

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий  
інститут електроенергетики  
(інститут)

Факультет інформаційних технологій  
(факультет)

Кафедра інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра**

студента Луциби Данііла Дмитровича  
(П.І.Б.)

академічної групи 123-22ск-1  
(шифр)

спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 123 Комп'ютерна інженерія  
(офіційна назва)

на тему “Кіберфізична система дидактичного стенду Festo MPS Sorting з  
детальним опрацюванням рівня збору і обробки даних”  
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	доц. Бешта Д.О.			
загального розділу	доц. Бешта Д.О.			
спеціальних розділів	доц. Бешта Д.О.			

<b>Рецензент</b>				
------------------	--	--	--	--

<b>Нормоконтролер</b>	проф. Цвіркун Л.І.			
-----------------------	--------------------	--	--	--

Дніпро  
2025

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри  
інформаційних технологій  
та комп'ютерної інженерії  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ Гнатушенко В.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ 2025 року.

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня бакалавр**

студента Луциби Д.Д. академічної групи 123-22ск-1  
(прізвище, ініціали) (шифр)

спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 123 Комп'ютерна інженерія  
(офіційна назва)

на тему “Кіберфізична система дидактичного стенду Festo MPS Sorting з  
детальним опрацюванням рівня збору і обробки даних”

затверджена наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 05.05.2025 № 336-С

Розділ	Зміст завдання	Термін виконання
Стан питання і постановка завдання	На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел показати актуальність завдання, сформулювати мету та задачі виконання кваліфікаційної роботи	10.02.2025
Технічні вимоги до об'єкту вивчення	Сформулювати найменування й призначення комп'ютерної системи, висунути технічні вимоги до неї	15.03.2025
Розробка апаратної частини	Виконати технічне проектування апаратної частини комп'ютерної системи з необхідними інженерними розрахунками	20.04.2025
Розробка програмного забезпечення	Обґрунтувати технічні характеристики програми й розробити програму для роботи Системи	31.05.2025

Завдання видано \_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

доц. Бешта Д.О.  
(прізвище та ініціали)

Дата видачі 25.01.2025 р.

Дата подання до атестаційної комісії 10.06.2025 р.

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

Луциба Д.Д.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 60 с., 18 рис., 7 табл., 1 додаток, 16 джерел.

### КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, ДИДАКТИЧНИЙ СТЕНД, ОБРОБКА ДАНИХ, FESTO MPS SORTING, PLC, СИСТЕМИ СОРТУВАННЯ, СЕНСОРИ ТА ДАТЧИКИ

Сучасні виробничі процеси активно впроваджують кіберфізичні системи для підвищення ефективності та гнучкості. Дидактичні сортувальні системи, як-от Festo MPS Sorting, застосовуються у навчанні спеціалістів з мехатроніки та автоматизації. Дослідження збору й обробки даних у таких системах сприяє вдосконаленню прийняття рішень і підвищенню їхньої ефективності.

Об'єкт розробки: кіберфізична система дидактичного стенду Festo MPS Sorting, з акцентом на збір і обробку даних. Включає механіку, сенсори, PLC та програмне забезпечення для технології сортування.

Мета: розробка та удосконалення кіберфізичної системи дидактичного стенду Festo MPS Sorting, з акцентом на збір та обробку даних.

Для досягнення мети у кваліфікаційній роботі виконується:

- дослідження сучасних методів збору та аналізу даних у кіберфізичних системах;
- вибір та налаштування апаратного забезпечення для збору та обробки даних;
- розробка та налаштування програмного забезпечення для керування системою сортування через PLC;
- взаємодія з PLC та індустріальними мережами.

Запропонований підхід до розробки та вдосконалення кіберфізичної системи Festo MPS Sorting сприятиме підвищенню ефективності навчального процесу та розширенню можливостей кіберфізичних систем у сфері інженерної освіти. Впровадження удосконалених методів збору та обробки даних дозволить створити гнучку, адаптивну систему, яка відповідатиме сучасним вимогам.

## ЗМІСТ

<u>Реферат</u> .....	3
<u>Зміст</u> .....	4
<u>Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів</u> .....	6
<u>Вступ</u> .....	7
<u>1. Стан питання і постановка завдання</u> .....	8
<u>1.1 Роль і значення об'єкту професійної діяльності</u> .....	8
<u>1.2 Характеристика, структура, особливості, умови роботи об'єкту впровадження</u> .....	9
<u>1.2.1 Характеристика об'єкту</u> .....	9
<u>1.2.2 Структура кіберфізичної системи</u> .....	9
<u>1.2.3 Особливості роботи Festo MPS Sorting</u> .....	9
<u>1.2.4 Умови роботи об'єкту</u> .....	10
<u>1.2.5 Недоліки та проблеми, які має вирішити система</u> .....	10
<u>1.2.6 Основні технічні параметри та структура дидактичного стенду</u> .....	11
<u>1.2.7 Схеми електричних кіл</u> .....	15
<u>1.3 Огляд існуючих аналогів систем</u> .....	20
<u>1.4 Обґрунтування вибраного напрямку вирішення задачі</u> .....	21
<u>1.5 Мета і задачі і роботи, що виконується</u> .....	23
<u>2. Технічні вимоги до кіберфізичної системи</u> .....	24
<u>2.1 Вимоги до структури і функціонування Системи</u> .....	24
<u>2.2 Вимоги до показників призначення</u> .....	27
<u>2.3 Додаткові вимоги</u> .....	28
<u>2.3.1 Вимоги до задач (налаштувань), які виконуються у Системі</u> .....	28
<u>2.3.2 Вимоги до модульності та масштабованості</u> .....	29
<u>2.3.3 Вимоги до ергономічності</u> .....	29
<u>2.3.4 Вимоги до інтеграції з навчальними платформами</u> .....	29
<u>2.3.5 Вимоги до параметрів мереж енергопостачання</u> .....	30
<u>2.3.6 Вимоги до регламенту обслуговування</u> .....	30

<u>2.3.7</u>	<u>Вимоги до технічного забезпечення</u> .....	31
<u>2.3.8</u>	<u>Вимоги до методичного забезпечення</u> .....	31
<u>3.</u>	<u>Розробка апаратної частини</u> .....	33
<u>3.1</u>	<u>Розробка структурної схеми комплексу технічних засобів Системи</u> .....	33
<u>3.2</u>	<u>Розробка функціональної схеми автоматизації Системи</u> .....	34
<u>3.3</u>	<u>Аналіз вхідних і вихідних сигналів Системи</u> .....	36
<u>3.4</u>	<u>Вибір і обґрунтування обладнання Системи</u> .....	39
<u>3.4.1</u>	<u>Вибір пристрою збору та обробки даних Системи</u> .....	39
<u>3.4.2</u>	<u>Вибір блоку живлення</u> .....	41
<u>3.5</u>	<u>Розробка специфікації апаратних та монтажних засобів Системи</u> ...	43
<u>3.6</u>	<u>Розробка електричної принципової схеми Системи</u> .....	44
<u>3.7</u>	<u>Налаштування промислової мережі</u> .....	45
<u>4.</u>	<u>Розробка програмного забезпечення системи</u> .....	48
<u>4.1</u>	<u>Призначення програми</u> .....	48
<u>4.2</u>	<u>Обґрунтування технічних характеристик програми</u> .....	48
<u>4.2.1</u>	<u>Перелік задач, вирішуваних програмним забезпеченням</u> .....	48
<u>4.2.2</u>	<u>Опис призначення вхідних і вихідних даних</u> .....	49
<u>4.2.3</u>	<u>Опис і обґрунтування вибору складу технічних і програмних засобів, що використовує програма</u> .....	50
<u>4.3</u>	<u>Опис розробленої програми</u> .....	50
<u>4.3.1</u>	<u>Програмне забезпечення й мова програмування, необхідні для функціонування програми</u> .....	50
<u>4.3.2</u>	<u>Опис логічної структури програми</u> .....	51
<u>4.3.3</u>	<u>Виклик і завантаження програми</u> .....	53
<u>4.3.4</u>	<u>Вхідні та вихідні дані</u> .....	54
	<u>Висновки</u> .....	57
	<u>Перелік посилань</u> .....	59

Додаток А Текст програми кіберфізичної системи дидактичного стенду Festo MPS  
Sorting для ПЛК Siemens S7-1200 61

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

КФС	– Кіберфізична система – інтегрована система, що об'єднує фізичні компоненти із цифровими технологіями.
ПЛК	– Програмований логічний контролер – це мікропроцесорний пристрій, призначений для автоматичного керування технологічними процесами.
MPS	– Modular Production System – модульна виробнича система, що використовується для навчання та дослідження автоматизації технологічних процесів.
CPU	– Central Processing Unit – центральний процесор, основний обчислювальний елемент, що виконує обробку команд і керує роботою всієї системи
PROFINET	– Process Field Network – промисловий мережевий протокол на основі Ethernet, що використовується для комунікації між пристроями автоматизації.
RJ45	– Стандартний тип роз'єму для мережевих кабелів, який використовується для підключення пристроїв до локальних мереж (LAN) через Ethernet.
Ethernet	– Технологія дротової мережі, яка забезпечує швидку та стабільну передачу даних між пристроями.
AC	– Alternating Current, змінний струм – тип електричного струму, в якому напрямок руху зарядів періодично змінюється.
DC	– Direct Current, постійний струм – тип електричного струму, в якому напрямок руху зарядів залишається незмінним.
RLY	– Relay, реле – електромагнітний або напівпровідниковий пристрій, що використовується для комутації електричних ланцюгів.
ПК	– Персональний комп'ютер – електронний пристрій, призначений для обробки даних, виконання програм і забезпечення взаємодії користувача із цифровими системами.
TIA Portal	– Totally Integrated Automation Portal – програмне середовище розробки від Siemens, яке використовується для створення, тестування та завантаження програм керування для PLC, HMI та інших автоматизованих пристроїв.
ПЗ	– Програмне забезпечення – сукупність програм, які забезпечують виконання певних завдань на комп'ютері або контролері.

## ВСТУП

У сучасному світі стрімкого технологічного прогресу кіберфізичні системи (КФС) займають центральне місце в роботизації виробничих процесів. Вони забезпечують гнучке управління технологічними процесами, інтегруючи апаратні та програмні компоненти для збору, аналізу та обробки даних. Одним із прикладів такої системи є дидактичний стенд Festo MPS Sorting, який використовується для навчання та дослідження алгоритмів автоматизованого сортування деталей.

Ця кваліфікаційна робота спрямована на детальне опрацювання рівня збору та обробки даних кіберфізичної системи дидактичного стенду Festo MPS Sorting. Основну увагу приділено апаратній реалізації збору сигналів з датчиків та керуванню виконавчими пристроями. Застосування програмованих логічних контролерів (ПЛК) у керуванні стендом дозволяє створювати ефективні алгоритми обробки інформації та оптимізувати процеси сортування.

У роботі розглянуто архітектуру системи, принципи взаємодії датчиків із виконавчими механізмами та методи передачі інформації для її подальшого аналізу. Крім того, запропоновано програмне рішення для ПЛК, яке забезпечує точне та швидке виконання операцій сортування. Дослідження, проведене у рамках цієї роботи, може бути корисним для вдосконалення кіберфізичних систем у навчальних і промислових умовах, сприяючи підвищенню ефективності процесів керування.

Ця кваліфікаційна робота має практичне значення, оскільки зосереджена на впровадженні сучасних методів цифровізації виробництва, що сприяє розвитку кіберфізичної інженерії.

## 1. СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

### 1.1 Роль і значення об'єкту професійної діяльності

Кіберфізична система дидактичного стенду Festo MPS Sorting має важливе значення у формуванні професійних компетенцій майбутніх фахівців у сфері цифровізації виробництва. Вона не лише надає можливість моделювання реальних виробничих процесів, а й слугує ефективним навчальним інструментом для глибокого розуміння принципів роботи кіберфізичних систем.

Однією з ключових ролей Festo MPS Sorting є її освітня функція. Стенд дозволяє студентам практично застосовувати знання з програмування, сенсорики та керування механізмами, що є важливими аспектами сучасної інженерії. Завдяки роботі зі стендом здобувачі освіти можуть безпосередньо знайомитися з процесами збору, обробки та аналізу даних, що закладає основу для роботи з більш складними автоматизованими системами в реальному виробництві.

З практичної точки зору, Festo MPS Sorting відтворює механізми сортування та транспортування деталей, які широко використовуються в виробничих лініях. Це надає студентам можливість працювати з реальними алгоритмами керування, що сприяє розвитку навичок оптимізації виробничих процесів.

Кіберфізична система відіграє важливу роль у підготовці фахівців, які здатні інтегрувати передові технології в промислові середовища. Збір та обробка даних у такій системі допомагає майбутнім інженерам зрозуміти принципи роботи датчиків, методи передачі інформації та алгоритми прийняття рішень.

Окрім навчальних аспектів, Festo MPS Sorting є платформою для дослідницької діяльності та тестування нових підходів до цифровізації. Студенти та науковці можуть розробляти та впроваджувати нові алгоритми керування, що підвищує ефективність виробничих процесів та сприяє розвитку інновацій у галузі кіберфізичних технологій.

Використання Festo MPS Sorting у навчальному процесі є важливим етапом у підготовці висококваліфікованих фахівців, здатних працювати з сучасними

цифровими системами та впроваджувати інноваційні методи у сфері промисловості.

## **1.2 Характеристика, структура, особливості, умови роботи об'єкту впровадження**

### **1.1.1 Характеристика об'єкту**

Кіберфізична система дидактичного стенду Festo MPS Sorting є сучасною навчальною платформою для вивчення принципів автоматизації виробництва, збору та обробки даних, а також інтеграції цифрових технологій у виробничі процеси. Ця система моделює процес сортування деталей на конвеєрній лінії, що дозволяє студентам і дослідникам практично відпрацьовувати алгоритми керування, взаємодії сенсорів і актуаторів, а також оптимізації виробничих процесів.

### **1.1.2 Структура кіберфізичної системи**

Конструкція Festo MPS Sorting включає такі основні компоненти:

- *механічна частина* у складі з конвеєрним модулем для транспортування деталей та механізмами сортування;
- *сенсорна система*, до якої входить набір датчиків (оптичних, емнісних), що зчитують параметри деталей і передають інформацію на контролер;
- *обчислювальна та програмна частина*, може включати мікроконтролер або ПЛК (програмований логічний контролер), який керує алгоритмами аналізу та сортування;
- *комунікаційний модуль*, що має забезпечувати інтеграцію з іншими системами та передачу даних у реальному часі.

### **1.1.3 Особливості роботи Festo MPS Sorting**

Однією з ключових особливостей цієї системи є її здатність до збору та аналізу даних про об'єкти, що проходять сортування. Завдяки поєднанню апаратної частини та цифрових алгоритмів обробки інформації, система має

дозволяти моделювати реальні виробничі умови та оптимізувати параметри роботи обладнання.

Також важливим аспектом є можливість програмування системи для виконання різних сценаріїв роботи. Залежно від потреб навчального процесу або досліджень, Festo MPS Sorting може бути налаштована на сортування за кольором та матеріалом.

#### **1.1.4 Умови роботи об'єкту**

Система призначена для використання у навчальних лабораторіях, а також може бути адаптована для тестових виробничих середовищ, де проводиться моделювання виробничих процесів. Оптимальні умови роботи включають: стабільне електроживлення та інтеграцію з іншими цифровими системами; захист від механічних впливів і перегріву електронних компонентів; наявність інструментів для дистанційного керування та моніторингу.

#### **1.1.5 Недоліки та проблеми, які має вирішити система**

Кіберфізична система Festo MPS Sorting, хоча й ефективна в освітньому середовищі, має певні обмеження, які необхідно враховувати для її подальшого вдосконалення. Насамперед, її масштабованість залишається обмеженою, оскільки вона розроблена передусім для навчальних цілей і не завжди може бути легко адаптована до реальних промислових умов, де потрібна гнучкість і можливість роботи з великим обсягом даних та складними виробничими процесами.

Окрім цього, система вимагає ретельного налаштування, зокрема точного калібрування датчиків та програмування алгоритмів, що потребує від користувачів додаткових навичок у роботі з програмованими логічними контролерами (ПЛК) та знання промислових стандартів. Це може ускладнювати її використання для тих, хто не має достатнього досвіду роботи з подібними кіберфізичними системами.

Також існує потреба у розширенні інтеграційних можливостей стенду, зокрема у зв'язку з системами Інтернету речей (IoT) та хмарними обчисленнями.

Така модернізація дозволила б більш ефективно збирати, аналізувати та передавати дані у реальному часі, що суттєво підвищило б функціональність системи та її застосування у сучасних виробничих середовищах.

Крім того, важливим напрямом вдосконалення є оновлення алгоритмів, що керують процесами сортування. Використання сучасних методів машинного навчання та адаптивного управління дало б змогу системі самостійно аналізувати дані й приймати оптимальні рішення, що значно підвищило б її ефективність та відповідність вимогам розумного виробництва.

Отже, Festo MPS Sorting має значний потенціал для вдосконалення, що дозволить зробити її ще більш універсальним інструментом не тільки для освітніх, а й для промислових застосувань.

#### **1.1.6 Основні технічні параметри та структура дидактичного стенду**

Станція Sorting сортує заготовки на три жолоби. Заготовки, розміщені на початку конвеєрної стрічки, виявляються за допомогою вилючного світлового бар'єра [1].

Заготовки зупиняються пневматичним стопором для визначення їхніх характеристик. Датчики в модулі виявлення визначають матеріал та колір заготовок (чорний, червоний, металевий).

Заготовки сортуються у відповідні жолоби за допомогою електрично керованих дефлекторів. Дефлекторний датчик контролює рівень заповнення жолобів.

Загальний вигляд станції наведено на рисунку 1.1.

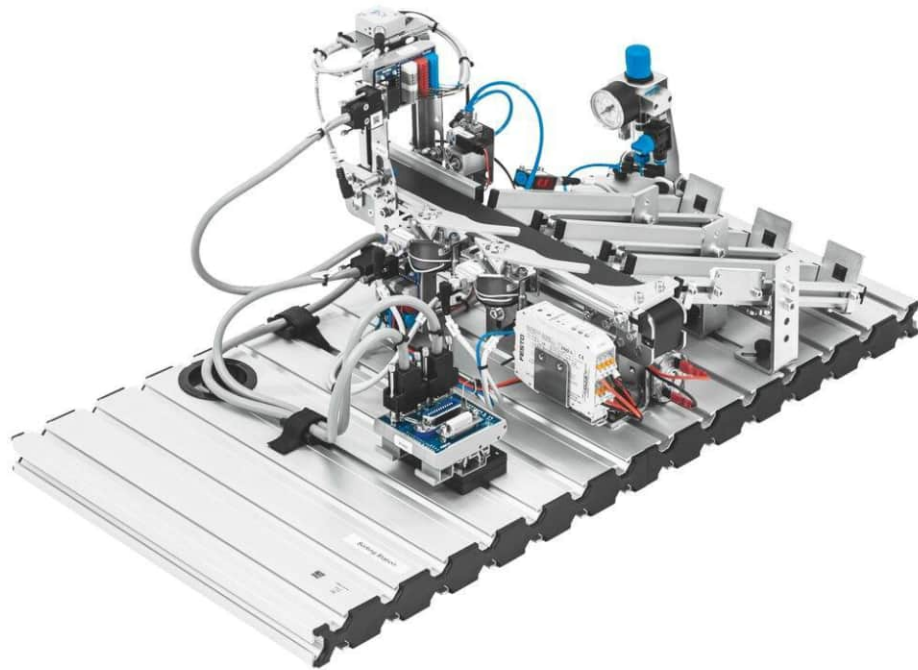


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд станції Festo MPS Sorting

До складу станції Sorting входить таке обладнання: конвеєрний модуль, модуль виявлення, рефлекторновідбивний датчик, модуль стопора, електричний сепаратор, слайдер, С-інтерфейс, пусковий клапан.

*Конвеєрний модуль* (рисунок 1.2) використовується для транспортування заготовок.

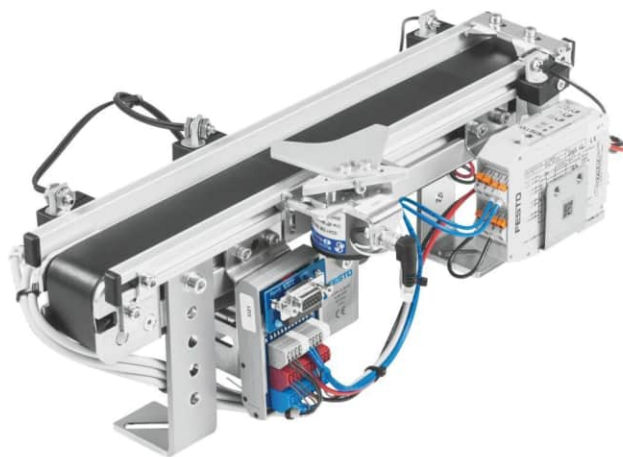


Рисунок 1.2 – Конвеєрний модуль

Конвеєрний модуль має два датчики : дифузний та світловий бар'єр. Дифузний датчик SOEZ-LLK-RT-2,0-M6 [3] є оптоволоконним з електронним

блоком, має вихідний сигнал PNP, живлення 24 В. На електронному блоці передбачена можливість налаштування чутливості.

Датчик світловий бар'єр SOEZ-LLK-SE-2,0-M4 [4] оптоволоконним з електронним блоком має вихідний сигнал PNP, живлення 24 В. На електронному блоці передбачена можливість налаштування чутливості.

До виконавчих пристроїв конвеєрного модулю відноситься сепаратор, який дозволяє виконувати сортувати окремі заготовки на конвеєрній стрічці та двигун конвеєра.

Сепаратор являє собою роторний соленоїд G RC Y 037 N54 A01 [5] з вольтажем живлення 24 VDC.

Двигун конвеєра – моторредуктор [6] з номінальним живленням 24 VDC та номінальним струмом 1,5А. Двигун конвеєра підключено до контролера двигуна [7], який може використовуватися для зміни напрямку та швидкості двигунів постійного струму. Контролер дозволяє підключати двигуни з параметрами 24 V/4А, виявляти коротке замкнення, та захищати від перевищення струму. Схема підключення до контролера в режимі взаємодії з ПЛК наведена на рисунку 1.3.

Датчики та виконавчі пристрої конвеєрного модулю підключено до міні-терміналу вводу/виводу [8]. Підключення відбувається за допомогою кабелю D-Sub HD за принципом plug&play. До міні-терміналу підключено живлення 24 VDC, яке «роздається» підключеним до нього модулям.

## PLC mode

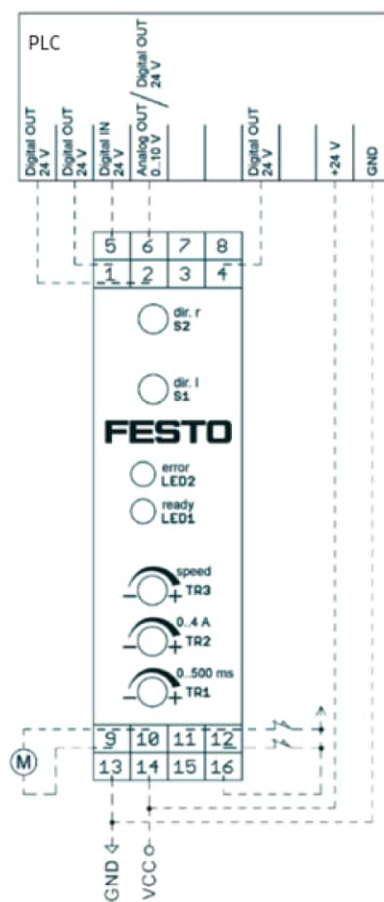


Рисунок 1.3 – Схема підключення до контролера в режимі взаємодії з ПЛК

Модуль виявлення (рисунок 1.4) використовується для виявлення червони, чорних та металевих заготовок.

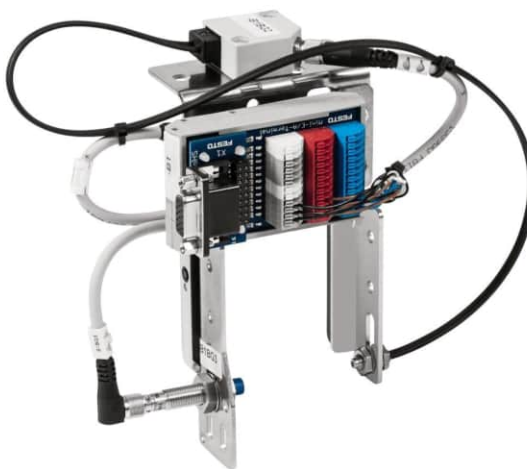


Рисунок 1.4 – Модуль виявлення

Модуль виявлення має три датчики. Дифузний датчик SOEG-L-Q30-P-A-S-2L [9] має вихідний сигнал PNP, живлення 24 В. Індуктивний датчик SIEN-M8NB-PS-S-L [10] з вихідним сигналом PNP, живлення 10...30 В. Світловий бар'єр [11] SOOF-P-FL-ST-C50-P виконання у вигляді вилки 50мм з вихідним сигналом PNP, живлення 10..30 В.

Елементи модуля виявлення підключено до міні-терміналу вводу/виводу.

*Рефлекторновідбивний датчик* [12] SOEG-RSG-Q20-PP-S-2L-PI з вихідним сигналом PNP, живлення 10..30 В.

*Модуль стопора* з пневмоциліндром односторонньої дії та клапаном AEVC-12-10-I-P [13]. Соленоїдний клапан 3/2 з котушкою 24 VDC, 1W.

*Слайдер* – лоток 250мм довжиною для збору заготовок 3од..

*С-інтерфейс* [14] – термінал, який дозволяє підключати станцію Sorting до ПЛК. До С-інтерфейсу підключено обидва міні-термінала.

Пусковий клапан – виконує функцію підготовки повітря на станцію Sorting.

Для керування станцією може бути застосована панель оператора, яка має кнопки «Start», «Stop», «Reset» та лампи.

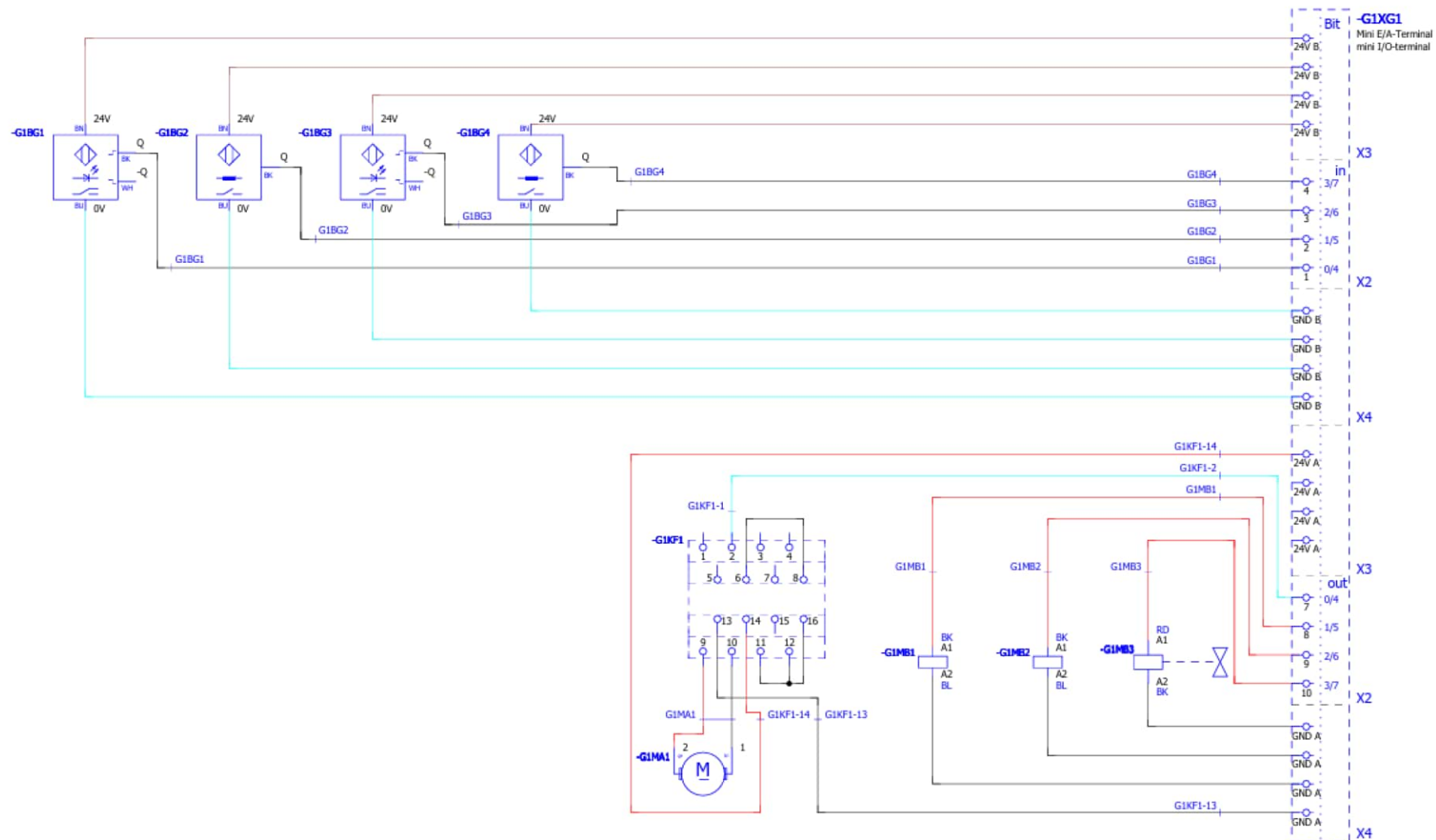
### **1.1.7 Схеми електричних кіл**

Принципова електрична схема підключення конвеєрного модулю наведено на рисунку 1.5.

Принципова електрична схема підключення модуля виявлення наведена на рисунку 1.6.

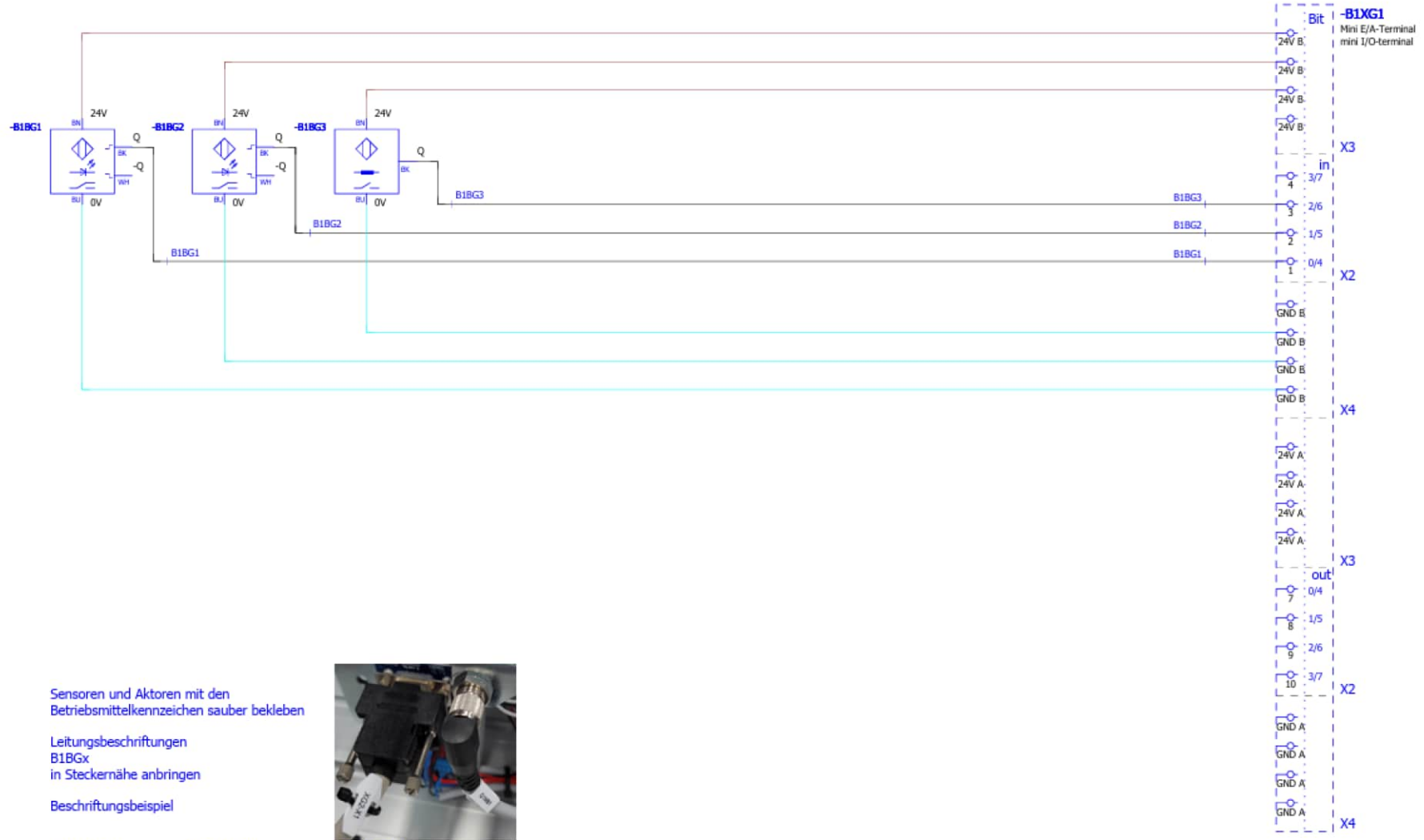
Електрична схема комутації між С-інтерфейсом та міні-терміналами наведено на рисунку 1.7.

Електрична схема панелі оператора наведено на рисунках 1.8-1.9.



Werkstück bei Bandanfang	Weiche 1 ausgefahren	Rutsche voll	Weiche 2 ausgefahren	Bandmotor 2: vorwärts	Weiche 1 ausfahren	Weiche 2 ausfahren	Stopper einfahren
workpiece at conveyor start	separator 1 advanced	slide full	separator 2 advanced	Conveyor motor 2: forward	advance separator 1	advance separator 2	retract gate

Рисунок 1.5 – Принципова електрична схема підключення конвеєрного модулю



Sensoren und Aktoren mit den Betriebsmittelkennzeichen sauber bekleben

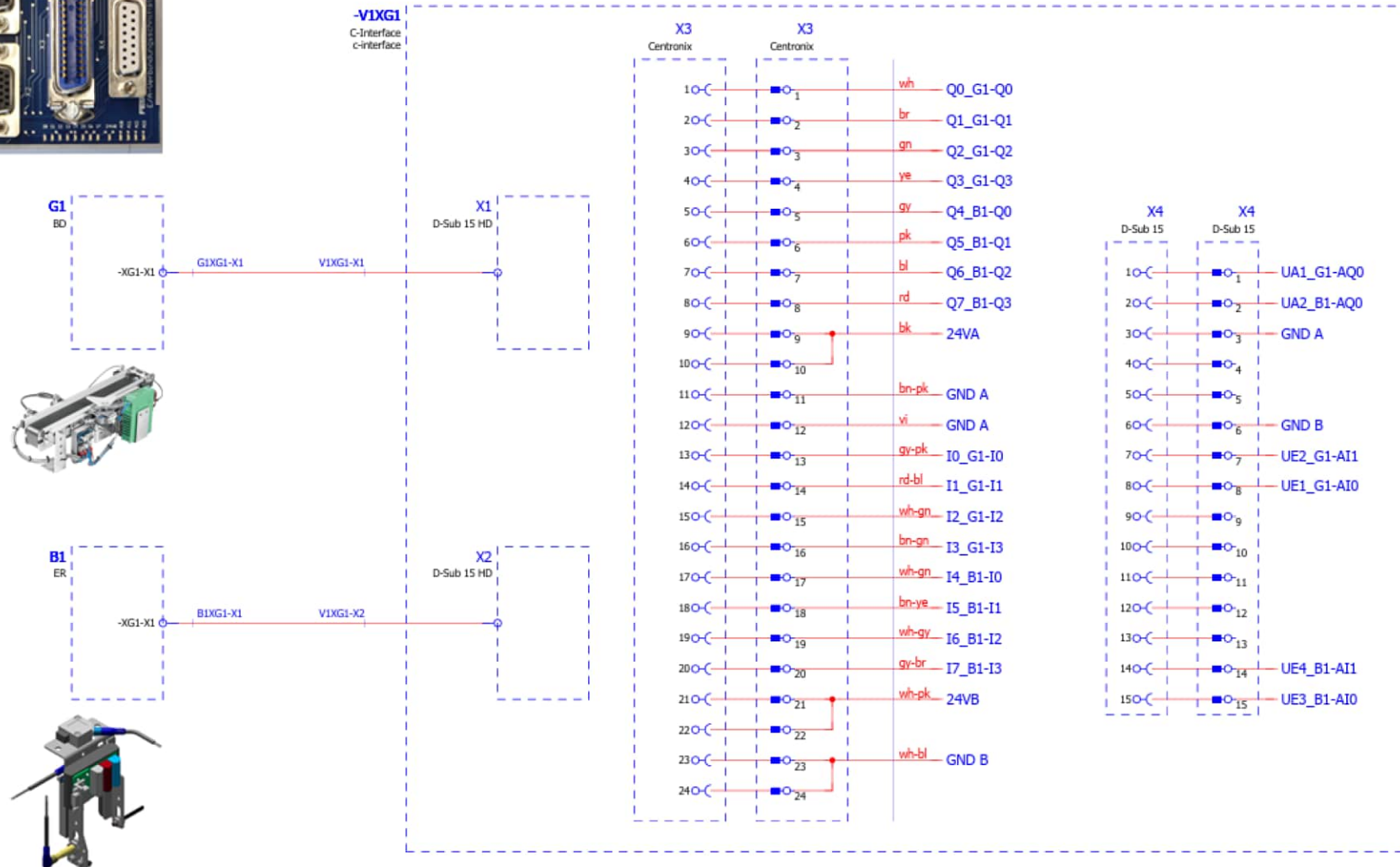
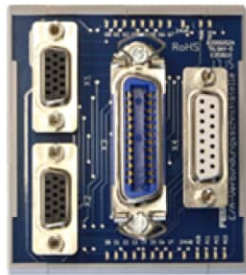
Leitungsbeschriftungen B1BGx in Steckernähe anbringen

Beschriftungsbeispiel



Werkstück erkannt	Werkstück nicht schwarz	Werkstück Metall
workpiece detected	workpiece not black	workpiece metall

Рисунок 1.6 – Принципова електрична схема підключення модуля виявлення



Leitungsbeschriftungen in Steckernähe anbringen

Рисунок 1.7 – Електрична схема комутації між С-інтерфейсом та міні-терміналами

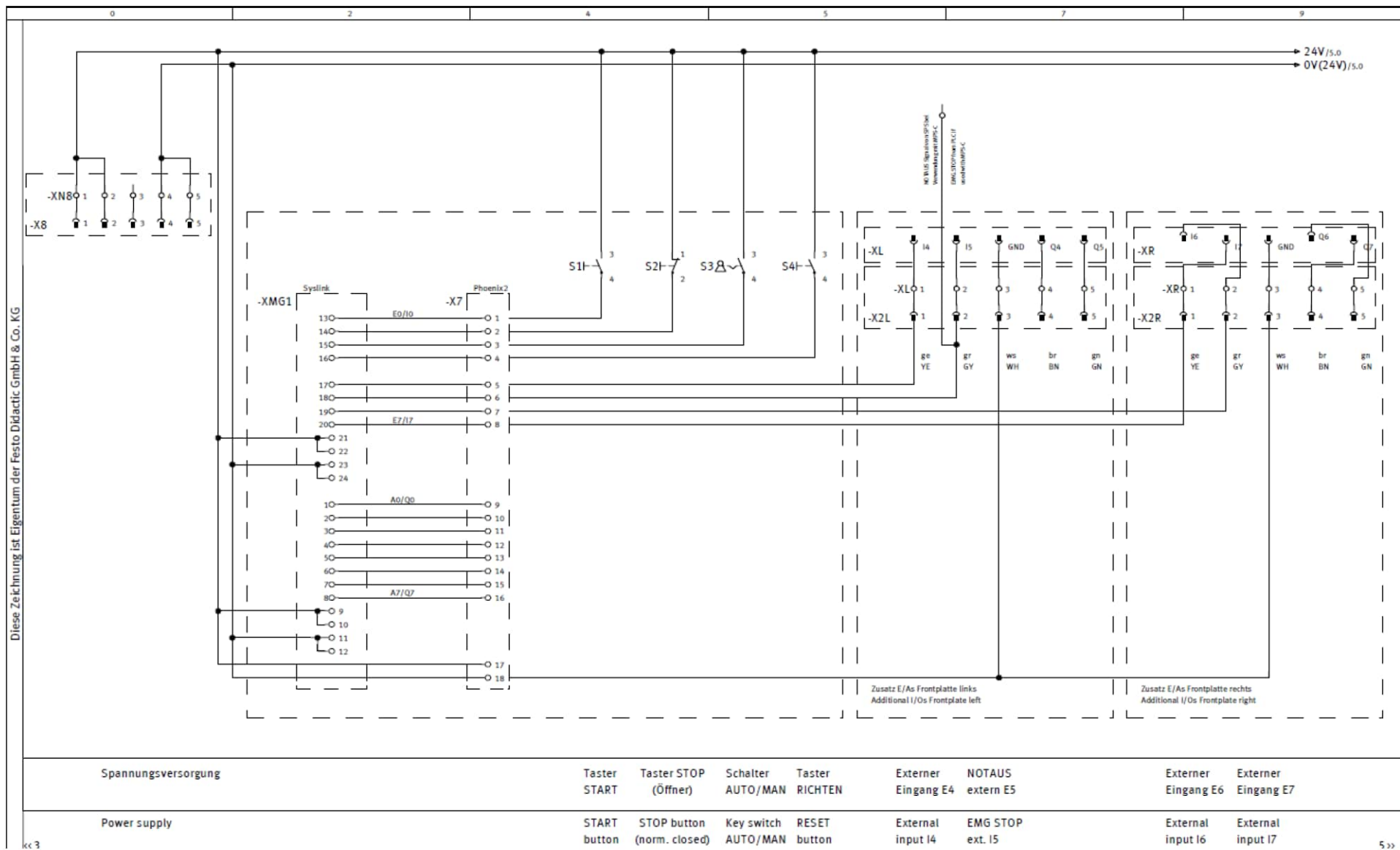


Рисунок 1.8 – Електрична схема панелі оператора

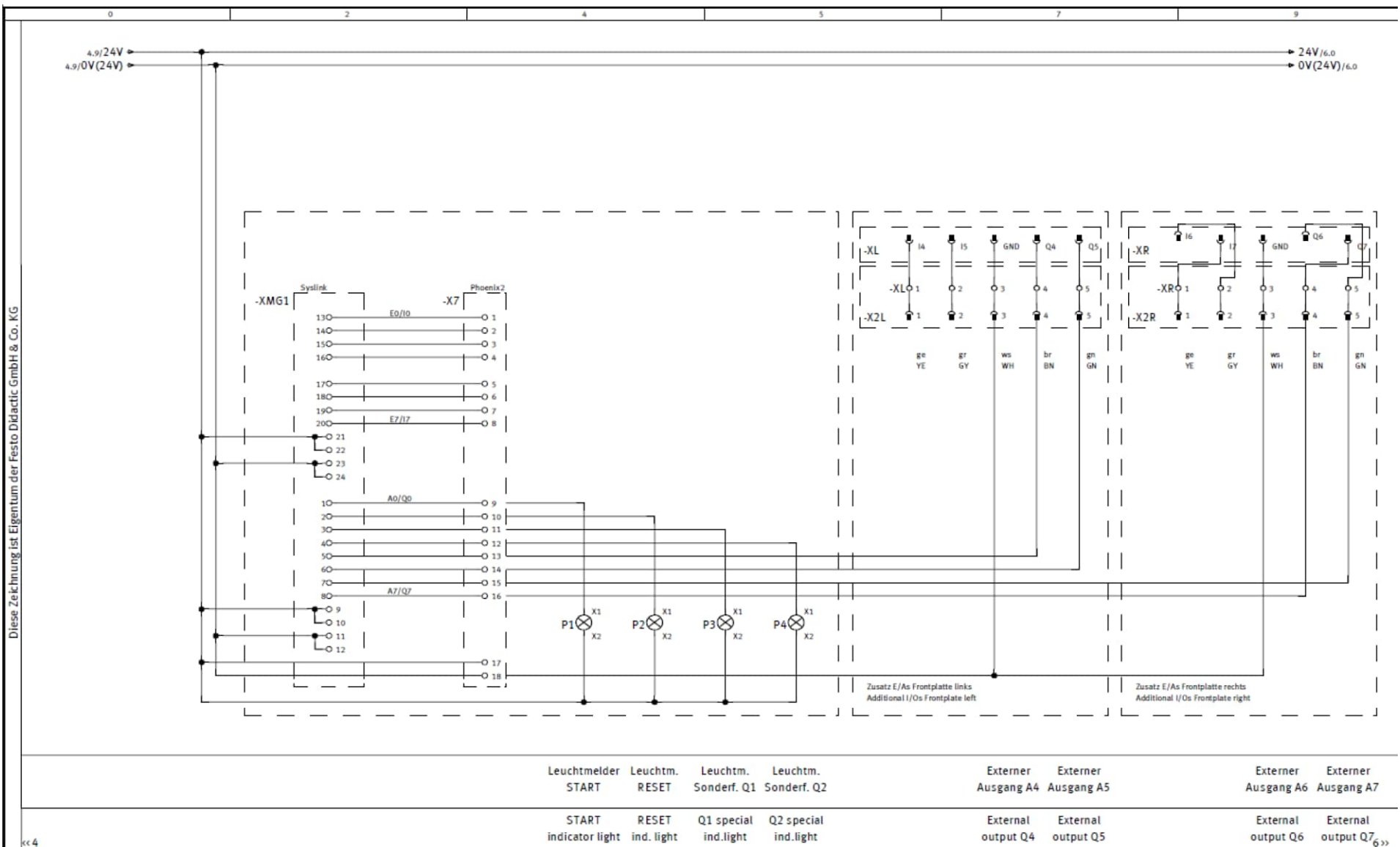


Рисунок 1.9 – Електрична схема панелі оператора

### 1.3 Огляд існуючих аналогів систем

Окрім Festo Didactic, існує багато інших виробників дидактичного обладнання, які пропонують аналогічні рішення для навчання мехатроніки та роботи з кіберфізичними системами.

*Fischertechnik* – німецький виробник навчальних конструкторів, які використовуються для моделювання виробничих процесів та автоматизації.

*SMC International Training* – пропонує навчальні системи для пневматики, мехатроніки та автоматизації.

*Amatrol* – американська компанія, що спеціалізується на інтерактивних навчальних системах для технічної освіти.

*Lucas-Nülle* – розробляє навчальні стенди для електротехніки, мехатроніки та автоматизації.

*Intelitek* – пропонує навчальні рішення для робототехніки та автоматизованих виробничих систем.

Також в Україні є низка компаній, що займаються постачанням навчального обладнання, серед яких Accord Group, EdPro дистрибушн, B2B Solutions, ERC та інші.

Якщо порівнювати наведені дидактичні системи з MPS Festo Didactic то можна зробити наступні висновки:

До переваги MPS Festo Didactic відносяться модульність та гнучкість (система дозволяє комбінувати різні станції для створення виробничих ліній); близькість до реальної промисловості (навчальні рішення максимально наближені до реальних умов роботи кіберфізичних систем); широкий спектр навчальних матеріалів (доступні симулятори, методичні посібники та інтерактивні курси); інтеграція з Індустрією 4.0 (підтримка сучасних технологій цифровізації та автоматизації).

До недоліків MPS Festo Didactic можна віднести високу вартість обладнання та навчальних комплексів порівняно з конкурентами; складність налаштування,

що проявляється у потребі детального вивчення та адаптації до навчального процесу.

Порівняння з іншими виробниками

– AmatroI пропонує інтерактивні навчальні системи, але їхня модульність поступається Festo.

– Lucas-Nülle має потужні рішення для електротехніки, але менш гнучкі у мехатроніці.

– Intelitek спеціалізується на робототехніці, але не має такого широкого спектру автоматизації.

#### **1.4 Обґрунтування вибраного напрямку вирішення задачі**

У сучасних умовах цифровізації виробництва та Індустрії 4.0 кіберфізичні системи (КФС) є ключовим елементом розумних виробничих комплексів. Вони забезпечують інтеграцію апаратних та програмних рішень, дозволяючи здійснювати моніторинг, аналіз та адаптацію виробничих процесів у реальному часі.

Розробка КФС на базі дидактичного комплексу MPS Sorting від Festo Didactic є обґрунтованим вибором, оскільки система вже містить модулі для виконання сортування, які можуть слугувати основою для реалізації рішень з керування об'єктом.

MPS Sorting включає механізми транспортування, сортування та маніпуляції з об'єктами, що дозволяє моделювати виробничі процеси з розподілу продукції.

Основні компоненти:

– модуль транспортування, що забезпечує переміщення деталей;

– модуль сортування, що виконує ідентифікацію та розподіл об'єктів за критеріями;

– сенсорні системи, що здійснюють збір даних про об'єкти та навколишнє середовище.

Дані модулі формують основу для кіберфізичної інтеграції, з можливістю аналізу процесів та внесення змін у режимі реального часу.

Для реалізації КФС необхідне потужне обчислювальне обладнання, здатне забезпечити: обробку сигналів сенсорів; керування електромеханічними та пневматичними елементами; зв'язок з зовнішніми системами.

Оптимальним вибором є використання програмованих логічних контролерів (ПЛК), зокрема Siemens S7-1200, Beckhoff CX або Omron NJ.

Переваги використання ПЛК: висока надійність та швидкість обробки даних забезпечують безперервний робочий процес, гнучкість програмування дозволяє використовувати мови ІЕС 61131-3 (ST, LAD, FBD), а можливість інтеграції з SCADA та IoT значно розширює функціональність кіберфізичних систем.

З урахуванням вищесказаного розглянемо функціональну структуру кіберфізичної системи на базі MPS Sorting (див. рисунок 1.10).

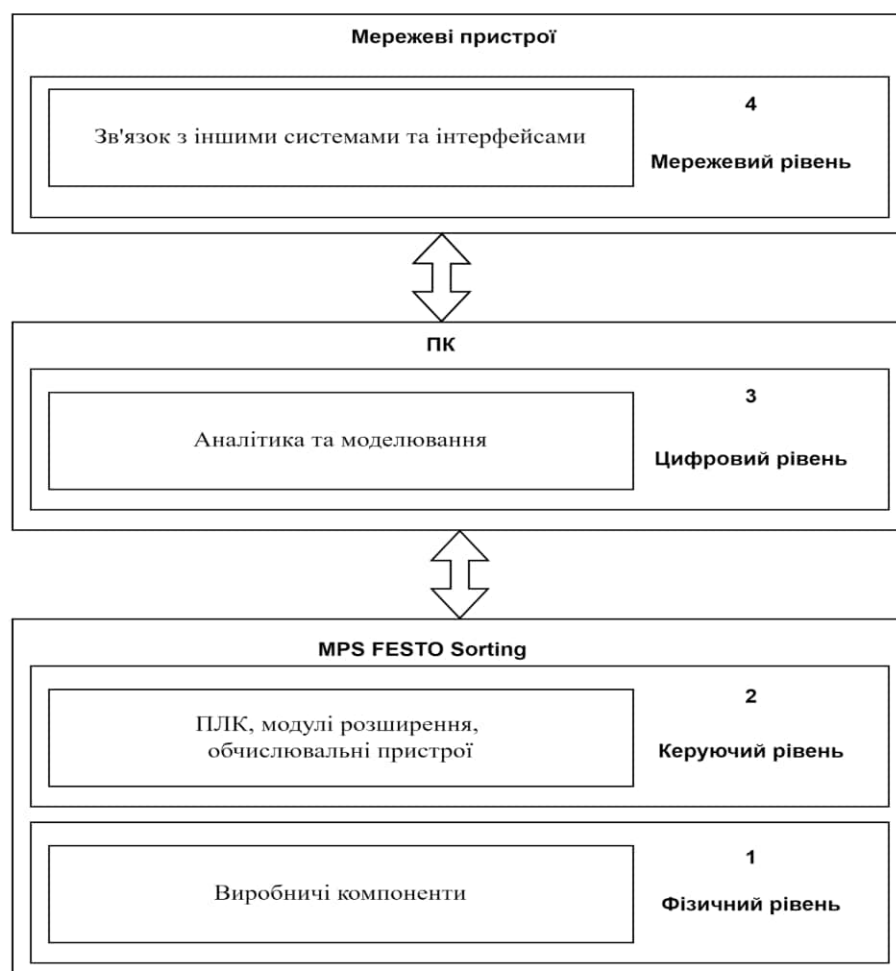


Рисунок 1.10 – Функціональна структура кіберфізичної системи на базі MPS Sorting

Кіберфізична система має складатись з кількох рівнів:

- фізичний (виробничі компоненти);
- керуючий (ПЛК та обчислювальні пристрої);
- цифровий (аналітика та моделювання);
- мережевий (зв'язок з іншими системами).

У підсумку можна сказати, що розробка КФС на базі MPS Sorting та ПЛК дозволить створити ефективну, адаптивну систему, що моделює сучасні цифровізовані виробничі процеси та сприятиме вдосконаленню навчального процесу.

### **1.5 Мета і задачі і роботи, що виконуються**

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка кіберфізичної системи (КФС) на базі дидактичного комплексу MPS Sorting від Festo Didactic, що забезпечить керування процесом сортування та інтеграцію з сучасними цифровими технологіями. Це дозволить моделювати реальні виробничі умови, аналізувати дані в режимі реального часу та здійснювати адаптивне управління процесами.

Основні задачі, що мають бути вирішеними.

Дослідження існуючих аналогів. Аналіз навчальних та промислових кіберфізичних систем, визначення переваг та недоліків.

Обґрунтування вибору компонентів. Визначення оптимальної конфігурації обладнання, включаючи використання ПЛК для обчислювального управління.

Розробка структури КФС. Формування взаємозв'язку між фізичним обладнанням, керуючим рівнем та цифровими технологіями.

Забезпечення збору, обробки та аналізу даних з можливістю управління системою.

Моделювання та тестування роботи системи. Перевірка її ефективності у навчальному та виробничому процесі.

## 2 **ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ**

Повна назва: «Кіберфізична система дидактичного стенду Festo MPS Sorting», далі Система.

Кіберфізична система на базі Festo MPS Sorting має на меті реалізацію технології сортування та розподілу об'єктів відповідно до заданих критеріїв. Вона дозволяє моделювати реальні виробничі процеси та досліджувати алгоритми керування, інтеграцію з цифровими технологіями і взаємодію між фізичними компонентами та програмним забезпеченням.

### **2.1 Вимоги до структури і функціонування Системи**

#### **1.1.8 Перелік функціональних складових чи підсистем, їхнє призначення**

Система дидактичної станції MPS Sorting включає:

- *конвеєрний модуль*, що забезпечує переміщення деталей;
- *модуль виявлення*, що виконує аналіз та ідентифікацію об'єктів за фізичними параметрами (колір, матеріал). Забезпечує передачу даних на контролер для ухвалення рішення щодо сортування;
- *модуль стопера*. Використовується для тимчасової фіксації деталей;
- *електричні сепаратори*. Виконують розподіл об'єктів за визначеними критеріями сортування;
- *датчики*. Визначають наявність об'єктів та їх фізичні властивості.
- *панель оператора*. Використовується для керування дидактичним стендом;
- *обчислювальний модуль*. Керування роботою станції, обробка даних з датчиків, функції зв'язку.

#### **1.1.9 Вимоги до способів і засобів зв'язку для інформаційного обміну між компонентами Системи**

Інформаційний обмін між компонентами кіберфізичної системи на базі MPS Sorting має відповідати високим вимогам до швидкості, надійності та

масштабованості, щоб забезпечити ефективну взаємодію між фізичними пристроями та цифровими алгоритмами управління.

Інформаційний обмін між компонентами Системи повинен відповідати високим вимогам до швидкості, безпеки та масштабованості. Затримка передачі даних має бути мінімальною для забезпечення роботи в реальному часі, а чітке управління пріоритетами інформаційних потоків гарантує, що критично важливі сигнали отримують першочерговий доступ. При цьому мережа зв'язку повинна бути масштабованою, дозволяючи її розширення без втрати продуктивності, а також захищеною за рахунок надійного шифрування та механізмів кібербезпеки.

Для реалізації ефективного інформаційного обміну повинні використовуватися промислові мережеві протоколи, такі як PROFINET, EtherCAT, Modbus TCP, що забезпечують стабільну комунікацію між ПЛК і виконавчими механізмами.

#### **1.1.10 Вимоги до характеристик взаємозв'язків створюваної Системи із суміжними Системами**

Розроблювана кіберфізична система на базі MPS Sorting має ефективно взаємодіяти із суміжними системами, забезпечуючи синхронізовану роботу, передачу даних та інтеграцію технологій. Взаємозв'язки повинні відповідати вимогам до швидкості обміну інформацією, масштабованості та надійності.

Має бути забезпечена підтримка одного з загальноприйнятих промислових стандартів – використання протоколів PROFINET, EtherCAT, Modbus TCP для інтеграції з автоматизованими виробничими системами.

Має бути забезпечено безперебійний обмін даними – мінімізація затримок при передачі інформації, використання детермінованих алгоритмів зв'язку.

Потрібно передбачити можливість розширення мережі – система має підтримувати підключення нових модулів без необхідності складних конфігурацій.

Має бути забезпечена взаємодія з іншими навчальними комплексами – можливість інтеграції з дидактичними стендами для розширення функціональних можливостей.

### **1.1.11 Вимоги до режимів функціонування Системи**

Розроблювана Система керується з панелі оператора, що забезпечує зручне управління всіма процесами. Для ефективної роботи вона повинна підтримувати кілька режимів функціонування, які дозволяють адаптувати систему до різних виробничих та навчальних завдань.

1. Автоматичний режим. У цьому режимі система виконує всі операції самостійно, без втручання оператора. Відбувається автоматичне сортування, транспортування та контроль параметрів, а дані про стан роботи відображаються на панелі оператора.

2. Ручний режим. Цей режим дозволяє оператору вручну керувати модулями станції. Взаємодія здійснюється через кнопочове управління.

3. Режим аварійної зупинки. Система повинна мати можливість миттєвого припинення роботи у разі виникнення критичних ситуацій. Аварійна зупинка активується оператором через панель управління, а також автоматично при виявленні порушень у роботі датчиків або механізмів.

4. Режим налагодження.

Передбачає тестування, калібрування та діагностику окремих компонентів системи. В цьому режимі оператор може перевіряти та налаштовувати сенсори, приводи та програмне забезпечення, оптимізуючи роботу станції. Відбувається без дії ПЛК.

### **1.1.12 Перспективи розвитку, модернізації Системи**

Розвиток кіберфізичної системи на базі MPS Sorting має широкий потенціал для вдосконалення, що дозволить розширити її функціональні можливості, підвищити продуктивність та інтегрувати сучасні технології автоматизації.

Розширення можливостей IoT – підключення нових сенсорів та обмін даними з хмарними платформами для прогнозування та оптимізації виробничих процесів.

Впровадження алгоритмів машинного навчання – аналіз даних сортування для автоматичної адаптації логіки роботи системи.

Оновлення сенсорних систем – інтеграція більш точних датчиків для покращення точності ідентифікації об'єктів.

Використання потужніших ПЛК – розширення функціональності управління через продуктивніші контролери (Siemens S7-1500, Beckhoff CX).

Оптимізація енергоефективності – застосування енергоощадних компонентів та режимів роботи.

Розширення взаємодії з SCADA – покращення візуалізації та управління через розширені аналітичні панелі.

Розробка мобільного інтерфейсу – можливість керування системою через смартфон чи планшет.

Адаптація для нових навчальних програм – створення інтерактивних курсів на основі кіберфізичної платформи.

## **2.2 Вимоги до показників призначення**

Розроблювана Система повинна відповідати певним вимогам до показників призначення, які визначають її ефективність, продуктивність та якість виконання завдань.

Система повинна забезпечувати не менше ніж 95% точності розподілу об'єктів відповідно до заданих параметрів.

Мінімальна затримка у процесі розпізнавання та переміщення деталей, що дозволяє обробляти не менше 30 одиниць на хвилину.

Має бути забезпечена безперебійна робота системи при тривалому навантаженні без значних відхилень у продуктивності.

Система повинна бути здатною автоматично відновлювати роботу після короткочасних порушень у функціонуванні.

Система має відповідати промисловим стандартам з електробезпеки та механічного захисту.

Система має забезпечувати зручність управління – інтуїтивна панель оператора, яка дозволяє легко керувати та контролювати стан Системи.

## **2.3 Додаткові вимоги**

### **1.1.13 Вимоги до задач (налаштувань), які виконуються у Системі**

Для ефективного функціонування кіберфізичної системи Festo MPS Sorting необхідно визначити вимоги до задач (налаштувань), що реалізуються в процесі роботи. Ці вимоги забезпечують стабільність, точність та оптимізацію сортувальних операцій.

#### **1. Функціональні вимоги:**

- ідентифікація об'єктів, датчики повинні точно розпізнавати параметри об'єкта (колір, матеріал);
- обробка даних, система має ефективно збирати, передавати та аналізувати інформацію для коректного прийняття рішень;
- сортувальні алгоритми, програмне забезпечення PLC повинно відповідати заданим критеріям та здійснювати швидке сортування деталей;
- зворотній зв'язок, система має отримувати дані про стан виконання задач та коригувати свою роботу.

#### **2. Технічні вимоги:**

- датчики та виконавчі механізми повинні мати високу точність та швидкодію;
- алгоритми обробки повинні бути сумісні з ПЛК та підтримувати стандарти промислових мереж;
- надійність системи, забезпечення стабільної роботи без помилок та втрати даних.

3. Операційні вимоги: гнучкість налаштувань, можливість адаптації алгоритмів під різні сценарії роботи.

### **1.1.14 Вимоги до модульності та масштабованості**

Кіберфізична система повинна підтримувати модульність та масштабованість, що дозволяє адаптувати її до різних умов експлуатації та розширювати функціональність.

Модульність забезпечується використанням стандартизованих інтерфейсів, гнучкою інтеграцією нових модулів без значних змін архітектури, підтримкою універсальних протоколів зв'язку та можливістю швидкого оновлення.

Масштабованість передбачає можливість додавання нових датчиків і виконавчих механізмів, стабільну роботу при зміні обсягів виробництва, адаптацію програмного забезпечення до змінних умов та оптимізацію ресурсів для ефективного функціонування системи.

### **1.1.15 Вимоги до ергономічності**

Вимоги до інтерфейсу користувача включають створення зрозумілого та інтуїтивного управління.

Вимоги до робочого середовища передбачають ергономічне розташування компонентів, доступність для обслуговування та відповідність стандартам безпеки.

Фізичні параметри системи мають забезпечувати компактність і мобільність, комфортну висоту та нахил робочих зон, а також мінімізацію шумового впливу під час експлуатації.

### **1.1.16 Вимоги до інтеграції з навчальними платформами**

Інтеграція кіберфізичної системи Festo MPS Sorting з навчальними платформами є ключовим аспектом для забезпечення її ефективного використання у освітньому процесі. Вимоги до такої інтеграції включають підтримку стандартних цифрових навчальних середовищ та підтримку доступу до навчальних матеріалів у режимі реального часу.

Система має забезпечувати сумісність із поширеними форматами навчальних матеріалів (відео, інтерактивні симуляції, тестові завдання).

Необхідно забезпечити можливість персоналізації навчального процесу через адаптивні налаштування Системи.

### **1.1.17 Вимоги до параметрів мереж енергопостачання**

Вимоги до параметрів мереж енергопостачання включають підтримку відповідних рівнів напруги та струму, що забезпечують стабільну роботу всіх компонентів.

Система повинна відповідати стандартам промислового енергозабезпечення, включаючи необхідні параметри напруги (наприклад, 24V DC для сенсорів та виконавчих механізмів) та захисні механізми, такі як запобіжники та автоматичні вимикачі для попередження перевантажень.

Критичним фактором є захист від перепадів напруги та коротких замикань, що може впливати на точність роботи сортувального процесу. Можливе використання стабілізаторів напруги та джерел безперебійного живлення для мінімізації ризиків збоїв та втрати даних. Крім того, система повинна мати енергоефективні компоненти для зниження загального споживання електроенергії, а також можливість масштабування електричних параметрів при зміні навантаження.

### **1.1.18 Вимоги до регламенту обслуговування**

Регламент обслуговування повинен включати заходи для підтримки працездатності системи, запобігання можливим збоям та продовження терміну її експлуатації.

Обслуговування повинно здійснюватися регулярно відповідно до встановлених інтервалів, залежно від ступеня навантаження системи. Основні вимоги включають: періодичний огляд датчиків, виконавчих механізмів та електричних з'єднань для виявлення пошкоджень або зносу компонентів; перевірку програмного забезпечення на актуальність версій та коректність виконання алгоритмів; діагностику мережевих підключень для забезпечення стабільного обміну даними; чистку та технічне обслуговування

механічних вузлів для уникнення накопичення забруднень, що можуть впливати на точність сортування.

Крім того, важливими аспектами є ведення журналу технічного обслуговування, що дозволяє відстежувати історію роботи системи та вчасно реагувати на відхилення, а також виконання оновлень та покращень, що можуть підвищити продуктивність та точність роботи.

Всі технічні операції мають проводитися відповідно до рекомендацій виробника, а система повинна проходити регулярне тестування на відповідність параметрам експлуатації.

#### **1.1.19 Вимоги до технічного забезпечення**

Апаратні вимоги передбачають використання високоточних датчиків для збору даних про об'єкти, надійних виконавчих механізмів для сортування, а також контролерів, що забезпечують швидку обробку інформації. Елементи мережі живлення мають відповідати стандартам промислової автоматизації, включати стабілізатори напруги та захисні пристрої від перевантажень.

Програмне забезпечення повинно підтримувати інтеграцію з ПЛК, мати гнучку систему конфігурації для зміни параметрів сортування, а також забезпечувати зручний інтерфейс управління. Важливим аспектом є сумісність алгоритмів з промисловими мережами та можливість оновлення програмного коду.

Крім того, необхідна підтримка мережевого доступу для обміну даними між компонентами та навчальними платформами.

#### **1.1.20 Вимоги до методичного забезпечення**

Вимоги включають структурованість навчальних матеріалів, що охоплюють теоретичні аспекти, практичні завдання та методичні рекомендації для викладачів. Важливо забезпечити чіткі інструкції щодо налаштування та експлуатації системи, включаючи опис алгоритмів

сортування, принципів роботи сенсорів та виконавчих механізмів, а також методів аналізу зібраних даних.

Навчальні матеріали мають бути адаптовані до різних рівнів підготовки користувачів та включати інтерактивні симуляції, відео-інструкції та тестові завдання для перевірки засвоєних знань. Крім того, методичне забезпечення повинно передбачати можливість інтеграції з цифровими освітніми платформами, що дозволить студентам працювати з системою в онлайн-режимі, отримувати доступ до навчальних ресурсів та проходити оцінювання у віртуальному середовищі.

Забезпечити підтримку оновлення навчальних матеріалів, що задовільнить їх відповідність сучасним технологічним тенденціям. Регулярне вдосконалення методичних рекомендацій дозволить інтегрувати нові підходи до навчання та розширювати можливості використання системи у навчальному процесі.

## 2 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ

### 2.4 Розробка структурної схеми комплексу технічних засобів Системи

Розробка структурної схеми комплексу технічних засобів кіберфізичної системи Festo MPS Sorting визначає взаємодію компонентів, функціональну організацію та логіку обміну даними.

Розроблена структурна схема (рисунок 2.1) включає такі основні елементи:

- сенсорна система, що являє набір датчиків (оптичних, індуктивних), що здійснюють ідентифікацію об'єктів за положенням, кольором та матеріалом;

- виконавчі механізми: електроприводи, пневматичні системи виконують операції сортування та переміщення;

- програмований логічний контролер (PLC) є центральним керуючим модулем, який отримує дані з сенсорів, аналізує їх та формує команди для виконавчих механізмів;

- мережа обміну даними з комунікаційними протоколами (наприклад: Ethernet/IP, PROFIBUS, Modbus), що забезпечують зв'язок між компонентами системи та зовнішніми платформами;

- інтерфейс користувача, що забезпечує панель керування для керування та моніторингу роботи системи.

Взаємодія між компонентами забезпечується через стандартизовані протоколи зв'язку, що дозволяє оперативно обробляти дані, адаптувати систему до зміни умов та інтегрувати її в навчальні або виробничі платформи.

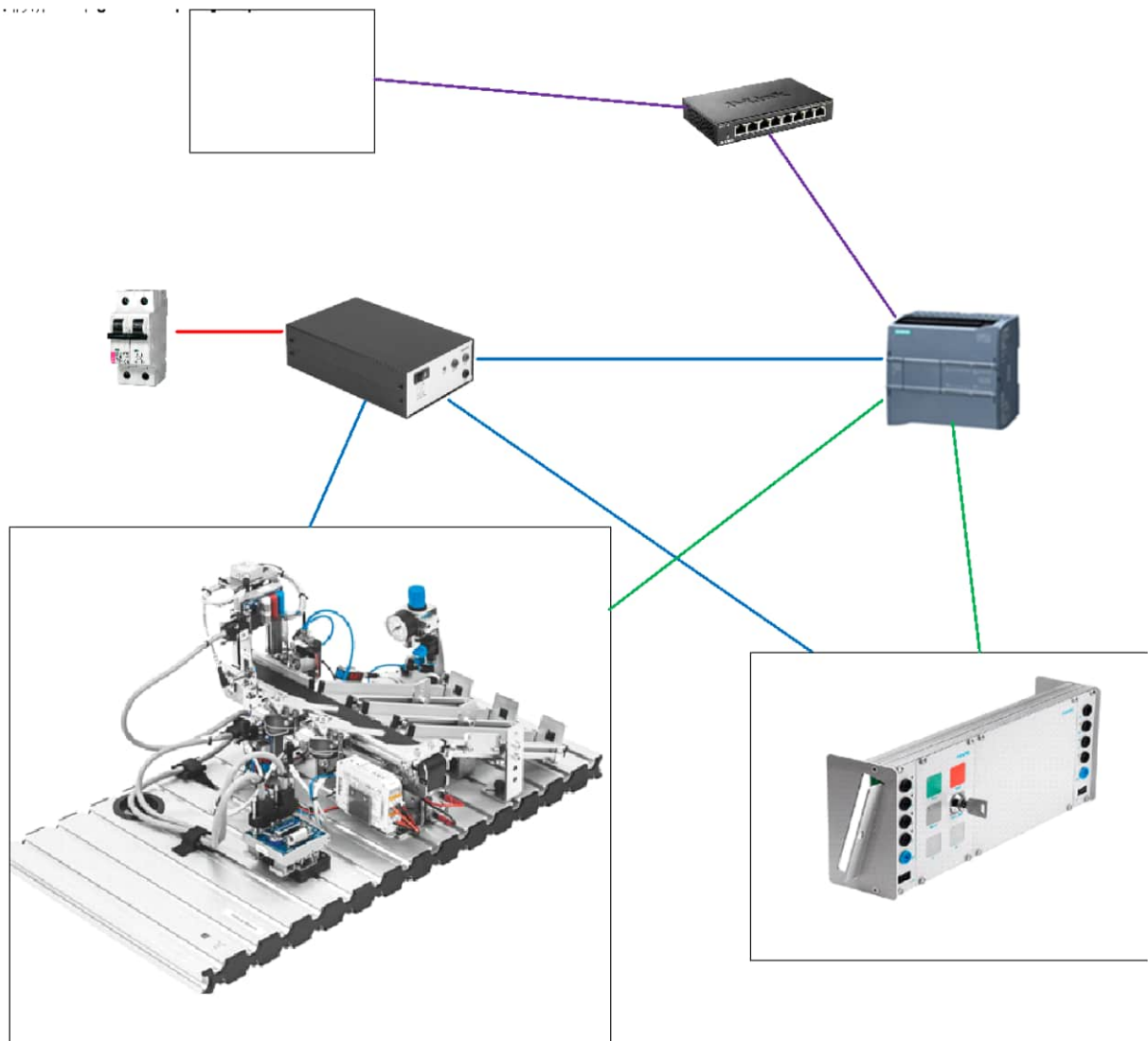


Рисунок 2.1 – Структурна схема комплексу технічних засобів кіберфізичної системи Festo MPS Sorting

## 2.5 Розробка функціональної схеми автоматизації Системи

Розроблена функціональна схема автоматизації кіберфізичної системи Festo MPS Sorting (рисунок 2.2) відображає структуру взаємодії всіх компонентів та логіку обробки інформації для технології сортувального процесу.

Основними елементами, що представлені на схемі, є:

- сенсорна система з вказанням місця розташування датчиків, що підключені до PLC та їхні функції;
- контролер PLC з модулями погодження сигналів;

- виконавчі механізми з вказанням їхнього зв'язку із контролером та технологічним процесом сортування;
- система зворотного зв'язку для виконання операцій керування механізмами;
- інтерфейс користувача для взаємодії з оператором;

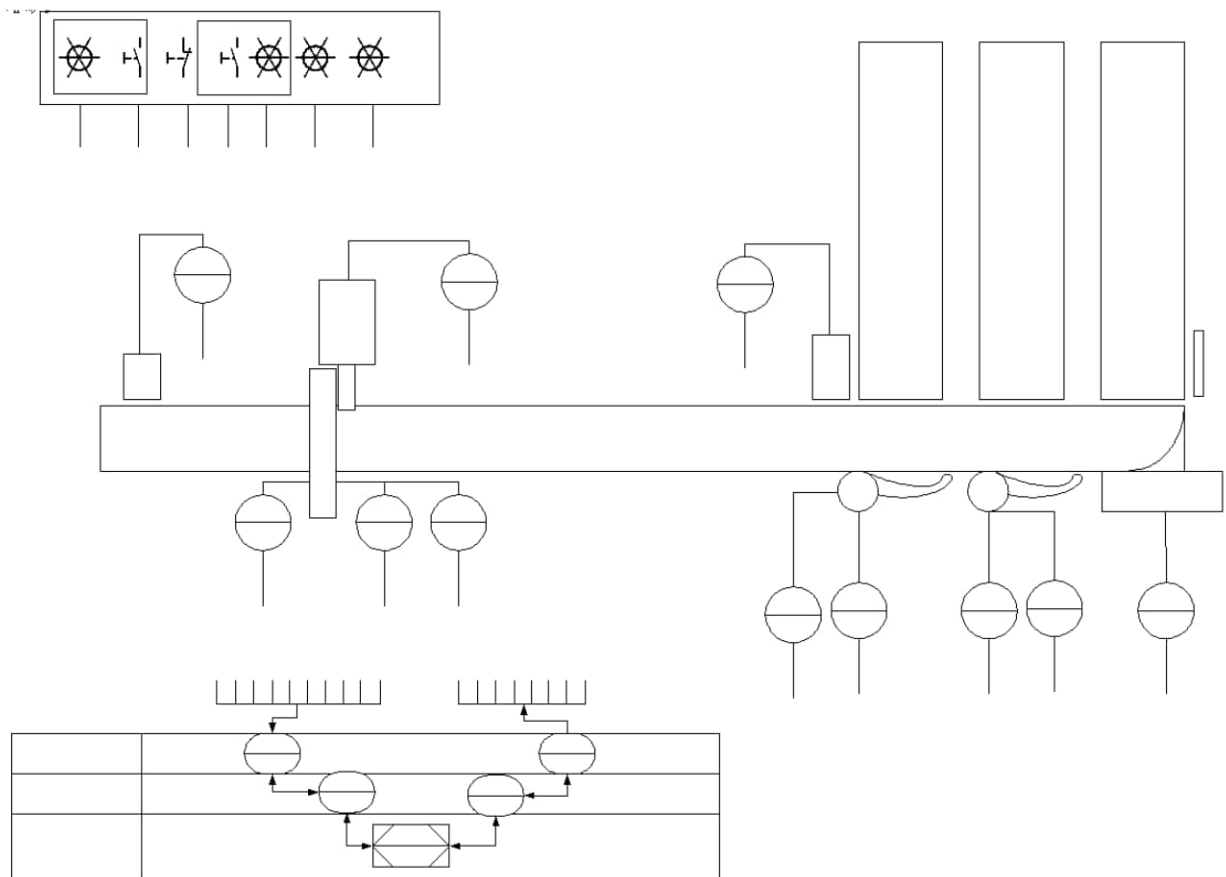


Рисунок 2.2 - Функціональна схема автоматизації кіберфізичної системи дидактичного стенду Festo MPS Sorting

Схема наочно демонструє, як здійснюється автоматизоване управління сортувальними операціями, а також дозволяє оцінити можливості розширення або модернізації системи.

## **2.6 Аналіз вхідних і вихідних сигналів Системи**

Аналіз вхідних і вихідних сигналів кіберфізичної системи Festo MPS Sorting є важливим для розробки логіки управління та забезпечення точності виконання операцій.

Вхідні сигнали формують основу для прийняття рішень контролером PLC. Вони надходять від наступних компонентів: датчики розпізнавання об'єктів (оптичні, індуктивні); сигнали стану модуля конвеєра (положення деталей, момент входу об'єкта в зону аналізу); кнопки управління (команди запуску, зупинки, зміни режимів роботи).

Вихідні сигнали визначають роботу системи на рівні фізичного виконання команд: керуючі сигнали для виконавчих механізмів (активація пневматичних систем, електроприводів); зміна стану конвеєра (рух, зупинка); візуальні індикатори (відображення стану процесу на панелі оператора);

Розуміння структури вхідних і вихідних сигналів дозволяє оптимізувати алгоритми управління, мінімізувати затримки в передачі інформації та забезпечити коректну роботу сортувальної системи.

У таблиці 2.1 представлено список сигналів, що надходять до Системи.

У таблиці 2.2 наведено перелік вихідних сигналів для Системи.

Таблиця 2.1 – Вхідні сигнали Системи

№ з/п	Найменування інформації	Ідентифікатор	Напр. Вх/вих	Функц	Вид	Джерело / одержувач	Форма подання		Період вв/вив,с
							Зовн.	Внутр.	
1	Заготовка на початку конвеєра	G1BG1	Вхід	Контроль	Цифровий	Датчик/термінал/PLC	DC 24В	1 біт	0,4
2	Сепаратор 1 активовано	G1BG2	Вхід	Контроль	Цифровий	Датчик/термінал/ PLC	DC 24В	1 біт	0,4
3	Слайдер переповнений	G1BG3	Вхід	Контроль	Цифровий	Датчик/термінал/ PLC	DC 24В	1 біт	0,4
4	Сепаратор 2 активовано	G1BG4	Вхід	Контроль	Цифровий	Датчик/термінал/ PLC	DC 24В	1 біт	0,4
5	Заготовка визначена	B1BG1	Вхід	Контроль	Цифровий	Датчик/термінал/ PLC	DC 24В	1 біт	0,4
6	Заготовка не чорна	B1BG2	Вхід	Контроль	Цифровий	Датчик/термінал/ PLC	DC 24В	1 біт	0,4
7	Заготовка металева	B1BG3	Вхід	Контроль	Цифровий	Датчик/термінал/ PLC	DC 24В	1 біт	0,4
8	Кнопка Start	S1	Вхід	Контроль	Н.В.	Кнопка/ XMG1/ PLC	DC 24В	1 біт	0,4
9	Кнопка Stop	S2	Вхід	Контроль	Н.З	Кнопка/ XMG1/ PLC	DC 24В	1 біт	0,4
10	Кнопка Reset	S4	Вхід	Контроль	Н.В.	Кнопка/ XMG1/ PLC	DC 24В	1 біт	0,4



Таблиця 2.2 – Вихідні сигнали Системи

№ з/п	Найменування інформації	Ідентифікатор	Напр. Вх/вих	Функц	Вид	Джерело / одержувач	Форма подання		Період вв/вив,с
							Зовн.	Внутр.	
1	Двигун конвеєра	G1KF1	Вихід	Керув.	Н.В.	PLC/термінал/ БКЩД	DC 24В	1 біт	0,5
2	Сепаратор 1	G1MB1	Вихід	Керув.	Н.В.	PLC/термінал/ соленоїд	DC 24В	1 біт	0,5
3	Сепаратор 2	G1MB2	Вихід	Керув.	Н.В.	PLC/термінал/ соленоїд	DC 24В	1 біт	0,5
4	Стопер	G1MB3	Вихід	Керув.	Н.В.	ПЛК/термінал /котушка ПК	DC 24В	1 біт	0,5
5	Лампа кнопки Start	P1	Вихід	Керув.	Н.В.	PLC/XMG1/ Лампа	DC 24В	1 біт	0,5
6	Лампа кнопки Reset	P2	Вихід	Керув.	Н.В.	PLC/XMG1/ Лампа	DC 24В	1 біт	0,5
7	Лампа Q1	P3	Вихід	Керув.	Н.В.	PLC/XMG1/ Лампа	DC 24В	1 біт	0,5
8	Лампа Q2	P4	Вихід	Керув.	Н.В.	PLC/XMG1/ Лампа	DC 24В	1 біт	0,5

Загальна кількість сигналів кіберфізичної системи дидактичного стенду:

цифрових вхідних – 10;

цифрових вихідних – 8.

## **2.7 Вибір і обґрунтування обладнання Системи**

### **2.1.1 Вибір пристрою збору та обробки даних Системи**

Для ефективної роботи кіберфізичної системи Festo MPS Sorting необхідно обрати пристрій збору та обробки даних, який забезпечить точне зчитування параметрів об'єктів, швидке передавання інформації та її аналіз для прийняття оптимальних рішень.

При виборі пристрою варто враховувати технічні вимоги, кількість та тип вхідних вихідних сигналів Системи. До того ж важливо, щоб пристрій підтримував промислові протоколи зв'язку (наприклад: Ethernet/IP, Modbus, PROFIBUS) для взаємодії з іншими елементами системи.

Так само пристрій має забезпечувати високу частоту зчитування даних для безперебійної роботи сортувального механізму відповідно до умов технологічного процесу.

На основі цих вимог зазвичай використовуються промислові контролери наприклад, Siemens S7, Allen-Bradley CompactLogix або системи на базі мікроконтролерів з розширеними можливостями аналізу.

З урахуванням вищезазначеного обираємо ПЛК Siemens серії Simatic S7-1200.

Ця серія компактних програмованих логічних контролерів призначена для керування малими та середніми системами. Завдяки модульній конструкції вона дозволяє легко розширювати можливості відповідно до потреб проекту.

Основні особливості SIMATIC S7-1200:

– гнучкість, завдяки підтримці різних комунікаційних протоколів (Ethernet, PROFINET, PROFIBUS);

- висока продуктивність, забезпечується потужним процесором, що гарантує швидку обробку даних;
- зручне програмування, через середовище TIA Portal, яке спрощує налаштування та діагностику;
- модульність, що дозволяє підключати додаткові модулі введення-виведення для розширення функціоналу;
- компактність, що допомагає економити простір у порівнянні з іншими серіями PLC.

Окрім цього, серія має середній ціновий діапазон, що робить її економічно вигідним вибором.

Для того, щоб обрати контролер необхідно проаналізувати ряд стандартних CPU (рисунок 2.3) за їх характеристиками.






CPUs		Article No.
<b>Standard CPUs</b>		
	<b>CPU 1211C</b>	
	50 KB program memory, DI 6 x 24 V DC, DQ 4 x 24 V DC or 4 x RLY, AI 2 x 0–10 V DC	
	DC/DC/DC	6ES7211-1AE40-0XB0
	AC/DC/RLY	6ES7211-1BE40-0XB0
	DC/DC/RLY	6ES7211-1HE40-0XB0
	<b>CPU 1212C</b>	
	75 KB program memory, DI 8 x 24 V DC, DQ 6 x 24 V DC or 6 x RLY, AI 2 x 10 bits 0–10 V DC	
	DC/DC/DC	6ES7212-1AE40-0XB0
	AC/DC/RLY	6ES7212-1BE40-0XB0
	DC/DC/RLY	6ES7212-1HE40-0XB0
	<b>CPU 1214C</b>	
	100 KB program memory, DI 14 x 24 V DC, DQ 10 x 24 V DC or 10 x RLY, AI 2 x 0–10 V DC	
	DC/DC/DC	6ES7214-1AG40-0XB0
	AC/DC/RLY	6ES7214-1BG40-0XB0
	DC/DC/RLY	6ES7214-1HG40-0XB0
	<b>CPU 1215C</b>	
	125 KB program memory, DI 14 x 24 V DC, DQ 10 x 24 V DC or 10 x RLY, AI 2 x 0–10 V DC, AQ 2 x 0–20 mA DC, 2 x PROFINET Port	
	DC/DC/DC	6ES7215-1AG40-0XB0
	AC/DC/RLY	6ES7215-1BG40-0XB0
	DC/DC/RLY	6ES7215-1HG40-0XB0
	<b>CPU 1217C</b>	
	150 KB program memory, DI 10 x 24 V DC, DI 4 x RS422/485, DQ 6 x 24 V DC, DQ 4 x RS422/485, AI 2 x 0–10 V DC, AQ 2 x 0–20 mA, 2 x PROFINET Port	
	DC/DC/DC	6ES7217-1AG40-0XB0

Рисунок 2.3 – Ряд стандартних CPU серії S7-1200

Для наших вимог підходить процесорний модуль CPU 1214C так як він має 14 цифрових входів, 10 виходів та 2 аналогових входи.

Обираємо модель AC/DC/RLY 6ES7214-1BG40-0XB0 особливостями якої є живлення 220В змінного струму та релейні виходи. До того ж CPU має один порт PROFINET з інтерфейсом RJ45 (Ethernet) [15].

Схема підключень до портів CPU наведена на рисунку 2.4.

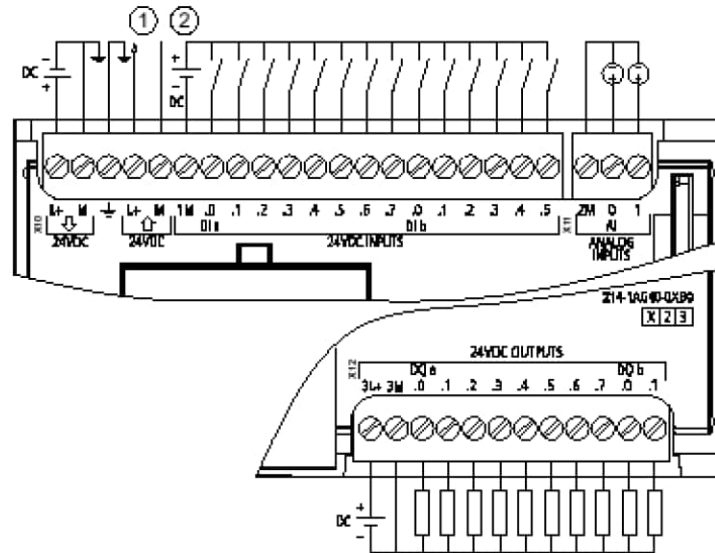


Рисунок 2.4 – Схема підключення до портів CPU 1214C AC/DC/RLY

### 2.1.2 Вибір блоку живлення

Для забезпечення стабільної роботи кіберфізичної системи Festo MPS Sorting необхідний блок живлення, який відповідатиме вимогам електроживлення всіх компонентів, включаючи датчики, виконавчі механізми та контролер PLC.

При виборі блоку живлення необхідно враховувати такі ключові параметри:

- напруга та струм відповідно робочим параметрам системи (наприклад, 24V DC для сенсорів і привідних механізмів, 230V AC для основного живлення);
- достатній запас потужності для всіх компонентів із урахуванням пікових навантажень;
- наявність стабілізації, фільтрів шуму та захисту від короткого замикання;
- відповідність нормам електробезпеки та стандартам автоматизації (наприклад, IEC/EN 60950 або IEC 60204-1);

– мінімальне споживання електроенергії та підтримка режиму економного використання.

Зазвичай для автоматизованих систем використовуються імпульсні блоки живлення з вбудованою стабілізацією, що забезпечують рівномірне електроживлення та захист від перевантажень. Оптимальним вибором можуть бути блоки живлення від Siemens, Phoenix Contact або Mean Well, які відповідають промисловим вимогам.

Однак, враховуючи те, що виробник дидактичних стендів FESTO пропонує для використання з своїми станціями блоки живлення своєї розробки, що повністю відповідають перерахованим вимогам та забезпечують стабільне живлення станцій та їх компонентів – обираємо Power supply units 8049633 [16] (рисунок 2.5). Електричні данні блоку живлення наведено в таблиці 2.3.



Рисунок 2.5 – Вигляд блоку живлення Power supply units 8049633

Таблиця 2.3 – Електричні данні Power supply units 8049633

Electrical data	
Input voltage	110...240 V AC ( $\pm 10\%$ )
Input frequency	50...60 Hz
Input current	1.0 A (110 V AC) 0.52 A (240 V AC)
Protection class	1, operation with protective earthing
Overvoltage category	II, operation in building installation
Degree of contamination	2, laboratory environment
Degree of efficiency	80%
Mains connection	IEC power connector, C13
Output voltage	24 V DC, 1%
Output voltage ripple	150 mV
Output current	4 A
Primary fuse	T2L/250 V micro fuse, 5x20 mm, 2 A, 250 V, slow-blow
Short-circuit protection	Switch off the switched-mode power supply
Overload protection	Resettable device fuse (4 A)
Operating temperature range	5...40°C/100%
Max. rel. humidity	80%
Degree of protection	IP 20 (not in the ER mounting frame)

Живлення CPU реалізуємо від побутової мережі 220В, 50Гц із застосуванням автомату захисту на 6А Характеристика D.

## 2.8 Розробка специфікації апаратних та монтажних засобів Системи

Специфікація апаратних та монтажних засобів кіберфізичної системи Festo MPS Sorting визначає набір обладнання, необхідного для реалізації технологічного процесу сортування, а також методи його встановлення та інтеграції у робоче середовище.

Система дидактичного стенду вже укомплектована датчиками, виконавчими механізмами, панеллю оператора та терміналами для підключення.

Попередньо обрано модуль ПЛК та блок живлення. Модуль ПЛК так само забезпечує комунікацію по мережі, тому додаткові модулі не потрібні.

Враховуючи те, що контролер має бути розміщено на монтажній панелі безпосередньо на корпусі дидактичного стенду необхідно підібрати монтажні засоби.

Розроблена специфікація наведена у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – специфікація апаратних та монтажних засобів

П о з и ц і я	Найменування і технічна характеристика	Тип, марка, позначення документа, опитувального листа	О д и н и ц і в и м і р у	К і л ь к і с т ь	Примітки
1	2	3	4	5	6
1.	ПЛК Siemens S7-1200 CPU 1214C, AC/DC/RLY	6ES7214-1BG40- 0XB0	од.	1	Живлення 220В, 50Гц
2.	Блок живлення Power supply units	8049633	од.	1	24 V DC
3.	DIN рейка 35мм CHINT	TS-35	м	0,4	
4.	Кабельканал перфорований 40x25 АСКО	Аско-Укрем	м	2	
5.	Клема прохідна d 2,5мм Phoenix Contact	UT 2,5 3044076	од.	3	на DIN рейку
6.	Кінцева кришка Phoenix Contact	D-UT 2,5 / 10 3047028	од.	1	

## 2.9 Розробка електричної принципової схеми Системи

Електрична схема відобразатиме порядок підключення всіх елементів: датчики підключаються до входів PLC, виконавчі механізми – до вихідних каналів, а блок живлення – до всіх споживачів електроенергії. Також буде

вказано комунікаційні шляхи між пристроями, спосіб взаємодії з панеллю оператора.

Розроблена принципова схема наведена на рисунку 2.6.

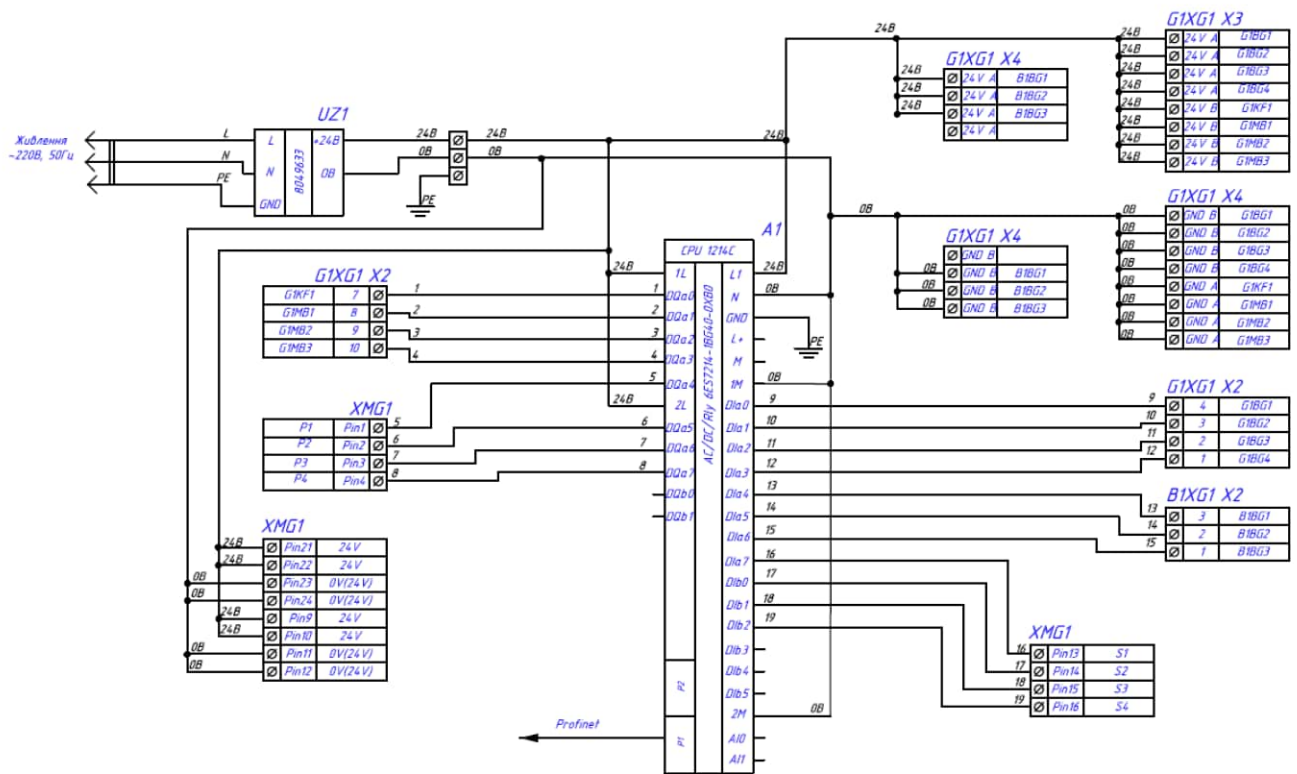


Рисунок 2.6 – Схема принципова кіберфізичної системи

## 2.10 Налаштування промислової мережі

Налаштування промислової мережі кіберфізичної системи Festo MPS Sorting є важливим етапом, що забезпечує коректний обмін даними між її компонентами та стабільну інтеграцію із зовнішніми платформами.

Відповідно до обраного CPU для комунікації буде застосовуватись високошвидкісний мережевий протокол, що забезпечує точну передачу даних і підтримку реального часу Ethernet/IP.

Маємо обрати конфігурацію мережі. Для цього виконується налаштування фізичних параметрів мережі, таких як призначення IP-адрес пристроїв та визначення структури зв'язку.

Так само важливо встановити обмеження доступу та налаштувати механізми захисту від несанкціонованих змін параметрів.

Після налаштувань створеного проєкту необхідно перевірити коректність зв'язку між пристроями, протестувати швидкості передачі даних та усунути можливі помилок у конфігурації.

Для коректного підключення комп'ютера до контролера PLC у середовищі TIA Portal необхідно виконати кілька ключових етапів:

- переконатися, що ПК та контролер знаходяться в одній мережі;
- призначити статичну IP-адресу ПК, відповідно до параметрів контролера, наприклад 192.168.0.28;
- перевірити з'єднання через команду `ping` у командному рядку Windows, щоб переконатися, що PLC доступний.
- встановити TIA Portal версії V14;
- встановити необхідні драйвери для Ethernet або спеціальні адаптери для PROFINET;
- переконатися, що Windows Firewall не блокує з'єднання з контролером.

Для налаштування контролера PLC у TIA Portal необхідно:

- відкрити TIA Portal і створити новий проєкт;
- додати PLC у список пристроїв та вибрати модель контролера CPU 1214C 6ES7214-1BG40-0XB0
- встановити IP-адресу PLC, щоб вона відповідала мережі ПК, наприклад 192.168.0.30;
- перейти у Device Configuration та перевірити коректність підключеного модуля CPU;
- налаштувати мережеві параметри PLC, перевіривши PROFINET-конфігурацію.

Для завантаження налаштувань на контролер необхідно:

- підключити PLC до ПК через Ethernet ;

- використовувати функцію "Go Online", щоб перевірити статус контролера;
- завантажити конфігурацію в контролер, використовуючи "Download to device".

### **3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ**

#### **3.1 Призначення програми**

Програмне забезпечення кіберфізичної системи дидактичного стенду Festo MPS Sorting призначене для керування процесом сортування заготовок. Основною метою програми є забезпечення ефективного збору та обробки даних від датчиків, прийняття рішень на основі отриманої інформації та відповідне управління механічними компонентами стенду. Програма виконує моніторинг стану системи, аналізуючи дані з датчиків, включаючи наявність заготовки, визначення її кольору, металевих властивостей та рівня заповнення лотків. На основі цих даних приймаються рішення щодо оптимального способу сортування, а також реалізується управління конвеєром, стопором, сепараторами та індикаторами відповідно до логіки роботи системи. Інтерфейс програми забезпечує взаємодію з оператором через панель керування, дозволяючи відображати стан процесу, використовувати кнопки для ручного втручання або налаштування параметрів.

#### **3.2 Обґрунтування технічних характеристик програми**

##### **2.1.3 Перелік задач, вирішуваних програмним забезпеченням**

Програмне забезпечення Системи виконує комплексне керування процесом сортування заготовок шляхом збору, аналізу та обробки даних із сенсорних пристроїв. В основі його функціональності лежить набір алгоритмів управління, що забезпечують стабільну та ефективну взаємодію між механічними і електронними компонентами системи.

Основними завданнями програмного забезпечення є:

- збір інформації з датчиків: отримання сигналів від сенсорів, зокрема датчиків наявності, визначення кольору, металевих властивостей та переповнення лотків;

- обробка даних: аналіз вхідних параметрів із застосуванням логічного моделювання для прийняття рішення щодо подальшого переміщення заготовки;

- керування приводами: реалізація команд на запуск або зупинку конвеєра, активацію стопорного механізму, керування сепараторами залежно від заданих критеріїв сортування;

- взаємодія з оператором: передача інформації через панель управління, візуальна індикація стану системи.

#### **2.1.4 Опис призначення вхідних і вихідних даних**

Програмне забезпечення Системи використовує вхідні дані для збору інформації про стан об'єктів сортування та роботу системи, а вихідні дані забезпечують керування механічними елементами та взаємодію з оператором.

##### *Вхідні дані.*

##### 1. Сигнали від датчиків:

- датчик наявності заготовки на початку конвеєра – визначає присутність деталі в зоні обробки;

- датчик визначення кольору – визначає «не чорні» деталі для подальшої класифікації;

- датчик визначення металу – визначає наявність металеві заготовки;

- датчик переповнення лотків – фіксує рівень заповнення контейнерів для запобігання перевантаженню.

##### 2. Сигнали з панелі керування – кнопки керування режимами роботи.

##### *Вихідні дані.*

##### 1. Управління механічними компонентами:

- контроль руху конвеєра для переміщення заготовки;

- активування стопора для тимчасової фіксації деталі;

- робота сепараторів для розподілу заготовок за визначеними параметрами.

##### 2. Відображення стану системи– індикатори на панелі управління сигналізують про режим роботи Системи.

#### **2.1.5 Опис і обґрунтування вибору складу технічних і програмних засобів, що використовує програма**

ПЗ Системи базується на Siemens S7-1214C, що забезпечує надійне управління сортувальним процесом. PLC підтримує 14 входів, 10 виходів, мережевий інтерфейс PROFINET та програмується в TIA Portal.

Основні технічні засоби:

- датчики: визначають наявність, колір, металеві властивості та рівень заповнення лотків;
- приводи: конвеєр, стопор і сепаратори для механічного сортування;
- панель оператора: кнопки управління та індикатори стану.

Програмні засоби:

- TIA Portal для розробки логіки управління (LAD, FBD, STL);
- алгоритми сортування для обробки даних із сенсорів;
- моніторинг і діагностика для запобігання збоям та аналізу продуктивності.

### **3.3 Опис розробленої програми**

#### **2.1.6 Програмне забезпечення й мова програмування, необхідні для функціонування програми**

Основним середовищем розробки є TIA Portal v14, яке забезпечує створення, тестування та налагодження програм для керування ПЛК.

Мову програмування відповідно до логіки функціонування системи та її вимог обираємо LAD (Ladder Diagram) – графічна мова, що зручна для реалізації логічних умов керування та добре підходить для роботи з дискретними сигналами.

Окрім основного програмного забезпечення використовуються комунікаційні протоколи PROFINET, що забезпечують передачу даних між ПЛК та іншими пристроями.

#### **2.1.7 Опис логічної структури програми**

Логічна структура програми базується на моделі Grafset (DIN EN 60848 (IEC 60848)), яка забезпечує формальне представлення алгоритму роботи кіберфізичної системи дидактичного стенду Festo MPS Sorting. Grafset

дозволяє послідовно описати етапи функціонування системи та логіку переходів між станами.

Програма складається з декількох основних етапів.

- 1) Запуск системи – перевірка початкового стану всіх датчиків, ініціалізація вхідних і вихідних параметрів.
- 2) Виявлення заготовки – отримання сигналу від датчика наявності, перехід до наступного етапу обробки.
- 3) Аналіз параметрів деталі – оцінка кольору та металевих властивостей згідно з отриманими даними від відповідних сенсорів.
- 4) Прийняття рішення щодо сортування – на основі попереднього аналізу визначається шлях проходження заготовки через систему.
- 5) Управління механічними елементами – активація конвеєра, стопора та сепараторів залежно від визначених параметрів сортування.
- 6) Контроль стану лотків – перевірка рівня заповнення та можливе коригування процесу, якщо досягнуто критичного рівня.
- 7) Інтеракція з оператором – передача стану системи на панель керування, можливість ручного втручання у процес.

Використання Grafset дозволяє реалізувати логічну структуру програми у вигляді покрокового переходу між станами, де кожен стан активується відповідно до виконаних умов. Це забезпечує високу наочність, зручність налагодження та ефективну реалізацію алгоритму керування в TIA Portal.

Функціональна діаграма Grafset для дидактичного комплексу MPS Sorting наведено на рисунках 4.1-4.2.

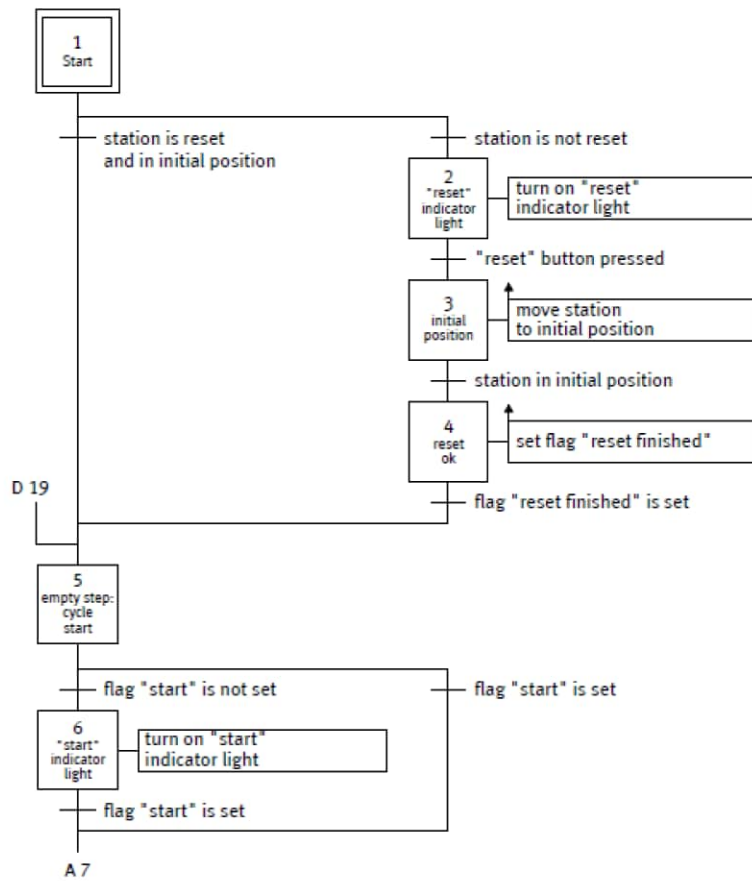


Рисунок 4.1 – Функціональна діаграма Grafset для дидактичного комплексу MPS Sorting

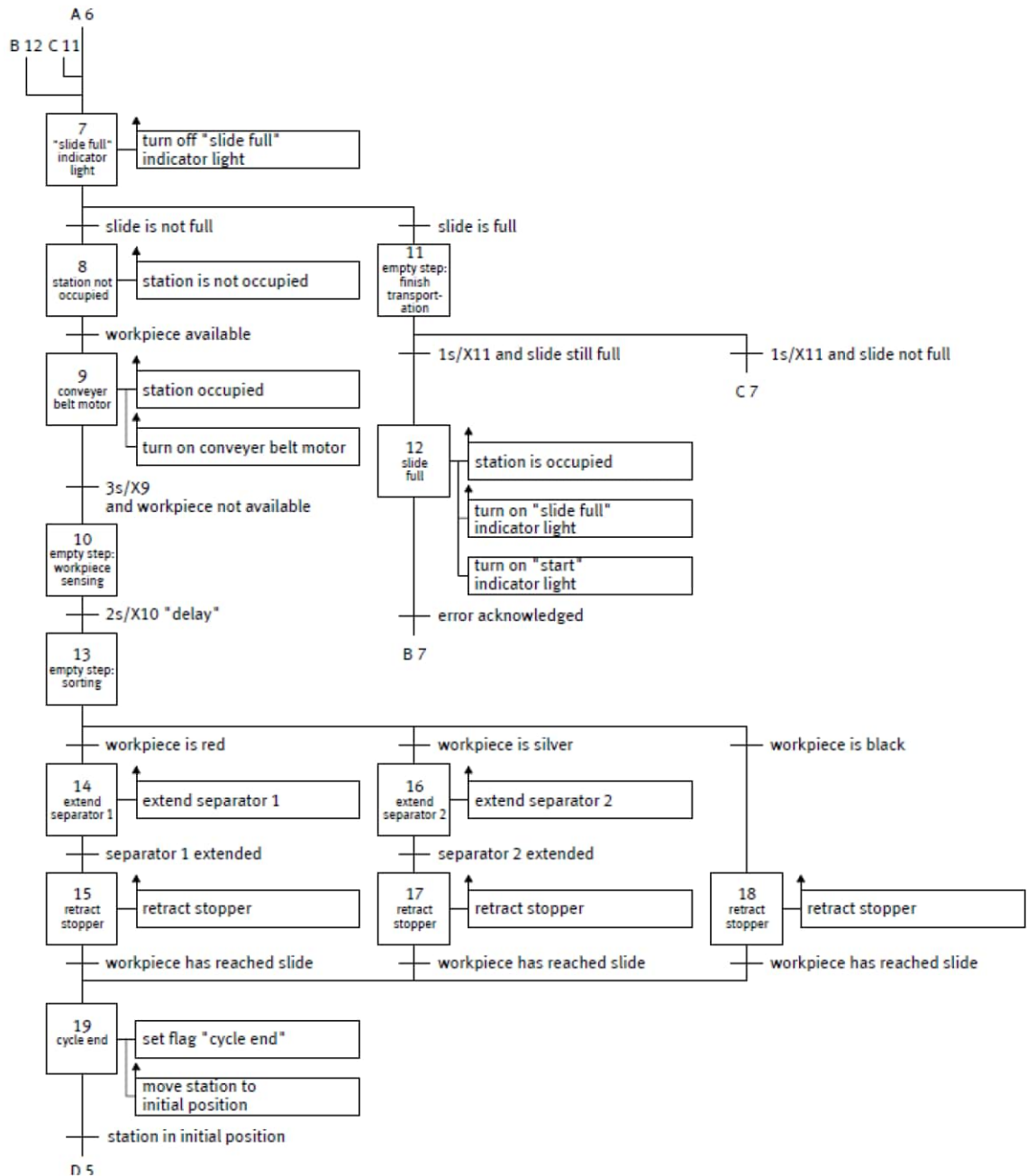


Рисунок 4.2 – Функціональна діаграма Grafset для дидактичного комплексу MPS Sorting (продовження)

### 2.1.8 Виклик і завантаження програми

Для коректного функціонування кіберфізичної системи дидактичного стенду Festo MPS Sorting програмне забезпечення завантажувється в PLC Siemens S7-1214C через середовище розробки TIA Portal.

Етапи завантаження програми.

1. Компеляція та перевірка – перед завантаженням програми в контролер здійснюється перевірка логіки роботи, коректність коду та відсутність синтаксичних помилок.

2. Підключення до PLC – встановлення зв'язку між комп'ютером та контролером через PROFINET.

3. Завантаження виконуваного коду – перенесення програми у внутрішню пам'ять PLC та активація основного циклу роботи.

4. Ініціалізація системи – запуск початкових параметрів, перевірка стану датчиків та готовність механічних вузлів до роботи.

5. Запуск основного алгоритму – після завантаження програми контролер починає виконувати логіку керування відповідно до моделі Grafset, аналізуючи вхідні сигнали та формуючи керуючі дії.

У разі необхідності оновлення чи модифікації програми можна виконати «гарячу заміну коду» без зупинки процесу, що забезпечує гнучкість та зручність роботи з Системою.

Програмні модулі, реалізовані за допомогою мови LAD, представлено у Додатку А.

Якщо потрібні ще варіанти формулювання, дай знати!

### **2.1.9 Вхідні та вихідні дані**

У програмному забезпеченні кіберфізичної системи дидактичного стенду Festo MPS Sorting вхідні та вихідні дані організовані у вигляді таблиць тегів TagTable, що дозволяє структуровано керувати сигналами в контролері Siemens S7-1214C.

Вхідні дані (Input Tags) містять сигнали від датчиків та елементів керування. Структура вхідних даних наведена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Структура вхідних даних (Input Tags)

Ім'я	Тип даних	Адреса	Коментар
G1BG1	Bool	%I0.0	Заготовка на початку конвеєра
G1BG2	Bool	%I0.1	Сепаратор 1 активовано
G1BG3	Bool	%I0.2	Слайдер переповнений
G1BG4	Bool	%I0.3	Сепаратор 2 активовано
V1BG1	Bool	%I0.4	Заготовка визначена
V1BG2	Bool	%I0.5	Заготовка не чорна
V1BG3	Bool	%I0.6	Заготовка металева
S1	Bool	%I0.7	Кнопка Start
S2	Bool	%I1.0	Кнопка Stop
S4	Bool	%I1.1	Кнопка Reset

Вихідні дані (Output Tags) містять керуючі команди для електромеханічних та електропневматичних компонентів. Структура вихідних даних наведена у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Структура вихідних даних (Output Tags)

Ім'я	Тип даних	Адреса	Коментар
G1KF1	Bool	%I0.0	Двигун конвеєра
G1MB1	Bool	%I0.1	Сепаратор 1
G1MB2	Bool	%I0.2	Сепаратор 2
G1MB3	Bool	%I0.3	Стопер
P1	Bool	%I0.4	Лампа кнопки Start
P2	Bool	%I0.5	Лампа кнопки Reset
P3	Bool	%I0.6	Лампа Q1
P4	Bool	%I0.7	Лампа Q2

Окрім вхідних та вихідних даних програма використовує внутрішні змінні, які зберігаються у меркерній пам'яті контролера. Структура внутрішніх даних наведена у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Структура внутрішніх даних

Ім'я	Тип даних	Адреса	Коментар
FlagCycleEnd(S)	Bool	%M3.0	Флаг кінця циклу програми
FlagPLCReady(S)	Bool	%M3.1	Флаг готовності ПЛК
FlagEtap(S)	Int	%IW2	Флаг поточного стану Grafset

Таблиці тегів забезпечують логічний зв'язок між програмним кодом і фізичними пристроями, що дозволяє ефективно керувати процесом сортування та виконувати моніторинг стану Системи.

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було проведено комплексне дослідження дидактичних систем, здійснено детальний аналіз наявних технологій та обґрунтовано вибір апаратно-програмних рішень для кіберфізичної системи Festo MPS Sorting.

Одним із ключових етапів дослідження стало вивчення існуючих дидактичних систем, що використовуються для навчальних цілей.

Під час роботи детально проаналізовано архітектуру Festo MPS Sorting, розглянуто її функціональні можливості та визначено основні компоненти, що забезпечують технологію сортування. Особливу увагу приділено механічним вузлам, сенсорним системам та принципам взаємодії між програмним забезпеченням і панеллю оператора.

Важливим аспектом стало обґрунтування вибору апаратних засобів для збору та обробки даних. Було розглянуто різні варіанти ПЛК, після чого обрано Siemens S7-1214C, як оптимальне рішення для реалізації керуючої логіки. Його використання дозволило створити ефективну Систему, що забезпечує точну обробку вхідних даних та стабільне управління механічними компонентами.

На основі отриманих результатів було розроблено програмне забезпечення для керування сортувальною системою. Логіка роботи програми базується на моделі Grafset, що дозволяє структуровано описати процес управління за допомогою покрокових переходів між станами. Використання ПІА Portal стало ключовим фактором у забезпеченні ефективної інтеграції алгоритмів управління з апаратними компонентами.

Додатково у рамках роботи були розроблені схеми автоматизації кіберфізичної системи, що забезпечує взаємодію між сенсорними пристроями та керуючими модулями. Принципова електрична схема дозволила реалізувати коректне з'єднання всіх компонентів системи та забезпечити її працездатність.

Таким чином, результати кваліфікаційної роботи підтверджують доцільність використання розробленої системи для навчальних цілей. Кіберфізична система дидактичного сортувального стенду Festo MPS Sorting у поєднанні з програмним забезпеченням на базі Siemens S7-1214C є ефективним інструментом для дослідження процесів збору, обробки даних та управління механізмами в умовах реальних виробничих сценаріїв. Розроблена Система може бути використана як навчальна платформа для підготовки спеціалістів у сфері мехатроніки, кіберфізичних систем та робототехніки, а також вдосконалена для подальших практичних застосувань.

## Перелік посилань

1. Атестаційна робота бакалавра. Методичні рекомендації до виконання та оформлення кваліфікаційних робіт бакалаврів для здобувачів ступеня бакалавра галузі знань 12 Інформаційні технології спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія / В.В. Гнатушенко, Л.І. Цвіркун, С.М. Ткаченко, Д.О. Бешта, Л.В. Бешта, Я.В. Панферова. – Д.: НТУ «ДП», 2025. – 40 с.
2. Сортувальна станція MPS FESTO [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.li/nsaeyo> (дата звернення 12.05.2025).
3. Дифузний датчик [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.cc/bbwcmo> (дата звернення 15.05.2025).
4. Світловий бар'єр [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.li/kldjpk> (дата звернення 15.05.2025).
5. Роторний соленоїд [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.li/cveqje> (дата звернення 15.05.2025).
6. Моторредуктор [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.gd/ngsefk> (дата звернення 15.05.2025).
7. Контролер двигуна [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.gd/trkcdb> (дата звернення 15.05.2025).
8. Міні-термінал вводу/виводу [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.li/twrduj> (дата звернення 15.05.2025).

9. Дифузний датчик [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.li/mfqrzc> (дата звернення 15.05.2025).
10. Індуктивний датчик [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.lu/vnxhyq> (дата звернення 15.05.2025).
11. Бар'єр [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.li/kxjujx> (дата звернення 15.05.2025).
12. Рефлекторновідбивний датчик [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.li/aretxx> (дата звернення 15.05.2025).
13. Модуль стопора [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.lu/qeindx> (дата звернення 15.05.2025).
14. С-інтерфейс [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.lu/lgwqtj> (дата звернення 15.05.2025).
15. CPU 1214C AC/DC/RLY [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.li/pywhkq> (дата звернення 15.05.2025).
16. Power supply units 8049633 [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.gd/ulrkpr> (дата звернення 15.05.2025).

## Додаток А

Текст програми кіберфізичної системи дидактичного стенду Festo MPS  
Sorting для ПЛК Siemens S7-1200

**Міністерство освіти і науки України  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”**

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
кіберфізичної системи дидактичного стенду Festo MPS Sorting для ПЛК  
Siemens S7-1200**

Текст програми

804.02070743.25016-01 12 01

Листів 12

2025

## АНОТАЦІЯ

Програмне забезпечення для кіберфізичної навчальної системи Festo MPS Sorting, розроблене на мові LAD (Ladder Diagram), управляє технологічним обладнанням дидактичного комплексу. Воно виконує збір та аналіз даних з датчиків, координує роботу виконавчих механізмів та здійснює моніторинг стану системи в реальному часі, що дає змогу вивчати інтеграцію фізичних і цифрових компонентів.

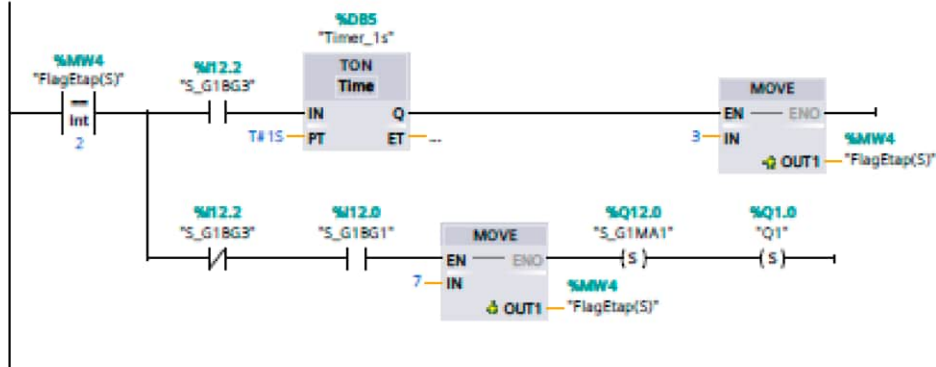
Ця програма створена з освітньою метою, дозволяючи користувачам моделювати реальні виробничі процеси та досліджувати алгоритми логічного керування.

**ЗМІСТ**

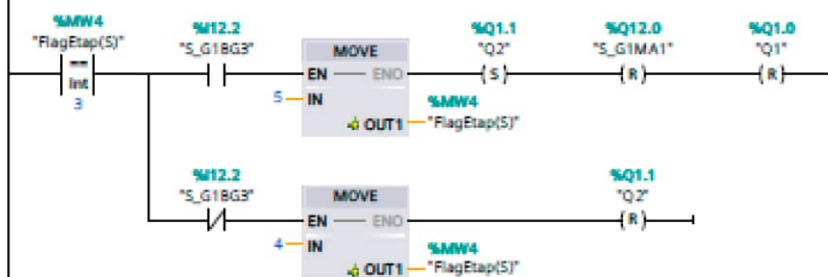
	Стор.
1. Програмний блок Main (OB1)	4
2. Програмний блок StartUp (OB100)	9
3. Системний блок Timer (DB4)	11
4. Системний блок Timer (DB5)	12

Totally Integrated Automation Portal																																																																												
<h2>Program blocks</h2> <h3>Main [OB1]</h3> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Main Properties</th> </tr> <tr> <th colspan="6">General</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Name</td> <td>Main</td> <td>Number</td> <td>1</td> <td>Type</td> <td>OB</td> </tr> <tr> <td>Language</td> <td>LAD</td> <td>Numbering</td> <td>Automatic</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="6">Information</th> </tr> <tr> <td>Title</td> <td>"Main Program Sweep (Cycle)"</td> <td>Author</td> <td></td> <td>Comment</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Family</td> <td></td> <td>Version</td> <td>0.1</td> <td>User-defined ID</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Data type</th> <th>Default value</th> <th>Supervision</th> <th>Comment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5">▼ Input</td> </tr> <tr> <td>Initial_Call</td> <td>Bool</td> <td></td> <td></td> <td>Initial call of this OB</td> </tr> <tr> <td>Remanence</td> <td>Bool</td> <td></td> <td></td> <td>=True, if remanent data are available</td> </tr> <tr> <td>Temp</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Constant</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Network 1: Перехід між етапами 0-1 функціональної діаграми</b></p> <p><b>Network 2: Перехід між етапами 1-2 функціональної діаграми</b></p> <p><b>Network 3: Перехід між етапами 2-3 та 2-7 функціональної діаграми</b></p>			Main Properties						General						Name	Main	Number	1	Type	OB	Language	LAD	Numbering	Automatic			Information						Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	Author		Comment		Family		Version	0.1	User-defined ID		Name	Data type	Default value	Supervision	Comment	▼ Input					Initial_Call	Bool			Initial call of this OB	Remanence	Bool			=True, if remanent data are available	Temp					Constant						
Main Properties																																																																												
General																																																																												
Name	Main	Number	1	Type	OB																																																																							
Language	LAD	Numbering	Automatic																																																																									
Information																																																																												
Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	Author		Comment																																																																								
Family		Version	0.1	User-defined ID																																																																								
Name	Data type	Default value	Supervision	Comment																																																																								
▼ Input																																																																												
Initial_Call	Bool			Initial call of this OB																																																																								
Remanence	Bool			=True, if remanent data are available																																																																								
Temp																																																																												
Constant																																																																												

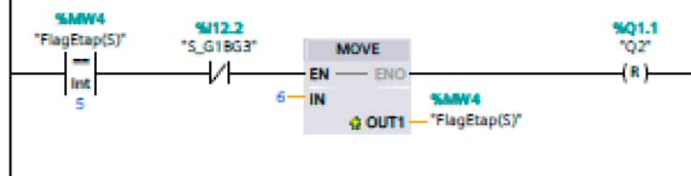
Totally Integrated  
Automation Portal



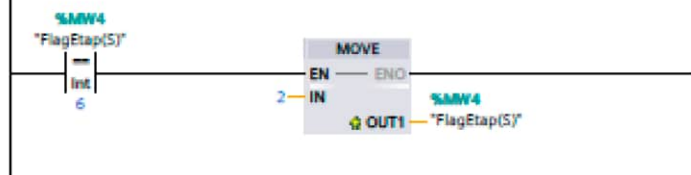
Network 4: Перехід між етапами 3-5 та 3-4 функціональної діаграми



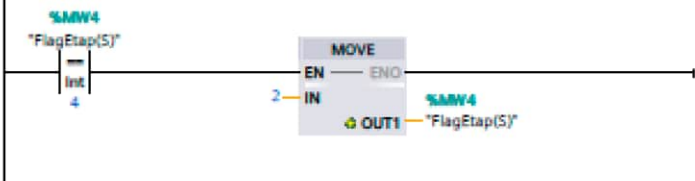
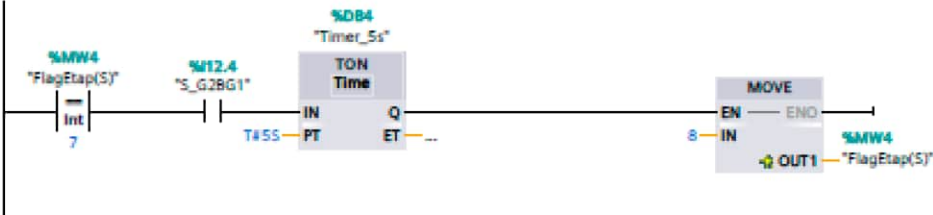
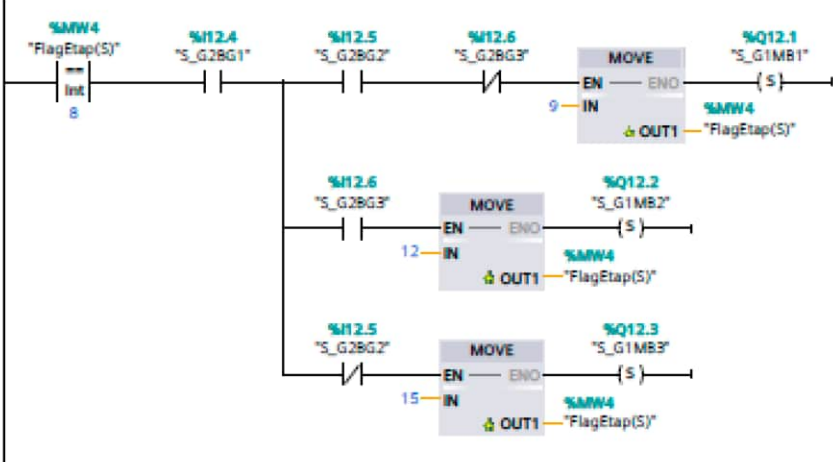
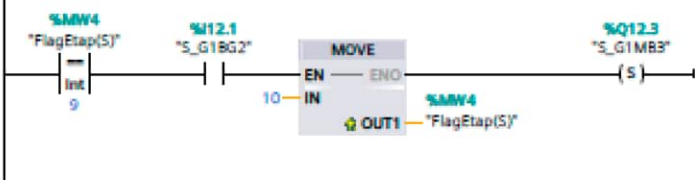
Network 5: Перехід між етапами 5-6 функціональної діаграми



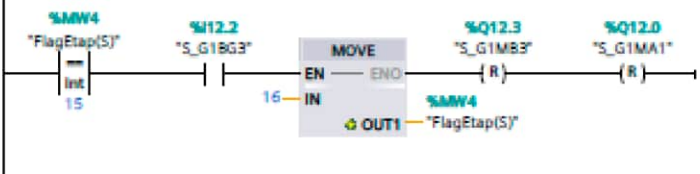
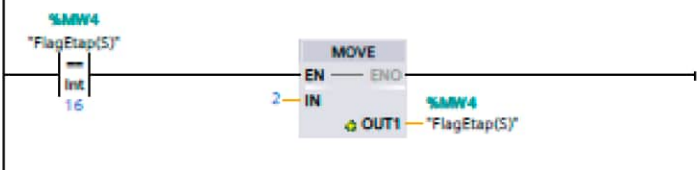
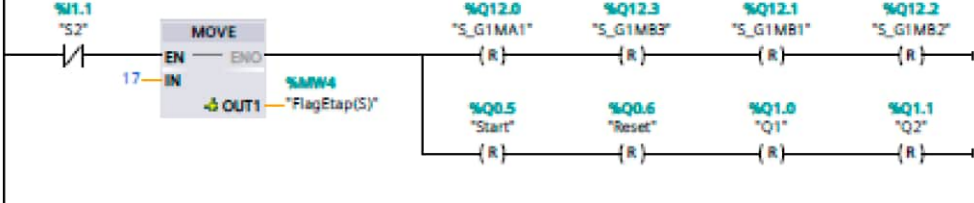
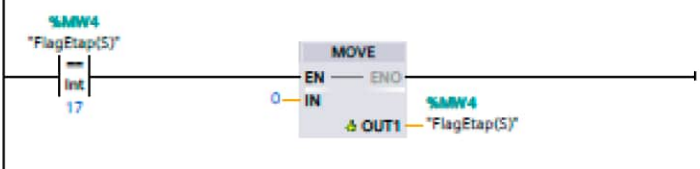
Network 6: Перехід між етапами 6-2 функціональної діаграми



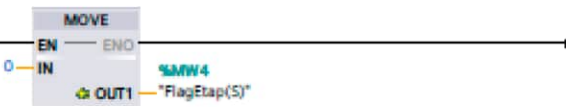
Network 7: Перехід між етапами 4-2 функціональної діаграми

Totally Integrated Automation Portal		
		
<p><b>Network 8: Перехід між етапами 7-8 функціональної діаграми</b></p>		
		
<p><b>Network 9: Перехід між етапами 8-9, 8-12 та 8-15 функціональної діаграми</b></p>		
		
<p><b>Network 10: Перехід між етапами 9-10 функціональної діаграми</b></p>		
		
<p><b>Network 11: Перехід між етапами 10-11 функціональної діаграми</b></p>		

Totally Integrated Automation Portal		
<p><b>Network 12: Перехід між етапами 11-2 функціональної діаграми</b></p>		
<p><b>Network 13: Перехід між етапами 12-13 функціональної діаграми</b></p>		
<p><b>Network 14: Перехід між етапами 13-14 функціональної діаграми</b></p>		
<p><b>Network 15: Перехід між етапами 14-2 функціональної діаграми</b></p>		
<p><b>Network 16: Перехід між етапами 15-16 функціональної діаграми</b></p>		

Totally Integrated Automation Portal		
		
<p><b>Network 17: Перехід між етапами 16-2 функціональної діаграми</b></p>		
		
<p><b>Network 18: Обробка натискання кнопки "Stop" Етап 17 функціональної діаграми</b></p>		
		
<p><b>Network 19: Перехід між етапами 17-1 функціональної діаграми</b></p>		
		

Totally Integrated Automation Portal																																
<h2>Program blocks</h2> <h3>Startup [OB100]</h3>																																
<b>Startup Properties</b>																																
<b>General</b>																																
Name	Startup	Number 100	Type OB																													
Language	LAD	Numbering Automatic																														
<b>Information</b>																																
Title	"Complete Restart"	Author	Comment																													
Family		Version 0.1	User-defined ID																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Data type</th> <th>Default value</th> <th>Supervision</th> <th>Comment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5">▼ Input</td> </tr> <tr> <td>LostRetentive</td> <td>Bool</td> <td></td> <td></td> <td>True if retentive data are lost</td> </tr> <tr> <td>LostRTC</td> <td>Bool</td> <td></td> <td></td> <td>True if date and time are lost</td> </tr> <tr> <td>Temp</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Constant</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Name	Data type	Default value	Supervision	Comment	▼ Input					LostRetentive	Bool			True if retentive data are lost	LostRTC	Bool			True if date and time are lost	Temp					Constant				
Name	Data type	Default value	Supervision	Comment																												
▼ Input																																
LostRetentive	Bool			True if retentive data are lost																												
LostRTC	Bool			True if date and time are lost																												
Temp																																
Constant																																
<b>Network 1: Керування переміщенням стрічки конвейєра (запуск)</b>																																
<b>Network 2: Лампа кнопки Start</b>																																
<b>Network 3: Програмний цикл завершено</b>																																
<b>Network 4:</b>																																

Totally Integrated Automation Portal		
	 <pre>graph LR; EN[EN] --- MOVE[MOVE]; IN[IN] --- MOVE; MOVE --- ENO[ENO]; MOVE --- OUT1[OUT1]; IN --- 0((0)); OUT1 --- MW4((%MW4)); OUT1 --- FlagEtap(""FlagEtap(5)"");</pre>	

Totally Integrated Automation Portal									
<p><b>Program blocks / System blocks / Program resources</b></p> <p><b>Timer_5s [DB4]</b></p>									
<b>Timer_5s Properties</b>									
<b>General</b>									
<b>Name</b>	Timer_5s	<b>Number</b>	4	<b>Type</b>	DB				
<b>Language</b>	DB	<b>Numbering</b>	Automatic						
<b>Information</b>									
<b>Title</b>			<b>Author</b>	Simatic		<b>Comment</b>			
<b>Family</b>	IEC	<b>Version</b>	1.0		<b>User-defined ID</b>	IEC_TMR			
<b>Name</b>	<b>Data type</b>	<b>Start value</b>	<b>Retain</b>	<b>Access-ible from HM/I/O PC UA</b>	<b>Wri-ta-ble from HM I/O PC UA</b>	<b>Visible in HMI engineering</b>	<b>Set-point</b>	<b>Super-vision</b>	<b>Comment</b>
▼ Static									
PT	Time	T#0ms	False	True	True	True	False		
ET	Time	T#0ms	False	True	False	True	False		
IN	Bool	false	False	True	True	True	False		
Q	Bool	false	False	True	False	True	False		

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

Program blocks / System blocks / Program resources

Timer\_1s [DB5]

Timer_1s Properties					
General					
Name	Timer_1s	Number	5	Type	DB
Language	DB	Numbering	Automatic		
Information					
Title		Author	Simatic	Comment	
Family	IEC	Version	1.0	User-defined ID	IEC_TMR

Name	Data type	Start value	Retain	Accessible from HM/I/O PC UA	Writable from HM/I/O PC UA	Visible in HMI engineering	Set-point	Supervision	Comment
▼ Static									
PT	Time	T#0ms	False	True	True	True	False		
ET	Time	T#0ms	False	True	False	True	False		
IN	Bool	false	False	True	True	True	False		
Q	Bool	false	False	True	False	True	False		

--	--	--