

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеню вищої освіти – магістр
за освітньо-професійною програмою
«Кіберфізичні системи в промисловості, бізнесі та транспорті»

зі спеціальності

174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

тема роботи:

«Система автоматичного керування конвеєрною лінією з
використанням протоколу PROFINET»

Виконав ст. гр. АКІТР-24-1м.	_____	Штефрук Д.В.
Керівник	_____	Савицький О. І.
Нормоконтроль	_____	Маринич І. А.
Завідувач кафедри	_____	Рубан С. А.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: Магістр

Спеціальність: 174 - Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою: к.т.н. Рубан С.А.

«15» липня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студентові групи АКІТР-24-1м. Штефоруку Дмитру Володимировичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Система автоматичного керування
конвеєрною лінією з використанням протоколу PROFINET»

затверджено наказом по університету № 258с від 13.05.2025 р.

2. Термін здачі кваліфікаційної роботи: 01.12.2025 р.

3. Склад кваліфікаційної роботи: Пояснювальна записка обсягом 86с.,
презентація у Microsoft PowerPoint (20 слайдів) в електронному та друкованому
вигляді.

4. Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-2-3

доц. Савицький О.І.

Нормоконтроль

доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>10.02.25</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>15.04.25</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>18.07.25</i>
4	<i>Розділ 3</i>	<i>19.11.25</i>
5	<i>Висновки</i>	<i>20.11.25</i>
6	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>25.11.25</i>
7	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>28.11.25</i>
8	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>01.12.25</i>

6. Дата видачі завдання: 24.12.2024р.

Керівник _____ / Савицький О.І./

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

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету ознайомлений.

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

Студент _____ / Штефрук Д.В./

АНОТАЦІЯ

Штефурок Д. В. Система автоматичного керування конвеєрною лінією з використанням протоколу PROFINET : кваліфікаційна робота магістра : 174 – Автоматизація, комп'ютерно – інтегровані технології та робототехніка. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2025. 86 с.

Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг роботи становить 86 сторінок, з яких основний зміст роботи викладено на 75 сторінках.

В якості об'єкту керування виступає система трьох стендів конвеєрів в лінії на базі апаратної частини SIEMENS.

Метою роботи є створення оновленого програмного забезпечення по автоматичному керуванню трьома конвеєрами в лінії на базі елементів компанії Siemens, шляхом їхнього об'єднання та синхронізації між ними з використанням промислового протоколу Profinet.

В першому розділі описано загальну характеристику системи керування, розглянуті схожі існуючі системи та патенти, поставлене завдання на подальшу розробку оновленого програмного забезпечення по автоматичному керуванню системою.

У другому розділі описаний процес моделювання систему у програмному середовищі 3D візуалізації Factory I/O, описана ідеологія програмування та роботи системи, проведені дослідження по прискоренню її роботи та вказані пов'язані з цим проблеми, які можуть виникнути під час роботи з реальною системою.

У третьому розділі описується методологія програмування системи та керування нею, створення HMI панелі оператора.

Ключові слова:

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, SIEMENS, TIA PORTAL, ВІЗУАЛІЗАЦІЯ, FACTORY I/O, SCADA – СИСТЕМА

ANNOTATION

Shteforuk D. V. Automatic control system for a conveyor line using the PROFINET protocol : Master's Qualification Thesis : 174 – Automation, computer-integrated technologies, and robotics. Kryvyi Rih. Kryvyi Rih National University, 2025. 86 p.

The work consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references, and appendices. The total volume of the work is 86 pages, of which the main content is presented on 75 pages.

The object of control is a system of three conveyor stands in a line based on SIEMENS hardware.

The purpose of the work is to create updated software for the automatic control of three conveyors in a line based on Siemens components by combining and synchronizing them using the Profinet industrial protocol.

The first chapter describes the general characteristics of the control system, considers similar existing systems and patents, and sets the task for further development of updated software for automatic control of the system.

The second chapter describes the process of modeling the system in the Factory I/O 3D visualization software environment, describes the ideology of programming and operation of the system, conducts experiments to accelerate its operation, and indicates related problems that may arise when working with a real system.

The third chapter describes the methodology for programming and controlling the system and creating the operator panel's HMI.

Keywords:

AUTOMATIZATION, SOFTWARE, SIEMENS, TIA PORTAL, VISUALIZATION, FACTORY I/O, SCADA – SYSTEM

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ	9
1.1 Коротка характеристика об'єкта та процесу	9
1.2 Аналіз літературних джерел за напрямом досліджень	15
1.3 Патентний пошук за напрямом досліджень	24
Висновки по розділу	28
РОЗДІЛ 2. ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ	29
2.1. Візуалізація процесів роботи маніпулятора і конвеєрів у додатку Factory I/O	29
2.1.1. Візуалізація процесу транспортування конвеєрами.....	34
2.1.2. Візуалізація процесів завантаження/розвантаження за допомогою маніпуляторів.....	37
2.1.3. Візуалізація процесів роботи конвеєрів сумісно з роботою маніпуляторів.....	43
Висновки по розділу	54
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ.....	55
3.1. Схеми функціональна автоматизації системи керування конвеєрної лінії	55
3.2. Розробка мережевої структури роботи трьох стендів.....	59
3.3. Модернізація програмного забезпечення стенду 1 як складову САК конвеєрної лінії.....	62

3.4. Модернізація програмного забезпечення стенду 2 як складову САК конвеєрної лінії.....	71
3.5. Модернізація програмного забезпечення стенду 3 як складову САК конвеєрної лінії.....	74
3.6. SCADA - система системи керування конвеєрної лінії	76
ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	82

ВСТУП

Автоматизоване керування технологічними лініями виробництва є найголовнішим критерієм сучасних промислових систем, яке реалізує зменшення витрат та часу на виготовлення продукції, майже повністю виключаючи з процесу людський фактор. Дана робота присвячена дослідженню системи автоматизованого керування конвеєрними лініями з елементами завантаження-розвантаження, зв'язаних між собою промисловим протоколом PROFINET.

У якості об'єкту вивчення виступають три окремих конвеєрних лінії SIEMENS, до складу яких входять програмовані логічні контролери Siemens серії CPU 1215C DC/DC/DC, безпосередньо самі стрічкові конвеєри, маніпулятори, різного роду датчики контролю системи та окремі вузли автоматизації, які реалізують стадії обробки деталей.

У ході першого розділу роботи детально розглянутий склад елементів об'єкта, проведений літературний пошук аналогічних за будовою та/або функціоналом систем, як серед державних, так і закордонних проектів, описана їхня суть, переваги та недоліки. В роботі також наведені патентні системи, що частково нагадують об'єкт дослідження. На основі переглянутих літературних джерел та наведених патентних систем було проведено аналіз найсприятливішого вибору типу протоколу для зв'язку між автоматизованими системами, який дав чітке рішення у використанні PROFINET протоколу.

Другий розділ магістерської записки включає в себе повну розробку моделі просторової візуалізації автоматизованої системи трьох конвеєрних ліній у віртуальному середовищі Factory I/O. В процесі було проведене часткове дослідження по зменшенню часу функціонування одного циклу роботи системи шляхом збільшення швидкостей її елементів, а саме – конвеєрів та маніпуляторів, в межах можливостей реальної системи. Це дозволить пришвидшити темпи виробництва готової продукції, збільшивши її кількість на виході, та зменшивши час на її обробку у ході виготовлення. На даному етапі враховувались різного роду критерії захисту системи, для забезпечення її стабільної автоматичної

роботи, та повне виключення можливостей безпекових ситуації, таких як втрата продукції шляхом виробництва, або ж перевантаження конвеєра сипучими матеріалами, що призведе до пересипу.

У третьому розділі досліджуються методи керування автоматизованою системою, описуються етапи налаштування зв'язку між технологічними об'єктами по протоколу PROFINET, та виконано написання оновленого програмного забезпечення по автоматичному управлінню конвеєрними лініями у TIA Portal при різних режимах роботи. В процесі отримано повністю оновлене програмного забезпечення разом з HMI панеллю оператора для безпосереднього керування нею. При написанні програми враховувались критерії пришвидшення роботи системи та ступені її захисту, що досліджувались при моделюванні об'єкта у віртуальному середовищі. Продовження досліджень по прискоренню роботи системи вже на реальному об'єкті дало можливість виявити проблеми, які були непомітними та неможливими при віртуальному моделюванні через обмеження програмного середовища. Натомість – вдалося пришвидшити систему у два рази, відносно початкових встановлених параметрів, що становить приблизно 50% від повних можливостей. Подальше збільшення швидкості викликало несправності в роботі елементів системи, через пришвидшення параметрів часу роботи системи було визнано небезпечним для її функціонування.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ

1.1. Коротка характеристика об'єкта та процесу.

Система автоматичного керування конвеєрною лінією (рис. 1.1) складається з трьох незалежних маніпуляторно-конвеєрних установок (стендів), які є майже повністю ідентичними між собою, та відрізняються лише окремими вузлами автоматизації. Дана система призначена для моделювання роботи окремої частини конвеєрної лінії по транспортування вантажу (деталей). Вона демонструє можливості сучасних систем автоматизації, зокрема управління механізмами за допомогою промислових контролерів. Дані стенди є повністю автономними, і не взаємодіють між собою, виконуючи ключові функції транспортування, обробки та сортування деталей.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд системи

Стенд 1

Система першого стенду (рис. 1.2) реалізує процес автоматизованого завантаження заготовок на конвеєрну лінію, з їх попереднім зважуванням за

допомогою електронного датчика ваги SIWAREX, який вбудований у платформу початкової подачі деталей, як окремий вузол автоматизації.

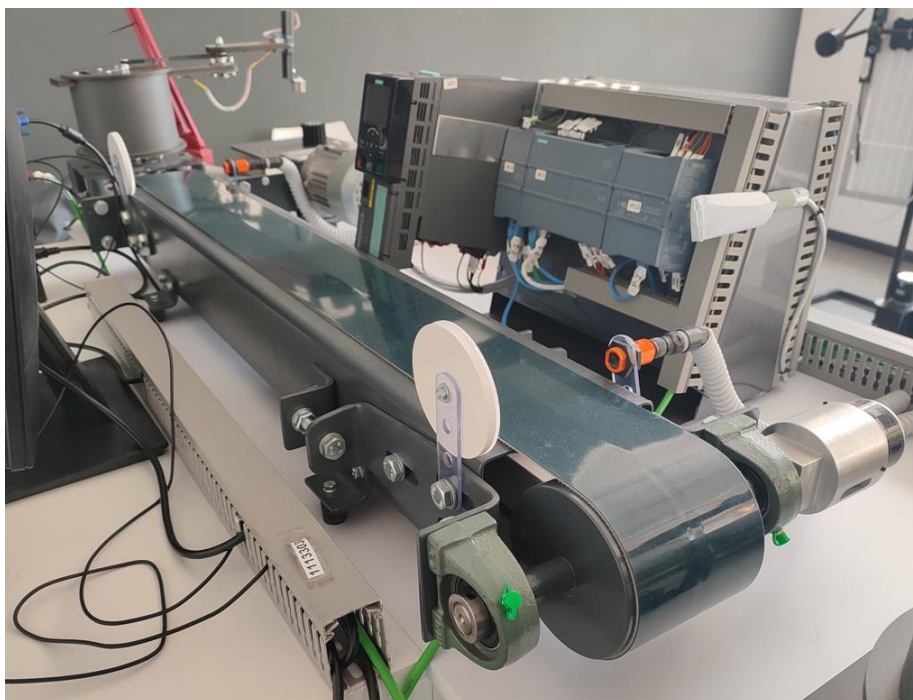


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд першого с станду

Основними елементами станду є програмований логічний контролер (далі ПЛК) CPU 1215C DC/DC/DC, який є мозком системи і повністю бере на себе реалізацію її автоматичного керування, комунікаційний модуль CSM 1277 для розширення Ethernet портів, та ваговий модуль SIWAREX WP231 для підключення до датчика ваги, налаштування та зняття його показань.

Модульні блоки та контролер, як і більшість інших елементів станду повністю живиться за допомогою блока живлення PM 1207 на 24V.

Серед виконавчих механізмів тут присутні стрічковий конвеєр на основі великого двигуна на 230V від тієї ж компанії SIEMENS, та простий маніпулятор для переміщення заготовок на основі трьох звичайних крокових двигунів 28BYJ-48, які забезпечують поворот маніпулятора навколо своєї осі, згинання стріли маніпулятора для збільшення/зменшення радіусу захоплення та перенесення деталі, та вертикальний рух підйомника у вигляді крокового двигуна та звичайної зубчастої рейки, на якій встановлений електромагніт LS-P25/20, для

безпосереднього захоплення заготовок. Усі три крокові двигуни живляться за рахунок додаткового блоку живлення LOGO!POWER, 5V/3A.

Керування швидкістю двигунами здійснюється за допомогою драйверів крокового двигуна TB6560 V2 та силового модуля SINAMICS G120 PM240-2 перетворювача частоти разом із блоком управління SINAMICS G120 CU240E-2 PN PROFINET, що дозволяє оператору контролювати систему через автоматизоване робоче місце (APM).

Окрім вагового модуля, також присутні два оптичних датчика OGP100, розташовані по обидві сторони конвеєрної стрічки для зняття крайніх положень заготовки та запобігання екстреним ситуаціям, таким як звалювання вантажу.

Для реалізації оберненого зв'язку в процесі керування стрічковим конвеєром, на другого його валу, що знаходиться вкінці, підключений інкрементний енкодер, який зчитує точне положення конвеєра до міліметра та передає на ПЛК, де реєструється.

Принцип роботи стенду 1

Маніпулятор за допомогою електромагніта захоплює заготовку з платформи, де попередньо була зважена, після чого транспортує її на конвеєрну стрічку. Перед переміщенням маніпулятор згинає стрілу для зменшення радіусу навантаження, особливо для важких деталей. Потім він обертається на 90° і переміщує деталь на конвеєр. Система фіксує положення деталі за допомогою першого оптичного датчика, який дає команду конвеєру на переміщення заготовки. Наприкінці шляху другий оптичний датчик фіксує доставку деталі у крайнє положення, після чого зупиняє конвеєр.

Стенд 2

Другий стенд (рис. 1.3) так само виконує функцію по транспортуванню деталей, в процесі якого за допомогою додаткового вузла автоматизації у вигляді імпровізованої нагрівальної пічки, відбувається нагрівання або обдув деталей під час їхнього руху по конвеєрній стрічці. Система, що імітує роботу печі, оснащена

лампами розжарювання 24V, вентилятором 24V та термопарою Sitrans TS 500 для контролю температури. Незважаючи на додатковий вузол автоматизації, другий стенд має у своєму складі точно такі ж самі елементи, що і перший стенд.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд другого стенду

Однак на відміну від першого стенду, платформа початкового положення деталей не оснащена таким вузлом автоматизації, як електронний ваговий модуль. В даному випадку встановлена піч для обробки заготовок у якості окремого вузла автоматизації повністю доповнює всю систему та робить її унікальною.

Повторно описувати кожен елемент системи немає потреби, адже вони всі ідентичні і були вже описані вище. Все, що змінюється – це лише додатковий вузол автоматизації.

Принцип роботи стенду 2

Принцип роботи другого стенду аналогічний першому: маніпулятор завантажує деталі на конвеєр, після чого вони проходять через зону обробки (нагрівання чи охолодження). Температура контролюється у реальному часі через модуль аналогового вводу-виводу. Наприкінці рух деталі зупиняється за допомогою оптичного датчика, і процес по її транспортуванню вважається завершеним.

Стенд 3

Третій стенд (рис. 1.4) виконує виключно функцію транспортування деталей без додаткової обробки. Він має структуру, схожу на другий стенд, але без нагрівальної системи. Особливістю цього стенду є додавання автоматизованого вузла у вигляді модуля SIMATIC IOT2000, що дозволяє інтегрувати RFID-рідер для запису або зчитування інформації з міток на деталях, перед їх захватом маніпулятором та подальшим їх переміщенням.

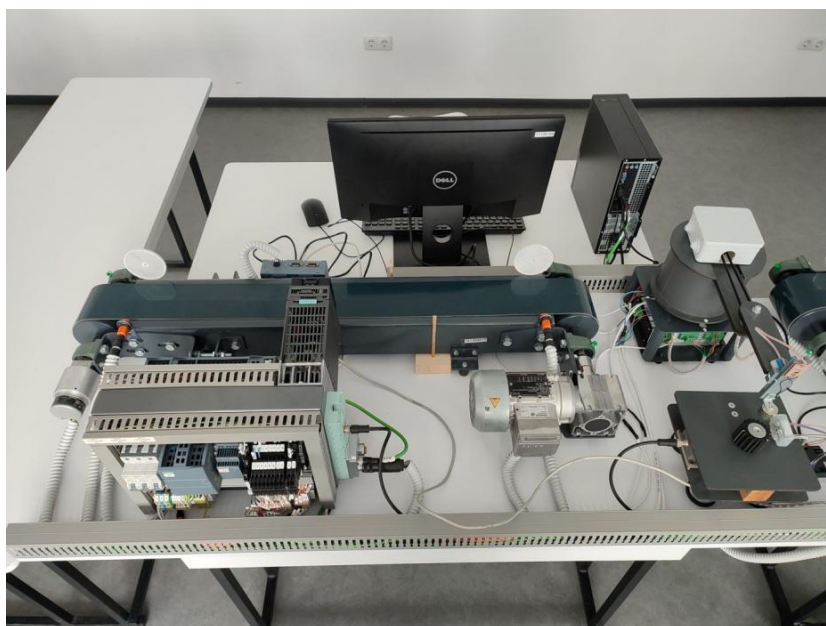


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд третього стенду

Сам датчик читання-запису RFID-міток устрій читання/запису RF180C вбудований у початкову платформу положення деталі стенду.

Програмна частина

До складу кожного зі стендів у якості програмного забезпечення входять три окремі проекти в TIA Portal, які містять у собі безпосередньо саму програму роботи систем, здебільшого написану на мові SCL (Structured Control Language), яка змішана з FBD (Function Block Diagram), та SCADA HMI інтерфейси, що дозволяють оператору слідкувати за станом системи, керувати процесами в реальному часі та перемикаати режими роботи (автоматичний або ручний).

Більш детальний перелік усіх елементів, на основі яких побудований перший стенд, описаний нижче в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Специфікація обладнання стендів.

№	Перелік основних елементів стенду 1, 2, 3		К-сть	Артикул
1	Блок живлення PM 1207, 24V		1	6EP1332-1SH71
2	Блок живлення LOGO!POWER, 5V/3A		1	6EP3310-6SB00-0AY0
3	Контролер: CPU 1215C, DC/DC/DC		1	6ES7215-1AG40-0XB0
4	Комунікаційний модуль: CSM 1277		1	6GK7277-1AA10-0AA0
5	Інтелектуальна панель оператора SINAMICS G120 IOP-2		1	6SL3255-0AA00-4JA2
6	Блок управління SINAMICS G120 CU240E-2 PN PROFINET		1	6SL3244-0BB12-1FA0
7	Силовий модуль SINAMICS G120 PM240-2 перетворювача частоти		1	6sl3210-1pb13-0ul0
8	Маніпулятор у складі:	Драйвер крокового двигуна	3	TB6560 V2
9		Кроковий двигун 28BYJ-48, 5V DC	3	28BJ48-12-300-01
10		Електромагніт (8KG) DC24V	1	LS-P25/20
11	Конвеєр у складі:	Двигун 230V 50Hz	1	1EL1002-0BB22-2KA4-Z
12		Стрічковий конвеєр	1	-
13		Інкrementний енкодер 10-30V 1000об.	1	FX2001-4DB00
14	Оптичні датчики OGP100		2	OGP100
Додаткові вузли автоматизації стендів				
Вузол автоматизації - стенд 1				
1	Ваговий модуль SIWAREX WP231		1	7MH4960-2AA01
2	Електронні ваги SIWAREX WL260		1	7MH5102-1KD00
Вузол автоматизації - стенд 2				
1	Імпровізована піч на основі:	Лампи розжарювання 24V	4	Zollex/Brevia
2		Вентилятор 24V	1	ME80152V1-000U-A99
3		Термопара Sitrans TS 500	1	7MC7511-1CA01-0AA1-Z
4	Допоміжне реле RCI484AC4 24V		1	8870320000
5	Модуль аналогового вводу-виводу SM 1234, 4AI/2AO		1	6ES7234-4HE32-0XB0
Вузол автоматизації - стенд 3				
1	Модуль RFID-комунікації RF180C для PROFINET		1	6GT2002-0JD00
2	Блок з'єднання RFID PROFINET/Ethernet, M12, 7/8 5-полюсний для RF180C		1	6GT2002-1JD00
3	Датчик читання/запису RF310R в платформі		1	6GT2801-1AA10
4	Модуль SIMATIC IOT2000		1	6ES7647-0KA01-0AA2
5	Модуль аналогових входів SM 1231, 4AI		1	6ES7231-4HD32-0XB0

1.2. Аналіз літературних джерел за напрямом досліджень

Автоматизовані системи керування є основою сучасного промислового виробництва, забезпечуючи високу ефективність, точність та стабільність технологічних процесів. Вони поєднують у собі використання програмованих логічних контролерів (ПЛК), роботів-маніпуляторів, конвеєрних ліній і засобів моніторингу, таких як SCADA-системи. Подібні рішення широко застосовуються у різних галузях, включаючи автомобільну промисловість, харчову індустрію та логістику. Особливе значення мають системи, які інтегрують кілька автономних елементів, синхронізуючи їх роботу для досягнення спільної мети. Саме такі системи дозволяють оптимізувати використання ресурсів, забезпечувати контроль якості та адаптуватися до змін у виробничих умовах. Далі будуть розглянуті системи, що частково або повністю схожі на досліджувану систему автоматичного керування конвеєрною лінією на базі ПЛК, маніпулятора та конвеєра.

Маніпулятор із системою технічного зору

В лабораторії «Промислова автоматизація та мехатроніка ім. С. В. Денисова» на кафедрі комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки Харківського національного університету радіоелектроніки представлений маніпулятор для транспортування деталей (рис. 1.5). [9]

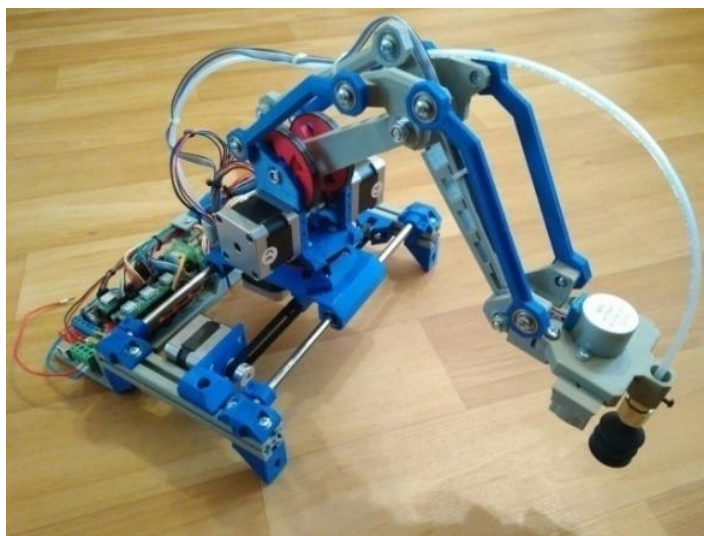


Рисунок 1.5 – Загальний вигляд маніпулятора

Маніпулятор оснащений двома рухомими суглобами, здатний обертатися навколо вертикальної осі та пересуватися рейками вліво й вправо. Крім того, він має захват, що дозволяє брати й переміщувати деталі в межах робочої зони.

Актуальністю досліджень із даним пристроєм є необхідність вдосконалення методів позиціонування промислових маніпуляторів для вирішення завдання переміщення предметів у робочому просторі для виконання заданого технологічного процесу. [9]

Автоматизація стрічкового конвеєру

Ще одна розробка Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського, присвячена модернізації системи керування стрічковим конвеєром гірничо-видобувного підприємства з акцентом на регулювання продуктивності. [11]

Блок складається з трьох частин: датчика положення, програмованого логічного контролера та перетворювача частоти. Він працює так: датчик рівня на конвеєрі визначає кількість вантажу, передає дані на контролер, який обробляє їх і передає сигнал на перетворювач частоти. Перетворювач змінює швидкість стрічки, підтримуючи стабільне завантаження конвеєра (рис. 1.6). Як контролер використовується ОВЕН ПЛК 150, який має високу надійність, потужну пам'ять (8 МБ) і працює на безкоштовному середовищі CoDeSys. [11]

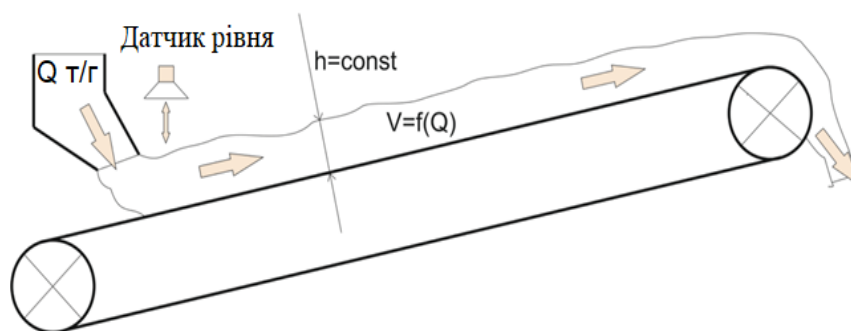


Рисунок 1.6 – Приблизна схема конвеєра з датчиками

Розроблена автоматизована система стабілізує погонне навантаження, знижує холостий пробіг стрічки, енергоспоживання та знос обладнання. Впроваджений алгоритм дозволяє узгоджувати швидкість конвеєра із змінним

вантажопотоком, що підвищує ефективність і знижує собівартість продукції. Серед переваг – економія енергії, збільшення ресурсу стрічки та роликів, зменшення витрат на обслуговування. Недоліками є складність впровадження та потреба в модернізації застарілого обладнання, що потребує значних витрат. [11]

Автоматизація процесу керування системою конвеєрних стрічок

Проект є розробкою Львівського національного університету природокористування, метою якого є розробка системи автоматизації керування системою конвеєрних стрічок (рис. 1.7). [12]

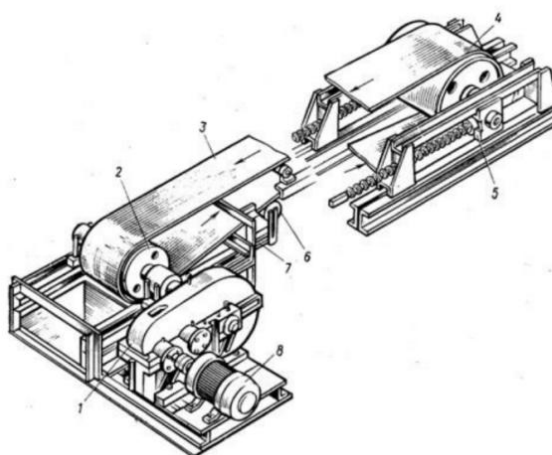


Рисунок 1.7 – Приблизна схема конвеєра з датчиками

У дослідженні "Автоматизація процесу керування системою конвеєрних стрічок" Р. Бобик аналізує впровадження автоматизованих рішень для стрічкових конвеєрів із використанням сенсорних технологій. Описуються методи моніторингу роботи системи в реальному часі, що дозволяють вчасно виявляти несправності. Серед переваг варто відзначити високу точність контролю, проте недостатньо приділено уваги питанням загальної безпеки та відмовостійкості. [12]

У ході роботи була розроблена автоматизована система управління конвеєрними стрічками, яка враховує особливості конвеєрних систем та їх класифікацію. Розроблено математичну модель і імітаційну модель стрічкового конвеєра, що включає автоматичне регулювання для уникнення перенавантаження. Моделювання підтвердило ефективність запропонованих рішень. Обрані технічні засоби автоматизації, зокрема інфрачервоні датчики,

виконавчі пристрої та контролер Siemens S7 дозволяють підвищити ефективність системи. Однак, детальніше вивчення аспектів економічної ефективності та охорони праці може потребувати додаткових досліджень для повного впровадження. [12]

Система дискретного запуску конвеєрів на базі контролера Siemens Simatic

Проект Миколаївського Чорноморського національного університету імені Петра Могили, метою якого є зменшення енергоспоживання під час руху вантажу за маршрутом шляхом реалізації дискретного запуску і зупинки конвеєрів, а також умов їх настання. [13]

У проекті створено автоматизовану систему керування, яка забезпечує послідовне підключення та відключення сегментів конвеєрного комплексу шляхом інтеграції в виробничий процес програмованого логічного контролера Siemens Simatic S7-400. [13]

Загалом, проект присвячений розробці автоматизованої системи дискретного управління багатосекційними конвеєрами для підвищення енергоефективності перевалки зернових продуктів. Запропоновано нове рішення з додатковими датчиками для регулювання швидкості руху ненавантажених секцій, що дозволяє знизити енергоспоживання. Модернізований алгоритм запуску секцій, реалізований на базі ПЛК Siemens Simatic S7-1500, продемонстрував економію енергії на рівні 12,5%. Програмне забезпечення забезпечує ефективне управління конвеєрним комплексом. Однак, для повної реалізації потрібні додаткові дослідження в сфері безпеки праці та навчання персоналу. Всі рішення продемонстровані на практиці в умовах підприємства ТОВ «ГРІНТУР-ЕКС». [13]

Розроблення системи автоматичного керування конвеєрною лінією на базі ПЛК Siemens 1200

У статті національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» під назвою "Розробка системи автоматичного керування конвеєрною лінією на базі ПЛК" автор Д. Плешкань описує створення системи

для автоматизації виробничих процесів на основі ПЛК Siemens S7-1200. У дослідженні розглядається застосування програмованих логічних контролерів для керування конвеєром, а також їх інтеграція з додатковими компонентами системи. Автор детально аналізує процес розробки, включаючи вибір обладнання, розробку програмного забезпечення та тестування системи. Основною перевагою є надійність і гнучкість використання сучасного ПЛК, але недостатня увага приділяється енергоефективності та можливих витратах на впровадження системи, що є недоліком роботи. [17]

Тепер розглянемо схожі статті про системи серед закордонних проектів.

PLC Multi Conveyor Feed Control Demystified

Мультиконтроль конвеєрами на основі ПЛК - онлайн проект присвячений управлінню багатоконвеєрними системами в промисловій автоматизації. Розглядається важливість координації кількох конвеєрів для ефективного переміщення матеріалів між етапами виробництва, що запобігає виникненню вузьких місць, затримок і марнування ресурсів. Особлива увага приділяється програмуванню ПЛК для точного контролю швидкості конвеєрів і потоку матеріалів, забезпечуючи максимальну ефективність виробничого процесу. У статті демонструється приклад реалізації такої системи з використанням EasyPLC, підключеного до Click PLC через Modbus TCP, а також операторської панелі з підсвіченими кнопками старту та зупинки. [18]

Application and Control of Robotic Manipulator through PLC

Автоматизована система побудована з використанням стрічкового конвеєра (рис. 1.8), програмованого логічного контролера Siemens SIMATIC S7-1200 та робота маніпулятора. В проекті використовується PROFINET, який обмінюється даними між ПК, ПЛК і CM CANopen. [20]

У роботі було проаналізовано кінематику та керування шарнірного роботизованого маніпулятора з метою управління його двигунами за допомогою кастомного контролера на основі ПЛК-програмування.



Рисунок 1.8 – Загальний вигляд автоматизованої системи

Основним завданням було створення симуляції маніпулятора в MATLAB, яка згодом використовується для створення робочої конфігурації. Результатом стала функціонуюча система управління на базі ПЛК Siemens, що дозволяє виконувати завдання "захоплення і переміщення" у зв'язці з конвеєрною стрічкою. [20]

Модельовання роботи та візуалізація стану стрічкового конвеєра в програмному середовищі TIA Portal V.15.1

У міжнародному науково-технічному журналі «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах», автори Андрій Слободян, Денис Макаришкін, Павло Майдан, Юлія Соколан, представлено результати моделювання роботи стрічкового конвеєра, виконані в програмному середовищі TIA Portal V.15.1. Розглянуто створення технологічних об'єктів, що використовуються як цифрові двійники для запуску асинхронного двигуна, розташованого на технологічній лінії. Створення таких об'єктів дозволяє перевірити правильність роботи маніпулятора в тестовому режимі, визначити та запрограмувати необхідні швидкості та прискорення, а також відслідкувати та виключити можливі помилки при запуску в роботу. Проаналізовано необхідні технологічні параметри, які потрібно задати в цифровому двійнику та на реальному стрічковому конвеєрі. [22]

Переваги: детальне моделювання дозволяє оптимізувати процеси до впровадження, знижуючи ризик помилок.

Недоліки: моделювання може не враховувати всіх реальних умов експлуатації, що може призвести до необхідності додаткових налаштувань під час реального впровадження. [22]

Prototype of Automatic Conveyor System Using Programmable Logic Controller for Educational Purpose

Стаття описує розробку прототипу автоматизованої конвеєрної системи з використанням PLC (програмованого логічного контролера) для освітніх цілей. Система дозволяє студентам застосовувати теоретичні знання на практиці, працюючи з реальним конвеєром. Основним елементом є PLC Mitsubishi FX3U, що керує DC-двигуном через PWM. Інфрачервоний датчик виявляє вантаж. Прототип допомагає студентам краще зрозуміти процеси автоматизації. Однак, система обмежена масштабами та специфічними умовами навчального середовища, а не реального виробництва. [25]

Підсумки

Огляд статей і проектів дав загальне розуміння напрямку подальших дій. Перш за все, багатий досвід використання програмованих логічних контролерів (ПЛК) в автоматизації конвеєрних систем свідчить про їх високу ефективність та надійність при управлінні виробничими процесами. Різноманітні підходи до розробки програмного забезпечення для ПЛК, описані у статтях, дозволяють отримати уявлення про правильну структуру програмного коду та ефективні методи синхронізації кількох підсистем. [26]

Багато з розглянутих проектів показують переваги інтеграції різних датчиків та систем контролю в автоматизоване середовище, що дозволяє забезпечити моніторинг і налаштування роботи конвеєрних ліній у реальному часі. Це особливо важливо там, де необхідно контролювати швидкість подачі сировини та кількість продукції на виході. Ключовими перевагами є також

можливість гнучкої адаптації системи під зміни у виробничих умовах і покращення взаємодії між окремими елементами автоматизації через вдосконалення SCADA HMI інтерфейсу.

Проте в деяких з статей є певні недоліки, на які варто звернути увагу. Наприклад, не завжди повно описано вирішення питань безпеки та енергоефективності, що є важливими аспектами для успішної реалізації автоматизованої системи. Враховуючи ці аспекти, можна буде удосконалити розробку вже наявної системи, інтегруючи кращі практики та адаптуючи підходи, що показали свою ефективність у реальних умовах виробництва. [26]

Обґрунтування вибору методів для усунення існуючих рішень

Не зважаючи на велику кількість розглянутих систем, хоч трохи подібних на нашу, мало де описується безпосередньо сам принцип комутації між контролерами та його методи реалізації. Тому пропоную обрати його власноруч, засновуючись на фактах та іншій інформації з Інтернет-джерел.

Серед відомих методів зв'язку можна розглянути такі протоколи, як OPC UA, MQTT, Node-RED, а також стандартні протоколи обміну даними - Modbus, Profibus і Profinet. Кожен із цих методів має свої переваги й недоліки, тому важливо розуміти їх можливості перед вибором оптимального рішення.

OPC UA являє собою універсальний відкритий стандарт для передачі даних між різними пристроями та програмним забезпеченням. За допомогою нього можливо реалізувати передачу інформації з ПЛК у SCADA чи у хмарні сервіси. Використовується він в системах, де на пристроях, таких як ПЛК вже є вбудовано можливість розгортання сервера OPC, адже без пристрою він не працюватиме. Проте його використання зазвичай потребує додаткового програмного забезпечення, а сама комунікація між контролерами потребуватиме додаткових налаштувань та ресурсів, що значно ускладнює реалізацію даної ідеї.

MQTT в свою чергу є досить легким протоколом обміну повідомленнями, який доволі часто використовується в системах Інтернету-речей. Його можна зручно використати там, де необхідно передавати невеликі обсяги даних,

особливо якщо існують обмеження по швидкості чи стабільності зв'язку. Загалом – він добре підійде до хмарних сервісів та віддаленого моніторингу, однак в промислових умовах він потребуватиме додаткових налаштувань та проміжних серверів (брокерів), що робить його менш простим у впровадженні.

Таке програмне середовище, як Node-RED, можна розглядати не стільки як протокол, а швидше як інструмент для візуалізації та інтеграції даних. Середовище оснащено графічним програмуванням, що легко дозволяє створювати різні екрани обробки та відображення інформації з контролерів. Він досить простий у використанні, проте для повноцінного промислового використання потрібні додаткові налаштування та сумісність із вибраними протоколами, такими як OPC UA, MQTT або інші.

Також існує протокол Modbus, який є одним із найстаріших протоколів. Він доволі простий у реалізації, і підходить для застосування у випадках зв'язку із датчиками, приводами або простими пристроями. Його основним мінусом є низька швидкість обміну даними та відсутність гнучких можливостей для складних систем. Для реалізації зв'язку між сучасними контролерами його слабкими сторонами можуть виявитись саме швидкість та обмеження по обсягу даних, що зробить неможливим питання синхронізації конвеєрних ліній.

Profibus вже являє собою більш сучасне рішення, яке довгий час було стандартом у промисловості. Даний протокол обміну даними працює по послідовній шині та забезпечує вищу швидкість обміну в порівнянні з Modbus. Саме його застосовували для ПЛК Siemens, і в багатьох виробництвах ця мережа досі використовується. Але з точки зору монтажу та масштабування - Profibus менш зручний. Особливо коли мова заходить про налаштування та діагностику, для якої необхідні додаткові інструменти.

А от саме Profinet є сучасним промисловим Ethernet-протоколом, який зараз є основним для контролерів Siemens серії S7-1200. Його головна перевага – простота підключення, оскільки використовується стандартний Ethernet-кабель (RJ-45), а налаштування здійснюється безпосередньо у TIA Portal. Крім цього,

Profinet забезпечує високу швидкість та стабільність обміну, дозволяє легко масштабувати систему та інтегрувати різні пристрої (датчики, приводи, панелі HMI).

У випадку з контролером S7-1215 DC/DC/DC найкращим варіантом буде саме Profinet-зв'язок. Він вже є вбудованим в пристрій і є стандартним, що виключає можливість докупки додаткових модулів зв'язку для контролера. Протокол доволі простий в налаштуванні, що дозволить швидко і без проблем реалізувати обмін даними між кількома ПЛК. Також, Profinet підтримується більшістю сучасних пристроїв, що робить систему гнучкою і зручною для майбутнього розширення. Тому остаточним рішенням по використанню протоколу для зв'язку та синхронізації трьох ПЛК - буде саме Profinet.

1.3. Патентний пошук за напрямом досліджень

В даному розділі будуть розглянуті патенти, системи яких віддалено схожі з досліджуваною автоматизованою системою подачі та транспортування та обробки заготовок за допомогою ПЛК, маніпулятора та конвеєра.

Umschlagplatz für medizinische Probenröhrchen

Про одну із таких схожих систем йдеться у німецькому патенті 2023 року DE102023207366A1 «Umschlagplatz für medizinische Probenröhrchen» (Пункт передачі медичних пробірок) (рис. 1.9). [27]

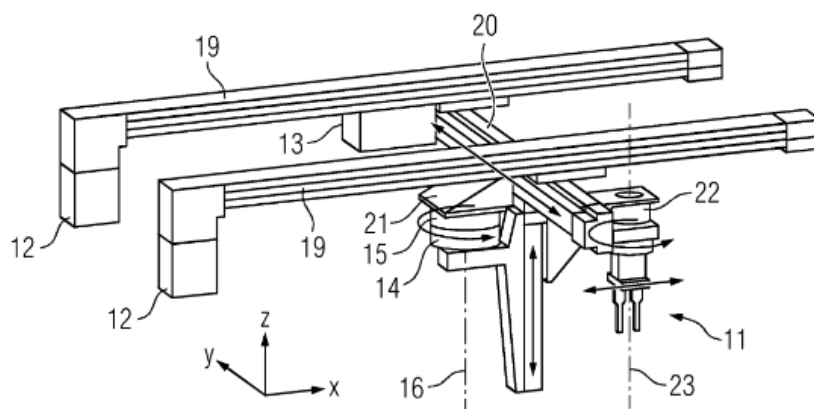


Рисунок 1.9 – Детальна схема пристрою

Станція перенесення пробірок (1) для медичних зразків має зону передачі (3), яка обмежена двома поздовжніми сторонами (7, 8), кожна з яких простягається в горизонтальному поздовжньому напрямку (x), і двома поперечними сторонами (9, 10), кожна з яких простягається в горизонтальному поперечному напрямку (y), ортогональному до поздовжнього напрямку (x). Станція передачі має конвеєрну конструкцію (5) для пробірок (1), яка проходить уздовж першої поперечної сторони (9). Станція передачі має першу систему обробки, розташовану над зоною передачі (3), за допомогою якої пробірки із зразками (1), розміщені в зоні передачі (3), можуть бути видалені із зони передачі (3) і передані до конструкції конвеєра (5), і, навпаки, пробірки (1), транспортовані структурою конвеєра (5), можуть бути підібрані та розміщені в зоні передачі (3). Перша система обробки має перший захват (11) для захоплення та вивільнення відповідної пробірки (1) для зразка. Перший захват (11) можна розташувати в поздовжньому напрямку (x) за допомогою першої лінійної осі (12) першої системи обробки, у поперечному напрямку (y) за допомогою другої лінійної осі (13) першої системи обробки та у вертикальному напрямку висоти (z) за допомогою третьої лінійної осі (14) першої системи обробки. Перша система обробки додатково має першу поворотну вісь (15), за допомогою якої перший захват (11) може повертатися на стрілі (17) поворотної осі (15) на відстані (a) від вертикальної осі (16) обертання навколо осі обертання (16). [27]

Grasp-point identifying and labeling of objects for robot manipulation

Наступним схожим проектом є патент US2025042022A1 2023 року «Grasp-point identifying and labeling of objects for robot manipulation» (Ідентифікація точки хвату та маркування об'єктів для маніпуляції робота). [28]

Тут розкрито системи, пристрої та способи для маркування зображень точками захоплення та/або інформацією, пов'язаною із завданням. Система може отримувати дані датчиків про захоплення предмета рукою. Вона також може визначати на основі даних датчика спостережуваного захоплення об'єкта точку маніпуляції по відношенню до об'єкта. Система також може створити мітку даних

для об'єкта, де мітка даних вказує точку маніпулювання об'єктом. Система також може керувати роботом для захоплення предмета в точці захоплення на основі точки маніпулювання в мітці даних. [28]

BELT CONVEYOR

Патент JP2024055498A 2022 року «BELT CONVEYOR» (СТРІЧКОВИЙ КОНВЕЄР) (рис. 1.10).

Забезпечити стрічковий конвеєр, у якому конструкція для підтримки конвеєрної стрічки може бути легко приєднана до конвеєрної стрічки та від'єднана від неї. [30]

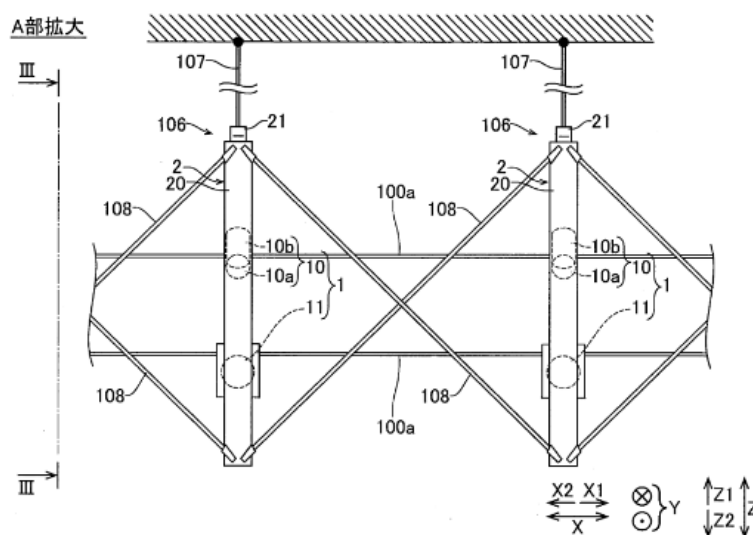


Рисунок 1.10 – Схема стрічкового конвеєру

РІШЕННЯ: Забезпечується стрічковий конвеєр 100, що включає: кільцеву конвеєрну стрічку 100a, на яку поміщають викопані відходи ЕМ; і безліч механізмів 106 підтримки стрічки, розташованих на заданих інтервалах один від одного в напрямку транспортування викопаних відходів ЕМ і рухомо підтримують стрічку 100a конвеєра, механізми підтримки стрічки 106 включають в себе: несучий ролик 10, який переміщує стрічку 100a конвеєра в напрямку транспортування; роликовий блок 1, що має зворотний ролик 11, який переміщує конвеєрну стрічку 100a в напрямку, протилежному напрямку транспортування; і кріпильний елемент 2 роликового блоку, до якого прикріплений роликовий блок 1, у якому безліч опорних механізмів 106 стрічки сконфігуровано таким чином,

що елементи 2 кріплення роликового блоку можуть бути індивідуально прикріплені до конвеєрної стрічки 100a та від'єднані від неї. [30]

CONVEYOR CONTROLLER

Наступний патент JP2021176790A 2020 року «CONVEYOR CONTROLLER» (КОНТРОЛЕР КОНВЕЄРУ) (рис. 1.11).

Забезпечити контролер конвеєра, пристосований для періодичного вивантаження об'єкта, який транспортується на основі відповідної ваги, з конвеєрного пристрою. [31]

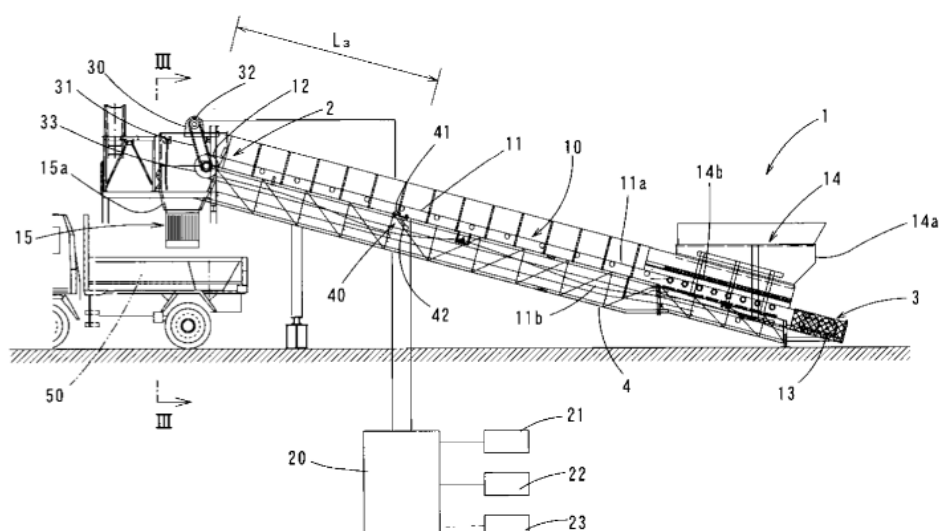


Рисунок 1.11 – Схема конвеєру

РІШЕННЯ: Контролер конвеєра містить конвеєрний пристрій 10, який переносить об'єкт, що переміщується рушійною силою, засіб 40 визначення ваги, який визначає вагу об'єкта, що транспортується, завантаженого на конвеєрний пристрій 10 у позиції виявлення, блок 15 розвантаження, який дозволяє об'єкту переміщуватися конвеєрним пристроєм 10 для падіння, засіб 20 керування, який керує рушійною силою до конвеєрного пристрою 10, арифметичний засіб 21, який обчислює значення інтеграції проходження об'єкта, що переноситься, у позиції виявлення на основі ваги об'єкта, що переноситься, виявленої засобом 40 визначення ваги, і засіб 22 визначення, який сигналізує про те, що значення інтеграції проходження досягло попередньо визначеного значення, як інформація про досягнення заздалегідь визначеного значення. Засіб 20 керування виконує

керування для тимчасового припинення введення рушійної сили в конвеєрний пристрій 10 на основі інформації про досягнення заданого значення. [31]

Загальний аналіз патентів підтверджує, що подібні автоматизовані системи активно розробляються для оптимізації виробничих процесів. Використання їх рішень допоможе створити системи з високою продуктивністю, точністю і надійністю.

Отримані знання з аналізу патентів будуть використані для розробки нових підходів до синхронізації роботи конвеєрів та робіт-маніпуляторів у нашій системі. [31]

Висновки по розділу

Об'єктом дослідження є стенди компанії Siemens систем локального керування окремими конвеєрами і роботами маніпуляторами їх завантаження.

Предметом дослідження є система автоматизованого управління синхронізацією роботи конвеєрів у лінії з оптимізацією процесів їх завантаження роботами маніпуляторами.

Метою проекту є розробка оновленої та оптимізованої системи управління по швидкодії і точності системи керування конвеєрною лінією з синхронізацією процесів їх завантаження роботами маніпуляторами.

Програмна та апаратна складова проекту конвеєрної лінії повинна базуватися на інтерфейсі з Profinet протоколом. В складі конвеєрної лінії повинно бути три стенди з конвеєром і маніпулятором для завантаження в кожному з них. Загальне керування повинно здійснюватися від ПК диспетчера.

Результатом роботи є САУ конвеєрної лінії (САУ КЛ) з роботами маніпуляторами завантаження і документація та інструкції з експлуатації.

РОЗДІЛ 2

ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

2.1. Візуалізація процесів роботи маніпулятора і конвеєрів у додатку Factory IO.

Перш ніж писати нову версію програми по керування системи, необхідно візуалізувати її у будь-якому вигляді, зібравши з нуля, для повного розуміння самої конструкції та принципу її роботи. Важливо мати можливість швидко перевіряти результат роботи написаної програми на кожному кроці її розробки, виключаючи різного роду складнощі, такі як постійна наявність реальної системи трьох конвеєрних ліній під рукою, їх запуск, завантаження програми в контролер та безліч сторонніх налаштувань. Тому на даному етапі необхідно провести вибір середовища для візуалізації, яке б ідеально підходило під поставлені умови задачі та значно підвищило швидкість та ефективність усієї розробки проекту.

Спершу визначимось з основними критеріями, по яким буде обиратись програмне середовище.

По-перше – це зручність та легкість у користуванні. Програмне середовище повинно бути швидко доступним та легким у інтерфейсі, щоб обійти стороною різні етапи складних налаштувань, які займатимуть багато часу.

По-друге – сумісність із ПЛК, а саме з контролером Siemens S7-1200. Це ледь не головна вимога до програмного середовища. Якщо цього етапу не буде, то в подальшому не буде сенсу взагалі розробляти візуалізацію в програмі, яка це не підтримує.

По-третє – програма повинна комунікувати з контролером через стандартні протоколи, такі як Profinet, OPC UA чи Modbus. Якщо ця умова не буде дотримуватись – це лише ускладнить питання додаткових налаштувань та комунікації за допомогою сторонніх утиліт.

По-четверте – вартість. Оскільки мова йде про навчальний проект, який в подальшому може використовуватись студентами для розвитку, програмне середовище повинно бути доступним і у цьому аспекті.

По-п'яте – наявність готових бібліотек та моделей для візуалізації, які дозволяють швидко відтворити систему транспортування, сортування та взаємодії з маніпуляторами.

WinCC (Siemens)

Першим програмним середовищем розглянемо саме WinCC. Це спеціальне програмне забезпечення компанії Siemens, яке ідеально комунікує з контролерами тієї ж компанії, більш-менш легке у використанні та є стандартним рішенням для створення SCADA і HMI. Його великою перевагою є повна інтеграція в середовище TIA Portal, що дозволить легко створювати екрани, візуалізувати дані та підключати змінні прямо з PLC. Однак при більш детальному знайомстві із програмним середовищем виявилось, що налаштування 3D-візуалізації або симуляції конвеєрних систем у WinCC практично відсутні. Загалом там реалізуються різного роду панелі керування, графіки, виводи помилок у вигляді тривоги та різних таблиць. Саму схему реалізувати можливо, однак здебільшого рухатись вона не буде і вважатиметься статичною. До того ж – рішення є доволі дорогим для звичайних користувачів. Тому даний варіант нам не дуже підходить.

LabVIEW

Наступною на черзі буде LabVIEW від National Instruments, яка відома своєю гнучкістю у візуалізації, зборі даних і керуванні різними пристроями. Вона має гарні можливості створювати складні алгоритми у вигляді блок-схем, а також підключати різні прилади та сенсори. Однак при роботі з цим програмним середовищем необхідний досвід побудови моделей «з нуля», так як елементи одразу у готовому вигляді тут відсутні. Програма є занадто складною для початківця, і розробка системи в ній лише значно затримає темпи розвитку усієї роботи, відібравши багато часу. А для навчальних завдань, які будуть в подальшому запропоновані як додаток до цієї системи – це виглядає занадто

складно. Також середовище потребує ліцензію, вартість якої звичайні студенти покрити самотійно не зможуть. Як підсумок – програма не відповідає поставленим критеріям, через що не була обраною.

Factory I/O

Також, у якості програмного середовища для візуалізації було розглянуто Factory I/O, яке спеціально створене для симуляції виробничих процесів і навчання автоматизації. При роботі з ним було виявлено, що середовище має свою невелику бібліотеку з готовими елементами, такими як конвеєри, маніпулятори, сенсори, сортувальні механізми, пневматика та інші об'єкти безпеки та інтер'єру. Їх додавання та налаштування не є важким та не займе багато часу, що значно спрощує освоєння програмного середовища та побудову системи, а його простота дасть можливість студентам швидко засвоювати нові знання та реалізовувати поставлені задачі.

Програма має можливість запуску симуляції як з реальним контролером (через різні протоколи, такі як OPC, Modbus, Siemens S7 TCP/IP та інші), так і без його фізичної наявності. Це значно полегшить тестування системи перед завантаженням програми до реальних пристроїв, дозволить відстежити різного роду помилки та нестандартні для виробництва ситуації. Різні елементи керування симуляцією дозволять як зменшити її швидкість, так і пришвидшити, скоротивши час тестування системи.

Середовище дозволяє керувати елементами в ручному та автоматичному режимах. Автоматичний режим реалізується через вбудоване програмування з великою бібліотекою логічних елементів і функціональних блоків (таймери, лічильники, тригери, теги керування тощо).

Мінусом середовища Factory I/O є його ліцензійність. Додаток не є базкоштовним, однак для навчальних цілей існують академічні версії та версії «демо», які доступні студентам на деякий пробний період часу. З урахуванням усіх переваг, цей недолік не є критичним.

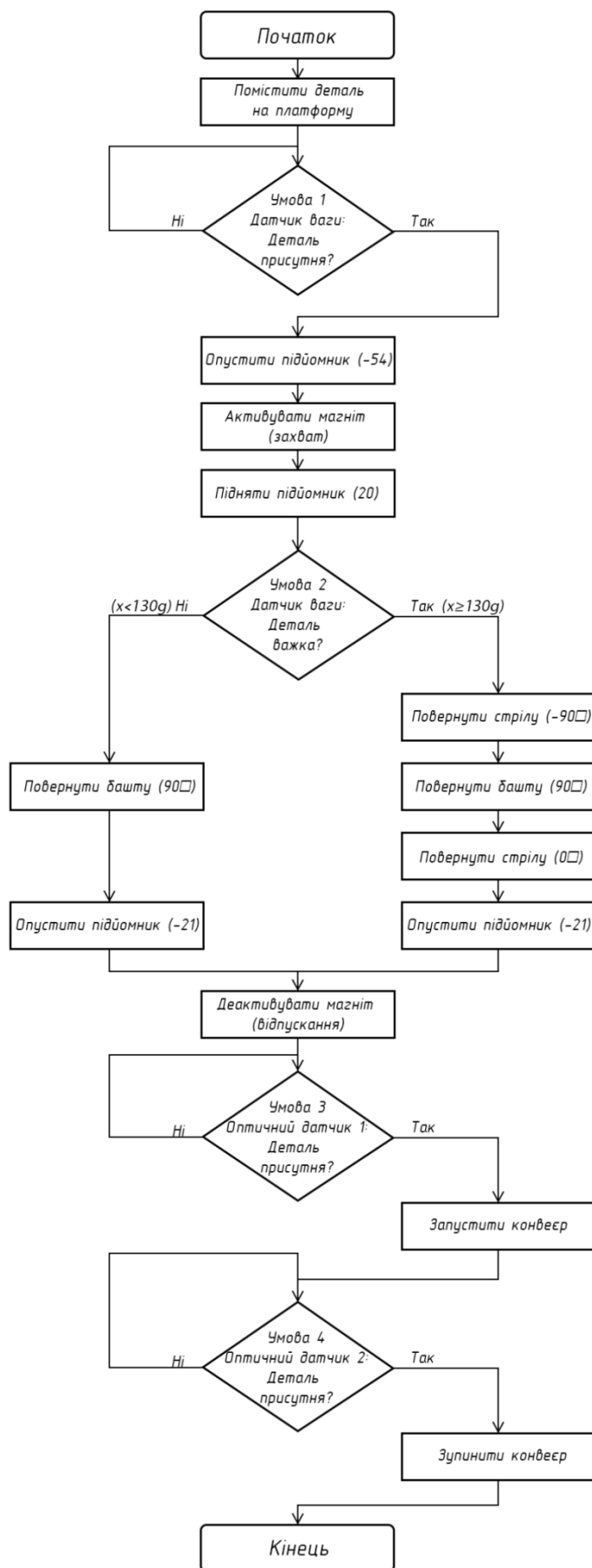


Рисунок 2.1 – Схема алгоритму роботи системи першого стенду

Перш ніж будувати візуалізацію системи та програмувати, необхідно розуміти послідовність її роботи. Для цього, як зразок, побудував схему алгоритму роботи системи першого стенду (рис. 2.1).

Після перегляду варіантів програмного забезпечення для візуалізації та їх порівняння, було вирішено зупинитись саме на Factory I/O, так як воно найбільше підходить під усі поставлені вимоги, поєднуючи у собі простоту, наявність готових моделей та сумісність із контролерами серії Siemens.

2.1.1. Візуалізація процесу транспортування конвеєрами.

Автоматизована система включає три конвеєрні установки, які транспортують продукцію та керуються відносно оптичних датчиків, розташованих по обидві сторони кожного з них.

Користуючись стандартними елементами бібліотеки додав на робочий простір вікна візуалізації три стрічкових конвеєра довжиною по 6 метрів кожний, зберігши між ними відповідну дистанцію. У якості початкових платформ кожного зі стендів встановив короткі стрічкові установки, які в подальшому не будуть запускатись і виконуватимуть роль статичних об'єктів.



Рисунок 2.2 – Розміщені елементи

Далі додав шість дифузних (оптичних) сенсорів, по одному на початок і кінець кожного з конвеєрів, для зняття крайніх положень, керування та перешкоджанню звалювання продукції.



Рисунок 2.3 – Виставлені кінцеві датчики

В реальній системі трьох конвеєрних ліній в початкову платформу першого стенду встановлений електронний датчик ваги, від показань якого залежить початок роботи системи. У віртуальному середовищі датчик ваги відсутній, тому замість нього, як заміну, встановив ще один оптичний датчик, який буде зчитувати наявність заготовки на початку виробництва та запускати процес транспортування.

У Factory I/O є можливість керування кожним об'єктом вручну, однак для таких великих систем це завдання є доволі складним, адже швидко перемикатися між пристроями для візуалізації роботи всіх процесів буде не легко. Тому на даному етапі було вирішено прописати автоматичне керування роботою системи, щоб вона могла запускатись та демонструвати свою роботу без наявності фізичного контролера. Для цього перейшов у налаштування драйверів та обрав вбудоване середовище програмування Control I/O.

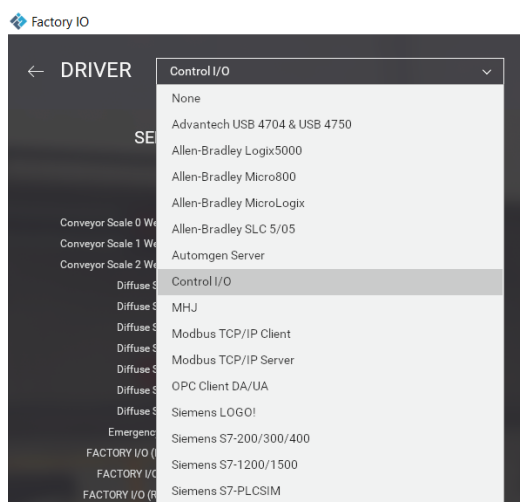


Рисунок 2.4 – Вибір середовища програмування

Після запуску середовища програмування, на основі логічних елементів та функціональних блоків прописав тимчасову умову включення першого конвеєра. Для загального запуску додав кнопку. Пристрій вмикатиметься лише при наявності деталі на його початку, тобто при спрацюванні першого сенсора. Для виконання таких умов скористався логічним елементом «AND». Щоб створити затримку перед увімкненням пристрою використав таймер «TON», а для перетворення сигналу типу «INT» на сигнал типу «FLOAT», при цьому назначивши конвеєру відповідну швидкість транспортування, скористався блоком «ASSIGN».

На даному етапі, при керуванні конвеєрами необхідно враховувати встановлені швидкості їхньої роботи, адже реальна конвеєрна система обмежена у своїх можливостях, на відміну від віртуального середовища. При ручному керуванні можна помітити можливість зміни швидкості в межах від -10 до 10.

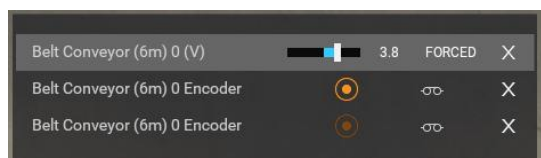


Рисунок 2.5 – Встановлення швидкості

При зміні параметрів досліджень скорочення часу роботи віртуальної системи було виявлено, що при максимальній швидкості система працює не коректно, а на реальному об'єкті такі швидкості є фізично неможливими, і будуть руйнівними для системи. Тому для відносно реалістичної швидкості роботи конвеєрів виставимо візуально допустиме значення швидкості в межах від «0» до «4», тобто «2». В подальшому – швидкість роботи конвеєрів встановлюватиметься на етапі програмування реальної системи.

Таймером «TOF» задав період роботи системи після її вимкнення/зупинки (датчик 1 вимкнувся), для завершення одного циклу роботи. Також продублював умови зупинки конвеєра при досягненні деталі другого датчика за допомогою логічного блоку «XOR». За тим самим принципом прописав програму роботи для інших двох конвеєрів, змінивши їх умови роботи.

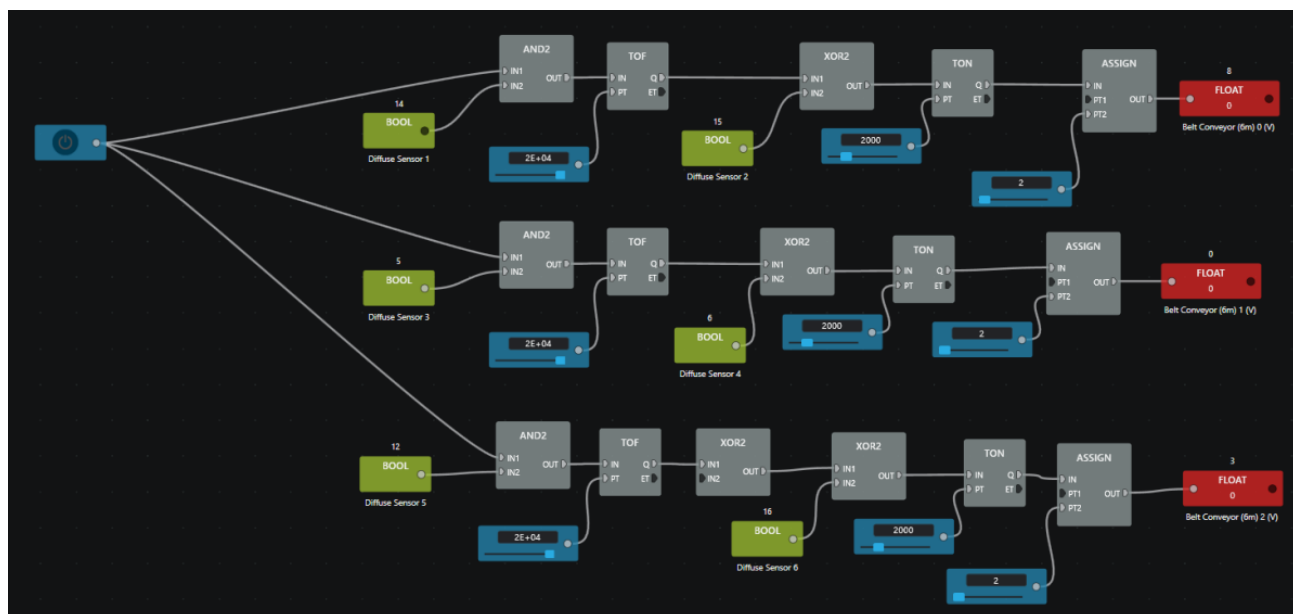


Рисунок 2.6 – Програма керування трьома конвеєрами

Таким чином, усі три конвеєри будуть працювати лише при умові загального дозволу на роботу системи та при спрацюванні оптичних датчиків.

Для тимчасового тестування роботи програми встановив об'єкт Емітер, який буде автоматично розміщувати пакунки для транспортування під час симуляції. Налаштував його на видачу малих пакунків.

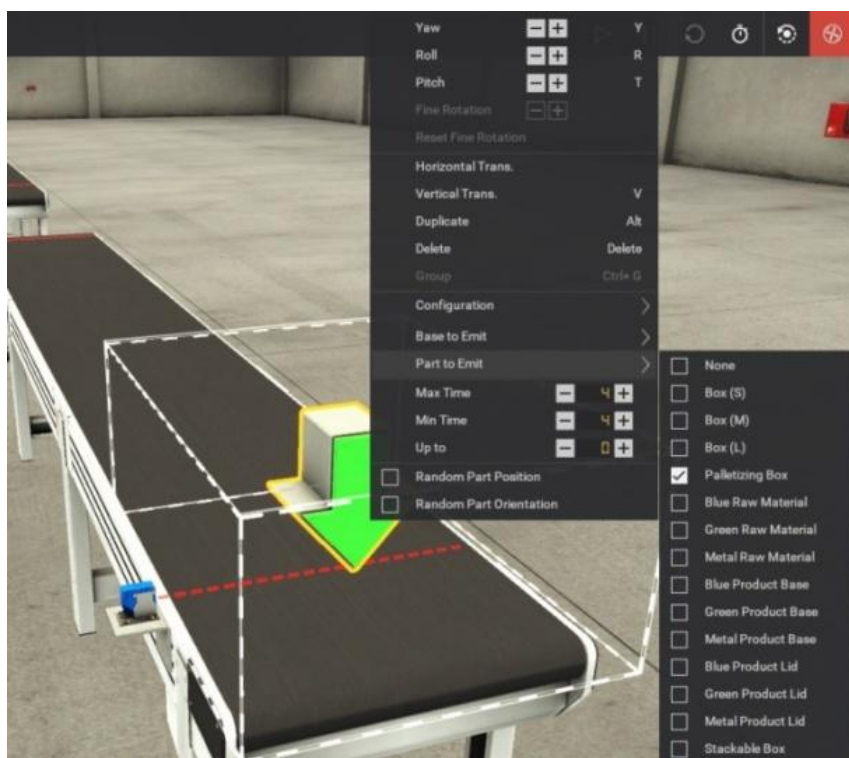


Рисунок 2.7 – Об'єкт Емітер з налаштуваннями

Запустив симуляцію та переконався у правильності виконання написаної логіки програми.

2.1.2. Візуалізація процесів завантаження/розвантаження за допомогою маніпуляторів.

Окрім трьох конвеєрів та оптичних датчиків, автоматизована система керування конвеєрною лінією також має три роботизовано маніпулятори, які мають підйомник, коліно та стрілу для зміни напрямку транспортування заготовок. У програмному середовищі присутній такий маніпулятор, який майже повністю відповідає можливостям дійсного. Однак, на відміну від нього, він не має коліна, яке б реалізовувало поворот стріли. Замість нього маніпулятор має шток, який може висуватись, змінюючи довжину руки. На етапі автономної програмної симуляції без контролера ми не будемо змінювати довжину руки, і при роботі маніпулятора просто висунемо її до максимальної довжини, симуюючи стандартне положення реального робота.

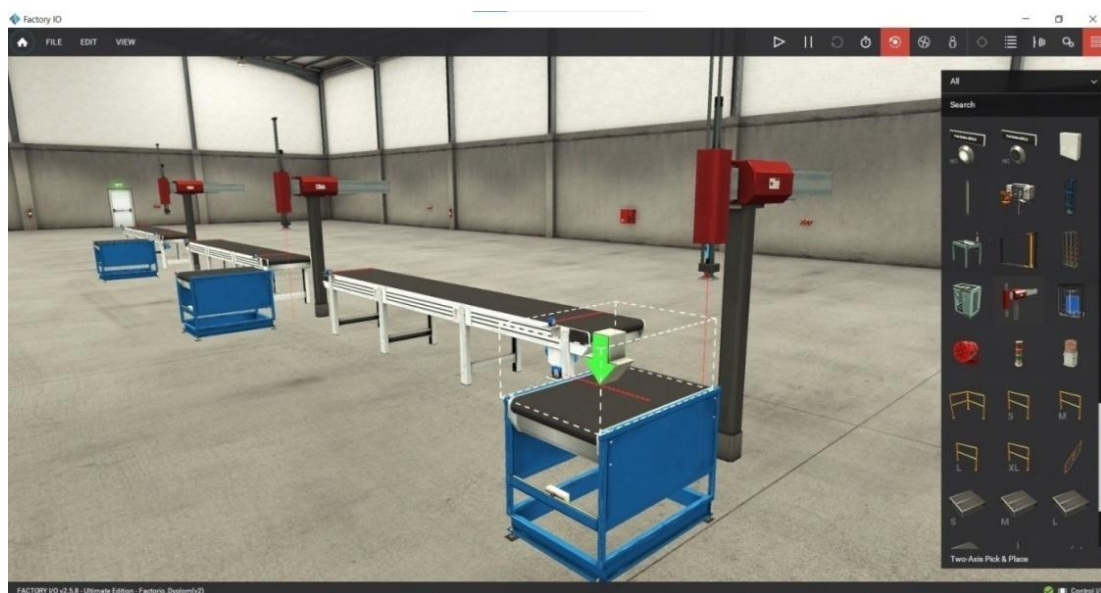


Рисунок 2.8 – Додані маніпулятори

Слід враховувати, що при повністю витягнутому штоку руки маніпулятора, його крайня позиція захвату повинна збігатись із положенням датчика, як з одної сторони конвеєра, так і з іншої, для чіткої реєстрації деталі сенсорами. Це

стосується також і початкових платформ кожного зі стендів. Тому спочатку запустив симуляцію та активував висування штока маніпулятора, виставивши елементи у відповідні положення.

Далі побудував програму паралельного керування елементами системи, де за увімкнення відповідатиме одна загальна умова, елементи не залежатимуть один від одного, а послідовність буде реалізовуватись на основі таймерів затримки.

Перший маніпулятор матиме свою програму, на відміну від інших двох, у яких вона буде однакова. Спочатку він опускається та підхоплює деталь з початкової платформи. Так як висунутий шток руки є стандартним положенням при включенні системи, прописав його автоматичну активацію на початку роботи.

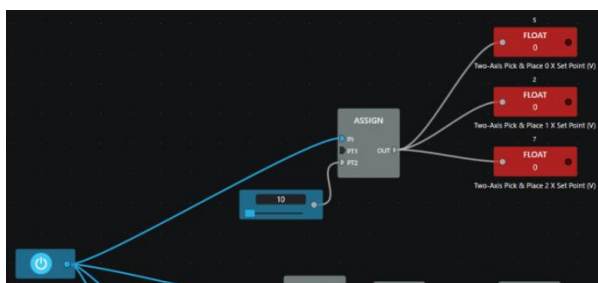


Рисунок 2.9 – Програма активації штоку маніпулятора

Далі на основі логічних елементів запрограмував опускання підйомника маніпулятора. На даному етапі слід враховувати висоту опускання підйомника відносно висоти самої коробки, щоб маніпулятор не відчував навантажень і не піднімав сам себе. Перевірів значення висоти методом запуску симуляції та ручного керування.



Рисунок 2.10 – Визначення висоти опускання руки

В нашому випадку це приблизно «8.5». Задав це значення при програмуванні підйомника.



Рисунок 2.11 – Програма опускання руки

Так як віртуальне середовище візуалізації обмежене в своїх можливостях, і програмування швидкості роботи маніпуляторів у ньому відсутнє - для дослідження збільшення швидкостей елементів, у якості прискорення роботи, час спрацювання елементів віртуальної системи, як і їх швидкість та період роботи, будуть встановлюватись за допомогою таймерів. При програмуванні вказуватимуться найкоротші часові затримки, які будуть можливими для стабільної та правильної роботи системи. В подальшому, на етапі програмування реального пристрою, усі параметри швидкостей встановлюватимуться у блоці керування пристроєм.

Наступним кроком запрограмував захват деталі рукою маніпулятора. Задав йому затримку таймером «TON». В програмному середовищі Control I/O всі теги виходів, через які здійснюється керування пристроями, працюють при підтримуванні сигналу на вході. Тому, реалізував відпускання деталі через таймер «TOF», який часом вкаже період роботи захвату.

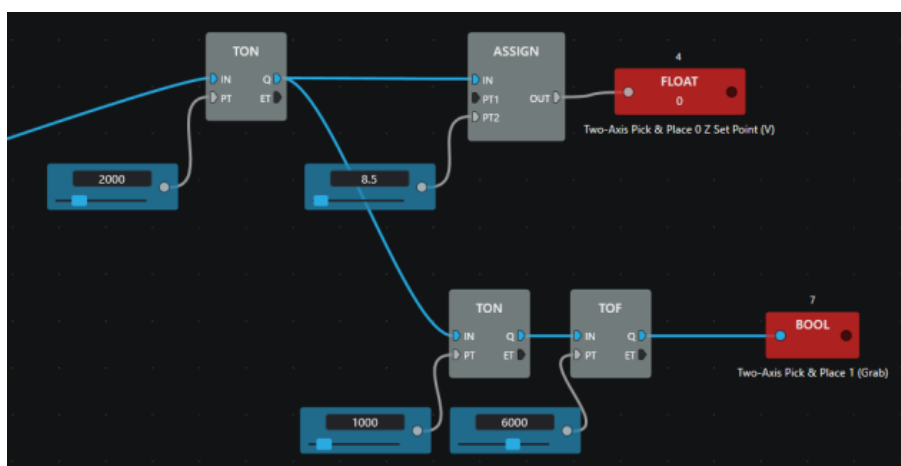


Рисунок 2.12 – Програма активації захвату

Повернення підйомника в початкове положення реалізував звичайним скиданням сигналу з його елемента керування додатковим таймером затримки «TON» та логічним елементом «XOR2».

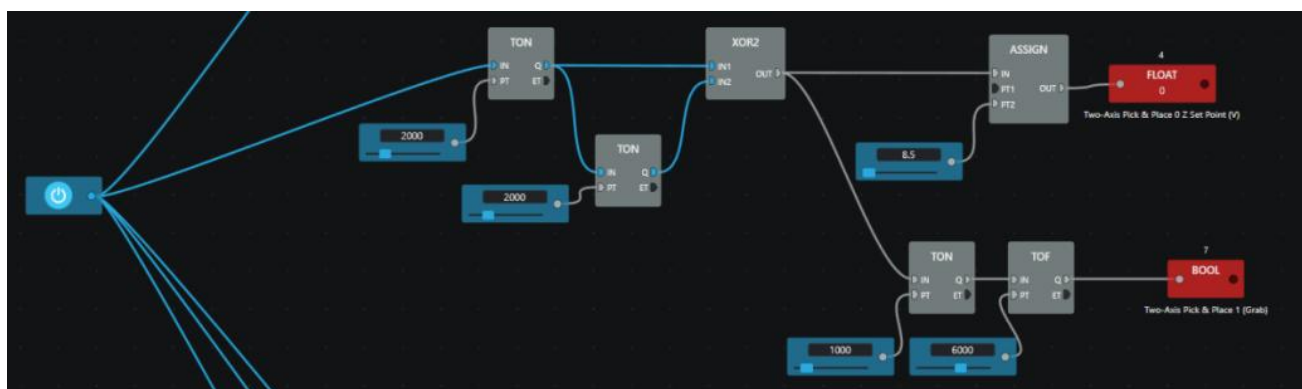


Рисунок 2.13 – Прописаний крок піднімання руки

Після, прописав поворот маніпулятора для переміщення заготовки на конвеєр. Тег керування поворотом маніпулятора приймає імпульсні команди.

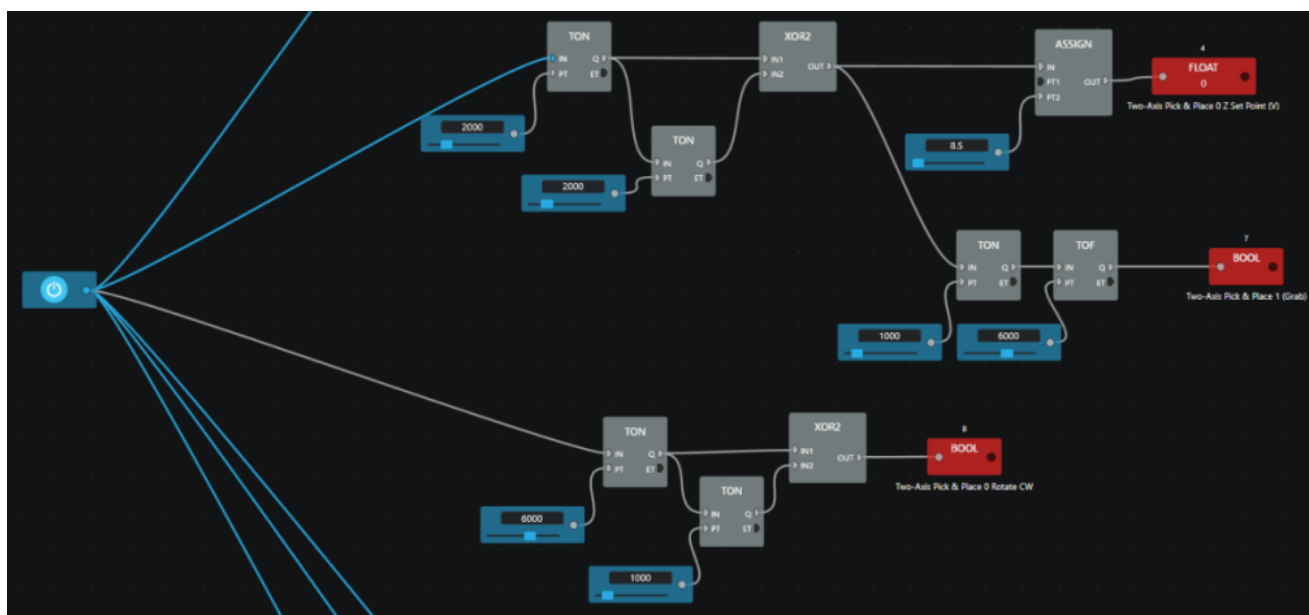


Рисунок 2.14 – Прописані кроки повороту руки

Далі прописав опускання підйомника з вантажем, та повторне підняття підйомника. Схожі дії вже були прописані раніше, тому просто скопіював частину коду та змінив умови спрацювання. Скористався логічним блоком «OR4», для повторного керування елементом.

Далі запрограмував повернення маніпулятора в початкове положення.

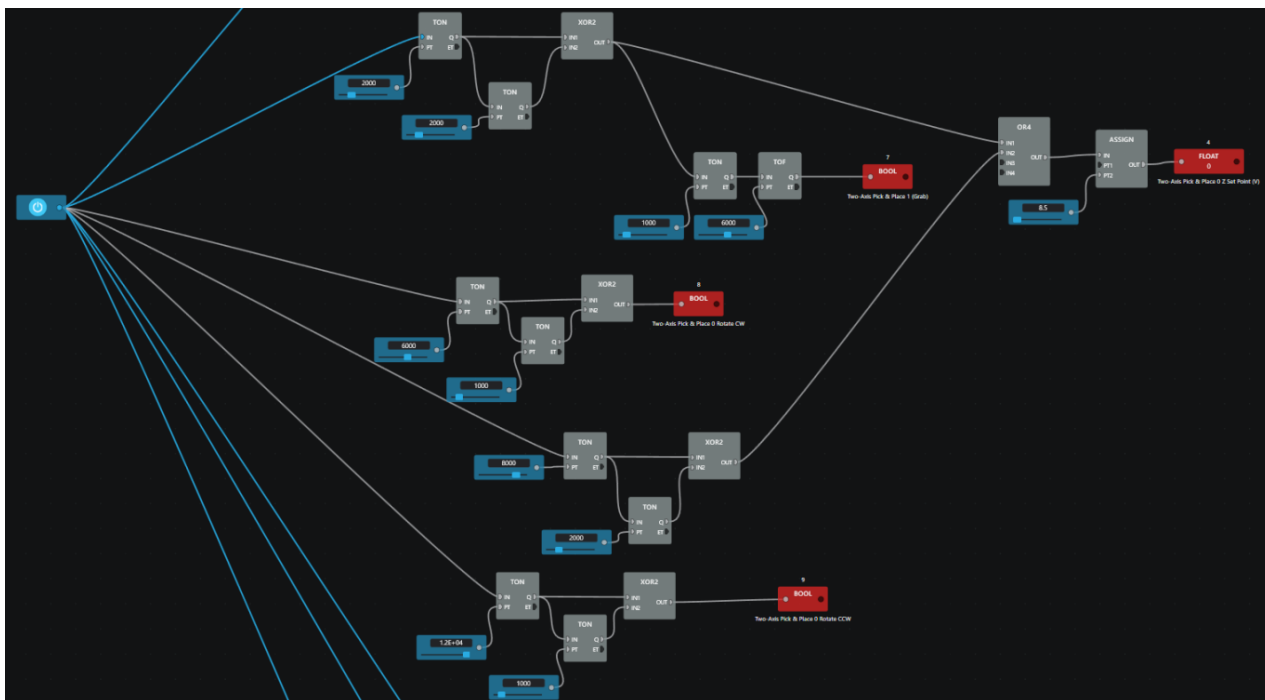


Рисунок 2.15 – Прописаний крок повернення маніпулятора

Тепер, коли логіка роботи програми першого стенду повністю написана – запустив симуляцію та перевірів її на працездатність.



Рисунок 2.16 – Вдале тестування системи

З використанням логічних елементів та функціональних блоків прописав логіку його роботи другого маніпулятора, трохи змінивши його перші кроки.

Спочатку маніпулятор повинен повернутись для підбору деталі з попереднього конвеєра, і вже після виконувати подальші кроки по опусканню

підйомника та захвату об'єкта. Далі він повинен перемістити заготовку на наступний конвеєр, де її покладе, та повернутись в першочергове положення.

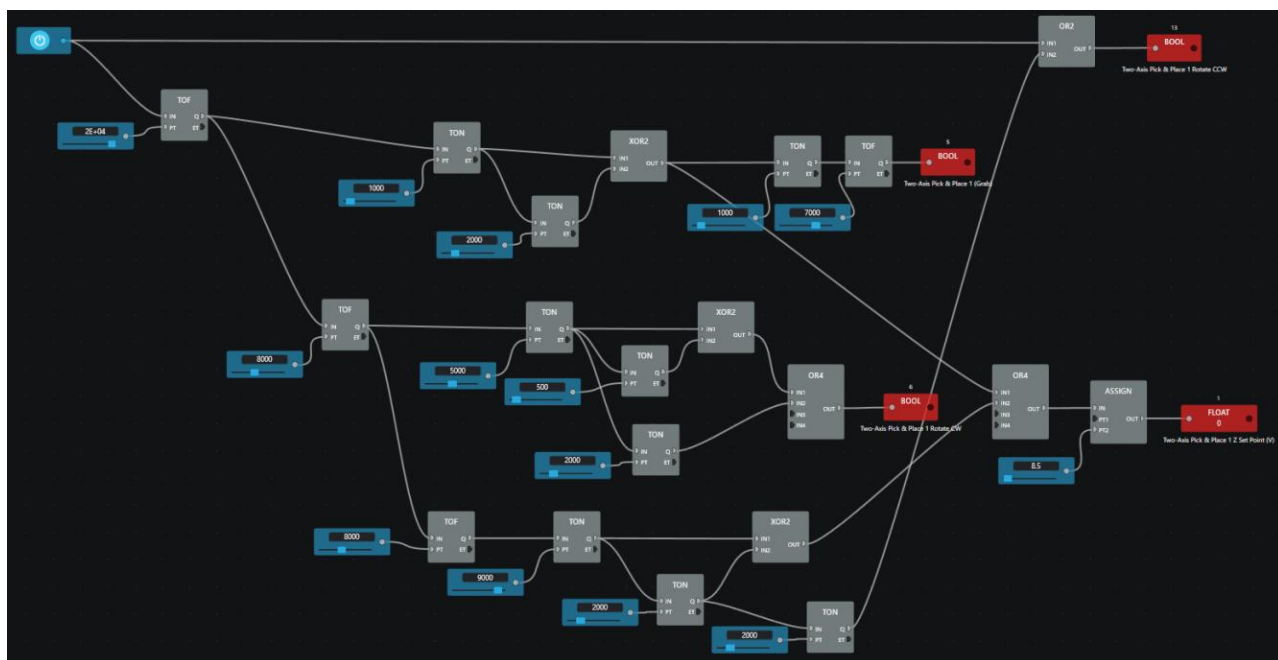


Рисунок 2.17 – Прописана програма роботи другого маніпулятора

Так як принцип роботи третього маніпулятора нічим не відрізняється від другого – продублював його написану програму, змінивши кінцеві теги керування другого маніпулятора на теги керування третього. Після цього протестував роботу кожного з них, запустивши симуляцію.



Рисунок 2.18 – Успішне тестування системи

2.1.3. Візуалізація процесів роботи конвеєрів сумісно з роботою маніпуляторів.

Наступним кроком пов'язав усі частини керування елементами в одну систему та прописав загальні умови їхньої роботи.

Реалізував умови роботи першого маніпулятора, використовуючи логічні та функціональні блоки. Маніпулятор вмикатиметься із затримкою та при спрацюванні датчика на початковій платформі. При спрацюванні третього сенсора, який сигналізуватиме, що деталь пройшла систему першої конвеєрної лінії, система перезавантажується, і маніпулятор може починати новий цикл своєї роботи.

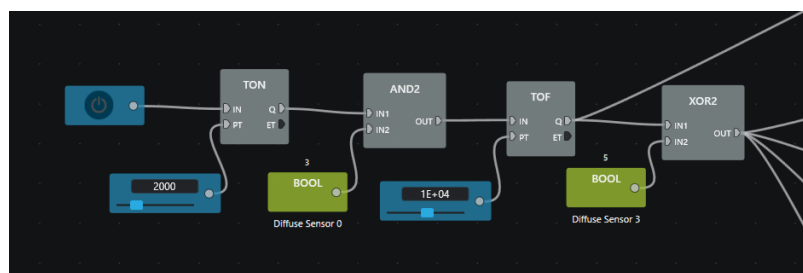


Рисунок 2.19 – Загальні умови роботи системи

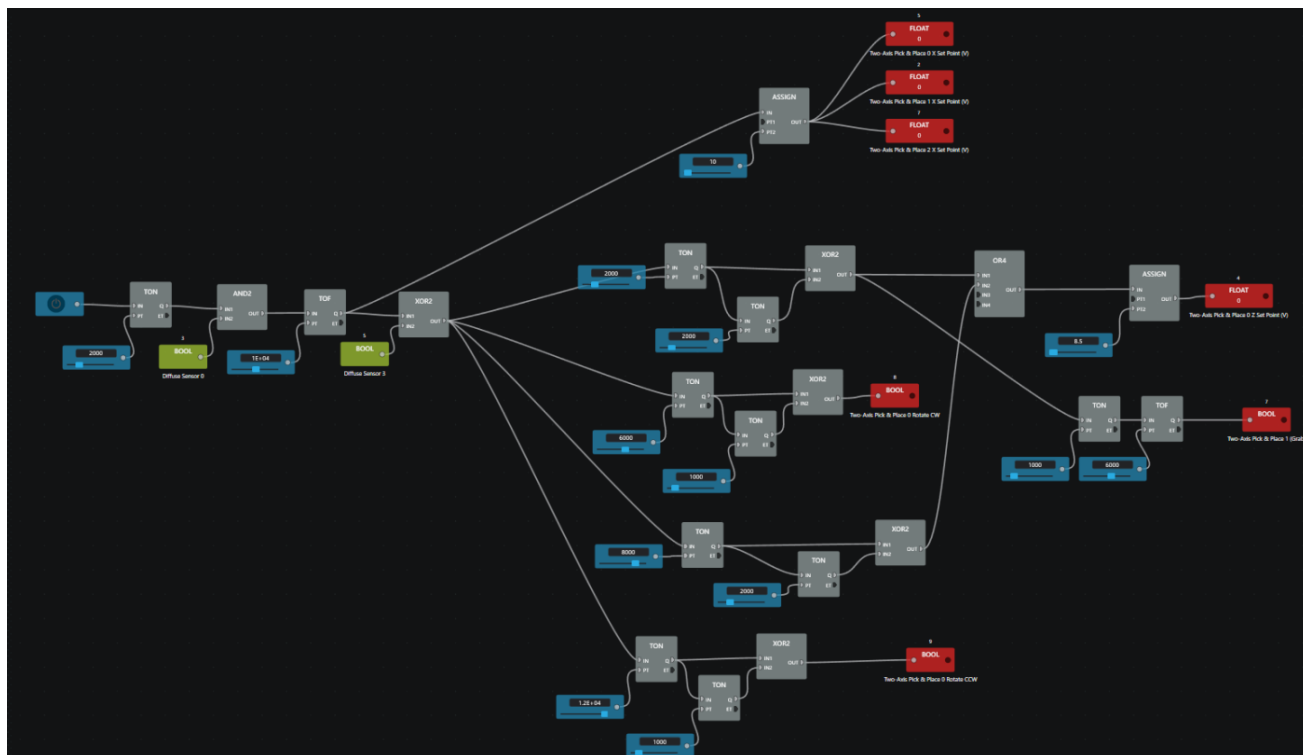


Рисунок 2.20 – Об'єднана частина коду керування першим маніпулятором

Початок роботи першого конвеєра та другого маніпулятора прив'язав до першого датчика та початкової умови включення, щоб робота починалась лише при наявності деталі на конвеєрі.

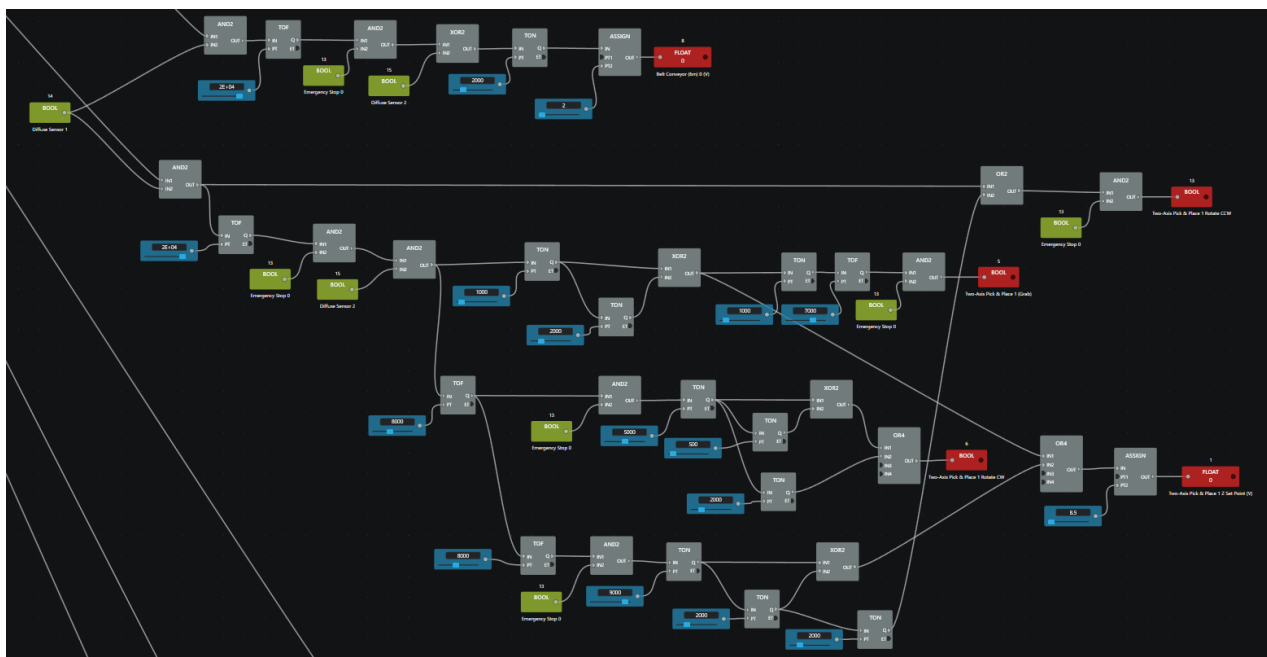


Рисунок 2.21 – Об'єднана друга частина коду керування другим маніпулятором

Початок роботи другого конвеєра та третього маніпулятора так само прив'язав до третього датчика та початкової умови запуску.

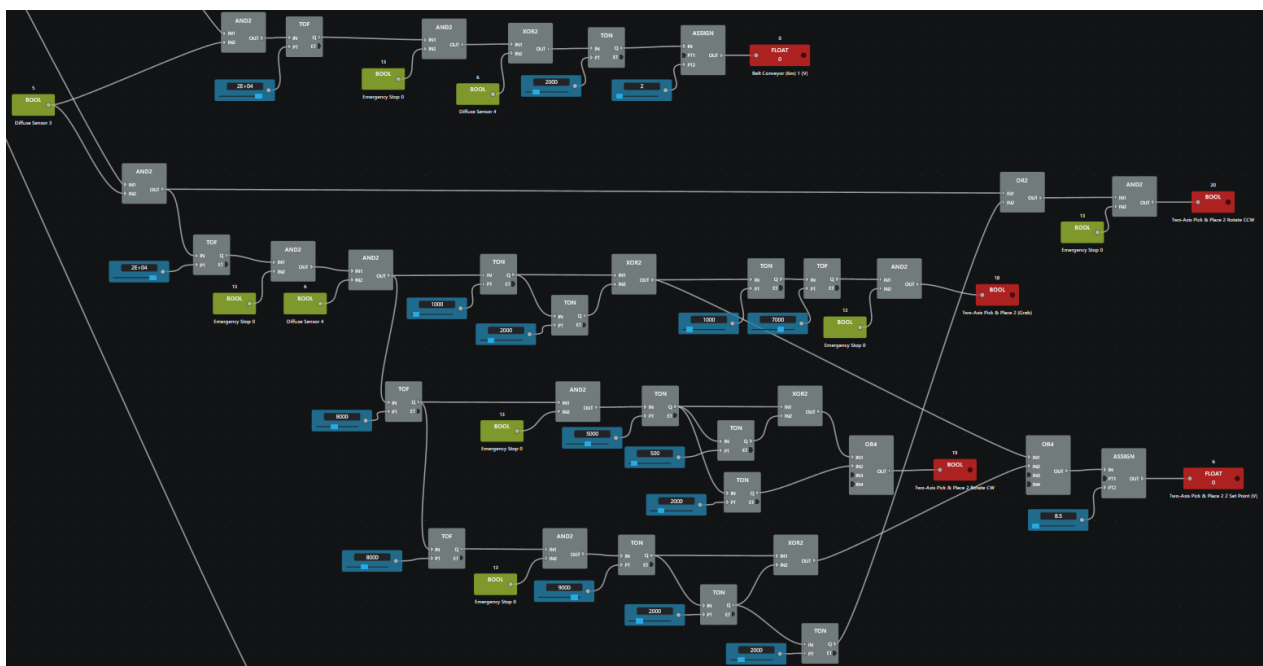


Рисунок 2.22 – Об'єднана третя частина коду керування третім маніпулятором

Третій конвеєр також був прив'язаний до п'ятого датчика та умов початкового запуску системи за тим самим принципом.

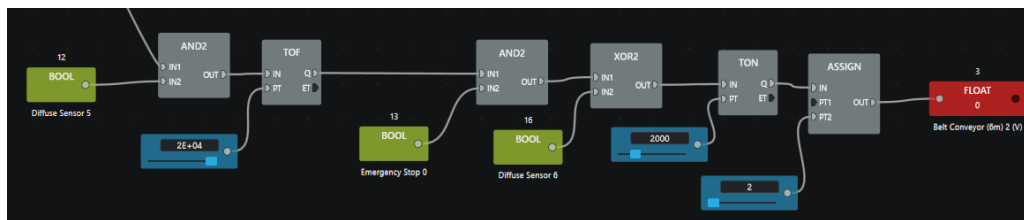


Рисунок 2.23 – Об'єднана робота третього конвеєра

Таким чином, конвеєрна лінія 2 та 3 будуть повністю прив'язані до кінцевих датчиків попередньої системи і не залежатимуть від роботи інших пристроїв, тим самим забезпечуючи точність роботи та зв'язок між усіма трьома лініями.

Далі, у вікні візуалізації, на основі стандартних елементів бібліотеки зібрав щит керування системою, який надасть можливість керування системою напряму з вікна візуалізації, а не лише через вікно програмування.



Рисунок 2.24 – Створений щит керування

Прив'язав кнопки управління на щиті з відповідними командами керування. Прописав запуск режиму, його звичайну зупинку та екстрену (аварійну).

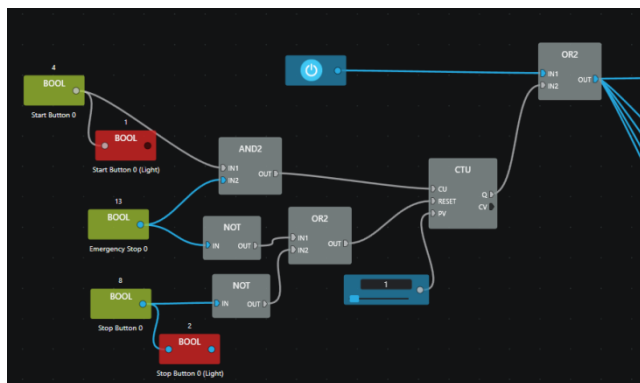


Рисунок 2.25 – Прописане керування кнопками

Також, для аварійної зупинки системи у різних частинах коду додав додаткові блокування при активації екстреної зупинки, які повністю обриватимуть сигнали, що подаються на елементи.

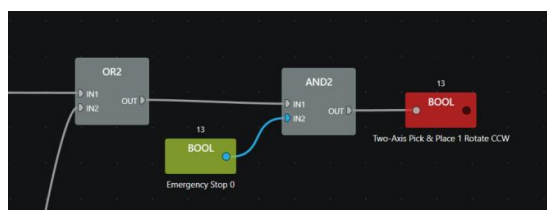


Рисунок 2.26 – Додаткове блокування

Користуючись елементами бібліотеки програмного середовища, додав на робочий простір інші два вузли автоматизації другого та третього стенду. У випадку з третім стендом – бібліотека програмного середовища візуалізації оснащена датчиком RFID, який було встановлено на початковій платформі третього стенду відповідно.

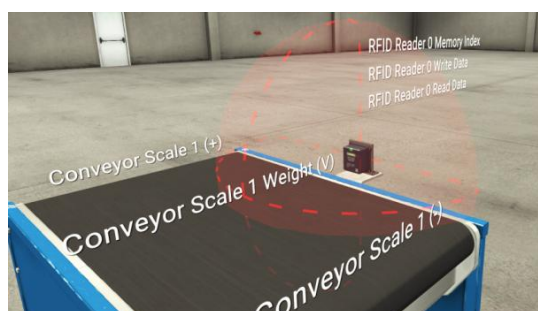


Рисунок 2.27 – Встановлений датчик RFID

Однак печі для нагріву/охолодження заготовки під час її руху другим конвеєром не знайшлось у бібліотеці елементів, тому побудував її імпровізацію, скориставшись сторонніми елементами.

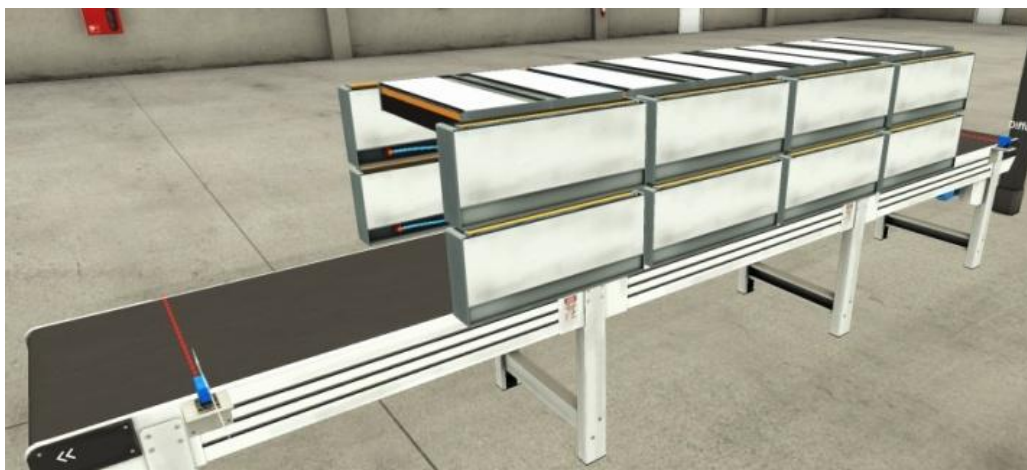


Рисунок 2.28 – Створена імпровізована піч

Додав захисні споруди для системи у вигляді різного роду огорожі та сіток. Дані конструкції створюють більш безпечні умови користування системою на випадок, якщо її будуть реалізовувати на виробництві.



Рисунок 2.29 – Додані захисні споруди

Провів повторні дослідження по прискоренню системи задля зменшення часу виробництва продукції. Спочатку дослідив реакцію системи на встановлені максимальні швидкості, які дозволені віртуальним програмним середовищем, навіть якщо вони були б неможливими на реальному об'єкті. Це було досягнуто шляхом збільшення до максимуму значень роботи конвеєра (значення 10) та максимальним зниженням часу таймерів затримки, які і створювали періоди роботи кроків маніпулятора у програмному середовищі.

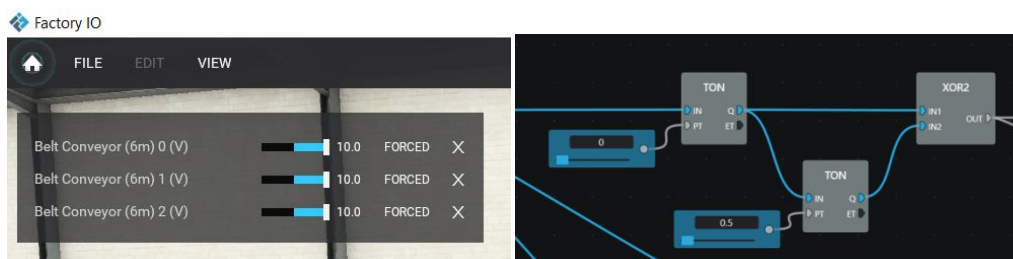


Рисунок 2.30 – Встановлені значення

Під час запуску симуляції на максимальній швидкості роботи системи було виявлено, що через швидку роботу маніпулятора більшість деталей не переміщались на конвеєрну стрічку: або не захвачувались рукою маніпулятора, або втрачались у процесі свого транспортування. Щодо тих деталей, яким все ж вдалося потрапити на конвеєр – під час транспортування стрічкою вони набирали занадто високі швидкості, що в процесі зробило неможливим їхню зупинку навпроти кінцевого оптичного датчика, через що ті вилітали з транспортного шляху за межі доступної зони підхвату другого маніпулятора.



Рисунок 2.31 – Результат першого досліджу

Кінцеві оптичні датчики через велику швидкість спрацьовували занадто швидко для передачі сигналу, або взагалі не ідентифікували проходження деталі, що породжувало все більше несправностей в роботі системи, у тому числі й неможливість підхвату деталі другим маніпулятором для продовження повного циклу роботи системи. Як висновок – такі встановлені швидкості створюють не тільки погані умови для повноцінної та правильної роботи системи, а й можуть виявитись занадто руйнівними для реальної системи, що призведе до швидкого зношенню виконавчих органів та виходу з ладу апаратури.

У другому досліді були виставлені середні значення швидкостей елементів системи, яке дозволяло програмне середовище віртуальної візуалізації. Дані швидкості є більш приближеними до максимальних можливостей роботи реальної

системи, однак все ще трохи її перевищують. У якості середньої швидкості конвеєрів було виставлене значення «6», а в таймерах затримки роботи маніпуляторів були виставлені по 0,5 сек., тобто значення «500».

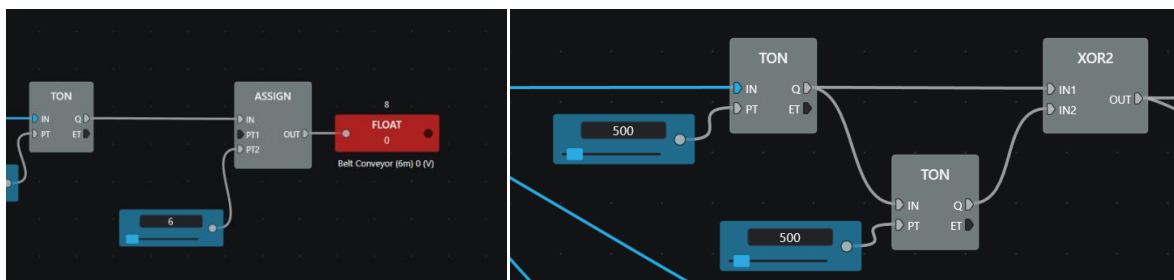


Рисунок 2.32 – Встановлені значення

При запуску симуляції системи на середніх швидкостях були виявлені значні покращення в її роботі, а саме своєчасний захват деталі рукою робота маніпулятора та вдале транспортування її на конвеєрну стрічку. Помилки виникали рідше, з чого можна збагнути, що затримка перед кожним кроком роботи виконавчих механізмів життєво необхідна для вірного функціонування системи. Під час транспортування конвеєрною стрічкою через зниження швидкості її роботи було помічено значне покращення в точності транспортування заготовки, однак встановлена швидкість конвеєра все ще занадто висока для точної зупинки деталі навпроти другого оптичного датчика. На цей раз датчик фіксує деталь і зупиняє роботу конвеєрної стрічки. Однак заготовка, через набрану швидкість інерційно переїжджала місце необхідної зупинки, що створювало неможливість її подальшого захвату рукою маніпулятора та транспортування системою.



Рисунок 2.33 – Результат другого досліді

Якщо зробити висновки, то дані встановлені швидкості роботи елементів віртуального середовища візуалізації все ще перевищують реальні можливості системи та є критичними для її нормального функціонування.

В подальшому створена 3D-візуалізація конвеєрних ліній може бути підключена до фізичного ПЛК та синхронізовано відображати зміни системи у реальному часі.

Наступним дослідом буде повернення до візуально встановлених значень швидкостей та затримок роботи елементів системи, які вносились під час програмування, а саме: маніпулятори – 2 сек. затримки (встановлене значення «2000»), конвеєри – значення швидкості «2».

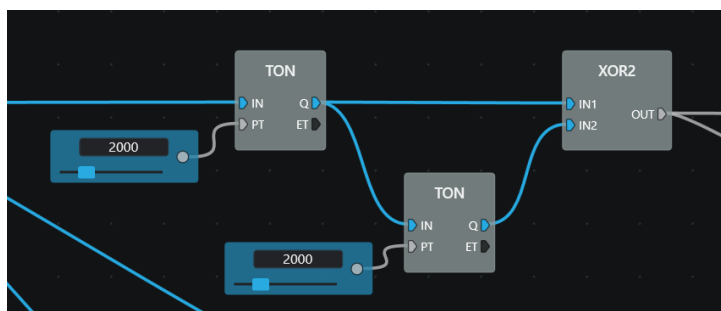


Рисунок 2.34 – Встановлені значення

Результати симуляції показали, що при таких встановлених значеннями система працює стабільно, а помилки в її роботі виникають лише через особливості самого віртуального середовища візуалізації, а не через роботу самих елементів системи. Встановлені швидкості повністю відповідають оптимальним швидкостям роботи реальної системи для її безпечного функціонування.

У якості експерименту, провів декілька додаткових дослідів по пришвидшенню роботи конвеєрів у віртуальному середовищі візуалізації. Методом поступового ручного підбору та встановлення різних величин швидкостей роботи конвеєрної стрічки було виявлено, що її максимальне значення, при якому система спроможна вчасно зупинити деталь у місці для оптимального захвату наступним маніпулятором, є значення «4,5». Дана швидкість знаходиться за межами дозволених можливостей реального конвеєра, однак вона допоможе пришвидшити показ симуляції віртуальної системи. Тому

для реальної системи буде використовуватись швидкість конвеєра зі значенням «2», а для віртуального показу симуляції – зі значенням «4,5».

Тепер, коли оптимальні швидкості роботи системи були визначені, написав окрему програму роботи трьох конвеєрів для ситуації, якщо вони б використовувались для транспортування сипучої речовини, такої як залізна руда чи вугілля. Уявімо, що конвеєри відрізняються своїми габаритами у співвідношенні 1:4:2, де «4» - це найбільший конвеєр і, відповідно, його швидкість буде найменша, а «1» - найменший, швидкість якого найбільша. Такі встановлені відмінності у швидкості відносно самих габаритів конвеєрів та їх послідовний запуск від третього до першого необхідні для запобігання пересипу сипучого матеріалу за межі робочого простору конвеєрних стрічок.

Для запобігання глобальних змін у кодї програми, поруч, у віртуальному середовищі, створив окрему систему з трьома послідовно з'єднаними конвеєрами, які будуть керуватись через власні теги управління.

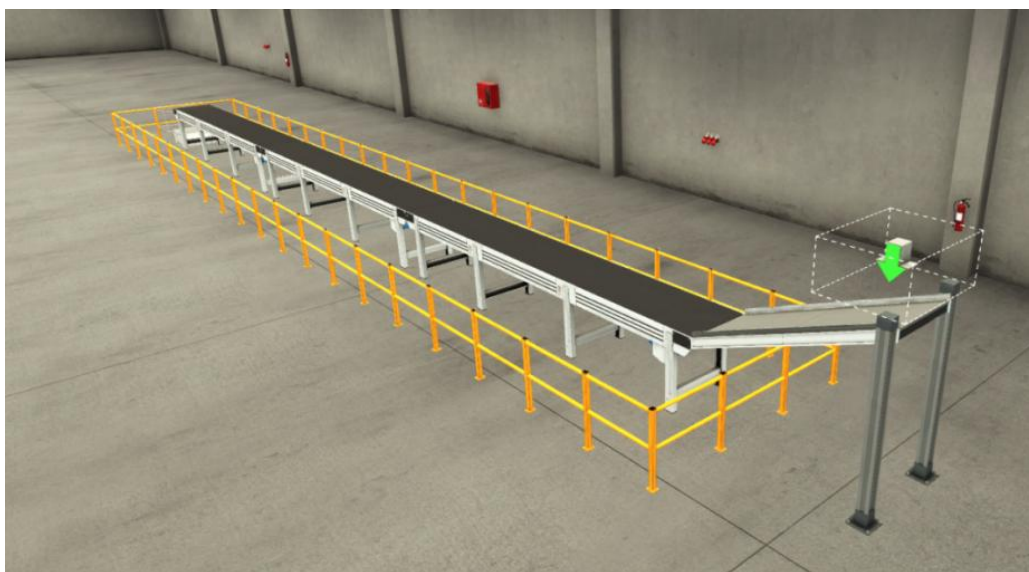


Рисунок 2.35 – Створена додаткова система

Для створеної системи прописав програму її керуванням з урахуванням встановлених швидкостей для вказаних пропорцій. Послідовність увімкнення конвеєрів вказується за допомогою часових значень таймерів «TON», а встановлена швидкість у пропорціях буде вказувати на габарити кожного з конвеєрів.

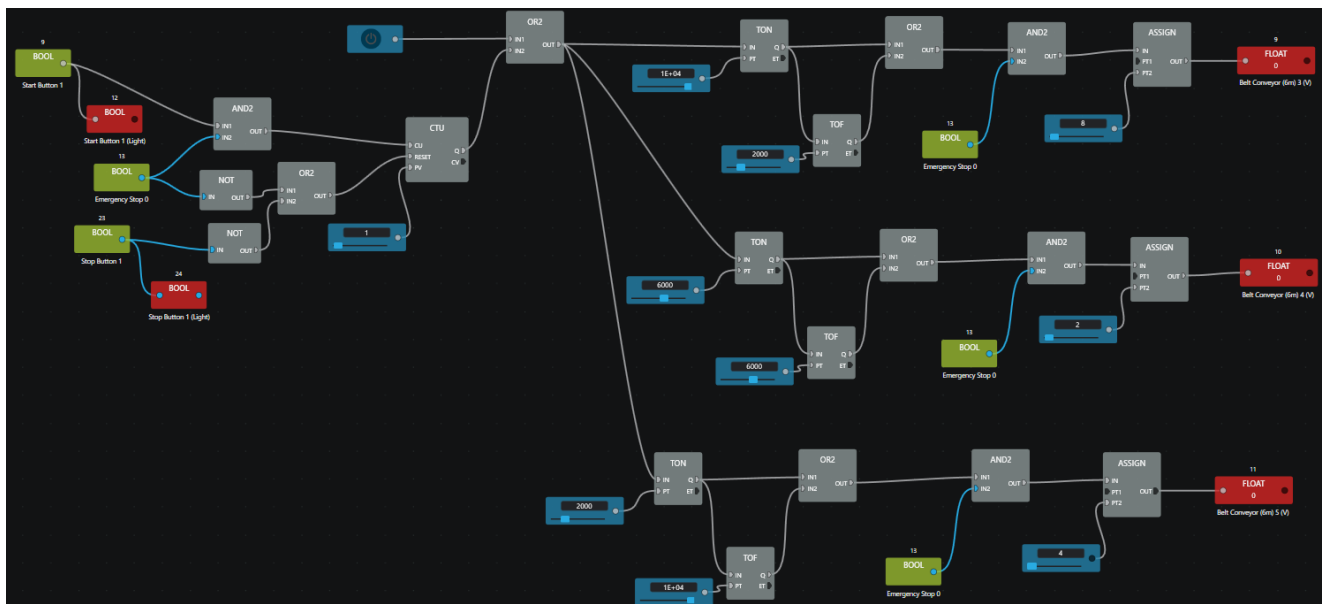


Рисунок 2.36 – Програма роботи окремих трьох маніпуляторів

Послідовне вимкнення конвеєрів від першого до третього реалізується таймерами «ТОF» та встановленими в них значеннями часу. Також додав повне блокування при натисканні на кнопку аварійної зупинки.

Математична модель прискорення конвеєра залежно від маси деталі

Розглянемо конвеєр як систему з одним ступенем свободи — поступальним рухом стрічки. Двигун передає крутний момент на привідний барабан, який тягне стрічку з деталлю. Врахуємо наступні сили, що діють на систему:

- F_t — сила тяги двигуна;
- F_{tr} — сила тертя кочення стрічки;
- F_i — сила інерції, що виникає при прискоренні системи;
- $F_m = m \cdot g \cdot \sin(\alpha)$ — складова ваги деталі (якщо конвеєр має похил, у нашому випадку $\alpha = 0$).

При горизонтальному русі конвеєра:

$$F_{zag} = F_t - F_{tr} = (m_{cmp} + m_{dem}) \cdot a \quad (2.1)$$

де:

- m_{cmp} — еквівалентна маса стрічки та привідних елементів;
- m_{dem} — маса деталі;

- a — прискорення конвеєра.

Математична залежність прискорення від маси

З рівняння динаміки:

$$a = \frac{F_t - F_{tr}}{m_{cmp} + m_{dem}} \quad (2.2)$$

Сила тертя кочення F_{tr} визначається як:

$$F_{tr} = \mu \cdot N = \mu \cdot (m_{cmp} + m_{dem}) \cdot g \quad (2.3)$$

де:

- μ — коефіцієнт тертя кочення (для гумової сухої стрічки по металевих роликах ≈ 0.35 – 0.55 , для гумової сухої стрічки з легким напилком по металевих роликах ≈ 0.45 – 0.65);
- $g = 9.81 \text{ м/с}^2$.

Підставимо у формулу прискорення:

$$a(m_{dem}) = \frac{F_t - \mu \cdot (m_{cmp} + m_{dem}) \cdot g}{m_{cmp} + m_{dem}} \quad (2.4)$$

Ця функція є нелінійною та обернено пропорційною до сумарної маси системи. Це означає, що зі збільшенням маси деталі прискорення конвеєра зменшується, що логічно з точки зору збереження енергії та обмежень за потужністю.

Урахування обмежень за потужністю

Максимальна сила тяги F_t обмежена потужністю двигуна:

$$F_t \leq \frac{P_{дв}}{v_{\text{макс}}} \quad (2.5)$$

де:

- $P_{дв}$ — номінальна потужність двигуна (для SINAMICS G120 PM240-2, наприклад, 0.75 кВт);

- $v_{\text{макс}}$ — максимальна швидкість стрічки (наприклад, 0.5 м/с).

Тоді:

$$a_{\text{макс}}(m_{\text{дет}}) = \frac{\frac{P_{\text{дв}}}{v_{\text{макс}}} - \mu \cdot (m_{\text{стр}} + m_{\text{дет}}) \cdot g}{m_{\text{стр}} + m_{\text{дет}}} \quad (2.6)$$

Ця формула дозволяє розрахувати максимально допустиме прискорення для кожної деталі залежно від її маси, яка вимірюється на першому стенді.

Лінійна апроксимація для ПЛК

$$a(m) = k \cdot (m_{\text{макс}} - m) + a_{\text{макс}} \quad (2.7)$$

де:

- $m_{\text{макс}}$ — максимальна маса деталі, яку може перевозити конвеєр;
- $a_{\text{макс}}$ — максимальне прискорення при мінімальній масі;
- k — коефіцієнт, що визначається експериментально або з розрахунку похідної.

Висновки по розділу

У розділі був проведений вибір середовища 3D-візуалізації для побудови та тестування системи під час створення оновленого програмного забезпечення. Вибір зупинився на Factory I/O, у якому була виконана повна візуалізація системи керування, її вбудоване програмування та досліди, які допомогли визначитись із встановленням оптимальної швидкості роботи елементів.

Виведення формул допомогло зрозуміти, що прискорення конвеєра залежить від маси деталі нелінійно, згідно з законом Ньютона. З урахуванням обмежень за потужністю, прискорення зменшується зі збільшенням маси. Для реалізації в ПЛК можна використовувати лінійну апроксимацію, яка достатньо точна в робочому діапазоні мас. Отримана модель дозволяє адаптивно змінювати динаміку конвеєра, зменшуючи знос механізмів та підвищуючи енергоефективність системи.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

3.1. Схема функціональна автоматизації системи керування конвеєрної лінії.

Перед програмуванням самого контролера у TIA Portal, необхідно мати чітке розуміння зв'язків сенсорів, виконавчих елементів та інших пристроїв з головними пристроями керування. Для цього розробив функціональні схеми автоматизації кожної із систем, які відображатимуть розташування датчиків та виконавчих механізмів у системі та їх зв'язок з контролерами.

Функціональна схема першої конвеєрної лінії складатиметься з датчиків оптичних, датчика ваги та виконавчих механізмів у вигляді чотирьох моторів, перший з яких керує конвеєрною стрічкою, а інші три – маніпулятором.

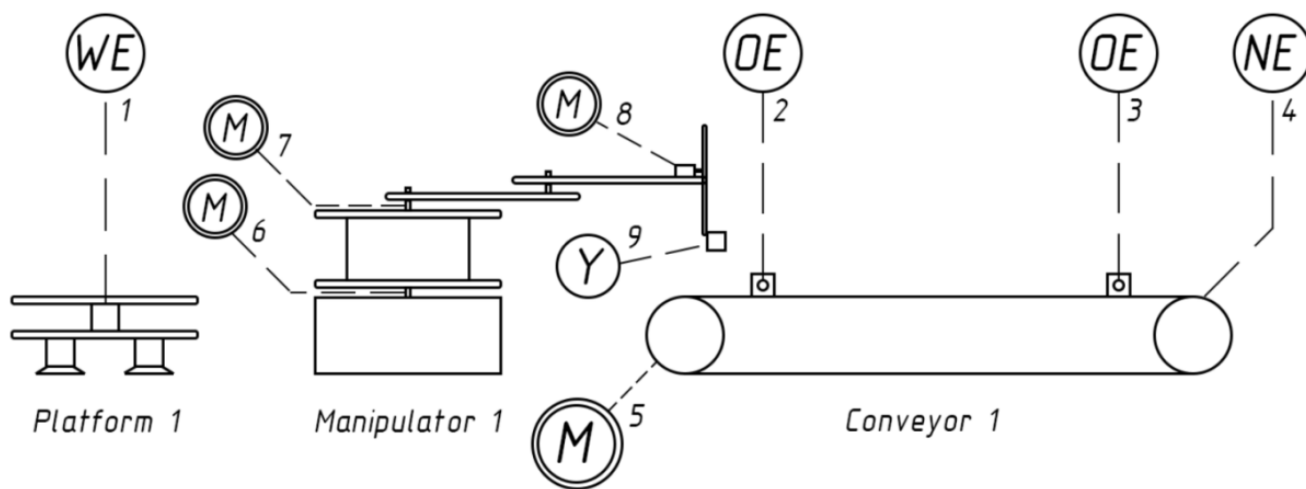


Рисунок 3.1 – Функціональна схема першої конвеєрної лінії

Функціональна схема другої конвеєрної лінії відрізнятиметься відсутністю датчика ваги та присутністю датчика температури разом з виконавчими елементами вузла автоматизації, такими як лампи розжарювання та вентилятор охолодження.

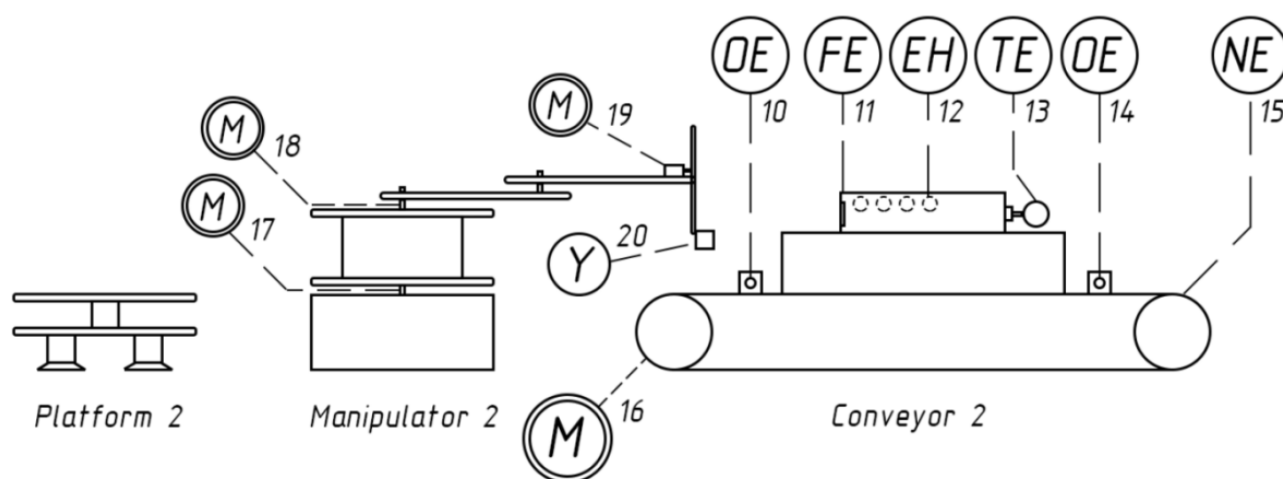


Рисунок 3.2 – Функціональна схема другої конвеєрної лінії

Детальна розшифровка кожного з позначень всіх трьох схем знаходиться в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Найменування елементів схем.

Найменування	Значення
WE	Weight Element — тензометричний датчик ваги.
OE	Optical Electric (sensor) - оптичний датчик (електричний вихід).
NE	Sensor of position / rotation (speed) — датчик положення/швидкості (інкрементний енкодер).
TE	Первинний вимірювальний перетворювач для вимірювання температури (термопара).
ID	Ідентифікаційний елемент (RFID Reader) / Зчитувач RFID.
FE	Вентилятор охолодження печі / обдуву заготовки (виконавчий механізм).
EH	Електронагрівальний елемент (4 лампи розжарювання).
M	Двигун/кроковий двигун (виконавчий механізм).
Y	Електромагніт постійного струму.

Функціональна схема третьої конвеєрної лінії (рис. 3.3) майже повністю повторює схему першої системи, однак замість датчика ваги в ній буде присутній датчик RFID ідентифікації та запису інформації до міток.

Далі побудував схему поточних підключень елементів системи (рис 3.4), в якій зібрані усі датчики та виконавці механізми. Крапкою на перехресті помічені зв'язки з пристроями контролю.

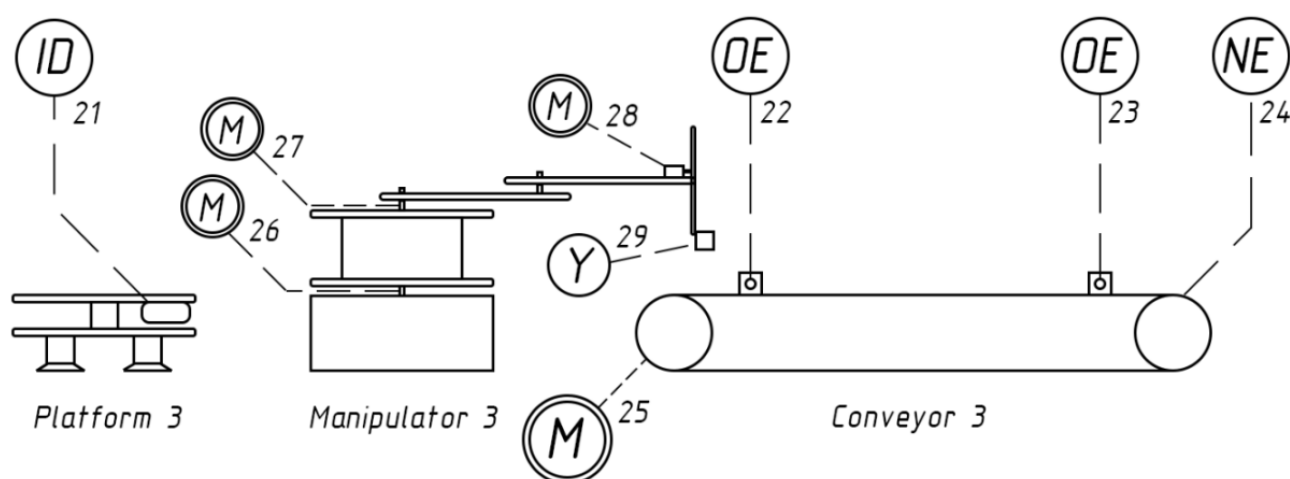


Рисунок 3.3 – Функціональна схема третьої конвеєрної лінії

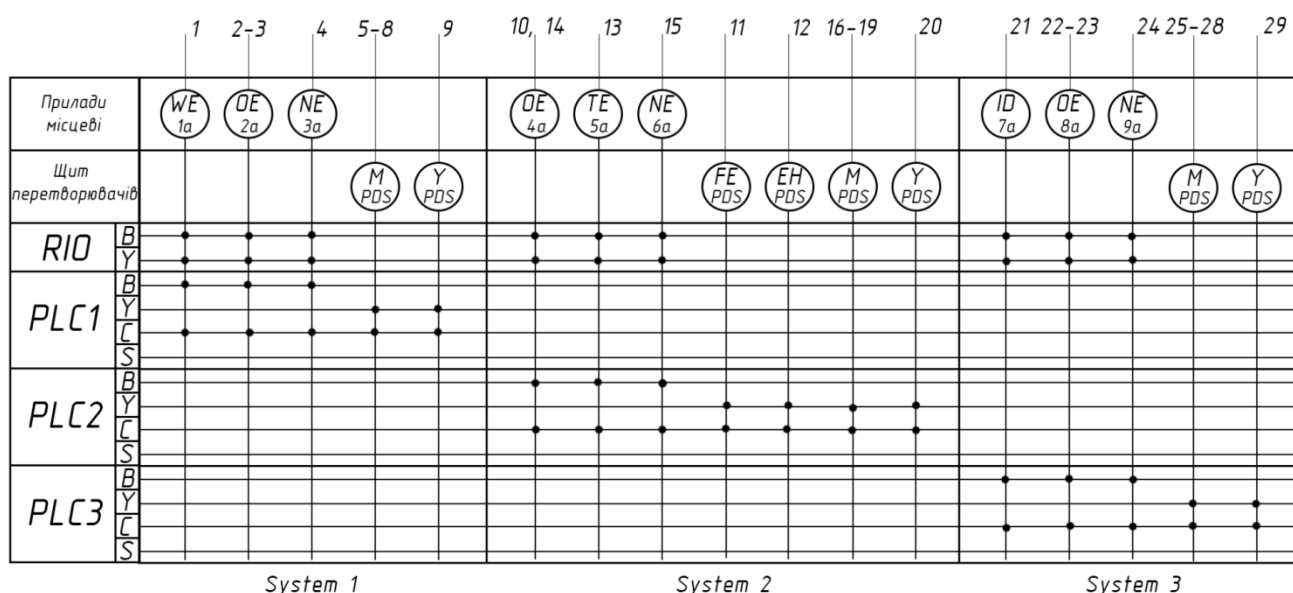


Рисунок 3.4 – Схема зв'язків підключення трьох систем конвеєрних ліній

На схемі можна помітити, що кожен датчик та виконавчий механізм має зв'язок лише з одним пристроєм контролю, а саме з ПЛК, який безпосередньо керує даною системою, і зовсім не мають зв'язків з іншими модулями. Після встановлення зв'язку між усіма трьома ПЛК за допомогою промислового протоколу Profinet, схема зв'язків отримає такий вигляд.

Завдяки підключенню по протоколу Profinet, кожен з контролерів зможе як зчитувати інформацію з пристрою, так і керувати ним, використовуючи сусідній ПЛК як проміжний елемент зв'язку, а передачу даних можна буде налаштувати вручну, що дає безмежні можливості по керуванню системою.

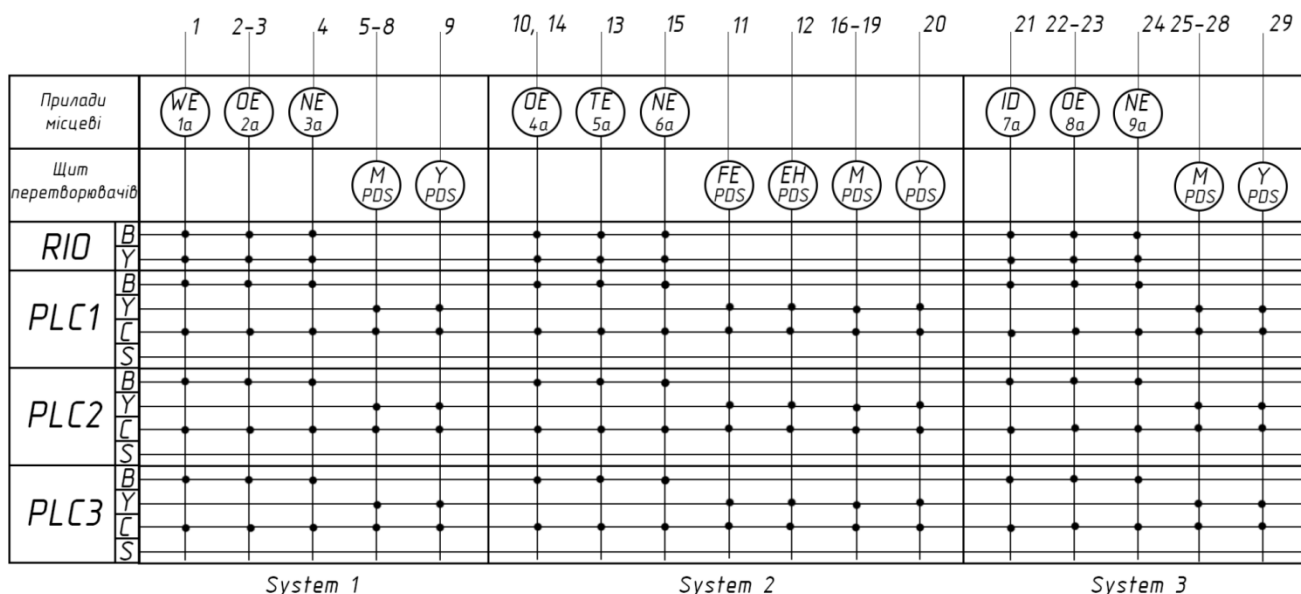


Рисунок 3.5 – Оновлена схема зв'язків підключення трьох систем конвеєрних ліній

Детальна розшифровка елементів схеми зв'язків представлена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Позначення елементів схем.

Позначення	Найменування
PLC	Програмований логічний контролер
RIO	Периферійні пристрої
B	Передача даних до системи іншого рівня керування (зв'язок через інтерфейсні канали)
Y	перетворення інформації та обчислювальні функції (наприклад, аналогово-цифрове перетворення)
C	Автоматичне регулювання (для ПЛК) або дистанційне регулювання (для ПК)
S	Управління у режимі "увімкнено - вимкнено" (автоматичне або дистанційне)

3.2. Розробка мережевої структури роботи трьох стендів.

Для розробки мережевої структури роботи трьох стендів необхідно розуміти знати принцип та послідовність підключень систем. Тому була розроблена схема мережевих зв'язків, яка демонструватиме основні комунікації трьох систем.

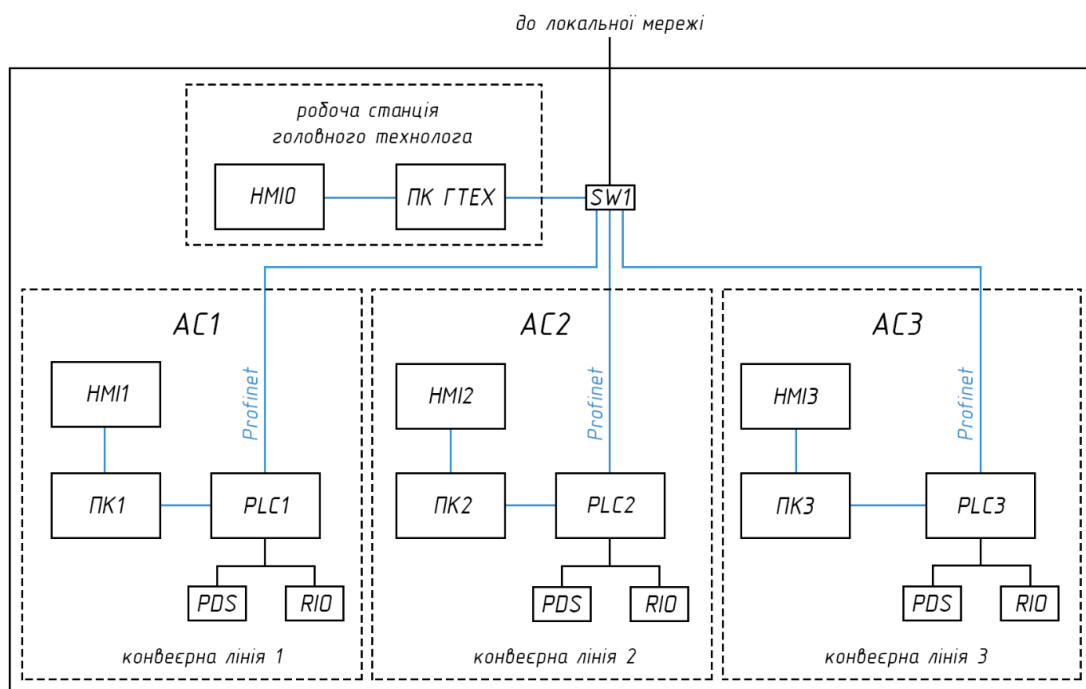


Рисунок 3.6 – Схема мережевих зв'язків системи конвеєрних ліній

Детальна розшифровка елементів схеми мережевих зв'язків представлена в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Позначення елементів схем.

Позначення	Найменування
Загальні елементи	
HMI1-HMI3	Панель керування оператора
ПК ГТЕХ	Персональний комп'ютер головного технолога (оператора)
ПК1-ПК3	Персональні комп'ютери операторів управління системами
PLC1-PLC3	Програмований логічний контролер управління системою
SW1	Комутатор, що з'єднує пристрої в локальній мережі
PDS, RIO	Периферійні пристрої управління та зняття інформації (датчики, виконавчі механізми)

На даному етапі можна переходити безпосередньо до прямого програмування систем у програмному середовищі TIA Portal. Для початку створив новий проект, у який додав три контролери CPU 1215C DC/DC/DC

(6ES7215-1AG40-0XB0), вказавши їм відповідні IP адреси та об'єднавши в одну єдину мережу PN/IE_1 (Profinet) для їх подальшої сумісної роботи.

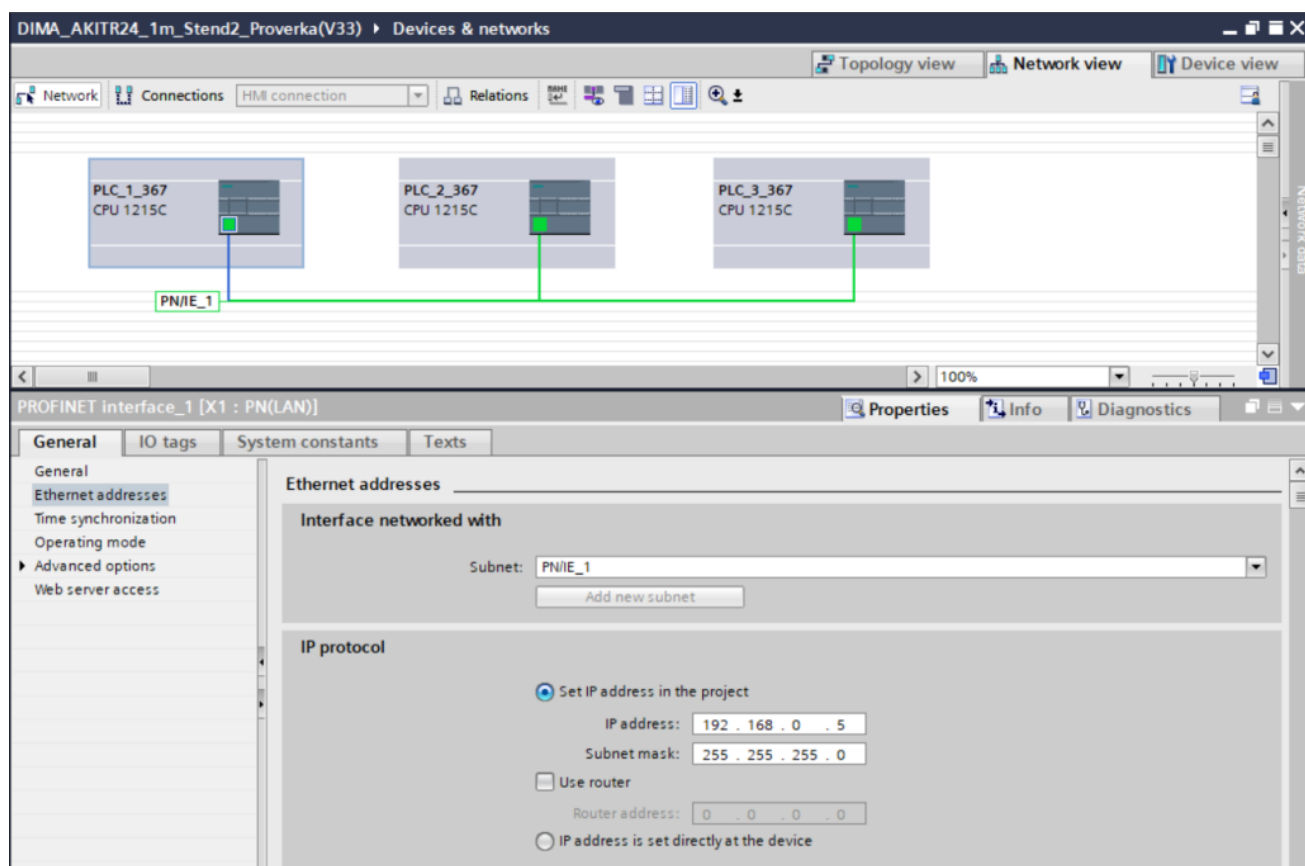


Рисунок 3.7 – Створені ПЛК

Далі додав у проект три блоки управління SINAMICS G120 CU240E-2 PN PROFINET (6SL3244-0BB12-1FA0), завдяки яким можна буде керувати двигуном стрічкового конвеєра.

Підключив їх до тієї ж мережі, що і контролери, а саме PN/IE_1 (Profinet), щоб мати можливість зв'язуватись з ними через контролер.

В їх налаштуваннях, так само як і у контролерах, задав необхідні IP адреси.

Після цього, за таким самим принципом додав до проекту три НМІ панелі, які будуть віртуально симулюватись та завдяки яким буде здійснюватись керування. Так як саме з першого комп'ютера буде відбуватись керування всією системою – спеціально для нього обрав НМІ панель з більшим розміром дисплею. В їх налаштуваннях вказав IP адреси.

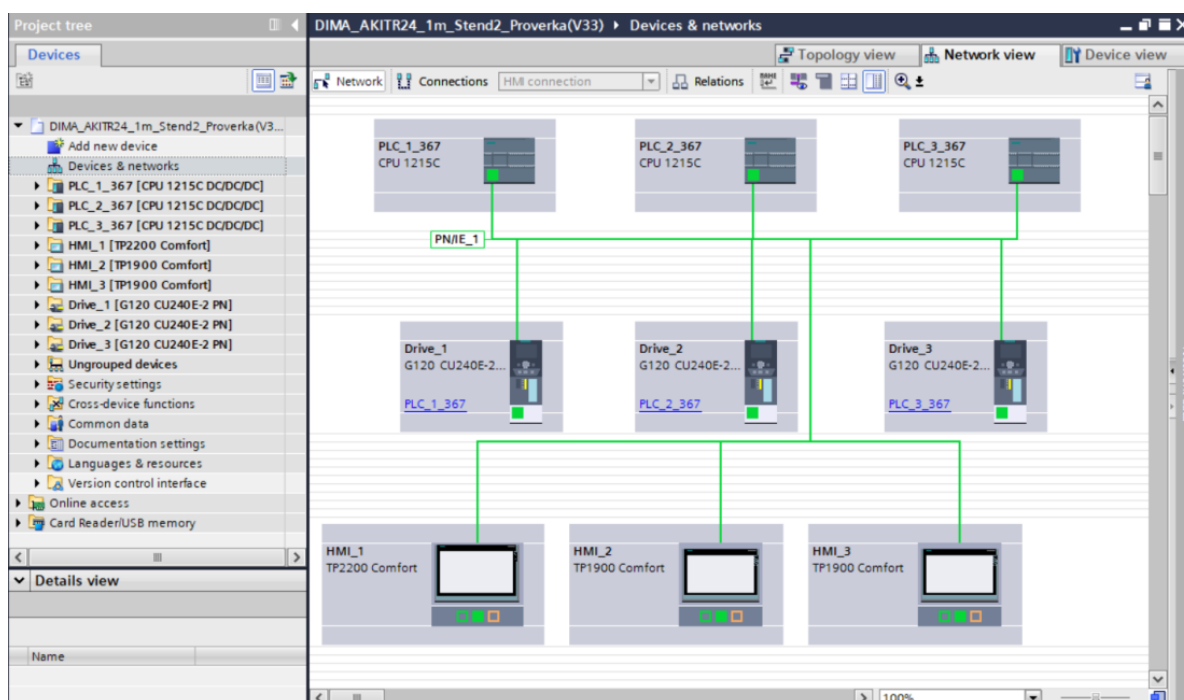


Рисунок 3.8 – Утворена мережева структура підключень

Приблизно такий вигляд має мережева структура підключень усіх трьох систем конвеєрних ліній. В подальшому ця структура трохи вдосконалиється шляхом додавання модулю RFID-комунікації RF180C, який так само буде під'єднаний до мережі PN/IE_1 (Profinet) і працюватиме з третім ПЛК, що детально описується нижче на етапі модернізації програмного забезпечення стенду 3.

Детальний список встановлених IP адрес пристроїв представлений в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Таблиця IP адрес пристроїв.

Позначення пристрою	IP адреса
PLC_1	192.168.0.5
PLC_2	192.168.0.11
PLC_3	192.168.0.21
Drive_1	192.168.0.3
Drive_2	192.168.0.13
Drive_3	192.168.0.23
HMI_1	192.168.0.4
HMI_2	192.168.0.14
HMI_3	192.168.0.24
RF180C	192.168.0.25

3.3. Модернізація програмного забезпечення стенду 1 як складову САК конвеєрної лінії.

Тепер, коли мережева структура підключень елементів системи побудована, можна переходити до програмування конвеєрної лінії №1. Першим кроком роботи системи є зважування деталі на електронних вагах SIWAREX WL260 (7MH5102-1KD00) через комунікаційний модуль розширення SIWAREX WP231 (7MH4960-2AA01). Тому, для початку додав модуль у другий слот пристрою керування, так як перший зайнятий самим ПЛК.

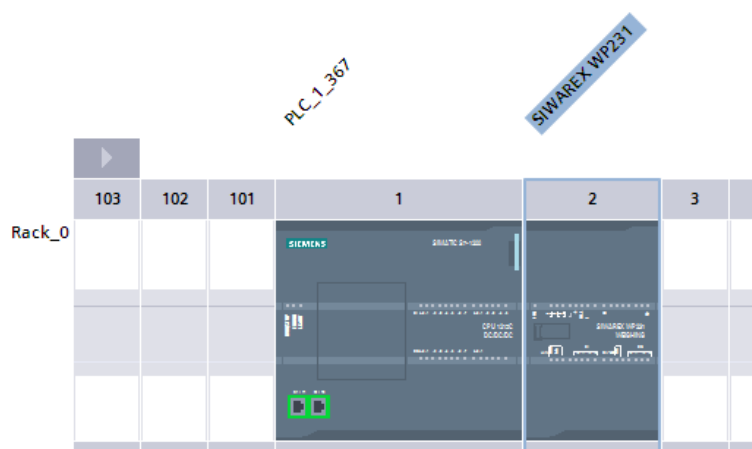


Рисунок 3.9 – Доданий модуль розширення SIWAREX WP231

Далі, для подальшої роботи з електронними вагами та їх калібрування, викачав необхідну бібліотеку WP231 з офіційного сайту Siemens, та інтегрував її у проект. При додаванні блоку керування вагами з бібліотеки, у проекті автоматично створились необхідні системні програмні блоки та бази даних з вагами, які є встановленими розробником і не піддаються редагуванню. Перейшов до блоку керування вагами та вказав порт зв'язку «68», який є стандартним.

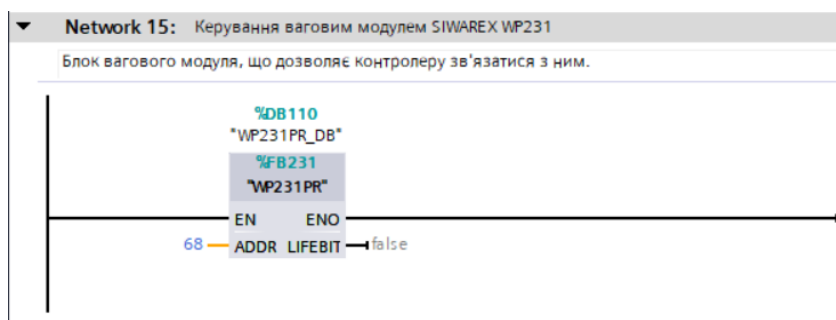


Рисунок 3.10 – Внесені налаштування

Після створив нову таблицю спостережень та через неї відкалібрував вихідний сигнал датчика, щоб він у своєму нормальному положенні видавав значення, приближене до нуля.

Так як ваги видають не одразу готове значення при зважуванні, за допомогою допоміжних блоків виконав перетворення сигналу, помноживши його на 100.

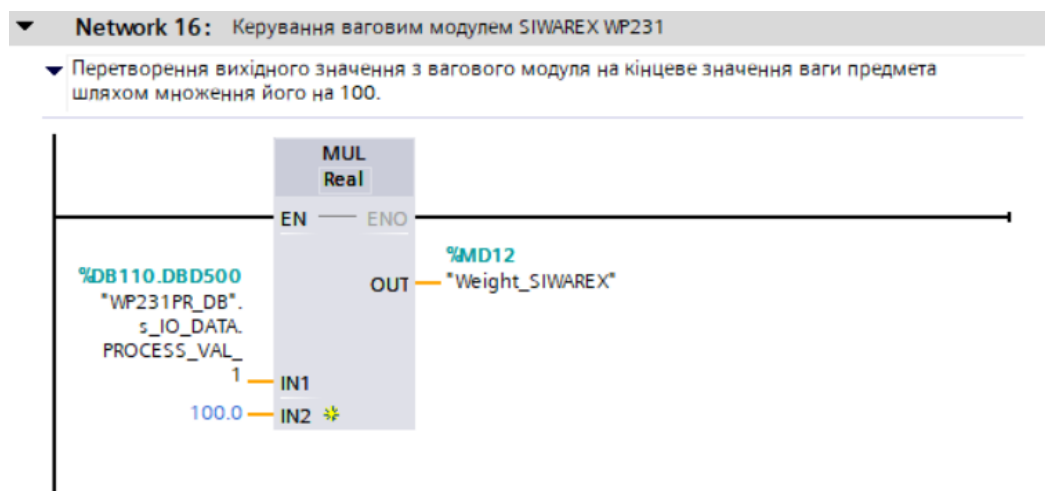


Рисунок 3.11 – Прописана програма

Після вдалого налаштування датчика ваги, перейшов до налаштування параметрів керування двигунами системи. У програмному блоці додав елементи керування двигунами маніпулятора та конвеєра. В основі керування двигуном лежать п'ять допоміжних блоків, які знаходяться в бібліотеці елементів, та драйвера, до якого вони підключаються. Кожен з п'яти блоків відповідає за дозвіл на роботу приводу ("MC_Power_DB"), скидання положення приводу ("MC_Reset_DB"), нульове позиціонування ("MC_Home_DB"), зупинку ("MC_Halt_DB") та увімкнення ("MC_MoveAbsolute_DB"). Усі блоки доступні у стандартній бібліотеці програмного середовища.

Для подачі сигналів на блоки керування створив головну базу даних «General_DB», в яку додав усі теги керування. Саме з нею буде зв'язуватись допоміжна база даних керування «Control_DB_PLC1» для реалізації можливості керування системою в різних режимах.

...R24_1m_Stend2_Proverka(V33) ▸ PLC_1_367 [CPU 1215C DC/DC/DC] ▸ Program blocks ▸ General_DB [DB201]

Keep actual values Snapshot Copy snapshots to start values

General_DB (snapshot created: 3/11/2025 11:56:40 AM)

	Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint
10	Lift_ON/OF	Bool	1.0	false		☒	☒	☒	☐
11	Lift_MOVE	Bool	1.1	false		☒	☒	☒	☐
12	Lift_ANGLE	Int	2.0	0		☒	☒	☒	☐
13	Lift_HOME	Bool	4.0	false		☒	☒	☒	☐
14	Lift_RESET	Bool	4.1	false		☒	☒	☒	☐
15	Lift_STOP	Bool	4.2	false		☒	☒	☒	☐
16	Strila_ON/OF	Bool	4.3	false		☒	☒	☒	☐
17	Strila_MOVE	Bool	4.4	false		☒	☒	☒	☐
18	Strila_ANGLE	Int	6.0	0		☒	☒	☒	☐
19	Strila_HOME	Bool	8.0	false		☒	☒	☒	☐
20	Strila_RESET	Bool	8.1	false		☒	☒	☒	☐
21	Strila_STOP	Bool	8.2	false		☒	☒	☒	☐
22	Baschta_ON/OF	Bool	8.3	false		☒	☒	☒	☐
23	Baschta_MOVE	Bool	8.4	false		☒	☒	☒	☐
24	Baschta_ANGLE	Int	10.0	0		☒	☒	☒	☐
25	Baschta_HOME	Bool	12.0	false		☒	☒	☒	☐
26	Baschta_RESET	Bool	12.1	false		☒	☒	☒	☐
27	Baschta_STOP	Bool	12.2	false		☒	☒	☒	☐
28	Conv_ON/OF	Bool	12.3	false		☒	☒	☒	☐
29	Conv_MOVE	Bool	12.4	false		☒	☒	☒	☐
30	Conv_ANGLE	Int	14.0	0		☒	☒	☒	☐
31	Conv_SPEED	Int	16.0	0		☒	☒	☒	☐
32	Conv_HOME	Bool	18.0	false		☒	☒	☒	☐
33	Conv_RESET	Bool	18.1	false		☒	☒	☒	☐
34	Conv_STOP	Bool	18.2	false		☒	☒	☒	☐
35	Manual_Velocity	Bool	18.3	false		☒	☒	☒	☐
36	Lift_Velocity	Int	20.0	0		☒	☒	☒	☐
37	Strila_Velocity	Int	22.0	0		☒	☒	☒	☐

Рисунок 3.12 – Створена база тегів

Далі підключив їх на входи блоків керування через проміжні теги.

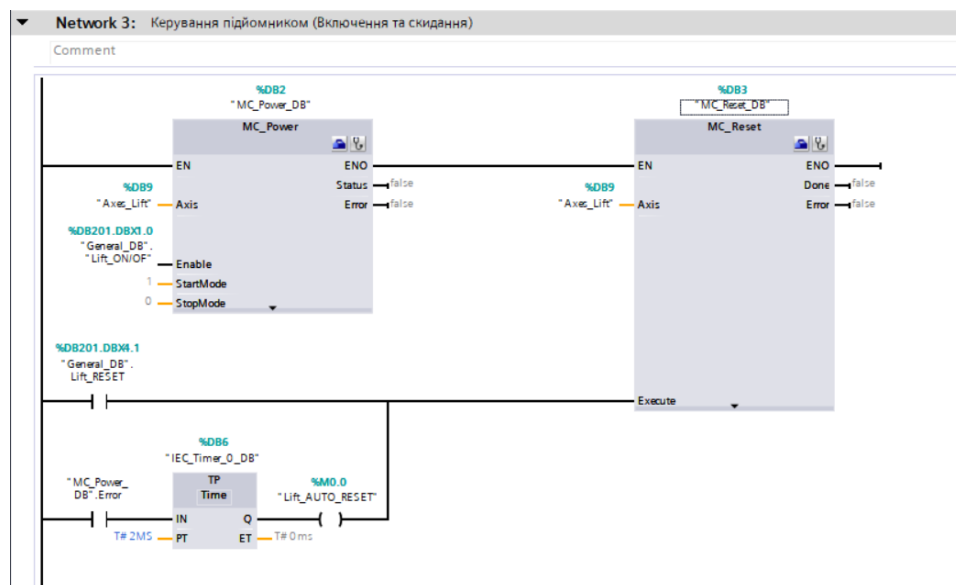


Рисунок 3.13 – Внесені налаштування

Для того, щоб блоки керування зв'язувались з реальним пристроєм – створив технологічні об'єкти двигунів, які будуть віртуальною копією справжнього пристрою. В налаштуваннях об'єктів ввів паспортні параметри пристроїв, а також інші налаштування по роботі пристрою (частоту обертів, швидкість зупинки тощо).

У налаштуваннях технологічного об'єкту двигуна конвеєра поставив зв'язок з блоком управління (драйвером), який створювався на етапі побудови мережевої структури системи. Входи та виходи керування пристроєм автоматично визначаються програмно.

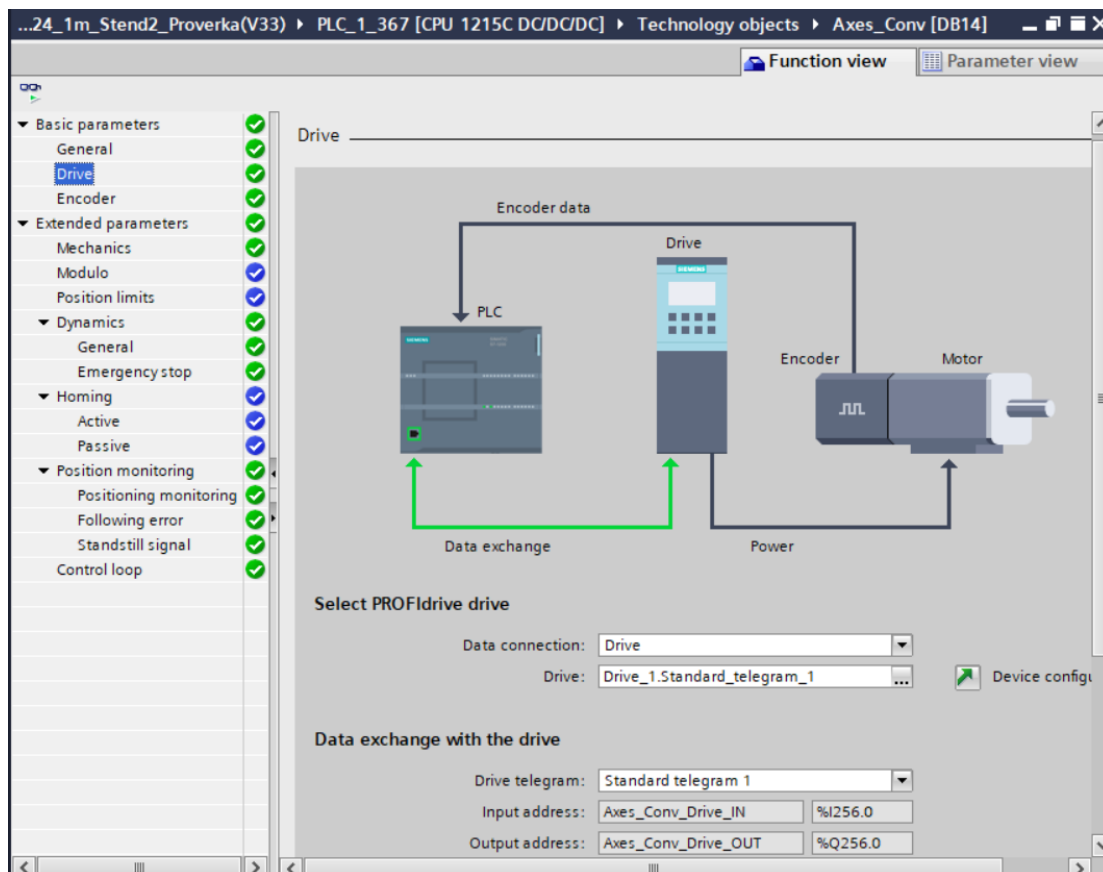


Рисунок 3.14 – Підключення до блока управління

Для зв'язку з двигунами маніпулятора обрав у налаштуваннях імпульсні драйвери пристрою, які при підключенні до системи видимі у графі вибору пристрою. Наявність підключення до таких драйверів можна побачити у таблиці підключень пристроїв до контролера, де відображаються адреси зв'язків з ними.

Далі, в кожному з блоків керування додав посилення на створений технологічний об'єкт системи.

У блоці "MC_MoveAbsolute_DB" можна задавати необхідну швидкість роботи елемента та позицію, на яку його необхідно рухати. Швидкість роботи деяких елементів була пришвидшена по можливості, виходячи з результатів досліджень у попередньому розділі.

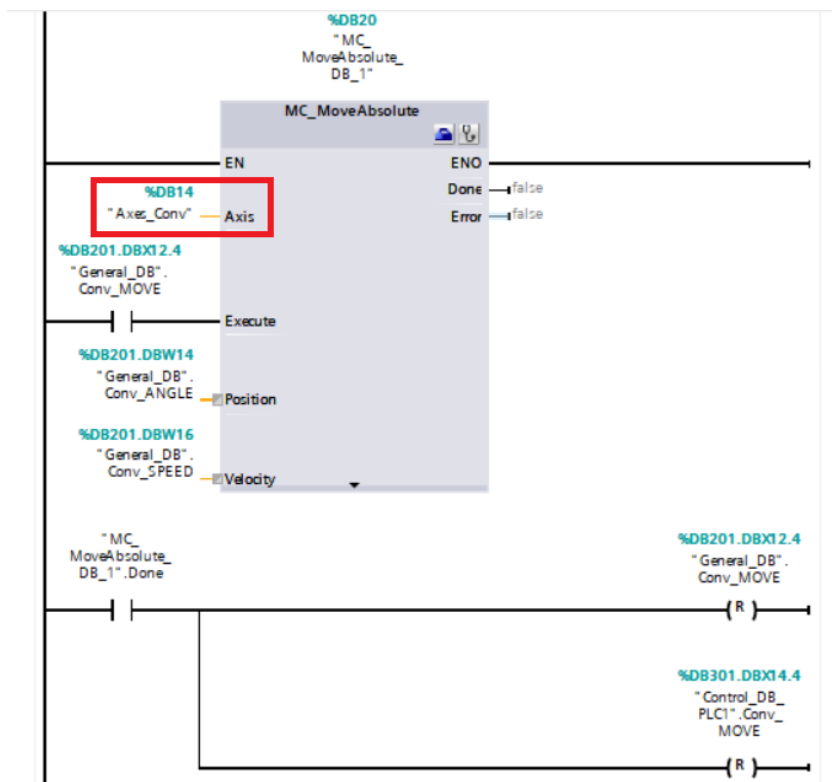


Рисунок 3.15 – Встановлений зв'язок з технологічним об'єктом

Тепер, коли керування двигунами налаштовано, можна переходити до написання кроків роботи системи. Одразу створив декілька програмних блоків та баз даних до кожного з них, та прописав роботу системи у звичайному автоматичному режимі («AUTO_MODE 1 System») та автоматичному режимі при синхронізованій роботі всіх трьох систем («AUTO_MODE ALL System»). Обидва режими мало чим відрізняються один від одного, адже кроки роботи системи майже ідентичні.

Кожному з режимів прописав свої умови роботи, лише при виконанні яких він зможе працювати.

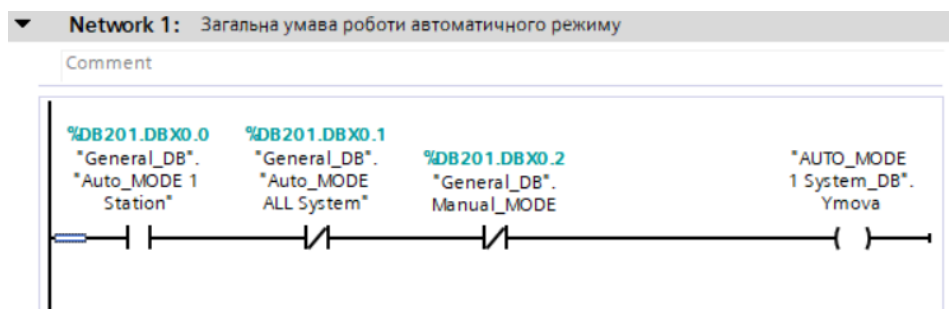


Рисунок 3.16 – Прописана загальна умова

Так як середовище програмування виконує покрокову обробку програмного коду, то було вирішено для загальної зручності та розуміння прописувати кожен крок роботи системи в окремому «Network».

На початку програми надається дозвіл на роботу двигунів системи, лише після чого починають виконуватись її кроки.

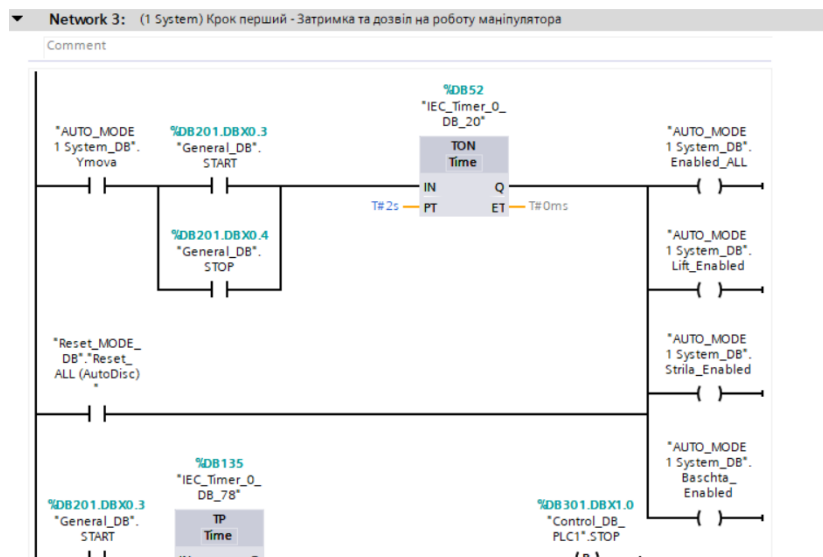


Рисунок 3.17 – Затримка та дозвіл на роботу

Усі затримки перед запуском та періоди роботи елементів задаються звичайними таймерами «TON» та «TP».

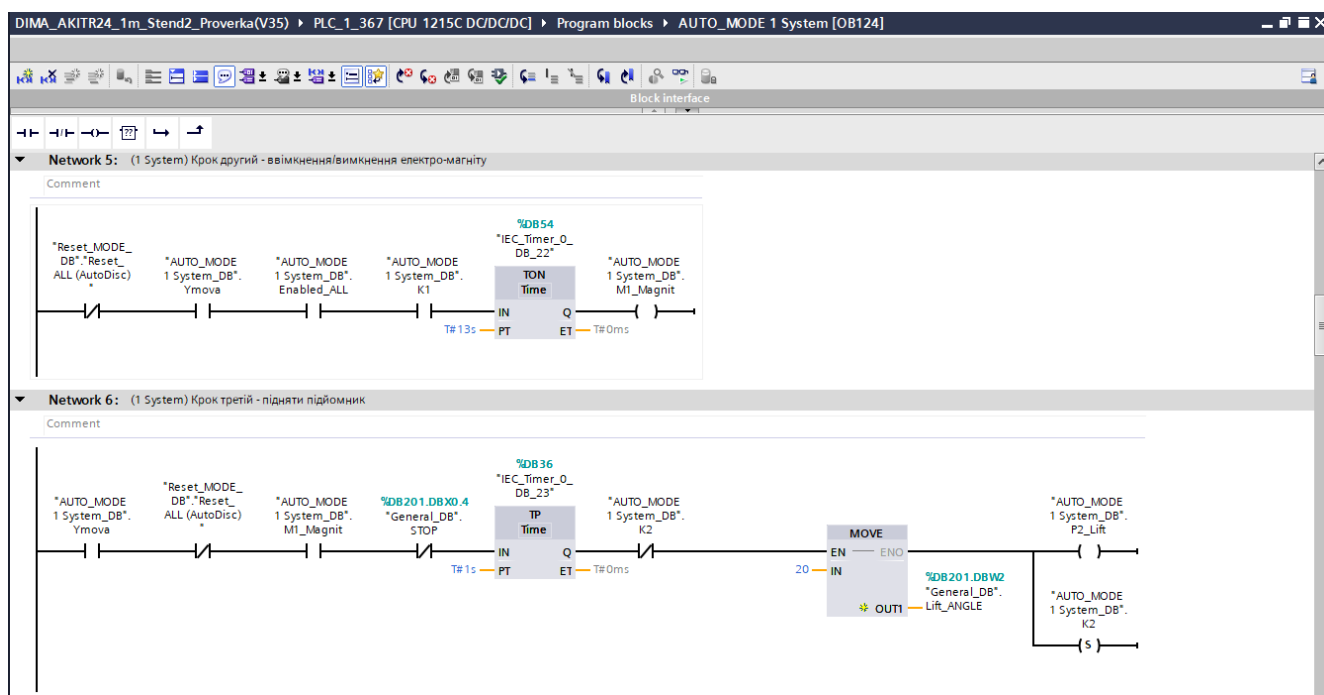


Рисунок 3.18 – Написана програма

Позиція повороту башти та стріли за стандартною прописаною програмою задаються у градусах через допоміжний елемент «MOVE». В свою чергу висота опускання та піднімання підйомника вказується у міліметрах. Значення повороту руки та опускання підйомника визначено шляхом ручного підбору та регулювання висоти початкових платформ.

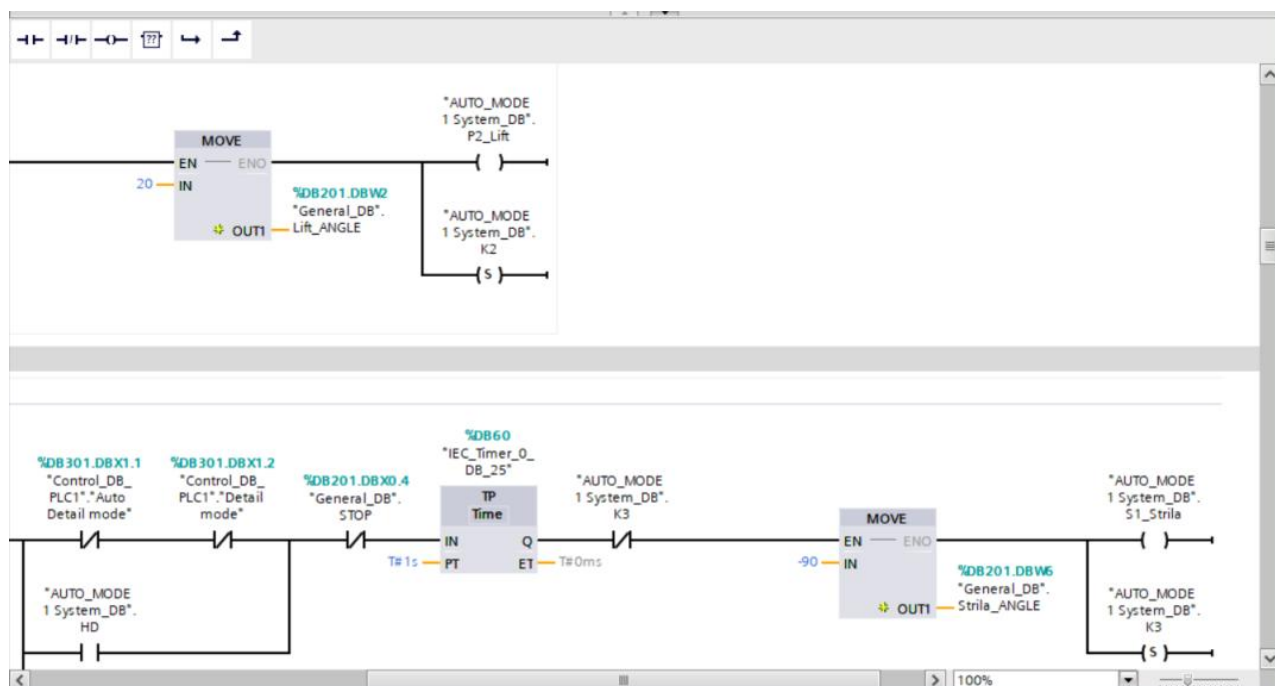


Рисунок 3.19 – Встановлення значень керування елементами

Керування електромагнітом здійснюється звичайною подачею сигналу типу «BOOL».

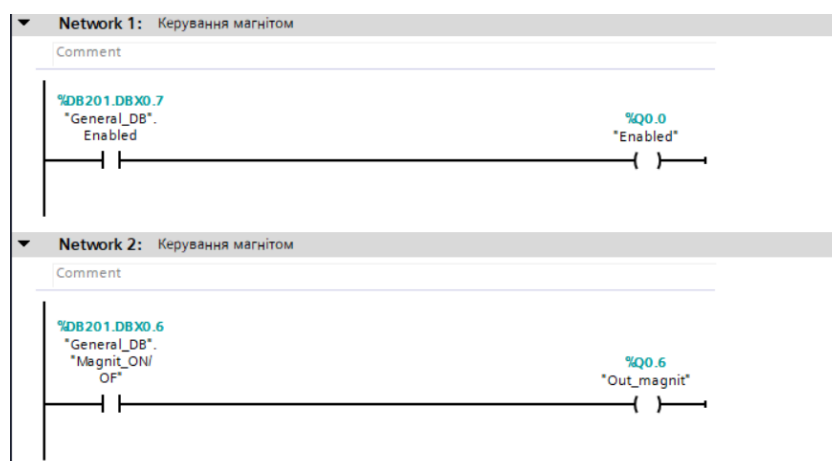


Рисунок 3.20 – Керування електромагнітом

Всі фізичні сигнали на входи/виходи контролера збираються в загальній таблиці у папці налаштувань «PLC_tags».

DIMA_AKITR24_1m_Stend2_Proverka(V33) ▸ PLC_1_367 [CPU 1215C DC/DC/DC] ▸ PLC tags ▸ Default tag table [66]

Tags

Default tag table

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1	HSC_1_A	Bool	%I0.0	☐	☒	☒	☒	
2	HSC_1_B	Bool	%I0.1	☐	☒	☒	☒	
3	▸ Axes_Conv_Drive_IN	"PD_TEL1_IN"	%I256.0	☐	☒	☒	☒	
4	PLC1_OP_sensor_1	Bool	%I0.2	☐	☒	☒	☒	
5	PLC1_OP_sensor_2	Bool	%I0.3	☐	☒	☒	☒	
6	Out_magnit	Bool	%Q0.6	☐	☒	☒	☒	
7	Axes_Lift_Pulse	Bool	%Q0.7	☐	☒	☒	☒	
8	Axes_Lift_Direction	Bool	%Q0.5	☐	☒	☒	☒	
9	▸ Axes_Conv_Drive_OUT	"PD_TEL1_OUT"	%Q256.0	☐	☒	☒	☒	
10	Enabled	Bool	%Q0.0	☐	☒	☒	☒	
11	Axis_Baschta_Pulse	Bool	%Q0.2	☐	☒	☒	☒	
12	Axis_Baschta_Direction	Bool	%Q0.1	☐	☒	☒	☒	
13	Axis_Strila_Pulse	Bool	%Q0.4	☐	☒	☒	☒	
14	Axis_Strila_Direction	Bool	%Q0.3	☐	☒	☒	☒	
15	Conv_AUTO_RESET	Bool	%M0.3	☐	☒	☒	☒	
16	Lift_AUTO_RESET	Bool	%M0.0	☐	☒	☒	☒	
17	Strila_AUTO_RESET	Bool	%M0.1	☐	☒	☒	☒	
18	Baschta_AUTO_RESET	Bool	%M0.2	☐	☒	☒	☒	
19	Weight_SIWAREX	Real	%MD12	☐	☒	☒	☒	
20	<Add new>			☐	☒	☒	☒	

Рисунок 3.21 – Основна таблиця фізичних входів/виходів ПЛК

Також прописав декілька підрежимів роботи програми при автоматичному та ручному визначенню ваги заготовки. При транспортуванні важкої деталі рука автоматично буде згинати свій лікоть для зменшення радіусу між опірною точкою руки та заготовкою, тим самим зменшуючи навантаження на всю систему маніпуляторної руки та знижуючи ризики швидкого зношення апаратури. Якщо деталь виявляється легкою – програма пропускає крок згинання руки, що забезпечує більш швидке транспортування заготовки та більшу економію енергії агрегату. У випадку, коли режим не був обраний – система автоматично працює по сценарію транспортування важкої деталі

Принцип роботи програми приблизно такий: При увімкненні автоматичного режиму із затримкою у 2 секунди надається дозвіл на роботу виконавчих елементів системи, та починається покрокова робота програми. При наявності заготовки на початковій платформі ($x > 0$, де x – це вага заготовки) – запускається покрокова робота програми. Першим опускається підйомник, який магнітом захватує деталь та піднімає її. Далі, залежно від вибору режиму типу деталі, маніпулятор транспортує її на стрічковий конвеєр.

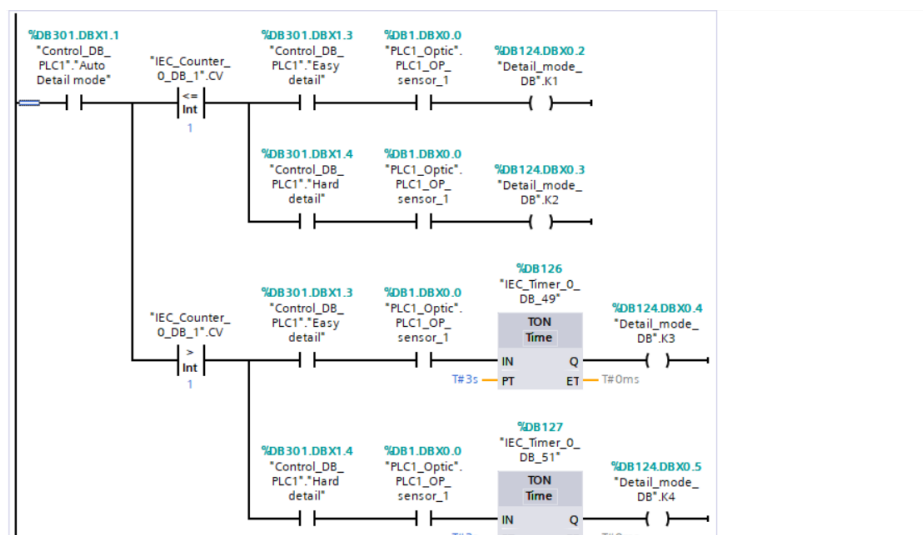


Рисунок 3.22 – Частина програми вибору деталі

Перший оптичний датчик реагує на наявність деталі, та запускає за програмою роботу конвеєра. При досягненні заготовки другого оптичного датчика, значення системи обнулюється, і програма припиняє свою роботу. Так як це лише програма роботи однієї системи – цикл не передбачений, адже заготовки в кінці конвеєрної стрічки не зникають, а залишаються на місці. При запуску автоматичного режиму для всієї системи – цикл прописано програмно.

Додатково до режиму вибору типу деталі, також прописав режим скидання положення елементів системи у початкове («Reset_MODE»).

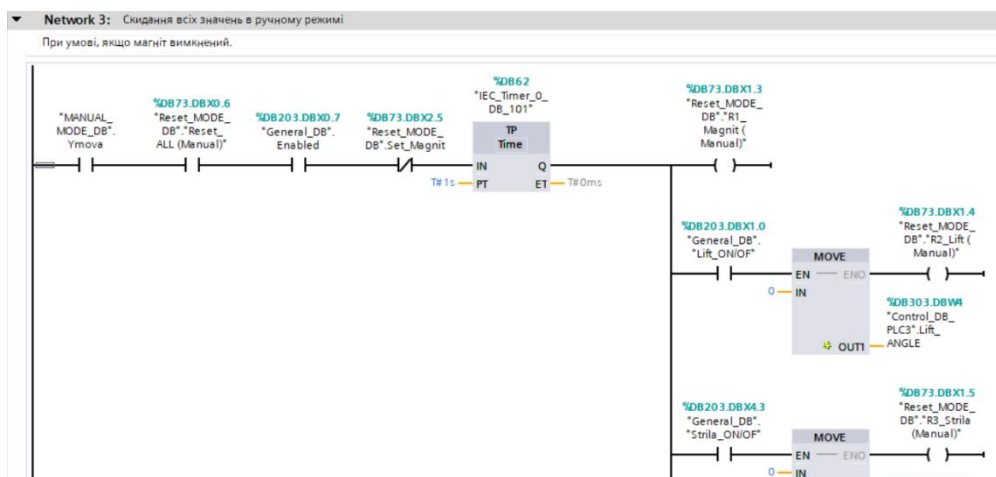


Рисунок 3.23 – Частина програми «Reset_MODE»

При активації даного режиму, не залежно від того, в якому саме режимі керується система, запуститься послідовність кроків програми, яка поверне всі елементи системи в початкове положення. При чому це буде відбуватись з

урахуванням того, чи тримає маніпулятор в даний момент часу заготовку. Якщо маніпулятор пустий – система просто поверне положення елементів у початкові позиції. Якщо маніпулятор все ж таки тримає заготовку – спрацює захисний алгоритм, який спочатку поверне заготовку на початкову платформу, а після поверне елементи системи у початкове положення.

Для подальшої синхронізації роботи трьох систем конвеєрних ліній в окремому програмному блоці прописав на основі стандартних елементів бібліотеки "PUT" та "GET" написав синхронізацію бази керування першого контролера з іншими.

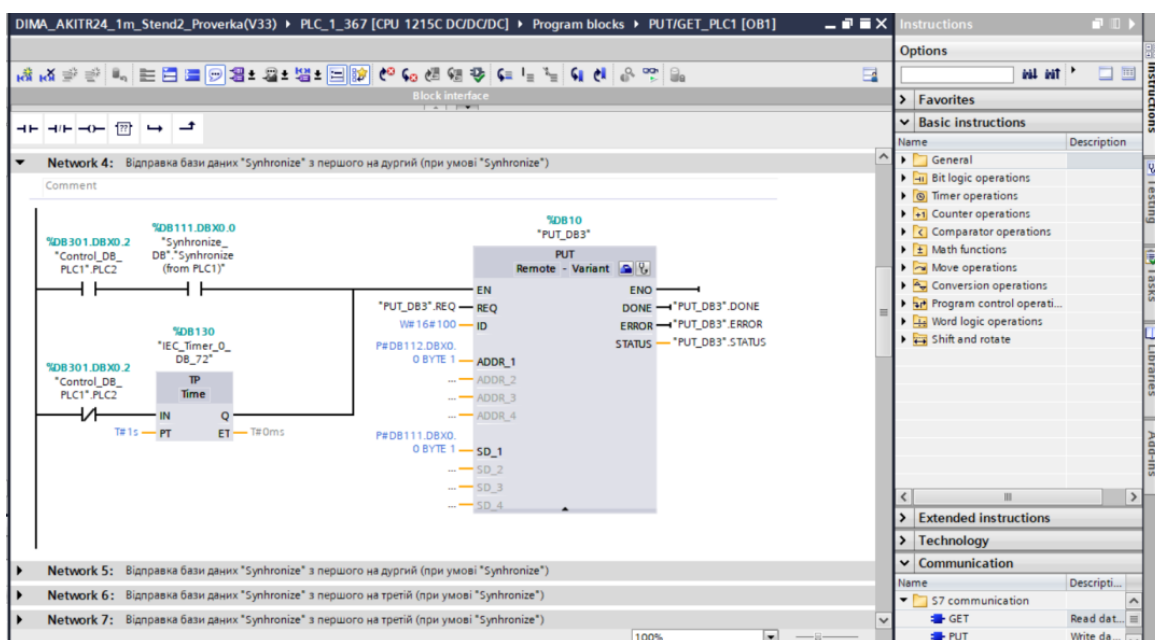


Рисунок 3.24 – Програма синхронізації

Таким чином при увімкненні синхронізації, база даних керування одного контролера синхронізується з такими ж базами даних другого та третього контролера, і вони будуть керуватись однаково.

3.4. Модернізація програмного забезпечення стенду 2 як складову САК конвеєрної лінії.

У програмі другого ПЛК створив таку ж базу даних керування системою, як і в першому, та прописав частину зв'язку для прийому значень керування при увімкненій синхронізації.

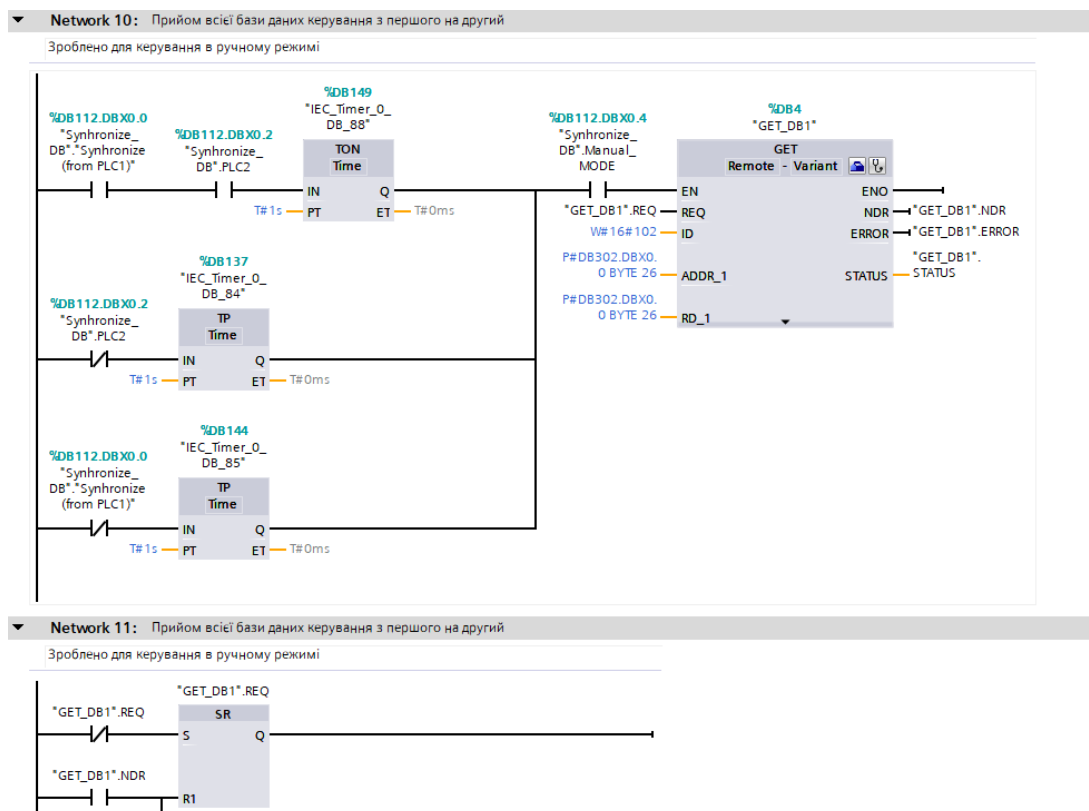


Рисунок 3.25 – Програма синхронізації - прийом даних

Так як стенди майже ідентичні і основна програма роботи стенду 2 майже не відрізняється від програми роботи першого стенду – описувати усі можливі налаштування та етапи програмування було б досить недоречно. Тому краще зосередитись на моментах, які є відмінностями між ними. До таких можна віднести вузол автоматизації (термо-піч) та програму роботи автоматичного режиму для всієї системи.

На відміну від маніпулятора першої конвеєрної лінії, маніпулятор другої повинен заздалегідь повернутись для підбору деталі з попереднього конвеєра. Тому перший крок роботи маніпулятора другої конвеєрної лінії прив'язав до першого датчика попереднього стенду, тим самим завчасно активуючи її при наявності деталі на першому конвеєрі. Кроки опускання та захвату деталі прив'язав до другого датчика першого стенду, тим самим змушуючи маніпулятор працювати тоді, коли деталь буде на необхідній позиції захвату. В даному випадку маніпулятор повинен повернутись на -92° (значення встановлене з урахуванням похибки в роботі маніпулятора, яка створена часовим зношенням гумових пасків передачі оборотного моменту).

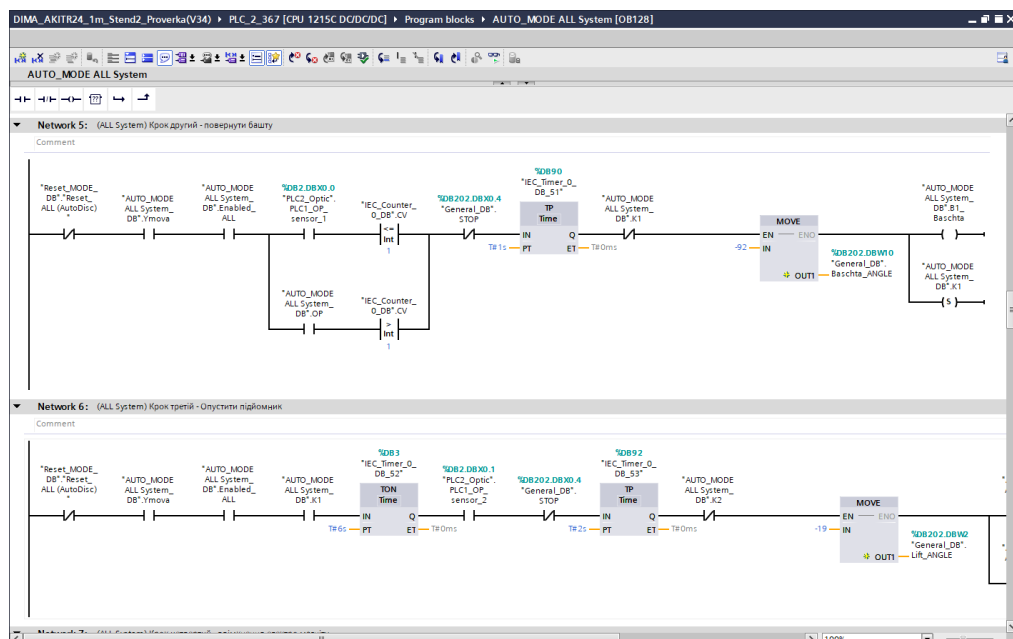


Рисунок 3.26 – Прописані перші кроки роботи маніпулятора

В усіх наступних кроках своєї роботи, окрім початкових (поворот та захват деталі з першого станду) – система працює за тією ж логікою роботи: перенесення деталі на конвеєр та її подальше транспортування. Однак під час транспортування деталей проходить крізь додатковий вузол автоматизації, який регулює температуру заготовки та повністю працює окремо. Програма керування термopічкою може працювати як в ручному, так і в автоматичному режимі, та побудована на основі простих елементів керування. Так як основна програма синхронізації та транспортування вже реалізована – це зроблено для демонстрації можливостей додаткового вузла автоматизації.

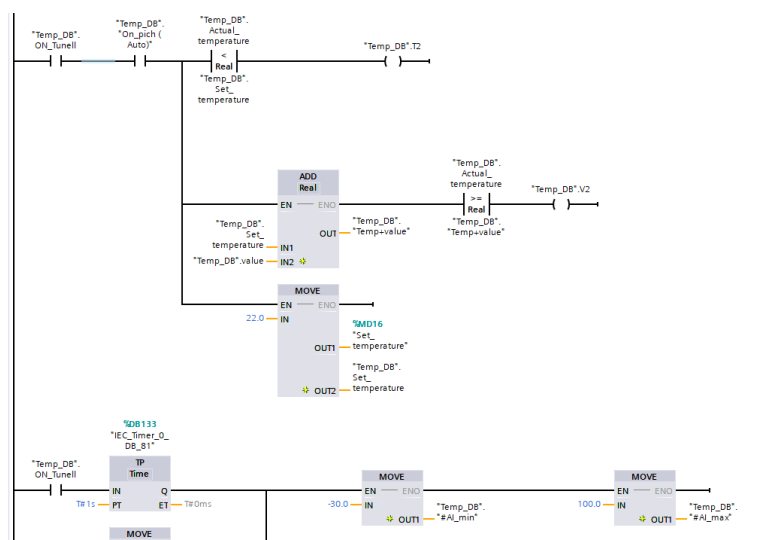


Рисунок 3.27 – Програма керування термо-пічкою

У випадку використання режиму з вибором типу деталі – прописав передачу даних із запам'ятовуванням типу деталі для другого конвеєра, щоб при транспортуванні заготовки маніпулятори працювали відносно встановленого режиму.

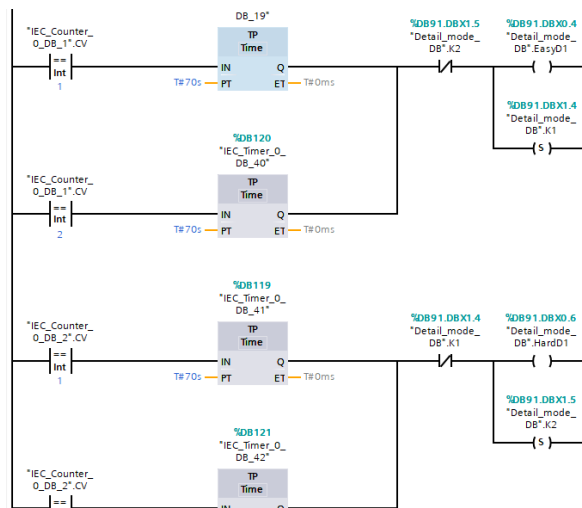


Рисунок 3.28 – Програма запам'ятовування типу деталі

3.5. Модернізація програмного забезпечення стану 3 як складову САК конвеєрної лінії.

Програма роботи третього стану ідентична другій. Єдиною відмінністю є додатковий вузол автоматизації (зчитувач RFID-міток) та програма зв'язку.

Першим ділом прописав частину коду по синхронізації бази даних керування системою з першого контролера на третій.

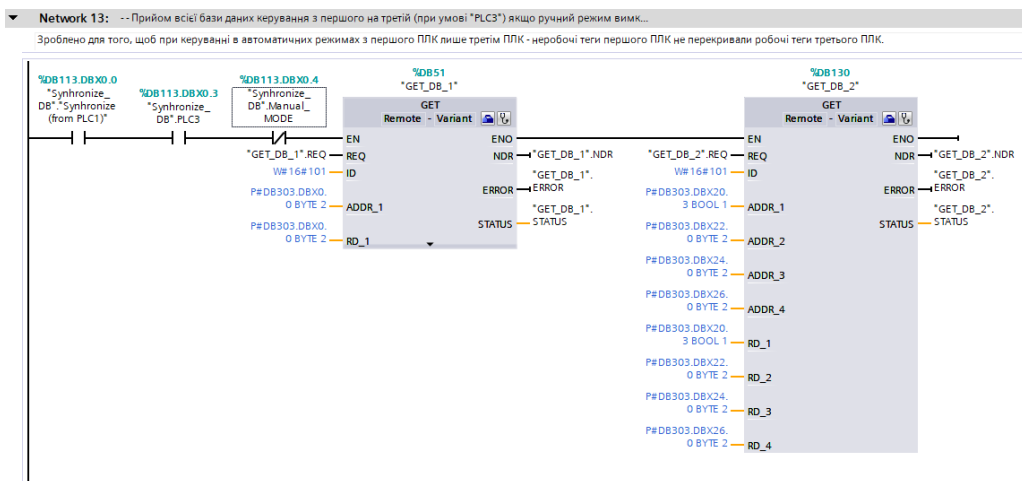


Рисунок 3.29 – Програма синхронізації

Далі реалізував підключення до пристрою RF-180C для керування зчитуванням та записом інформації до RFID-міток.

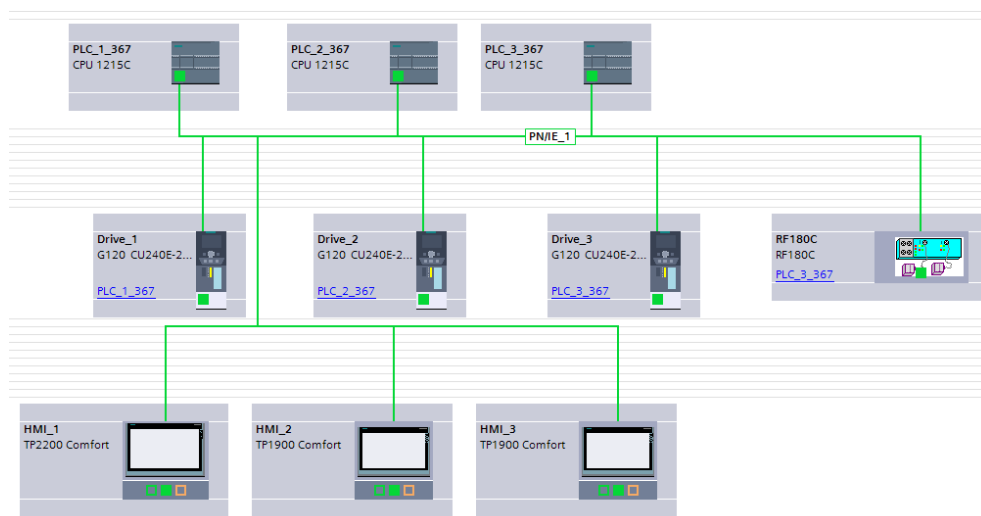


Рисунок 3.30 – Підключений пристрій RF-180C

Налаштував йому IP-адресу та написав просту програму по керуванню пристроєм читання/запису.

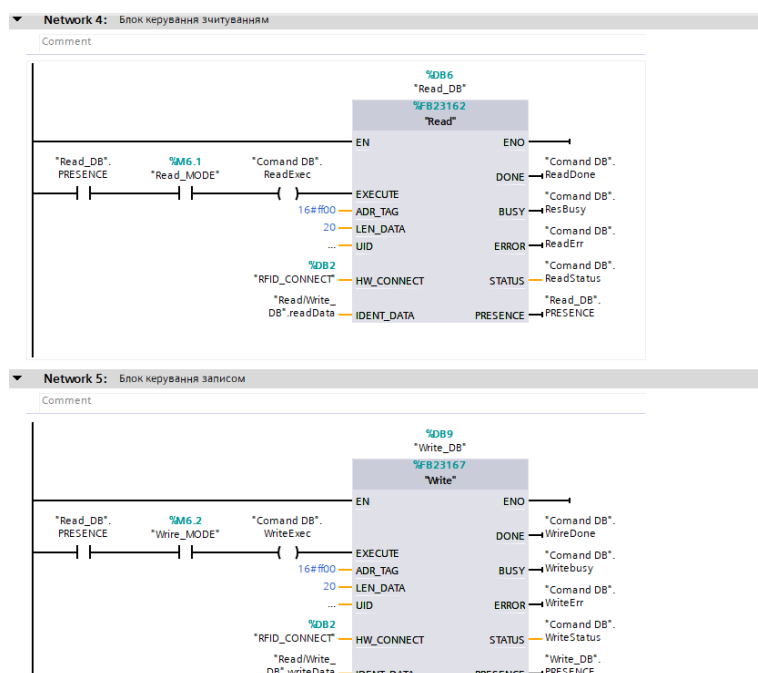


Рисунок 3.31 – Програма керування RF-180C

Написав програму вибору режиму роботи пристрою (читання або запис).

Також додав можливість генерації довільного числа за допомогою коду, який працює на основі таймерів та конвертерів.

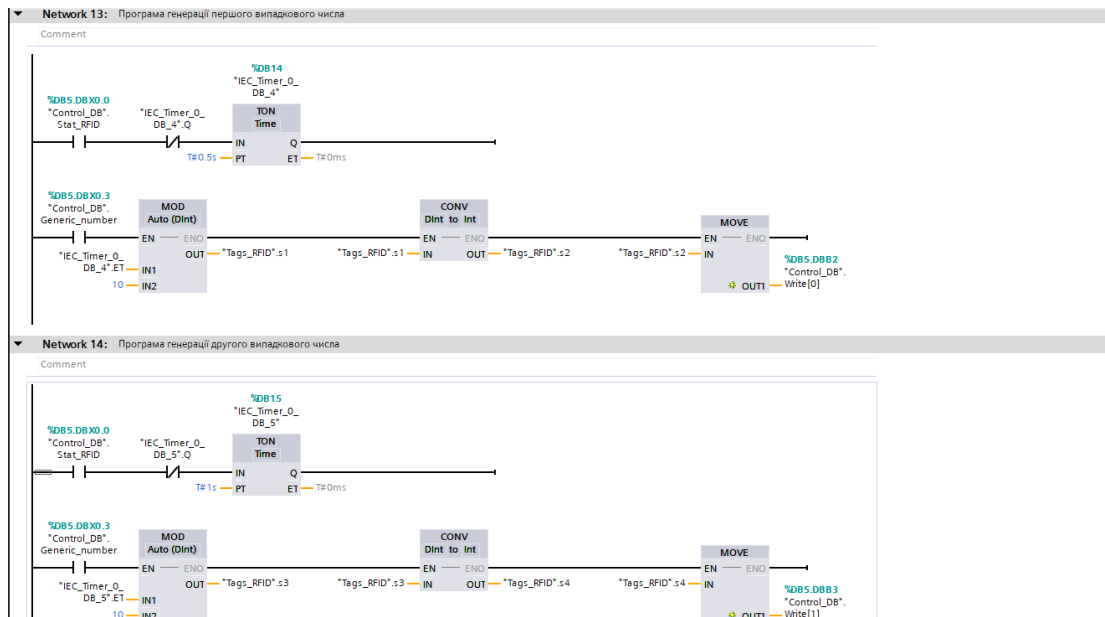


Рисунок 3.32 – Програма генерації випадкового числа

Керування пристроєм RFID, як і всією іншою програмою роботи стендів буде відбуватися за допомогою панелі оператора HMI.

3.6. SCADA - система системи керування конвеєрної лінії.

Для керування всією системою трьох конвеєрних ліній було вирішено створити SCADA – систему. Так як загальне керування буде відбуватися з першого контролера – його панель оператора буде більш широкою та функціональнішою.

У завчасно створеному пристрої HMI налаштував зв'язок до першого ПЛК.

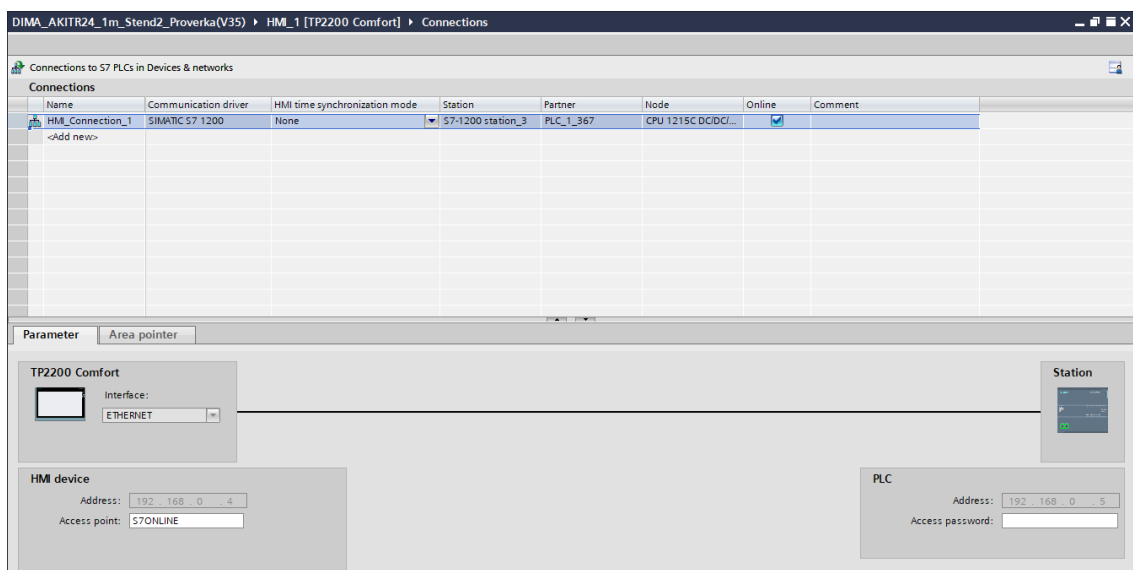
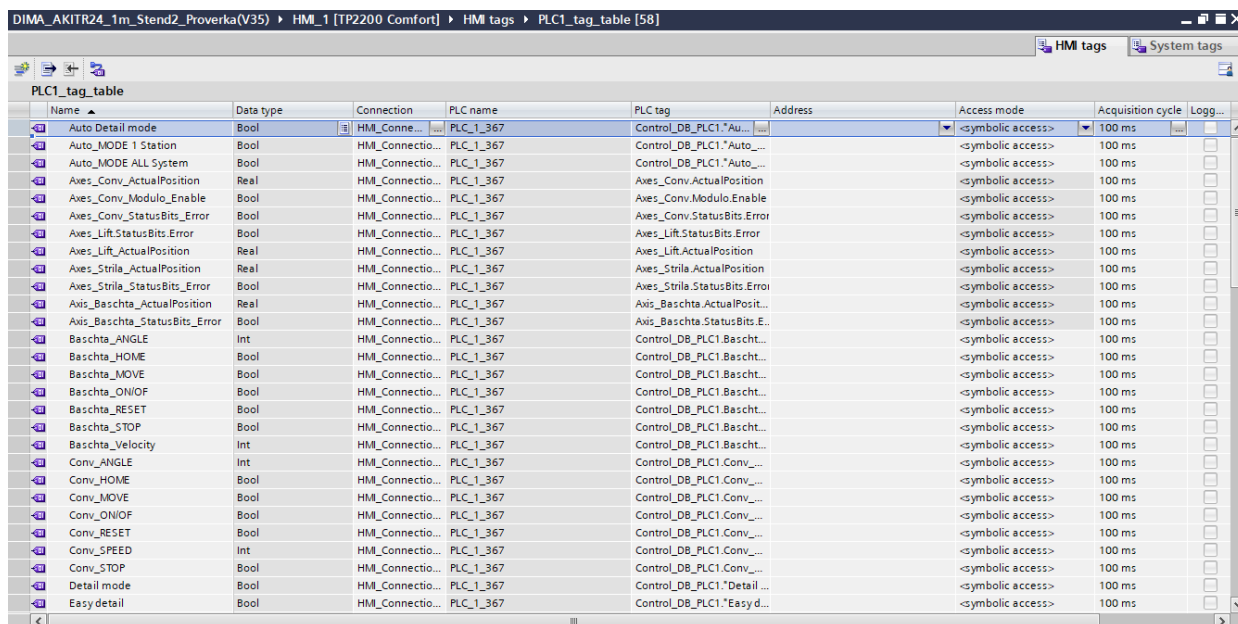


Рисунок 3.33 – Налаштований зв'язок HMI з ПЛК

Далі створив у ньому теги керування, які пов'язав напряму з тегами контролера, попередньо вказавши пристрій-партнер.



The screenshot shows the 'HMI tags' window in SIMATIC Manager. The title bar indicates the project is 'DIMA_AKTR24_1m_Stend2_Proverka(V35)' and the current view is 'HMI tags > PLC1_tag_table [58]'. The table lists various HMI tags and their corresponding PLC tags and addresses.

Name	Data type	Connection	PLC name	PLC tag	Address	Access mode	Acquisition cycle	Logg...
Auto Detail mode	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.*Au...		<symbolic access>	100 ms	
Auto_MODE 1 Station	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.*Auto...		<symbolic access>	100 ms	
Auto_MODE ALL System	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.*Auto...		<symbolic access>	100 ms	
Axes_Conv_ActualPosition	Real	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Axes_Conv.ActualPosition		<symbolic access>	100 ms	
Axes_Conv_Modulo_Enable	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Axes_Conv.Modulo.Enable		<symbolic access>	100 ms	
Axes_Conv_StatusBits_Error	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Axes_Conv.StatusBits.Error		<symbolic access>	100 ms	
Axes_Lift_StatusBits_Error	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Axes_Lift.StatusBits.Error		<symbolic access>	100 ms	
Axes_Lift_ActualPosition	Real	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Axes_Lift.ActualPosition		<symbolic access>	100 ms	
Axes_Strila_ActualPosition	Real	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Axes_Strila.ActualPosition		<symbolic access>	100 ms	
Axes_Strila_StatusBits_Error	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Axes_Strila.StatusBits.Error		<symbolic access>	100 ms	
Axis_Baschta_ActualPosition	Real	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Axis_Baschta.ActualPosit...		<symbolic access>	100 ms	
Axis_Baschta_StatusBits_Error	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Axis_Baschta.StatusBits.E...		<symbolic access>	100 ms	
Baschta_ANGLE	Int	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.Bascht...		<symbolic access>	100 ms	
Baschta_HOME	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.Bascht...		<symbolic access>	100 ms	
Baschta_MOVE	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.Bascht...		<symbolic access>	100 ms	
Baschta_ON/OF	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.Bascht...		<symbolic access>	100 ms	
Baschta_RESET	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.Bascht...		<symbolic access>	100 ms	
Baschta_STOP	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.Bascht...		<symbolic access>	100 ms	
Baschta_Velocity	Int	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.Bascht...		<symbolic access>	100 ms	
Conv_ANGLE	Int	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.Conv...		<symbolic access>	100 ms	
Conv_HOME	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.Conv...		<symbolic access>	100 ms	
Conv_MOVE	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.Conv...		<symbolic access>	100 ms	
Conv_ON/OF	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.Conv...		<symbolic access>	100 ms	
Conv_RESET	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.Conv...		<symbolic access>	100 ms	
Conv_SPEED	Int	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.Conv...		<symbolic access>	100 ms	
Conv_STOP	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.Conv...		<symbolic access>	100 ms	
Detail mode	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.*Detail...		<symbolic access>	100 ms	
Easy detail	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1_367	Control_DB_PLC1.*Easy d...		<symbolic access>	100 ms	

Рисунок 3.34 – Пов'язані теги НМІ з тегами ПЛК

Створив декілька екранів для керування, кожен з яких відповідатиме за свій режим синхронізації.

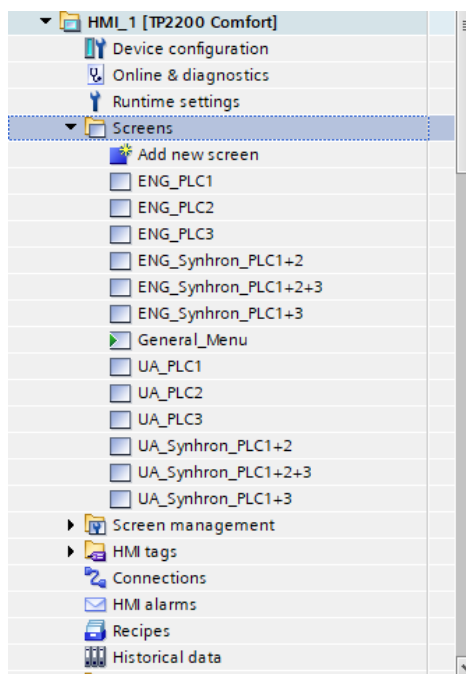


Рисунок 3.35 – Створені екрани панелі оператора

На початковому екрані реалізував можливість вибору подальшої мови панелі керування.

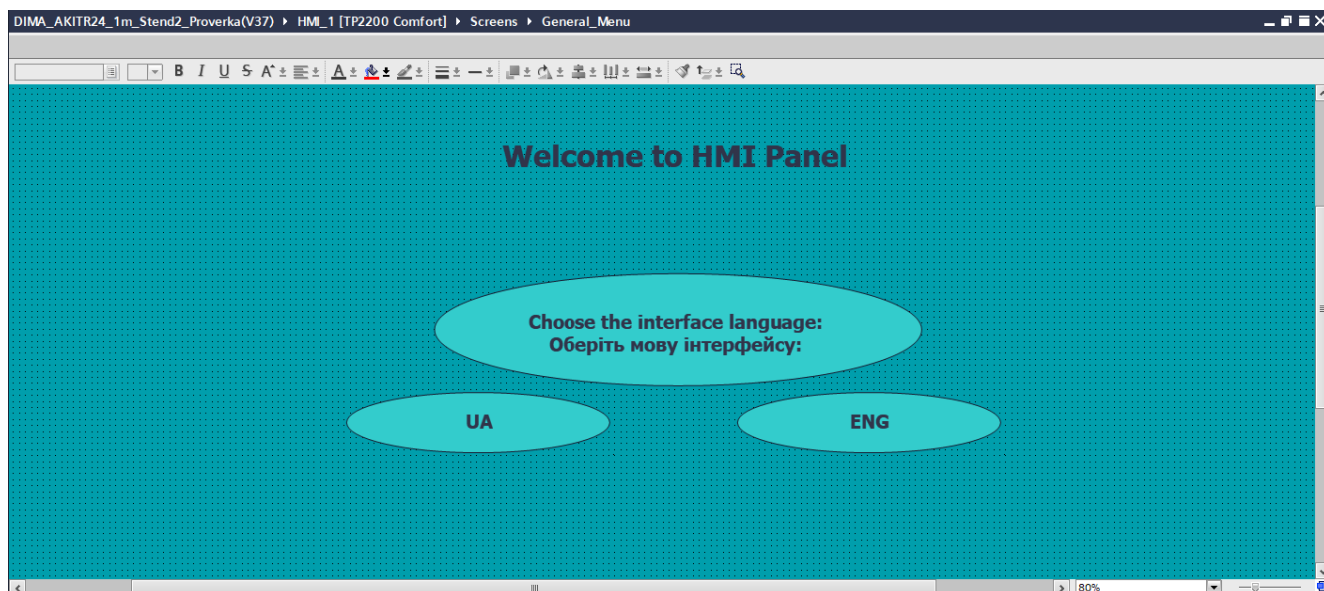


Рисунок 3.36 – Початковий екран оператора

На кожному з екранів керування, використовуючи стандартні об'єкти вбудованої бібліотеки, побудував панель керування на основі кнопок та слайдерів.

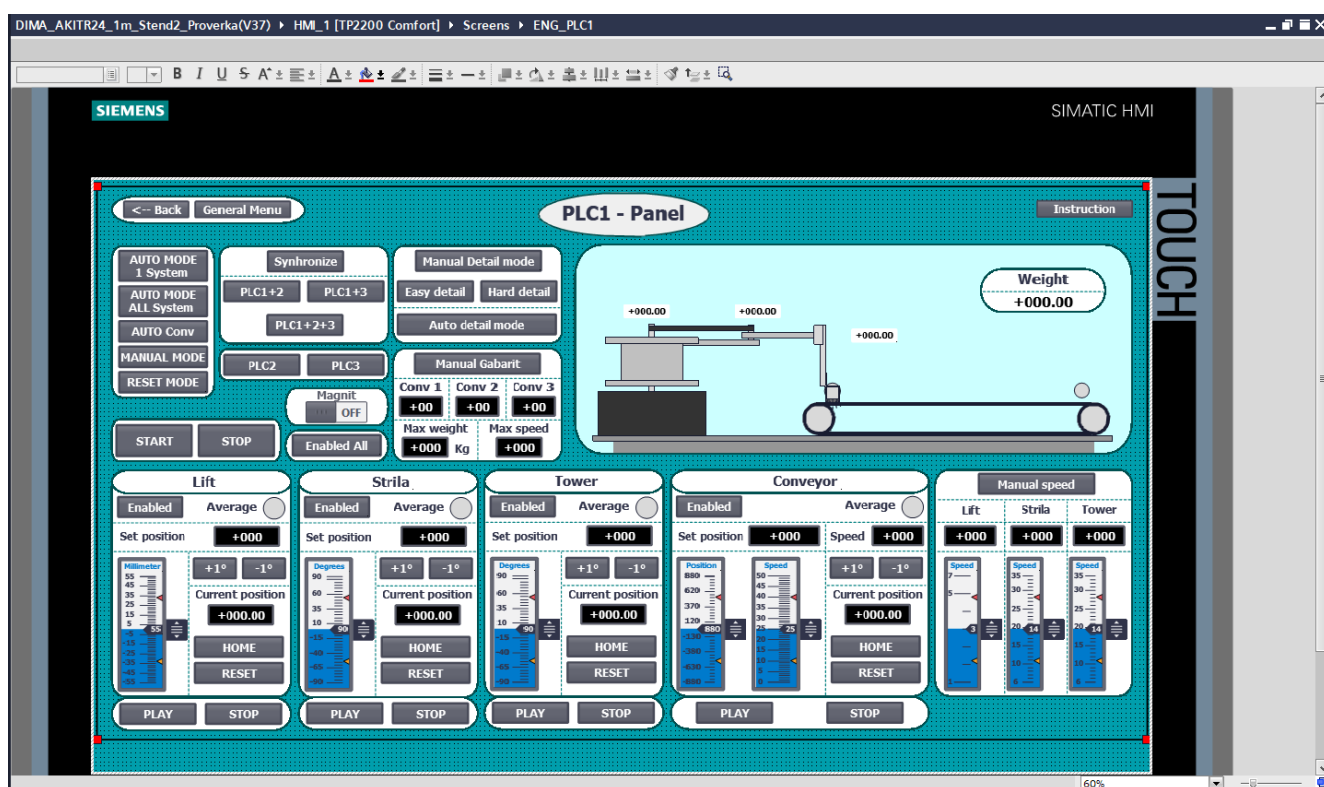


Рисунок 3.37 – Створена панель керування системою

У налаштуваннях кнопок вказав теги роботи та створив анімацію підсвічування при натисканні.

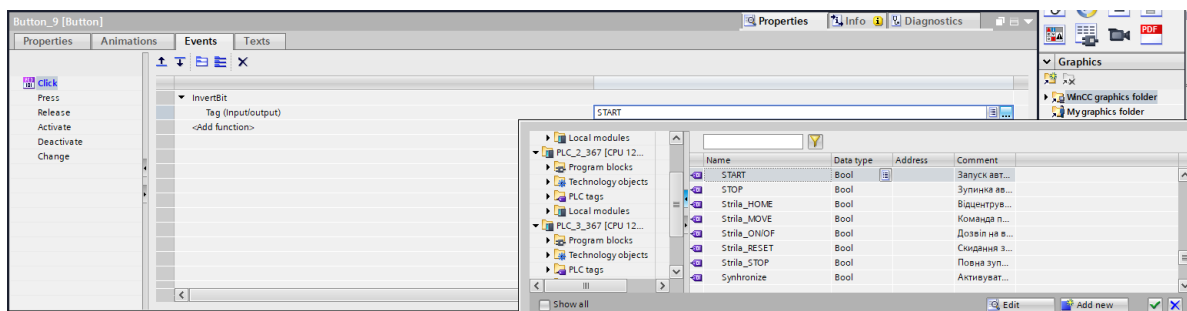


Рисунок 3.38 – Налаштування кнопки

В налаштуваннях слайдера налаштував зв'язок з тегом та задав границі змінюваної величини.

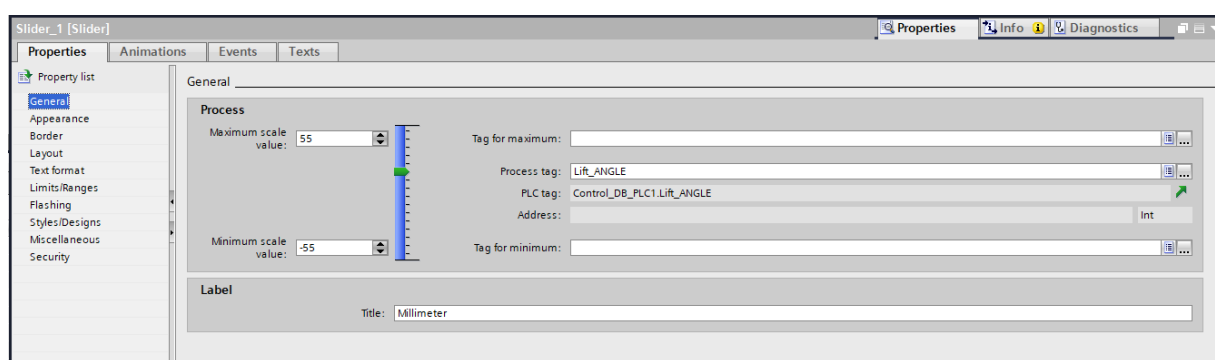


Рисунок 3.39 – Налаштування слайдера

Для візуалізації роботи системи на екрані оператора була створена її імітована копія, яка приблизно показуватиме поточний стан системи. Відображення стану датчиків реалізував за допомогою підсвітки примітивів.

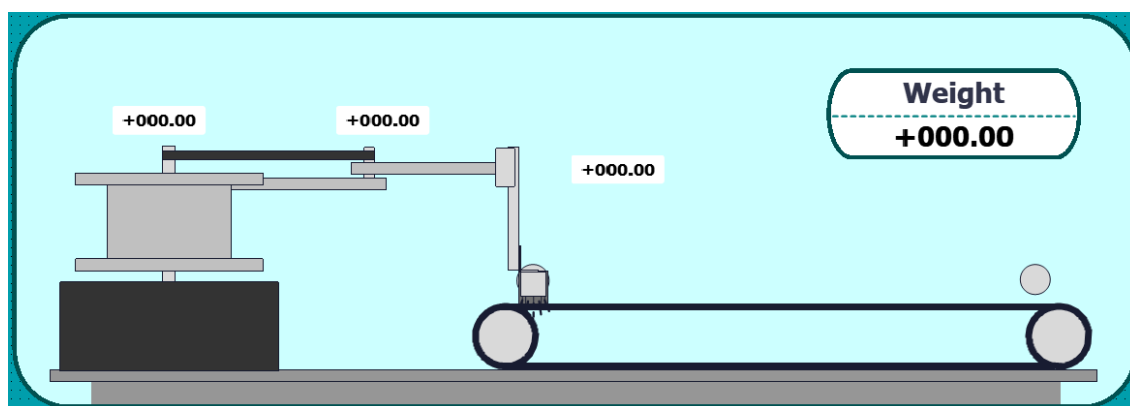


Рисунок 3.40 – Створена проста візуалізація системи

Так як друга та третя НМІ панель оператора керуватимуть лише власними системами, принцип роботи яких майже не відрізняється – скопіював всі елементи створеної панелі та продублював на інші людино-машинні пристрої.

ВИСНОВКИ

У результаті магістерської роботи була побудована віртуальна 3D-візуалізація роботи системи у програмному середовищі Factory I/O та повноцінно розроблене програмне забезпечення по керуванню системою конвеєрних ліній.

У першому розділі була розглянутий об'єкт керування, а саме система трьох стендів конвеєрів в лінії на базі апаратної частини SIEMENS, її основні частини та складові. Проведений пошук аналогів як серед вітчизняних, так і закордонних проектів, на основі яких були зроблені висновки та проведений аналіз існуючих протоколів зв'язку, у результаті чого був обраний протокол Profinet. Як результат – були поставлені задачі: програмна та апаратна складова проекту конвеєрної лінії повинна базуватися на інтерфейсі з Profinet протоколом. В складі конвеєрної лінії повинно бути три стенди з конвеєром і маніпулятором для завантаження в кожному з них. Загальне керування повинно здійснюватися від ПК диспетчера.

У другому розділі проведений вибір середовища для побудови та тестування системи під час створення оновленого програмного забезпечення. Вибір зупинився на Factory I/O, у якому була виконана повна візуалізація системи керування, її вбудоване програмування та досліди, які допомогли визначитись із встановленням оптимальної швидкості роботи елементів. Створена 3D-візуалізація творена 3D-візуалізація у Factory I/O здатна симулювати роботу конвеєрної системи, та демонструє її оновлені можливості за вбудованою програмою. В подальшому система може буди підключена до фізичного контролера через драйвери та відображати поточне положення системи.

У третьому розділі була повністю оновлена та переписана програма роботи конвеєрних ліній на мові Ladder Diagram з урахуванням синхронізації, реалізоване керування системами з використанням протоколу PROFINET та додані нові функції, що розкривають більші можливості устаткування. Додатково до цього була розроблена нова HMI панель оператора по керуванню системою, яка має

більш розширений інтерфейс та включає усі додані функції разом з адаптацією під українську та англійську мови.

Попередня програма роботи не включала у себе можливість синхронізації та обміну даними між трьома системами, та обмежувалась лише двома режимами роботи: автоматичний та ручний. Оновлене ПЗ, на відміну від попереднього, містить у собі чотири режими керування (автоматичний для однієї системи, автоматичний для усієї системи, автоматичний по керуванню конвеєрними стрічками та ручний), а також чотири підрежими (Режим синхронізації з можливістю вибору керування стендами; Автоматичний/ручний режим вибору типу заготовки (важка чи легка), від якого залежить траєкторія руху маніпулятора при різних режимах; Ручний режим керування швидкістю елементів маніпулятора в межах допустимого; Режим скидання поточного положення системи, при якому маніпулятор повернеться у початкове положення, а при наявності деталі у ріці – попередньо поставить її).

Усі режими та підрежими керування системою можуть комбінуватися між собою, створюючи різні варіації роботи програми та демонструючи її можливості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про затвердження Положення про проведення практики студентів вищих навчальних закладів України Міносвіти; Наказ, Положення, Форма типового документа від 08.04.1993 No 93. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0035-93>.
2. Методичні рекомендації про складання програм практики студентів вищих навчальних закладів України / укладачі: О. Є. Пантелеймонов, Л. М. Кохановський. Міністерство освіти України, 1995. 12 с.
3. Цеков Ю. І. Збірник нормативних документів та інформаційних матеріалів з питань експертизи дисертаційних досліджень: Довідник офіційного опонента. Київ, Редакція «Бюлетеня Вищої атестаційної комісії України», видавництво «Толока», 2010. 64 с.
4. Пупена О. М., Ельперін І. В., Кушков В. М. Методичні рекомендації до виконання дипломного проекту (роботи) для студ. спец. 7.05020202 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва» Київ, НУХТ, 2012. 48 с.
5. Ткачов В.В., Цвіркун Л.І., Пушкар М.С. Методичні рекомендації для студентів спеціальності 7.05020101 Комп'ютеризовані системи, управління та автоматика: Дипломне проектування. Дніпро, НГУ, 2014. 46 с.
6. Ткачов В.В., Бубліков А.В., Цвіркун Л.І., Проценко С.М. Методичні рекомендації для студентів-бакалаврів спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології: Дипломне проектування. Дніпро : НГУ, 2016. 29 с.
7. Автоматизована система керування промисловим роботом-маніпулятором. Вебсайт: DSpace::ELAKPI. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/69bf678d-b275-4936-b6d0-4dd748fc9fef/content> (Дата звернення: 05.08.2025)
8. Розробка інтелектуальної системи управління сортувальним комплексом. Вебсайт: DSpace. URL:

<https://dspace.znu.edu.ua/jspui/bitstream/12345/4851/1/%D0%94%D0%B8%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BC%20%D0%BF%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE.pdf> (Дата звернення: 05.02.2025)

9. Маніпулятор із системою технічного зору. Вебсайт: КІТАР. URL: <https://tapr.nure.ua/dijalnist-kafedri/materialno-tehnichne-zabezpechennja/nashi-laboratorii> (Дата звернення: 05.08.2025)

10. Система керування роботом-маніпулятором "ТУР-10". Вебсайт: eSSUIR. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/96144/1/Hlukhodid_bak_rob.pdf;jsessionid=A2D9927C1448A211CBDAB57117FF30CA#page=32&zoom=100,185,404 (Дата звернення: 05.08.2025)

11. Система автоматизованого керування конвеєром гірничовидобувного підприємства. Вебсайт: DSpace::ELAKPI. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstreams/ab203701-bfe1-4754-8d38-964ccaf4fc5d/download> (Дата звернення: 06.08.2025)

12. Автоматизація процесу керування системою конвеєрних стрічок. Вебсайт: DSpace. URL: https://repository.lnup.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1861/1/Bobyk_bach.pdf (Дата звернення: 06.08.2025)

13. Система дискретного запуску конвеєрів з підвищеною енергоефективністю на базі контролера Siemens Simatic. Вебсайт: DSpace. URL: <https://krs.chmnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1059/1/%D0%A1%D0%B0%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B2-%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82.pdf> (Дата звернення: 06.08.2025)

14. Розробка системи автоматизації процесу обробки тістових заготовок в шафі. Вебсайт: DSpace. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/d7235a3a-a54e-45a9-a2d9-adf4d2701370/content> (Дата звернення: 08.08.2025)

15. Розробка та дослідження автоматизованої системи обліку готової

продукції з використанням ПЛК Siemens на базі ТОВ «COOK». Вебсайт: ELARTU. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/33223> (Дата звернення: 08.08.2025)

16. Автоматизація процесу пересипання зерна на базі контролера Siemens LOGO. Вебсайт: DSpace. URL: https://repository.lnup.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/620/1/%D0%94%D0%B8%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BC_%D0%A1%D1%96%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%90%D0%BA%D1%82-22%D1%81%D0%BF.pdf (Дата звернення: 12.08.2025)

17. Розроблення системи автоматичного керування конвеєрною лінією на базі ПЛК Siemens 1200. Вебсайт: eNUPPIR. URL: https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/16072?utm_source=chatgpt.com (Дата звернення: 12.08.2025)

18. PLC Multi Conveyor Feed Control Demystified. Вебсайт: ACC AUTOMATION. URL: <https://accautomation.ca/plc-multi-conveyor-feed-control-demystified/> (Дата звернення: 12.08.2025)

19. Design and Fabrication of PLC Based Conveyor System with Programmable Stations. Вебсайт: ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/321311603_Design_and_Fabrication_of_PLC_Based_Conveyor_System_with_Programmable_Stations (Дата звернення: 06.08.2025)

20. Application and Control of Robotic Manipulator through PLC. Вебсайт: DiVA (Digitala Vetenskapliga Arkivet). URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2%3A1079143/FULLTEXT01.pdf> (Дата звернення: 13.08.2025)

21. Industrial Automation. Conveyors in industrial automation. Вебсайт: Theseus.Fi. URL: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/159872/Thesis%20Kulakov%202019.pdf?sequence=1> (Дата звернення: 15.08.2025)

22. Моделювання роботи та візуалізація стану стрічкового конвеєра в

програмному середовищі TIA PORTAL V.15.1. Вебсайт: MEASURING AND COMPUTING DEVICES IN TECHNOLOGICAL PROCESSES. URL: <https://vottp.khmnu.edu.ua/index.php/vottp/article/view/54> (Дата звернення: 15.08.2025)

23. Conveyor automation and control system. Вебсайт: BCIT Institutional Repository. URL: <https://circuit.bcit.ca/repository/islandora/object/repository%3A901> (Дата звернення: 06.08.2025)

24. PLC based Robot Manipulator Control using Position based and Image based Algorithm. Вебсайт: Global Journals. URL: https://globaljournals.org/GJRE_Volume17/3-PLC-based-Robot-Manipulator.pdf (Дата звернення: 18.08.2025)

25. Prototype of Automatic Conveyor System Using Programmable Logic Controller for Educational Purpose. Вебсайт: ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/354299932_Prototype_of_automatic_conveyor_system_using_programmable_logic_controller_for_educational_purpose (Дата звернення: 19.08.2025)

26. Міжнародний ринок інформаційних технологій. Вебсайт: Факультет міжнародних відносин. URL: https://intrel.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/10/Levkovych-V.pdf?utm_source=chatgpt.com (Дата звернення: 19.08.2025)

27. Umschlagplatz für medizinische Probenröhrchen. Вебсайт: Espace net. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/094277330/publication/DE102023207366A1?q=pn%3DDE102023207366A1> (Дата звернення: 19.08.2025)

28. Grasp-point identifying and labeling of objects for robot manipulation. Вебсайт: Espace net. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/094388636/publication/US2025042022A1?q=pn%3DUS2025042022A1> (Дата звернення: 21.08.2025)

29. Palletizer. Вебсайт: Espace net. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/087557596/publication/US20250>

42677A1?q=pn%3DUS2025042677A1 (Дата звернення: 21.08.2025)

30. BELT CONVEYOR. Вебсайт: Espace net. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/090716235/publication/JP2024055498A?q=pn%3DJP2024055498A> (Дата звернення: 21.08.2025)

31. CONVEYOR CONTROLLER. Вебсайт: Espace net. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/078409249/publication/JP2021176790A?q=pn%3DJP2021176790A> (Дата звернення: 22.08.2025)

32. Маринич І. О., Тронь В. В. Методичні рекомендації щодо виконання кваліфікаційної роботи магістра для студентів спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”. Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2022. 50с.

33. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки та техніки. Структура та правила оформлення. Київ, ДП "УкрННЦ", 2015. 26с. (інформація та документація).

34. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (інформація та документація).

35. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів та словосполучень в українській мові. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП "УкрННЦ", 2013. 23 с. (Інформація та документація)

36. ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення Київ, Держстандарт України, 1998. 27 с. (інформація та документація).