

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 Максютенко Віталія Павловича
(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 демонстраційного стенду Festo MPS Sorting з
детальним опрацюванням людино-машинного інтерфейсу»
(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.			
Рецензент				
Нормоконтролер	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 Максютенко В.П. академічної групи 123-22ск-1
(прізвище, ініціали)(шифр)

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

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

на тему «Кіберфізична система демонстраційного стенду Festo MPS Sorting з
детальним опрацюванням людино-машинного інтерфейсу»

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 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 16.06.2025 р.

Прийнято до виконання _____

Максютенко В.П.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 64 с., 19 рис., 7 табл., 1 додаток, 6 джерел.

КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, ЛЮДИНО-МАШИННИЙ ІНТЕРФЕЙС, FESTO MPS SORTING, PLC, TIA PORTAL, HMI, СОРТУВАННЯ, СЕНСОРИ, PROFINET

Об'єкт розробки: Кіберфізична система демонстраційного стенду Festo MPS Sorting, яка реалізує технологічний процес сортування об'єктів із використанням програмованого логічного контролера (PLC), сенсорних елементів та людино-машинного інтерфейсу (HMI).

Мета: Розробити та дослідити кіберфізичну систему на базі демонстраційного стенду Festo MPS Sorting з акцентом на створення ефективного людино-машинного інтерфейсу (HMI) для забезпечення зручного управління, моніторингу та візуалізації процесу сортування.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці та дослідженню кіберфізичної системи на базі демонстраційного стенду Festo MPS Sorting, що моделює процес сортування деталей. У роботі розглянуто архітектуру системи, принципи взаємодії фізичних компонентів із програмним забезпеченням, а також реалізацію ефективного людино-машинного інтерфейсу.

Для побудови керуючої логіки використано середовище TIA Portal та програмований логічний контролер Siemens S7-1200. Описано реалізацію обміну даними через мережу PROFINET, налаштування сенсорів, виконавчих механізмів та візуалізацію технологічного процесу. Значну увагу приділено створенню інтуїтивного HMI для відображення станів системи та управління режимами роботи.

У результаті виконаної роботи спроектовано функціональний демонстраційний стенд, який наочно ілюструє принципи роботи сучасних кіберфізичних систем та підходи до побудови інтерфейсів у промислових системах.

ЗМІСТ

Реферат.....	3
Зміст	4
Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	6
Вступ.....	7
1. Стан питання і постановка завдання.....	8
1.1 Роль і значення стендів кіберфізичних систем у професійній діяльності.....	8
1.2 Характеристика, структура, особливості, умови роботи демонстраційного стенду кіберфізичної системи Festo MPS Sorting.....	9
1.2.1 Характеристика об'єкту.....	9
1.2.2 Структура кіберфізичної системи Festo MPS Sorting.....	10
1.2.3 Особливості роботи Festo MPS Sorting.....	12
1.2.4 Умови роботи об'єкту.....	13
1.2.5 Недоліки та проблеми, які має вирішити система.....	14
1.2.6 Основні технічні параметри та структура дидактичного стенду.....	15
1.2.7 Специфікація сигналів стенду Festo MPS Sorting.....	19
1.2.8 Функціонал та опис послідовностей роботи станції Festo MPS Sorting.....	20
1.3 Аналіз існуючих аналогів демонстраційних систем.....	21
1.4 Обґрунтування вибраного напрямку вирішення задачі для об'єкта впровадження.....	23
1.5 Мета і задачі і роботи, що виконується.....	24
2. Технічні вимоги до кіберфізичної системи.....	26
2.1 Вимоги до структури і функціонування Системи.....	26
2.2 Вимоги до показників призначення.....	31
2.3 Додаткові вимоги.....	32
3. Розробка апаратної частини.....	40
3.1 Розробка структурної схеми комплексу технічних засобів Системи.....	40

3.2	Аналіз вхідних і вихідних сигналів Системи.....	40
3.3	Вибір і обґрунтування апаратних засобів Системи.....	45
3.4	Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу Системи.....	54
	Висновки.....	63
	Перелік посилань.....	64
	Додаток А Текст програми (налаштування екранних форм) кіберфізичної системи демонстраційного стенду Festo MPS Sorting для HMI.....	65

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

PLC	– (Programmable Logic Controller) програмований логічний контролер, пристрій для автоматизації виробничих процесів
HMI	– (Human-Machine Interface) інтерфейс людина-машина, технологія для взаємодії користувача з пристроями та системами
КФС	– (КіберФізична Система) це інтеграція фізичних процесів із цифровими технологіями, що дозволяє здійснювати контроль, моніторинг та автоматизацію в реальному часі. Вона поєднує сенсори, актуатори, обчислювальні блоки та комунікаційні модулі для ефективного управління складними системами
PROFINET	– (Process Field Net) промисловий стандарт Ethernet для автоматизації, розроблений організацією Profibus & Profinet International. Він забезпечує швидку та надійну передачу даних між PLC та пристроями, такими як датчики, актуатори та приводи
КТЗ	– (Комплекс Технічних Засобів) сукупність апаратних і програмних компонентів, що забезпечують виконання певних функцій у різних сферах діяльності. Він може включати комп'ютерні системи, мережеве обладнання, засоби автоматизації, датчики, контролери та інші пристрої
ПЛК	– (Програмований логічний контролер) електронний пристрій, який використовується для автоматизації технологічних процесів, таких як керування конвеєрною лінією, насосами на станціях водопостачання, верстатами з числовим програмним керуванням тощо
ПК	– (Персональний комп'ютер) пристрій для обробки даних, що використовується в офісах, навчальних закладах та вдома
DC	– (Direct Current) постійний струм, тип електричного струму, що тече в одному напрямку
TIA Portal	– (Totally Integrated Automation Portal) програмне середовище від Siemens для розробки, програмування та управління автоматизованими системами. Воно об'єднує різні інструменти для роботи з ПЛК, HMI, приводами та мережами, що значно спрощує процес інженерії
LAD	– (Ladder Diagram) графічна мова програмування для PLC Siemens. Вона використовується для створення логічних схем, які нагадують електричні релейні схеми, що робить її зручною для інженерів, знайомих із традиційною релейною логікою

ВСТУП

Сучасні тенденції у сфері промислової автоматизації невід’ємно пов’язані з розвитком кіберфізичних систем, які забезпечують тісну інтеграцію між фізичними об’єктами, програмним забезпеченням та засобами комунікації. Такі системи є основою концепції Індустрії 4.0 та відіграють ключову роль у підвищенні гнучкості, надійності та ефективності виробничих процесів.

Одним із важливих елементів кіберфізичних систем є людино-машинний інтерфейс, який забезпечує взаємодію оператора з технічним об’єктом, дозволяє здійснювати контроль, моніторинг та діагностику обладнання в режимі реального часу. Ефективність НМІ безпосередньо впливає на зручність експлуатації системи, оперативність прийняття рішень та безпеку виробництва.

В рамках даної кваліфікаційної роботи об’єктом дослідження обрано демонстраційний стенд Festo MPS Sorting, який моделює процес технології сортування об’єктів. Цей стенд є типовим прикладом навчальної моделі кіберфізичної системи, що включає сенсорні елементи, виконавчі механізми та програмований логічний контролер (PLC).

Розробка людино-машинного інтерфейсу до такої системи дозволяє на практиці продемонструвати основи проектування сучасних НМІ для промислових застосувань, а також отримати цінний досвід роботи з інструментальними засобами автоматизації, зокрема середовищем TIA Portal та контролерами Siemens S7-1200.

Актуальність обраної теми зумовлена широким впровадженням цифрових технологій у виробничі процеси та необхідністю підготовки фахівців, здатних розробляти, налагоджувати та обслуговувати кіберфізичні системи з інтегрованими інтерфейсами користувача.

1. СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Роль і значення стендів кіберфізичних систем у професійній діяльності

У сучасних умовах розвитку промисловості, що дедалі більше орієнтується на цифровізацію та автоматизацію, важливого значення набувають кіберфізичні системи (КФС). Вони поєднують у собі фізичні процеси, вбудоване керування, сенсори, виконавчі механізми, програмне забезпечення та засоби комунікації. Такі системи формують основу концепції Індустрія 4.0, спрямованої на створення «розумних» фабрик, де процеси самостійно координуються в реальному часі.

Об'єктом професійної діяльності в рамках цієї роботи є демонстраційний стенд Festo MPS Sorting, який використовується як навчально-лабораторна платформа для дослідження принципів роботи автоматизованих виробничих систем. Стенд дозволяє наочно демонструвати процес сортування об'єктів за фізичними ознаками, а також реалізовувати задачі контролю, діагностики та взаємодії між апаратною та програмною частинами системи.

Festo MPS Sorting є типовим прикладом компактної кіберфізичної системи, що містить такі ключові компоненти:

- програмований логічний контролер (PLC),
- набір сенсорів і виконавчих механізмів,
- модулі зв'язку (наприклад, PROFINET),
- візуалізаційні та керуючі елементи HMI.

Роль цього об'єкта в професійній діяльності фахівця з кіберфізичних систем або мехатроніки полягає у:

- вивченні принципів побудови та керування кіберфізичними системами;
- набутті практичних навичок з програмування ПЛК;
- проектуванні людино-машинних інтерфейсів;
- впровадженні засобів промислової комунікації;
- діагностиці та модифікації кіберфізичних систем відповідно до вимог виробництва.

Таким чином, Festo MPS Sorting відіграє важливу роль у формуванні професійних компетентностей, необхідних для розробки та обслуговування сучасних кіберфізичних систем. Його значення полягає не лише у навчальному аспекті, а й у моделюванні реальних виробничих процесів, що дозволяє апробувати рішення, наближені до практичної діяльності.

1.2 Характеристика, структура, особливості, умови роботи демонстраційного стенду кіберфізичної системи Festo MPS Sorting

1.2.1 Характеристика об'єкту

Демонстраційний стенд Festo MPS Sorting є модульною навчальною системою, що входить до складу серії Modular Production System (MPS) компанії Festo Didactic. Цей стенд призначений для моделювання та вивчення процесів технології сортування деталей за визначеними ознаками (колір або матеріал). Його структура відображає типову конфігурацію вузла виробництва, що забезпечує подачу, ідентифікацію та розподіл об'єктів у відповідні зони.

Основними складовими об'єкта є:

механічна частина – включає транспортерну систему, лотки для подачі та сортування деталей, механізми переміщення об'єктів (пневматичні штовхачі, електричні стопери);

сенсорика – представлена датчиками положення, індуктивними, оптичними та кольоровими сенсорами, що здійснюють ідентифікацію параметрів деталей;

виконавчі пристрої – електропривід транспортера, пневмоциліндр штовхача, що виконують фізичне переміщення об'єктів відповідно до логіки керування;

контролер – програмований логічний контролер, який забезпечує збір даних від сенсорів, логічну обробку та формування команд керування. Конфігурація має визначитись в ході виконання кваліфікаційної роботи;

засоби зв'язку – застосовуються для обміну даними між контролером та іншими пристроями або системами. Мають визначитись в ході виконання кваліфікаційної роботи;

панель оператора – фізична панель, яка дозволяє запускати та зупиняти процес, відстежувати стан компонентів;

людино-машинний інтерфейс – панель оператора, яка паралельно до панелі оператора дозволяє запускати та зупиняти процес, відстежувати стан компонентів, переглядати повідомлення про помилки та змінювати параметри роботи. онфігурація має визначитись в ході виконання кваліфікаційної роботи.

Festo MPS Sorting може дозволяти реалізувати як прості сценарії сортування, так і більш складні, багатоступеневі алгоритми, що робить його гнучким інструментом для навчання та експериментів. Система відзначається модульністю, що забезпечує легку зміну конфігурації та масштабованість, а також високим ступенем відповідності до умов реального виробництва.

Завдяки інтеграції апаратних та програмних засобів, даний об'єкт є ідеальним прикладом кіберфізичної системи, у якій фізичні процеси безпосередньо пов'язані з цифровими технологіями керування та візуалізації.

1.2.2 Структура кіберфізичної системи Festo MPS Sorting

Кіберфізична система демонстраційного стенду Festo MPS Sorting є прикладом інтегрованого технічного рішення, що поєднує в собі фізичні компоненти, вбудовані системи керування, цифрові моделі та засоби комунікації для забезпечення технології сортування об'єктів.

Загальна структура кіберфізичної системи стенду включає три основні взаємопов'язані рівні:

1) Фізичний рівень. Цей рівень відповідає за безпосередню взаємодію з об'єктами сортування та реалізацію технологічного процесу. До його складу входять: транспортна система (конвеєр), сенсорні пристрої (оптичні датчики положення, індуктивний датчик, оптичний кольоровий сенсор), виконавчі механізми (електропривод, пневмоциліндр стопера, електричні сепаратори), об'єкти сортування (моделі деталей різного кольору та матеріалу).

Цей рівень виконує зчитування фізичних параметрів об'єктів і впливає на їх рух відповідно до заданих алгоритмів.

2) Рівень контролю. Центральним елементом цього рівня є програмований логічний контролер, який виконує такі функції: обробка сигналів від сенсорів, реалізація алгоритмів керування відповідно до заданої логіки, формування команд на виконавчі пристрої, обмін даними з НМІ та іншими пристроями через промислові протоколи.

Контролер забезпечує зв'язок між фізичними об'єктами та цифровою логікою управління, реалізуючи інтелектуальну частину системи.

3) Інформаційно-візуалізаційний рівень. Цей рівень представлений людино-машинним інтерфейсом, у вигляді панелі оператора та/або SCADA-системи. Його функції: виведення інформації про стан системи в реальному часі, індикація роботи системи, зміна параметрів роботи, ручне управління процесами запуску, зупинки, скидання.

НМІ забезпечує зручну взаємодію оператора з технічним об'єктом, підвищує прозорість процесу і полегшує технічне обслуговування.

Усі рівні системи мають взаємодіяти через вбудовані комунікаційні канали, що забезпечує швидкий і надійний обмін даними. Завдяки цьому система може працювати в реальному часі, реагуючи на зміну станів з мінімальною затримкою.

Структурно кіберфізична система Festo MPS Sorting демонструє всі основні ознаки сучасних виробничих систем: гнучкість, модульність, інтеграцію програмного та апаратного забезпечення, можливість візуалізації та дистанційного моніторингу (рисунок 1.1).

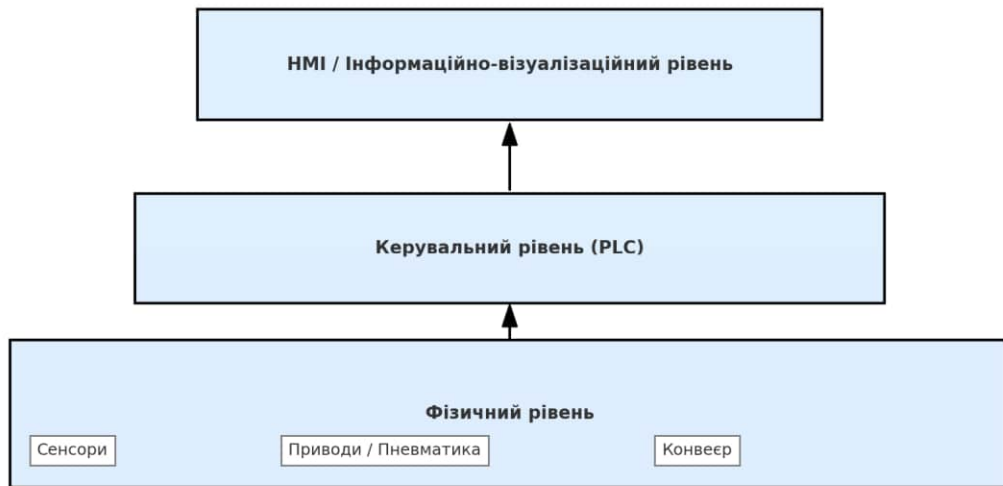


Рисунок 1.1 – Укрупнена структурна схема кіберфізичної системи демонстраційного стенду Festo MPS Sorting

1.2.3 Особливості роботи Festo MPS Sorting

Стенд Festo MPS Sorting призначений для демонстрації технологічного процесу сортування об'єктів за заданими критеріями. Його робота заснована на тісній взаємодії механічних, електронних та програмних компонентів, які функціонують у межах єдиної кіберфізичної системи. Процес починається з подачі деталі на транспортерну стрічку, після чого об'єкт переміщується в зону ідентифікації. Далі за допомогою сенсорів здійснюється ідентифікація його параметрів, зокрема кольору та матеріалу. Зібрана інформація передається до контролера, який аналізує дані та приймає рішення щодо напрямку подальшого руху об'єкта. Залежно від цього рішення, виконавчі механізми переміщують деталь у відповідний відсік. Увесь процес має супроводжуватися зворотним зв'язком та візуалізацією через панель оператора.

Серед особливостей роботи Festo MPS Sorting слід виділити модульність конструкції, що дозволяє легко адаптувати систему під різні завдання, а також підтримку роботи в режимі реального часу завдяки швидкому обміну даними між компонентами. Система має підтримувати промислові протоколи обміну, завдяки чому її можна інтегрувати в більші комплекси. Оскільки стенд призначений насамперед для навчальних цілей, він має значний дидактичний потенціал – дає

змогу вивчати основи роботи з кіберфізичними системами, роботу ПЛК, сенсорних систем і людино-машинної взаємодії. У цілому система Festo MPS Sorting є прикладом сучасного, гнучкого та ефективного рішення для моделювання виробничих процесів на основі принципів кіберфізичних систем.

1.2.4 Умови роботи об'єкту

Стенд Festo MPS Sorting призначений для експлуатації у навчальних лабораторіях, інженерних аудиторіях або демонстраційних залах в умовах закритих приміщень. Основними умовами роботи цього об'єкта є стабільні електроживлення, допустимі параметри мікроклімату та дотримання вимог техніки безпеки при взаємодії з електромеханічними та пневматичними компонентами.

Система функціонує при номінальній напрузі живлення 24 В постійного струму, що подається на виконавчі елементи, сенсори та модулі вводу/виводу. Робота контролера передбачає підключення до стабільного джерела живлення та коректно налаштованої локальної мережі або НМІ-панелі. Уся система чутливо реагує на втрати напруги чи мережеві збої, тому рекомендовано використовувати джерела безперебійного живлення під час проведення тривалих демонстрацій або навчальних занять.

Температурний режим експлуатації стенду повинен відповідати нормам для електронного обладнання: оптимальною є температура від +10 до +35 °С при відносній вологості не більше ніж 75%. Забороняється розміщення стенду у вологих, запилених або агресивних середовищах, оскільки це може призвести до пошкодження сенсорів, корозії контактів або збоїв у роботі механіки.

Механічні компоненти (конвеєр, пневмоциліндри, штовхачі) потребують періодичної перевірки на наявність зношування, а також своєчасного обслуговування – зокрема, очищення, змащування та контроль правильності кріплень. При наявності пневматичних елементів необхідно забезпечити підключення до джерела стисненого повітря відповідної якості та тиску (зазвичай у межах 4–6 бар).

Оператор, який взаємодіє із системою, повинен мати базову підготовку з техніки безпеки, а також розуміння принципів роботи НМІ та ПЛК. Під час експлуатації необхідно уникати втручання у зону рухомих частин при включеному живленні, що особливо важливо під час налагодження або зміни режимів роботи.

1.2.5 Недоліки та проблеми, які має вирішити система

Стенд Festo MPS Sorting, як приклад кіберфізичної навчальної системи, має високу технологічну цінність та функціональність, проте при його застосуванні виявляються певні недоліки та обмеження, які потребують усунення або покращення в процесі подальшого розвитку системи.

Одним із основних недоліків є відсутність візуалізації процесів (НМІ) в базовій конфігурації станції. Стандартна панель оператора може лише частково відображати стан обладнання, не забезпечуючи повноцінного зворотного зв'язку, графічної діагностики та деталізованого моніторингу всіх етапів сортування. Це знижує ефективність взаємодії оператора з системою та ускладнює навчальний процес. Впровадження людино-машинного інтерфейсу дозволить підвищити зручність управління та контроль за всіма параметрами.

Іншою проблемою є відсутність адаптивності до змін у характеристиках деталей, які подаються на сортування. У поточній реалізації система жорстко прив'язана до заздалегідь визначених критеріїв (наприклад, кольору або матеріалу), і не здатна автоматично підлаштовуватись до нових умов без перепрограмування контролера. Це знижує гнучкість системи та не дозволяє моделювати складніші або більш варіативні виробничі процеси.

Також варто зазначити обмежену масштабованість: в базовій комплектації стенд не передбачає легкого розширення до багатосекційної сортувальної лінії або підключення додаткових сенсорів і виконавчих механізмів без значних змін у схемі та програмному забезпеченні.

Серед інших потенційних недоліків – відсутність аналітичних функцій для збору статистики про роботу системи (кількість відсортованих об'єктів, помилки,

час циклів тощо), що було б корисно для аналізу ефективності та вдосконалення алгоритмів.

Усе перелічене свідчить про те, що система потребує вдосконалення – зокрема в частині розширення функціоналу людино-машинного інтерфейсу, підвищення адаптивності до нових умов, покращення захисту та аналітики. Саме на вирішення цих проблем і спрямована дана кваліфікаційна робота.

1.2.6 Основні технічні параметри та структура дидактичного стенду

Стенд Festo MPS Sorting є частиною навчального комплексу, призначеного для моделювання процесу сортування об'єктів. Його конструкція модульна, що дозволяє легко адаптувати обладнання до потреб навчального процесу або дослідницьких завдань. Загальний вигляд станції наведено на рисунку 1.2.

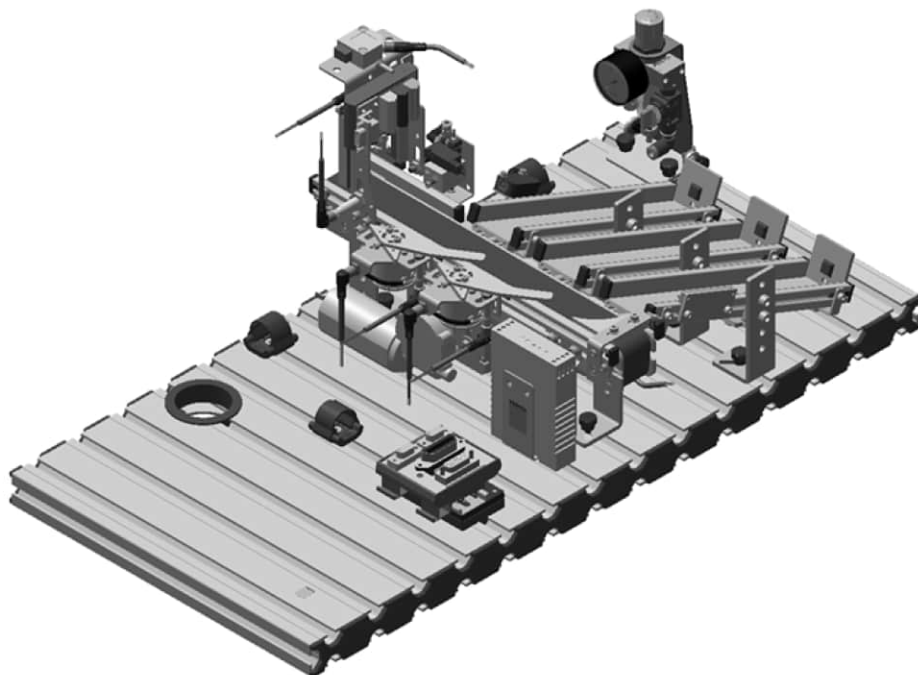


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд станції Festo MPS Sorting

Розглянемо основні компоненти, що входять до складу станції [2].

Сенсорний модуль виявлення. Включає індуктивний датчик та оптичні датчики для ідентифікації властивостей об'єктів (колір, матеріал).

Модуль виявлення здатний перевіряти наявність червоних, чорних та металевих заготовок. Виявляє матеріал або колір заготовок за допомогою 3

датчиків наближення з цифровим виходом. Використовується один індуктивний датчик наближення та два оптичні датчики наближення. Індуктивний датчик наближення виявляє металеву заготовку. Датчик дифузного світла виявляє червоні та металеві заготовки. Вилковий світловий бар'єр виявляє всі заготовки. Відповідні заготовки виявляються за допомогою логічної роботи вихідних сигналів. Модуль виявлення встановлено безпосередньо на конвеєрний модуль.

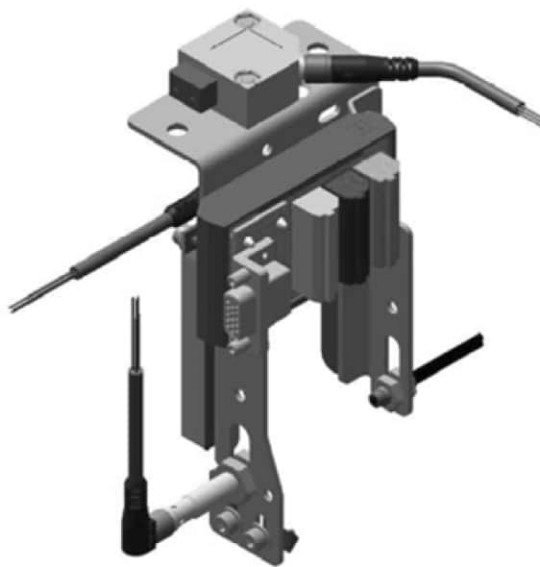


Рисунок 1.3 – Сенсорний модуль виявлення

Модуль стрічкового конвеєра. Конвеєрний модуль встановлено на профільну пластину. Конвеєрний модуль підходить для транспортування та розділення заготовок діаметром 40 мм (наприклад, комплекти заготовок типу «базовий корпус» або «циліндр для складання»). Приєднаний контролер двигуна дозволяє обертання за годинниковою стрілкою та проти годинникової стрілки. Конвеєрний модуль використовується для транспортування та буферизації заготовок. Оптичні датчики наближення з волоконно-оптичними кабелями використовуються для перевірки наявності заготовок перед сепаратором подачі та в кінці конвеєра. Конвеєрна стрічка приводиться в рух двигуном-редуктором постійного струму. Заготовки можна зупинити та розділити за допомогою приєданого електромагніту (соленоїда) з сепаратором. Кінцеві положення контролюються індуктивними датчиками наближення. Необхідні модифікації конвеєрного модуля.

Додатково на модулі конвеєра розташовано наступні компоненти: дефлектор, модуль пневматичного стопора; ретровідбивний датчик з відбивачем сигналу заповнення жолоба, індуктивний датчик наближення сигналу спрацьовування дефлектора 1, індуктивний датчик наближення сигналу спрацьовування дефлектора 2. За технологією конвеєрна стрічка рухається лише в одному напрямку.

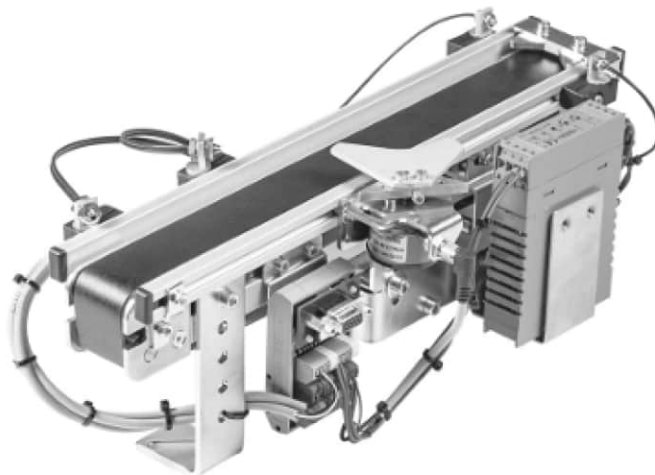


Рисунок 1.4 – Модуль стрічкового конвеєра

Модуль желобів. Модуль жолобів використовується для транспортування або зберігання заготовок. Модуль підходить для універсального використання завдяки регульованому нахилу та висоті. На жолоб поміщається 5 заготовок. У сортувальній станції використовуються три модулі жолобів. Заготовки, що надходять на конвеєрний модуль, зберігаються на модулі жолоба. Ретровідбиваючий датчик контролює рівень заповнення жолобів.

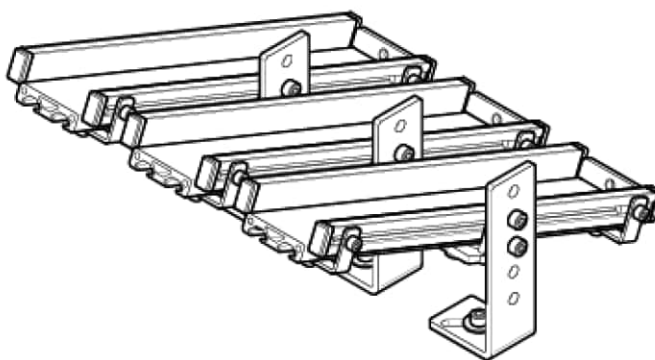


Рисунок 1.5 – Модуль желобів

Основні технічні характеристики станції наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики станції Festo MPS Sorting.

Параметр	Значення
Робочий тиск	600 кПа (6 бар)
Робоча напруга	24 В постійного струму, 4,5 А
Цифрові входи/виходи Входи: 7 Виходи: 4	Макс. 24 В пост. струму Макс. 2 А на вихід Макс. 4 А загалом
Електричне підключення	24-контактний роз'єм IEEE 488 (SysLink)
Пневматичне з'єднання	Пластикова труба із зовнішнім діаметром 6 мм
Витрата стисненого повітря при 600 кПа (безперервний цикл)	3 л/хв
Розміри	350 мм x 700 мм x 230 мм

Станції живляться від блоку живлення з вихідною напругою 24 В постійного струму (макс. 5 А).

За для керування станцією використовується панель оператора, яка має кнопки: Start, Stop, Reset, поворотний ключ Auto/Man та лампи Q1, Q2, лампа кнопки Старт, лампа кнопки Ресет. Зовнішній вигляд панелі наведено на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 – Панель оператора

Стенд має відкриту конструкцію, яка дозволяє студентам наочно вивчати роботу електромеханічних та пневматичних компонентів, аналізувати сигнали та слідувати за логікою функціонування всієї системи. Завдяки використанню промислових компонентів, стенд створює умови, максимально наближені до реальних виробничих процесів.

1.2.7 Специфікація сигналів стенду Festo MPS Sorting

Повна специфікація сигналів наведена у таблицях 1.2-1.3.

Таблиця 1.2 – Специфікація цифрових сигналів стенду Festo MPS Sorting.

Функція	SysLink	Колір	Позначення
I0	13	Сіро-рожевий	Заготовка на початку конвеєра
I1	14	Червоно-синій	Дефлектор 1 висунуто
I2	15	Біло-зелений	Слайд повний
I3	16	Коричнево-зелений	Дефлектор 2 висунутий
I4	17 років	Біло-жовтий	Виявлено заготовку
I5	18 років	Коричнево-жовтий	Заготовка не чорного кольору
I6	19 років	Біло-сірий	Металева заготовка
I7	20	Сіро-коричневий	
K0	1	Білий	Конвеєр вперед
K1	2	Коричневий	Висунути дефлектор 1
2-й квартал	3	Зелений	Висунути дефлектор 2
3-й квартал	4	Жовтий	Втягнутий стопор
4-й квартал	5	Сірий	
K5	6	Рожевий	
P6	7	Синій	
P7	8	Червоний	
24 В	9+10	Чорний	Живлення 24 В для виходів
24 В В	21+22	Біло-рожевий	Живлення 24 В для входів
ЗЕМЛЯ А	11	Коричнево-рожевий	Живлення 0 В для виходів
ЗЕМЛЯ А	12	Фіолетовий	Живлення 0 В для виходів
ЗЕМЛЯ В	23+24	Біло-блакитний	Живлення 0 В для входів

Таблиця 1.3 – Специфікація сигналів панелі оператора

Датчик	Вхід	Позначення
ПАНЕЛЬ_S1	E1.0	Кнопка «Пуск»
ПАНЕЛЬ_S2	E1.1	Кнопка зупинки (нормально замкнута)
ПАНЕЛЬ_S3	E1.2	Автоматичний/ручний перемикач
ПАНЕЛЬ_S4	E1.3	Кнопка скидання
Em_Stop	E1.5	АВАРІЙНИЙ СТОП розблоковано
Привід	Вихід	Позначення
ПАНЕЛЬ_P1	A1.0	Індикатор запуску
ПАНЕЛЬ_P2	A1.1	Індикатор (скидання)
ПАНЕЛЬ_P3	A1.2	Індикаторний жолоб повний
ПАНЕЛЬ_P4	A1.3	

1.2.8 Функціонал та опис послідовностей роботи станції Festo MPS Sorting

Сортувальна станція сортує заготовки на три жолоби. Заготовки, розміщені на початку конвеєрної стрічки, виявляються за допомогою вилючного світлового бар'єра. Заготовки зупиняються пневматичним стопором для визначення їхніх характеристик. Датчики в модулі виявлення визначають матеріал та колір заготовок (чорний, червоний, металевий). Заготовки сортуються на відповідні жолоби за допомогою електрично керованих дефлекторів. Ретровідбиваючий датчик контролює рівень заповнення жолобів.

Робота станції передбачає виконання наступних послідовностей:

Передумова запуску:

– заготовка на початку конвеєрної стрічки

Початкові налаштування:

–двигун конвеєра вимкнено;

–стопор висунуто;

– дефлектор 1 втягнуто;

– дефлектор 2 втягнуто;

– жолоби не заповнені.

Послідовність:

1. заготовка виявлена на початку конвеєрної стрічки;
2. двигун конвеєра ввімкнено;
3. виявлення кольору/матеріалу;

Виявлено чорну заготовку, завантажено в жолоб в кінці конвеєрної стрічки

4. відведення стопора;
5. заготовку відсортовано;
6. крок холостого ходу.

Виявлено металеву заготовку, завантажено в жолоб посередині конвеєрної стрічки:

7. висунути дефлектор 2;
8. відведення стопора;
9. заготовку відсортовано;
10. відведення дефлектора 2.

Виявлено червону заготовку, вона зберігається в жолобі на початку конвеєрної стрічки:

11. висунути дефлектор 1;
12. втягнути стопор;
13. заготовку відсортовано;
14. втягнути дефлектор 1;
15. двигун конвеєра вимкнено;
16. всунути стопор.

1.3 Аналіз існуючих аналогів демонстраційних систем

На сучасному етапі розвитку автоматизованих та кіберфізичних систем існує низка навчальних і промислових рішень, які аналогічні за функціональністю до стенду Festo MPS Sorting. Їх аналіз дозволяє оцінити переваги та недоліки різних підходів до побудови сортувальних систем, а також обґрунтувати вибір технологічного рішення для створення людино-машинного інтерфейсу.

Одним із основних аналогів є *Стенди компанії Siemens*, зокрема системи, побудовані на базі контролерів серії S7-1200 або S7-1500 із застосуванням модулів TIA Portal, HMI Comfort Panels та систем автоматизації. Такі стенди орієнтовані на промислове навчання і дозволяють моделювати процеси сортування, транспортування та обробки. Вони мають потужну програмну підтримку, проте часто складніші в налаштуванні та менш гнучкі щодо конфігурації механічних елементів.

Іншим прикладом є *системи від компанії Bosch Rexroth*, які також орієнтовані на навчання в галузі мехатроніки. Ці комплекси оснащені сучасними контролерами, сенсорами та програмним забезпеченням для розробки автоматизованих процесів. Bosch Rexroth акцентує увагу на відкритій архітектурі та гнучкості систем, але їх вартість значно вища, ніж у стандартних навчальних стендів.

EduTrainer від Festo – ще один варіант навчального стенду, який базується на концепції модульного навчання. Ця система сумісна з контролерами різних виробників та підтримує інтеграцію з іншими лабораторними модулями. Проте на відміну від MPS Sorting, у неї менш виражений акцент на повноцінний процес сортування та автоматизоване відслідковування виробничого циклу.

Також варто згадати власноруч створені лабораторні макети, які виготовляються навчальними закладами з використанням *Arduino, Raspberry Pi* або недорогих ПЛК. Такі рішення мають низьку вартість, гнучкі можливості для адаптації, але зазвичай поступаються за надійністю, точністю роботи та стабільністю промисловим стендам.

У порівнянні з переліченими аналогами, Festo MPS Sorting має такі переваги:

- промислові компоненти з високою надійністю;
- повна сумісність із системами Siemens (PLC, HMI, TIA Portal);
- відкритість архітектури для програмування та зміни конфігурацій;
- модульність, що полегшує розширення функціоналу;
- зосередженість на процесі сортування як основному навчальному об'єкті.

Таким чином, стенд Festo MPS Sorting успішно поєднує промислову точність і гнучкість навчального комплексу, залишаючись одним із найкращих рішень для моделювання сучасних кіберфізичних систем у навчальному процесі.

1.4 Обґрунтування вибраного напрямку вирішення задачі для об'єкта впровадження

Стенд Festo MPS Sorting є частиною навчального обладнання, що дозволяє моделювати процес сортування деталей. Однак на момент початку розробки кваліфікаційної роботи даний стенд не обладнаний програмованим логічним контролером та не має реалізованого людино-машинного інтерфейсу, що суттєво обмежує можливості його використання як повноцінної кіберфізичної системи.

Відсутність ПЛК унеможливує автоматичне керування процесами, а відсутність НМІ – ускладнює взаємодію користувача з системою, не дозволяючи налаштовувати параметри роботи, спостерігати за станом компонентів у реальному часі чи отримувати повідомлення про збої або помилки. Це знижує як навчальну, так і технічну ефективність стенду.

З огляду на це, вибраний напрямок вирішення задачі полягає в інтеграції програмованого логічного контролера (попередньо – Siemens S7-1200) та розробці функціонального НМІ, що дозволить:

- автоматизувати роботу стенду відповідно до заданих алгоритмів сортування;
- забезпечити зручну взаємодію користувача з системою завдяки візуалізації даних, кнопкам керування, повідомленням та діагностичній інформації;
- створити повноцінну кіберфізичну систему, в якій буде реалізовано зв'язок між фізичними компонентами (датчиками, приводами), логікою керування (ПЛК) та інтерфейсом оператора (НМІ);
- розширити навчальні можливості стенду, зробивши його ближчим до реальних виробничих умов на підприємствах.

Такий підхід відповідає сучасним вимогам до кіберфізичних систем і концепції Індустрії 4.0. Він також дозволяє поєднати апаратну частину стенду з цифровими технологіями керування, забезпечуючи реалізацію ключових принципів кіберфізичних систем – інтеграцію, автоматизацію, гнучкість і доступність даних для користувача.

У результаті впровадження обраного рішення буде підвищено функціональність і ефективність стенду, а також досягнута мета кваліфікаційної роботи – побудова кіберфізичної системи із зручним людино-машинним інтерфейсом на базі Festo MPS Sorting.

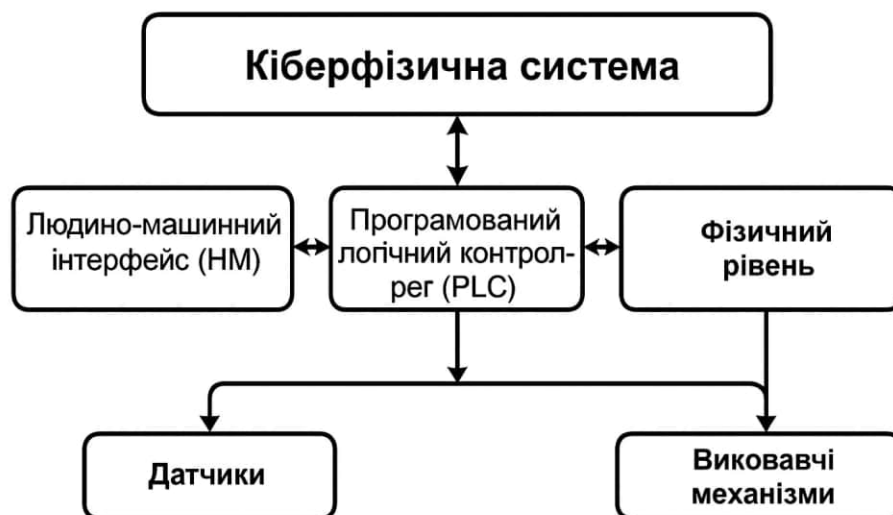


Рисунок 1.7 – Схема функціональної структури кіберфізичної системи демонстраційного стенду Festo MPS Sorting

1.5 Мета і задачі і роботи, що виконуються

Мета кваліфікаційної роботи полягає у створенні кіберфізичної системи на основі демонстраційного стенду Festo MPS Sorting з реалізацією ефективного людино-машинного інтерфейсу, керування обладнанням на базі програмованого логічного контролера, а також організацією обміну даними між усіма компонентами системи.

Досягнення цієї мети передбачає розв’язання комплексу взаємопов’язаних технічних і проєктних завдань, що охоплюють як аналіз об’єкта впровадження, так і розробку програмно-апаратної частини системи.

Основні задачі, які необхідно виконати в межах кваліфікаційної роботи:

- провести аналіз конструкції, принципу дії та особливостей роботи демонстраційного стенду Festo MPS Sorting;
- визначити технічні обмеження, недоліки та потенціал модернізації стенду для реалізації повноцінної кіберфізичної системи;
- сформулювати технічні вимоги до створюваної системи, враховуючи її функціональність, зручність керування, надійність і масштабованість;
- обґрунтувати та виконати вибір програмованого логічного контролера, який буде забезпечувати керування всіма етапами сортування;
- обрати відповідну панель оператора для реалізації людино-машинного інтерфейсу, сумісну з обраним ПЛК і здатну забезпечити ефективну візуалізацію та керування;
- розробити SCADA-інтерфейс, який відображатиме стан системи, повідомлення, параметри процесу, та надаватиме оператору можливість впливати на хід роботи в режимі реального часу.
- налаштувати обмін даними між ПЛК та НМІ із використанням промислового протоколу, забезпечити коректну синхронізацію сигналів та стабільну роботу системи;
- провести тестування роботи створеної кіберфізичної системи на стенді, виявити та усунути потенційні помилки або недоліки.

Результатом виконання цих задач стане побудова повноцінної, функціонально завершеної кіберфізичної системи на базі Festo MPS Sorting, яка забезпечить технологію сортування деталей та ефективну взаємодію оператора з системою через зручний візуалізований інтерфейс.

2. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ

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

Система призначена для моделювання, дослідження та навчання основам керування технологією сортування об'єктів у виробничих умовах з використанням сучасних технологій та пристроїв. Система поєднує фізичні компоненти (датчики, виконавчі механізми, транспортер), засоби програмного керування та візуалізації, що дозволяє наочно демонструвати принципи роботи кіберфізичних систем. Її застосування забезпечує формування практичних навичок у галузі кіберфізичних систем, програмування логіки керування, організації обміну даними між компонентами системи, а також взаємодії оператора з обладнанням через людино-машинний інтерфейс. Стенд використовується як навчально-дослідна платформа для проведення лабораторних робіт, курсових і кваліфікаційних проєктів, а також для ознайомлення з принципами Індустрії 4.0 та цифрового виробництва.

2.1 Вимоги до структури і функціонування Системи

2.1.1 Перелік функціональних складових чи підсистем, їхнє призначення

Система складається з низки функціональних підсистем, кожна з яких виконує визначене завдання в межах загального технологічного процесу сортування. Основні складові та їх призначення подано нижче:

– *механічний модуль сортування*, що забезпечує транспортування й розподіл об'єктів (деталей) на основі заданих характеристик. Включає транспортерну стрічку, механізм подачі, сортувальні пристрої та фіксатори положення;

– датчики (сенсорна система), що відповідають за виявлення об'єктів, ідентифікацію їх властивостей (колір, матеріал), контроль положення. Забезпечують зворотний зв'язок системи в реальному часі;

– програмований логічний контролер має виконувати обробку вхідних сигналів, реалізовувати алгоритм керування та формувати команди на виконавчі механізми. Є основною обчислювальною та керуючою ланкою системи;

– модулі введення/виведення (за необхідності), що мають здійснювати інтерфейсну взаємодію між ПЛК і зовнішніми пристроями (датчиками та механізмами), дозволяючи приймати сигнали та передавати команди;

– НМІ-панель (панель оператора), яка має слугувати засобом людино-машинної взаємодії. Давати змогу оператору спостерігати за станом Системи, вводити параметри, запускати та зупиняти процес;

– SCADA-система, що має забезпечувати розширену візуалізацію, моніторинг процесу в реальному часі та аналітичну обробку інформації.

– комунікаційна інфраструктура, що включає мережеві з'єднання, які мають забезпечувати обмін даними між усіма складовими Системи, синхронізацію їх роботи та віддалене керування.

– блок живлення та електротехнічні компоненти, що забезпечують електроживлення всіх функціональних частин системи, захист від перевантажень і надійність роботи всієї схеми.

Ці підсистеми разом формують цілісну кіберфізичну систему, що поєднує апаратну та програмну компоненти для гнучкого й наочного виконання процесу сортування.

2.1.2 Вимоги до способів і засобів зв'язку для інформаційного обміну між компонентами Системи

Для забезпечення надійного функціонування Системи критично важливим є коректно організований обмін інформацією між усіма її компонентами. Система включає датчики, виконавчі механізми, ПЛК, НМІ-панель, а також (за потреби) SCADA-сервер. Кожен з цих елементів має бути інтегрований у загальну комунікаційну інфраструктуру з урахуванням низки технічних вимог до зв'язку.

До основних вимог належать:

Швидкодія та реальний час. Комунікаційні засоби мають забезпечувати швидкий обмін даними з мінімальною затримкою, особливо при взаємодії ПЛК із сенсорами та виконавчими механізмами. Що дозволяє виконувати керування в режимі реального часу.

Сумісність протоколів. Усі компоненти Системи мають підтримувати один або кілька спільних індустріальних протоколів, таких як PROFINET, Modbus TCP, Ethernet/IP або OPC UA. Для інтеграції HMI та SCADA особливо важливою є підтримка OPC UA як стандарту для вертикального обміну даними.

Масштабованість. Система зв'язку має дозволяти додавання нових пристроїв (модулів) без повного переобладнання мережі. Це актуально для навчальних цілей, де Система може розширюватися.

Детермінованість. У промислових умовах, навіть навчального типу, важливо, щоб час доставки повідомлення був передбачуваним і постійним. Це особливо важливо для циклічних процесів.

Відмовостійкість і діагностика. Комунікаційна мережа має забезпечувати можливість діагностики з'єднань, виявлення збоїв у роботі пристроїв, відновлення зв'язку після збоїв.

Простота інтеграції та налаштування. Засоби зв'язку мають бути легко конфігурованими в середовищі програмування (наприклад, TIA Portal), що спрощує навчання та адаптацію системи до нових задач.

Ураховуючи ці вимоги, доцільним є використання індустріальної мережі на базі Ethernet, зокрема PROFINET, як основного способу обміну даними між ПЛК, HMI та, за потреби, SCADA. Для підключення датчиків і виконавчих механізмів можуть застосовуватись безпосередні цифрові входи/виходи або протоколи типу IO-Link.

2.1.3 Вимоги до характеристик взаємозв'язків створюваної Системи із суміжними Системами

Система повинна бути здатною ефективно взаємодіяти із суміжними системами, що можуть входити до складу навчального комплексу або бути частиною більш широкої виробничої чи освітньої інфраструктури. Для цього система має відповідати певним вимогам до характеристик взаємозв'язків. Насамперед важливою є відкритість та підтримка стандартних комунікаційних протоколів, таких як PROFINET, Modbus TCP або OPC UA. Що забезпечить сумісність із зовнішніми ПЛК, SCADA - системами та іншими пристроями, незалежно від виробника.

Обмін даними має бути уніфікованим і структурованим, з використанням стандартизованих тегів та форматів повідомлень, що дозволяє точно передавати технологічну інформацію та уникати конфліктів при інтеграції. У разі роботи в складі комплексу модулів необхідно забезпечити синхронізацію процесів, наприклад, для передачі об'єкта з одного стенду на інший, а також можливість взаємного запуску чи зупинки технологічних операцій.

Система повинна також відповідати вимогам інформаційної безпеки – підтримувати контроль доступу та ізоляцію даних, особливо в умовах навчального використання, де можуть одночасно працювати кілька користувачів. Архітектура має бути гнучкою й масштабованою, щоб без складних переналаштувань додавати нові модулі чи елементи, що відповідає принципам модульного навчання і розвитку навичок роботи з реальними промисловими рішеннями.

2.1.4 Вимоги до режимів функціонування Системи

Система має відповідати сучасним вимогам до гнучких та багаторежимних кіберфізичних систем. З огляду на її навчально-демонстраційне призначення, вона повинна забезпечувати декілька режимів функціонування, які дають змогу користувачеві опанувати як базові

принципи виконання кіберфізичних систем, так і роботу зі складними компонентами систем керування.

Система повинна підтримувати *автоматичний режим роботи*, за якого весь цикл сортування виконується без втручання оператора. У цьому режимі ПЛК керує роботою всіх виконавчих механізмів на основі сигналів, отриманих від датчиків.

Необхідним є *напівавтоматичний режим*, у якому частина операцій виконується автоматично, а частина ініціюється оператором вручну через НМІ-панель або панель оператора. Це дозволяє користувачеві вивчити принципи поетапного керування, зокрема запуск окремих вузлів системи, перевірку роботи окремих датчиків або приводів.

Має бути реалізовано *режим ручного керування*. У цьому випадку оператор має можливість за допомогою інтерфейсу НМІ самостійно керувати виконавчими механізмами, наприклад, конвеєром, маніпулятором чи сортувальним пристроєм. Такий режим є необхідним для діагностики, технічного обслуговування або навчання, оскільки дозволяє перевірити функціонування окремих елементів без запуску всього циклу.

Також Система повинна передбачати аварійний режим – зупинення процесу у разі натискання оператором кнопки Stop на панелі оператора або на SCADA-інтерфейсі через НМІ.

Таким чином, система повинна підтримувати щонайменше такі режими: автоматичний, напівавтоматичний, ручний, і аварійний. Кожен з них має бути реалізований з урахуванням принципів безпеки, надійності та зручності взаємодії для користувача.

2.1.5 Перспективи розвитку, модернізації Системи

Система має суттєвий потенціал для подальшого розвитку та функціонального розширення. Зважаючи на модульну архітектуру як апаратного, так і програмного забезпечення, можливості модернізації охоплюють як фізичну частину системи, так і цифрову.

Інтеграція з іншими модулями Festo MPS: до існуючої системи можливо під'єднати додаткові станції, такі як модулі обробки, транспортування або складування, що дозволить моделювати складніші виробничі процеси.

Впровадження розширеного збору даних (Data Logging): Збір технологічної інформації (наприклад, кількість відсортованих деталей, час циклу) з наступною обробкою для побудови звітів або графіків продуктивності.

Підключення до хмарних платформ (Cloud integration): Завдяки впровадженню OPC UA, MQTT або інших промислових протоколів, система може стати частиною глобальної IoT-мережі, що дозволить здійснювати моніторинг і керування віддалено, а також зберігати дані в хмарі.

Розширення функцій людино-машинного інтерфейсу (HMI): Можливе впровадження веб-інтерфейсу або мобільних застосунків для дистанційного керування і діагностики, а також адаптація інтерфейсу під різні рівні користувачів (оператор, інженер, адміністратор).

Підвищення кібербезпеки: В умовах цифровізації виробництва зростає актуальність впровадження механізмів захисту доступу, шифрування даних, контролю подій і ведення журналу активності.

2.2 Вимоги до показників призначення

Система повинна відповідати ряду вимог, які визначають її функціональність, надійність та ефективність. Насамперед, Система має забезпечувати стабільну та безперебійну роботу протягом тривалого часу, зберігаючи точність сортування об'єктів та синхронізацію між усіма її компонентами. Важливою характеристикою є швидкодія: обробка сигналів від датчиків, реагування виконавчих механізмів та відображення інформації на панелі оператора мають здійснюватися в режимі, максимально наближеному до реального часу, без суттєвих затримок.

Рівень взаємодії з користувачем повинен бути інтуїтивно зрозумілим – людино-машинний інтерфейс має забезпечити візуалізацію основних параметрів роботи системи, оперативне виявлення несправностей і надання користувачеві можливості впливати на процес керування в зручний і безпечний спосіб. Надзвичайно важливою є відповідність інтерфейсу вимогам ергономіки, особливо у навчальному середовищі.

Система повинна бути адаптованою до подальшого розширення функціоналу, з можливістю додавання нових модулів без суттєвої перебудови існуючої архітектури, тобто зберігати масштабованість.

Не менш важливою є відповідність сучасним стандартам відкритих протоколів обміну даними, що забезпечує сумісність з іншими пристроями та системами, а також можливість інтеграції в більш складні виробничі або навчальні комплекси.

Крім того, система має бути безпечною в експлуатації, як у технічному сенсі (відсутність електричної небезпеки), так і в програмному (захист від некоректних дій користувача чи помилок у логіці керування).

2.3 Додаткові вимоги

2.3.1 Вимоги до задач (налаштувань), які виконуються у Системі

У межах функціонування Системи передбачається виконання ряду задач, пов'язаних із налаштуванням, ініціалізацією та безпосереднім керуванням процесами сортування. Кожна з цих задач має відповідати певним вимогам щодо точності, швидкодії, гнучкості налаштувань та зручності використання в навчальному середовищі.

Основною задачею є встановлення режимів роботи системи: автоматичний, ручний або сервісний. Кожен режим повинен мати чітко визначений набір дозволених операцій і відображатися на НМІ з відповідними повідомленнями про поточний стан.

Також до задач налаштування належить ініціалізація процесу перед стартом сортування, калібрування виконавчих механізмів (наприклад,

положення приводів), а також збереження й завантаження конфігурацій роботи системи. Це особливо актуально у випадку використання стенду в навчальному процесі, де різні групи студентів можуть працювати з різними сценаріями.

2.3.2 Вимоги до модульності та масштабованості Системи

Оскільки Система призначена не лише для демонстрації технологічного процесу, а й для гнучкого навчального використання, вона повинна відповідати сучасним вимогам до модульності та масштабованості. Модульність передбачає логічне та фізичне розділення системи на окремі функціональні блоки: такі як модуль конвеєра, модуль виявлення, модуль желобів, система керування, інтерфейс оператора тощо. Кожен модуль має функціонувати автономно в межах своїх задач і бути здатним до простої інтеграції в єдину систему через стандартизовані інтерфейси. Це значно спрощує обслуговування, оновлення окремих частин системи та усунення несправностей.

Масштабованість системи полягає в можливості її розширення без необхідності суттєвої перебудови вже реалізованої структури. Наприклад, до наявного стенду можна додати нові модулі – камери машинного зору, додаткові датчики, нові виконавчі пристрої або блоки сортування – без потреби переписувати основну логіку керування. З точки зору програмного забезпечення, система повинна підтримувати гнучку архітектуру проєкту, де додавання нових блоків виконується шляхом розширення існуючих структур без повного перепроєктування.

2.3.3 Вимоги до ергономічності

Ергономічність є одним із ключових чинників ефективного функціонування кіберфізичної системи, особливо в умовах навчального середовища, де з нею працюють користувачі з різним рівнем підготовки. Система повинна бути зручною та інтуїтивно зрозумілою у використанні, а інтерфейс взаємодії з оператором (НМІ) має забезпечувати простоту

сприйняття інформації, логічну структуру меню, достатній контраст і розбірливість візуальних елементів. Важливу роль відіграє зручне розташування органів керування, що дозволяє уникнути перевантаження користувача під час роботи з Системою.

Особливу увагу слід приділити візуалізації поточного стану системи, повідомлень про статуси виконання задач та активні режими. Всі повідомлення повинні бути короткими, інформативними та відображатися у доступній формі без потреби звертатися до документації. Також важливо, щоб система надавала зворотний зв'язок на дії користувача, що підвищує довіру до її роботи та сприяє більш ефективному навчанню.

Крім того, ергономічні вимоги охоплюють безпечність та фізичну доступність елементів системи: панель оператора повинна бути розміщена на зручній висоті, а доступ до виконавчих механізмів – обмеженим або захищеним відповідно до норм безпеки. Це не лише полегшить роботу з Системою, а й мінімізує ризик помилок та травм.

2.3.4 Вимоги до інтеграції з навчальними платформами

Інтеграція кіберфізичної системи з навчальними платформами є важливою складовою її використання в освітньому процесі. Така інтеграція повинна забезпечити можливість ефективної взаємодії системи з існуючими програмними засобами, що використовуються в технічній освіті, зокрема з платформами для віддаленого доступу та моніторингу навчальних процесів.

Система повинна підтримувати відкриті стандарти обміну даними, такі як OPC UA або MQTT, що дозволяє легко інтегрувати її з SCADA-системами, хмарними сервісами та онлайн-інтерфейсами віртуальних лабораторій. Це відкриває можливість організації дистанційного доступу до стенду, що особливо актуально в умовах змішаного або дистанційного навчання. Через веб-інтерфейс або платформу навчального управління (LMS) студенти можуть отримувати доступ до даних у реальному часі, відстежувати перебіг технологічного процесу та аналізувати його.

Важливо, щоб інтерфейс Системи був адаптований до сприйняття студентами, а інструкції з використання – інтегровані в навчальне середовище. Це підвищує ефективність засвоєння знань і забезпечує можливість проведення лабораторних робіт у максимально наближених до реального виробництва умовах.

2.3.5 Вимоги до параметрів мереж енергопостачання Системи

Для забезпечення стабільної та безперебійної роботи Системи необхідно враховувати низку вимог до параметрів мереж енергопостачання. Живлення системи має відповідати стандартам промислового середовища та забезпечувати безпечну експлуатацію в навчальному процесі.

Основні компоненти системи, зокрема програмований логічний контролер, панель оператора, виконавчі механізми (електроприводи, соленоїдні клапани тощо) та сенсорні елементи, зазвичай працюють від джерел постійного струму напругою 24 В DC, що є стандартом для промислових систем керування. У зв'язку з цим передбачається наявність імпульсного джерела живлення, яке перетворює стандартну мережеву напругу ~230 В AC у стабілізовану 24 В DC, з відповідним рівнем захисту та фільтрацією перешкод.

Сумарне енергоспоживання системи повинно бути розраховане з урахуванням максимальної кількості одночасно активних споживачів. Доцільно передбачити невеликий резерв по потужності (приблизно 20–30%) для підключення додаткових модулів у майбутньому, що забезпечує масштабованість і безпечну експлуатацію. Для захисту від короткого замикання, перевантаження та перенапруги слід використовувати автоматичні вимикачі та запобіжники відповідного номіналу.

Крім того, важливою є організація надійного заземлення Системи, особливо для модулів, які мають металевий корпус або підключені до мережі змінного струму. У разі використання комп'ютера або іншого периферійного

обладнання передбачається також наявність фільтрів мережевих перешкод (ЕМІ), які підвищують стабільність роботи електронних компонентів.

Загалом, Система повинна бути підключена до енергопостачання, що відповідає стандартам ІЕС 61131-2 для ПЛК і ІЕС 60204-1 для електрообладнання машин, що гарантує відповідність технічним, безпековим і експлуатаційним вимогам [3,4].

2.3.6 Вимоги до регламенту обслуговування Системи

Для забезпечення надійної та безпечної експлуатації Системи необхідно дотримуватись регламенту технічного обслуговування. Регламент має передбачати чітко визначені періоди профілактичних перевірок, обслуговування механічних і електронних компонентів, а також програмного забезпечення.

Регулярне обслуговування повинно включати:

- огляд механічної частини: перевірка стану пневматичних елементів, конвеєрних стрічок, виконавчих механізмів, очищення рухомих частин від пилу та забруднень, перевірка на зношування та люфти;

- контроль електричних з'єднань: перевірка цілісності кабелів, клем і роз'ємів, відсутності слідів перегріву, окислення або механічних пошкоджень;

- перевірка параметрів живлення: вимірювання напруги та струму в контрольних точках, тестування джерел живлення, стану захисту від перенапруги та короткого замикання;

- оновлення та резервне копіювання ПЗ: регулярне оновлення прошивок ПЛК і НМІ, створення резервних копій проєктів ТІА Portal, SCADA-сценаріїв, а також налаштувань користувацького інтерфейсу;

- тестування функціональності: запуск основних сценаріїв роботи Системи, перевірка адекватності реакції на помилки, коректності відображення інформації на НМІ.

Обслуговування повинно проводитися не рідше ніж раз на 3–6 місяців, залежно від інтенсивності експлуатації. Всі роботи мають документуватися у вигляді звітів або журналів обліку технічного обслуговування. У випадку виявлення несправностей або нестабільної роботи – Система повинна бути негайно виведена з експлуатації до моменту усунення проблем.

Також важливо передбачити інструкції з безпечного обслуговування: знеструмлення Системи перед відкриттям корпусів, використання інструментів із захисною ізоляцією, попередження про тиск у пневмолініях тощо.

2.3.7 Вимоги до технічного забезпечення Системи

Технічне забезпечення Системи має відповідати сучасним стандартам надійності, сумісності та функціональності, необхідним для стабільної роботи як в умовах лабораторного середовища, так і під час інтеграції у навчальний процес. До складу технічного забезпечення входять обчислювальні, комунікаційні та виконавчі компоненти, які повинні бути належним чином узгоджені між собою.

Програмований логічний контролер – повинен мати достатню кількість дискретних та аналогових входів/виходів для керування всіма вузлами стенду. Необхідно обрати контролер, який підтримує сучасні інтерфейси обміну даними (PROFINET, Modbus TCP, OPC UA), має модульну структуру для розширення та достатній об'єм пам'яті для виконання прикладної програми.

Панель оператора – повинна бути сумісною з ПЛК, мати сенсорний екран з достатньою діагоналлю для зручної візуалізації процесу, підтримку кольорової графіки, історії подій, а також засобів захисту доступу (рівні користувачів, паролі).

Модулі вводу/виводу (за необхідності) – мають бути адаптовані під підключення сенсорів, виконавчих механізмів (циліндрів, моторів), кнопок та індикаторів. Повинні мати компактне та зручне для монтажу виконання.

Джерела живлення – стабілізовані, промислового типу, з виходом 24 В DC, потужністю з запасом не менше 20% від розрахункового навантаження. Бажано використовувати моделі з вбудованими захистами від короткого замикання, перенапруги та перегріву.

Сенсори та виконавчі пристрої – індуктивні, оптичні або пневматичні елементи мають бути сумісні за типом сигналів із обраним ПЛК, забезпечувати точність та надійність в умовах тривалого використання.

Обчислювальна техніка – персональний комп'ютер або ноутбук для розробки проєкту (TIA Portal, SCADA), який повинен мати сучасний процесор, не менше 8 ГБ ОЗУ, SSD-диск та підтримку комунікаційних інтерфейсів (Ethernet, USB).

Комунікаційна інфраструктура – комутатори, кабелі Ethernet, маршрутизатори (за потреби), що забезпечують стійкий обмін даними між усіма складовими кіберфізичної системи.

Усі технічні компоненти мають бути надійними, сертифікованими відповідно до міжнародних стандартів (наприклад, CE, IEC), з можливістю легкої заміни або оновлення.

2.3.8 Вимоги до методичного забезпечення Системи

Методичне забезпечення кіберфізичної системи стенду Festo MPS Sorting є ключовим елементом її ефективного використання в освітньому процесі. Воно повинно забезпечувати викладачам та студентам повноцінну підтримку при вивченні принципів роботи з кіберфізичними системами, програмування ПЛК, розробки НМІ та інтеграції систем керування.

Необхідно забезпечити комплекти інструкцій, методичних вказівок, лабораторних робіт та завдань з покроковими інструкціями. Матеріали мають охоплювати як базовий рівень (ознайомлення з обладнанням, підключення, запуск), так і просунутий (налаштування протоколів зв'язку, робота з SCADA, аналіз даних).

Зміст методичних матеріалів має бути узгоджений із чинними стандартами вищої технічної освіти, зокрема в галузі кіберфізичних систем, електроніки, мехатроніки та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Методичне забезпечення повинно бути адаптоване до курсів дисциплін, таких як «Програмно-технічні засоби комп'ютерних та кіберфізичних систем» тощо.

Для підвищення наочності й ефективності засвоєння матеріалу рекомендується створення відеоуроків, симуляцій або інтерактивних презентацій.

У комплекті з Системою мають бути надані офіційні технічні посібники (мануали) на обладнання, опис протоколів зв'язку, шаблони програм у середовищі TIA Portal, SCADA-проекти, приклади конфігурацій НМІ.

Методичне забезпечення повинно містити критерії та інструменти оцінювання практичних і теоретичних знань студентів, включаючи контрольні запитання, тести та практичні завдання з автоматизованою перевіркою результатів.

Усі методичні матеріали повинні бути легко адаптованими під різні рівні підготовки студентів, форми навчання (денна, дистанційна) та тривалість занять.

3. РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ

3.1 Розробка структурної схеми комплексу технічних засобів Системи

На даному етапі розробки кіберфізичної системи на базі демонстраційного стенду Festo MPS Sorting визначається склад і взаємозв'язки технічних засобів, необхідних для реалізації повноцінної апаратної платформи з можливістю інтерактивної взаємодії оператора з системою.

Комплекс технічних засобів (КТЗ) відповідно до технічних вимог повинен базуватись на апаратних засобах Siemens серії S7-1200. У загальному вигляді структура включає такі основні компоненти: ПЛК, НМІ, сенсори та виконавчі механізми, джерело живлення, Персональний комп'ютер (ПК), комунікаційна мережа.

На основі описаних елементів розроблено структурну схему, яка відображає основні функціональні блоки системи та їх зв'язки (рисунок 3.1).

3.2 Аналіз вхідних і вихідних сигналів Системи

Для ефективної роботи кіберфізичної системи демонстраційного стенду Festo MPS Sorting необхідно чітко визначити склад та характеристики вхідних і вихідних сигналів, які забезпечують зв'язок між програмованим логічним контролером, людино-машинним інтерфейсом та фізичними компонентами установки.

Вхідні сигнали подаються до ПЛК від сенсорних пристроїв, що відстежують стан об'єктів керування. Основні вхідні сигнали зазначені у таблиці 3.1.

До вхідних сигналів так само відносяться кнопки на НМІ або пульті керування, що сигналізують про натискання кнопок керування (Старт, Стоп, Скидання).

Таблиця 3.1 – Вхідні сигнали кіберфізичної системи демонстраційного стенду Festo MPS Sorting

№ з/п	Найменування інформації	Ідентифікатор	Напр. Вх/вих	Функц	Вид	Джерело / одержувач	Форма подання		Період вв/вив,с
							Зовн.	Внутр.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Заготовка на початку конвеєра	G1BG1	Вхід	Контроль	Цифровий /PNP	Датчик/PLC/НМІ	DC 24V	1 біт	0,3
2	Дефлектор 1 спрацював	G1BG2	Вхід	Контроль	Цифровий /PNP	Датчик/PLC/НМІ	DC 24V	1 біт	0,3
3	Один з желобів переповнений	G1BG3	Вхід	Контроль	Цифровий /PNP	Датчик/PLC/НМІ	DC 24V	1 біт	0,3
4	Дефлектор 2 спрацював	G1BG4	Вхід	Контроль	Цифровий /PNP	Датчик/PLC/НМІ	DC 24V	1 біт	0,3
5	Заготовка перед модулем виявлення	B1BG1	Вхід	Контроль	Цифровий /PNP	Датчик/PLC/НМІ	DC 24V	1 біт	0,3
6	Заготовка не чорна	B1BG2	Вхід	Контроль	Цифровий /PNP	Датчик/PLC/НМІ	DC 24V	1 біт	0,3
7	Заготовка металева	B1BG3	Вхід	Контроль	Цифровий /PNP	Датчик/PLC/НМІ	DC 24V	1 біт	0,3
8	Кнопка Start	S1	Вхід	Контроль	Н.В/цифровий	Кнопка/PLC	DC 24V	1 біт	0,3
9	Кнопка Stop	S2	Вхід	Контроль	Н.З/цифровий	Кнопка/PLC	DC 24V	1 біт	0,3

Закінчення Таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	Кнопка Reset	S4	Вхід	Контроль	Н.В/цифровий	Кнопка/PLC	DC 24V	1 біт	0,3
11	Кнопка Start HMI	StrtHMI	Вхід	Контроль	цифровий	КнопкаHMI/PLC	1 біт	1 біт	0,3
12	Кнопка Stop HMI	StopHMI	Вхід	Контроль	цифровий	КнопкаHMI/PLC	1 біт	1 біт	0,3
13	Кнопка Reset HMI	RstHMI	Вхід	Контроль	цифровий	КнопкаHMI/PLC	1 біт	1 біт	0,3

Таблиця 3.2 – Вихідні сигнали кіберфізичної системи демонстраційного стенду Festo MPS Sorting

№ з/п	Найменування інформації	Ідентифікатор	Напр. Вх/вих	Функц	Вид	Джерело / одержувач	Форма подання		Період вв/вив,с
							Зовн.	Внутр.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Мотор конвеєра	G1KF1	Вихід	Керув.	Цифровий	PLC/мотор/HMI	DC 24V	1 біт	0,5
2	Дефлектор 1	G1MB1	Вихід	Керув.	Цифровий	PLC/соленоїд/HMI	DC 24V	1 біт	0,5
3	Дефлектор 2	G1MB2	Вихід	Керув.	Цифровий	PLC/соленоїд/HMI	DC 24V	1 біт	0,5

Закінчення Таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	Пневматичний стопор	G1MB3	Вихід	Керув.	Цифровий	ПЛК/катушк а клапана/HMI	DC 24V	1 біт	0,5
5	Лампа на кнопці Start	P1	Вихід	Керув.	Цифровий	PLC/Лампа/ HMI	DC 24V	1 біт	0,5
6	Лампа на кнопці Reset	P2	Вихід	Керув.	Цифровий	PLC/Лампа/ HMI	DC 24V	1 біт	0,5
7	Лампа панелі оператора Q1	P3	Вихід	Керув.	Цифровий	PLC/Лампа/ HMI	DC 24V	1 біт	0,5
8	Лампа панелі оператора Q2	P4	Вихід	Керув.	Цифровий	PLC/Лампа/ HMI	DC 24V	1 біт	0,5

Загалом Система має справу з 18 фізичними сигналами, з яких: 10 цифрових вхідних та 8 вихідних та з логічними сигналами від НМІ: 10 вхідних (Bool) та 8 вихідних (Bool).

3.3 Вибір і обґрунтування апаратних засобів Системи

3.3.1.1 Вибір програмованого логічного контролера

Одним із ключових компонентів кіберфізичної системи демонстраційного стенду Festo MPS Sorting є програмований логічний контролер, що забезпечує обробку сигналів від датчиків, реалізацію алгоритмів керування, а також взаємодію з панеллю оператора (НМІ) і периферійними пристроями. Вибір ПЛК повинен ґрунтуватися на ряді технічних, функціональних та експлуатаційних вимог, які впливають із завдань системи.

Основними критеріями вибору ПЛК є: сумісність з елементною базою Festo MPS; підтримка промислових протоколів зв'язку зокрема PROFINET для обміну даними з НМІ; наявність достатньої кількості входів/виходів; можливість масштабування; інтеграція в середовище розробки TIA Portal – для спрощення програмування, налагодження та візуалізації.

З урахуванням зазначених критеріїв, для реалізації системи обрано контролер Siemens S7-1200 CPU 1214C, DC/DC/DC, 14DI/10DO/2AI 6ES7214-1AG40-0XB0 [5]. Ця модель забезпечує достатню кількість вбудованих входів/виходів, можливість підключення модулів розширення, підтримку PROFINET, а також інтеграцію в середовище TIA Portal, що робить її оптимальним рішенням для даного проєкту.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд CPU 1214C, DC/DC/DC

CPU 1214C, DC/DC/DC має:

- 14 дискретних входів 24 В DC, що з надлишком покриває необхідні 10 входів;
- 10 дискретних транзисторних виходів 24 В DC, що також перевищує мінімальні вимоги;
- підтримку протоколу PROFINET для зв'язку з НМІ та іншими пристроями;
- інтегровані функції високорівневої логіки керування, таймерів, лічильників, діагностики;
- можливість розширення за допомогою модулів вводу/виводу SM12xx;
- сумісність із середовищем TIA Portal, що полегшує розробку, налагодження та візуалізацію.

3.3.1.2 Вибір НМІ

Людино-машинний інтерфейс є важливою складовою кіберфізичної системи. Він має забезпечувати зручну взаємодію оператора з технологічними процесами, надавати візуалізацію станів Системи, а також має дозволяти виконувати ручне керування певними діями системи в навчальних цілях.

При виборі НМІ-панелі маємо врахувати: сумісність з ПЛК Siemens S7-1200, зокрема підтримку протоколу PROFINET; достатній розмір екрана для

комфортної візуалізації елементів керування та статусів; сенсорне управління (Touchscreen) для спрощення взаємодії; можливість створення візуалізації в середовищі TIA Portal, що дозволить легко інтегрувати HMI з логікою ПЛК; наявність портів Ethernet або підтримка PROFINET для зв'язку з ПЛК; надійність, простоту обслуговування та адаптацію до навчального середовища.

З огляду на вищенаведені критерії, доцільним є вибір Siemens Basic Panel KTP700 Basic PN [6], яка має наступні характеристики:

- 7-дюймовий сенсорний TFT-дисплей з роздільною здатністю 800x480 пікселів;
- підключення через PROFINET;
- підтримка до 500 екранів візуалізації;
- ручне проектування у TIA Portal (підтримка версій V14+);
- можливість відображення повідомлень, індикаторів стану, кнопок керування, графіків тощо;
- енергоефективність і компактність, що ідеально підходить для навчального стенду.



Рисунок 3.3 – Загальний вигляд Siemens Basic Panel KTP700 Basic PN

Ця панель забезпечує базовий, але функціонально достатній рівень візуалізації процесу сортування, дозволяє відобразити поточний стан конвеєра, інформацію від датчиків, режим роботи системи, аварійні

повідомлення, а також дозволяє змінювати окремі параметри або запускати тестові сценарії.

3.3.1.3 Вибір джерела живлення для системи

Живлення є критично важливою складовою кіберфізичної системи.

Джерело живлення має забезпечувати: вихідну напругу 24 В постійного струму (DC), відповідно до вимог ПЛК Siemens S7-1200, HMI Siemens KTP700 Basic PN та більшості елементів Festo MPS; умінальний струм: з урахуванням усіх навантажень (ПЛК, HMI, датчики, виконавчі пристрої). Орієнтовне споживання становить близько 3 – 4 А, що вимагає джерела живлення потужністю не менше 100 Вт; захист від перенапруги, короткого замикання та перевантаження; можливість монтажу на DIN-рейку для зручності інтеграції в розподільчу шафу; високий коефіцієнт надійності для безперервної роботи у навчальному середовищі.

З огляду на вищезазначені вимоги, доцільним є використання імпульсного джерела живлення Siemens SITOP PSU100C, яке має такі характеристики:

- вхідна напруга: 120–230 В AC;
- вихідна напруга: 24 В DC;
- вихідний струм: 4 А;
- компактний корпус для монтажу на DIN-рейку;
- захист від короткого замикання, перенапруги та перевантаження;
- сертифікати відповідності промисловим стандартам.

Ця модель є сумісною з продукцією Siemens та Festo, легко інтегрується в стандартні шафи керування й забезпечує стабільну роботу системи протягом тривалого часу.

3.3.2 Розробка специфікації апаратних та монтажних засобів

Системи

Сформуємо повну специфікацію апаратних і монтажних засобів, які забезпечать належне функціонування кіберфізичної системи, її енергопостачання, взаємозв'язок між компонентами та безпечне використання в навчальному середовищі.

Таблиця 3.3 – Апаратні засоби Системи

Позиція	Найменування і технічна характеристика	Тип, марка, позначення документа, опитувального листа	Одиниці виміру	Кількість	Примітки
1	2	3	4	5	6
1.	Програмований логічний контролер (ПЛК)	Siemens S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC	од.	1	Центральний контролер Системи
2.	Панель оператора (НМІ)	Siemens KTP700 Basic PN	од.	1	Людино-машинний інтерфейс
3.	Джерело живлення	Siemens SITOP PSU100C (24V/4A)	од.	1	Енергопостачання контролера та НМІ
4.	Комплект виконавчих механізмів та сенсорів	Festo MPS Sorting	ком пл.	1	Модуль сортування MPS з вбудованими датчиками
5.	Промисловий Ethernet-комутатор	Scalance X005	од.	1	Для розширення мережі
6.	Патч-корди Ethernet	CAT 5e, промислове виконання	од.	3	Для з'єднання ПЛК, НМІ, комутатора

Таблиця 3.4 – Монтажні засоби та допоміжні компоненти

Позиція	Найменування і технічна характеристика	Тип, марка, позначення документа, опитувального листа	Одиниці виміру	Кількість	Примітки
1	2	3	4	5	6
1.	DIN-рейка 35 мм	АСКО	м	1	Монтаж ПЛК, НМІ, джерела живлення
2.	Монтажний бокс	СКІМ 350*250*100	од.	1	Захист та організація обладнання
3.	Клемники	Wago, d2,5	од.	27	
4.	Кабельні канали	АСКО	м	2	
5.	Кабель живлення (230 В АС)	Одескабель, ПВС 3*0,75	м	3	Підведення живлення до джерела
6.	Кабелі 24 В DC (мідні, багатожильні)	Одескабель ПВ3 0,5	м	10	Підключення виконавчих механізмів і датчиків
7.	Маркувальні елементи та термоусадка	АСКО	уп.	1	Ідентифікація кабелів
8.	Автоматичні вимикачі	2P, 6A, C	од.	1	Захист від перевантаження
9.	Заземлення та шина РЕ	з кріпленням din	од.		Безпека системи

Усі елементи обрані з урахуванням стандартів промислової автоматизації, сумісності між собою та адаптації до освітнього середовища, де важливими є зручність використання та безпека.

3.3.3 Розробка схеми підключень Системи

Для забезпечення повноцінного функціонування кіберфізичної системи на базі демонстраційного стенду Festo MPS Sorting було розроблено електричну схему підключень, що охоплює усі основні компоненти.

Схема реалізована з урахуванням логічної структури системи та принципів модульності. Основні групи підключень:

Живлення: вхідна напруга ~230 В АС через вхідний автомат подається на блок живлення Siemens SITOP PSU100C, який формує стабільну напругу

24 В DC для живлення ПЛК, НМІ та периферії. Усі споживачі підключені до шини 24 В DC.

Підключення ПЛК Siemens S7-1200 CPU 1214C: 10 цифрових входів (I0.0 – I1.1) використовуються для підключення датчиків; 8 цифрових виходів (Q0.0 – Q0.7) призначені для керування виконавчими механізмами.

Підключення виконується через клемники, що спрощує монтаж і обслуговування.

Підключення НМІ Siemens KTP700 Basic PN до ПЛК здійснюється через інтерфейс PROFINET (Ethernet) з використанням промислового патч-корду CAT 5e. НМІ отримує живлення 24 В DC від того ж джерела, що й ПЛК.

У разі потреби масштабування або розширення комунікаційної мережі використовується промисловий Ethernet-комутатор Scalance X005.

Усі Ethernet-з'єднання прокладаються окремо, із застосуванням екранованих кабелів та роз'ємів RJ-45.

Корпуси всіх пристроїв під'єднані до загальної заземлювальної шини.

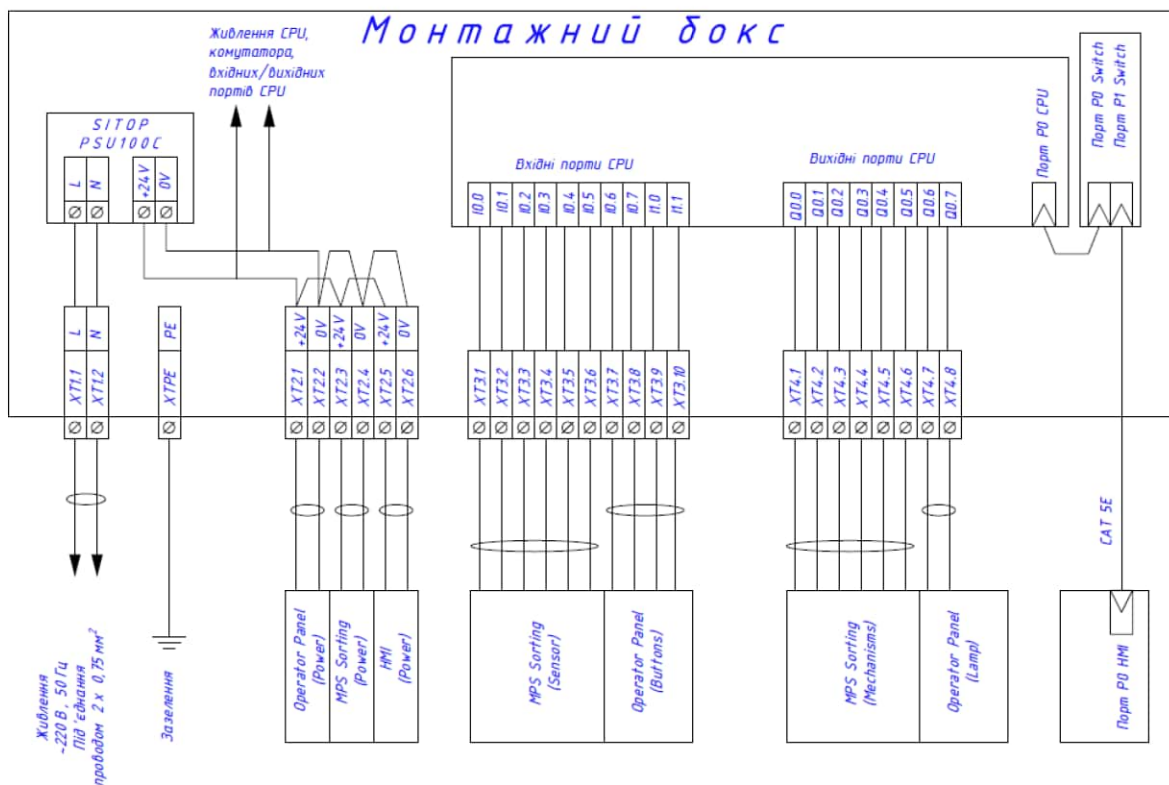


Рисунок 3.4 – Схема підключень Системи

3.3.4 Налаштування проєкту у середовищі TIA Portal

Для розробки використовується середовище TIA Portal v14/

Налаштування проєкту у середовищі TIA Portal починається зі створення нового проєкту, у якому вказується назва системи, визначаються її складові частини та обирається тип обладнання. Для реалізації кіберфізичної системи на базі стенду Festo MPS Sorting було обрано контролер Siemens S7-1200 (CPU 1212C DC/DC/DC), який задовольняє вимоги за кількістю входів та виходів. Контролер додається до конфігурації проєкту з вказанням його параметрів: мережевої адреси, імені пристрою та структури введення/виведення, як вказано на рисунку 3.5.

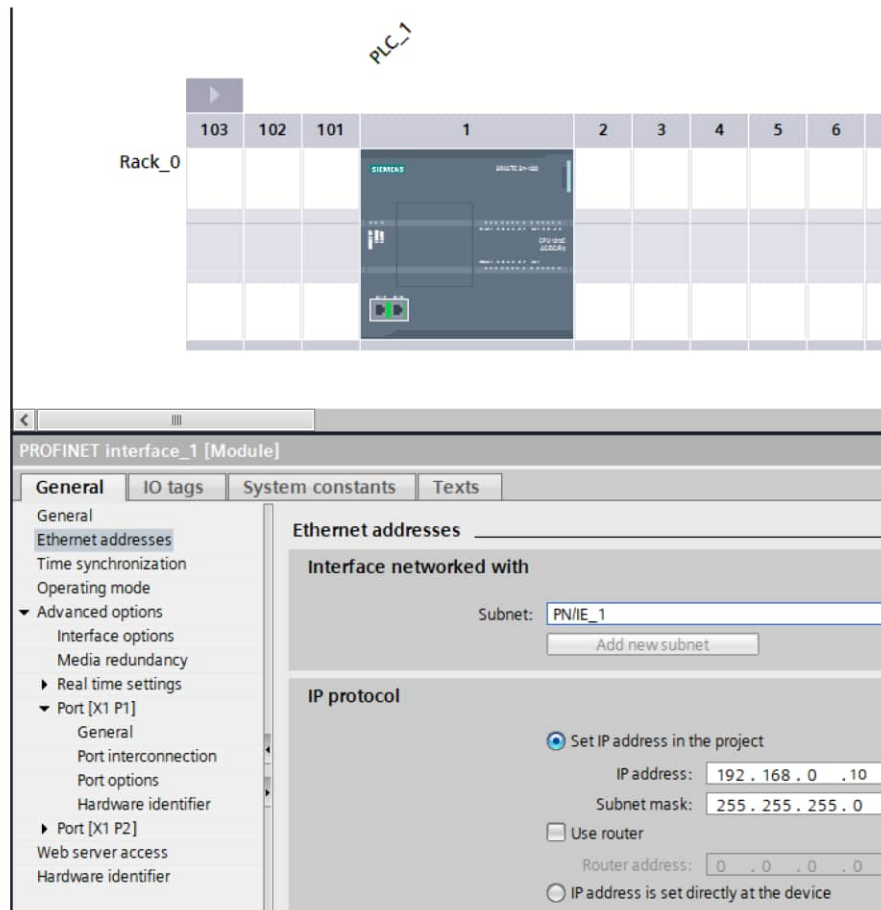


Рисунок 3.5 – Налаштування ПЛК у проєкті

Після цього до проєкту додається панель оператора KTR700 Basic, яка служить для реалізації людино-машинного інтерфейсу. Параметри з'єднання панелі з ПЛК встановлюються через PROFINET-з'єднання, з використанням S7-підключення, як вказано на рисунку 3.6.

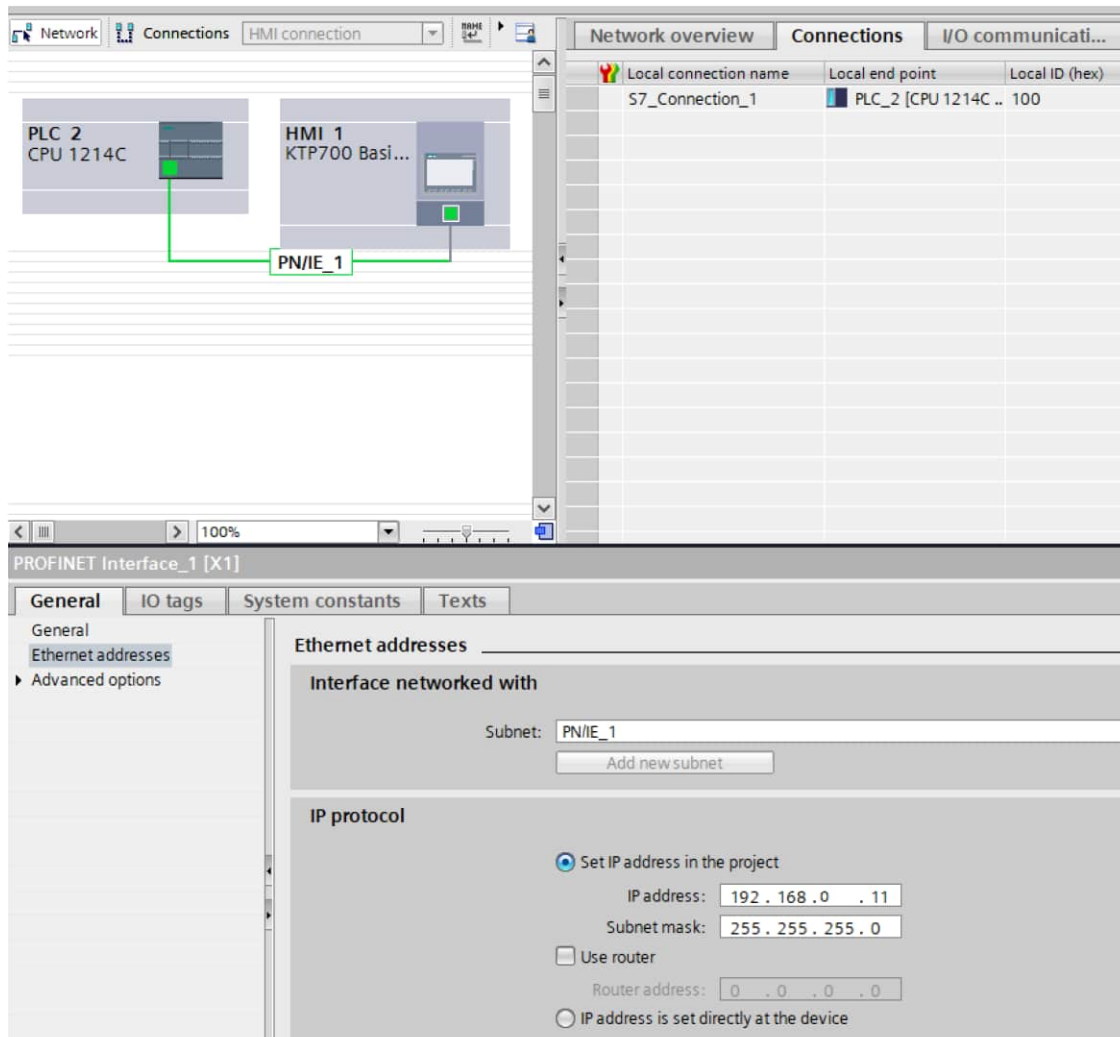


Рисунок 3.6 – Налаштування PROFINET-з'єднання, з використанням S7-підключення

Після завершення конфігурації виконується компіляція проєкту. У разі необхідності проводиться корекція налаштувань.

Додатково необхідно налаштувати мережу в ПК таким чином, щоб всі пристрої мали знаходитись в одній підмережі.

Для цього налаштовуємо IP адреси пристроїв:

CPU – 192.168.0.10 ;

HMI – 192.168.0.11 ;

ПК – 192.168.0.11 .

Маска підмережі для всіх пристроїв : 255.255.255.0 .

3.4 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу Системи

3.4.1 Призначення програми

Програма людино-машинного інтерфейсу призначена для зручного керування та моніторингу роботи кіберфізичної системи стенду Festo MPS Sorting. Вона забезпечує відображення стану сенсорів і виконавчих механізмів, запуск і зупинку процесу сортування. Основна мета – спростити взаємодію оператора з Системою та забезпечити ефективний контроль у реальному часі.

3.4.2 Обґрунтування технічних характеристик НМІ-програми

3.4.2.1 Перелік задач, вирішуваних програмним забезпеченням

Програмне забезпечення НМІ виконує такі основні задачі:

- візуалізація стану системи сортування в реальному часі (датчики, виконавчі механізми, режими роботи);
- надання оператору можливості запуску, зупинки та перезапуску процесу сортування через сенсорні кнопки;
- відображення поточного стану Системи;
- індикація активності входів/виходів ПЛК для спрощення діагностики;
- забезпечення інтуїтивної та зручної взаємодії користувача з системою через структуровані екрани та піктограми.

3.4.2.2 Опис призначення вхідних і вихідних даних

У програмі НМІ вхідні та вихідні дані виконують функцію обміну інформацією між оператором та ПЛК, забезпечуючи повноцінну взаємодію з кіберфізичною системою.

Вхідні дані для НМІ (що надходять із ПЛК): стани датчиків (наявність заготовки, тип заготовки, колір заготовок, переповнення желобів); сигнали про спрацювання виконавчих механізмів (положення дефлекторів); поточний режим роботи системи (ручний/автоматичний, зупинка); лічильники (кількість відсортованих деталей).

Вихідні дані з НМІ (що передаються до ПЛК): команди запуску, зупинки або перезапуску процесу сортування; вибір режиму роботи; введення параметрів (встановлення лімітів по типу деталі).

3.4.2.3 Опис і обґрунтування вибору складу технічних і програмних засобів, що використовує програма НМІ

При розробці НМІ був здійснений ретельний вибір технічних та програмних засобів, які забезпечують надійну, функціональну та зручну взаємодію оператора з процесом сортування.

Обрана сенсорна панель оператора Siemens Basic Panel KTP700 Basic PN, яка має високу роздільну здатність екрану, підтримує багатоточкове керування і має достатній обсяг оперативної пам'яті для реалізації складних графічних інтерфейсів. Ця панель сумісна з ПЛК Siemens S7-1200 та підтримує промислові протоколи зв'язку (PROFINET), що гарантує стабільний та швидкий обмін даними.

Для забезпечення обміну даними між ПЛК і НМІ-панеллю використовується Ethernet-комунікація з протоколом PROFINET, який є стандартом у промисловій автоматизації та забезпечує високу швидкість і надійність передачі даних.

Програмне середовище TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) від Siemens обрано для розробки НМІ-програми через його повну інтеграцію з ПЛК Siemens S7-1200. Це середовище дозволяє створювати графічні інтерфейси, налаштовувати логіку взаємодії та забезпечувати обмін даними через стандартизовані протоколи без необхідності додаткових адаптерів чи конвертерів.

У межах TIA Portal використовується стандартний набір бібліотек для створення НМІ-екранів, а також мови програмування, сумісні з IEC 61131-3 (LAD, FBD) для реалізації логіки взаємодії з ПЛК. Це забезпечує модульність, повторне використання коду та зручність налагодження.

Для візуалізації даних використовується вбудований SCADA-модуль TIA Portal, що дозволяє розширювати можливості стандартного НМІ і забезпечує гнучке налаштування відображення інформації.

Використання обладнання та програмного забезпечення Siemens забезпечує повну сумісність між усіма компонентами системи, що мінімізує ризики несумісності та збоїв у роботі.

3.4.3 Опис розробленої програми

3.4.3.1 Програмне забезпечення й мова програмування, необхідні для функціонування програми НМІ

Для розробки логіки роботи НМІ-програми та її взаємодії з ПЛК було використано такі мови:

Ladder Diagram (LAD) – графічна мова, що імітує електричні схеми релейної логіки, забезпечує інтуїтивне створення послідовностей керування та логічних операцій. Ця мова застосовується для реалізації логіки обробки сигналів від сенсорів та команд керування.

Скриптові мови та інструменти НМІ – в межах TIA Portal для реалізації інтерактивних елементів інтерфейсу використовується вбудована підтримка скриптів на основі стандартних мов програмування для створення динамічної логіки та обробки подій.

Програмне забезпечення TIA Portal забезпечує повну інтеграцію між НМІ та ПЛК, що дає змогу реалізувати ефективний обмін даними в режимі реального часу через протокол PROFINET, підтримуваний обома пристроями.

3.4.3.2 Опис логічної структури програми

Логічна структура програми НМІ побудована за модульним принципом, що забезпечує зручність розробки, масштабування та підтримки програмного продукту.

Основні складові логічної структури програми НМІ включають:

Головне вікно (Main Screen). Це стартовий екран інтерфейсу, який забезпечує аутентифікацію користувача та перехід до основного екрану процесу.

Основний екран процесу (Process Screen). Відповідає за візуалізацію поточного стану демонстраційного стенду. Тут відображаються параметри роботи механізмів сортування, сигнали з датчиків, статус виконавчих пристроїв. Завдяки цьому оператор отримує повну інформацію про хід процесу у реальному часі. Екран процесу містить елементи керування які надають можливість оператору впливати на процес сортування, запускати або зупиняти роботу системи. Управління реалізоване через кнопки, інтерфейсу. Забезпечує навігацію по основних розділах інтерфейсу. З екрану процесу оператор може перейти до екрану налаштувань.

Екран налаштувань (*Settings Screen*). Містить налаштування обмежень кількості заготовок за властивостями .

Зв'язок між вікнами організовано через систему навігації та глобальні змінні, що дозволяє підтримувати стан програми, передавати необхідні параметри та забезпечувати узгоджене відображення інформації.

3.4.3.3 Виклик і завантаження програми НМІ

Для запуску та завантаження розробленої НМІ-програми на панель оператора демонстраційного стенду Festo MPS Sorting використовуються стандартні засоби програмного забезпечення TIA Portal та інтерфейси апаратного забезпечення.

Процедура виклику та завантаження програми включає наступні етапи.

1. Підключення обладнання. Панель оператора Siemens SIMATIC HMI Comfort Panel підключається до локальної мережі через Ethernet-інтерфейс. Для забезпечення обміну даними з ПЛК Siemens S7-1200 використовується протокол PROFINET.

2. Налаштування зв'язку. У середовищі TIA Portal виконується налаштування параметрів мережі, включаючи IP-адреси ПЛК і HMI-панелі, що забезпечує коректний обмін даними між пристроями.

3. Компілювання та завантаження проекту. Після завершення розробки HMI-програми здійснюється компіляція проекту у формат, сумісний із панеллю оператора. Далі проект завантажується на HMI-пристрій безпосередньо через мережеве підключення.

Перевірка завантаження. Після завантаження програми здійснюється автоматичний запуск HMI-додатку на панелі оператора. Проводиться первинна перевірка функціонування інтерфейсу, коректності відображення інформації та взаємодії з ПЛК.

Запуск програми. Оператор може ініціювати запуск процесу сортування через інтерфейс HMI, що передає відповідні команди на ПЛК. В процесі роботи програма здійснює безперервний обмін даними з контролером для відображення актуальної інформації та забезпечення керування.

Особливості реалізації. Завдяки інтеграції TIA Portal із пристроями Siemens завантаження та оновлення HMI-програми відбувається швидко і безпомилково, що дозволяє оперативно вносити зміни у програмне забезпечення, проводити налагодження та оновлення без зупинки роботи стенду.

3.4.3.4 Вхідні та вихідні дані HMI

Вхідними даними для HMI є сигнали стану Системи, що надходять від ПЛК та включають:

– інформацію про поточний статус вузлів сортувального стану: активність датчиків, позиції виконавчих механізмів, наявність деталей на конвеєрі, режим роботи;

– попереджувальні сигнали, що виникають під час роботи системи (переповнення желобів). Вони відображаються на НМІ для негайного інформування оператора;

– параметри налаштувань, які передаються на ПЛК для корекції алгоритму керування (кількість заготовок відповідного типу або кольору);

– команди оператора, наприклад, запуск, зупинка процесу, перезапуск роботи, що формуються через інтерфейс НМІ і надходять до ПЛК.

Область пам'яті вхідних/вихідних сигналів контролера зображено на рисунках 3.7-3.8.

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1	S_G1BG1	Bool	%I12.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Заготовка присутня на початку конвеєра
2	S_G1BG2	Bool	%I12.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Сепаратор 1 зачинено
3	S_G1BG3	Bool	%I12.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Один з лотків переповнений
4	S_G1BG4	Bool	%I12.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Сепаратор 2 зачинено
5	S_G2BG1	Bool	%I12.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Оптичний датчик: світловий бар'єр. Заготовка знаходиться у рамці
6	S_G2BG2	Bool	%I12.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Оптичний датчик: рефлекторне світло. Заготовка присутня у рамці не чорна
7	S_G2BG3	Bool	%I12.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Індуктивний датчик. Визначення матеріалу: заготовка металева
8	S_G1MA1	Bool	%Q12.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Керування переміщенням стрічки конвеєра (запуск)
9	S_G1MB1	Bool	%Q12.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Керування сепаратором 1 (зачинити)
10	S_G1MB2	Bool	%Q12.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Керування сепаратором 2 (зачинити)
11	S_G1MB3	Bool	%Q12.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Керування штоком циліндру стопора (втягнути)
12	FlagCycleEnd(S)	Bool	%M30.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	FlagPLCReady(S)	Bool	%M30.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	FlagEtap(S)	Int	%IW20	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	FlagStationReady(S)	Bool	%M...	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	<Add new>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Рисунок 3.7 – вхідних/вихідних сигналів ПЛК

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1	S1	Bool	%I1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Кнопка Start
2	S2	Bool	%I1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Кнопка Stop
3	S3	Bool	%I1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Перемикач з ключем (Auto/Man)
4	S4	Bool	%I1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Кнопка Reset
5	Start	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Лампа кнопки Start
6	Reset	Bool	%Q0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Лампа кнопки Reset
7	Q1	Bool	%Q1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Лампа Q1
8	Q2	Bool	%Q1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Лампа Q2
9	<Add new>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Рисунок 3.8 – вхідних/вихідних сигналів ПЛК (продовження)

Обмін вхідними та вихідними даними між НМІ та ПЛК здійснюється через високошвидкісний промисловий протокол PROFINET, що забезпечує синхронність інформації та оперативне реагування на зміни в процесі сортування.

Для обміну інформацією в НМІ аналогічно створюється карта тегів, як показано на рисунку 3.9.

Default tag table							
Name	Data type	Connection	PLC name	PLC tag	Access mode	Acquisition cycle	Source comment
Tag_ScreenNumber	UInt	<Internal tag>		<Undefined>		1 s	
S1	Bool	HMI_Connection_1	PLC_3	S1	<symbolic access>	500 ms	Кнопка Start
S2	Bool	HMI_Connection_1	PLC_3	S2	<symbolic access>	500 ms	Кнопка Stop
S3	Bool	HMI_Connection_1	PLC_3	S3	<symbolic access>	500 ms	Перемикач з ключем (Auto/Man)
S4	Bool	HMI_Connection_1	PLC_3	S4	<symbolic access>	500 ms	Кнопка Reset
S_G1BG1	Bool	HMI_Connection_1	PLC_3	S_G1BG1	<symbolic access>	500 ms	Заготовка присутня на початку конвеєра
S_G1BG2	Bool	HMI_Connection_1	PLC_3	S_G1BG2	<symbolic access>	500 ms	Сепаратор 1 зачинено
S_G1BG3	Bool	HMI_Connection_1	PLC_3	S_G1BG3	<symbolic access>	500 ms	Один з лотків переповнений
S_G1BG4	Bool	HMI_Connection_1	PLC_3	S_G1BG4	<symbolic access>	500 ms	Сепаратор 2 зачинено
S_G2BG1	Bool	HMI_Connection_1	PLC_3	S_G2BG1	<symbolic access>	500 ms	Оптичний датчик: світловий бар'єр. Заготовка знаходиться у рамці
S_G2BG2	Bool	HMI_Connection_1	PLC_3	S_G2BG2	<symbolic access>	500 ms	Оптичний датчик: рефлекторне світло. Заготовка присутня у рамці не чорна
S_G2BG3	Bool	HMI_Connection_1	PLC_3	S_G2BG3	<symbolic access>	500 ms	Індуктивний датчик. Визначення матеріалу: заготовка металева
S_G1MA1	Bool	HMI_Connection_1	PLC_3	S_G1MA1	<symbolic access>	500 ms	Керування переміщенням стрічки конвеєра (запуск)
S_G1MB1	Bool	HMI_Connection_1	PLC_3	S_G1MB1	<symbolic access>	500 ms	Керування сепаратором 1 (зачинити)
S_G1MB2	Bool	HMI_Connection_1	PLC_3	S_G1MB2	<symbolic access>	500 ms	Керування сепаратором 2 (зачинити)
S_G1MB3	Bool	HMI_Connection_1	PLC_3	S_G1MB3	<symbolic access>	500 ms	Керування штоком циліндру стопора (втягнути)
<Add new>							

Рисунок 3.9 – Карта тегів НМІ

Окрім того налаштовується час опитування в циклі для кожного тега, як показано на рис. 3.9 в графі *Acquisition cycle* та тип зв'язку, як в графі *Connection*.

3.4.3.5 Розробка структури екранних форм

Структура екранних форм НМІ-програми розробляється з урахуванням зручності, інтуїтивності та ефективності взаємодії оператора з кіберфізичною системою. Екрани розділяються за функціональним призначенням і дозволяють швидко отримувати інформацію про стан системи та керувати її роботою.

Структура екранних форм побудована відповідно до опису логічної структури (п.3.4.3.2) та забезпечують мінімум дій для виконання основних операцій, швидке орієнтування в інтерфейсі та зменшення ймовірності помилок під час керування.

Структури екранних форм наведено на рисунках 3.10-3.12

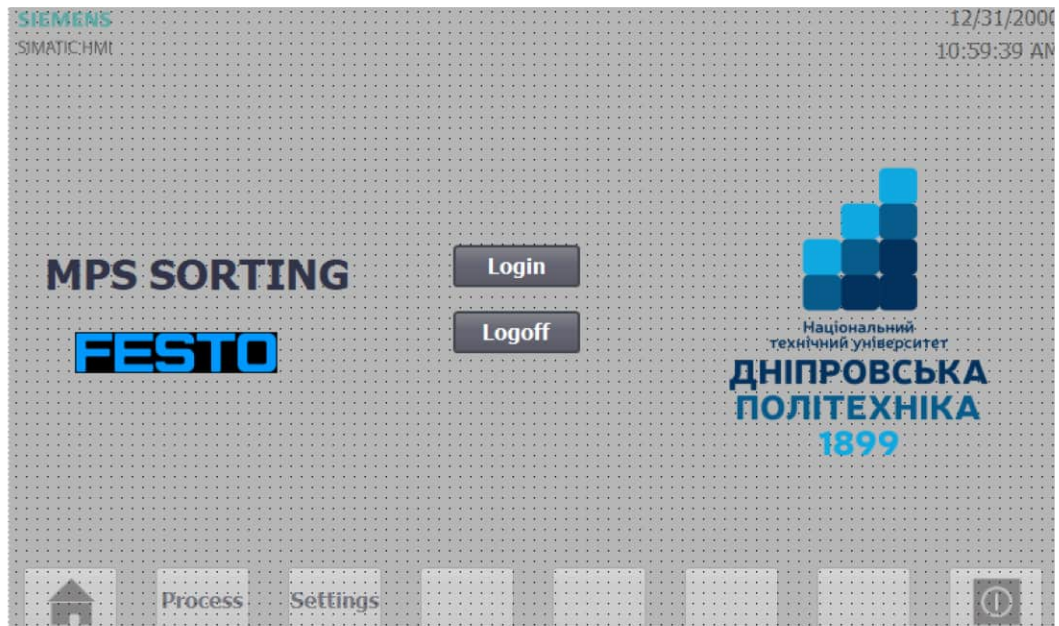


Рисунок 3.10 – Структура екранної форми *Main Screen*

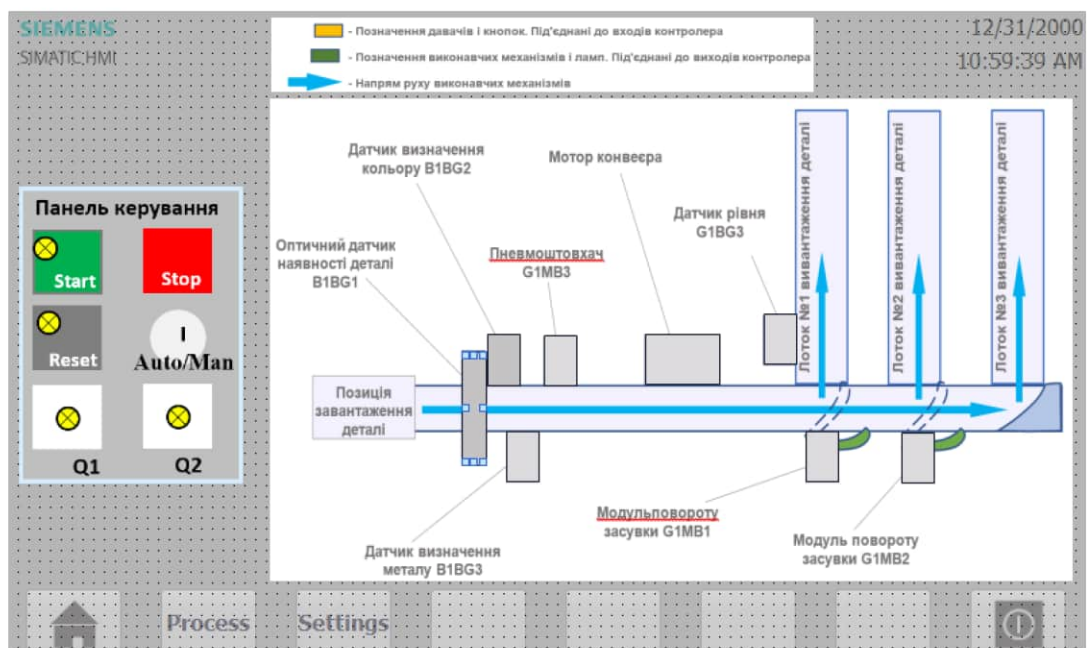


Рисунок 3.11 – Структура екранної форми *Process Screen*

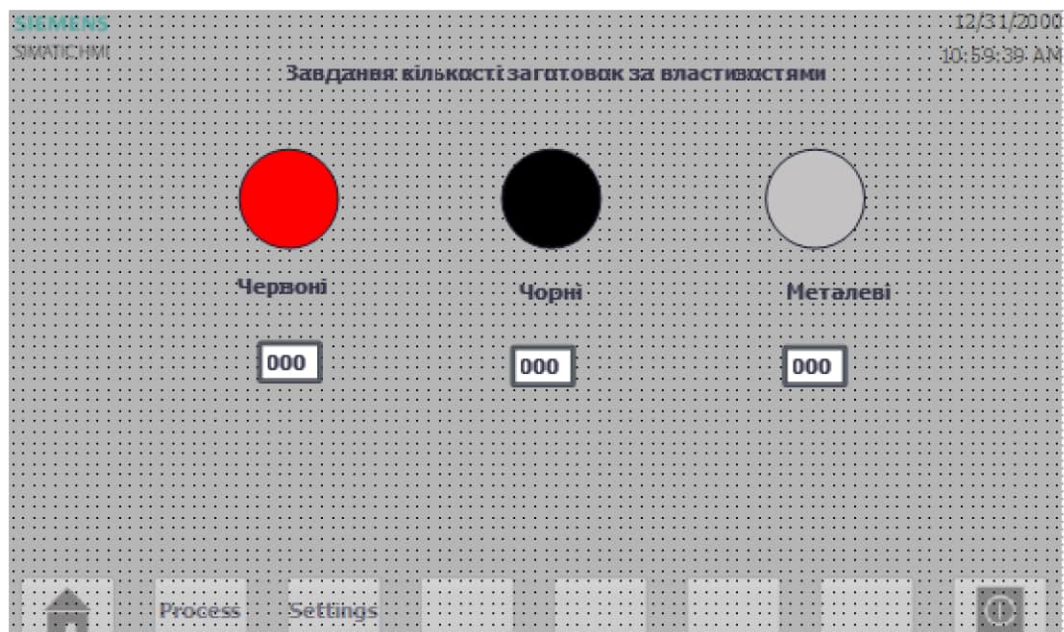


Рисунок 3.12 – Структура екранної форми *Setting Screen*

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було реалізовано кіберфізичну систему на основі демонстраційного стенду Festo MPS Sortingz детальним опрацюванням людино-машинного інтерфейсу. Розробка охоплювала повний цикл створення кіберфізичної системи – від технічного аналізу об'єкта до програмного налаштування та тестування працездатності комплексу.

Було виконано аналіз конструкції та функціональних можливостей стенду, визначено технічні вимоги до системи, здійснено вибір оптимальних апаратних засобів, зокрема контролера Siemens серії S7-1200, операторської панелі HMI та джерела живлення. Розроблено структурну схему Системи, специфікацію компонентів, схему підключень та створено проект у середовищі TIA Portal v14.

Особливу увагу приділено створенню інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу HMI, який забезпечує візуалізацію процесів, зручне керування, моніторинг стану системи. Було розроблено структуру екранних форм із урахуванням ергономічних вимог та сценаріїв роботи користувача.

У результаті виконаної роботи створена функціонально завершена та гнучка Система, що відповідає сучасним вимогам до кіберфізичних навчальних платформ. Система демонструє можливості інтеграції промислової автоматики з інтерфейсами візуалізації та є ефективним інструментом для навчання, тестування та модернізації у сфері виробничих процесів.

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. Sorting station FESTO MPS. Manual [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.li/zsfwum> (дата звернення 20.05.2025).
3. ДСТУ EN 61131-2:2019 Контролери програмовні. Частина 2. Вимоги до устаткування та випробування. [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.li/ambmdf> (дата звернення 21.05.2025).
4. ДСТУ EN 60204-1:2019 Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги. [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.li/lzrlwm> (дата звернення 21.05.2025).
5. Процесор 1214C, DC/DC/DC, 14DI/10DO/2AI [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surl.li/asfwfx> (дата звернення 28.05.2025).
6. SIMATIC HMI KTP700 Basic [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://surli.cc/ofatbi> (дата звернення 28.05.2025).

Додаток А

Текст програми (налаштування екранних форм) кіберфізичної системи
демонстраційного стенду Festo MPS Sorting для НМІ

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

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
Кіберфізичної системи демонстраційного стенду Festo MPS Sorting для
НМІ**

Текст програми

804.02070743.25017-01 12 01

Листів 13

АНОТАЦІЯ

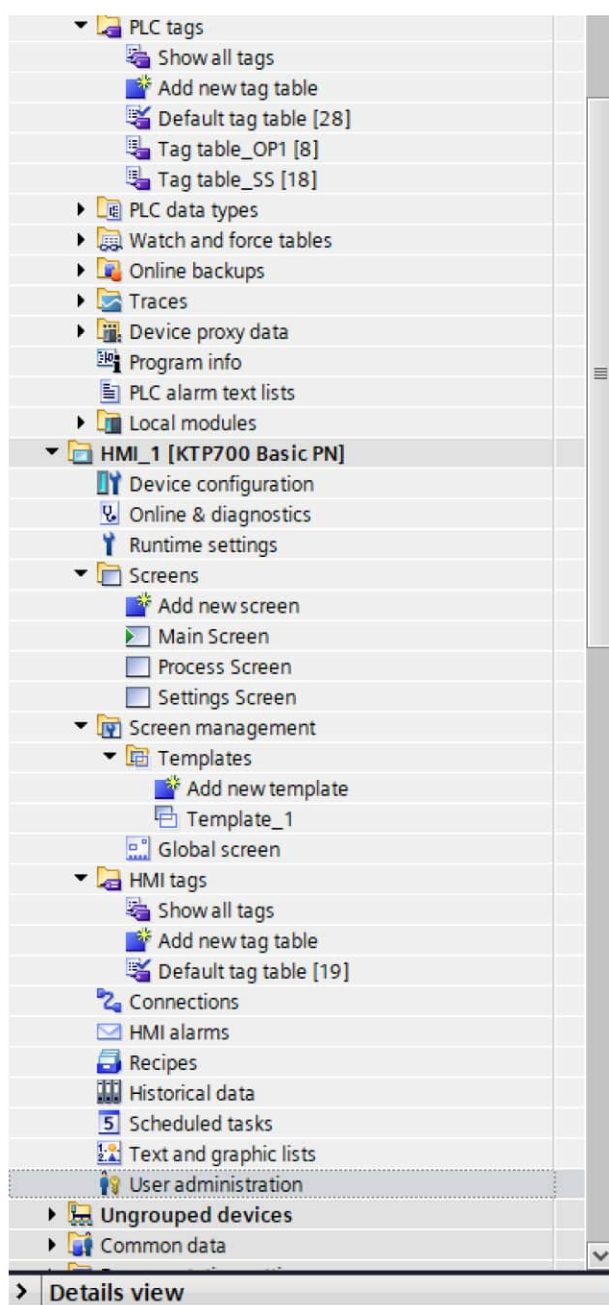
У даному програмному модулі реалізовано конфігурацію екранних форм людино-машинного інтерфейсу (НМІ) для керування та моніторингу роботи кіберфізичної системи на основі демонстраційного стенду Festo MPS Sorting. Програма забезпечує інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для оператора, що включає головний екран, візуалізацію технологічного процесу, сторінки з налаштуваннями, журнал подій, діагностичні та сервісні функції. Всі елементи інтерфейсу адаптовані до архітектури системи та функціоналу ПЛК.

Розроблені екранні форми дозволяють ефективно відображати стани датчиків і виконавчих механізмів, передавати команди управління до ПЛК та оперативно реагувати на зміну параметрів. Програмне рішення відповідає вимогам ергономіки, масштабованості та інтеграції в навчальні процеси.

ЗМІСТ

	Стор.
1. Дерево проєкту у TIA PORTAL v14	4
2. Налаштування рівнів доступу User Administration	5
3. Розробка та налаштування елементів Template	6
4. Розробка та налаштування елементів вікна «Main Screen»	8
5. Розробка та налаштування елементів вікна «Process Screen»	9
6. Розробка та налаштування елементів вікна «Settings Screen»	12

Дерево проекта у TIA PORTAL v14



Налаштування рівнів доступу User Administration

Users						
Name	Password	Automatic logoff	Logoff time	Number	Comment	
Administrator	*****	<input checked="" type="checkbox"/>	5	1	The user 'Administrator' is as.	
Operator	*****	<input checked="" type="checkbox"/>	5	2	Оператор	
<Add new>						

Groups					
Member of	Name	Number	Display name	Password aging	Comment
	Administrator group	1	Administrator group	<input type="checkbox"/>	The 'Administrator' group is initially granted all rights.
	Users	2	Users	<input type="checkbox"/>	The 'Users' group is initially granted 'Operating' rights.
<Add new>					

Operator [User] Properties Info Diagnostics

General Texts

General

Automatic logoff
Comment

Display

Name:

Number:

Password

Enter password:

Confirm password:

Groups					
Name	Number	Display name	Password aging	Comment	
Administrator group	1	Administrator group	<input type="checkbox"/>	The 'Administrator' group is i.	
Users	2	Users	<input type="checkbox"/>	The 'Users' group is initially g.	
<Add new>					

Authorizations					
Active	Name	Display name	Number	Comment	
<input checked="" type="checkbox"/>	User administration	User administration	1	Authorization 'User administr..	
<input checked="" type="checkbox"/>	Monitor	Monitor	2	'Monitor' authorization.	
<input checked="" type="checkbox"/>	Operate	Operate	3	'Operate' authorization.	
<Add new>					

Operate [Authorization] Properties Info Diagnostics

General Texts

General

Comment

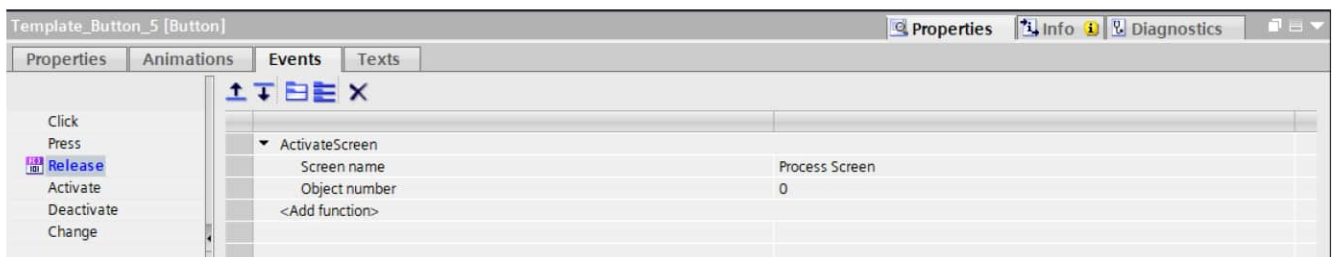
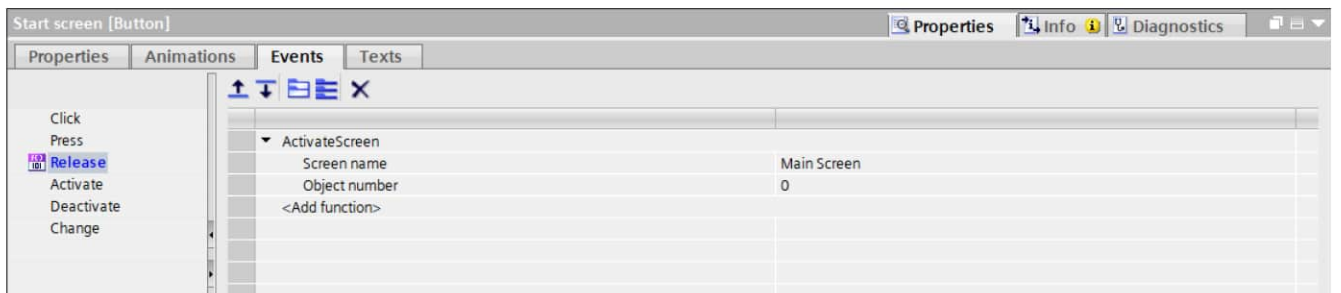
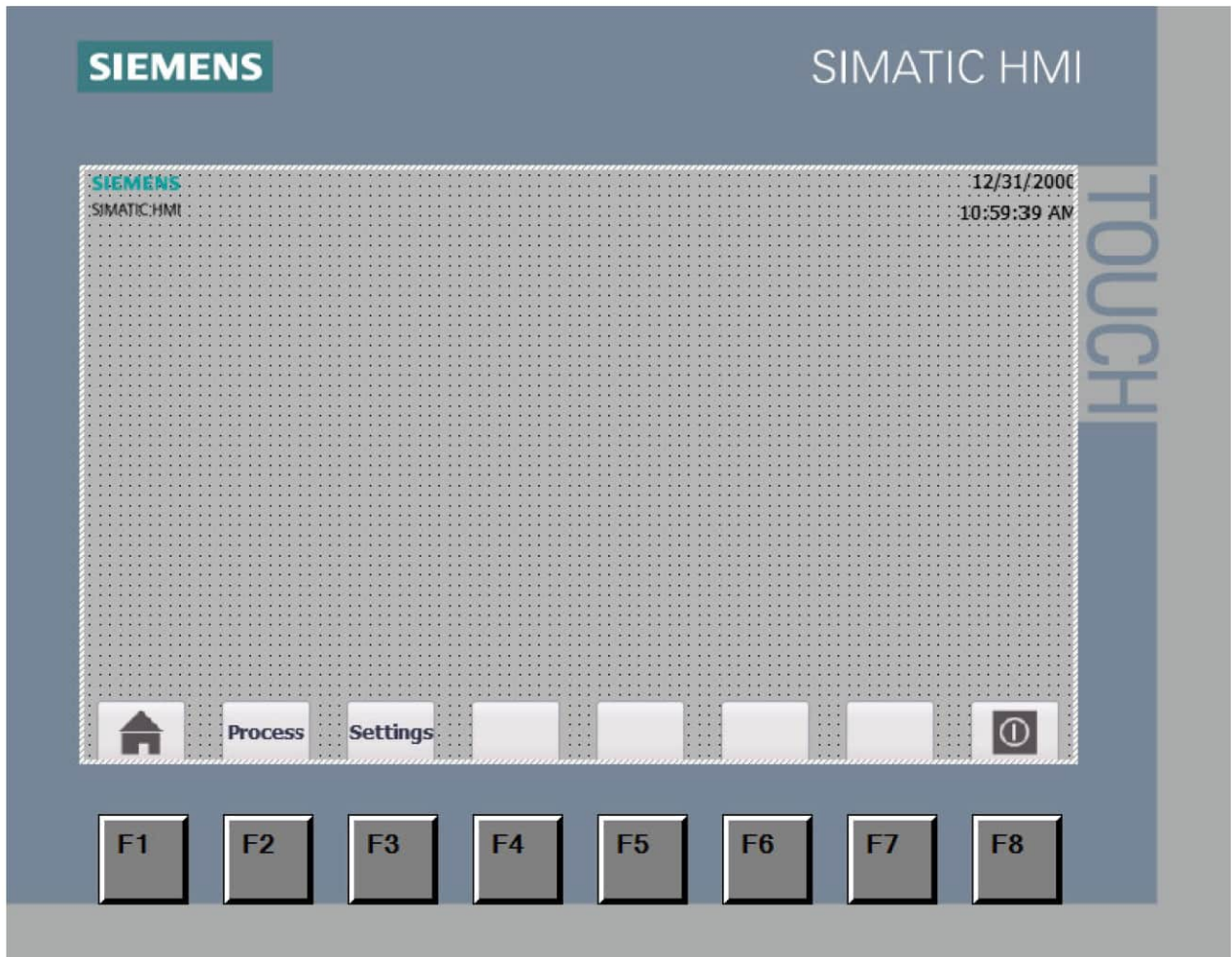
Display

Name:

Display name:

Number:

Розробка та налаштування елементів Template



Template_Button_4 [Button] Properties Info Diagnostics

Properties Animations Events Texts

Click
Press
Release
Activate
Deactivate
Change

Event	Property	Value
▼ ActivateScreen	Screen name	Settings Screen
	Object number	0
<Add function>		

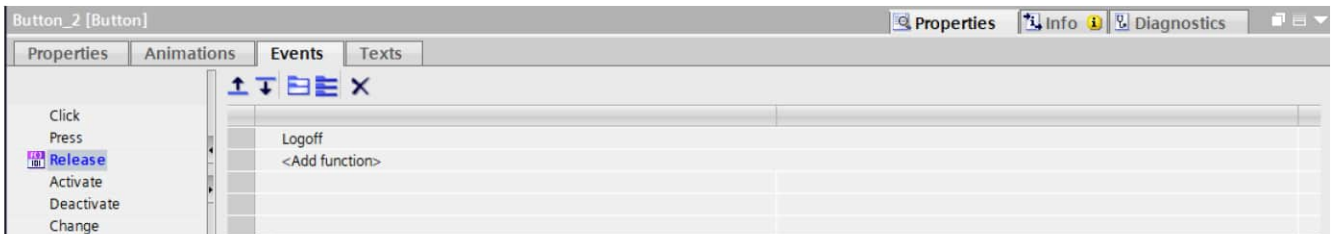
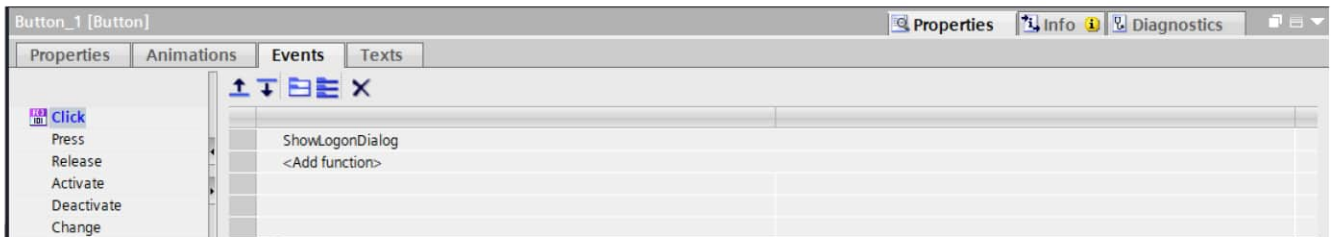
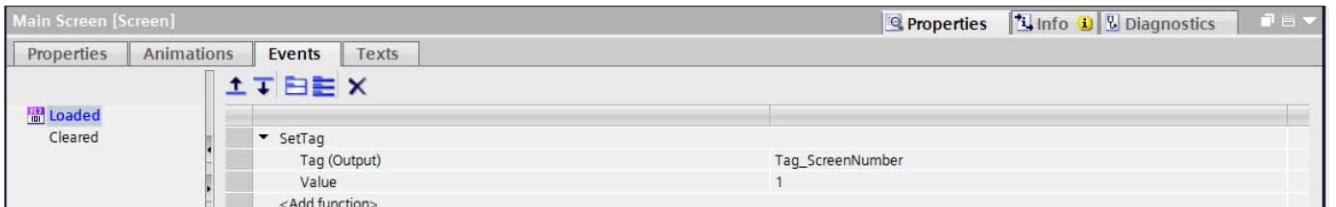
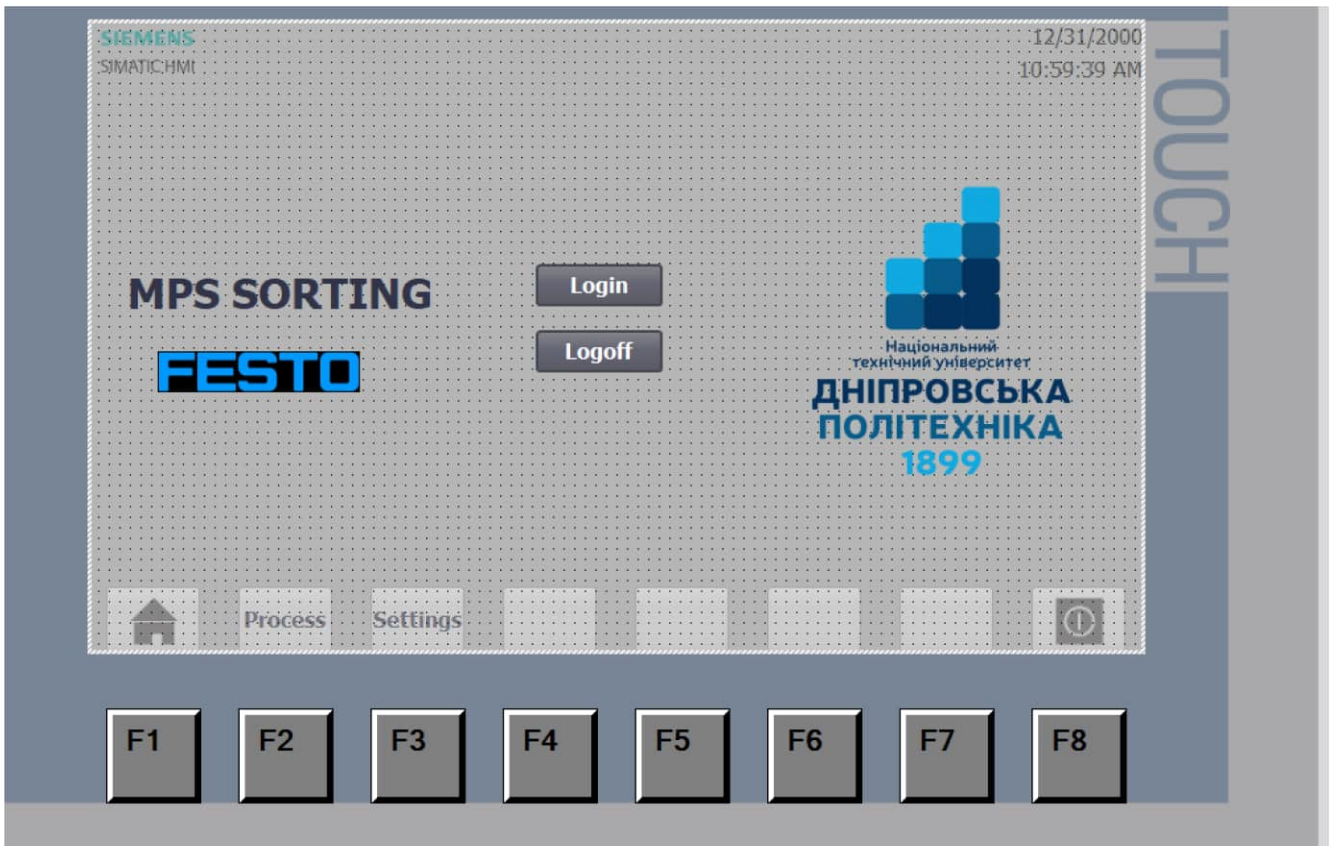
Exit [Button] Properties Info Diagnostics

Properties Animations Events Texts

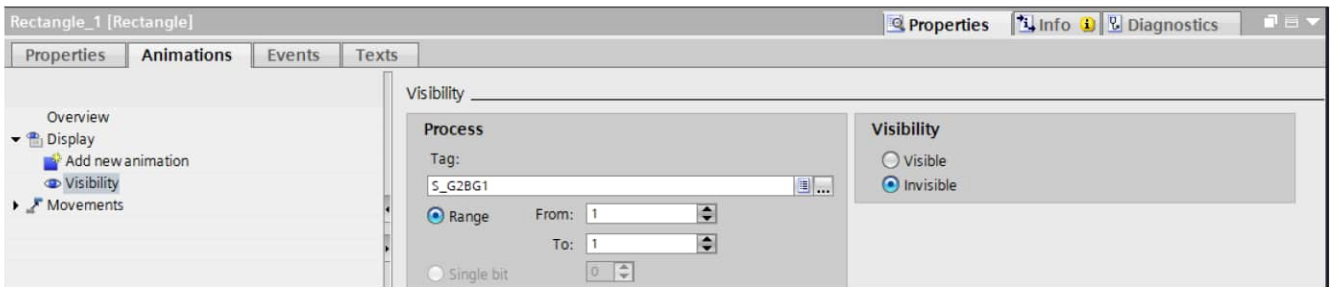
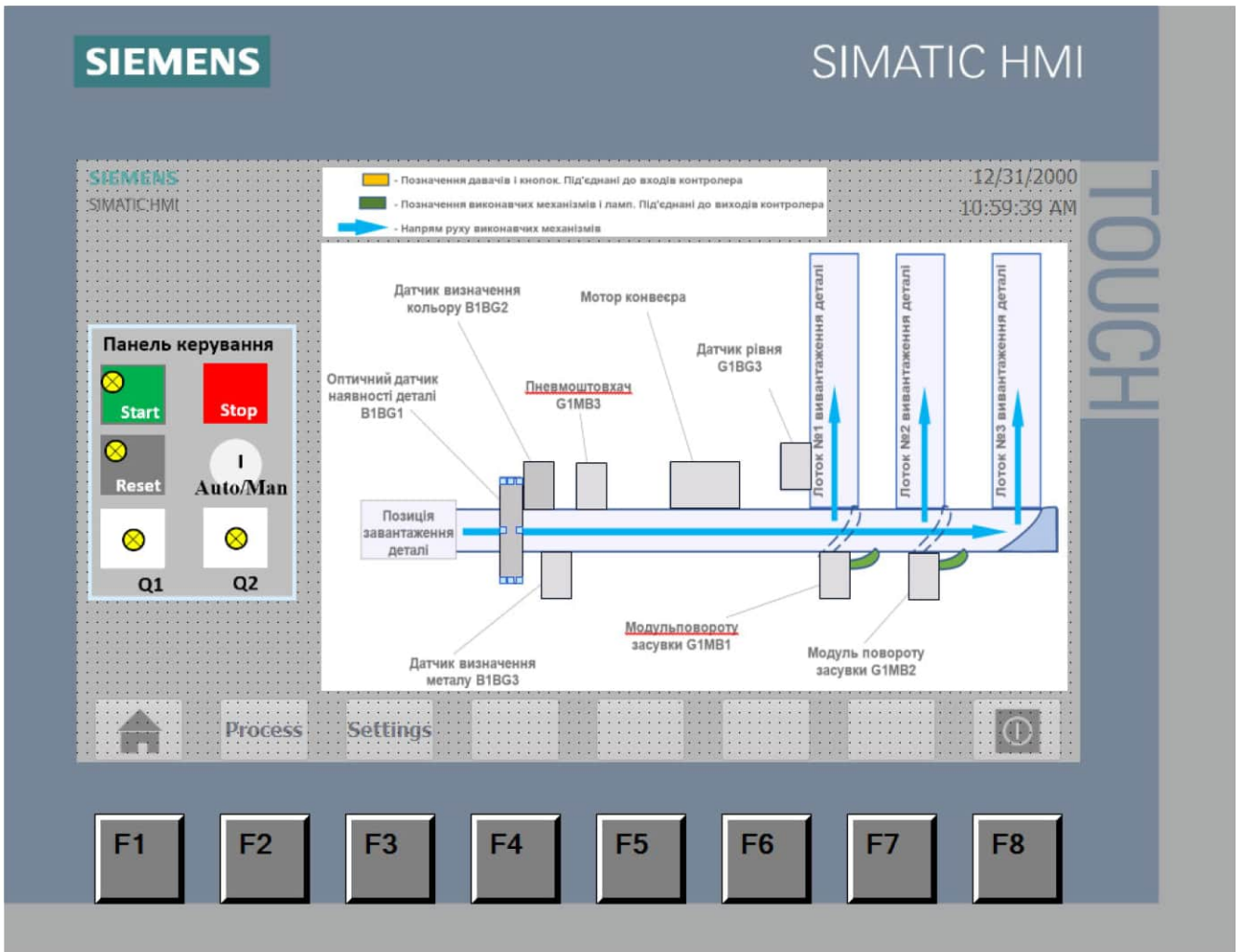
Click
Press
Release
Activate
Deactivate
Change

Event	Property	Value
▼ StopRuntime	Mode	Runtime
	<Add function>	

Розробка та налаштування елементів вікна «Main Screen»



Розробка та налаштування елементів вікна «Process Screen»



Rectangle_2 [Rectangle] Properties Info Diagnostics

Properties Animations Events Texts

Overview

- Display
 - Add new animation
 - Visibility
- Movements

Visibility

Process

Tag: S_G2BG2

Range From: 1 To: 1

Single bit 0

Visibility

Visible

Invisible

Rectangle_6 [Rectangle] Properties Info Diagnostics

Properties Animations Events Texts

Overview

- Display
 - Add new animation
 - Visibility
- Movements

Visibility

Process

Tag: S_G2BG3

Range From: 1 To: 1

Single bit 0

Visibility

Visible

Invisible

Rectangle_3 [Rectangle] Properties Info Diagnostics

Properties Animations Events Texts

Overview

- Display
 - Add new animation
 - Visibility
- Movements

Visibility

Process

Tag: S_G1MB3

Range From: 1 To: 1

Single bit 0

Visibility

Visible

Invisible

Rectangle_4 [Rectangle] Properties Info Diagnostics

Properties Animations Events Texts

Overview

- Display
 - Add new animation
 - Visibility
- Movements

Visibility

Process

Tag: S_G1MA1

Range From: 1 To: 1

Single bit 0

Visibility

Visible

Invisible

Rectangle_5 [Rectangle] Properties Info Diagnostics

Properties Animations Events Texts

Overview

- Display
 - Add new animation
 - Visibility
- Movements

Visibility

Process

Tag: S_G1BG3

Range From: 1 To: 1

Single bit 0

Visibility

Visible

Invisible

Rectangle_7 [Rectangle] Properties Info Diagnostics

Properties Animations Events Texts

Overview

- Display
 - Add new animation
 - Visibility
- Movements

Visibility

Process

Tag: S_G1MB1

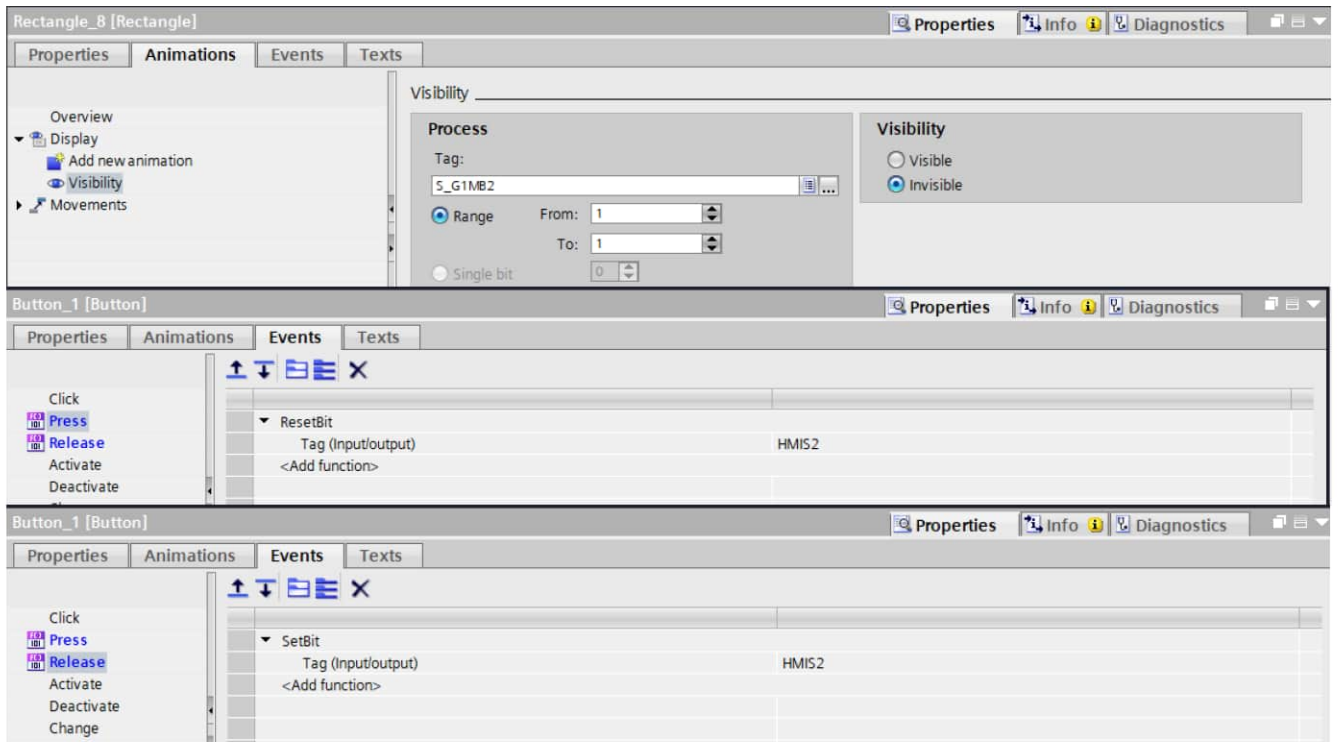
Range From: 1 To: 1

Single bit 0

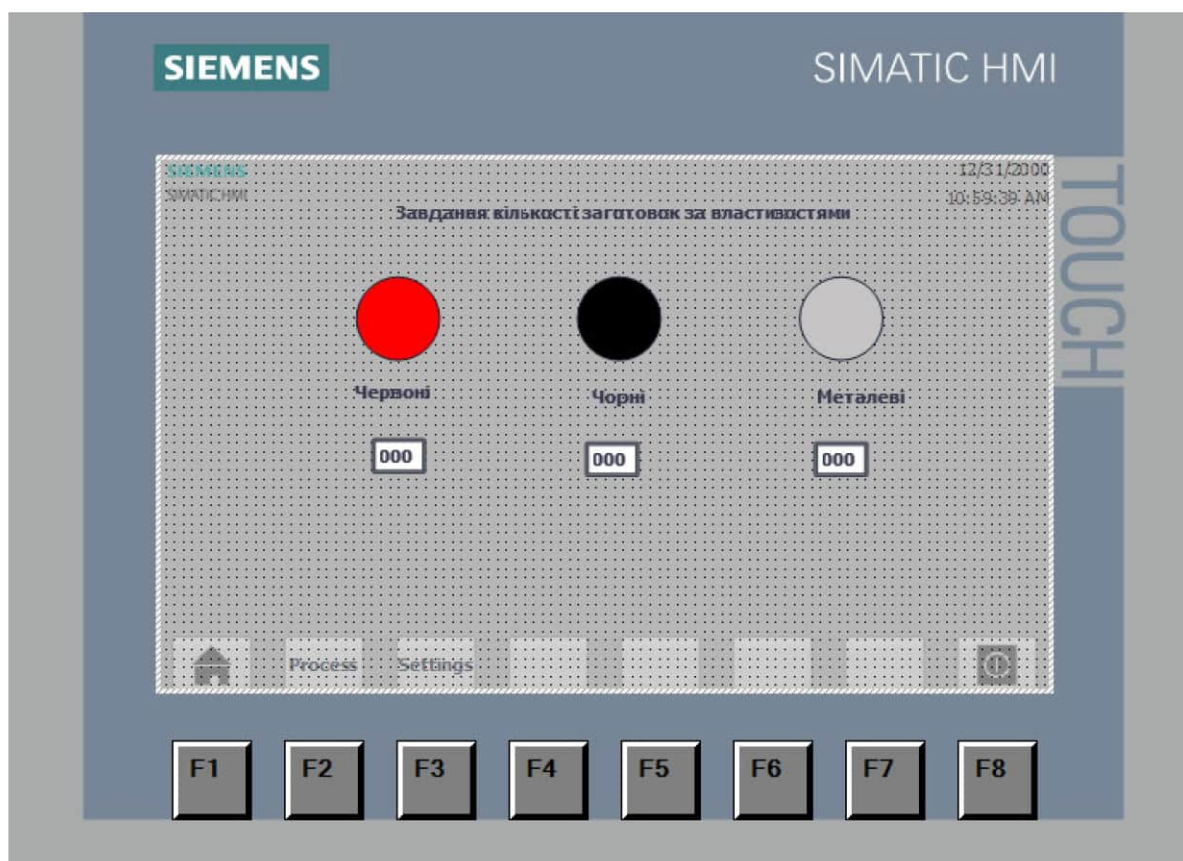
Visibility

Visible

Invisible



Розробка та налаштування елементів вікна «Settings Screen»



I/O field_1 [I/O field] Properties Info Diagnostics

Properties Animations Events Texts

Property list

- General
- Appearance
- Characteristics
- Layout
- Text format
- Limits
- Styles/Designs
- Miscellaneous
- Security

General

Process

Tag: CountRed

PLC tag: CountRed

Address: Int

Type

Mode: Input/output

Format

Display format: Decimal

Decimal places: 0

Field length: 3

Leading zeros:

Format pattern: 999

I/O field_2 [I/O field] Properties Info Diagnostics

Properties Animations Events Texts

Property list

- General
- Appearance
- Characteristics
- Layout
- Text format
- Limits
- Styles/Designs
- Miscellaneous
- Security

General

Process

Tag: CountBlack

PLC tag: CountBlack

Address: Int

Type

Mode: Input/output

Format

Display format: Decimal

Decimal places: 0

Field length: 3

Leading zeros:

Format pattern: 999

I/O field_3 [I/O field] Properties Info Diagnostics

Properties Animations Events Texts

Property list

- General
- Appearance
- Characteristics
- Layout
- Text format
- Limits
- Styles/Designs
- Miscellaneous
- Security

General

Process

Tag: CountMetall

PLC tag: CountMetall

Address: Int

Type

Mode: Input/output

Format

Display format: Decimal

Decimal places: 0

Field length: 3

Leading zeros:

Format pattern: 999