

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Лабораторний стенд для вивчення програмованих логічних контролерів
Назва теми

Рівень вищої освіти Перший (бакалаврський)
Галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
Освітня програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ
Шифр

Виконав здобувач 3 курсу, група АКІТРс-23-1
Шифр


Підпис

Денис БОТКІН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник д-р техн. наук, проф.
Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Валерій МАРТИНЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер канд. техн. наук, доц.
Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Галина РАДЕЛЬЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки


Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

10.06.2026р.
Дата

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Інформаційних технологій
Кафедра Автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
Освітня програма Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТтаР

Людмила КОРЕЦЬКА

07 лютого 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Боткіну Денису Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Лабораторний стенд для вивчення програмованих логічних контролерів

Керівник роботи Мартинюк Валерій Володимирович, д-р техн. наук, проф.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 20.01 2026 р. № 7

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.06.2026 р.

3 Вихідні дані до роботи Матеріали переддипломної практики





4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Проблематика вивчення програмованих логічних контролерів. Основна частина. Розробка програми роботи лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів. Висновки.

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М. В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Радельчук Г. І., доцент кафедри АКІТтаР		

7 Дата видачі завдання 07 лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Пр
Вступ	15.02.2026 р.	ВИК
1 Проблематика вивчення програмованих логічних контролерів	15.03.2026 р.	ВИК
2 Основна частина	15.04.2026 р.	ВИК
3 Розробка програми роботи лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів	15.05.2026 р.	ВИК
Висновки	25.05.2026 р.	ВИК

Студент


Підпис

Денис БОТКІН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Валерій МАРТИНЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Лабораторний стенд для вивчення програмованих логічних контролерів».

Автор роботи: Денис БОТКІН

Керівник роботи: Валерій МАРТИНЮК

Пояснювальна записка: 70 с., 24 рис., 40 джерел.

Графічна частина: 13 презентаційних слайдів.

АЛГОРИТМ, ПРОГРАМОВАНИЙ ЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЕР,
ПРОМИСЛОВА АВТОМАТИЗАЦІЯ, СПЕЦІАЛІЗОВАНИЙ ЛАБОРАТОРНИЙ
СТЕНД.

Мета роботи: розроблення та впровадження спеціалізованого лабораторного стенда для вивчення програмованих логічних контролерів, який забезпечує поєднання теоретичного навчання з глибокою практичною підготовкою у сфері промислової автоматизації та електротехнічного проектування.

Проведено аналіз сучасного стану засобів промислової автоматизації та обґрунтовано необхідність створення навчального обладнання, яке поєднує в собі можливості вивчення логічного керування та сучасних систем електропривода.

Обґрунтовано вибір апаратної бази, яка складається з інтелектуального реле Schneider Electric Zelio Logic SR2 A201FU та частотного перетворювача ABB ACS150. Таке поєднання дозволяє реалізувати як прості релейно-контактні схеми, так і складні алгоритми керування швидкістю асинхронного двигуна, включаючи роботу в замкненому контурі.



Підпис студента

01.06.2026

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП.....	С. 6
1 ПРОБЛЕМАТИКА ВИВЧЕННЯ ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ КОНТРОЛЕРІВ	9
1.1 Особливості вивчення програмованих логічних контролерів	9
1.2 Особливості лабораторних стендів для вивчення програмованих логічних контролерів.....	12
1.3 Класифікація лабораторних стендів для вивчення програмованих логічних контролерів.....	17
1.4 Висновки до першого розділу	21
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	22
2.1 Розробка структурної схеми лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів.....	22
2.2 Розробка схеми електричної принципової лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів.....	30
2.3 Висновки до другого розділу	37
3 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ РОБОТИ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ КОНТРОЛЕРІВ	39
3.1 Алгоритм роботи лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів.....	39
3.2 Опис програмного забезпечення Zelio Soft 2	44

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Лабораторний стенд для вивчення програмованих логічних контролерів Пояснювальна записка</i>	Лім.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Боткін Д. С.	<i>[Підпис]</i>	<i>2.06.2023</i>				
Перевір.		Мартинок В.В.	<i>[Підпис]</i>	<i>2.06.2023</i>			4	70
Реценз.								
Н. контр.		Радельчук Г. І.	<i>[Підпис]</i>	<i>2.06.2023</i>		<i>ХНУ, АКІТРс-23-1</i>		
Затверд.		Корецька Л. О.	<i>[Підпис]</i>	<i>2.06.2023</i>				

3.3	Опис програми роботи лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів	52
3.4	Висновки до третього розділу.....	64
	ВИСНОВКИ	66
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	67

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

Сучасний етап розвитку промислової автоматизації характеризується масовим впровадженням інтелектуальних систем керування, основою яких є програмовані логічні контролери (ПЛК). Надійність та гнучкість ПЛК зробили їх незамінними у нафтогазовій, хімічній, харчовій промисловості та енергетиці. Проте динамічний розвиток концепції Індустрії 4.0 ставить нові вимоги до кваліфікації інженерних кадрів, які повинні володіти навичками не лише програмування, а й апаратного проектування, монтажу та діагностики складних систем автоматизації.

Ефективне навчання фахівців у галузі автоматизації неможливе без використання сучасних лабораторних стендів, що моделюють реальні виробничі процеси.

Сьогодні на ринку освітніх послуг переважають або занадто дорогі пропріетарні рішення від світових брендів, таких як Siemens чи Amatrol, або програмні симулятори, які не дають студентам досвіду роботи з реальним електричним обладнанням.

Це призводить до розриву між теоретичною підготовкою в університетах та практичними вимогами сучасних підприємств, де інженер має самостійно здійснювати комутацію, вибір компонентної бази та оформлення технічної документації.

Актуальність роботи зумовлена потребою у створенні економічно ефективного, модульного лабораторного стенда з відкритою архітектурою, який би дозволяв студентам опанувати повний цикл розробки АСК ТП: від фізичного монтажу компонентів та розробки схем підключення до написання складних алгоритмів керування мовами стандарту IEC 61131-3.

Метою роботи є розробка та впровадження спеціалізованого лабораторного стенда для вивчення програмованих логічних контролерів, який забезпечує поєднання теоретичного навчання з глибокою практичною

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підготовкою у сфері промислової автоматизації та електротехнічного проектування.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан та проблематику вивчення ПЛК у вищій школі, розглянути існуючі аналоги лабораторного обладнання та симуляторів;
- класифікувати лабораторні стенди за функціональним призначенням та мобільністю, визначити технічні вимоги до проектованої системи;
- обґрунтувати вибір архітектури стенда та компонентної бази, включаючи центральний процесорний модуль, модулі вводу/виводу та периферійне обладнання;
- розробити структурну, функціональну та принципову електричну схеми лабораторного стенда;
- розробити методичне забезпечення та алгоритми програмного забезпечення для реалізації типових завдань автоматизації на базі розробленого стенда.

Об'єктом дослідження є процес практичної підготовки фахівців з автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій із використанням апаратних засобів навчання.

Предметом дослідження є методи, алгоритми та технічні засоби побудови лабораторних стендів для вивчення програмованих логічних контролерів.

Практична значимість отриманих результатів полягає у створенні діючого прототипу лабораторного стенда, який може бути інтегрований у навчальний процес кафедри для дисциплін, пов'язаних із архітектурою ПЛК та промисловими мережами.

Використання стенда дозволяє знизити витрати на оновлення матеріально-технічної бази лабораторій та підвищити рівень практичних навичок студентів за рахунок реальної роботи з промисловими компонентами та формування документації, а саме I/O списків, схем з'єднань.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи складає 70 сторінок комп'ютерного тексту, у тому числі: 24 рисунки, список використаних джерел вміщує 40 найменувань.

У вступі обґрунтована актуальність кваліфікаційної роботи, сформульовано мету та задачі, відображено її практичне значення.

В першому розділі проведено аналіз проблематики вивчення ПЛК, розглянуто особливості сучасних освітніх технологій, виконано огляд та класифікацію існуючих лабораторних стендів та систем симуляції.

У другому розділі здійснено обґрунтування вибору технічних засобів, розроблено загальну архітектуру стенда та виконано проектування його апаратної частини, включаючи вибір контролера та сенсорики.

В третьому розділі описано процес розробки програмного забезпечення, реалізовано практичні кейси та завдання для навчання та проведено апробацію розробленого обладнання.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						8
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1 ПРОБЛЕМАТИКА ВИВЧЕННЯ ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ КОНТРОЛЕРІВ

1.1 Особливості вивчення програмованих логічних контролерів

Сучасний освітній процес підготовки фахівців з автоматизації потребує глибокої інтеграції теоретичних знань із практичними навичками роботи з програмованими логічними контролерами. Відповідно до навчальної програми, студенти мають опанувати не лише внутрішню архітектуру та організацію пам'яті контролерів, а й здобути навички роботи зі спеціалізованими мовами програмування та промисловими протоколами зв'язку [1].

Однак обмежений доступ до дорогого промислового обладнання та складність його налаштування створюють значні бар'єри для ефективного навчання. Тому розробка спеціалізованих лабораторних стендів, які моделюють реальні виробничі процеси та забезпечують безпечну взаємодію з апаратними компонентами, є критично важливим завданням для вищої технічної освіти [2-5].

Програмовані логічні контролери – це промислові комп'ютери спеціального призначення, розроблені для використання в управлінні широким спектром виробничих застосувань. Індустрія програмованих логічних контролерів розпочалася, коли Дік Морлі розробив концепцію програмованих логічних контролерів на початку 1968 року. З моменту свого заснування керування на базі програмованих логічних контролерів перетворилося на бізнес вартістю 6,5 мільярда доларів із понад 110 постачальниками ПЛК по всьому світу [6-9].

Програмовані логічні контролери – це комп'ютери промислового класу, які були спеціально розроблені для роботи в суворих умовах заводських цехів, середовищ керування технологічними процесами та гірничодобувної промисловості [10].

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зазвичай системи на базі програмованих логічних контролерів є автономними системами керування, які монтуються в стійку. Стійка програмованих логічних контролерів містить головне джерело живлення та об'єднувальну плату, яка приймає карти схем для забезпечення роботи центрального процесора, захищених терміналів введення/виведення, модулів таймерів, комунікаційних модулів тощо [11].

Багато програмованих логічних контролерів використовують мікропроцесор ARM як основний процесор для системи керування. Процесор може бути запрограмований з використанням п'яти різних мов програмування на основі стандарту IEC 61131, проте візуальний підхід на основі сходової логіки залишається популярним [12].

Як випливає з назви, програмування мовою сходової логіки має різочу подібність до схеми сходів. Це графічне програмування програмованих логічних контролерів, яке було вперше представлено разом із технологією програмованих логічних контролерів.

Кожен щабель на сходах представляє крок програми, який логічно пов'язує входи системи з виходами. Логіка на конкретному щаблі графічно представляє алгоритмічний зв'язок між входами та виходами.

Стандарт IEC 61131 надає інструкції для розрахунку часу програми, підрахунку, основних арифметичних операцій та інструкцій переміщення, інструкцій перетворення даних та інструкцій керування програмою. Щаблі обробляються послідовно зверху вниз за схемою сходової логіки. Коли програма сходової логіки компілюється, вона перетворюється на машинний код, відповідний для головного процесора [13-17].

Програмування програмованих логічних контролерів є частиною програм інженерних технологій у багатьох університетах і зазвичай викладається досвідченими фахівцями з галузі або впроваджується як модуль у курсах промислового управління, гідропневмоавтоматики, автоматизації виробництва та прикладної інженерії керування процесами.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Багато виробників та постачальників програмованих логічних контролерів також пропонують приклади та практичні заняття для використання в навчальних програмах з програмованих логічних контролерів.

Дискусію про те, чи має програмування програмованих логічних контролерів викладатися виробником програмованих логічних контролерів, чи воно повинно бути формальним курсом у складі університетської або коледжної програми, можна знайти у відповідних дослідженнях [18].

Завдяки популярності програмованих логічних контролерів у системах промислового керування, від студентів інженерних спеціальностей часто очікується наявність певних знань з програмування програмованих логічних контролерів за допомогою сходових діаграм.

Сходові логічні діаграми, засновані на двопровідній релейній логіці керування, є загальноприйнятою мовою програмування програмованих логічних контролерів. Програма сходової логіки складається з кількох «щаблів», кожен з яких визначає вимогу до виходу.

Коли програма сходової логіки виконується, щаблі виконуються послідовно, повертаючись до верхнього щабля після того, як кожен щабель був оброблений, доки процес не буде перервано або не буде досягнуто результату [19].

Візуальний стиль сходової логіки полегшує технічне обслуговування систем керування на базі програмованих логічних контролерів завдяки її схожості з апаратним забезпеченням релейного керування, що дозволяє інженерам і технікам розуміти та модифікувати системи керування, не потребуючи складного досвіду програмування.

Для допомоги в навчанні програмованих логічних контролерів були впроваджені віртуальні робочі середовища програмування програмованих логічних контролерів, які називаються інтегрованими віртуальними навчальними системами для програмованих логічних контролерів, або скорочено – віртуальними програмованих логічних контролерів.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ці віртуальні програмованих логічних контролерів використовують анімацію, симуляцію, інтелектуальні системи навчання та ігри, і є економічно ефективними інструментами для навчання програмуванню програмованих логічних контролерів [20-23].

1.2 Особливості лабораторних стендів для вивчення програмованих логічних контролерів

У 2025 році викладачі кафедри автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки пройшли науково-педагогічне стажування у навчальному центрі Sitrain ДП "Сіменс Україна" (м. Київ). Навчання проводилося на лабораторному стенді для вивчення програмованих логічних контролерів SIMATIC S7-1500, який зображено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Лабораторний стенд для вивчення програмованих логічних контролерів SIMATIC S7-1500

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Лабораторний стенд для вивчення програмованих логічних контролерів SIMATIC S7-1500 приєднано до моделі конвеєра, яка імітує конвеєрну стрічку та сортувальну лінію. Модель конвеєра виготовлена повністю зі стандартних промислових компонентів.

Положення деталей визначається за допомогою індуктивних датчиків близькості та інфрачервоного світлового бар'єра. Стрічка приводиться в рух кроковим двигуном. Промислові контактні перемикачі використовуються для керування оператором, а світлодіоди відображають стан конвеєра. Модель конвеєра зображена на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Модель конвеєра

Сучасні лабораторні стенди для вивчення ПЛК, такі як установки на базі SIMATIC S7-1500, розроблені для забезпечення всебічного практичного досвіду шляхом інтеграції високопродуктивних контролерів із периферійним промисловим обладнанням.

Ці стенди часто включають панелі НМІ для візуалізації, різноманітні датчики, а саме індуктивні, ємнісні, оптичні та виконавчі механізми, які імітують роботу конвеєра або сортувальної лінії. Інтеграція такого обладнання дозволяє студентам практикувати складні завдання автоматизації, включаючи конфігурацію апаратного забезпечення, промислові мережі через PROFINET та моніторинг процесів у реальному часі.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім того, використання стандартних промислових компонентів замість спрощених навчальних моделей гарантує, що студенти здобудуть навички, які безпосередньо застосовуються в середовищах сучасних «розумних заводів» та стандартах Індустрії 4.0 [24-26].

Іншим прикладом лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів є навчальні системи Amatrol Computer Control, які навчають користувачів програмувати, керувати та взаємодіяти з програмованими логічними контролерами [27].

Апаратне забезпечення Amatrol Computer Control оснащено програмованим логічним контролером Allen-Bradley Micro820 для забезпечення керування реальними електричними та пневматичними пристроями. Навчальна система Amatrol Computer Control зображена на рисунку 1.3.

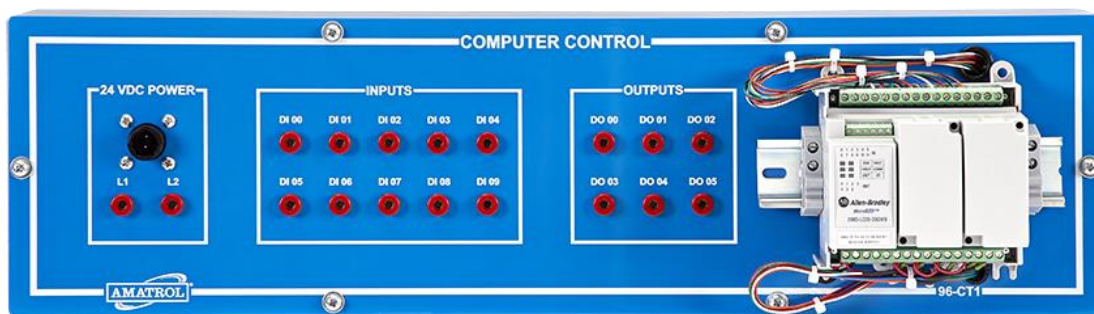


Рисунок 1.3 – Навчальна система Amatrol Computer Control

Портативна система навчання з пошуку несправностей програмованих логічних контролерів Amatrol – Siemens S7-1200 (990-PS712F) навчає програмуванню, експлуатації та застосуванню програмованих логічних контролерів, які використовуються в промисловості та зображена на рисунку 1.4 [28].

Система використовує FaultPro – провідну в галузі комп'ютерну систему внесення несправностей. FaultPro дозволяє розвивати ключові навички пошуку та усунення несправностей програмованих логічних контролерів:

- тестування входів і виходів програмованих логічних контролерів;
- тестування програмного забезпечення;
- пошук несправностей у прикладних програмах.

Портативна система навчання Siemens має реальні компоненти, такі як потужний ПЛК Siemens S7-1200 та панель людино-машинного інтерфейсу Siemens.



Рисунок 1.4 – Портативна система навчання з пошуку несправностей програмованих логічних контролерів Amatrol – Siemens S7-1200 (990-PS712F)

У поєднанні з поглибленою навчальною програмою Amatrol студенти здобудуть як теоретичні, так і практичні знання, вивчаючи актуальні для галузі застосування та навички пошуку несправностей, що створить міцний фундамент для успішної кар'єри в різних галузях промисловості.

Навчальна система DLPLC Tank є одним із видів об'єктів для інженерного навчання програмованих логічних контролерів. Керування рівнем рідини у подвійному резервуарі – це об'єкт керування, розроблений для моделювання системи керування положенням [29].

Це типова система керування першого порядку. Оскільки система проста, керована та не має потенційних небезпек при управлінні, вона стала найтипівішим навчальним обладнанням для вивчення основ інженерного керування.

Це одна з ідеальних платформ для професійного навчання програмованих логічних контролерів у закладах вищої освіти. Система інтегрує програмований логічний контролер, датчик рівня рідини, електромагнітний клапан та інші компоненти в єдину навчальну систему, яка зображена на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Навчальна система DLPLC Tank

Шляхом збору сигналів датчиків та програмування програмованого логічного контролера навчальна система DLPLC Tank виконує складне перемикання та послідовне логічне керування електромагнітним клапаном і водяним насосом для реалізації перемикання рівня рідини та автоматичного керування за замкненим циклом.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Класифікація лабораторних стендів для вивчення програмованих логічних контролерів

Лабораторні стенди для вивчення програмованих логічних контролерів можна класифікувати за кількома ключовими критеріями [30]:

- мобільністю;
- функціональним призначенням;
- типом об'єкта керування.

За мобільністю стенди поділяються на стаціонарні, а саме фіксовані промислові лави та портативні, а саме кейсові системи, такі як Amatrol 990-PS712F.

За функціональним призначенням вони поділяються на тренажери для програмування загального призначення та спеціалізовані системи пошуку несправностей. Залежно від об'єкта керування, стенди можуть моделювати дискретні процеси, а саме конвеєрні лінії, сортування або безперервні процеси, а саме контроль рівня рідини, теплові процеси.

Крім того, сучасне навчальне обладнання розрізняють за ступенем відкритості: від пропрієтарних закритих систем великих постачальників до модульних платформ із відкритим кодом, які дозволяють глибоку апаратну кастомізацію.

Оскільки програмовані логічні контролери є частиною автоматизованої системи, існує кілька модулів, які мають бути включені або бути обов'язковою умовою в будь-якому курсі. Цими модулями є програмна інженерія, проектування електричних систем і, в деяких випадках, механічне проектування.

Програмна інженерія включає застосування підходу життєвого циклу розробки програмного забезпечення до системи, яка розробляється, та здатність написати програму керування.

Електротехнічне проектування охоплює проектування електричних

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

панелей та їх конструювання відповідно до відповідного стандарту. Програмовані логічні контролери викладаються як «автономний» курс та є невід'ємною частиною курсів, починаючи від сільськогосподарського машинобудування до мехатроніки та промислової автоматизації.

Курси програмованих логічних контролерів, як і всі курси з інженерії керування, повинні забезпечувати «баланс практичних навичок і теоретичних знань» і, як такі, базуються на лабораторних заняттях.

Дедалі частіше, у відповідь на запити промисловості, курси програмованих логічних контролерів проводяться всередині підприємств, у навчальних залах, поза традиційними автоматизованими лабораторіями, з використанням дротових «наборів» та симуляторів на базі ПК.

Цілями запропонованих лабораторних стендів для вивчення програмованих логічних контролерів є те, що вони повинні підтримувати такі суміжні дисципліни, як програмна інженерія, комп'ютерне програмування та монтаж електричних панелей.

Хоча базова лабораторні стенди для вивчення програмованих логічних контролерів повинні підтримувати цифрові входи/виходи, вони мають бути розширювані для підтримки обробки аналогових сигналів та неперіоритетних відкритих мереж.

Лабораторний стенд для вивчення програмованих логічних контролерів повинен мати компоненти від багатьох виробників та не повинен розглядатися як таким, що надає перевагу конкретному бренду.

Основні вимоги до лабораторних стендів для вивчення програмованих логічних контролерів:

- бути безпечними;
- бути портативними;
- зручно розміщуватися на столі;
- містити програмовані логічні контролери промислового стандарту;
- мати інтерфейси для підключення до ПК;

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- підтримувати мову сходової логіки та принаймні дві інші мови, визначені стандартом ІЕС 61131;
- взаємодіяти зі звичайними промисловими електричними компонентами;
- мати низьку вартість, оскільки тривале транспортування, призведе до необхідності частої заміни компонентів;
- бути розширюваними для полегшення обробки аналогових сигналів;
- бути розширюваними для підтримки мережі Ethernet.

Лабораторний стенд для вивчення програмованих логічних контролерів зазвичай складається з програмованого логічного контролера, який містить блоки перемикачів для імітації вхідних пристроїв та ламп для імітації вихідних пристроїв.

Вони не спрощують інтерфейс підключення промислових електричних компонентів до програмованих логічних контролерів. Вони корисні лише для навчання програмуванню, для досвідчених програмістів, а саме для вивчення нових методів програмування та для тестування програмного забезпечення за методом «чорної скриньки».

Однак вони не забезпечують студентам початкового рівня програмування досвіду вибору та підключення реальних компонентів до програмованих логічних контролерів та створення списку входів/виходів для документування цих з'єднань. Список входів/виходів є життєво важливою частиною документації, необхідної для ефективного проектування та обслуговування програм.

Симулятори можна розділити на дві категорії. До першої належать симулятори на базі ПК, які використовують реальні програмовані логічні контролери.

Такі симулятори зазвичай мають набір промислових процесів «віртуальних машин», таких як системи «взяти-покласти» та системи керування рівнем у резервуарі. Програміст вибирає «віртуальну машину» з меню, пише програму для керування нею та завантажує її в програмований логічний

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		19

контролер.

Симулятор на базі ПК послідовно взаємодіє з програмованим логічним контролером, моделюючи роботу «віртуальної машини». У другому типі як програмований логічний контролер, так і машина або процес є «віртуальними», тобто фізичного програмований логічний контролер не існує.

Знову ж таки, як і в попередній системі, програміст вибирає «віртуальну машину» з меню, пише програму керування на «віртуальному програмованому логічному контролері» на базі ПК.

Потім «віртуальна машина» керується «віртуальним» програмованим логічним контролером. Симулятори можуть ефективно використовуватися для інженерного навчання загалом.

Однак для навчання програмованих логічних контролерів, як і у випадку з дротовими наборами, симулятори найкраще використовувати студентам, які вже мають прикладні навички, необхідні для підключення програмованих логічних контролерів до периферійних пристроїв, мають певні навички програмування та хочуть їх розвивати.

Симулятори, так само як і дротові набори, не забезпечують практичного досвіду монтажу програмованих логічних контролерів, його інтерфейсу з периферійними пристроями та створення електричних креслень і списку входів/виходів для документування системи.

На основі аналізу існуючих освітніх рішень можна зробити висновок, що хоча промислові навчальні системи від таких виробників, як Siemens або Amatrol, забезпечують високу якість навчання, їхня висока вартість і закрита архітектура часто обмежують їхню доступність і гнучкість для спеціальних навчальних завдань.

Існує чітка потреба в економічно ефективному модульному лабораторному стенді, який поєднує в собі промислову надійність із відкритим дизайном, що дозволяє легко розширювати та інтегрувати різні периферійні пристрої.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розробка спеціалізованого лабораторного стенда для вивчення програмованих логічних контролерів, який дозволить студентам опанувати конфігурацію апаратного забезпечення, логічне програмування та пошук несправностей у безпечному, контрольованому середовищі, долаючи розрив між теоретичними моделями та реальними промисловими застосуваннями.

1.4 Висновки до першого розділу

Систематичний огляд сучасних освітніх методик для інженерів з автоматизації підтверджує, що ефективність навчання залежить від синергії між програмуванням програмованих логічних контролерів та сполученням апаратного забезпечення.

Було встановлено, що більшість навчальних закладів стоять перед вибором між дороговартісними пропрієтарними промисловими стендами Siemens, Amatrol та дешевими, але обмеженими програмними симуляторами.

Хоча промислові стенди пропонують реалізм, їхня природа «чорної скриньки» часто заважає студентам виконувати глибоку електричну інтеграцію. Навпаки, віртуальні симулятори не забезпечують сенсорного та практичного досвіду реального монтажу та створення списків входів/виходів, які є критично важливими для промислових стандартів документації.

Таким чином, обґрунтовано потребу в модульній навчальній платформі, яка пропонує:

- прозорість електричних з'єднань;
- сумісність компонентів від різних виробників;
- підтримку повного набору мов стандарту IEC 61131-3;
- портативність для гнучкого використання в аудиторіях.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка структурної схеми лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів

Лабораторний стенд для вивчення програмованих логічних контролерів розміщений у спеціалізованій лабораторії технічних засобів автоматизації компанії АВВ в аудиторі 4-319 і зображений на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Лабораторний стенд для вивчення програмованих логічних контролерів

Лабораторний стенд для вивчення програмованих логічних контролерів складається із інтелектуального реле Zelio Logic SR2 A201FU компанії Schneider Electric, яке керує частотний перетворювач ACS150 компанії АВВ. Частотний перетворювач ACS150 компанії АВВ керує частотою обертання

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

асинхронним двигуном M2AA112MB2 компанії АВВ.

Трифазна напруга живлення подається на лабораторний стенд для вивчення програмованих логічних контролерів за допомогою трифазного автоматичного вимикача серії ВА47-29 виробництва компанії ІЕК, який зображено на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Трифазний автоматичний вимикач серії ВА47-29 виробництва компанії ІЕК

Автоматичний вимикач серії ВА47-29 виробництва компанії ІЕК – це сучасний комутаційний апарат, призначений для захисту електричних мереж від струмів короткого замикання та перевантажень.

Пристрій призначений для розриву трьох фаз одночасно, що є критично важливим для живлення трифазного обладнання перетворювача частоти АВВ АСS150 та асинхронного двигуна M2AA112MB2.

Максимальний робочий струм, який вимикач може проводити тривалий час без спрацювання складає 16 А. Для лабораторного стенда це оптимальне значення, яке забезпечує захист двигунів невеликої потужності.

Характеристика «С»: вказує на те, що електромагнітний розчеплювач спрацює при струмі, який у 5-10 разів перевищує номінальний. Це стандарт для промислового обладнання, яке дозволяє витримувати пускові струми електродвигунів.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальний струм короткого замикання, який автомат здатний розірвати, залишившись працездатним, дорівнює 4,5 кА.

Автоматичний вимикач серії ВА47-29 виробництва компанії ІЕК оснащений двома типами захисту:

- тепловий розчеплювач (біметалева пластина), який захищає від тривалих перевантажень;
- електромагнітний розчеплювач, який миттєво спрацьовує при виникненні короткого замикання.

Пристрій встановлюється на стандартну DIN-рейку 35 мм, що робить його сумісним із більшістю сучасних електротехнічних шаф та лабораторних щитів. Наявність індикатора стану контактів увімкнено/вимкнено підвищує безпеку експлуатації стенда.

Автоматичний вимикач серії ВА47-29 виробництва компанії ІЕК виконує функцію головного вимикача. Він захищає:

- силову частину перетворювача частоти АВВ від внутрішніх пошкоджень;
- кабельні лінії від загоряння при випадковому короткому замиканні під час монтажних робіт студентами;
- гарантує безпечне зняття напруги з усієї системи для проведення перепідключень.

Частотний перетворювач АВВ серії ACS150 – це компонентний привід змінного струму, призначений для керування швидкістю обертання асинхронних двигунів у широкому спектрі промислових застосувань.

У структурі лабораторного стенда він виконує роль інтелектуального силового перетворювача, який регулює частоту та напругу живлення двигуна відповідно до команд від контролера Zelio Logic.

Основні технічні характеристики частотного перетворювача АВВ серії ACS150:

- діапазон потужностей від 0,37 до 4 кВт;

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- тип керування – скалярне (U/f), яке забезпечує стабільне співвідношення напруги та частоти;
- ступінь захисту корпусу IP20, а саме стандарт для монтажу в електротехнічних шафах;
- перевантажувальна здатність до 150% від номінального струму протягом 1 хвилини.

Частотний перетворювач ABB серії ACS150 зображений на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Частотний перетворювач ABB серії ACS150

Пристрій оснащений РК-дисплеєм та клавіатурою, яке дозволяє студентам проводити швидку параметризацію, а саме налаштування часу розгону/гальмування, обмеження струму та частоти без використання додаткового програмного забезпечення.

На передній панелі розміщено поворотний регулятор частоти, який дозволяє оперативно змінювати швидкість двигуна в ручному режимі.

Гальмівний переривач входить у базову комплектацію, що дозволяє реалізовувати режими динамічного гальмування, необхідні для швидкої зупинки інерційних навантажень.

Частотний перетворювач ABB серії ACS150 має вбудований протокол Modbus RTU, який дає можливість у майбутньому розширити лабораторний

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

стенд, інтегрувавши ПЧ у цифрову промислову мережу.

Частотний перетворювач АВВ серії ACS150 приймає дискретні сигнали керування, а саме Пуск/Стоп, Реверс від інтелектуального реле Zelio Logic та перетворює їх у трифазну систему напруг зі змінною частотою.

Частотний перетворювач АВВ серії ACS150 забезпечує комплексний захист асинхронного двигуна від перевантаження по струму, перегріву, обриву фаз та короткого замикання на виході.

Завдяки точному регулюванню швидкості, використання даного привода дозволяє оптимізувати споживання електроенергії, що є важливою темою для вивчення в курсах автоматизації.

Завдяки своїй надійності та простоті налаштування, АВВ ACS150 є ідеальним інструментом для навчання студентів основам частотного електропривода. Він дозволяє наочно продемонструвати залежність швидкості обертання від частоти живлення та відпрацювати навички налаштування сучасних промислових перетворювачів.

Трифазний асинхронний електродвигун серії M2AA виробництва компанії АВВ є високоефективною машиною з короткозамкненим ротором і зображений на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Асинхронний електродвигун серії M2AA виробництва компанії АВВ

У складі лабораторного стенда асинхронний електродвигун серії M2AA

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробництва компанії АВВ слугує реальним фізичним об'єктом керування, на якому студенти можуть спостерігати результати роботи алгоритмів, закладених у ПЛК, та налаштувань частотного перетворювача.

Основні технічні характеристики:

- тип двигуна – асинхронний, трифазний;
- висота осі обертання 112 мм у відповідності до маркування 112MB2;
- матеріал корпусу – алюмінієвий сплав серія M2AA, який забезпечує низьку вагу та ефективно відведення тепла;
- кількість полюсів 2, що відповідає синхронній швидкості обертання 3000 об/хв при частоті 50 Гц;
- клас ізоляції F з допустимим нагрівом до 155 °C;
- ступінь захисту IP55, а саме захист від пилу та водяних струменів.

Клемна коробка двигуна дозволяє реалізувати схеми підключення «зірка» (Y) або «трикутник» (Δ) залежно від вихідної напруги перетворювача частоти ACS150.

Двигуни АВВ цієї серії розроблені для мінімізації втрат енергії, що відповідає сучасним стандартам екологічності та економічності. Низький рівень шуму та вібрації: Якісне балансування ротора забезпечує стабільну роботу на різних частотах, що важливо під час проведення лабораторних занять.

Двигун отримує живлення від частотного перетворювача. Змінюючи частоту на виході ПЧ, студенти керують швидкістю обертання вала двигуна. На базі цього двигуна можна імітувати роботу вентилятора, насоса або стрічки конвеєра, налаштовуючи відповідні криві розгону та гальмування в параметрах ACS150.

Використання промислового двигуна серії M2AA компанії АВВ дозволяє наблизити лабораторні умови до реальних виробничих ситуацій. Це дає студентам змогу зрозуміти електромеханічні процеси, що відбуваються в приводі при використанні сучасних методів частотного керування.

Zelio Logic SR2 A201FU – це компактний програмований логічний

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контролер (інтелектуальне реле), призначений для реалізації невеликих систем автоматизації. У вашому стенді він виконує роль центрального пристрою керування:

- збирає сигнали від кнопок;
- обробляє алгоритм;
- видає команди на частотний перетворювач ABB ACS150.

Компактний програмований логічний контролер Zelio Logic SR2 A201FU зображений на рисунку 2.5.

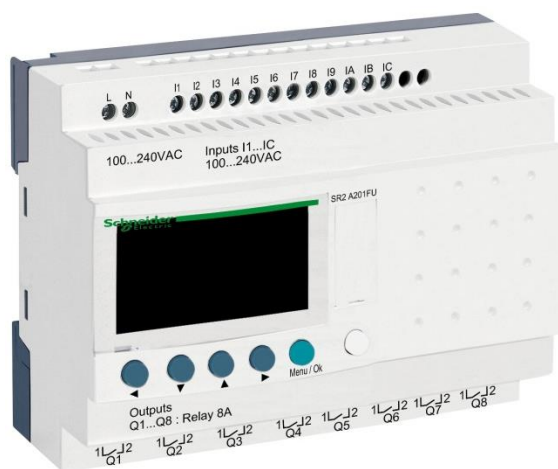


Рисунок 2.5 – Компактний програмований логічний контролер Zelio Logic SR2 A201FU

Основні технічні характеристики Zelio Logic SR2 A201FU:

- напруга живлення від 100 В до 240 В змінного струму;
- 12 дискретних входів та 8 релейних виходів;
- релейні виходи допускають комутацію як змінного, так і постійного струму;
- вбудований РК-дисплей з підсвічуванням для моніторингу та програмування;
- годинник реального часу, який дозволяє виконувати завдання за розкладом.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Компактний програмований логічний контролер Zelio Logic SR2 A201FU підтримує два способи програмування:

– через ПК за допомогою безкоштовного ПЗ Zelio Soft 2 мовами Ladder або FBD;

– клавіатурою пристрою, а саме можливість внесення невеликих змін у програму безпосередньо на стенді.

Велика кількість входів дозволяє підключити не лише кнопки пуску, а й датчики положення, захисні контакти та зворотний зв'язок від ПЧ. Програма зберігається у пристрої навіть при повному зникненні напруги живлення, що важливо для навчального обладнання.

Компактний програмований логічний контролер (інтелектуальне реле) Zelio Logic SR2 A201FU зчитує стан кнопок керування на панелі стенда. У відповідності до програми активує відповідні виходи. Релейні виходи Zelio Logic підключені до цифрових входів ABB ACS150. Це дозволяє контролеру подавати команди "Пуск", "Зупинка", "Реверс" або обирати фіксовані швидкості.

За допомогою вбудованого екрана або підключених світлосигнальних ламп контролер інформує студента про поточний стан системи, а саме робота, аварія, готовність. Zelio Logic є ідеальним перехідним етапом від класичних релейно-контактних схем до складних ПЛК.

Структурна схема лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів зображена на рисунку 2.6. Структурна схема відображає архітектуру побудови стенда, де чітко розмежовані силові кола, а саме трифазні лінії живлення та інформаційно-керуючі зв'язки у вигляді слабкострумів ліній дискретних сигналів.

Завдяки такій структурі лабораторний стенд забезпечує повний спектр захистів, а саме від механічних аварій до електричних пошкоджень у вигляді короткого замикання в обмотках, гарантуючи безпеку студентів та довговічність навчального обладнання.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

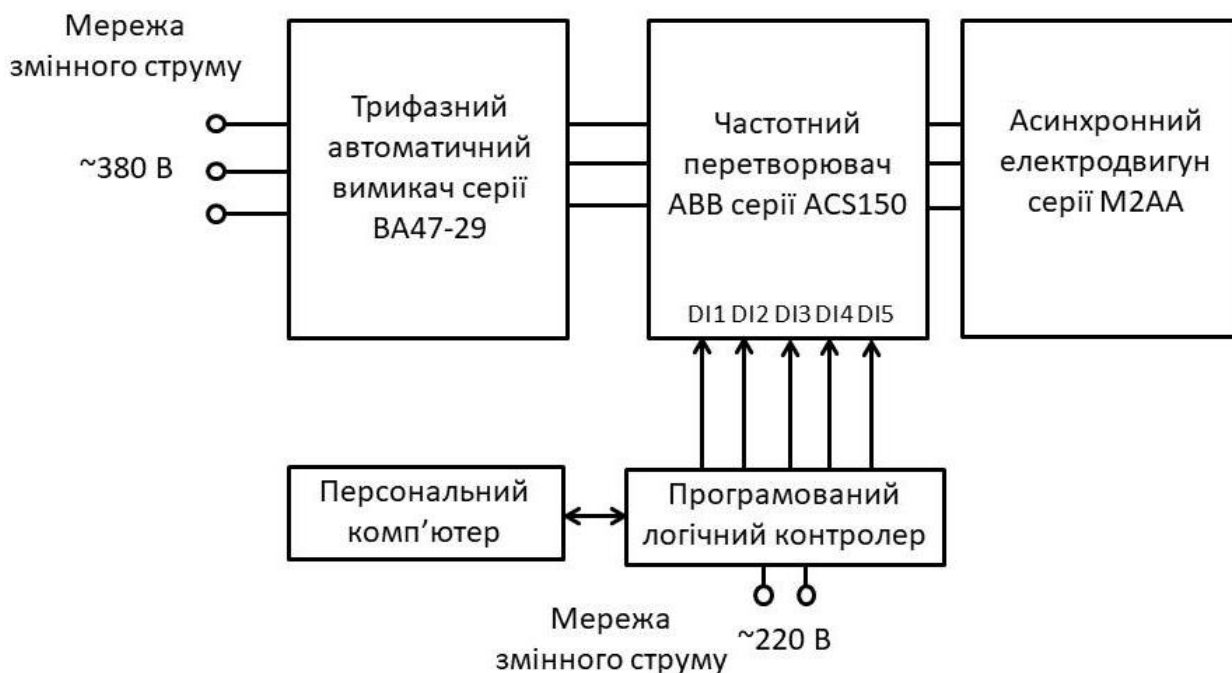


Рисунок 2.6 – Структурна схема лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів

2.2 Розробка схеми електричної принципової лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів

Схема електрична принципова є ключовим документом, який визначає логіку взаємодії інтелектуального реле та силового перетворювача. Особливістю розробленої схеми електричної принципової є максимальне використання вбудованих можливостей апаратного забезпечення.

Максимальне використання вбудованих можливостей апаратного забезпечення дозволяє спростити конструкцію стенду та зосередити увагу на програмній реалізації алгоритмів. Схема електрична принципова лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів зображена на рисунку 2.7.

Схема електрична принципова лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів розроблена в середовищі Eplan P8.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

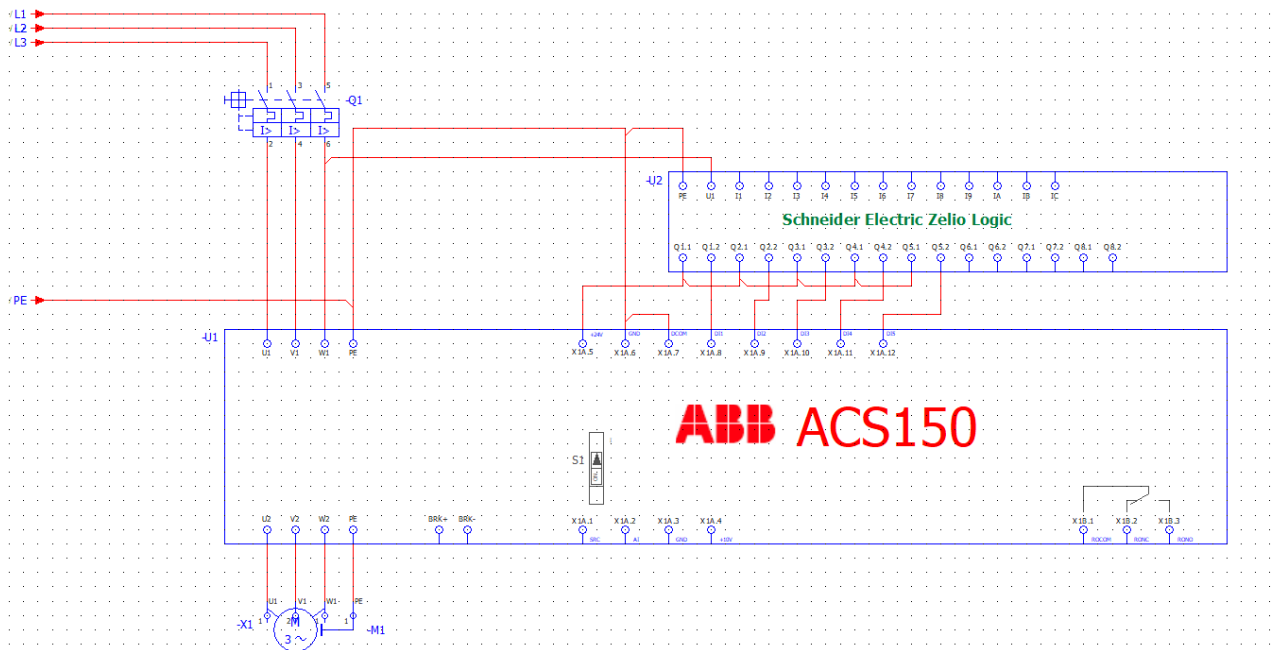


Рисунок 2.7 – Схема електрична принципова лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів

Схема електрична принципова лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів відображає повний перелік електричних зв'язків між інтелектуальним реле, частотним перетворювачем та виконавчим двигуном. Схема електрична принципова лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів забезпечує реалізацію складного циклічного алгоритму керування з використанням п'яти цифрових входів перетворювача частоти.

Трифазна напруга ~ 380 В подається через клемний рядок X1 на автоматичний вимикач QF1 серії ВА47-29. Автоматичний вимикач QF1 серії ВА47-29 має характеристику «С», і захищає силові кола від коротких замикань та перевантажень, що важливо при пускових струмах двигуна.

Контролер Zelio Logic підключений до однофазної мережі ~ 220 В за допомогою клем L та N, а це дозволяє логічній частині працювати незалежно від стану силового виходу перетворювача частоти та при аварійних відключеннях силової частини.

Керування частотним перетворювачем ABB ACS150 здійснюється за

									Арк.
									31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>				

допомогою релейних виходів контролера Q1 – Q5, які комутують допоміжну напругу +24 В на відповідні цифрові входи перетворювача частоти.

Вихідні реле контролера Q1 – Q5 виконують роль проміжних ланок, які передають команди на цифрові входи перетворювача частоти. Схема підключення реалізована за принципом спільного виводу COM, з'єднаного із внутрішнім джерелом +24 В.

Коло DI1 з'єднане із виходом Q1 програмованого логічного контролера Zelio Logic SR2 A201FU і реалізує функцію «Пуск/Стоп» у режимі ручного керування.

Для реалізації функцій керування «Пуск» та «Стоп» використано вбудовані клавіші передньої панелі програмованого логічного контролера Zelio Logic SR2 A201FU Z1 та Z2.

Використання вбудованих клавіш передньої панелі Z1 та Z2 програмованого логічного контролера Zelio Logic SR2 A201FU дозволяє уникнути монтажу зовнішньої кнопкової станції та підвищує надійність системи за рахунок зменшення кількості фізичних дротів у колах керування.

Таке рішення дозволяє студентам вивчати обробку внутрішніх маркерів контролера без необхідності зовнішнього монтажу додаткових кнопок на панелі стенду. Це також демонструє можливості використання людино-машинного інтерфейсу початкового рівня, вбудованого в програмований логічний контролер Zelio Logic SR2 A201FU.

Клавіша передньої панелі програмованого логічного контролера Zelio Logic SR2 A201FU Z1 програмно призначена для подання команди «Старт». Клавіша передньої панелі програмованого логічного контролера Zelio Logic SR2 A201FU Z2 програмно призначена для подання команди «Стоп».

Коло DI2 з'єднане із виходом Q2 програмованого логічного контролера Zelio Logic SR2 A201FU і використовується для перемикання між ручним режимом та режимом ПІД-регулювання.

Кола DI3 та DI4 з'єднані із виходами Q3 та Q4 програмованого логічного

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контролера Zelio Logic SR2 A201FU і створюють комбінацію для вибору фіксованих швидкостей. Відповідно до логіки програми використовуються три фіксовані швидкості обертання двигуна M2AA11, які визначаються наступними комбінаціями станів DI3 та DI4:

– стан DI3=1 та DI4=0 активує швидкість 1, яка визначається параметром 1202 частотного перетворювача ABB серії ACS150;

– стан DI3=0 та DI4=1 активує швидкість 2, яка визначається параметром 1203 частотного перетворювача ABB серії ACS150;

– стан DI3=1 та DI4=1 активує швидкість 3, яка визначається параметром 1204 частотного перетворювача ABB серії ACS150.

В нашій програмі задані три фіксовані частоти обертання двигуна M2AA11 відповідно перша частота 5 Гц, друга частота 10 Гц та третя частота 15 Гц. Для налаштування привода необхідно використовувати інтегровану панель керування частотного перетворювача ABB серії ACS150.

Потрібно переконатися, що на дисплеї відображається режим OUTPUT, який визначає вихідні параметри перед початком роботи. Далі потрібно натиснути кнопку MENU або кнопку зі стрілкою вправо, поки на дисплеї не з'явиться напис PAr.

Далі потрібно натиснути кнопку ENTER, яка знаходиться по центру, щоб увійти до списку груп параметрів. За допомогою кнопок UP/DOWN вгору/вниз знаходимо групу 12, яка відповідає режиму CONSTANT SPEEDS. Натискаємо кнопку ENTER і знаходимо параметр 1201.

Натискаємо та утримуємо кнопку ENTER близько 2 секунд, поки значення не почне блимати. Кнопками вгору/вниз встановіть значення 9, яке відповідає вибору через входи DI3 та DI4. Натискаємо ENTER для збереження.

Далі потрібно ввести значення частот, які будуть активуватися програмою програмованого логічного контролера Zelio Logic SR2 A201FU. Переходимо до параметра 1202 та натискаємо та утримуємо кнопку ENTER. За допомогою стрілок встановимо значення 5,0 і натискаємо ENTER для

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

збереження.

Далі потрібно ввести значення параметра 1203. Переходимо до параметра 1203 та натискаємо та утримуємо кнопку ENTER. За допомогою стрілок встановимо значення 10,0 і натискаємо ENTER для збереження.

Далі потрібно ввести значення параметра 1204. Переходимо до параметра 1204 та натискаємо та утримуємо кнопку ENTER. За допомогою стрілок встановимо значення 15,0 і натискаємо ENTER для збереження.

Для того, щоб перехід між частотами 5 Гц, 10 Гц та 15 Гц відбувався плавно у відповідності до алгоритму роботи, необхідно задати параметри прискорення та гальмування:

- параметр 2202 визначає час розгону, встановимо 3,0 с;
- параметр 2203 визначає час гальмування, встановимо 5,0 с.

Далі потрібно натиснути кнопку EXIT або стрілку вліво, доки не повернемося до головного екрана, де відображається частота 0,0 Гц.

Переконаємося, що на екрані зліва внизу написано REM, що означає режим дистанційного керування. Якщо написано LOC, натисніть кнопку LOC/REM, щоб передати керування програмованому логічному контролеру Zelio Logic SR2 A201FU. При активації будь-якої з цих фіксованих швидкостей двигуна M2AA11, вбудований потенціометр на корпусі частотного перетворювача ABB серії ACS150 блокується.

Трифазний вихід частотного перетворювача ABB серії ACS150 підключений до обмоток двигуна M2AA112MB2. У принциповій схемі відображено використання екранованого кабелю для з'єднання частотного перетворювача ABB серії ACS150 та двигуна, що є обов'язковою вимогою для запобігання впливу високочастотних завад на цифрові входи програмованого логічного контролера Zelio Logic SR2 A201FU.

Розроблена принципова електрична схема дозволяє студентам наочно простежити логічний ланцюжок від натискання вбудованої клавіші Z1/Z2 на програмованому логічному контролеру Zelio Logic SR2 A201FU, через

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

програмну обробку алгоритму в середовищі Zelio Soft 2, до фізичної активації релейного виходу та подальшого запуску електропривода через входи DI1–DI5. Це забезпечує комплексне розуміння взаємозв'язку між ПЗ та апаратним забезпеченням промислової автоматики.

Коло DI5 з'єднане із виходом Q5 програмованого логічного контролера Zelio Logic SR2 A201FU і використовується забезпечує окрему команду пуску для режиму ПД-керування.

У сучасних системах електропривода керування може бути розділене на два основні режими:

- пряме ручне, коли швидкість обертання двигуна M2AA11 задається оператором;
- автоматичне ПД-регулювання, коли швидкість обертання двигуна M2AA11 підтримується системою для досягнення певного технологічного параметра.

Вихід Q5 програмованого логічного контролера Zelio Logic SR2 A201FU є релейним контактом, який отримав назву «сухий контакт». Один контакт реле Q5 підключений до джерела допоміжної напруги +24 В постійного струму, яке знаходиться всередині перетворювача частоти АВВ серії ACS150.

Другий контакт підключений безпосередньо до клеми DI5 Digital Input 5 перетворювача АВВ ACS150. При замиканні контакту Q5 на вхід DI5 надходить сигнал логічної «1».

У відповідності до логіки макросу керування перетворювача частоти АВВ серії ACS150, вхід DI5 зарезервованій виключно для активації привода в режимі ПД-регулятора. Ця команда пуску працює окремо від входу DI1, який відповідає за звичайний пуск.

Коли програмований логічний контролер Zelio Logic SR2 A201FU активує вихід Q5, перетворювача частоти АВВ серії ACS150 не просто починає обертати двигун, він активує внутрішній алгоритм ПД-регулювання. Привід починає автоматично змінювати частоту, орієнтуючись на сигнал зворотного

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

зв'язку від датчика, щоб підтримувати задану уставку.

ПІД-регулятор працює за принципом замкненого контуру. Він порівнює два сигнали:

- уставка Setpoint визначає бажане значення параметра;
- зворотний зв'язок Feedback визначає реальне значення параметра, яке надходить від датчика через аналоговий вхід AI.

Привід розраховує помилку, а саме різницю між уставкою та фактом і змінює частоту обертання двигуна так, щоб звести цю помилку до нуля.

Для коректної роботи макросу ПІД-регулювання в перетворювачі частоти ABB серії ACS150 необхідно налаштувати групу параметрів 40 PROCESS PID SET 1:

- параметр 4001 GAIN визначає пропорційний коефіцієнт ПІД-регулювання.
- параметр 4002 INTEGRATION TIME визначає час інтегрування;
- параметр 4003 DERIVATION TIME визначає час диференціювання;
- параметр 4010 SET POINT SEL визначає вибір джерела уставки.

Це внутрішній параметр перетворювача частоти ABB серії ACS150, і визначається або вбудованим потенціометром або зовнішнім сигналом.

Пропорційний коефіцієнт ПІД-регулювання визначає, наскільки сильно привід реагує на помилку. Якщо значення завелике, то система почне «розгойдуватися» і буде нестабільною.

Час інтегрування допомагає усунути залишкову похибку регулювання, а час диференціювання реагує на швидкість зміни помилки і використовується в дуже динамічних системах.

Переваги ПІД-макросу є енергоефективність, тому що двигун споживає рівно стільки енергії, скільки потрібно для підтримки параметра. Іншою перевагою є автоматизація керування, а саме відсутність потреби в ручному підлаштуванні швидкості при зміні навантаження. Важливою перевагою ПІД-макросу є точність, а саме можливість підтримки параметрів з

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

мінімальною похибкою.

Використання окремого цифрового входу DI5 для пуску в режимі ПІД-регулювання дозволяє реалізувати незалежне керування автоматизованим процесом. Це виключає можливість випадкового запуску двигуна в невірному режимі та забезпечує чітку послідовність виконання технологічних операцій, закладених у програму програмованого логічного контролера Zelio Logic SR2 A201FU.

Вихід Q2 програмованого логічного контролера Zelio Logic SR2 A201FU виконує функцію системного селектора режимів. Його активація переводить перетворювач ACS150 у стан готовності до роботи за алгоритмом ПІД-регулювання, що дозволяє студентам вивчати перехідні процеси при зміні структур керування в реальному часі.

На відміну від простої зміни швидкості, вихід Q2 змінює саму математичну модель керування всередині перетворювача частоти АВВ серії ACS150. Це дозволяє на одному стенді продемонструвати різницю між розімкненою системою керування, а саме ручне завдання частоти обертання двигуна M2AA11 та замкненою системою автоматичного регулювання, а саме ПІД-режим керування.

2.3 Висновки до другого розділу

У другому розділі було проведено повний цикл проектування та розробки апаратно-програмного комплексу лабораторного стенду. На основі виконаної роботи можна зробити наступні висновки.

Обґрунтовано вибір елементної бази, до складу якої увійшли програмований логічний контролер Zelio Logic SR2 A201FU та перетворювач частоти АВВ ACS150. Дане поєднання дозволяє реалізувати як дискретне керування електроприводом, так і складні алгоритми автоматичного регулювання технологічних параметрів.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розроблено принципову електричну схему стенду, яка забезпечує гнучке керування приводом через п'ять цифрових входів DI1 – DI5. Використання внутрішнього джерела живлення перетворювача частоти ABB серії ACS150 +24 В для комутації через релейні виходи програмованого логічного контролера Zelio Logic SR2 A201FU дозволило спростити монтажну схему та підвищити надійність передачі керуючих сигналів.

Реалізовано алгоритм багатошвидкісного керування із використанням двійкового кодування на входах DI3 та DI4 через параметр 1201=9. Це дало змогу програмно задавати три фіксовані частоти 5 Гц, 10 Гц та 15 Гц, які мають пріоритет над ручним завданням швидкості та забезпечують високу точність відтворення робочих циклів.

Інтегровано систему ПІД-регулювання, активація якої здійснюється через виділені канали керування: вхід DI2 для вибору режиму та вхід DI5 для подачі команди пуску в автоматичному режимі. Таке розділення функцій запобігає конфліктам між ручним та автоматичним керуванням і дозволяє студентам досліджувати динамічні характеристики замкнених систем автоматики.

Оптимізовано людино-машинний інтерфейс шляхом використання вбудованих клавiш контролера Z1 пуск та Z2 стоп. Це рішення дозволило відмовитися від зовнішніх органів керування.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						38
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ РОБОТИ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ КОНТРОЛЕРІВ

3.1 Алгоритм роботи лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів

Програмне забезпечення лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів розроблено в середовищі Zelio Soft 2 мовою релейно-контактної логіки Ladder Diagram.

Програма спрямована на демонстрацію можливостей циклічного керування електроприводом, використання внутрішніх ресурсів програмованого логічного контролера Zelio Logic SR2 A201FU, а саме таймерів, лічильників та взаємодії з частотним перетворювачем АВВ серії ACS150 через дискретні канали зв'язку.

Алгоритм функціонування лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів побудований за циклічним принципом і передбачає послідовну зміну режимів роботи асинхронного двигуна. Роботу алгоритму можна розділити на кілька логічних етапів.

Блок-схема представляє собою алгоритм послідовного керування з розгалуженнями, де вибір конкретної дії залежить від поточного стану лічильників циклу та наявності дозволяючих сигналів.

Блок-схема алгоритму керування лабораторним стендом для вивчення програмованих логічних контролерів зображена на рисунку 3.1 та її продовження на рисунку 3.2.

Рисунок 3.1 відображає початкову стадію алгоритму, відповідальну за безпеку та формування часової бази. Рисунок 3.2 є продовженням алгоритму і описує механізм перемикання швидкостей та перехід до автоматичного регулювання

Блок-схема відображає логіку циклічного керування частотним перетворювачем АВВ ACS150 за допомогою восьмиступневих лічильників.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

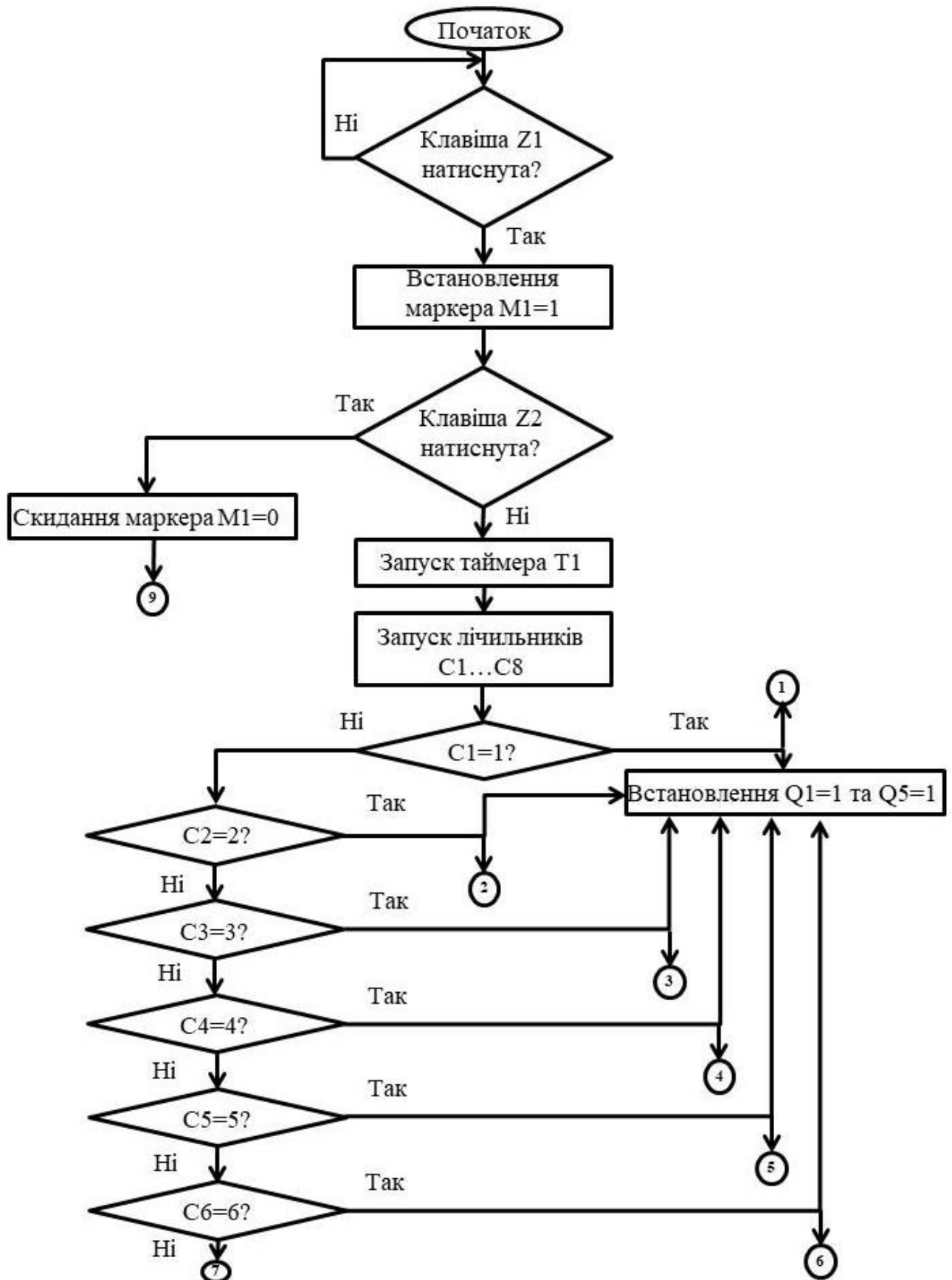


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму керування лабораторним стендом для вивчення програмованих логічних контролерів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

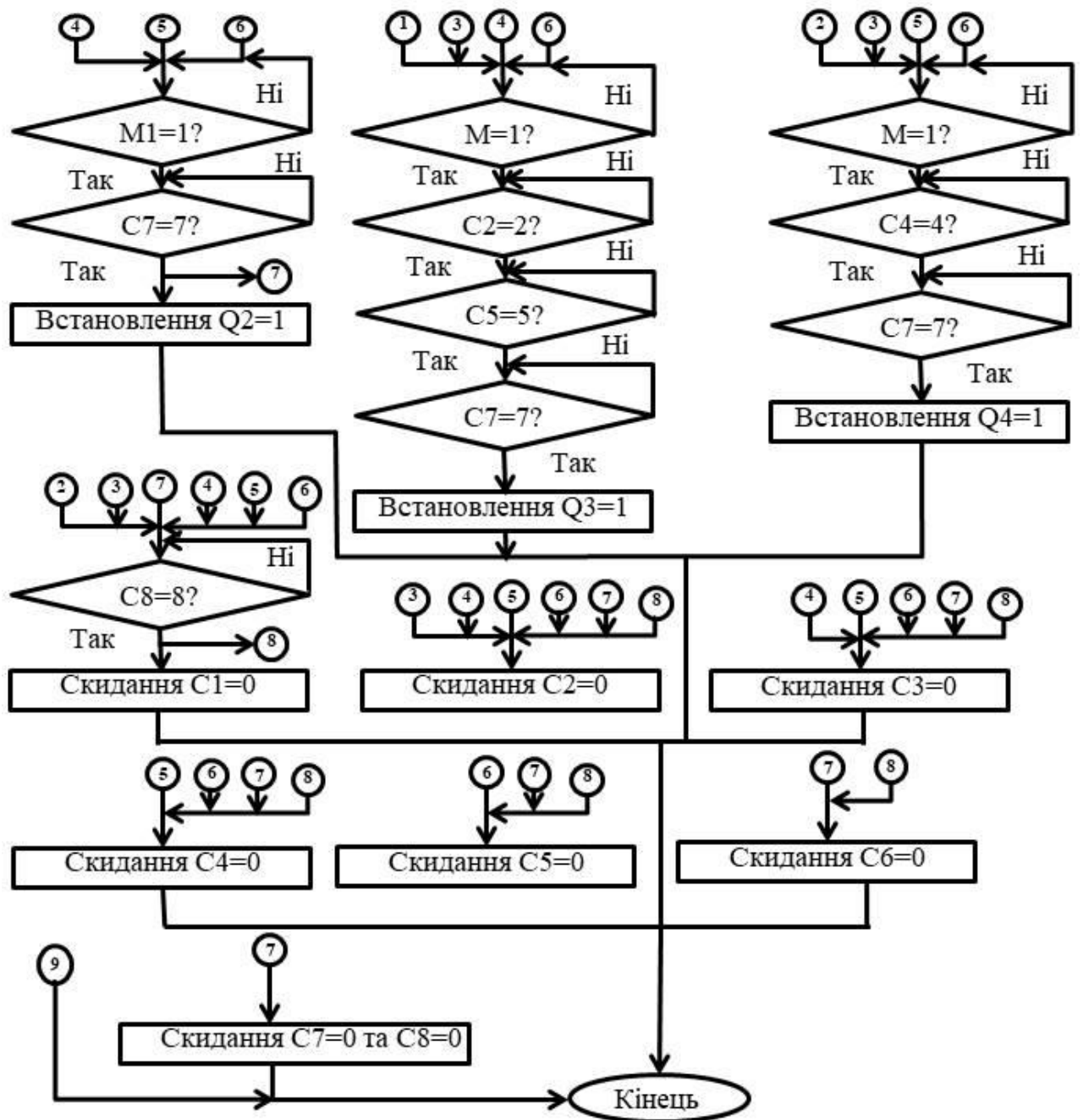


Рисунок 3.2 – Продовження блок-схеми алгоритму керування лабораторним стендом для вивчення програмованих логічних контролерів

Алгоритм реалізований за принципом послідовного перемикавання станів.

На початку алгоритму система перебуває в режимі очікування. Головною умовою запуску є перевірка стану клавіші Z1. При її натисканні встановлюється маркер M1=1, що дозволяє перехід до наступних кроків.

Паралельно працює блок моніторингу клавіші Z2 стоп, який у будь-який

момент може перервати виконання алгоритму та скинути всі параметри в нуль. Після активації системи запускається генератор імпульсів на базі таймера T1. Кожен імпульс таймера ініціює інкремент лічильника. Це «серце» алгоритму, яке визначає тривалість кожної фази роботи двигуна.

Алгоритм починається з циклічного опитування входу Z1. Блок прийняття рішення «Клавіша Z1 натиснута?»: Якщо так, система переходить до встановлення внутрішнього маркера M1=1. Це програмна «засувка», яка дає дозвіл на виконання всієї подальшої логіки.

На кожному кроці передбачено опитування стану Z2. Якщо клавіша Z2 натиснута, маркер M1 негайно скидається в «0», що призводить до обнулення всіх таймерів та лічильників і миттєвої зупинки привода.

Після встановлення M1=1 виконується блок «Запуск таймера T1». Таймер T1 працює як генератор імпульсів, які подаються на входи лічильників C1–C8. Це створює часову базу для крокового виконання програми. Кожен лічильник налаштований на певну кількість імпульсів, що визначає тривалість кожної фази роботи двигуна.

Відповідно до блоку прийняття рішень, якщо хоча б один із лічильників C1, C2, C3, C4, C5 або C6 знаходиться в активному стані, виконується дія «Встановлення Q1=1 та Q5=1».

Це гарантує, що двигун буде обертатися протягом усього робочого циклу (з 1-ї по 6-ту фазу), незалежно від того, який саме режим керування (ручний чи ПД) активовано в даний момент.

Блок-схема показує, що при переході до стану будь-якого з лічильників від C1 до C6 виконується безумовне встановлення виходів Q1=1 та Q5=1. Це забезпечує подачу команди «Пуск» на частотний перетворювач для підтримки обертання двигуна протягом усього технологічного циклу.

Рисунок 3.2 є продовженням алгоритму і описує механізм перемикання швидкостей та перехід до автоматичного регулювання: Алгоритм аналізує поточне значення лічильників. Наприклад, при виконанні умови C2=2, система

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевіряє активність маркера M1 і виконує перемикання цифрових входів ПЧ. Це відповідає зміні швидкості двигуна згідно з двійковим кодом, закладеним у параметри групи 12 перетворювача ACS150.

Це найбільш складна частина алгоритму, де відбувається розгалуження керуючих сигналів. Якщо система перебуває в стані C1=1, а саме перша фаза або C3=1, тоді активується третя фаза, алгоритм активує вихід Q3, що змушує перетворювача ACS150 перейти на першу фіксовану частоту 5 Гц.

Якщо система переходить у стан C2=1, тоді активується друга фаза за умови M1=1, активується вихід Q4 і встановлюється частота 10 Гц. При збігу логічних умов, алгоритм активує комбінацію входів для досягнення швидкості 15 Гц.

При досягненні лічильником значення C4=4, алгоритм ініціює перехід до режиму автоматичного підтримання параметрів. У цьому блоці виконується встановлення виходу Q2=1, що перемикає макрос перетворювача ACS150 з ручного керування на замкнений контур ПД-регулятора. Це ключовий момент, коли привід перемикається з жорстко заданих частот на автоматичне підтримання параметра за ПД-законом.

Кінцева частина схеми аналізує стан лічильника C7. При досягненні значення «7» алгоритм переходить до процедури скидання Reset лічильників C1...C8. Це повертає програму до вихідного стану, забезпечуючи безперервну циклічну роботу стенду до моменту втручання оператора шляхом натискання клавіші Z2.

Це критично важливо для циклічності процесу, тому що після обнулення всіх внутрішніх регістрів алгоритм повертається до початкової точки перевірки клавіші Z1. Якщо маркер M1 все ще активний, цикл починається автоматично з першої фази.

Така структура алгоритму, зображена на блок-схемі, демонструє принцип детермінованого керування. Кожен крок від C1 до C8 має чітко визначену функцію, а саме пуск, вибір швидкості 5 Гц, 10 Гц та 15 Гц, а також перехід на

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПД, що мінімізує ймовірність програмних збоїв та дозволяє студентам наочно простежити за зміною станів системи автоматизації.

Розділення функцій на послідовні кроки за допомогою лічильників дозволяє уникнути конфліктів між режимами фіксованих швидкостей та ПД-регулюванням, забезпечуючи чітку та прогнозовану роботу лабораторного стенду. Використання лічильників дозволяє реалізувати часову затримку між перемиканнями швидкостей, що запобігає ривкам та механічним ударам у приводі двигуна.

3.2 Опис програмного забезпечення Zelio Soft 2

Програмне забезпечення для інтелектуального реле Zelio Logic SR2 A201FU розроблено за допомогою спеціалізованого середовища Zelio Soft 2. Даний інструментарій дозволяє здійснювати повний цикл розробки: від створення графічної логіки до тестування в режимі симуляції та завантаження в пам'ять контролера.

Програмне забезпечення Zelio Soft 2 призначене для роботи з сімейством смарт-реле Schneider Electric. Основні можливості середовища включають:

- вибір між мовами програмування LD та FBD;
- візуалізацію стану входів/виходів та значень параметрів у реальному часі;
- функції завантаження, а саме Download та зчитування Upload прикладних програм;
- автоматичну генерацію документації до проекту.

У даній роботі використовується мова Ladder Diagram (LD) – графічна мова програмування, яка базується на принципах релейно-контактних схем. Вона використовує графічні символи контакти, які є аналогами кнопок чи датчиків, котушки, які є аналогами реле та функціональні блоки, а саме таймери та лічильники.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Програмне забезпечення Zelio Soft 2 є спеціалізованим інструментарієм для розробки, налагодження та супроводу прикладних програм інтелектуальних реле сімейства Zelio Logic. Програма має інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс, що дозволяє реалізовувати алгоритми керування будь-якої складності в межах ресурсів контролера.

При розробці алгоритму на мові релейно-контактної логіки (LD) середовище встановлює чіткі ліміти на обсяг програми, які залежать від апаратної конфігурації:

- 120 рядків логіки, якщо у конфігурації стенду вибрано комутаційний інтерфейс SR2COM01, а саме для передачі даних через модем або мережу.

- 240 рядків логіки, якщо реле застосовується у стандартній конфігурації без використання інтерфейсу зв'язку.

Для даного лабораторного стенду обсягу у 240 рядків цілком достатньо для реалізації восьмиступеневого циклу керування та ПІД-регулювання.

Окрім мови LD, Zelio Soft 2 підтримує режим FBD, а саме Function Block Diagram. Це графічна мова, що базується на використанні зумовлених функціональних блоків, а саме таймери, лічильники, логічні гейти AND/OR, блоки порівняння тощо. Режим FBD є більш гнучким для складних обчислювальних операцій, проте для задач логічного перемикання швидкостей двигуна мова LD є більш наочною.

Середовище Zelio Soft 2 пропонує два основні режими взаємодії з проектом:

- режим розробки, а саме Entry mode;
- режим налагодження, а саме Debug mode.

Режим розробки використовується безпосередньо для побудови схеми, розстановки контактів, котушок та налаштування параметрів функціональних блоків. Це етап створення архітектури майбутнього алгоритму.

Режим налагодження є критично важливим для перевірки правильності алгоритму перед запуском реального двигуна. Він поділяється на:

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– симуляцію Simulation, коли програма виконується автономно на комп'ютері offline;

– моніторинг Monitoring, коли програма виконується на реальному смарт-реле, яке підключене до ПК.

В режимі симуляції користувач може імітувати спрацювання кнопок входів та спостерігати за реакцією виходів і таймерів без підключення до реального контролера.

В режимі моніторингу усі вікна програми оновлюються циклічно, відображаючи реальний стан обладнання на стенді. В обох режимах налагодження Simulation та Monitoring середовище дозволяє динамічно відображати стан через вікна редагування, супервізії Supervision або віртуальну передню панель Front Panel, де можна бачити поточні стани виходів Q1–Q5 та значення лічильників.

Примусове керування Forcing використовується, коли розробник може програмно «заставити» вхід або вихід змінити стан на протилежний. Це дозволяє протестувати поведінку програми у специфічних або аварійних умовах, не чекаючи природного спрацювання датчиків чи таймерів.

Процес розробки у середовищі Zelio Soft 2 починається з етапу конфігурування, який є критично важливим, оскільки він визначає параметри робочого середовища та доступний функціонал.

Функціональні можливості, що будуть доступні розробнику під час створення алгоритму, безпосередньо залежать від двох факторів:

– апаратна конфігурація, коли обрана модель інтелектуального реле, а саме серія Compact або Modular;

– наявність модулів розширення;

– тип мови програмування, коли здійснюється вибір між LD або FBD.

Ці налаштування визначають контекст меню програми та склад вікон інструментів. Наприклад, вибір мови LD активує сітку для релейних схем, тоді як FBD відкриває бібліотеку логічних блоків.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для зміни параметрів поточного проекту або створення нового використовується пункт меню Module Selection/Programming, а саме Вибір модуля/Програмування. Процес конфігурування в діалоговому вікні розділений на три послідовні етапи:

- вибір базового типу інтелектуального реле;
- додавання модулів розширення дискретних або аналогових входів/виходів;
- вибір типу програмування, а саме LD або FBD.

Для нашого стенду обирається модель серії SR2, яка відповідає встановленому контролеру A201FU. Якщо стенд використовує лише базовий блок, етап додавання модулів розширення дискретних або аналогових входів/виходів залишається без змін. Вибір типу програмування, а саме LD або FBD є можливим лише для модулів, які підтримують обидва типи мов.

Важливо враховувати, що при зміні типу програмування з LD на FBD для вже відкритого проекту, середовище вимагає закриття поточної аплікації та створення нового користувацького файлу. Це пов'язано з принциповою різницею в архітектурі обробки даних між цими мовами.

Правильне налаштування конфігурації гарантує, що всі входи I1–IA та виходи Q1–Q4 контролера на схемі Zelio Soft 2 будуть відповідати фізичним клемам на реальному стенді. Це виключає помилки при адресації сигналів керування частотним перетворювачем ABB ACS150.

Особливістю обраного контролера Zelio Logic SR2 A201FU є можливість повної взаємодії з пристроєм без використання зовнішнього ПК. Це забезпечується наявністю вбудованого РК-дисплея та клавіатури керування.

За допомогою РК-дисплея та командних клавіш оператор має можливість виконувати наступні операції:

- перегляд моделі реле та підключених модулів розширення;
- відстеження поточного режиму роботи Run/Stop та стану входів/виходів;

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- налаштування дати, часу та мови інтерфейсу;
- створення та редагування програм у режимі LD безпосередньо на пристрої;
- моніторинг виконання алгоритму в реальному часі та керування передачею програм на картридж пам'яті.

Інтерфейс користувача структурований на екрані дисплея наступним чином:

- перші чотири рядки: відображають пункти меню, інформацію про параметри або доступні дії;
- символи навігації (↑ та ↓) з'являються у правій колонці, якщо інформація не вміщується на одному екрані, вказуючи на наявність попередніх або наступних рядків;
- п'ятий рядок відображає символи стану активне підключення до ПК та функції клавіш, які змінюються залежно від поточного вікна.

Для навігації та введення даних на передній панелі розташовано 6 клавіш, які поділяються на дві категорії:

- п'ять основних кольорових клавіш використовуються для переміщення по меню, зміни значень параметрів та підтвердження вибору;
- біла додаткова клавіша використовується для активації альтернативних функцій основних клавіш для переходу між контактами та котушками під час локального програмування.

Налаштування параметрів програми безпосередньо на інтелектуальному реле дозволяє адаптувати роботу лабораторного стенду до конкретних умов експлуатації без необхідності перепрограмування через ПК.

Згідно з технічною документацією Zelio Logic, робота з параметрами через передню панель включає:

- налаштування системного часу, а саме зміна параметрів переходу на літній/зимовий час;
- визначення умов виконання програми: доступ до меню

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

CONFIGURATION, де можливо змінювати частоту виконання циклів програми;

- налаштувати або вимикати функцію WATCHDOG сторожовий таймер для контролю часу циклу;

- модифікувати фільтри вхідних сигналів для захисту від брязкоту контактів;

- встановлювати парольний захист на зміну програми;

- активувати або деактивувати клавіші Zx (Z1–Z4) під час роботи в режимі LD.

Кожна функція в програмі, а саме таймери або лічильники має унікальні параметри, проте існують загальні атрибути, які застосовуються до більшості блоків:

- енергонезалежність Latching, коли дані функції поточне значення лічильника зберігаються в пам'яті навіть після зникнення напруги живлення;

- блокування Locked – цей атрибут дозволяє приховати певні параметри від відображення або модифікації в меню PARAMETERS, що важливо для захисту критичних налаштувань стенду.

Існує три основні способи перегляду та зміни параметрів за допомогою клавіш передньої панелі:

- через меню PARAMETERS, яке доступне в будь-якому режимі роботи і зміна значень здійснюється клавішами під символами «+» та «-», що відображаються у 5-му рядку дисплея;

- в режимі виконання RUN, коли оператор може увійти в меню MONITORING, вибрати необхідну функцію лічильника C1 або таймера T1 за допомогою синіх клавіш навігації та натиснути Shift коли в 5-му рядку з'явиться напис Param, натисканням відповідної кнопки відкриє доступ до редагування;

- в режимі зупинки STOP – аналогічна процедура виконується через меню PROGRAMMING, яка дозволяє підготувати установку до пуску з новими часовими чи кількісними параметрами.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перед завантаженням розробленого алгоритму в пам'ять інтелектуального реле необхідно виконати процедуру верифікації. У середовищі Zelio Soft 2 для цього передбачена команда Edit → Check the Program, яка запускає процес компіляції та виводить результати у спеціальне вікно Compilation results.

Система автоматично виконує два види перевірки:

- аналіз логічної цілісності, а саме перевірка коректності з'єднань у діаграмах LD або FBD;
- аналіз продуктивності, а саме перевірка відповідності програми апаратним ресурсам контролера.

До таких ресурсів належать:

- обсяг використаної пам'яті;
- тривалість періодів виконання циклу програми;
- відповідність швидкодії смарт-реле складності алгоритму.

Однією з переваг мови LD у середовищі Zelio Soft 2 є можливість прогресивного налагодження. Програму можна симулювати та завантажувати навіть на етапі розробки. Проте система постійно моніторить наявність аномалій умовного монтажу, а саме розірвані лінії зв'язку або невідключені функції Reset.

У верхній панелі вікна редагування розташований графічний символ ока. Якщо він змінює колір із синього на червоний, це сигналізує про виявлення аномалій.

Подвійний клік на червоному символі відкриває вікно консистентності, де детально описано характер проблеми, а саме незавершені кола або параметри, залишені зі значеннями за замовчуванням.

Якщо активована опція автоматична компіляція в налаштуваннях ПЗ, компіляція виконується автоматично у наступних випадках:

- при перемиканні з режиму редагування у режими симуляції чи моніторингу Simulation/Monitoring;
- безпосередньо під час передачі запису програми в пам'ять контролера.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розробка алгоритму мовою Ladder Diagram базується на використанні графічних елементів, що імітують роботу електричних релейних схем. Для забезпечення коректного виконання програми в інтелектуальному реле Zelio Logic необхідно дотримуватися встановлених правил синтаксису.

Під час створення логічних мереж слід керуватися такими принципами:

- графічні елементи перевірки контакти та елементи дії котушки займають окремі комірки в сітці програми;
- кожна логічна мережа обов'язково повинна закінчуватися принаймні однією дією котушкою в останньому правому стовпці;
- котушка відповідає за активацію певної автоматизаційної функції, як-от запуск таймера, зміна стану лічильника, перемикання допоміжного реле маркера або фізичного виходу смарт-реле Q1–Q4;
- зв'язки в мережі інтерпретуються контролером зліва направо та зверху вниз.

Програма використовує взаємозв'язок між функціями та їхніми станами:

- стан будь-якої функції може бути використаний як умова контакт, а саме контакт T1 представляє прямий стан таймера, а t1 – його інверсований доповнюючий стан;
- тести в мережі комбінуються аналогічно до електричного кола від лівої вертикальної шини живлення +V до правої шини 0V.

Для функцій із пам'яттю тригерів діють особливі правила:

- якщо в програмі використовується дія S Set для певної функції для маркера M1 при натисканні Z1, рекомендується також використовувати дію R Reset для тієї ж функції при натисканні Z2;
- у ситуації, коли команди Set та Reset для однієї функції надходять одночасно, команда Reset завжди має вищий пріоритет, що забезпечує безпеку зупинки обладнання.

При програмуванні слід враховувати архітектурні обмеження середовища:

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– максимальна кількість рядків програми становить 240 для стандартної конфігурації;

– неможливе перпендикулярне з'єднання між лініями 120 та 121, що обумовлено структурою розподілу пам'яті в процесорі смарт-реле.

3.3 Опис програми роботи лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів

Програма роботи лабораторного стенду для вивчення програмованих логічних контролерів розроблена у програмному забезпеченні Zelio Soft 2. Перші рядки програми відповідають за ініціалізацію робочого циклу стенду та організацію взаємодії з користувачем через органи керування програмованого логічного контролера Zelio Logic SR2 A201FU і зображені на рисунку 3.3.

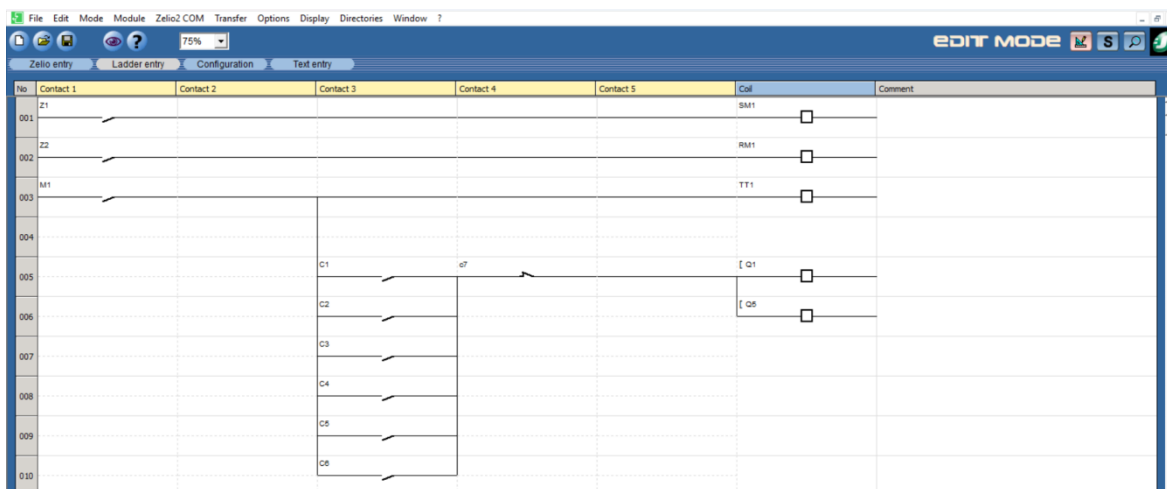


Рисунок 3.3 – Ініціалізація робочого циклу стенду та організація взаємодії з користувачем через органи керування програмованого логічного контролера Zelio Logic SR2 A201FU

Ці рядки реалізують функцію «програмного реле» з пам'яттю, які замінює класичну схему з самопідживленням. У рядку 1 використовується вхідний контакт клавіші Z1 «Пуск» на панелі програмованого логічного контролера

Zelio Logic SR2 A201FU. При її натисканні активується котушка маркера M1 у режимі Set. Це означає, що система переходить у робочий стан і залишається в ньому навіть після відпускання кнопки.

У рядку 2 використовується вхідний контакт клавіші Z2 кнопка «Стоп». При її натисканні активується котушка маркера M1 у режимі Reset. У відповідності до правил Zelio Logic, команда Reset має пріоритет, а це гарантує зупинку стенду за будь-яких умов.

У рядку 3 здійснюється активація часового базису, а саме таймера T1. Коли маркер M1 активований, то система в режимі RUN. Далі подається напруга на котушку таймера T1. У програмі таймер налаштований у режимі генератора імпульсів, а це створює циклічний ритм для всієї подальшої автоматики. Це дозволяє системі «відраховувати» час виконання кожної фази.

Налаштування таймера T1 зображені на рисунку 3.4.

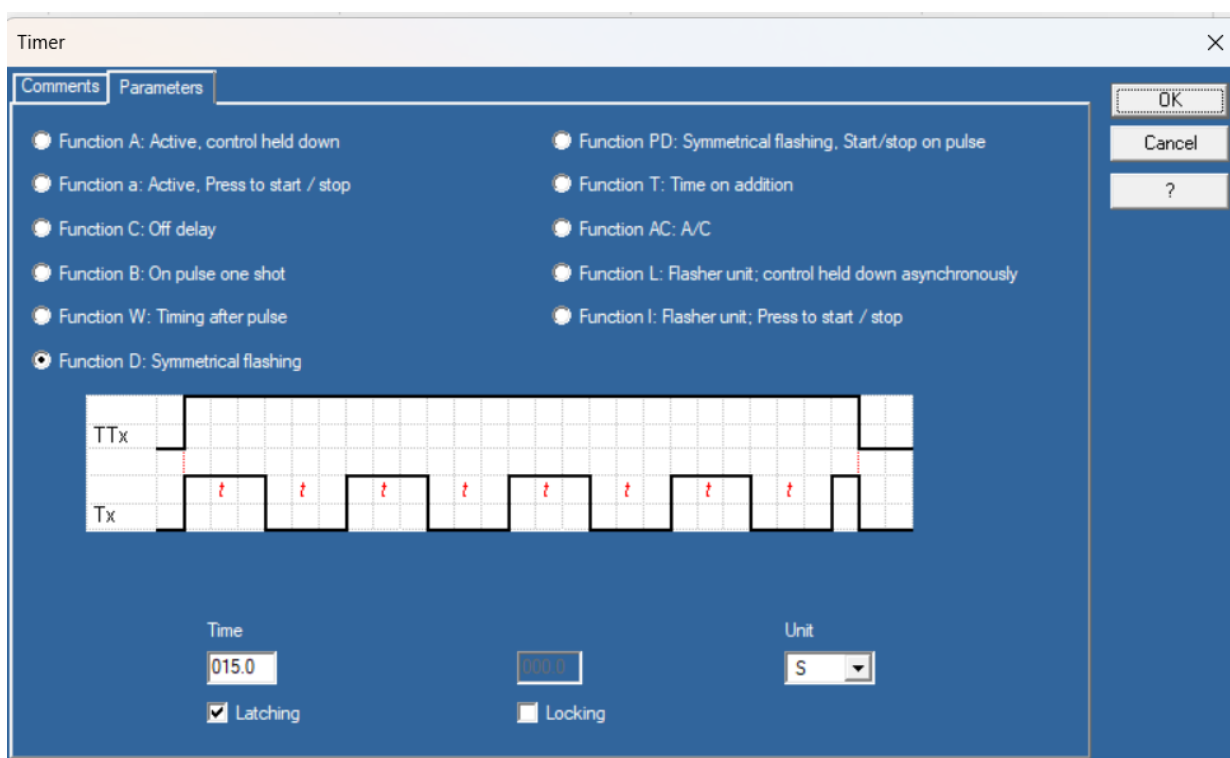


Рисунок 3.4 – Налаштування таймера T1

Таймер Т1 відіграє роль задавального генератора імпульсів, який визначає динаміку перемикання кроків усього алгоритму. Його параметри вибрані таким чином, щоб забезпечити циклічну зміну станів лічильників.

Для таймера обрана функція D Symmetrical flashing. Це симетричний переривник мигалка. У цьому режимі таймер циклічно вмикає та вимикає свою котушку, чергуючи час увімкненого стану Pulse та час вимкненого стану Pause.

Такий режим необхідний для автоматичного формування тактових імпульсів, які надходять на входи лічильників С1–С8 без додаткового втручання оператора.

У відповідності до налаштуваннями на рисунку 1, встановлено два часові інтервали:

- час t Pulse визначає тривалість логічної одиниці на виході таймера і визначає час, протягом якого подається сигнал на інкремент лічильника.
- час T Pause визначає паузу між імпульсами.

Вибрано діапазон S Seconds, тому відлік часу ведеться в секундах, що є оптимальним для спостереження за перемиканням швидкостей двигуна на лабораторному стенді.

У вікні налаштувань активована функція Latching, яка задає режим енергонезалежності. Це дозволяє таймеру «запам'ятовувати» свій стан у разі раптового зникнення живлення. Після відновлення напруги таймер продовжить цикл з того моменту, на якому він зупинився.

Таймер Т1 активується через котушку TT1 Time Trigger. Як видно з рядка 3 програми, запуск таймера відбувається лише тоді, коли маркер М1 перебуває у стані «1» після натискання кнопки Z1.

Таймер Т1 налаштований за алгоритмом симетричного мультивібратора, який визначається функцією D Symmetrical flashing. Використання цього режиму дозволяє перетворити статичний сигнал від маркера М1 у серію періодичних імпульсів. Ці імпульси слугують тактовими сигналами для каскаду лічильників, що забезпечує автоматичний перехід між фазами роботи

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

частотного перетворювача через рівні проміжки часу, задані в параметрах Time 15 с.

Група рядків 4-10 виконує операцію логічного «АБО» для запуску частотного перетворювача. Контакти лічильників С1, С2, С3, С4, С5 та С6 підключені паралельно. Якщо програма перебуває на будь-якому з етапів від 1-го до 6-го, замикається коло на вихід Q1 і подає команду на стандартний запуск перетворювача частоти АВВ АСS150.

Замикання коло на вихід Q5 подає команду на запуск у режимі ПІД-регулювання. Така реалізація забезпечує безперервну роботу двигуна під час переходу від однієї швидкості до іншої або при зміні режимів керування. Двигун не зупиняється між кроками лічильників, що запобігає зайвим перехідним процесам.

Рядок 10 ініціює перший крок технологічного процесу. При надходженні першого імпульсу від таймера за умови активного М1, лічильник С1 змінює свій стан. Це активує першу фазу роботи, яка відповідає мінімальній швидкості обертання двигуна 5 Гц через активацію відповідних комбінацій виходів Q3 та Q4 у наступних рядках програми.

Рядки 1–10 складають фундамент програми, виконуючи функції оперативного керування за допомогою клавіш Z1 та Z2 та розподілу енергії на виконавчі пристрої Q1 та Q5. Використання маркера М1 як глобального дозволу на роботу забезпечує високий рівень безпеки, а паралельне з'єднання контактів лічильників С1–С6 гарантує стабільність подачі керуючих сигналів на частотний перетворювач протягом усього циклу.

Рядки 11–18 зображені на рисунку 3.5 і реалізують функцію «крокового шукача». Кожен рядок активує наступний лічильник у ланцюзі, що дозволяє системі послідовно проходити через усі заплановані етапи роботи двигуна. Логіка побудована таким чином, що кожен наступний лічильник може почати відлік лише після того, як попередній завершив свою роботу.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		55

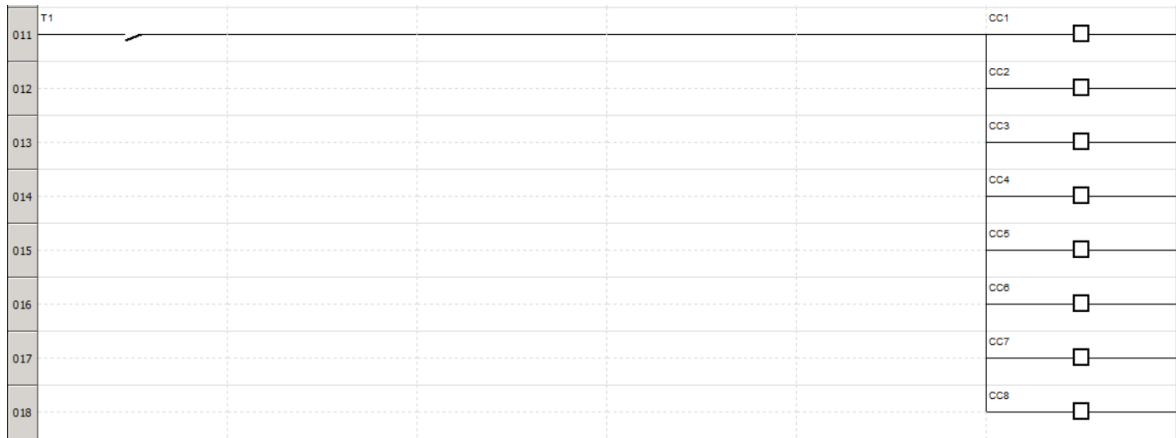


Рисунок 3.5 – Функція «крокового шукача»

При досягненні лічильником С1 заданої уставки, замикається його контакт, який дозволяє активувати котушку лічильника С2. Аналогічно працюють ланцюги для лічильників С3, С4, С5 та С6. Кожен наступний блок чекає на сигнал «завершення» від попереднього контакту С2, С3, С4, С5 та С6. Замикання контакту С6 активує лічильник С7, який зазвичай відповідає за передостанню фазу або фазу витримки перед завершенням циклу.

У вісімнадцятому рядку контакт лічильника С7 активує останній у каскаді лічильник С8. Це критичний момент програми, оскільки активація С8 зазвичай ініціює скидання всієї системи для початку нового циклу.

У відповідності до графічних символів на схемі, лічильники мають такі особливості конфігурації:

- імпульси на інкремент, а саме збільшення значення, надходять через входи, позначені як СС;
- використовуються стандартні блоки лічильників Counter, які в мові Ladder Diagram Zelio Logic дозволяють не лише рахувати події, а й виступати в ролі таймерів, якщо на вхід подаються тактові імпульси від таймера Т1;
- послідовне з'єднання контактів попередніх лічильників із котушками наступних гарантує, що фази не будуть перекриватися або запускатися в довільному порядку. Рядки 11–18 формують жорстку часо-імпульсну структуру алгоритму. Завдяки каскадному принципу, ПЛК чітко розмежує в часі

режими роботи частотного перетворювача, забезпечуючи перехід від однієї фіксованої швидкості до іншої або до режиму ПД лише після повного відпрацювання попереднього кроку.

Рядки 19–25 зображені на рисунку 3.6 і реалізують інтелектуальну частину алгоритму, а саме перехід від жорсткого керування швидкостями до адаптивного ПД-регулювання, а також механізм повного обнулення системи для повторного запуску.

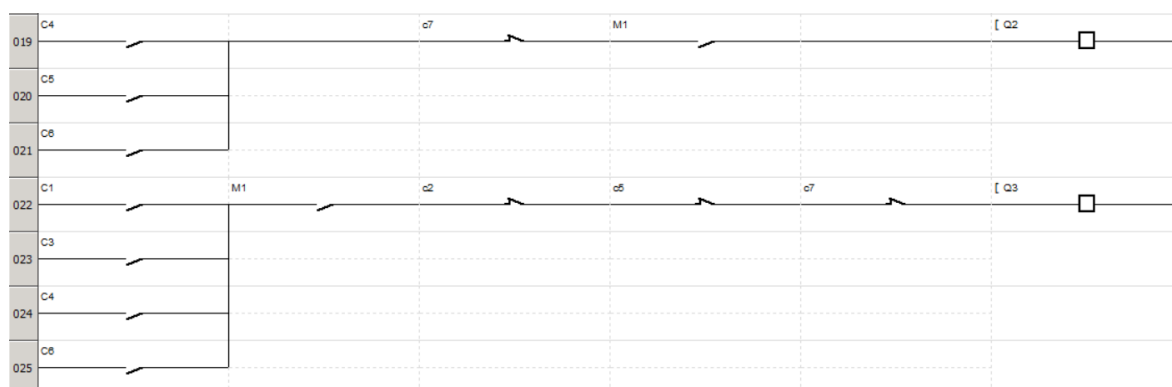


Рисунок 3.6 – Перехід від жорсткого керування швидкостями до адаптивного ПД-регулювання

Рядки 19–21 виконують керування виходом Q2, а саме здійснюють вибір режиму ПД. Ці рядки формують логіку активації перетворювача частоти в режим автоматичного регулювання. Використовується паралельне з'єднання логічне «АБО» контактів лічильників C4, C5 та C6. Коло проходить через нормально замкнений контакт C7. Це означає, що як тільки цикл доходить до стадії C7, режим ПД примусово вимикається.

При активації будь-якої з фаз 4, 5 або 6 та наявності дозволу від маркера M1, подається сигнал на вихід Q2. Сигнал на Q2 повідомляє ПЧ АВВ ACS150 про необхідність перемикання з фіксованих швидкостей на роботу за внутрішнім ПД-алгоритмом для підтримки заданого параметра.

Рядки 22–25 відображують система скидання Reset лічильників. Ці рядки забезпечують «самоочищення» програми після завершення повного циклу

роботи. Рядок 22 активує команду Reset RC1 для першого лічильника при досягненні лічильником C8 заданого значення.

Рядки 23–25 аналогічно активуються команди скидання для лічильників C2, C3, C4 та наступних у каскаді. Використання катушок типу R Reset гарантує, що всі накопичені значення в регістрах лічильників будуть обнулені.

У відповідності до графічних символів, можна зазначити, що скидання активується лічильником C8, тому цикл завершується плавно. Проте наявність маркера M1 у колі гарантує, що при натисканні кнопки «Стоп» Z2 робота припиниться миттєво, незалежно від стану скидання лічильників. Така структура дозволяє стенду працювати в нескінченному циклі «Пуск->Швидкості->ПД-> Скидання->Пуск», що ідеально підходить для тривалих лабораторних досліджень перехідних процесів.

Рядки 19–25 завершують логічну структуру алгоритму. Вони демонструють можливість ПЛК не лише керувати дискретними станами, а й змінювати саму структуру керування електроприводом, шляхом активації Q2. Автоматичне скидання лічильників через блок C8 забезпечує циклічність роботи стенду, перетворюючи його на автономну автоматизовану систему.

Рядки 26–29 зображені на рисунку 3.7 і є логічним продовженням системи обнулення параметрів, описаної вище. Вони відповідають за скидання останньої групи лічильників каскаду. Ці кола активуються одночасно з попередньою групою, а саме рядків 22–25, при спрацюванні фінальної умови циклу.

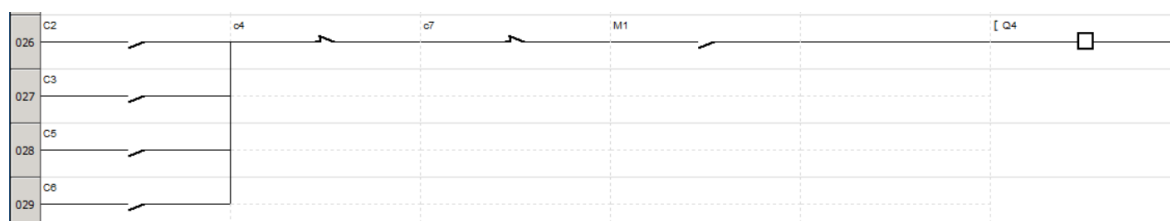


Рисунок 3.7 – Продовженням системи обнулення параметрів

Керуючим елементом для всієї групи є контакт лічильника С8. Рядок 26 активує команду Reset RC5 для п'ятого лічильника. Рядок 27 активує команду Reset RC6 для шостого лічильника. Рядок 28 активує команду Reset RC7 для сьомого лічильника. Рядок 29 виконує самоскидання останнього лічильника Reset RC8.

Активація котушок типу R Reset для всього каскаду лічильників С1–С8 виконує наступні функції обнулення поточних значень. Всі накопичені імпульси від таймера Т1 у регістрах лічильників скидаються до нуля. Враховуючи, що значення лічильників стають меншими за уставки, їхні контакти в рядках керування виходами Q1–Q5 розмикаються.

Система переходить у стан готовності до нового циклу. Якщо маркер М1 активований кнопкою Z1 залишається в стані «1», алгоритм автоматично почне відлік з першого лічильника С1.

Рядки 26–29 зображені на рисунку 3.8 і відповідають за формування комбінацій сигналів на цифрових входах частотного перетворювача АВВ ACS150 для завдання конкретних значень частоти.

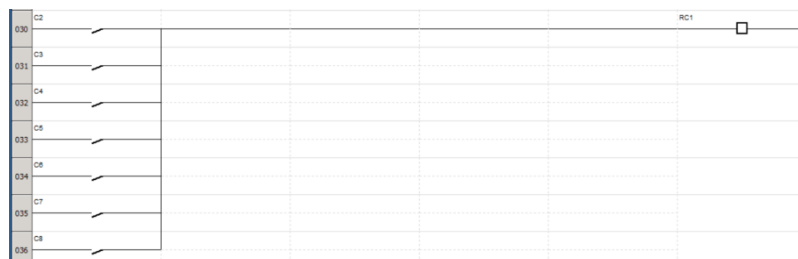


Рисунок 3.8 – Формування комбінацій сигналів на цифрових входах частотного перетворювача АВВ ACS150 для завдання конкретних значень час

Рядок 30 використовується контакт лічильника С2. При його замиканні подається сигнал на котушку виходу Q3. Рядок 31 використовується контакт лічильника С4. Це дозволяє активувати ту ж саму швидкість на іншому етапі циклу. В результаті активація Q3 змушує частотний перетворювач перейти на роботу з першою встановленою частотою у відповідності до параметрів

частотного перетворювача АВВ АСS150, це частота 5 Гц.

Рядки 32–33 виконують активацію виходу Q4, який відповідає частоті 10 Гц. Ці кола відповідають за другу фіксовану швидкість обертання двигуна. Рядки 32 та 33 використовують контакти лічильників С3 та С5. При активації цих лічильників подається сигнал на вихід Q4. В результаті АВВ АСS150 перемикається на другу фіксовану частоту 10 Гц.

Рядки 34–36 використовуються для формування комбінованих швидкостей. Рядок 34 виконує активацію від лічильника С6. У поєднанні з попередніми виходами, це дозволяє отримати третю фіксовану швидкість 15 Гц за рахунок двійкової комбінації сигналів на входах частотного перетворювача АВВ АСS150.

Рядки 35–36 містять контакти лічильників С7 та С8. Вони використовуються для розмикання ланцюгів керування швидкостями перед повним скиданням циклу або для активації спеціальних режимів гальмування.

Кола 30–36 завершують формування керуючих впливів на об'єкт. Використання паралельних контактів лічильників забезпечує багаторазову активацію необхідних швидкостей протягом одного циклу, що робить алгоритм універсальним для моделювання реальних технологічних процесів.

Рядки 37–42 зображені на рисунку 3.9 і активуються на завершальному етапі циклу для приведення всіх функціональних блоків у вихідний стан.

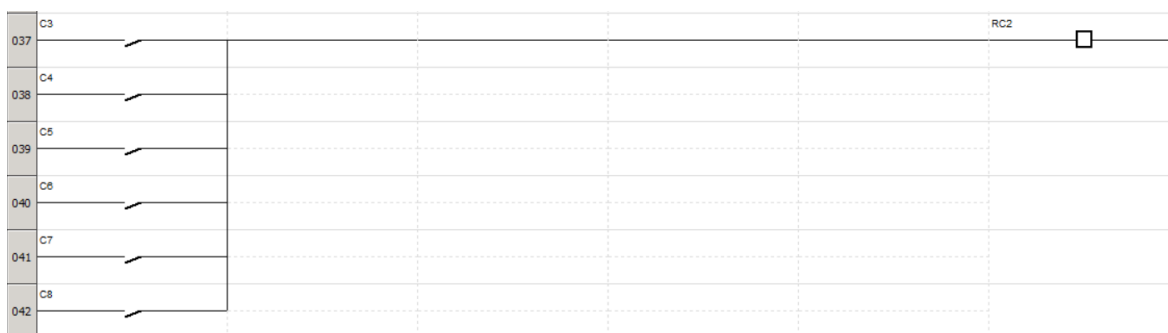


Рисунок 3.9 – Приведення всіх функціональних блоків у вихідний стан

Рядок 37 виконує скидання лічильника С2 команда RC2. Рядок 38 відповідає за скидання лічильника С3 команда RC3. Рядок 39 активує команду скидання для лічильника С4. Рядок 40 використовує контакт лічильника С7 для ініціалізації процедури завершення поточних операцій. Рядки 41–42 завершують послідовне скидання останніх лічильників каскаду, що гарантує відсутність «залишкових» значень у регістрах перед новим пуском.

Використання індивідуальних команд Reset для кожного лічильника виключає програмні збої та накладання фаз одна на одну. Завдяки обнуленню лічильників у рядках 37–42, програма готова до миттєвого повторного запуску за умови, що маркер М1 залишається активним кнопка «Пуск» була натиснута. Скидання лічильників автоматично знімає всі керуючі сигнали з виходів Q1–Q5, що приводить частотний перетворювач у стан готовності до нового стартового імпульсу.

Рядки 43–47 зображені на рисунку 3.10 і виконують скидання лічильників середньої ланки. У рядку 43 при спрацюванні умови завершення циклу контакт лічильника С4 активується команда скидання для лічильника С3 котушка RC3. Рядок 44 використовується контакт лічильника С5 для подачі сигналу на скидання наступних елементів у колі. Рядок 45 продовжує логіку обнулення параметрів для лічильника С6.

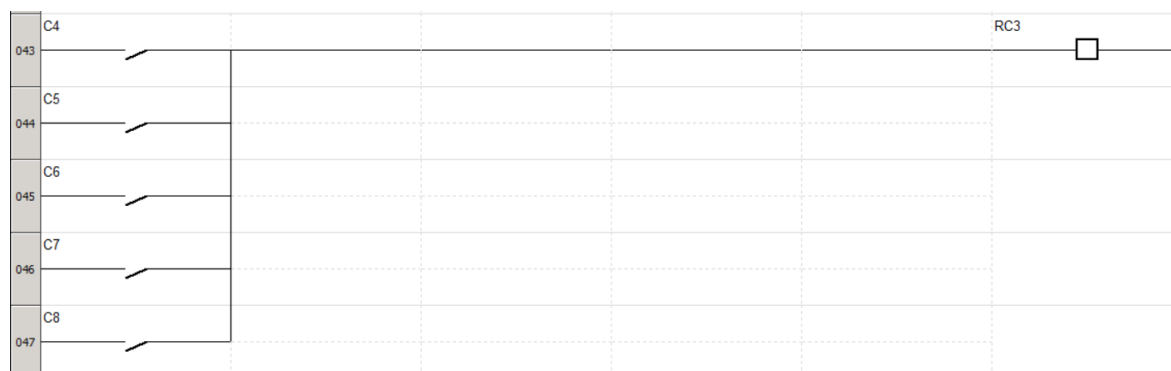


Рисунок 3.10 – Скидання лічильників середньої ланки

У рядку 46 використовується контакт лічильника С7 для ініціалізації

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

скидання передостаннього блоку в каскаді лічильника С8. Рядок 47 завершує процес, забезпечуючи повне програмне очищення пам'яті контролера від значень поточного циклу.

Рядки 43–47 відіграють критичну роль у забезпеченні стабільності та повторюваності експериментів. Здійснюється повне скидання всіх лічильників гарантує, що при наступному старті програма почне роботу саме з першої фази 5 Гц, а не з довільного проміжного стану.

Оскільки ці рядки обнуляють лічильники, які відповідають за вибір швидкостей та режим ПД-регулювання, це призводить до гарантованого зняття всіх керуючих сигналів з частотного перетворювача АВВ АСS150 після закінчення циклу.

Даний фрагмент коду демонструє культуру програмування ПЛК, де кожен активований ресурс лічильника повинен мати чітко визначену умову для деактивації та обнулення.

Рядки 48–51 зображені на рисунку 3.11 і відповідають за пізні фази циклу та контроль загального часу роботи.

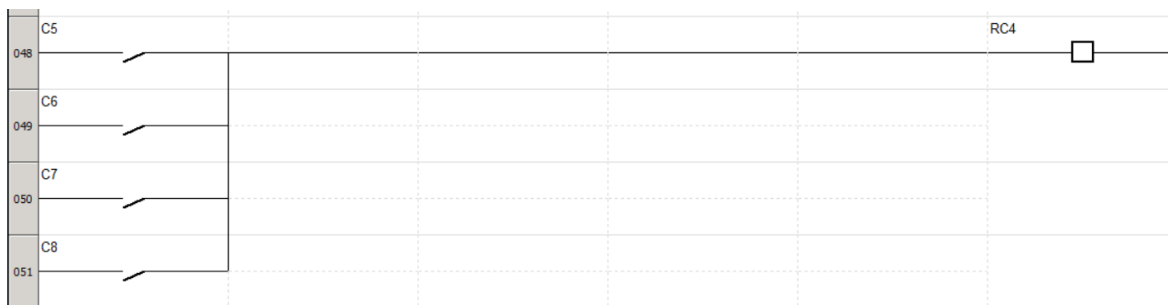


Рисунок 3.11 – Контроль загального часу роботи

У рядку 48 використовується контакт лічильника С6. При досягненні лічильником С6 заданої уставки, подається сигнал на котушку скидання RC4. Рядок 49 слугує допоміжним ланцюгом для забезпечення надійності деактивації четвертого кроку алгоритму при зміні станів системи.

У рядку 50 використовується контакт лічильника С7, який ініціює

скидання наступних логічних блоків у колі. У рядку 51 контакт лічильника С8 активує фінальну команду обнулення. Оскільки С8 є останнім у каскаді, його скидання означає повне повернення програми до вихідного стану.

Рядки 52–58 зображені на рисунку 3.12 і відповідають за безумовне обнулення останніх трьох лічильників каскаду С5, С6 та С7 та самоскидання фінального лічильника С8.

Команда на скидання п'ятого лічильника RC5 може надійти з трьох різних джерел логічне «АБО»:

- контакту лічильника С6;
- від контакту лічильника С7;
- від контакту лічильника С8.

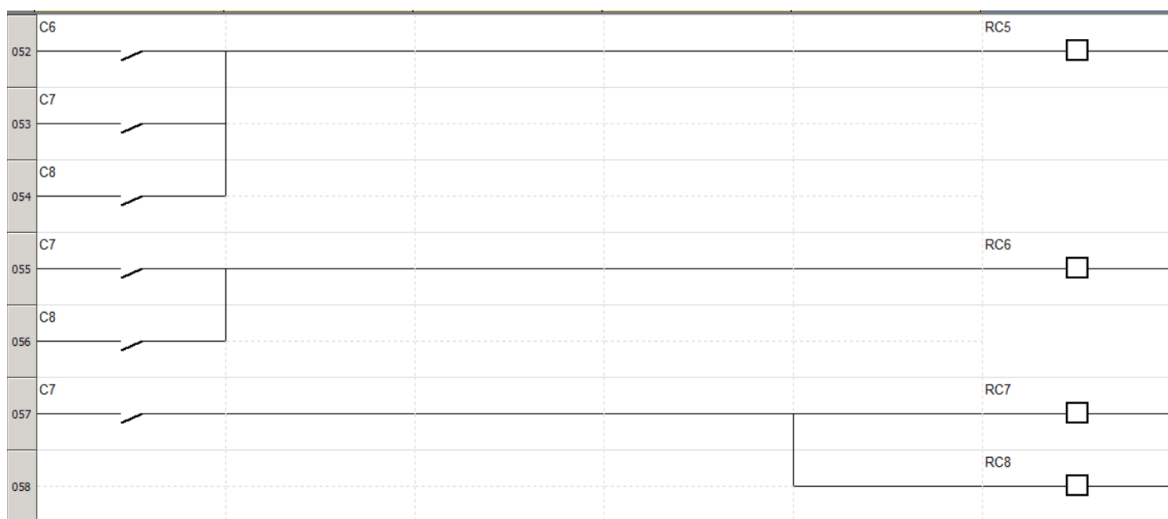


Рисунок 3.12 – Самоскидання фінального лічильника С8

Це гарантує, що на етапах завершення циклу або переходу до ПІД-регулювання, лічильник попередньої фази буде гарантовано обнулений.

Контакт лічильника С7 активує котушку скидання RC6. Контакт лічильника С8 дублює команду скидання для підвищення надійності алгоритму. Контакт лічильника С8 скидає передостанній лічильник С7 RC7. Останній рядок програми виконує самоскидання лічильника С8 RC8. Це "замикає" циклічний алгоритм, як тільки С8 виконав свою функцію, а саме

ініціював скидання всього каскаду, він обнуляє сам себе, повертаючи всю програму в очікування першого імпульсу від таймера T1.

Завдяки ланцюгам 52–58 стенд не потребує ручного втручання для перезапуску. Після виконання ПД-регулювання, а саме фази С4–С6 та проходження технічних фаз С7–С8, система автоматично готова до нового циклу.

3.4 Висновки до третього розділу

У третьому розділі було проведено повний цикл розробки та налагодження програмного забезпечення для керування лабораторним стендом на базі інтелектуального реле Zelio Logic SR2 A201FU. Результати роботи дозволяють зробити наступні висновки.

Для реалізації алгоритму було використано спеціалізоване ПЗ Zelio Soft 2 та мову релейно-контактної логіки Ladder Diagram LD. Цей вибір забезпечує високу наочність алгоритму, простоту його діагностики та можливість симуляції роботи системи в реальному часі без підключення фізичного обладнання.

Створена програма, що складається з 58 логічних рядків, забезпечує повний технологічний цикл роботи асинхронного двигуна. Алгоритм успішно реалізує:

- безпечний пуск та зупинку системи за допомогою клавіш Z1 та Z2 з використанням команд Set/Reset для маркера M1;
- автоматичне формування часових інтервалів за допомогою асиметричного таймера T1 функція Li;
- послідовне перемикання кроків циклу за допомогою каскаду лічильників С1–С8.

За допомогою дискретних виходів Q1–Q5 організовано взаємодію з перетворювачем частоти АВВ АСS150. Програма дозволяє автоматично

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

перемикає швидкості двигуна 5 Гц, 10 Гц та 15 Гц, а також активувати режим ПД-регулювання на визначених етапах циклу, за допомогою лічильників С4–С6.

Завдяки впровадженню розгалуженої системи скидання (Reset) лічильників у рядках 22–29 та 37–58, досягнуто повної програмної стабільності. Кожен завершений цикл автоматично ініціює повне обнулення внутрішніх регістрів, що гарантує готовність стенда до повторного запуску без виникнення логічних конфліктів.

Описані процедури конфігурування модуля, додавання розширень та перевірки програми на консистентність, а саме функція Check the Program складають основу для розробки методичних вказівок до лабораторних занять.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		65

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розв'язано актуальну задачу розробки та дослідження лабораторного стенда для вивчення програмованих логічних контролерів, яка дозволяє підвищити якість підготовки фахівців у галузі автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Проведено аналіз сучасного стану засобів промислової автоматизації та обґрунтовано необхідність створення навчального обладнання, яке поєднує в собі можливості вивчення логічного керування та сучасних систем електропривода.

Обґрунтовано вибір апаратної бази, що складається з інтелектуального реле Schneider Electric Zelio Logic SR2 A201FU та частотного перетворювача ABB ACS150. Таке поєднання дозволяє реалізувати як прості релейно-контактні схеми, так і складні алгоритми керування швидкістю асинхронного двигуна, включаючи роботу в замкненому контурі.

Розроблено конструкцію та принципову електричну схему лабораторного стенда. Компонування елементів забезпечує зручний доступ до клем керування, візуальний моніторинг станів входів/виходів та безпеку під час проведення експериментів. Передбачено можливість підключення зовнішніх датчиків та виконавчих механізмів для розширення функціоналу.

Створено програмне забезпечення в середовищі Zelio Soft 2 мовою Ladder Diagram. Розроблений алгоритм забезпечує повний циклічний процес: від оперативного пуску/зупинки до автоматичного перемикання трьох фіксованих швидкостей та переходу в режим ПД-регулювання. Особливу увагу приділено системі енергонезалежності та автоматичного скидання лічильників каскаду, що гарантує стабільність циклу.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Мартинюк В. В. Робоча програма навчальної дисципліни «Архітектура комп'ютерів та промислових контролерів» для студентів спеціальностей факультету інформаційних технологій. Хмельницький: Хмельницький національний університет, 2025. 12 с.
2. Кравченко Ю. В. Архітектура комп'ютера. Частина 2: Принципи побудови та функціонування. Київ : КНУ імені Тараса Шевченка, 2024. 162 с.
3. Harris S., Harris D. Digital Design and Computer Architecture, RISC-V Edition. Cambridge: Morgan Kaufmann, 2021. 768 p.
4. White M. T. Mastering PLC Programming: Apply software engineering practices to IEC 61131-3. Birmingham: Packt Publishing, 2021. 436 p.
5. Petruzella F. Programmable Logic Controllers. 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2016. 416 p.
6. Касевич О. С. Програмовані логічні контролери: навч. посіб. Одеса: ОНМА, 2021. 144 с.
7. Alfieri V., Nettis G., Gnoni M. G. From PLC to OPC UA: A Case Study on Legacy Systems Integration in Industry 4.0. Procedia Computer Science. 2022. Vol. 200. P. 1165–1172.
8. Stenerson J. Fundamentals of Programmable Logic Controllers, Sensors, and Communications. 3rd ed. New York : Pearson, 2017. 608 p.
9. Bolton W. Programmable Logic Controllers. 7th ed. Cambridge: Elsevier, 2021. 438 p.
10. Bayramov N., Isayev R., Alaskarov A. Selection and implementation of ARM-based microprocessors in modern PLC systems. International Journal of Engineering Research and Technology. 2020. Vol. 13, No. 11. P. 3456–3461.
11. Jack H. Automating Manufacturing Systems with PLCs. Version 6.0. 2022. 914 p.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. IEC 61131-3:2013. Programmable controllers - Part 3: Programming languages. Geneva : IEC, 2013 (Consolidated version 2020).
13. Хараджа В. В. Теорія та практика програмування промислових контролерів: навч. посіб. Маріуполь: ПДТУ, 2019. 184 с.
14. Kamal K. PLC Programming Using RSLogix 500: Advanced Programming Concepts. Independent Publisher, 2020. 212 p.
15. Lewis R. W. Programming Industrial Control Systems Using IEC 1131-3. London : Institution of Engineering and Technology, 2017. 280 p.
16. Frey G., Litz L. Formal methods in PLC programming. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. 2021. Vol. 4. P. 2431–2436.
17. Webb J. W., Reis R. A. Programmable Logic Controllers: Principles and Applications. 6th ed. New York : Pearson Education, 2018. 460 p.
18. Ghaffari A. Bridge the gap between University and Industry in PLC Training. International Journal of Online and Engineering Education. 2019. Vol. 5, No. 2. P. 12–18.
19. Collins K. PLC Programming for Industrial Automation. Exposure Publishing, 2016. 164 p.
20. Програмування ПЛК в середовищі CODESYS : навч. посіб. / І. В. Ельперін та ін. Київ : Ліра-К, 2023. 280 с.
21. Seta A. R., Noertjahyana A., Palit R. V. PLC simulator for learning ladder logic programming. Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1869, No. 1. P. 012085.
22. Lamb F. Industrial Automation: Hands On. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Education, 2019. 448 p.
23. Myat A. M., Tun H. M. Development of virtual laboratory for programmable logic controller (PLC). International Journal of Scientific & Technology Research. 2020. Vol. 9, No. 2. P. 3862–3867.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

24. Berger H. Automating with SIMATIC S7-1500: Configuring, Programming and Testing with STEP 7 Professional. 2nd ed. Erlangen: Publicis Publishing, 2018. 830 p.

25. Pigan R., Metter M. Automating with PROFINET: Industrial Communication Based on Industrial Ethernet. 2nd ed. Erlangen : Publicis Publishing, 2016. 450 p.

26. Качмар Р. Ю. Проектування систем автоматизації на базі контролерів Siemens SIMATIC S7-1500 : навч. посіб. Львів: Львівська політехніка, 2022. 192 с.

27. Erickson K. T. Programmable Logic Controllers: An Emphasis on Design and Application. 3rd ed. Dogwood Valley Press, 2023. 1530 p.

28. Walker M. J. Programmable Logic Controllers: Hardware and Programming. 5th ed. New York : Goodheart-Willcox, 2023. 680 p.

29. Parr A. Hydraulics and Pneumatics: A Technician's and Engineer's Guide. 4th ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2023. 264 p.

30. Ghaffari A. Classification of PLC Training Systems: From Simulation to Real Hardware. Journal of Industrial Automation. 2021. Vol. 9, No. 1. P. 56–64.

31. Zelio Logic 2. Smart relay: User's manual. Rueil-Malmaison: Schneider Electric, 2022. 184 p.

32. ACS150 Drives (0.37...4 kW, 0.5...5 hp): User's manual. Zurich: ABB Group, 2021. 156 p.

33. Попович М. Г., Лозинський О. Ю. Теорія автоматичного керування: підручник. Київ: Либідь, 2016. 656 с.

34. Бабаков С. О. Частотне керування асинхронними двигунами : навч. посіб. Харків: НТУ «ХПІ», 2018. 204 с.

35. Маляр В. С. Теоретичні основи електротехніки. Електричні кола: навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. 312 с.

36. Hughes A., Drury B. Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications. 5th ed. Oxford: Newnes, 2019. 450 p.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

37. Khalid M. S., Ahmed S. PID Control for Industrial Processes. Berlin: Springer, 2020. 288 p.

38. Dorf R. C., Bishop R. H. Modern Control Systems. 13th ed. New York: Pearson, 2017. 1104 p.

39. Шмідт Г. Керування електроприводами: пер. з нім. Київ: Техніка, 2016. 240 с.

40. Zelio Soft 2: Programming software for Zelio Logic smart relays. Version 5.4. Schneider Electric, 2023.

					<i>КвРАКІТР. 2023143.01.06.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		70

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник Боткін Денис Сергійович

Тема: Лабораторний стенд для вивчення програмованих логічних контролерів
Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 70

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є розробка та впровадження спеціалізованого лабораторного стенда для вивчення програмованих логічних контролерів, який забезпечує поєднання теоретичного навчання з глибокою практичною підготовкою у сфері промислової автоматизації та електротехнічного проектування.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено аналіз проблематики вивчення ПЛК, розглянуто особливості сучасних освітніх технологій, виконано огляд та класифікацію існуючих лабораторних стендів та систем симуляції. У другому розділі здійснено обґрунтування вибору технічних засобів, розроблено загальну архітектуру стенда та виконано проектування його апаратної частини, включаючи вибір контролера та сенсорика. У третьому розділі описано процес розробки програмного забезпечення, реалізовано практичні кейси та завдання для навчання та проведено апробацію розробленого обладнання.
4. Позитивні сторони роботи: Розроблений алгоритм забезпечує повний циклічний процес: від оперативного пуску/зупинки до автоматичного перемикання трьох фіксованих швидкостей та переходу в режим ПІД-регулювання. Особливу увагу приділено системі енергонезалежності та автоматичного скидання лічильників каскаду, що гарантує стабільність циклу.

5. Негативні сторони роботи: не виконано порівняння розробленого спеціалізованого лабораторного стенда для вивчення програмованих логічних контролерів із відомими спеціалізованими лабораторними стендами для вивчення програмованих логічних контролерів.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: відмінно (90/А)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Гетьмак Наталія Сергіївна, доцент кафедри КБ

"10" серпня 2026 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки Людмилі КОРЕЦЬКІЙ
здобувача вищої освіти
Боткіна Дениса Сергійовича
факультет ІТ, курс ІІІ, група АКІТРС-23-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений. Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.06.2026
дата


підпис

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Денис БОТКІН

Співавтор:

Назва: БКР Боткін

Експерт: Валерій МАРТИНЮК

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1: 1.6%

Коефіцієнт подібності 2: 0.37%

Мікропробіли: 29

Заміна букв: 2

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-06-09 12:28:19.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2026-06-09



Доцент Микола Федула

Дата

експерт

Anti-Plagiarism v-15.258 (global version)**The maximum coincidence with one document 1.0%**

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 9%

ID: 274212 Title: БКР Лабораторний стенд для вивчення програмованих логічних контролерів Added in a DB: 2026-06-08 Authors: Денис БОТКІН Heads: Валерій МАРТИНЮК Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	86341	715	2053 (2%)	33 (5%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Лабораторний стенд для вивчення програмованих логічних контролерів

Автор: Боткін Денис Сергійович

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

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Науковий керівник: Мартинюк Валерій Володимирович, доктор технічних наук, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить павмісні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 1,6% і адресується до 11 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

Людмила КОРЕЦЬКА

Юрій ФОРКУН

Валерій МАРТИНЮК