

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти – бакалавр
за освітньо-професійною програмою
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

зі спеціальності
151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

тема роботи:

***«Керування процесом сортування виробів на фізичній моделі виробничої
лінії FESTO MPS 403-1 з використанням технологій RFID»***

Виконав студент гр. АКІТ-22	_____ Демиденко Д.Є.
Керівник	_____ Савицький О. І.
Нормоконтроль	_____ Маринич І. А.
Завідувач кафедри	_____ Рубан С. А.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: Бакалавр

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою: к.т.н. Рубан С.А.

« 28 » січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студентові групи АКІТ-22 Демиденку Денису Євгеновичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Керування процесом сортування виробів на фізичній моделі виробничої лінії FESTO MPS 403-1 з використанням технологій RFID»

затверджено наказом по університету № 171с від 30.03.2026 р.

2. Термін здачі кваліфікаційної роботи: 10.06.2026 р.

3. Склад кваліфікаційної роботи: Пояснювальна записка обсягом 133с., презентація у Microsoft PowerPoint (18 слайдів) в електронному та друкованому вигляді

4. Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-2

доц. Савицький О. І.

Нормоконтроль

доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>27.04.26</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>14.05.26</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>30.05.26</i>
4	<i>Висновки</i>	<i>31.05.26</i>
5	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>01.06.26</i>
6	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>03.06.26</i>
7	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>05.06.25</i>

6. Дата видачі завдання: 28.01.2026р.

Керівник _____ / Савицький О. І./

7. **Запевнення:** Я, Демиденко Денис Євгенович, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету ознайомлений.

Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Студент _____ /Демиденко Д.Є../

АНОТАЦІЯ

Демиденко Д.Є. Керування процесом сортування виробів на фізичній моделі виробничої лінії FESTO MPS 403-1 з використанням технологій RFID : кваліфікаційна робота бакалавра: 151 - Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2026. 133 с

Метою роботи є налаштування RFID-підсистеми та розробка функціонального блоку керування процесом ідентифікації і сортування виробів на фізичній моделі виробничої лінії FESTO MPS 403-1, що охоплює конфігурування мережевої RFID підсистеми через протокол PROFINET IO та програмування ПЛК Siemens SIMATIC S7-1512C-1PN у середовищі TIAPortal мовою SCL.

У першому розділі проведено комплексний аналіз об'єкта автоматизації - навчально-виробничої системи FESTO MPS 403-1. Розглянуто структуру, особливості технологічного процесу, проаналізовано підходи до побудови систем автоматизації дискретного виробництва. Детально досліджено апаратне забезпечення системи: датчики, RFID-компоненти, приводи та контролери. Сформульовано три інженерні задачі розробки програмно-технічного комплексу.

У другому розділі розроблено та верифіковано програмно-технічний комплекс із трьох послідовних етапів. Перший етап - аналітичний модуль: порівняльний аналіз технологій автоматичної ідентифікації (бінарна детекція, оптичні коди, RFID) за матрицею оцінювання та дерево рішень для вибору частотного діапазону. Другий етап - апаратна конфігурація RFID системи в TIA Portal: налаштування шлюзу Turck TBEN-S2-2RFID-4DXP через PROFINET IO. Третій етап - програмування функціонального блоку fbRFID_Control мовою SCL для зчитування UID ISO 15693 з верифікацією на реальному обладнанні.

					КНУ КРБ.151.26.05.00.ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АНОТАЦІЯ				Літ.		Арк.	Аркушів
Розроб.		Демиденко Д.Є.										
Перевір.		Савицький О.І.									3	1
									КНУ АКІТ-22			
Н. Контр.		Маринич І.А.										
Затверд.		Маринич І.А.										

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ, ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ КЕРУВАННЯ.....	9
1.1 Загальна характеристика серії навчальних фабрик FESTO MPS 400.....	9
1.2 Характеристика та структура технологічного процесу стенда MPS 403-1.....	14
1.3 Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування.....	19
1.4 Огляд існуючих рішень і методів керування та контролю.....	22
1.5 Застосування RFID у виробничих системах та концепція Product memory.....	25
1.6 Галузі застосування та умови експлуатації системи.....	27
1.7 Апаратне забезпечення системи керування.....	30
1.8 Задачі і функції системи керування сортування виробів.....	47
Висновок за розділу.....	52
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ІНТЕГРАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ RFID НА БАЗІ СТЕНДУ FESTO MPS 403-1.....	54
2.1 Обґрунтування структури та етапів розробки комплексу.....	54
2.2 Розробка аналітичного модуля: порівняльний аналіз технологій ідентифікації та алгоритму вибору RFID-конфігурації.....	63
2.3 Апаратна конфігурація RFID-системи на базі Siemens TIA Portal...69	
2.4 Програмування функціонального блоку зчитування UID транспондера.....	81

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.00.ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Демиденко Д.Є.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Савицький О.І.</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Маринич І.А.</i>					

		<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
			4	2
<i>ЗМІСТ</i>				
<i>КНУ АКІТ-22</i>				

Висновки до розділу.....	91
ВИСНОВКИ.....	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	95
ДОДАТОК А. Проект методичних вказівок для лабораторних робіт по застосуванню RFID-системи для автоматизації процесу ідентифікації об'єктів для процесу сортування виробів.....	99

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Сучасне промислове виробництво в умовах Індустрії 4.0 вимагає наскрізної цифрової ідентифікації кожного виробу впродовж усього технологічного циклу. Технологія радіочастотної ідентифікації RFID посідає в цьому контексті особливе місце завдяки можливості безконтактного перезапису даних безпосередньо на транспондері виробу в режимі реального часу без переривання виробничого процесу. Попит на фахівців, здатних програмувати та інтегрувати RFID-системи у промислові контролери, стрімко зростає, однак переважна більшість вітчизняних закладів вищої освіти не має відповідного техніко-методичного забезпечення для практичної підготовки студентів у цій галузі.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та верифікація інженерної методики налаштування та програмного забезпечення для інтеграції технології RFID на базі фізичної моделі виробничої лінії FESTO MPS 403-1. Проєкт охоплює теоретичні засади ідентифікації об'єктів, конфігурування мережевої RFID-підсистеми через промисловий протокол PROFINET IO та програмування автоматизованої системи керування з використанням ПЛК Siemens SIMATIC S7-1512C-1 PN у середовищі TIA Portal мовою SCL.

Об'єктом дослідження є процес сортування виробів на фізичній моделі виробничої лінії FESTO MPS 403-1 з використанням технології RFID для ідентифікації та маршрутизації виробів між станціями.

Предметом дослідження є методи, алгоритми та засоби програмування RFID-системи на базі шлюзу TBEN-S2-2RFID-4DXP і транспондерів стандарту ISO 15693 у середовищі TIA Portal мовою SCL, а також покрокова структура побудови інженерного комплексу з пусконаладження та експлуатації зазначеного програмно-технічного комплексу.

					КНУ КРБ.151.26.05.00.ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП					
Розроб.		Демиденко Д.Є..								
Перевір.		Савицький О.І.								
Н. Контр.		Маринич І.А.			КНУ АКІТ-22					
Затверд.		Маринич І.А.								

Для досягнення мети визначено такі завдання: провести порівняльний аналіз технологій автоматичної ідентифікації об'єктів та обґрунтувати вибір RFID; дослідити архітектуру RFID-підсистеми стенду, карту адресації пам'яті та протоколи взаємодії між компонентами мережі; розробити керуючі функціональні блоки мовою SCL для реалізації базового циклу команд Inventory, Read та Write за стандартом ISO 15693; сформувати трирівневу структуру інженерного комплексу з інтеграції та введення систем ідентифікації в експлуатацію; провести верифікацію розробленого програмного забезпечення та створених експлуатаційних матеріалів на реальному промисловому обладнанні. У роботі застосовано методи системного та порівняльного аналізу, структурного програмування, експериментальний метод та метод декомпозиції і системного проєктування інженерних завдань на основі таксономії Блума.

Наукова новизна полягає у вперше розроблений комплексній інженерній методиці побудови програмно-технічного комплексу з програмування RFID-систем на базі обладнання Siemens та Turck, що послідовно поєднує теоретичний аналіз технологій ідентифікації, конфігурування мережевого шлюзу через PROFINET IO та алгоритмізацію повного циклу команд ISO 15693 мовою SCL.

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ, ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ КЕРУВАННЯ

1.1 Загальна характеристика серії навчальних фабрик FESTO MPS400

Серія навчальних фабрик Festo MPS 400 - це компактні модульні виробничі лінії для вивчення мехатроніки, автоматизації та технологій Industry 4.0. Вони базуються на індивідуальному потоці заготовок і складаються зі станцій (наприклад, Joining для з'єднання та Distributing для розподілу), оснащених конвеєрними модулями, RFID, IO-Link, пневматикою, сенсорами та контролерами Siemens S7-1500. Системи постачаються з повним комплектом аксесуарів, високою модульністю для створення ліній та фокусуються на практичних задачах: розпізнавання, сортування, вимірювання ваги/розміру, інтеграції ПоТ.

Всі вони дозволяють охоплюють: мережеве з'єднання станцій, контролерів та I/O через протоколи OPC UA, IO-Link, PROFINET, TCP-IP, Node-RED; програмування промислових сенсорних панелей та сучасних HMI (доповнена реальність, веб-інтерфейси); RFID, мережеві технології та IO-Link-датчики (лазерні, ультразвукові, ємнісні - їх переваги, адресація, інтерпретація, обслуговування); моделі ПоТ-ретрофітінгу з вебкамерою, малим комп'ютером та алгоритмами машинного навчання; виробництво продуктів за веб замовленнями; вакуумні/паралельні захвати (за наявності) та реконфігурацію систем.

Кожна зі станцій може бути у розширеній конфігурації Robotino забезпечує транспорт між виробничими зонами.

Навчальна фабрика MPS 402-1 від Festo Didactic слугує вступним рішенням для освоєння принципів Industry 4.0.

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Демиденко Д.Є..			РОЗДІЛ 1			Лім.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Савицький О. І								9	44
Н. Контр.		Маринич І.А.									
Затверд.		Маринич І.А.									
								КНУ АКІТ-22			

Вона поєднує модулі Distribute Pro та Sort Inline, пов'язані з MES-системою через RFID-пристрої та IO-Link-датчики, створюючи автономний конвеєрний комплекс. Версія MPS 402-1 R доповнена мобільним роботом Robotino для вивчення логістики та робототехніки у виробництві.

Виробничий цикл розпочинається з введення замовлення через зручний інтерфейс MES: деталі розділяються з трирівневих магазинів, маркуються RFID, сортуються за якістю чи специфікацією до жолобі.

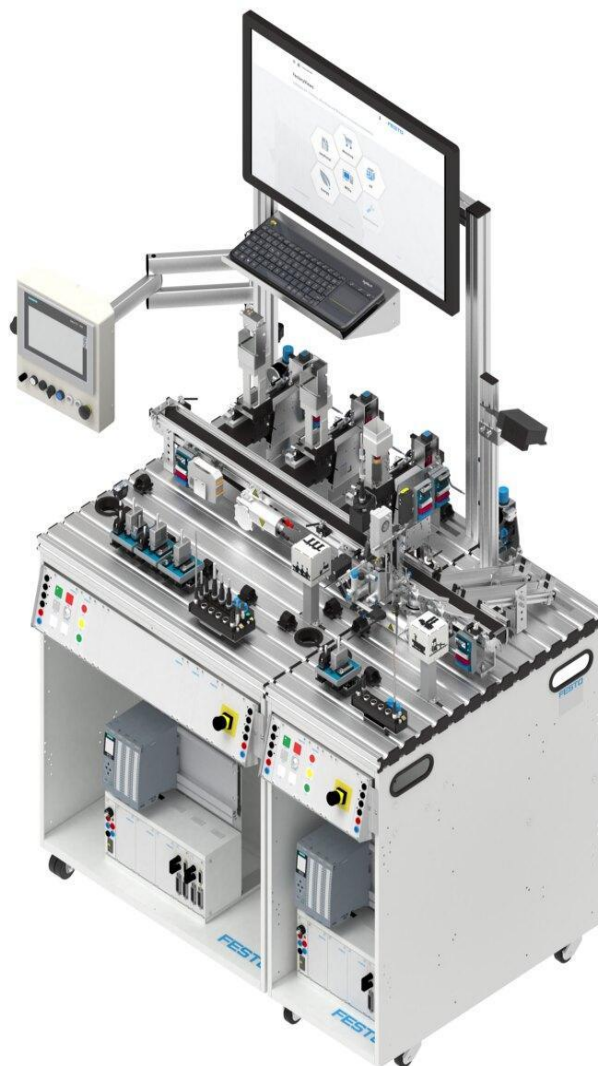


Рисунок 1.1 - Навчальна фабрика Festo MPS 402-1

Програмне забезпечення охоплює практичне застосування штучного інтелекту без глибокої теорії, а також керування сенсорними панелями з обробкою реального часу. Комплект включає цифровий симулятор, EasyPort-інтерфейс та FluidSIM для альтернативного керування через ПЛК чи віртуальне моделювання.

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Наступною в лінійці навчальних виробничих стендів є MPS 403-1, яка складається з модулів MPS 400: Distribution Pro (розподіл), Joining (з'єднання) та Sorting Inline (сортування), з'єднаних через MES, RFID-пристрої та датчики IO-Link.



Рисунок 1.2 - Навчальна фабрика Festo MPS 403-1

Процес починається з введення виробничого замовлення через інтуїтивний інтерфейс MES: перша станція (Distribution Pro) відокремлює заготовки з трьох контрольованих за рівнем штабелів і записує RFID-мітки; станція складання (Joining) читає мітку та, залежно від замовлення, додає простий верхній елемент або, після переобладнання, інтелектуальний мікроконтролер до бази; сортувальна станція (Sorting Inline) розподіляє заготовки на два жолоби за замовленням і контролем якості або передає далі.

Система також має IO-Link та OPC UA: переваги інтелектуальних датчиків над класичними, основи PROFINET для ключових протоколів автоматизації. Програмування панелей забезпечує відображення живих даних, керування та

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

взаємодію. IoT-ретрофітінг на базі комп'ютера та вебкамери відкриває бізнес-моделі з машинним навчанням у виробництві без складної теорії. Аксесуари включають цифрову симуляційну коробку, EasyPort-інтерфейс та FluidSIM для керування компонентами через PLC, симулятор чи софт.

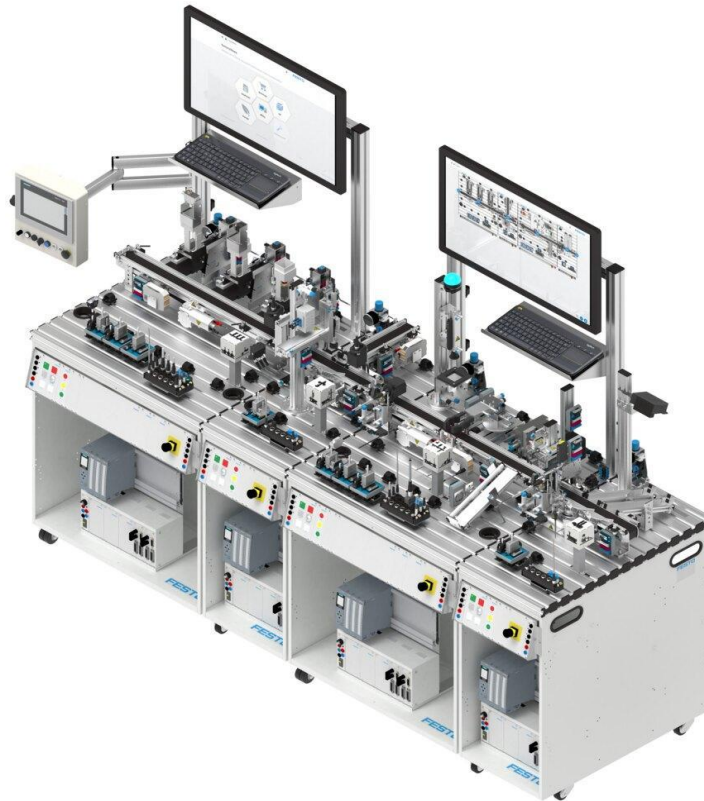


Рисунок 1.3 - Навчальна фабрика Festo MPS 404-1

Після MPS 403-1 далі в лінійці стоїть навчальна фабрика MPS 404-1 об'єднує модулі Distributing Pro, Joining, Measuring Pro та Sorting Inline у повноцінну автономну лінію виробництва, де деталі обробляються від розподілу до сортування з контролем якості. Процес запускається через зручний інтерфейс MES, де створюються замовлення: деталі з трьох контрольованих магазинів подаються на конвеєр, RFID позначається, а на станції збирання додається верхня кришка чи мікроконтролер залежно від специфікації. Вимірювальна станція з тактильним датчиком та тензодатчиком перевіряє висоту й вагу деталей, а сортувальна розподіляє їх на жолоби або передає далі, з можливістю інтеграції мобільного робота Robotino для транспорту між островами.

Система підтримує гнучке виробництво персоналізованих виробів за веб замовленнями, вакуумні та паралельні захвати для переобладнання, а також

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

статистичний контроль процесів на базі даних вимірювань. Це створює реальне середовище для опанування Industry 4.0 без повторення базових тем попередніх стендів

Як можна було помітити, всі навчальні стенди відрізняються лише кількістю станцій, у MPS 402-1 їх дві, у 403-1 три, у 404-1 чотири.

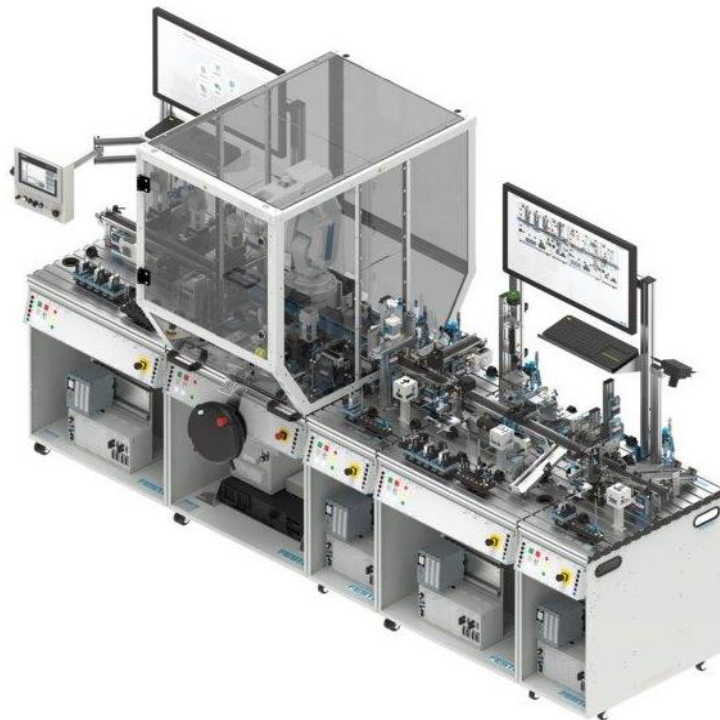


Рисунок 1.4 - Навчальна фабрика Festo MPS 405-1

І в нас залишається остання навчальна фабрика - MPS 405-1, що інтегрує модулі Distributing Pro, Robotino, Joining, Measurement Pro та Sorting Inline у єдину мережу з MES, RFID-мітками, HMI-панелями та датчиками IO-Link, створюючи повноцінну автономну систему для вивчення мехатроніки та Industry 4.0. Процес починається з введення замовлення через зручний інтерфейс MES: перша станція відокремлює заготовки з трьох контрольованих за рівнем накопичувачів і записує дані на RFID-теги. Далі роботична станція, керуючись замовленням, встановлює до двох вставок із трьох варіантів у корпус заготовки, з опцією верхньої кришки; станція з'єднання читає тег і монтує кришку чи мікроконтролер; Measure Pro вимірює висоту, рівень наповнення та вагу дотиковими методами, з транспортуванням поворотним механізмом; сортувальна станція спрямовує вироби на жолоби за критеріями якості та замовлення або передає далі.

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Система формує гнучкий шлях навчання від окремих модулів до повної фабрики, дозволяючи легко модифікувати мехатроніку в рамках проєктів без зовнішньої допомоги. Дидактичне ПЗ на базі MES спрощує складні софт-аспекти автоматизації, а документація розбиває теми на компактні блоки для гнучкого викладання. З Robotino як мобільним транспортером фабрика розділяється на острови виробництва (версія MPS 405-1 R)

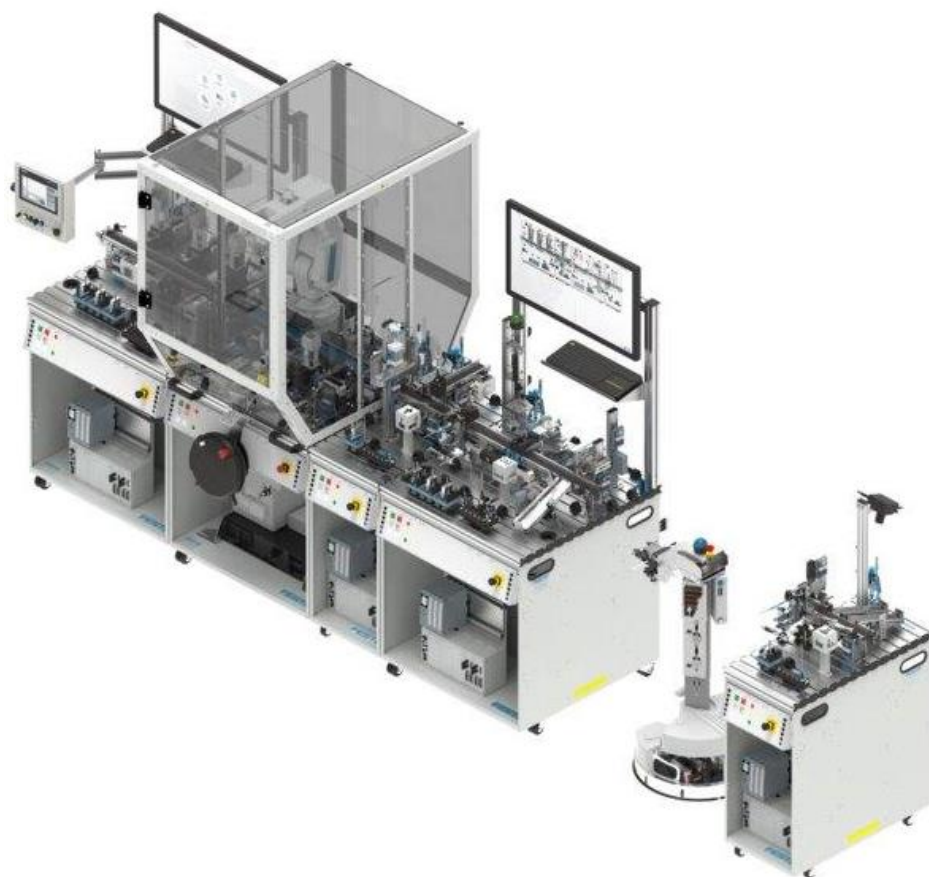


Рисунок 1.5 - Навчальна фабрика Festo MPS 405-1 R

1.2 Характеристика та структура технологічного процесу стенда MPS 403-1

Ми детальніше розглянемо саме цю конфігурацію стенда, оскільки саме вона дозволить в повній мірі дослідити можливості серії навчальних фабрики з застосування технології радіочастотної ідентифікації (RFID).

Першою ланкою виробничого процесу є станція розподілення - Distributing Pro, вона виконує функцію подачі та первинної RFID-ідентифікації виробів. Для

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

MPS System 403-1 станція оснащена трьома модулями стекових магазинів та конвеєрним модулем довжиною 700 мм. Включає IO-Link датчики для визначення рівня заповнення магазинів, кнопки деактивації окремих магазинів та RFID-модуль.

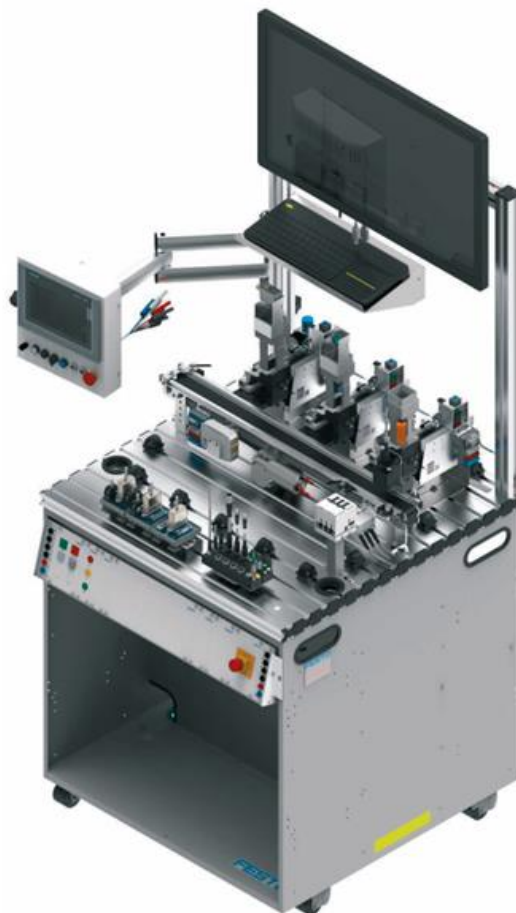


Рисунок 1.6 - Станція Distributing Pro

Після виштовхування корпусу виробу з магазину RFID-голівка записує на мітку виробу номер замовлення (ONo), номер позиції (OPos) та функції, що необхідно виконати.

Станція складання - Joining є другою ланкою виробничого процесу. Конвеєр доставляє виріб до точки вимірювання глибини отвору. Аналоговий дифузний датчик перевіряє положення виробу (0-10 В DC). Залежно від визначених властивостей, запускається процес з'єднання або заготовка пропускається через дефлектор. Заготовки необхідно транспортувати окремо, щоб вони не переплуталися та не погіршили процес з'єднання. Станція Joining поєднує функції обробки «інспекції» та «з'єднання». Функція інспекції призначає певні властивості

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різноорієнтованим заготовкам, збираючи дані (фактичні значення) та порівнюючи їх із заздалегідь визначеними значеннями (заданими).

Вироби з правильно орієнтованим отвором зупиняються електричним стопором, модуль Pick&Place встановлює кришку. Вироби з неправильною орієнтацією транспортуються без зупинки. RFID зчитує ONo/OPos та надсилає запит до MES-системи для визначення параметрів обробки.



Рисунок 1.7 - Станція Joining

Станція сортування - Sorting Inline є третьою та фінальною ланкою виробничого процесу і є основним ТОК даного проекту. Сортування є підконцепцією функції переміщення зі зміною кількості. Конвеєр обладнаний відгалуженнями для сортування виробів через відхилювачі. Вироби повинні рухатися по одному, щоб не заважати перемиканню відхилювачів.

У системі MPS 403-1 станція розширена RFID-модулем з регульованою висотою кріплення. Вироби сортуються відповідно до вмісту RFID-мітки. Якщо при контролі якості отримано негативний результат, вироби відсортовуються до відсіку браку.

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



Рисунок 1.8 - Станція Sorting Inline

Система MPS 403-1 обробляє виробничі замовлення, введені через MES-систему. У першій станції (Distributing Pro) на RFID-мітку виробу записуються ONo та OPos. Потім ці дані зчитуються в наступних станціях. Після зчитування надсилається запит з номера замовлення та номера позиції до центральної MES системи. MES надсилає параметри робочих кроків до станції.

Послідовність технологічного процесу (відповідно до операційної інструкції Festo Didactic 8129446):

- Введення виробничого замовлення в MES-комп'ютер;
- Натискання кнопки START на станції Distributing Pro;
- Виріб відповідного кольору подається з магазину;
- Конвеєр станції Distributing Pro вмикається, виріб зупиняється перед RFID-голівкою;
- На RFID-мітку записуються номер замовлення та номер позиції;
- Виріб передається до станції Joining;
- Станція Joining виявляє виріб та зчитує RFID-мітку;
- RFID-голівка Joining зчитує мітку, надсилає запит до MES;

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

- На основі відповіді MES визначається необхідність встановлення кришки;
- Виріб передається до станції Sorting Inline;
- Станція Sorting зчитує RFID-мітку та розподіляє виріб до відповідного лотка або до кінця конвеєра;

Таблиця 1.1 - Основні технологічні параметри

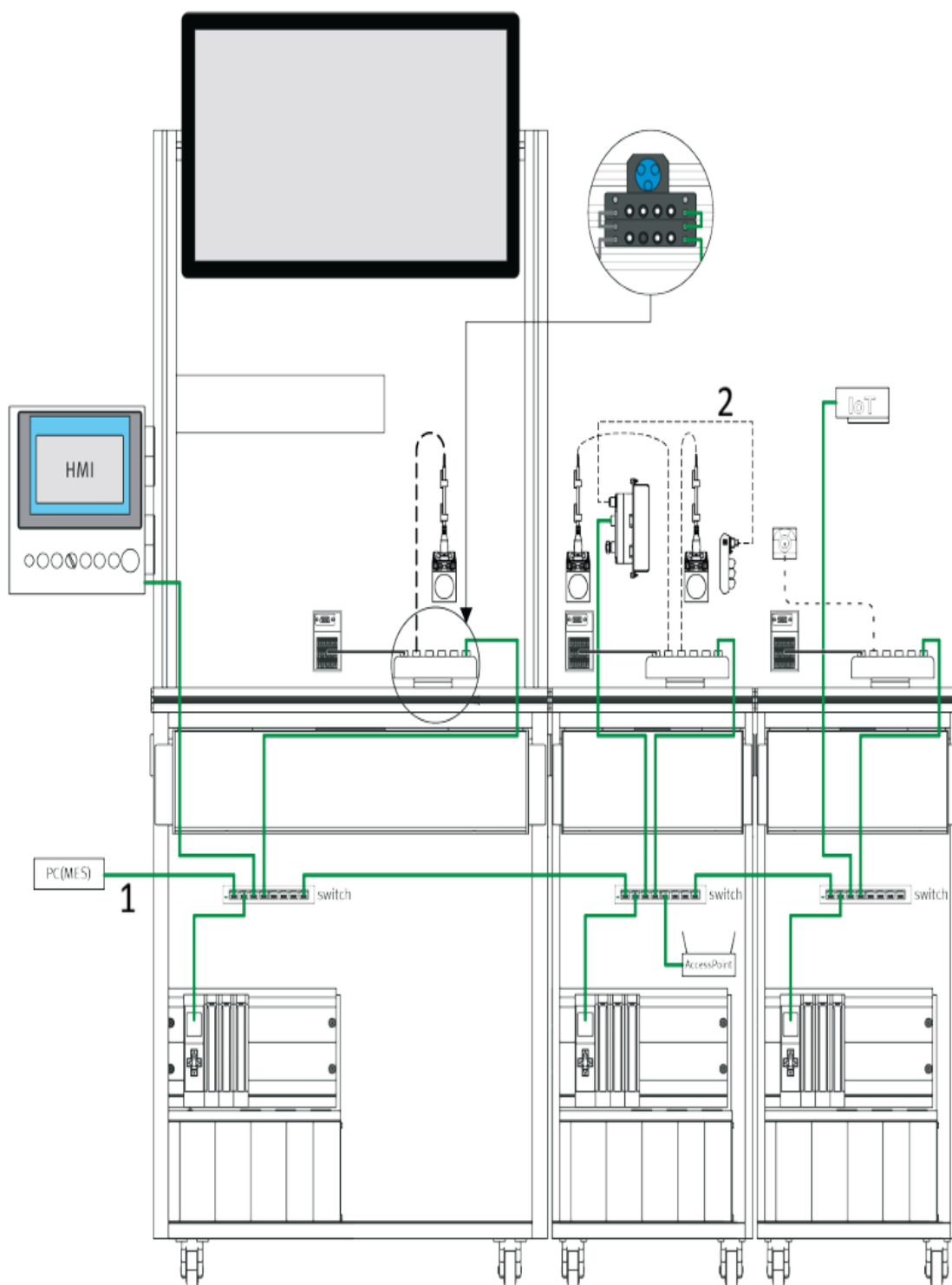
Параметр	Тип сигналу	Діапазон	Станція	Вплив відхилення
Тиск у пневмосистемі	Аналоговий	4-8 бар; ном. 6 бар	Всі	Збій подачі
Живлення ПЛК/Датчиків (24В)	Аналоговий	20,4-28,8 В DC	Всі	Відмова системи
Наявність виробу в магазині	Дискретний	0/1 (IO-link)	Distribut.	Зупинка подачі
Наявність виробу на конвеєрі	Дискретний	0/1	Всі	Порушення циклу
Глибина отвору виробу	Аналоговий	0-30 мм/0-10В	Joining	Помилка складання
Колір виробу	Дискретний	0/1(оптич. датчик)	Sorting	Помилка сортування
Матеріал виробу	Дискретний	0/1(індукт. датчик)	Sorting	Критична сортування

Параметр	Тип сигналу	Діапазон	Станція	Вплив відхилення
ID виробу /замовлення (RFID)	Цифровий PROFINET	Пакет даних	Всі	Критична помилка
Заповнення лотка	Дискретний	0/1 (рефлектор)	Sorting	Блокування лотка

1.3 Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування

Технологічний процес, реалізований у навчально-виробничій системі Festo MPS 403-1, являє собою модель гнучкої дискретної виробничої лінії з поштучним виробництвом. Система складається з трьох взаємопов'язаних станцій: Distributing Pro, Joining та Sorting Inline, що разом утворюють повний цикл виготовлення та сортування виробів. Об'єктом керування є сукупність технологічних операцій: подача заготовок з магазинів, ідентифікація та запис даних на RFID-носій, складання (встановлення кришки) та сортування готових виробів за матеріалом і кольором. Кожна операція виконується на окремій станції з власним програмованим логічним контролером (ПЛК) Siemens SIMATIC S7-1512C-1 PN, що забезпечує децентралізовану структуру керування.

Станція Distributing Pro виконує функцію живлення лінії. Три стекові магазини зберігають заготовки різного типу (чорні, червоні, металеві). Пневматичний циліндр подає по одній заготовці на конвеєр G1, де IO-Link датчики (оптичний OGD592, ультразвуковий KQ6003, ємнісний) здійснюють ідентифікацію матеріалу. Після ідентифікації модуль RFID TBEN-S2-2RFID-4DXP записує на мітку виробу інформацію: тип матеріалу, код замовлення, поточний стан обробки.



1 - Кабель PROFINET; 2- Лінія передачі даних RFID

Рисунок 1.9 - Схема мережевої структури ACK MPS 403-1: PROFINET та RFID-канали передачі даних

Станція Joining реалізує операцію складання. Виріб надходить на перший конвеєр, де аналоговий датчик SEN.604-41013 вимірює глибину отвору (0-10 В) для перевірки орієнтації заготовки. Зчитавши RFID-мітку, ПЛК перевіряє виробниче замовлення та вирішує, чи необхідно встановлювати кришку, які розміщені на

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

конвеєрі перпендикулярному конвеєру G2. Якщо так - пневматичний модуль Pick&Place з чотирма датчиками положення виконує складання, після чого виріб з оновленим записом на RFID-мітці передається на конвеєр G2.

Станція Sorting Inline здійснює фінальне сортування. Два послідовно розміщені датчики - оптичний ("не чорний") та індуктивний ("металевий") - визначають тип виробу. На основі цих сигналів і даних RFID ПЛК керує двома пневматичними відхилювачами: перший направляє чорні вироби до лотка Slide 1, другий - червоні до Slide 2, металеві вироби передаються далі (в умовний смітник).

Технологічний процес характеризується наступними особливостями як об'єкта керування:

- дискретний характер - вироби обробляються поштучно, що вимагає чіткої синхронізації роботи всіх виконавчих механізмів;
- багатоагрегатність - три ПЛК функціонують незалежно, обмінюючись даними через MES та RFID без прямого апаратного зв'язку між собою;
- параметрична гнучкість - тип і послідовність операцій визначаються замовленням, зчитаним з RFID-мітки виробу, що реалізує концепцію "цифрової пам'яті виробу";
- комбінована сенсорна підсистема - цифрові, аналогові та IO-Link датчики забезпечують контроль стану виробу на кожному етапі;
- реальний масштаб часу - цикл обробки одного виробу становить 15-30 секунд, що відповідає вимогам промислових конвеєрних систем;

Керуючі дії в системі поділяються на дискретні (вмикання/вимикання клапанів, двигунів, зупинка стопером) та безперервні (регулювання тиску пневматичного м'яза у Joining через пропорційний клапан). Збурювальні впливи включають: відсутність заготовок у магазині (контролюється датчиком рівня), неправильну орієнтацію виробу (датчик глибини), переповнення лотків (ретро-рефлексивні датчики), аварійну зупинку (E-Stop).

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Огляд існуючих рішень і методів керування та контролю

Сучасні гнучкі виробничі системи використовують ієрархічну структуру керування, де кожен рівень вирішує задачі відповідного масштабу часу та просторового охоплення. Аналіз літературних джерел та виробничої практики дозволяє виділити основні підходи до побудови систем автоматизації дискретного виробництва.

Програмовані логічні контролери (ПЛК), що програмуються відповідно до стандарту IEC 61131-3, є основним засобом реалізації логіки керування на рівні поля. Стандарт IEC 61131-3, прийнятий у 1993 р. та оновлений у 2013 р., визначає п'ять мов програмування ПЛК: LAD (Ladder Diagram), FBD (Function Block Diagram), ST (Structured Text), IL (Instruction List) та SFC (Sequential Function Chart). Застосування єдиного стандарту забезпечує переносимість коду між виробниками обладнання та скорочує витрати на навчання персоналу. Для координації роботи кількох ПЛК і управління виробничими замовленнями використовуються системи виконання виробництва (MES - Manufacturing Execution System). MES забезпечує маршрутизацію виробів між станціями, облік виробничих замовлень, збір даних про якість, звітність по OEE (Overall Equipment Effectiveness).

У системі MPS 403-1 роль MES виконує спеціалізоване програмне забезпечення MES4 від Festo, яке взаємодіє з ПЛК через протокол TCP/IP. На рівні між ПЛК і MES/SCADA ключову роль відіграє протокол OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture). На відміну від традиційних польових протоколів (PROFIBUS, Modbus), OPC UA є платформо-незалежним, підтримує наскрізне шифрування та аутентифікацію, забезпечує семантично збагачений обмін даними.

Стандарт IEC 62541 визначає OPC UA як де-факто стандарт для вертикальної інтеграції в контексті Індустрії 4.0. ПЛК S7-1512C-1 PN підтримує роботу одночасно як сервера OPC UA і вузла PROFINET, що дозволяє передавати діагностичні та технологічні дані безпосередньо до хмарних систем.

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Таблиця 1.2 - Методи та системи керування у MPS 403-1

Метод/система керування	Переваги	Недоліки	Застосування у MPS 403-1
ПЛК (S7-1512C)	Висока надійність, стандартизовані мови, повторне використання коду	Потребує кваліфікованого програміста	Основний засіб керування кожною станцією
Централізована MES (MES4)	Єдина точка керування, трасування виробів, управління замовленнями	Залежність від мережі, єдина точка відмови	Координація між станціями, управління виробничими замовленнями
Децентралізоване керування (IO Link, RFID)	Автономна робота кожної станції, масштабованість	Складніше налагодження	Передача даних виробу між станціями без центрального сервера
SCADA / HMI (Touch Panel TP700)	Візуалізація процесу, ручне керування	Не замінює ПЛК для реального часу	Оператор спостерігає за процесом на кожній станції
OPC UA (сервер на ПЛК)	Відкритий стандарт, вертикальна інтеграція до ERP	Не підходить для жорсткого реального часу	Передача даних у хмару, IoT-ретрофіт

Протокол PROFINET RT (Real-Time) є стандартом для комунікації між ПЛК та польовими пристроями на рівні поля. Він забезпечує детерміновану передачу даних з циклом оновлення 14 мс, що критично важливо для синхронізації роботи конвеєрних систем. У MPS 403-1 кожна станція підключена до окремого комутатора PROFINET, через який ПЛК взаємодіє з модулями RFID, IO-Link майстром та HMI-панеллю TP700. Технологія IO-Link (IEC 61131-9) реалізує двонаправлений цифровий зв'язок між ПЛК та "розумними" датчиками/виконавчими механізмами по звичайному 3-провідному кабелю M12. На відміну від аналогових і дискретних сигналів, IO-Link дозволяє передавати розширені дані вимірювань (наприклад, температуру корпусу датчика, лічильник спрацювань), здійснювати дистанційну параметризацію та автоматичне відновлення конфігурації при заміні датчика.

У системі MPS 403-1 IO-Link майстер TBEN-S2-4IOL підключає три інтелектуальних датчики (оптичний, ультразвуковий, ємнісний) до ПЛК станції Distributing Pro, передаючи дані через PROFINET.

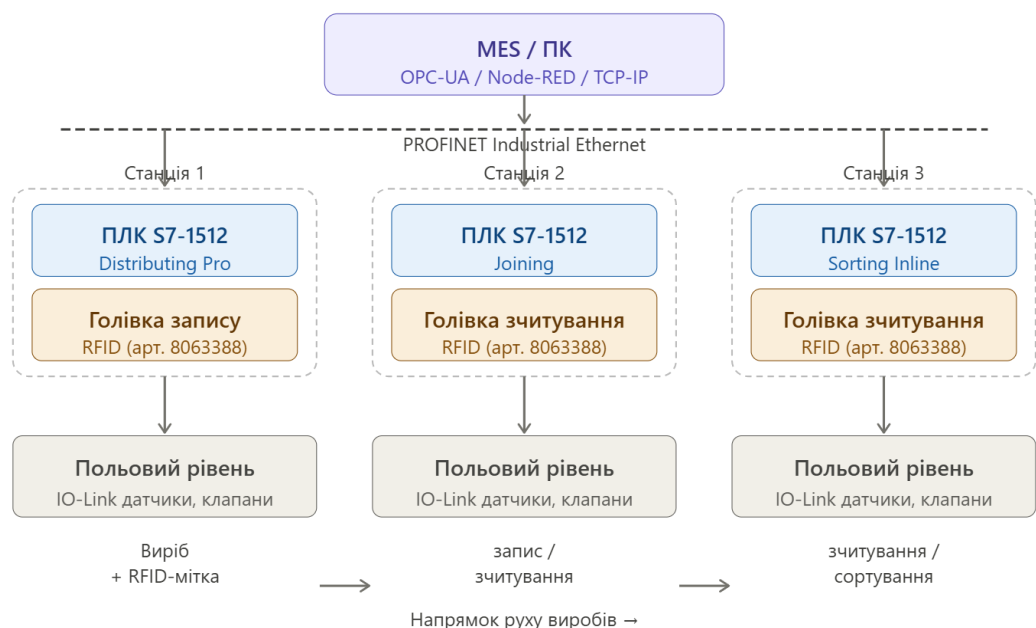


Рисунок 1.10 - Структурна схема прийнятої децентралізованої трирівневої АСК системи FESTO MPS 403-1

Децентралізована концепція керування, реалізована в MPS 403-1, відповідає сучасній тенденції до "туманних обчислень" у промисловій автоматизації. Кожна

станція має власний ПЛК і може функціонувати автономно навіть при відсутності зв'язку з MES. Це підвищує відмовостійкість системи в цілому та спрощує масштабування - додавання нових станцій не потребує зміни логіки вже налаштованих вузлів.

1.5 Застосування RFID у виробничих системах та концепція Product Memory

Концепція "цифрової пам'яті виробу" (Product Memory або Digital Product Memory) передбачає, що кожен виріб несе на собі або в собі повну інформацію про свою технологічну історію. RFID-мітка, закріплена на виробі або на транспортному носії (палеті), фактично є мобільним накопичувачем, доступним у будь-якій точці виробничої лінії без звернення до центрального сервера. Ця концепція є одним із ключових елементів архітектури Індустрії 4.0 і кіберфізичних виробничих систем (CPPS - Cyber-Physical Production Systems).

У системі MPS 403-1 концепція Product Memory реалізується через модуль TBEN S2-2RFID-4DXP виробництва Turck/Festo. Модуль підтримує протоколи PROFINET, EtherNet/IP та Modbus TCP, що забезпечує гнучкість інтеграції. Кожна станція оснащена двома голівками R/W типу TN-CK40-H11147 (робоча відстань 3050 мм, мітка 40×40 мм):

- станція Distributing Pro: перша голівка зчитує UID мітки при вході на конвеєр, друга записує дані замовлення та тип матеріалу після ідентифікації IO-Link датчиками;
- станція Joining: перша голівка зчитує тип виробу та вирішує, чи потрібне складання; друга - оновлює статус виробу після завершення операції;
- станція Sorting Inline: зчитувач підтверджує маршрут сортування відповідно до збережених даних, що усуває залежність від прямого зв'язку з MES у реальному часі;

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ</i>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3 - Загальна класифікація RFID-міток за методом живлення та застосуванням

Тип мітки	Спосіб живлення	Робоча частота (діапазон)	Призначення	Сфера використання
Активна	Вбудований акумулятор	400-960 МГц (> 10 м) 2,45/5,8 ГГц (> 100 м)	Високоточне відстеження периметра / геолокації, Картографування виробничих площ, Зберігання даних тощо	Виробництво, логістика Будівництво / гірничодобувні об'єкти, Армія, судноплавство, авіалінії
Пасивна	Електричне поле, яке створює антена зчитувача (рис.1.11)	125-135 кГц (< 0.5 м) 13,56 МГц (< 1 м) 400-960 МГц (< 10 м)	Контроль доступу, Запобігання крадіжкам, Відстеження об'єктів у малому радіусі	Сільське господарство, Безпека, пивоваріння, фармацевтика, охорона здоров'я тощо

Дослідження підтверджують, що впровадження RFID у логістику та виробництво скорочує час пошуку виробу на складі на 25-35%, зменшує кількість помилок маркування на 40% та дозволяє реалізувати повну прослідковуваність (traceability) з точністю до кожного виробу.

В контексті MPS 403-1, оскільки вироби виготовляються згідно з індивідуальними замовленнями через веб-інтерфейс MES, RFID є єдиним засобом надійного зіставлення фізичного виробу та його цифрового двійника протягом усього виробничого циклу.

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

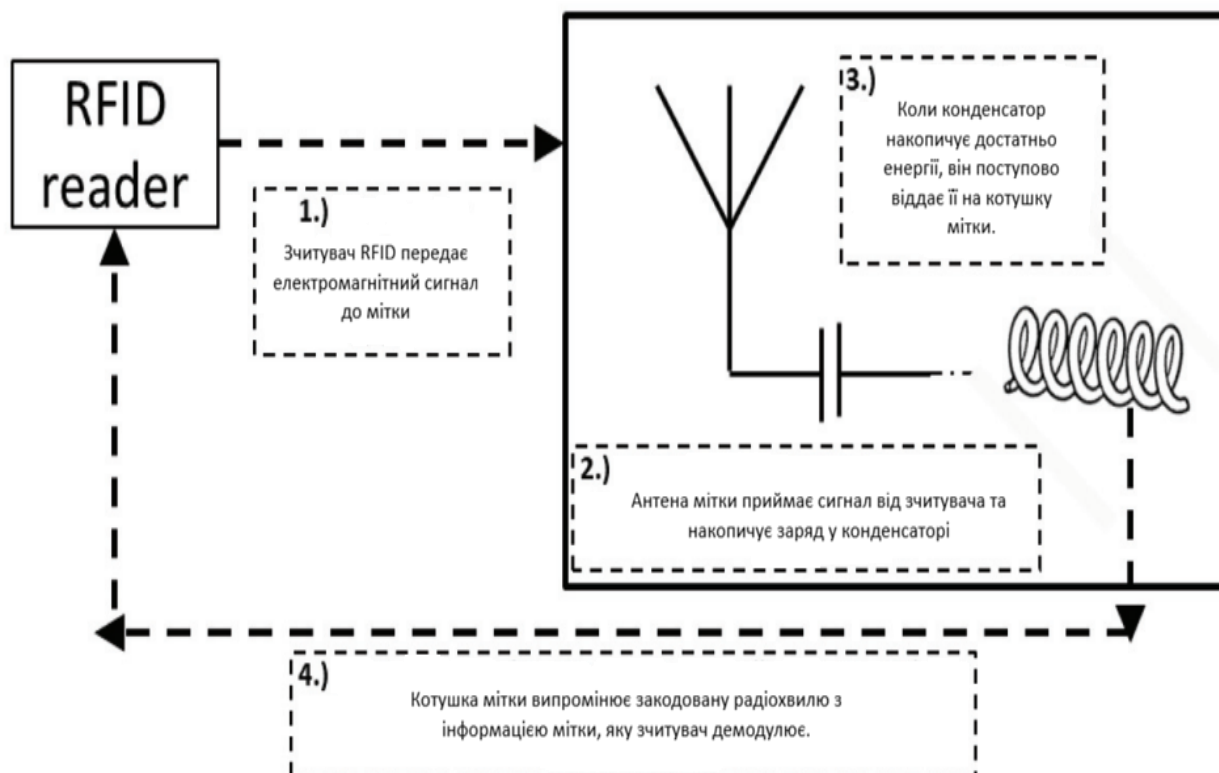


Рисунок 1.11 - Зчитування даних із активної RFID-мітки

Важливою перевагою використання RFID у порівнянні з QR-кодами або штрих кодами є можливість перезапису даних на мітці. Це дозволяє реалізувати динамічне оновлення маршруту виробу: якщо на станції Joining виявлено дефект (неправильна орієнтація, недостатня глибина отвору), ПЛК може записати відповідний статус на мітку, і станція Sorting автоматично направить виріб до окремого лотка без залучення MES.

1.6 Галузі застосування та умови експлуатації системи

Навчально-виробнича система MPS 403-1 розроблена як масштабована модель реального гнучкого виробничого середовища. Технічні рішення, реалізовані в ній - децентралізоване ПЛК-керування, RFID-трасування, IO-Link сенсорики, MES-інтеграція - відповідають поточному стану промислової автоматизації і знаходять пряме застосування у різних галузях.

Таблиця 1.4 - Галузі застосування та відповідні аналоги технологій Festo MPS 403-1 у промисловості

Сфера використання	Приклади та пояснення	Реальне промислове обладнання / процеси
Комерція та роздріб	Відстеження запасів і товарів, інтеграція самостійної оплати, допомога у логістиці магазинів	Автоматизовані системи ідентифікації товарів на складі/магазині, RFID-сортувальні канали на логістичних лініях
Контроль доступу	Ідентифікація персоналу або транспорту без фізичного контакту	RFID-контролери входу в будівлі, системи контролю доступу (персональні бейджі, RFID турнікети)
Транспорт і логістика	Відстеження контейнерів, моніторинг рухів вантажів	Інтелектуальні конвеєрні системи, автоматичні сортувальні лінії, RFID логістичні вузли
Паспорти та подорожі	Безконтактні чіпи в закордонних паспортах	Електронні паспорти з RFID - стандарт ISO/IEC 14443 (читання на кордоні)
Оплата проїзду і паркування	RFID-карти для громадського транспорту / паркінгу	Системи безконтактної оплати (e-ticketing), турнікети, ультрочастотні зчитувачі
Сільське господарство та тваринництво	Ідентифікація тварин, облік у фермерських господарствах	RFID-мітки для тварин (LF/PIT чіпи), системи контролю здоров'я та переміщень

Сфера використання	Приклади та пояснення	Реальне промислове обладнання / процеси
Медицина та лікарні	Облік медобладнання, пацієнтів, ліків	Медичні консольні RFID-стенди, RFID-маркування обладнання у відділеннях
Бібліотеки та музеї	Автоматизація видачі/повернення матеріалів	RFID-системи самообслуговування, автоматичні візки для транспортування
Спорт та активності	Вимірювання часу на змаганнях	RFID-трасові системи з матами та датчиками для фіксації проходу
Телеметрія та датчики	Передача даних про температуру, вібрацію, прискорення	RFID-мітки із вбудованими сенсорами, промислові системи моніторингу стану

Умови експлуатації системи MPS 403-1 визначаються її навчальним призначенням та конструктивним виконанням. Відповідно до технічної документації Festo (TN 8129394, TN 8129125, TN 8129438), система розрахована на:

- робочий тиск пневматики: 600 кПа (6 бар), підключення через фільтр регулятор тиску з відсічним клапаном;
- напруга живлення: 24 В постійного струму, споживаний струм - до 4,5 А на станцію; введення живлення через блок живлення EduTrainer з захистом від КЗ;
- температурний діапазон експлуатації: +10...+40 °С, відносна вологість до 70% без конденсації - відповідає умовам навчальної лабораторії та легкого промислового цеху;

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

- ступінь захисту сенсорів від зовнішнього впливу: IP67 (датчики FD#8161467, RFID-голівки TN-CK40), що допускає вологе прибирання та роботу в умовах легкого запилення;

- мережевий інтерфейс: Ethernet 100 Мбіт/с (PROFINET), підключення до локальної мережі навчального закладу або ізольованої виробничої мережі;

- розміри та маса: кожна станція на візку розміром 700×350×750 мм, маса до 40 кг - допускає переміщення у межах лабораторного приміщення без спеціальних вантажних засобів;

Безпека системи забезпечується наявністю аварійного зупинника (E-Stop SG1 MOE.Q25PV) на кожній станції, який при активації знеструмлює всі виконавчі механізми через ланцюг безпеки, підключений до входів I1.5 ПЛК.

Схема безпеки виконана відповідно до вимог директиви ЄС 2006/42/ЄС (Machinery Directive) та стандарту EN ISO 13849-1 щодо функціональної безпеки систем керування. Модульність конструкції MPS 403-1 дозволяє адаптувати систему до конкретних навчальних потреб: станції можуть функціонувати як автономно (з окремим ПЛК і щитом оператора), так і у складі інтегрованої лінії під керуванням MES. Можливе розширення системи додатковими модулями: роботизованим вузлом складання (MPS Robot Station), мобільним роботом Robotino для міжстанційного транспортування, CP Factory для реалізації повноцінної навчальної фабрики Індустрії 4.0.

1.7 Апаратне забезпечення системи керування

Система FESTO MPS 403-1 оснащена комплексом промислових датчиків та виконавчих пристроїв виробництва Festo AG & Co. KG (Німеччина). У цьому підрозділі наведено технічний опис ключових сенсорних елементів, що застосовуються на трьох станціях лінії - Distributing, Joining та Sorting Inline. Для кожного пристрою наведено короткий функціональний опис, фото та таблиця з основними технічними характеристиками.

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Датчик наближення SME-8-K-LED-24 (Festo 150855) - це магнітний Reed-вимикач, призначений для контролю положення поршнів пневматичних циліндрів з Т-подібним пазом. Принцип роботи ґрунтується на зміщенні феромагнітного якоря Reed-контакту під дією магнітного поля постійного магніту, вбудованого у поршень циліндра. Датчик встановлюється безпосередньо у Т-паз профілю циліндра та фіксується затискним гвинтом з моментом 0,2 Н·м.

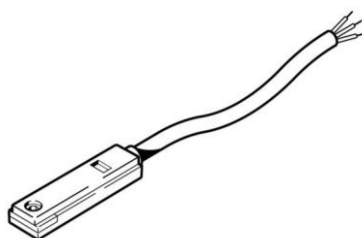


Рисунок 1.12 - Датчик наближення SME-8-K-LED-24

Таблиця 1.5 - Технічні характеристики SME-8-K-LED-24

Характеристика	Значення
Принцип вимірювання	Магнітний Reed-контакт
Тип установки	Т-подібний паз (T-slot)
Діапазон робочих температур	-40 ... +60 °C
Час вмикання / вимикання	≤ 0,5 мс / 0,03 мс
Максимальна частота перемикань	800 Гц
Максимальний струм навантаження	500 мА
Максимальна потужність (АС / DC)	10 ВА / 10 Вт
Діапазон живлення (АС / DC)	12 ... 30 В
Ступінь захисту	IP65 / IP67

Датчик тиску SDE5-V1-O-Q6-P-M8 (Festo 527458) - це п'єзореzystивний датчик відносного тиску, спеціально розроблений для вимірювання вакууму у пневматичних системах з вакуумними захватами. Діапазон вимірювання становить від 0 до -1 бар (повний вакуум).



Рисунок 1.13 - Датчик тиску SDE5-V1-O-Q6-P-M8

Таблиця 1.6 - Технічні характеристики SDE5-V1-O-Q6-P-M8

Характеристика	Значення
Вимірювана величина	Відносний тиск (вакуум)
Діапазон вимірювання	0 ... -1 бар
Температура середовища / навколишнього середовища	0 ... +50 °C
Максимальний вихідний струм	100 мА
Захист від короткого замикання	Так
Електричне підключення	Роз'єм M8×1, 3 контакти
Діапазон живлення	DC 15 ... 30 В
Ступінь захисту	IP40

Перетворювач використовує п'єзореzystивний сенсорний елемент, де деформація мікромембрани під дією різниці тисків змінює електричний опір плівкових резисторів, вбудованих у кристал кремнію. Вихідний сигнал -

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

дискретний PNP-транзисторний (нормально розімкнений), що видається при досягненні заданого порогового значення вакууму. Поріг спрацювання регулюється у діапазоні 0–100% від кінця шкали.

Датчик відстані SOEG-RTD-Q20-PP-S-2L-TI (Festo 537757) - це оптоелектронний дифузний датчик відстані блокового виконання, що забезпечує вимірювання в діапазоні 20-80 мм. Принцип роботи ґрунтується на вимірюванні часу прольоту або фазового зсуву відбитого від об'єкту червоного лазерного (світлодіодного) пучка. Датчик має одночасно два виходи: аналоговий 0–10 В для безперервного вимірювання відстані з роздільною здатністю 0,5 мм та дискретний PNP-вихід з функцією Teach-In для налаштування порогу безпосередньо на об'єкті. Розмір датчика 20×32×12 мм дозволяє компактно інтегрувати його у вузькі простори конструкцій.



Рисунок 1.14 - Датчик відстані SOEG-RTD-Q20-PP-S-2L-TI

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Таблиця 1.6 - Технічні характеристики SOEG-RTD-Q20-PP-S-2L-TI

Характеристика	Значення
Принцип вимірювання	Оптоелектронний, дифузний дальномір
Діапазон вимірювання	20 ... 80 мм
Роздільна здатність	0,5 мм
Максимальна частота перемикачів (цифровий)	200 Гц
Максимальний вихідний струм	100 мА
Налаштування	Teach-In (електричне)
Температурний діапазон	0 ... +60 °C
Діапазон живлення	DC 15 ... 30 В
Ступінь захисту	IP67



Рисунок 1.15 – Індуктивний датчик наближення SIEN-M8NB-PS-S-L

Індуктивний датчик наближення SIEN-M8NB-PS-S-L (Festo 150395) - це безконтактний перемикач стандартного типу у циліндричному корпусі М8, що виявляє металеві об'єкти за принципом електромагнітної індукції. Внутрішній генератор датчика утворює знакозмінне електромагнітне поле, яке при наближенні

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

металевого об'єкта зазнає загасання через вихрові струми. Схема аналізу реєструє ослаблення поля і перемикає вихід.

Таблиця 1.7– Технічні характеристики SIEN-M8NB-PS-S-L

Характеристика	Значення
Принцип вимірювання	Індуктивний (вихрові струми)
Номінальна відстань спрацювання	2,5 мм
Гарантована відстань спрацювання	2,03 мм
Коефіцієнт редукції: алюміній / нерж. сталь / мідь / латунь	0,25 / 0,7 / 0,2 / 0,35
Максимальна частота перемикань	3 000 Гц
Гістерезис	≤ 0,12 мм
Максимальний вихідний струм	200 мА
Діапазон живлення	DC 10 ... 30 В
Ступінь захисту	IP65 / IP67

Вилкоподібна світлова завіса SOOF-P-FL-ST-C50-P (Festo 553563) - це оптоелектронний датчик U-подібної конструкції, де передавач і приймач розташовані у гілках вилки, що утворюють оптичний канал шириною 50 мм. Принцип роботи: при перетині оптичного каналу будь-яким непрозорим об'єктом сигнал на приймачі зникає, і вихід перемикається. Мінімальний діаметр виявленого об'єкта становить усього 0,3 мм, що забезпечує виявлення навіть тонких деталей або ниток. Висока точність відтворюваності (0,03 мм) і максимальна частота перемикань 2 000 Гц роблять датчик придатним для задач підрахунку та позиціонування на швидких конвеєрних лініях.



Рисунок 1.16 - Вилкоподібна світлова завіса SOOF-P-FL-ST-C50-P

Таблиця 1.8 - Технічні характеристики SOOF-P-FL-ST-C50-P

Характеристика	Значення
Принцип вимірювання	Оптоелектронний, вилкова бар'єрна завіса
Ширина вилки (оптичний канал)	50 мм
Тип світла	Червоний
Електричне підключення	Роз'єм M8×1, 3 контакти
Максимальна частота перемикачів	3 000 Гц
Гістерезис	$\leq 0,25$ мм
Максимальний вихідний струм	100 мА
Діапазон живлення	DC 10 ... 30 В
Ступінь захисту	IP67

Датчик-підсилювач SOEG-L-Q30-PA-S-2L (Festo 165327) - це оптоелектронний сенсор блочного виконання (30×15×30 мм), розроблений для роботи у парі з полімерними волоконними кабелями серії SOEZ-LLK. Пристрій

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

інтегрує у єдиному корпусі джерело (передавач) та приймач червоного світла (довжина хвилі відповідає класу видимого випромінювання). Підключення волоконного кабелю забезпечує передачу світла у важкодоступні місця конструкцій, де розміщення стандартного датчика неможливе.

Волоконний кабель SOEZ-LLK-RT-2,0-M6 (Festo 165358, захист IP65, різьба М6, довжина 2 м) використовується разом із підсилювачем SOEG-L-Q30-PA-S-2L для детектування наявності деталей у вузьких магазинах-стопках станції Distributing, де пряме встановлення корпусних датчиків обмежене конструктивно.

Для роботи у режимі наскрізної світлової завіси замість кабелю SOEZ-LLK-RT застосовується кабель SOEZ-LLK-SE-2,0-M4 (Festo 165360, різьба М4, довжина 2 м), який має два роздільні наконечники - для передавача та приймача відповідно.



Рисунок 1.17 - Датчик-підсилювач SOEG-L-Q30-PA-S-2L з волоконним кабелем SOEZ LLK-RT-2,0-M6

Таблиця 1.9 - Технічні характеристики SOEG-L-Q30-PA-S-2L

Характеристика	Значення
Принцип вимірювання	Оптоелектронний, для волоконної оптики
Ширина вилки (оптичний канал)	50 мм
Максимальна дальність виявлення	120 мм

Характеристика	Значення
Електричне підключення	Роз'єм М8×1, 4 контакти
Максимальна частота перемикачів	1000 Гц
Температурний діапазон	-5 ... +55 °С
Максимальний вихідний струм	200 мА
Діапазон живлення	DC 10 ... 30 В (ном. 24 В)
Регулювання чутливості	Є (потенціометр)

Таблиця 1.10 - Технічні характеристики волоконного кабелю SOEZ-LLK-RT-2,0-M6

Характеристика	Значення
Тип кабелю	Полімерний світловод
Тип світла	Червоний
Функція при спрацюванні	Відбивний (дифузний)
Максимальна дальність виявлення	120 мм
Різьба наконечника	М6, зовнішня
Температурний діапазон	-40 ... +70 °С
Гістерезис	≤ 0,25 мм
Ступінь захисту	IP65

RFID-модуль (RFID kit) у складі системи MPS 403-1 (Festo 8063388 / 8063437 / 8063850) побудований на базі компонентів TURCK BL ident і включає три елементи: шлюз (gateway) з інтерфейсами PROFINET/IO та зв'язком з ПЛК, RFID-зчитувач/записувач (головку), що кріпиться на регульованому кронштейні над конвейером, та пасивні ультрачастотні мітки у вигляді дисків, що закріплюються на дні кожного виробу.



Рисунок 1.18 - RFID модуль (RFID kit) Festo MPS 403-1

Шлюз підключається до локальної мережі через порт Ethernet 100 Мбіт/с і виконує роль проміжного пристрою між RFID-підсистемою і ПЛК. Дані зчитуються або записуються автоматично при проходженні виробу під головкою зчитувача з мінімальною затримкою. Функціонально RFID-мітка виробу слугує «цифровою пам'яттю» і зберігає унікальний ідентифікатор виробу (ONo/OPos), параметри обробки, передані MES системою, та результати вимірювань (тип, висота).

Кожна зі станцій MPS 403-1 - Distributing, Joining та Sorting Inline - оснащена власним зчитувачем, що дозволяє незалежно ідентифікувати виріб без прямого зв'язку між ПЛК станцій у реальному часі.

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39



Рисунок 1.19 - RFID головка зчитування/запису

Таблиця 1.11 - Технічні характеристики RFID головки зчитування/запису

Характеристика	Значення
Виробник базових компонентів	TURCK BL ident
Мережевий інтерфейс шлюзу	PROFINET IO, Ethernet 100 Мбіт/с
Напруга живлення	24 В DC
Тип міток	Пасивні (живляться полем зчитувача)
Протокол обміну з ПЛК	PROFINET (через шлюз)
Ступінь захисту зчитувача та мітки	IP67
Запис/зчитування	Автоматично при проходженні виробу
Збережені параметри	ONo, OPoS, тип деталі, результати вимірювань

Фотоелектричний IO-Link датчик відстані IFM OGD592 виробництва ifm electronic є компактним оптичним вимірювальним пристроєм класу 1 за класифікацією лазерної безпеки (EN/IEC 60825-1). Датчик використовує лазерний

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

діод як джерело світла, що дозволяє формувати чітку світлову пляму і з високою точністю виявляти навіть дрібні об'єкти. Принцип дії ґрунтується на вимірюванні відстані до об'єкта за допомогою тріангуляції відбитого лазерного пучка. Датчик безперервно генерує два вихідних значення: виміряну відстань (первинний параметр процесу) та коефіцієнт відбиття поверхні об'єкта, що додатково використовується для моніторингу забруднення оптики. У системі MPS 403-1 датчик OGD592 встановлено на станції Distributing Pro і підключено до IO-Link майстра TBEN-S2-4IOL за стандартом IEC 61131-9. Через IO-Link передаються як аналогові значення відстані, так і розширена діагностична інформація - температура корпусу та лічильник спрацювань.



Рисунок 1.20 - Фотоелектричний IO-Link датчик глибини IFM OGD592

Таблиця 1.12 - Технічні характеристики IFM OGD592

Характеристика	Значення
Виробник / модель	ifm electronic / OGD592
Діапазон вимірювання	25...330 мм
Принцип вимірювання	Лазерна тріангуляція (клас 1, видиме світло)
Напруга живлення	18...36 В DC
Струм споживання	≤ 80 мА

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Характеристика	Значення
Протокол обміну з ПЛК	PROFINET (через шлюз)
Ступінь захисту зчитувача та мітки	IP67
Час реакції	≤ 2 мс (SIO-режим)
Ступінь захисту	IP 67 (за EN 60529)
Діапазон температур	$-25 \dots +60$ °C (зберігання: $-40 \dots +85$ °C)

Ємнісний IO-Link датчик серії efector 150 (KQ6) виробництва ifm electronic призначений для безконтактного виявлення металів, більшості пластиків, скла, кераміки, дерева, паперу, масел, жирів та рідин - тобто практично будь-якого матеріалу, що має відмінну від повітря діелектричну проникність. Датчик може застосовуватися як датчик наближення, так і датчик рівня в непровідних ємностях (вимірювання крізь стінку резервуара). Принцип роботи полягає у вимірюванні зміни ємності між активною поверхнею датчика та об'єктом виявлення або між двома електродами.



Рисунок 1.21 - Ємнісний IO-Link датчик IFM KQ6005 (efector 150)

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

В системі MPS 403-1 ємнісний датчик встановлено на станції Distributing Pro разом із оптичним і ультразвуковим датчиками та підключено до IO-Link майстра TBEN-S2-4IOL. Датчик виявляє наявність заготовки відповідного матеріалу (наприклад пластикової або металевої деталі) і передає дискретний сигнал до ПЛК S7-1512 через PROFINET. Чутливість регулюється вбудованими кнопками безпосередньо на місці встановлення.

Таблиця 1.13 - Технічні характеристики IFM KQ6005 (efector 150 KQ6)

Характеристика	Значення
Виробник / модель	ifm electronic / efector 150 / KQ6005
Вихідна функція	PNP, нормально відкритий або нормально закритий (програмується)
Напруга живлення	10...36 В DC
Струм споживання (без нав.)	≤ 25 мА
Ступінь захисту	IP 67 (EN 60529)
Діапазон температур	-25...+70 °C
Матеріал активної поверхні	PBT (термопласт)
Сумісні матеріали виявлення	Метали, пластики, скло, кераміка, рідини, дерево, папір

Ультразвуковий IO-Link датчик UC250-F77-EP-IO-V31 виробництва компанії Pepperl+Fuchs призначений для безконтактного вимірювання відстані та виявлення об'єктів за принципом луна-імпульсу. Датчик випромінює ультразвуковий імпульс частотою близько 400 кГц, який відбивається від об'єкта і повертається до приймача; за виміряним часом поширення звуку обчислюється

відстань. Метод є незалежним від кольору, прозорості та текстури поверхні - детектуються тверді тіла, сипучі матеріали, порошки та рідини.



Рисунок 1.22 - Ультразвуковий IO-Link датчик UC250-F77-EP-IO-V31

Таблиця 1.14- Технічні характеристики UC250-F77-EP-IO-V31

Характеристика	Значення
Діапазон вимірювання	20 ... 250 мм
Частота перетворювача	~400 кГц
Напруга живлення	10 ... 30 В DC
Струм споживання	≤ 40 мА
Ступінь захисту	IP 67 (EN 60529)
Робоча температура	-25...+70 °C
Температура зберігання	-40 ... +85 °C
Час відгуку	мін. 8 мс; заводська установка 29 мс
Температурна похибка	≤ ±0,75% (з компенсацією температури)
Інтерфейс	IO-Link 1.1, COM2 (38,4 кбіт/с)
Мінімальний час циклу IO-Link	2,3 мс

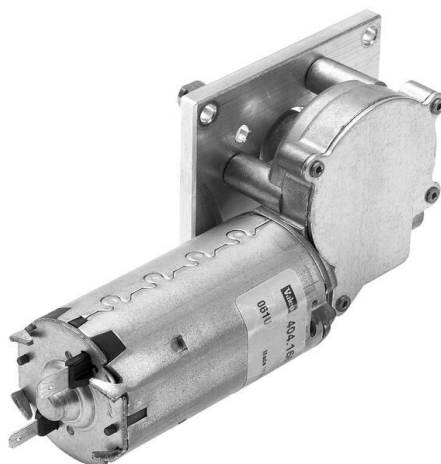


Рисунок 1.23 - Мотор-редуктор постійного струму Festo 374134

Мотор-редуктор Festo 374134 є компактным електромеханічним приводом постійного струму напругою 24 В, що використовується на конвеєрних секціях навчальної фабрики Festo MPS 403-1 для транспортування заготовок між станціями.

Таблиця 1.15- Технічні характеристики мотор-редуктора Festo 374134

Характеристика	Значення
Виробник / артикул	Festo Didactic / 374134
Номінальний струм	1,5 А
Напруга живлення	24 В DC
Швидкість вихідного валу	65 об/хв
Номінальний момент оберту	1 Нм
Реверс обертання	Так
Тип підключення	2 плоских штекери
Кріплення	3 гвинти М5 через корпус редуктора

Двигун жорстко з'єднаний з редуктором - їхні осі розташовані взаємно перпендикулярно, що забезпечує компактні габарити. Кріплення здійснюється трьома гвинтами М5 через корпус редуктора. Електричне підключення виконується через два плоских штекери. Реверс обертання реалізується зміною полярності напруги живлення, яку керує контролер двигуна Festo 8064284.

Контролер двигуна постійного струму Festo 8064284 (DC Motor Controller) є модульним пристроєм керування для щіткових двигунів постійного струму з налаштуваним захистом від перевантаження за струмом. Пристрій монтується на DIN рейку 35 мм і має ширину 22,5 мм, що дозволяє компактно розміщувати його в щиті оператора MPS 403-1. Контролер підтримує два режими задання швидкості: внутрішній - від вбудованого потенціометра TR3, та зовнішній - від аналогового входу (0...10 В, клема 6).

Функція повільного ходу зменшує швидкість вдвічі від заданого значення при активованому вході клеми 4. Захисні функції включають захист від перевантаження за струмом з регульованим порогом (TR2) та часом витримки (TR1), захист від короткого замикання і виявлення кінцевих вимикачів. Функція швидкої зупинки активується одночасною подачею сигналу на обидва входи напрямку - при цьому обмотка двигуна з'єднується з GND на обох клеммах, що забезпечує гальмування за допомогою короткого замикання обмотки.



Рисунок 1.24 - Контролер двигуна постійного струму Festo 8064284

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Таблиця 1.16- Технічні характеристики мотор-редуктора Festo 374134

Характеристика	Значення
Виробник / артикул	Festo Didactic / 8064284
Номінальна напруга живлення	24 В DC $\pm 10\%$ (SELV/PELV)
Струм споживання (холостий хід)	50 мА
Логічний рівень «1» на вході	65 об/хв
Номінальний момент оберту	10...24 В DC
Логічний рівень «0» на вході	Так
Тип підключення	0...4 В DC
Аналоговий вхід задання швидкості	0...10 В DC, 24 В-толерантний, вх. опір ~ 100 кОм
Температура навколишнього середовища	5...40 °C
Вологість повітря	до 95 % (без конденсату)
Монтаж	DIN-рейка 35 мм
Вихід "Готовий до роботи"	High-актив, 24 В, 0,7 А, захищений від КЗ

1.8 Задачі і функції системи керування сортуванням виробів

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та верифікація програмно-технічного комплексу та інженерної методики інтеграції технології RFID на базі фізичної моделі виробничої сортувальної лінії FESTO MPS 403-1. Проєкт охоплює теоретичні засади ідентифікації об'єктів, практику роботи з RFID у виробничому

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

процесі та програмування системи керування з використанням ПЛК Siemens SIMATIC S7-1512C-1 PN у середовищі TIA Portal.

Система керування сортуванням виробів на стенді MPS 403-1 має трирівневу ієрархічну структуру:

- нижній рівень - виконавчі механізми та сенсорна підсистема кожної зі станцій: пневматичні циліндри, конвеєрні двигуни, оптичні, індуктивні, ємнісні та ультразвукові датчики, а також RFID-зчитувачі/записувачі;
- середній рівень - три децентралізовані ПЛК Siemens SIMATIC S7-1512C-1 PN, кожен з яких автономно керує відповідною станцією;
- верхній рівень - MES-система MES4 від Festo, що здійснює координацію виробничих замовлень та маршрутизацію між станціями;

Ступінь централізації є низьким: кожна станція здатна функціонувати автономно навіть за відсутності зв'язку з MES завдяки зберіганню даних замовлення безпосередньо на RFID-мітці виробу.

Інформаційний обмін між компонентами системи здійснюється через кілька протоколів:

- PROFINET IO RT з циклом оновлення 14 мс - між ПЛК та RFID-шлюзом TBEN-S2-2RFID-4DXP, забезпечує детерміновану передачу даних у реальному часі;
- IO-Link (IEC 61131-9) через майстер TBEN-S2-4IOL - між ПЛК та інтелектуальними датчиками;
- TCP/IP - між ПЛК та MES-системою для передачі даних замовлення у форматі JSON;
- OPC UA (IEC 62541) - для передачі технологічних та діагностичних даних до хмарних систем, що підтримується ПЛК S7-1512C-1 PN одночасно з роботою у режимі PROFINET-вузла;

Сама RFID-підсистема функціонує на частоті 13,56 МГц у діапазоні високих частот відповідно до стандарту ISO 15693, забезпечуючи дальність зчитування до 50 мм та ємність транспондера 112 байт вільної пам'яті. Взаємодія між станціями відбувається виключно через RFID-мітку виробу без прямого апаратного зв'язку

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

між ПЛК різних станцій, що реалізує концепцію цифрової пам'яті виробу та забезпечує незалежність станцій одна від одної. MES4 отримує та передає дані замовлення у форматі JSON через TCP/IP, що дозволяє інтегрувати стенд у ширшу виробничу інфраструктуру.

Система функціонує у двох основних режимах:

- автоматичний режим - повністю автономна обробка виробів відповідно до виробничого замовлення, зчитаного з RFID-мітки, з циклом обробки одного виробу від 15 до 30 секунд;
- ручний режим - використовується під час налагодження та технічного обслуговування, активується поворотом ключового перемикача на панелі керування;

Аварійна зупинка реалізована через ланцюг безпеки E-Stop, підключений до входів ПЛК, що знеструмлює всі виконавчі механізми відповідно до вимог директиви ЄС 2006/42/ЄС та стандарту EN ISO 13849-1.

Діагностування системи забезпечується на кількох рівнях:

- PROFINET IO передає діагностичні повідомлення від RFID-шлюзу до ПЛК, включаючи повідомлення про збої автоналаштування антени та помилки зв'язку з транспондером;
- IO-Link датчики передають розширену діагностичну інформацію - температуру корпусу та лічильник спрацювань;
- коди відповіді RFID-команд дозволяють розрізняти успішне виконання (response code < 0x4000) та помилкові стани;
- HMI-панель TP700 забезпечує візуалізацію стану процесу та сигналізацію відхилень оператора;

Перспективи розвитку системи передбачають масштабування шляхом підключення додаткових станцій без зміни логіки вже налаштованих вузлів завдяки децентралізованій архітектурі; інтеграцію мобільного робота Robotino для міжстанційного транспортування; підключення модуля вимірювання Measuring Pro; розширення IoT-функціональності через OPC UA з передачею даних до хмарних платформ і застосуванням алгоритмів машинного навчання для контролю

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

якості. Перелік функцій, що підлягають автоматизації, визначається для кожної підсистеми окремо. Підсистема ідентифікації виробів на основі RFID виконує такі функції:

- запис даних замовлення (номер замовлення ONo, номер позиції OPos, тип матеріалу) на транспондер при вході виробу на конвеєр станції Distributing Pro;
- зчитування RFID-мітки та формування запиту до MES на станціях Joining та Sorting Inline;
- оновлення статусу обробки виробу на мітці після завершення операції на кожній станції;

Часовий регламент реалізації функцій зчитування/запису не перевищує тривалості технологічного циклу - до 30 секунд на виріб - і обмежений часом перебування виробу у зоні зчитування.

Підсистема сортування виконує такі функції:

- визначення типу виробу за сигналами оптичного датчика (ознака "не чорний") та індуктивного датчика (ознака "металевий");
- керування пневматичними відхилювачами для направлення виробу до відповідного лотка (Slide 1 - чорні, Slide 2 - червоні) або передачі далі (металеві);

Підсистема контролю якості визначає орієнтацію заготовки за аналоговим сигналом датчика глибини отвору (0–10 В) на станції Joining, приймає рішення про необхідність встановлення кришки та записує відповідний статус на RFID-мітку для подальшого автоматичного сортування бракованих виробів на станції Sorting Inline без залучення MES у реальному часі.

Достовірність ідентифікації виробу забезпечується унікальністю UID транспондера (8 байт, перший байт 0xE0 відповідно до ISO 15693) та можливістю повторного виконання RFID-команди у разі збою. Точність визначення типу виробу визначається характеристиками датчиків: індуктивний датчик SIEN-M8NB-PS-S-L забезпечує номінальну відстань спрацювання 2,5 мм з частотою перемикачів

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ</i>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

до 3000 Гц, оптичний датчик SOEG-RTD-Q20-PP-S-2L-TI - роздільну здатність 0,5 мм у діапазоні 20–80 мм.

Критеріями відмови для підсистем є:

- для підсистеми ідентифікації: відсутність транспондера у зоні зчитування після закінчення часу очікування, код відповіді RFID-шлюзу $\geq 0x4000$, переповнення лотка;
- для підсистеми сортування: невідповідність сигналів датчиків очікуваному стану виробу, аварійна зупинка E-Stop.

Для досягнення поставленої мети архітектуру розробки та розгортання інженерно-технічного комплексу було розділено на три послідовні етапи:

- Перший етап має аналітичний характер і спрямований на дескриптивне дослідження технологій автоматичної ідентифікації об'єктів та формування критеріїв вибору RFID-компонентів. Він включає порівняльний аналіз технологій ідентифікації (бінарної, оптичних 1D/2D кодів та RFID) зі складанням інженерної матриці оцінювання за критеріями вартості, дальності дії, можливості перезапису та ємності носія; дослідження компонентів RFID-систем, фізичних принципів їхньої роботи, методів зв'язку, завадостійкості та чинних стандартів; розробку алгоритму вибору конфігурації за інженерним деревом рішень на підставі експлуатаційних умов та параметрів пам'яті;

- Другий етап присвячений архітектурному проєктуванню та апаратному конфігуруванню системи автоматизації. Він охоплює налаштування параметрів зв'язку RFID-шлюзу TBEN-S2-2RFID-4DXP через промисловий протокол PROFINET IO (інтеграція GSD-файлів, конфігурування режимів роботи антени NXP I-Code SLI, адресація I/O простору); дефініцію таблиць системних змінних ПЛК з типами даних структури процесних даних шлюзу (RFID_TBEN_IN/OUT); розробку та первинне відлагодження базового функціонального блока для детекції мітки та зчитування унікального ідентифікатора (UID) за командою Inventory (ISO 15693) мовою структурованого тексту (SCL) з логікою маніпулювання масивами через блоки

					КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

MOVE_BLK та FILL_BLK, а також тестування зв'язку через діагностичні таблиці спостереження (watch tables);

- Третій етап охоплює повну програмну інтеграцію та високорангову алгоритмізацію логічних процесів керування даними міток. Він включає розробку комплексного керуючого функціонального блока (FB) мовою SCL для обробки низькорівневих команд читання даних з транспондера (код команди = 2) у буферний масив abyREAD_DATA та динамічного запису технологічної інформації (код команди = 4) з масиву abyWRITE_DATA з контролем кодів помилок шлюзу. Забезпечено уніфікацію та адаптацію коду для роботи з транспондерами довільного розміру через використання динамічних масивів змінної довжини (Array[*]), проведено комплексну верифікацію на реальному обладнанні MPS 403-1 та порівняльний аналіз ефективності створеного блока із системними бібліотечними модулями середовища розробки;

Об'єктом дослідження є процес сортування виробів на фізичній моделі виробничої лінії FESTO MPS 403-1, реалізований засобами децентралізованого ПЛК-керування з використанням технології RFID для ідентифікації та маршрутизації виробів між станціями.

Предметом дослідження є методи та засоби програмування RFID-системи на базі шлюзу TBEN-S2-2RFID-4DXP, зчитувача TN-CK40-H1147 та пасивних високочастотних транспондерів стандарту ISO 15693 у середовищі Siemens TIA Portal мовою SCL, а також покрокова методологічна структура побудови інженерного документації з пусконаладження та експлуатації зазначеного програмно-технічного комплексу.

Висновок по розділу

У першому розділі проведено комплексний аналіз об'єкта автоматизації - навчально-виробничої системи Festo MPS 403-1 - як типового представника сучасних гнучких дискретних виробничих ліній.

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Розглянуто всю лінійку навчальних фабрик серії MPS 400 (MPS 402-1, 403-1, 404-1, 405-1), що відрізняються кількістю технологічних станцій - від двох до п'яти. Встановлено, що конфігурація MPS 403-1 є оптимальною для дослідження технології RFID, оскільки охоплює повний виробничий цикл у складі трьох станцій: Distributing Pro, Joining та Sorting Inline, що забезпечують демонстрацію всіх ключових операцій ідентифікації, складання і сортування виробів.

Визначено структуру та особливості технологічного процесу як об'єкта керування: дискретний поштучний характер обробки, багато агрегатність із децентралізованою ПЛК-архітектурою, параметрична гнучкість на основі RFID-трасування та комбінована сенсорна підсистема (цифрові, аналогові та IO-Link датчики). Цикл обробки одного виробу становить 15-30 секунд, що відповідає вимогам реальних промислових конвеєрних систем.

Проаналізовано сучасні підходи до побудови систем автоматизації дискретного виробництва: ієрархічне ПЛК-керування за стандартом IEC 61131-3, інтеграція MES-систем, застосування протоколів PROFINET RT, IO-Link та OPC UA для вертикальної інтеграції в концепції Індустрії 4.0. Виявлено, що реалізована в MPS 403-1 децентралізована трирівнева архітектура відповідає поточному стану промислової автоматизації та забезпечує відмовостійкість завдяки автономній роботі кожної станції.

Детально розглянуто концепцію цифрової пам'яті виробу (Product Memory), реалізовану через RFID-модуль на базі компонентів TURCK BL ident.

Наведено технічні характеристики всього апаратного комплексу системи: датчиків (магнітних, індуктивних, оптичних, ємнісних, ультразвукових), RFID-компонентів, приводів та контролерів, - що формує необхідну технічну базу для подальшої розробки лабораторних робіт.

На основі проведеного аналізу сформульовано три задачі дослідження, що охоплюють теоретичне вивчення технологій ідентифікації, практичне конфігурування RFID-шлюзу в середовищі TIA Portal та програмування повного функціонального блоку керування RFID-системою мовою SCL.

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.01.ПЗ</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ПРОЄКТУВАННЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ІНТЕГРАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ RFID НА БАЗІ СТЕНДУ FESTO MPS 403-1

2.1 Обґрунтування структури та етапів розробки комплексу

Вимоги до архітектури програмно-технічного комплексу та супровідної інженерної документації формуються на трьох рівнях: рівні цільових компетентностей інженерного профілю, рівні технічних обмежень наявного промислового обладнання та рівні базової підготовки фахівців. Їхній системний аналіз дозволяє визначити необхідний та достатній обсяг функціонального забезпечення, уникнувши як надлишкового ускладнення, так і неповноти охоплення технологічних задач.

На рівні сучасних задач промислової автоматизації, пов'язаних із польовими мережами та системами автоматичної ідентифікації, ключовими є такі інженерні навички: здатність аналізувати та порівнювати технології автоматичної ідентифікації за технічними характеристиками; здатність конфігурувати польові пристрої та мережеві шлюзи в середовищі TIA Portal з використанням протоколу PROFINET IO; здатність програмувати функціональні блоки ПЛК для взаємодії з RFID-підсистемою мовою SCL відповідно до стандарту IEC 61131-3.

Наочну ілюстрацію спектру технологій, що підлягають порівняльному аналізу в рамках розробки, надає рисунок 2.1: від пасивних RFID-міток та DataMatrix-кодів до штрихових кодів та QR-кодів. Саме ця різноманітність технологій обумовлює необхідність систематизованого підходу до їх аналізу та вибору при проєктуванні систем автоматизації.

					КНУ КРБ.151.26.05.02.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Демиденко Д.Є..			РОЗДІЛ 2			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Савицький О. І								54	38
								КНУ АКІТ-22			
Н. Контр.		Маринич І.А.									
Затверд.		Маринич І.А.									



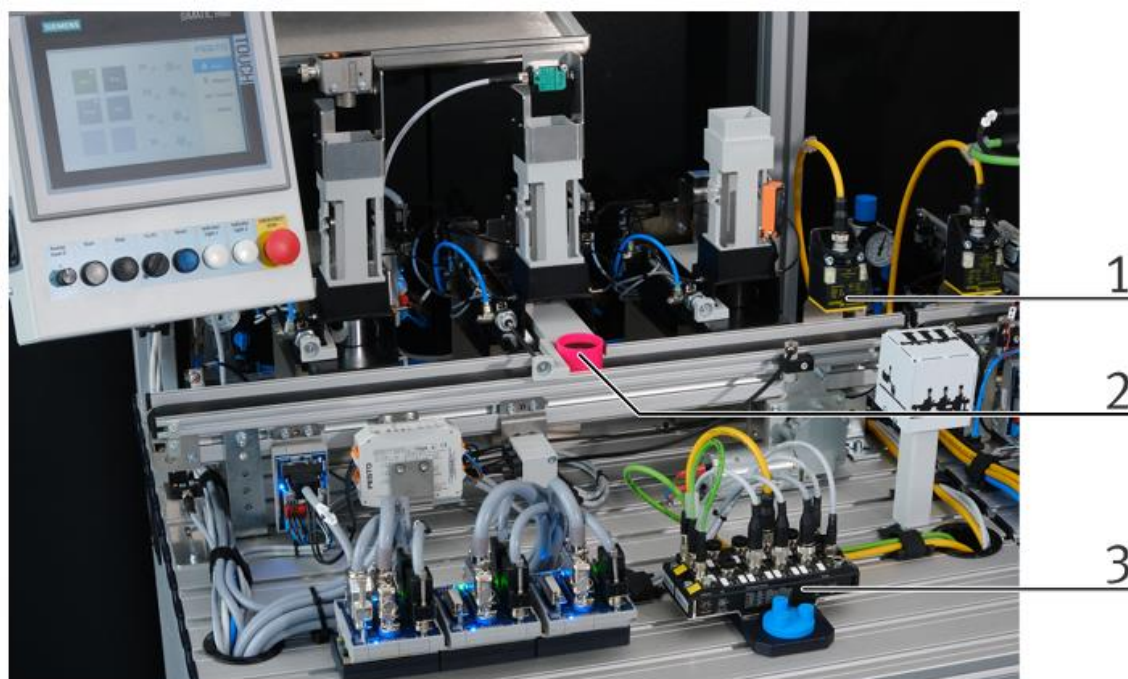
1 - RFID мітка; 2 - PDF417 (лінійний штрих код); 3-Поштовий штрих код; 4 - Квадратний двовимірний матричний код; 5-QR-код

Рисунок 2.1 - Технології автоматичної ідентифікації об'єктів

На рівні технічних обмежень стенд MPS 403-1 задає такі граничні умови: програмно-технічний комплекс має бути повністю реалізований засобами середовища Siemens TIA Portal та мови SCL; програмне забезпечення має функціонувати на ПЛК SIMATIC S7-1512C-1 PN без заміни або доповнення апаратної частини; усі практичні завдання алгоритму пусконаладження мають бути перевіряємими на реальному обладнанні без симуляції, оскільки тільки взаємодія з фізичним транспондером дозволяє сформувати повноцінні інженерні навички. Часовий регламент виконання кожного етапу налагодження під час освоєння системи не повинен перевищувати двох академічних годин (90 хвилин).

На рисунку 2.2 показано станцію Distributing Pro стенду MPS 403-1 з встановленим RFID-обладнанням: зчитувач TN-CK40-H1147 (позиція 1), виріб із транспондером на дні (позиція 2) та шлюз TBEN-S2-2RFID-4DXP

(позиція 3). Саме на цьому обладнанні виконуються практичні інженерні завдання розроблених технологічних модулів № 2 та № 3.



1 - RFID Головка зчитування; 2 - Виріб з RFID транспондером (міткою); 3 - Шлюз RFID

Рисунок 2.2 - Станція Distribution Pro стенду MPS 403-1 з RFID обладнанням

Послідовність розробки трьох модулів комплексу побудована на основі трьох взаємодоповнювальних системних принципів: принципу тристадійності, принципу наступності та принципу мінімальної достатності.

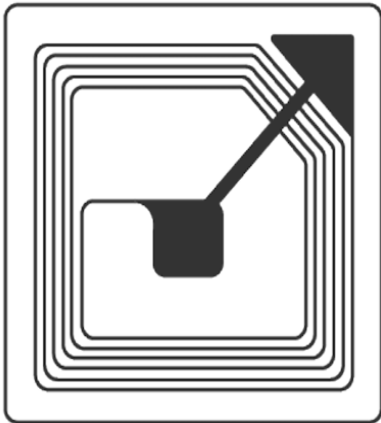
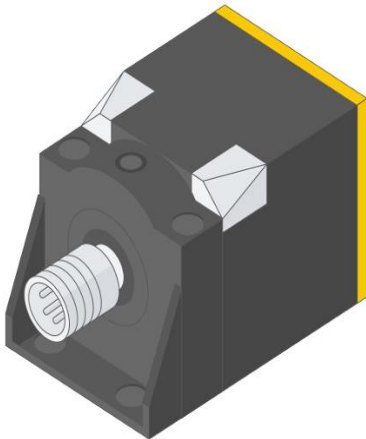
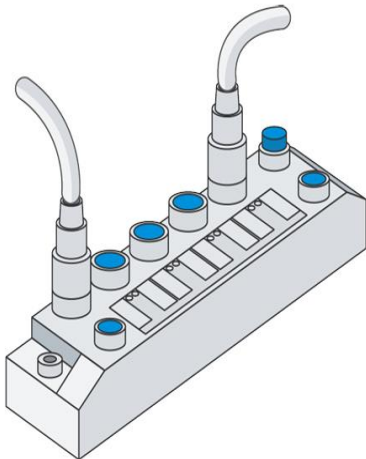
Принцип тристадійності передбачає поділ процесу інженерного проектування та відлагодження на три якісно відмінні стадії: формування аналітичної та теоретичної бази (Етап № 1), набуття базових практичних навичок мережевого конфігурування та програмування (Етап № 2) та вирішення розширеної інженерної задачі з елементами аналізу, декомпозиції та синтезу алгоритмів (Етап № 3). Цей поділ відповідає рівням пізнавальної діяльності таксономії Блума: перший рівень охоплює знання та розуміння; другий - застосування та аналіз; третій - синтез та оцінювання.

Принцип наступності означає, що кожен наступний етап розробки не лише логічно продовжує попередній, а й безпосередньо використовує його

результати як вхідні дані. Зокрема, на Етапі № 2 здійснюється налаштування конфігурації RFID-шлюзу в TIA Portal та реалізується функціональний блок зчитування UID транспондера - унікального ідентифікатора, структура та фізичні засади якого досліджувалися на Етапі № 1. Етап № 3 розширює створений на попередньому етапі функціональний блок, додаючи до нього керуючі команди читання та запису довільних технологічних даних, і завершється порівняльним аналізом власної програмної реалізації з системним блоком стандартної бібліотеки TIA Portal.

Для розуміння принципу наступності між етапами важливо усвідомити архітектуру RFID-системи. Три ключових компоненти - транспондер, зчитувач/записувач та мережевий шлюз - показані в таблиці 2.1. Етап № 1 знайомить із транспондером як носієм даних; Етап № 2 - конфігурує взаємодію ПЛК зі шлюзом через PROFINET IO та реалізує зчитування UID; Етап № 3 - реалізує повний цикл читання і запису даних між зчитувачем та пам'яттю транспондера.

Таблиця 2.1 - Загальні компоненти RFID-системи

Мітка	Пристрій зчитування та запису	Шлюз
		

Продовження таблиці 2.1

Мітка	Пристрій зчитування та запису	Шлюз
Мітка містить накопичувач даних, який зчитувач/записувач може зчитувати та змінювати. Крім того, він також містить керуючу електроніку для зв'язку зі зчитувачем/записувачем.	Зчитувач/записувач зчитує дані з транспондера та записує їх на нього. Залежно від системи, зчитувач/записувач також може складатися з двох окремих пристроїв: вузла зв'язку та антени.	Шлюз з'єднує зчитувач/записувач із системами ІТ вищого рівня. У деяких випадках ця функціональність також інтегрована безпосередньо у зчитувач/записувач.
Залежно від конструкції та обсягу накопичувача, ціни варіюються від кількох євроцентів до значних двозначних сум.	Ціни на зчитувачі/записувачі починаються від двозначних сум у євро і сягають верхнього тризначного діапазону.	Якщо шлюз необхідний, його ціна, як правило, становить кілька сотень євро

Центральним елементом системи, що досліджується, є пасивний високочастотний транспондер стандарту ISO 15693. Принцип його читання та запису показано на рисунку 2.3: стрілка «Writing» відображає запис даних замовлення з ПЛК станції Distributing Pro; стрілка «Reading» - зчитування цих даних на станціях Joining та Sorting Inline. Саме цей цикл читання і запису складає основу інженерних завдань для розробки програмних модулів у межах етапів № 2 та № 3.

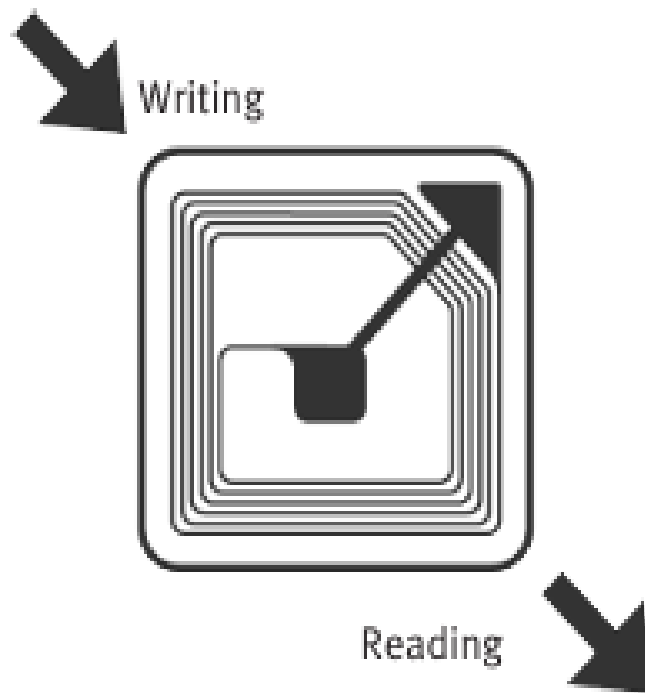


Рисунок 2.3 - Пасивний RFID-транспондер (мітка): принцип запису (Writing) та зчитування (Reading) даних

Для підтвердження того, що розроблений комплекс інженерних рішень охоплює всі функції RFID-підсистеми стенду MPS 403-1, визначені в постановці задачі, наведено структурну матрицю відповідності (таблиця 2.2). Кожній функції підсистеми поставлено у відповідність інженерний модуль розробки, що її охоплює, та професійну компетентність, яка при цьому формується.

Відповідно до постановки задачі (підрозділ 1.8), RFID-підсистема стенду виконує шість функцій: вибір та обґрунтування RFID-системи для конкретного виробничого застосування; конфігурування шлюзу TBEN-S2-2RFID-4DXP через PROFINET IO; зчитування UID транспондера командою Inventory стандарту ISO 15693; зчитування довільних даних з транспондера командою Read; запис даних замовлення на транспондер командою Write; оновлення статусу обробки виробу на мітці після завершення операції на станції.

Таблиця 2.2 - Матриця відповідності комплексу відповідно функціям RFID-підсистеми станду MPS 403-1

Функція RFID-підсистеми	Станція	Розроблений Етап	Професійна компетентність, що формується
Вибір типу RFID-системи за критеріями виробничого застосування	Всі станції	Етап № 1 (Додаток А.1)	Системний аналіз технологій ідентифікації; застосування дерева рішень для вибору апаратної конфігурації
Конфігурація RFID шлюзу через PROFINET IO в TIA Portal	Distributing Pro, Joining, Sorting Inline	Етап № 2 (Додаток А.2)	Налаштування мережевих параметрів пристроїв; імпорт та інтеграція GSD-файлів; адресація I/O простору
Зчитування UID транспондера командою Inventory (ISO 15693)	Distributing Pro	Етап № 2 (Додаток А.2)	Програмування функціональних блоків (FB) мовою SCL; обробка типів даних RFID_TBEN_IN/OUT
Зчитування довільних даних з транспондера командою Read (код команди = 2)	Joining, Sorting Inline	Етап № 3 (Додаток А.3)	Алгоритмізація команди Read; параметри StartAddress та Length; обробка системних кодів відповідей та помилок

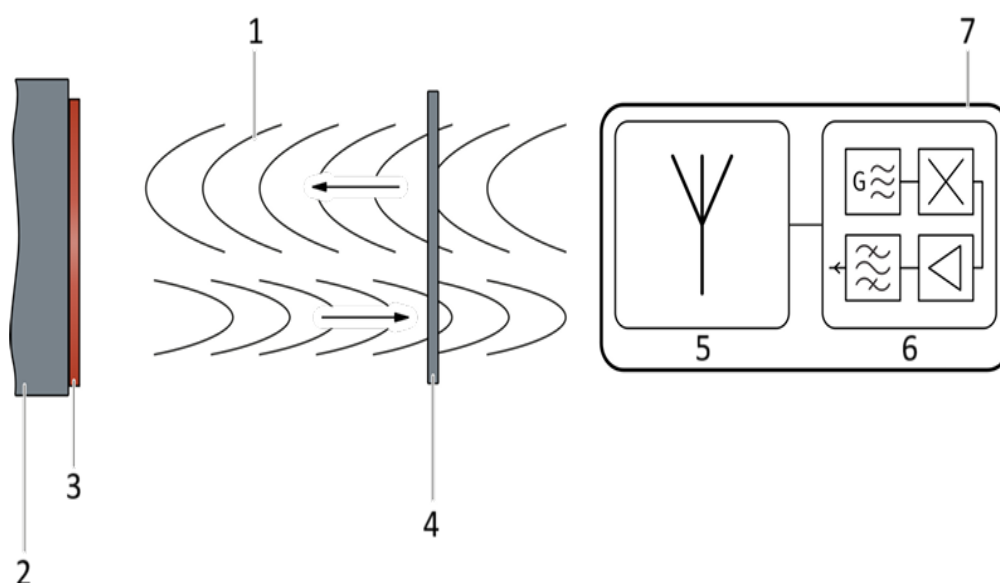
Продовження таблиці 2.2

Функція RFID-підсистеми	Станція	Розроблений Етап	Професійна компетентність, що формується
Запис даних замовлення (ONo, OPos, тип матеріалу) на транспондер командою Write (код команди = 4)	Distributing Pro	Етап № 3 (Додаток А.3)	Алгоритмізація команди Write; формування масиву abyWRITE_DATA; часова синхронізація операції запису
Оновлення статусу обробки виробу на мітці після завершення технологічної операції на станції	Joining, Sorting Inline	Етап № 3 (Додаток А.3)	Застосування динамічних масивів Array[*] та інструменту UPPER_BOUND; розрахунок параметрів MOVE_BLK; бенчмаркінг з системною бібліотекою

Аналіз таблиці 2.2 показує, що всі шість функцій RFID-підсистеми стенду повністю охоплені трьома послідовними інженерними модулями розробки, причому розподіл є збалансованим: Етап 1 формує аналітичну компетентність вибору системи; Етап 2 - мережеву конфігураційну та базову програмну компетентності; Етап 3 - розширену програмну компетентність з читання, запису та динамічної адаптації блоку до транспондерів довільного розміру. Жодна з функцій підсистеми не залишається непокритою, що підтверджує повноту та завершеність технічних рішень проекту.

Варто зазначити, що функції читання, запису та оновлення статусу об'єднані в межах Етапу 3.

Це свідоме інженерне рішення, обґрунтоване принципом наступності: команди Read та Write є структурно подібними, а їх сумісна реалізація дозволяє провести порівняльний аналіз алгоритмів безпосередньо в ході відлагодження програми. Розуміння фізичної природи взаємодії між транспондером і зчитувачем (рисунок 2.4), що детально аналізується у Модулі № 1, є обов'язковою теоретичною передумовою для коректної інтерпретації часових затримок, завадових факторів та помилок комунікації, які виникають під час пусконаладження на етапах № 2 і № 3.



1 - Повітряний інтерфейс; 2 - Підкладка; 3 - Мітка; 4 - Матеріал у повітряному інтерфейсі; 5 - Антена; 6 - Високочастотний модуль; 7 - Пристрій зчитування/запису

Рисунок 2.4 - Схема повітряного інтерфейсу RFID-системи: транспондер (мітка), матеріал у повітряному зазорі (air interface), антена та високочастотний модуль зчитувача

Таким чином, у підрозділі 2.1 визначено вимоги до програмно-технічного комплексу на трьох ієрархічних рівнях, обґрунтовано тристадійну послідовність проектування на основі системних принципів наступності та мінімальної достатності, а також підтверджено повноту охоплення всіх функцій RFID-підсистеми стенду FESTO MPS 403-1 розробленими етапами, які у вигляді покрокових технологічних інструкцій з налагодження винесені у Додаток А.

2.2 Розробка аналітичного модуля: порівняльний аналіз технологій ідентифікації та алгоритм вибору RFID-конфігурації

Перший модуль проєкту є теоретико-аналітичним базисом розроблюваного комплексу рішень. Повний інженерний регламент цього етапу наведено в Додатку А. У цьому підрозділі описано технічні рішення, прийняті під час його проєктування, обґрунтовано структуру аналізу, наведено розроблені інженерні інструменти - матрицю порівняльного оцінювання та варіанти розрахункових виробничих сценаріїв, а також визначено багатокритеріальні параметри верифікації результатів.

Цей етап виконується як передпроектне обстеження без прямого підключення до апаратного забезпечення стенду. Таке рішення є логічно та технічно обґрунтованим: без попереднього аналізу та класифікації технологій автоматичної ідентифікації неможливо перейти до усвідомленого апаратного конфігурування та програмування інтегрованих систем керування (які реалізовані у наступних модулях), оскільки необхідно чітко визначити фізичні обмеження RFID-транспондерів, їхні відмінності від оптичних кодів та експлуатаційні особливості стандарту ISO 15693, задіяного на лінії MPS 403-1.

Мета цього аналітичного етапу охоплює формування трьох базових інженерних компетенцій: здатність класифікувати, описувати та порівнювати сучасні технології автоматичної ідентифікації (бінарну детекцію, оптичні одновимірні та матричні коди, RFID) за сукупністю техніко-економічних характеристик; вміння застосовувати матриці декомпозиції та оцінювання як інструмент структурованого системного аналізу альтернативних інженерних рішень; здатність здійснювати вибір частотного діапазону та архітектури RFID-систем за розробленим детермінованим деревом рішень відповідно до заданих виробничих умов. Зазначені етапи інтеграції базуються на ієрархічній структурі декомпозиції складних систем за таксономією Блума: від формування концептуального базису і розуміння фізичних процесів (рівні

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.02.ПЗ</i>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

знання та розуміння) до практичного вибору та синтезу алгоритмів керування (рівні застосування та аналізу), що забезпечує послідовну реалізацію складних інженерних завдань.



Рисунок 2.5 - Елементи декомпозиції задач автоматизації на основі Таксономії Блума

Структура розробленого аналітичного керівництва (інженерного регламенту) охоплює п'ять взаємопов'язаних частин: технічний опис фізичних засад ідентифікації, алгоритм формування матриці порівняльного оцінювання, побудову та доповнення дерева рішень, розрахунково-варіантний аналіз індивідуальних промислових сценаріїв та верифікаційні специфікації правильних інженерних рішень.

Першим інструментом аналізу є розробка матриці оцінювання, яка виступає центральним розрахунково-аналітичним апаратом. Вона являє собою табличну модель, де кожна альтернативна технологія оцінюється за фіксованими критеріями з підрахунком інтегрального показника (суми балів). Перевага цього підходу полягає у переході від якісного описового порівняння до кількісного обґрунтування інженерних рішень, що мінімізує суб'єктивізм під час проєктування систем автоматизації.

Розроблена матриця охоплює три базові технологічні підходи (бінарну детекцію, оптичні коди, RFID) та чотири критерії техніко-економічної оптимізації. Три критерії є базовими та фіксованими: вартість компонентів (зчитувачів та носіїв), номінальна дальність дії системи та можливість

динамічного перезапису даних у процесі експлуатації. Четвертий критерій (наприклад, ємність пам'яті носія даних) визначається адаптивно під конкретну специфіку об'єкта автоматизації, що розширює гнучкість системи системного аналізу.

Таблиця 2.3 - Еталонна матриця порівняльного оцінювання технологій ідентифікації (четвертий критерій - ємність пам'яті)

Технологія	Вартість	Дальність зчитування	Можливість перезапису	Ємність пам'яті	Сума
Бінарна ідентифікація	3	1	1	1	6
Оптичні коди	3	2	1	2	8
RFID	2	3	3	3	11

Обґрунтування числових показників еталонної матриці спирається на паспортні технічні характеристики обладнання. За критерієм вартості найвищий бал (3) мають бінарна детекція та оптичні коди, оскільки фізичний носій (металева мітка-прапорець або друкований штрихкод) має нульову собівартість, а первинні сенсори є недорогими. RFID отримує оцінку 2 через вищу вартість напівпровідникових транспондерів та спеціалізованих мережових шлюзів.

За критерієм дальності дії RFID має максимальний показник (3), оскільки пасивні UHF-системи працюють на відстанях до 16 м, а активні - до 100 м. Оптичні сканери (оцінка 2) забезпечують зчитування до 20 м, але критично залежать від прямої видимості та фокусування оптичної осі. Бінарні датчики обмежені оцінкою 1, оскільки їхній радіус дії становить кілька міліметрів.

За критерієм можливості перезапису RFID володіє абсолютною перевагою (оцінка 3): дані на транспондері можуть динамічно модифікуватися

ПЛК безпосередньо під час технологічного процесу. Оптичні та бінарні носії є статичними (оцінка 1) - після нанесення маркування зміни неможливі. Саме цей чинник є вирішальним для гнучких автоматизованих ліній типу FESTO MPS 403-1, де статус виробу оновлюється на кожній технологічній ділянці: станція Distributing Pro формує первинний цифровий паспорт (запис замовлення), станція Joining фіксує виконання операції складання, а Sorting Inline виконує фінальну маршрутизацію.

Критерій ємності пам'яті підтверджує доцільність інтеграції радіочастотних систем: HF-транспондери стандарту ISO 15693 підтримують збереження до 8 кБ інформації (QR-коди - до 3 кБ, бінарні системи - лише одиничні біти структури виробу). Як наслідок, RFID отримує найвищий інтегральний бал (11), що повністю виправдовує архітектурне рішення, реалізоване на досліджуваному фізичному стенді.

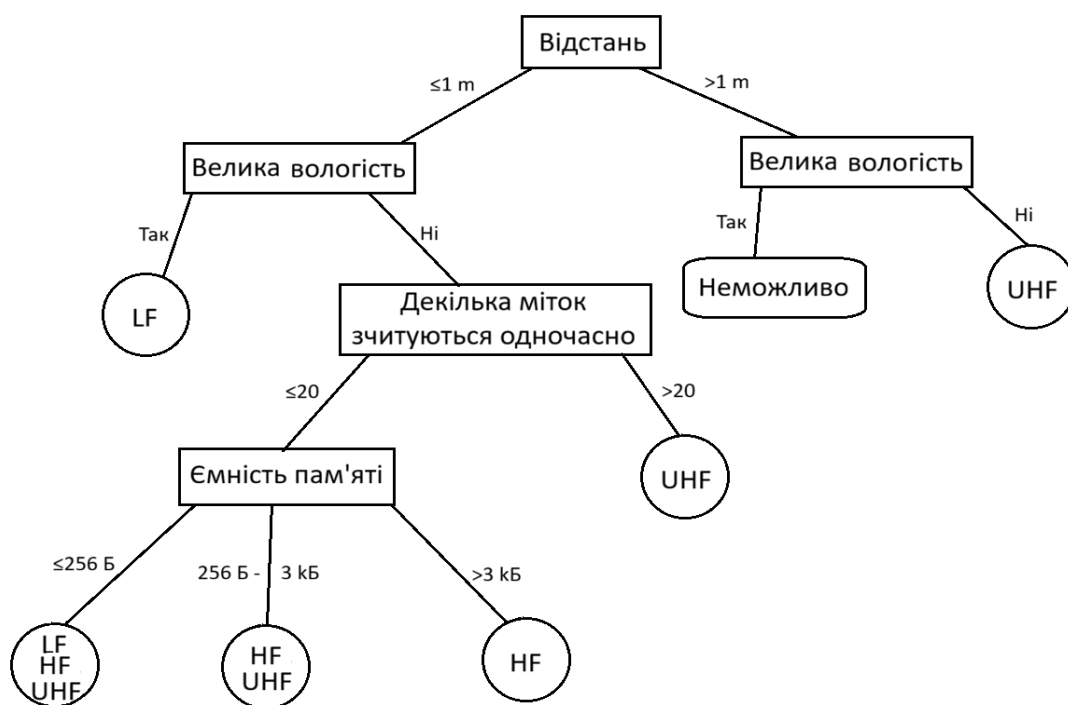


Рисунок 2.6 - Дерево рішень для оптимізації вибору RFID-системи за сукупністю експлуатаційних факторів

Наступним етапом аналітичного модуля є розробка логічного дерева рішень для структурованого вибору частотного діапазону RFID-системи. Використання граф-дерева обумовлено ієрархічним характером

експлуатаційних критеріїв, де кожне розгалуження послідовно звужує множину сумісних технічних рішень до оптимального вибору.

Логіка дерева рішень побудована на базі чотирьох послідовних фільтрів. Перший - номінальна дальність зчитування: відстані понад 1 м однозначно потребують дециметрового UHF-діапазону (електромагнітне поле зворотного розсіювання), тоді як менші відстані допускають роботу в LF або HF діапазонах (магнітна індукція, ближня зона). Другий - наявність рідких чи агресивних середовищ: UHF-діапазон тут критично втрачає завадостійкість через високе поглинання хвиль водою, натомість LF та HF є стабільними. Третій - щільність потоку носіїв (антиколізія): одночасне зчитування понад 20 міток вимагає UHF, до 20 - HF, поштучний рух допускає всі три діапазони. Четвертий - обсяг даних: за потреби збереження розширених стеків інформації (понад 3 кБ) безальтернативним вибором є HF.

Верифікація розробленого логічного дерева рішень проведена шляхом його аплікації на технічні умови стенду FESTO MPS 403-1. Результати системного аналізу наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Верифікація дерева рішень на прикладі стенду MPS 403-1

№	Критерій	Значення для MPS 403-1	Виключаються	Залишаються
1	Дальність зчитування	До 50 мм (зона зчитувача TN CK40-N1147))	—	LF, HF, UHF
2	Волога/хімічне середовище	Відсутнє (виробниче приміщення)	—	LF, HF, UHF
3	Кількість одночасних транспондерів	Одна (вироби рухаються поштучно)	—	LF, HF, UHF

№	Критерій	Значення для MPS 403-1	Виключаються	Залишаються
4	Ємність пам'яті транспондера	112 байт вільної пам'яті (ONo + OPos + тип + статуси ≤ 16 байт)	—	LF, HF, UHF
Результат	Реально встановлений стандарт: ISO 15693 (HF, 13.56 МГц)	Рекомендація дерева рішень: LF або HF	UHF (за практикою: надлишкова дальність)	HF ✓ - відповідає реально встановленому обладнанню

В інженерно-технічному посібнику (Додаток А.1) алгоритм дерева рішень представлений у вигляді граф-схеми з відкритими логічними переходами. Це дозволяє здійснювати покрокову перевірку правильності вибору архітектури та мінімізує когнітивне навантаження при розрахунках складних багатокомпонентних систем.

Таким чином, у підрозділі 2.2 представлено результати проектування аналітичної складової системи. Визначено її цільове призначення (передпроектний аналіз та декомпозиція задач) та структуру регламенту. Розроблено інженерну матрицю порівняльного аналізу трьох базових технологій автоматичної ідентифікації за чотирма оптимізаційними критеріями з формуванням повного технічного обґрунтування (таблиця 2.3).

Побудовано граф-дерево рішень для вибору частотних діапазонів RFID-інфраструктури та проведено його верифікацію на базі характеристик лінії FESTO MPS 403-1: результатом є вибір HF-діапазону (стандарт ISO 15693), що

повністю відповідає експлуатаційним вимогам та фактично встановленому обладнанню лінії (таблиця 2.4). Повний текст керівництва з пусконаладження та аналізу наведено в Додатку А.

2.3 Апаратна конфігурація RFID-системи на базі Siemens TIA Portal

Цей підрозділ охоплює практичну реалізацію першого етапу налаштування RFID-системи: конфігурування апаратного забезпечення у середовищі Siemens TIA Portal та підготовку проєкту ПЛК для керування системою зчитування/запису транспондерів на станції MPS Distributing Station Pro (серія MPS 400). На відміну від аналітичного модуля, описаного у підрозділі 2.2, цей етап передбачає безпосередню взаємодію з апаратними засобами стенду та програмним забезпеченням TIA Portal.

Об'єктом конфігурування є промисловий контролер Siemens SIMATIC S7-1500 (CPU 1512C-1 PN) та мережевий шлюз Turck TBEN-S2-2RFID-4DXP, що забезпечує підключення двоканального зчитувача RFID до мережі PROFINET.

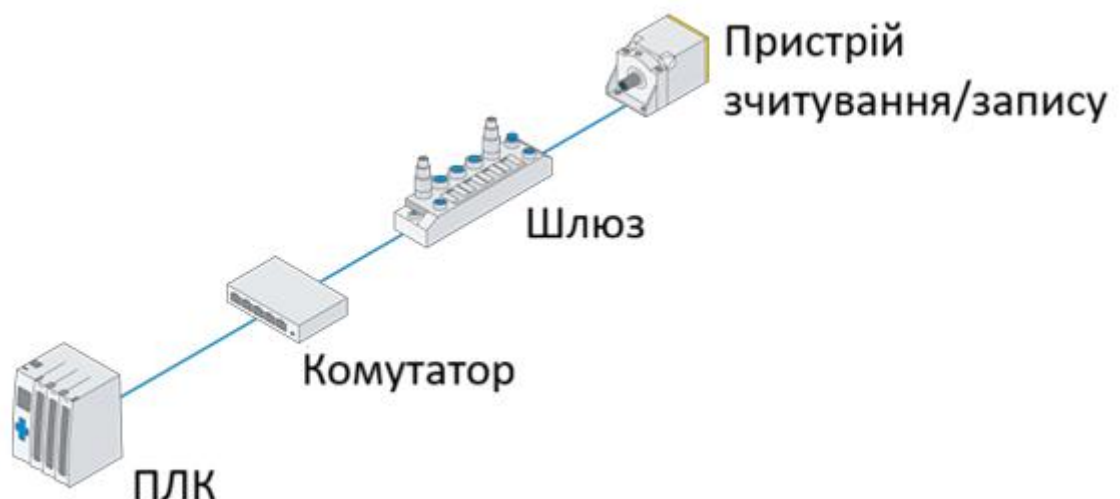


Рисунок 2.7 - Спрощена мережева топологія RFID-системи станції MPS Distributing Pro

Перш ніж перейти до конфігурування проєкту, необхідно визначити спосіб підключення RFID-системи до ПЛК. Мережа станції включає чотири

ключові компоненти: контролер (IO-Controller), комутатор (Switch), мережевий шлюз RFID (Gateway) та безпосередньо зчитувач/записуючий пристрій (Reading and writing device). Шлюз є єдиним компонентом, відповідальним за комунікацію з контролером, оскільки він виконує перетворення між протоколом зв'язку ПЛК та інтерфейсом HF-зчитувача.

Аналіз технічних специфікацій показав, що шлюз Turck TBEN підтримує кілька польових шин: PROFINET, EtherNet/IP та Modbus TCP. Контролер Siemens S7-1500, у свою чергу, також підтримує PROFINET та Modbus TCP. З двох сумісних варіантів для реалізації обрано PROFINET IO - стандартизований промисловий протокол на базі Ethernet, що забезпечує детермінований обмін даними в реальному часі та нативно підтримується засобами TIA Portal. У системах MPS 400 використовується варіант PROFINET IO RT (Real-Time) з циклом оновлення менше 10 мс, що повністю задовольняє вимоги до швидкодії RFID-транзакцій.

Для кожного пристрою PROFINET IO виробник надає файл GSD (General Station Description), який імпортується до TIA Portal і містить специфікацію типів та обсягів даних, що передаються між ПЛК та пристроєм.

Конфігурування апаратної частини виконується в середовищі Siemens TIA Portal V15.1 або вище. Початковим кроком є відкриття підготовленого проєкту та завантаження конфігурацій із бібліотеки проєкту. Для скорочення часу налаштування конфігурація контролера та шлюзу RFID зберігається у розділі бібліотеки Project library / Master copies / Device configurations і копіюється до поточного проєкту методом drag-and-drop.

Після додавання пристроїв до проєкту необхідно встановити їх зв'язок у вікні Devices & networks, призначивши шлюз RFID до контролера як IO пристрій. Назва пристрою у TIA Portal слугує ідентифікатором PROFINET: при завантаженні конфігурації до ПЛК ця назва (у нижньому регістрі) має бути призначена фізичному шлюзу за допомогою функції Assign device name. Ключовим елементом конфігурації є огляд пристрою (Device Overview) шлюзу

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

RFIDgateway. Він відображає повну карту модулів та їх адресного простору. Скріншот Device Overview наведено на рисунку 2.8.

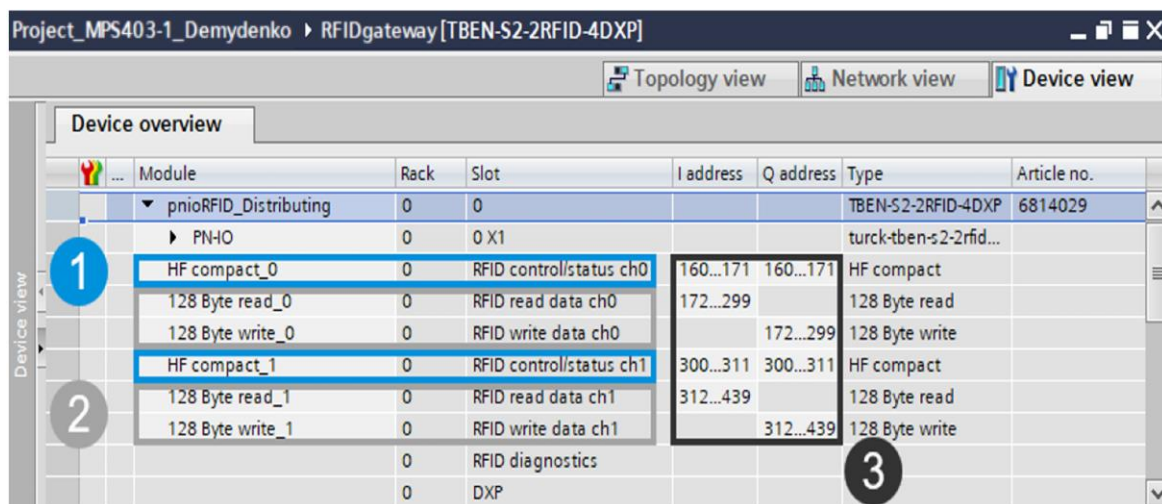


Рисунок 2.8 - Device Overview шлюзу RFIDgateway у TIA Portal (конфігурація двох HF Compact каналів)

Конфігурація містить два незалежних канали HF Compact (HF compact_0 та HF compact_1), кожен з яких може обслуговувати окремий зчитувач (цифра 1 на рис.2.8). Для кожного каналу виділяється по 128 байт вхідних (читання) та 128 байт вихідних (запис) даних (цифра 2 на рис.2.8). Адресний простір каналу 0 займає діапазони %I160–%I299 та %Q172–%Q299; каналу 1 - %I300–%I439 та %Q300 %Q439 (цифра 3 на рис.2.8). Ці адреси є налаштовуваними, проте для узгодженості з подальшими модулями програми змінювати їх не рекомендується.

Важливо зазначити: наявність параметризованих каналів не зобов'язує підключати зчитувач до обох із них. Якщо до одного каналу пристрій не підключений, його процесні дані залишаються невикористаними без генерації помилок.

Для кожного із двох HF Compact модулів у Device Overview доступне налаштування семи параметрів станції. Вони відкриваються через Properties → General → Module parameters після вибору відповідного модуля. Скріншот вікна параметрів наведено на рисунку 2.9.

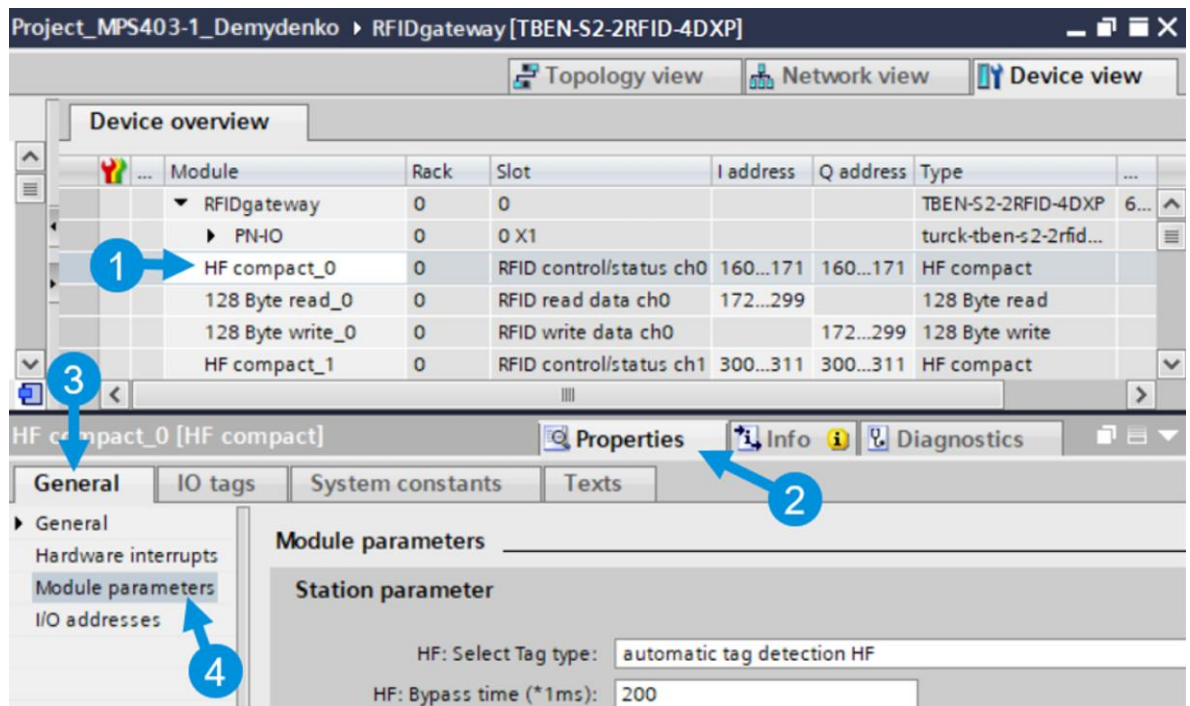


Рисунок 2.9 - Вікно параметрів модуля HF Compact у TIA Portal (разом з покроковою інструкцією)

Таблиця 2.5 - Параметри модуля HF Compact зчитувача Turck

Параметр	Призначення
HF: Select Tag type	Тип транспондера (носія даних). Визначає розмір блоку пам'яті для коректного адресування. Для MPS 400 застосовується тип NXP I-Code SLI (112 байт пам'яті, 28 блоків по 4 байти). Може бути встановлено в режим автоматичного розпізнавання.
HF: Bypass time	Час витримки (мс) при короткочасному зникненні транспондера з поля зчитування. Запобігає помилковому завершенню транзакції при проходженні крізь неоднорідне поле. Визначається експериментально для конкретної швидкості конвеєра.

Параметр	Призначення
HF: Autotuning	Автоматичне підстроювання поля під умови навколишнього середовища (металеve оточення). Підтримується лише пристроями типів Turck TNLR-... та TNSLR-....
Deactivate HF detuned diagnostic	Вимикає діагностичні повідомлення про розлаштування поля при активованому Autotuning. У штатному режимі має бути ввімкнено (по = повідомлення активні).
Deactivate diagnostics	Повністю пригнічує всі діагностичні повідомлення пристрою. Не рекомендується вимикати без вагомих підстав.
Command retries at failure	Кількість автоматичних повторних спроб при невдалій транзакції читання/запису через перешкоди в радіоканалі. Не стосується програмних помилок.
HF: Idle mode	Режим очікування - визначає, які дані зчитуються автоматично при появі транспондера в зоні дії у відсутність активної команди. Значення за замовчуванням: UID (зчитується унікальний ідентифікатор транспондера).

На стенді MPS 400 використовується транспондер NXP I-Code SLI із розміром блоку 4 байти. При виконанні операцій читання/запису пристрій автоматично визначає, в якому блоці знаходиться потрібний байт, зчитує весь блок та повертає запитані дані. Параметр Idle mode встановлено в режим UID

- при появі транспондера в зоні дії без активної команди зчитувач автоматично передає до ПЛК унікальний ідентифікатор мітки.

Після завершення апаратної конфігурації до проєкту додаються таблиця тегів ПЛК та призначені типи даних. Вони знаходяться у бібліотеці проєкту в розділі Project library / Master copies / Exercise і копіюються до проєкту поряд із конфігурацією пристроїв. Таблиця тегів RFID містить чотири змінні - по два для кожного каналу шлюзу (канал 0 та канал 1). Кожна пара включає вхідну змінну типу RFID_TBEN_IN (процесні дані від шлюзу до ПЛК) та вихідну змінну типу RFID_TBEN_OUT (команди від ПЛК до шлюзу). Адреси змінних відповідають початку блоку керування/статусу відповідного каналу в Device Overview: %I160.0 / %Q160.0 для каналу 0 та %I300.0 / %Q300.0 для каналу 1. Заповнена таблиця змінних наведена на рисунку 2.10.

	Name	Data type	Address	Retain	Ac
1	▼ Rfid1_IN	"RFID_TBEN_IN"	%I300.0	☐	
2	▶ Status	RFID_HF_CMP_IN	%I300.0		
3	▶ ReadData	Array[0..127] of Byte	%I312.0		
4	▼ Rfid1_OUT	"RFID_TBEN_OUT"	%Q300.0	☐	
5	▶ Control	RFID_HF_CMP_OUT	%Q300.0		
6	▶ WriteData	Array[0..127] of Byte	%Q312.0		
7	<Add new>			☐	

Рисунок 2.10 - Таблиця тегів RFID у TIA Portal з чотирма змінними для двох каналі шлюзу

Тип RFID_TBEN_IN є структурою, що містить підструктуру статусу (RFID_HF_CMP_IN) та масив ReadData[0..127] типу Byte для отриманих даних. Аналогічно RFID_TBEN_OUT містить підструктуру керування (RFID_HF_CMP_OUT) та масив WriteData[0..127] для даних, що надсилаються до транспондера.

Адреса довжини даних для команд читання/запису визначається зміщенням +8 байт відносно початку вихідного блоку даних відповідного каналу. Наприклад, для каналу 1 (базова адреса %Q300.0) довжина команди записується за адресою %QW308.

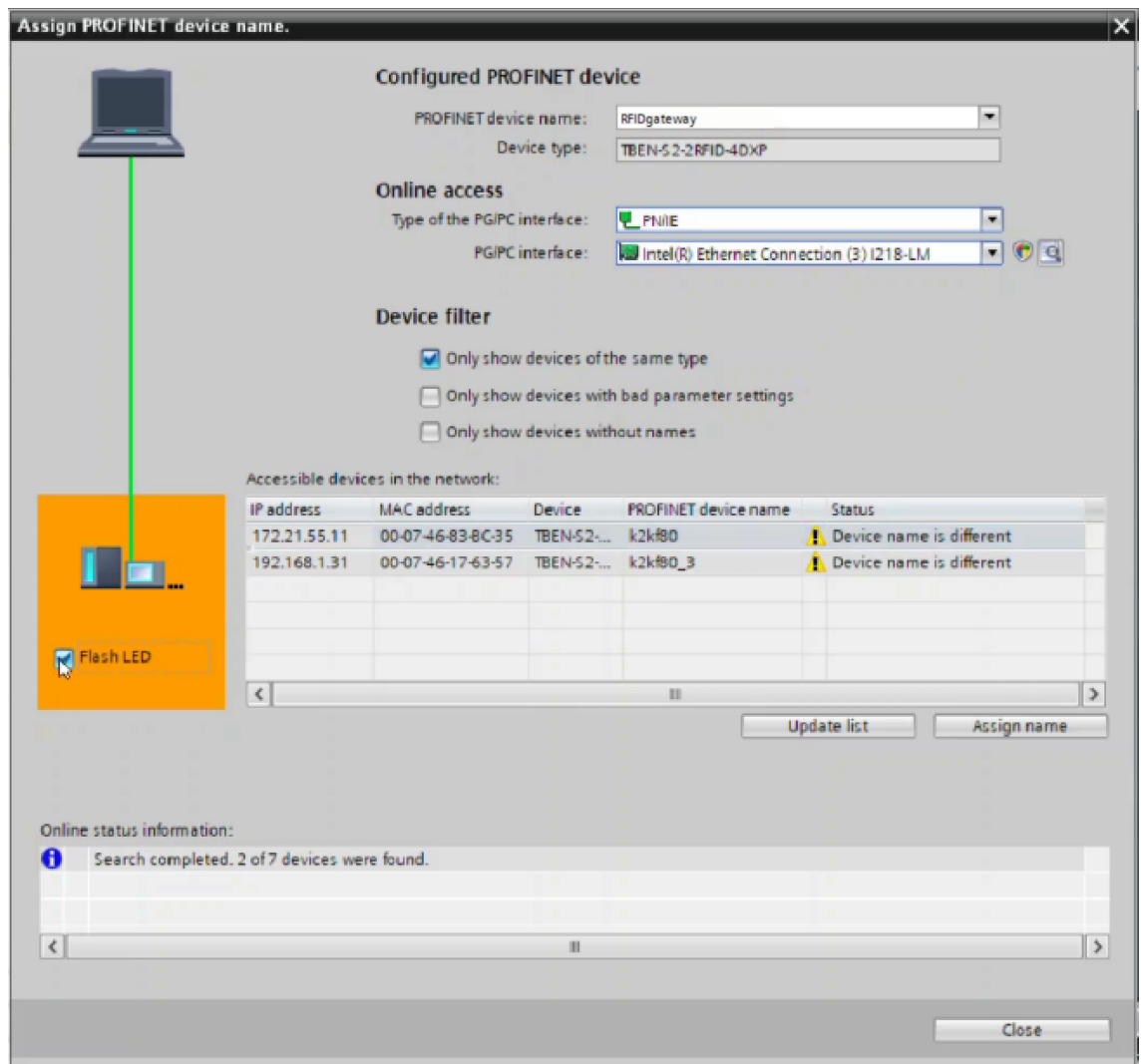


Рисунок 2.11 - Верифікація імені шлюзу в TIA Portal та імені фізичного шлюзу

Для завантаження проєкту до ПЛК виконується послідовність трьох операцій: скидання ПЛК до заводських налаштувань (Master reset), компіляція проєкту та завантаження до контролера. Скидання здійснюється через меню Online & Diagnostics вибраного ПЛК у дереві проєкту при наявності мережевого з'єднання між ПК та контролером. Компіляція охоплює апаратну частину (hardware) та програмне забезпечення (software); результат перевіряється у вікні Info - наявність помилок компіляції блокує завантаження.

Перед завантаженням проєкту до шлюзу RFID присвоюється ім'я пристрою PROFINET. Ця операція виконується через правокнопкове меню пристрою в дереві проєкту → Assign device name. Ім'я в TIA Portal та ім'я, присвоєне фізичному шлюзу, мають збігатися (всі літери у нижньому регістрі); в іншому випадку контролер не встановить з'єднання з пристроєм. Перелік доступних пристроїв у мережі оновлюється кнопкою Update list; для перевірки відповідності фізичного пристрою його запис можна ідентифікувати через функцію Flash LED, як зображено на рис.2.12

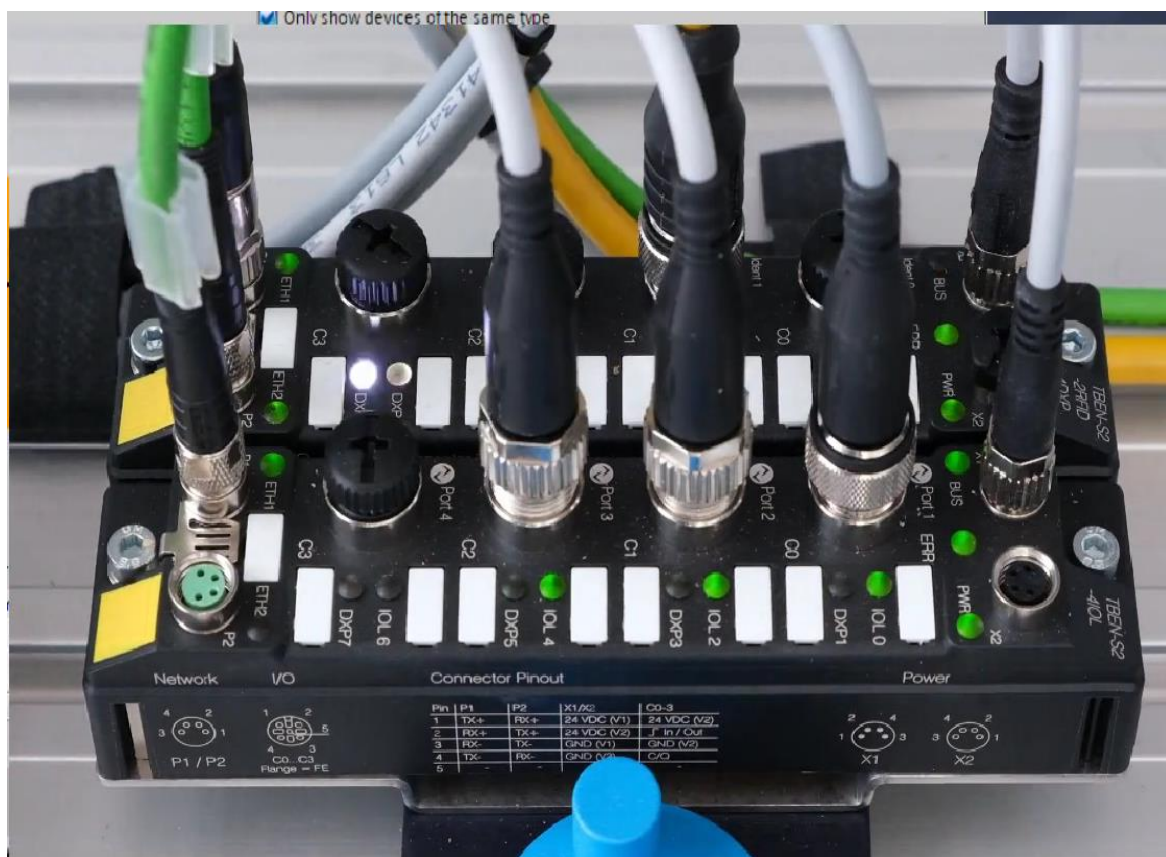


Рисунок 2.12 - Перевірка відповідності запису фізичного пристрою за допомогою Flash LED (білий індикатор)

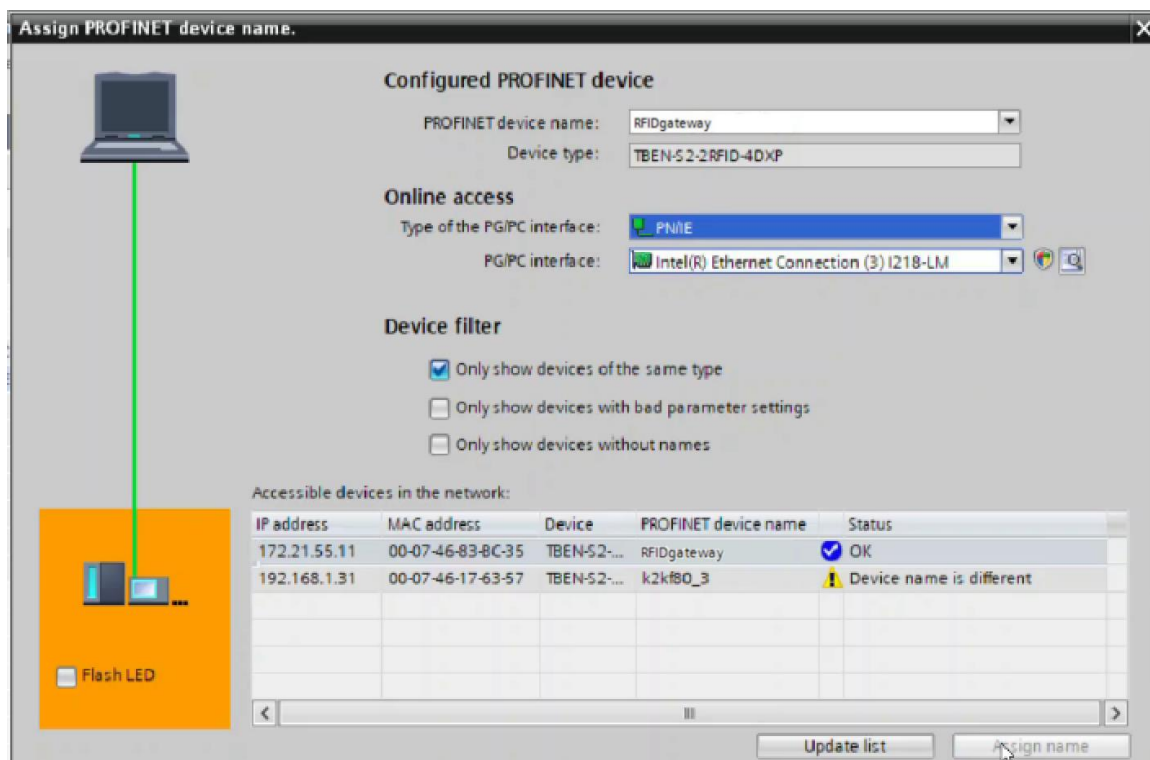


Рисунок 2.13 - Успішне присвоєння нового імені фізичному шлюзу

Верифікація конфігурації виконується шляхом онлайн-моніторингу таблиці змінних RFID безпосередньо в TIA Portal. Після встановлення онлайн-з'єднання активується режим Monitor all, що відображає поточні значення всіх тегів у реальному часі. Повний список змінних з активованим моніторингом наведено на рисунку 2.14

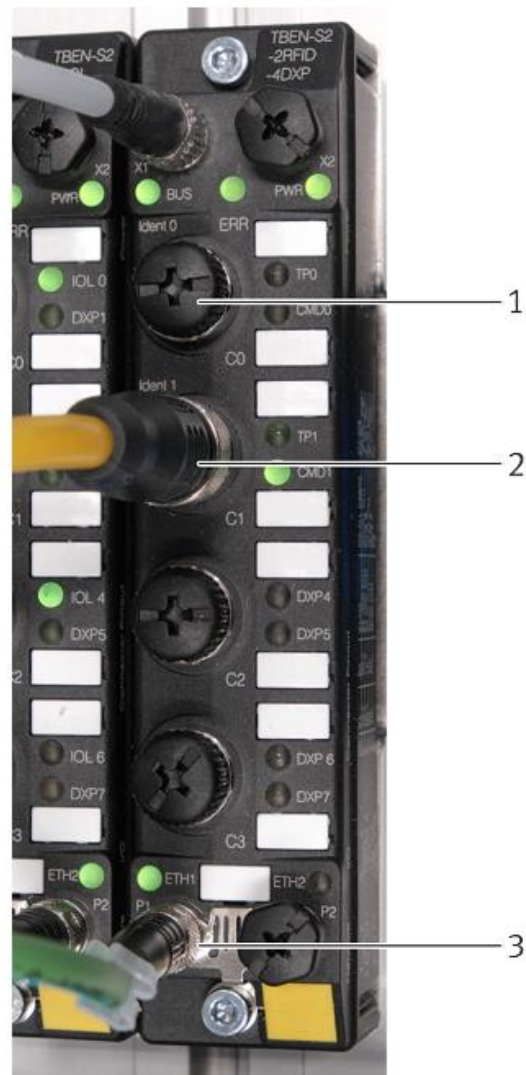
Project_MPS403-1_Demydenko ▶ DistributingPLC [CPU 1512C-1 PN] ▶ PLC tags ▶ RFID [2]

RFID									
	Name ▲	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Supervis...	
1	Rfid0_IN	"RFID_TBEN_IN"	%I160.0	☐	☒	☒	☒		
2	Rfid0_OUT	"RFID_TBEN_OUT"	%Q160.0	☐	☒	☒	☒		
3	Rfid1_IN	"RFID_TBEN_IN"	%I300.0	☐	☒	☒	☒		
4	Rfid1_OUT	"RFID_TBEN_OUT"	%Q300.0	☐	☒	☒	☒		
5	<Add new>			☐	☒	☒	☒		

Рисунок 2.14 - Таблиця змінних RFID у режимі онлайн-моніторингу (2)

Для фізичної перевірки правильності конфігурації використовується сигнал xTP (Tag Present) - бітова змінна у підструктурі Status вхідних даних відповідного каналу. Цей біт встановлюється в значення TRUE при знаходженні транспондера в зоні дії зчитувача та скидається при його видаленні.

Апаратний вигляд шлюзу Turck TBEN-S2-2RFID-4DXP з позначеними каналами підключення зчитувачів наведено на рисунку 2.16.



1 - Канал RFID; 2 - Канал RFID; 3 - Роз'єм Ethernet

Рисунок 2.15 - Шлюз Turck TBEN-S2-2RFID-4DXP

Процедура перевірки полягає у наступному: у підструктурі Status розгортається рядок змінної xTP; виріб MPS із вбудованим транспондером підноситься до зчитувача до початку швидкого миготіння індикаторів пристрою. При наявності транспондера в зоні дії значення xTP змінюється з FALSE на TRUE. Виріб прибирається і повертається кілька разів для підтвердження стабільної роботи. Скріншот таблиці змінних із розгорнутою структурою Status та активованим монітором каналу 1 наведено на рисунку 2.16.

Project_MPS403-1_Demydenko ▸ DistributingPLC [CPU 1512C-1 PN] ▸ PLC tags ▸ RFID [4]									
RFID									
	Name	Data type	Address	Retain	Access...	Write...	Visibl...	Monitor value	...
1	▸ Rfid0_IN	*RFID_TBEN_IN*	%I160.0	☐	☒	☒	☒	☒	☒
2	▸ Rfid0_OUT	*RFID_TBEN_OUT*	%Q160.0	☐	☒	☒	☒	☒	☒
3	▸ Rfid1_IN	*RFID_TBEN_IN*	%I300.0	☐	☒	☒	☒	☒	☒
4	▸ Status	RFID_HF_CMP_IN	%I300.0	☐	☒	☒	☒	☒	☒
5	▸ iRESC	Int	%IW300	☐	☒	☒	☒	0	☒
6	▸ byRCNT	Byte	%IB302	☐	☒	☒	☒	16#00	☒
7	▸ byRes1	Byte	%IB303	☐	☒	☒	☒	16#00	☒
8	▸ xTP	Bool	%I304.0	☐	☒	☒	☒	FALSE	☒
9	▸ xRes1	Bool	%I304.1	☐	☒	☒	☒	FALSE	☒
10	▸ xRes2	Bool	%I304.2	☐	☒	☒	☒	FALSE	☒
11	▸ xRes3	Bool	%I304.3	☐	☒	☒	☒	FALSE	☒
12	▸ xXD	Bool	%I304.4	☐	☒	☒	☒	FALSE	☒
13	▸ xPNS	Bool	%I304.5	☐	☒	☒	☒	FALSE	☒
14	▸ xTRE	Bool	%I304.6	☐	☒	☒	☒	FALSE	☒
15	▸ xTNC	Bool	%I304.7	☐	☒	☒	☒	FALSE	☒
16	▸ xTON	Bool	%I304.8	☐	☒	☒	☒	TRUE	☒

2 - Канал RFID 1; 3 - Структура Status; 4 - Змінна xTP (Tag present)

Рисунок 2.16 - Моніторинг змінної xTP (Tag Present) у структурі Status каналу 1

Фотографії стану сигналу xTP при відсутності та наявності транспондера в зоні дії зчитувача наведено на рисунках 2.18 та 2.19 відповідно.

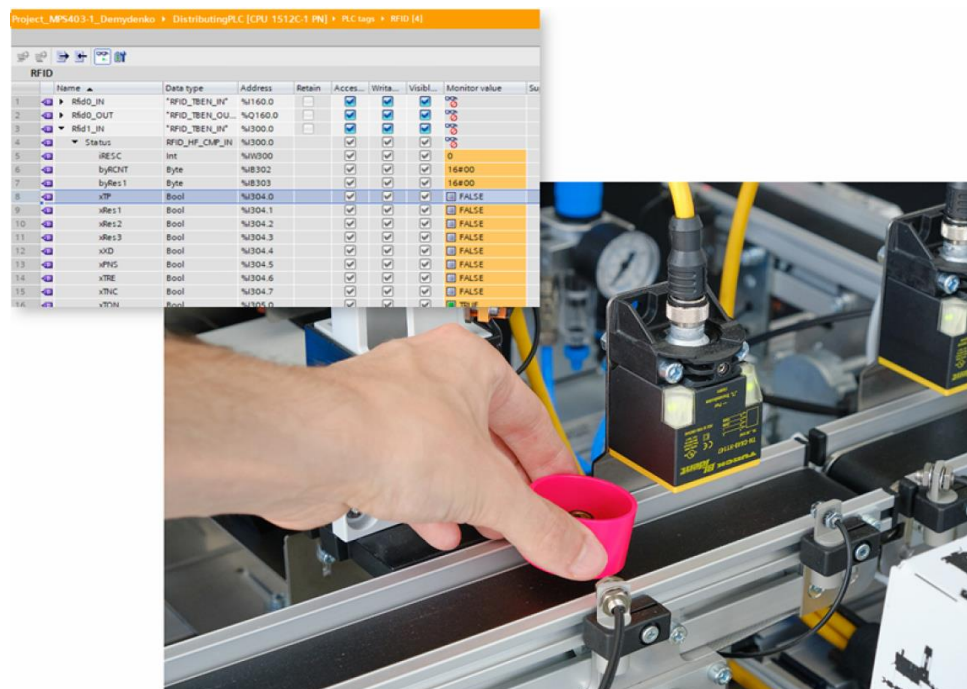


Рисунок 2.17 - Сигнал Tag Present (xTP) = FALSE: транспондер (мітка) поза зоною зчитування



Рисунок 2.18 - Сигнал Tag Present (xTP) = TRUE: транспондер (мітка) у зоні зчитувача, транзакція ідентифікації активна

Успішне перемикання xTP при наближенні/видаленні виробу підтверджує коректність усієї апаратної конфігурації: шлюз RFID правильно ідентифікований у мережі PROFINET, адресний простір процесних даних сформовано вірно, змінні ПЛК відповідають актуальним апаратним адресам.

Спостережувана затримка між фізичним переміщенням транспондера та зміною значення змінної в TIA Portal обумовлена виключно часом оновлення вікна моніторингу між ПК та ПЛК. Сигнал від зчитувача до ПЛК через інтерфейс PROFINET передається протягом долей секунди в рамках циклу PROFINET IO RT.

У підрозділі 2.3 виконано повне апаратне конфігурування RFID системи для станції MPS Distributing Station Pro. Визначено інтерфейс зв'язку PROFINET IO RT між контролером Siemens S7-1500 та шлюзом Turck TBEN S2-2RFID-4DXP. У середовищі TIA Portal сформовано Device Overview шлюзу з двома каналами HF Compact, визначено адресний простір процесних даних,

налаштовано параметри модулів (тип транспондера NXP I-Code SLI, режим очікування UID).

Сформовано таблицю тегів ПЛК із чотирма змінними на базі структур RFID_TBEN_IN/OUT та виконано повний цикл завантаження проєкту до контролера. Верифікація конфігурації проведена шляхом моніторингу сигналу xTP (Tag Present): стабільне переключення значення при взаємодії транспондера зі зчитувачем підтверджує коректність апаратної конфігурації та готовність системи до програмування функціональних блоків керування RFID у наступних підрозділах.

2.4 Програмування функціонального блоку зчитування UID транспондера

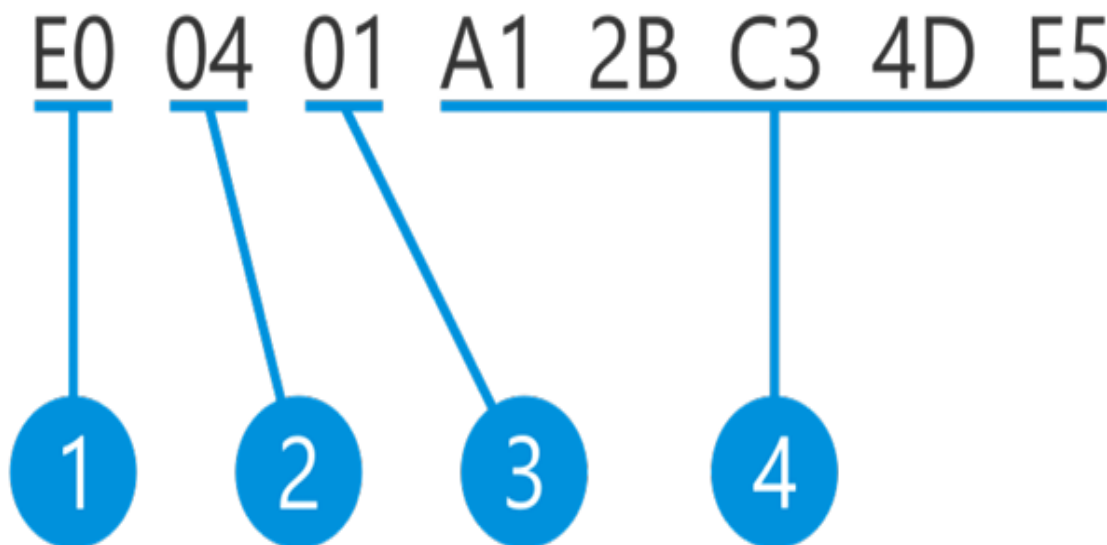
Цей підрозділ присвячено розробці функціонального блоку ПЛК мовою SCL, що реалізує автоматичне зчитування унікального ідентифікатора (UID) RFID-транспондера з використанням налаштованої в підрозділі 2.3 апаратної конфігурації. Розроблений блок fbRFID_Control є базовим програмним компонентом, на якому будуються всі подальші операції читання та запису даних у рамках RFID-підсистеми стенду MPS 403-1.

Кожен RFID-транспондер, що перебуває в обігу, має заводський серійний номер - унікальний ідентифікатор (UID, Unique Identifier), який записується виробником під час виробництва у захищену від перезапису область пам'яті. UID гарантує однозначну ідентифікацію будь-якого транспондера серед усіх випущених у світі пристроїв.

Відповідно до стандарту ISO 15693, UID має довжину 8 байт і формується за фіксованою структурою. Перший байт завжди дорівнює 0xE0 (ознака стандарту ISO 15693). Другий байт кодує виробника мікросхеми (для транспондерів NXP - значення 0x04). Третій байт ідентифікує тип транспондера (для I-Code SLI - 0x01). Останні п'ять байт є унікальним числом,

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

сформованим виробником. Структура UID у шістнадцятковому записі показана на рисунку 2.19.



1 - байт стандарту (0xE0); 2 - код виробника; 3 - тип транспондера; 4-унікальний серійний номер

Рисунок 2.19 - Структура 8-байтного UID транспондера ISO 15693 у шістнадцятковому записі

Для транспондерів NXP I-Code SLI, застосованих на стенді MPS 403-1, перший байт завжди 0xE0, що може слугувати критерієм перевірки коректності зчитаних даних.

Шлюз Turck TBEN-S2-2RFID-4DXP надає три механізми отримання UID транспондера: через параметр Idle mode (автоматично при появі транспондера в зоні), через команду Inventory (ISO 15693, зчитує UID всіх транспондерів у полі зчитувача), та через команду Tag Info (детальні дані про конкретний транспондер). Для задачі автоматичної ідентифікації виробів на конвеєрі найбільш ефективним є метод Idle mode: зчитувач автоматично передає UID до ПЛК без будь-якої додаткової команди, щойно транспондер опиняється в зоні дії.

Проект TIA Portal для реалізації функції зчитування UID містить такі програмні елементи: функціональний блок fbRFID_Control (FB3) з інстанційним блоком даних fbRFID_Control_DB; глобальний блок даних dbGlobal, що містить змінні інтерфейсу блоку; таблицю спостереження Watch

для онлайн-тестування; організаційний блок OB Main, який здійснює виклик fbRFID_Control. Додатково при першій компіляції TIA Portal автоматично додає системні блоки R_TRIG та R_TRIG_INIT_DB для детектування переднього фронту сигналу ініціалізації.

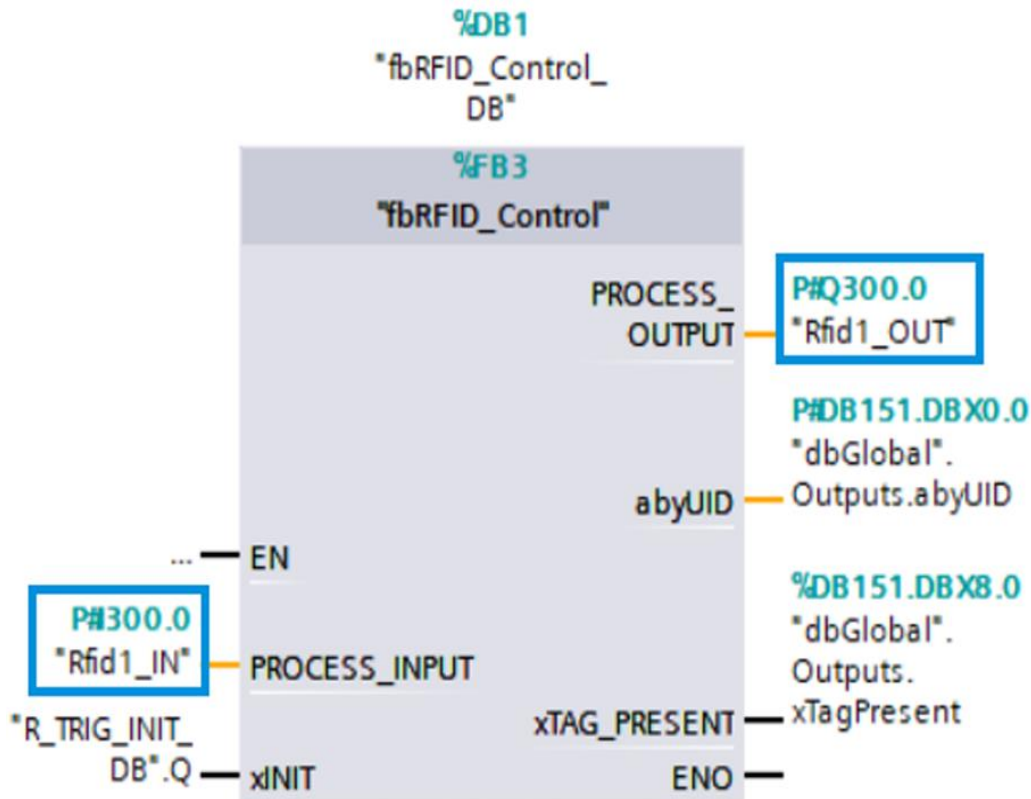


Рисунок 2.20 - Виклик fbRFID_Control в OB Main з підключенням до каналу 1 шлюзу RFID

Виклик функціонального блоку fbRFID_Control в OB Main здійснюється з підключенням відповідних змінних каналу 1 шлюзу RFID. Параметр PROCESS_INPUT підключено до змінної Rfid1_IN (%I300.0), PROCESS_OUTPUT - до Rfid1_OUT (%Q300.0). Вихідні параметри abyUID та xTAG_PRESENT виводяться у глобальний блок даних dbGlobal. Схему виклику блоку в OB Main наведено на рисунку 2.19.

Функціональний блок fbRFID_Control має чітко визначений інтерфейс, що відповідає структурі процесних даних шлюзу Turck. Перелік змінних інтерфейсу наведено у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Змінні інтерфейсу функціонального блоку fbRFID_Control

Категорія	Ім'я змінної	Призначення
Input	PROCESS_INPUT	Вхідні процесні дані від шлюзу до ПЛК (тип RFID_TBEN_IN). Містить статусну підструктуру RFID_HF_CMP_IN та масив ReadData[0..127] для отриманих байт.
Output	PROCESS_OUTPUT	Вихідні процесні дані від ПЛК до шлюзу (тип RFID_TBEN_OUT). Містить підструктуру керування RFID_HF_CMP_OUT та масив WriteData[0..127].
Output	abyUID	Масив Array[0..7] of Byte - вихідний параметр, в який копіюється зчитаний UID транспондера (8 байт).
Output	xTAG_PRESENT	Булевий вихідний сигнал - відображає стан сигналу Tag Present зчитувача (TRUE при наявності транспондера в зоні дії).
InOut	xINIT	Тригер скидання алгоритму керування на базі CASE-структури до кроку 0. Використовується при відлагодженні для відновлення початкового стану блоку.

Категорія	Ім'я змінної	Призначення
Static	iStep	Лічильник поточного кроку алгоритму керування на базі CASE-структури (тип Int).
Temp	iUidLength	Тимчасова змінна для збереження довжини считаного UID у байтах.

Функціональний блок реалізований на базі алгоритму керування на базі CASE-структури (скінченного автомата) з трьома активними кроками: крок 0 (ініціалізація - відправка команди Idle mode), крок 5 (очікування підтвердження від шлюзу) та крок 10 (основний робочий стан - моніторинг Tag Present та копіювання UID). Початок блоку містить обробку сигналу ініціалізації xINIT. При встановленні цього сигналу в TRUE лічильник кроку iStep скидається до 0, що повертає алгоритм керування на базі CASE-структури у початковий стан. Фрагмент коду ініціалізації наведено на рисунку 2.21.

```

28
29 IF #xINIT THEN
30     // Initialize the function block
31     #iStep := 0;
32 END_IF;
33

```

Рисунок 2.21 - Фрагмент коду ініціалізації xINIT та структура CASE-алгоритму керування на базі CASE структури в TIA Portal

Команди до шлюзу RFID передаються через поле wCMDC у вихідних процесних даних. Загальний принцип взаємодії: в wCMDC записується код команди, після чого ПЛК очікує, поки поле iRESC у вхідних процесних даних не набуде того ж значення. Код команди та код відповіді для режиму Idle

збігаються та дорівнюють 0 (16#0000), що є особливістю всіх команд шлюзу Turck.

У кроці 0 до поля PROCESS_OUTPUT.Control.wCMDC записується константа cwCMD_IDLE (значення 16#0000 типу Word). У кроці 5 блок очікує, поки PROCESS_INPUT.Status.iRESC не стане рівним cwCMD_IDLE, та переходить до кроку 10. Повна структура алгоритму керування на базі CASE-структури наведена на рис.2.22

```

34 //-----
35 // State machine to control the RFID head
36 //-----
37 CASE #iStep OF
38   0:
39     // TODO: Set read/write head to 'idle'
40     #PROCESS_OUTPUT.Control.wCMDC :=
41
42     // Reset commands
43     #xINIT := FALSE;
44
45     #iStep := 5;
46
47   5:
48     // Wait until the read/write head is in 'idle' mode
49     IF #PROCESS_INPUT.Status.iRESC = THEN
50       #iStep := 10;
51     END_IF;

```

Рисунок 2.22 - Кроки 0 та 5 алгоритму керування на базі CASE-структури в TIA Portal: відправка команди Idle та очікування підтвердження

Для підвищення читабельності коду команда Idle mode визначається як іменована константа cwCMD_IDLE типу Word зі значенням 16#0000. Це стандартна практика при програмуванні шлюзів Turck: всі коди команд оголошуються константами на початку блоку, що спрощує супровід коду при зміні конфігурації. Таблиця констант у TIA Portal наведена на рисунку нижче.

	Name	Data type	Offset	Default value	Acc
7	InOut				
8	xINIT	Bool	290.0	false	
9	Static				
10	iStep	Int	292.0	0	
11	Temp				
12	iUidLength	Int	0.0		
13	Constant				
14	cwCMD_IDLE	Word			
15	<Add new>				

Рисунок 2.23 - Оголошення константи cwCMD_IDLE типу Word у блоці fbRFID_Control

У відповіді шлюзу на команду Idle mode у процесних вхідних даних передається UID транспондера. Довжина UID (у байтах) зберігається у полі Status.wLEN, сам UID - у масиві ReadData починаючи з байта ReadData[0]. Відповідна структура блоку інтерфейсу наведена на рисунку 2.24.

	Name	Data type	Offset	Default value	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	S
1	Input							
2	PROCESS_INPUT	"RFID_TBEN_IN"	0.0		☒	☒	☒	
3	Status	"RFID_HF_CMP_IN"	0.0		☒	☒	☒	
4	iRESC	Int	0.0	0	☒	☒	☒	
5	byRCNT	Byte	2.0	16#0	☒	☒	☒	
22	xRes9	Bool	5.7	false	☒	☒	☒	
23	wLEN	Word	6.0		☒	☒	☒	
24	wERRC	Word	8.0	16#0	☒	☒	☒	
25	wTCNT	Word	10.0	16#0	☒	☒	☒	
26	ReadData	Array[0..127] of Byte	12.0		☒	☒	☒	
27	Output							
28	PROCESS_OUTPUT	"RFID_TBEN_OUT"	140.0		☒	☒	☒	
29	abyUID	Array[0..7] of Byte	280.0		☒	☒	☒	
30	xTAG_PRESENT	Bool	288.0	false	☒	☒	☒	
31	InOut							

1 - Довжина UID в байтах в змінній Length; 2 - UID міститься у масиві ReadData (дані зчитування)

Рисунок 2.24 - Розташування полів wLEN та ReadData у вхідних процесних даних блоку fbRFID_Control

Для копіювання масиву байт у TIA Portal використовується команда MOVE_BLK, яка здійснює блочне переміщення даних між масивами. На відміну від звичайного MOVE, MOVE_BLK дозволяє вказати початковий елемент джерела, початковий елемент приймача та кількість елементів. Повний виклик для копіювання 8 байт UID наведено у лістингу 2.1.

Лістинг 2.1 - Виклик MOVE_BLK для копіювання UID із процесних даних шлюзу у вихідний параметр блоку

```
// Копіювання UID (8 байт) із масиву ReadData у вихідний
параметр abyUID
MOVE_BLK (
    IN      := #PROCESS_INPUT.ReadData[0],      // Початковий
    елемент масиву
    COUNT := 8,                                // Кількість байтів для копіювання
    OUT => #abyUID[0]);                          // Цільовий масив
```

При відсутності транспондера в зоні дії (xTP = FALSE) вихідний масив abyUID обнуляється командою FILL_BLK. Це необхідно для коректного

відображення стану системи: блок повинен виводити актуальний UID лише тоді, коли транспондер знаходиться в полі зчитувача. Виклик FILL_BLK наведено у лістингу 2.2.

Лістинг 2.2 - Виклик FILL_BLK для обнулення масиву UID при відсутності транспондера в зоні зчитувача

```
// Скидання масиву abyUID при відсутності транспондера
FILL_BLK(
    IN:= 0,           // Значення для заповнення (0)
    COUNT := 8,       // Кількість байтів
    OUT => #abyUID[0]); // Цільовий масив
```

Перевірка довжини UID перед копіюванням є обов'язковою: блок обробляє лише UID рівно 8 байт, що відповідає вимогам стандарту ISO 15693. Фрагмент коду перевірки довжини показано на рисунку 2.25.

```
61 // The UID's length is available in the data length variable.
62 #iUidLength := WORD_TO_INT(#PROCESS_INPUT.Status.wLEN);
63
64 IF #iUidLength = 8 THEN
65     // We only handle UIDs that are exactly 8 bytes long. That is because all
66     // ISO 15693 compliant transponders have an 8 byte UID.
67
68     // TODO: Copy the UID to the output parameter
69
70 END_IF;
```

Рисунок 2.25 - Перевірка довжини UID (iUidLength = 8) перед виконанням MOVE_BLK

Після завершення алгоритму керування на базі CASE-структури виконується безумовне присвоєння: xTAG_PRESENT := #PROCESS_INPUT.Status.xTP. Це забезпечує постійну актуальність вихідного сигналу Tag Present незалежно від поточного кроку алгоритму керування на базі CASE-структури.

Після реалізації коду виконується стандартна послідовність введення в експлуатацію: присвоєння імені PROFINET-пристрою шлюзу, скидання ПЛК (Master reset), компіляція проєкту та завантаження до контролера. Деталі процедури завантаження описано у підрозділі 2.3.

Верифікація функціонального блоку виконується в режимі онлайн моніторингу через таблицю спостереження Watch table. Таблиця містить змінні глобального блоку даних dbGlobal, підключені до виходів fbRFID_Control: xTagPresent (сигнал Tag Present) та abyUID[0..7] (вісім байт UID). Початковий стан таблиці до появи транспондера наведено на рисунку 2.26.

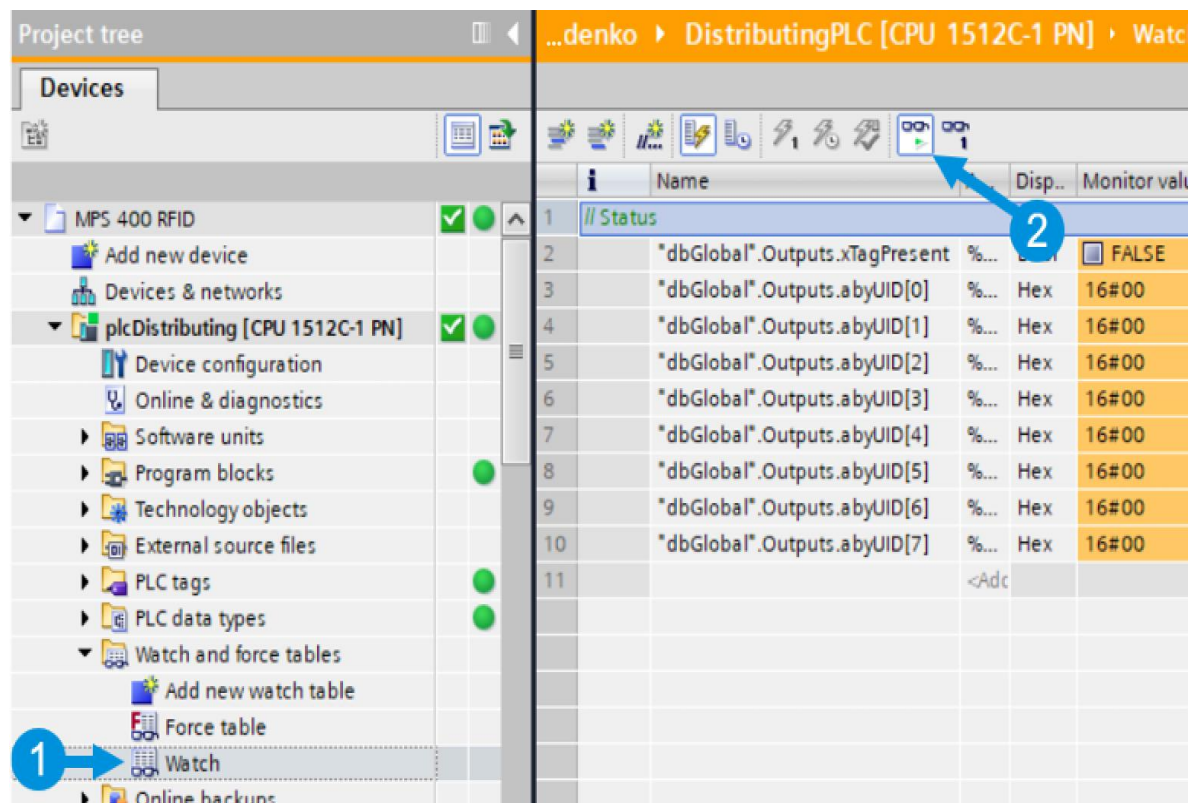


Рисунок 2.26 - Початковий (RFID мітки немає) стан таблиці Watch: xTagPresent = FALSE, всі байти abyUID = 16#00 (з покроковим запуском симуляції)

Процедура верифікації полягає у наступному: виріб MPS із вбудованим транспондером підноситься до зчитувача. При цьому xTagPresent переходить у TRUE та всі 8 байт abyUID набувають відповідних значень. Перший байт abyUID[0] повинен дорівнювати 0xE0 (ознака ISO 15693). При видаленні виробу xTagPresent повертається в FALSE та масив abyUID обнуляється. Результат тестів з активним транспондером наведені на рисунках 2.27 та 2.28.

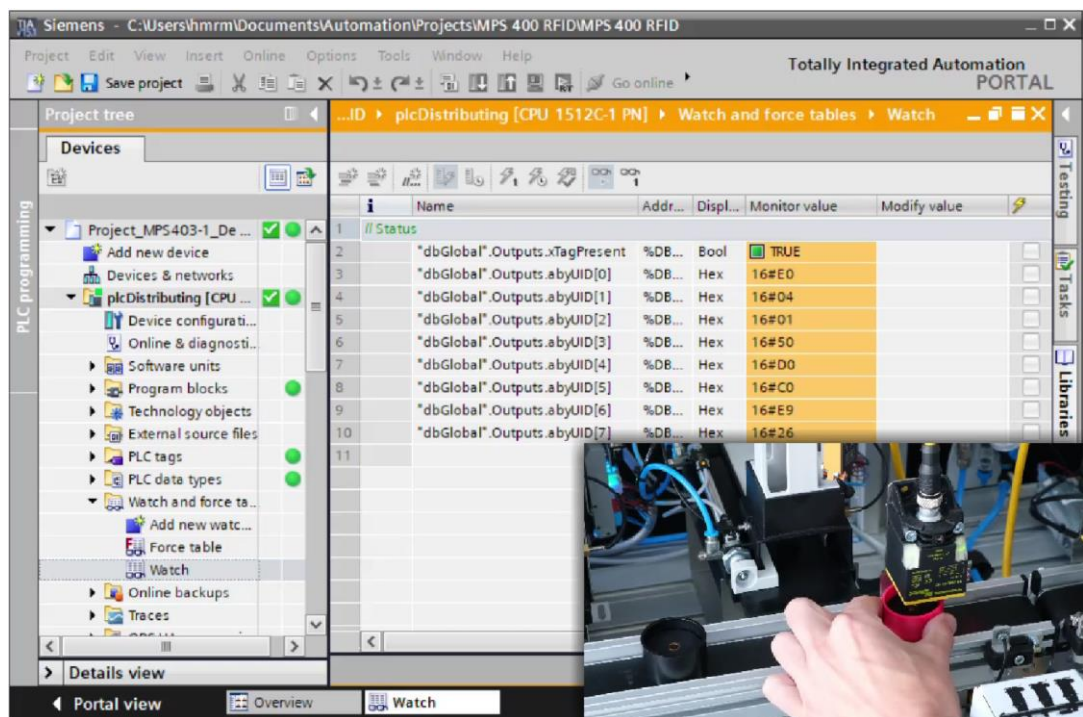


Рисунок 2.27 - Результат верифікації: xTagPresent = TRUE, abyUID містить 8-байтний UID транспондера (червона заготовка)

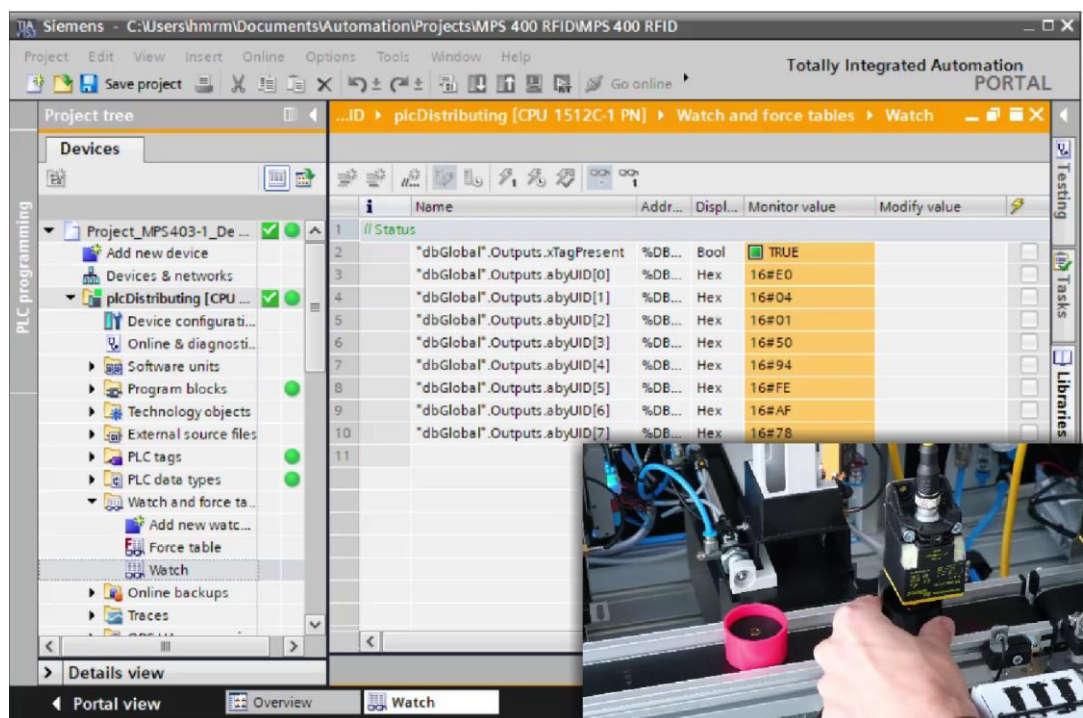


Рисунок 2.28 - Результат верифікації: xTagPresent = TRUE, abyUID містить 8-байтний UID транспондера (чорна заготовка)

Повторення тесту з різними виробами дозволяє підтвердити унікальність UID кожного транспондера та коректність роботи алгоритму керування на базі CASE-структури при чергуванні виробів на конвеєрі.

У підрозділі 2.4 розроблено та верифіковано функціональний блок fbRFID_Control мовою SCL для автоматичного зчитування UID транспондерів ISO 15693 на стенді FESTO MPS 403-1. Визначено структуру 8-байтного UID та обрано метод зчитування через параметр Idle mode як найбільш ефективний для конвеєрних застосувань. Реалізовано трикроковий алгоритм керування на базі CASE-структури: ініціалізація зчитувача командою Idle (cwCMD_IDLE = 16#0000), очікування підтвердження від шлюзу, моніторинг Tag Present та копіювання UID командою MOVE_BLK.

При відсутності транспондера масив обнуляється командою FILL_BLK. Верифікація блоку засобами Watch-таблиці TIA Portal підтвердила коректне зчитування унікального ідентифікатора (перший байт 0xE0), стабільне відстеження сигналу Tag Present та правильне обнулення виходів при видаленні транспондера з зони зчитування.

Висновки по розділу

У другому розділі розроблено та верифіковано програмно-технічний комплекс інтеграції технології RFID на базі стенду FESTO MPS 403-1, що складається з трьох послідовних, логічно взаємопов'язаних етапів.

На першому, аналітичному етапі проведено структурований порівняльний аналіз технологій автоматичної ідентифікації. Розроблено матрицю оцінювання трьох базових підходів (бінарна детекція, оптичні коди, RFID) за чотирма критеріями: вартість, дальність зчитування, можливість перезапису та ємність носія. За інтегральним балом RFID отримала найвищу оцінку (11 балів), що обґрунтовує її застосування на стенді. Побудовано дерево рішень для вибору частотного діапазону RFID-системи та проведено його верифікацію на технічних умовах MPS 403-1: результатом є однозначний вибір HF-діапазону (стандарт ISO 15693, 13,56 МГц), що відповідає фактично встановленому обладнанню.

На другому, апаратному етапі виконано повне конфігурування RFID-системи у середовищі Siemens TIA Portal. Визначено інтерфейс зв'язку

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.02.ПЗ</i>	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

PROFINET IO RT між контролером Siemens S7-1512C-1 PN та шлюзом Turck TBEN-S2-2RFID-4DXP. Сформовано Device Overview шлюзу з двома каналами HF Compact, визначено адресний простір процесних даних, налаштовано параметри модулів (тип транспондера NXP I-Code SLI, режим очікування UID). Розроблено таблицю тегів ПЛК на базі структур RFID_TBEN_IN/OUT. Верифікацію апаратної конфігурації підтверджено стабільним переключенням сигналу xTP (Tag Present) при взаємодії транспондера зі зчитувачем.

На третьому, програмному етапі розроблено функціональний блок fbRFID_Control мовою SCL відповідно до стандарту IEC 61131-3. Реалізовано трикроковий алгоритм керування на базі CASE-структури: ініціалізація зчитувача командою Idle mode (cwCMD_IDLE = 16#0000), очікування підтвердження від шлюзу та моніторинг сигналу Tag Present із копіюванням UID командою MOVE_BLK. При відсутності транспондера масив abyUID обнуляється командою FILL_BLK. Верифікація блоку засобами Watch-таблиці TIA Portal підтвердила коректне зчитування унікального 8-байтного ідентифікатора транспондера (перший байт 0xE0 відповідно до ISO 15693), унікальність UID для різних виробів та стабільне відстеження сигналу Tag Present.

Таким чином, у розділі 2 послідовно реалізовано повний інженерний цикл розгортання RFID-підсистеми: від обґрунтування технологічного вибору через апаратне конфігурування до програмної реалізації та верифікації на реальному промисловому обладнанні стенду MPS 403-1.

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуально інженерну задачу – розроблено та верифіковано програмно-технічний комплекс інтеграції технології RFID на базі фізичної моделі виробничої лінії FESTO MPS 403-1 з використанням ПЛК Siemens SIMATIC S7-1512C-1 PN, мережевого шлюзу Turck TBEN-S2-2RFID-4DXP та середовища програмування TIA Portal. За результатами роботи отримано такі основні результати.

У першому розділі проведено комплексний аналіз об'єкта автоматизації. Розглянуто серію навчальних фабрик FESTO MPS 400 (402-1, 403-1, 404-1, 405-1) та встановлено, що конфігурація MPS 403-1 є оптимальною для дослідження технології RFID, оскільки охоплює повний виробничий цикл у складі трьох станцій: Distributing Pro, Joining та Sorting Inline. Визначено структуру технологічного процесу як об'єкта керування: дискретний поштучний характер обробки, децентралізована ПЛК архітектура, параметрична гнучкість на основі RFID-трасування. Детально досліджено апаратне забезпечення системи - датчики, RFID-компоненти, приводи та контролери. Проаналізовано сучасні підходи до побудови систем автоматизації дискретного виробництва, зокрема ієрархічне ПЛК-керування за стандартом IEC 61131-3, інтеграцію MES-систем та протоколи PROFINET RT, IO-Link і OPC UA. Сформульовано три інженерні задачі розробки програмно-технічного комплексу.

У другому розділі розроблено та верифіковано програмно-технічний комплекс із трьох послідовних етапів. На аналітичному етапі проведено порівняльний аналіз технологій автоматичної ідентифікації за матрицею оцінювання та розроблено дерево рішень для вибору частотного діапазону RFID; верифікація підтвердила доцільність застосування HF-діапазону (ISO 15693).

					КНУ КРБ.151.26.05.00.ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ					
Розроб.		Демиденко Д.Є..								
Перевір.		Савийцький О.І.								
Н. Контр.		Маринич І.А.								
Затверд.		Маринич І.А.			КНУ АКІТ-22					

На апаратному етапі виконано повне конфігурування RFID-системи в TIA Portal через протокол PROFINET IO RT: налаштування шлюзу, визначення адресного простору, формування таблиці тегів ПЛК на базі структур RFID_TBEN_IN/OUT та верифікація апаратної конфігурації за сигналом xTP. На програмному етапі реалізовано функціональний блок fbRFID_Control мовою SCL з алгоритмом керування на базі CASE-структури для автоматичного зчитування UID транспондерів ISO 15693; верифікація на реальному обладнанні підтвердила коректність зчитування унікальних ідентифікаторів та стабільність роботи блоку.

Практична цінність роботи визначається тим, що розроблений програмно-технічний комплекс реалізовано та верифіковано на реальному промисловому обладнанні стенду FESTO MPS 403-1. Розроблена комплексна інженерна методика послідовно поєднує теоретичний аналіз технологій ідентифікації, конфігурування мережевого шлюзу через PROFINET IO та програмування повного циклу команд ISO 15693 мовою SCL, що робить її придатною для відтворення на аналогічному обладнанні. Функціональний блок fbRFID_Control може бути безпосередньо застосований або адаптований у реальних промислових проєктах інтеграції RFID-систем на базі шлюзів Turck та контролерів Siemens S7-1500. Розроблені інженерна матриця оцінювання технологій ідентифікації та дерево рішень вибору частотного діапазону є універсальними інструментами, застосовними при проєктуванні RFID-підсистем на різних виробничих об'єктах.

Згідно до завдання керівника проєкту, додатково був розроблений додаток: *“Проект методичних вказівок для лабораторних робіт по застосуванню RFID-системи для автоматизації процесу ідентифікації об'єктів для процесу сортування виробів”*, що забезпечує покрокове освоєння інженерного циклу розгортання RFID-підсистеми.

					КНУ КРБ.151.26.05.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Buy learning factory distributing pro, joining and sorting inline MPS 403-1 online | festo USA. Access Denied. URL: <https://surl.li/srszbe> (дата звернення: 28.04.2026).
2. Bysko S., Bysko S., Blachowicz T. Virtual commissioning and digital twins for energy-aware industrial electric drive systems. MDPI Open Access Journals. URL: <https://doi.org/10.3390/en18205375> (дата звернення: 29.04.2026).
3. Casella G., Bigliardi B., Bottani E. The evolution of RFID technology in the logistics field: a review. Procedia computer science. 2022. Т. 200. С. 1582–1592. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.359>.
4. Circuit diagrams - Distributing. Festo Didactic Infoportal. URL: <https://surli.cc/iczjqx>.
5. Compact multiprotocol I/O module for ethernet 4 io-link master channels. Turck. URL: [TBEN-S2-4IOL | TURCK - Your Global Automation Partner](https://www.turck.com/en/products/industrial-ethernet/compact-ethernet-4-io-link-master-channels).
6. Contributors to Wikimedia projects. Radio-frequency identification - Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_identification (дата звернення: 30.04.2026).
7. Demčák J., Židek K., Krenický T. Digital twin for monitoring the experimental assembly process using RFID technology. MDPI Open Access Journals. URL: <https://doi.org/10.3390/pr12071512> (дата звернення: 01.05.2026).
8. Digital twin of experimental smart manufacturing assembly system for industry 4.0 concept / K. Židek та ін. MDPI Open Access Journals. URL: <https://doi.org/10.3390/su12093658> (дата звернення: 01.05.2026).
9. Ersoy M. RFID module. Festo Didactic Infoportal. URL: <https://surl.li/bjqhxp> (дата звернення: 09.05.2026).

					КНУ КРБ.151.26.05.00.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Демиденко Д.Є.			СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Савицький О. І.								95	4
								КНУ АКІТ-22			
Н. Контр.		Маринич І.А.									
Затвердив		Маринич І.А.									

10. Festo didactic. Festo Didactic Infoportal. URL: <https://surl.li/oysfwz> (дата звернення: 12.05.2026).

11. From object identification to product memory with RFID. Festo learning experience. URL: <https://lx.festo.com/en/courses/32035/overview> (дата звернення: 15.05.2026).

12. MPS 403-1 | MPS - infoportal. Festo Didactic Infoportal. URL: [MPS 403-1](#) (дата звернення: 28.04.2026).

13. Phillips G. How does RFID technology work?. MakeUseOf. URL: [How Does RFID Technology Work?](#) (дата звернення: 30.04.2026).

14. RFID report: applications and implications for consumers. Wayback Machine. URL: <https://web.archive.org/web/20130928041242/https://www.ftc.gov/os/2005/03/050308rfidrpt.pdf> (дата звернення: 30.04.2026).

15. Smart manufacturing for industry 4.0 using radio frequency identification (RFID) technology / A. H. Akinlabi та ін. Jurnal kejuruteraan. 2020. Т. 32. С. 31–38. URL: [https://doi.org/10.17576/jkukm-2020-32\(1\)-05](https://doi.org/10.17576/jkukm-2020-32(1)-05).

16. The rise of passive RFID RTLS solutions in industry 5.0 / Y. Bendavid та ін. MDPI Open Access Journals. URL: <https://doi.org/10.3390/s24051711> (дата звернення: 02.05.2026).

17. Tsakas D., Ersoy M. Distributing station Pro - Operating instructions. URL: <https://surl.li/algolp>.

18. Tutorials | MPS - infoportal. Festo Didactic Infoportal. URL: [Tutorials | MPS - Infoportal](#) (дата звернення: 02.05.2026).

19. Ultrasonic sensor UC250-F77-EP-IO-V31. pepperl-fuchs. URL: [Ultrasonic sensor UC250-F77-EP-IO-V31](#).

20. W. Cardullo M. Genesis of the Versatile RFID Tag - RFID Journal. Wayback Machine. URL: <https://surl.li/ahqygo> (дата звернення: 30.05.2026).

21. ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ Структура та правила оформлювання ДСТУ 3008:2015. Wayback Machine. URL: <https://surl.li/paezff> (дата звернення: 25.05.2026).

					КНУ КРБ.151.26.05.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

22. Configuring ultrasonic sensors with io-link interface. Festo Didactic Infoportal. URL: [MANUAL - UC***-F77 Series](#) (дата звернення: 11.05.2026).

23. DC motor controller. Festo Didactic Infoportal. URL: [8064284 DC Motor Controller](#) (дата звернення: 11.05.2026).

24. Distance sensor. Festo Didactic Infoportal. URL: [Abstandssensor SOEG-RTD-Q20-PP-S-2L-TI Datenblatt](#) (дата звернення: 11.05.2026).

25. Ersoy M. RFID module. Festo Didactic Infoportal. URL: <https://surl.li/kehtiv> (дата звернення: 12.05.2026).

26. Fibre-optic cable Optoelectronic sensor s SOEZ-LLK-RT-2,0-M6 & Fibre-optic device Optoelectronic sensors SOEG-L-Q30-P-A-S-2L. Festo Didactic Infoportal. URL: [Lichtleiter SOEZ-LLK-RT-2,0-M6](#) (дата звернення: 12.05.2026).

27. Fibre-optic device & Fibre-optic cable. Festo Didactic Infoportal. URL: [Lichtleiter SOEZ-LLK-SE-2,0-M4](#) (дата звернення: 11.05.2026).

28. Fork light barrier SOOF-P-FL-ST-C50-P. Festo Didactic Infoportal. URL: [Gabellichtschranke SOOF-P-FL-ST-C50-P Datenblatt](#) (дата звернення: 12.05.2026).

29. Gear motor. Festo Didactic Infoportal. URL: [Getriebemotor 1/2 Der 24 V DC Motor ist fest mit dem Getriebe verschraubt. Motor- und Getriebeachse stehen im rechten Winkel zue](#) (дата звернення: 12.05.2026).

30. Operating instructions Capacitive sensors. Festo Didactic Infoportal. URL: [Operating instructions Capacitive sensors KQ6 80003301 / 00 09 / 2013](#) (дата звернення: 13.05.2026).

31. Operating instructions Photoelectric distance sensor. Festo Didactic Infoportal. URL: [Operating instructions Photoelectric distance sensor OGD592 OGD593 80272871 / 02 04 / 2019](#) (дата звернення: 13.05.2026).

32. Pressure sensor SDE5-V1-O-Q6-P-M8. Festo Didactic Infoportal. URL: [Drucksensor SDE5-V1-O-Q6-P-M8 Datenblatt](#) (дата звернення: 12.05.2026).

33. Proximity Sensor SIEN-M8NB-PS-S-L. Festo Didactic Infoportal. URL: <https://surl.li/iyjcda> (дата звернення: 12.05.2026).

					<i>КНУ КРБ.151.26.05.00.ПЗ</i>	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

34. Proximity Sensor SME-10-KL-LED-24. Festo Didactic Infoportal. URL: <https://surl.li/gmvjub> (дата звернення: 13.05.2026).

35. Proximity Sensor SME-8-K-LED-24. Festo Didactic Infoportal. URL: [Näherungsschalter SME-8-K-LED-24 Datenblatt](#) (дата звернення: 13.05.2026).

36. Product Guide Factory Automation. *FlippingBook*. URL: https://www.festo.com/pdf_flip/didactic/Factory_Automation/en/62-63/index.html (дата звернення: 30.04.2026).

					КНУ КРБ.151.26.05.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

Проект методичних вказівок для лабораторних робіт по застосуванню
RFID-системи для автоматизації процесу ідентифікації об'єктів для процесу
сортування виробів

А.1

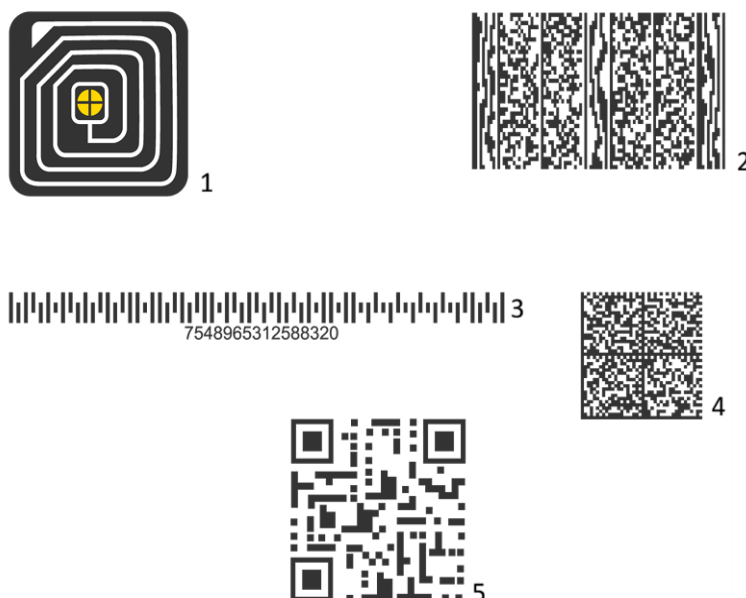
*Лабораторна робота №1: “Порівняльний аналіз технологій автоматичної
ідентифікації об'єктів та вибір RFID-системи”*

Мета роботи: Ознайомитися з основними технологіями автоматичної ідентифікації об'єктів (бінарна ідентифікація, оптичні коди, RFID), провести їх порівняльний аналіз за допомогою матриці оцінювання та навчитися обирати RFID-систему за деревом рішень відповідно до конкретних виробничих умов.

Теоретичні відомості

1.1 Технології автоматичної ідентифікації об'єктів

Сучасні виробничі системи широко використовують технології автоматичної ідентифікації для зв'язку кожного виробу з відповідним набором даних



1 - RFID мітка; 2 - PDF417 (лінійний штрих код); 3-Поштовий штрих код; 4 - Квадратний двовимірний матричний код; 5-QR-код

Рисунок А1.1 - Технології автоматичної ідентифікації об'єктів

. Ідентифікація дозволяє відстежувати вироби на всіх етапах виробництва та логістики, керувати конвеєрними та складськими системами. Усі підходи базуються на спільній ідеї: прикріплення унікальної ознаки до кожного об'єкта та зчитування цієї ознаки за допомогою сенсорних технологій. Протягом десятиліть галузь пройшла шлях від бінарної ідентифікації до штрихових кодів і перезаписуваних носіїв даних.

Бінарна Ідентифікація - найпростіша технологія, в якій ознака об'єкта кодується послідовністю бітів і зчитується бінарними датчиками (індуктивними, фотоелектричними, контактними). Виходячи з принципу роботи, бінарна ідентифікація обмежена малою кількістю розрізнявальних об'єктів і вимагає точного позиціонування датчика. Сьогодні вона використовується переважно у навчальних цілях.

Оптичні коди кодують дані у візуальних позначеннях, що зчитуються спеціалізованими оптичними сканерами. Розрізняють одновимірні коди (1D, лінійні штрих-коди), стекові коди (стопки рядків), двовимірні матричні коди (2D, наприклад QR-код і DataMatrix) та тривимірні коди (3D, що використовують колір як третій вимір). Ємність коду зростає від кількох цифр у 1D до 3 кБ у QR-коді. Головний недолік - оптичні коди незмінні після друку.

Для різних оптичних кодів притаманні відповідні їм зчитувачі, нижче наведено приклади для багаторядкових, двовимірних та тривимірних кодів:



Рисунок А1.2 - Одновимірні коди

Найбільш приземленим прикладом є каси в супермаркеті, які оснащені стаціонарними зчитувачами, які діють на дуже коротких дистанціях та можуть зчитати лише 1D коди але перевагою таких зчитувачів є швидкість зчитування.



Рисунок А1.3 - Двовимірний код

Одним з найбільш знайомих технологій ідентифікації є QR-коди (рис.1.3). Найпростішим прикладом зчитувача таких кодів є ваш смартфон на якому встановлений застосунок який дає змогу зчитувати двовимірні коди. Смартфони зазвичай мають дуже короткий діапазон зчитування, оскільки вбудована камера не здатна розпізнати код з достатньою точністю на великій відстані.

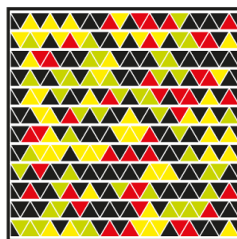


Рисунок А1.4 - Тривимірний код

Для тривимірних кодів потрібен спеціалізований, портативний зчитувач з сенсорним екраном. Як правило, значно міцніший за смартфони - розрахований на використання на складах та в транспортній логістиці.

RFID (Radio Frequency Identification) - технологія радіочастотної ідентифікації, в якій об'єкт отримує носій даних (транспондер або мітку), що може бути зчитаний і перезаписаний за допомогою відповідних пристроїв. Ключова перевага RFID перед іншими технологіями - можливість змінювати

вміст транспондера в будь-який момент, що дозволяє зберігати актуальну інформацію про стан об'єкта протягом усього його життєвого циклу

1.2 Компоненти RFID-системи

RFID-система складається з трьох основних компонентів: транспондера, зчитувача/записувача та (за необхідності) шлюзу.

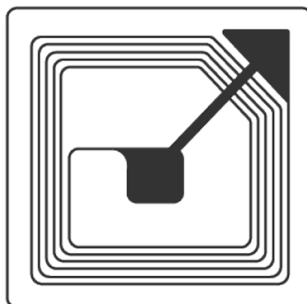


Рисунок А1.5 - RFID-транспондер (RFID-мітка)

Транспондер містить накопичувач даних, який зчитувач/записувач може зчитувати та змінювати. Крім того, він також містить керуючу електроніку для зв'язку зі зчитувачем/записувачем. Залежно від конструкції та обсягу накопичувача, ціни варіюються від кількох євроцентів до значних двозначних сум.

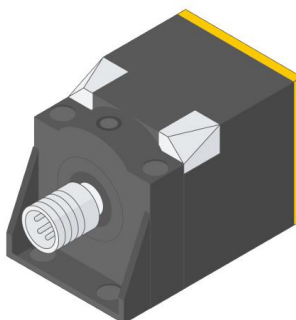
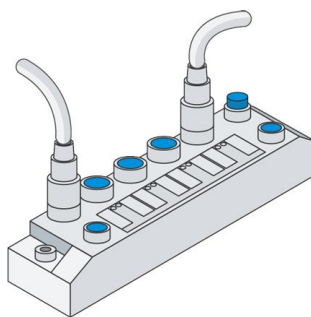


Рисунок А1.6 - Пристрій зчитування/запису RFID

Зчитувач/записувач зчитує дані з транспондера та записує їх на нього. Залежно від системи, зчитувач/записувач також може складатися з двох окремих пристроїв: вузла зв'язку та антени. Ціни починаються від двозначних сум у євро і сягають верхнього тризначного діапазону.



A1.7 - Шлюз RFID системи

Шлюз з'єднує зчитувач/записувач із системами ІТ вищого рівня. У деяких випадках ця функціональність також інтегрована безпосередньо у зчитувач/записувач. Якщо шлюз необхідний, його ціна, як правило, становить кілька сотень євро.

1.3 Критерії вибору RFID-системи та частотні діапазони

Вибір RFID-системи означає передусім вибір робочої частоти. Доступні три основні діапазони: низькочастотний (LF, ~125 кГц), високочастотний (HF, 13,56 МГц) та ультрависокочастотний (UHF, 860–960 МГц). Вибір частоти визначається чотирма ключовими критеріями.

Таблиця A1.1 - Характеристики частотних діапазонів RFID

Критерій	LF (до 125 кГц)	HF (13,56 МГц)	UHF (860–960 МГц)
Дальність зчитування	До ~1 м	До ~1 м (Remote coupling)	До ~16 м (пасивні), ~100 м (активні)
Вплив вологи	Мінімальний	Малий	Значний
Одночасне зчитування міток	1 мітка	До ~20 міток	Більше 20 міток
Ємність пам'яті	До 256 байт	До 8 кБ	До 3 кБ

Критерій	LF (до125кГц)	HF(13,56 МГц)	UHF(860–960 МГц)
Типове застосування	Ідентифікація тварин, контроль доступу (close-coupling)	Промислова автоматизація, контроль доступу, бібліотеки	Логістика, складування, стеження за об'єктами на великій відстані

Крім частоти, важливими факторами вибору є умови навколишнього середовища (механічні, хімічні, теплові навантаження, волога), місце використання (різні країни регулюють UHF по-різному), обсяг пам'яті транспондера та сумісність зі стандартами (ISO15693, ISO14443 для HF; ISO 18000-63 для UHF).

Завдання на лабораторну роботу

Варіанти для виконання завдань видаються викладачем.

Завдання 1

Таблиця А1.2 - Шаблон матриці оцінювання

Технологія	Вартість	Дальність зчитування	Можливість перезапису	Ємність пам'яті	Сума
Бінарна ідентифікація					
Оптичні коди					
RFID					

1.1. Проведення порівняльного аналізу за допомогою матриці оцінювання. Матриця оцінювання - це таблиця, де кожен рядок відповідає

певній технології, а кожен стовпець - критерію оцінювання. В останньому стовпці підраховується сума всіх оцінок.

1.2. Оцініть кожну технологію за кожним критерієм, використовуючи шкалу від 1 (найгірша оцінка) до 3 (найкраща оцінка). Заповніть стовпці таблиці числами, підсумуйте кожен рядок і вкажіть суму в останньому стовпці. Оберіть технологію з найвищою сумою - вона є переможцем порівняння.

Дійте відповідно до власних знань. Не бійтеся повернутися до теоретичної частини, якщо не можете пригадати деякі деталі. Також допускається пошук додаткових джерел в Інтернеті.

1.3. Порівняйте заповнену вами таблицю з еталонною матрицею, наведеною нижче. Перш ніж починати порівняння, уважно ознайомтеся з еталонною таблицею та обґрунтуванням кожної оцінки (наведена еталонна матриця є суб'єктивною, тому не полягайтеся на неї як на правильну).

Таблиця А1.3 - Еталонна матриця порівняльного оцінювання технологій ідентифікації (четвертий критерій - ємність пам'яті)

Технологія	Вартість	Дальність зчитування	Можливість перезапису	Ємність пам'яті	Сума
Бінарна ідентифікація	3	1	1	1	6
Оптичні коди	3	2	1	2	8
RFID	2	3	3	3	11

Для оцінок, що відрізняються від еталонних, обґрунтуйте свій вибір.

Завдання 2

2.1 Вибір RFID-системи зводиться насамперед до вибору робочої частоти. З усіх критеріїв вибору в цьому завданні розглядаються чотири: дальність дії, наявність вологи у місці використання, кількість міток, що зчитуються одночасно, обсяг даних на мітках. Вкажіть у таблиці нижче, які частотні

діапазони відповідають кожному значенню критерію. Позначте відповідні клітинки знаком «✓».

Таблиця А1.4 - Відповідність значень критеріїв частотним діапазонам

Критерій	Значення критерію	LF	HF	UHF
Дальність зчитування	До~1м			
	До~1м(з індуктивним зв'язком)			
	До~16м (пасивні)/~100м (активні)			
Волога у середовищі	Наявна (волога, дощ, туман)			
	Відсутня			
Кількість одночасних міток	Одна мітка			
	До~20 міток			
	Сотні міток			
Ємність пам'яті	Мала (до 256 байт)			
	Велика (до 8 кБ)			

2.2 Нижче наведено майже заповнене дерево рішень для вибору частотного діапазону RFID-системи. Уважно розгляньте його структуру, після чого заповніть пропуски, обравши правильні варіанти з наведеного переліку: ≤ 1 м; Так; ≤ 256 Б; Ні; Так; > 1 м; ≤ 20 ; > 20 ; > 3 кБ; Ні; 256 Б - 3 кБ

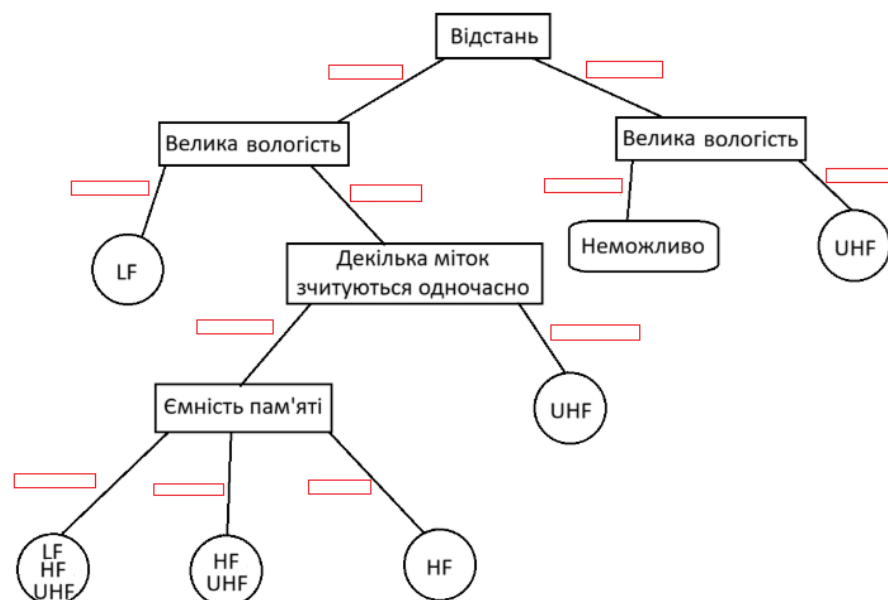


Рисунок А1.8 - Дерево рішень

Завдання 3

Використовуючи заповнену таблицю 1.4 та дерево рішень із завдання 2.2, розв'яжіть задачу, що відповідає вашому варіанту (таблиця 1.5). Дайте обґрунтовану відповідь на запитання: «Які частоти підходять доданої RFID-системи?» - оберіть один або кілька варіантів: LF, HF, UHF. Обґрунтуйте свій вибір за кожним з чотирьох критеріїв.

Таблиця А1.5 - Варіанти індивідуальних задач

№	Умова задачі
1	Підприємство виробляє металеві деталі для автомобільної промисловості. Деталі рухаються конвеєром поштучно. Необхідно зчитувати мітки на відстані до 50 мм. Вологи та хімікатів немає. Потрібно зберігати детальну історію обробки кожної деталі (до 500 байт).
2	Логістична компанія сортує посилки на розподільчому складі. Посилки рухаються групами по 50–100 штук одночасно через ворота. Відстань зчитування - до 5 м. Вологи немає. На мітці лише номер відправлення (8 байт).

№	Умова задачі
3	Харчове виробництво: упаковки з рибою рухаються конвеєром поштучно через зону миття. Висока вологість, постійний контакт з водою. Відстань зчитування - до 30 см. На мітці - дата виробництва та номер партії (16 байт).
4	Бібліотека автоматизує облік книг. Читач підносить книгу до стаціонарного зчитувача на столі. Відстань зчитування - до 10 см. Вологи немає. На мітці - інвентарний номер та назва (до 200 байт).
5	Авіакомпанія ідентифікує багаж на стрічці в аеропорту. Валізи рухаються поштучно зі швидкістю 2 м/с. Відстань зчитування - до 1,5 м. Вологи немає. На мітці - номер рейсу та ПІБ пасажирів (32 байти).
6	Ферма автоматизує облік великої рогатої худоби. Тварини проходять через ворота поштучно. Середовище вологе, можливий контакт з рідиною. Відстань зчитування - до 80 см. На мітці - лише номер тварини (8 байт).
7	Фармацевтичне підприємство відстежує флакони з ліками. Флакони рухаються конвеєром поштучно. Суха чиста зона. Відстань зчитування - до 5 см. Необхідно зберігати повний журнал виробничих операцій (до 4 кБ).
8	Мережа супермаркетів впроваджує розумні полиці. Одночасно на полиці знаходиться до 200 товарів з мітками. Зчитувач вбудований у полицю. Відстань - до 30 см. На мітці - лише артикул товару (4 байти).

№	Умова задачі
9	Молочний завод відстежує цистерни з молоком на вулиці. Одночасно одна цистерна. Дощ, мороз, вологість висока. Відстань зчитування - до 3 м. На мітці - номер цистерни та власник (16 байт).
10	Завод виробляє пластикові труби. Труби рухаються конвеєром поштучно через зону охолодження водою. Висока вологість. Відстань зчитування - до 20 см. На мітці - діаметр, матеріал, партія (24 байти).
11	Система керування доступом у офісному центрі. Співробітник підносить картку до зчитувача біля дверей. Відстань - до 5 см. Суха зона. На мітці - лише ID співробітника (8 байт). Одночасно одна картка.
12	Автомобільний завод: кузови рухаються конвеєром поштучно через зону фарбування (розчинники, хімікати). Відстань зчитування - до 80 см. На мітці - модель, колір, комплектація, журнал операцій (до 2 кБ).
13	Магазин одягу впроваджує облік товарів. Під час інвентаризації одночасно зчитуються до 150 виробів у ящику. Відстань - до 1 м. Суха зона. На мітці - артикул та розмір (8 байт).
14	Лікарня відстежує медичне обладнання (каталки, апарати). Обладнання рухається поштучно через коридори. Суха зона. Відстань - до 3 м. На мітці - інвентарний номер та відділення (20 байт).
15	Сміттєпереробний завод ідентифікує контейнери під час завантаження. Одночасно один контейнер. Брудне середовище, можливий контакт з рідиною. Відстань - до 50 см. На мітці - лише номер контейнера (4 байти).

Лабораторна робота №2: «Апаратна конфігурація RFID-системи та програмування зчитування UID транспондера в TIA Portal»

Мета роботи: Опанувати практичні навички конфігурування апаратного забезпечення RFID системи у середовищі Siemens TIA Portal; навчитися програмувати функціональний блок зчитування UID транспондера ISO 15693 мовою SCL з використанням команд MOVE_BLK та FILL_BLK

Теоретичні відомості

2.1 Апаратна складова RFID-системи стану MPS 400

Об'єктом конфігурування є промисловий контролер Siemens SIMATIC S7-1500 (CPU 1512C-1 PN), що виступає IO-Controller у мережі PROFINET IO, та мережевий шлюз Turck TBEN-S2-2RFID-4DXP. Шлюз забезпечує підключення двоканального зчитувача RFID до мережі і є єдиним компонентом, відповідальним за комунікацію між ПЛК та HF-зчитувачем - він виконує перетворення між протоколом ПЛК та інтерфейсом зчитувача.

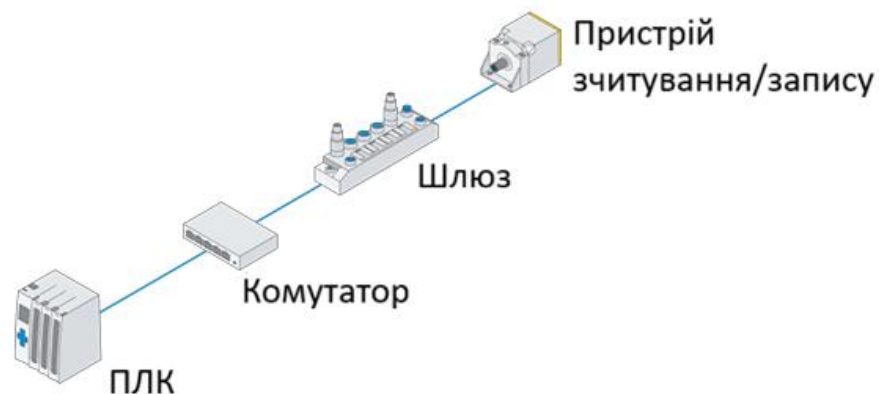


Рисунок A2.1 - Мережева топологія RFID-системи MPS

2.2 Протокол PROFINET IO та його варіанти

PROFINET - промисловий стандарт зв'язку на базі Ethernet. Два варіанти реального часу: •

- PROFINET IO RT (Real-Time) - цикл оновлення менше 10 мс; охоплює ~90% промислових застосувань. Використовується у системах MPS 400.

- PROFINET IO IRT (Isochronous Real-Time) - цикл менше 1 мс; для motion control. Потребує спеціальних комутаторів.

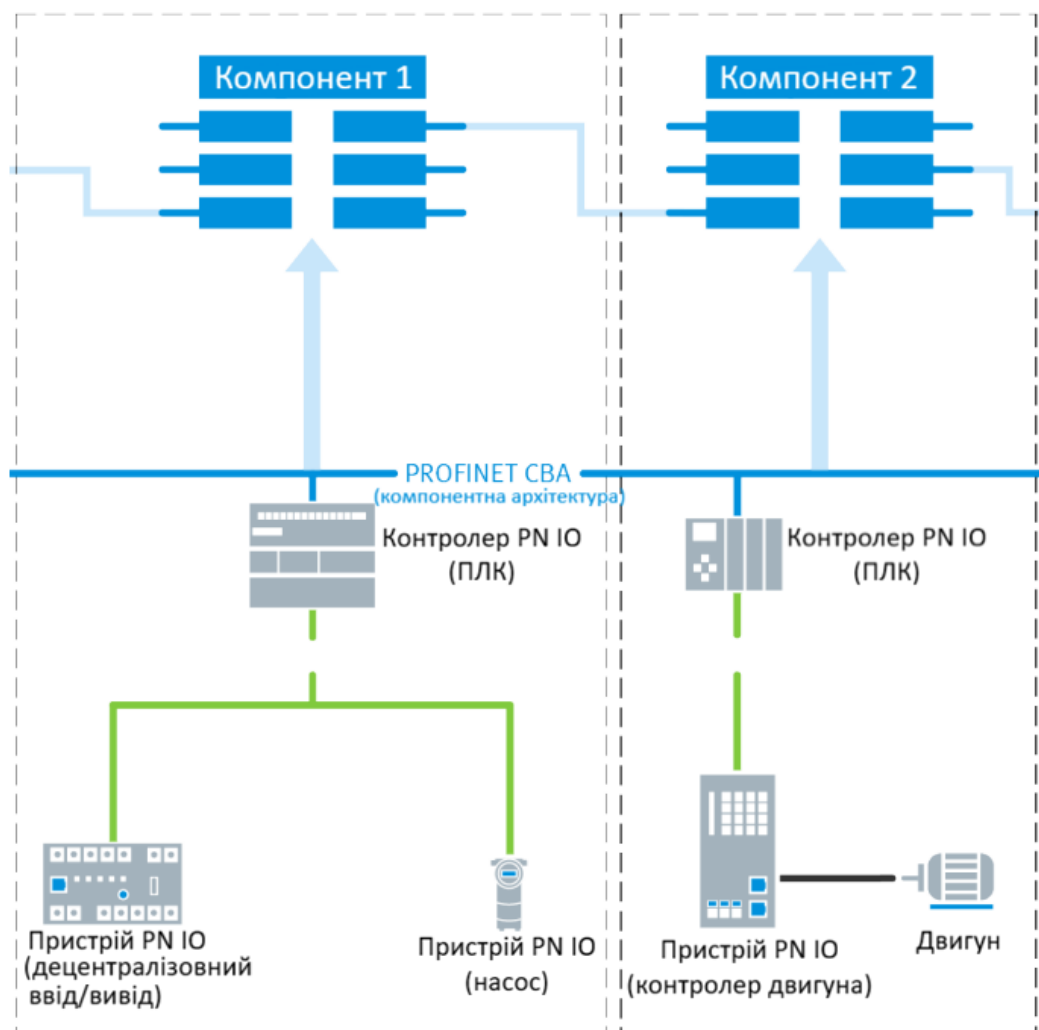


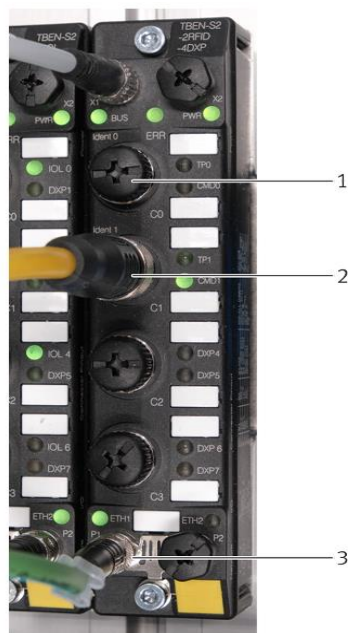
Рисунок A2.2 - Мережа PROFINET IO: IO-Controller (ПЛК) та IO-Devices; схема з PROFINET IO та компонентною архітектурою

У мережі PROFINET IO є IO-Controller (ПЛК) та IO-Devices (датчики, шлюзи тощо). Кожному IO-Device призначається унікальне ім'я та адресний діапазон (I-адреси для вхідних, Q-адреси для вихідних даних). GSD-файл (General Station Description) - файл виробника, що описує типи й обсяги даних пристрою; імпортується до TIA Portal.

2.3 Шлюз *Turck TBEN-S2-2RFID-4DXP* та режим *HF Compact*

Шлюз TBEN-S2-2RFID-4DXP підтримує польові шини PROFINET, EtherNet/IP та Modbus TCP. Для MPS 400 обрано PROFINET IO RT як нативно підтримуваний протокол Siemens S7-1500 з найкращою інтеграцією в TIA Portal.

Режим HF Compact - спрощений режим зчитувача: за один цикл передається до 128 байт, у зоні одночасно не більше одного транспондера. Він оптимальний для поштучної обробки виробів на стенді MPS 403-1.



1 - Канал RFID; 2 - Канал RFID; 3 - Роз'єм Ethernet

Рисунок A2.3 - Шлюз Turck TBEN-S2-2RFID-4DXP

2.4 Device Overview та адреси шлюзу

Device Overview шлюзу у TIA Portal відображає повну карту модулів та їхній адресний простір. Шлюз має два незалежних канали HF Compact (channel 0 та channel 1). Для кожного каналу виділяється по 128 байт вхідних та 128 байт вихідних даних.

Module	Rack	Slot	I address	Q address	Type	Article no.
pnioRFID_Distributing	0	0			TBEN-S2-2RFID-4DXP	6814029
PN-IO	0	0 X1			turck-tben-s2-2rfid...	
HF compact_0	0	RFID control/status ch0	160...171	160...171	HF compact	
128 Byte read_0	0	RFID read data ch0	172...299		128 Byte read	
128 Byte write_0	0	RFID write data ch0		172...299	128 Byte write	
HF compact_1	0	RFID control/status ch1	300...311	300...311	HF compact	
128 Byte read_1	0	RFID read data ch1	312...439		128 Byte read	
128 Byte write_1	0	RFID write data ch1		312...439	128 Byte write	
	0	RFID diagnostics				
	0	DXP				

Рисунок A2.4 - Device Overview шлюзу RFIDgateway у TIA Portal
(конфігурація двох HF Compact каналів)

Конфігурація містить два незалежних канали HF Compact (HF compact_0 та HF compact_1), кожен з яких може обслуговувати окремий зчитувач (цифра 1 на рис.2.8). Для кожного каналу виділяється по 128 байт вхідних (читання) та 128 байт вихідних (запис) даних (цифра 2 на рис.2.8). Адресний простір каналу 0 займає діапазони %I160–%I299 та %Q172–%Q299; каналу 1 - %I300–%I439 та %Q300 %Q439 (цифра 3 на рис.2.8). Ці адреси є налаштовуваними, проте для узгодженості з подальшими модулями програми змінювати їх не рекомендується.

2.5. Параметри модуля HF Compact

Параметри відкриваються через Properties → General → Module parameters після вибору модуля HF compact у Device Overview.

Таблиця A2.1 - Параметри модуля HF Compact зчитувача Turck

Параметр	Призначення
HF: Select Tag type	Тип транспондера (носія даних). Визначає розмір блоку пам'яті для коректного адресування. Для MPS 400 застосовується тип NXP I-Code SLI (112 байт пам'яті, 28 блоків по 4 байти). Може бути встановлено в режим автоматичного розпізнавання.
HF: Bypass time	Час витримки (мс) при короткочасному зникненні транспондера з поля зчитування. Запобігає помилковому завершенню транзакції при проходженні крізь неоднорідне поле. Визначається експериментально для конкретної швидкості конвеєра.
HF: Autotuning	Автоматичне підстроювання поля під умови навколишнього середовища (металеве оточення). Підтримується лише пристроями типів Turck TNLR-... та TNSLR-....
Deactivate HF detuned diagnostic	Вимикає діагностичні повідомлення про розлаштування поля при активованому Autotuning. У штатному режимі має бути ввімкнено (по = повідомлення активні).

Параметр	Призначення
Deactivate diagnostics	Повністю пригнічує всі діагностичні повідомлення пристрою. Не рекомендується вимикати без вагомих підстав.
Command retries at failure	Кількість автоматичних повторних спроб при невдалій транзакції читання/запису через перешкоди в радіоканалі. Не стосується програмних помилок.
HF: Idle mode	Режим очікування - визначає, які дані зчитуються автоматично при появі транспондера в зоні дії у відсутність активної команди. Значення за замовчуванням: UID (зчитується унікальний ідентифікатор транспондера).

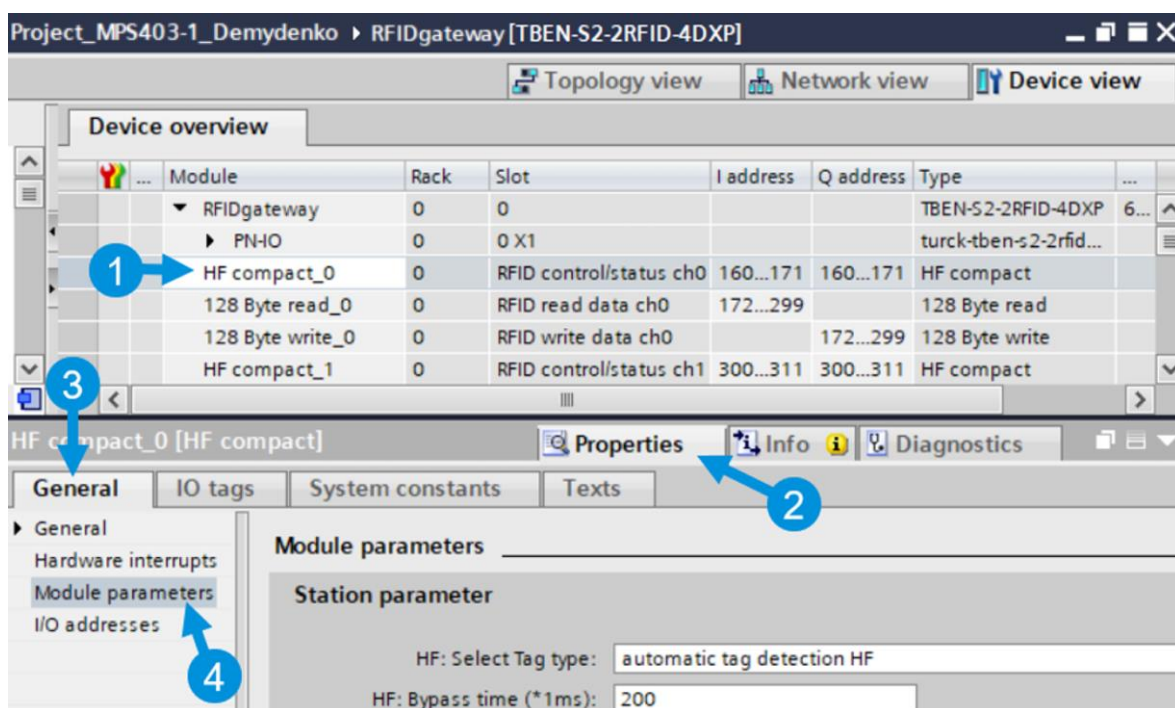


Рисунок A2.5 - Вікно параметрів модуля HF Compact у TIA Portal (разом з покроковою інструкцією)

Параметр Bypass time потрібен для уникнення хибного розриву зв'язку при нерівномірному переміщенні транспондера. Якщо транспондер виходить з

поля на час менший за Bypass time - зчитувач вважає зв'язок активним.
Мінімальний час розраховується:

$$t_{\text{Bypass}} = \frac{L}{v}$$

де L - довжина «мертвої зони», v - швидкість виробу.

2.6. Таблиця змінних ПЛК та типи даних RFID

Таблиця тегів ПЛК зв'язує адресний простір шлюзу зі змінними програми.
Використовуються два структурних типи:

- RFID_TBEN_IN - вхідні дані (від шлюзу до ПЛК):
підструктура RFID_HF_CMP_IN (статус, код відповіді) + масив ReadData[0..127].
- RFID_TBEN_OUT - вихідні дані (від ПЛК до шлюзу):
підструктура RFID_HF_CMP_OUT (код команди, адреса, довжина) + масив WriteData[0..127].

Адреси змінних відповідають початку блоку статус/керування в Device Overview: %I160.0 / %Q160.0 для каналу 0; %I300.0 / %Q300.0 для каналу 1.

...mydenko ▶ DistributingPLC [CPU 1512C-1 PN] ▶ PLC tags ▶ RFID [2]					
RFID					
	Name	Data type	Address	Retain	Ac
1	▼ Rfid1_IN	"RFID_TBEN_IN"	%I300.0	☐	
2	▶ Status	RFID_HF_CMP_IN	%I300.0		
3	▶ ReadData	Array[0..127] of Byte	%I312.0		
4	▼ Rfid1_OUT	"RFID_TBEN_OUT"	%Q300.0	☐	
5	▶ Control	RFID_HF_CMP_OUT	%Q300.0		
6	▶ WriteData	Array[0..127] of Byte	%Q312.0		
7	<Add new>			☐	

Рисунок A2.6 - Таблиця тегів RFID у TIA Portal з чотирма змінними для двох каналі шлюзу

2.7 Введення в експлуатацію: призначення імені PROFINET-пристрою та верифікація

Перед завантаженням проєкту шлюзу RFID призначається ім'я PROFINET-пристрою через правокнопкове меню → Assign device name. Ім'я в TIA Portal та ім'я фізичного шлюзу мають збігатися (усі літери у нижньому регістрі). Якщо імена відрізняються - контролер не встановить з'єднання з пристроєм.

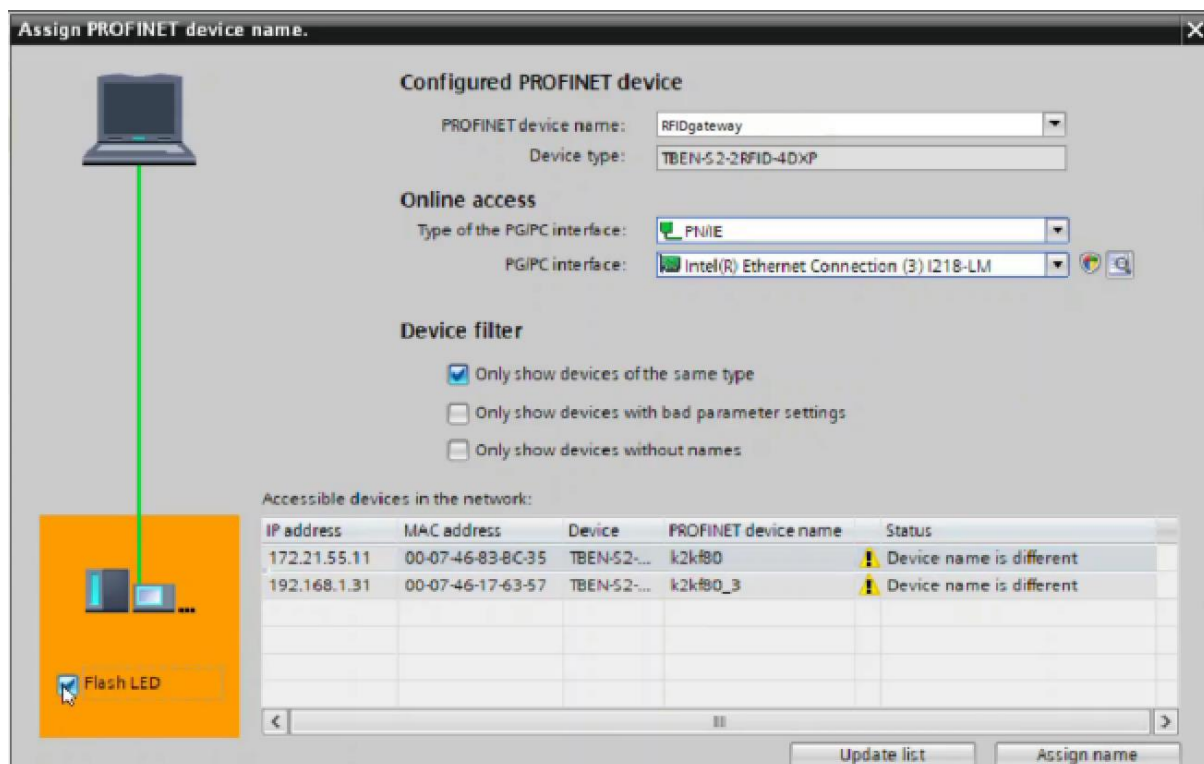
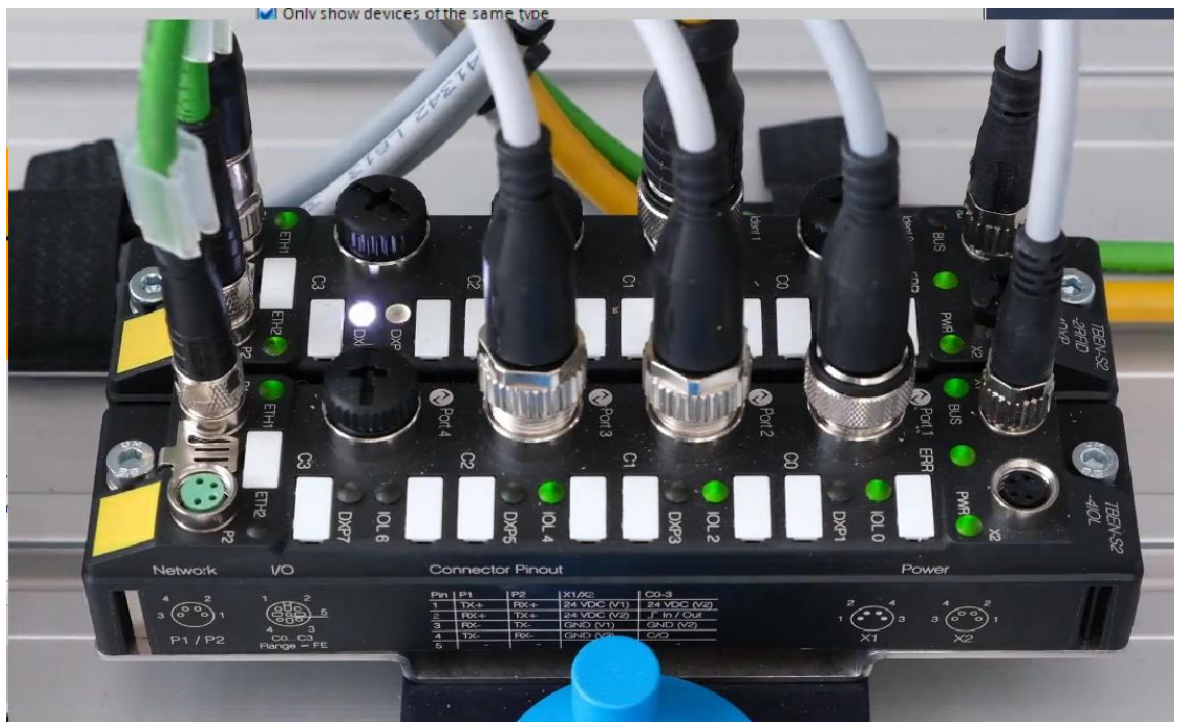


Рисунок А2.7 - Верифікація імені шлюзу в TIA Portal та імені фізичного шлюзу

Перед завантаженням проєкту до шлюзу RFID присвоюється ім'я пристрою PROFINET. Ця операція виконується через правокнопкове меню пристрою в дереві проєкту → Assign device name. Ім'я в TIA Portal та ім'я, присвоєне фізичному шлюзу, мають збігатися (всі літери у нижньому регістрі); в іншому випадку контролер не встановить з'єднання з пристроєм. Перелік доступних пристроїв у мережі оновлюється кнопкою Update list; для перевірки відповідності фізичного пристрою його запис можна ідентифікувати через функцію Flash LED, як зображено на рис.А2.8



Скріншот таблиці змінних із розгорнутою структурою Status та активованим монітором каналу 1 наведено на рисунку А2.10.

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Monitor value	Su
1	Rfid0_IN	*RFID_TBEN_IN"	%I160.0		☒	☒	☒	☒	
2	Rfid0_OUT	*RFID_TBEN_OU...	%Q160.0		☒	☒	☒	☒	
3	Rfid1_IN	*RFID_TBEN_IN"	%I300.0		☒	☒	☒	☒	
4	Status	RFID_HF_CMP_IN	%I300.0		☒	☒	☒	☒	
5	iRESC	Int	%IW300		☒	☒	☒	0	
6	byRCNT	Byte	%IB302		☒	☒	☒	16#00	
7	byRes1	Byte	%IB303		☒	☒	☒	16#00	
8	xTP	Bool	%I304.0		☒	☒	☒	FALSE	
9	xRes1	Bool	%I304.1		☒	☒	☒	FALSE	
10	xRes2	Bool	%I304.2		☒	☒	☒	FALSE	
11	xRes3	Bool	%I304.3		☒	☒	☒	FALSE	
12	xXD	Bool	%I304.4		☒	☒	☒	FALSE	
13	xPNS	Bool	%I304.5		☒	☒	☒	FALSE	
14	xTRE	Bool	%I304.6		☒	☒	☒	FALSE	
15	xTNC	Bool	%I304.7		☒	☒	☒	FALSE	
16	xTON	Bool	%I305.0		☒	☒	☒	TRUE	

2 - Канал RFID 1; 3 - Структура Status; 4 - Змінна xTP (Tag present)

Рисунок А2.10 - Моніторинг змінної xTP (Tag Present) у структурі Status каналу 1

Завдання на лабораторну роботу

Варіанти для виконання завдань видаються викладачем.

Завдання 1

1.1 Перед тим як почати виконувати завдання на лабораторну роботу треба виконати наступні дії:

- Завантажте початковий проєкт. Відкрийте TIA Portal → Project view;
- Libraries → Project library / Master copies / Device configurations → перетягніть конфігурацію контролера та шлюзу у проєкт;

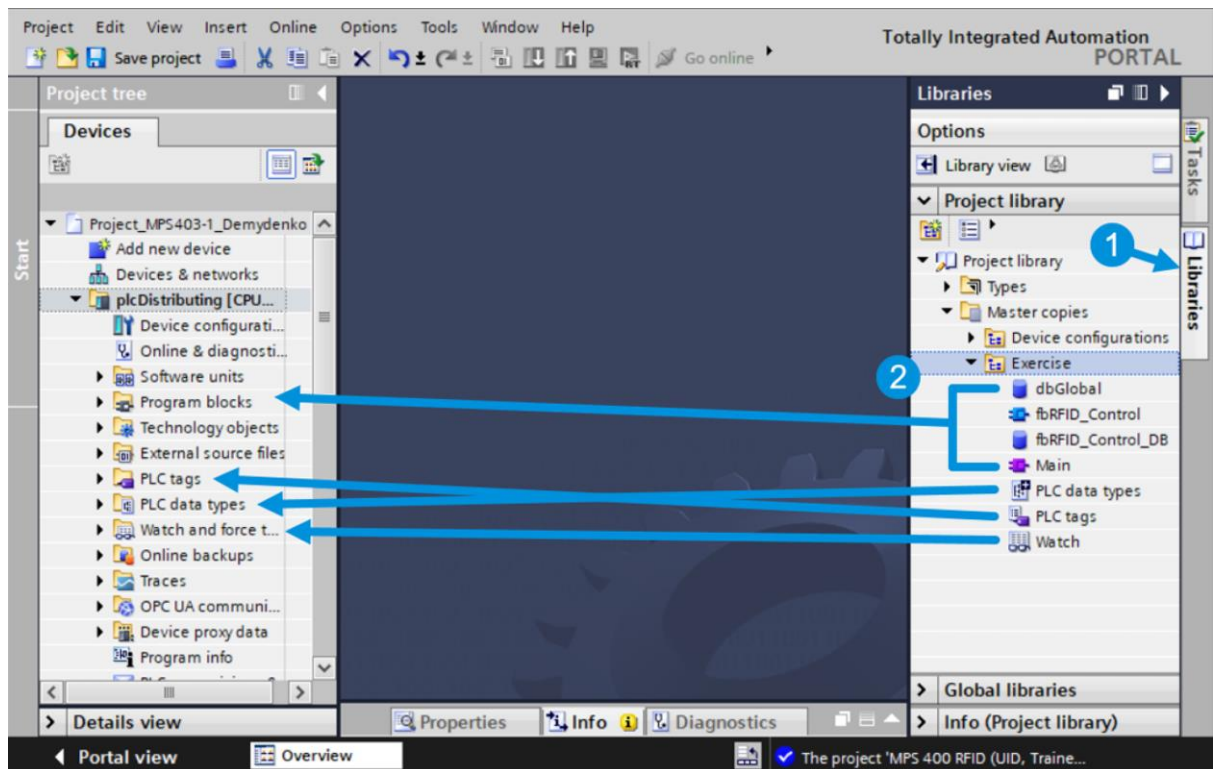


Рисунок А2.11 - Перетягування конфігурації контролера та шлюзу в проект

- У Devices & Networks призначте шлюз до контролера як ІО-пристрій;

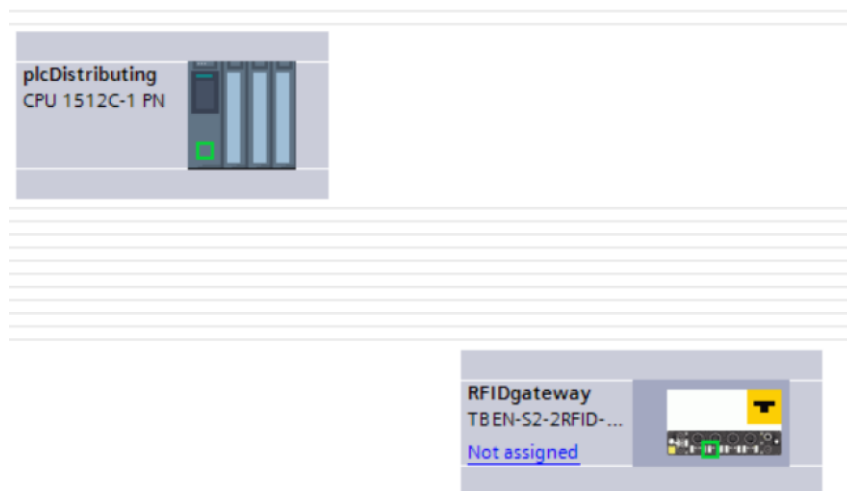


Рисунок А2.12 - Не призначений шлюз

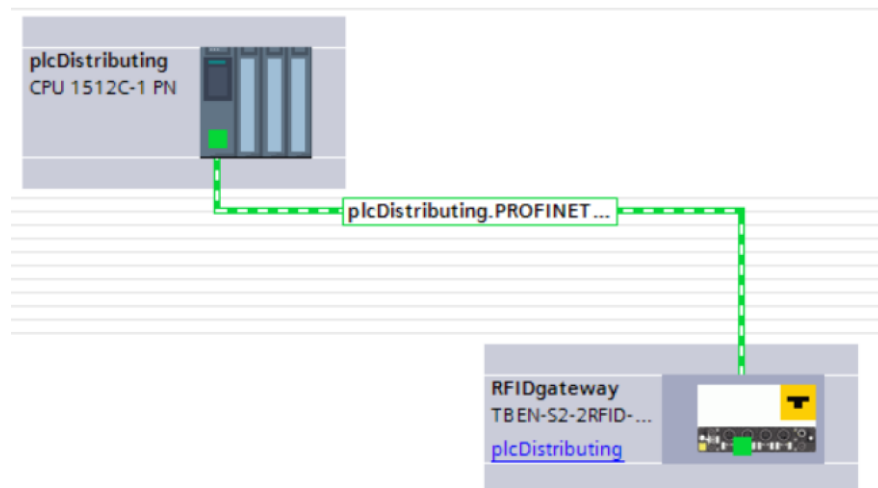


Рисунок A2.13 - Призначений шлюз

- Відкрийте Device configuration шлюзу → розгорніть Device Overview;

Project_MPS403-1_Demydenko ▶ RFIDgateway [TBEN-S2-2RFID-4DXP]

Topology view Network view **Device view**

Device overview

Module	Rack	Slot	I address	Q address	Type	Article no.
▼ pnioRFID_Distributing	0	0			TBEN-S2-2RFID-4DXP	6814029
▶ PN-IO	0	0 X1			turck-tben-s2-2rfid...	
1 HF compact_0	0	RFID control/status ch0	160...171	160...171	HF compact	
128 Byte read_0	0	RFID read data ch0	172...299		128 Byte read	
128 Byte write_0	0	RFID write data ch0		172...299	128 Byte write	
2 HF compact_1	0	RFID control/status ch1	300...311	300...311	HF compact	
128 Byte read_1	0	RFID read data ch1	312...439		128 Byte read	
128 Byte write_1	0	RFID write data ch1		312...439	128 Byte write	
	0	RFID diagnostics				
	0	DXP				

Рисунок A2.14 - Device Overview шлюзу pnioRFID_Distributing у TIA Portal (конфігурація двох HF Compact каналів)

- Відкрийте Properties → General → Module parameters модуля HF compact;

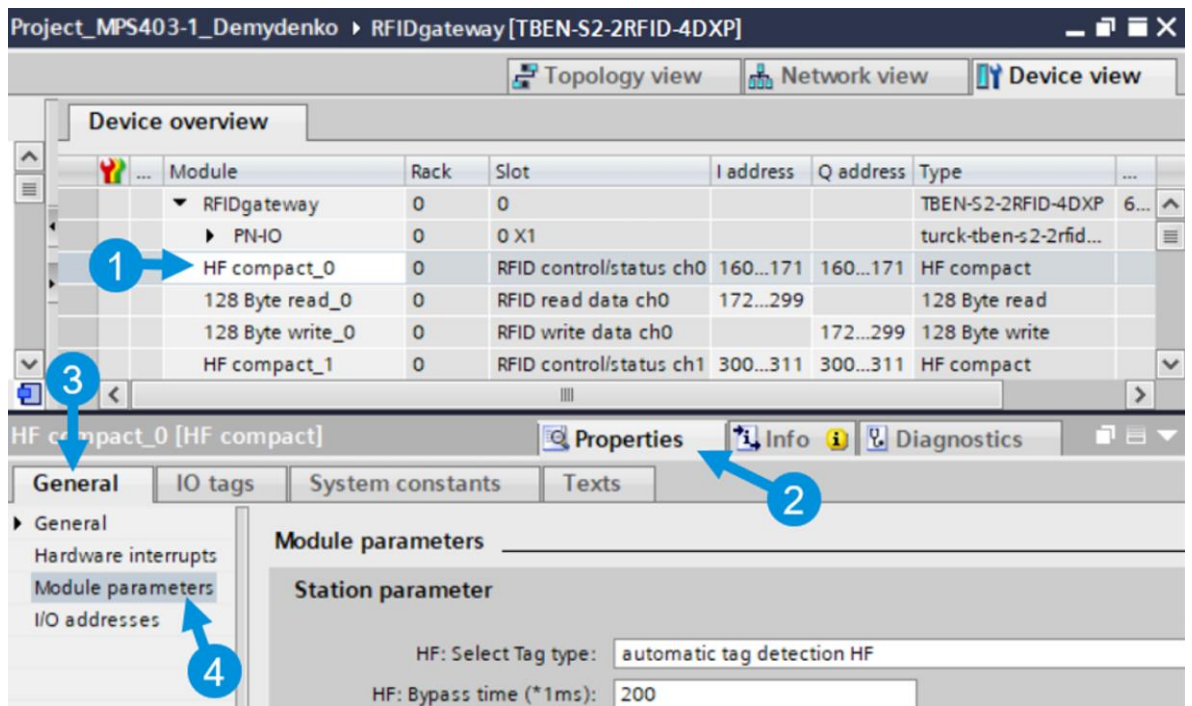


Рисунок А2.15 - Вікно параметрів модуля HF Compact у TIA Portal (разом з покроковою інструкцією)

Завдання 2

2.1 Розрахунок параметру Bypass time. Виріб рухається зі швидкістю $v = 50$ мм/с через зону зчитувача. Довжина «мертвої зони» $L = 5$ мм. Розрахуйте мінімальний Bypass time:

$$t_{\text{Bypass}} = \frac{L}{v}$$

Порівняйте з налаштованим значенням 200 мс та зробіть висновок.

Завдання 3

3.1 Формування таблиці тегів ПЛК. Відкрийте таблицю тегів RFID (рис. 2.6). Ознайомтеся з наявними змінними Rfid1_IN та Rfid1_OUT. Таблиця неповна - відсутні змінні для каналу 0. Визначте адреси за Device Overview та додайте їх.

3.2 Введення в експлуатацію та тестування.

- Присвоїти ім'я пристрою для шлюзу: правою кнопкою → Assign device name → Update list → Flash LED → Assign name;

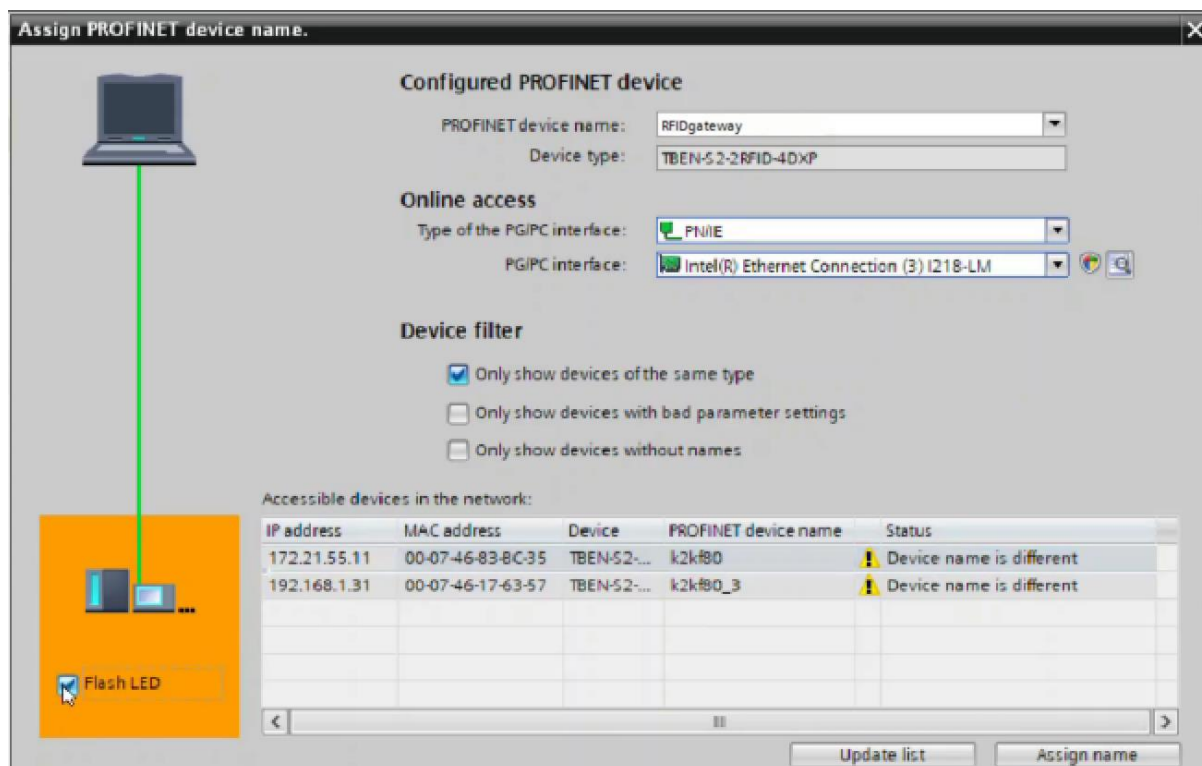


Рисунок A2.16 - Верифікація імені шлюзу в TIA Portal та імені фізичного шлюзу

- Виконати Master reset ПЛК: Online accesses → LAN → PLC → Online & diagnostics → Master reset (праве меню);
- Зкомпілювати: правою кнопкою на контролері → Compile → Hardware (rebuild all) → Software (rebuild all). Перевірте відсутність помилок;
- Download to device → підтвердіть усі кроки;
- Відкрийте Watch table → Monitor all. Піднесіть виріб до зчитувача (рис.A2.17 та A2.18);

Project_MPS403-1_Demydenko • Distributing PLC [CPU 1512C-1 PN] • PLC tags • RFID [4]

RFID									
	Name	Data type	Address	Retain	Access...	Write...	Visibl...	Monitor value	St...
1	RFID_IN	*RFID_TBEH_IN	%I160.0						
2	RFID_OUT	*RFID_TBEH_OUT	%Q160.0						
3	RFID_IN	*RFID_TBEH_IN	%I300.0						
4	Status	RFID_HF_CMP_IN	%I300.0						
5	RES_C	Int	%IW000					0	
6	byRCNT	Byte	%IB302					16#00	
7	byRes1	Byte	%IB303					16#00	
8	xTP	Bool	%I304.0					FALSE	
9	xRes1	Bool	%I304.1					FALSE	
10	xRes2	Bool	%I304.2					FALSE	
11	xRes3	Bool	%I304.3					FALSE	
12	xXD	Bool	%I304.4					FALSE	
13	xPHS	Bool	%I304.5					FALSE	
14	xTRE	Bool	%I304.6					FALSE	
15	xTNC	Bool	%I304.7					FALSE	
16	xTNN	Bool	%I305.0					TRUE	

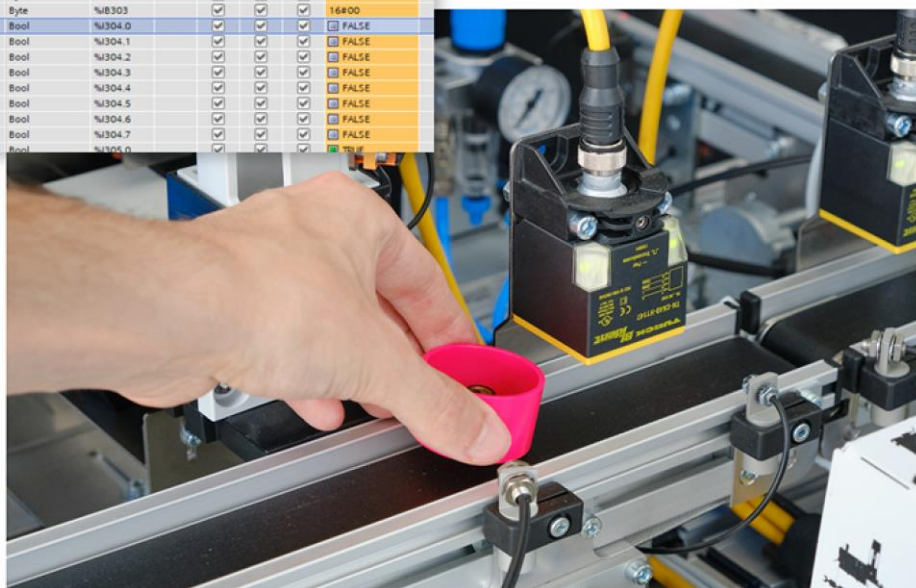


Рисунок A2.17 - Сигнал Tag Present (xTP) = FALSE: транспондер (мітка) поза зоною зчитування

Project_MPS403-1_Demydenko • Distributing PLC [CPU 1512C-1 PN] • PLC tags • RFID [4]

RFID									
	Name	Data type	Address	Retain	Access...	Write...	Visibl...	Monitor value	St...
1	RFID_IN	*RFID_TBEH_IN	%I160.0						
2	RFID_OUT	*RFID_TBEH_OUT	%Q160.0						
3	RFID_IN	*RFID_TBEH_IN	%I300.0						
4	Status	RFID_HF_CMP_IN	%I300.0						
5	RES_C	Int	%IW000					0	
6	byRCNT	Byte	%IB302					16#00	
7	byRes1	Byte	%IB303					16#00	
8	xTP	Bool	%I304.0					TRUE	
9	xRes1	Bool	%I304.1					FALSE	
10	xRes2	Bool	%I304.2					FALSE	
11	xRes3	Bool	%I304.3					FALSE	
12	xXD	Bool	%I304.4					FALSE	
13	xPHS	Bool	%I304.5					FALSE	
14	xTRE	Bool	%I304.6					FALSE	
15	xTNC	Bool	%I304.7					FALSE	
16	xTNN	Bool	%I305.0					TRUE	

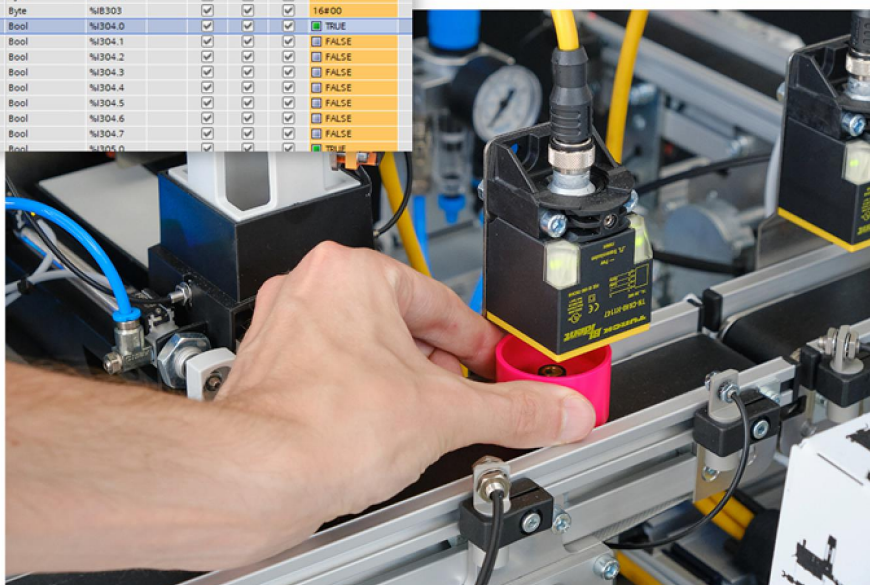


Рисунок A2.18 - Сигнал Tag Present (xTP) = TRUE: транспондер (мітка) у зоні зчитувача, транзакція ідентифікації активна

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ КРБ.151.26.05.00.ПЗ

Арк.

123

*Лабораторна робота №3: «Програмування команд читання та запису даних
RFID-транспондера в TIA Portal »*

Мета роботи: Навчитися реалізовувати команди читання та запису даних транспондера через шлюз Turck TBEN; опанувати принцип виконання команд через процесні дані PROFINET IO; набути навичок тестування RFID-функціонального блоку засобами Watch table.

Теоретичні відомості

3.1 Загальний алгоритм виконання команд на шлюзі Turck TBEN

Всі команди шлюзу виконуються за єдиним чотирикроковим алгоритмом.

Схема алгоритму наведена на рисунку нижче:

Таблиця A3.1 - Умови початку роботи RFID шлюзу

Крок	Дія	Умова переходу/результат
1	Перехід у Idle: wCMDC := 16#0000	Очікувати iRESC = 16#0000 (шлюз підтвердив Idle)
2	Відправка команди: wCMDC + dwADDR + wLEN (+ WriteData для запису)	Шлюз починає виконання
3	Очікування: iRESC від'ємний під час виконання	Перехід, як тільки iRESC > 0
4	Перевірка: iRESC < 16#4000 - успіх; iRESC ≥ 16#4000 - помилка	Успіх: копіювати дані. Помилка: xErrorInternal := TRUE

Важлива закономірність: код відповіді при успіху = код команди. Наприклад, після команди Read (0x0002) відповідь = 0x0002; після Write (0x0004) - 0x0004.

Таблиця А3.2 - Параметри команд читання та запису

Поле	Читання (Read)	Запис (Write)	Опис поля
wCMDC	16#0002 (=2)	16#0004 (=4)	Код команди
dwADDR	Стартова адреса	Стартова адреса	Адреса першого байта на транспондері
wLEN	Кількість байт	Кількість байт	Скільки байт читати / писати
WriteData [0..N]	- (не потрібно)	Дані для запису	Байти, що записуються на транспондер

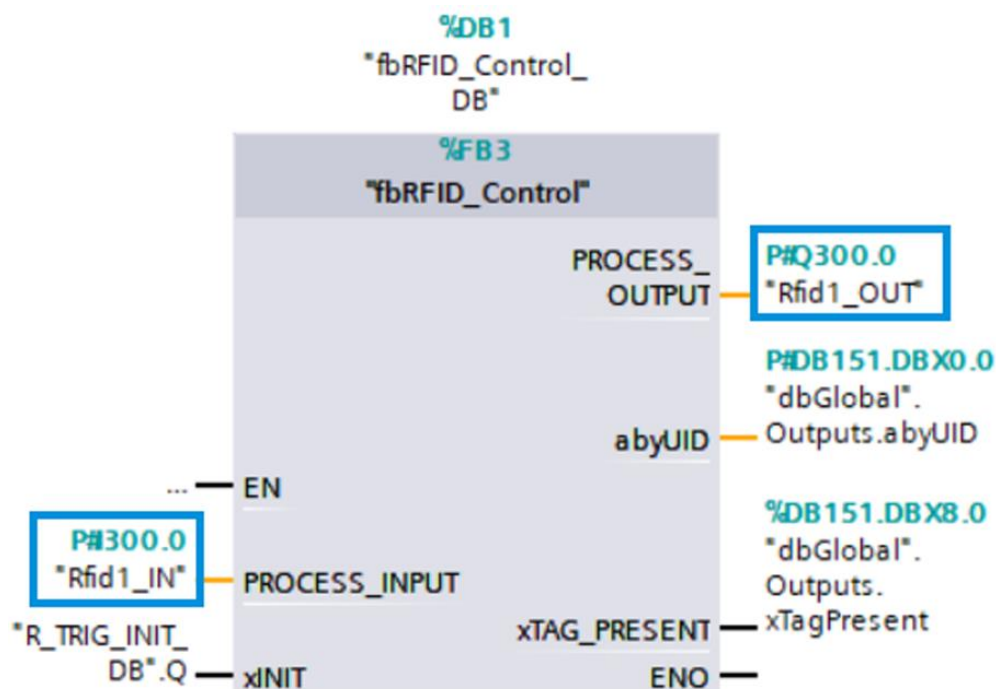


Рисунок А3.1 - Виклик fbRFID_Control в ОВ Main з підключенням до каналу 1 шлюзу RFID

Дзеркалом пам'яті транспондера є два масиви, abyREAD_DATA та abyWRITE_DATA. Ключова концепція масивів abyREAD_DATA та abyWRITE_DATA є дзеркальне відображення пам'яті транспондера. Індекс у масиві = фізична адреса байта на транспондері. Принцип відображення при читанні такий - прочитані байти завжди надходять у ReadData починаючи з індексу 0, але записуються в abyREAD_DATA починаючи з індексу diSTART_ADDRESS:

Лістинг А3.1 - Читання та запис даних на транспондер через MOVE_BLK

```
// Читання: байти [diSTART_ADDRESS..diSTART_ADDRESS+N-1]
транспондера надходять

// у ReadData[0..N-1], копіюються в
abyREAD_DATA[diSTART_ADDRESS..N-1]

MOVE_BLK(
    IN := #PROCESS_INPUT.ReadData[0], // Джерело:
масив ReadData
    COUNT := #uiLENGTH, // Кількість байтів
    OUT => #abyREAD_DATA[#diSTART_ADDRESS]); //

Призначення: abyREAD_DATA

// Запис: дані беруться з abyWRITE_DATA[diSTART_ADDRESS..N-1]
// та надсилаються у WriteData[0..N-1] для запису на
транспондер

MOVE_BLK(
    IN := #abyWRITE_DATA[#diSTART_ADDRESS], // Джерело:
abyWRITE_DATA
    COUNT := #uiLENGTH, // Кількість байтів
    OUT => #PROCESS_OUTPUT.WriteData[0]); //

Призначення: WriteData
```

Таблиця А3.3 - Розширений інтерфейс функціонального блоку fbRFID_Control

Категорія	Ім'я	Тип	Призначення
Input	diSTART_ADDRESS	DInt	Стартова адреса байта на транспондері
Input	uiLENGTH	UInt	Кількість байт для читання/запису
Output	xDONE	Bool	Блок готовий до нової команди (крок 10)
Output	xERROR	Bool	Остання команда завершилась помилкою
InOut	xREAD	Bool	Тригер команди читання
InOut	xWRITE	Bool	Тригер команди запису

InOut	abyREAD_DATA	Array[0..111] of Byte	Прочитані дані
InOut	abyWRITE_DATA	Array[0..111] of Byte	Дані для запису
Constant	cwCMD_READ	Word	16#0002
Constant	cwCMD_WRITE	Word	16#0004
Constant	cuiTRANSPONDER_SIZE	UInt	112 байт

Також перед виконанням команди перевіряється, що область [diSTART_ADDRESS ... diSTART_ADDRESS + uiLENGTH - 1] знаходиться в межах транспондера [0..111]:

Лістинг А3.2 - Перевірка коректності діапазону адрес та довжини даних

```
// Перевірка: діапазон адрес не виходить за межі транспондера
xLengthValid := (UINT(#diSTART_ADDRESS) + #uiLENGTH <=
#cuiTRANSPONDER_SIZE)
AND (#diSTART_ADDRESS >= 0);
```

Якщо xLengthValid = FALSE - команда ігнорується, блок залишається у кроці 10.

Таблиця А3.4 - CASE-структура функціонального блоку

Крок	Дія
0	Ініціалізація: wCMDC := 16#0000 (Idle). → Крок 5
5	Очікування Idle від шлюзу (iRESC = 16#0000). → Крок 10
10	Чекати тригера: xREAD → крок 100; xWRITE → крок 200. xDoneInternal := TRUE (лише тут)
100	Read: dwADDR + wLEN + wCMDC := 16#0002. → Крок 110
110	Read - очікування: iRESC > 0. → Крок 120
120	Read - результат: iRESC < 16#4000 → MOVE_BLK; інакше xErrorInternal. → Крок 5

200	Write: MOVE_BLK(abyWRITE_DATA → WriteData) + dwADDR + wLEN + wCMDC := 16#0004. → Крок 210.
210	Write - очікування: iRESC > 0. → Крок 220.
220	Write - результат: iRESC ≥ 16#4000 → xErrorInternal. → Крок 5

3.2 Тестування через Watch table

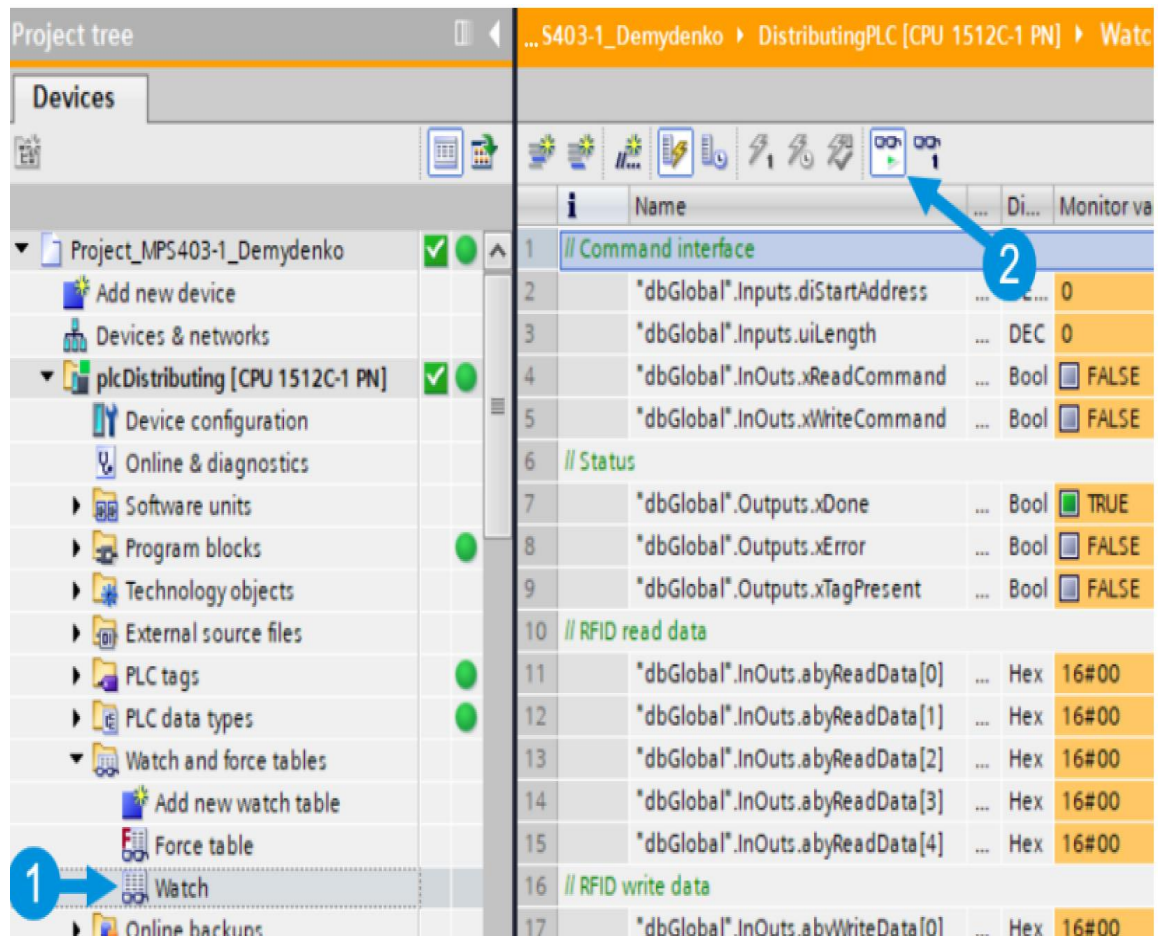


Рисунок А3.1 - Початковий стан таблиці спостереження на початку тестування

Watch table розподілена на чотири секції: Command interface (тригери та параметри), Status (xDone, xError, xTagPresent), RFID read data та RFID write data (перші 5 байт масивів).

Важливо: після встановлення значення тригера у Watch table необхідно одразу знімати позначку. Якщо тригер залишається активним - наступний тест може дати хибні результати, хоча блок працює коректно.

Завдання на лабораторну роботу

Варіанти для виконання завдань видаються викладачем.

Завдання 1

Завантажте початковий проєкт та відкрийте у TIA Portal.

- Libraries → Device configurations → скопіюйте конфігурацію у проєкт → Devices & Networks.
- Libraries → Exercise → скопіюйте fbRFID_Control, dbGlobal, Watch, Main, RFID variable table, Data types.
- Відкрийте OB Main, перевірте канал зчитувача. При потребі змініть Rfid1_IN/OUT → Rfid0_IN/OUT

Завдання 2

Перш ніж вводити код, важливо зрозуміти загальну логіку. Функціональний блок fbRFID_Control керує шлюзом через так звану CASE-структуру, яку також називають секвенсором. Секвенсор - це список пронумерованих кроків, і блок завжди знаходиться рівно в одному з них. Кожен крок виконує певну дію і, коли виконується потрібна умова, передає керування наступному кроку. Завдяки цьому блок не «застрягає» в одному місці і не виконує зайвих дій.

Доповнення 2.1 - перевірка коректності параметрів

Уявіть, що випадково задано стартову адресу 110 і довжину 5. Це означає, що блок намагатиметься прочитати байти 110, 111, 112, 113, 114 - але транспондер NXP I-Code SLI має лише 112 байт (з адресами 0 до 111). Шлюз поверне помилку або поведінка буде непередбачуваною. Щоб цього не сталося, на початку кожного циклу блок обчислює змінну xLengthValid - вона дорівнює TRUE лише тоді, коли задана область повністю вміщується в межах транспондера. Якщо xLengthValid = FALSE, жодна команда не запускається.

Знайдіть у блоці рядок з коментарем (* TODO: xLengthValid *) та вставте:

```
#xLengthValid := (UINT(#diSTART_ADDRESS) + #uiLENGTH <=
#cuiTRANSPONDER_SIZE)
AND (#diSTART_ADDRESS >= 0);
```

					КНУ КРБ.151.26.05.00.ПЗ	Арк.
						129
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перетворення UINT необхідне тому, що diSTART_ADDRESS має тип DInt (знаковий), а uiLENGTH - UInt (беззнаковий). Без явного перетворення типів компілятор SCL може видати попередження або неправильно обчислити суму. Друга умова diSTART_ADDRESS >= 0 виключає від'ємні адреси, які фізично не існують на транспондері.

Доповнення 2.2 - відправка команди читання (крок 100)

Крок 100 - це момент, коли блок фактично повідомляє шлюзу: «прочитай стільки-то байт починаючи з такої-то адреси». Для цього у вихідні процесні дані (PROCESS_OUTPUT) записуються три значення. Спочатку записується стартова адреса dwADDR - шлюз буде знати, з якого байта транспондера починати читання. Потім записується кількість байт wLEN - скільки байт треба прочитати. Останнім записується код команди wCMDC. Порядок важливий: код команди записується останнім, щоб на момент, коли шлюз побачить нову команду у наступному циклі PROFINET, адреса та довжина вже були встановлені правильно.

Знайдіть блок 100: у CASE-структурі та вставте:

```
#PROCESS_OUTPUT.Control.dwADDR :=
DINT_TO_DWORD(#diSTART_ADDRESS);
#PROCESS_OUTPUT.Control.wLEN := UINT_TO_WORD(#uiLENGTH);
#PROCESS_OUTPUT.Control.wCMDC := #cwCMD_READ;
#iStep := 110;
```

Функції DINT_TO_DWORD та UINT_TO_WORD виконують явне перетворення типів - поля структури RFID_HF_CMP_OUT очікують саме DWORD та WORD відповідно. Після запису параметрів секвенсор одразу переходить до кроку 110, де буде чекати відповіді шлюзу.

Доповнення 2.3 - очікування відповіді шлюзу (крок 110)

Шлюз не виконує команду миттєво. Після отримання команди він встановлює зв'язок з транспондером, виконує читання і лише потім повертає результат. Поки команда виконується, поле iRESC у вхідних процесних даних містить від'ємне значення - це спосіб шлюзу повідомити «я зайнятий, зачекайте». Щойно iRESC стає більшим за нуль - шлюз завершив роботу і

					КНУ КРБ.151.26.05.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		130

результат готовий. Саме тому блок залишається в кроці 110 до виконання цієї умови.

Знайдіть блок 110: та вставте:

```
IF #PROCESS_INPUT.Status.iRESC > 0 THEN
    #iStep := 120;
END_IF;
```

Доповнення 2.4 - перевірка результату та копіювання даних (крок 120)

Коли iRESC стає більшим за нуль, це означає, що шлюз завершив роботу - але не обов'язково успішно. Якщо код відповіді менший за 16#4000, команда виконана без помилок і прочитані байти знаходяться у масиві ReadData вхідних процесних даних. Якщо ж iRESC більший або рівний 16#4000 - сталася помилка, наприклад транспондер зник із зони дії або задана адреса виявилась некоректною.

При успішному читанні прочитані байти завжди знаходяться у ReadData починаючи з індексу 0, незалежно від того, яку стартову адресу ви задали. Це особливість шлюзу Turck: він завжди заповнює ReadData з початку. Тому при копіюванні у масив abyREAD_DATA потрібно класти дані не з початку масиву, а починаючи з позиції diSTART_ADDRESS - саме так abyREAD_DATA стає точним «дзеркалом» пам'яті транспондера, де індекс у масиві відповідає фізичній адресі байта.

Знайдіть блок 120: та вставте:

```
IF #PROCESS_INPUT.Status.iRESC < 16#4000 THEN
    MOVE_BLK(IN      := #PROCESS_INPUT.ReadData[0],
             COUNT   := #uiLENGTH,
             OUT      => #abyREAD_DATA[#diSTART_ADDRESS]);
ELSE
    #xErrorInternal := TRUE;
END_IF;
#iStep := 5;
```

Після виконання кроку 120 секвенсор повертається до кроку 5, а не до кроку 0. Крок 0 - це ініціалізація, яка потрібна лише один раз при першому

запуску. Крок 5 - це звичайний стан очікування готовності шлюзу, після якого блок повертається до кроку 10 і чекає наступної команди.

Завдання 3

Команда запису влаштована майже так само, як і читання, але з однією принциповою відмінністю: перед відправкою команди шлюзу необхідно спочатку підготувати дані для запису у вихідних процесних даних. Тобто спочатку копіюються байти з abyWRITE_DATA у WriteData, і лише після цього встановлюється код команди.

3.1 Крок 200 - відправка команди запису

Масив abyWRITE_DATA є «дзеркалом» транспондера з боку запису - ви кладете дані у нього за тими адресами, за якими вони мають опинитися на транспондері. При відправці команди байти беруться з позиції diSTART_ADDRESS масиву abyWRITE_DATA і копіюються у WriteData починаючи з індексу 0 - так само як і у зворотньому напрямку при читанні, шлюз завжди очікує дані у WriteData починаючи з нуля. Потім встановлюється адреса, довжина і код команди запису. Знайдіть блок 200: та вставте:

```
MOVE_BLK(IN      := #abyWRITE_DATA[#diSTART_ADDRESS],
          COUNT  := #uiLENGTH,
          OUT    => #PROCESS_OUTPUT.WriteData[0]);
#PROCESS_OUTPUT.Control.dwADDR :=
DINT_TO_DWORD(#diSTART_ADDRESS);
#PROCESS_OUTPUT.Control.wLEN    := UINT_TO_WORD(#uiLENGTH);
#PROCESS_OUTPUT.Control.wCMDC  := #cwCMD_WRITE;
#iStep := 210;
```

3.2 Крок 210 - очікування завершення запису

Логіка повністю ідентична кроку 110 - шлюз так само повідомляє про зайнятість від'ємним iRESC і про завершення значенням більшим за нуль:

```
IF #PROCESS_INPUT.Status.iRESC > 0 THEN
    #iStep := 220;
END_IF;
```

3.3 Крок 220 - перевірка результату запису

					КНУ КРБ.151.26.05.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		132

Тут є важлива відмінність від читання: при успішному записі не потрібно нічого копіювати назад, бо дані вже записані на транспондер. Перевіряється лише наявність помилки. Після перевірки секвенсор повертається до кроку 5:

```
IF #PROCESS_INPUT.Status.iRESC >= 16#4000 THEN
    #xErrorInternal := TRUE;
END_IF;
#iStep := 5;
```

3.4 Встановлення сигналу готовності xDoneInternal

Сигнал xDoneInternal повідомляє зовнішній програмі, що блок завершив виконання попередньої команди і готовий прийняти нову. Блок вважається готовим лише тоді, коли він знаходиться у кроці 10 - тобто всі операції завершені, шлюз переведений у режим Idle і секвенсор спокійно чекає наступного тригера. У будь-якому іншому кроці (5, 100, 110, 120, 200, 210, 220) блок зайнятий і новий запит ігнорується. Вставте після закриваючого END_CASE:

```
#xDoneInternal := (#iStep = 10);
```

Завдання 4

4.1 Послідовність: Assign device name → Master reset → Compile → Download.

4.2 diStartAddress = 0, uiLength = 5; abyWriteData[0..4] = 01, 02, 03, 04, 05.

4.3 Встановіть xWriteCommand = TRUE → зніміть → дочекайтеся xDone = TRUE.

4.4 Встановіть xReadCommand = TRUE → зніміть → дочекайтеся xDone = TRUE.

4.5 Перевірте: abyReadData[0..4] = 16#01, 16#02, 16#03, 16#04, 16#05.

Приклад можливого результату наведено на рис. 2.27 та рис. 2.28