

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення автоматизованої системи згортання паперу на базі
концепції Industry 4.0.

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи КТс-41

спеціальності 174 – Автоматизація, комп'ютерно-

інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва спеціальності)

Сапегін С.С.

Керівник

Чихіра І.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Чихіра І.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Голотенко О.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Осадца Я.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис) Голотенко О.С.
(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Сапегін Станіслав Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення автоматизованої системи згортання паперу на базі концепції Industry 4.0.

Керівник роботи Чихіра Ігор Вікторович, канд. техн. наук, доц каф. КТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «14» квітня 2026 року № 4/9-185

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21 червня 2026р.

3. Вихідні дані до роботи Технічні вимоги щодо системи згортання паперу.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

Аналітична частина

Проектна частина

Спеціальна частина

Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Титульний слайд

Актуальність роботи

Завдання роботи

Основна частина

Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності,			
основи охорони праці			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	20.04.2026	Виконано
2.	Підбір джерел по темі роботи	22.04.2026-24.05.2026	Виконано
3.	Опрацювання публікацій та збір даних по темі роботи	24.04.2026-27.04.2026	Виконано
4.	Виконання роботи згідно мети	27.04.2026-29.04.2026	Виконано
5.	Оформлення першого та другого розділів	29.04.2026-31.04.2026	Виконано
6.	Оформлення третього розділу	31.04.2026-11.05.2026	Виконано
7.	Оформлення четвертого розділу	11.05.2026-13.05.2026	Виконано
8.	Підготовка презентації	14.05.2026-15.05.2026	Виконано
9.	Підготовка доповіді	16.05.2026-17.05.2026	Виконано
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	18.05.2026-19.05.2026	Виконано
11.	Нормоконтроль	19.05.2026-20.05.2026	Виконано
12.	Перевірка на плагіат	21.05.2026	Виконано
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	21.05.2026	Виконано
14.	Захист кваліфікаційної роботи		

Студент

(підпис)

Сапегін С.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Чихіра І.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки та графічної частини.

Об'єм графічної частини кваліфікаційної роботи становить __ слайдів. Об'єм пояснювальної записки складає __ друкованих сторінок формату А4 (210×297), об'єм додатків – __ друкованих сторінок формату А4.

У роботі було спроектовано та розроблено автоматизовану систему згортання паперу, що базується на принципах концепції Industry 4.0. Розроблена система є кіберфізичною, що поєднує апаратні та програмні компоненти для забезпечення високої точності, продуктивності та гнучкості виробничого процесу. Вона передбачає використання сучасних засобів автоматизації, сенсорних елементів та інтелектуальних алгоритмів керування. Система реалізує можливість збору, обробки та передачі даних у реальному часі з використанням технологій Інтернету речей (IoT), що забезпечує дистанційний моніторинг та оптимізацію виробничих процесів. Передбачено інтеграцію із хмарними сервісами для зберігання даних, їх аналізу та підтримки прийняття рішень. У процесі розробки було виконано вибір апаратної платформи (контролерів, датчиків положення, приводів виконавчих механізмів), а також проведено аналіз та синтез алгоритмів керування процесом згортання паперу. Особливу увагу приділено точності позиціювання, узгодженню роботи механічних вузлів та забезпеченню стабільності технологічного процесу. У результаті виконаних досліджень та проєктування було створено програмне забезпечення, яке забезпечує автоматизоване керування системою, оптимізацію режимів роботи, діагностику стану обладнання та підвищення ефективності виробництва згідно з принципами цифровізації промисловості.

Ключові слова: автоматизована система, згортання паперу, Industry 4.0, промислова автоматизація, сенсори, виконавчі механізми, PLC.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1. Сучасні системи управління.....	8
1.2. Програмовані логічні контролери.....	11
1.3. Відкрита комунікаційна платформа	16
1.4. Industry 4.0.....	18
2. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	27
2.1. Апаратне забезпечення системи керування	27
2.2. Програмне забезпечення системи керування	35
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	50
3.1. Розробка інтерфейсу адміністратора та користувача з використанням ProViewDS.	50
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	61
4.1. Загальні положення по експлуатації електронно-обчислювальних машин (ЕОМ).....	61
4.2. Загальні вимоги по облаштуванню робочих місць користувачів ЕОМ	61
4.3 Вимоги безпеки під час безпосередньої роботи за ЕОМ.....	64
4.4 Розрахунок занулення електрообладнання	65
ВИСНОВКИ.....	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	71

ВСТУП

Сучасний етап розвитку світової економіки характеризується зростаючою потребою у впровадженні принципів сталого розвитку та раціонального використання ресурсів у всіх галузях виробництва. Під стійкістю у цьому контексті розуміється здатність виробничих систем забезпечувати стабільне функціонування та ефективність за умов обмежених ресурсів і динамічних змін зовнішнього середовища.

Аналіз сучасних тенденцій свідчить про значний негативний вплив традиційних підходів до виробництва на навколишнє середовище, що проявляється у виснаженні природних ресурсів, зростанні рівня забруднення та порушенні екологічного балансу. Урбанізація, інтенсивне зростання населення та підвищення рівня споживання ресурсів зумовлюють необхідність переходу до більш ефективних та ресурсозберігаючих технологій. Особливо гострою залишається проблема обмеженості водних ресурсів, а також деградації ґрунтів внаслідок техногенного впливу.

У відповідь на зазначені виклики активно розвиваються інноваційні підходи до організації виробничих процесів, зокрема на основі концепції Industry 4.0, яка передбачає інтеграцію кіберфізичних систем, цифрових технологій та інтелектуальних методів керування. Застосування принципів цифровізації дозволяє підвищити ефективність виробництва, мінімізувати втрати ресурсів та забезпечити високий рівень автоматизації технологічних операцій.

Аналогічно до того, як у сільському господарстві впроваджуються технології контрольованого середовища для оптимізації умов вирощування продукції, у промисловості впроваджуються автоматизовані системи, що забезпечують точність, повторюваність і стабільність технологічних процесів. Зокрема, автоматизація операцій механічної обробки матеріалів,

таких як згортання паперу, дозволяє досягти високої якості продукції при зниженні енергетичних та матеріальних витрат.

Сучасні автоматизовані системи базуються на застосуванні сенсорів, виконавчих механізмів та програмованих логічних контролерів, що дає змогу реалізувати адаптивне керування технологічними процесами в режимі реального часу. Інтеграція таких систем із мережевими та хмарними платформами забезпечує збір, обробку та аналіз виробничих даних, що, у свою чергу, сприяє підвищенню ефективності прийняття управлінських рішень.

Таким чином, впровадження автоматизованих систем, розроблених відповідно до концепції Industry 4.0, є важливим напрямом підвищення продуктивності, якості та екологічної безпеки сучасного виробництва, зокрема у задачах автоматизованого згортання паперу.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

Автоматизація є рушійною силою сучасного технологічного розвитку. Людина завжди прагнула до створення чогось нового, що могло б полегшити її життя. Починаючи з поступового винайдення невеликих побутових пристроїв, відомих ще з давніх етапів історії людства, і до сучасних технологічних досягнень, людство постійно прагнуло знайти простіші та ефективніші способи використання створеного обладнання. Технології розвиваються швидкими темпами, і водночас зростають виклики, пов'язані з їх ефективним застосуванням. Значна частина сучасного обладнання потребує висококваліфікованих і добре підготовлених операторів для належного керування ним. При цьому завжди актуальним залишається питання, чи зможе людина без спеціальної підготовки зрозуміти принцип роботи машини та користуватися нею. Оскільки машини, технологічні процеси та системи керування ними мають бути зручними для користувача, простими для сприйняття, розуміння, обчислення та керування, виникає потреба у таких рішеннях, які водночас здатні функціонувати автоматично, забезпечуючи оптимізацію продуктивності та ефективності.

Автоматизація є складним комплексним процесом. Вона передбачає використання механічних, електричних, електронних компонентів і комп'ютерних систем як окремо, так і в різних комбінаціях з метою зменшення участі людини або підвищення ефективності функціонування самої машини. Основну увагу зосереджено на використанні електричних та електронних компонентів, а також комп'ютеризованих засобів для керування технологічними процесами. Зокрема, розглядаються сучасні програмні рішення для оброблення даних із застосуванням інтернет-технологій та особливості реалізації людино-машинного інтерфейсу НМІ.

1.1. Сучасні системи управління

У теорії керування виокремлюють два основні напрями, а саме класичну теорію керування та сучасну теорію керування. У класичній теорії керування система аналізується в часовій області з використанням

диференціальних рівнянь або в частотній області із застосуванням перетворення Лапласа. При цьому такі системи здебільшого обмежуються структурами з одним входом і одним виходом, тобто SISO-системами. Натомість у сучасній теорії керування для аналізу систем використовуються методи простору станів, що дає змогу досліджувати системи з багатьма входами та багатьма виходами, тобто МІМО-системи. Аналогічно, з погляду проходження керувального сигналу розрізняють два поширені типи керування: керування зі зворотним зв'язком та послідовне керування. Керування зі зворотним зв'язком є процесом регулювання вхідних параметрів за допомогою контролера, який активується сигналом, сформованим унаслідок порівняння виміряного значення із заданим, тобто попередньо встановленою уставкою. Послідовне керування — це процес, за якого система виконує різні дії відповідно до фіксованої послідовності або логіки, що визначається різними станами системи. Крім того, у сфері автоматизації застосовується ще один підхід, який ґрунтується на явищі гістерезису. Він може використовуватися в реле тиску, системах регулювання швидкості та інших випадках, де необхідно забезпечити плавність роботи.

Підхід до промислового та процесного керування й автоматизації кілька десятиліть тому суттєво відрізнявся від сучасного. Більшість систем керування до 1950-х років були аналогового типу. Вони містили вимикачі, контактори, реле, таймери та лічильники, а основним призначенням таких схем керування було вмикання та вимикання машин або технологічних процесів. Перша цифрова система керування була введена в експлуатацію у 1959 році в Порт-Артурі, штат Техас (Рис. 1.1). Згодом, наприкінці 1960-х років, з'явилися спеціалізовані комп'ютери, здатні забезпечувати безпосереднє цифрове керування. Однак вони були дуже дорогими, тому не змогли тривалий час утриматися на ринку. На початку 1970-х років у промисловості почали впроваджуватися універсальні, компактніші та дешевші мікрокомп'ютери. Вони швидко витіснили наявні на той час

рішення, зайняли провідні позиції на ринку та залишаються важливим елементом промислових систем керування до сьогодні.



Рисунок 1.1 Перша цифрова система керування, Техас, 1959 р.

1.2. Програмовані логічні контролери

Програмовані логічні контролери (PLC) — це компактні цифрові комп'ютерні пристрої, які використовуються в сучасних системах керування. Вони є гнучкими щодо програмування відповідно до потреб користувача та здатні формувати керувальні сигнали, за допомогою яких здійснюється керування машинами й технологічними процесами у промисловості.

У 1960-х роках у промисловості використовувалися дорогі електричні та електронні схеми керування, які мали обмежені функціональні можливості й недостатню гнучкість. У цей період автомобільна промисловість належала до провідних галузей виробництва. Однак вона стикалася зі значними економічними труднощами, оскільки виготовлення й складання окремих деталей, а також автомобіля загалом, потребували значних витрат. Хоча комп'ютери могли бути одним із засобів підвищення ефективності виробничих і складальних процесів, вони мали великі габарити. Інженери стикалися з труднощами під час спроб використання таких великогабаритних комп'ютерів безпосередньо на виробництві. Фахівці активно шукали ефективнішу альтернативу, однак існувало багато перешкод для заміни наявної технології. Працівники вже звикли до поширених схем керування на основі реле та лічильників. Крім того, такі схеми були відносно простими для розуміння та практичної реалізації. У промисловості вже працювали тисячі інженерів, електриків, операторів машин і технічних працівників, які мали досвід роботи з такими системами. Тому впровадження нової технології замість добре засвоєної та широко прийнятої могло негативно вплинути на ефективність виробництва.

Попри всі ці труднощі, розробникам вдалося створити компактний пристрій, який міг виконувати функції комп'ютера, водночас зберігаючи логіку, подібну до релейно-контактних схем. Саме такі пристрої стали основою сучасних програмованих логічних контролерів PLC. Незважаючи на численні переваги цих пристроїв, на початкових етапах вони залишалися надто дорогими для пересічного користувача. Крім того, у виробничій галузі

було багато фахівців, яким знадобився певний час, щоб переконатися в надійності PLC та їхній здатності замінити традиційні релейні схеми. Завдяки постійним удосконаленням і модифікаціям минуло багато років, перш ніж PLC набули широкого визнання та стали економічно доцільними для промислового застосування.

З огляду на функціональні можливості сучасних PLC, їх можна охарактеризувати як модульні пристрої, що приймають численні вхідні сигнали від фізичної системи, забезпечують можливість програмування, переважно за допомогою релейно-контактної логіки, для здійснення перевірки, оброблення та керування вихідними сигналами, а також формують відповідні результуючі сигнали на виході. PLC можуть здійснювати обмін даними з пристроями введення-виведення, іншими програмованими логічними контролерами, а також зберігати програми й дані. Підключення до вхідних і вихідних пристроїв може здійснюватися як за допомогою спеціалізованих з'єднань або мереж із використанням спеціалізованих пристроїв і роз'ємів, так і через загальноприйняті засоби комунікації, зокрема Ethernet, RS-232 тощо.

PLC є одним із найважливіших компонентів сучасних розвинених систем керування та автоматизації. Основні причини, завдяки яким PLC посідають провідне місце у виробничих і процесних галузях промисловості:

1. Компактні габаритні розміри.
2. Підтримка програмування мовою релейно-контактної логіки Ladder Logic.
3. Забезпечення широких можливостей комунікації та керування між машинами й операторами, а також між самими машинами.
4. Відносно низька вартість, висока механічна міцність та швидкодія.
5. Надійність функціонування.
6. Наявність динамічної бібліотеки компонентів, зокрема реле, перемикачів, лічильників і логічних елементів.
7. Безпечність в експлуатації.

8. Висока стійкість до впливу зовнішніх електромагнітних та інших виробничих завад.

Структура PLC охоплює центральний процесор, пам'ять, модулі введення та виведення, блок живлення, комунікаційний інтерфейс і пристрій програмування (Рис. 1.2). Центральний процесор виконує керуючу програму, аналізує сигнали, що надходять від датчиків, та формує відповідні команди для виконавчих пристроїв. Пам'ять використовується для зберігання програми керування, параметрів налаштування, проміжних даних і поточного стану системи. Блок живлення забезпечує стабільне електроживлення всіх внутрішніх компонентів контролера, що є необхідною умовою його надійної роботи. Вхідні модулі призначені для отримання інформації від зовнішніх пристроїв. До них можуть належати дискретні сигнали, наприклад від кнопок, перемикачів або кінцевих вимикачів, а також аналогові сигнали, що характеризують зміну фізичних величин, зокрема температури, тиску, рівня чи витрати. Вихідні модулі, своєю чергою, передають керуючі сигнали на виконавчі механізми: електродвигуни, клапани, реле, контактори або сигнальні пристрої. Дискретні виходи забезпечують увімкнення чи вимкнення обладнання, тоді як аналогові виходи дають змогу здійснювати плавне регулювання параметрів процесу. Комунікаційний інтерфейс забезпечує обмін даними між контролером, НМІ-панелями, комп'ютерами, іншими контролерами та промисловими мережами. Пристрій програмування використовується для створення, завантаження, редагування й налагодження програми керування. Завдяки взаємодії всіх цих елементів контролер забезпечує автоматизоване, точне та стабільне керування технологічними процесами.

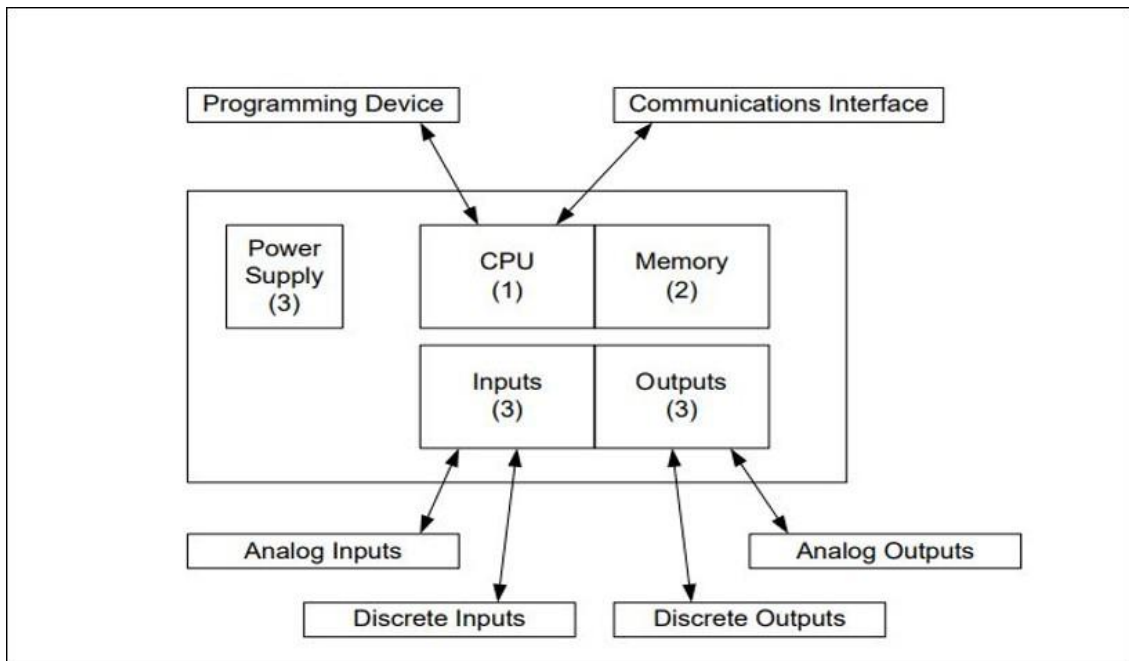


Рисунок 1.2 Функціональна блок-схема PLC

Сучасні PLC, представлені на ринку, мають спеціально призначені входні та вихідні контакти або клеми цифрового й аналогового типу, які використовуються для комунікаційних цілей. Входні контакти під'єднуються до джерела даних, а вихідні — до приймача даних. Джерелом даних зазвичай є машини або обладнання, що використовуються у промисловості чи на виробничому підприємстві та здатні генерувати певні дані. Ці дані можуть подаватися на входні контакти PLC для подальшого зчитування. Після зчитування даних програмованим логічним контролером вбудований мікрокомп'ютер обробляє їх відповідно до логіки, закладеної у програмі, та формує вихідні дані або сигнали. Приймачем даних може бути будь-який пристрій, наприклад HMI, за допомогою якого оператор має змогу зчитувати інформацію, передану PLC через його вихідні контакти. Кількість входних і вихідних контактів PLC для комунікаційних потреб за необхідності може бути збільшена шляхом додавання зовнішніх модулів. Зовнішній модуль може встановлюватися поруч із PLC в одному корпусі або блоці, а також розміщуватися на віддаленій ділянці з підключенням через кабелі. Крім того, відповідно до вимог системи між собою можуть з'єднуватися кілька PLC, а

також PLC з комп'ютерами. Залежно від способу передавання даних через фізичне середовище, зокрема кабелі, обмін даними між PLC, між PLC і модулями, а також між PLC і комп'ютерами може бути паралельним або послідовним. Це також залежить від відстані між відповідними пристроями. Паралельна комунікація використовується між точками зв'язку, які розташовані на невеликій відстані одна від одної. Такими точками можуть бути PLC і зовнішні модулі, два або більше PLC, а також PLC і комп'ютери. Наприклад, такий тип зв'язку може застосовуватися між PLC або модулями в межах лабораторії чи невеликого промислового підприємства. Біти даних передаються одночасно через паралельні кабелі, завдяки чому швидкість передавання даних є вищою, ніж у разі послідовної комунікації. Одним із поширених стандартних інтерфейсів такого типу є IEEE-488, який також називають GPIB — General Purpose Instrument Bus, тобто універсальна приладова шина. Послідовна комунікація використовується для обміну даними між точками зв'язку, розташованими на значних відстанях. У такому випадку через канал зв'язку в один момент часу передається один біт даних. Найпоширенішим стандартом послідовної комунікації є RS-232.

PLC мережі. PLC підтримують різні типи мережевої взаємодії для потреб керування та комунікації. Найпоширенішими варіантами мереж, які підтримуються майже всіма PLC, є віддалені системи введення-виведення, однорангові мережі, зв'язок із головним комп'ютером, а також локальні обчислювальні мережі LAN. Крім того, багато виробників PLC мають власні спеціалізовані мережеві рішення, які забезпечують обмін даними лише між контролерами їхнього виробництва. Водночас PLC різних виробників також можуть взаємодіяти між собою за допомогою ASCII-інтерфейсу та платформонезалежного програмного забезпечення.

Однорангова мережева взаємодія. В однорангових мережах певна кількість PLC з'єднується між собою таким чином, що комунікаційні сигнали послідовно передаються від одного вузла до іншого. При цьому спільна таблиця пам'яті дублюється в пам'яті кожного процесора. Кожен PLC

програмується для виконання функцій у певній зоні та відповідає за керування власною ділянкою системи. Коли один PLC вносить певні зміни, тобто виконує нові операції або оновлює наявні функції чи дані, ця інформація автоматично передається іншим PLC у мережі.

З'єднання комп'ютера та PLC. Це ще одна важлива функціональна перевага PLC. Вони можуть безпосередньо підключатися до комп'ютерів за допомогою інтерфейсів RS-232C, RS-422, RS-485 або Ethernet. Така можливість робить PLC універсальними, зручними для оброблення та збору даних, а також придатними для програмування з використанням мов високого рівня, зокрема релейно-контактної логіки Ladder Logic. Крім того, це спрощує завантаження програм у PLC, ведення документації та забезпечує ефективнішу взаємодію з операторським або користувацьким інтерфейсом, який часто називають HMI.

1.3. Відкрита комунікаційна платформа

На сучасному ринку представлено багато виробників програмованих логічних контролерів. Allen-Bradley є одним із найпопулярніших американських виробників, обладнання якого переважно використовується в промисловості США. Siemens домінує в Європі та значній частині Азії. Аналогічно, японські PLC Mitsubishi та Omron широко застосовуються у східних країнах. Крім того, контролери Modicon також мають значне поширення на американському ринку. Загалом у світі існує понад двадцять таких виробників. Усі ці виробники виготовляють не лише PLC, а й інші периферійні пристрої, зокрема HMI, а також допоміжні компоненти: з'єднувачі, шлюзи тощо. Однак важливо зазначити, що кожен із цих виробників використовує власні драйвери та з'єднувальні засоби для підключення своїх PLC до серверів, а серверів — до клієнтських пристроїв. Це створює проблему у випадках, коли на одному підприємстві використовуються два або більше PLC різних виробників і виникає потреба

забезпечити їхню взаємодію між собою. Спеціалізовані драйвери одного виробника, як правило, не підтримують пристрої іншого виробника.

OPC, або OLE for Process Control, є сімейством промислових стандартів і протоколів, призначених для забезпечення надійного та безпечного обміну даними між різними засобами автоматизації. До таких засобів належать датчики, програмовані логічні контролери, виконавчі пристрої, операторські панелі, комп'ютерні системи та спеціалізоване програмне забезпечення для моніторингу й керування технологічними процесами. Основне призначення OPC полягає в усуненні проблеми несумісності між обладнанням і програмними продуктами різних виробників. Завдяки використанню єдиного підходу до передавання даних OPC створює спільну інформаційну платформу, у межах якої джерела даних можуть передавати технологічну інформацію, а клієнтські пристрої або програмні системи — отримувати до неї доступ. Це дає змогу інтегрувати в одну автоматизовану систему різноманітне обладнання без необхідності розроблення окремих інтерфейсів для кожного виробника чи протоколу. У практичній реалізації OPC зазвичай передбачає використання спеціального програмного забезпечення, встановленого на комп'ютері, яке виконує функції сервера. Такий сервер забезпечує зв'язок із джерелами даних, наприклад датчиками, контролерами або іншими промисловими пристроями, та передає отриману інформацію клієнтським системам. У ролі клієнтів можуть виступати персональні комп'ютери, НМІ-панелі, екрани візуалізації, SCADA-системи або Andon-пристрої, призначені для оперативного відображення стану виробничого процесу. Таким чином, будь-який клієнт може відносно легко взаємодіяти з PLC через сервер. При цьому не потрібно використовувати додаткове апаратне забезпечення або спеціальний драйвер для підключення до пристрою іншого виробника. Окрім забезпечення єдиної комунікаційної платформи для пристроїв із різними спеціалізованими протоколами зв'язку, OPC також визначає протокол роботи із системами керування даними та прикладними базами даних, доступом до поточних даних у режимі реального

часу, обробленням аварійних повідомлень і подій. Ще однією перевагою OPC є те, що ця технологія є менш витратною порівняно з іншими фізичними шлюзами або з'єднаннями.

1.4. Industry 4.0

Історію промислових революцій загалом поділяють на чотири окремі періоди. Першим вважається період від кінця XVIII століття, коли переважали механічні машини, що приводилися в дію енергією води та пари. Другий етап хронології промислової революції, який також називають Industry 2.0, охоплює період від початку до середини XX століття. У цей час у промисловість було впроваджено електроенергію, а основними досягненнями стали масове виробництво та використання конвеєрних ліній. Після 1960-х років у промисловість почали активно впроваджуватися комп'ютери, напівпровідникові пристрої та інтернет, що спричинило революційні зміни в наявних виробничих системах. Цей період розглядають як третю промислову революцію, або Industry 3.0. Нині розвиток промисловості спрямований на реалізацію концепції кіберфізичних систем, інтернету речей (IoT) та інтернету сервісів, що сприяє формуванню бачення «розумної фабрики». Очікується, що цей новий підхід виведе промисловість на наступний рівень розвитку — Industry 4.0.

Сучасною метою промисловості є впровадження інтернету речей, тобто такого підходу, за якого кіберфізичні системи взаємодіють і співпрацюють між собою та з людьми в режимі реального часу через інтернет. Це забезпечує можливість оптимального спільного використання як внутрішніх, так і міжорганізаційних сервісів усіма учасниками виробництва. Кіберфізичні системи (CPS) — це системи взаємодіючих обчислювальних елементів, які здійснюють керування фізичними об'єктами. Вони є фізичними та інженерними системами, функціонування яких контролюється, координується, керується та інтегрується за допомогою обчислювального й комунікаційного ядра. Такі системи дають змогу розширювати можливості

фізичних об'єктів шляхом поєднання обчислювальних і комунікаційних технологій із фізичними процесами.

Виокремлюють шість основних принципів проектування Industry 4.0.

До них належать:

1. Інтероперабельність.
2. Віртуалізація.
3. Децентралізація.
4. Здатність функціонувати в режимі реального часу.
5. Модульність.
6. Сервісна орієнтованість.

Промислові системи цього покоління вважаються «розумними». Інтероперабельність характеризує здатність кіберфізичних систем, людей і «розумних фабрик» взаємодіяти між собою за допомогою інтернету речей та інтернету сервісів. Віртуалізація, своєю чергою, передбачає створення віртуальної копії фабрики шляхом поєднання даних, отриманих від сенсорів, із віртуальними моделями підприємства та імітаційними моделями. Децентралізація акцентує увагу на здатності системи приймати локальні рішення. Здатність функціонувати в режимі реального часу означає можливість системи збирати та аналізувати актуальні дані й ухвалювати рішення безпосередньо в реальному часі. Модульність характеризує здатність підприємств адаптуватися до змінних вимог. Будь-яку систему, що має такі характеристики та орієнтована на надання сервісів, можна розглядати як систему четвертого покоління. На рисунку 1.3 наведено основні компоненти, які, як передбачається, має містити Industry 4.0.

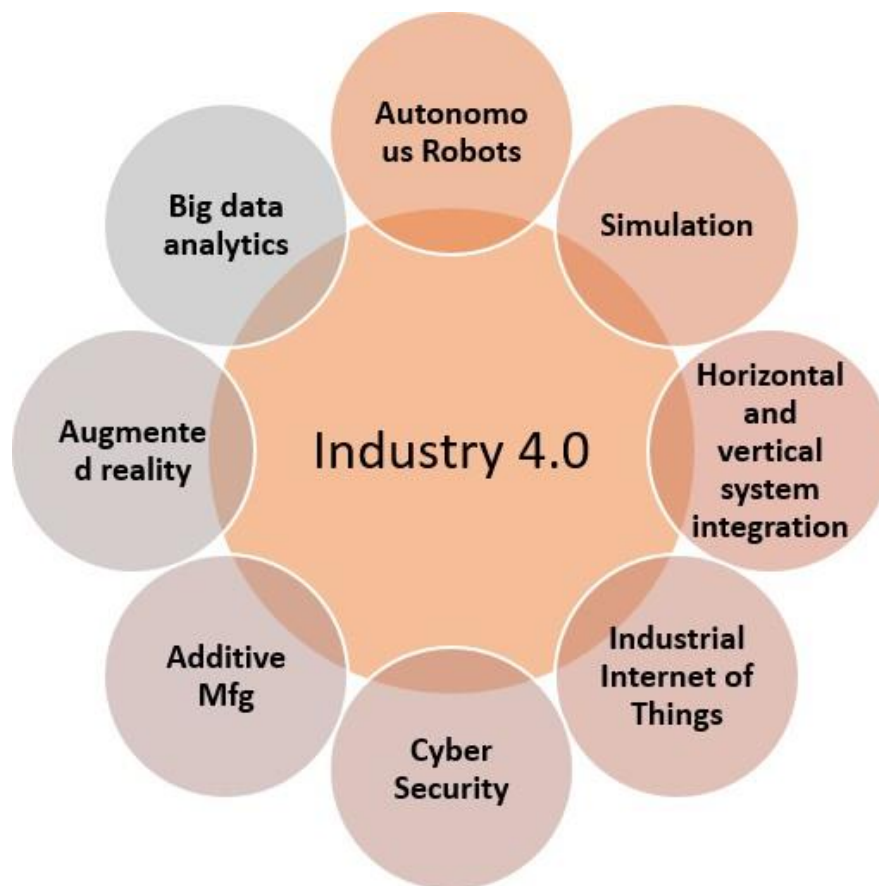


Рисунок 1.3 Основні складові Індустрії 4.0

Визначення Industry 4.0 не дає чіткого пояснення того, які саме чинники є ключовими для того, щоб промислове підприємство можна було віднести до Industry 4.0. Інтернет речей (IoT) та кіберфізичні системи (CPS) є одними з найпоширеніших сучасних технологічних тенденцій. Значна частина сучасних промислових підприємств усвідомлює важливість нової технологічної трансформації, однак не має чіткого розуміння того, з чого саме слід розпочати впровадження цієї концепції. Тому перехід до Industry 4.0 може потребувати певного часу, оскільки підприємствам необхідно усвідомити, який вплив цей технологічний розвиток матиме на промисловість, а також підготуватися до відповідних організаційних змін. Промислові підприємства в усьому світі стикаються з різними викликами, зокрема потребою у масовому виробництві, зниженні собівартості продукції та збільшенні її різноманітності, оскільки вони змушені конкурувати на світовому ринку. Наприклад, вартість робочої сили в деяких країнах сходу є

низькою, що дає змогу виготовляти дешевшу продукцію. Натомість виробничі витрати на підприємствах Європи та Америки є значно вищими, що зумовлює порівняно більшу вартість продукції. Водночас промислові підприємства намагаються підвищити гнучкість виробництва за допомогою наявних технологій, що в більшості випадків призводить до ускладнення системи. Наявні технології також можуть скорочувати життєвий цикл як продукції, так і самого підприємства. Отже, Industry 4.0 може бути одним із рішень для усунення подібних проблем.

Проте власники сучасних виробничих систем часто є консервативними та не схильні ризикувати, змінюючи наявну систему. Унаслідок цього виникає значний розрив між очікуваннями від технологічних змін і готовністю до їх практичного впровадження. Причини такої неготовності переважно мають соціально-економічний характер, а також пов'язані з технологічним розривом між наявною інфраструктурою та новими пристроями. Наприклад, сучасні спеціалізовані пристрої можуть бути несумісними з багатьма іншими пристроями. Тому для подолання цього технологічного розриву важливим є впровадження OPC в наявні системи. Це можна розглядати як перший крок на шляху до переходу до Industry 4.0. Під час розгляду питання адаптації передових технологій не можна ігнорувати безпеку продукції. Безпека продукції є ще одним ключовим чинником, який необхідно враховувати у процесі впровадження Industry 4.0. Поряд із висвітленням переваг нових технологій слід також аналізувати виклики, пов'язані з їх застосуванням у наявних промислових системах. Наприклад ринок Сполучених Штатів є найбільшим споживчим ринком у світі, оскільки він охоплює 27 % світового ринку. Комісія з безпеки споживчих товарів, створена урядом США для забезпечення безпечності споживчої продукції, стикається з труднощами у контролі якості продукції, незважаючи на постійне проведення перевірок. Industry 4.0, особливо інтернет речей і кіберфізичні системи, розглядаються як перспективні інструменти для

контролю та інспектування масового виробництва із забезпеченням належного рівня безпеки продукції.

Може існувати думка, що сучасні промислові підприємства вже є достатньо ефективними порівняно з попередніми десятиліттями. Тому вони можуть не відчувати потреби в модернізації, якщо не мають для цього переконливих підстав. Однак окремі дослідники стверджують, що сучасні цифрові фабрики необхідно модернізувати до рівня «розумних фабрик», тобто підприємств, які інтегрують фізичні технології з кібернетичними технологіями. Вони запропонували архітектуру «розумної фабрики», тобто інтелектуального підприємства, що відповідає стандартам Industry 4.0, а також визначили ключові технології, які мають використовуватися в Industry 4.0.

Відповідно до запропонованої архітектурної моделі, функціонування «розумних фабрик» передбачає взаємодію чотирьох основних рівнів, кожен із яких виконує окремі завдання в межах автоматизованого виробничого середовища:

- Першим є рівень фізичних ресурсів, який охоплює безпосередні технічні засоби виробництва, зокрема електродвигуни, машини, сенсори, виконавчі механізми та програмовані логічні контролери. Саме на цьому рівні здійснюється збирання первинних даних і реалізація керуючих впливів на технологічний процес.
- Другим є мережевий рівень, що забезпечує передавання даних між обладнанням, контролерами та іншими елементами системи. До нього належать промислові мережі, Ethernet-з'єднання, бездротові канали зв'язку, а також комунікаційні механізми на основі OPC UA, які забезпечують узгоджений і стандартизований обмін інформацією.
- Третім є рівень хмарних застосунків, призначений для зберігання, оброблення та аналізу виробничих даних. Він включає сервери, бази даних, хмарні платформи та програмні сервіси, які забезпечують

централізоване опрацювання інформації, моніторинг стану обладнання та підтримку прийняття управлінських рішень.

- Четвертим є термінальний рівень, який забезпечує взаємодію людини з автоматизованою системою. До нього належать кінцеві користувачі, монітори, операторські панелі та НМІ-інтерфейси, за допомогою яких здійснюється візуалізація параметрів процесу, контроль роботи обладнання та введення керуючих команд.

Водночас такий підхід має і певні недоліки. «Розумні» промислові системи потребують інтелектуального обладнання. Крім того, можуть виникати численні проблеми, пов'язані з інтеграцією мереж і забезпеченням виробництва, керованого знаннями.

Проектування промислових підприємств, що відповідають вимогам Industry 4.0, ґрунтується на низці ключових принципів, серед яких важливе місце займають взаємоз'єднання, інформаційна прозорість, децентралізоване ухвалення рішень і технічна підтримка. Взаємоз'єднання передбачає інтеграцію машин, технологічного обладнання, сенсорів, пристроїв керування та персоналу в єдине інформаційне середовище з використанням інтернет-технологій. Завдяки цьому всі елементи виробничої системи можуть обмінюватися даними в режимі реального часу, що забезпечує узгоджену роботу обладнання та підвищує ефективність керування технологічними процесами. Інформаційна прозорість полягає у забезпеченні доступності, повноти й актуальності інформації про стан виробничої системи. Внаслідок поєднання всіх компонентів формується цифрове відображення фізичного виробничого середовища, тобто віртуальна модель підприємства. Це дає змогу обладнанню, програмним системам і персоналу отримувати необхідні дані про стан окремих ділянок, параметри процесів і функціонування підприємства загалом. Децентралізоване ухвалення рішень реалізується завдяки використанню інтелектуальних пристроїв, здатних самостійно аналізувати поточну ситуацію та реагувати на зміни без постійного втручання оператора. Оскільки такі пристрої мають доступ до локальної та

загальної інформації про виробничий процес, вони можуть оперативно приймати рішення у разі виникнення відхилень, несправностей або критичних умов безпосередньо на виробничій ділянці. Технічна підтримка в умовах Industry 4.0 змінює роль людини у виробничому процесі. Працівник дедалі менше виконує функції звичайного оператора й натомість зосереджується на контролі, аналізі, обслуговуванні складних автоматизованих систем, усуненні несправностей та стратегічному плануванні. Це забезпечує більш гнучке, адаптивне й ефективне функціонування сучасного промислового підприємства.

До ключових принципів проєктування Industry 4.0 належать взаємоз'єднання, інформаційна прозорість, децентралізоване ухвалення рішень та технічна підтримка (Рис. 1.4). Оскільки Industry 4.0 безпосередньо передбачає використання великих обсягів даних, оброблення та керування даними є ще однією важливою проблемою, що постає перед промисловістю майбутнього. Взаємоз'єднання обладнання різних виробників і створення гнучкого комунікаційного каналу між ними є складним завданням, яке потребує належного вирішення. У зв'язку з цим необхідною є гнучка та надійна архітектура для організації комунікації й керування даними.

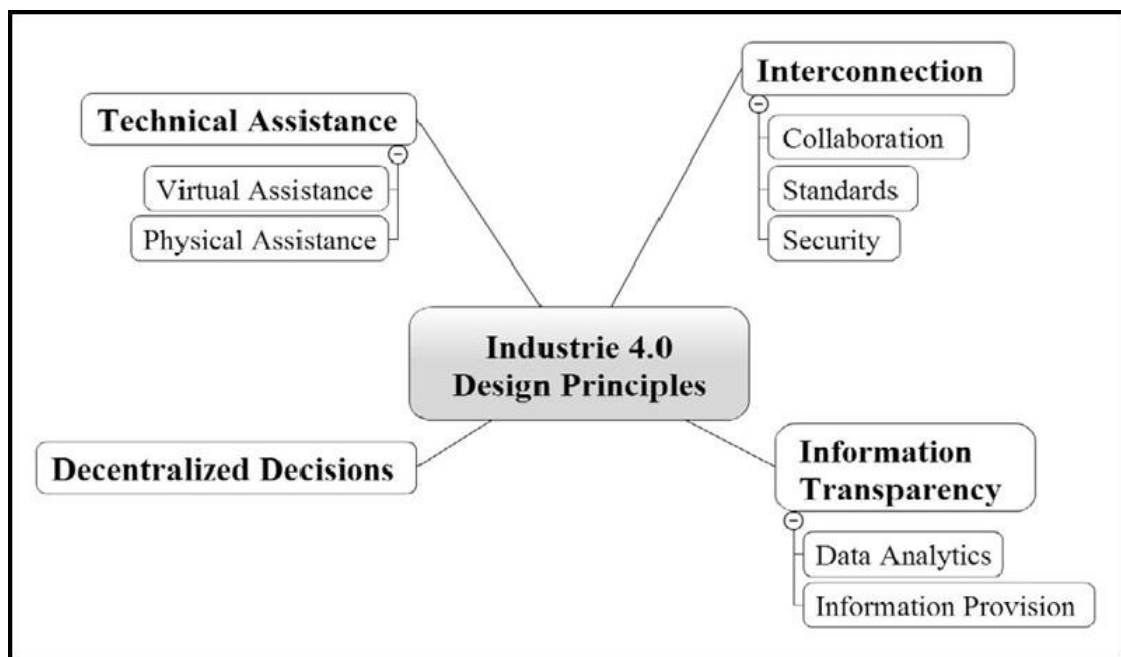


Рисунок 1.4 Основні принципи проєктування Industry 4.0

Крім того, у майбутніх «розумних» промислових системах може виникати багато викликів, пов'язаних із забезпеченням безпеки. Оскільки такі системи передбачають масштабне взаємоз'єднання, однією з потенційних проблем є перевірка та валідація даних. Основний виклик полягає в тому, що злоумисник може ввести хибні дані, а оскільки машини самостійно ухвалюють значну частину рішень, такі помилкові дані можуть спричинити їх неправильну роботу. Також важливим завданням для інженерів із безпеки є використання комерційно доступних хмарних сервісів. У зв'язку з цим виникає необхідність урахування викликів кібербезпеки. Управління безпекою та надійністю є ще однією важливою проблемою промисловості майбутнього. Енергетичний менеджмент є наступним важливим питанням, яке потребує уваги під час розгляду промисловості майбутнього. Оскільки вже прогнозується обмеженість запасів викопного палива, інженери й науковці активно шукають альтернативні джерела енергії. Промисловість майбутнього, як один із найбільших споживачів енергії, повинна бути енергоефективною. Дослідниками запропоновано окремі архітектури для промисловості наступного покоління, а також стратегії енергетичного менеджменту. Оскільки поведінка споживача щодо енергоспоживання є нестабільною та важко прогнозованою, досягнення ефективної системи є досить складним завданням. Розвиток IoT також сприяє впровадженню інтелектуальних лічильників і сенсорів, які надають дані в режимі реального часу щодо використання енергії, потреб у ній та її виробництва. Це, своєю чергою, сприяє обміну електроенергією між споживачем і постачальником послуг, а також змінює підходи до вимірювання енергоспоживання. Очікується, що це також вплине на традиційні принципи функціонування систем електропостачання та формування цін на кінцеву продукцію. Людино-машинні інтерфейси будуть ключовим компонентом промисловості наступного покоління. Оскільки пристрої, машини й обладнання мають бути інтелектуальними, а система

повинна підтримувати децентралізацію ухвалення рішень, роль оператора також суттєво зміниться. Працівникам, імовірно, доведеться виконувати функції стратегічних аналітиків і фахівців із розв'язання проблем. Оскільки багато рішень ухвалюватиметься локально на рівні машини, необхідним стає отримання інформації про всі події, що відбуваються під час технологічного процесу, з віддалених ділянок до робочого місця оператора. Тому збір великого обсягу даних від численних інтелектуальних пристроїв і їх зрозуміле представлення оператору є наступним важливим викликом промисловості майбутнього.

2. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1. Апаратне забезпечення системи керування

Система намотування паперового рулону є прикладом автоматизованого об'єкта керування, у якому точність переміщення, синхронізація роботи виконавчих механізмів і стабільність технологічного процесу забезпечуються засобами програмованого керування. Реалізація автоматизованої системи керування рухом ґрунтується на використанні контролера Siemens S7-1200, HMI-інтерфейсу та програмного середовища TIA Portal V14. Керування роботою крокових двигунів здійснюється за допомогою Siemens S7-1200, який забезпечує оброблення вхідних сигналів, виконання заданого алгоритму та формування керуючих дій. Взаємодія оператора із системою реалізується через HMI-екран, що дає змогу контролювати основні параметри, обирати режими роботи та здійснювати оперативне керування. Програмування контролера виконано мовою релейно-контактної логіки LAD у середовищі TIA Portal V14, яке забезпечує розроблення, налагодження та перевірку алгоритмів керування промисловими процесами. Структура програми охоплює як базові інструкції, так і розширені функціональні блоки. До базових інструкцій належать операції бітової логіки, зокрема нормально відкриті та нормально закриті контакти, операції присвоєння біта у вигляді вихідної котушки, а також таймери, лічильники, компаратори, математичні функції та оператори перетворення даних. Застосування цих елементів забезпечує формування основної логіки роботи системи, оброблення сигналів і виконання послідовних керуючих дій. Розширені інструкції представлені технологічними об'єктами, серед яких важливе місце займають вбудовані блоки керування рухом і функціональний блок PID Contrast. Їх використання дає змогу спростити структуру програми, підвищити ефективність її виконання та зменшити обсяг програмного коду. У разі застосування традиційного підходу розроблення математичної моделі системи й

проектування PID-регулятора могли б потребувати значних часових витрат і поглибленого аналізу динамічних характеристик об'єкта керування. Використання вбудованих технологічних блоків значно полегшує етап проектування та налаштування системи. Після введення початкових, орієнтовних параметрів PID-регулятора основне завдання програміста полягає у коригуванні й оптимізації роботи системи. Надалі система може автоматизовано визначати уточнені значення коефіцієнтів P, I та D, необхідні для забезпечення стабільного й коректного функціонування.

Важливою перевагою програмного забезпечення Siemens є наявність широкого набору вбудованих інструкцій для різних напрямів промислової автоматизації. Вони охоплюють базові та розширені команди, технологічні об'єкти, комунікаційні функції й додаткові програмні пакети, що дає змогу реалізовувати комплексні системи керування з високим рівнем гнучкості, надійності та функціональності.

Апаратна частина системи для намотування паперових рулонів (Рис. 2.1) керується за допомогою контролера Siemens S7-1200.

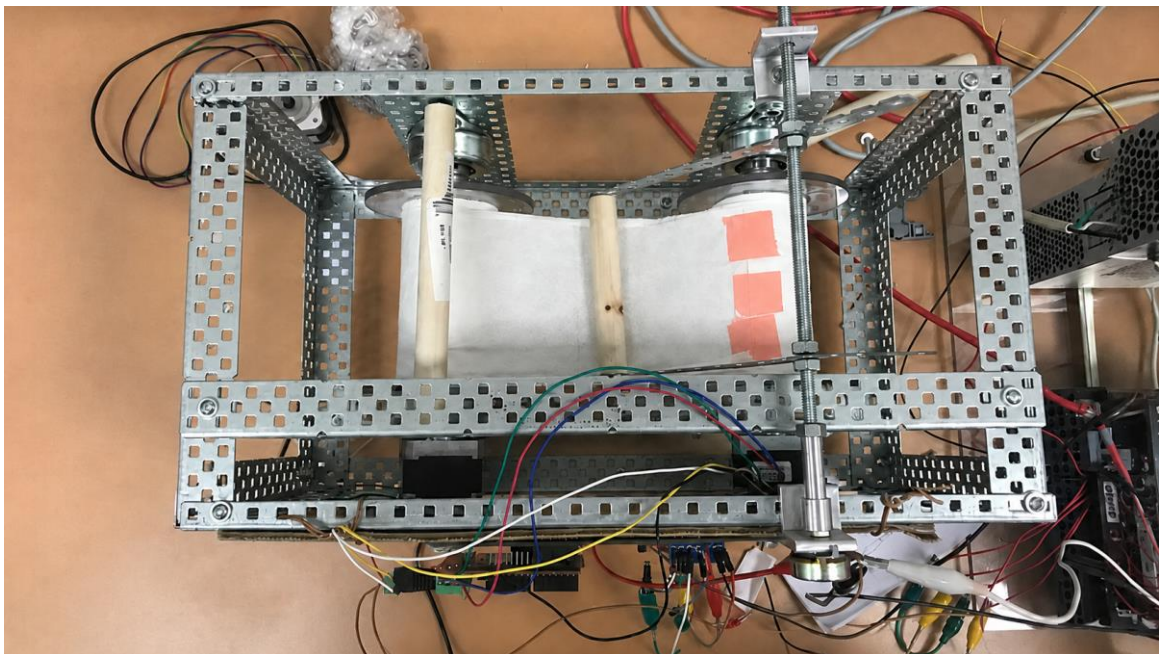


Рисунок 2.1. Системи для намотування паперових рулонів.

Система містить два крокові двигуни. Вали закріплені на важелях апаратної конструкції. Один важіль містить папір, призначений для намотування, а другий важіль є вузлом, на який має намотуватися папір. Після запуску системи папір із завантаженого важеля починає переміщуватися та намотуватися на другий важіль.

Технічні можливості процесора CPU 1214C свідчать про його придатність для реалізації задач промислової автоматизації, зокрема керування рухом, оброблення сигналів від датчиків, взаємодії з НМІ-панелями та обміну даними через промислові мережі. Процесор має кілька типів користувацької пам'яті. Робоча пам'ять становить 50 Кбайт і використовується для виконання програми та оброблення поточних даних. Завантажувальна пам'ять обсягом 3 Мбайти призначена для зберігання програми користувача, конфігурації обладнання та пов'язаних із ними даних. Ретентивна пам'ять обсягом 2 Кбайти дає змогу зберігати важливі параметри навіть після вимкнення живлення, що є важливим для відновлення роботи системи після перезапуску. CPU 1214C має вбудовані дискретні та аналогові входи/виходи. До складу контролера входять 14 дискретних входів і 10 дискретних виходів, які можуть використовуватися для підключення кнопок, кінцевих вимикачів, реле, контакторів, сигнальних ламп та інших пристроїв. Також передбачено 2 аналогові входи, що дає змогу приймати сигнали від датчиків температури, тиску, рівня, витрати або інших фізичних величин. Розмір області образу процесу для входів і виходів становить по 1024 байти, що забезпечує оброблення значної кількості сигналів у межах автоматизованої системи. Бітова пам'ять типу M має обсяг 8192 байти. Вона використовується для зберігання проміжних логічних станів, допоміжних змінних, внутрішніх прапорців і службових сигналів програми керування. Це дозволяє реалізовувати складні алгоритми з використанням умов, блокувань, режимів роботи та послідовних операцій. Контролер підтримує розширення апаратної конфігурації. До нього можна підключити до 8 сигнальних модулів SM, один сигнальний модуль SB та до 3 комунікаційних модулів CM.

Завдяки цьому CPU 1214C може бути адаптований до конкретних вимог технологічного процесу, зокрема за кількістю входів і виходів, типами сигналів та необхідними інтерфейсами зв'язку. Для задач, пов'язаних із точним підрахунком імпульсів, контролер має 6 високошвидкісних лічильників. В однофазному режимі три з них можуть працювати з частотою до 100 кГц, а ще три — до 30 кГц. У квадратурному режимі три лічильники підтримують частоту до 80 кГц, а інші три — до 20 кГц. Такі характеристики є важливими для роботи з енкодерами, контролю швидкості, визначення положення та керування рухом виконавчих механізмів. Наявність 2 імпульсних виходів дає змогу використовувати контролер для формування імпульсних сигналів, наприклад під час керування кроковими двигунами. Крім того, передбачено 14 входів фіксації імпульсів, що забезпечують швидке реагування на короткочасні сигнали. Контролер також підтримує 4 часові або циклічні переривання з роздільною здатністю 1 мс, а також 12 переривань за наростаючим фронтом і 12 переривань за спадним фронтом сигналу. Вбудований годинник реального часу має точність ± 60 секунд на місяць, що дозволяє використовувати його для часової синхронізації, реєстрації подій і виконання операцій за заданим часовим графіком. Швидкодія процесора є достатньо високою для більшості задач автоматизації: булеві операції виконуються за 0,1 мкс на інструкцію, операції переміщення слова — за 12 мкс, а математичні операції з дійсними числами — за 18 мкс. Комунікаційні можливості CPU 1214C забезпечуються одним вбудованим портом Ethernet зі швидкістю передавання даних 10/100 Мбіт/с. Порт має трансформаторну ізоляцію та передбачає використання екранованого кабелю типу CAT5e, що підвищує надійність зв'язку в умовах промислового середовища. Контролер підтримує підключення до 3 НМІ-пристроїв, одного програмувального пристрою PG, до 8 з'єднань із користувацькою програмою та до 3 з'єднань між CPU.

Для реалізації системи керування рухом застосовано гібридний кроковий двигун Hurst Series H17ET (Рис. 2.2). Використання такого типу

двигуна є доцільним у системах, де необхідно забезпечити високу точність позиціонування, стабільність обертального руху та можливість керованого переміщення без застосування складних систем зворотного зв'язку. У роботі використано двигун моделі Single shaft SY42STH38-0406A, який має конструктивне виконання з одним валом.

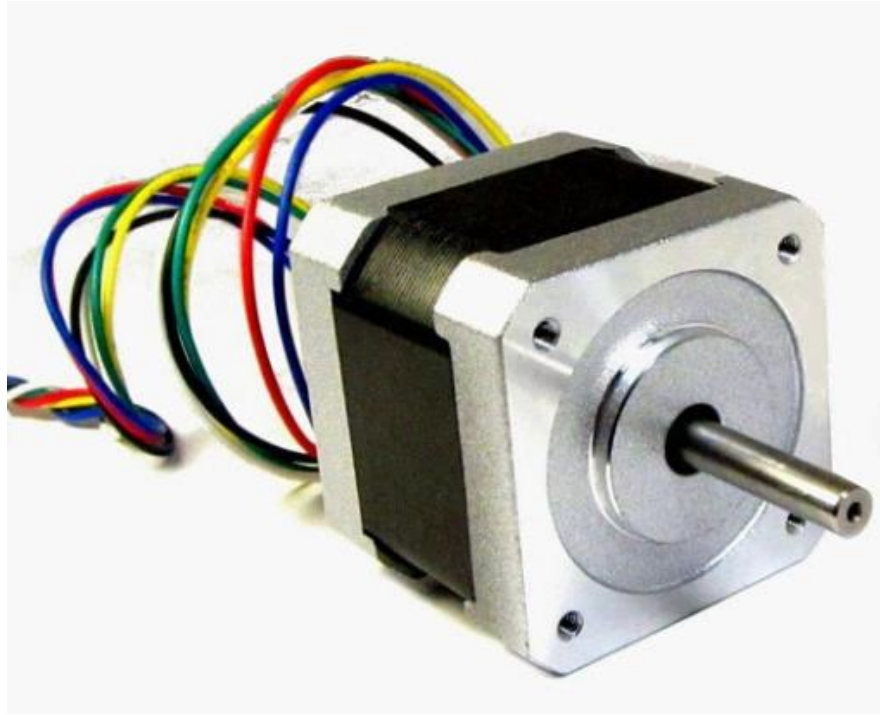


Рисунок 2.2. Гібридний кроковий двигун Hurst Series H17ET.

Номінальна напруга двигуна становить 12 В, а струм на одну фазу — 0,4 А, що дає змогу застосовувати його в малопотужних автоматизованих системах керування. Опір однієї фази дорівнює 30 Ом, а індуктивність фази — 30 мГн. Зазначені параметри характеризують електричні властивості обмоток двигуна та впливають на його динамічну поведінку під час роботи. Однією з важливих експлуатаційних характеристик двигуна є утримувальний момент, який становить 2,6 кг·см. Цей параметр визначає здатність двигуна утримувати вал у заданому положенні без самовільного зміщення. Така властивість має особливе значення для систем намотування, позиціонування та дозованого переміщення матеріалу. Двигун має 6 виводів, що забезпечує можливість його підключення відповідно до вибраної схеми керування.

Також важливим параметром є момент фіксації, який становить 150 г·см і характеризує залишковий механічний опір обертанню ротора за відсутності живлення на обмотках. Кут одного кроку становить $1,8^\circ$, тобто для здійснення повного оберту вал двигуна виконує 200 кроків. Такий параметр забезпечує достатній рівень точності керування положенням вала без необхідності використання складних механічних передавальних систем. Точність кута кроку становить $\pm 5\%$ у режимі повного кроку без навантаження. Це означає, що фактичне положення ротора може незначною мірою відхилятися від номінального значення, однак такі відхилення є допустимими для більшості задач позиціонування. Точність опору обмоток становить $\pm 10\%$, а точність індуктивності — $\pm 20\%$, що відображає допустимі виробничі відхилення електричних параметрів двигуна. Максимальне підвищення температури двигуна під час роботи за номінального струму та за умови ввімкнення двох фаз не повинно перевищувати 80°C . Робочий діапазон температури навколишнього середовища становить від -20°C до $+50^\circ\text{C}$, що дає змогу використовувати двигун у різних умовах експлуатації. Опір ізоляції становить не менше 100 МОм за напруги 500 В постійного струму, що свідчить про належний рівень електричної безпеки та надійність ізоляційних матеріалів. Діелектрична міцність двигуна становить 500 В змінного струму протягом однієї хвилини. Механічні параметри двигуна також мають важливе значення для забезпечення стабільної та надійної роботи системи. Радіальний люфт вала не перевищує 0,02 мм за навантаження 450 г, а осьовий люфт становить 0,08 мм за аналогічного навантаження. Максимально допустиме радіальне зусилля дорівнює 28 Н на відстані 20 мм від фланця, а максимально допустиме осьове зусилля — 10 Н. Ці характеристики визначають межі допустимого механічного навантаження на вал двигуна під час його експлуатації. Напрямок обертання двигуна визначається як обертання за годинниковою стрілкою, якщо спостерігати з боку переднього фланця.

У процесі розроблення системи керування було узагальнено структуру реалізованої логіки, особливості побудови програмного коду, а також принципи функціонування людино-машинного інтерфейсу НМІ. Такий підхід дає змогу послідовно проаналізувати основні елементи програмної реалізації, взаємозв'язок між апаратними та програмними компонентами системи, а також спосіб організації обміну даними між контролером і операторською панеллю. На рисунку 2.3 наведено конфігурацію основних пристроїв у середовищі розроблення проєкту. Зокрема, у структурі системи налаштовано програмований логічний контролер PLC та НМІ-панель, які з'єднані між собою за допомогою мережевого інтерфейсу PN/IE. Таке з'єднання забезпечує передавання даних між контролером і людино-машинним інтерфейсом, що дає змогу оператору здійснювати моніторинг стану системи, вводити необхідні параметри та контролювати перебіг технологічного процесу.

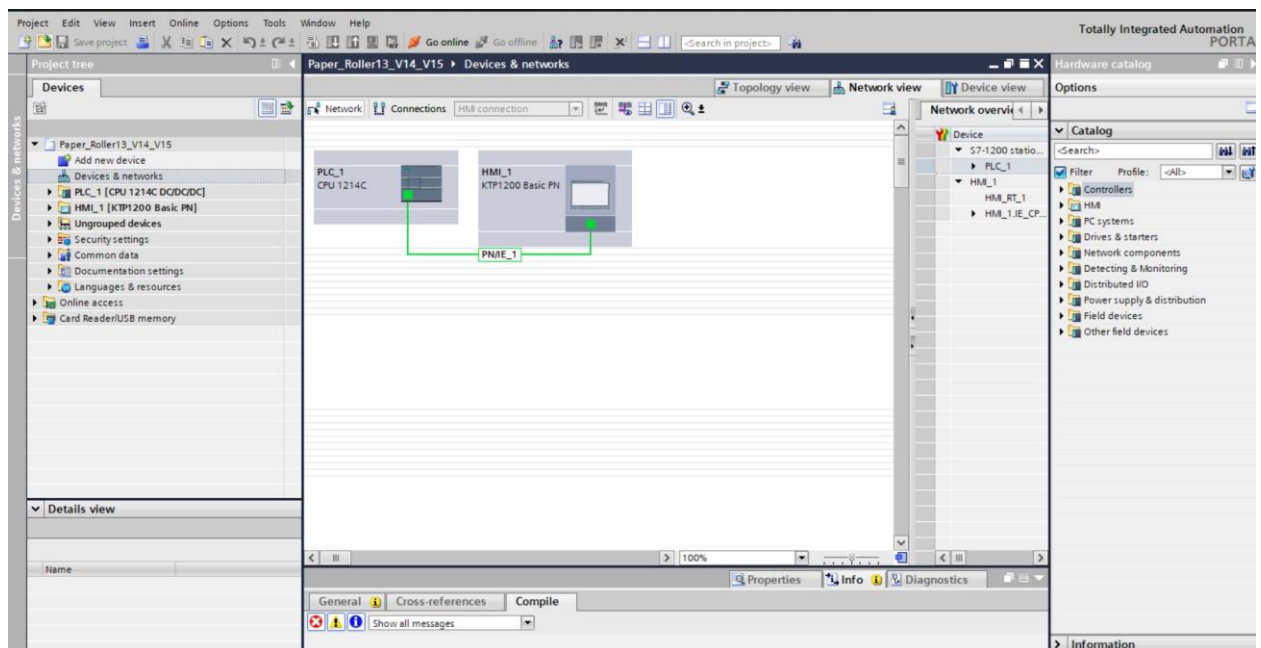


Рисунок 2.3. Конфігурація основних пристроїв.

У межах розробленої програми використано один циклічний переривальний блок, три функції FC та один блок даних. Циклічне переривання застосовується для виконання окремих операцій із заданою періодичністю, що є важливим для забезпечення стабільності та

передбачуваності роботи системи керування. Функції FC використовуються для структуризації програмного коду, поділу алгоритму на окремі логічні частини та спрощення подальшого аналізу й обслуговування програми. Блок даних призначений для зберігання змінних, параметрів і проміжних значень, необхідних для коректного функціонування системи.

На рисунку 2.4 наведено процесор CPU 1214C DC/DC/DC та доступні параметри його конфігурування. У цьому розділі середовища розроблення здійснюється налаштування процесора, а також підключення й конфігурування додаткових модулів, необхідних для роботи системи керування.

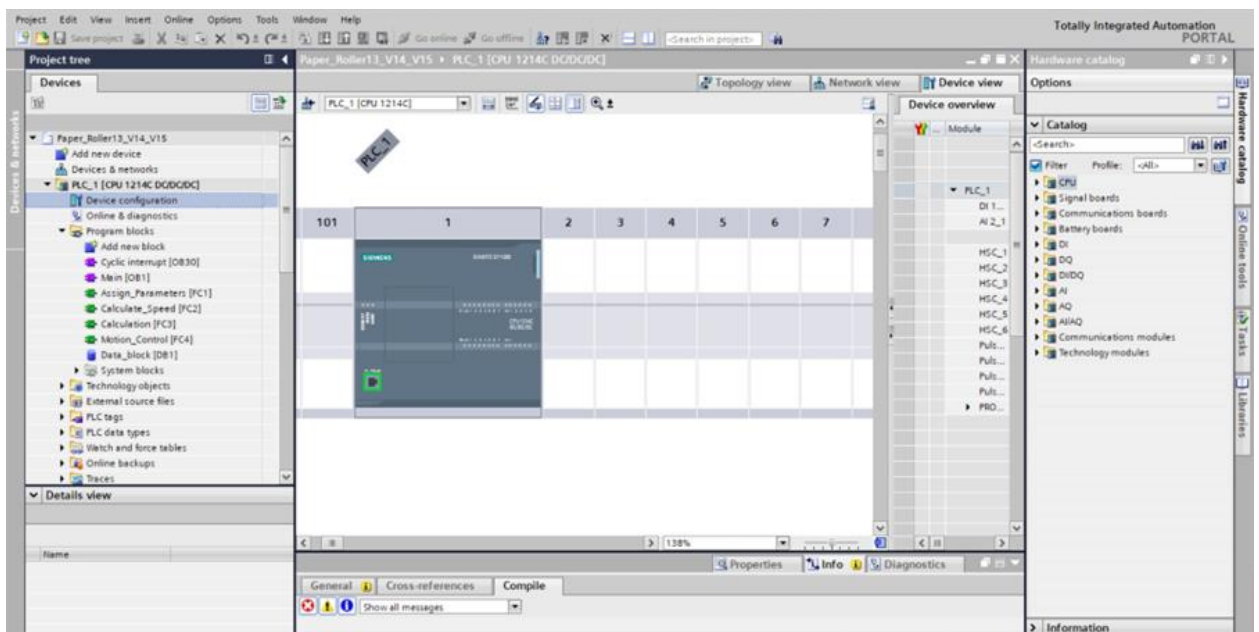


Рисунок 2.4. Параметри конфігурування CPU 1214C DC/DC/DC

За потреби до монтажної стійки можуть бути додані різні модулі, зокрема модулі введення, виведення, безпеки та інші функціональні розширення. Крім того, у цьому вікні можна вибрати відповідну версію пристрою, налаштувати його основні властивості, а також задати параметри Ethernet-порту, що використовується для організації обміну даними між компонентами системи. У цій системі використано процесор CPU 1214C DC/DC/DC 6ES7 214-1AG40-0XB0 V4.1, який є типовим представником

контролерів серії Siemens S7-1200. Його застосування забезпечує можливість реалізації логіки керування, оброблення вхідних і вихідних сигналів, а також взаємодії з іншими пристроями автоматизованої системи через промислову мережу.

2.2. Програмне забезпечення системи керування

В подальшому програму реалізовано мовою релейно-контактної логіки Ladder Logic в основному організаційному блоці Main (Рис. 2.5). Даний блок виконує роль головного циклічного елемента програми, у межах якого здійснюється основна логіка керування системою.

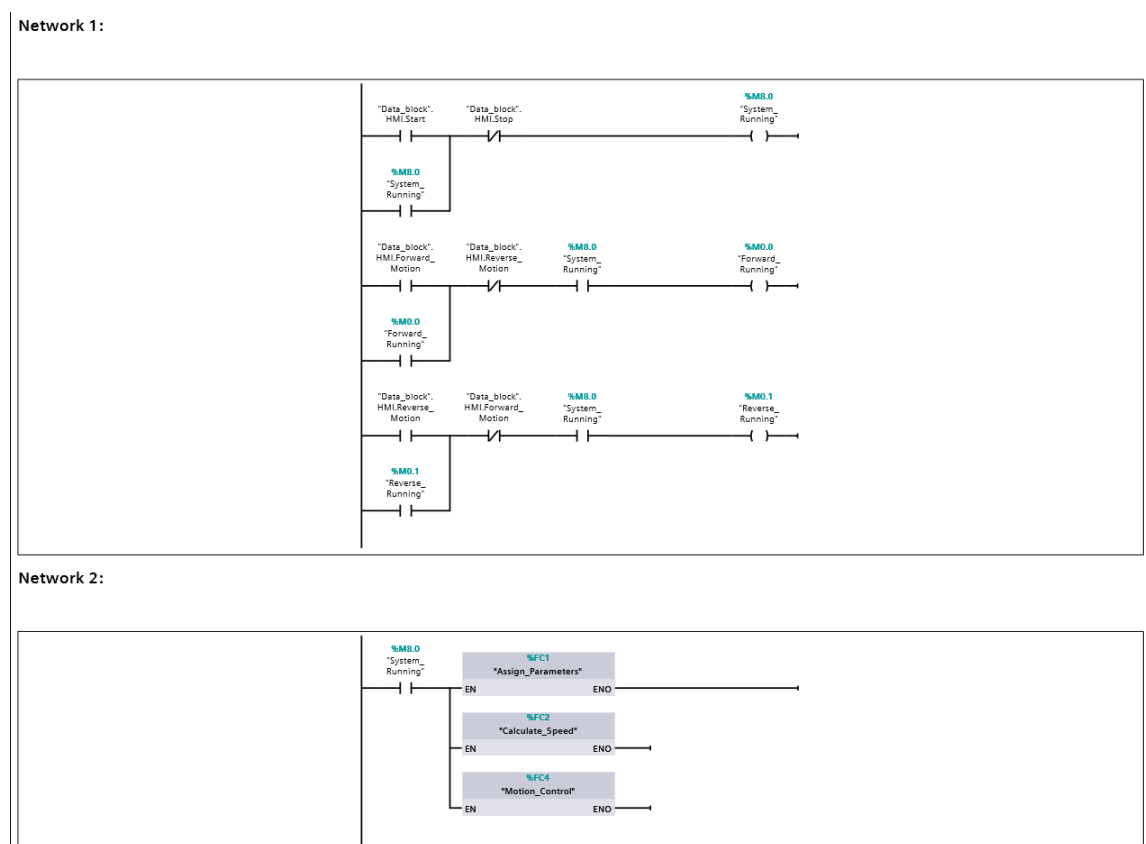
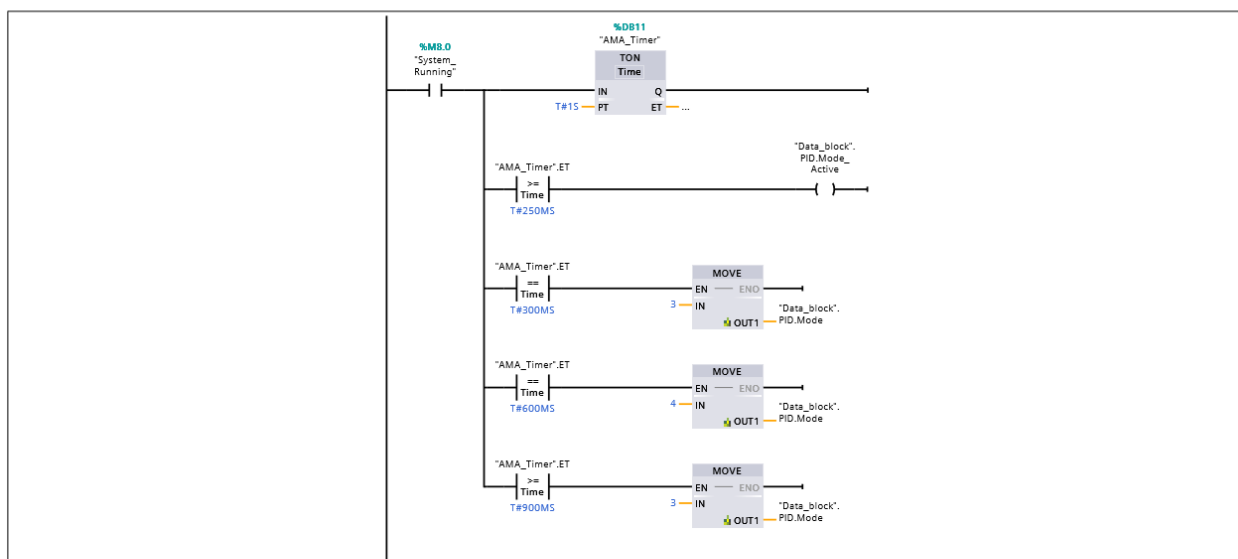


Рисунок 2.5. Програмний код головного циклічного елемента.

На рисунках 2.6 - 2.7 показано програмний код, використаний у циклічному перериванні. Значення з потенціометра зчитується через адресу IW64, після чого воно масштабується відповідно до заданих вимог. Масштабоване значення використовується як вхідний сигнал для PID-регулятора. На рисунку 2.7 наведено блок PID Contrast, використаний у програмі. Це вбудований функціональний блок, доступний у середовищі ТІА

Portal. Він зчитує вхідне значення з параметра Input або Input PER, порівнює його із заданим значенням, тобто уставкою, та формує вихідний сигнал на основі результату цього порівняння.

Network 1:



Network 2:

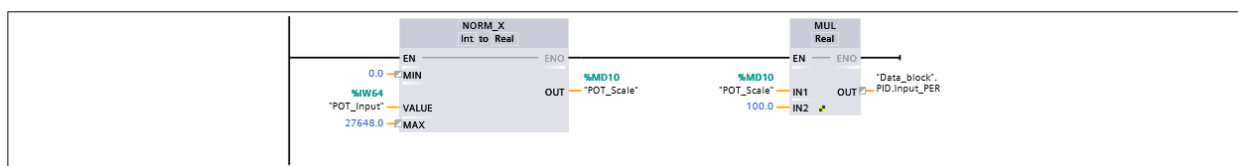


Рисунок 2.6. Програмний код циклічного переривання.

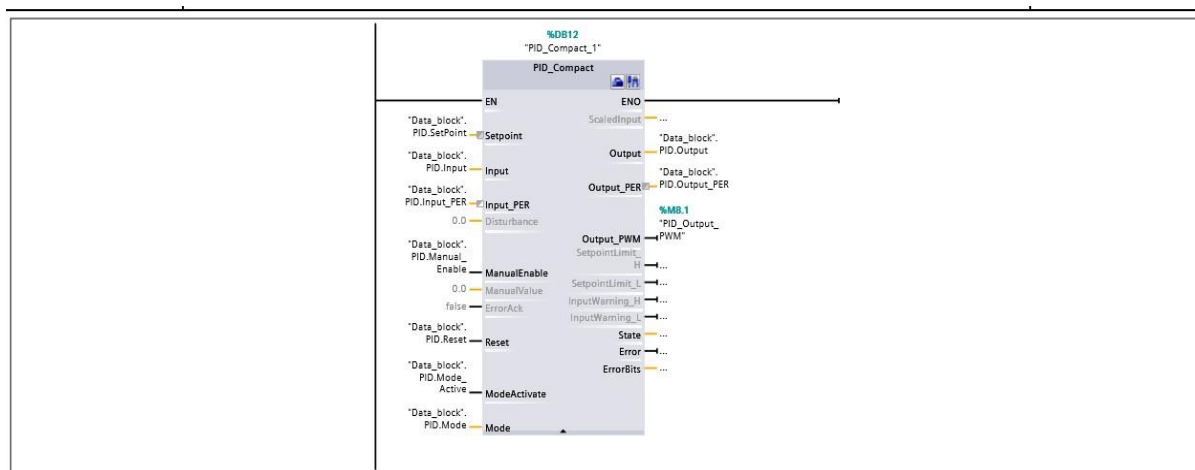


Рисунок 2.7. Блок PID Compact.

Характер сформованого вихідного сигналу залежить від параметрів PID-регулятора, заданих під час конфігурування блоку PID Compact. Вихідні

значення можуть бути отримані через параметри Output, Output PER або Output PWM. Уся система керування реалізована через HMI, що забезпечує взаємодію оператора з програмною логікою. Через людино-машинний інтерфейс вводяться уставка для PID-регулятора, радіуси роликів, а також задаються команди вибору напрямку руху, запуску, зупинки та скидання. З HMI пов'язані відповідні теги, значення яких змінюються під час подання команд оператором. Програма побудована таким чином, що внутрішні теги, які використовуються в алгоритмі керування, не мають прямої залежності від зовнішніх тегів. Це дає змогу зберегти цілісність програмної структури та забезпечити можливість її подальшого використання з іншими комплектами апаратного забезпечення. Для коректної роботи системи необхідно лише призначити теги апаратного забезпечення відповідним внутрішнім тегам програми. У цій реалізації всі HMI-теги прив'язуються до внутрішніх тегів за допомогою функції AssignParameter FC. Програмний код, який забезпечує призначення параметрів, наведено на рисунках 2.8 та 2.9.

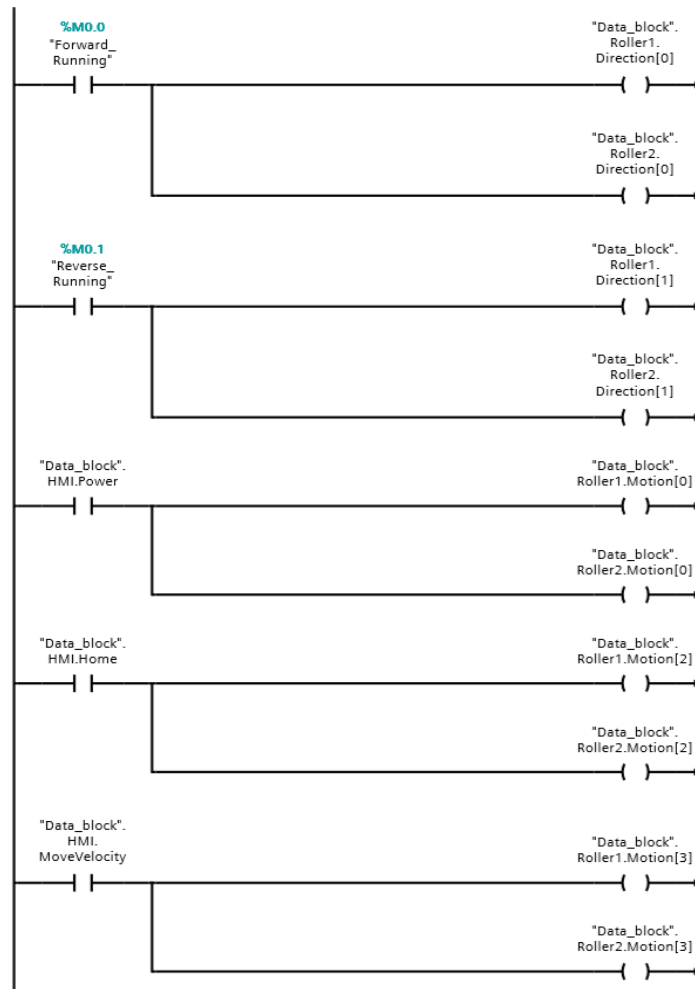


Рисунок 2.8. Программний код призначення параметру 1.

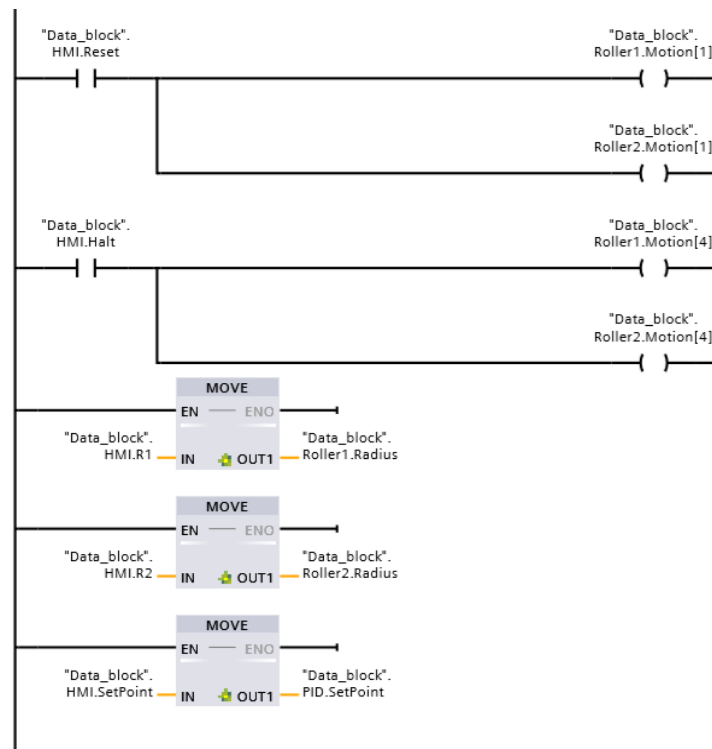


Рисунок 2.9. Программний код призначення параметру 2.

Швидкість ролика, на який здійснюється намотування, у цьому випадку підтримується сталою. Після цього швидкість ролика, з якого розмотується папір, обчислюється за допомогою функції Calculation FC. Вона викликає функцію Calculate FC, яка визначає початкову швидкість для відповідного ролика. Далі, залежно від вхідного сигналу, отриманого від потенціометра, вихідна швидкість коригується, після чого скориговане значення швидкості подається на двигун. Початкова швидкість веденого ролика наближено визначається за допомогою простого рівняння передачі:

$$R1 \cdot V1 = R2 \cdot V2$$

де:

R1 — радіус першого ролика;

V1 — швидкість першого ролика;

R2 — радіус другого ролика;

V2 — швидкість другого ролика

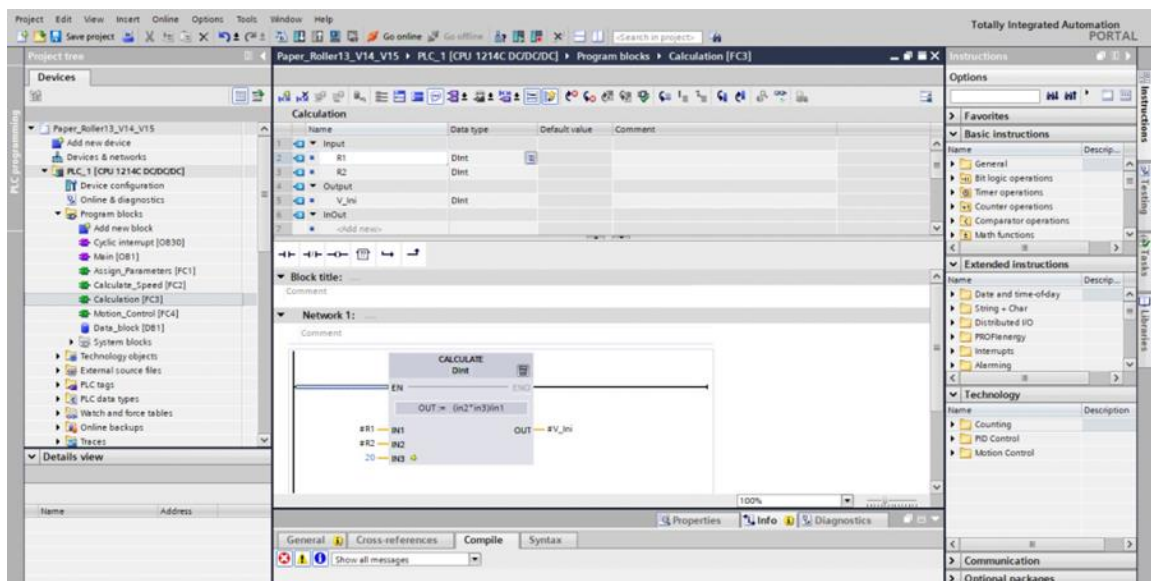


Рисунок 2.10. Розрахувати блок.

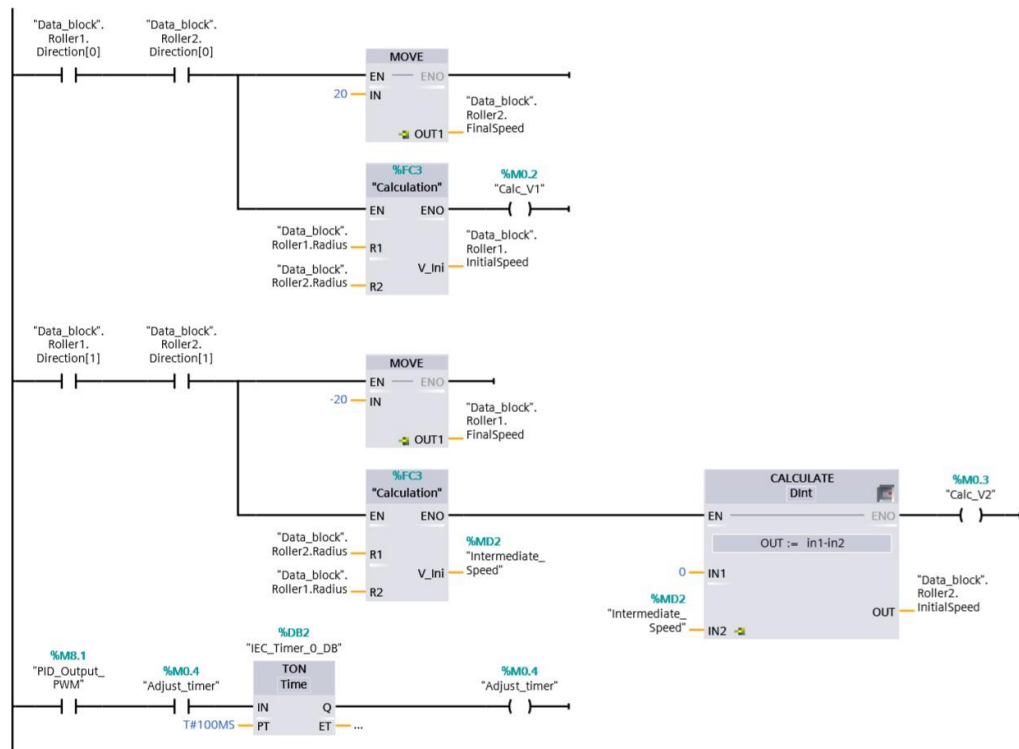


Рисунок 2.11. Програмний код розрахунку швидкості 1.

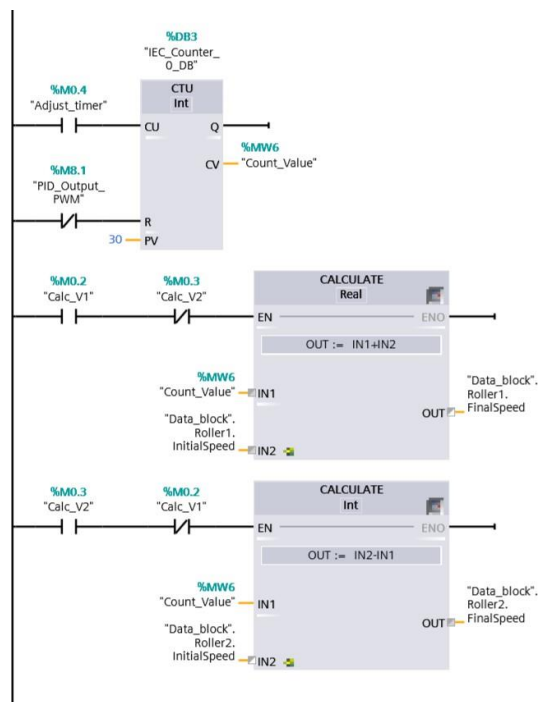


Рисунок 2.12. Програмний код розрахунку швидкості 2.

Вбудовані блоки керування рухом є ще одним важливим компонентом розробленої системи. Вони забезпечують керування двигуном відповідно до шаблону, заданого в технологічному об'єкті, у цьому випадку — `TO PositioningAxis`. Користувач може створювати та налаштовувати

технологічний об'єкт відповідно до вимог конкретної системи. Технологічний об'єкт містить інформацію про профіль руху, зокрема шаблон запуску та зупинки, кількість імпульсів або відстань на один оберт, прискорення, граничні умови тощо. Використано такі блоки керування рухом: MC Power, MC Home, MC Reset, MC MoveVelocity та MC Halt.

На рисунках 2.13- 2.16 показано, яким чином ці блоки викликаються у програмі. Для керування двома двигунами в системі визначено дві осі, а саме Axis 1 та Axis 2. Рисунки 2.13 - 2.14 відповідають першій осі, тоді як рисунки 2.15 - 2.16 відповідають другій осі.

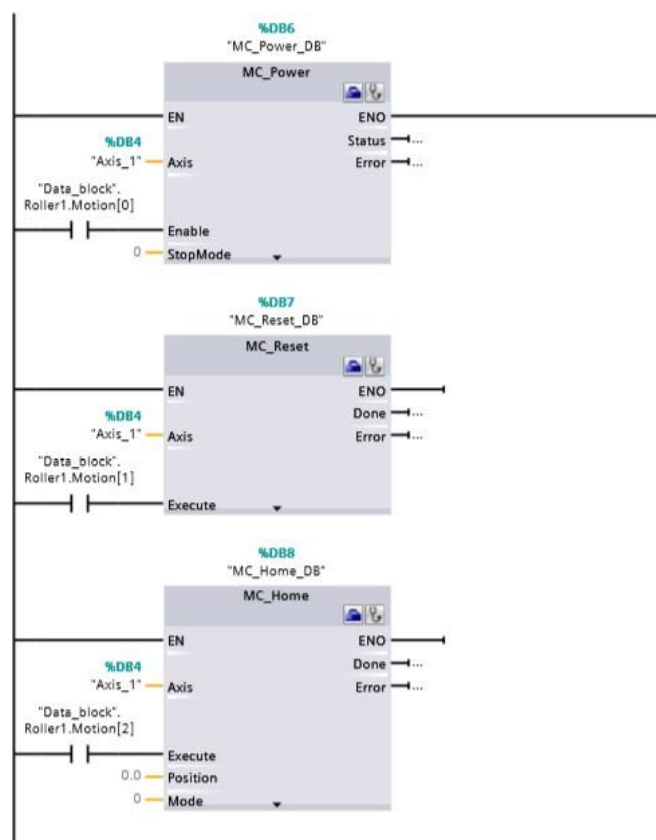


Рисунок 2.13. Блоки 1 керування рухом для осі 1.

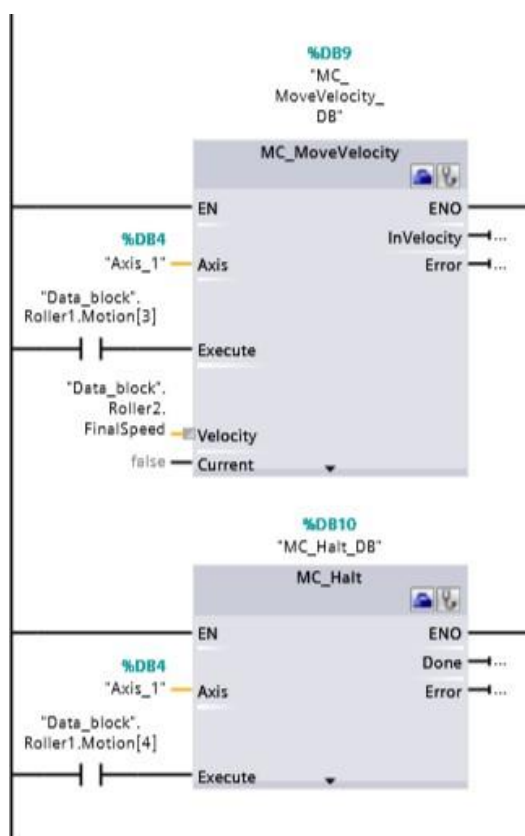


Рисунок 2.14. Блоки 2 керування рухом для осі 1.

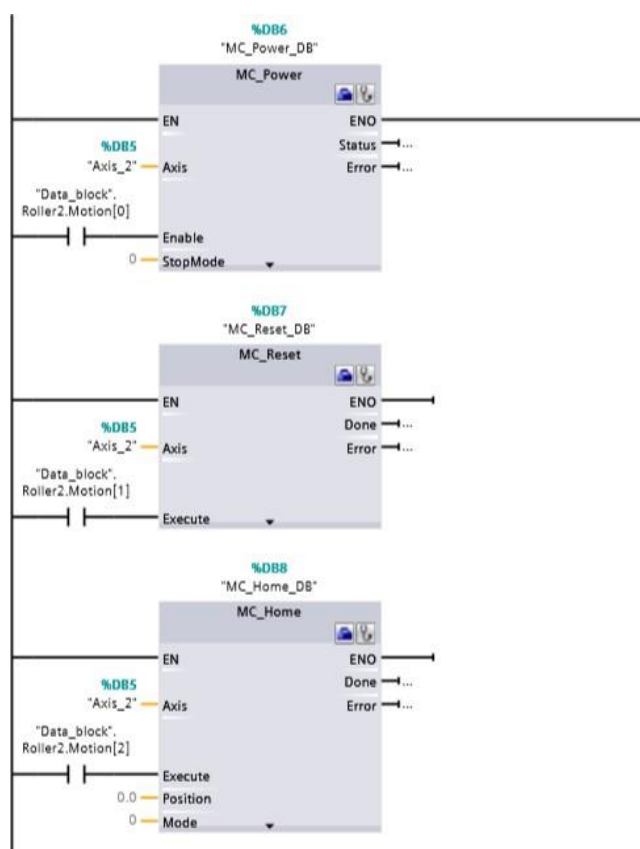


Рисунок 2.15. Блоки 1 керування рухом для осі 2.

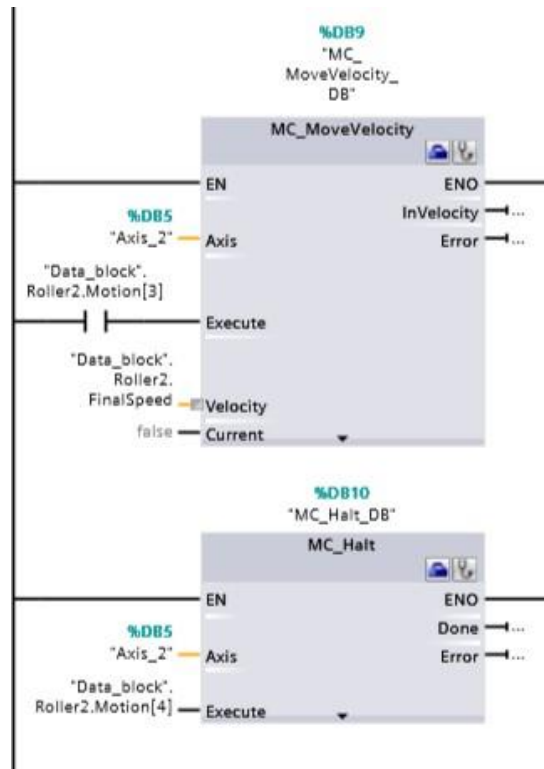


Рисунок 2.16. Блоки 2 керування рухом для осі 2.

Користувацькі типи даних UDT (User Defined Tags) (Рис. 2.17) є зручним способом роботи з тегами. Вони дають змогу користувачеві об'єднувати теги однакових або різних типів даних під однією спільною назвою. Надалі користувач може створювати будь-які теги на основі визначеного типу даних. Тег, створений таким чином, повторює структуру та властивості відповідного типу даних.

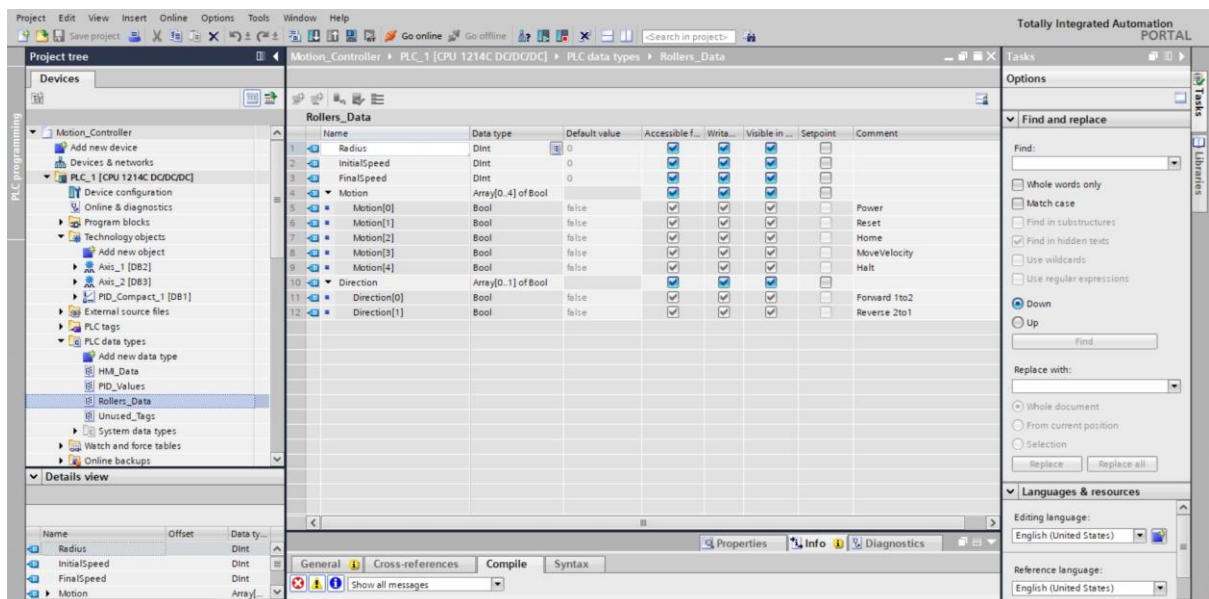


Рисунок 2.17. Блок користувацьких типів даних UDT.

Застосування UDT є особливо корисним і зручним у випадках, коли система містить велику кількість однотипних наборів даних. Перевагою PLC, побудованих на основі тегової структури, є простота програмування. Програмісту не потрібно прив'язуватися до конкретного апаратного порту або фіксованої адреси пам'яті. Натомість він може створити необхідний тег і використовувати його як проміжну змінну в будь-якому місці програми відповідно до потреб алгоритму. Такий підхід робить програмування більш гнучким, оскільки програмісту не потрібно постійно враховувати обмеження, пов'язані з кількістю змінних або тегів. Водночас значення, які містяться в цих тегах, не завжди можуть використовуватися безпосередньо в момент їх формування. У таких випадках ці значення необхідно зберігати у відповідному місці, щоб забезпечити можливість доступу до них у разі потреби. Такими місцями зберігання є блоки даних. Блок даних Data Block (DB1) (Рис. 2.18), є прикладом блоку даних, використаного в цій системі. У ньому збережено теги Roller1, Roller2, HMI та PID, які належать до користувацьких типів даних Rollers Data, HMI Data та PID Values.

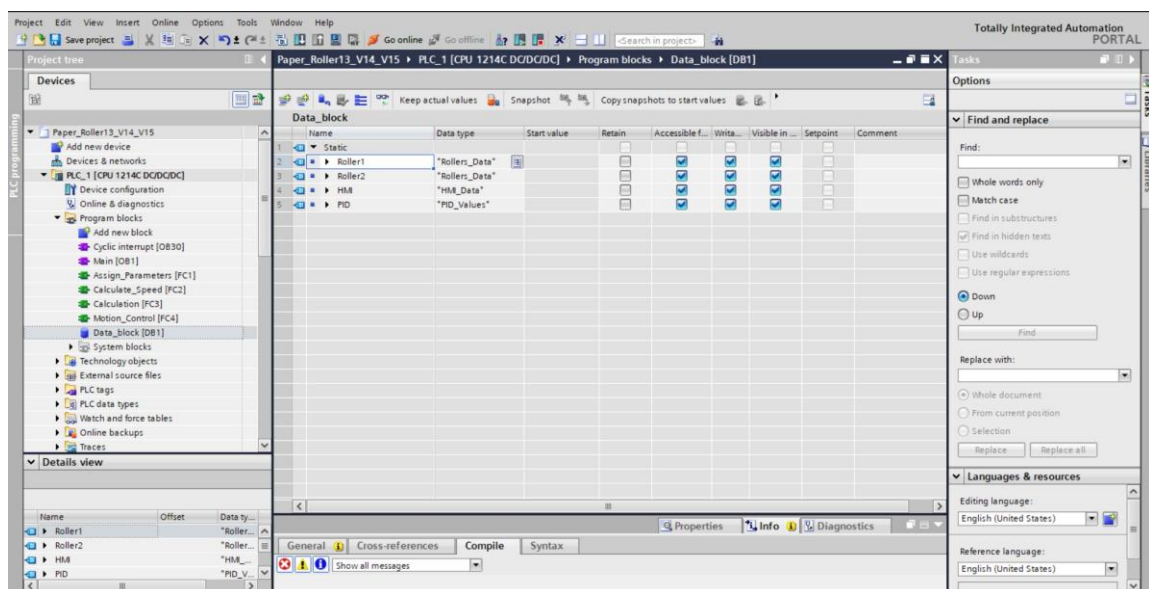


Рисунок 2.18. Блок даних Data Block (DB1).

НМІ-екрани, використані для цієї системи, наведено на рисунках 2.19 - 2.21. Головний екран НМІ відображається на початковому етапі роботи системи (Рис. 2.19) та забезпечує вибір режиму керування. На ньому

розміщено дві функціональні кнопки — MANUAL і AUTO, які призначені відповідно для активації ручного та автоматичного режимів роботи.

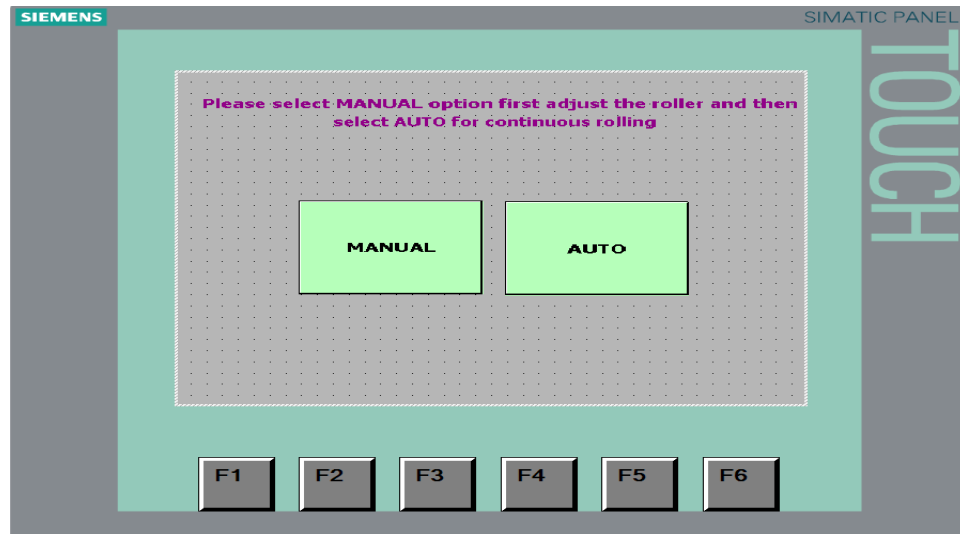


Рисунок 2.19. Головний екран НМІ.

Кнопка MANUAL може використовуватися на початковому етапі процесу намотування для забезпечення щільного натягу паперу. Після натискання кнопки MANUAL відкривається екран ручного керування двигунами (Рис. 2.20). На цьому екрані передбачено можливість переміщення обох двигунів у прямому та зворотному напрямках. Кнопка REFRESH фактично виконує скидання блоків керування рухом, тобто активує блок RESET у цій програмі. Кнопка закриття призначена для закривання поточного екрана та повернення користувача до головного екрана.

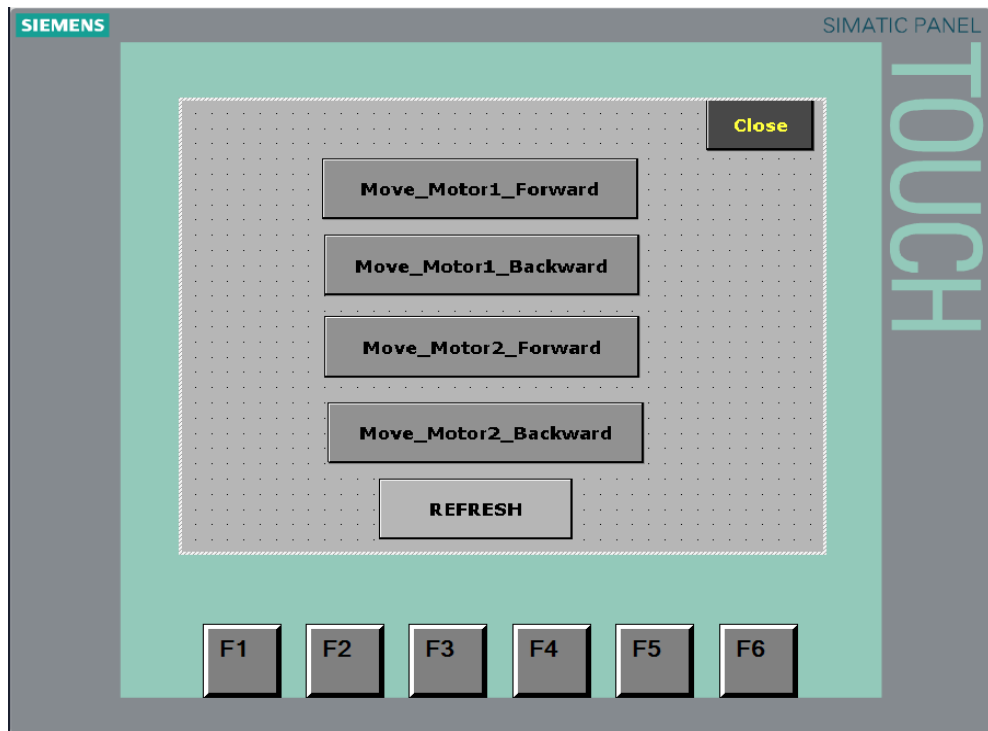


Рисунок 2.20. Екран ручного керування двигунами.

Після завершення налаштування паперу в апаратній частині система готова до безперервного намотування паперу. Однак перед цим необхідно виконати кілька налаштувань. Кнопка AUTO переводить користувача на екран налаштування параметрів автоматичного режиму намотування (Рис.2.21). На ньому розміщено кнопки для запуску процесу, вибору напрямку руху, а також для виконання команд Power, Move, Reset і Home для блоків керування рухом. Крім того, на екрані передбачено поля введення-виведення для задання радіусів роликів і уставки для блоку PID Compact. Після подання певної команди через HMI відповідні теги, пов'язані з HMI Tags, оновлюють свої значення.



Рисунок 2.21. Екран налаштування параметрів автоматичного режиму намотування.

Ще одним важливим елементом програми, який визначає профіль руху, є технологічний об'єкт, у цьому випадку — вісь. У програмі налаштовано дві осі, призначені для керування рухом двох двигунів. Осі та їхні властивості є ідентичними. Основною причиною визначення двох осей є підвищення гнучкості програми, що дає змогу за потреби керувати кожним двигуном окремо (Рис. 2.22 – 2.25).

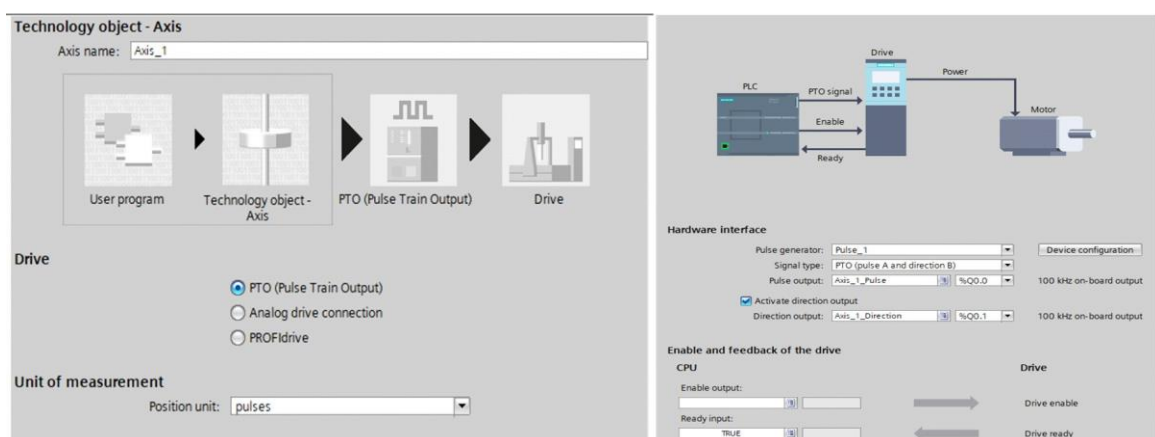


Рисунок 2.22. Основні параметри осі.

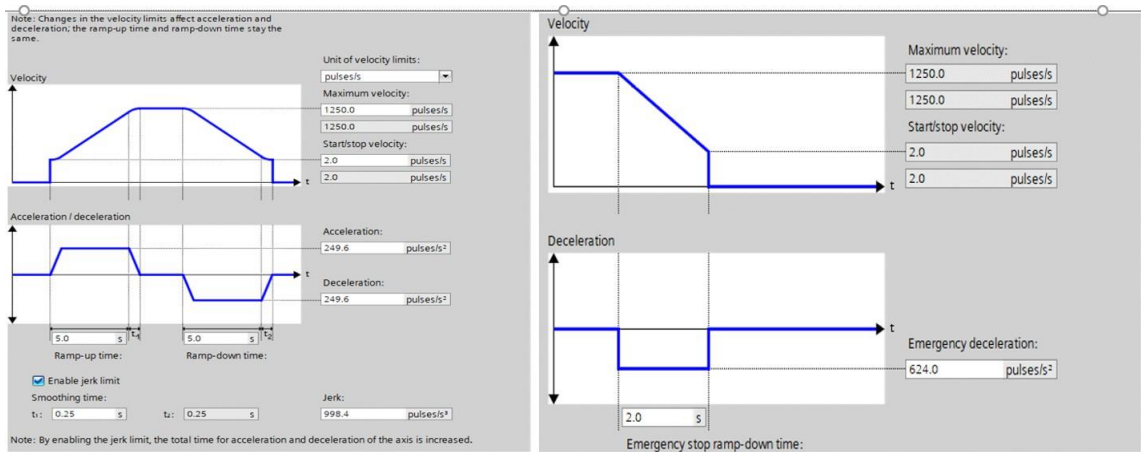


Рисунок 2.23. Динаміка осі.

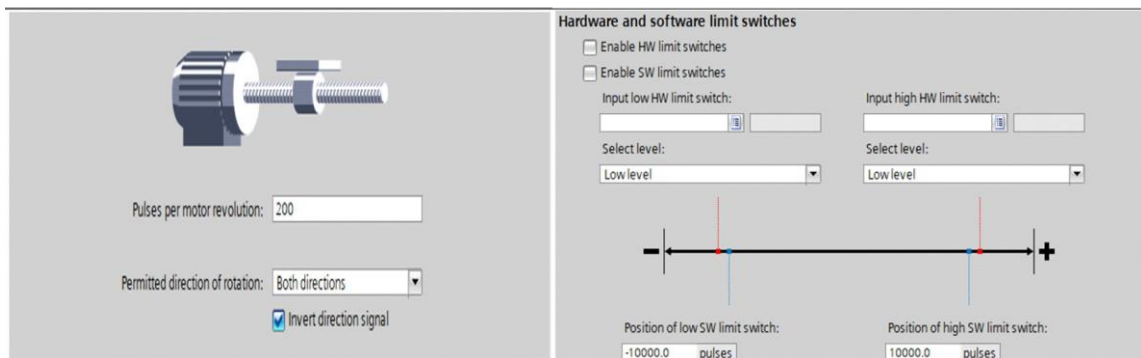


Рисунок 2.24. Розширені параметри осі.

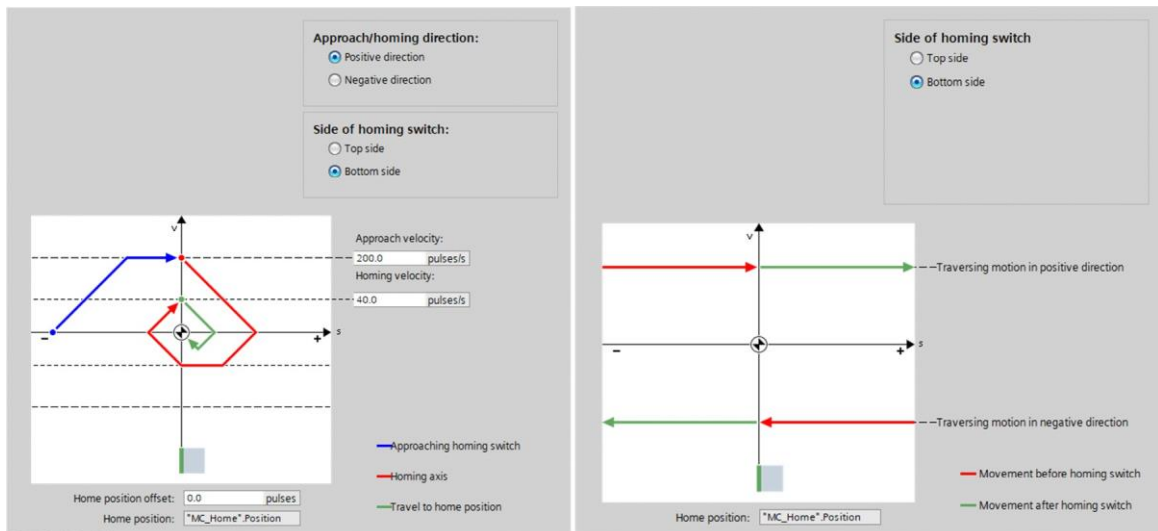
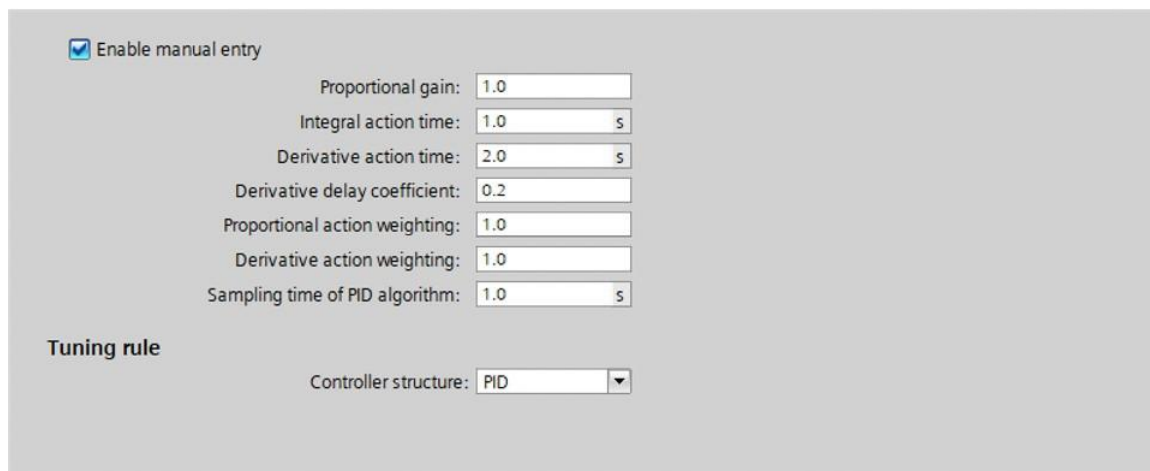


Рисунок 2.25. Встановлення осі в початкове положення.

На рисунку 2.26 показано вікно параметрів PID-регулятора блоку PID Contrast, використаного в системі. Значення коефіцієнтів P, I та D для відповідних блоків можуть бути введені вручну після проєктування системи та їх теоретичного розрахунку. Також ці значення можуть бути задані

спочатку наближено, після чого виконується налаштування PID-регулятора з метою отримання більш точних параметрів. Процес налаштування має характер самонавчання для PLC. Після введення наближених значень і роботи системи протягом певного часу контролер поступово оновлює параметри відповідно до поведінки системи. Отримані скориговані значення надалі можуть використовуватися безпосередньо в програмі керування. Такий підхід значно спрощує складне та трудомістке завдання проєктування PID-регулятора для систем автоматизованого керування.



The image shows a software window for configuring a PID controller. It features a checkbox labeled "Enable manual entry" which is checked. Below this, there are seven input fields for the following parameters: Proportional gain (1.0), Integral action time (1.0 s), Derivative action time (2.0 s), Derivative delay coefficient (0.2), Proportional action weighting (1.0), Derivative action weighting (1.0), and Sampling time of PID algorithm (1.0 s). At the bottom, under the heading "Tuning rule", there is a dropdown menu for "Controller structure" which is currently set to "PID".

Parameter	Value	Unit
Proportional gain	1.0	
Integral action time	1.0	s
Derivative action time	2.0	s
Derivative delay coefficient	0.2	
Proportional action weighting	1.0	
Derivative action weighting	1.0	
Sampling time of PID algorithm	1.0	s

Tuning rule

Controller structure: PID

Рисунок 2.26. Вікно параметрів PID-регулятора.

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Розробка інтерфейсу адміністратора та користувача з використанням ProViewDS.

ProViewDS — це потужна платформа для розроблення застосунків, призначена для створення програм, які забезпечують керування інформацією в режимі реального часу, отриманою з промислових джерел даних. Вона надає повний набір модулів в інтуїтивно зрозумілому інженерному інтерфейсі користувача. Платформа побудована на основі фреймворку Microsoft .NET. Це програмне забезпечення є зручним і простим у використанні для керування та контролю цифрових сигналів у промислових середовищах. Завдяки багатокористувацькій функціональності система також підтримує роботу з аварійними повідомленнями, екранами відображення та засобами хмарного керування. До її складу входить кілька стандартних модулів, зокрема SQL-таблиці та запити, користувацькі шаблони, теги реального часу, вбудований механізм SQL-бази даних, вебсервер, засоби сценарного програмування, OPC-сервер і OPC-клієнт, засоби комунікації з PLC, графічний дизайнер та багато інших компонентів. Сукупність цих можливостей у межах одного програмного пакета робить розроблення застосунків простим, динамічним та ефективним.

Для забезпечення адміністрування користувацьких облікових записів у структурі НМІ передбачено окремий екран, призначений для введення даних нового користувача та редагування інформації про вже створені облікові записи. Такий функціональний елемент дає змогу централізовано керувати користувацькими даними, оновлювати необхідні параметри доступу та підтримувати актуальність інформації в системі. (Рис. 3.1 – 3.4).

The screenshot shows the 'New User' form in the dataBUS application. The form is titled 'New User' and has a close button 'X'. It contains input fields for Name, Password, Phone, Email, Role, Shift, Employee #, Badge ID, and Login ID. There are also search filters for FIRST, LAST, GE ID, and LOGIN ID. The left sidebar shows the 'USERS' tab selected.

Рисунок 3.1. Екран для нових користувачів.

The screenshot shows the 'Admin Dashboard' in the dataBUS application. The dashboard shows the 'USERS' tab selected. A modal form for adding a new user is open, showing input fields for Name, Password, Phone, Email, Role, Shift, Employee #, Badge ID, and Login ID. The 'Role' dropdown menu is open, showing options: Executive, Administrator, Supervisor, Team Leader, Scheduler, Quality, Maintenance, Setup, and Operator. The left sidebar shows the 'USERS' tab selected.

Рисунок 3.2. Екран адміністрування.

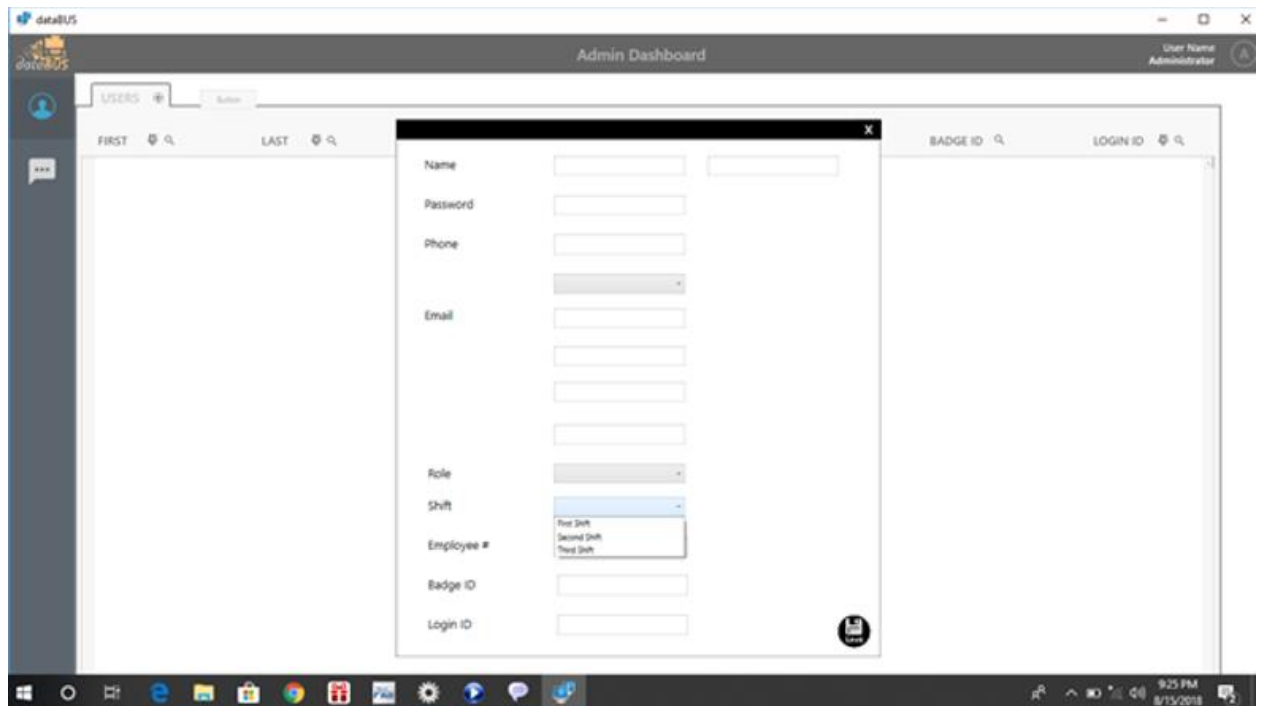


Рисунок 3.3. Екран адміністрування, на якому відображаються різні зміни.

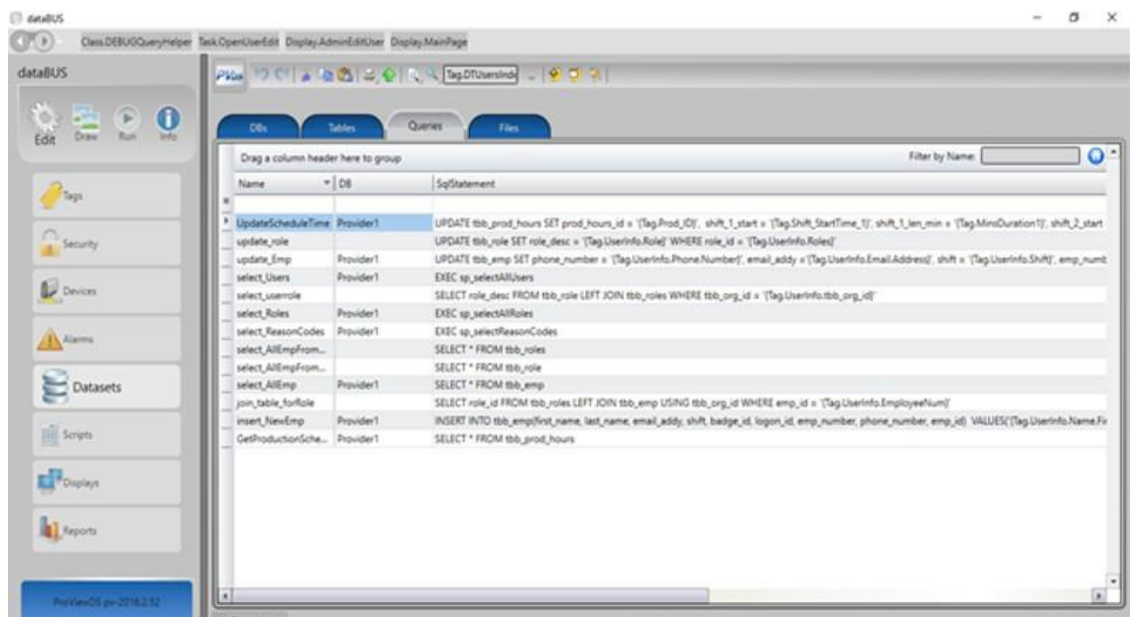


Рисунок 3.4. Екран запитів до бази даних.

На адміністративному екрані користувачі з правами адміністратора можуть увійти до системи, використовуючи своє ім'я користувача та пароль. Цей екран надає доступ до розширених повноважень. Зокрема, адміністратор може додавати нових користувачів, оновлювати інформацію про наявних користувачів та виконувати інші дії, пов'язані з керуванням обліковими

записами. Користувацький екран містить усю інформацію, отриману з виробничої ділянки. Теги з PLC безпосередньо пов'язані з цим екраном, завдяки чому користувач може отримувати уявлення про поточні дані з виробництва в режимі реального часу. Таким чином, користувач має змогу контролювати, як функціонує відповідний пристрій або обладнання.

Система аварійних повідомлень, реалізована на екрані, відображає помилку в разі, якщо значення будь-якої змінної виходить за межі нормального діапазону. Це дає змогу своєчасно виявляти відхилення в роботі обладнання та оперативно реагувати на можливі несправності.

Код сторінки редагування профілю користувача наведено нижче:

```
Using System.Text.RegularExpressions;
using System.Windows.Markup;
private ComboBox comboRoles;
private ComboBox comboShift;

//using System.Windows.Forms;
//using MessageBox = System.Windows.Forms.MessageBox;

public void DisplayOpening()
{
    comboRoles = (ComboBox)CurrentDisplay.GetControl("RoleList");
    comboRoles.Items.Add("Executive");
    comboRoles.Items.Add("Administrator");
    comboRoles.Items.Add("Supervisor");
    comboRoles.Items.Add("Team Leader");
    comboRoles.Items.Add("Scheduler");
    comboRoles.Items.Add("Quality");
    comboRoles.Items.Add("Maintenance");
```

```

comboRoles.Items.Add("Setup");
comboRoles.Items.Add("Operator");

comboShift = (ComboBox)CurrentDisplay.GetControl("ShiftList");
comboShift.Items.Add("First Shift");
comboShift.Items.Add("Second Shift");
comboShift.Items.Add("Third Shift");

try
{
    bool_errors = true;

    DataTable dt =
        @Script.Class.ClientMain.SelectQueryHelper(@Dataset.Query.select_AllEmp,
            out_errors);

    DataTable_dtrrole =
        @Script.Class.ClientMain.SelectQueryHelper(@Dataset.Query.select_AllEmpFromRole,
            out_errors);

    DataTable_dtroles =
        @Script.Class.ClientMain.SelectQueryHelper(@Dataset.Query.select_AllEmpFromRoles,
            out_errors);

    @Tag.UserInfo.Name.First =
        _dt.Rows[@Tag.DTUsersIndex]["first name"].ToString();

    @Tag.UserInfo.Name.Last =
        _dt.Rows[@Tag.DTUsersIndex]["last name"].ToString();

    string s = String.Format(@Tag.UserInfo.Name.First + " " +
        @Tag.UserInfo.Name.Last + " -Edit User");

```

```

@Script.Class.DisplayMgmt.SetTitle(_s);
LoadUserInfo( dt);
}
catch(Exception ex)
{
@Info.Trace("Error in Edit User - " + Environment.NewLine + ex.ToString(),
TK.eTraceType.Error);
}
}

public void DisplayIsOpen()
{
//@Tag.UserInfo.Role = this.comboRoles.SelectedValue.ToString();
}

public void DisplayClosing()
{ }

public bool DialogOnOK()
{
return true;
}

private void LoadUserInfo(DataTable dt)
{ //bool_error;
@Tag.UserInfo.Password = "undefined";
@Tag.UserInfo.Phone.Number =
_dt.Rows[@Tag.DTUsersIndex]["phone_number"].ToString();
@Tag.UserInfo.Phone.Carrier =
"undefined";// - dt.Rows[@Tag.DTUsersIndex]["phone number"].ToString();

```

```

@Tag.UserInfo.Email.Address =
    _dt.Rows[@Tag.DTUsersIndex]["email_add"].ToString();
@Tag.UserInfo.Email.Password =
    "undefined"; // _dt.Rows[@Tag.DTUsersIndex]["phone number"].ToString();
@Tag.UserInfo.Email.SMTP_Host =
    "undefined"; // _dt.Rows[@Tag.DTUsersIndex]["phone number"].ToString();
@Tag.UserInfo.Email.SMTP_Post = "undefined";
// @Tag.UserInfo.Role = "undefined";
// @Tag.UserInfo.tbb_org_id =
    _dt.Rows[@Tag.DTUsersIndex]["tbb_org_id"].ToString();
// @Tag.UserInfo.Role =
    _@Script.Class.ClientMain.SelectQueryHelper(@Dataset.Query.select userrole, out
    _error).ToString();
// @Tag.UserInfo.Roles =
    _@Script.Class.ClientMain.ExecuteQueryHelper(@Dataset.Query.join_table forRole,
    out_error).ToString();
@Tag.UserInfo.Shift = _dt.Rows[@Tag.DTUsersIndex]["shift"].ToString();
@Tag.UserInfo.EmployeeNum =
    _dt.Rows[@Tag.DTUsersIndex]["emp number"].ToString();
@Tag.UserInfo.BadgeID = _dt.Rows[@Tag.DTUsersIndex]["badge_id"].ToString();
@Tag.UserInfo.LoginID = _dt.Rows[@Tag.DTUsersIndex]["logon id"].ToString();
}
public void Save_Changes(object sender, System.Windows.Input.InputEventArgs e)
{
    if(!Validation_isSuccessful())
    {
        //MessageBox.Show("VALIDATION ERROR");
    }
}

```

```

return;
}
bool_errors = true;
// @Dataset.Query.update Emp.ExecuteCommand();
@Script.Class.ClientMain.ExecuteQueryHelper(@Dataset.Query.update_Emp,
out_errors);
if(_errors == false)
{
@Display.Admin_EditUser.Close();
}
else
{
MessageBox.Show("QUERY ERROR");
}
}

private bool Validation_isSuccessful()
{
string ufname = @Tag.UserInfo.Name.First.ToString();
string ulname = @Tag.UserInfo.Name.Last.ToString();
string uemail = @Tag.UserInfo.Email.Address.ToString();
string uphone = @Tag.UserInfo.Phone.Number.ToString();
string uempnum = @Tag.UserInfo.EmployeeNum.ToString();

Regex u_fname = new Regex(@"^([a-zA-Z])+$$");
Match fn_match = u_fname.Match(ufname);
if (fn_match.Success)
@Tag.ValidationTags.fname = 1;

```

```

else
@Tag.ValidationTags.fname =0;

Regex u_lname = new Regex(@"^([a-zA-Z])+");
Match ln_match = u_lname.Match(ulname);
if (ln_match.Success)
@Tag.ValidationTags.lname =1;
else
@Tag.ValidationTags.lname =0;

Regex u_email = new Regex(@"^([0-9a-zA-Z]([- \w]*[0-9a-zA-Z])*)@([0-9a-zA-Z]([- \w]*[0-9a-zA-Z])?)+[a-zA-Z]{2,9}+");
Match e_match = u_email.Match(uemail);
if (e_match.Success)
@Tag.ValidationTags.email add = 1;
else
@Tag.ValidationTags.email add = 0;

Regex u_phone = new Regex(@"^\d(?:\d{3})?-? *\d{3}-? *-?\d{4}$");
Match p_match = u_phone.Match(uphone);
if(p_match.Success)
@Tag.ValidationTags.phone num = 1;
else
@Tag.ValidationTags.phone num = 0;

Regex u_empnum = new Regex(@"^[0-9]+$");
Match en_match = u_empnum.Match(uempnum);
if (en_match.Success)

```

```

@Tag.ValidationTags.employee num = 1;
else
@Tag.ValidationTags.employee num = 0;

if ((@Tag.ValidationTags.fname == 1)  $\vee$  (@Tag.ValidationTags.lname == 1)  $\vee$ 
(@Tag.ValidationTags.email add == 1)  $\vee$  (@Tag.ValidationTags.phone num == 1)  $\vee$ 
(@Tag.ValidationTags.phone car == 1))
return true;
else
{
if (@Tag.ValidationTags.fname == 0)
MessageBox.Show("First Name Error");
else if (@Tag.ValidationTags.lname == 0)
MessageBox.Show("Last Name Error");
else if (@Tag.ValidationTags.phone num == 0)
MessageBox.Show(" Phone Number Must contain only numbers, +()- . and x");
// else if (@Tag.ValidationTags.phone car == 0)
// MessageBox.Show("Please select a phone carrier");
else if (@Tag.ValidationTags.email add == 0)
MessageBox.Show("Please enter a valid email address");
else if (@Tag.ValidationTags.employee num == 0)
MessageBox.Show("Only numbers are allowed for Employee#");
return false;
}
}

public void DropDownRoles(object sender, System.Windows.Input.InputEventArgs
e)

```

```
{
// Add your code here
//ComboBox.Items.Add("manager");
//Initialize();
//@Tag.UserInfo.Role = this.comboRoles.SelectedValue.ToString();
}
public void DropDownShift(object sender, System.Windows.Input.InputEventArgs
e)
{
// Add your code here
}
```

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1. Загальні положення по експлуатації електронно-обчислювальних машин (ЕОМ)

У будь-якій професії є свої певні вимоги стосовно безпеки експлуатації тих чи інших пристроїв, які використовуються в роботі. Стосовно експлуатації ЕОМ також є певні правила і вимоги, які затверджені комітетами по нагляду за охороною праці та іншими органами, які відповідають за безпеку життєдіяльності.

Правила експлуатації ЕОМ встановлюють вимоги безпеки та санітарно-гігієнічні вимоги до обладнання робочих місць користувачів ЕОМ і працівників, що виконують обслуговування, ремонт та налагодження ЕОМ, та роботи з застосуванням ЕОМ, відповідно до сучасного стану техніки та наукових досліджень у сфері безпечної організації робіт з експлуатації ЕОМ та з урахуванням положень міжнародних нормативно-правових актів з цих питань (директиви Ради Європейського союзу 90/270/ЄЕС, 89/391/ЄЕС, 89/654/ЄЕС, 89/655/ЄЕС, стандарти ISO, МРІІ).

4.2. Загальні вимоги по облаштуванню робочих місць користувачів ЕОМ

Організація робочого місця користувача відеотерміналу та ЕОМ повинна забезпечувати відповідність усіх елементів робочого місця та їх розташування ергономічним вимогам ГОСТ 12.2.032 "ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования"; характеру та особливостям трудової діяльності.

Площа, виділена для одного робочого місця з відеотерміналом або персональною ЕОМ, повинна складати не менше 6 кв.м, а обсяг - не менше 20 куб.м.

Робочі місця з відеотерміналами відносно світлових прорізів повинні розміщуватися так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва.

При розміщенні робочих місць з відеотерміналами та персональними ЕОМ необхідно дотримуватись таких вимог:

- робочі місця з відеотерміналами та персональними ЕОМ розміщуються на відстані не менше 1 м від стін зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями відеотерміналів має бути не меншою за 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного відеотермінала та екраном іншого не повинна бути меншою 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м.

Організація робочого місця користувача ЕОМ повинна забезпечувати відповідність усіх елементів робочого місця та їх розташування ергономічним вимогам відповідно до ГОСТ 12.2.032-78 "ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования", з урахуванням характеру та особливостей трудової діяльності.

Конструкція робочого місця користувача відеотерміналу (при роботі сидячи) має забезпечувати підтримання оптимальної робочої пози з такими ергономічними характеристиками: ступні ніг - на підлозі або на підставці для ніг; стегна - в горизонтальній

площині; передпліччя - вертикально; лікті - під кутом 70 - 90 град. до вертикальної площини; зап'ястя зігнуті під кутом не більше 20 град. відносно горизонтальної площини, нахил голови -

15 - 20 град. відносно вертикальної площини.

Висота робочої поверхні столу для відеотерміналу має бути в межах 680 - 800 мм, а ширина - забезпечувати можливість виконання операцій в зоні досяжності моторного поля.

Рекомендовані розміри столу: висота - 725 мм, ширина - 600 - 1400 мм, глибина - 800 - 1000 мм.

Робочий стіл для відеотерміналу повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною не менше 500 мм, глибиною на рівні колін не менше 450 мм, на рівні витягнутої ноги - не менше 650 мм.

Робоче сидіння (сидіння, стілець, крісло) користувача відеотерміналу та персональної ЕОМ повинно мати такі основні елементи: сидіння, спинку та стаціонарні або знімні підлокітники. У конструкцію сидіння можуть бути введені додаткові елементи, що не є обов'язковими: підголовник та підставка для ніг.

Робоче сидіння користувача відеотерміналу та персональної ЕОМ повинно бути підйомно-поворотним, таким, що регулюється за висотою, кутом нахилу сидіння та спинки, за відстанню спинки до переднього краю сидіння, висотою підлокітників.

Регулювання кожного параметра має бути незалежним, плавним або ступінчатим, мати надійну фіксацію. Хід ступінчатого регулювання елементів сидіння має становити для лінійних розмірів 15 - 20 мм, для кутових - 2 - 5 град. Зусилля під час регулювання не повинні перевищувати 20 Н.

Клавіатуру слід розміщувати на поверхні столу або на спеціальній, регульовуваній за висотою, робочій поверхні окремо від столу на відстані 100 - 300 мм від краю, ближчого до працівника. Кут нахилу клавіатури має бути в межах 5 - 15 град.

Робоче місце з відеотерміналом слід оснащувати пюпітром (тримачем) для документів, що легко переміщується.

Пюпітр (тримач) для документів повинен бути рухомим та встановлюватись вертикально (або з нахилом) на тому ж рівні та відстані від очей користувача ЕОМ, що і відеотермінал.

Розміщення принтера або іншого пристрою введення-виведення інформації на робочому місці має забезпечувати добру видимість екрану відеотермінала, зручність ручного керування пристроєм введення-виведення

інформації в зоні досяжності моторного поля: по висоті 900 - 1300 мм, по глибині 400 - 500 мм.

Під матричні принтери потрібно підкладати вібраційні килимки для гасіння вібрації та шуму.

При потребі високої концентрації уваги під час виконання робіт з високим рівнем напруженості суміжні робочі місця з відеотерміналами та персональними ЕОМ необхідно відділяти одне від одного перегородками висотою 1,5 - 2 м.

Організація робочого місця, яке передбачає використання ЕОМ для управління технологічним обладнанням (станки з програмним управлінням, роботизовані технологічні комплекси, обладнання для гнучкого автоматизованого виробництва тощо), повинна передбачати:

- достатній простір для людини-оператора;
- вільну досяжність органів ручного управління в зоні моторного поля: відстань по висоті - 900 - 1330 мм, по глибині - 400 - 500 мм;
- розташування екрана відеотермінала в робочій зоні, яке забезпечувало б зручність зорового спостереження у вертикальній площині під кутом плюс-мінус 30 град. від лінії зору оператора, а також зручність використання відеотермінала під час коригування керуючих програм одночасно з виконанням основних виробничих операцій;

4.3 Вимоги безпеки під час безпосередньої роботи за ЕОМ

Користувачі ЕОМ повинні слідкувати за тим, щоб відеотермінали, ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ були справними і випробуваними відповідно до чинних нормативних документів.

Щоденно перед початком роботи необхідно проводити очищення екрану відеотерміналу від пилу та інших забруднень.

Після закінчення роботи відеотермінал та персональна ЕОМ повинні бути відключені від електричної мережі.

У разі виникнення аварійної ситуації необхідно негайно відключити відеотермінал та ЕОМ від електричної мережі.

При використанні з ЕОМ та відеотерміналами лазерних принтерів потрібно дотримуватись вимог Санітарних норм та правил устрою та експлуатації лазерів N 5804-91, затверджених Міністерством охорони здоров'я СРСР в 1991 р.

При потребі, для захисту від електромагнітних, електростатичних та інших полів можуть застосовуватися спеціальні технічні засоби, що мають відповідний сертифікат або санітарно-гігієнічний висновок акредитованих органів щодо їх захисних властивостей.

Є неприпустимими такі дії:

- виконання обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ безпосередньо на робочому місці користувача ЕОМ;
- зберігання біля відеотермінала та ЕОМ паперу, дискет, інших носіїв інформації, запасних блоків, деталей тощо, якщо вони не використовуються для поточної роботи;
- відключення захисних пристроїв, самочинне проведення змін у конструкції та складі ЕОМ, устаткування або їх технічне налагодження;
- робота з відеотерміналами, в яких під час роботи з'являються нехарактерні сигнали, нестабільне зображення на екрані тощо;
- праця на матричному принтері зі знятою (трохи піднятою) верхньою кришкою.

4.4 Розрахунок занулення електрообладнання

Небезпека ураження струмом при дотику до корпусу та інших неструмоведучих металевих частин електрообладнання, що знаходяться під напругою внаслідок замикання на корпус може бути усунута швидким

відімкненням пошкодженої електроустановки від електромережі, наприклад за допомогою занулення.

Занулення - це навмисне з'єднання неструмоведучих частин обладнання, які можуть опинитися під напругою з нульовим захисним провідником.

Нульовим захисним провідником називається провідник, що з'єднує частини, які занурюються з глухозаземленою нейтральною точкою джерела струму, або її еквіваленту.

Принцип дії занулення - перетворення замикання на корпус в однофазне коротке замикання між фазним і нульовим захисним провідником з метою викликати струм, спроможним забезпечити спрацювання захисту і тим самим автоматично відімкнути пошкоджену електроустановку від електромережі.

При замиканні фази на занулений корпус електроустановка автоматично вимкнеться, якщо значення струму однофазного короткого замикання I_k , А, відповідає умові:

$$I_k \geq k \cdot I_{ном},$$

де $I_{ном}$ - номінальний струм запобіжника, або струм спрацювання автоматичного вимикача, А;

k - коефіцієнт кратності струму.

Значення коефіцієнта кратності струму k приймається в залежності від типу захисту електроустановки. Так, якщо захист здійснюється автоматичним вимикачем, який має тільки магнітний розчеплювач (відсічку), тобто який спрацьовує без витримки часу, то k приймається в межах 1,25 - 1,4.

Якщо установка захищається плавкими запобіжниками, час перегорання яких залежить, як відомо, від струму (зменшується із ростом струму), то з метою швидкого відключення приймають $k \geq 3$ (у вибухонебезпечних приміщеннях $k \geq 4$).

Якщо установка захищається автоматичним вимикачем із зворотною залежною від струму характеристикою, подібною до характеристики запобіжників, то і тоді $k \geq 3$ (у вибухонебезпечних приміщеннях $k \geq 6$).

Значення I_k залежить від фазної напруги мережі $U < p$ і опору електричного ланцюга, в тому числі від повних опорів трансформатора Z_T , фазного провідника Z_ϕ і нульового захисного провідника Z_{H3} зовнішнього індуктивного опору петлі (контур) фазний провідник - нульовий захисний провідник {"петлі фаза-нуль"} X_n .

$$I_k = \frac{U_\phi}{\frac{Z_r}{3} + Z_\phi + Z_{H3} + jX_n}$$

або

$$I_k = \frac{U_\phi}{\frac{Z_r}{3} + Z_n}$$

де $Z_n = Z_\phi + Z_{H3} + jX_n$ - комплекс повного опору петлі фаза-нуль. Ом.

Величина Z_n складається з ряду послідовно ввімкнених опорів і дорівнює:

$$Z_n = \sqrt{(R_\phi + R_{H3})^2 + (X_\phi + X_{H3} + X_n)^2}$$

де R_ϕ і R_{H3} - активні опори фазного і нульового захисного провідників відповідно, Ом;

X_ϕ і X_{H3} - внутрішній індуктивний опір фазного і нульового провідників відповідно, Ом;

X_n - зовнішній індуктивний опір петлі фаза-нуль, Ом.

Розрахункова формула витікає з виразів (6.1), (6.3) і (6.4) і має вигляд:

$$kl \leq \frac{U_\phi}{\frac{Z_p}{3} + \sqrt{(R_\phi + R_{H3})^2 + (X_\phi + X_{H3} + X_n)^2}}$$

Значення Z_T залежить від потужності трансформатора, напруги і схеми з'єднання його обмоток, а також від конструктивного виконання.

Значення R_ϕ і R_{H3} визначається за формулами в залежності від перерізу, довжини і матеріалу. Для кольорових металів:

$$R_{\phi} = \rho \frac{l}{S}$$

де ρ — питомий опір провідника, для міді 0,018, а для алюмінію 0,028 Ом-мм²/м;

l - довжина провідника, м;

S - площа поперечного перерізу, мм².

Для визначення опору сталевих провідників необхідно знати профіль і розміри провідника, його довжину, а також очікуване значення струму I_k , який буде проходити по цьому провіднику в аварійний період

$$R_{H3} = r_w \cdot l$$

де r_w - питомий активний опір сталевих провідників.

Щільність струму визначають за формулою:

$$R_{H3} = r_w \cdot l$$

Значення X_{ϕ} і X_{H3} для мідних і алюмінієвих провідників порівняно малі (біля 0,0156 Ом/км), тому ними, як правило нехтують. Для сталевих провідників внутрішній індуктивний опір визначають за формулою:

$$X_H = x_w \cdot l$$

де x_w - питомий індуктивний опір сталевих провідників.

Значення X_H у практичних розрахунках зазвичай приймають рівними 0,6 Ом/км.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було розроблено автоматизовану систему згортання паперу на основі принципів концепції Industry 4.0 із використанням сучасних засобів цифрової обробки даних, сенсорики та інтелектуального керування. Система реалізована як кіберфізична структура, що забезпечує інтеграцію апаратних і програмних компонентів із можливістю дистанційного моніторингу та керування технологічним процесом.

Апаратне забезпечення, обране для реалізації системи, включає:

- програмований логічний контролер (або мікроконтролерну платформу) як центральний обчислювальний модуль;
- давачі положення та переміщення для контролю процесу згортання паперу;
- оптичні або індуктивні сенсори для визначення положення заготовки та контролю технологічних операцій;
- виконавчі механізми (електродвигуни, сервоприводи або крокові двигуни), що забезпечують реалізацію процесу згортання;
- модулі керування приводами та інтерфейси введення-виведення для узгодження роботи елементів системи.

Програмне забезпечення системи розроблено із застосуванням сучасних мов програмування та засобів автоматизації, що забезпечують реалізацію алгоритмів керування, синхронізацію роботи виконавчих механізмів та обробку даних від сенсорів. Для забезпечення відповідності концепції Industry 4.0 передбачено можливість інтеграції з мережевими протоколами та хмарними платформами для передачі даних і віддаленого доступу.

У системі реалізовано функцію дистанційного моніторингу та керування, що дозволяє здійснювати контроль параметрів технологічного

процесу в режимі реального часу. Зібрані дані можуть передаватися до хмарного середовища, де здійснюється їх візуалізація, аналіз та зберігання з метою підвищення ефективності виробництва та оптимізації режимів роботи обладнання.

Ключовими результатами виконаної роботи є:

- розроблення прототипу автоматизованої системи згортання паперу;
- створення алгоритмів керування виконавчими механізмами з урахуванням сенсорного зворотного зв'язку;
- інтеграція апаратної та програмної складових у єдину функціональну систему;
- реалізація можливості збору та передачі виробничих даних у межах концепції Industry 4.0.

Таким чином, розроблена система відповідає сучасним вимогам до автоматизації виробничих процесів і має потенціал для подальшого розвитку, зокрема шляхом розширення функціональних можливостей, підвищення рівня інтелектуалізації керування та інтеграції з іншими виробничими системами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bakalyuk O. Industry 4.0, or why to digitize production processes / Oksana Bakalyuk, Oksana Redkva // ICBuTS-2022, 23-24 November 2022. — Tern: ФОП Паляниця В.А., 2022. — Р. 27–28
2. Stoyko, I., Dudkin, P. & Dzhydzhora, L. (2023) Industry 4.0: State, problems, prospects of HoReCa in Ukraine. Socio-Economic Problems and the State (electronic journal), Vol. 28, no. 1, pp. 95-103
3. Передумови реалізації індустрії 4.0 в сервісному середовищі / Андрушків Богдан Миколайович, Бойко Остап Богданович, Якимук П. В., Панчишин Т. В. // Матеріали XII Всеукр. наук.-практ. конф. пам'яті проф. ТНТУ ім. І. Пулюя, акад. НАН М. Г. Чумаченка: „Управління бізнес-процесами підприємств у контексті індустрії 4.0“, 11 жовтня 2024 року. — ТНТУ, 2024. — С. 14–15
4. Kramar I. Ukraine's perspectives in Industry 4.0 / Kramar Iryna, Tsikh Halyna, Halushchak Iryna // Business Risk in Changing Dynamics of Global Village 2: Monograph. — Nysa: Publishing House of University of Applied Sciences in Nysa, 2019. — Р. 505–513.
5. В.Кирилович. Розрахунок геометричних параметрів вузла адаптації схвата промислових роботів / В.Кирилович, А.Сазонов // Вісник ТНТУ. — 2013. — Том 70. — № 2. — С.150-156
6. Панухник Я. Г. Пріоритети розвитку машинобудівної промисловості України / Яна Панухник // Матеріали II науково-практичної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти розвитку економіки“, 18 квітня 2012 року — Т. : ТНТУ, 2012 — С. 126-128.
7. Медвідь В. Р. Автоматизована система управління сервоприводами металорізального верстата / В. Р. Медвідь, О. І. Драбик // XI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 7-8 грудня 2022 року. — Т. : ТНТУ, 2022. — С. 184.

8. Золотий Р. Дослідження швидкісних характеристик автоматизованої системи управління електроприводом / Роман Золотий, Богдан Козій // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», 19–21 травня 2015 року — ТНТУ, 2015 — С. 148.
9. Осика В. А. Паперотвірні властивості целюлози різних видів та ступенів помелу / В. А. Осика, Л. А. Коптюх, В. О. Комаха, О. С. Шульга, К. В. Мостика // Технічні науки та технології. — Чернігів, 2019. — № 1(15). — С. 227–234.
10. Мостика К. В., Коптюх Л. А., Осика В. А. Аналіз вимог до паперу для упакування харчових продуктів // Технологический аудит и резервы производства. — 2015. — № 6(4). — С. 29–35.
11. Stanko, A., Mykytyshyn, A., Holotenko, O., Lechachenko, T., & Wieczorek, W. (2024). Real-time air quality management: Integrating IoT and Fog computing for effective urban monitoring. *Ceur Workshop Proceedings*, 3742, 337–357.
12. Методика калібрування давачів DHN22 для вимірювання вологості / Ю. Скоренький, Т. Береженко, О. Данильців, Г. Шимчук // Матеріали XXI наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 16-17 травня 2019 року. — Т. : ТНТУ, 2019. — С. 137.
13. Стенд управління кроковим двигуном з допомогою одноплатного комп'ютера Raspberry Pi / Ростислав Ігорович Королук, І. В. Булич, А. М. Литвин, Андрій Григорович Микитишин // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції „Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи“, 29-31 травня 2024 року. — Т. : ТНТУ, 2024. — С. 39.
14. Чихіра І.В. "Програмування систем реального часу" : консп. лекц. / І. В. Чихіра , А.Г. Микитишин. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. - 73 с.

15. Солтис І. В. Видавничо-поліграфічні матеріали. Ч. 1. Друкарський папір та картон: навчальний посібник / І. В. Солтис, О. В. Дуболазов. — Чернівці : Чернівецький національний університет, 2021. — 347
16. Химич І. Індустрія 5.0: вдосконалення тенденцій індустрії 4.0 / І. Химич // Цифрова економіка і сталий розвиток: новітні тенденції у фінансах, обліку, менеджменті та соціально-поведінкових науках : збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції, м. Берегове, 26–27 березня 2024 р. — Берегове : ЗУІ ім. Ф. Ракоці II, 2024. — С. 328–329.
17. Чижевський Ю. Стенд для дослідження динамічних характеристик крокових двигунів / Чижевський Ю. // Матеріали II Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 23-24 квітня 2009 року — Т. : ТДТУ, 2009 — Том 1. — С. 251.
18. Методичні вказівки до лабораторної роботи № 5 "Проектування систем керування в середовищі Proteus VSM на базі Arduino Uno. Вивід швидкості обертання двигуна на LCD дисплей" з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами"/ Медвідь В.Р., Пісьціо В.П. – Тернопіль: ТНТУ, 2022. – 11 с.