


Рисунок 3.15 – Структурна схема замкненої системи автоматичного регулювання температури з ПІД-регулятором у середовищі MATLAB Simulink

У результаті автоматичного налаштування ПІД-регулятора були отримані такі параметри: $P = 8.1581, I = 0.045256, D = 298.4085, N = 0.088121$.

Після підстановки отриманих параметрів у передавальну функцію ПІД-регулятора одержимо:

$$C_{PID}(s) = 8.1581 + \frac{0.045256}{s} + \frac{298.4085 \times 0.088121 \times s}{s + 0.088121}. \quad (3.29)$$

Після множення коефіцієнтів диференціальної складової отримаємо:

$$C_{PID}(s) = 8.1581 + \frac{0.045256}{s} + \frac{26.2961s}{s + 0.088121}. \quad (3.30)$$

Отримані параметри були внесені у блок PID Controller, після чого було виконано моделювання замкненої системи автоматичного регулювання температури.

Параметри та показники якості ПІД-регулятора наведено на рисунку 3.19.

Controller Parameters			
	Tuned	Block	
P	8.1581	8.1581	
I	0.045256	0.045256	
D	298.4085	298.4085	
N	0.088121	0.088121	

Performance and Robustness			
	Tuned	Block	
Rise time	253 seconds	253 seconds	
Settling time	446 seconds	446 seconds	
Overshoot	0 %	0 %	
Peak	0.999	0.999	
Gain margin	Inf dB @ NaN rad/s	Inf dB @ NaN rad/s	
Phase margin	88.2 deg @ 0.0084 rad/s	88.2 deg @ 0.0084 rad/s	
Closed-loop stability	Stable	Stable	

Close

Рисунок 3.16 – Параметри та показники якості ПІД-регулятора

За результатами моделювання було отримано перехідну характеристику системи з ПД-регулятором. З графіка видно, що система є стійкою, а вихідна величина швидко наближається до заданого значення без перерегулювання. У порівнянні з П-регулятором перехідний процес відбувається швидше, що свідчить про покращення динамічних властивостей системи.

Перехідну характеристику системи автоматичного регулювання температури з ПД-регулятором наведено на рисунку 3.20.

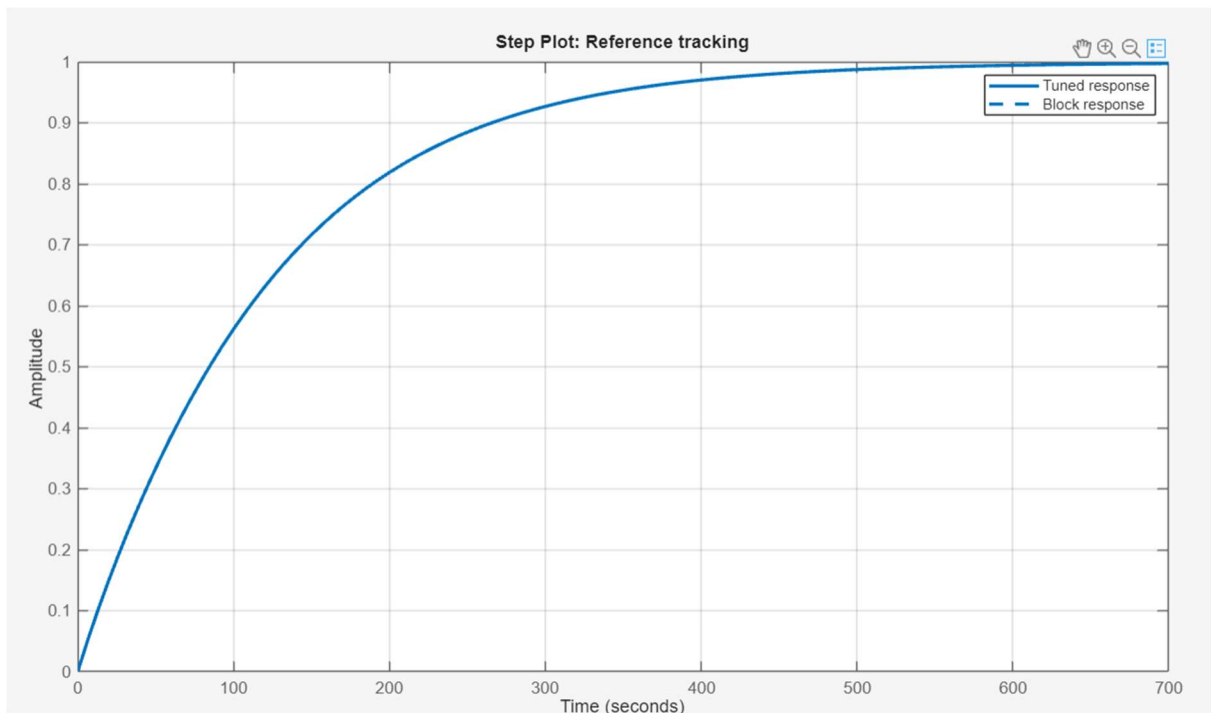


Рисунок 3.17 – Перехідна характеристика системи автоматичного регулювання температури з ПД-регулятором

Основні показники якості перехідного процесу для системи з ПД-регулятором становлять: час наростання — 253 с, час регулювання — 446 с, перерегулювання — 0 %, максимальне значення вихідної величини — 0,999, запас стійкості за фазою — 88,2°.

Порівняння результатів моделювання показує, що обидва регулятори забезпечують стійку роботу системи автоматичного регулювання температури. П-регулятор забезпечує плавний перехідний процес і практично відсутнє

перерегулювання, однак має більший час наростання та більший час регулювання.

ПІД-регулятор забезпечує кращі динамічні показники. Час наростання зменшився з 463 с до 253 с, тобто на 210 с. Час регулювання зменшився з 761 с до 446 с, тобто на 315 с. При цьому перерегулювання у системі з ПІД-регулятором становить 0 %, а запас стійкості за фазою збільшився до 88,2°.

Отже, використання ПІД-регулятора дозволило покращити швидкодію системи автоматичного регулювання температури без погіршення стійкості та без появи перерегулювання. На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що для досліджуваного теплового об'єкта доцільніше використовувати ПІД-регулятор, оскільки він забезпечує менший час перехідного процесу та кращі показники якості регулювання.

3.4 Дослідження роботи ПІ-регулятора для нагрівального елемента лабораторного стенда

Було проведено експериментальне дослідження теплового об'єкта лабораторного стенда, яке призначене для визначення характеру зміни температури нагрівального елемента та підбору параметрів ПІ-регулятора. Регулювання температури передбачається здійснювати за допомогою контролера Modicon M580, на вхід якого надходить сигнал від датчика температури, а вихідний сигнал формується на аналоговий вихід керування нагрівальним елементом.

Під час дослідження на нагрівальний елемент було подано керуючий сигнал величиною 3000. Зміна температури відображалася на осцилографі програмного середовища Control Expert. За отриманою перехідною характеристикою було визначено, що температура зросла приблизно від 25,8 °С до усталеного значення 34,5 °С.

Приріст температури становить:

$$\Delta T = T_{\text{уст}} - T_0 = 34.5 - 25.8 = 8.7^{\circ}\text{C}. \quad (3.31)$$

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Коефіцієнт підсилення теплового об'єкта:

$$K = \frac{\Delta T}{U} = \frac{8.7}{3000} = 0.0029. \quad (3.32)$$

За графіком температура досягає 63 % від повного приросту приблизно через 65 с, тому стала часу об'єкта приймається:

$$T = 65с. \quad (3.33)$$

Тоді передавальну функцію теплового об'єкта можна записати у вигляді:

$$W(s) = \frac{0.0029}{65s + 1}. \quad (3.34)$$

На основі отриманої моделі для системи регулювання температури були прийняті такі параметри ПІ-регулятора:

$$K_P = 250, \quad T_i = 240с. \quad (3.35)$$

Диференціальна складова не використовується, оскільки тепловий об'єкт має значну інерційність, а різкі зміни керуючого сигналу для нагрівального елемента є небажаними. Тому для даної системи достатньо використати ПІ-регулятор, який забезпечує плавне керування нагрівом та усунення статичної похибки.

Експериментальна перехідна характеристика нагрівального елемента наведена на рисунку 3.18

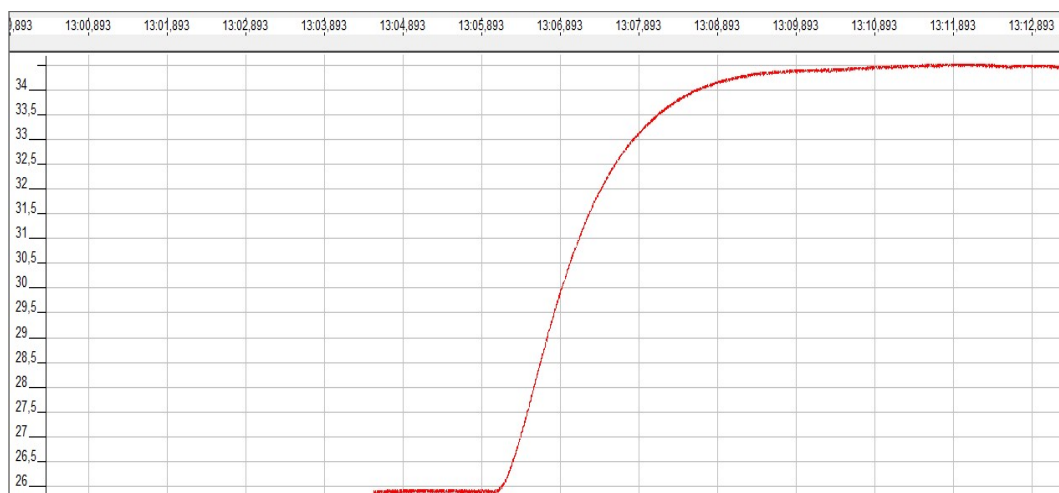


Рисунок 3.18 – Експериментальна перехідна характеристика нагрівального елемента

З отриманого графіка видно, що температура зростає плавно, без різких коливань. На початковій ділянці температура практично не змінюється, що пояснюється тепловою інерційністю нагрівального елемента. Після цього відбувається активний ріст температури, і вона поступово наближається до усталеного значення.

Максимальне значення температури на графіку становить приблизно 34,5 °С. Якщо задане значення температури прийняти 34 °С, то перерегулювання є незначним:

$$\sigma = \frac{34.5 - 34.0}{34.9} \times 100\% = 1.47\%. \quad (3.36)$$

Таке значення перерегулювання є допустимим для лабораторного теплового об'єкта. Час виходу температури в робочу область становить приблизно 120 с, а повна стабілізація температури відбувається приблизно через 180–220 с. Після завершення перехідного процесу температура залишається в області 34–34,5 °С, що свідчить про стабільний характер роботи теплового об'єкта.

Для практичної реалізації регулювання вихідний сигнал регулятора обмежується значенням 3000. Це необхідно для запобігання перегріву нагрівального елемента та врахування можливостей системи обдуву.

Отже, за результатами експериментального дослідження встановлено, що тепловий об'єкт має інерційний характер. Для регулювання температури доцільно використати ПІ-регулятор з параметрами $K_p = 250$ та $T_i = 240$ с. Обмеження вихідного сигналу регулятора діапазоном 0...3000 забезпечує безпечну роботу нагрівального елемента.

Висновки до розділу

У третьому розділі було виконано дослідження та моделювання окремих вузлів автоматизованої системи керування лабораторним стендом. Основну увагу приділено калібруванню датчиків температури та освітленості,

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

ідентифікації каналу регулювання температури, а також дослідженню систем керування тепловим і освітлювальним об'єктами.

Було розглянуто процес перетворення аналогових сигналів від датчиків у фізичні величини, придатні для подальшого використання в алгоритмах керування. Правильне масштабування сигналів дало змогу відображати значення температури та освітленості на операторській панелі, а також використовувати їх як сигнали зворотного зв'язку.

Для теплового об'єкта було виконано ідентифікацію каналу регулювання температури. На основі експериментальних даних побудовано модель об'єкта, яка показала, що процес зміни температури має інерційний характер. Це означає, що температура змінюється не миттєво, а з певною затримкою, що необхідно враховувати під час налаштування регулятора.

Окремо було проведено дослідження роботи ПІ-регулятора на контролері Modicon M580 у складі лабораторного стенда. За допомогою осцилографа в середовищі Control Expert було отримано графік зміни регульованого параметра під час роботи системи. Це дозволило оцінити характер перехідного процесу, перевірити реакцію системи на керуючий вплив та підібрати параметри регулятора для подальшого використання в системі керування.

Також було досліджено роботу освітлювального об'єкта, де контрольованим параметром є рівень освітленості. Отримані значення від датчика освітленості можуть використовуватися для індикації стану лампи та подальшого регулювання її роботи.

Отже, у третьому розділі було виконано підготовчі дослідження, необхідні для практичної реалізації автоматизованої системи керування. Проведене калібрування датчиків, ідентифікація теплового каналу, дослідження ПІ-регулятора та аналіз роботи регульованих об'єктів дали змогу обґрунтувати вибір структури керування і перейти до проектування апаратної та програмної частини системи.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЕКТНИХ ДОКУМЕНТІВ ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

4.1 Проектування функціональної схеми автоматизації

На етапі проектування системи керування важливе місце займає розроблення функціональної схеми автоматизації. Вона дозволяє узагальнено показати склад лабораторного стенду, основні об'єкти керування, давачі, виконавчі елементи, модулі введення/виведення та канали обміну даними між ними. На основі такої схеми надалі виконують деталізацію електричних з'єднань, розробляють принципові електричні схеми та визначають структуру підключення обладнання.

Функціональна схема автоматизованої системи керування лабораторним стендом наведена в графічному листі БР.АКП-14.00.00.000 04. На ній показано взаємозв'язок між лінійною платформою, світлосигнальною колоною, нагрівним і освітлювальним об'єктами, центральним контролером Modicon M580 та віддаленим островом введення/виведення. Основним керуючим пристроєм системи є контролер M580, який виконує обробку вхідних сигналів і формує команди для виконавчих механізмів.

Лінійна платформа є основним механічним вузлом стенду. Вона використовується для дослідження процесів позиційного керування та переміщення повзунка між заданими точками. Рух платформи забезпечується електродвигуном M1, який переміщує повзунок уздовж напрямної. Для визначення положення повзунка на схемі передбачено дискретні давачі положення. Давач GR1 і GA1 контролюють ліву крайню зону, GR2 і GA2 — праву крайню зону, а давачі GI1, GI2, GI3 та GI4 використовуються для фіксації проміжних положень.

Сигнали від давачів положення мають дискретний характер, тому вони підключаються до модуля дискретних входів BMXDDI1602. Після спрацювання відповідного давача сигнал надходить на вхід модуля та передається до

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

контролера. У програмі керування ці сигнали використовуються для визначення поточного положення повзунка, виконання зупинок у заданих точках і формування подальших команд руху.

Для індикації станів роботи системи передбачено світлосигнальну колону. Вона містить три світлові секції HL1, HL2, HL3 та звуковий сигналізатор HA1–HA4. Світлові секції можуть використовуватися для відображення різних режимів роботи стенду, наприклад роботи, очікування, зупинки або аварійного стану. Звуковий сигналізатор забезпечує додаткове оповіщення оператора про важливі зміни в роботі системи. Керування світловими та звуковими сигналами виконується через модуль дискретних виходів BMXDDM16025.

Окремим елементом стенду є освітлювальний об'єкт. До його складу входить освітлювальний елемент EL1 та давач освітленості BE1. Освітлювальний елемент використовується як виконавчий пристрій, робота якого може змінюватися за допомогою аналогового сигналу. Керування ним здійснюється через модуль аналогових виходів BMXAMO0210. Давач освітленості BE1 формує аналоговий сигнал, що відповідає поточному рівню освітлення, і передає його на модуль аналогових входів BMXAMI0810.

Нагрівний об'єкт призначений для дослідження процесів нагрівання та контролю температури. Він складається з нагрівного елемента EH1 і давача температури TE1. Нагрівний елемент створює тепловий вплив на об'єкт і керується аналоговим вихідним сигналом через модуль BMXAMO0210. Давач температури TE1 передає інформацію про поточну температуру на модуль аналогових входів BMXAMI0810, після чого це значення використовується контролером для контролю або регулювання теплового процесу.

Підключення частини польових пристроїв реалізовано через віддалений острів введення/виведення. До його складу входить адаптер BMECRA31210 та відповідні модулі введення/виведення. Така структура дозволяє розташувати модулі ближче до об'єктів керування, зменшити довжину сигнальних ліній і спростити монтаж обладнання. Віддалений острів виконує роль проміжної ланки

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

між давачами, виконавчими елементами та центральним процесором контролера.

Обмін даними між контролером M580 і адаптером BMECRA31210 здійснюється через мережу Ethernet. Через цей канал до контролера передаються сигнали від модулів введення, а у зворотному напрямку надходять команди керування для модулів виходу. Також через Ethernet забезпечується зв'язок із панеллю оператора, яка використовується для відображення стану системи та керування роботою стенду.

Отже, функціональна схема автоматизації, наведена в додатку А, відображає загальну структуру лабораторного стенду, призначення основних функціональних вузлів, спосіб підключення давачів і виконавчих елементів до модулів введення/виведення, а також взаємодію центрального контролера Modicon M580 з віддаленим островом BMECRA31210.

4.2 Розроблення принципів електричних схем та схем підключень обладнання

Підключення електродвигуна лінійної платформи.

На графічному листі БР.АКП-14.00.00.000 05 наведено принципову електричну схему реверсивного керування електродвигуном лінійної платформи. Схема призначена для забезпечення руху платформи у двох напрямках за допомогою електродвигуна М.

Живлення схеми здійснюється від блока живлення 24 VDC, на вхід якого подається змінна напруга $\sim 100...220$ В. Від джерела постійної напруги живляться кола керування, котушки проміжних реле та світлова індикація.

Зміна напрямку руху платформи виконується за допомогою двох проміжних реле К1 та К2. Контакти К1.1 і К2.1 комутують живлення електродвигуна таким чином, щоб забезпечити його обертання у відповідному напрямку. При спрацюванні реле К1 платформа рухається в один бік, а при спрацюванні реле К2 — у протилежний.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Кнопки KL і KR використовуються для подачі команд на рух платформи вліво та вправо. Після натискання відповідної кнопки вмикається котушка потрібного реле, а його контакти замикають коло живлення двигуна. Допоміжні контакти K1.2, K1.3, K2.2 та K2.3 застосовуються для формування логіки роботи схеми, блокування та індикації стану.

Для візуального контролю напрямку руху передбачено лампи HL1 та HL2. Вони показують, у який бік у даний момент рухається платформа.

Таким чином, дана схема забезпечує ручне реверсивне керування електродвигуном лінійної платформи за допомогою кнопок KL і KR, проміжних реле K1 і K2 та світлової індикації напрямку руху.

Підключення кінцевих вимикачів до модуля дискретних входів.

На графічному листі БР.АКП-14.00.00.000 06 наведено принципову електричну схему підключення кінцевих вимикачів лінійної платформи до модуля дискретних входів BMXDDI1602. Схема призначена для формування сигналів про положення рухомої частини платформи та передавання цих сигналів до контролера Modicon M580.

Живлення схеми здійснюється від блока живлення 24 VDC, на вхід якого подається змінна напруга $\sim 100 \dots 220$ В. Від джерела постійної напруги живляться кінцеві вимикачі, кола локальної індикації та вхідні кола модуля BMXDDI1602.

У схемі використано механічні кінцеві вимикачі ZCD21. При натисканні на кінцевий вимикач його контакти змінюють стан, унаслідок чого на відповідний вхід модуля дискретних входів подається сигнал. На схемі показано підключення сигналів до входів DI0, DI1, DI3 та DI5.

Окремо передбачено локальну світлову індикацію за допомогою ламп HL1, HL2, HL3 та HL4. Ці лампи не підключаються безпосередньо до модуля BMXDDI1602, а вмикаються через контакти відповідних кінцевих вимикачів. Це дозволяє оператору візуально контролювати спрацювання кінцевиків без використання програмного середовища або панелі оператора.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Таким чином, дана схема забезпечує підключення кінцевих вимикачів лінійної платформи до модуля BMXDDI1602, а також реалізує незалежну локальну індикацію їхнього стану.

Підключення індуктивних давачів до модуля дискретних входів.

В додатку А наведено принципову електричну схему підключення індуктивних давачів положення до модуля дискретних входів BMXDDI1602. Схема призначена для формування сигналів про проміжне положення рухомої частини лінійної платформи.

Живлення схеми здійснюється від блока живлення 24 VDC, на вхід якого подається змінна напруга $\sim 100 \dots 220$ В. Від джерела постійної напруги живляться індуктивні давачі, котушки проміжних реле та вхідні кола модуля BMXDDI1602.

У схемі використано індуктивні давачі XS518B1MAL2 та XS1N12NC41. Вони реагують на наближення металевого елемента платформи та змінюють стан вихідного сигналу. Сигнали від давачів подаються на котушки проміжних реле K1, K2 та K3.

Після спрацювання відповідного реле його контакт змінює стан і формує дискретний сигнал для модуля BMXDDI1602. На схемі показано підключення сигналів до входів DI2 та DI5. Використання проміжних реле дозволяє узгодити роботу давачів із входами контролера та забезпечити надійне формування дискретних сигналів.

Отримані сигнали використовуються контролером Modicon M580 для визначення положення повзунка, організації зупинок у проміжних точках та виконання подальших команд алгоритму керування.

Таким чином, дана схема забезпечує підключення індуктивних давачів XS518B1MAL2 та XS1N12NC41 до модуля BMXDDI1602 через проміжні реле K1, K2 та K3.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Підключення світлосигнальної колони.

В додатку А наведено принципову електричну схему підключення світлосигнальної колони Harmony XVC1M3HK до модуля дискретних виходів BMXDDM16025. Схема призначена для керування світловою та звуковою сигналізацією лабораторного стенду.

До складу світлосигнальної колони входять три світлові секції HL1, HL2, HL3 та звукові сигнали HA1–HA5. Світлові секції використовуються для візуального відображення режимів роботи системи, а звукові сигнали — для додаткового оповіщення оператора про зміну стану стенду або виникнення аварійної ситуації.

Живлення світлосигнальної колони здійснюється від мережі змінної напруги ~100...220 В. Кола керування реле живляться від джерела постійної напруги 24 VDC.

Керування елементами колони виконується через проміжні реле K1–K8. Модуль дискретних виходів BMXDDM16025 формує сигнали DO1, DO2, DO3, DO4, DO5, DO6, DO7 та DO8, які подаються на котушки відповідних реле. Після спрацювання реле замикається його контакт K1.1–K8.1, через який подається живлення на відповідну світлову секцію або звуковий сигнал.

Реле K1–K3 використовуються для керування світловими секціями HL1–HL3. Реле K4–K8 призначені для керування звуковими сигналами HA1–HA5. Завдяки цьому контролер може окремо вмикати потрібний світловий або звуковий канал залежно від режиму роботи стенду.

Використання проміжних реле дозволяє розділити виходи модуля BMXDDM16025 і силові кола світлосигнальної колони. Це підвищує надійність роботи схеми та захищає виходи модуля від перевантаження.

Таким чином, дана схема забезпечує керування трьома світловими секціями HL1–HL3 та звуковими сигналами HA1–HA5 світлосигнальної колони Harmony XVC1M3HK за допомогою модуля дискретних виходів BMXDDM16025 через проміжні реле K1–K8.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Підключення аналогових давачів.

В додатку А наведено принципову електричну схему підключення аналогових давачів до модуля аналогових входів ВМХАМІ0810. Схема призначена для передавання до контролера сигналів від давача освітленості та давача температури.

У схемі використано два аналогові канали модуля ВМХАМІ0810. До входу АІ0 підключено давач освітленості, який формує аналоговий сигнал залежно від рівня освітлення. До входу АІ1 підключено давач температури, що формує сигнал відповідно до поточного значення температури нагрівного об'єкта.

Сигнальні лінії давачів підключаються до відповідних аналогових входів АІ0 та АІ1, а загальні провідники — до клем СОМ. Після надходження сигналів на модуль ВМХАМІ0810 вони перетворюються у цифрову форму та передаються до контролера Modicon M580 для подальшої обробки.

Отримані значення використовуються для контролю рівня освітленості та температури, а також можуть застосовуватися в алгоритмах автоматичного регулювання освітлювального і нагрівного об'єктів.

Таким чином, дана схема забезпечує підключення давача освітленості та давача температури до модуля аналогових входів ВМХАМІ0810.

Підключення шІМ-модуля до дискретного та аналогового виходів.

В додатку А наведено принципову електричну схему підключення ШІМ-модуля до модуля дискретних виходів ВМХДДМ16025 та модуля аналогових виходів ВМХАМО0210. Схема призначена для керування роботою ШІМ-модуля за допомогою сигналів від контролера Modicon M580.

Модуль дискретних виходів ВМХДДМ16025 формує сигнал DO1, який використовується для вмикання або дозволу роботи ШІМ-модуля. Сигнал подається через контакт S1.2, після чого активується відповідна частина кола керування. Загальний провід дискретного кола підключений до СОМ.

Модуль аналогових виходів ВМХАМО0210 формує керуючий аналоговий сигнал АО1. Цей сигнал подається на вхід керування ШІМ-модуля, а загальний провід підключається до СОМ. За рахунок зміни аналогового сигналу задається рівень керування ШІМ-модулем.

У схемі також показано контакт S1.1 та внутрішні елементи регулювання ШІМ-модуля. Вони використовуються для вибору режиму роботи та узгодження керуючих сигналів.

Таким чином, дана схема забезпечує підключення ШІМ-модуля до дискретного та аналогового виходів системи керування. Дискретний вихід DO1 використовується для дозволу роботи, а аналоговий вихід АО1 — для задання рівня керування.

Підключення шім-регулятора вентилятора та твердотілого реле.

В додатку А наведено принципову електричну схему підключення ШІМ-регулятора швидкості вентилятора, твердотілого реле SSR1, нагрівного елемента ЕН1 та освітлювального елемента НЛ1 до модуля аналогових виходів ВМХАМО0210.

У лівій частині схеми зображено ШІМ-регулятор швидкості вентилятора. Він призначений для керування вентилятором FAN, який живиться від джерела постійної напруги 12 VDC. Зміна швидкості обертання вентилятора здійснюється за рахунок широтно-імпульсного регулювання, тобто зміни середнього значення напруги, що подається на вентилятор.

Силова частина схеми живиться від мережі змінної напруги ~220 В. Для візуального контролю наявності живлення передбачено сигнальну лампу KL1. Нагрівний елемент ЕН1 використовується для створення теплового впливу на об'єкт, а лампа НЛ1 виконує функцію освітлювального елемента.

Для комутації силового кола використовується твердотіле реле SSR1. Воно забезпечує безконтактне керування навантаженням змінної напруги ~220 В. Керуючий сигнал на SSR1 подається з аналогового виходу АО1 модуля ВМХАМО0210, а загальний провід підключається до СОМ.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Модуль ВМХАМО0210 розташований у складі віддаленого острова введення/виведення на базі адаптера ВМЕСРА31210. Центральний процесор контролера Modicon M580 передає керуюче значення на віддалений острів через мережу Ethernet, після чого модуль ВМХАМО0210 формує аналоговий сигнал для керування твердотілим реле.

Контакти S1.1, S1.2, S2.1, S2.2 та S3 використовуються для комутації окремих ділянок схеми та вибору режимів роботи. Вони дозволяють організувати подачу живлення на відповідні елементи та забезпечити ручне або комбіноване керування під час налагодження.

Таким чином, дана схема забезпечує керування швидкістю вентилятора за допомогою ШІМ-регулятора, підключення нагрівного елемента ЕН1 та освітлювального елемента НЛ1, а також безконтактну комутацію силового кола через твердотіле реле SSR1, кероване аналоговим виходом модуля ВМХАМО0210.

4.3 Приклади розроблення програмного забезпечення для М580 та панелі оператора ЕТ6

Для реалізації алгоритму керування лабораторним стендом було розроблено програмне забезпечення для контролера Modicon M580 у середовищі EcoStruxure Control Expert. Програма забезпечує автоматичне керування рухом лінійної платформи, обробку сигналів від датчиків положення, керування проміжними реле, формування аналогових сигналів для регулятора та нагрівного об'єкта, а також виконання технологічних пауз, нагріву й охолодження.

Програмна частина розроблена з урахуванням апаратної структури стенду. Частина модулів введення/виведення розташована у віддаленому острові на базі адаптера ВМЕСРА31210. Віддалений адаптер забезпечує зв'язок між центральним процесором контролера Modicon M580 та модулями введення/виведення, до яких підключені датчики та виконавчі елементи стенду.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Обмін даними між основною стійкою контролера та віддаленим островом здійснюється через мережу Ethernet.

Завдяки використанню віддаленого адаптера ВМЕСРА31210 фізичні сигнали від давачів і виконавчих пристроїв можуть бути розміщені ближче до об'єкта керування, а в програмі контролера вони обробляються як змінні входів і виходів. Такий підхід спрощує підключення обладнання, зменшує кількість довгих сигнальних ліній і дозволяє централізовано керувати всіма елементами стенду з програми контролера М580.

4.3.1 Розроблення програми керування для контролера Modicon М580

Основна програма керування лабораторним стендом реалізована мовою Structured Text у середовищі EcoStruxure Control Expert. Алгоритм роботи побудований за принципом покрокового автомата станів. Для цього використовується змінна State, яка визначає поточний етап виконання програми.

Такий спосіб побудови алгоритму дозволяє розділити роботу стенду на окремі послідовні етапи: очікування запуску, рух платформи вправо, зупинки на давачах, обробку крайнього положення, формування аналогового сигналу, нагрів, охолодження, рух у зворотному напрямку та завершення циклу.

Запуск роботи виконується за допомогою кнопки Start. У програмі формується короткий імпульс Start_Pulse, який виникає тільки в момент нового натискання кнопки. Це необхідно для того, щоб після завершення циклу платформа не запускалася повторно автоматично, навіть якщо кнопка Start залишилася в активному стані.

У початковому стані програми всі виконавчі механізми вимкнені. Сигнали руху Right і Left скинуті, реле rele1, rele2, rele3 та rele7 вимкнені, таймери обнулені, а аналогові виходи Regulator і NagrivSustem встановлені в нульове значення. Після натискання кнопки Start програма переходить до основного циклу роботи.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Під час руху вправо контролер послідовно аналізує сигнали від датчиків Terminal2, Indyk1, Terminal3 та Indyk2. Ці сигнали надходять до системи керування через модулі дискретних входів, у тому числі через віддалений острів введення/виведення. При спрацюванні кожного датчика рух платформи зупиняється на 10 секунд. Після завершення витримки часу платформа виїжджає із зони спрацювання датчика та продовжує рух до наступної точки.

Для реалізації часових затримок у програмі використовується таймер tDelay, а для уникнення повторного спрацювання одного й того самого датчика застосовуються допоміжні біти B1–B5. Це дозволяє коректно обробляти сигнали датчиків навіть тоді, коли платформа певний час залишається в зоні їх спрацювання.

Після досягнення крайнього правого положення Terminal4 рух платформи зупиняється. Далі запускається процес плавного наростання аналогового сигналу Regulator. Значення Regulator збільшується від 0 до 10000 з кроком 100. Наростання виконується через інтервал 200 мс, тому повний процес займає приблизно 20 секунд.

Аналогові сигнали Regulator та NagrivSustem формуються модулем аналогових виходів, який входить до складу віддаленого острова введення/виведення. Центральний процесор M580 формує необхідні значення в програмі, після чого вони передаються через адаптер ВМЕСРА31210 на відповідний модуль виходу.

Після завершення наростання сигналу Regulator виконується технологічна пауза тривалістю 20 секунд, після чого починається перший режим нагріву. На аналоговий вихід NagrivSustem подається значення 3000. Нагрів триває до моменту, коли температура EtaLonTM досягає 30 °C. Після цього нагрів вимикається, а система переходить у режим охолодження тривалістю 15 секунд.

Після завершення першого охолодження платформа починає рухатися у зворотному напрямку. Перед цим допоміжні біти B1–B5 скидаються, щоб датчики могли повторно використовуватися під час руху вліво. Під час зворотного руху

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

платформа проходить контрольні точки Indyk2, Terminal3 та Indyk1 із зупинками на 10 секунд.

Після досягнення Terminal2 виконується друга технологічна пауза, після якої запускається другий режим нагріву. У цьому режимі на вихід NagrivSustem подається значення 3500. Нагрів триває до досягнення температури 45 °С. Після цього нагрів вимикається, виконується друге охолодження тривалістю 15 секунд, і платформа продовжує рух до початкового положення.

Коли платформа доходить до Terminal1, рух повністю вимикається. Після цього виконується фінальна пауза тривалістю 30 секунд, скидаються реле, таймери, аналогові виходи та допоміжні змінні. Після завершення циклу програма повертається у початковий стан State = 0 і очікує нового натискання кнопки Start.

Фрагменти програмного коду керування лабораторним стендом наведено в додатку В. Для зручності код поділено на окремі частини, які відповідають основним етапам роботи алгоритму.

4.3.2 Розроблення проекту операторської панелі Harmony ET6

Для забезпечення зручної взаємодії оператора з лабораторним стендом було розроблено проект операторської панелі. Панель оператора призначена для відображення стану основних елементів системи, контролю технологічних параметрів та подачі команд керування.

Проект операторської панелі складається з двох основних екранів. Перший екран призначений для керування лінійною платформою повзункового типу. На ньому відображено положення платформи відносно давачів D1–D6, кнопки запуску та зупинки процесу, напрям руху платформи, а також поточний стан її роботи: рух або пауза. Для зручності оператора напрям переміщення відображається окремими індикаторами «Лівий» та «Правий». Зовнішній вигляд екрана керування лінійною платформою наведено у додатку Г.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Другий екран операторської панелі призначений для контролю теплового та освітлювального об'єктів. На ньому відображається значення давача температури, потужність ШІМ-сигналу, стан процесу нагрівання або охолодження, а також значення давача освітленості. Додатково передбачено індикацію рівня освітленості лампи: мала, помірна та висока освітленість. Це дозволяє оператору швидко оцінити стан освітлювального об'єкта без додаткових розрахунків. Зовнішній вигляд екрана контролю температури та освітленості наведено у додатку Г.

Для переходу між екранами на панелі передбачено навігаційні кнопки зі стрілками. Це забезпечує швидкий доступ до потрібного екрана та спрощує роботу оператора під час керування лабораторним стендом.

Зв'язок між операторською панеллю та контролером Modicon M580 реалізовується через мережу Ethernet. Передача даних здійснюється шляхом прив'язки графічних елементів панелі до змінних контролера. Завдяки цьому операторська панель у реальному часі відображає стан давачів, виконавчих механізмів і технологічних параметрів системи.

Висновки до розділу

У четвертому розділі було виконано проектування основних складових автоматизованої системи керування лабораторним стендом на базі контролера Modicon M580. Розроблено функціональну схему автоматизації, у якій показано взаємодію лінійної платформи, давачів положення, світлосигнальної колони, нагрівного та освітлювального об'єктів із модулями введення/виведення та центральним процесором контролера.

Особливістю побудови системи є використання віддаленого острова введення/виведення на базі адаптера ВМЕСРА31210. Через нього здійснюється підключення частини модулів введення/виведення, що дозволяє розмістити обладнання ближче до об'єктів керування та зменшити довжину сигнальних

ліній. Обмін даними між центральним процесором Modicon M580, віддаленим островом та іншими пристроями системи виконується через мережу Ethernet.

Також у розділі були розглянуті принципові електричні схеми та схеми підключення обладнання. Розроблені схеми відображають підключення електродвигуна лінійної платформи, кінцевих вимикачів, індуктивних давачів, світлосигнальної колони, аналогових давачів, ШІМ-регулятора вентилятора, твердотілого реле, нагрівного та освітлювального елементів. Це дозволяє визначити структуру електричних з'єднань і забезпечити правильне підключення польових пристроїв до модулів контролера.

Для реалізації алгоритму роботи стенду було розроблено програмне забезпечення для контролера Modicon M580 у середовищі EcoStruxure Control Expert. Алгоритм побудований за принципом автомата станів, що дозволяє послідовно виконувати етапи руху платформи, зупинки на давачах, формування аналогових сигналів, нагрів, охолодження та завершення циклу. Окремо передбачено використання операторської панелі Harmony ET6 для візуалізації роботи стенду та взаємодії оператора із системою керування.

Отже, у результаті виконання розділу було сформовано апаратну, електричну та програмну основу автоматизованої системи керування лабораторним стендом. Розроблені схеми та програмні рішення забезпечують можливість практичної реалізації керування лінійною платформою, сигнальними пристроями, нагрівним і освітлювальним об'єктами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі було розроблено та досліджено лабораторний стенд автоматизованої системи керування на базі контролера Modicon M580 та віддаленого острова введення/виведення з адаптером ВМЕСРА31210. У процесі роботи було розглянуто структуру стенду, підібрано основні елементи обладнання, виконано монтаж, налагодження, тестування та програмну реалізацію системи керування.

У першому розділі було описано призначення лабораторного стенду, його архітектуру та склад основних апаратних засобів. Розглянуто контролер Modicon M580, адаптер віддаленого острова ВМЕСРА31210, модулі введення/виведення серії Modicon X80, джерела живлення, світлосигнальну колону, лінійну платформу, а також тепловий та освітлювальний об'єкти.

У другому розділі було розглянуто монтаж і налагодження обладнання. Проведено перевірку роботи лінійної платформи, кінцевих вимикачів, індуктивних давачів, дискретних виходів, аналогових входів і виходів. Отримані результати підтвердили коректність передавання сигналів між польовими пристроями, контролером і віддаленим островом введення/виведення.

У третьому розділі було виконано дослідження аналогових каналів системи. Проведено калібрування давачів температури та освітленості, а також ідентифікацію каналу регулювання температури. Отримана модель теплового об'єкта показала інерційний характер процесу нагрівання, що необхідно враховувати під час розроблення алгоритмів керування.

У четвертому розділі було розроблено функціональну схему автоматизації, принципові електричні схеми та програмне забезпечення для контролера M580. Алгоритм керування реалізовано за принципом покрокового автомата станів, що забезпечує послідовне виконання руху платформи, зупинок, нагріву, охолодження та завершення циклу. У програмі також враховано роботу з віддаленим островом ВМЕСРА31210 через мережу Ethernet.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

У результаті виконання роботи було створено основу для практичної реалізації розподіленої системи керування лабораторним стендом. Розроблена система дозволяє досліджувати дискретні й аналогові сигнали, керувати лінійним переміщенням, контролювати температуру та освітленість, а також вивчати принципи побудови систем автоматизації на базі обладнання Schneider Electric.

Таким чином, мету роботи досягнуто: виконано проектування, монтаж, налагодження та програмну реалізацію лабораторного стенду з використанням контролера Modicon M580 і віддаленого острова BMECRA31210.

					БР.АКП- 14.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація технологічних процесів у нафтовій та газовій промисловості : навчальний посібник / Г. Н. Семенцов, Я. Р. Когуч, Я. В. Куровець, М. М. Дранчук. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2015. – 301 с.
2. Автоматизація неперервних технологічних процесів в нафтовій та газовій промисловості : навчальний посібник / М. І. Когутяк, Р. М. Лещій, М. М. Дранчук, М. В. Шавранський. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2015. – 286 с.
3. Когутяк М. І. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані системи в нафтогазовій промисловості : лабораторний практикум / М. І. Когутяк, В. С. Борин, Л. І. Фешанич. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2023. – 61 с.
4. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані системи в нафтогазовій промисловості : методичні вказівки для виконання курсового проєкту / М. І. Горбійчук, В. С. Борин, М. І. Когутяк та ін. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2023. – 14 с.
5. Карташов В. В. Автоматизовані системи керування технологічними процесами : конспект лекцій. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. – 148 с.
6. Любицький С. В. Основи побудови комп'ютерно-інтегрованих систем : навчальний посібник / С. В. Любицький, П. В. Новіков. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 77 с.
7. Schneider Electric. Modicon M580. Hardware Reference Manual. – Schneider Electric, 2025. – 590 с.
8. Schneider Electric. Modicon X80. Analog Input/Output Modules. User Manual. – Schneider Electric, 2020. – 368 с.
9. Schneider Electric. Modicon M580. RIO Modules. Installation and Configuration Guide. – Schneider Electric, 2022. – 120 с.
10. Schneider Electric. EcoStruxure Control Expert. Program Languages and Structure. Reference Manual. – Schneider Electric, 2019. – 622 с.

ДОДАТОК А

Програмні фрагменти налагодження та тестування вузлів з реальними об'єктами

А1-Тестова програма керування лінійною платформою повзункового типу

```
//=====
// Частина "Початкова ініціалізація алгоритму"
//=====
// При натисканні кнопки Stop виконується зупинка платформи
// та повернення алгоритму у початковий стан
IF Stop THEN
    State := 0;
END_IF;

// На початку кожного циклу скидаються команди руху
Right := FALSE;
Left := FALSE;

// Скидання сигналів світлової індикації
rele1 := FALSE;
rele2 := FALSE;
rele3 := FALSE;
rele7 := FALSE;

// Початкове скидання таймера затримки
DelayIN := FALSE;
DelayTime := T#10s;
//=====
// Частина "Автомат станів керування платформою"
//=====
// Алгоритм побудований за принципом послідовного переходу
// між станами. Кожен стан відповідає окремому етапу руху
// або зупинки платформи
CASE State OF
    //=====
    // Стан 0. Очікування запуску
    //=====
    // Платформа не рухається. Після натискання кнопки Start
    // починається рух платформи вправо
    0:
        IF Start THEN
            State := 10;
        END_IF;
    //=====
    // Стан 10. Рух вправо до першої контрольної точки
    //=====
    // Подається команда Right, після чого платформа рухається
    // вправо до спрацювання кінцевого вимикача Terminal2
    10:
        Right := TRUE;

        IF Terminal2 THEN
            State := 11;
        END_IF;
    //=====
    // Стан 11. Зупинка на Terminal2
    //=====
    // Після спрацювання Terminal2 рух припиняється,
    // вмикається світлова індикація та запускається таймер
    11:
        rele2 := TRUE;
        DelayIN := TRUE;
        DelayTime := T#10s;

        IF tDelay.Q THEN
```

```

        State := 20;
    END_IF;
//=====
// Стан 20. Рух вправо до першого індуктивного давача
//=====
// Платформа продовжує рух вправо до спрацювання Indyk1
20:
    Right := TRUE;

    IF Indyk1 THEN
        State := 21;
    END_IF;
//=====
// Стан 21. Зупинка на Indyk1
//=====
// При спрацюванні індуктивного давача Indyk1
// виконується тимчасова зупинка та вмикається індикація
21:
    rele1 := TRUE;
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#10s;

    IF tDelay.Q THEN
        State := 30;
    END_IF;
//=====
// Стан 30. Рух вправо до середньої контрольної точки
//=====
// Платформа рухається вправо до кінцевого вимикача Terminal3
30:
    Right := TRUE;

    IF Terminal3 THEN
        State := 31;
    END_IF;
//=====
// Стан 31. Зупинка на Terminal3
//=====
// На даному етапі платформа зупиняється на заданий час,
// після чого переходить до наступного етапу руху
31:
    rele2 := TRUE;
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#10s;

    IF tDelay.Q THEN
        State := 40;
    END_IF;
//=====
// Стан 40. Рух вправо до другого індуктивного давача
//=====
// Платформа рухається вправо до спрацювання Indyk2
40:
    Right := TRUE;

    IF Indyk2 THEN
        State := 41;
    END_IF;
//=====
// Стан 41. Зупинка на Indyk2
//=====
// При спрацюванні другого індуктивного давача
// виконується зупинка та вмикається індикація
41:
    rele1 := TRUE;
    DelayIN := TRUE;

```

```

        DelayTime := T#10s;

        IF tDelay.Q THEN
            State := 50;
        END_IF;
//=====
// Стан 50. Рух до крайнього правого положення
//=====
// Платформа рухається вправо до кінцевого вимикача Terminal4
50:
    Right := TRUE;

    IF Terminal4 THEN
        State := 51;
    END_IF;
//=====
// Стан 51. Зупинка у крайньому правому положенні
//=====
// Після досягнення Terminal4 виконується довша затримка.
// Після завершення затримки система переходить до руху назад
51:
    rele3 := TRUE;
    rele7 := TRUE;
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#30s;

    IF tDelay.Q THEN
        State := 60;
    END_IF;
//=====
// Стан 60. Початок руху у зворотному напрямку
//=====
// Платформа рухається вліво до спрацювання Indyk2
60:
    Left := TRUE;

    IF Indyk2 THEN
        State := 61;
    END_IF;
//=====
// Стан 61. Зупинка на Indyk2 під час руху назад
//=====
// Виконується зупинка, затримка часу та світлова індикація
61:
    rele1 := TRUE;
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#10s;

    IF tDelay.Q THEN
        State := 70;
    END_IF;
//=====
// Стан 70. Рух вліво до середньої контрольної точки
//=====
// Платформа рухається вліво до кінцевого вимикача Terminal3
70:
    Left := TRUE;

    IF Terminal3 THEN
        State := 71;
    END_IF;
//=====
// Стан 71. Зупинка на Terminal3 під час руху назад
//=====
// На даному етапі виконується тимчасова зупинка платформи
71:

```

```

    rele2 := TRUE;
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#10s;

    IF tDelay.Q THEN
        State := 80;
    END_IF;
//=====
// Стан 80. Рух вліво до першого індуктивного давача
//=====
// Платформа рухається вліво до спрацювання Indyk1
80:
    Left := TRUE;

    IF Indyk1 THEN
        State := 81;
    END_IF;
//=====
// Стан 81. Зупинка на Indyk1 під час руху назад
//=====
// Після спрацювання Indyk1 виконується затримка часу
81:
    rele1 := TRUE;
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#10s;

    IF tDelay.Q THEN
        State := 90;
    END_IF;
//=====
// Стан 90. Рух вліво до Terminal2
//=====
// Платформа рухається у напрямку початкового положення
90:
    Left := TRUE;

    IF Terminal2 THEN
        State := 91;
    END_IF;
//=====
// Стан 91. Зупинка на Terminal2 під час руху назад
//=====
// Виконується зупинка платформи та запуск таймера
91:
    rele2 := TRUE;
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#10s;

    IF tDelay.Q THEN
        State := 100;
    END_IF;
//=====
// Стан 100. Рух до початкового положення
//=====
// Платформа рухається вліво до спрацювання Terminal1
100:
    Left := TRUE;

    IF Terminal1 THEN
        State := 101;
    END_IF;
//=====
// Стан 101. Завершення циклу роботи
//=====
// Після досягнення початкового положення виконується
// фінальна затримка, після чого алгоритм скидається

```

```

101:
    rele3 := TRUE;
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#30s;

    IF tDelay.Q THEN
        State := 0;
    END_IF;

ELSE
    // У випадку невідомого стану алгоритм скидається
    State := 0;

END_CASE;

//=====
// Частина "Виклик таймера затримки"
//=====
// Таймер використовується для організації пауз
// на контрольних точках руху платформи
tDelay(IN := DelayIN, PT := DelayTime);

```

A2 – Тестова програма налагодження теплового та освітлювального об'єктів мовою ST

```

//=====
// Частина "Запуск та зупинка тестового режиму"
//=====
// Даний фрагмент використовується тільки для налагодження
// теплового та освітлювального об'єктів віддаленого острова

IF StartObjTest THEN
    ObjTestActive := TRUE;
END_IF;

IF StopObjTest THEN
    ObjTestActive := FALSE;
    NagrivSustem := 0;
    OsvitSustem := 0;
END_IF;

//=====
// Частина "Формування керуючих сигналів"
//=====
// У тестовому режимі на нагрівний та освітлювальний об'єкти
// подаються задані значення аналогових виходів

IF ObjTestActive THEN

    // подача сигналу на нагрівний об'єкт
    NagrivSustem := HeatPowerSet;

    // подача сигналу на освітлювальний об'єкт
    OsvitSustem := LightPowerSet;

    // захист від перевищення заданої температури
    IF EtaLonTM >= TempLimit THEN
        NagrivSustem := 0;
        HeatProcess := FALSE;
        CoolingProcess := TRUE;
    ELSE
        HeatProcess := TRUE;
    END_IF;

```

```

        CoolingProcess := FALSE;
    END_IF;

ELSE

    // Якщо тест не активний, виходи вимкнені
    NagrivSustem := 0;
    OsvitSustem := 0;
    HeatProcess := FALSE;
    CoolingProcess := FALSE;

END_IF;
//=====
// Частина "Визначення рівня освітленості"
//=====
// За значенням давача освітленості формується індикація
// малої, помірної або високої освітленості лампи

IF LightValue < 3000.0 THEN
    LowLight := TRUE;
    MediumLight := FALSE;
    HighLight := FALSE;

ELSIF LightValue < 7000.0 THEN
    LowLight := FALSE;
    MediumLight := TRUE;
    HighLight := FALSE;

ELSE
    LowLight := FALSE;
    MediumLight := FALSE;
    HighLight := TRUE;
END_IF;

```

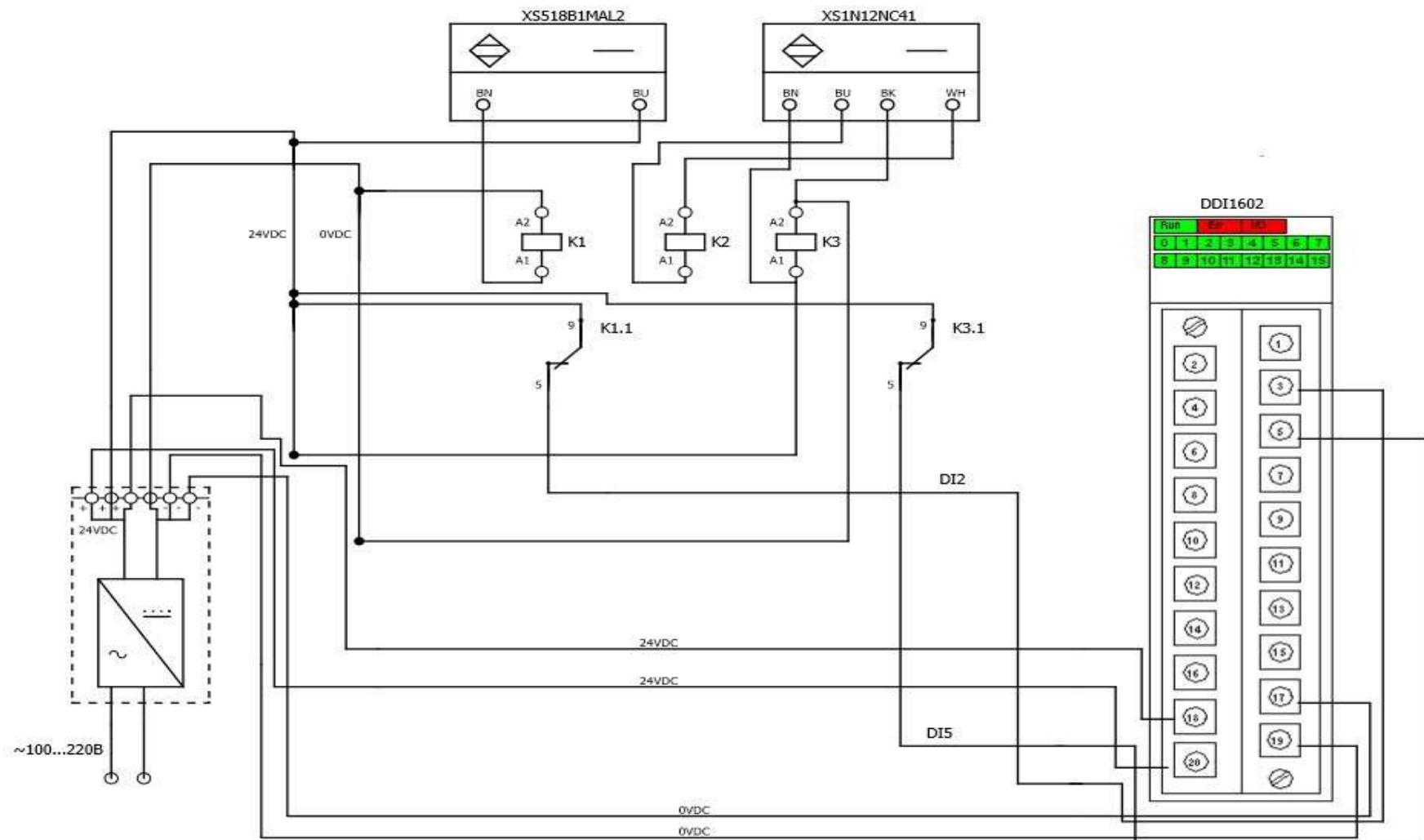
Name	Value	Type	Comment
StopObjTest	0	BOOL	
StartObjTest	0	BOOL	
ObjTestActive	0	BOOL	
RegulatorOut	0	INT	
RegulatorAtMax	0	BOOL	
OsvitSustem	0	INT	
tStep		TON	
☐ <inputs>			
tStep.IN	0	BOOL	Start delay
tStep.PT	0s	TIME	Preset delay time
☐ <outputs>			
tStep.Q	0	BOOL	Delayed output
tStep.ET	0s	TIME	Internal time
☐ <inputs/outputs>			
☐ <public>			

Name	Value	Type	Comment
StopObjTest	0	BOOL	
StartObjTest	1	BOOL	
ObjTestActive	1	BOOL	
RegulatorOut	10000	INT	
RegulatorAtMax	0	BOOL	
OsvitSustem	5000	INT	
tStep		TON	
☐ <inputs>			
tStep.IN	0	BOOL	Start delay
tStep.PT	0s	TIME	Preset delay time
☐ <outputs>			
tStep.Q	0	BOOL	Delayed output
tStep.ET	0s	TIME	Internal time
☐ <inputs/outputs>			
☐ <public>			

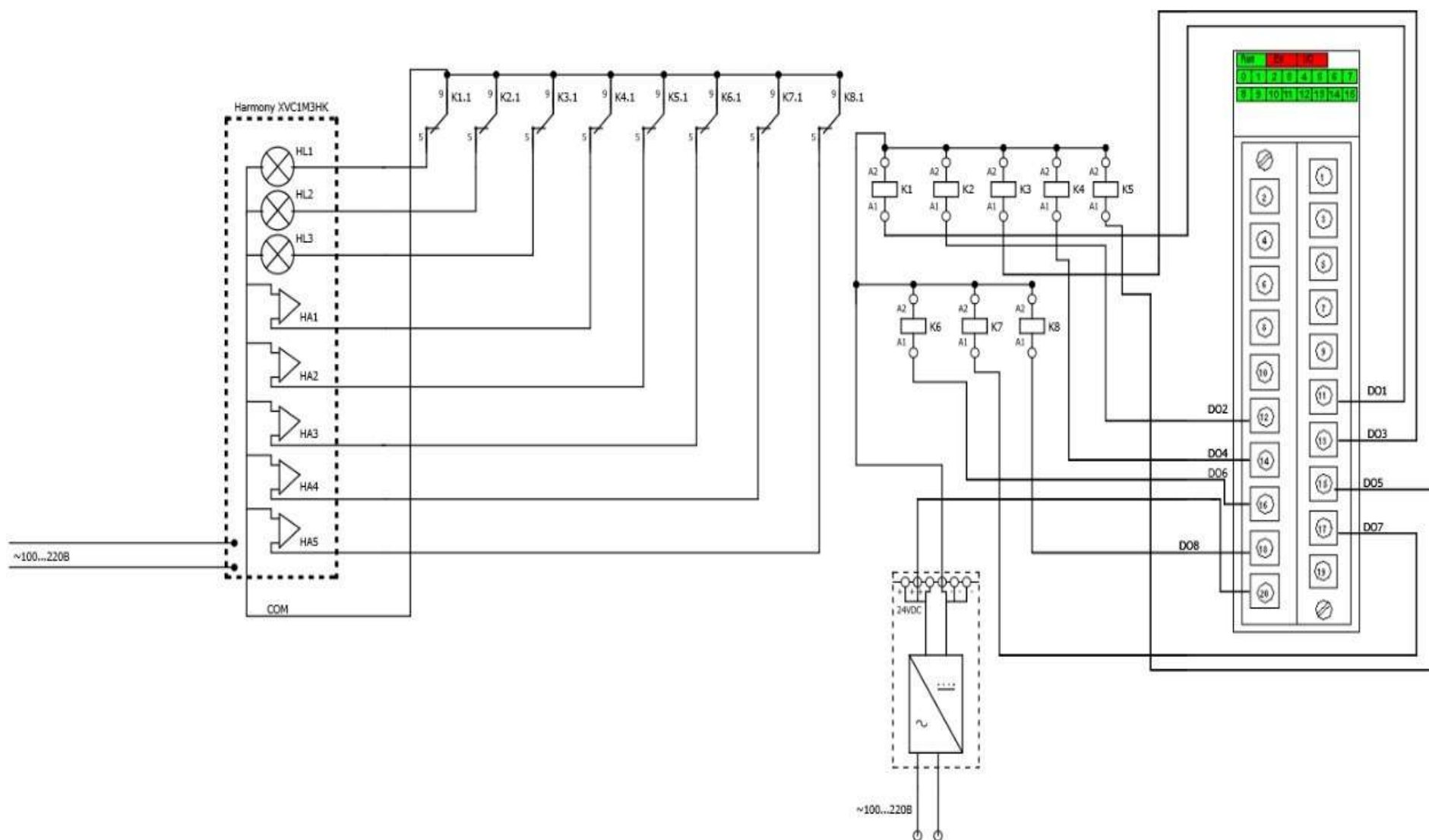
Результат тестування

Принципові електричні схеми

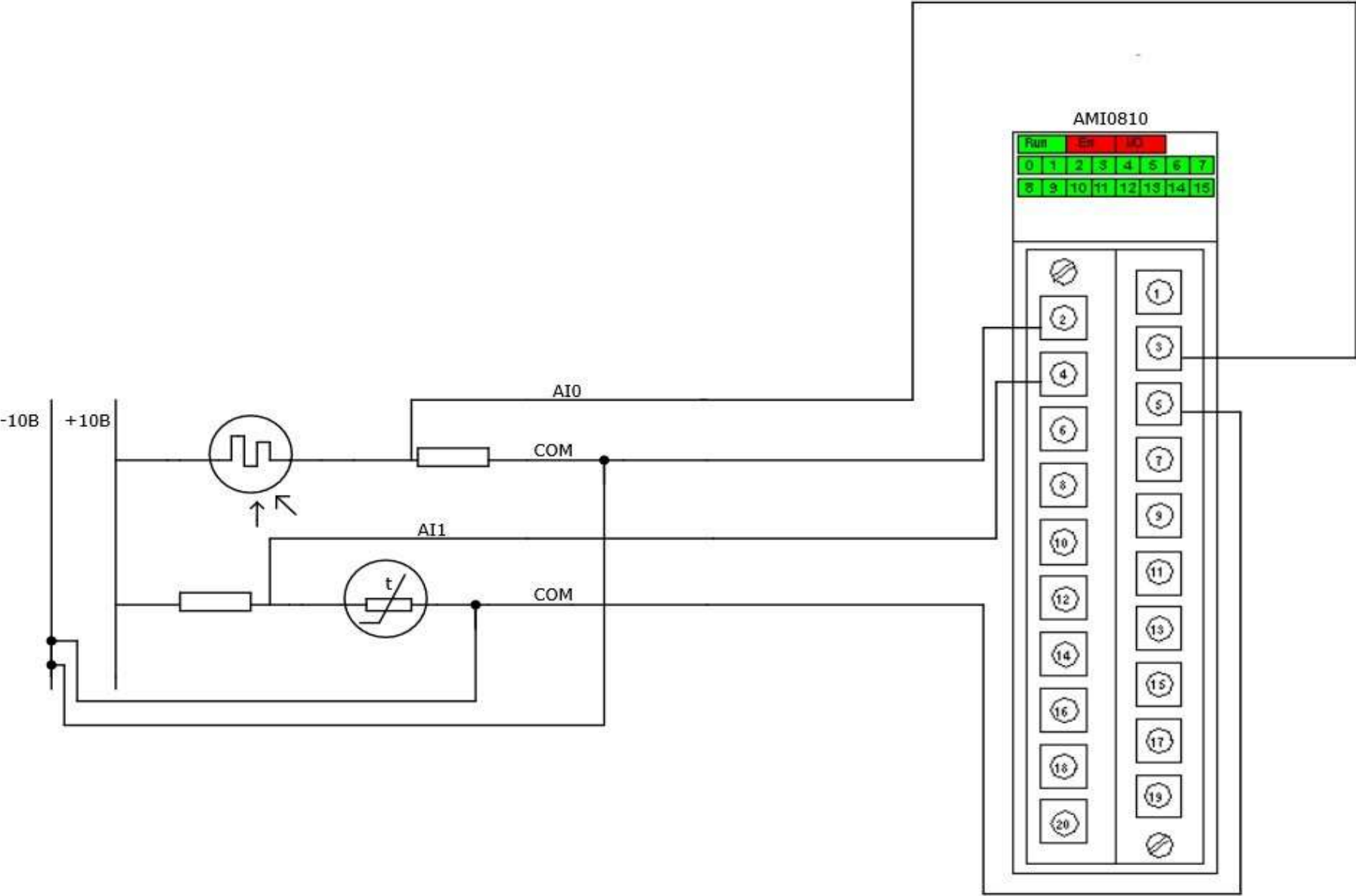
Б1-Принципова електрична схема підключення індуктивних давачів до модуля дискретних входів



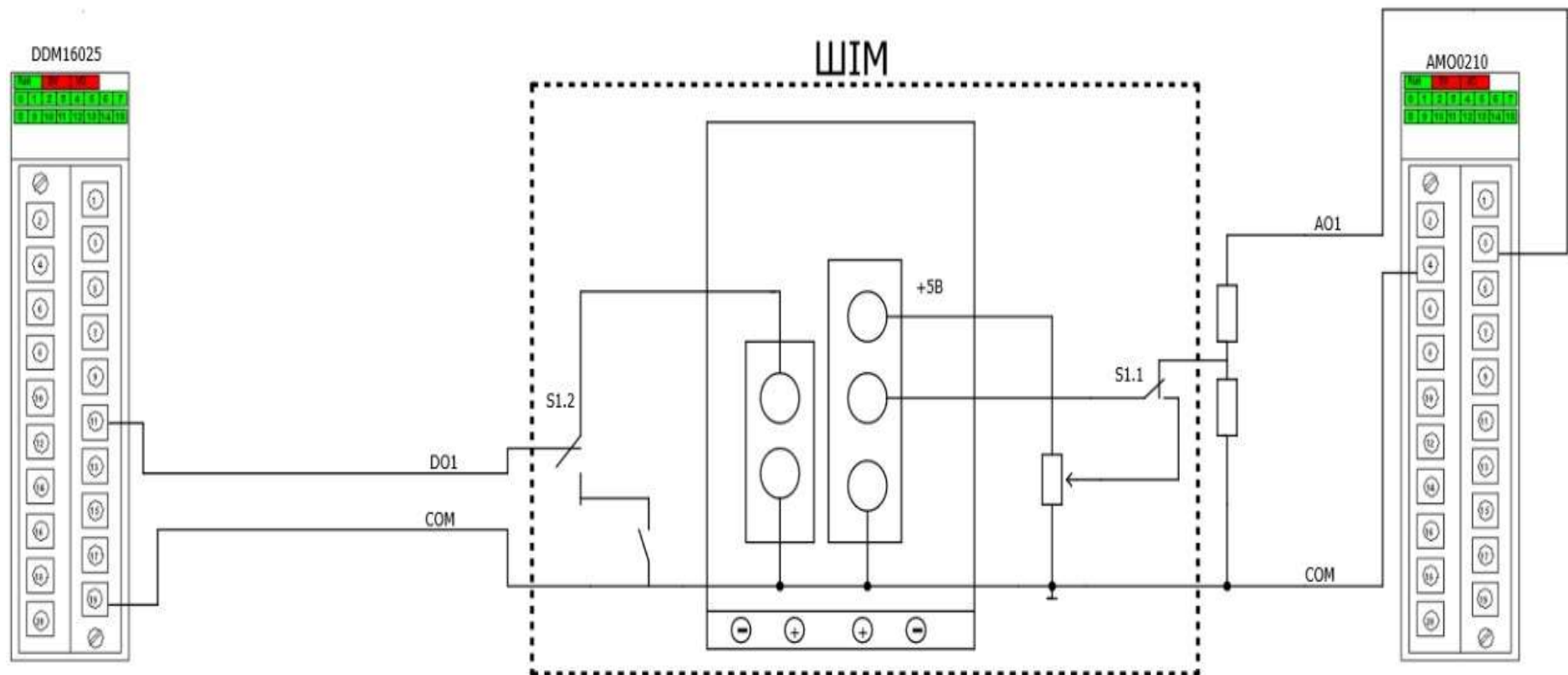
Б2-Принципова електрична схема підключення світлосигнальної колони Harmony XVC1M3HK



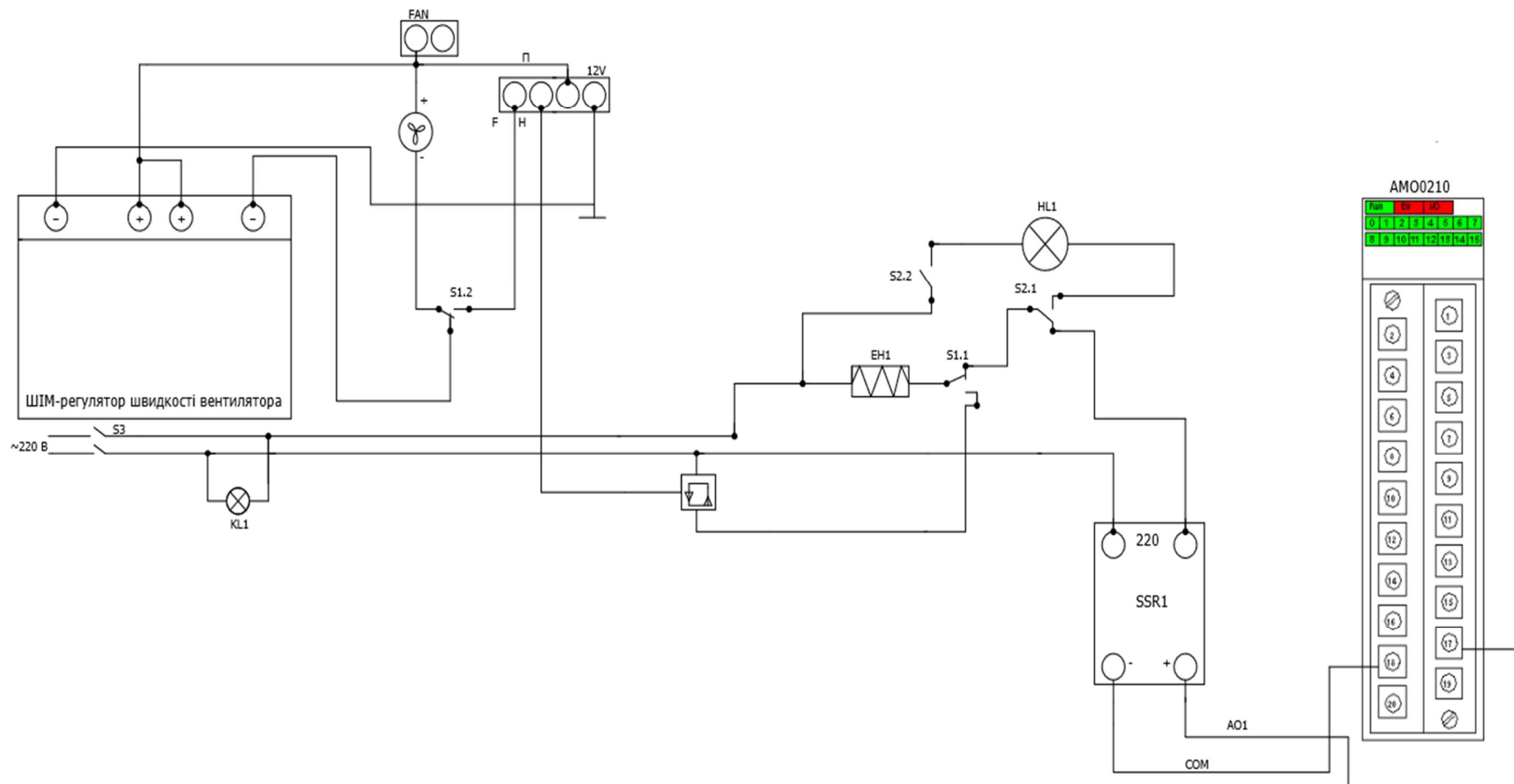
Б3- Принципова електрична схема підключення аналогових датчиків температури та освітленості



Б4- Принципова електрична схема підключення ШІМ-модуля до дискретного та аналогового виходів



Б5- Принципова електрична схема підключення ШІМ-регулятора вентилятора, твердотілого реле та виконавчих елементів



Додаток В

Основні фрагменти програми керування лабораторним стендом мовою ST

```
//=====
// Частина "Формування імпульсу запуску"
//=====
// Start_Pulse виникає тільки в момент нового натискання Start.
// Це не дозволяє системі запускатися повторно автоматично.

Start_Pulse := Start AND NOT Start_Old;
Start_Old := Start;

//=====
// Частина "Аварійна зупинка та початкове скидання"
//=====
// При натисканні Stop алгоритм повертається у початковий стан.

IF Stop THEN
    State := 0;
END_IF;

//=====
// Частина "Скидання виходів у кожному циклі сканування"
//=====
// Команди руху та сигнали індикації формуються тільки
// у відповідних станах алгоритму.

Right := FALSE;
Left := FALSE;

rele1 := FALSE;
rele2 := FALSE;
rele3 := FALSE;
rele7 := FALSE;

NagrivSustem := 0;

DelayIN := FALSE;
RampIN := FALSE;
DelayTime := T#10s;

//=====
// Частина "Основний автомат станів"
//=====
// Змінна State визначає поточний етап роботи стенда.

CASE State OF

    //=====
    // Стан 0. Очікування запуску
    //=====
    // Усі виходи вимкнені. Після натискання Start
    // починається рух платформи вправо.
    0:
        Regulator := 0;
        NagrivSustem := 0;

        B1 := FALSE;
        B2 := FALSE;
        B3 := FALSE;
        B4 := FALSE;
        B5 := FALSE;
```

```

        IF Start_Pulse THEN
            State := 10;
        END_IF;

//=====
// Стан 10. Рух вправо до Terminal2
//=====
10:
    Right := TRUE;

    IF Terminal2 AND NOT B1 THEN
        B1 := TRUE;
        State := 11;
    END_IF;

11:
    // Зупинка на Terminal2 на 10 секунд
    rele2 := TRUE;
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#10s;

    IF tDelay.Q THEN
        State := 20;
    END_IF;

//=====
// Стан 20. Рух вправо до Indyk1
//=====
20:
    Right := TRUE;

    IF Indyk1 AND NOT B2 THEN
        B2 := TRUE;
        State := 21;
    END_IF;

21:
    // Зупинка на Indyk1 на 10 секунд
    rele1 := TRUE;
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#10s;

    IF tDelay.Q THEN
        State := 30;
    END_IF;

//=====
// Стан 30. Рух вправо до Terminal3
//=====
30:
    Right := TRUE;

    IF Terminal3 AND NOT B3 THEN
        B3 := TRUE;
        State := 31;
    END_IF;

31:
    // Зупинка на Terminal3 на 10 секунд
    rele2 := TRUE;
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#10s;

```

```

        IF tDelay.Q THEN
            State := 40;
        END_IF;

//=====
// Стан 40. Рух вправо до Indyk2
//=====
40:
    Right := TRUE;

    IF Indyk2 AND NOT B4 THEN
        B4 := TRUE;
        State := 41;
    END_IF;

41:
    // Зупинка на Indyk2 на 10 секунд
    rele1 := TRUE;
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#10s;

    IF tDelay.Q THEN
        State := 50;
    END_IF;

//=====
// Стан 50. Рух до крайнього правого положення Terminal4
//=====
50:
    Right := TRUE;

    IF Terminal4 AND NOT B5 THEN
        B5 := TRUE;
        State := 60;
    END_IF;

//=====
// Стан 60. Плавне наростання сигналу Regulator
//=====
// Значення Regulator збільшується від 0 до 10000.
// Значення 10000 відповідає 100 % вихідної потужності.
60:
    rele3 := TRUE;
    rele7 := TRUE;

    RampIN := TRUE;

    IF tRamp.Q THEN
        Regulator := Regulator + 100;
    END_IF;

    IF Regulator >= 10000 THEN
        Regulator := 10000;
        State := 70;
    END_IF;

//=====
// Стан 70. Технологічна пауза після наростання сигналу
//=====
70:
    DelayIN := TRUE;

```

```

    DelayTime := T#20s;

    IF tDelay.Q THEN
        State := 80;
    END_IF;

//=====
// Стан 80. Перший режим нагріву
//=====
// На нагрівний елемент подається значення 3000.
// Нагрів триває до досягнення температури 30 °C.
80:
    NagrivSustem := 3000;

    IF EtaLonTM >= 30.0 THEN
        NagrivSustem := 0;
        State := 90;
    END_IF;

//=====
// Стан 90. Перше охолодження
//=====
90:
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#15s;

    IF tDelay.Q THEN
        B1 := FALSE;
        B2 := FALSE;
        B3 := FALSE;
        B4 := FALSE;
        B5 := FALSE;

        State := 100;
    END_IF;

//=====
// Стан 100. Рух вліво до Indyk2
//=====
100:
    Left := TRUE;

    IF Indyk2 AND NOT B1 THEN
        B1 := TRUE;
        State := 101;
    END_IF;

101:
    // Зупинка на Indyk2 під час руху назад
    rele1 := TRUE;
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#10s;

    IF tDelay.Q THEN
        State := 110;
    END_IF;

//=====
// Стан 110. Рух вліво до Terminal3
//=====
110:
    Left := TRUE;

```

```

        IF Terminal3 AND NOT B2 THEN
            B2 := TRUE;
            State := 111;
        END_IF;

111:
    // Зупинка на Terminal3 під час руху назад
    rele2 := TRUE;
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#10s;

    IF tDelay.Q THEN
        State := 120;
    END_IF;

//=====
// Стан 120. Рух вліво до Indyk1
//=====
120:
    Left := TRUE;

    IF Indyk1 AND NOT B3 THEN
        B3 := TRUE;
        State := 121;
    END_IF;

121:
    // Зупинка на Indyk1 під час руху назад
    rele1 := TRUE;
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#10s;

    IF tDelay.Q THEN
        State := 130;
    END_IF;

//=====
// Стан 130. Рух вліво до Terminal2
//=====
130:
    Left := TRUE;

    IF Terminal2 AND NOT B4 THEN
        B4 := TRUE;
        State := 140;
    END_IF;

//=====
// Стан 140. Друга технологічна пауза
//=====
140:
    rele2 := TRUE;
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#20s;

    IF tDelay.Q THEN
        State := 150;
    END_IF;

//=====
// Стан 150. Другий режим нагріву

```

```

//=====
// На нагрівний елемент подається значення 3500.
// Нагрів триває до досягнення температури 45 °С.
150:
    NagrivSustem := 3500;

    IF EtaLonTM >= 45.0 THEN
        NagrivSustem := 0;
        State := 160;
    END_IF;

//=====
// Стан 160. Друге охолодження
//=====
160:
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#15s;

    IF tDelay.Q THEN
        State := 170;
    END_IF;

//=====
// Стан 170. Рух до початкового положення Terminal1
//=====
170:
    Left := TRUE;

    IF Terminal1 THEN
        State := 180;
    END_IF;

//=====
// Стан 180. Завершальна пауза та скидання системи
//=====
180:
    rele3 := TRUE;
    DelayIN := TRUE;
    DelayTime := T#30s;

    IF tDelay.Q THEN
        State := 0;
    END_IF;

ELSE
    // У випадку невідомого стану алгоритм скидається
    State := 0;

END_CASE;

//=====
// Частина "Виклик таймерів"
//=====
// tDelay використовується для технологічних пауз,
// tRamp – для плавного наростання Regulator.

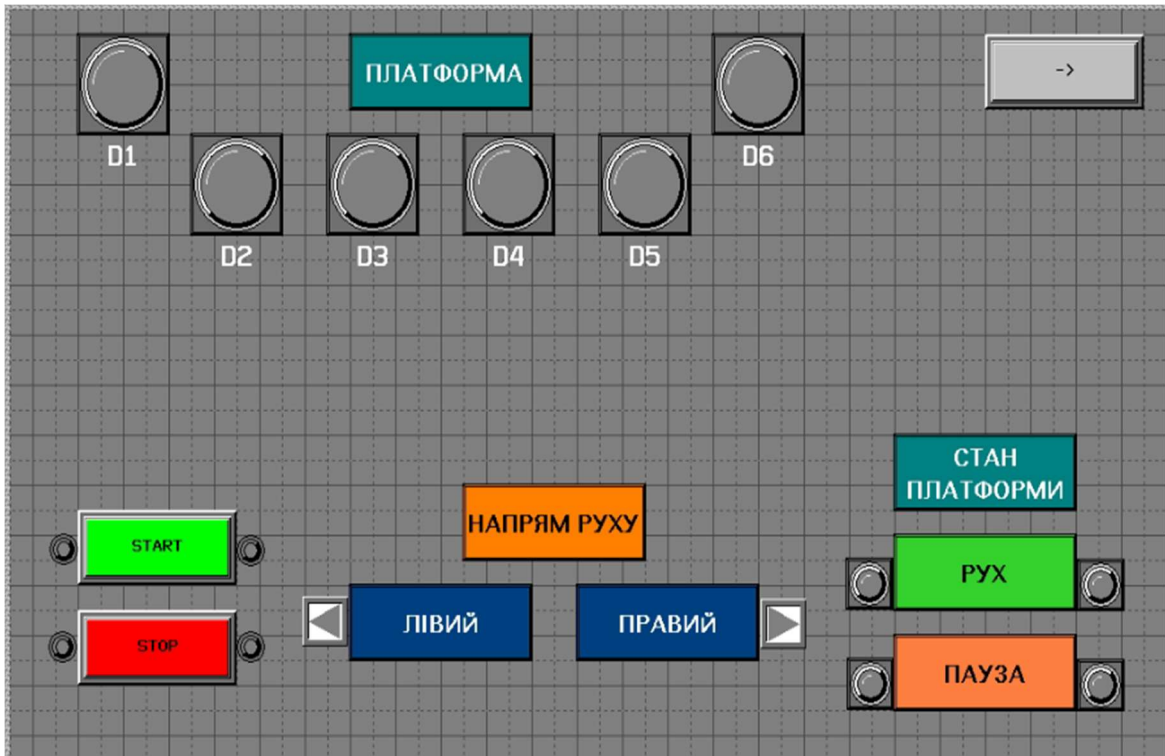
tDelay(IN := DelayIN, PT := DelayTime);
tRamp(IN := RampIN AND NOT tRamp.Q, PT := T#200ms);

```

Додаток Г

Екрани керування операторської панелі Harmony ET6

Г-1 Екран керування лінійною платформою



Г-2 Екран контролю ШІМ, температури, нагрівання, охолодження та освітленості

