

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП-11.00.00.000 ПЗ

Група АКП-22-1

Лужний Назар

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

Лужний Назар Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК ___ 681.53
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Проектування, розробка та налагодження лабораторної установки

(назва роботи)

з макетом-симулятором та PLC M172

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 М.І.Горбійчук
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-22-1 Н.І. Лужний
(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 АКИТ

А.І. Лагойда.

« » 2026 року

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

Лужний Назар Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування, розробка та налагодження лабораторної
установки з макетом-симулятором та PLC M172

керівник роботи Когутяк 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 15.06.2026 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. Технічне завдання на розробку та архітектура лабораторного стенда на базі контролера ТМ172;

2. Монтаж, налагодження та тестування стенда;

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 – 11.00.00.000 01;

Лист 2 – FBD-схеми калібрування аналогових датчиків – БР.АКП –
11.00.00.000 02;

Лист 3 – Схема моделювання ПІД-регулятора – БР.АКП – 11.00.00.000 03;

Лист 4 – Функціональна схема автоматизації – БР.АКП – 11.00.00.000 04;

Лист 5 – Принципова електрична схема підключення контролера M172
та комунікаційного шлейфа– БР.АКП – 11.00.00.000 05;

Лист 6 – Принципова електрична схема макета-імітатора – БР.АКП –
11.00.00.000 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	Технічне завдання на розробку та архітектура лабораторного стенда на базі контролера ТМ172	12.05.2026 р.	
2	Монтаж, налагодження та тестування стенда	15.05.2026 р.	
3	Ідентифікація та моделювання роботи окремих вузлів стенда	19.05.2026 р.	
4	Розроблення проектних документів лабораторної установки	29.05.2026 р.	

Студент _____
(підпис)

Н.І. Лужний
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

М.І. Когутяк
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 91 сторінки друкованого тексту, 50 рисунків, 0 таблиць, 8 переліків посилань на джерела.

Тема: «Проектування, розробка та налагодження лабораторної установки з макетом-симулятором та PLC M172».

Об'єкт дослідження: лабораторна установка з макетом-симулятором на базі програмованого логічного контролера M172, що включає тепловий і світловий модулі, обертову платформу, дискретний та аналоговий модулі.

Мета роботи: розроблення лабораторного стенда для дослідження систем автоматизованого керування на базі контролера Schneider Electric M172 і панелі Harmony ET6, а також створення програмного забезпечення для реалізації технологічних алгоритмів та дослідження системи температурного регулювання.

Методи дослідження: аналіз науково-технічної літератури; проектування електричних схем; математичне моделювання; синтез ПІ- та ПІД-регуляторів; моделювання в MATLAB Simulink; програмування мовою Structured Text у середовищі EcoStruxure Machine Expert HVAC; експериментальні дослідження на лабораторному стенді.

Результати кваліфікаційної роботи: розроблено та виготовлено лабораторний стенд, виконано монтаж і налаштування його апаратної частини, створено програмне забезпечення для PLC та HMI. Реалізовано алгоритми керування й візуалізації технологічних процесів, проведено ідентифікацію теплового об'єкта та налаштування регуляторів. Результати моделювання й експериментальних досліджень підтвердили працездатність системи керування та ефективність застосування ПІД-регулятора, який забезпечив стабільне підтримання температури 30 °C без автоколивань.

Ключові слова: лабораторний стенд, програмований логічний контролер, Schneider Electric M172, Harmony ET6, автоматизована система керування, EcoStruxure Machine Expert HVAC, Structured Text, HMI, ПІД-регулятор, математичне моделювання, автоматизація технологічних процесів.

ABSTRACT

The bachelor's thesis contains: 91 pages of printed text, 50 figures, 0 tables, and 8 references.

Title: "Design, Development, and Commissioning of a Laboratory Installation with a Simulator Mock-Up and PLC M172".

Object of research: a laboratory installation with a simulator mock-up based on the M172 programmable logic controller, including thermal and lighting modules, a rotary platform, as well as discrete and analog modules.

Purpose of the study: to develop a laboratory stand for investigating automated control systems based on the Schneider Electric M172 programmable logic controller and the Harmony ET6 operator panel, as well as to create software for implementing technological algorithms and studying the temperature control system.

Research methods: analysis of scientific and technical literature; design of electrical circuits; mathematical modeling; synthesis of PI and PID controllers; simulation in MATLAB Simulink; programming in Structured Text using the EcoStruxure Machine Expert HVAC environment; and experimental studies on the laboratory stand.

Results of the qualification work: a laboratory stand was designed and manufactured, its hardware was assembled and configured, and software for the PLC and HMI was developed. Control and visualization algorithms for technological processes were implemented, the thermal object was identified, and controller tuning was performed. The results of simulation and experimental studies confirmed the operability of the developed control system and the effectiveness of the PID controller, which ensured stable maintenance of the temperature setpoint at 30 °C without self-oscillations.

Keywords: laboratory stand, programmable logic controller, Schneider Electric M172, Harmony ET6, automated control system, EcoStruxure Machine Expert HVAC, Structured Text, HMI, PID controller, mathematical modeling, process automation.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	10
1 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА РОЗРОБКУ ТА АРХІТЕКТУРА	
ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА НА БАЗІ КОНТРОЛERA TM172	12
1.1 Технічне завдання на розробку лабораторного стенда	12
1.2 Архітектура лабораторного стенда.....	14
1.3 Характеристика складових елементів та обладнання.....	15
Висновки до розділу.....	19
2 МОНТАЖ, НАЛАШТУВАННЯ ТА ПЕРЕВІРКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ	
ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА.....	20
2.1 Загальний монтаж обладнання на панелі	20
2.2 Налагодження роботи основного обладнання системи.....	22
2.3 Налагодження та тестування роботи вузлів макета симулятора	24
Висновки до розділу.....	33
3 ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ	
ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА	34
3.1 Дослідження та калібрування датчиків температури та освітленості .	34
3.2 Ідентифікація та моделювання каналу регулювання температури..	36
3.3 Синтез та дослідження систем керування тепловим об'єктом	45
3.4 Аналіз роботи ПІД-регулятора для нагрівального елемента макета-симулятора.....	52
Висновки до розділу.....	54
4 РОЗРОБКА ПРОЄКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ЛАБОРАТОРНОЇ	
УСТАНОВКИ.....	55
4.1 Розробка функціональної схеми автоматизації	55
4.2 Розроблення принципів електричних схем та схем підключень обладнання.....	57
4.3 Приклади розроблення програмного забезпечення для TM172 та НМІ ЕТ6	64
Висновки до розділу.....	80

					<i>КР АКП- 11.00.000 ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Лужний Н.І.				Проектування, розробка та налагодження лабораторної установки з макетом-симулятором та PLC M172	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Когутяк М.І.					н	7	91
Реценз.	Горбійчук М.І.					ІФНТУНГ АКП-22-1		
Н. Контр.	Кучмистенко							
Затверд.	Лагойда А.І.							

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	81
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА	83
ДОДАТКИ	84

					БР.АКТІ-11.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

- AO (AO) – аналоговий вихід (Analog Output);
- DI – дискретний вхід (Digital Input);
- DO – дискретний вихід (Digital Output);
- ET – фактичний час роботи таймера (Elapsed Time);
- ET6 – операторська панель Harmony ET6;
- GR – герконовий датчик;
- GI – датчик обертів;
- HC – поворотний регулятор;
- HMI (Human Machine Interface) – інтерфейс взаємодії людини з машиною;
- HS – ручний перемикач;
- IEC 61131-3 – міжнародний стандарт мов програмування програмованих логічних контролерів;
- LED – світлодіод (Light Emitting Diode);
- M172 – програмований логічний контролер Schneider Electric серії Modicon M172;
- PID (Proportional–Integral–Derivative) – пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор;
- PI (Proportional–Integral) – пропорційно-інтегральний регулятор;
- PLC (Programmable Logic Controller) – програмований логічний контролер;
- PT – заданий час таймера (Preset Time);
- PWM (Pulse Width Modulation) – широтно-імпульсна модуляція;
- R_TRIG – функціональний блок виявлення позитивного фронту сигналу;
- SB – кнопковий вимикач;
- ST (Structured Text) – мова структурованого тексту;
- SAK – система автоматичного керування;
- TE – датчик температури;

					БР.АКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

TI – датчик температури з локальною індикацією;

TON – таймер затримки на ввімкнення (Timer ON Delay);

UE – датчик освітленості;

Vijeo Designer – програмне середовище розроблення проєктів для операторських панелей Schneider Electric;

EcoStruxure Machine Expert HVAC – програмне середовище розроблення та налагодження програм для контролерів Schneider Electric серії M172;

MATLAB Simulink – програмне середовище математичного моделювання та дослідження динамічних систем;

ПІД-регулятор – регулятор із пропорційною, інтегральною та диференціальною складовими;

ПІ-регулятор – регулятор із пропорційною та інтегральною складовими;

°C – градус Цельсія;

с – секунда;

N – коефіцієнт підсилення об'єкта керування;

T_1, T_2 – сталі часу об'єкта керування;

τ – час запізнення (транспортне запізнення) об'єкта;

$W(s)$ – передавальна функція об'єкта керування;

s – комплексна змінна оператора Лапласа;

$u(t)$ – керуючий вплив регулятора;

$e(t)$ – сигнал неузгодженості (похибка регулювання);

$y(t)$ – вихідна координата об'єкта керування;

$r(t)$ – задавальний вплив (уставка);

K_p – коефіцієнт пропорційної складової регулятора;

K_i – коефіцієнт інтегральної складової регулятора;

K_d – коефіцієнт диференціальної складової регулятора;

N – коефіцієнт фільтрації диференціальної складової ПІД-регулятора.

					БР.АКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

ВСТУП

Сучасний розвиток промисловості характеризується активним впровадженням автоматизованих систем керування технологічними процесами, які забезпечують підвищення продуктивності виробництва, покращення якості продукції, зниження енергетичних витрат та мінімізацію впливу людського фактора. Важливою складовою підготовки фахівців у галузі автоматизації є набуття практичних навичок проєктування, налагодження та експлуатації сучасних засобів автоматизації на реальних або наближених до реальних об'єктах керування.

Одним із ефективних підходів до вирішення даного завдання є використання лабораторних стендів-симуляторів, які дозволяють відтворювати роботу технологічних процесів, досліджувати алгоритми керування та виконувати їх експериментальну перевірку без необхідності застосування дорогого промислового обладнання. Такі стенди забезпечують можливість комплексного вивчення взаємодії програмованих логічних контролерів, операторських панелей, датчиків і виконавчих механізмів, а також дають змогу проводити дослідження систем автоматичного регулювання.

Актуальність теми дипломної роботи обумовлена необхідністю створення навчально-дослідного лабораторного стенда, який забезпечує моделювання роботи типових виробничих процесів та дозволяє реалізувати сучасні алгоритми автоматизованого керування. Використання такого стенда сприяє підвищенню рівня практичної підготовки студентів спеціальності, формуванню компетентностей у сфері промислової автоматизації та набуттю навичок роботи із сучасними програмно-технічними засобами.

Метою дипломної роботи є розроблення лабораторного стенда для дослідження систем автоматичного керування на базі програмованого логічного контролера Schneider Electric M172 та операторської панелі Harmony ET6, а

					БР.АКП-11.00.000 ПЗ	Арк
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

також створення програмного забезпечення для реалізації технологічних алгоритмів і систем регулювання теплових та світлових об'єктів.

Об'єктом дослідження є процеси автоматичного керування технологічними об'єктами на лабораторному стенді.

Предметом дослідження є методи та засоби побудови автоматизованих систем керування на базі програмованих логічних контролерів і операторських панелей.

Практична цінність роботи полягає у створенні діючого лабораторного стенда, який може використовуватися в освітньому процесі для проведення лабораторних робіт, демонстрації принципів функціонування систем автоматизації та дослідження алгоритмів керування. Результати роботи можуть бути застосовані під час підготовки фахівців у галузі автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, а також слугувати основою для подальшого вдосконалення навчально-дослідного обладнання.

					БР.АКП-11.00.000 ПЗ	Арк
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА РОЗРОБКУ ТА АРХІТЕКТУРА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА НА БАЗІ КОНТРОЛЕРА ТМ172

1.1 Технічне завдання на розробку лабораторного стенда

Лабораторний стенд призначений для отримання навичок в розробленні програмного забезпечення систем управління типовими технологічними вузлами різних виробництв на базі контролерів ТМ172. 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 PLC ТМ172.

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

- макет-симулятор МС (набір мініатюрних фізичних вузлів технологічних об'єктів з датчиками та виконавчими пристроями та засобами оперативного керування);

- локальний рівень керування (PLC ТМ172) та панель оператора ЕТ;

- верхній рівень керування – автоматизоване робоче місце (АРМ) дослідника з необхідним інструментальним середовищем розробки.

Макет повинен мати автономну компоновку в дерев'яному корпусі з клемником для підключення шлейфу. Конструкція є мобільною з можливістю установки на інші стенди.

МС повинен мати зоновану структуру і включати:

- мехатронний вузол з рухомою платформою з дискретним логіко-командним керування. Датчі та виконавчі пристрої забезпечують реалізацію необхідних функцій по керуванню даним вузлом;

- об'єкти з аналоговим керуванням (теплові,освітлювальні)

- область ручних задатчиків , кнопок і сигналізаторів.

					БР.АКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Для дослідження роботи стенда передбачені такі режими роботи:

- тестування роботи обладнання та макета ;
- дослідження простих схем керування з використанням засобів ручного керування та візуалізації макета ;
- дискретне логіко-командне керування обертовою платформою ;
- автоматичне локальне керування тепловим та світловим об'єктом;
- супервізорне керування з панелі HMI ET6500 ;
- режим SCADA- системи для керування , візуалізації та реєстрації ходу дослідження

Візуалізація процесу дослідження та керування здійснюється у декілька способів:

- на макеті : оперативний контроль температури (автономний цифровий термометр) та засоби індикації дискретних сигналів і аналогових задатчиків;
- на HMI TM172 :режими роботи локацій МС та необхідні параметри контролю;
- повна візуалізація процесу дослідження на HMI ET6500;
- візуалізація ходу процесу дублюється в SCADA в ARM -дослідника з можливістю реєструється та архівується необхідна інформація.

Все обладнання лабораторного стенда компонується в підвісній приладній перфорованій панелі (габаритні розміри 920 × 50 × 880 мм).

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

Макет МС змонтований в приладному корпусі розміром 200×200×110мм.

Кола керування силовим обладнанням повинні бути гальванічно розв'язані від кіл керування. Підключення МС до контролера через шлейф на 37 пінів. Універсальне підключення до контролера реалізувати через виносний клемник-роз'єм до якого підмикають шлейф.

Монітор АРМ- дослідника монтується на приставному столі разом з системним блоком . Панель оператора ET6500 кріпиться на підвісній панелі

					БРАКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

(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 короби.

1.2 Архітектура лабораторного стенда

Архітектура лабораторного стенду є розробленою для дослідження та тестувань систем автоматизації технологічних процесів за допомогою логічного контролера M172 компанії Schneider Electric. На стенді можна реалізовувати виконання як лабораторних, так і дослідницьких робіт. В основі даного стенду лежить Ethernet з'єднання між майже усіма елементами.

Стенд складається з інженерної станції оператора (АРМ), сенсорної панелі оператора НМІ ЕТ6, логічного контролера M172, комунікаційного шлейфу, макета об'єктів та елементів для симуляції, а також мережевого обладнання. Структурну схему комп'ютерно-інтегрованої системи лабораторного стенду наведено на листі 1.

Ключовим елементом є контролер M172, котрий збирає інформацію з датчиків та керує виконавчими механізмами. Контролер має змогу керувати як аналоговими, так і дискретними сигналами, а також можливість взаємодіяти з панелями оператора та зовнішніми пристроями в тому числі за рахунок Ethernet, чи Modbus TCP. За допомогою універсального комунікаційного шлейфу PLC взаємодіє з макетом.

Інженерна станція оператора (АРМ) – це персональний комп'ютер на якому встановлений софт, котрий забезпечує програмування та моніторинг PLC. Дані дії можуть відбуватися і в режимі онлайн, так і в режимі моделювання. Останній дає змогу провести тестування без підключення до контролера.

Використання Ethernet для обміну даними дає змогу швидко взаємодіяти оператору з контролером та панеллю НМІ ЕТ6. А наявність бездротового

					БР.АКП-11.00.000 ПЗ	Арк
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

маршрутизатора відкриває можливість інтеграції стенда у локальну мережу лабораторії.

Дана архітектура лабораторного стенду дає можливість дослідити увесь цикл системи автоматизації: від створення різних програм до тестування їх на реальних об'єктах. Панель оператора в свою чергу дає змогу візуалізувати все, що потрібно для коректної роботи з об'єктами. А Ethernet з'єднання забезпечує стабільний та швидкий обмін даними між ПК, контролером та панеллю.

1.3 Характеристика складових елементів та обладнання

Лабораторний стенд (див. рис. 1.2) можна використовувати як для програмування, так і для дослідження систем автоматизації технологічних процесів. Щоб досягти точних результатів були використані найкращі елементи, в тому числі від компанії Schneider Electric. До складу стенда входять програмований логічний контролер, операторська панель, датчики та виконавчі механізми, що дозволяє відтворювати роботу реальних виробничих процесів у лабораторних умовах. Завдяки модульній конструкції забезпечується можливість подальшого розширення функціональних можливостей стенда та підключення додаткових технологічних вузлів.

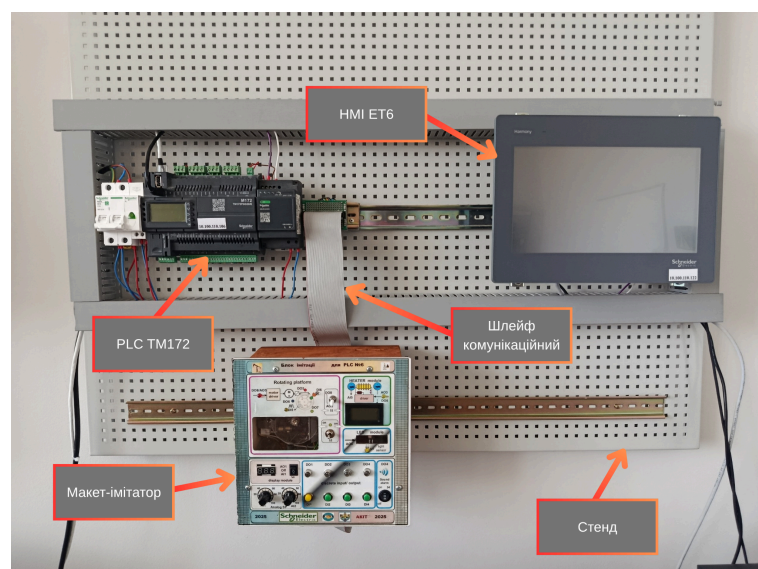


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд лабораторного стенду



Рисунок 1.4 – Блок живлення ABLM1A24025

Технічні характеристики:

- Номінальна потужність: 60 Вт.
- Вихідний струм джерела живлення: 2,5 А.
- Вихідна напруга: постійний струм 24 В.
- Номінальна частота мережі: 50...60 Гц.

Harmony ET6 – це сенсорна панель призначена для взаємодії оператора з контролером та візуалізації процесів автоматизації. Дана панель часто використовується на підприємствах, через свій функціонал та можливість підключення по Ethernet. Також вона підтримує послідовні інтерфейси. Вигляд панелі оператора наведений на рис. 1.5.



Рисунок 1.5 – Панель оператора Harmony ET6

					БР.АКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Макет створений на основі реальних промислових пристроїв та елементів, що дозволяє провести найбільш точні тестування. Також були використані давачі, кнопки, реле та сигнальні лампи.

Зв'язок між контролером та макетом здійснюється за допомогою універсального шлейфу. Програмується контроллер в інструментальному середовищі EcoStruxure Machine Expert HVAC.

Висновки до розділу

Сформовано технічне завдання на розробку лабораторного стенду. Розроблено архітектуру лабораторного стенду.

Наведено характеристики складових елементів та обладнання.

					БРАКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2 МОНТАЖ, НАЛАШТУВАННЯ ТА ПЕРЕВІРКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

2.1 Загальний монтаж обладнання на панелі

Монтаж лабораторного стенду здійснювався на спеціальній металічній перфорованій панелі з використанням DIN-рейок. Даний спосіб монтажу використовується на всіх сучасних підприємствах, адже забезпечує просте та одночасно надійне кріплення, а також швидку модифікацію за необхідності.

Основою на котрій кріпляться DIN-рейки, а на них в свою чергу PLC m172, макет-імітатор та решта елементів є підвісна приладна перфорована панель. Вона має розміри 920 × 50 × 880 мм. Габаритно-монтажна схема представлена на рис. 2.1.

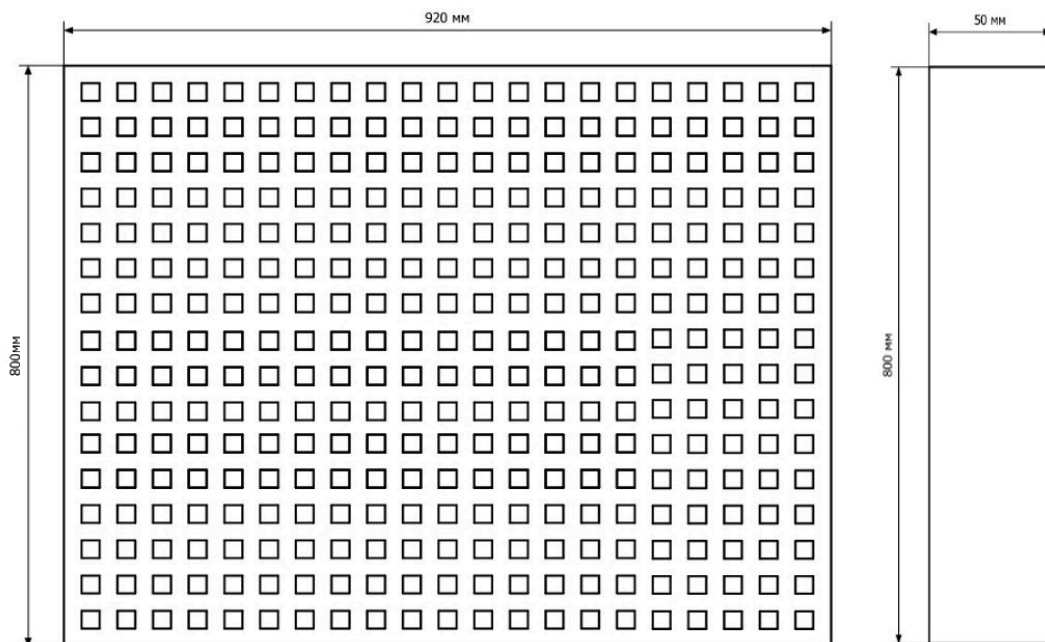


Рисунок 2.1 – Габаритно-монтажна схема підвісної приладної перфорованої панелі

Контролер, макет-імітатор та блок живлення кріпляться до DIN-рейок за допомогою спеціальних тримачів на задній стороні корпусу. Кріплення панелі

					БРАКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

оператора Harmony ET6, відрізняється від вище перелічених. Для неї було використано спеціальні стійки, котрі кріпляться до перфорованої панелі.

Під час монтажу було задіяно велику кількість електричних кабелів. Для того щоб їх приховати було використано пластмасові коробки. Вони забезпечують хорошу електробезпеку та полегшують сам процес монтажу, що в свою чергу допомагає з пошуком потрібних провідників. Кожен провідник є відповідно промаркованим.

Макет-імітатор складається з безлічі елементів, таких як резистори, діоди, перемикачі, датчики та багато іншого. Щоб захистити їх від зовнішніх впливів було використано дерев'яний корпус розмірами 200 × 200 × 100 мм, а також захисну панель з оргскла 220 × 220 × 3 мм. Корпус виконує функцію захисту, а панель в свою чергу крім захисту ще й інформаційно-інтерфейсні функції. Габаритно-монтажна схема представлена на рис. 2.2.

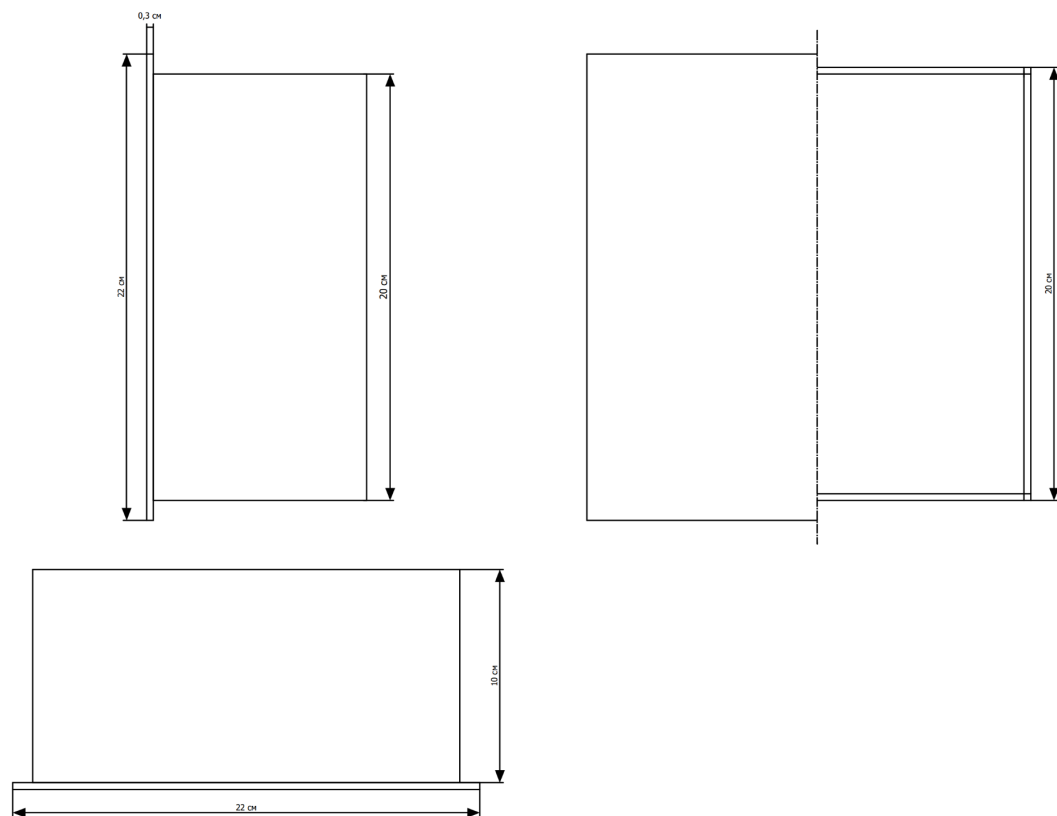


Рисунок 2.2 – Габаритно-монтажна схема макета-імітатора

Зв'язок між контролером m172 та макетом-симулятором зроблено за допомогою універсального шлейфу з відповідними роз'ємами. Це дозволяє в повній мірі забезпечити надійне з'єднання клем контролера з відповідними внутрішніми елементами макета-симулятора.

2.2 Налагодження роботи основного обладнання системи

2.2.1 Налагодження персонально комп'ютера

Для налагодження роботи основного обладнання системи використовується персональний комп'ютер зі встановленим спеціалізованим програмним забезпеченням за допомогою якого здійснюється конфігурація контролера та панелі оператора. Роль ПК полягає в програмуванні, калібровці та тестуванні обладнання.

EcoStruxure™ Machine Expert - HVAC – це програма для роботи з PLC m172. За допомогою якої можна налаштувати входи та виходи контролера. Також писати, тестувати та загрузити на контролер програми. Самі програми можна писати на різних мовах, таких як ST, FBD, LD, IL та SFC. Однією з основних переваг є моніторинг роботи системи в реальному часі. Вигляд програми представлена на рис. 2.3.

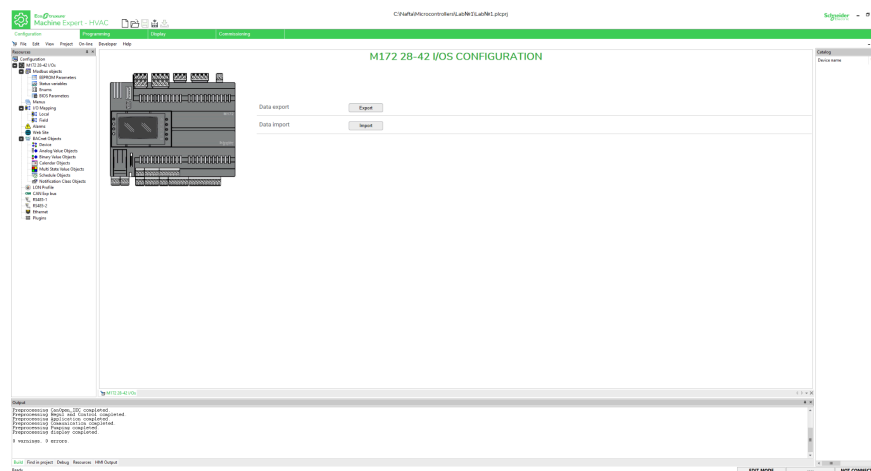


Рисунок 2.3 – Головне меню проекту в програмі EcoStruxure™ Machine Expert - HVAC

									Арк
									22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АКП-11.00.000 ПЗ				

mode. Всі аналогові входи та виходи в m172 налаштовуються попарно. Також була здійснена зміна полярності для виходів, котра забезпечує легше сприйняття задання значень та максимальна частота цих самих виходів. Всі проведені налаштування наведені на рис 2.5 і 2.6.

#	Name	New value	Default value	Description
1	Par_TAB		0	Tab (map code)
2	Par_POLI		2049	Polycarbonate code
3	Par_PARMOD		False	Parameter modified
4	Temp_UM		0=°C	Unit of temperature measurement
5	Cfg_AI1	4=0÷10V	2=NTC(103AT)	Type of analogue input AI1
6	Cfg_AI2	4=0÷10V	2=NTC(103AT)	Type of analogue input AI2
7	Cfg_AI3	4=0÷10V	2=NTC(103AT)	Type of analogue input AI3
8	Cfg_AI4	4=0÷10V	2=NTC(103AT)	Type of analogue input AI4
9	Cfg_AI5	2=NTC(103AT)	2=NTC(103AT)	Type of analogue input AI5
10	Cfg_AI6	2=NTC(103AT)	2=NTC(103AT)	Type of analogue input AI6
11	Cfg_AI7	4=0÷10V	2=NTC(103AT)	Type of analogue input AI7
12	Cfg_AI8	4=0÷10V	2=NTC(103AT)	Type of analogue input AI8
91	Cfg_AO3	3=PWM mode	0=Current module	Type of analogue output AO3
92	Cfg_AO4	3=PWM mode	0=Current module	Type of analogue output AO4
93	PWM_frequency_AO3_AO4		1000	PWM Frequency for AO3 and AO4 in PWM mode
94	PWM_polarity_AO3_AO4	0	1	PWM Polarity for AO3 and AO4 in PWM mode: 1=direct,0=reversed

Рисунок 2.5 – Налаштування вікна Vois parameters

Address	Name	Value	Um	Default	Min	Max	Description
15716	Par_TAB	0	num	0	0	65535	Tab (map code)
15717	Par_POLI	2053	num	2049	0	65535	Polycarbonate code
15719	Par_PARMOD	False	flag	False	0	1	Parameter modified
15769	PWM_frequency_AO3_AO4	50	Hz	1000	0	2000	PWM Frequency for AO3 and AO4 in PWM mode
15770	PWM_polarity_AO3_AO4	0	num	0	0	1	PWM Polarity for AO3 and AO4 in PWM mode: 1=direct,0=reversed

Рисунок 2.6 – Налаштування вікна All vois parameters

2.3 Налагодження та тестування роботи вузлів макета симулятора

Щоб перевірити та впевнитися в коректній роботі всіх вузлів макета-симулятора були написані програми. Кожна програма призначається для певного вузла та охоплює весь його функціонал щоб провести найбільш коректні тестування. На рис 2.9 та 2.10 наведені апаратні та глобальні змінні, що використовуються в програмах.

Для перевірки працездатності програмного забезпечення виконувалося поетапне тестування кожного вузла окремо з аналізом реакції вхідних та вихідних сигналів. Використання апаратних і глобальних змінних дало

можливість забезпечити коректний обмін даними між окремими програмними модулями та спростити процес налагодження системи. Результати тестування підтвердили правильність реалізованих алгоритмів керування та відповідність роботи макета-симулятора заданому технологічному процесу.

#	Name	Variable	Type	Description
1	AIL1	RotarySwitch1_AI1	INT	AIL1 analogue input
2	AIL2	RotarySwitch2_AI2	INT	AIL2 analogue input
3	AIL3	LightSensor_AI3	INT	AIL3 analogue input
4	AIL4		INT	AIL4 analogue input
5	AIL5	TempSensor_AI5	INT	AIL5 analogue input
6	AIL6		INT	AIL6 analogue input
7	AIL7		INT	AIL7 analogue input
8	AIL8		INT	AIL8 analogue input
9	AIL9		INT	AIL9 analogue input
10	AIL10		INT	AIL10 analogue input
11	AIL11		INT	AIL11 analogue input
12	AIL12		INT	AIL12 analogue input
13	DIL1	Button1_DI1	BOOL	DIL1 digital input
14	DIL2	Button2_DI2	BOOL	DIL2 digital input
15	DIL3	Button3_DI3	BOOL	DIL3 digital input
16	DIL4	Button4_DI4	BOOL	DIL4 digital input
17	DIL5	RotationSensor_DI5	BOOL	DIL5 digital input
18	DIL6	PositionSensor_DI6	BOOL	DIL6 digital input
19	DIL7		BOOL	DIL7 digital input
20	DIL8		BOOL	DIL8 digital input
21	DIL9		BOOL	DIL9 digital input
22	DIL10		BOOL	DIL10 digital input
23	DIL11		BOOL	DIL11 digital input
24	DIL12		BOOL	DIL12 digital input
25	DOL1	Lamp1_DO1	BOOL	DOL1 digital output
26	DOL2	Lamp2_DO2	BOOL	DOL2 digital output
27	DOL3	Lamp3_DO3	BOOL	DOL3 digital output
28	DOL4	Lamp4_DO4	BOOL	DOL4 digital output
29	DOL5	Lamp1_DO5	BOOL	DOL5 digital output
30	DOL6	Lamp2_DO6	BOOL	DOL6 digital output
31	DOL7	Lamp3_DO7	BOOL	DOL7 digital output
32	DOL8	Switch1_DO8	BOOL	DOL8 digital output
33	DOL9		BOOL	DOL9 digital output
34	DOL10		BOOL	DOL10 digital output
35	DOL11		BOOL	DOL11 digital output
36	DOL12		BOOL	DOL12 digital output
37	AOL1		INT	AOL1 analogue output
38	AOL2		INT	AOL2 analogue output
39	AOL3	Switch1_AO3	INT	AOL3 analogue output
40	AOL4	LampBrightness_AO4	INT	AOL4 analogue output

Рисунок 2.9 – Апаратні змінні

	Name	Type	Address	Array	Init value	Attribute	Description
1	g_bStartBrightness	BOOL	Auto	No		---	
2	g_bResetBrightness	BOOL	Auto	No		---	
3	g_iRotationNumber	INT	Auto	No		---	
4	g_rConversionResultLight	REAL	Auto	No		---	
5	g_rConversionResultTemp	REAL	Auto	No		---	
6	g_bHeaterDstartD	BOOL	Auto	No		---	
7	g_iHeaterDstartA	INT	Auto	No	500	---	

Рисунок 2.10 – Глобальні змінні тестувальних програм

застосовувалися в кодї, а також покази датчика, як реальні, так і конвертовані для кращого розуміння. Кожен етап був окремо показаний. Результати роботи програми наведені, а також підписані на рис. 2.11.

Symbol	Value
Button1_DI1	FALSE
Button2_DI2	FALSE
Button3_DI3	FALSE
Button4_DI4	FALSE
LampBri...	0
LightSensor_AI3	9146
g_rConve...	76.722

Symbol	Value
Button1_DI1	TRUE
Button2_DI2	FALSE
Button3_DI3	FALSE
Button4_DI4	FALSE
LampBri...	200
LightSensor_AI3	24999
g_rConve...	188.501

Дані датчика освітленості при вимкненому Led модулі.

Дані датчика та значення рівня яскравості при натисненій кнопці “DI1”.

Symbol	Value
Button1_DI1	FALSE
Button2_DI2	TRUE
Button3_DI3	FALSE
Button4_DI4	FALSE
LampBri...	550
LightSensor_AI3	27612
g_rConve...	209.834
g_bReset...	FALSE

Symbol	Value
Button1_DI1	FALSE
Button2_DI2	FALSE
Button3_DI3	TRUE
Button4_DI4	FALSE
LampBri...	800
LightSensor_AI3	28521
g_rConve...	216.791
g_bReset...	FALSE

Symbol	Value
Button1_DI1	FALSE
Button2_DI2	FALSE
Button3_DI3	FALSE
Button4_DI4	TRUE
LampBri...	900
LightSensor_AI3	28732
g_rConve...	218.850

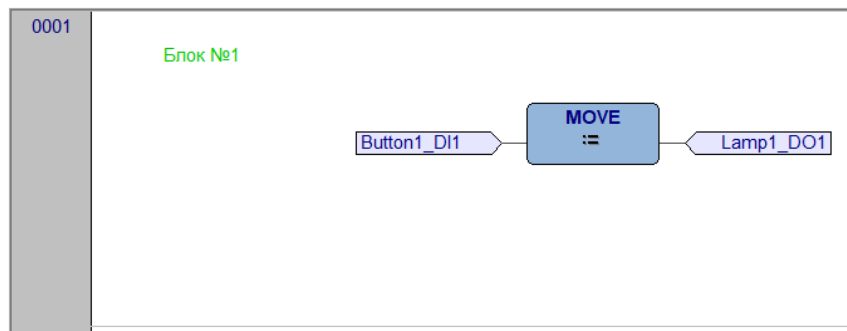
Дані датчика та значення рівня яскравості при натисненні кнопок “DI1”, “DI2” та “DI3” відповідно.

Рисунок 2.11 – Результати роботи тестової програми для LED Module

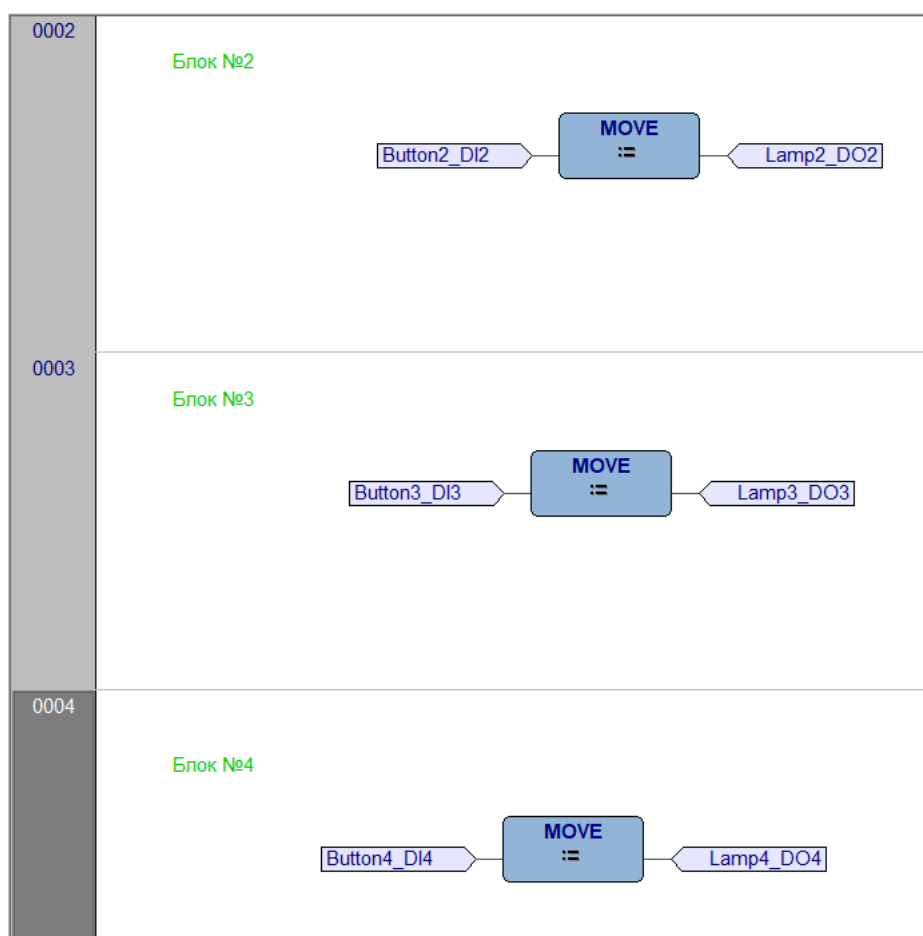
2.3.2 Налаштування та тестування роботи вузла Discrete Input/Output

Щоб перевірити працездатність кнопок (DI1, DI2, DI3, DI4) та ламп (DO1, DO2, DO3, DO4) було створено програму на мові FBD.

1. Частина “Блок №1”. При натисненні кнопки на передній панелі макета-симулятора DI1, загоряється лампочка DO1.



2. Частина “Блок №2”, Блок №3” та Блок №4” виконуються за такою самою логікою. Якщо натиснута кнопка DI2, DI3, або DI4 будуть загорятися лампи DO2, DO3, або DO4 відповідно.



Тестування було проведено на макеті-симуляторі. Для моніторингу було використано вікно реального часу Watch. У нього були додані усі змінні, котрі застосовувалися в коді. Результати роботи програми наведені на рис 2.12.

Під час тестування було підтверджено правильність роботи всіх цифрових входів та виходів макета-симулятора. Натискання кожної кнопки викликало спрацювання відповідної лампи без затримок та помилкових спрацювань.

Значення змінних у вікні Watch повністю відповідали фактичному стану елементів керування та індикації на передній панелі. Отримані результати засвідчили коректність підключення апаратних засобів і правильність реалізації програмної логіки мовою FBD.

Symbol	Value
Button1_DI1	TRUE
Lamp1_DO1	TRUE
Button2_DI2	FALSE
Lamp2_DO2	FALSE
Button3_DI3	FALSE
Lamp3_DO3	FALSE
Button4_DI4	FALSE
Lamp4_DO4	FALSE

Symbol	Value
Button1_DI1	FALSE
Lamp1_DO1	FALSE
Button2_DI2	TRUE
Lamp2_DO2	TRUE
Button3_DI3	FALSE
Lamp3_DO3	FALSE
Button4_DI4	FALSE
Lamp4_DO4	FALSE

Symbol	Value
Button1_DI1	FALSE
Lamp1_DO1	FALSE
Button2_DI2	FALSE
Lamp2_DO2	FALSE
Button3_DI3	TRUE
Lamp3_DO3	TRUE
Button4_DI4	FALSE
Lamp4_DO4	FALSE

Symbol	Value
Button1_DI1	FALSE
Lamp1_DO1	FALSE
Button2_DI2	FALSE
Lamp2_DO2	FALSE
Button3_DI3	FALSE
Lamp3_DO3	FALSE
Button4_DI4	TRUE
Lamp4_DO4	TRUE

Почергове натискання кнопок DI1, DI2, DI3 та DI4

Symbol	Value
Button1_DI1	TRUE
Lamp1_DO1	TRUE
Button2_DI2	FALSE
Lamp2_DO2	FALSE
Button3_DI3	FALSE
Lamp3_DO3	FALSE
Button4_DI4	TRUE
Lamp4_DO4	TRUE

Symbol	Value
Button1_DI1	TRUE
Lamp1_DO1	TRUE
Button2_DI2	TRUE
Lamp2_DO2	TRUE
Button3_DI3	TRUE
Lamp3_DO3	TRUE
Button4_DI4	TRUE
Lamp4_DO4	TRUE

Натискання DI1 та DI2, а також всіх кнопок одночасно

Рисунок 2.12 – Результати роботи тестової програми для Discrete Input/Output

2.3.3 Налагодження та тестування роботи вузла Rotating platform

Для тестування рухомої платформи була написана програма на мові ST. Локальні змінні котрі були використані в кодї наведені на рис. 2.13.

Local variables							
	Name	Type	Address	Array	Init value	Attribute	Description
1	bTimerRunning	BOOL	Auto	No	FALSE	..	Стан таймера
2	tDelayTimer	TON	Auto	No		..	Таймер затримки
3	bTriggerDetected	BOOL	Auto	No	FALSE	..	

Рисунок 2.13 – Локальні змінні тестової програми для Rotating platform

1. Частина “Виявлення нового значення”. Дана частина коду запускає таймер на 5 секунд та зупиняє обертання платформи, коли значення енкодера дорівнюють 3, 11, чи 16. Для запобігання зациклення програми використовується тригер-змінна (прапор) bTriggerDetected.

```

0001 // Виявлення нового значення (спрацювання лише один раз)
0002 IF NOT bTriggerDetected AND NOT bTimerRunning AND
0003 (g_iRotationNumber = 3 OR g_iRotationNumber = 11 OR g_iRotationNumber = 16) THEN
0004
0005     bTimerRunning := TRUE;           // запуск процесу таймера
0006     bTriggerDetected := TRUE;       // встановлення прапора спрацювання
0007     tDelayTimer(IN := TRUE, PT := 5000); // запуск таймера на 5 секунд
0008 END_IF;

```

2. Частина “Скидання прапора”. Якщо значення енкодера не дорівнюють 3, 11, чи 16, то тригер-змінна залишається FALSE.

```

0010 // Скидання прапора після зміни значення
0011 IF g_iRotationNumber <> 3 AND g_iRotationNumber <> 11 AND
0012 g_iRotationNumber <> 16 THEN
0013
0014     bTriggerDetected := FALSE;       // дозвіл на повторне спрацювання
0015 END_IF;

```

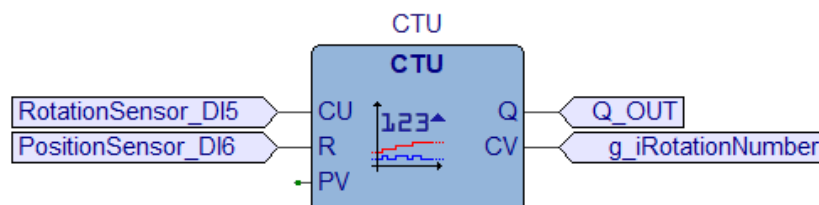
3. Частина “Робота таймера”. При спрацюванні таймера на п'ять секунд платформа зупиняє свій рух. Після відпрацювання таймера рух продовжується.

```

0017 // Основна логіка роботи таймера
0018 IF bTimerRunning THEN
0019     tDelayTimer(IN := TRUE);         // підтримка роботи таймера
0020
0021     Switch1_DO8 := FALSE;           // вимкнення цифрового виходу
0022     Switch1_AO3 := 1000;           // встановлення аналогового сигналу
0023
0024     // Дії після завершення відліку
0025     IF tDelayTimer.Q THEN
0026         Switch1_DO8 := TRUE;        // увімкнення виходу
0027         Switch1_AO3 := 0;           // скидання аналогового сигналу
0028         bTimerRunning := FALSE;     // завершення роботи таймера
0029         tDelayTimer(IN := FALSE);   // зупинка таймера
0030     END_IF;
0031 ELSE
0032     tDelayTimer(IN := FALSE);       // таймер вимкнений
0033 END_IF;

```

4. Для підрахунку кількості імпульсів енкодера було використано лічильник СТУ.



Проведено тестування коду на макеті-симуляторі. Для моніторингу було використано вікно реального часу Watch. У нього були додані усі змінні, котрі застосовувалися в коді. Результати роботи програми наведені на рис. 2.14.

									Арк
									30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АКП-11.00.000 ПЗ				

У ході тестування було підтверджено правильність підрахунку імпульсів енкодера та коректне визначення контрольних позицій платформи. Під час досягнення значень 3, 11 та 16 платформа зупинялася на заданий інтервал часу, після чого автоматично відновлювала рух відповідно до алгоритму керування. Аналіз значень змінних у вікні Watch показав коректну роботу лічильника СТУ, таймера та тригер-змінної, що підтвердило надійність реалізованої програмної логіки.

Symbol	Value	Type
Switch1_DO8	FALSE	BOOL
RotationSensor_DI5	TRUE	BOOL
PositionSensor_DI6	FALSE	BOOL
g_iRotationNumber	3	INT
tDelayTimer	-	TON
IN	TRUE	BOOL
PT	5000	UDINT
Q	FALSE	BOOL
ET	800	UDINT
bTimerRunning	TRUE	BOOL
bTriggerDetected	TRUE	BOOL
Switch1_AO3	1000	INT

Symbol	Value	Type
Start/Stop Watch		
Switch1_DO8	FALSE	BOOL
RotationSensor_DI5	TRUE	BOOL
PositionSensor_DI6	FALSE	BOOL
g_iRotationNumber	11	INT
tDelayTimer	-	TON
IN	TRUE	BOOL
PT	5000	UDINT
Q	FALSE	BOOL
ET	2400	UDINT
bTimerRunning	TRUE	BOOL
bTriggerDetected	TRUE	BOOL
Switch1_AO3	1000	INT

Symbol	Value	Type
Switch1_DO8	FALSE	BOOL
RotationSensor_DI5	TRUE	BOOL
PositionSensor_DI6	FALSE	BOOL
g_iRotationNumber	16	INT
tDelayTimer	-	TON
IN	TRUE	BOOL
PT	5000	UDINT
Q	FALSE	BOOL
ET	1700	UDINT
bTimerRunning	TRUE	BOOL
bTriggerDetected	TRUE	BOOL
Switch1_AO3	1000	INT

Спрацювання паузи на значеннях 3, 11 та 16

Symbol	Value	Type
Switch1_DO8	TRUE	BOOL
RotationSensor_DI5	TRUE	BOOL
PositionSensor_DI6	FALSE	BOOL
g_iRotationNumber	18	INT
tDelayTimer	-	TON
IN	FALSE	BOOL
PT	5000	UDINT
Q	FALSE	BOOL
ET	0	UDINT
bTimerRunning	FALSE	BOOL
bTriggerDetected	FALSE	BOOL
Switch1_AO3	0	INT

Symbol	Value	Type
Switch1_DO8	TRUE	BOOL
RotationSensor_DI5	FALSE	BOOL
PositionSensor_DI6	FALSE	BOOL
g_iRotationNumber	8	INT
tDelayTimer	-	TON
IN	FALSE	BOOL
PT	5000	UDINT
Q	FALSE	BOOL
ET	0	UDINT
bTimerRunning	FALSE	BOOL
bTriggerDetected	FALSE	BOOL
Switch1_AO3	0	INT

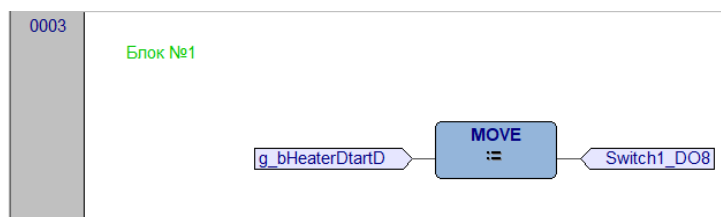
Робота платформи на проміжних значеннях енкодера

Рисунок 2.14 – Результати роботи тестової програми для Rotating platform

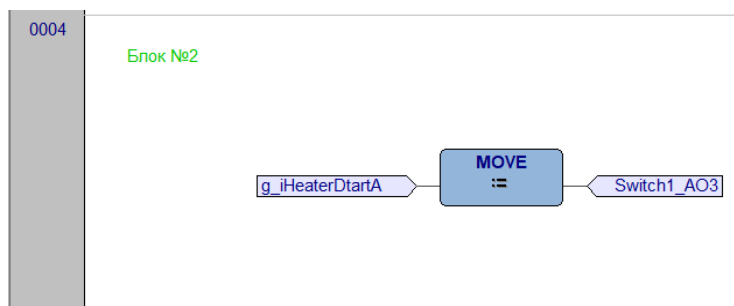
2.3.4 Налаштування та тестування роботи вузла Heater module

Модуль нагріву є одним з найбільш вимогливих до безпеки модулів. Тому для його тестування була написана програма на мові FBD.

1. Частина “Блок №1”. При активації глобальної змінної g_bHeaterDstartD, включається нагрів через сигнал дискретного виходу DO8.



2. Частина “Блок №2”. При активації глобальної змінної g_iHeaterDstartA, подається сигнал на нагрів рівний 500 через аналоговий вихід AO3.



Проведено тестування коду на рельному об'єкті. Для моніторингу було використано вікно реального часу Watch. У нього були додані усі змінні, котрі застосовувалися в кодї, а також покази датчика, як реальні, так і конвертовані для кращого розуміння. Результати роботи програми наведені на рис. 2.15.

Symbol	Value
g_iHeaterStartA	0
Switch1_AO3	0
TempSensor_AI5	232
g_rConve...	24.499
g_bHeaterStartD	FALSE
Switch1_DO8	FALSE

Дані датчика до початку тестування

Symbol	Value
g_bHeaterStartD	TRUE
Switch1_DO8	TRUE
TempSensor_AI5	261
g_rConve...	27.562

Тестування нагрівання за допомогою дискретного сигналу

Symbol	Value
g_bHeaterStartD	TRUE
Switch1_DO8	TRUE
TempSensor_AI5	271
g_rConve...	28.618

Symbol	Value
g_iHeaterStartA	500
Switch1_AO3	500
TempSensor_AI5	249
g_rConve...	26.294

Symbol	Value
g_iHeaterStartA	500
Switch1_AO3	500
TempSensor_AI5	242
g_rConve...	25.555

Тестування нагрівання за допомогою аналогового сигналу

Рисунок 2.15 – Результати роботи тестової програми для Heater module

Висновки до розділу

Наведено загальний монтаж лабораторного стенду. Наведено налагодження основного обладнання системи. Виконано налагодження та тестування роботи вузлів макета-симулятора.

					БРАКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

3.1.2 Калібрування датчика освітленості

Датчика освітленості (АІЗ) подає некоректний аналоговий сигнал. Щоб нормалізувати дані, було проведена калібровка значень отриманих з аналогового входу.

Відкалібрування значення датчика освітленості включає:

1. Сигнал датчика освітленості АІЗ перетворюється зі змінної типу integer на real.

2. Знаходиться робочий діапазон датчика. Формула для знаходження робочого діапазону має вигляд:

$$D = X_{max} - X_{min}, \quad (3.2)$$

де X_{max} – максимальне значення датчика освітленості, X_{min} – мінімальне значення датчика освітленості.

Для даного датчика освітленості:

$$D = 922 - 80 = 842.$$

3. Формується коефіцієнт масштабування. Формула для коефіцієнта масштабування має вигляд:

$$K = \frac{Y_{max}}{X_{max} - X_{min}}, \quad (3.3)$$

де Y_{max} – максимальне значення вихідного діапазону.

Для даного датчика освітленості:

$$K = \frac{100}{842} = 0.1188.$$

4. Корекція вихідного сигналу:

$$X_{corr} = X - 80, \quad (3.4)$$

де X – дані з датчика освітленості.

5. Формування кінцевого результату:

$$L = K \times X_{corr}. \quad (3.5)$$

Калібрування було виконано за допомогою програми на мові FBD рис.3.2.

					БР.АКП-11.00.000 ПЗ	Арк
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Workspace Variable	
Input	<input type="text" value="x"/>
Output	<input type="text" value="y"/>

Data Information	
Data Name	<input type="text" value="mydata"/>
Start Time	<input type="text" value="0"/>
Sample time	<input type="text" value="90"/>
<input type="button" value="More"/>	

Рисунок 3.3 – Інтерфейс налаштування імпорту експериментальних даних у System Identification Toolbox

На першому етапі було використано спеціалізований інтерфейс Import Data (див. рис. 3.3). У діалоговому вікні було задано формат сигналів як Time Domain Signals (сигнали часової області). Вхідні змінні x та y були імпортовані з робочого простору Workspace під назвою mydata. Особливу увагу приділено параметрам дискретизації: початковий час (Start Time) встановлено на позначці «0», а період квантування (Sample time) — 90 секунд, що відповідає реальному інтервалу зняття показників температури.

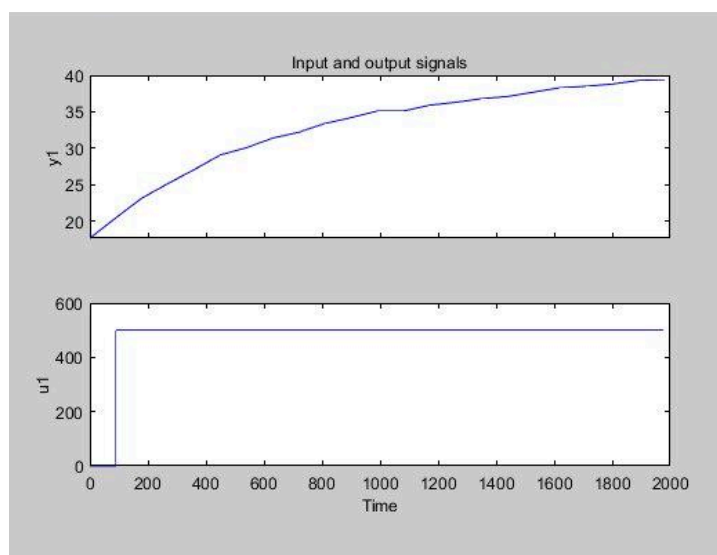


Рисунок 3.3 – Графіки вхідного (керуючого) та вихідного (регульованого) сигналів об'єкта

Після імпорту проведено попередній аналіз отриманих графіків (див. рис. 3.3). На графіку вхідного сигналу u_I чітко спостерігається ступінчаста зміна величини керуючого впливу (стрибок від 0 до 500 одиниць ЦАП). Відповідна реакція об'єкта y_I демонструє типову інерційну характеристику теплового процесу з поступовим зростанням температури від початкового значення 17.7 °C до 39.4 °C протягом експерименту.

Отримані перехідні характеристики є базисом для подальшого обчислення передавальної функції об'єкта керування. Використання апроксимації методом найменших квадратів у середовищі MATLAB дозволяє отримати математичну модель у вигляді аперіодичної ланки (з запізненням або без), що є необхідною умовою для синтезу оптимальних параметрів регулятора.

На основі отриманої моделі було виконано перевірку адекватності шляхом порівняння експериментальної та модельної перехідних характеристик. Високий ступінь збігу результатів підтвердив можливість використання ідентифікованої моделі для подальшого дослідження системи автоматичного керування. Отримана передавальна функція стала основою для вибору структури регулятора та визначення його параметрів з метою забезпечення необхідних показників якості регулювання температури.

3.2.2 Параметрична ідентифікація та синтез моделі передавальної функції

Наступним етапом дослідження став вибір структури математичної моделі та розрахунок її параметрів, що забезпечують максимальну відповідність реальному об'єкту. Для цього у середовищі MATLAB System Identification Toolbox було використано інструментарій оцінки передавальних функцій.

					БР.АКП-11.00.000 ПЗ	Арк
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливим етапом ідентифікації є оцінка адекватності отриманої моделі. Згідно з даними звіту Data/model Info (див. рис. 3.6), показник достовірності моделі (Fit to estimation data) склав 96.27%. Такий високий відсоток збіжності свідчить про те, що синтезована передавальна функція майже повністю описує динаміку реального фізичного процесу. Додаткові статистичні метрики, такі як середня квадратична помилка ($MSE = 0.05226$) та показник $FPE = 0.08914$, підтверджують високу точність наближення.

Для досягнення максимальної точності апроксимації було проведено додаткове дослідження з використанням інструменту Process Models (моделювання фізичних процесів). Цей підхід дозволяє задавати структуру передавальної функції, що базується на типових ланках автоматичного керування.

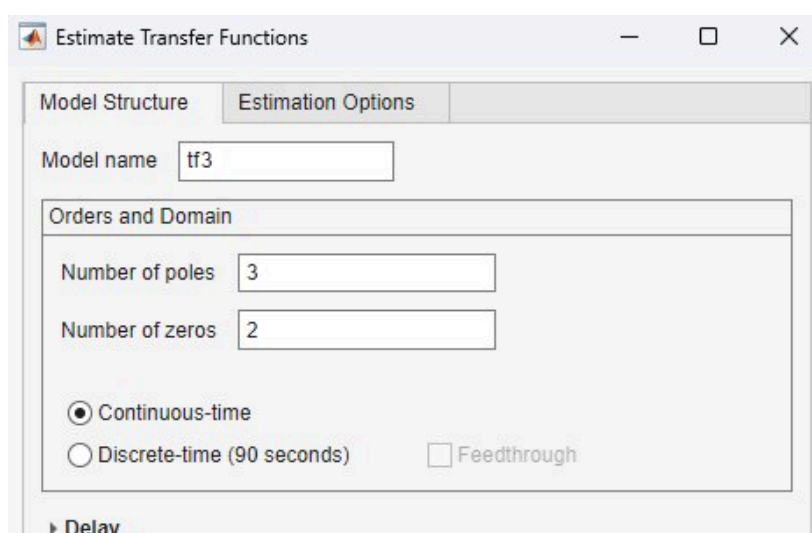


Рисунок 3.7 – Вікно вибору порядку та часового домену передавальної функції

Для проведення параметричної ідентифікації у вікні налаштувань Estimate Transfer Functions (див. рис. 3.7) було визначено структуру моделі tf3. На відміну від спрощених структур, у даному випадку було задано вищий порядок системи: кількість полюсів — 3, кількість нулів — 2. Вибір такої моделі у безперервному часі (Continuous-time) дозволяє більш детально апроксимувати динамічні характеристики теплового об'єкта, враховуючи складні перехідні

					БР.АКП-11.00.000 ПЗ	Арк
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поліномів, що дозволяє точніше описати мікрозміни температури на перехідних ділянках.

Модель P2Z (отримана через Process Models) має дещо нижчий, але цілком достатній показник — 96.27%. Перевагою цієї моделі є її структурна простота та пряма фізична інтерпретація сталих часу.

Проведений аналіз підтверджує достовірність обох методів ідентифікації. Для подальшого проектування системи автоматичного керування та налаштування параметрів регулятора було обрано модель P2Z.

3.2.3 Математичне перетворення передавальної функції до канонічного вигляду

Для реалізації отриманої моделі P2Z у стандартному блоці TransferFcn середовища Simulink необхідно перетворити її з вигляду фізичної моделі (через сталі часу) у поліноміальний вигляд за степенями оператора Лапласа (s). Вихідна модель P2Z мала наступний вигляд:

$$G(s) = K_p \cdot \frac{1 + T_z \cdot s}{(1 + T_{p1} \cdot s)(1 + T_{p2} \cdot s)} \quad (3.8)$$

Підставивши розраховані значення коефіцієнтів ($K_p = 0.081468$, $T_{p1} = 752.75$, $T_{p2} = 0.74828$, $T_z = 13.931$), проводимо алгебраїчне розкриття дужок у знаменнику:

1. Чисельник:

$$0.081468 \cdot (1 + 13.931s) = 1.1349s + 0.081468$$

2. Знаменник:

$$(1 + 752.75s)(1 + 0.74828s) = 1 + 0.74828s + 752.75s + (752.75 \cdot 0.74828)s^2$$

3. Після спрощення отримуємо знаменник:

$$563.2678s^2 + 753.4983s + 1$$

									Арк
									44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРАКП-11.00.000 ПЗ				

Таким чином, передавальна функція об'єкта, що введена у блок Simulink (див. рис. 3.11), набула вигляду:

$$G(s) = \frac{1.1349s + 0.081468}{563.2678s^2 + 753.4983s + 1}. \quad (3.9)$$

3.3 Синтез та дослідження систем керування тепловим об'єктом

3.3.1 Розробка структурної схеми моделі в Simulink

Для дослідження динаміки замкненої системи була побудована структурна схема (див. рис. 3.11).

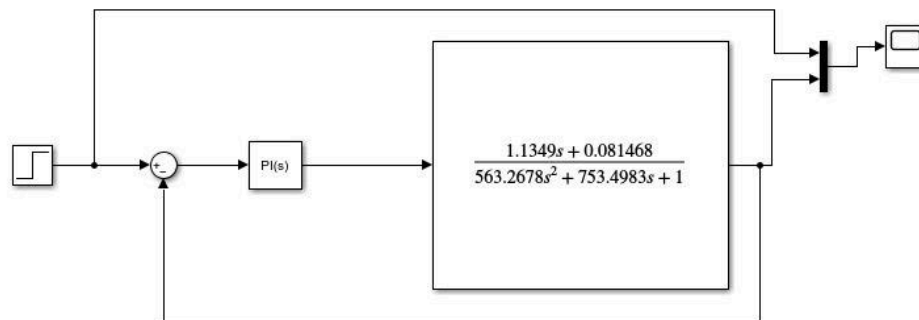


Рисунок 3.11 – Структурна схема замкненої САК тепловим об'єктом у середовищі Simulink

Схема включає наступні компоненти:

- 1) Блок Step: задає одиничний стрибок керуючого впливу (уставку).
- 2) Суматор: для формування сигналу неузгодженості (помилки керування).
- 3) PID Controller: реалізує алгоритм ПІ-регулювання.
- 4) Transfer Fcn: представляє математичну модель нагрівального елемента.
- 5) Scope: для візуалізації перехідних процесів.

Використовуючи додаток PID Tuner (див. рис. 3.15), було проведено автоматичний синтез оптимальних коефіцієнтів для обраної моделі об'єкта. Отримані параметри мають наступні значення:

- 1) Proportional (P): 121.248.
- 2) Integral (I): 0.2317.
- 3) Derivative (D): 1564.91.
- 4) Filter coefficient (N): 1.168.

Математична модель такого регулятора в паралельній формі описується рівнянням:

$$u(t) = P \cdot e(t) + I \cdot \int e(t)dt + D \cdot \frac{de(t)}{dt}. \quad (3.13)$$

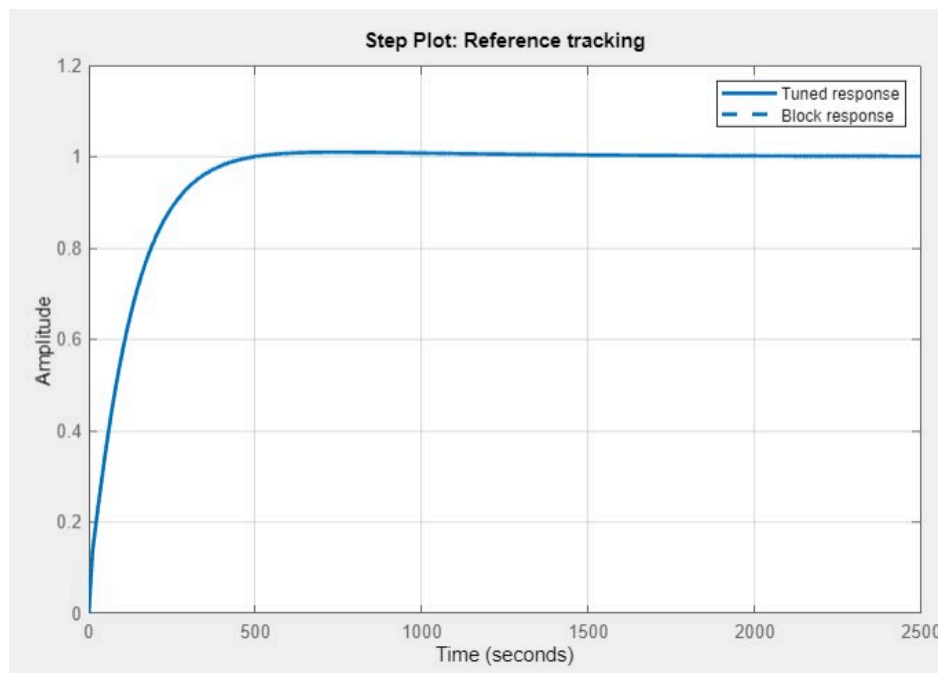


Рисунок 3.16 – перехідна характеристика системи з ПІД-регулятором

Аналіз отриманої перехідної характеристики (див. рис. 3.16) підтверджує, що використання ПІД-алгоритму є більш ефективним для даного теплового об'єкта.

3.4 Аналіз роботи ПІД-регулятора для нагрівального елемента макета-симулятора

Було проведено експериментальне дослідження на лабораторному стенді з використанням макета-симулятора, котре призначене для перевірки працездатності регулювання температури. Регулювання здійснювалося за допомогою контролера M172 з вбудованим ПІД-регулятором, який мав такі параметри:

$$- K_p = 3;$$

$$- T_i = 2100 \text{ с};$$

$$- T_d = 15 \text{ с}.$$

Експериментальна перехідна характеристика нагрівального елемента наведена на рис. 3.18.

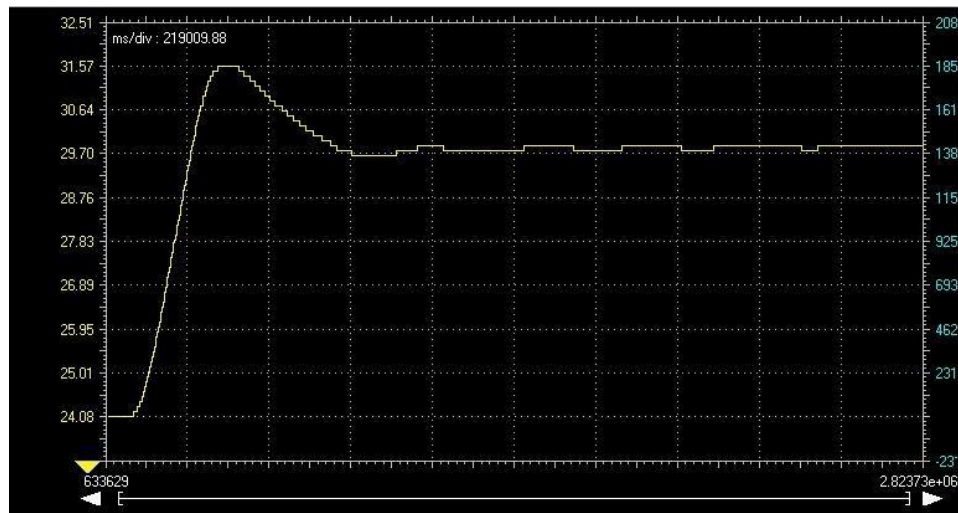


Рисунок 3.18 – Експериментальна перехідна характеристика системи автоматичного регулювання температури

Після запуску ПІД-регулятора температура почала зростати від 24 °C до заданого значення в 30 °C. Нагрівальний елемент працював з високою потужністю, завдяки пропорційній складовій регулятора, щоб забезпечити швидке зростання температури до уставки. Коли значення датчика температури

досягло 30 °С, спостерігається незначне перерегулювання. Максимальне значення піднялося до 31,5 °С, що перевищує уставку в на 1,5 °С. Як тільки ПІД-регулятор помітив перерегулювання, він автоматично почав зменшувати керуючий вплив на нагрівальний елемент. Результатом цих дій, температура поступово почала знижуватися до значення уставки.

Після завершення перехідного процесу, температура нагрівального елемента стабілізувалася на позначці в 30 °С з незначними коливаннями в 0,1°С. Дане коливання стається через, те що існує похибка датчика температури, також є теплова похибка нагрівального елемента.

За результатами аналізу експериментальної перехідної характеристики можна визначити основні показники якості регулювання.

Час наростання (Rise Time) визначається як інтервал, протягом якого температура досягає приблизно 90 % від заданого значення. Із графіка видно, що температура досягає рівня 27 °С приблизно за 6 - 8 хвилин після початку нагрівання. Час наростання виходить:

$$t_r = 450 \text{ с.}$$

Максимальна температура становить близько 31,5 °С при уставці 30 °С.

Відносне перерегулювання (Overshoot):

$$\sigma = \frac{31.5-30}{30} \times 100 \% \approx 5 \%$$

Отримане значення є допустимим для теплових об'єктів із великою інерційністю.

Час встановлення (Settling Time) визначається як момент, після якого температура залишається в межах ± 5 % від уставки.

За графіком:

$$t_s \approx 1200 \text{ с.}$$

або близько 20 хвилин.

Після завершення перехідного процесу температура стабілізується поблизу значення 29,8 - 30,0 °С.

					БРАКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$$e_{st} \approx 0.2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Статична похибка практично відсутня, що підтверджує ефективність інтегральної складової регулятора.

Висновки до розділу

Проведено дослідження та калібрування датчиків. Реалізовано ідентифікацію та моделювання каналу регулювання температури. Досліджено систему керування тепловим об'єктом.

					БР.АКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

4 РОЗРОБКА ПРОЄКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

4.1 Розробка функціональної схеми автоматизації

Функціональна система автоматизації (ФСА) є одним з основних етапів розробки лабораторного стенду, адже показує взаємодію давачів, виконавчих механізмів та засобів автоматизації з контролером та панеллю оператора. Уже на основі неї проектуються електричні схеми та виконується монтаж.

Основою лабораторного стенду є програмний логічний контролер M172, котрий керує всіма датчиками, органами керування, виконавчі механізми та світлова індикація. Зв'язок між панеллю оператора Harmony ET6 та контроллером виконаний за допомогою Ethernet. ФСА лабораторного стенду наведено на листі 4.

Модуль обертова платформа призначена для дослідження керування мотором та контролю положення рухомих об'єктів. Одним з основних складових модуля є електропривід M1, який за допомогою драйвера забезпечує обертання платформи за годинниковою стрілкою.

Для забезпечення зупинки платформи на певних позиціях використовуються датчики:

- GI – датчик обертів призначений для визначення частоти обертання платформи;

- GR – магнітний датчик положення (геркон), створює дискретний сигнал коли повз чутливий елемент проходить магніт. Призначений для спрацювання в певній позиції під час руху платформи.

Також модуль має три лампи HL1, HL2 та HL3, котрі призначені для візуалізації різних процесів, сигналізації, відображення результатів роботи.

Керування здійснюється за допомогою аналогового та дискретного сигналу через драйвер. Оскільки ці ж самі сигнали використовуються для

					БР.АКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

керування модулем нагрівача, були використані перемикачі HS1 та HS2. Перший перемикач відповідає куди саме буде йти сигнал з контролера: модуль нагрівача, чи обертову платформу. Другим перемикачем вибирається котрим сигналом керується мотор: аналоговим, чи дискретним.

Лампи HL8 та HL9 загоряються при подачі аналогового чи дискретного сигналу на відповідний модуль.

Модуль нагрівача призначений для дослідження нагрівних елементів та роботи ПД-регуляторами.

Для контролю процесу нагрівання використовуються датчики:

- TE – датчик температури, котрий подає сигнал на аналоговий вхід контролера;
- TI – датчик температури, котрий відображає поточне значення температури на макеті-симуляторі та не підключений до контролера.

Нагрівач керується за допомогою драйвера, котрий отримує дискретний або аналоговий сигнал з контролера.

Світловий модуль призначений для дослідження систем освітлення та вивчення принципів роботи аналогових виходів.

Модуль складається з світлодіодів HL4-HL7, яскравість яких регулюються драйвером за допомогою аналогового сигналу контролера.

Датчик, що використовується для визначення рівня освітленості:

- UE – датчик освітленості, котрий перетворює світловий потік в пропорційне значення аналогового сигналу. На основі полученного сигналу оператор робить висновки, щодо рівня освітленості приміщення та яскравості роботи модуля.

Модуль дискретного введення/виведення призначений для вивчення роботи дискретних сигналів (входів та виходів) та реалізації логічних алгоритмів керування.

До складу модуля входять:

- SB1-SB4 – кнопки, що формують дискретні сигнали на входи контролер;

					БРАКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

- HL10-HL13 – лампи, котрі підключені до дискретних виходів контролера.

За допомогою програмування контролера можна прив'язувати кнопки до певних ламп, або виконувати інші комбінації.

Модуль задання аналогових значень призначений для роботи аналоговими сигналами: дослідження роботи аналогових входів та формування аналогових сигналів, котрі змінюються.

До складу модуля входять такі елементи:

- HS1, HS2 – поворотні регулятори, котрими можна формувати значення аналогових входів;

- HS3 – перемикач змінює сигнал котрий виводиться на дисплей макета-симулятора між аналоговим входом та виходом.

Поворотні регулятори подають аналоговий сигнал на входи контролера, що дає широкий спектр застосування.

4.2 Розроблення принципів електричних схем та схем підключень обладнання

Після того як була зроблена ФСА лабораторного стенду, були розроблені принципові електричні схеми та схеми підключень обладнання. Дані схеми визначають електричні зв'язки між програмованим логічним контролером M172, виконавчими механізмами, датчиками, лампами та іншим обладнанням.

4.2.1 Схема підключення контролера M172 та комунікаційного шлейфа

Схема підключення контролера M172 та його з'єднання з універсальним комунікаційним шлейфом наведена на листі 6.

Центральним елементом лабораторного стенду є програмований логічний контролер M172 (U1), саме він подає сигнали на виконавчі механізми та

					БР.АКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

приймає їх з датчиків. Для підключення обладнання були задіяні входи та виходи як аналогові так і дискретні. Щоб забезпечити універсальне з'єднання контролера з макетом-симулятором та іншими лабораторними стендами всі функціональні сигнали були виведені на універсальний роз'єм шлейфа.

Сигнали, що були виведені на шлейф:

- DI1-DI8 – дискретні входи для кнопок, геркона та датчика обертів;
- DO1-DO8 – дискретні виходи для ламп та керуючого сигналу;
- AI1-AI8 – аналогові входи для датчика освітленості та температури, а також для інших аналогових перемикачів;
- AO1-AO4 – аналогові виходи для керуючих сигналів;
- живлення +24V та земля.

На правій частині схеми зображено структуру універсального шлейфу за допомогою якого контролер підключається до макета-імітатора. Кожен вхід чи вихід контролера відповідає конкретному контакту на шлейфі, це полегшує підключення інших макетів-імітаторів та процесу монтажу.

Запропонований спосіб організації підключень забезпечує уніфікацію інтерфейсів, підвищує зручність експлуатації лабораторного стенда та дає можливість швидко виконувати монтаж системи залежно від поставлених навчальних або дослідницьких завдань. Такий підхід також сприяє підвищенню надійності системи, спрощує її технічне обслуговування та забезпечує можливість подальшої модернізації без внесення суттєвих змін до існуючої структури підключень.

4.2.2 Схема підключення двигуна, ТЕНа і LED модуля

Принципова електрична схема підключення електродвигуна постійного струму (M1), нагрівального елемента (ТЕН) та LED модуля наведена на рис. 4.1.

					БРАКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

При спрацюванні датчика формується цифровий сигнал, який проходить через резистор R3, а потім на світлодіод оптрона PC817. Оскільки датчик працює від напруги +5 В, а дискретні входи контролера використовують сигнал рівний +24 В, була використана оптронна розв'язка на базі PC817, яка розділяє кола датчика та PLC M172. У результаті фототранзистором оптронна забезпечує зв'язок між електрично ізольованими колами.

Утворений сигнал надходить на дискретний вхід контролера DI5 (U5). За допомогою програмного забезпечення контролер може підраховувати кількість спрацювань датчика, що дає можливість визначати положення обертової платформи, чи факт обертання.

Крім датчика обертів для визначення положення платформи був використаний герконовий датчик. Він складається з магнітокерованого контакту, котрий змінює свій стан при наближенні магніту.

У макеті-симуляторі геркон розміщений у фіксованій позиції, а магніт на обертовій платформі. При спрацюванні датчик подає сигнал на дискретний вхід контролера DI6 (U6). Живлення подане +24 В.

Діоди D3 та D4, котрі підключені через резистори R4, R5 слугують для відображення стану роботи датчиків. Це дозволяє візуально зрозуміти, чи вони спрацьовують.

4.2.4 Схема підключення датчика температури та освітленості

Датчики освітленості та температури були використані для моніторингу зміни освітленості та процесів нагрівання відповідно. Електричну схему підключення даних датчиків та регуляторів аналогових сигналів наведено на рис. 4.3.

					БР.АКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

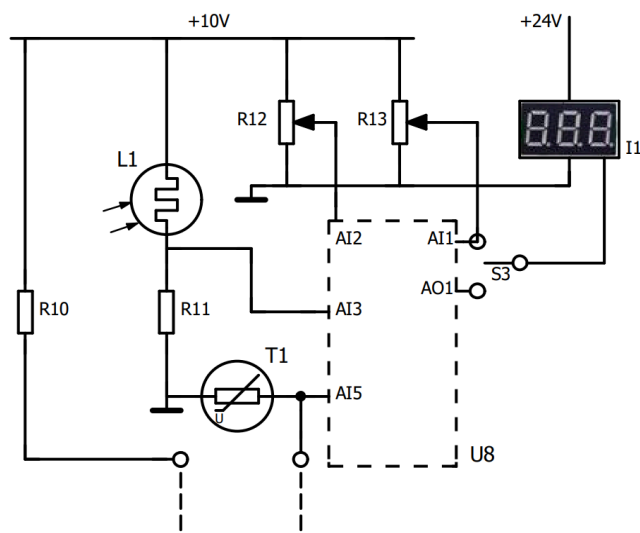


Рисунок 4.3 – Принципова електрична схема підключення датчика температури та освітленості

Датчик освітленості виконаний за допомогою фоторезистора L1. Логіка роботи даного датчика полягає в тому, що при зміні рівня освітленості, змінюється і електричний опір. Коли освітлення збільшується, то опір фоторезистора зменшується і навпаки при зменшенні освітленості опір збільшується. Внаслідок таких дій змінюється напруга в точці з'єднання елементів подільника, котра подається на аналоговий вхід AI3 контролера M172 (U8). Подільник виконаний за допомогою фоторезистора L1 і резистора R11. Живлення здійснене за допомогою +10 В.

Контроль температури здійснений за допомогою терморезистивного датчика T1, котрий підключений до аналогового входу AI5 контролера (U8). Принцип роботи датчика полягає в тому, що опір чутливого елемента змінюється в залежності від температури навколишнього середовища, або нагрівального елемента. Коли відбувається зміна температури, то напруга на аналоговому вході AI5 (U8) теж змінюється. А після калібрування отриманого сигналу на контролері, можна визначити поточне значення.

Змінні резистори R12 та R13 призначені для дослідження аналогових входів контролера AI2 та AI1. Потенціометри дають змогу в ручному режимі

змінювати напругу в межах робочого діапазону, що дає змогу імітувати різні аналогові датчики без залучення реального обладнання.

Для візуального відображення аналогових сигналів був використаний цифровий індикатор І1. Підключений він до АІ1, або АО1 через перемикач S3, а живлення подане +24 В.

4.2.5 Схема підключення кнопок та ламп

Для дослідження функцій ручного керування та візуального контролю було розроблено модуль дискретного введення і виведення. Електричну схему підключення кнопок та світлодіодів наведено на рис. 4.4.

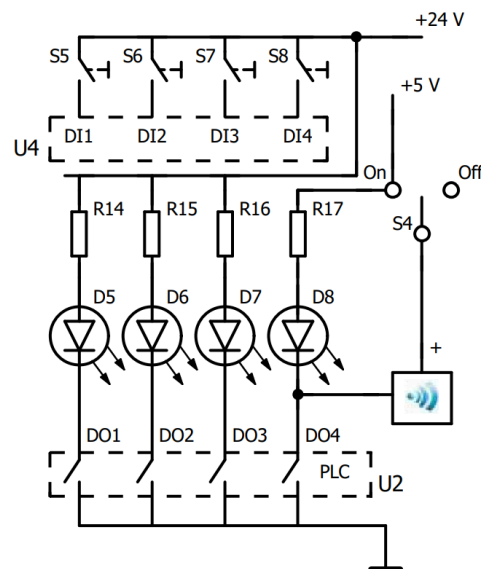


Рисунок 4.4 – Принципова електрична схема підключення кнопок та ламп

До дискретних входів контролера M172 (U4) DI1-DI4 підключені кнопки S1-S4. При натисканні кнопки на контролер буде подаватися напруга +24 В, а віджатою стані логічний нуль.

Дискретні ж виходи контролера (U2) DO1-DO2 здійснюють керування світлодіодами D5-D8. Кожен світлодіод підключений через відповідний струмообмежувальний резистор R14-R17. Вони запобігають пошкодженню світлодіодів під час роботи.

Перемикач S4 дає можливість керувати звуковим сигналом за допомогою DO4. Його живлення реалізоване від джерела +5 В.

4.2.5 Схема підключення ламп обертової платформи

Для кращої візуалізації процесів на обертовій платформі були розміщені лампи. Електричну схему підключення даних ламп наведено на рис 4.5.

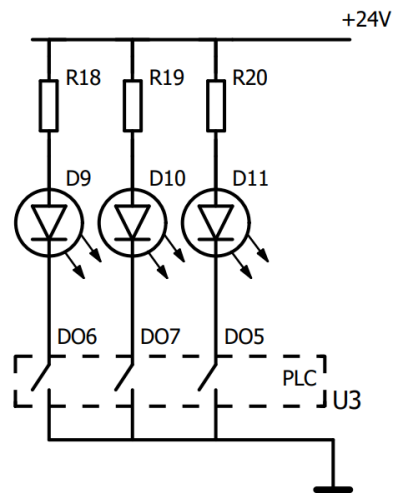


Рисунок 4.5 – Принципова електрична схема підключення ламп обертової платформи

Діоди D9-D11 керуються за допомогою дискретних виходів контролера DO5-DO7 (U3). Живлення здійснене за допомогою +24 В. Кожен світлодіод підключений через відповідний струмообмежувальний резистор R18-R20.

4.3 Приклади розроблення програмного забезпечення для ТМ172 та НМІ ЕТ6

4.3.1 Приклади розроблення програмного забезпечення для ТМ172

Програмне забезпечення лабораторного стенду розроблялося в програмі EcoStruxure Machine Expert HVAC. Написані вони на мові функціональних

									Арк
									64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АКП-11.00.000 ПЗ				

блокових діаграм (FBD) та структурного тексту (ST). Для коректної взаємодії змінних між програмами були створені глобальні змінні, котрі наведені на рис. 4.6. Також були створені змінні стану для взаємодії програм з НМІ контролера та панеллю оператора Harmony ET6. Дані змінні подані на рис. 4.7. Апаратні змінні залишилися тими самими та наведені на рис. 2.9. Налаштування всіх входів та виходів залишилося таким самим як і для тестових програм (рис 2.5).

	Name	Type	Address	Array	Init value	Attribute	Description
1	g_iRotationNumber	INT	Auto	No		---	
2	g_rConvertationResultLight	REAL	Auto	No		---	
3	g_rConvertationResultTemp	REAL	Auto	No		---	
4	g_bStartConveyor	BOOL	Auto	No		---	
5	g_bPauseConveyor	BOOL	Auto	No		---	
6	g_bLightLow	BOOL	Auto	No		---	
7	g_bLightNormal	BOOL	Auto	No		---	
8	g_bLightHight	BOOL	Auto	No		---	
9	g_bPIDEnable	BOOL	Auto	No		---	
10	g_MotorTimer1	BOOL	Auto	No		---	
11	g_MotorTimer2	BOOL	Auto	No		---	
12	g_MotorTimer3	BOOL	Auto	No		---	
13	g_MotorTimer4	BOOL	Auto	No		---	

Рисунок 4.6 – Глобальні змінні

#	Address	Name	Installer type	IEC type	Size	Read only	Default value
1	8960	SV_rConvertnResultLight	Real	REAL		False	0
2	8966	SV_Lamp2_DO2	Boolean	BOOL		False	False
3	8968	SV_Lamp4_DO4	Boolean	BOOL		False	False
4	8967	SV_bStartConveyor	Boolean	BOOL		False	False
5	8969	SV_bSPauseConveyor	Boolean	BOOL		False	False
6	8970	SV_rConvertResultTemp	Real	REAL		False	0
7	8962	SV_bLightLow	Boolean	BOOL		False	False
8	8972	SV_bLightNormal	Boolean	BOOL		False	False
9	8973	SV_bLightHight	Boolean	BOOL		False	False
10	8974	SV_bPIDEnable	Boolean	BOOL		False	False
11	8975	SV_Switch1_DO8	Boolean	BOOL		False	False
12	8976	SV_MotorTimer1	Boolean	BOOL		False	False
13	8977	SV_MotorTimer2	Boolean	BOOL		False	False
14	8978	SV_MotorTimer3	Boolean	BOOL		False	False
15	8979	SV_MotorTimer4	Boolean	BOOL		False	False
16	8980	SV_Lamp3_DO3	Boolean	BOOL		False	False
17	8965	SV_Lamp1_DO1	Boolean	BOOL		False	False

Рисунок 4.7 – Змінні стану

4.3.1.1 Програмне забезпечення для обертової платформи

Програма для обертової платформи написана на мові програмування ST. Дана програма являє собою процес виготовлення пластикової деталі. Вона складається з чотирьох етапів:

1. Подача деталі на конвеєр.

4. Частина “Скидання прапорця фіксації позиції”. Коли платформа виходить із технологічної зони, то дозволяється повторне спрацювання відповідного процесу.

5. Частина “Подача нової деталі та відвантаження готової продукції”. При активації таймера TimerRunning1, запускається пауза на 7 секунд під час якої платформа зупиняє свій рух. Як тільки таймер відраховує відповідний проміжок часу, платформа відновлює рух.

6. Частина “Формування та корекція форми виробу”. При активації таймера TimerRunning2, запускається пауза на 20 секунд під час якої платформа зупиняє свій рух. Як тільки таймер відраховує відповідний проміжок часу, платформа відновлює рух.

7. Частина "Нанесення лакофарбового покриття". Встановлюється таймер на 25 секунд під час якого платформа зупиняється.

8. Частина "Контроль якості та виявлення дефектів". Таймер встановлюється на 10 секунд з зупинкою платформи.

9. Частина "Автоматичне відновлення транспортування". Після завершення всіх технологічних операцій платформа автоматично буде продовжувати обертатися.

10. Частина "Індикація роботи таймерів". Щоб вивести змінні роботи таймерів на панель оператора було проведено присвоєння їх до глобальних змінних.

Програму протестовано та виведено усі важливі змінні у вікно Watch. Результати роботи програми наведені в додатку А2.

4.3.1.2 Програмне забезпечення для Led модуля

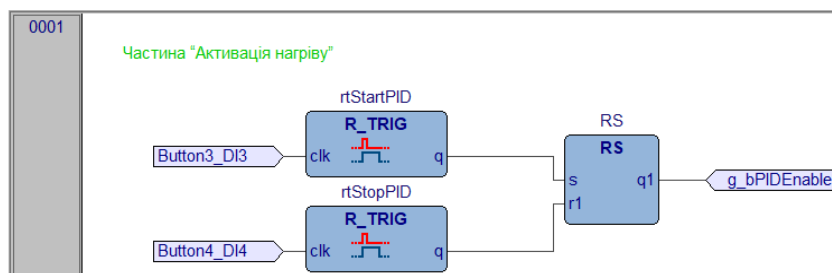
Щоб реалізувати програму для LED модуля, крім нього самого був також задіяний поворотний регулятор (AI1). Дана програма реалізує світловий модуль

					БР.АКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Local variables							
	Name	Type	Address	Array	Init value	Attribute	Description
1	PID	PIDAdvanced	Auto	No		..	
2	rtStartPID	R_TRIG	Auto	No		..	
3	rtStopPID	R_TRIG	Auto	No		..	
4	RS	RS	Auto	No		..	
5	rTempSetp	REAL	Auto	No	35	..	
6	rKp	REAL	Auto	No	3	..	
7	uiTi	UINT	Auto	No	2100	..	
8	uiTd	UINT	Auto	No	15	..	

Рисунок 4.10 – Локальні змінні програми для модулю нагріву

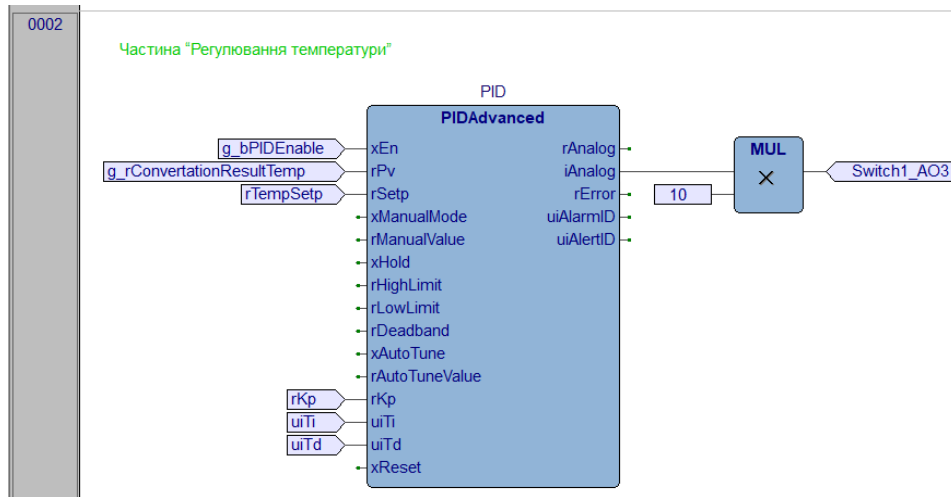
1. Частина “Активация нагріву”. При натисканні фізичної кнопки DI3, посилається сигнал на змінну, котра призначена для активації ПІД-регулятора. Кнопка DI4 призначена для виключення регулятора. Оскільки кнопки без фіксації був задіяний функціональний блок R_TRIG, котрий формує короткочасний імпульс, який одноразово виконує операцію і не залежить від тривалості утримання.



2. Частина “Регулювання температури”. Після того як була натиснута кнопка DI3 та активована відповідна змінна, включається ПІД-регулятор. Він тримає значення температури на відповідному рівні, регулюючи ступінь нагріву за допомогою аналогового виходу АОЗ.

Налаштування ПІД-регулятора:

- уставка температури: 35 °C;
- пропорційний коефіцієнт: 3;
- час інтегрування: 2100;
- час диференціювання: 15.



Тестування роботи модуля нагрівача здійснювалося за допомогою вікна Watch у середовищі EcoStruxure Machine Expert HVAC, що дозволило в режимі реального часу контролювати значення основних змінних системи керування. Як показано на рис. 4.11, під час активації ПІД-регулятора кнопкою DI3 змінна Button3_DI3 набуває значення TRUE, а прапорець bPIDEnable переходить у стан TRUE, що свідчить про ввімкнення автоматичного режиму регулювання температури. При цьому контролер формує керуючий сигнал на аналоговому виході Switch1_AO3, значення якого змінюється відповідно до різниці між заданою температурою rTempSetp = 35 °C та поточною температурою g_rConvervationResultTemp. Зміна температури виведена на осцилограф наведена на рис. 4.12.

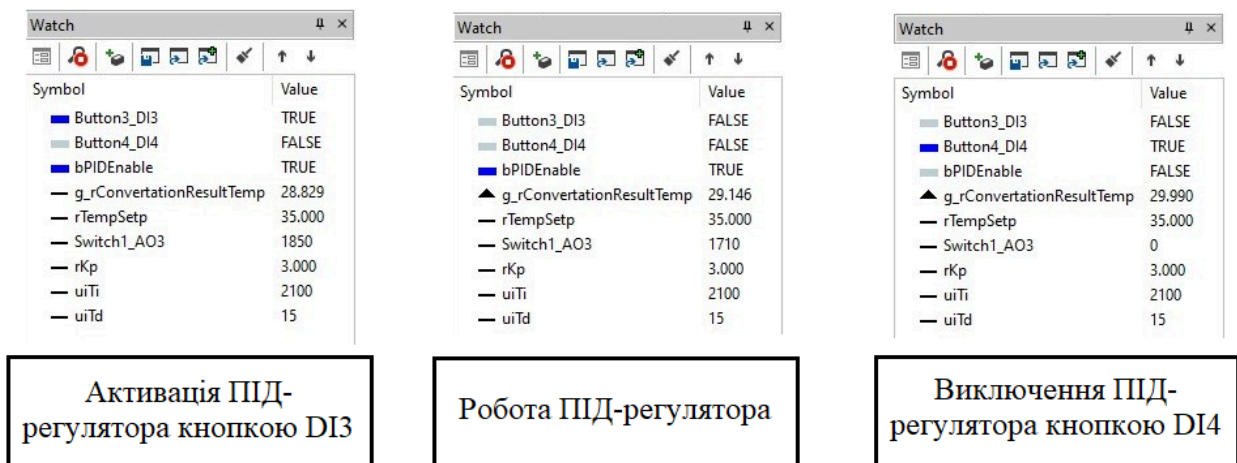


Рисунок 4.11 – Результати роботи програми модуля нагріву

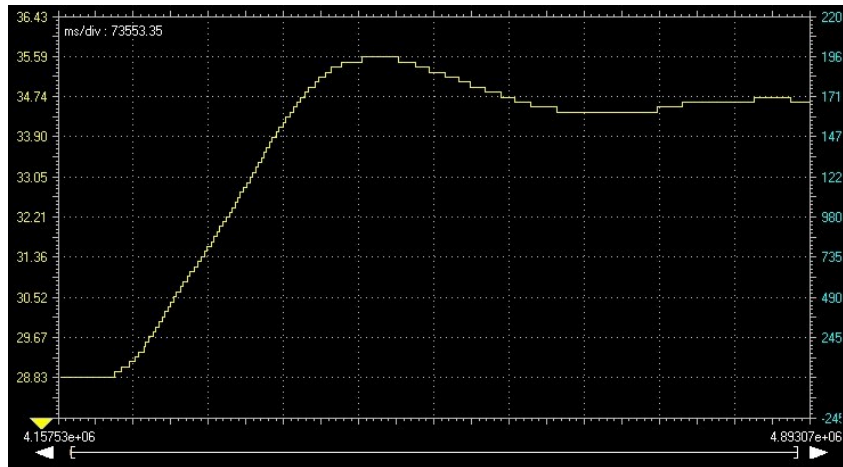


Рисунок 4.12 – Графік зміни температура ПД-регулятором

4.3.1.4 Програмне забезпечення для дискретного модуля

Для хорошої візуалізації роботи дискретних входів та виходів, був написаний код на мові програмування ST. Він задіює кнопки без фіксації та лампи модуля. Програма реалізує циклічну перевірку працездатності виконавчих механізмів перед початком виробничого процесу. Локальні змінні котрі були використані в коді наведені на рис. 4.13. Код програми представлений в додатку Б1.

	Name	Type	Address	Array	Init value	Attribute	Description
1	rtBtn1	R_TRIG	Auto	No		..	
2	rtBtn2	R_TRIG	Auto	No		..	
3	rtBtn3	R_TRIG	Auto	No		..	
4	iMode	INT	Auto	No	0	..	
5	iStep	INT	Auto	No	0	..	
6	tStep	TON	Auto	No		..	
7	iCycleCount	INT	Auto	No	0	..	

Рисунок 4.13 – Локальні змінні програми для дискретного модуля

1. Частина “Ініціалізація виконавчих механізмів”. На початку кожного циклу виконання програми всі виконавчі механізми переводяться у вимкнений стан. У даному випадку змінні Lamp1_DO1, Lamp2_DO2 та Lamp3_DO3 відповідають за керування світловими індикаторами, які імітують роботу виконавчих механізмів. Таке рішення забезпечує формування вихідних сигналів

виключно в активних режимах роботи та запобігає їх неконтрольованому ввімкненню.

2. Частина “Формування команд запуску”. Для запуску діагностичних режимів використовуються кнопки, котрі підключені до дискретних входів. Функціональні блоки R_TRIG здійснюють детектування позитивного фронту сигналу, тобто реагують лише на момент натискання кнопки. Це виключає багаторазове спрацьовування алгоритму при утриманні кнопки оператором.

3. Частина “Вибір режиму перевірки обладнання”. Після обробки сигналів від кнопок здійснюється вибір необхідного режиму роботи. Змінна iMode визначає активний режим роботи системи: режим очікування, послідовна перевірка виконавчих механізмів та циклічна перевірка працездатності. Перейти до нового режиму можна лише тоді, коли жодна перевірка не проводиться.

4. Частина "Режим послідовної перевірки виконавчих механізмів". Даний режим призначений для послідовної перевірки трьох виконавчих механізмів. При запуску включається перший індикатор, котрий має тривалість роботи 8 с. Після двох секунд, як почалося тестування запускається перевірка другого механізму. А після чотирьох секунд, запускається перевірка третього механізму. Після досягнення таймером 8 секунд, система завершує перевірку та переходить до початкового стану.

5. Частина “Режим циклічної перевірки працездатності”. Другий режим імітує передпускову циклічну перевірку обладнання. На першій стадії перевірки запускається перший та третій механізм. Дана перевірка здійснюється 4 секунди. Друга перевірка включає запуск усіх трьох механізмів. Вона також триває 4 секунди. Після цих двох перевірок проводиться пауза на 1,5 секунди, яка призначена для стабілізації роботи обладнання. Як тільки пауза завершилася, то лічильник виконаних циклів (iCycleCount) збільшується. Якщо кількість перевірок не досягла чотирьох, то вони продовжуються. Це зроблено щоб точно впевнитися в коректній роботі механізмів. Коли кількість перевірок досягла значення в чотири, то вони припиняються.

					БРАКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Проведено тестування коду програми на макеті-симуляторі. Для моніторингу було використано вікно реального часу Watch. У нього були додані усі змінні, котрі застосовувалися в кодї. Результати роботи програми наведені в додатку Б2.

4.3.2 Приклади розроблення НМІ дисплею ТМ172

Для забезпечення локального моніторингу параметрів системи було розроблено та налаштовано користувацький інтерфейс на базі вбудованого дисплея програмованого логічного контролера серії Modicon М172. Представлене інформаційне вікно призначене для оперативного візуального контролю поточних технологічних показників. Інтерфейс реалізовано з урахуванням вимог до ергономіки промислових систем: він має лаконічну та інтуїтивно зрозумілу структуру, що дозволяє оператору швидко зчитувати необхідну інформацію без потреби залучення зовнішніх НМІ-панелей чи додаткових апаратних засобів діагностики. Налаштування НМІ дисплею наведено на рис. 4.14.

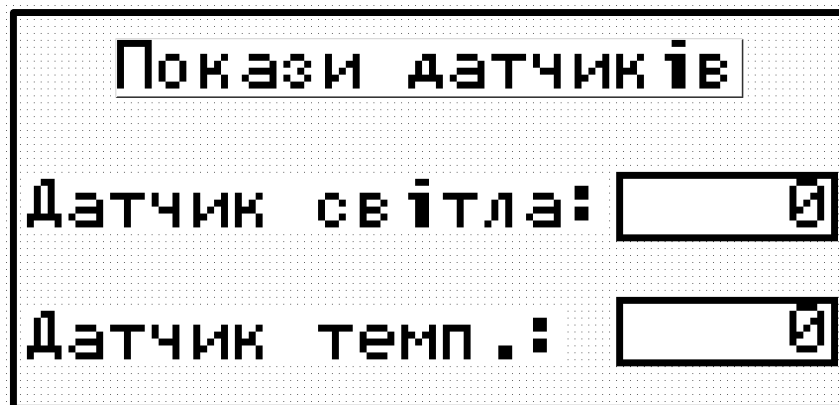


Рисунок 4.14 – Налаштування НМІ дисплею ТМ172

На поточний екран ПЛК виведено значення двох ключових параметрів: рівня освітленості та температури робочого середовища. Контролер здійснює безперервне опитування підключених первинних перетворювачів, після чого

отримані сигнали проходять етап програмної обробки та масштабування в середовищі розробки. Відмасштабовані у фізичні величини дані динамічно оновлюються у відповідних текстових полях дисплея, забезпечуючи надійний зворотний зв'язок та безперервний контроль за станом досліджуваного об'єкта або процесу.

4.3.3 Приклади розроблення програмного забезпечення для НМІ ЕТ6

У процесі розроблення програмного забезпечення для навчального макета-симулятора НМІ ЕТ6 було створено програмний інтерфейс оператора (НМІ), який забезпечує візуалізацію технологічного процесу, відображення стану обладнання та взаємодію користувача з програмованим логічним контролером М172.

На першому етапі розроблення програмного забезпечення було створено набір внутрішніх змінних НМІ (див. рис. 4.15), які забезпечують обмін даними між панеллю оператора та контролером М172.

Для кожного фізичного входу та виходу контролера були створені відповідні програмні теги. До них належать дискретні сигнали запуску та зупинки процесу, сигнали керування виконавчими механізмами, значення аналогових датчиків температури та освітленості, а також службові змінні для індикації режимів роботи системи.

Використання системи змінних дозволило реалізувати двосторонній обмін даними між контролером та НМІ в режимі реального часу. З'єднання реалізовано за допомогою Ethernet.

					БРАКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Висновки до розділу

Розроблено технологічну схему автоматизації згідно всіх норм. Також було розроблено принципові електричні схеми та схем підключень всього обладнання.

Розроблено програмне забезпечення для ТМ172 та НМІ ЕТ6.

					БР.АКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломній роботі виконано розроблення та дослідження лабораторного стенда для вивчення систем автоматизованого керування на базі програмованого логічного контролера M172 та операторської панелі Harmony ET6. Розроблений стенд дозволяє моделювати роботу типових технологічних процесів, досліджувати алгоритми керування та здійснювати експериментальну перевірку їх функціонування в умовах, наближених до реального виробництва.

У ході виконання роботи було сформовано технічне завдання та розроблено архітектуру лабораторного стенда, що включає контролер M172, операторську панель ET6, комутаційний шлейф, а також модулі імітації технологічних об'єктів. Виконано проектування функціональної схеми автоматизації, принципових електричних схем і схем підключення обладнання, проведено монтаж та налаштування апаратної частини стенда.

Було реалізовано модулі рухомої платформи, нагрівання, освітлення, дискретних входів і виходів, а також модулі датчиків температури, освітленості, геркона та датчика обертів. Для кожного елемента розроблено відповідні схеми підключення та досліджено принцип їх роботи.

У роботі проведено ідентифікацію каналу регулювання температури та побудовано математичну модель теплового об'єкта. На основі отриманих результатів виконано синтез систем автоматичного регулювання із застосуванням ПІ- та ПІД-алгоритмів. Проведене дослідження показало, що використання ПІД-регулятора забезпечує покращення показників якості перехідного процесу, зменшення статичної похибки, прийнятний рівень перерегулювання та достатній запас стійкості системи.

Розроблено програмне забезпечення для контролера M172 у середовищі EcoStruxure Machine Expert HVAC. Реалізовані алгоритми забезпечують керування технологічними процесами, обробку сигналів від датчиків, роботу виконавчих механізмів, виконання передпускової діагностики та

					БР.АКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

функціонування систем автоматичного регулювання. Крім того, створено програмне забезпечення для операторської панелі Harmony ET6, що забезпечує візуалізацію технологічного процесу, відображення поточних параметрів, введення уставок та взаємодію оператора із системою керування.

Працездатність розроблених алгоритмів підтверджена експериментальними дослідженнями на створеному лабораторному стенді. Виконане тестування засвідчило коректність роботи каналів введення-виведення, алгоритмів керування, системи температурного регулювання та інтерфейсу оператора.

Практична цінність роботи полягає у створенні діючого лабораторного стенда, який може бути використаний у навчальному процесі під час підготовки фахівців спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» для проведення лабораторних і практичних занять, дослідження сучасних методів автоматизованого керування та набуття навичок роботи із засобами промислової автоматизації.

Отже, поставлена мета дипломної роботи досягнута, а всі визначені завдання виконані в повному обсязі. Отримані результати можуть бути використані для подальшої модернізації лабораторного стенда, розширення його функціональних можливостей та впровадження нових алгоритмів керування технологічними процесами.

					БР.АКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: навч. посіб. – Київ: Ліра-К, 2018. – 552 с.
2. Пупена О.М. Програмування промислових контролерів: навч. посіб. – Київ: Ліра-К, 2019. – 704 с.
3. Пістун Є.П., Матіко Ф.Д. Автоматизація технологічних процесів: навчальний посібник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 332 с.
4. Schneider Electric. Modicon M172 Performance Controller TM172PDG28RI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.se.com/ww/en/product/TM172PDG28RI/> (дата звернення: 15.05.2026).
5. Schneider Electric. Easy Harmony ET6 – бюджетні панелі оператора [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.se.com/ua/uk/product/HMIET6400/>(дата звернення: 20.05.2026).
6. Schneider Electric. Блок живлення модульний ABLM1A24025, 24 В, 2,5 А [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.se.com/ua/uk/product/ABLM1A24025/> (дата звернення: 25.05.2026).
7. Schneider Electric. EcoStruxure Machine Expert – HVAC. Operating Guide [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.se.com/uk/en/download/document/EIO0000003412/> (дата звернення: 4.06.2026).
8. Schneider Electric. FAQ: Як імпортувати змінні для ПЛК M171/M172 з EcoStruxure Machine Expert – HVAC до Vijeo Designer Basic? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.se.com/ua/uk/faqs/FAQ000269525/> (дата звернення: 14.06.2026).

					БРАКП-11.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

ДОДАТКИ

Додаток А1

Програма для обертової платформи

```
//=====
// Частина "Керування запуском та зупинкою конвеєрної системи"
//=====
// При натисканні кнопки Pause виконується аварійна
// зупинка технологічної лінії та скидання команди запуску
IF g_bPauseConveyor THEN
    bConveyorEnabled := FALSE;
    g_bStartConveyor := FALSE;
END_IF;
// Після відпускання кнопки Pause оператор може
// повторно запустити виробничий цикл
IF NOT g_bPauseConveyor THEN
    IF g_bStartConveyor THEN
        bConveyorEnabled := TRUE;
    END_IF;
END_IF;

//=====
// Частина "Транспортування деталей між операціями"
//=====
// Рух конвеєра дозволяється лише за умови,
// що жоден із технологічних процесів не виконується
IF NOT bTimerRunning1
AND NOT bTimerRunning2
AND NOT bTimerRunning3
AND NOT bTimerRunning4 THEN

    IF bConveyorEnabled THEN
        // Подача деталей між технологічними позиціями
        Switch1_DO8 := TRUE;
        Switch1_AO3 := 1000;
    ELSE
        // Конвеєр зупинений
        Switch1_DO8 := FALSE;
        Switch1_AO3 := 0;
    END_IF;

END_IF;

//=====
// Частина: Виявлення технологічних позицій платформи
//=====
// Позиція 0:
// Подача нової деталі на конвеєр та відвантаження готової продукції
IF NOT bTriggerDetected
AND NOT bTimerRunning1
AND (g_iRotationNumber = 0) THEN
    bTimerRunning1 := TRUE;
    bTriggerDetected := TRUE;
END_IF;
// Позиція 3:Формування виробу та корекція його геометричних параметрів
IF NOT bTriggerDetected
AND NOT bTimerRunning2
AND (g_iRotationNumber = 3) THEN
    bTimerRunning2 := TRUE;
    bTriggerDetected := TRUE;
```

```

END_IF;
// Позиція 11:Нанесення фарби на поверхню виробу
IF NOT bTriggerDetected
AND NOT bTimerRunning3
AND (g_iRotationNumber = 11) THEN
    bTimerRunning3 := TRUE;
    bTriggerDetected := TRUE;
END_IF;
// Позиція 16: Контроль якості готового виробу та виявлення можливих дефектів
IF NOT bTriggerDetected
AND NOT bTimerRunning4
AND (g_iRotationNumber = 16) THEN
    bTimerRunning4 := TRUE;
    bTriggerDetected := TRUE;
END_IF;

//=====
// Частина: Скидання прапорця фіксації позиції
//=====
// Після виходу платформи із технологічної зони
// дозволяється повторне спрацювання відповідної операції
IF (g_iRotationNumber <> 0)
AND (g_iRotationNumber <> 3)
AND (g_iRotationNumber <> 11)
AND (g_iRotationNumber <> 16) THEN
    bTriggerDetected := FALSE;
END_IF;

//=====
//Частина: Подача нової деталі та відвантаження готової продукції
//=====
// Тривалість виконання операції – 7 секунд
IF bTimerRunning1 THEN
    tDelayTimer1(IN := TRUE, PT := 7000);
    // Зупинка конвеєра на час виконання операції
    Switch1_DO8 := FALSE;
    Switch1_AO3 := 0;
    IF tDelayTimer1.Q THEN
        // Завершення операції
        bTimerRunning1 := FALSE;
        tDelayTimer1(IN := FALSE);
    END_IF;
ELSE
    tDelayTimer1(IN := FALSE);
END_IF;

//=====
// Частина "Формування та корекція форми виробу"
//=====
// Тривалість технологічного процесу – 20 секунд
IF bTimerRunning2 THEN
    tDelayTimer2(IN := TRUE, PT := 20000);
    // Зупинка конвеєра на час обробки
    Switch1_DO8 := FALSE;
    Switch1_AO3 := 0;
    IF tDelayTimer2.Q THEN
        // Завершення операції формування
        bTimerRunning2 := FALSE;
        tDelayTimer2(IN := FALSE);
    END_IF;

```

```

ELSE
    tDelayTimer2(IN := FALSE);
END_IF;
=====
// Частина "Нанесення лакофарбового покриття"
=====
// Тривалість процесу фарбування – 25 секунд
IF bTimerRunning3 THEN
    tDelayTimer3(IN := TRUE, PT := 25000);
    // Конвеєр зупиняється для забезпечення
    // рівномірного нанесення фарби
    Switch1_DO8 := FALSE;
    Switch1_AO3 := 0;
    IF tDelayTimer3.Q THEN
        // Завершення операції фарбування
        bTimerRunning3 := FALSE;
        tDelayTimer3(IN := FALSE);
    END_IF;
ELSE
    tDelayTimer3(IN := FALSE);
END_IF;
=====
// Частина "Контроль якості та виявлення дефектів"
=====
// Тривалість контролю готової продукції – 10 секунд
IF bTimerRunning4 THEN
    tDelayTimer4(IN := TRUE, PT := 10000);
    // Зупинка виробу для проведення перевірки
    Switch1_DO8 := FALSE;
    Switch1_AO3 := 0;
    IF tDelayTimer4.Q THEN
        // Завершення контролю якості
        bTimerRunning4 := FALSE;
        tDelayTimer4(IN := FALSE);
    END_IF;
ELSE
    tDelayTimer4(IN := FALSE);
END_IF;
=====
// Частина "Автоматичне відновлення транспортування"
=====
// Після завершення всіх технологічних операцій
// конвеєр автоматично продовжує рух
IF bConveyorEnabled
AND NOT bTimerRunning1
AND NOT bTimerRunning2
AND NOT bTimerRunning3
AND NOT bTimerRunning4 THEN
    Switch1_DO8 := TRUE;
    Switch1_AO3 := 1000;
END_IF;

```

Додаток А2

Результати роботи програми обертової платформи

Symbol	Value
g_bStartConveyor	TRUE
g_bPauseConveyor	FALSE
Switch1_DO8	FALSE
g_iRotationNumber	0
bConveyorEnabled	TRUE
PositionSensor_DI6	TRUE
tDelayTimer1	-
IN	TRUE
PT	7000
Q	FALSE
ET	800
tDelayTimer2	-
IN	FALSE
PT	20000
Q	FALSE
ET	0
tDelayTimer3	-
IN	FALSE
PT	25000
Q	FALSE
ET	0
tDelayTimer4	-
IN	FALSE
PT	10000
Q	FALSE
ET	0
Lamp1_DO5	TRUE
Lamp2_DO6	TRUE
Lamp3_DO7	TRUE

Symbol	Value
g_bStartConveyor	TRUE
g_bPauseConveyor	FALSE
Switch1_DO8	FALSE
g_iRotationNumber	3
bConveyorEnabled	TRUE
PositionSensor_DI6	FALSE
tDelayTimer1	-
IN	FALSE
PT	7000
Q	FALSE
ET	0
tDelayTimer2	-
IN	TRUE
PT	20000
Q	FALSE
ET	1100
tDelayTimer3	-
IN	FALSE
PT	25000
Q	FALSE
ET	0
tDelayTimer4	-
IN	FALSE
PT	10000
Q	FALSE
ET	0
Lamp1_DO5	TRUE
Lamp2_DO6	TRUE
Lamp3_DO7	TRUE

Symbol	Value
g_bStartConveyor	FALSE
g_bPauseConveyor	TRUE
Switch1_DO8	FALSE
g_iRotationNumber	9
bConveyorEnabled	FALSE
PositionSensor_DI6	FALSE
tDelayTimer1	-
IN	FALSE
PT	7000
Q	FALSE
ET	0
tDelayTimer2	-
IN	FALSE
PT	20000
Q	FALSE
ET	0
tDelayTimer3	-
IN	FALSE
PT	25000
Q	FALSE
ET	0
tDelayTimer4	-
IN	FALSE
PT	10000
Q	FALSE
ET	0
Lamp1_DO5	TRUE
Lamp2_DO6	TRUE
Lamp3_DO7	TRUE

Зупинка платформи на значеннях датчика
обертів 11 та 16

Спрацювання паузи

Symbol	Value
g_bStartConveyor	TRUE
g_bPauseConveyor	FALSE
Switch1_DO8	TRUE
g_iRotationNumber	5
bConveyorEnabled	TRUE
PositionSensor_DI6	FALSE
tDelayTimer1	-
IN	FALSE
PT	7000
Q	FALSE
ET	0
tDelayTimer2	-
IN	FALSE
PT	20000
Q	FALSE
ET	0
tDelayTimer3	-
IN	FALSE
PT	25000
Q	FALSE
ET	0
tDelayTimer4	-
IN	FALSE
PT	10000
Q	FALSE
ET	0
Lamp1_DO5	TRUE
Lamp2_DO6	TRUE
Lamp3_DO7	TRUE

Symbol	Value
g_bStartConveyor	TRUE
g_bPauseConveyor	FALSE
Switch1_DO8	FALSE
g_iRotationNumber	11
bConveyorEnabled	TRUE
PositionSensor_DI6	FALSE
tDelayTimer1	-
IN	FALSE
PT	7000
Q	FALSE
ET	0
tDelayTimer2	-
IN	FALSE
PT	20000
Q	FALSE
ET	0
tDelayTimer3	-
IN	TRUE
PT	25000
Q	FALSE
ET	1400
tDelayTimer4	-
IN	FALSE
PT	10000
Q	FALSE
ET	0
Lamp1_DO5	TRUE
Lamp2_DO6	TRUE
Lamp3_DO7	TRUE

Symbol	Value
g_bStartConveyor	TRUE
g_bPauseConveyor	FALSE
Switch1_DO8	FALSE
g_iRotationNumber	16
bConveyorEnabled	TRUE
PositionSensor_DI6	FALSE
tDelayTimer1	-
IN	FALSE
PT	7000
Q	FALSE
ET	0
tDelayTimer2	-
IN	FALSE
PT	20000
Q	FALSE
ET	0
tDelayTimer3	-
IN	FALSE
PT	25000
Q	FALSE
ET	0
tDelayTimer4	-
IN	TRUE
PT	10000
Q	FALSE
ET	1000
Lamp1_DO5	TRUE
Lamp2_DO6	TRUE
Lamp3_DO7	TRUE

Рух платформи між
позиціями

Зупинка платформи на значеннях датчика
обертів 11 та 16

Додаток Б1

Програма для дискретного модуля

```
//=====
// Частина "Ініціалізація виконавчих механізмів"
//=====
// Перед початком роботи всі індикатори переводяться у вимкнений стан
Lamp1_DO1 := FALSE;
Lamp2_DO2 := FALSE;
Lamp3_DO3 := FALSE;

//=====
// Частина"Формування команд запуску"
//=====
// Фіксація моменту натискання кнопок запуску для виключення багаторазового спрацювання
rtBtn1(CLK := Button1_DI1);
rtBtn2(CLK := Button2_DI2);

//=====
// Частина"Вибір режиму перевірки обладнання"
//=====
// Запуск нового діагностичного циклу дозволяється
// лише за умови відсутності активних процесів
IF iMode = 0 THEN
  // Послідовна перевірка виконавчих механізмів
  IF rtBtn1.Q THEN
    iMode := 1;
    iStep := 0;
  END_IF;
  // Циклічна перевірка працездатності
  IF rtBtn2.Q THEN
    iMode := 2;
    iStep := 0;
  END_IF;
END_IF;

//=====
// Частина "Режим послідовної перевірки виконавчих механізмів"
//=====
// Контроль правильності роботи кожного виконавчого
// елемента шляхом їх почергового ввімкнення
IF iMode = 1 THEN
  tStep(IN := TRUE, PT := 8000);
  // Активація першого механізму
  Lamp1_DO1 := TRUE;
  // Через 2 секунди перевірка другого механізму
  IF tStep.ET >= 2000 THEN
    Lamp2_DO2 := TRUE;
  END_IF;
  // Через 4 секунди перевірка третього механізму
  IF tStep.ET >= 4000 THEN
    Lamp3_DO3 := TRUE;
  END_IF;
  // Після завершення тестування повернення
  // системи у режим очікування
  IF tStep.Q THEN
    tStep(IN := FALSE);
    iMode := 0;
  END_IF;
END_IF;
```

```

END_IF;
//=====
// Частина "Режим циклічної перевірки працездатності"
//=====
// Імітація передпускового тестування виконавчих
// механізмів перед запуском виробничого процесу
IF iMode = 2 THEN
  CASE iStep OF
    // Етап 1.
    // Перевірка першого та третього механізмів
    0:
      tStep(IN := TRUE, PT := 4000);
      Lamp1_DO1 := TRUE;
      Lamp3_DO3 := TRUE;
      IF tStep.Q THEN
        tStep(IN := FALSE);
        iStep := 1;
      END_IF;
    // Етап 2.
    // Одночасна перевірка всіх виконавчих механізмів
    1:
      tStep(IN := TRUE, PT := 4000);
      Lamp1_DO1 := TRUE;
      Lamp2_DO2 := TRUE;
      Lamp3_DO3 := TRUE;
      IF tStep.Q THEN
        tStep(IN := FALSE);
        iStep := 2;
      END_IF;
    // Етап 3.
    // Пауза між діагностичними циклами
    2:
      tStep(IN := TRUE, PT := 1500);
      // Всі механізми вимкнені
      IF tStep.Q THEN
        tStep(IN := FALSE);
        // Підрахунок виконаних циклів перевірки
        iCycleCount := iCycleCount + 1;
        // Після завершення заданої кількості циклів
        // система переходить у режим готовності
        IF iCycleCount >= 4 THEN
          iMode := 0;
          iStep := 0;
          iCycleCount := 0;
        ELSE
          // Повторення циклу перевірки
          iStep := 0;
        END_IF;
      END_IF;
    END_CASE;
  END_IF;
END_IF;

```

Додаток Б2

Результати роботи програми дискретного модуля

The image shows three sequential screenshots of the 'Watch' window in a development environment. Each window displays a list of variables and their current values. The variables include Button1_DI1, Lamp1_DO1, Lamp2_DO2, Lamp3_DO3, tStep, IN, PT, Q, ET, rtBtn1, clk, q, and rtBtn2. The values change across the three screenshots, indicating the progression of the program's execution during the sequential testing phase.

Symbol	Value
Button1_DI1	TRUE
Lamp1_DO1	TRUE
Lamp2_DO2	FALSE
Lamp3_DO3	FALSE
tStep	-
IN	TRUE
PT	8000
Q	FALSE
ET	100
rtBtn1	-
clk	TRUE
q	TRUE
rtBtn2	-
clk	FALSE
q	FALSE

Symbol	Value
Button1_DI1	FALSE
Lamp1_DO1	TRUE
Lamp2_DO2	TRUE
Lamp3_DO3	FALSE
tStep	-
IN	TRUE
PT	8000
Q	FALSE
ET	2600
rtBtn1	-
clk	FALSE
q	FALSE
rtBtn2	-
clk	FALSE
q	FALSE

Symbol	Value
Button1_DI1	FALSE
Lamp1_DO1	TRUE
Lamp2_DO2	TRUE
Lamp3_DO3	TRUE
tStep	-
IN	TRUE
PT	8000
Q	FALSE
ET	4500
rtBtn1	-
clk	FALSE
q	FALSE
rtBtn2	-
clk	FALSE
q	FALSE

Тестування режиму послідовної перевірки виконавчих механізмів

The image shows four sequential screenshots of the 'Watch' window. The variables include Button2_DI2, Lamp1_DO1, Lamp2_DO2, Lamp3_DO3, tStep, IN, PT, Q, ET, rtBtn2, clk, q, iMode, iStep, and iCycleCount. The values change across the four screenshots, demonstrating the cyclic testing process.

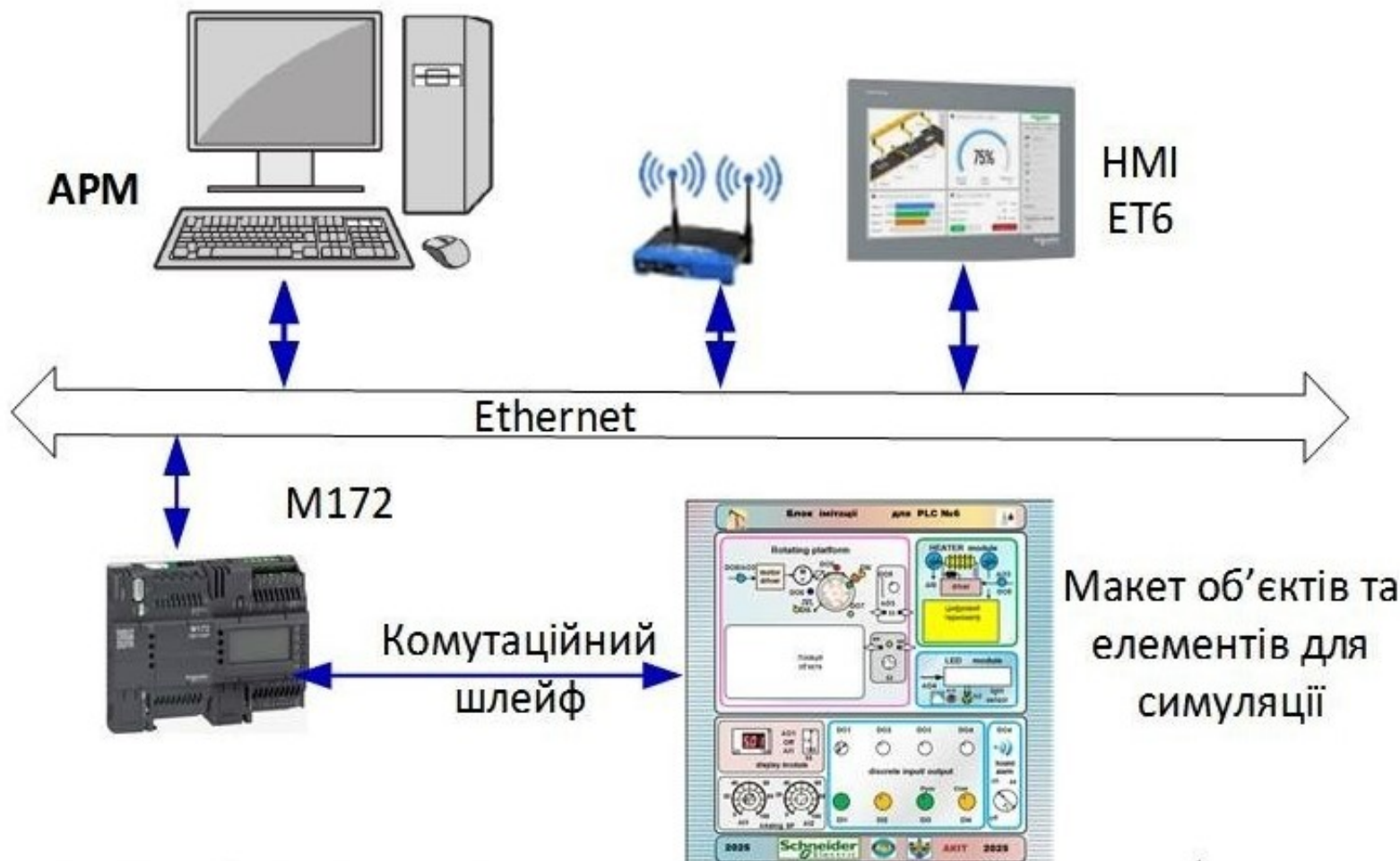
Symbol	Value
Button2_DI2	TRUE
Lamp1_DO1	TRUE
Lamp2_DO2	FALSE
Lamp3_DO3	TRUE
tStep	-
IN	TRUE
PT	4000
Q	FALSE
ET	0
rtBtn2	-
clk	TRUE
q	TRUE
iMode	2
iStep	0
iCycleCount	0

Symbol	Value
Button2_DI2	FALSE
Lamp1_DO1	TRUE
Lamp2_DO2	TRUE
Lamp3_DO3	TRUE
tStep	-
IN	TRUE
PT	4000
Q	FALSE
ET	700
rtBtn2	-
clk	FALSE
q	FALSE
iMode	2
iStep	1
iCycleCount	0

Symbol	Value
Button2_DI2	FALSE
Lamp1_DO1	FALSE
Lamp2_DO2	FALSE
Lamp3_DO3	FALSE
tStep	-
IN	TRUE
PT	1500
Q	FALSE
ET	800
rtBtn2	-
clk	FALSE
q	FALSE
iMode	2
iStep	2
iCycleCount	0

Symbol	Value
Button2_DI2	FALSE
Lamp1_DO1	TRUE
Lamp2_DO2	FALSE
Lamp3_DO3	TRUE
tStep	-
IN	TRUE
PT	4000
Q	FALSE
ET	700
rtBtn2	-
clk	FALSE
q	FALSE
iMode	2
iStep	0
iCycleCount	1

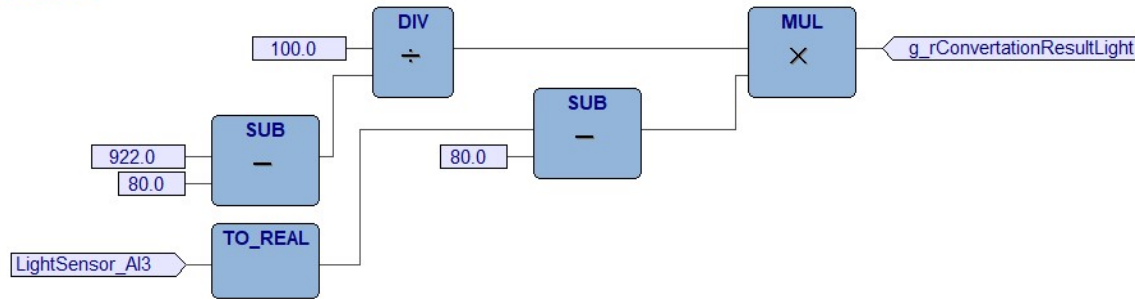
Тестування циклічної перевірки працездатності



					БР. АКП-11.00.00.000 01			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування, розробка та налагодження лабораторної установки з макетом-симулятором та PLC M172	Літера	Маса	Масштаб
	Розробив	Лужний Н.І.						
	Перевірив	Когутяк М.І.						
	Т. Контроль							
	Рецензент	Горбійчук М.І.				Арк.	1	Аркушів
	Н. Контроль	Кучмистенко О.В.			АКП-22-1 ІФНТУНГ			
	Затвердив	Лагойда А.І.						

а) Програма для калібрування датчика освітленості

Конвертація датчика світла



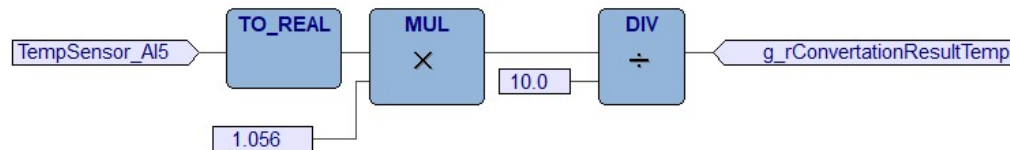
$$L = \frac{Y_{max}}{X_{max} - X_{min}} \times (X - X_{min}),$$

де:

- L - відмасштабоване значення освітленості;
- X - поточне значення з аналогового входу датчика;
- X_{min} - мінімальне значення датчика;
- X_{max} - максимальне значення датчика;
- Y_{max} - верхня межа вихідного діапазону.

б) Програма для калібрування датчика температури

Конвертація датчика температури



$$T_{cal} = \frac{T \times T_{etalon}}{T_{sensor} \times 10'}$$

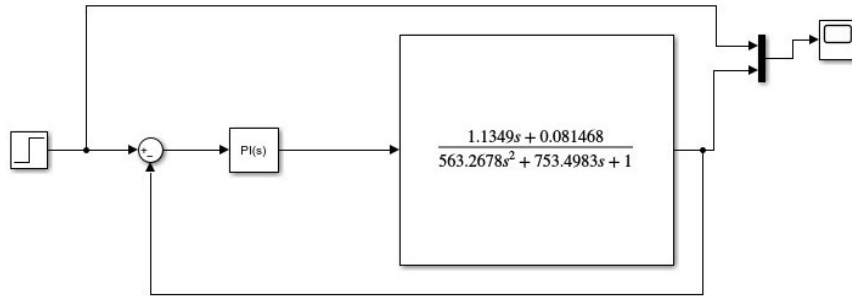
де:

- T_{cal} - відкаліброване значення температури;
- T - поточне значення з аналогового входу датчика;
- T_{etalon} - еталонна температура;
- T_{sensor} - значення температури, яке показував датчик під час калібрування.

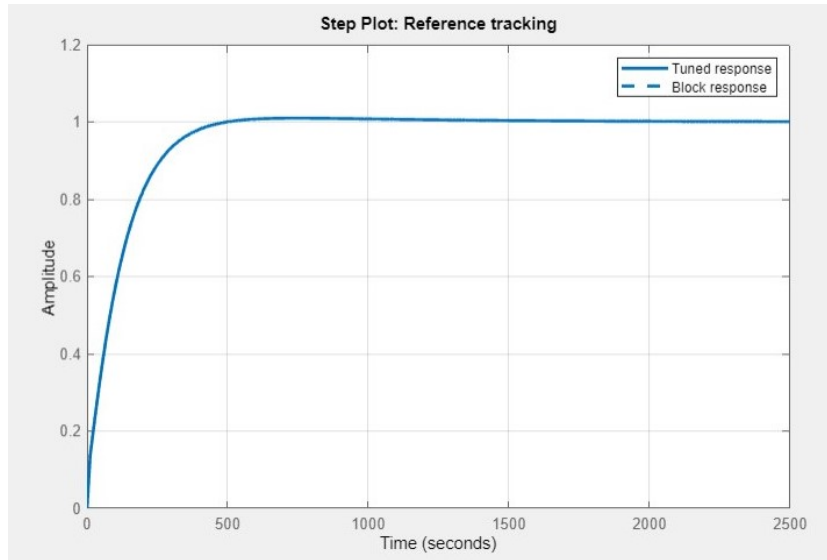
					БР. АКП-11.00.00.000 02			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування, розробка та налагодження лабораторної установки з макетом-симулятором та PLC M172	Літера	Маса	Масштаб
	Розробив	Лужний Н.І.						
	Перевірив	Когутяк М.І.						
	Т. Контроль							
	Рецензент	Горбійчук М.І.				Арк.	1	Аркушів
	Н. Контроль	Кучмистенко О.В.			FBD-схеми калібрування аналогових датчиків		АКП-22-1 ІФНТУНГ	
	Затвердив	Лагойда А.І.						

а) Структурна схема замкненої САК тепловим

об'єктом у середовищі Simulink



б) Перехідна характеристика системи з ПІД-регулятором

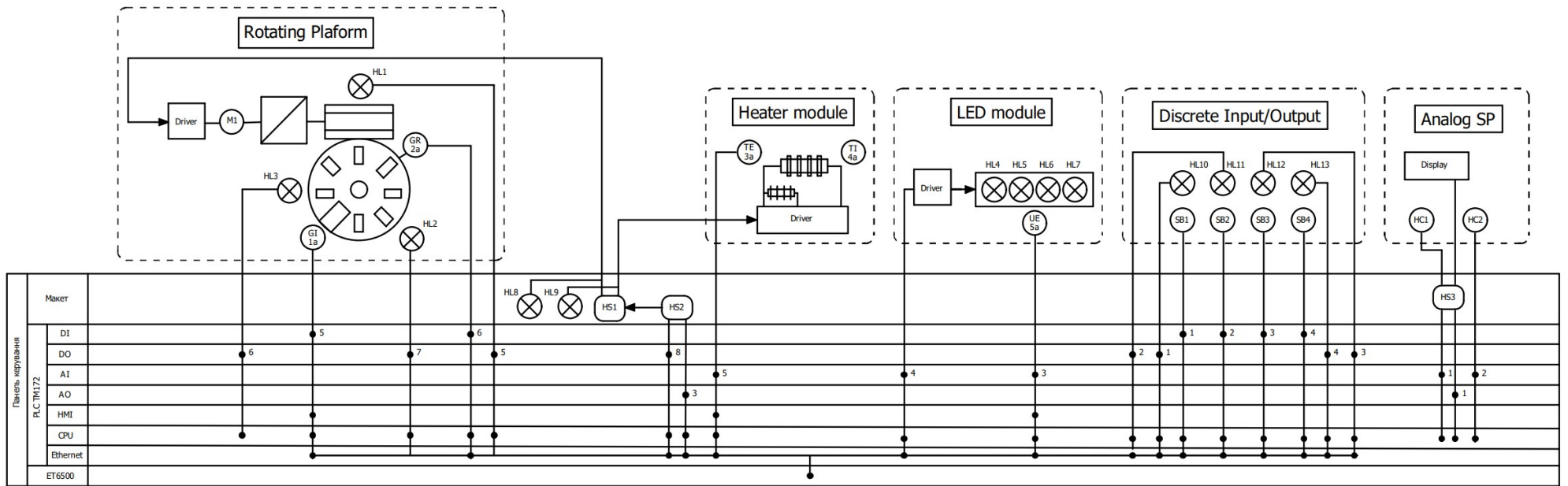


в) Статистичні показники якості перехідного процесу

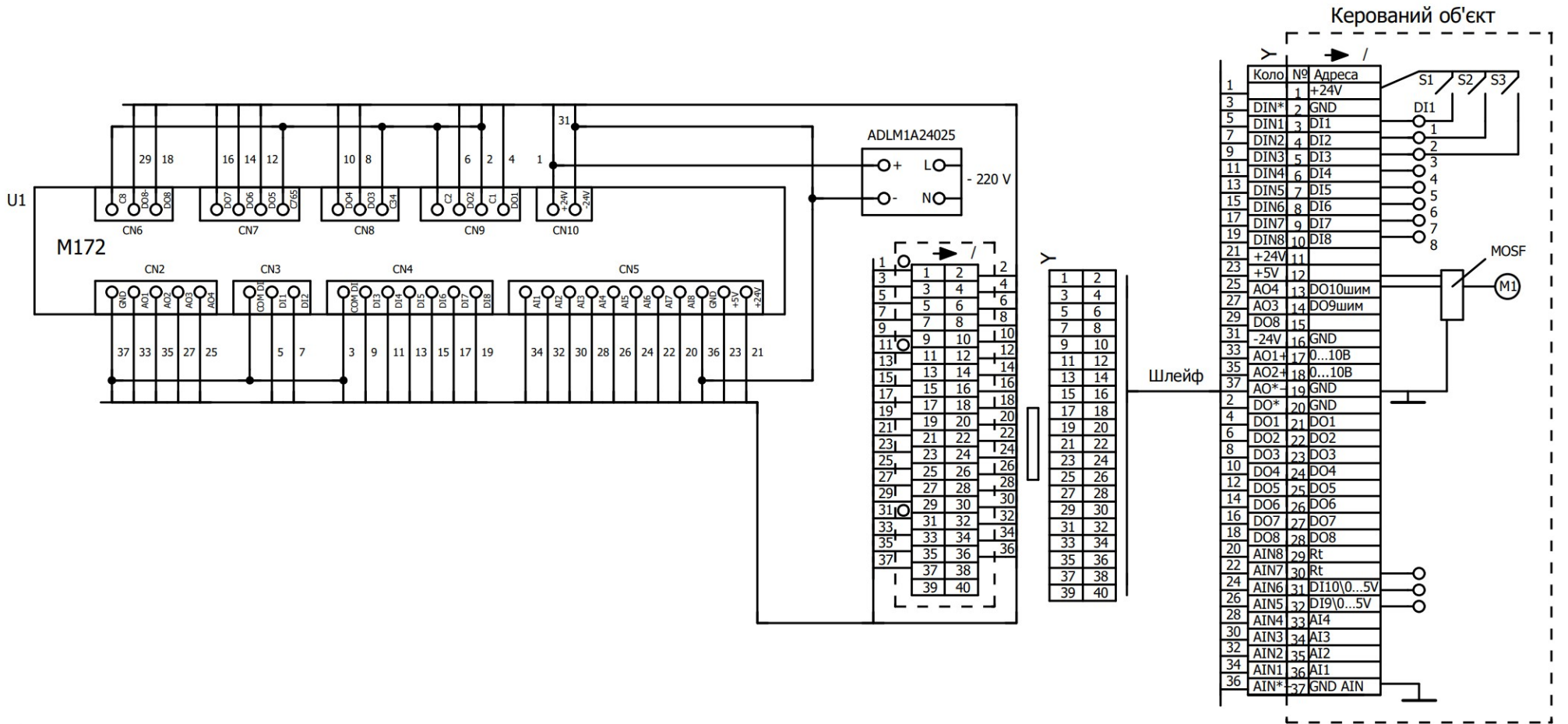
для ПІД-алгоритму

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	77.0383	77.0383
I	0.12072	0.12072
D	-798.6578	-798.6578
N	0.030652	0.030652
Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	255 seconds	255 seconds
Settling time	397 seconds	397 seconds
Overshoot	0.978 %	0.978 %
Peak	1.01	1.01
Gain margin	Inf dB @ NaN rad/s	Inf dB @ NaN rad/s
Phase margin	90 deg @ 0.00841 rad/s	90 deg @ 0.00841 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

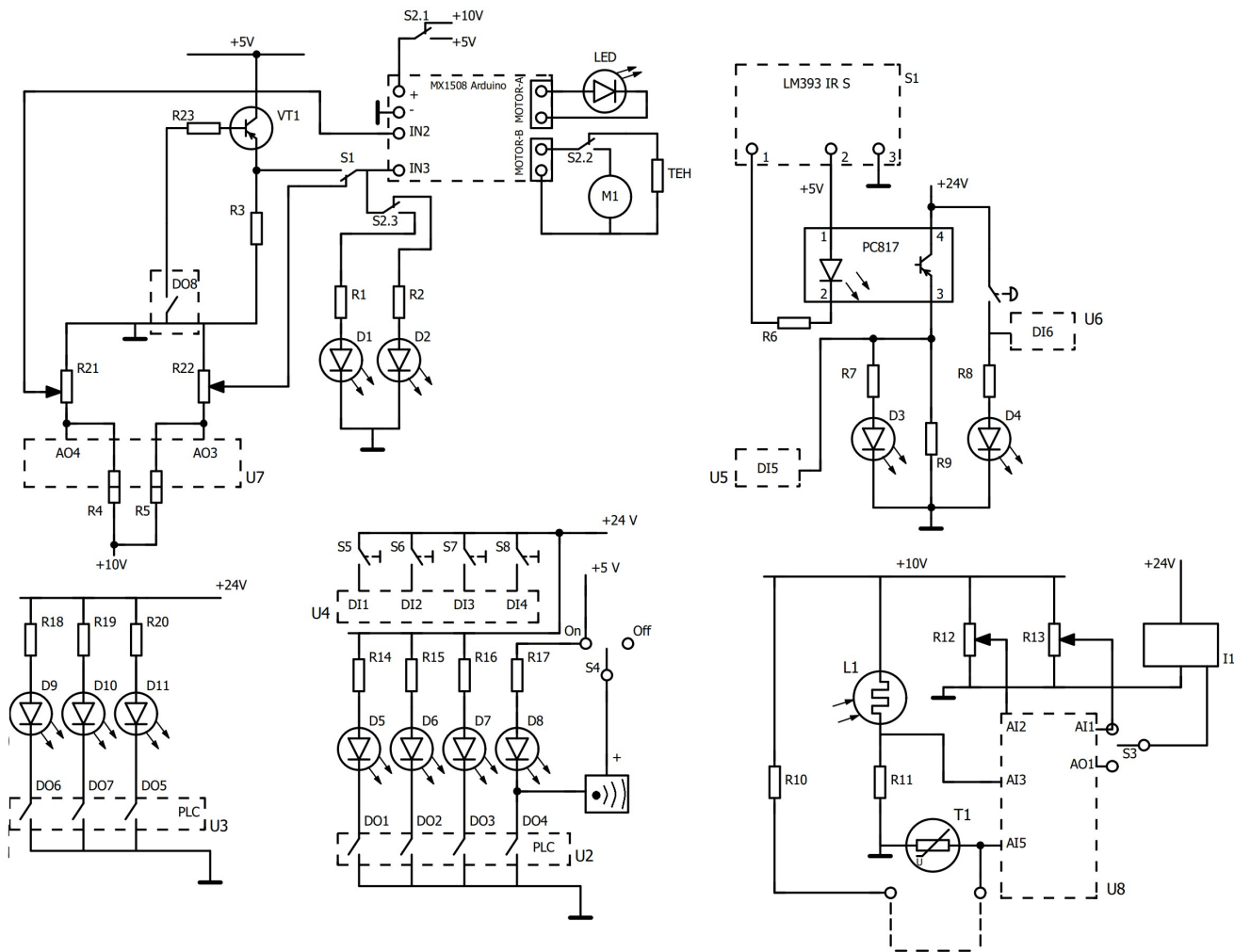
					БР. АКП-11.00.00.000 03				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування, розробка та налагодження лабораторної установки з макетом-симулятором та PLC M172	Літера		Маса	Масштаб
	Розробив	Лужний Н.І.							
	Перевірив	Когутяк М.І.							
	Т. Контроль								
	Рецензент	Горбійчук М.І.							
	Н. Контроль	Кучмистенко О.В.							
	Затвердив	Лагойда А.І.			Схема моделювання ПІД-регулятора	Арк. 1		Аркушів 2	АКП-22-1 ІФНТУНГ



					БР. АКП-11.00.00.000 04					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування, розробка та налагодження лабораторної установки з макетом-симулятором та PLC M172			Літера	Маса	Масштаб
	Розробив	Лужний Н.І.								
	Перевірив	Когутяк М.І.								
	Т. Контроль									
	Рецензент	Горбійчук М.І.								
	Н. Контроль	Кучмистенко О.В.			Функціональна схема автоматизації			АКП-22-1 ІФНТУНГ		
	Затвердив	Лагойда А.І.								
					Арк. 1			Аркушів 2		



					БР. АКП-11.00.00.000 05			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування, розробка та налагодження лабораторної установки з макетом-симулятором та PLC M172	Літера	Маса	Масштаб
	Розробив	Лужний Н.І.						
	Перевірив	Когутяк М.І.						
	Т. Контроль							
	Рецензент	Горбійчук М.І.				Арк. 1	Аркушів 2	
	Н. Контроль	Кучмистенко О.В.			АКП-22-1		ІФНТУНГ	
	Затвердив	Лагойда А.І.			Принципова електрична схема підключення контролера M172 та комунікаційного шлейфа			



					БР. АКП-11.00.00.000 06			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування, розробка та налагодження лабораторної установки з макетом-симулятором та PLC M172	Літера	Маса	Масштаб
	Розробив	Лужний Н.І.						
	Перевірив	Когутяк М.І.						
	Т. Контроль							
	Рецензент	Горбійчук М.І.				Арк. 1	Аркушів 2	
	Н. Контроль	Кучмистенко О.В.			АКП-22-1		ІФНТУНГ	
	Затвердив	Лагойда А.І.			Принципова електрична схема макета-імітатора			