

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 Кучеренко Артура Ігоровича  
(П.І.Б.)  
академічної групи 123-22ск-1  
(шифр)  
спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія  
(код і назва спеціальності)  
за освітньо-професійною програмою Комп'ютерна інженерія  
(офіційна назва)  
на тему «Кіберфізична система навчального комплексу Festo MPS Handling з  
детальним опрацюванням засобів 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 Кучеренко А.І.  
(прізвище, ініціали)

академічної групи 123-22ск-1  
(шифр)

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

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

на тему «Кіберфізична система навчального комплексу Festo MPS Handling з  
детальним опрацюванням засобів 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 проєктування апаратної частини комп'ютерної системи з необхідними інженерними розрахунками	20.04.2025
Розробка програмного забезпечення	Обґрунтувати технічні характеристики програми й розробити програму роботи комплексу	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 16.06.2025 р.

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

Кучеренко А.І.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 50 с., 27 рис., 5 табл., 1 додаток, 7 джерел.

### КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, НАВЧАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС, FESTO MPS HANDLING, ЗБІР ДАНИХ, ОБРОБКА ДАНИХ, ІНДУСТРІЯ 4.0, ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС

Об'єкт розробки: кіберфізична навчальна система Festo MPS Handling із детальним опрацюванням засобів збору і обробки даних.

Мета: дослідити принципи функціонування кіберфізичних навчальних систем, зокрема Festo MPS Handling, та розробити методи збору й аналізу даних для підвищення ефективності навчального процесу.

У кваліфікаційній роботі розглядаються теоретичні та практичні аспекти впровадження кіберфізичних навчальних систем, їх роль у підготовці спеціалістів та особливості застосування в освітньому середовищі.

Основні питання, що досліджуються у роботі:

- концепція кіберфізичних систем у навчальному процесі;
- визначення основних характеристик та принципів функціонування кіберфізичних навчальних комплексів;
- структура та функціональні можливості Festo MPS Handling;
- засоби збору та обробки даних у кіберфізичних навчальних системах;
- огляд датчиків, виконавчих механізмів та алгоритмів аналізу інформації;
- перспективи розвитку кіберфізичних навчальних систем.

Кваліфікаційна робота має на меті аналіз функціональних можливостей Festo MPS Handling як освітньої кіберфізичної системи та розробку рекомендацій щодо її ефективного використання для підготовки майбутніх спеціалістів.

## ЗМІСТ

Реферат.....	3
Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	6
Вступ.....	7
1. Стан питання і постановка завдання.....	8
1.1    актуальність і значення використання навчальних стендів кіберфізичних систем у професійній підготовці.....	8
1.2    особливості використання в освітньому процесі та характеристика кіберфізичної системи навчального стенду festo mps handling.....	9
1.2.1    Роль об'єкта у сфері застосування.....	9
1.2.2    Загальні технічні характеристики та архітектура навчальної системи.....	10
1.2.3    Характеристики обладнання стенду festo mps handling.....	14
1.2.4    Принципові схеми навчального стенду festo mps handling.....	17
1.2.5    Алгоритм процесу роботи навчального стенду festo mps handling.....	19
1.3    Аналіз існуючих аналогів систем.....	21
1.3.1    Festo mps – базовий приклад.....	21
1.3.2    SMC international training – mas-200 / mas-400.....	21
1.3.3    Meclab (від festo) – спрощена версія.....	21
1.3.4    Siemens sce (student control engineering).....	22
1.3.5    Open-source / diy стенди на базі arduino, raspberry pi, esp32.....	22
1.3.6    Bosch rexroth – mechatronics training system (mts).....	22
1.3.7    Lucas-nülle training factory industry 4.0 / unitrain.....	22
1.3.8    Edibon tptc, a.e-aut, fmei серії.....	23
1.4    Обґрунтування вибраного напрямку вирішення задачі для об'єкта впровадження.....	23
1.5    Мета і задачі і роботи, що виконується.....	25

2. Спеціальний розділ.....	26
2.1 Технічні вимоги до кіберфізичної системи навчального комплексу festo mps handling.....	26
2.2 Розробка апаратної частини.....	33
2.3 Розробка програмного забезпечення системи.....	43
Висновки.....	49
Перелік посилань.....	50
Додаток А Текст програми кіберфізичної системи навчального комплексу Festo MPS Handling для програмованого логічного контролера.....	51

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

Індустрія 4.0	–	концепція четвертої промислової революції, яка передбачає інтеграцію цифрових технологій у виробничі процеси;
PLC (ПЛК)	–	це комп'ютер реального часу, призначений для запуску операційної системи та прикладних програм, що реалізують потрібні алгоритми;
ІоТ	–	концепція, яка передбачає підключення фізичних пристроїв до мережі для обміну даними та автоматизації процесів;
Profinet	–	промисловий стандарт для передачі даних через Industrial Ethernet, який використовується для збору інформації та керування обладнанням у виробничих системах;
ЕК	–	електромагнітний клапан пневмоострову;
ПО	–	панель оператора;
БКШД	–	блок контролю швидкості двигуна;
PicAlfa	–	електропневматичний модуль;
CPU	–	основний компонент комп'ютера, який виконує обчислення та керує всіма процесами;
КФС	–	кіберфізична система, інтеграція фізичних об'єктів із цифровими технологіями, що дозволяє автоматизувати та оптимізувати процеси в різних сферах;
ПЗ	–	програмне забезпечення;
IP	–	інтернет-протокол (Internet Protocol);
LAN	–	локальна обчислювальна мережа (Local Area Network).

## ВСТУП

У сучасних умовах стрімкого розвитку технологій особливу роль відіграють кіберфізичні навчальні системи, які дозволяють студентам та фахівцям моделювати та досліджувати складні виробничі процеси. На відміну від систем автоматизації та управління, кіберфізичні навчальні комплекси орієнтовані насамперед на освітні завдання, забезпечуючи інтерактивне середовище для опанування принципів роботи інтелектуальних виробничих систем.

Навчальне обладнання Festo MPS Handling є прикладом такої кіберфізичної системи, що інтегрує фізичні та цифрові компоненти в єдине навчальне середовище. Його функціонал дозволяє імітувати виробничі процеси, вивчати механізми збору та обробки даних, а також аналізувати принципи взаємодії між різними елементами автоматизованого виробництва.

У кваліфікаційній роботі розглядається структура та функціональні можливості Festo MPS Handling та механізми збору та обробки даних, а також на дослідження можливостей застосування кіберфізичних систем у навчальному процесі. Особлива увага приділяється аспектам передачі інформації між елементами системи, що дозволяє підвищити ефективність та точність виробничих процесів та сприяє глибшому розумінню сучасних технологій та їх практичного використання у майбутньому професійному середовищі.

Таким чином, робота має на меті розширення знань та навичок щодо функціонування кіберфізичних навчальних систем та підвищення ефективності їх використання у підготовці спеціалістів для індустрії 4.0.

## 1. СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

### 1.1 Актуальність і значення використання навчальних стендів кіберфізичних систем у професійній підготовці

Навчальні стенди відіграють ключову роль у формуванні практичних навичок студентів і фахівців, сприяючи глибшому розумінню матеріалу через візуалізацію інформації та забезпечуючи активне засвоєння професійних компетенцій. Взаємодія зі стендами дозволяє не лише застосовувати теоретичні знання на практиці, а й адаптуватися до реального професійного середовища, що значно підвищує якість підготовки спеціалістів. Завдяки імітації робочих процесів та практичному закріпленню знань вони стають ефективним навчальним інструментом, допомагаючи студентам впевнено опанувати необхідні навички для майбутньої професійної діяльності.

У сучасних умовах автоматизації виробництва та розвитку Індустрії 4.0 дедалі більшої важливості набуває використання навчальних засобів, що сприяють опануванню передових технологій цифрового управління. Інтеграція сенсорів, програмованих логічних контролерів (PLC) та IoT-рішень у навчальні стенди дає змогу моделювати реальні виробничі процеси, що сприяє практичному засвоєнню ключових компетенцій. Це дозволяє студентам ефективно адаптуватися до технологічних змін і підвищити рівень професійної підготовки для роботи у високотехнологічних промислових середовищах.

Значним кроком у скороченні розриву між теорією та практикою є інтеграція кіберфізичних систем у навчальний процес через навчальні стенди. Завдяки ним студенти можуть не лише ознайомитися з теоретичними концепціями, а й побачити їхнє застосування у реальному середовищі, що сприяє підвищенню мотивації та більш ефективному засвоєнню знань. Практичний досвід допомагає студентам глибше зрозуміти принципи функціонування складних систем, розвивати аналітичні здібності та критичне мислення, а також готуватися до професійної діяльності. Особливо це актуально для спеціальностей, пов'язаних з інженерією, автоматизацією, робототехнікою та штучним

інтелектом. Використання таких стендів у навчанні дозволяє моделювати реальні виробничі процеси, що робить навчання більш інтерактивним та ефективним, формуючи компетентних фахівців, здатних швидко адаптуватися до умов сучасного виробництва та застосовувати отримані знання на практиці.

## **1.2 Особливості використання в освітньому процесі та характеристика кіберфізичної системи навчального стенду Festo MPS Handling**

### **1.2.1 Роль об'єкта у сфері застосування**

Кіберфізична система навчального стенду Festo MPS Handling є ефективним навчальним інструментом для підготовки студентів у сфері кіберфізичних систем, автоматизації та мехатроніки. У Національному технічному університеті "Дніпровська політехніка" цей стенд відіграє важливу роль у навчальному процесі, забезпечуючи практичне засвоєння ключових компетенцій, необхідних для роботи у сучасних промислових умовах.

Система Festo MPS Handling моделює виробничий процес, що дозволяє студентам отримати практичний досвід роботи з автоматизованими технологіями. Вона інтегрована в навчальні курси, що охоплюють дисципліни з розробки кіберфізичних та комп'ютерних систем, автоматизації виробничих процесів, мехатроніки, робототехніки та концепції Індустрії 4.0.

Умови застосування цієї системи у навчальному закладі передбачають її використання під час практичних занять, наукових досліджень та проєктної роботи. Практичні заняття дозволяють студентам безпосередньо взаємодіяти з технологіями та закріплювати знання в реальних умовах. Наукові дослідження, що проводяться із використанням Festo MPS Handling, сприяють аналізу ефективності автоматизованих систем і розробці інноваційних рішень. У рамках проєктної роботи студенти можуть моделювати виробничі процеси, що значно покращує їхні навички та готує до професійної діяльності [1].

### 1.2.2 Загальні технічні характеристики та архітектура навчальної системи

Технологічними функціями станції Festo MPS Handling є визначення кольору заготовки циліндричної форми та переміщення заготовки до відповідного лотка або на наступну, за технологічним потоком, станцію.

Станція Handling складається з профільної плити на якій розташовано: електро-пневматичний модуль PicAlfa, лотки для подачі заготовок і сортування та панелі оператора [2].

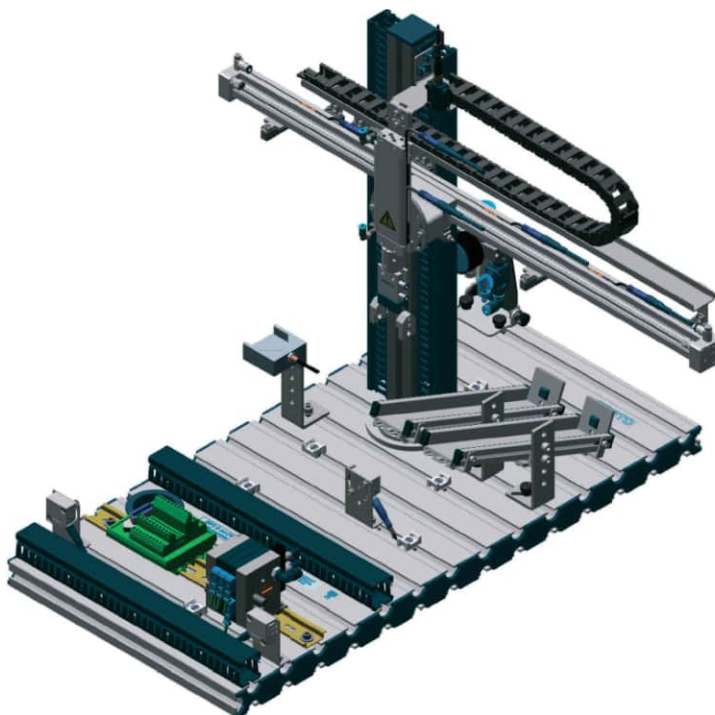


Рисунок 1.1 – зовнішній вигляд навчальної станції Festo MPS Handling

Заготовки вставляються вручну в лоток Resceptacle де для їх виявлення використовується оптичний дифузний датчик з оптоелектронним блоком (PART\_AV).

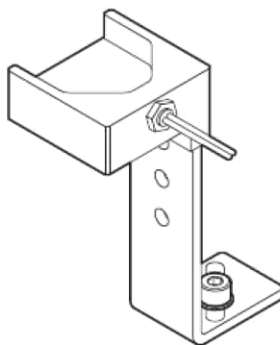


Рисунок 1.2 – Лоток подачі заготовки з оптичним датчиком

Електропневматичний модуль PicAlfa використовує лінійну вісь з електричним приводом (M1) для переміщення каретки. Каретка розташована з фронтальної сторони станції (рисунок 1.3 а). Положення каретки по горизонталі визначаються електрично за допомогою індуктивних датчиків (1B1, 1B2, 1B3).

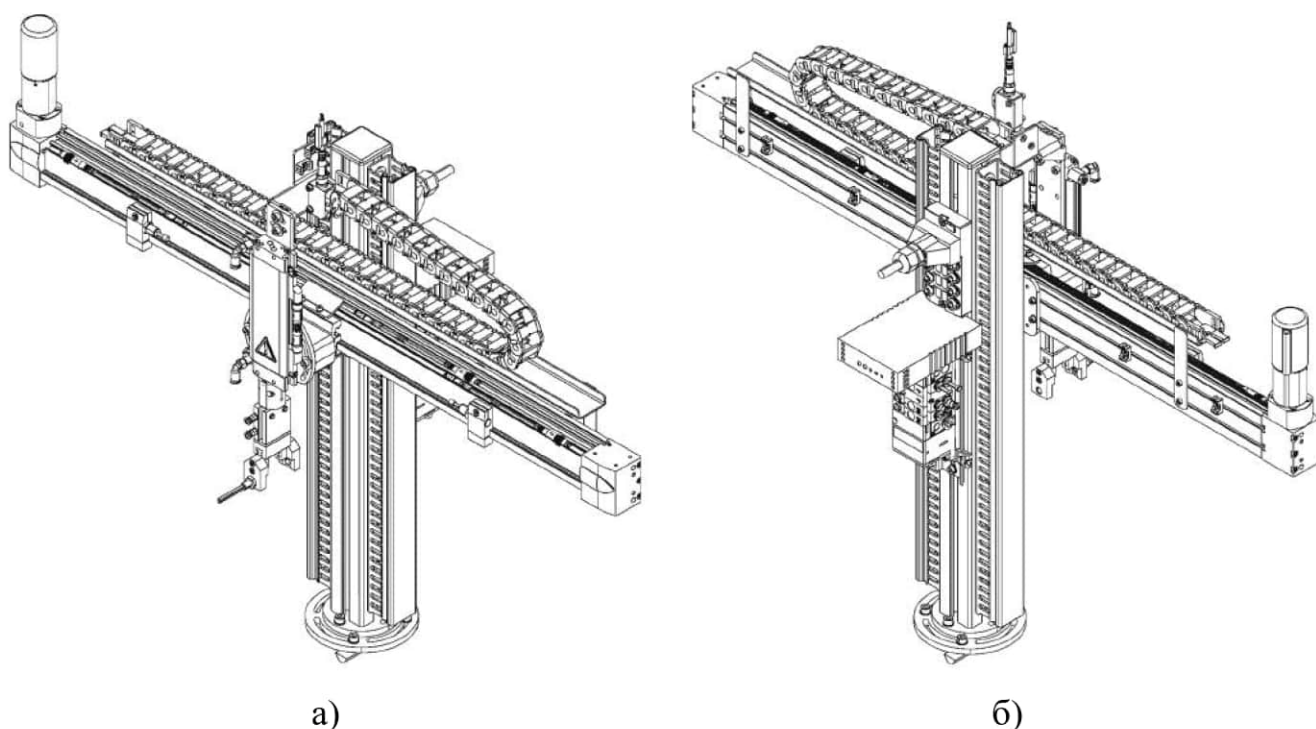


Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд електропневматичного модулю PicAlfa:

а) фронтальний вигляд, б) зворотній вигляд

Каретка містить пневмоциліндр (MB1) з переміщенням штоку у вертикальній площині та пневматичний механізм захоплення (MB2). Пневмоциліндр вертикальної дії має два герконові датчики положення штоку (2B1, 2B2). Механізм захоплення у своїй конструкції має оптичний дифузійний

датчик з оптоелектронним блоком для визначення заготовок за ознакою: «не чорні» (3В1).

На зворотному боці електропневматичного модулю PiсAlfa зібрані наступні компоненти (рисунок 1.4):

- багатоканальний (8 каналів) розподільник (X2) з роз'ємами М8 до яких під'єднано датчики 1В1, 1В2, 1В3, 2В1, 2В2, 3В1;
- блок контролю швидкості двигуна (БКШД) 24 В постійного струму;
- пневмоострів, оснащений двома 5/2-ходовими одиночними електромагнітними клапанами (ЕК), одним 5/2-ходовим бістабільним електромагнітним клапаном та багатоконтактним роз'ємом для електромагнітних котушок.



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд (згори вниз): багатоканальний розподільник, блок контролю швидкості двигуна, пневмоострів

Лоток для сортування (Slide) використовується для транспортування та зберігання заготовок. Лоток може вміщувати до 5 заготовок. Кут нахилу

регульований. На станції обробки може використовуватися до двох модулів ковзання.

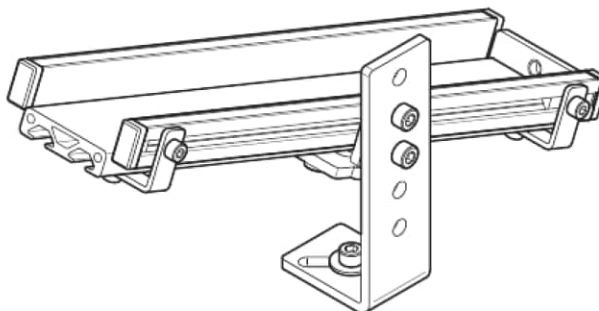


Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд лотка сортування

Для електричного живлення компонентів кіберфізичної системи навчального стенду Festo MPS Handling використовується блок живлення 24 В постійного струму, 4,5 А. Пневматичне живлення забезпечується компресором подачею стисненого повітря 4 бар (400 кПа) при приблизній продуктивності всмоктування 50 л/хв.

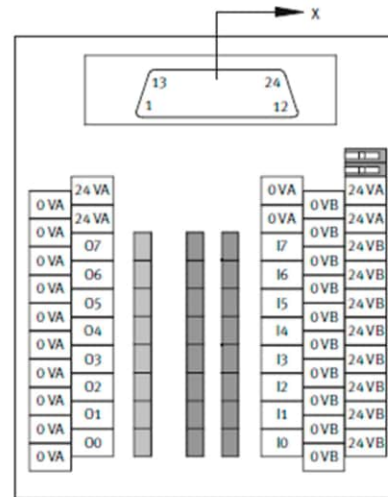
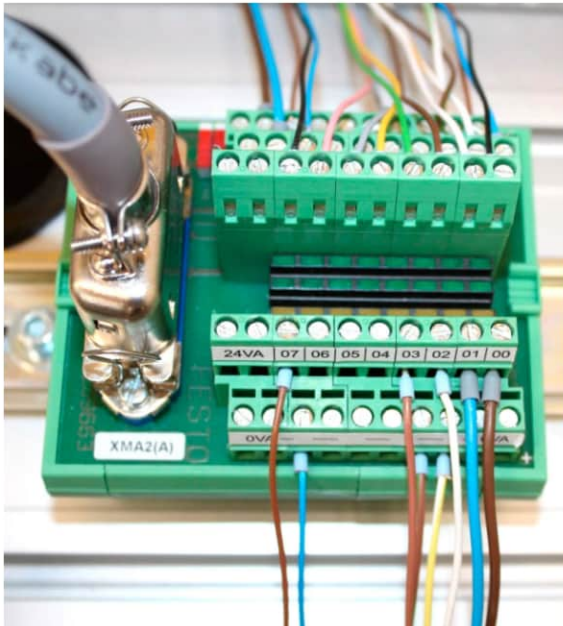
Для ручного керування використовується панель оператора з кнопками «Старт» (Н.В.) з лампою, «Стоп» (Н.З.), «Скидання» з лампою (Н.В.) та додатковими лампами (Q1,Q2).



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд панелі оператора

Програмне керування має забезпечуватися ПЛК або сумісним контролером з відповідним програмним забезпеченням.

Для підключення до зовнішньої системи збору та обробки даних навчальний стенд Festo MPS Handling має цифровий термінал (ХМА2).



PIN 1	00
PIN 2	01
PIN 3	02
PIN 4	03
PIN 5	04
PIN 6	05
PIN 7	06
PIN 8	07
PIN 9	24 VA
PIN 10	24 VA
PIN 11	0 VA
PIN 12	0 VA
PIN 13	10
PIN 14	11
PIN 15	12
PIN 16	13
PIN 17	14
PIN 18	15
PIN 19	16
PIN 20	17
PIN 21	24 VB
PIN 22	24 VB
PIN 23	0 VB
PIN 24	0 VB

Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд цифрового терміналу та його розпіновка

### 1.2.3 Характеристики обладнання стенду Festo MPS Handling

Повна специфікація на датчики наведена у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Специфікація датчиків навчального стенду Festo MPS Handling

№ з.п.	Позначення	Тип	Кількість	Примітка
1	PART_AV	SOEG-LQ30-P-AS-2L	1	Оптоволоконний блок з оптоелектронним датчиком
2	1B1, 1B2, 1B3	SIES-8MPS-24V-K-0.3-M8D	2	Датчик наближення індуктивний
3	2B1, 2B2	SME-8-SLLED-24	3	Датчик положення герконовий
4	3B1	SOEG-LQ20-PP-S-2L-TI	1	Оптоволоконний блок з оптоелектронним датчиком

Датчики наближення індуктивні 1B1, 1B2, 1B3 мають виконання: Н.В. контакт, PNP вихід, 3-х провідний, 24В DC.

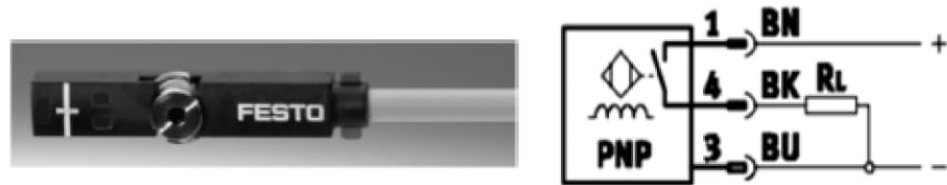


Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд та схема індуктивних датчиків

Датчики положення герконові 2В1, 2В2 мають виконання: Н.В. контакт, PNP вихід, 3-х провідний, 24В DC.

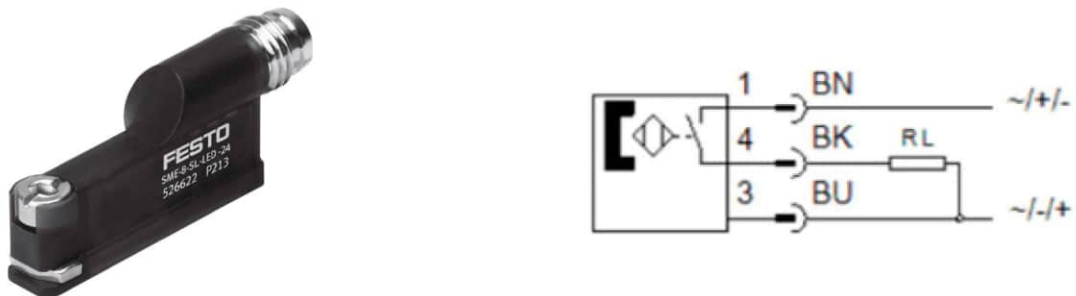


Рисунок 1.9 – Зовнішній вигляд та схема герконових датчиків

Оптоелектронний датчик PART\_AV має виконання: дифузійний, 2 світлодіоди, PNP вихід, антивалентний, 4-х провідний, 10...30В DC.



Рисунок 1.10 – Зовнішній вигляд оптоелектронного датчика PART\_AV

Оптоелектронний датчик 3В1 має виконання: дифузійний, 2 світлодіоди, PNP вихід, амбівалентний, 4-х провідний, 10...30В DC.



Рисунок 1.11 – Зовнішній вигляд оптоелектронного датчика 3В1

Електричний двигун має характеристики:

- напруга живлення: 24В постійного струму;
- номінальний споживаний струм: 0,31А;
- номінальна швидкість обертання: 3000 min<sup>-1</sup>;
- потужність: 3,14 Вт.



Рисунок 1.12 – Зовнішній вигляд електричного двигуна з редуктором

Двигун приводить у рух каретку за допомогою зубчатої ремінної передачі.

Для керування електричним двигуном для обертання в одну або іншу сторону на блок контролю швидкості двигуна передбачено подачу двох керуючих сигналів.

Пневмоциліндр вертикальної дії є пневмоциліндром двосторонньої дії типу DZF-18-80-A-P-A. Шток пневмоциліндру приводиться до руху за допомогою подачі стисненого повітря в поршневу або штокову камеру.

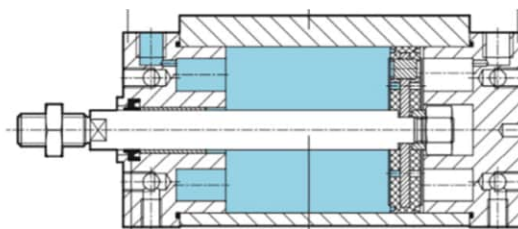


Рисунок 1.13 – Зовнішній вигляд та схема пневмоциліндру вертикальної дії

Механізм захоплення DHPS-10-A двосторонньої дії. Захоплювач приводиться в дію за допомогою подачі стисненого повітря в відповідну камеру та системи важелів.



Рисунок 1.14 – Зовнішній вигляд та схема механізму захоплення

### 1.2.4 Принципові схеми навчального станду Festo MPS Handling

Принципова електрична схема підключення датчиків наведена на рисунку 1.15. Схема відображає підключення датчиків через цифровий термінал XMA2 та багатоканальний розподільник X2.

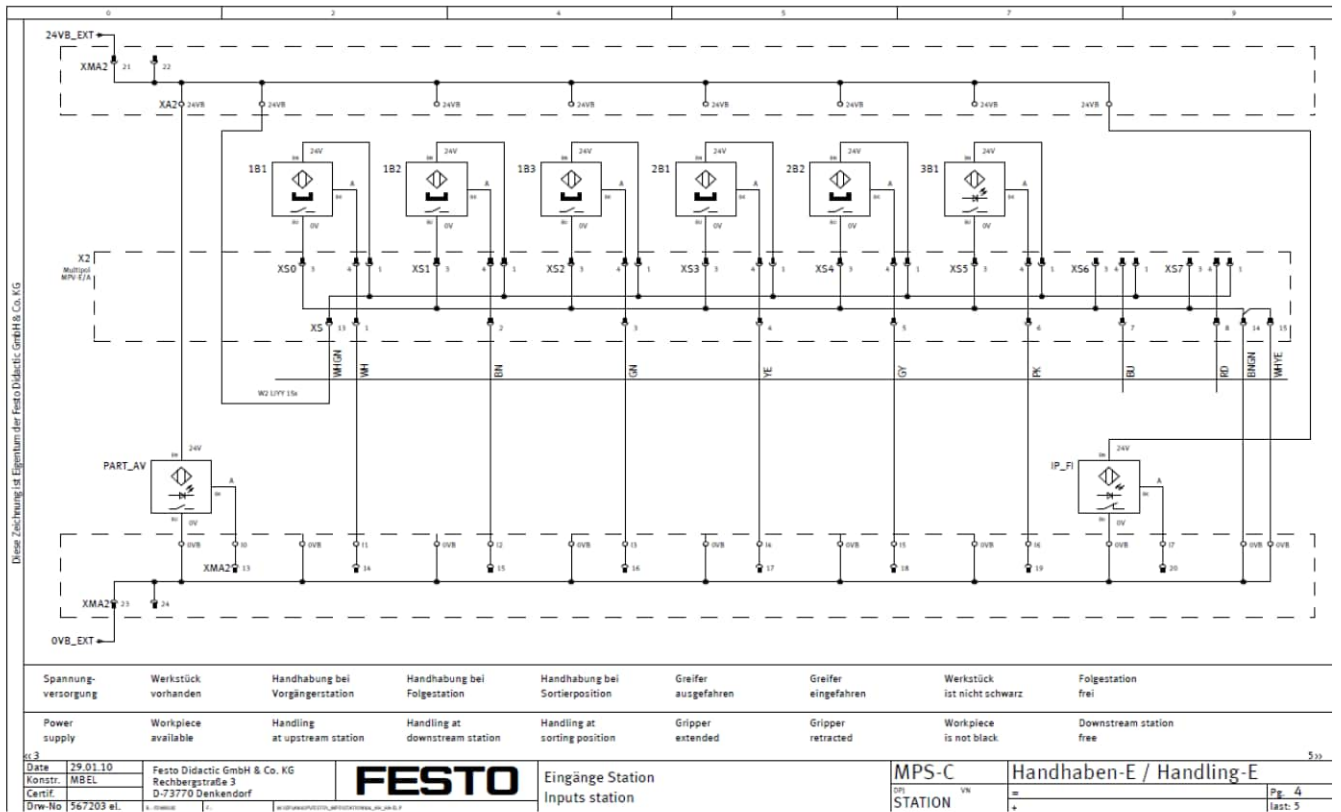


Рисунок 1.15 – Принципова електрична схема підключення датчиків навчального станду Festo MPS Handling

Принципова електрична схема підключення виконавчих пристроїв наведена на рисунку 1.16. Схема відображає підключення електричного двигуна до блоку

контролю швидкості та підключення блоку контролю швидкості, електромагнітних котушок пневмоострова і приймальної частини датчика IP\_N\_FO до цифрового терміналу XMA2.

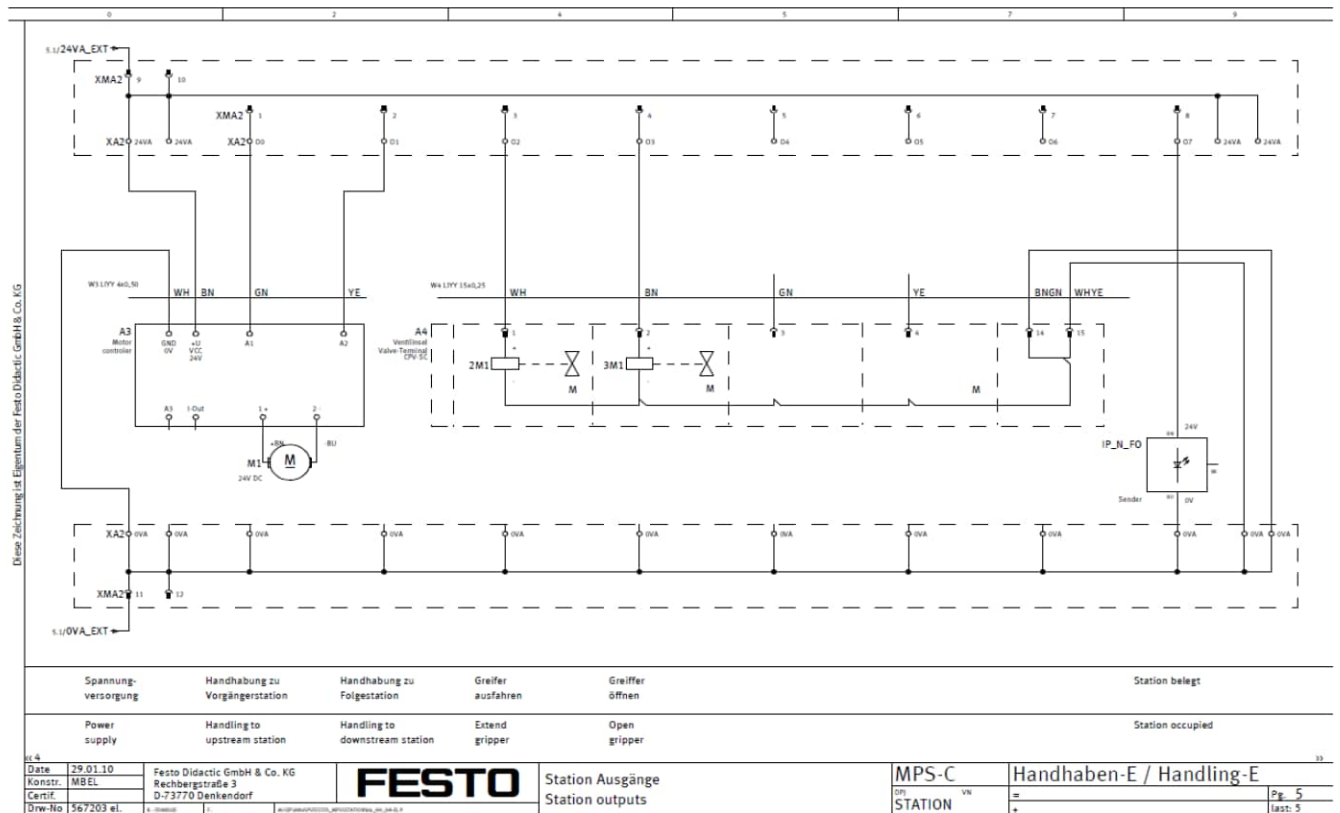


Рисунок 1.16 – Принципова електрична схема підключення виконавчих пристроїв навчального стенду Festo MPS Handling

Принципова пневматична схема підключення виконавчих пристроїв наведена на рисунку 1.17. Схема відображає підключення ліній підведення повітря до пневмоциліндрів вертикальної дії та пристрою захоплення від пневмоострова. До того ж показано, що на лінії пневможивлення на пневмоциліндр вертикальної дії встановлено дроселі (2V2, 2V3) для регулювання кількості повітря при подачі в камери пневмоциліндра. Подача повітря на пристрій захоплення відбувається з тиском, який налаштовано на модулі підготовки повітря. До того ж на схемі наведена електрична складова пневмоклапанів, а саме електромагнітні котушки 2M1, 3M1.

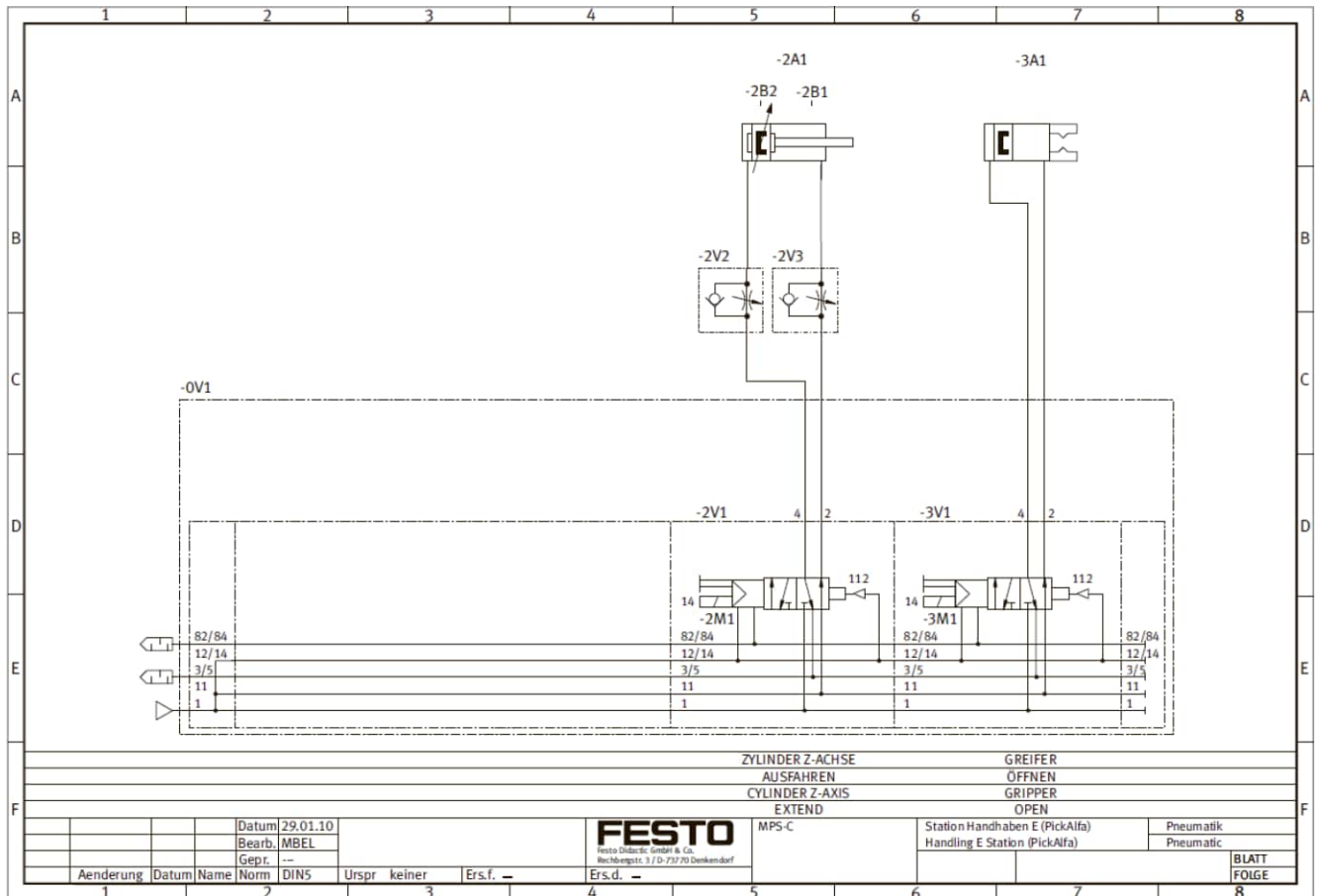


Рисунок 1.17 – Принципова пневматична схема підключення виконавчих пристроїв навчального стенду Festo MPS Handling

### 1.2.5 Алгоритм процесу роботи навчального стенду Festo MPS Handling

Відповідно до технології обладнання навчального стенду Festo MPS Handling має працювати за наступним алгоритмом.

Після встановлення заготовки у лоток подачі (вручну) вона виявляється за допомогою оптичного рефлекторного датчика світла. Пристрій захоплення дістає заготовку з лотка подачі за допомогою пневматичного захвату, який оснащений оптичним датчиком. Датчик розрізняє «чорні» та «нечорні» заготовки. Заготовки можуть бути розміщені на різних лотках для сортування на основі цього критерію. Різні інші критерії сортування можна визначити, якщо станцію об'єднати з іншими станціями. Змінюючи налаштування механічних кінцевих упорів, також можна перенести заготовки на наступну станцію.

Стартові передумови: заготовка в лотку подачі; позиціонування у початковому положенні: каретка захоплення зліва («передня станція»), підйомний циліндр з втягнутим штоком (захват піднятий), захват відкритий.

Послідовність:

1. Підйомний циліндр висуває шток, якщо в лотку подачі виявлено заготовку і натиснуто кнопку запуску «Старт».

2. Захват закритий. Виконується ідентифікація кольору «заготовка чорна» або «заготовка не чорна».

3. Підйомний циліндр з втягнутим штоком. Якщо заготовка чорна, перенесення на перший лоток сортування.

4. Каретка переміщається до положення «лоток 1».

5. Підйомний циліндр висуває шток.

6. Захват відкривається, і заготовка осаджується на лоток.

7. Підйомний циліндр втягує шток.

8. Каретка переміщується в положення «передня станція».

Якщо Заготівля червона/срібляста, нанесення перенесення на другий лоток сортування.

9. Каретка наближається до положення «лоток 2».

10. Підйомний циліндр висуває шток.

11. Захват відкривається і заготовка осаджується на лоток.

12. Підйомний циліндр втягує шток.

13. Каретка переміщується в положення «передня станція».

Наданий алгоритм є загально-рекомендованим виробником і може бути зміненим за для реалізації додаткових функцій чи з урахуванням додаткових сигналів та/або виконавчих пристроїв.

### **1.3 Аналіз існуючих аналогів систем**

#### **1.3.1 Festo MPS – базовий приклад**

Модульна система для навчання основам роботи з кіберфізичними та мехатронними системами. Включає модулі транспортування, сортування, обробки та ін. Може бути інтегрована з PLC Siemens, OPC UA, HMI, Python, Node-RED.

Переваги: високий рівень реалістичності виробничих процесів; гнучкість – легко додаються чи змінюються модулі; підтримка сучасних індустріальних протоколів.

Недоліки: висока вартість; потреба у значному просторі та ресурсах для розгортання; обмежена масштабованість у великих лабораторіях.

#### **1.3.2 SMC International Training – MAS-200 / MAS-400**

Спеціалізується на навчальних рішеннях у сфері пневматики, гідравліки та автоматизації. Пропонує модульні навчальні стенди, схожі на Festo MPS, з інтегрованими контролерами, сенсорами, маніпуляторами, транспортерами.

Активно використовується у технічних університетах та навчальних центрах для підготовки інженерів мехатроніки та пневматики.

Переваги: більш доступна ціна, ніж у Festo; зрозумілий інтерфейс та документація; інтеграція з SCADA та PLC Siemens/Omron.

Недоліки: менша кількість доступних модулів; обмежена підтримка сучасних протоколів типу OPC UA.

#### **1.3.3 MecLab (від Festo) – спрощена версія**

Орієнтована на початкове навчання. Компактна платформа на базі Arduino/microcontroller.

Переваги: ідеально підходить для базового рівня освіти; дешева та портативна.

Недоліки: обмеженість функціоналу; не підтримує повноцінне промислове програмування.

### 1.3.4 Siemens SCE (Student Control Engineering)

Освітні комплекти з контролерами S7-1200 / S7-1500. Зосереджено на програмуванні, HMI та мережах PROFINET.

Переваги: сильна інтеграція з TIA Portal; навчання повного циклу – від апаратного до SCADA.

Недоліки: потрібен власний стенд або макет (не постачається в комплекті); складніший для самостійного вивчення.

### 1.3.5 Open-source / DIY стенди на базі Arduino, Raspberry Pi, ESP32

Самостійно спроектовані платформи з відкритим кодом. Часто включають сенсори, приводи, конвеєрні-лінії.

Переваги: надзвичайна гнучкість і дешевизна; можливість вивчення IoT, MQTT, Node-RED, Python.

Недоліки: низький рівень промислової достовірності; потребує багато часу на складання і налагодження; відсутність гарантії стабільності та сумісності.

### 1.3.6 Bosch Rexroth – Mechatronics Training System (MTS)

Навчальні системи для мехатроніки та промислової автоматизації. Включає модулі для програмування ПЛК, робототехніки та гідравлічних систем. Використовується у навчальних закладах та промислових тренінгових центрах. Програмне забезпечення: ctrlX AUTOMATION, Open Core Engineering. Використовує реальні індустриальні компоненти.

Переваги: найвища відповідність індустрії 4.0; потужна інтеграція з IT-рівнем: OPC UA, REST API, MQTT, Python SDK; програмується як у PLC, так і в високорівневих мовах (C++, Python, JavaScript).

Недоліки: найвища вартість серед аналогів; підходить для старших курсів/магістратури.

### 1.3.7 Lucas-Nülle Training Factory Industry 4.0 / UniTrain

Пропонує навчальні рішення для електротехніки, мехатроніки та автоматизації. Включає інтерактивні навчальні стенди з можливістю

моделювання виробничих процесів. Використовується у професійній освіті та підготовці спеціалістів.

Технології та архітектура: система з розподіленими модулями: транспортування, обробка, контроль якості, складання. Вбудоване хмарне середовище навчання (LabSoft). Підтримка PROFINET, EtherCAT, OPC UA.

Переваги: унікальна віртуалізація – навчання в симуляторах та апаратній платформі; повноцінна інтеграція IoT, з підключенням до реальних серверів.

Недоліки: закритість програмного забезпечення – обмежена модифікація; висока вартість повного комплексу.

### **1.3.8 Edibon TPTC, AE-AUT, FMEI серії**

Розробляє навчальні лабораторії для інженерних дисциплін, включаючи автоматизацію та мехатроніку. Включає стенди для вивчення промислових процесів, сенсорних технологій та управління. Використовується у технічних університетах та дослідницьких центрах.

Технології та архітектура: орієнтовані на електротехніку, автоматизацію, мехатроніку; програмне забезпечення: SCADA software developed by Edibon; модулі з цифровим і аналоговим керуванням.

Переваги: сильна академічна складова (підходить для університетів); універсальність у тематиці: від процесного керування до енергетики.

Недоліки: мінімальна індустріальна інтеграція – не орієнтовано на сучасне виробництво; більше підходить для теоретичного, а не практичного виробничого навчання.

## **1.4 Обґрунтування вибраного напрямку вирішення задачі для об'єкта впровадження**

З аналітичного огляду станції Festo MPS Handling та інших аналогів можна зробити висновок, що системи на базі Festo MPS є універсальним стандартом для практичного навчання роботи з кіберфізичними системами.

За результатами обстеження навчального стенду Festo MPS Handling можна зробити висновок про функціональну структуру кіберфізичної системи, яка включає такі ключові компоненти:

– фізичний рівень, що містить апаратне забезпечення, таке як сенсори, актюатори, мережеве обладнання та комп'ютерні пристрої, що забезпечують взаємодію з фізичним світом.

– логічний рівень – включає програмне забезпечення, алгоритми керування, бази даних та мережеві протоколи, що забезпечують обробку інформації та управління процесами.

Схема функціональної структури кіберфізичної системи навчального стенду Festo MPS Handling у загальному вигляді представлена на рисунку 1.18.

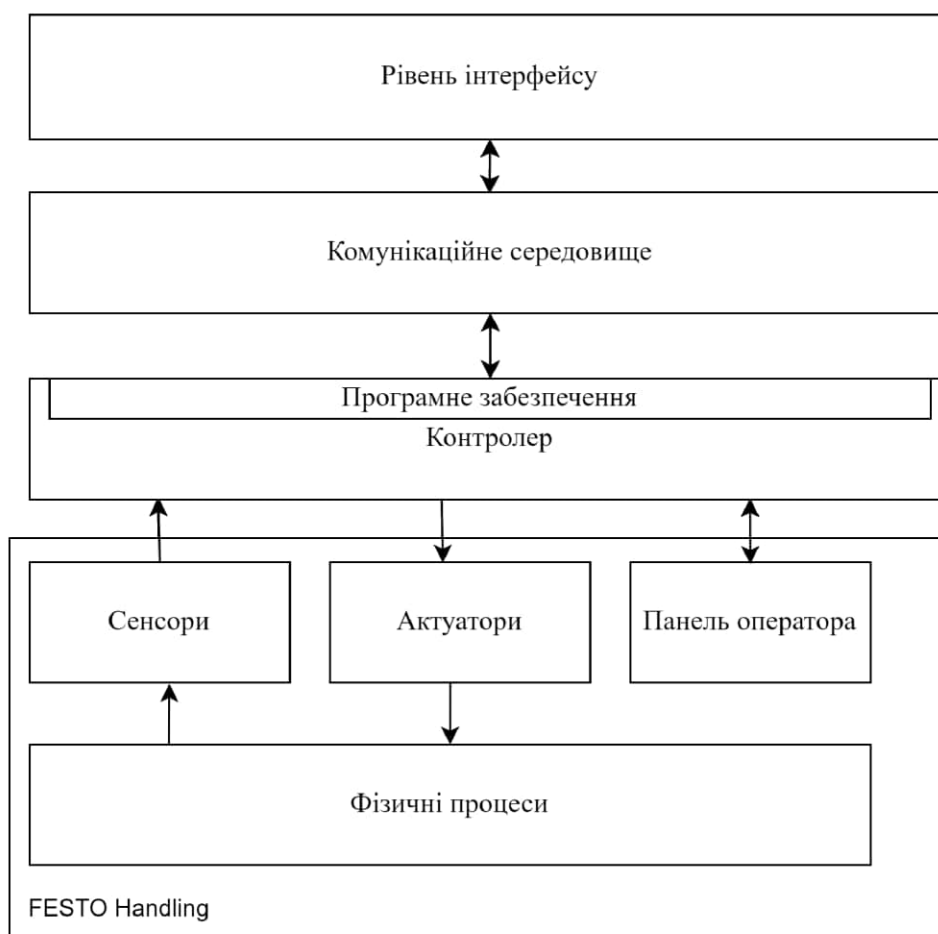


Рисунок 1.18 – Схема функціональної структури кіберфізичної системи навчального стенду Festo MPS Handling

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

Метою кваліфікаційної роботи є розробка апаратних та програмних засобів, що забезпечать збір і обробку даних для кіберфізичної системи навчального стенду Festo MPS Handling.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- на основі аналізу навчального стенду Festo MPS Handling розробити технічне завдання на розробку кіберфізичної системи;
- на основі технічного завдання розробити інженерне рішення, що забезпечить збір і обробку даних для кіберфізичної системи;
- розробка алгоритмів роботи кіберфізичної системи та програмного забезпечення.

## 2. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Технічні вимоги до кіберфізичної системи навчального комплексу festo mps handling

Повна назва: «Кіберфізична система навчального комплексу Festo MPS Handling», далі Система.

Система призначена для навчання та дослідження кіберфізичних систем, мехатронних пристроїв та цифрових технологій. Вона має забезпечувати практичне освоєння принципів роботи промислових систем, включаючи роботизовані маніпулятори, сенсорні технології та програмування керуючих пристроїв.

Система дозволяє студентам та фахівцям моделювати реальні виробничі процеси, аналізувати їх ефективність та оптимізувати роботу промислових ліній. Завдяки модульній структурі, вона може бути адаптована до різних навчальних програм та рівнів підготовки.

#### 2.1.1 Вимоги до структури і функціонування Системи

##### 2.1.1.1 Перелік функціональних складових чи підсистем, їхнє призначення

Система комплексу Festo MPS Handling має у своєму складі:

– *двовісний модуль обробки*, що використовується для маніпулювання заготовками. Вісь X реалізована через електромеханічний привід, а вісь Z та захоплення – через пневматичні циліндри;

– *система сенсорів*, яка включає датчики наближення та дифузні сенсори для контролю положення та визначення кольору об'єктів;

– *пневматичні приводи*, що забезпечують рух механізмів, включаючи маніпулятори та захоплювачі;

– *контролер двигуна* – використовуються у електромеханічному приводі для управління рухом та позиціонування каретки за віссю X;

– панель оператора, що дозволяє надавати сигнали для керування комплексом Festo MPS Handling та виводити індикацію про стан роботи обладнання.

Управління всіма процесами Системи, включаючи рух маніпуляторів та обробку даних має бути забезпечено модулем керування на базі ПЛК.

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

В Системі має бути організовано прямий зв'язок між ПЛК та сенсорами з використанням цифрових входів для отримання даних від датчиків.

Керування виконавчими пристроями (передача команд) має бути організована через релейні або транзисторні виходи ПЛК.

Кнопки та лампи панелі оператора мають підключатися безпосередньо до ПЛК через дискретні входи та виходи, що дозволить здійснювати ручне керування та індикацію стану системи.

Для зв'язку з ПЛК або ПЛК між собою має бути передбачена можливість передачі даних за допомогою стандартних мережевих протоколів.

Для забезпечення безпеки та надійності передачі даних кабелі мають бути екранованими для зменшення електромагнітних перешкод.

За необхідності передбачити резервування критичних сигналів.

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

Для забезпечення ефективної взаємодії Системи із суміжними системами необхідно враховувати підтримку стандартних промислових протоколів, таких як Modbus, PROFINET, EtherCAT, для інтеграції з іншими автоматизованими системами. На фізичному рівні для обміну даними між

контролерами та/або сенсорами, виконавчими пристроями забезпечити використанням таких інтерфейсів як Ethernet, RS-485, CAN.

Для синхронізації процесів забезпечити узгоджене виконання операцій між системами через централізоване або розподілене керування.

#### **2.1.1.4 Вимоги до режимів функціонування Системи**

Режими функціонування Системи повинні відповідати вимогам ефективності, безпеки та гнучкості. Основні вимоги включають:

– *автоматичний режим* при якому система працює без втручання оператора, виконуючи задані алгоритми обробки та переміщення об'єктів;

– *ручний режим*, де оператор може керувати Системою через панель управління;

– *аварійний режим*, що забезпечується оператором з панелі управління для зупинення роботи при виявленні несправностей або небезпечних ситуацій;

Режим налагодження, що використовується для діагностики, калібрування сенсорів та перевірки роботи виконавчих пристроїв має бути забезпечено за допомогою додаткового обладнання, що може бути підключеним до Системи.

Часові терміни роботи обладнання Системи регламентуються часом проведення навчальних занять.

#### **2.1.1.5 Перспективи розвитку, модернізації Системи**

Перспективи розвитку та модернізації Системи на базі Festo MPS Handling можуть включати кілька ключових напрямків.

1) Інтеграція з сучасними цифровими технологіями – впровадження ІоТ, штучного інтелекту та хмарних платформ для аналізу даних та оптимізації виробничих процесів.

2) Розширення функціональності – додавання нових модулів, таких як роботизовані маніпулятори, автоматизовані системи сортування та розширені сенсорні технології.

3) Підвищення енергоефективності – використання оптимізованих алгоритмів управління.

4) Гнучкість навчальних програм – адаптація Системи до нових освітніх стандартів, інтеграція з віртуальними симуляторами та дистанційним навчанням.

5) Покращення безпеки – впровадження розширених механізмів захисту, включаючи автоматичне виявлення несправностей та системи аварійного реагування.

### **2.1.2 Вимоги до показників призначення**

Система має відповідати ряду ключових вимог: забезпечувати *високу продуктивність* для ефективного виконання операцій у навчальному процесі; мати *гнучку конфігурацію*, що дозволяє адаптувати її до різних навчальних програм і виробничих сценаріїв; гарантувати *високу точність роботи* шляхом мінімізації похибок при позиціонуванні та виконанні технологічних операцій; підтримувати *інтерактивність* через зручний інтерфейс взаємодії з користувачем, наприклад, за допомогою панелі оператора; забезпечувати *надійність*, тобто довговічність компонентів і мінімізацію простоїв, спричинених технічними несправностями; а також відповідати вимогам *безпеки*, включаючи функції аварійного зупинення та захисту від перевантажень.

Система призначена для використання в таких умовах: температурний режим експлуатації становить від +5°C до +40°C, а вологість повітря може досягати до 85% без утворення конденсату. Щодо середовища експлуатації, допускається робота в приміщеннях класу С, що відповідає стандартним лабораторним і навчальним умовам; також можливе використання на

відкритому повітрі за умови належного захисту від атмосферних впливів. Експлуатація у вибухонебезпечному середовищі без відповідних спеціальних модифікацій не рекомендується.

### **2.1.3 Додаткові вимоги**

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

Основні вимоги до задач, що виконуються Системі, поділяються на функціональні та нефункціональні.

До функціональних належать: налаштування параметрів роботи, зокрема швидкості руху маніпуляторів, точності позиціонування та режимів функціонування; програмування логіки керування, що передбачає розробку алгоритмів роботи ПЛК для автоматизації процесів; калібрування сенсорів для досягнення високої точності вимірювань; а також можливість збереження та відновлення конфігурацій, що дозволяє швидко відновити систему після збоїв.

До нефункціональних вимог належать: інтуїтивність налаштувань, тобто доступний інтерфейс, що не вимагає глибоких знань програмування; захист налаштувань, який запобігає несанкціонованому доступу до критичних параметрів; а також стабільність роботи системи після внесення змін.

#### **2.1.3.2 Вимоги до модульності та масштабованості**

Система має передбачати можливість розширення шляхом додавання нових модулів та інтеграції з іншими навчальними комплексами.

#### **2.1.3.3 Вимоги до ергономічності**

Система має забезпечувати зручність у використанні для операторів та студентів, включаючи інтуїтивно зрозумілий інтерфейс керування.

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

Система має забезпечувати можливість підключення до віртуальних симуляторів, онлайн-курсів та систем дистанційного навчання.

#### **2.1.3.5 Вимоги до параметрів мереж енергопостачання**

Живлення Системи змінною напругою повинно здійснюватися через мережеві фільтри. Допустимі відхилення напруги для електроспоживачів мають відповідати нормам: нормально допустимі –  $\pm 5\%$ , а гранично допустимі –  $\pm 10\%^{**}$  від номінального значення мережевої напруги, відповідно до вимог чинного стандарту ДСТУ «ГОСТ 21128». Поточне робоче значення напруги становить  $220 \text{ В} \pm 5\%$ , а частота –  $50 \pm 0,2 \text{ Гц}$ , згідно з положеннями ДСТУ «ГОСТ 13109-97».

Напруга живлення компонентів Системи:  $24 \text{ В DC}$  (стандарт для промислових ПЛК та виконавчих пристроїв).

Максимальна потужність споживання: до  $500 \text{ Вт}$  залежно від конфігурації системи.

#### **2.1.3.6 Вимоги до регламенту обслуговування**

Обслуговування Системи повинно передбачати чітку періодичність: *щоденно* здійснюється огляд стану сенсорів, виконавчих механізмів і механічних компонентів; *щотижня* проводиться очищення робочих поверхонь, перевірка з'єднань і тестування основних функцій; *щомісяця* виконується діагностика роботи ПЛК, контроль параметрів живлення та калібрування сенсорів; *щорічно* проводиться повне планове обслуговування з заміною зношених деталей, оновленням програмного забезпечення та перевіркою відповідності системи технічним вимогам.

Основні процедури включають калібрування сенсорів для забезпечення точності вимірювань, змащування механічних вузлів для надійної роботи рухомих частин, оновлення програмного забезпечення ПЛК.

Під час проведення обслуговування необхідно спиратись на інструкції з експлуатації на технічні засоби.

#### **2.1.3.7 Вимоги до технічного забезпечення**

Технічні засоби модулю керування та обробки сигналів повинні мати загальнопромисловий формфактор виконання з наявністю резервних портів по кожному типу сигналів у кількості 10%.

#### **2.1.3.8 Вимоги до методичного забезпечення**

Методичне забезпечення Системи повинно відповідати сучасним освітнім стандартам і сприяти ефективному навчанню студентів.

Основні вимоги охоплюють наявність навчальних матеріалів, зокрема докладних посібників, інструкцій та методичних рекомендацій для викладачів і здобувачів освіти.

Важливу роль відіграють практичні завдання, що включають лабораторні роботи, тестові вправи та симуляції для закріплення теоретичних знань.

Також обов'язковим є використання мультимедійних ресурсів: відео-уроків, інтерактивних симуляторів і онлайн-платформ для підтримки дистанційного навчання.

Навчальні програми мають регулярно оновлюватися відповідно до сучасних технологій і потреб індустрії, а також передбачати інтеграцію з іншими освітніми системами, що дозволяє підключення до спільних платформ і баз даних.

## 2.2 Розробка апаратної частини

### 2.2.1 Розробка структурної схеми комплексу технічних засобів

#### Системи

Базуючись на оглядовому аналізі навчального комплексу Festo MPS Handling та сформульованих технічних вимогах маємо структуру технічних засобів кіберфізичної системи, яка зображена на рисунку 2.1.

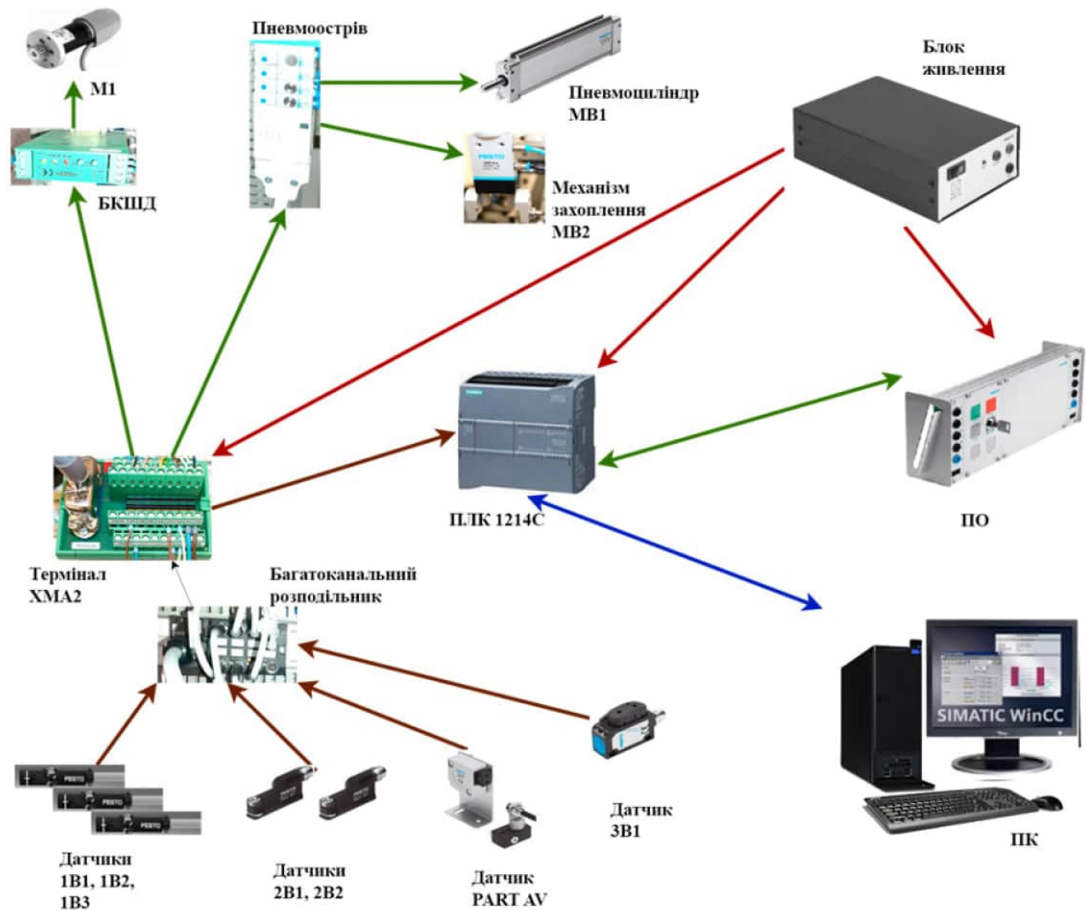


Рисунок 2.1 – Структурна схема комплексу технічних засобів кіберфізичної системи навчального комплексу Festo MPS Handling

Структурна схема відображає взаємозв'язок між основними технічними засобами кіберфізичної системи та показує, як компоненти Системи взаємодіють між собою та інформаційні потоки між ними існують.

### 2.2.2 Розробка функціональної схеми автоматизації Системи

На базі структурної схеми Системи та з урахуванням типів датчиків та сигналів, що використовує Система виконується функціональна схема автоматизації.

Структура функціональної схеми включає в себе вхідні елементи, такі як датчики положення, визначення кольору, визначення наявності, які отримують інформацію від об'єкта. Далі ПЛК, як логічний блок обробки сигналів, аналізує отримані дані та ухвалює рішення. Виконавчі пристрої, серед яких електродвигун, маніпулятор у складі з пневмоциліндрами та електропневмоклапанами, реалізують команди управління, забезпечуючи виконання необхідних операцій.

Функціональна схема автоматизації Системи наведено на рисунку 2.2.

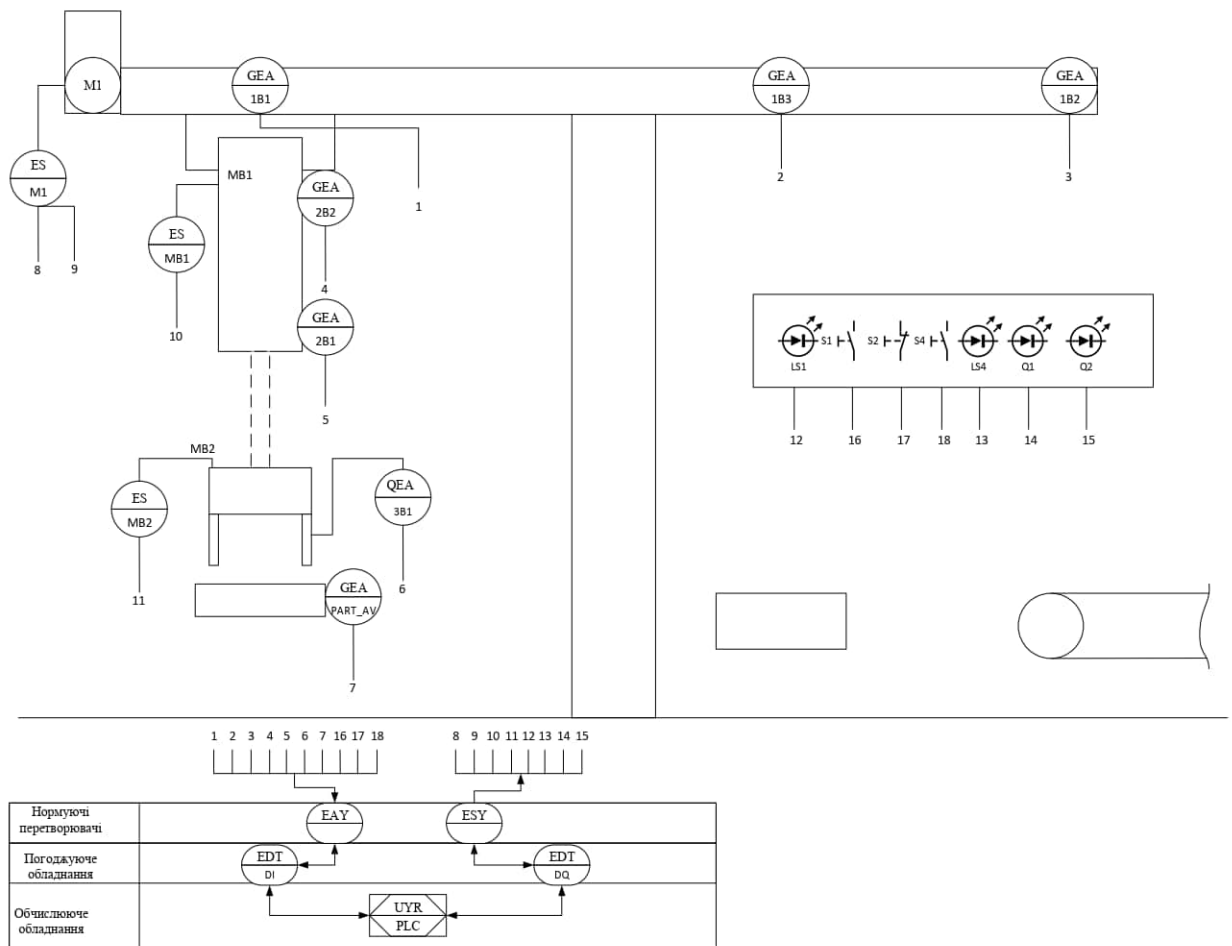


Рисунок 2.2 - Функціональна схема автоматизації кіберфізичної системи навчального комплексу Festo MPS Handling

На схемі відображена технологія Системи із умовним позначенням датчиків призначених для визначення технологічних параметрів та виконавчих пристроїв.

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

Грунтуючись на аналізі технології навчального комплексу Festo MPS Handling та з урахуванням розробленої функціональної схеми автоматизації складаємо таблиці вхідних і вихідних сигналів.

У таблиці 2.1 наведено перелік сигналів, що є вхідними для Системи.

У таблиці 1.2 наведено перелік сигналів, що є вихідними 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	Наявність заготовки. Лоток 1	PART_AV	Вхід	Контроль	Цифровий	датчик/ПЛК	DC 24V	1 біт	0,3
2	Каретка у положенні А	1В1	Вхід	Контроль	Цифровий	датчик/ПЛК	DC 24V	1 біт	0,3
3	Каретка у положенні В	1В2	Вхід	Контроль	Цифровий	датчик/ПЛК	DC 24V	1 біт	0,3
4	Каретка у положенні С	1В3	Вхід	Контроль	Цифровий	датчик/ПЛК	DC 24V	1 біт	0,3
5	Шток пневмоциліндра втягнуто. Пневмоциліндр вертикальної дії	2В1	Вхід	Контроль	Цифровий	датчик/ПЛК	DC 24V	1 біт	0,3
6	Шток пневмоциліндра витягнуто. Пневмоциліндр вертикальної дії	2В2	Вхід	Контроль	Цифровий	датчик/ПЛК	DC 24V	1 біт	0,3
7	Колір заготовки «не чорний». Пристрій захоплення	3В1	Вхід	Контроль	Цифровий	датчик/ПЛК	DC 24V	1 біт	0,3
8	Кнопка «Старт»	S1	Вхід	Контроль	Цифровий	кнопка/ПЛК	DC 24V	1 біт	0,3
9	Кнопка «Стоп»	S2	Вхід	Контроль	Цифровий	кнопка/ПЛК	DC 24V	1 біт	0,3
10	Кнопка «Скидання»	S4	Вхід	Контроль	Цифровий	кнопка/ПЛК	DC 24V	1 біт	0,3

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 каретки. Рух в сторону наступної станції (до позицій В,С)	M1	Вихід	Управ.	Норм. розімкн	ПЛК/БКЩД	DC 24V	1 біт	0,2
2	Двигун каретки. Рух в сторону попередньої станції (до позицій А)	M1	Вихід	Управ.	Норм. розімкн	ПЛК/БКЩД	DC 24V	1 біт	0,2
3	Пневмоциліндр вертикальної дії. Висування штоку	MB1	Вихід	Управ.	Норм. розімкн	ПЛК/ЕК	DC 24V	1 біт	0,2
4	Пристрій захоплення. Відкривання	MB2	Вихід	Управ.	Норм. розімкн	ПЛК/ЕК	DC 24V	1 біт	0,2
5	Лампа кнопки Старт	P1	Вихід	Управ.	Норм. розімкн	ПЛК/ПО	DC 24V	1 біт	0,2
6	Лампа кнопки Ресет	P2	Вихід	Управ.	Норм. розімкн	ПЛК/ПО	DC 24V	1 біт	0,2
7	Лампа Q1	P3	Вихід	Управ.	Норм. розімкн	ПЛК/ПО	DC 24V	1 біт	0,2
8	Лампа Q2	P4	Вихід	Управ.	Норм. розімкн	ПЛК/ПО	DC 24V	1 біт	0,2

Загалом Система оперує 18 сигналами, з яких: 10 цифрових вхідних та 8 вихідних.

## **2.2.4 Вибір і обґрунтування обладнання Системи**

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

З урахуванням загальної кількості сигналів Системи, та технічних вимог, маємо обрати апаратні засоби для збору та обробки даних.

В якості керуючого пристрою обираємо ПЛК Siemens Simatic серії S7-1200. Ця серія являє собою компактні програмовані логічні контролери, призначені для керування малими і середніми системами. Вони мають модульну конструкцію, що дозволяє легко розширювати систему відповідно до потреб проекту.

Основні характеристики SIMATIC S7-1200: гнучкість завдяки підтримці різних комунікаційних протоколів, таких як Ethernet, PROFINET, PROFIBUS; висока продуктивність завдяки потужному процесору, що забезпечує швидку обробку даних; зручне програмування через середовище TIA Portal, яке дозволяє легко налаштовувати та діагностувати систему; модульність з можливістю підключення додаткових модулів введення-виведення для розширення функціоналу; компактність, що дозволяє економити місце порівняно з іншими серіями PLC.

До того ж ця серія має середній ціновий діапазон, що є економічно вигідним.

Відповідно до завданям критеріям обираємо Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C 6ES7214-1HG40-0XB0 [3]. Він має 14 цифрових входів, 10 цифрових виходів, з яких 8 релейних, а також 2 аналогових входи. Це компактний контролер, який підтримує живлення DC 24V і має вбудований порт PROFINET для зв'язку (рисунок 2.3).

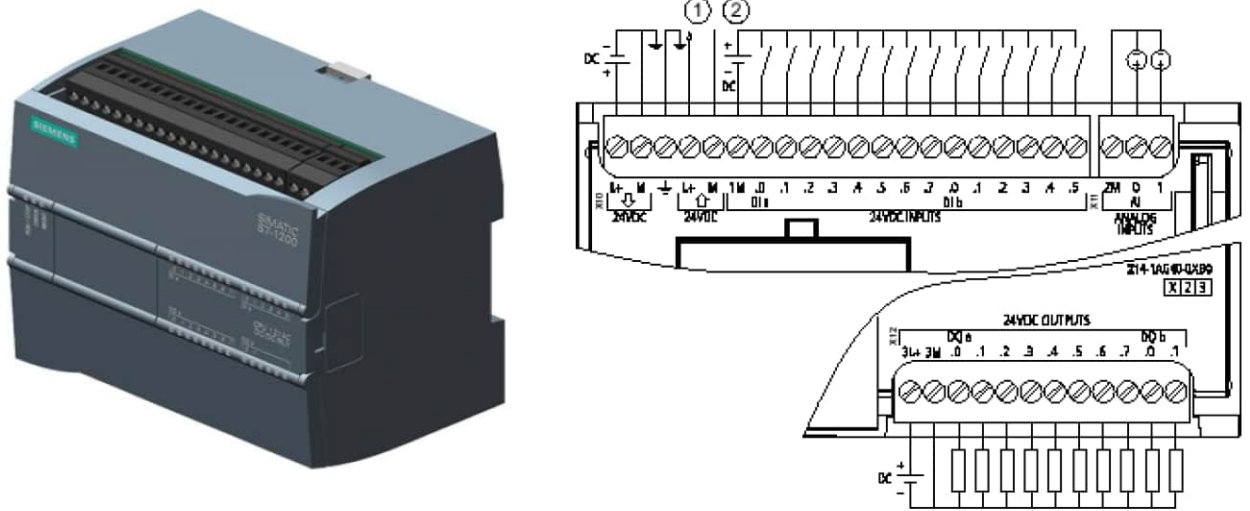


Рисунок 2.3 – CPU 1214C та схема підключення

#### 2.2.4.2 Вибір блоку живлення

Для живлення навчального комплексу Festo MPS Handling використовується штатний блок живлення Festo, як зображено на рисунку 2.4.

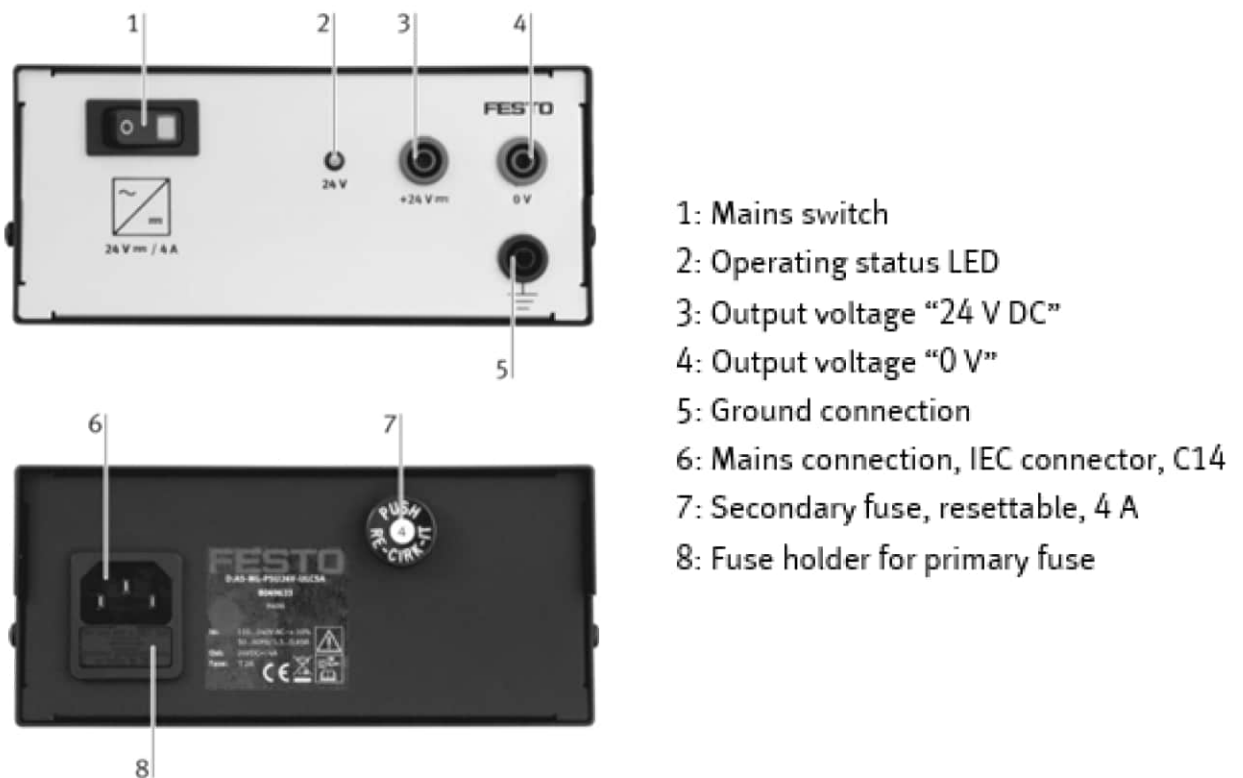


Рисунок 2.4 – Штатний блок живлення навчального комплексу Festo MPS Handling та його параметри

Виходячи з параметрів блока живлення його потужність складає  $I=U*I=24V*4A=96W$  Блок живлення забезпечує живлення панелі оператора та датчикового обладнання.

Живлення ПЛК реалізуємо від штатного блоку живлення.

### 2.2.5 Розробка специфікації апаратних та монтажних засобів Системи

З урахуванням обраних засобів виконано специфікацію: таблиця 2.3.

Таблиця 2.3 – специфікація апаратних та монтажних засобів

Позиція	Найменування і технічна характеристика	Тип, марка, позначення документа, опитувального листа	Одиниці виміру	Кількість	Примітки
1	2	3	4	5	6
1.	Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C	6ES7214-1HG40-0XB0	од.	1	Живлення DC 24В, [3]
2.	DIN рейка 35мм АСКО	TS-35	м	0,3	[4]
3.	Кабельканал перфорований 40x25 ІЕК	Імпакт-М	м	1,5	[5]
4.	Клема прохідна d 2,5мм DEGSON	DC2.5-01P-11-00A(H)	од.	3	на DIN рейку [6]

### 2.2.6 Розробка принципової схеми Системи

З врахуванням схеми підключення CPU розроблена принципова схема вказана на рисунку 2.5.

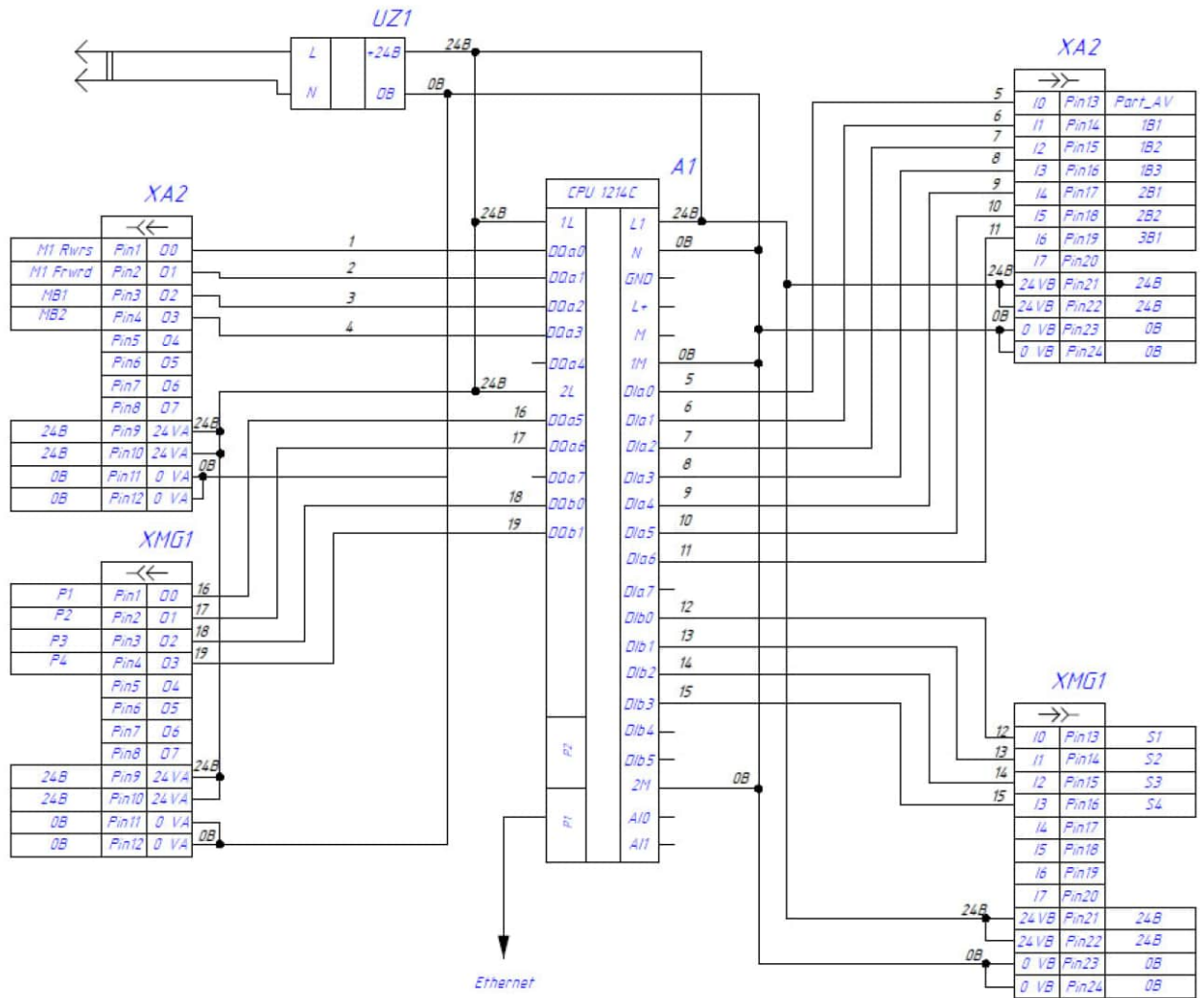


Рисунок 2.5 – Схема принципова Системи

### 2.2.7 Налаштування промислової мережі

За для налаштування підключення ПЛК до ПК через локальну мережу необхідно у середовищі TIA Portal виконати налаштування, як показано на рисунку 2.7, а саме завдати IP адресу відповідно до IP адреси ПК.

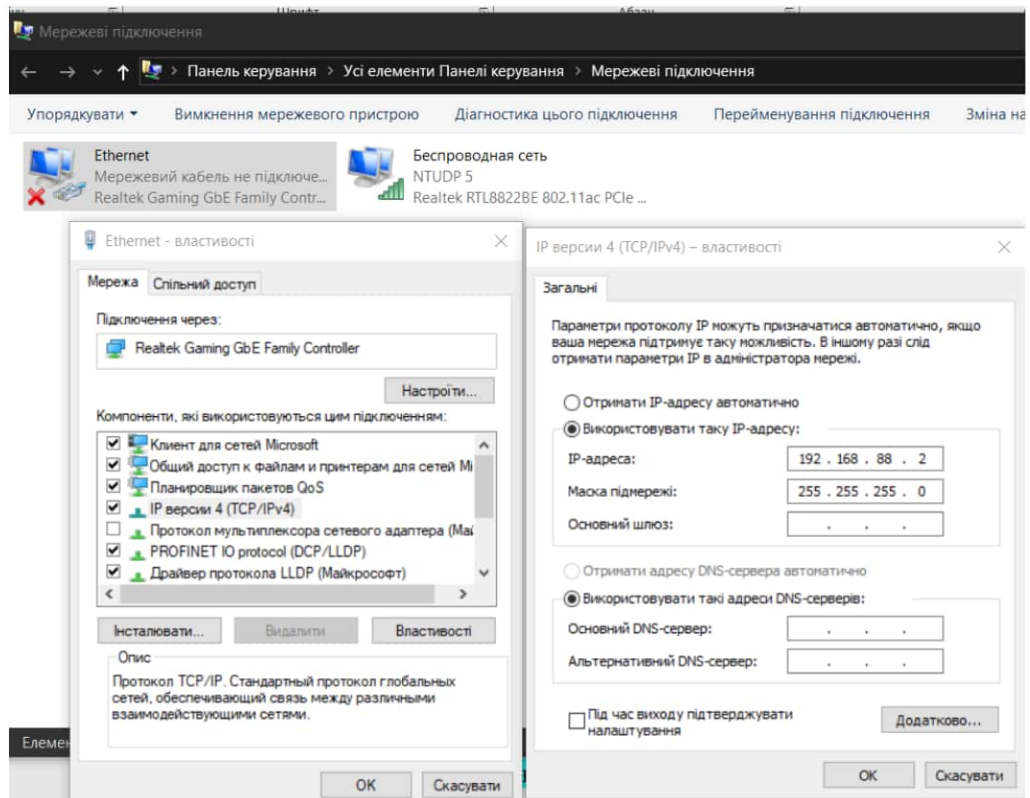


Рисунок 2.6 – Параметри налаштування мережі на ПК

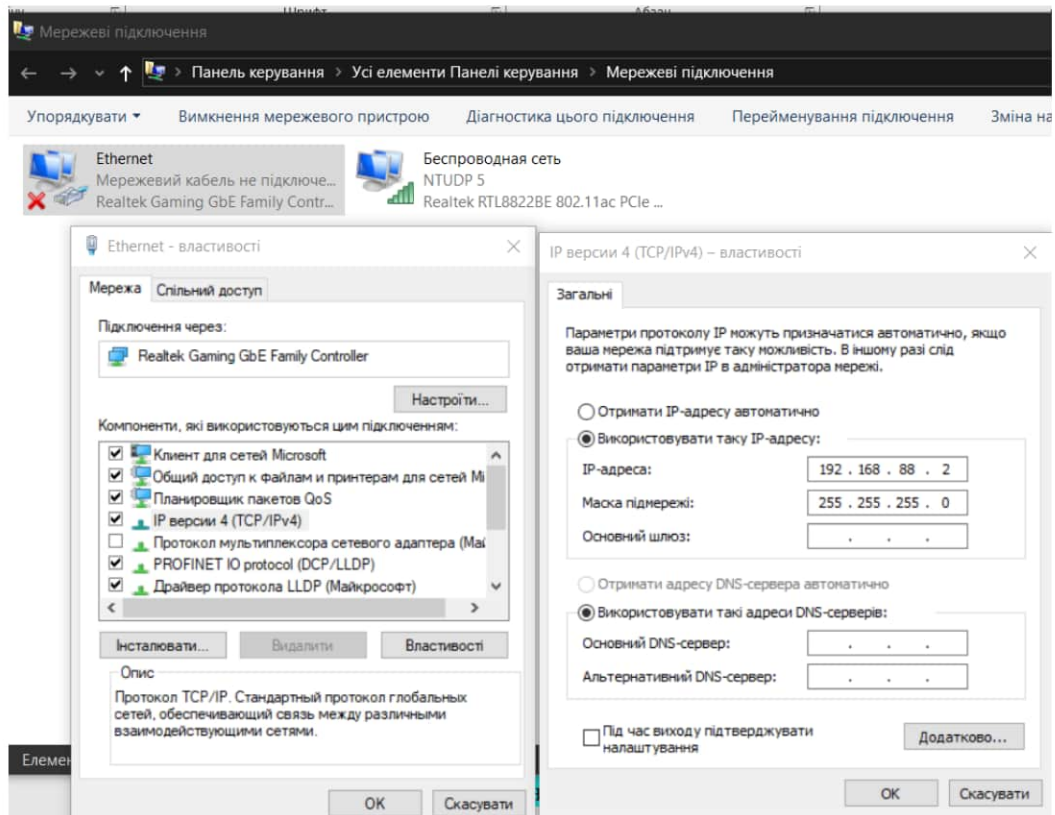


Рисунок 2.6 – Параметри налаштування мережі на ПК

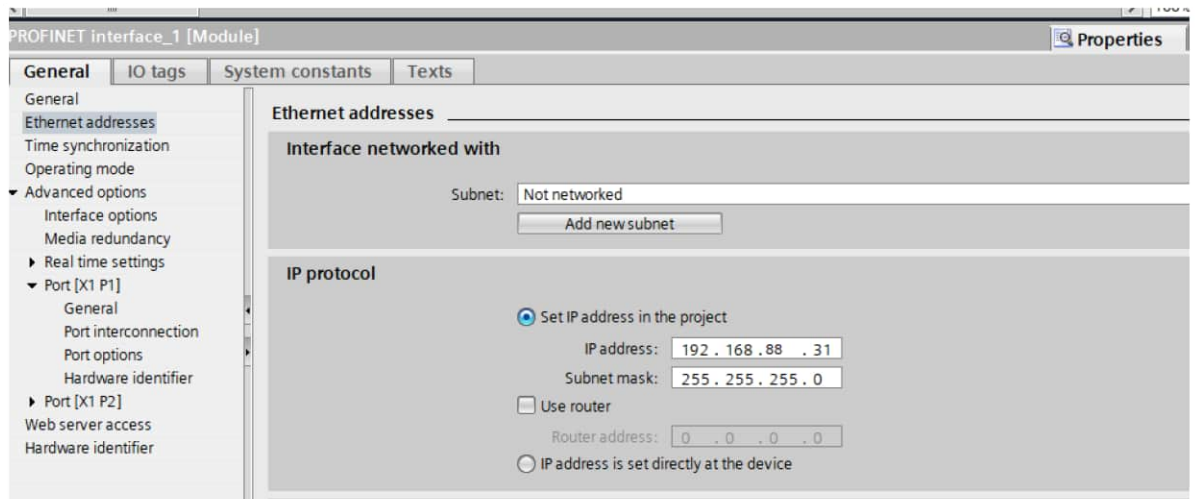


Рисунок 2.7 – Параметри налаштування для ПЛК у TIA Portal

## 2.3 Розробка програмного забезпечення Системи

### 2.3.1 Призначення програми

Програма призначена для реалізації алгоритмів послідовного та умовного виконання операцій, зчитування стану датчиків та формування виконавчих команд для керування рухом каретки та пневмоциліндрами у складі кіберфізичної системи навчального комплексу Festo MPS Handling.

Програма дозволяє студентам та інженерам навчатися програмуванню логічних контролерів, розробці алгоритмів керування та інтеграції обладнання.

### 2.3.2 Обґрунтування технічних характеристик програми

#### 2.3.2.1 Перелік задач, вирішуваних програмним забезпеченням

Розроблене програмне забезпечення вирішує наступний перелік задач:

- реалізує керування механізмами навчального комплексу Festo MPS Handling;
- зчитування даних із датчиків та формування команд для виконавчих механізмів;
- реалізація алгоритмів послідовного виконання операцій;
- обмін даними між контролером та ПК через Ethernet (PROFINET).

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

Відповідно до таблиць вхідних/вихідних сигналів програма отримує данні з датчиків та кнопок і надає керуючі команди на виконавчі пристрої, а саме електричний двигун через блок керування швидкістю та пневмопристрої через пневмоострів з електропневмоклапанами.

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

Програма розроблена у середовищі TIA Portal v14 для ПЛК Siemens Simatic S7-1214C.

Обрання середовища розробки програми є очевидним так як саме TIA Portal до складу якого входить пакет програмування контролерів Siemens – Step7.

TIA Portal забезпечує зручне програмування, візуалізацію процесів та діагностику.

### **2.3.3 Опис розробленої програми**

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

Програмне забезпечення написано на мові програмування LAD для промислових контролерів.

Програма побудована на базі двох програмних блоків: Startup та Main.

Блок Startup містить програмні ланки, що забезпечують стан вихідних сигналів вперше після подачі живлення на ПЛК. Цей блок виконується лише один раз.

Основні ланки програми, що реалізують технологічні маніпуляції розміщені в блоці Main. Цей блок виконується в основному циклі обробки програми користувача операційною системою контролера.

### 2.3.3.2 Опис логічної структури програми

Логічна структура програми описана мовою специфікацій Grafset відповідно до стандарту DIN EN 60848 (IEC 60848) та надана виробником навчального комплексу Festo MPS Handling (рисунок 2.8-2.9).

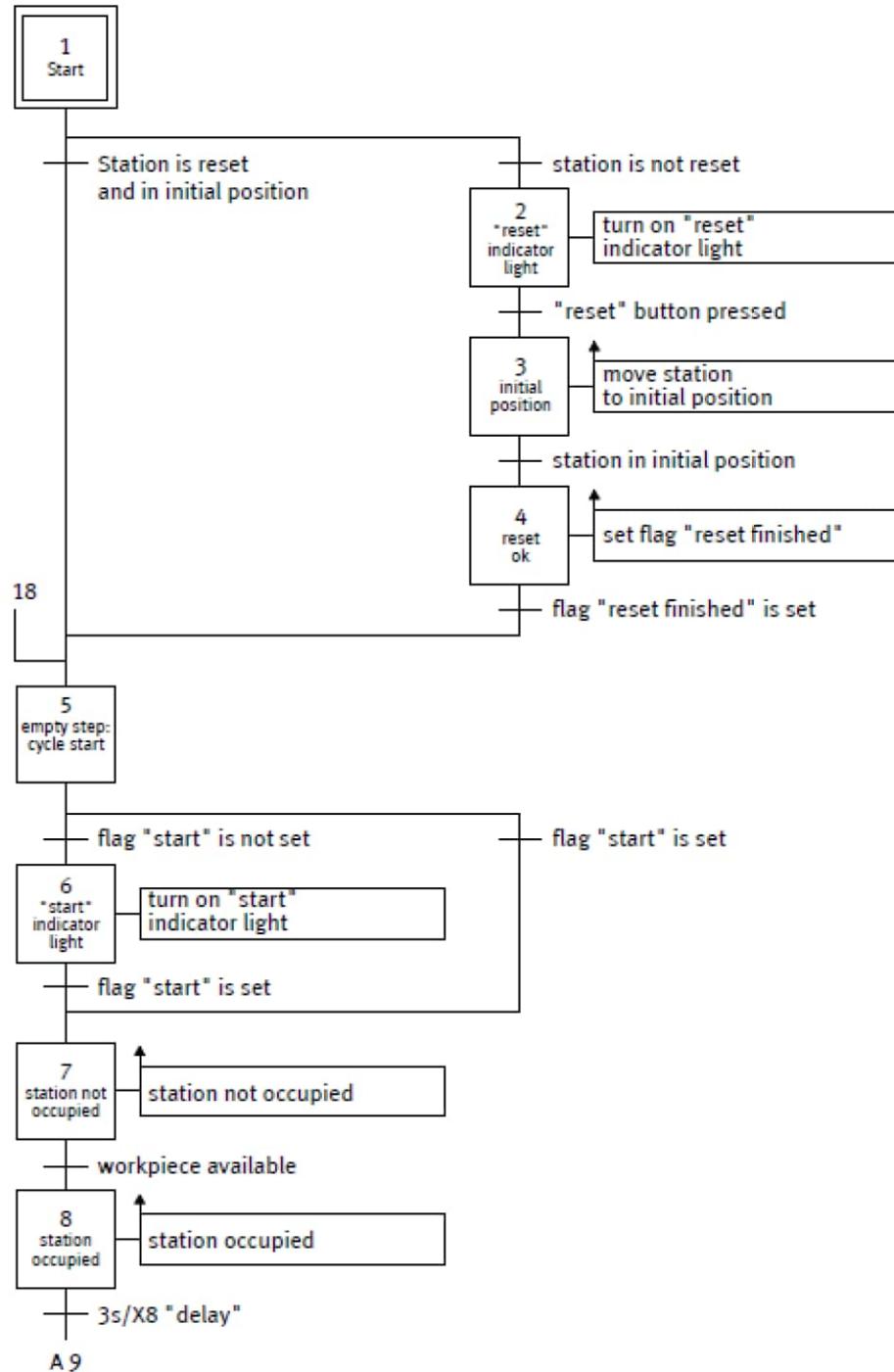


Рисунок 2.8 – Функціональна діаграма роботи

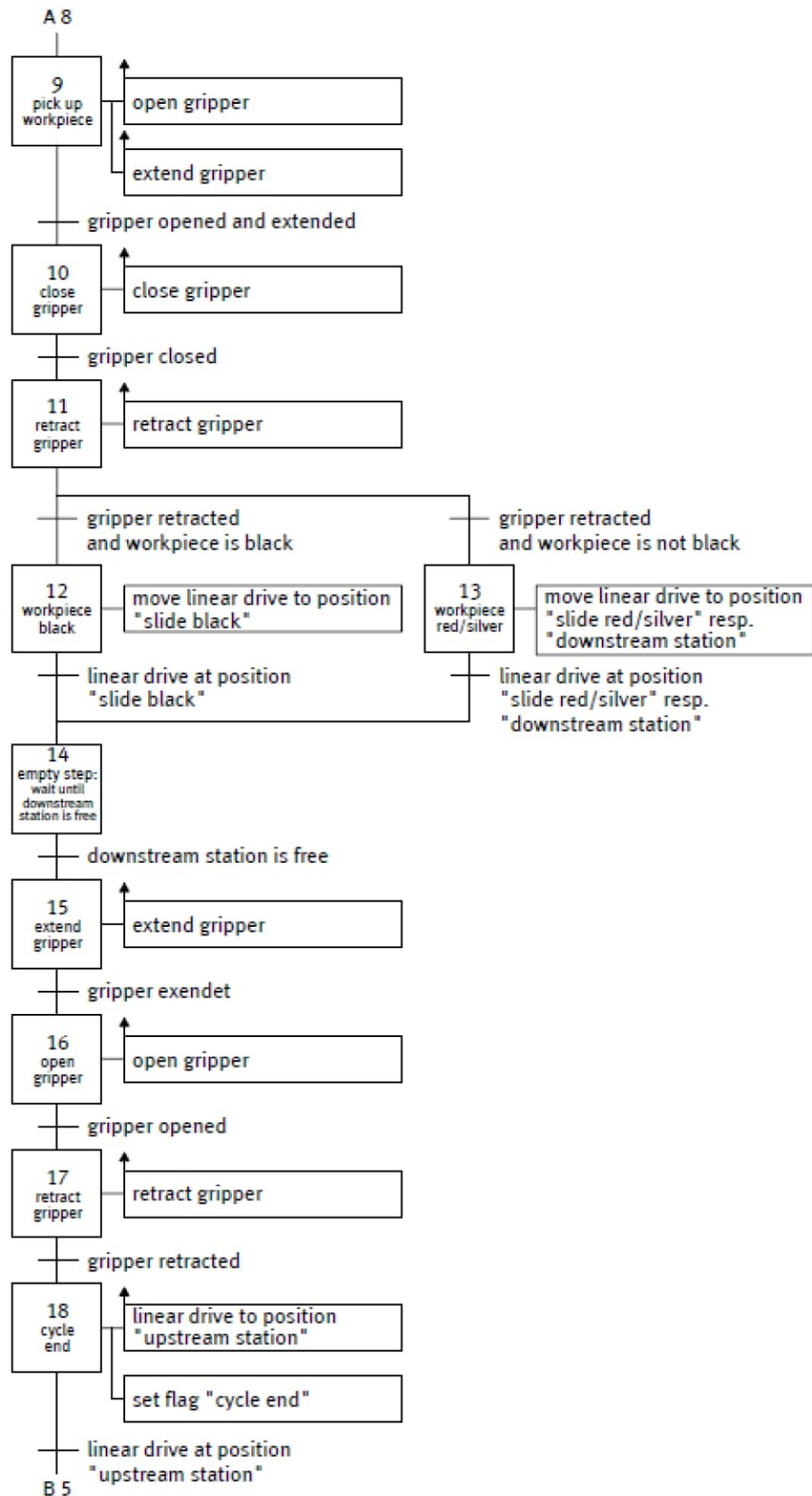


Рисунок 2.9 – Функціональна діаграма роботи (продовження)

### 2.3.3.3 Виклик і завантаження програми

Процес виклику та завантаження програми у TIA Portal для PLC 1214C включає кілька ключових етапів:

1. Створення або відкриття проекту. Для цього необхідно запуснути TIA Portal та відкрити існуючий проект або створити новий; додати пристрій SIMATIC S7-1200 та налаштувати його параметри.

2. Підключення PLC до комп'ютера використовуючи PROFINET, для чого необхідно переконатися, що IP-адреса PLC відповідає налаштуванням у проекті.

3. Компілювання та перевірка програми: виконати перевірку коду на помилки; переконатися, що всі змінні та блоки правильно налаштовані.

4. Завантаження програми у PLC. Для чого необхідно вибрати опцію "Завантажити в пристрій" у TIA Portal, дочекатися завершення процесу завантаження та перевірити статус.

5. Запуск та тестування: активувати програму та перевірити її роботу, виконати тестові сценарії для перевірки правильності виконання команд.

Програмні блоки наведено у додатку А

### 2.3.3.4 Вхідні та вихідні дані

Вхідними та вихідними даними для програми є змінні області пам'яті вхідів, області пам'яті виходів, та внутрішні змінні.

Змінні для програми розташовані в таблиці тегів Tag Table. Структура таблиці тегів наведена в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Структура таблиці тегів Tag Table

Ім'я	Тип даних	Адреса	Коментар
Part_Av	Bool	%I0.0	Визначення наявності заготовки у лотку подачі
H1_1B1	Bool	%I0.1	Визначення зупинки каретки на місці захоплення
H1_1B2	Bool	%I0.2	Визначення зупинки каретки на місці сортування

Кінець таблиці 2.4

Ім'я	Тип даних	Адреса	Коментар
H1_1B3	Bool	%I0.3	Визначення зупинки каретки на місці вивантаження
H1_2B1	Bool	%I0.4	Визначення стану: пристрій захоплення опущено
H1_2B2	Bool	%I0.5	Визначення стану: пристрій захоплення піднято
H1_3B1	Bool	%I0.6	Визначення кольору: заготовка не чорна
H1_Ip_Fi	Bool	%I0.7	Інформація про готовність станції
H1_M1-R	Bool	%Q0.0	Керування рухом каретки до місця завантаження
H1_M1-F	Bool	%Q0.1	Керування рухом каретки до місця вивантаження
H1_MB1	Bool	%Q0.2	Керування рухом пристрою захоплення у вертикальній площині
H1_MB2	Bool	%Q0.3	Керування пристроєм захоплення
H1_IP_N_FO	Bool	%Q0.7	Мехатронні модуль не готовий
FlagPLCReady	Bool	%M1.0	Flag PLC Ready готовність ПЛК
FlagCycleEnd	Bool	%M1.1	Програмний цикл завершено
FlagEtap	Int	%MW2	Поточний етап програми
S1	Bool	%I1.0	Кнопка Start
S2	Bool	%I1.1	Кнопка Stop
S3	Bool	%I1.2	Перемикач з ключем (Auto/Man)
S4	Bool	%I1.3	Кнопка Reset
Start	Bool	%Q0.5	Лампа кнопки Start
Reset	Bool	%Q0.6	Лампа кнопки Reset
Q1	Bool	%Q1.0	Лампа Q1
Q2	Bool	%Q1.1	Лампа Q2

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було досліджено принципи функціонування кіберфізичних навчальних систем, зокрема комплексу Festo MPS Handling, та детально опрацьовано засоби збору і обробки даних. Отримані результати підтверджують, що інтеграція фізичних та цифрових компонентів у навчальний процес дозволяє значно підвищити ефективність підготовки спеціалістів для сучасного виробництва.

Проаналізовано структурні особливості Festo MPS Handling, його можливості для моделювання виробничих процесів та вивчення механізмів збору даних. Визначено ключові методи обробки інформації, що використовуються в кіберфізичних навчальних системах, а також способи їх оптимізації для покращення освітнього процесу.

Дослідження показало, що використання кіберфізичних навчальних комплексів сприяє розвитку практичних навичок здобувачів, даючи їм можливість безпосередньо працювати з технологіями індустрії 4.0. Крім того, навчальні системи такого типу дозволяють адаптувати навчальні програми до реальних вимог виробництва, формуючи у здобувачів навички аналізу даних та прийняття рішень у сфері керування системами.

Таким чином, результати роботи підтверджують актуальність використання кіберфізичних навчальних систем у сучасній освіті та відкривають перспективи їх подальшого вдосконалення шляхом інтеграції технологій штучного інтелекту та машинного навчання.

## Перелік посилань

1. MPS – Фабрики для вивчення мехатроніки [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.lu/vnqvaq> (дата звернення 08.05.2025);
2. Посібник Festo MPS [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.lu/oaewjw> (дата звернення 08.05.2025);
3. Програмований контролер серії SIMATIC S7-1200 [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.li/hlkdky> (дата звернення 18.05.2025);
4. Аксесуари для боксів та щитів [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.li/kjrrgf> (дата звернення 08.05.2025);
5. Системи для прокладання кабелю [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.li/gzoeud> (дата звернення 28.05.2025);
6. Прохідна клема на din-рейку [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.gd/dojmnj> (дата звернення 28.05.2025);
7. 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.

## Додаток А

Текст програми кіберфізичної системи навчального комплексу Festo  
MPS Handling для програмованого логічного контролера

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

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**  
**Кіберфізичної системи навчального комплексу Festo MPS Handling для**  
**програмованого логічного контролера**

Текст програми

804.02070743.25011-01 12 01

Листів 9

## АНОТАЦІЯ

Програма для кіберфізичної навчальної системи Festo MPS Handling, написана мовою LAD (Ladder Diagram), забезпечує управління технологічним обладнанням навчального комплексу. Вона реалізує збір та аналіз даних із датчиків, керування виконавчими механізмами та моніторинг стану системи в реальному часі, що дозволяє досліджувати принципи інтеграції фізичних і цифрових компонентів.

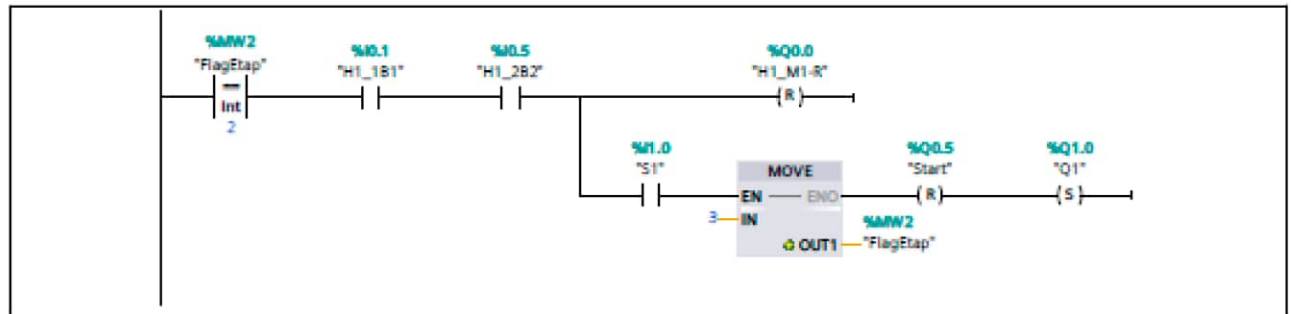
Ця програмна модель орієнтована на освітні завдання, забезпечуючи користувачам можливість моделювання реальних виробничих процесів і дослідження алгоритмів логічного керування.

**ЗМІСТ**

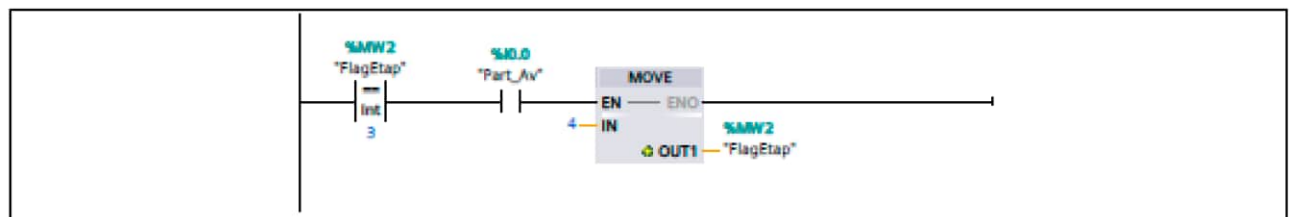
	Стор.
1. Програмний блок Main (OB1)	4
2. Програмний блок StartUp (OB100)	8
3. Системний блок Timer (DB1)	9

Totally Integrated Automation Portal																																			
<h2>Program blocks</h2> <h3>Main [OB1]</h3>																																			
<b>Main Properties</b>																																			
<b>General</b>																																			
Name	Main	Number	1	Type	OB																														
Language	LAD	Numbering	Automatic																																
<b>Information</b>																																			
Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	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>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>						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				
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																																			
<b>Network 1: Перехід між етапами 0-1 функціональної діаграми</b>																																			
Вмикається лампа кнопки Reset																																			
<b>Network 2: Перехід між етапами 1-2 функціональної діаграми</b>																																			
Переміщення механізму захоплення у напрямку наступної за потоком станції																																			
<b>Network 3: Перехід між етапами 2-3 функціональної діаграми</b>																																			

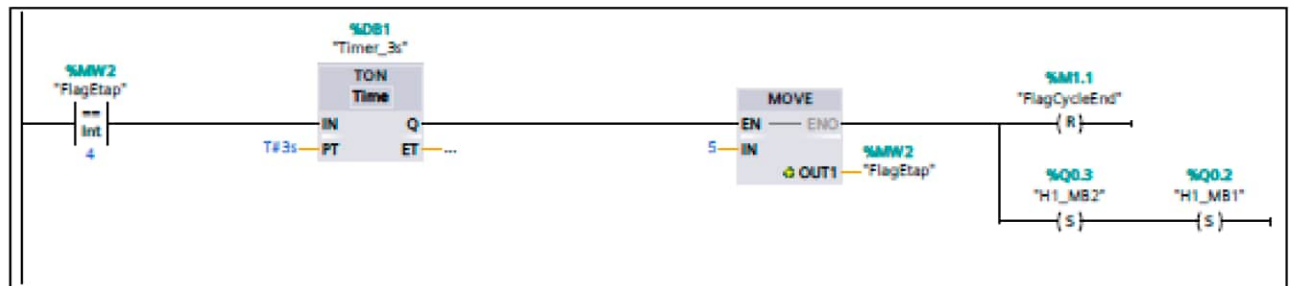
Totally Integrated  
Automation Portal



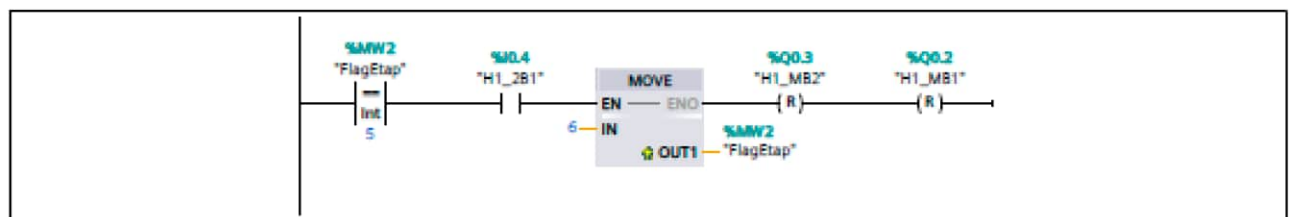
Network 4: Перехід між етапами 3-4 функціональної діаграми



Network 5: Перехід між етапами 4-5 функціональної діаграми

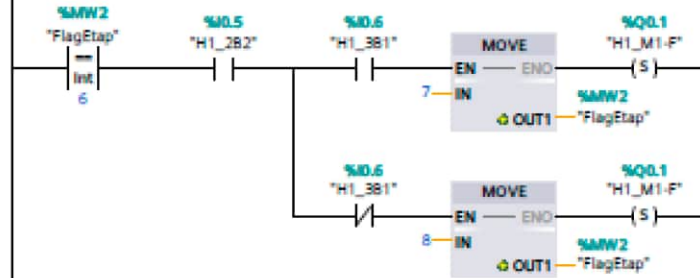


Network 6: Перехід між етапами 5-6 функціональної діаграми

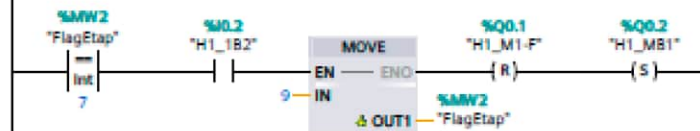


Network 7: Перехід між етапами 6-7 та 6-8 функціональної діаграми

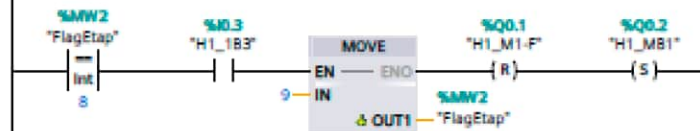
Totally Integrated  
Automation Portal



Network 8: Перехід між етапами 7-9 функціональної діаграми



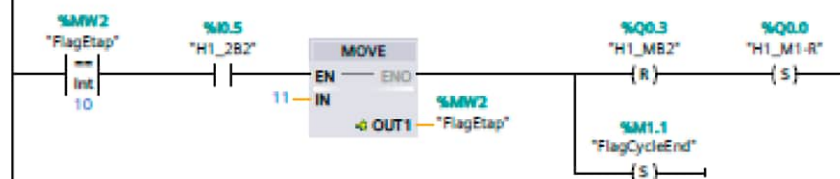
Network 9: Перехід між етапами 8-9 функціональної діаграми



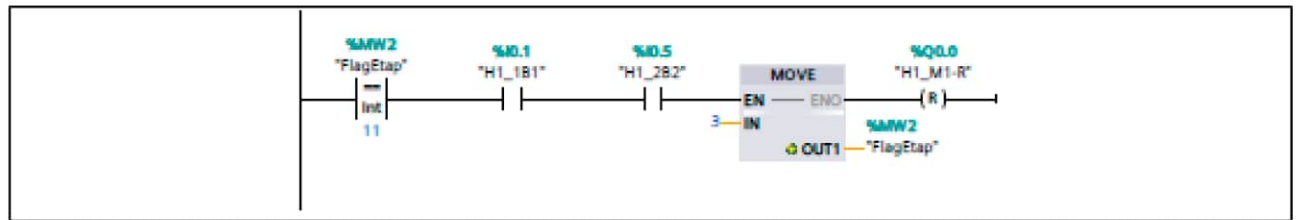
Network 10: Перехід між етапами 9-10 функціональної діаграми



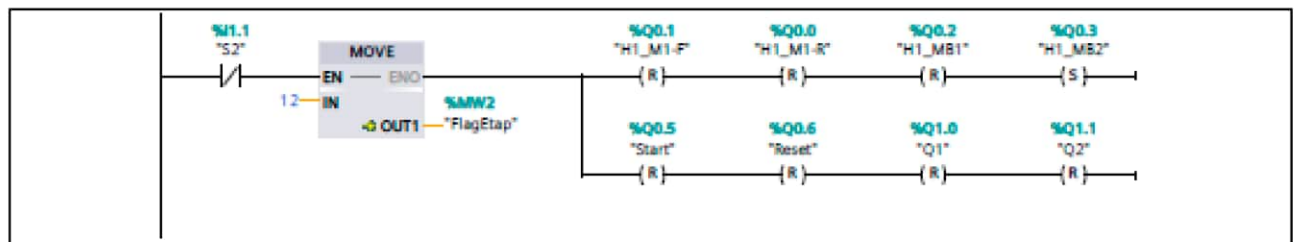
Network 11: Перехід між етапами 10-11 функціональної діаграми



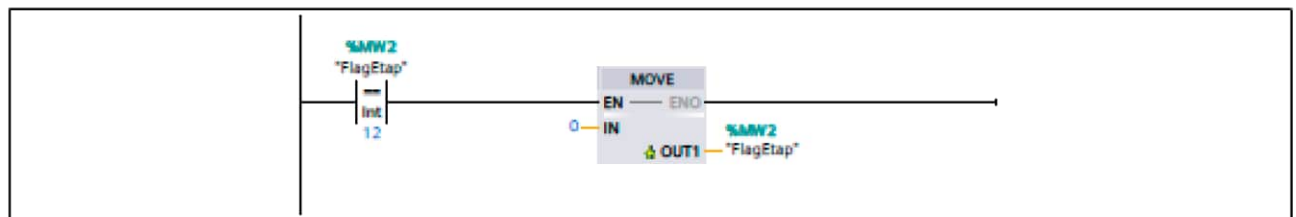
## Network 12: Перехід між етапами 11-4 функціональної діаграми



## Network 13: Обробка натискання кнопки "Stop" Етап12 функціональної діаграми



## Network 14: Перехід між етапами 12-1 функціональної діаграми



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: Вимкнути всі механізми</b>																																
<b>Network 2: Вимкнути всі лампи</b>																																
<b>Network 3: Скидання програмних прапорців</b>																																
<b>Network 4: Всиановлення Етапу 0</b>																																

Totally Integrated Automation Portal									
<h2>Program blocks / System blocks / Program resources</h2> <h3>Timer_3s [DB1]</h3>									
<b>Timer_3s Properties</b>									
<b>General</b>									
Name	Timer_3s	Number	1	Type	DB				
Language	DB	Numbering	Automatic						
<b>Information</b>									
Title		Author	Simatic	Comment					
Family	IEC	Version	1.0	User-defined ID	IEC_TMR				
<b>Name</b>	<b>Data type</b>	<b>Start value</b>	<b>Retain</b>	<b>Accessible from HM/IO PC UA</b>	<b>Writable from HM/IO PC UA</b>	<b>Visible in HMI engineering</b>	<b>Set-point</b>	<b>Supervision</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		