

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розробка та аналіз продуктивності автоматизованої складської системи

Виконав: студент

VI курсу, групи КАм-61

спеціальності

174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Худецький Н.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Коноваленко І.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Козбур І.Р.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Савків В.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Стухляк П.Д.

(прізвище та ініціали)

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

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Савків В.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« » 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

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

Студенту Худецькому Назарію Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка та аналіз продуктивності автоматизованої складської системи

Керівник роботи Коноваленко Ігор Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри АВ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «20» листопада 2025 року № 4/7-1077

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 грудня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи Технічні вимоги щодо системи складування

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

Вступ

Аналітична частина

Технологічна частина

Конструкторська частина

Науково-дослідна частина

Спеціальна частина

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

Титульний слайд

Актуальність роботи

Завдання роботи

Основна частина

Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та			
безпека в надзв. ситуаціях			

7. Дата видачі завдання 20 листопада 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Худецкий Н.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Коноваленко І.В.

(прізвище та ініціали)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розробка та аналіз продуктивності автоматизованої складської системи

Виконав: студент

VI курсу, групи КАм-61

спеціальності

174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

(шифр і назва спеціальності)

Яцюк В.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Коноваленко І.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Козбур І.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Савків В.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Стухляк П.Д.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис) Савків В.Б.
(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

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

Студенту Яцюку Владиславу Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка та аналіз продуктивності автоматизованої складської системи

Керівник роботи Коноваленко Ігор Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри АВ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «20» листопада 2025 року № 4/7-1077

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 грудня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи Технічні вимоги щодо системи складування

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

Вступ

Аналітична частина

Технологічна частина

Конструкторська частина

Науково-дослідна частина

Спеціальна частина

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

Титульний слайд

Актуальність роботи

Завдання роботи

Основна частина

Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та			
безпека в надзв. ситуаціях			

7. Дата видачі завдання 20 листопада 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Яцюз В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Коноваленко І.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини дипломної роботи становить 12.

Об'єм пояснювальної записки складає 103 друкованих сторінок формату А4.

В роботі використано 53 літературних джерел.

У роботі представлено процес розробки автоматизованої системи зберігання та пошуку товарів (AS/RS) та її загальної структури. Було розроблено невелику практичну модель з метою дослідження роботи системи керування. в рамках проєкту було реалізовано проектування макета, контролера, програмування та інтерфейсу користувача для проєкту без врахування будь-яких інших факторів.

Компонування системи описано на основі механічного та електричного проектування, де перераховано кожен компонент та зображено механізм системи. Труднощі у виконанні проєкту полягали у відсутності деяких компонентів та кінцевих вимикачів, наданих замовником. Тому проектування та програмування ПЛК довелося адаптувати до цих змін. 3D-креслення та електрична схема були розроблені за допомогою AutoCAD Electrical. Відповідно до вимог, основною мовою програмування, що використовувалася в цьому проєкті, була мова сходиноквих діаграм.

Розроблена модель показала хорошу продуктивність в процесі складування товарів.

Ключові слова: СКЛАДСЬКА СИСТЕМА, КОНТРОЛЕР, ПАКУВАННЯ, КЕРУВАННЯ, ПРОГРАМА.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Огляд реалізації систем складування	9
1.2 Поширені типи дизайну складських систем	15
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	18
2.1 Проблеми проектування AS/RS	18
2.2 Використання програмованих логічних контролерів для систем складування	18
2.3 Вибір матеріалу	22
2.4 Вибір компонентів лінійного керування рухом	23
2.5 Вибір електронних засобів для керування прототипом складу	31
3 КОСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	38
3.1 Розробка конструкції полиць	38
3.2 Розташування осей	39
3.3 Схема підключення та розташування обладнання	48
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	55
4.1 Проектування людино-машинного інтерфейсу	55
4.2 Отримані експериментальні результати тестування прототипу системи	56
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	64
5.1. Програмування компонентів системи	64
5.2 Програмні блоки	71

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ...	78
6.1 Вимоги охорони праці під час роботи з електроустаткуванням.....	78
6.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт	83
6.3 Вимоги безпеки після закінчення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування	85
6.4 Розрахунок захисного заземлення	87
ВИСНОВКИ.....	93
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	94

ВСТУП

Незважаючи на те, що ручні склади демонструють різноманітні недоліки в безпеці, точності та ефективності, багато компаній, включаючи замовників, все ще використовують ручні склади, оскільки вони є недорогими та універсальними у короткостроковій перспективі.

Замовник – це компанія з виробництва важкої промислової сталі, яка потребує транспортування особливо важких предметів. Під час виробництва сталевих прутків/прутків часто трапляються поломки механічного та електричного обладнання, і, як наслідок, деякі пристрої застарівають. Здебільшого нові компоненти, що використовуються для заміни, зберігаються на традиційному складі компанії. Інший ручний склад відповідає за зберігання зламаних деталей та застарілих компонентів, які утилізуються або розбираються на інші окремі компоненти або навіть відновлюються для подальшого використання. Основними інструментами для переміщення та підйому важких матеріалів є вилкові навантажувачі та кранові системи, які є неефективними та небезпечними для працівників складу. Тому замовник планує розширити масштаб своєї системи зберігання. Вони проводили різні довгострокові проекти та дослідження, перш ніж розглядати інвестиції, оскільки проектування такої системи на практиці є надзвичайно дорогим. Головною метою компанії в цьому процесі є підвищення точності, швидкості, заходів безпеки та зменшення обсягу роботи для операторів та працівників.

Одним із проектів замовника є розробка міні-демонстрації автоматизованих систем зберігання та вилучення (AS/RS). Метою роботи було розробити демо-стенд автоматизованих систем зберігання та вилучення AS/RS для експериментального використання та дослідження.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Огляд реалізації систем складування.

Зберігання та вилучення товарів на складі або в розподільчому центрі є поширеною та традиційною концепцією. Системи зберігання/складування різноманітні, але існують два типи: ручні та автоматизовані з точки зору експлуатації. За даними дослідницької групи Peerless, лише 4% з них є високоавтоматизованими. Решта здебільшого ручні та напівавтоматизовані, де оператори переміщуються по об'єкту, піднімають кожен продукт за допомогою вилкових навантажувачів та забирають вручну. Основним недоліком ручних систем зберігання є те, що вони залежно від праці та некомп'ютеризовані. Вони включають багато рухомих елементів та важкої техніки, окрім вилкових навантажувачів, якими керують працівники складу/складу.

Неточний підрахунок та неправильне розміщення можуть призвести до втрати часу та нестачі необхідних товарів для нових замовлень. Крім того, існує ймовірність травмування працівників, оскільки понад 5% традиційних складських працівників отримали травми. Системи ручного зберігання/складування, незважаючи на свою простоту та низькі інвестиції, не можуть оптимізувати простір та місткість складу щодо висоти через обмежену досяжність вилкових навантажувачів, займаючи таким чином значно велику площу землі [1–5]. У системах ручного зберігання численні товари зазвичай складаються один на одного, що може знизити якість деяких товарів внизу. Через відсутність автоматизації та комп'ютеризації дуже складно відстежувати надходження та відтік кожного продукту та його кількість [6-9]. Тому кожну транзакцію з продуктом необхідно постійно контролювати, щоб підтримувати його наявність та рівень запасів. Інформація про відстеження та моніторинг не передається в жодних

автоматизованих системах чи програмах, що призводить до втрати часу та праці та ускладнює весь процес.

Більшість підприємств сьогодні все ще використовують ручні системи зберігання, незважаючи на їхню непродуктивність. Початкові інвестиції та подальші витрати на обслуговування низькі; програма навчання проста для співробітників [10, 12, 28, 29]. Ручна система особливо підходить для малого бізнесу через простий ланцюг постачання продукції. Для великих підприємств ручне керування складами може принести багато короткострокових переваг на початковому етапі. Однак накопичення помилок та втрата часу поступово уповільняють розвиток бізнесу. Крім того, зберігання важких продуктів на традиційному складі вимагає великої кількості вилкових навантажувачів та кранів системи. Усі підйомні та переміщувальні роботи виконуються багатьма людьми. Тому ймовірність виникнення серйозного інциденту є високою.

Індустріалізація є ключем до стимулювання економічного зростання, оскільки кількість вироблених товарів постійно зростає. Для забезпечення масового виробництва великим компаніям та підприємствам необхідна модернізація сховищ/складів [30, 31, 32, 33]. Нові інноваційні технології, такі як Автоматизовані системи зберігання та вилучення (AS/RS), дозволяють підприємствам йти в ногу з дедалі швидкішим та вимогливішим ринком. AS/RS можна коротко описати як комбінацію обладнання та систем диспетчерського керування, які автоматично розміщують та комплектують товари на складі. У ширшому сенсі обладнання AS/RS складається з паралельних проходів, стелажів, машин S/R (складування/вилучення, також відомих як штабелювальні крани). Розширені AS/RS також включають конвеєри, станції введення/виведення (I/O) та станції P/D (комплектуювання/доставки). AS/RS – це лише одна з інтегрованих систем складу, а не цілий склад, що показано на рис. 1.2.

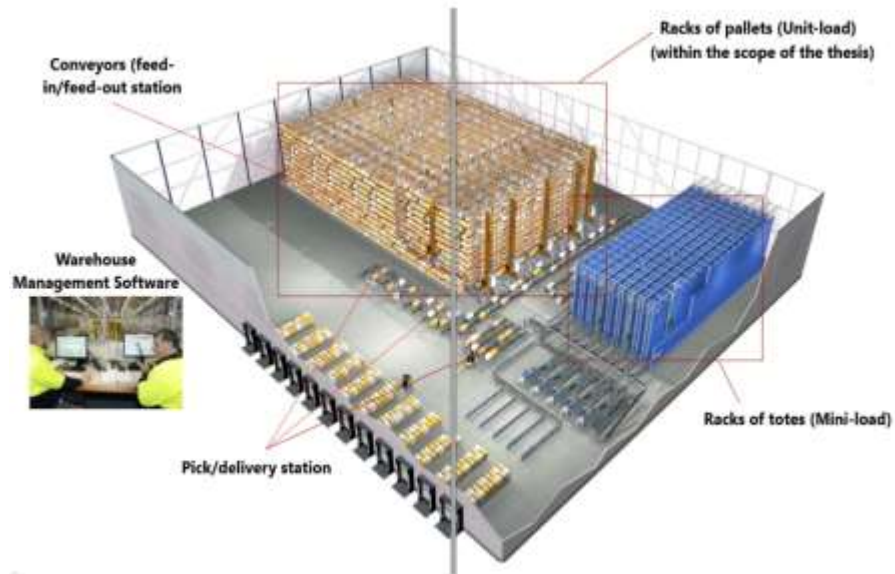


Рисунок 1.2 - Загальне AS/RS у реальному житті.

Стелажі – це сталеві конструкції з накопичених комірок, де кожне навантаження зберігається в комірці. Стелажна/P-машина – це автономна електромеханічна система, яка переміщує та піднімає вантажі в проході, який є простором між двома стелажми [34, 35, 36, 37]. Станція введення/виведення розміщена поруч із машиною S/R та з'єднана з конвеєрами, де транспортуються вхідні/вихідні вантажі та готуються до зберігання/вилучення. Станція P/D розташована на іншому кінці конвеєрів, на якій товари вручну збираються працівниками та готуються до зберігання/доставки. Процедура зберігання AS/RS спочатку працює на станції P/D, де товари класифікуються за розміром/вагою та призначаються на лотки або піддони. З міркувань безпеки вантажі скануються ще раз, щоб переконатися, що вантажі знаходяться в межах допустимої ваги, а вантажі на піддонах не перевищують обмеження розміру.

Потім відскановані вантажі направляються до станції введення/виведення, де система диспетчерського керування виявляє та автоматично призначає довільно доступне місце зберігання на стелажі та

зберігає це місце у своїй пам'яті. Оператори також можуть вибрати певне місце на стелажі, коли є запит на цей конкретний товар. Після процедури виявлення та призначення машина S/R забирає вантажі зі станції введення/виведення та розміщує їх у комірці стелажа. Процедура вилучення AS/RS працює відносно протилежно процедурі зберігання. Оператор вибирає запитуване місце для вилучення, і пам'ять цього місця буде видалена з системи [38, 39, 40, 41]. Машина S/R переміщує вантаж зі стелажа на станцію вводу/виводу. Звідси є певна кількість конвеєрних ліній для вилучення вантажів. Завжди є конвеєрна лінія для транспортування вантажів до станції P/D для доставки. Зазвичай також є додаткова лінія для переміщення вантажів з одного стелажа на інший та лінія для вантажів, які потрібно утилізувати або вилучити зі складу.

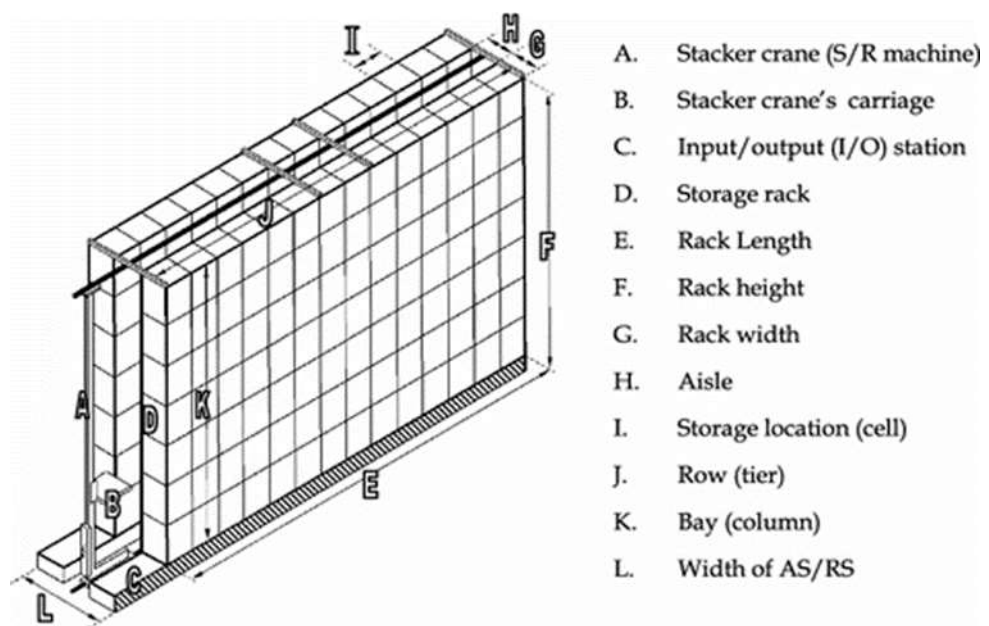


Рисунок 1.2 - Загальне структура AS/RS

Структура та глибина

Стелажі та проходи: Існують різні варіанти проектування конструкції стелажів та проходів, які значною мірою залежать від розмірів системи та площі складу. Найпростіший AS/RS передбачає одинарний проход та одинарний тип стелажів (Рис. 1.3), які розміщуються по черзі поруч з однією

машиною S/R, причому дві стелажі не повинні розміщуватися поруч одна з одною [42, 43, 44, 45]. З іншого боку, AS/RS з подвійною глибиною стелажа містить дві стелажі, розташовані поруч одна з одною, а AS/RS з проходом подвійної ширини містить дві машини S/R, розміщені поруч одна з одною. Загалом, конструкція з більш ніж двома послідовними стелажми або двома послідовними машинами S/R називається багатоглибинною стелажею або багатошироким проходом (класифікується як AS/RS з глибоким проходом).

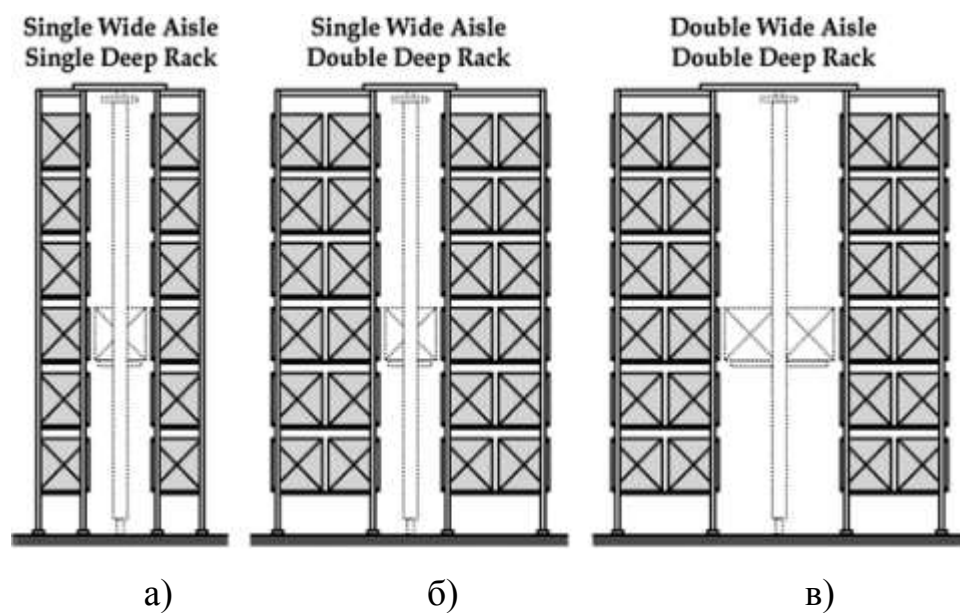


Рисунок 1.3 - Ширина та глибинна структура стелажів і проходів

Машина S/R — це робот кубоподібної геометрії, який містить два човникові приводи та каретку, як видно на малюнку. Рисунок 5. Машина S/R транспортує вантажі горизонтально та вертикально вздовж проходу від своєї каретки до певної комірки. Структура машини S/R порівнянна з конструкцією стелажа та проходу. Залежно від структури стелажа та проходу, існує безліч варіантів проектування розташування та кількості машин S/R, як показано на рис. 1.4, 1.5. Більша кількість машин S/R збільшує вартість, але підвищує ефективність.



Рисунок 1.4 – Підйомно-транспортна машина

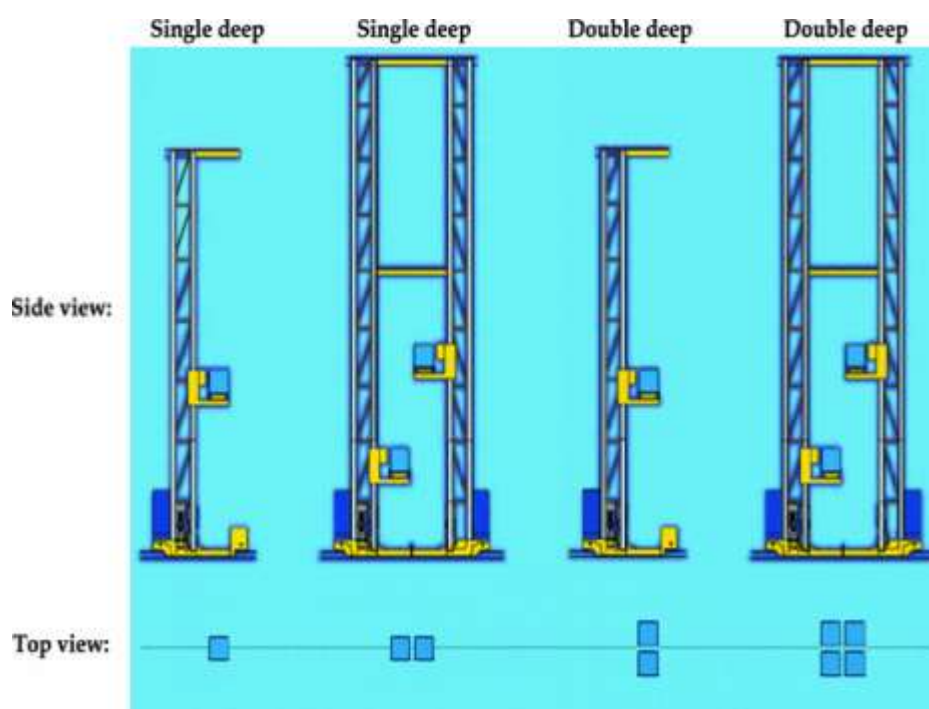


Рисунок 1.5 - Деякі типи структур S/R машини

1.2 Поширені типи дизайну складських систем

Стелажні склади/склади для зберігання одиничних вантажів є найпоширенішим типом систем, що використовуються для зберігання великих та стандартизованих вантажів, зазвичай на піддонах. Стелажні склади/склади для зберігання одиничних вантажів включають човникову систему, телескопічні вила та одно-/багатошарову стелажну конструкцію з проходом [46, 47, 48, 49]. Човникова система керується комп'ютерним керуванням, в якій висока щогла переносить кран кожного вантажу горизонтально та вертикально з високою швидкістю вздовж рейок через прохід для розміщення та вилучення. Маса переміщення становить до 1500 кілограмів на вантаж і може сягати до 40 метрів.



Рисунок 1.6 - Блокове завантаження AS/RS на піддонах

Міні-завантажувальні стелажі/стелажі AS/RS використовуються для зберігання невеликих вантажів, таких як окремі інструменти, деталі, що містяться в коробках, лотках або картонних коробках. Відносно подібні до стелажних стелажів/стелажів AS/RS з міні-завантаженням, вони використовують телескопічні вила в одно-/багатошаровій стелажній

конструкції з проходом. Оскільки товари набагато менші, система зазвичай використовує присоску, роботизовані маніпулятори або екстрактори. Стелажі/стелажі AS/RS з одиничним завантаженням можуть обробляти до 500 кілограмів на один вантаж, а довжина стелажної конструкції може становити до 25 метрів.



Рисунок 1.7 - Міні-завантаження AS/RS на лотки та картонні півки.

Глибокосмугова система AS/RS – це повністю автоматична система зберігання високої щільності, яка використовується для зберігання великої кількості накопичених вантажів. Глибокосмугова система AS/RS складається зі стелажної конструкції, сателітів, човникових конвеєрів, палет, підйомників та конвеєрів. Кожен стелаж має проточну конструкцію з двома різними режимами: «перший прийшов – перший вийшов» (FIFO), де човники заходять з одного кінця стелажа та виходять з протилежного кінця; «останній прийшов – перший вийшов», де човники заходять та виходять лише з одного кінця стелажа. Вантажі доступні лише з однієї або двох сторін залежно від конструкції стелажа. Човниковий конвеєр може витримувати вантажопідйомність 1500 кілограмів та рухатися з максимальною швидкістю 2 м/с.

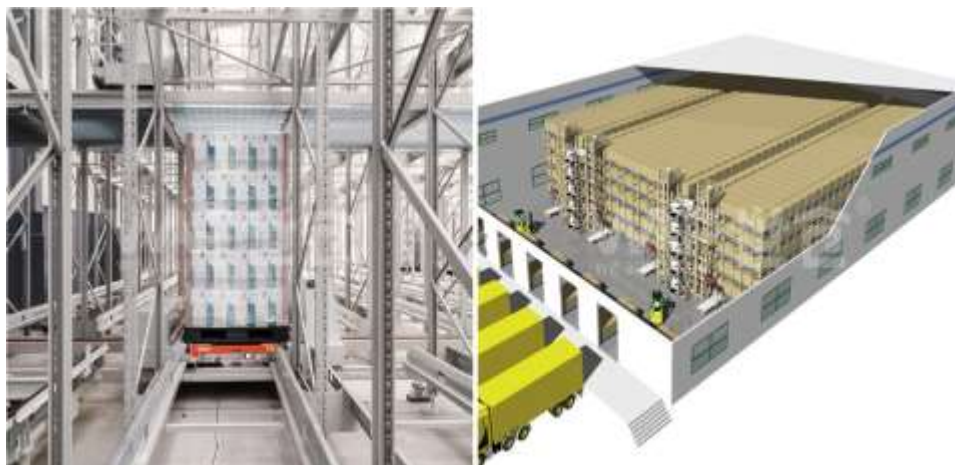


Рисунок 1.8 - Глубокий смуга AS/RS (багатоглибина).

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Проблеми проектування AS/RS

Основною причиною того, що більшість складів сьогодні впроваджують традиційний спосіб, є складність AS/RS. З огляду на величезну вартість компонентів та системи обробки, критично важливо ефективно проектувати AS/RS, яка відповідає поточним та прогнозованим майбутнім вимогам. Фізична структура AS/RS є негнучкою, вартість переміщення системи є значно високою. Таким чином, безумовно необхідно ретельно її проектувати з першої спроби. Оскільки AS/RS є частиною складу, вона повинна не тільки ефективно працювати всередині самої системи, але й бути сумісною з іншими системами на складі. Іншими словами, вимірювання продуктивності AS/RS також необхідно враховувати у зв'язку з рештою складу [50, 51, 52, 53]. Інші фактори проектування конструктивних AS/RS на практиці, такі як система входу/виходу, програмне забезпечення для управління, WMS (система управління складом), час у дорозі, планування складу, аналіз даних/економічний аналіз та вимірювання продуктивності не входили до обсягу цього дипломного проекту.

2.2 Використання програмованих логічних контролерів для систем складування

«Програмований логічний контролер (ПЛК) можна визначити як контролер на основі мікрокомп'ютера, який використовує збережені інструкції в програмованій пам'яті для реалізації логічних, послідовних, часових, лічильних та арифметичних функцій через цифрові або аналогові модулі вводу/виводу (В/В) для керування машинами та процесами.

Програмування – це метод, за допомогою якого інструкції керування через програмний пристрій передаються до ПЛК. Включаючи логічні вирази, послідовності, підрахунок та часові інструкції керування, представлені різними мовами програмування. Згідно зі стандартом Міжнародної електротехнічної комісії – IEC 61131-3, існує п'ять мов програмування ПЛК, три графічні та дві текстові мови, відповідно, сходинокні схеми (LD), послідовні функціональні схеми (SFC), функціональні блокові схеми (FBD), структурований текст (ST) та список інструкцій (IL). LD, SFC та FBD – це мови графічного типу, ST та IL – текстові мови. «IEC 61131-3 також зазначає, що п'ять мов повинні мати можливість взаємодіяти одна з одною, щоб забезпечити всі можливі рівні складності керування в будь-якій даній програмі». (Groover, 2016, с. 260)

Структурований текст (ST) – це мова високого рівня, що містить рядки коду, розділені крапкою з комою, та різні ключові слова (FOR, WHILE, IF, ELSE, ELSIF, CASE тощо), подібна до мови C. Головною особливістю мови ST є можливість виконання складних завдань, таких як математичні обчислення та алгоритми. Ці завдання, побудовані іншими графічними мовами, можуть виглядати надзвичайно заплутаними та складними. Список інструкцій (IL) – це мова низького рівня, яка містить серію інструкцій щодо зв'язків між компонентами та кожною сходинкою сходиноподібної діаграми. Діаграма функціональних блоків (FBD) – це графічна мова, що складається з окремо з'єднаних функціональних блоків, де кожен блок описує зв'язок входів і виходів. FBD технічно добре працює з елементами керування рухом і візуально легка для розуміння. Однак, FBD може бути дуже неорганізованою для усунення несправностей, оскільки блоки можна розмістити будь-де в одному рядку (мережі). Послідовна функціональна схема (SFC) ідентична блок-схемі. SFC відображає послідовність кроків і переходів, які переходять з одного стану системи в інший, встановлюючи умови на значення true або

false. SFC, серед інших типів, легко конструювати та усувати несправності, хоча він підходить не для всіх застосувань.

Сходиноподібна схема (LD) наразі є найпоширенішою мовою програмування ПЛК, яка схожа на вертикальні електричні схеми. Побудована у вигляді сходистоподібної структури, як-от рейки та шаблі, LD виражає логічні операції, такі як послідовність, лічба, час, математичні задачі, за допомогою символічної нотації. Символи та порядок виконання зверху вниз, зліва направо роблять логіку сходистоподібної схеми легкою для читання та розуміння. Електрики та персонал цехів, які не знайомі з комп'ютерним програмуванням, можуть зрозуміти логіку LD легше, ніж інші типи. Недоліками LD є труднощі в налаштуванні керування рухом та обробці складних математичних функцій та алгоритмів. Ці проблеми можна легко вирішити за допомогою інших типів мов програмування ПЛК.

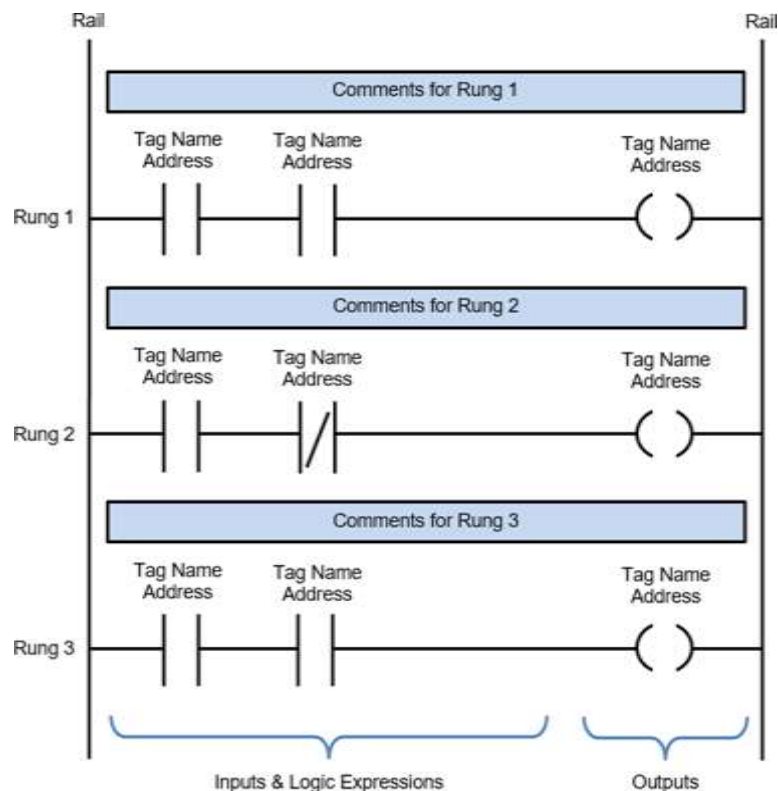


Рисунок 2.1 - Структура діаграма сходової логіки

У програмі TIA Portal, що використовується в цій дисертації, мовою програмування є Ladder Logic Diagram (позначення LAD у TIA Portal). У програмі найчастіше використовуваними логічними операціями є виходи «Призначення», «Встановлення» та «Скидання».

Вихід «Призначення» активує імпульс на вихідну котушку (встановлює вихід на «1») щоразу, коли вхідні сигнали дорівнюють «1». Іншими словами, значення виходу «Призначення» залежить від значень вхідних сигналів.

Виходи «Встановити» та «Скинути» зазвичай працюють як пара, оскільки обидва керують одним і тим самим виходом. Після встановлення виходу («1») він залишатиметься незмінним, доки його не скинуть («0»), і навпаки. Тому у великому проекті важливо керувати тим, де вихід встановлюється, а де скидається.

Програмні блоки.

У промисловому виробництві важливо розділити процес автоматизації на окремі та простіші завдання. Відповідно, ключем до організації структури програми є її розбиття на різні та самостійні розділи, також відомі як програмні блоки. Кожен блок пояснює певну функцію програми, що робить всю програму більш організованою та простішою для розуміння. Крім того, налагодження та подальші модифікації будуть набагато простішими.

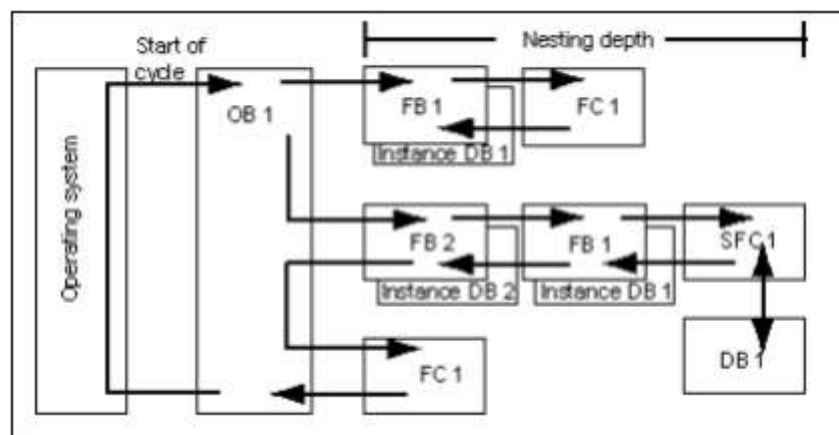


Рисунок 2.2 - Ієрархія виклику програмних блоків

Організаційні блоки (ОВ), також відомі як головний блок програми, створюють структуру інтерфейсу між користувацькою програмою та операційною системою. ОВ «Програмного циклу» виконується циклічно та містить інструкції для виклику інших блоків програми.

Функціональні блоки (ФБ) – це логічні блоки з функціональністю пам'яті. Статичні змінні та параметри, що переносяться до ФБ, зберігаються в екземплярній базі даних. Після завершення виконання ФБ дані, збережені в екземплярній базі даних, не втрачаються. Навпаки, тимчасові змінні, які зберігаються в локальному стеку даних, втрачаються після виконання ФБ. Функціональні блоки використовуються для складних та часто повторюваних програм.

Функції (ФФ) – це логічні блоки без функціональності пам'яті. Тимчасові змінні в ФФ, збережені в локальному стеку даних, втрачаються після виконання ФФ. Спільні блоки даних також можуть використовуватися для постійного збереження даних. Крім того, ФФ часто застосовуються в часто використовуваних завданнях, які виконуються шляхом виклику різних логічних блоків.

Блоки даних (БД). БД, на відміну від логічних блоків, є областями для зберігання даних користувача. Крім того, до спільних блоків даних, призначених функціональному блоку, можуть отримати доступ усі інші блоки. Розмір БД може відрізнятися залежно від максимального розміру процесора.

2.3 Вибір матеріалу

Протягом історії сталь та алюміній були двома найпоширенішими матеріалами, що використовувалися в будівництві, аерокосмічній промисловості, виробництві побутової техніки, а особливо в машинобудуванні та металообробці. Кожен матеріал має різні

характеристики, що підходять для різних застосувань. Вартість, гнучкість, стійкість до навколишнього середовища та застосування відіграють важливу роль у виборі матеріалу для проекту.

Вартість завжди є важливим фактором, який слід враховувати при купівлі будь-якого продукту. Сталь зазвичай дешевша за алюміній через нижчу ціну на сировину. Однак алюміній кращий через свою ковкість та антикорозійні властивості. Крім того, з алюмінієм легше працювати. На відміну від сталі, шматок алюмінію однакового розміру може витримати те саме граничне випробування без розтріскування та розривів під час обертання. Відповідно, для каркасу проекту було обрано алюміній.



Рисунок 2.3 - Порівняння алюмінію та вуглецевої сталі

2.4 Вибір компонентів лінійного керування рухом

Лінійний рух – це одновимірний рух по прямій лінії. Інженерний прогрес у лінійному русі дозволив розробити різноманітні варіанти для структур керованих виконавчих механізмів. Технологія має широкий спектр варіантів, і серед них є деякі важливі механізми, які роблять величезний внесок у трансформацію сучасного лінійного руху, такі як ремінний привід,

ланцюговий привід, ходовий гвинт, кульковий гвинт, лінійний двигун та роликові шестерні.

Однак, обираючи між цими типами механізмів, необхідно враховувати багато важливих критеріїв. Деякі з основних факторів включають орієнтацію, навантаження, довжину ходу, швидкість, точність та витривалість в умовах навколишнього середовища. Точність можна розділити на точність та повторюваність. Точність вимірює, наскільки точно вузол може переміщувати вантаж до потрібної кінцевої точки в межах невеликого допуску. З іншого боку, повторюваність – це міра ступеня, до якої ведений кластер може безперервно переміщувати вантаж в одне й те саме положення. Крім того, витрати також по суті задіяні у виборі механізму системи.

Оскільки витрати покривають не лише початкові, але й довгострокові витрати на обслуговування під час експлуатації, слід провести належну оцінку, щоб вибрати найбільш підходящий пристрій для застосування системи (ходовий гвинт або ремінний привод тощо).

Поширені типи лінійних структур:

- Ходовий гвинт використовує спіральну структуру різьби для перетворення руху в лінійний. Однак через велику площу контакту між різьбою вала та гайкою виникають великі втрати на тертя. Тому ходовий гвинт менш ефективний та точний порівняно з кульковим гвинтом. Ходовий гвинт має порівняно високу несучу здатність.



Рисунок 2.4 - Ходовий гвинт

Хоча несуча здатність менша, ніж у кулькового гвинта, однією з основних переваг ходового гвинта є ціна, вартість якої зазвичай становить лише одну десяту від вартості його відносного родича – кулькового гвинта.

- Конструкція кулькового гвинта складається з гвинтового вала та кулькової гайки з рециркуляційними підшипниками, що досягається за допомогою зворотної труби. Навантаження розподіляється між тілами кочення; отже, тертя зменшується, а об'єм великого навантаження збільшується. Більше того, завдяки низькому рівню тертя, точність може бути досягнута в кульковому гвинті. Однак, кульковий гвинт здається дорогим, і для підтримки його стану потрібне часте змащування. Зрештою, кульковий гвинт схильний до шуму, спричиненого рециркуляцією кульок.



Рисунок 2.5 - Конструкція кулькового гвинта

- Ремінний привід зазвичай обирають через його високу швидкість, довгий хід, низький рівень шуму та відносно невибагливі умови обслуговування.



Рисунок 2.6 - Ремінний привід.

Однак точність та вантажопідйомність ремінного приводу не такі високі, як у ходового/кулькового гвинта. Крім того, жорсткість та розтягування є додатковими недоліками

- Ланцюговий привід (проілюстровано на Рисунок 19), перетворює обертальний рух на лінійний за допомогою роликового ланцюга (відомого як ланки ланцюга), що входить у зачеплення із зірочкою. Завдяки металевому матеріалу, ланцюгова передача здатна працювати в складних умовах і не легко пошкоджується сонячним світлом або ерозією. Тим не менш, ланцюговий тип передачі створює більше шуму та вібрації, ніж ремінна передача.

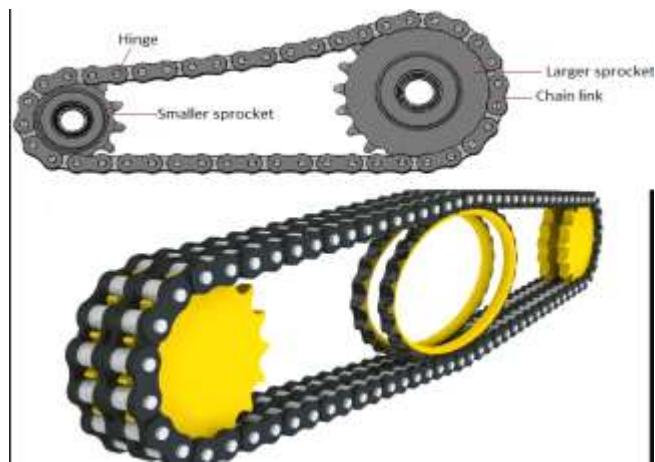


Рисунок 2.7 - Ланцюг привід

- Рейка та шестерня (як показано на Рисунок 20), являє собою складений комплект, в якому кругла шестерня (також відома як шестерня) входить у зачеплення з лінійною шестернею (рейкою) для перетворення обертального руху на лінійний. Рейка забезпечує плавніший хід на високій швидкості та великий об'єм навантаження завдяки більшому коефіцієнту контакту зуба. Для забезпечення належної роботи змащування є обов'язковим. Оскільки комплекти рейок і шестерень мають порівняно мало деталей, вони допомагають заощадити час під час складання та підвищити надійність.

Високий ступінь точності досягається навіть під час тривалих подорожей

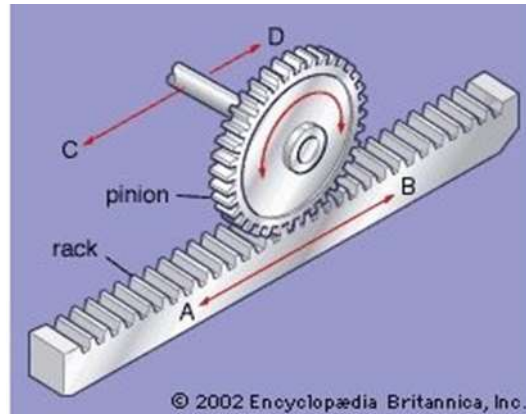


Рисунок 2.8 - Комплект шестерні та рейки

Ходовий гвинт

Ходовий гвинт був обраний для проекту завдяки високій точності та повторюваності положення під час лінійного руху. Крім того, ходовий гвинт має конкурентну ціну та нижчі витрати на обслуговування порівняно з іншими типами конструкцій лінійного руху. Він також є кращим з міркувань безпеки. Завдяки механізму утримання, можна запобігти падінню або зміщенню у вертикальних застосуваннях у разі відключення електроенергії. Термінологія гвинтів включає два пов'язані фундаментальні поняття зовнішньої конструкції: крок та вигин. Оскільки в більшості поширених гвинтів крок та вигин однакові, їх легко сплутати.

Виток різьби – це відстань від канавок одного витка до іншого. Крок різьби – це відстань ходу, яку гайка може пройти по осі гвинта за один повний оберт. У однозахідних гвинтах крок різьби та крок різьби рівні. Для багатозахідних гвинтів крок різьби дорівнює діленню кроку різьби на кількість заходів

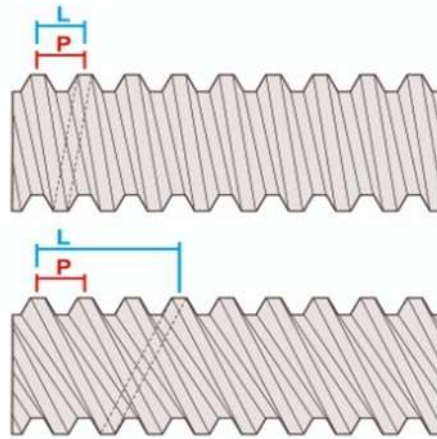


Рисунок 2.9 - Крок і свинець на гвинті

Види ниток:

- Однозахідний: З кожним обертом гвинта гайка переміщується на 2 мм. Це забезпечує вищу роздільну здатність і крутний момент, але з меншою швидкістю руху.
- Двозахідний: кожен оберт переміщується на 4 мм. Для багатьох застосувань це розумний баланс між швидкістю та крутним моментом.
- Чотириходовий: кожен оберт переміщується на 8 мм. Досягається швидкий рух, але за рахунок втрати крутного моменту двигун повинен витримувати більше навантаження. Крім того, велике навантаження може спричинити зворотний рух гвинта. Таким чином, вага вантажу може призвести до самопровертання гвинта.

У роботі для точності та високого крутного моменту використовувалися одноходові ходові гвинти.

Лінійні направляючі

Лінійна напрямна — це набір рухомих кареток, що працюють на лінійному компоненті, який називається рейкою.

Для отримання точного та повторюваного лінійного руху лінійна вісь повинна бути достатньо стійкою, щоб уникнути відхилення в небажаних напрямках. Окрім лінійного приводу для створення лінійного руху, стійкості

можна досягти лише шляхом поєднання системи з лінійною напрямною для обмеження руху по прямій лінії.

Існує кілька типів лінійних напрямних, які класифікуються за їхніми характеристиками та застосуванням.

- Звичайні лінійні ковзання, які зазвичай бувають двох типів: коробчасті та ластівчин хвіст. Як правило, звичайні ковзання мають високу вантажопідйомність і зазвичай використовуються в штампувальних цехах і верстатах. Однак, ковзна конструкція звичайних лінійних ковзань створює високе тертя, що робить їх поганим варіантом для автоматизації.



Рисунок 2.10 - Рівнина лінійний слайд

- Лінійна втулка — це лінійна напрямна на кульковій основі, яка використовується в поєднанні з циліндричною віссю. Ця система пропонує лінійні рухи з низьким опором тертя для забезпечення точної та швидкої роботи.



Рисунок 2.11 – Лінійна направляюча

- Плоский ролик – це базова лінійна напрямна, що складається з кількох прецизійних роликів, утримуваних пресованою сталевією пластинією. Цей продукт підходить для великих машин, які потребують високої жорсткості з мінімальним коефіцієнтом тертя та легкого встановлення.



Рисунок 2.12 - Плоский ролик

- Роликовий стіл з перехресними роликами — це легкий, високожорсткий, високоточний лінійний напрямний блок з обмеженим ходом та інтегрованими поперечними роликовими напрямними. Така архітектура пропонує просте встановлення та високоточну лінійну напрямну.



Рисунок 2.13 - Поперечний роликовий стіл

Тип лінійної втулки був обраний для лінійної напрямної конструкції завдяки ефективності та точності, які вона забезпечує за відносно низької вартості. Подвійна лінійна втулка-направляюча, за умови правильної конструкції, забезпечує комфортний плавний рух і високу вантажопідйомність. Крім того, лінійні втулки є легкодоступними компонентами.



Рисунок 2.14 - Лінійний кущовий набір

2.5 Вибір електронних засобів для керування прототипом складу

Драйвер крокового двигуна.

Теоретично, кроковий двигун може безпосередньо керуватися контролером. Однак насправді вихідний струм і напруга контролера або занадто малі, або занадто великі для керування кроковим двигуном. Контролер ПЛК здатний видавати струм з малими амперами. Тим часом, для руху крокового двигуна потрібен широкий діапазон струму від 0,5 А до 4 А. Тому нам потрібен додатковий інструмент, який задовольняє потреби достатньої роботи.

Мікрокроковий драйвер TB6600 (показано на Рисунок 27), що є спеціалізованим модулем для керування біполярними двофазними кроковими двигунами, побудовано на мікросхемі контролера Toshiba TB67S109AFTG (Bakker, 2018). Драйвер має можливість керувати режимом повного кроку, півкроку, мікрокроку ($1/4$, $1/8$, $1/16$ та $1/32$ кроку), який можна встановити на апаратному рівні модуля. З робочим струмом 0,5–4 А, цей модуль драйвера є ідеальним варіантом для крокових двигунів, наприклад, NEMA13, NEMA17 тощо. Драйвер оснащений вбудованими функціями безпеки, такими як захист від перегріву, перевантаження по струму, захист від низької напруги.

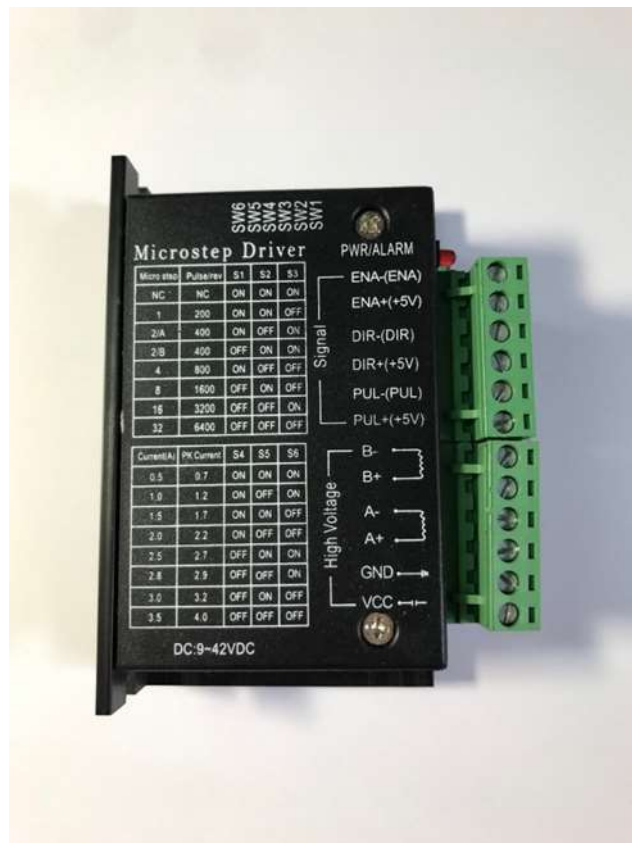


Рисунок 2.15 - TB6600 драйвер крокового двигуна

Модуль TB6600 використовує джерело живлення 9-42 В постійного струму для роботи крокового двигуна; рекомендується 36 В постійного струму.

Драйвер двигуна складається з кількох блоків:

- Блок драйвера двигуна використовує мікросхему TB67S109AFTG для керування роботою крокового двигуна.
- Блок оптичної ізоляції ізолює сигнал керування від блоку драйвера двигуна.
- Блок керуючих сигналів містить 6 контактів:
 - ENA-, ENA+: Сигнал вмикає/вимикає роботу модуля.
 - DIR-, DIR +: Сигнал керує напрямком обертання двигуна.
 - PUL-, PUL+: Імпульсний сигнал керує обертанням двигуна.

Завдяки 2-контактній конструкції для керування функціями, модуль TB6600 дозволяє користувачеві вибрати схему підключення як із загальним катодом, так і із загальним анодом. Система керування 5 В може бути безпосередньо підключена до контакту керування драйвера крокового двигуна. Однак, якщо джерело живлення перевищує +5 В, необхідно додати резистор обмеження струму. Це забезпечить вихідний струм 8-15 мА на контакті системи керування для ефективної роботи внутрішнього чіпа.

Проведення із загальним анодом (рис. 2.16) здійснюється шляхом підключення контактів ENA+, DIR+, PUL+ до контролера 5 VDC. Контакти ENA-, DIR-, PUL- підключені до вихідних клем контролера.

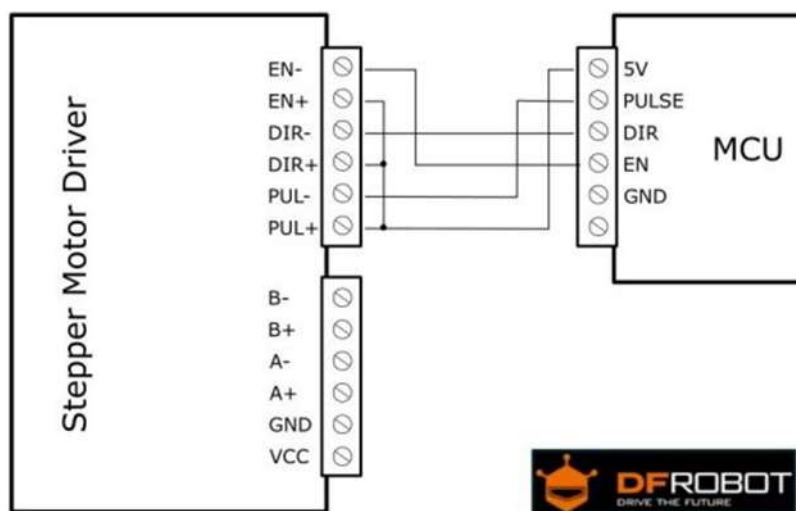


Рисунок 2.16 - З'єднання із загальним анодом.

З'єднання із загальним катодом, як показано на Рисунок 2.17, здійснюється шляхом підключення контактів ENA-, DIR-, PUL- до клем заземлення контролера, контакти ENA+, DIR+, PUL+ підключаються до вихідних клем контролера.

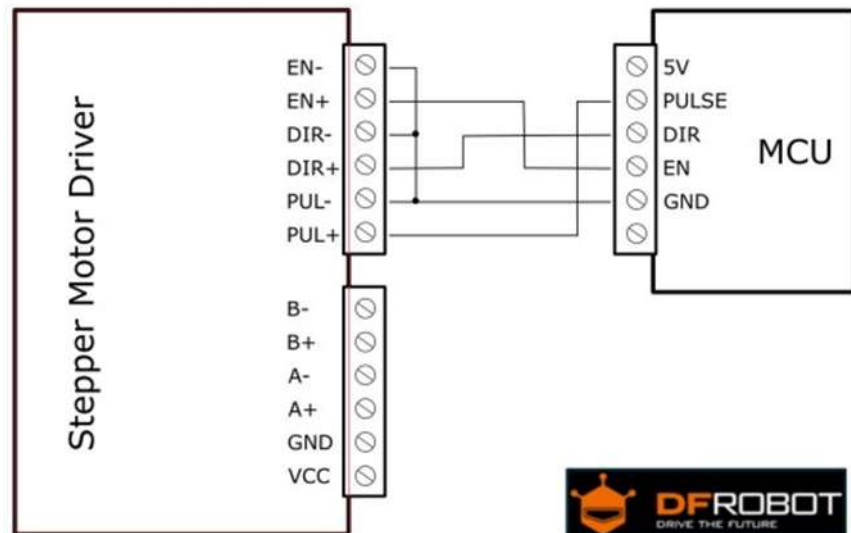


Рисунок 2.17 - З'єднання із загальним катодом

- Блок обмотки двигуна містить чотири контакти: A+, A-, B+, B-, що дозволяють підключити біполярний кроковий двигун та чотири кінці.

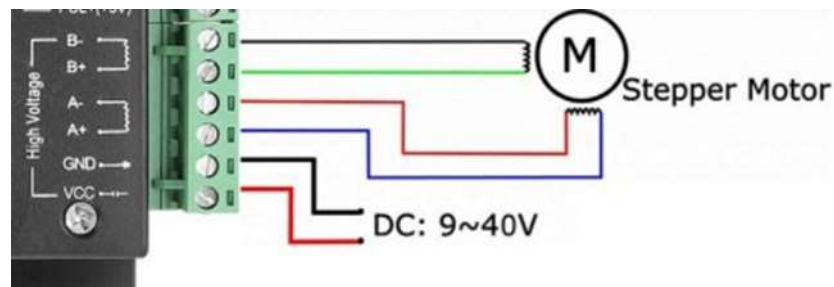


Рисунок 2.18 - Потужність з'єднання обмотки живлення та двигуна

- Блок налаштування режиму містить перемикачі, які дозволяють користувачам вибирати додаткові режими регулювання струму та ширини кроку. Вибір струму регулює вихідний струм крокового двигуна.

Мікрокрокове налаштування встановлює мікрокроки для схеми драйвера. Наприклад, якщо двигун має кут обертання 1,8 градуса, то один вхідний імпульс змусить двигун обертатися на 1,8 градуса, 200 імпульсів повернуть двигун на один оберт. З мікрокроком 1/2, 1/8, 1/16 один імпульс

відповідно обертатиме двигун на $1/2$, $1/8$, $1/16$ від $1,8$ градуса. Загалом, чим менший режим збудження (мікрокроку), тим тихіша та плавніша робота.

Кроковий двигун.

Кроковий двигун — це безщітковий синхронний двигун постійного струму, який перетворює

імпульси змінюються на точний дискретний кут («крок»).

Кроковий двигун класифікується на три основні типи:

Кроковий двигун з постійними магнітами (PMS): На відміну від інших типів крокових двигунів, ротор крокового двигуна з постійними магнітами не має зубців і виготовлений з постійного магніту. Коли котушки статора двигуна підключені до джерела постійного струму, магнітне поле з північним і південним полюсами можна міняти місцями шляхом послідовного перемикання потоку струму. Відповідно, це обертове магнітне поле від статора змушує постійний магніт ротора обертатися на певний кут, щоб вирівнятися з полюсом статора. Кроковий двигун з постійними магнітами має високий крутний момент, а також великий кут кроку.

Двигун зі змінним реактивним опором (VRM): Ротор виготовлений зі звичайного м'якого заліза, а статор має більше зубців, ніж ротор. Обмотки статора живляться послідовно, так що одночасно лише одна пара зубців ротора вирівнюється зі статором. Двигун працює на основі виникнення мінімального реактивного опору з мінімальним зазором. В результаті, кінчики ротора будуть притягуватися до полюсів магніту статора. Недоліком є відсутність постійного магніту, що негативно впливає на крутний момент.

Гібридний тип (HSM) поєднав у собі елементи крокового двигуна зі змінною реактивністю та крокового двигуна з постійними магнітами. Гібридний кроковий двигун має намагнічений ротор із зубчастими сталевими чашками-корпусами, виготовленими з м'якого заліза. Таким чином, один кінець ротора стає південним полюсом, а інший кінець - північним полюсом. Зубці на двох чашках вирівняні на певний градус один відносно одного. Коли

статор подається напруга, зубці ротора рухаються та вирівнюються із зубцями статора. Кожен з цих рухів становить $\frac{1}{4}$ зубця ротора (для двофазного статора). Оскільки звичайний гібридний ротор має 50 зубців, двигун робить 200 кроків за оберт. Тому довжину кожного кроку можна просто розрахувати за кількістю зубців ротора:

Наприклад, гібридний кроковий двигун (2-фазний статор) з 18 зубцями ротора має кут кроку 5° . Тим часом гібридний кроковий двигун (5-фазний статор) створює $0,72^\circ$ з 50 зубцями ротора.

Згідно з опитуванням, проведеним Гаррісом, Анджарголі, Лоуренсоном, Хьюзом та Ертаном, при тому ж заданому об'ємі двигуна гібридний кроковий двигун створює більший крутний момент і менший крок, ніж двигун зі змінним реактивним струмом.

Уніполярний кроковий двигун з 6-8 проводами можна розглядати як «універсальний» двигун, який можна гнучко використовувати як біполярний або уніполярний двигун, залежно від способу підключення двигуна.

- 4-провідний: тільки біполярний
- 5-провідний: тільки однополярний
- 6-провідний: або однополярний, або біполярний
- 8-провідний: або однополярний, або біполярний

Для двигуна з 6 виводами, якщо центральні виводи кожної котушки з'єднати разом, він стає уніполярним двигуном. Тоді як для використання крокового двигуна в біполярному режимі центральні виводи не повинні бути з'єднані, щоб котушки використовували лише свої два кінцеві виводи.

Крокові двигуни бувають різних форм, об'ємів та конфігурацій, і для правильного використання крокового двигуна необхідно враховувати підключення проводів. Тому, щоб визначити підключення проводів, існує кілька методів визначення положення виводів на котушці.

- Знайдіть інструкцію з експлуатації крокового двигуна. Гарний технічний паспорт містить усю необхідну інформацію про характеристики компонента, від номінальних значень напруги-струму до розташування виводів.
- Використовуйте омметр як інструмент для ідентифікації виводів котушки. Будь-які виводи, що мають опір між собою, є частинами однієї котушки. Виводи, виміряні без опору, є частинами різних катушок. Опір між двома кінцями однієї котушки вдвічі перевищує опір між кінцевим та центральним виводами. Після визначення виводів котушки один кінець котушки можна підключити до «+», а інший — до «-». Підключення може бути як зворотним, так і прямим. Якщо двигун обертається в небажаному напрямку, це можна просто виправити, змінивши місцями одну з пар проводів котушки.

3 КОСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Розробка конструкції полиць

Дві вертикальні полиці (ліва та права) були чітко розміщені на двох протилежних сторонах основи, що залишало прохід для роботи машини A/S (проілюстровано на Рисунок 48). Щоб вирішити проблему економії місця, кожна полиця була спроектована з двома поверхами. На кожному поверсі було 3 слоти для зберігання/вилучення вантажу, що загалом складало 12 слотів. Таке ж місце для зберігання/вилучення було розташоване поруч із правою полицею.

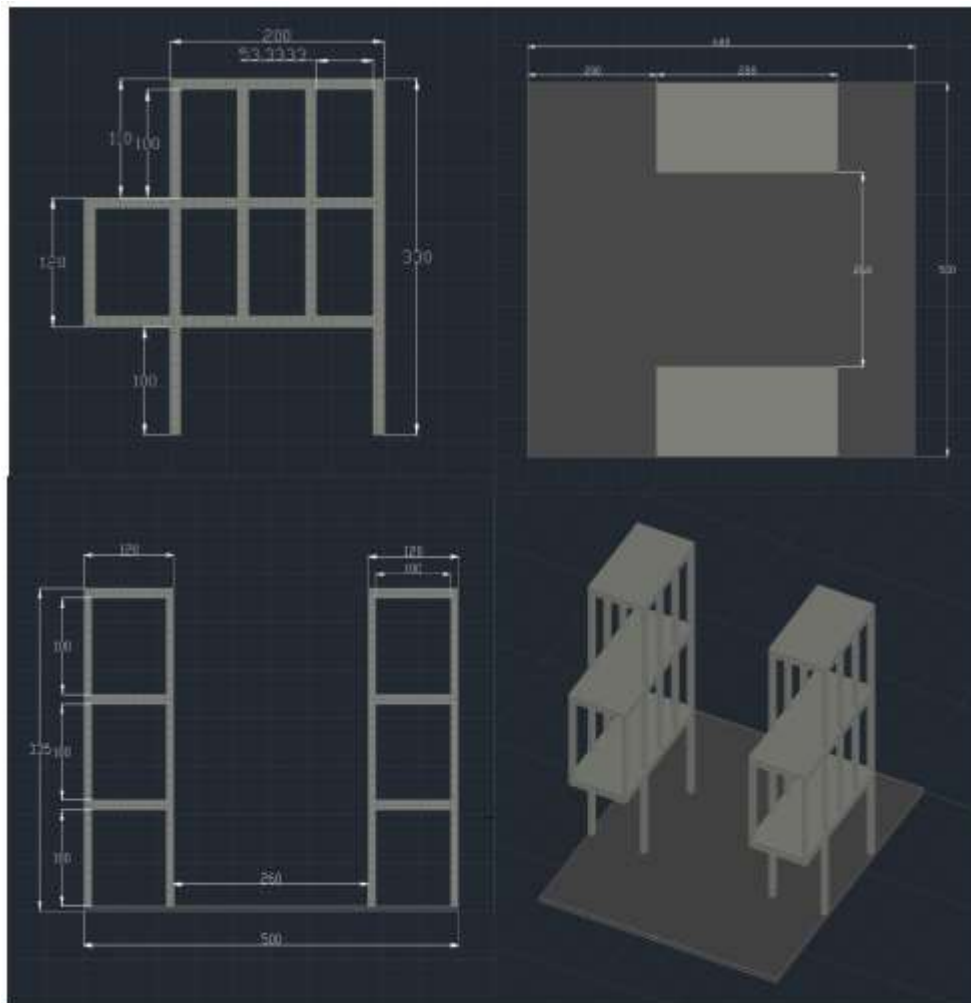


Рисунок 3.1 - Структура та розміри полиць

3.2 Розташування осей

У цьому розділі ілюструється проектування руху системи AS/RS. Для того, щоб спроектувати систему, яка могла б передавати вантаж на дві окремі полиці, структура машини S/R була розділена на чотири основні осі. По-перше, вісь X забезпечувала лінійний рух, який допомагав переносити/знімати вантаж на полицю/з неї. По-друге, вісь Y забезпечувала лінійний рух, який переміщався вздовж проходу. Потім, вісь Z забезпечувала лінійний рух, який допомагав піднімати/опускати вантаж. Нарешті, вісь T забезпечувала обертальний рух, який допомагав переміщувати вантаж вперед і назад між правою та лівою полицями. Початкова конструкція, як показано на Рисунок 49, полягало в тому, щоб розділити конструкцію на 2 частини: нижню та верхню частини машини S/R. Нижня частина складалася з Y та T, а верхня частина — з Z та X.

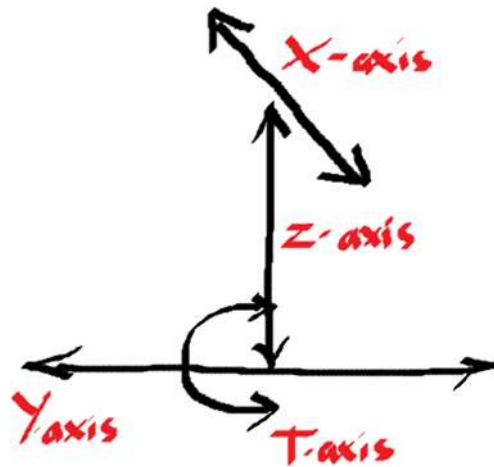


Рисунок 3.2 - Перший дизайн механізму S/R

Цю конструкцію було розглянуто серйозно. Оскільки нижня частина корпусу мала нести більшу вагу, вісь T мала забезпечувати значний крутний момент для повороту всієї машини зліва направо і навпаки. Було розглянуто пневматичний привід обертання на 180 градусів, оскільки він міг створювати широкий діапазон крутного моменту. Однак, хоча тиск повітря можна було

контролювати, щоб забезпечити машині AS/RS бажану швидкість і крутний момент, складність встановлення пневматичного приводу була проблемою для проекту. Крім того, пневматичний привід не був економічним варіантом і легкодоступним компонентом.

Другий дизайн (рис. 3.3) було розроблено для вирішення труднощів з встановленням та цінових питань. Рішенням було використання X та Y для нижньої частини корпусу та Z та T для верхньої частини верстата S/R. В результаті, вісь T була звільнена від важкої конструкції, що несе, і вся система синхронно працювала в одному механізмі гвинтового приводу.

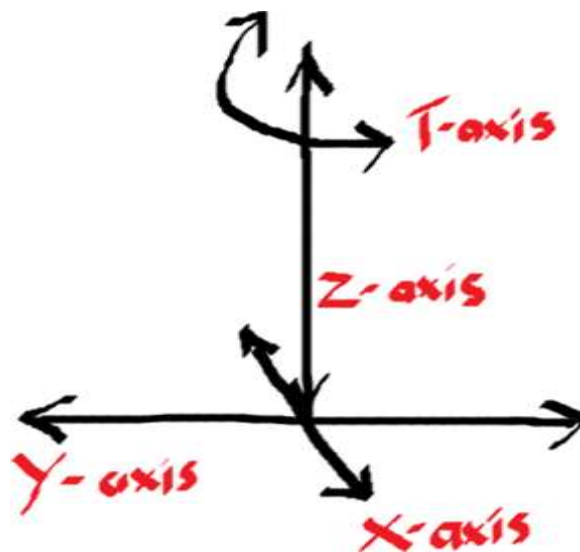


Рисунок 3.3 - Остаточний дизайн руху

Реалізація осі Y.

Вісь Y (рис. 3.4) складався з алюмінієвої базової платформи розміром 500x600 мм, основної системи ходового гвинта та лінійної оптичної напрямної осі. Лінійна напрямна являла собою комплект сталеві оптичної рейки довжиною 600 мм діаметром 8 мм, яка стабільно підтримувалася на двох кінцях двома підшипниками KP08. Для надійного спрямування навантаження в потрібному напрямку використовувалися два кулькові лінійні втулкові підшипники SC8UU. Основний ходовий гвинт був виготовлений з гайкою T8, покритою кронштейном корпусу гайки, який

переміщався на ходовому гвинті Т8 довжиною 500 мм. Вал ходового гвинта підтримувався двома кронштейнами підшипників КР08 на кожному з його кінців. Потім для з'єднання ходового гвинта з валом двигуна була прикріплена гнучка муфта 5х8.

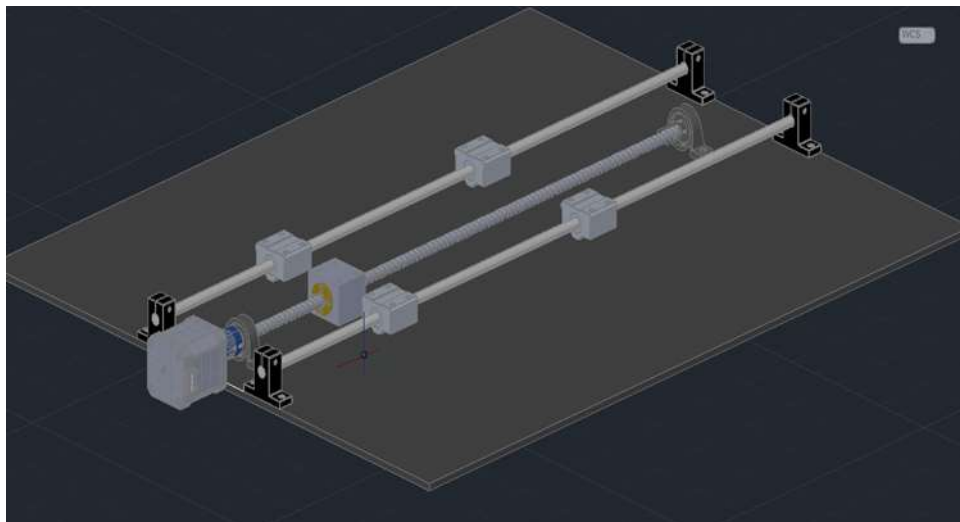


Рисунок 3.4 - Структура по осі Y

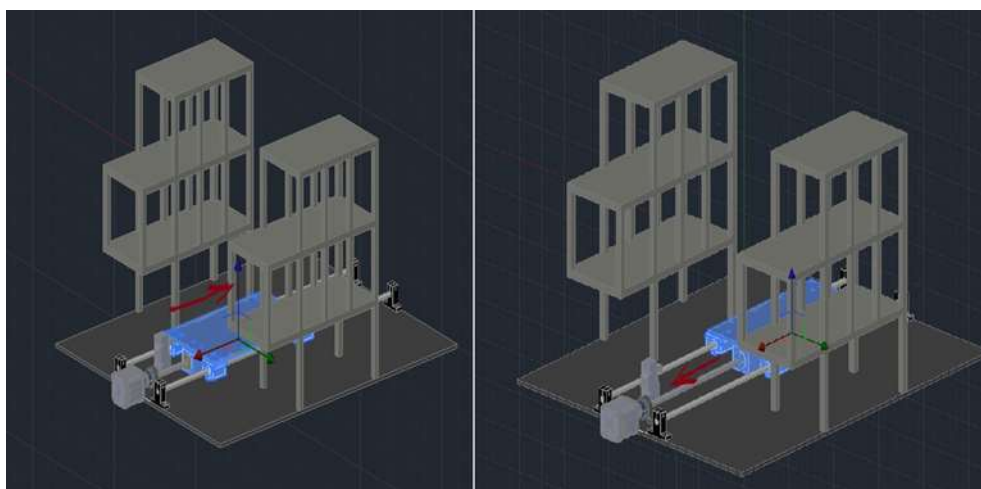


Рисунок 3.5 - Вид руху осі Y, вид збоку

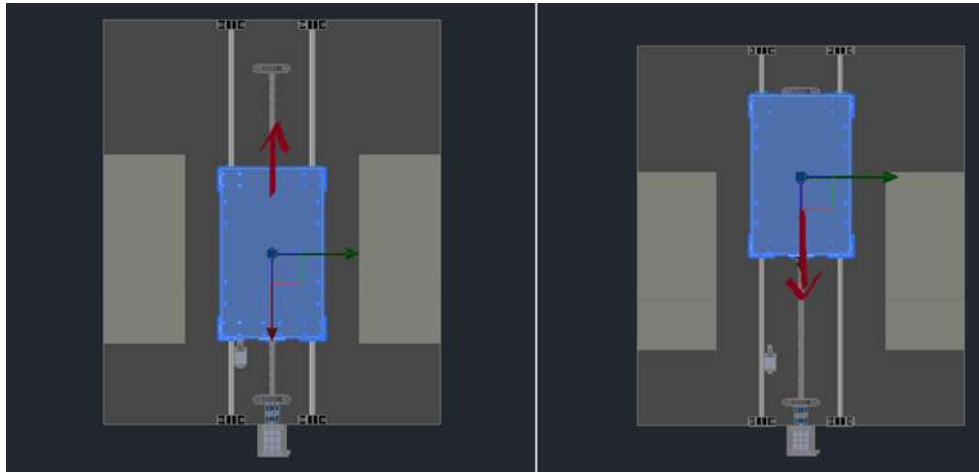


Рисунок 3.6 - Вид руху осі Y, вид зверху

Реалізація осі X.

Подібно до осі Y, вісь X (рис. 3.7) було виготовлено з алюмінієвої базової платформи 150x250 мм, основної системи ходового гвинта та лінійної оптичної напрямної осі. Лінійна напрямна являла собою комплект сталевих оптичних рейки діаметром 8 мм, яка стабільно підтримувалася на двох кінцях двома підшипниками КР08. Для надійного спрямування навантаження в потрібному напрямку використовувалися два кулькові лінійні втулкові підшипники SC8UU. Основний ходовий гвинт був виготовлений з гайкою Т8, покритою кронштейном корпусу гайки, який переміщався на ходовому гвинті Т8 діаметром 110 мм. Вал ходового гвинта підтримувався двома кронштейнами підшипників КР08 на кожному з його кінців. Потім для з'єднання ходового гвинта з валом двигуна використовувалася гнучка муфта 5x8.

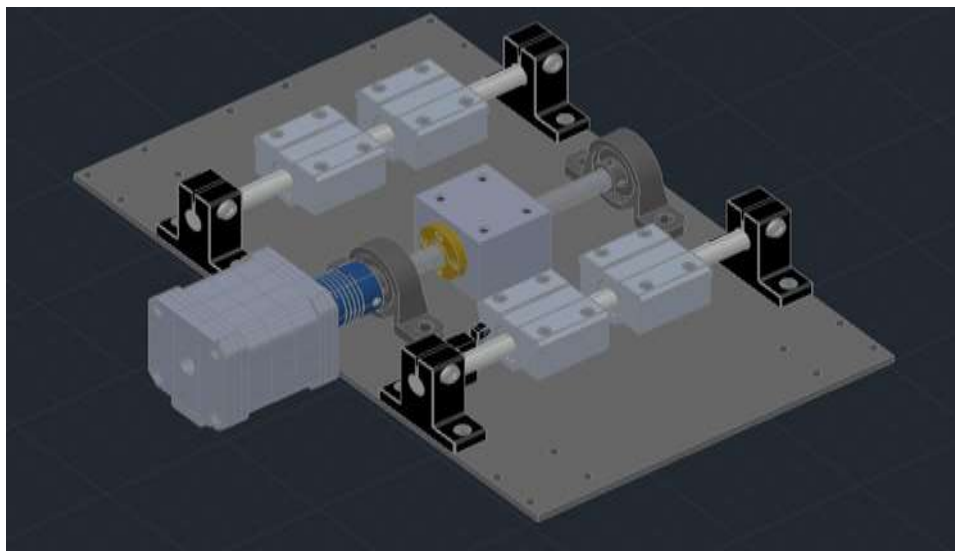


Рисунок 3.7 - Структура по осі X

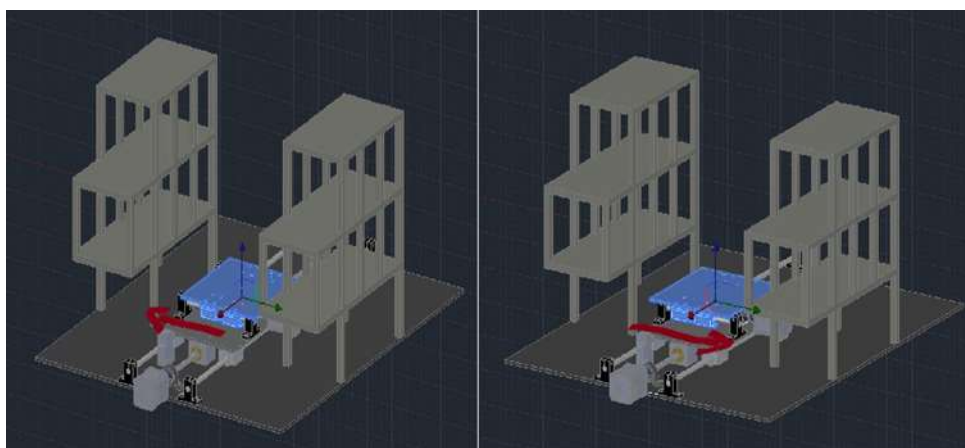


Рисунок 3.8 – Рух по осі X, вид збоку

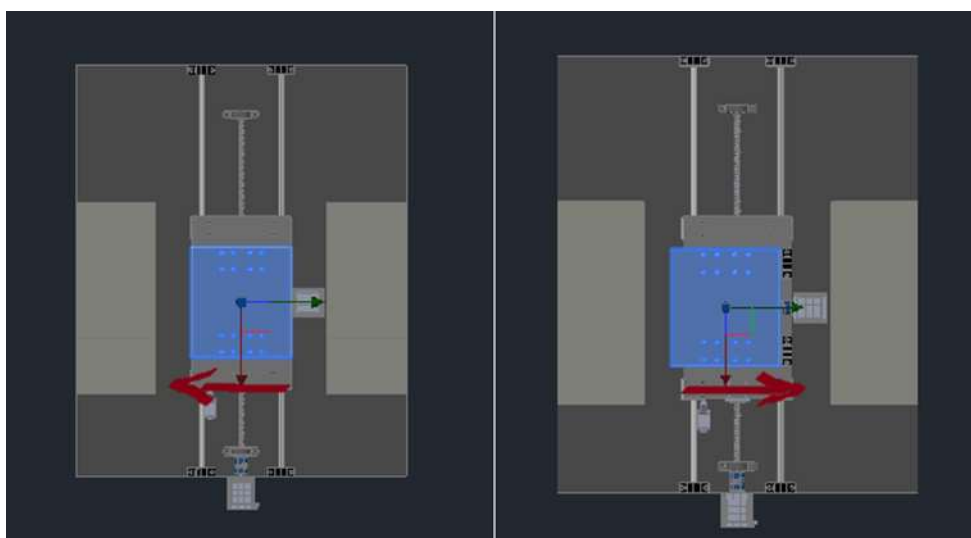


Рисунок 3.9 – Рух по осі X, вид зверху

Реалізація осі Z.

Вісь Z (рис. 3.10) складалася з алюмінієвої базової платформи розміром 150x250 мм, основної системи ходового гвинта та лінійної напрямної системи. Алюмінієвий екструзійний профіль 2040 V-подібних пазів діаметром 250 мм (рис. 3.11) та чотири штуки V-подібних шлицевих коліс типу В з підшипником 625ZZ (рис. 3.12) були обрані для лінійної напрямної системи. Щоб обмежити рух головного ходового гвинта потрібною прямим штифтом, колеса з V-подібними пазами були прикручені до вертикального алюмінієвого базового несучого елемента розміром 100x100 мм, щоб мати змогу рухатися вздовж екструзійної рейки з V-подібними пазами. Головний ходовий гвинт був виготовлений з гайки Т8, покритої кронштейном корпусу гайки, який рухався на ходовому гвинті Т8 200 мм. Головка гвинта була встановлена за допомогою жорсткої муфти 5x8. Крім того, для розміщення двигуна поверх осі Z, до верхньої частини рами екструзії з V-подібними пазами була прикручена алюмінієва основа 45x80 мм.



Рисунок 3.10 - Структура осі Z



Рисунок 3.11 - V-подібний алюмінієвий екструзійний профіль.



Рисунок 3.12 - V-подібний паз типи коліс з підшипниками

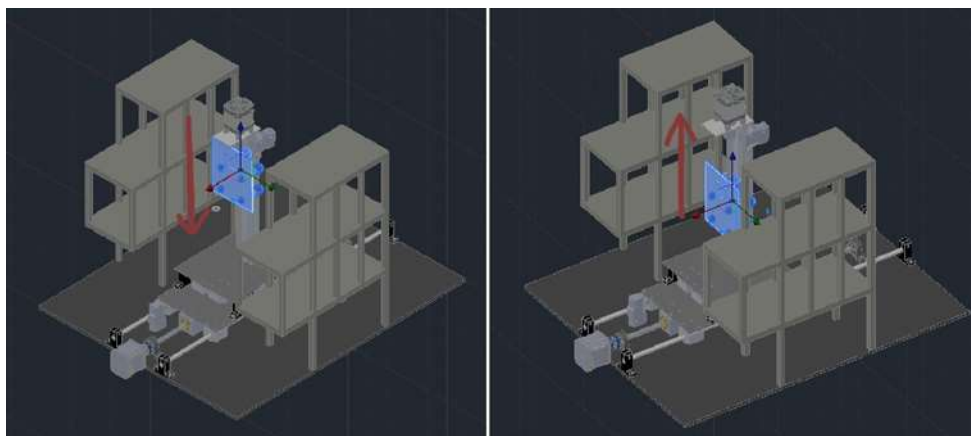


Рисунок 3.13 – Рух по осі Z, вид збоку

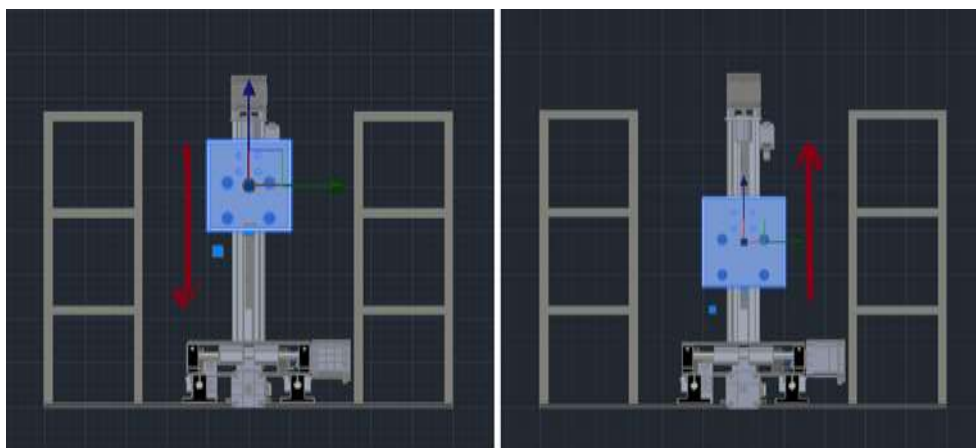


Рисунок 3.14 – Рух по осі Z, вид спереду

Реалізація осі Т.

Вісь Т (рис. 3.15) складається з алюмінієвої основи 100x100 мм, двох алюмінієвих екструзійних профілів 2020 V-подібних пазів діаметром 80 мм (Рисунок 63), головну обертову гвинтову систему та темний вилковий навантажувач, посилений слюдою. Двигун було розміщено зверху алюмінієвої основи. З обох боків використовувалися V-подібні екструзії для кріплення датчиків Т-лівого та Т-правого стовбурів. Основна гвинтова система обертання була зібрана з шестигранного болта М8 60 мм з жорстким з'єднанням 5x8, встановленим на його кінці. Для забезпечення жорсткості вилки до навантажувача було додано гайки та плоскі шайби для його фіксації у фіксованому положенні.

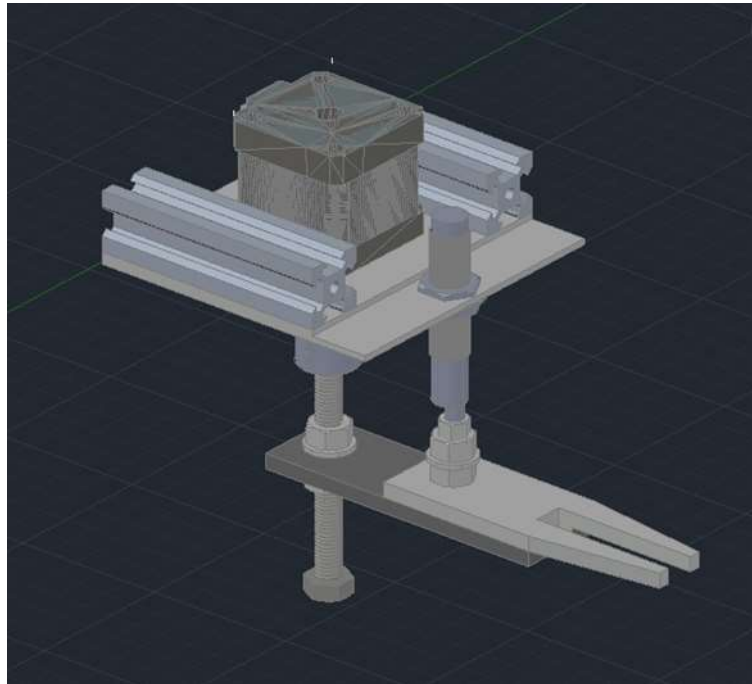


Рисунок 3.15 - Структура осі Т



Рисунок 3.16 - V-подібний алюмінієвий екструзійний профіль.

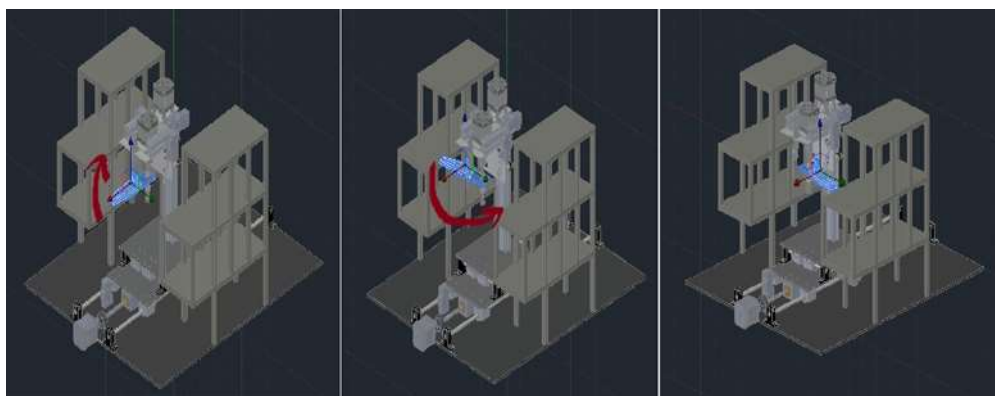


Рисунок 3.17 - Рух по осі T, вид збоку

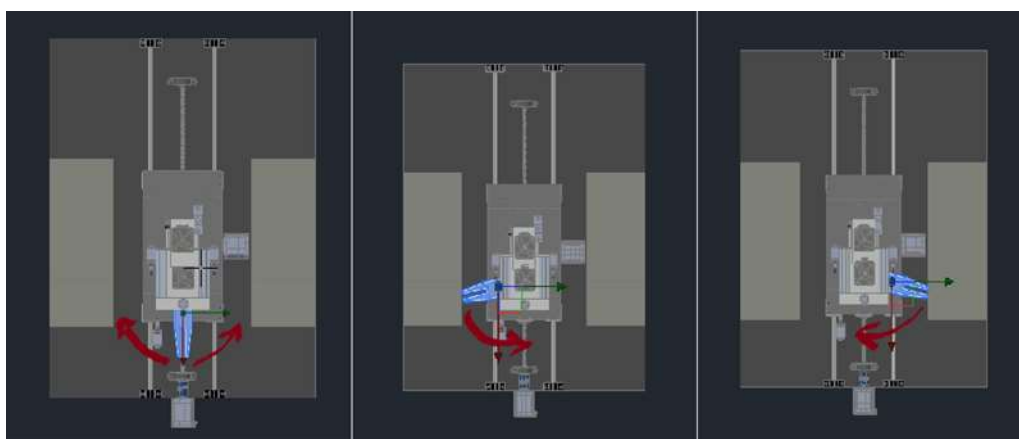


Рисунок 3.18 - Рух по осі T, вид зверху

3.3 Схема підключення та розташування обладнання

Блок живлення був розділений на два блоки (показано на Рисунок 66). Першим блоком Т1 був силовий модуль SIMATIC PM1207, спеціалізований для використання з ПЛК S7 1200. Цей модуль може видавати 24 В постійного струму з номінальним струмом 2,5 А.

Другий блок Т2 використовувався для драйверів крокових двигунів. Було враховано вихідний струм джерела живлення. Джерело живлення повинно відповідати потребам загального споживання струму, щоб забезпечити належну та ефективну роботу компонентів. Оскільки чотири драйвери крокових двигунів були з'єднані паралельно, і кожен з драйверів потребував 0-5 А, необхідний вихідний струм можна розрахувати за рівнянням нижче:

$$I_{Required} \leq I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 5 + 5 + 5 + 5 = 20A \quad (3.1)$$

Необхідний струм має бути менше або дорівнювати 20 А. Більше того, оскільки кожному з драйверів крокових двигунів потрібно було лише 2 А, відповідний вихідний струм для джерела живлення було розраховано наступним чином:

$$I_{Sum} \approx I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \approx 2 + 2 + 2 + 2 \approx 8A \quad (3.2)$$

Тому було обрано імпульсний блок живлення 200 Вт, 24 В постійного струму, 8,8 А, який забезпечував достатній струм 2,2 А для кожного з драйверів двигуна.

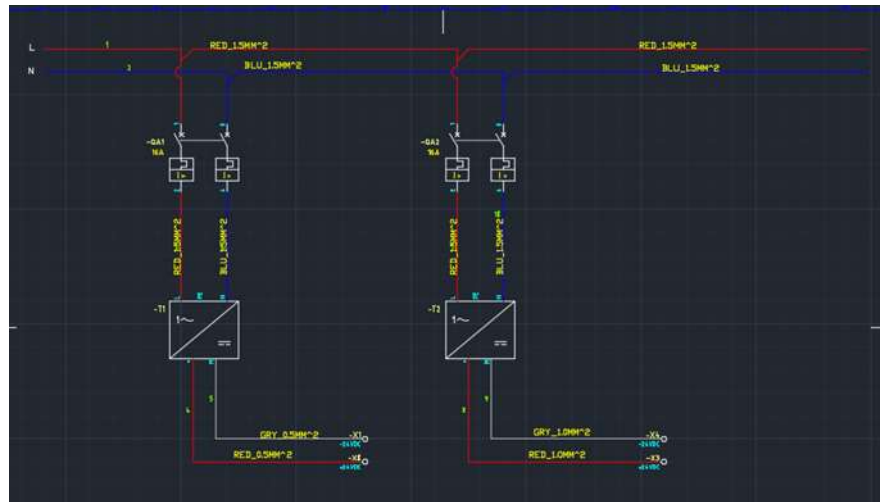


Рисунок 3.19 - Потужність схема підключення живлення AS/RS

Схема вхідних підключення ПЛК.

У ПЛК Siemens S7 1214 dc/dc/dc входи можуть бути як джерельного, так і споживанням струму. Тому для входу ПЛК було виконано підключення джерела струму через його популярність у промисловому застосуванні та широку доступність NPN-давачів

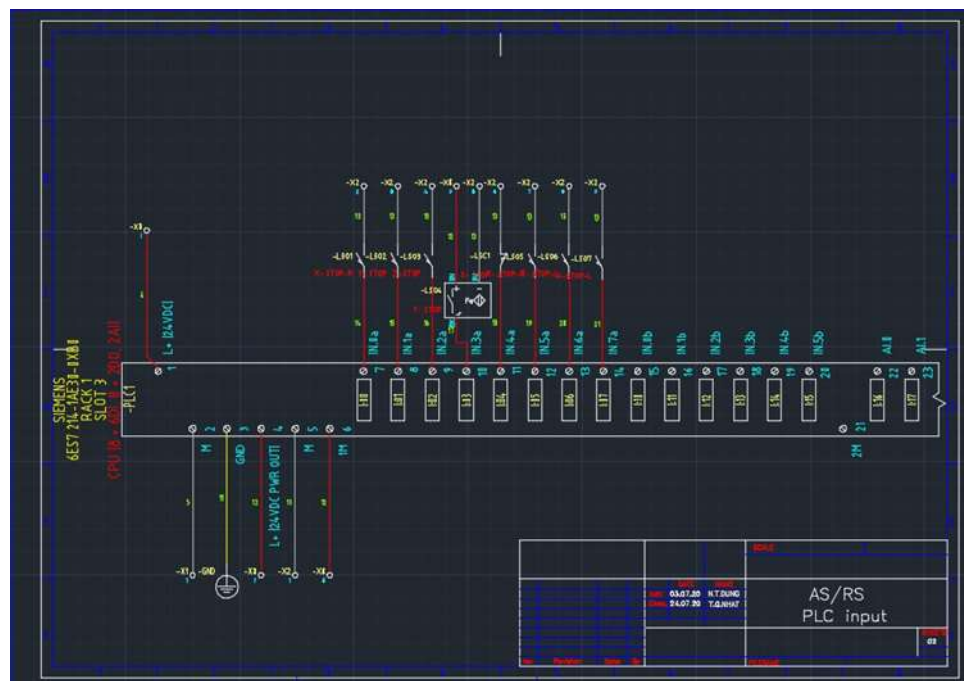


Рисунок 3.20 – ПЛК. Схема вхідних підключення AS/RS

Схема вихідних з'єднань ПЛК.

Під час впровадження було виявлено кілька несправностей у модулі ПЛК. Вихідні сигнали з виводів Q0.2 та Q0.4 ПЛК були неодноразово нестабільними. З цієї причини драйвери не отримували достатньо безперервних високошвидкісних імпульсів від ПЛК для керування двигунами. Щоб подолати цю ситуацію, імпульсні сигнали з виходу Q0.0 безперервно подавались паралельно на всі чотири драйвери крокових двигунів. Однак, оскільки номінальна напруга живлення драйвера становила лише +5 В постійного струму, для забезпечення безпеки драйвера необхідно додати кілька резисторів обмеження струму. Згідно з інструкцією виробника (DFRobot, nd), для належної роботи внутрішнього чіпа слід допускати рекомендований струм 8-15 мА (рис. 3.21).

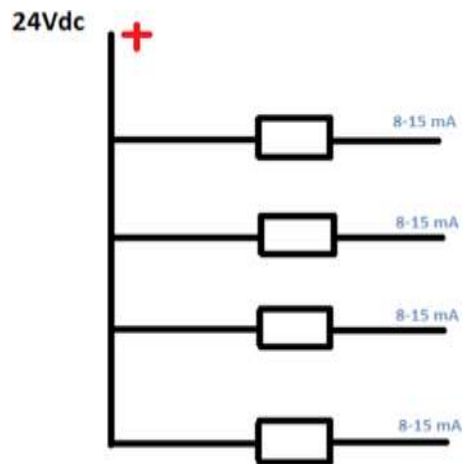


Рисунок 3.21 - Паралельно з'єднання проводів з резисторами

Збереження напруги на кожному компоненті паралельного кола утворило рівняння:

$$R_{max} = \frac{U}{I} = \frac{24}{0.008} = 3000 \text{ Ohm} \quad (3.3)$$

$$R_{max} = \frac{U}{I} = \frac{24}{0.015} = 1600 \text{ Ohm} \quad (3.4)$$

$$\Rightarrow 1600 \text{ Ohm} < R_{\text{Recommended}} < 3000 \text{ Ohm}$$

Резистор 2200 Ом підійшов для обмеження струму майже до 11 мА.

Крім того, оскільки виходи ПЛК були 24 В постійного струму:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{24^2}{2200} \approx 0.262 \text{ W} \quad (3.5)$$

Відповідно, резистори 2200 Ом ½ Вт були обрані для додавання перед контактами «Pulse +» драйверів.

Більше того, до негативного полюса драйверів було додано ще один набір транзисторів, які діяли як високошвидкісні перемикачі, для керування їхніми станами. Максимальний номінальний струм бази транзистора становив 2 А, плюс струм, що протікає через кожен кроковий драйвер, регулювався перед тим, як дійти до стану «Імпульс».

“+” контакт. Тому додаткові резистори не були потрібні. Однак, щоб досягти ще одного рівня захисту, перед транзисторами все ж були додані резистори 2200 Ом ½ Вт (рис. 3.22).

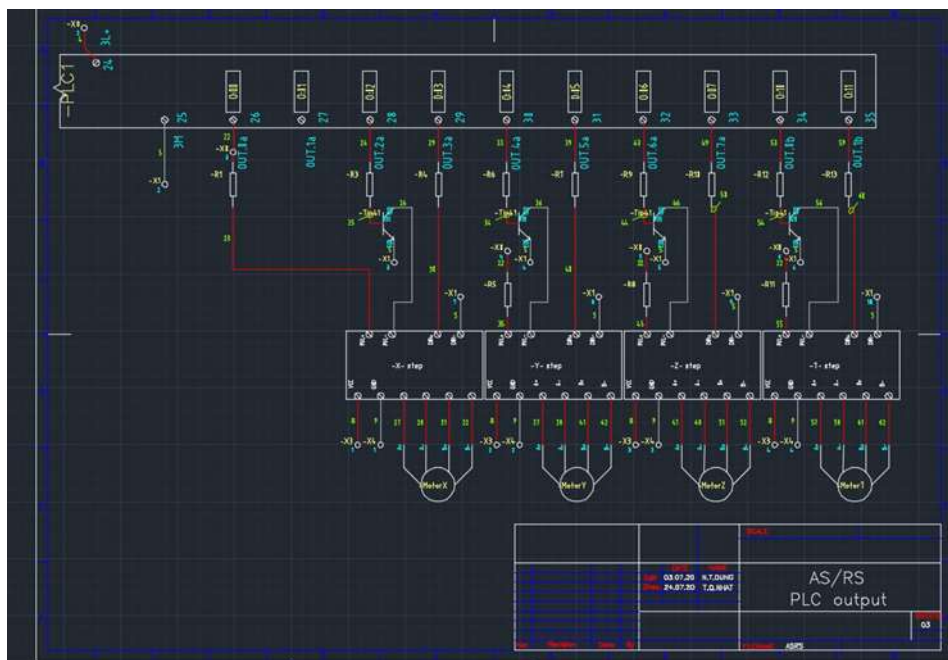


Рисунок 3.22 - ПЛК схема вихідних підключення AS/RS

Клемні блоки.

Клемні колодки монтувалися для кількох цілей. Оскільки термінал ПЛК міг підключати лише обмежену кількість вхідних проводів, доцільно було використовувати лише один або два дроти на клему, щоб уникнути нещільного з'єднання. Крім того, клемні колодки забезпечували безпечний розподіл та підключення живлення, що зменшувало ризик короткого замикання.

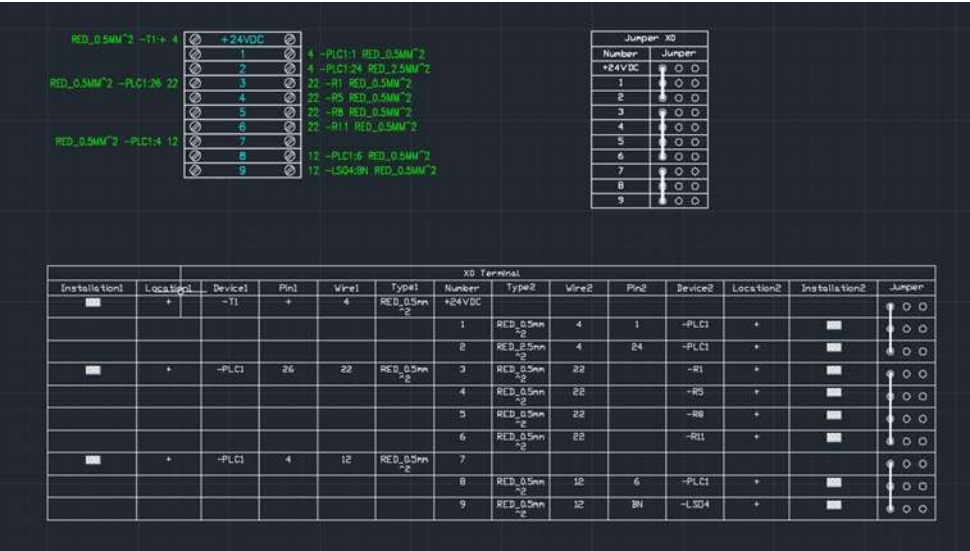


Рисунок 3.23 - Термінал 0 з'єднань

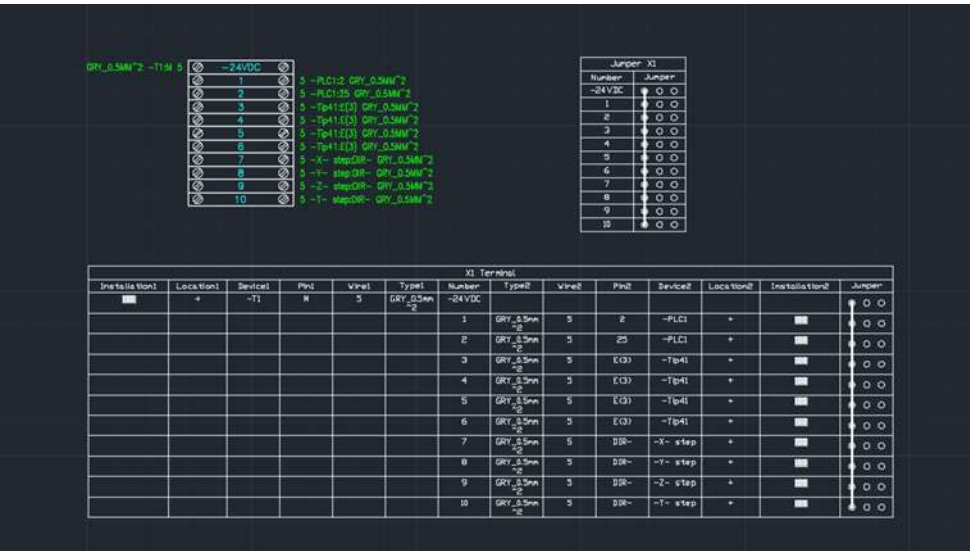


Рисунок 3.24 - Термінал 1 підключення



Рисунок 3.25 - Термінал 2 з'єднання

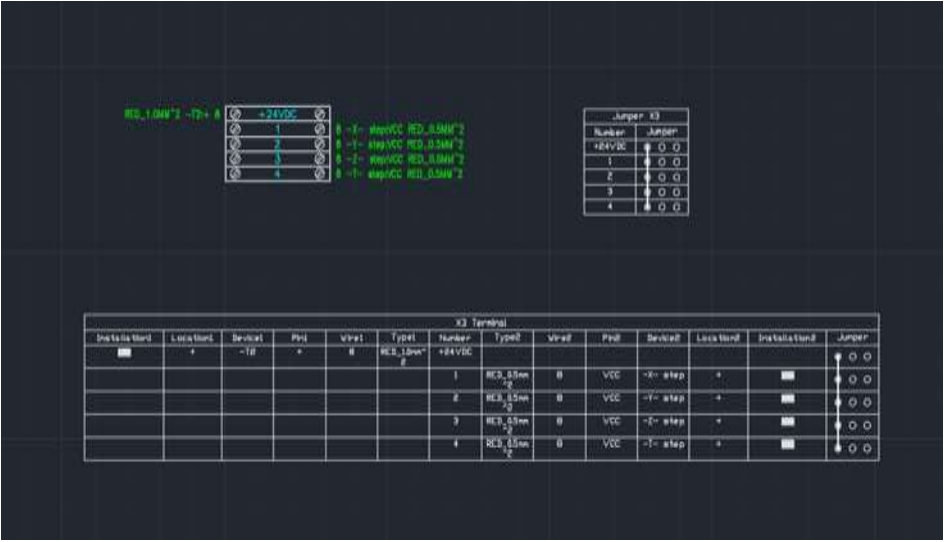


Рисунок 3.26 - Термінал 3 з'єднання

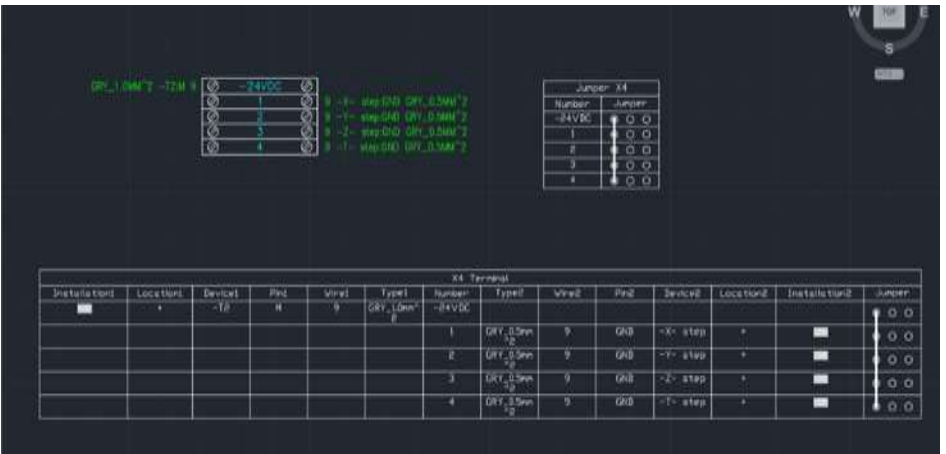


Рисунок 3.27 - Термінал 4 з'єднання

Шафа керування.

Було обрано шафу керування розміром 500x400x210 мм, яка забезпечувала достатньо місця для встановлення компонентів. Потім, поперек панелі було прикріплено комплект кабель-каналів 25x80 для організації прокладання кабелів перед складанням інших електричних компонентів.

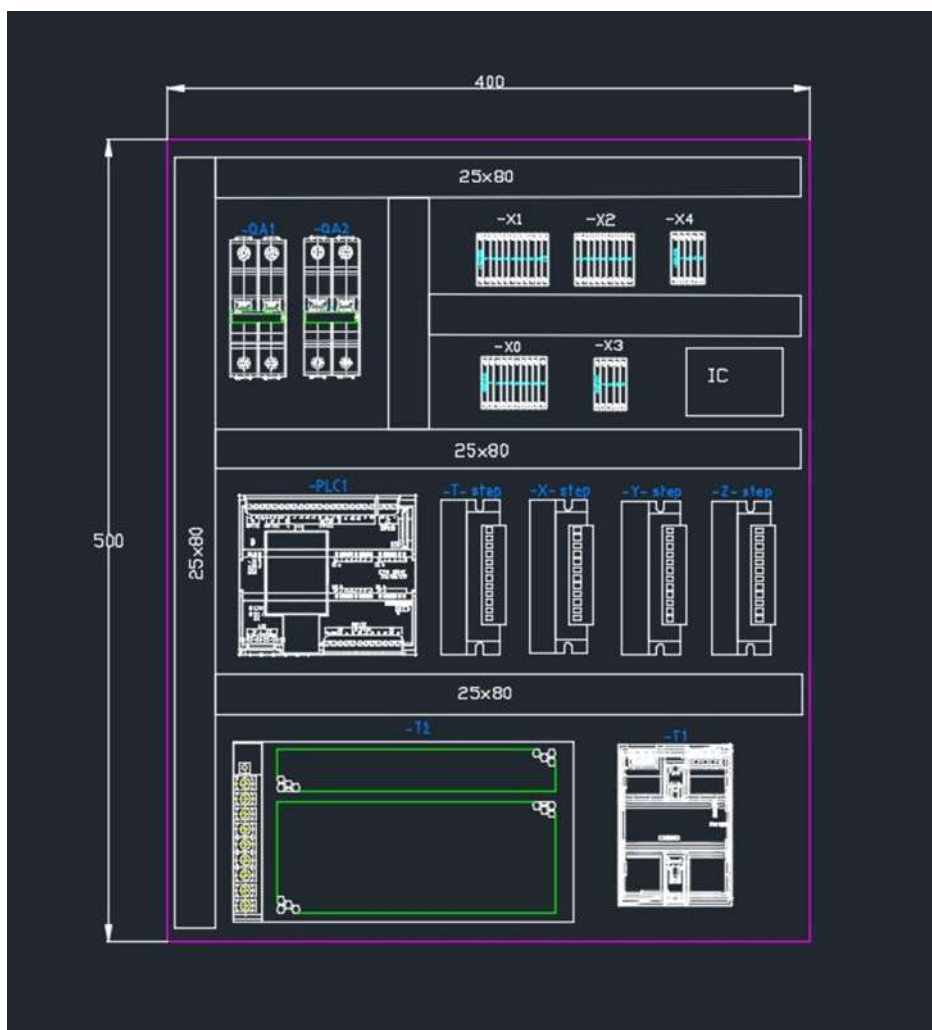


Рисунок 3.28 - Схема шафи

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

4.1 Проектування людино-машинного інтерфейсу

Інтерфейс користувача Weintek MT8071iP сумісний з широким спектром ПЛК, включаючи Siemens. Програмування НМІ було виконано за допомогою Weintek Easybuilder pro. Ця програма НМІ пропонує високоякісні графічні бібліотеки, що спрощує редагування. Крім того, Weintek НМІ використовує протокол TCP/IP, що забезпечує підключення Ethernet.

Перед підключенням ПЛК Siemens до Weintek НМІ, блок даних для НМІ на TIA Portal було активовано зі зміщеними адресами шляхом зняття позначки з пункту «Оптимізований доступ до блоку». Потім, для отримання даних з ПЛК, було виконано зв'язування пристроїв у налаштуваннях пристроїв Easybuilder pro, було вибрано тип пристрою S7-1200. Крім того, необхідно ретельно перевірити IP-адресу. Щоб мати змогу отримувати дані з ПЛК, налаштування ПЛК та НМІ повинні мати однакову IP-адресу, яка відображається на рис. 4.1.



Рисунок 4.1 - Налаштування пристрою в Easybuilder pro

Імпорт тегів було здійснено після збереження та закриття проекту TIA portal. Інакше це було б неможливо. Усі теги були імпортовані одразу в Easybuilder pro, що скорочує процес імпорту.

Інтерфейс оператора (HMI) головним чином зосереджений на простоті дизайну, щоб ефективно надавати операторам достатньо інформації, незалежно від їхньої знайомості з машинами. Дизайн був розділений на дві частини. Перша частина, розташована ліворуч від HMI, стосувалась розташування полиць. Він був оснащений кнопками вибору та низкою ламп для ілюстрування стану комірки. Друга частина праворуч була областю керування, яка включала кнопки ПУСК, СТОП, ДОДОМУ, ВІДНОВЛЕННЯ та ЗБЕРІГАННЯ (рис. 4.2).

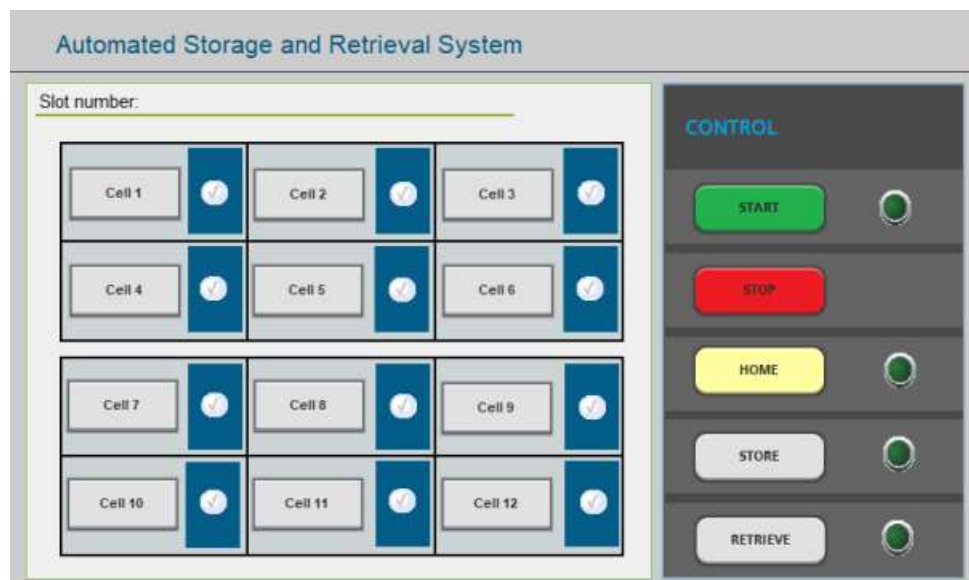


Рисунок 4.2 - Інтерфейс HMI AS/RS

4.2 Отримані експериментальні результати тестування прототипу системи

Процес планування мав суттєвий вплив на реалізацію проекту, який був визначений та оцінений з точки зору доступних компонентів, наданих

замовником. Кінцева мета проекту була досягнута, а модель була протестована. На рис. 4.3 та 4.4 показати різні ракурси реальної моделі.



Рисунок 4.3 - Вигляд осі Z ззаду



Рисунок 4.4 - Огляд AS/RS

Під час реалізації проекту основними труднощами при проектуванні макета була відсутність кінцевих вимикачів та деяких критично важливих компонентів.

Рисунок 4.5 показує, що рух двигуна X вздовж осі X обмежений двома кінцевими вимикачами.

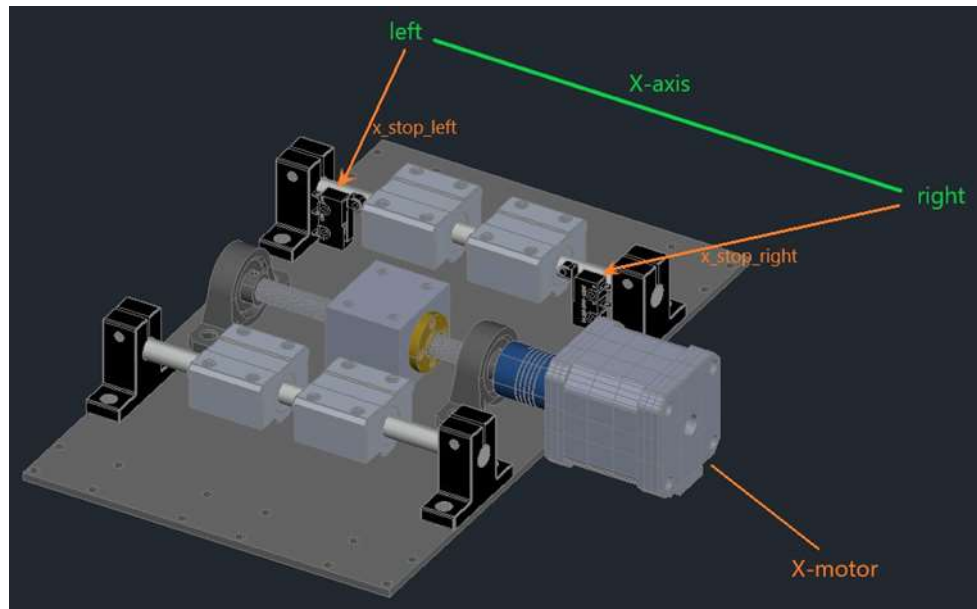


Рисунок 4.5 - Вісь X поточної системи

Оскільки посередині між двома полицями (посередині осі X) немає кінцевого вимикача, початок координат осі Y не можна розмістити тут. Натомість вона була розташована ближче до правої полиці. Тому, під час реалізації процесу «зберігання» або «вилучення», систему довелося змістити ліворуч вздовж осі X, щоб запобігти застряганню осі T у правій полиці (як показано рис. 4.6 і рис. 4.7).

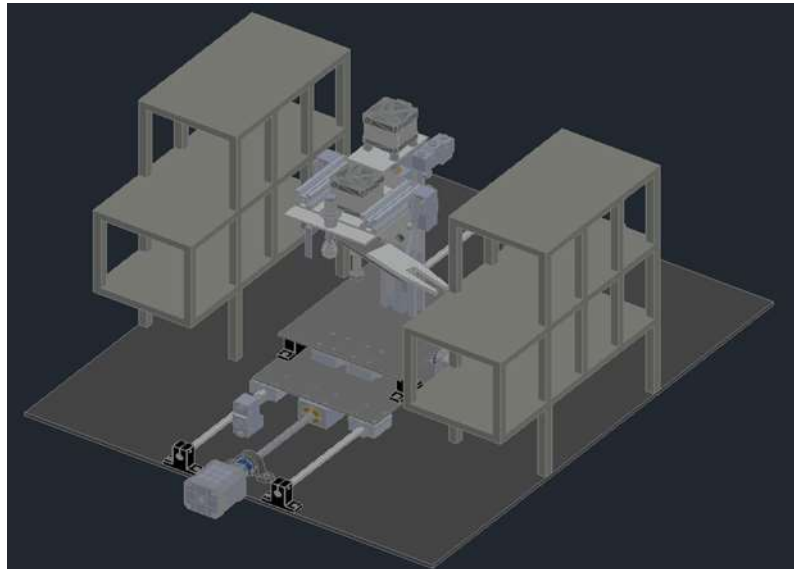


Рисунок 4.6 - Вісь Т стикається з правою полицею

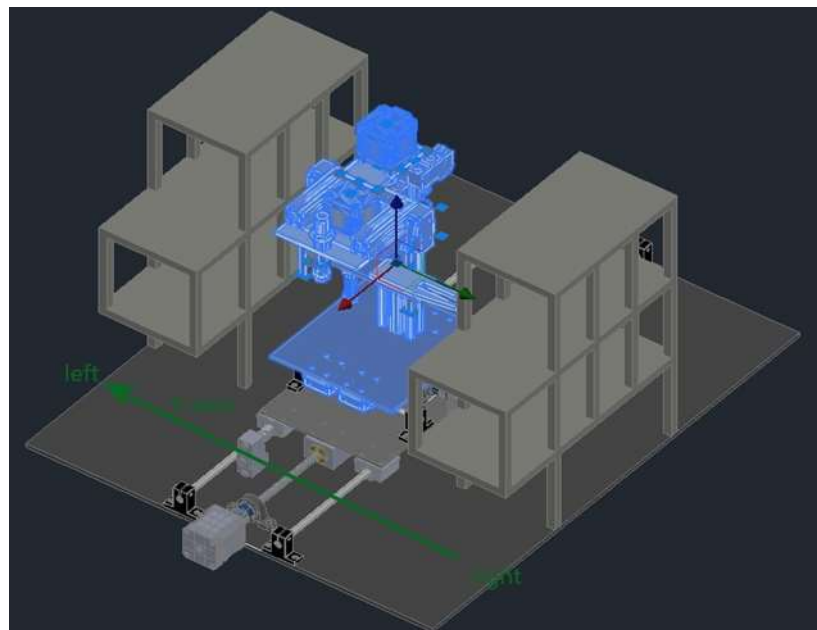


Рисунок 4.7 - Зміщена систему ліворуч, щоб уникнути зіткнення

Отже, системі доводиться виконувати більше рухів, щоб уникнути зіткнення.

Рішення проблеми зіткнень справді складне. Існує кілька способів, але найоптимальнішим підходом, запропонованим автором, було б видалення осі обертання (осі Т). У S/R-машині в проєкті відсутні «телескопічні вилки»

(показані на рис. 4.8 і рис. 4.9), що є вирішальним компонентом для надійного переміщення предмета на каретці до комірки. Вісь X слід замінити цим вилковим модулем, тоді як рух осей Y та Z може залишитися незмінним. Рух вилки складний, але конструктивний та ефективний. Відповідно, «телескопічні вилки» стали незамінною частиною машини S/R на практиці.

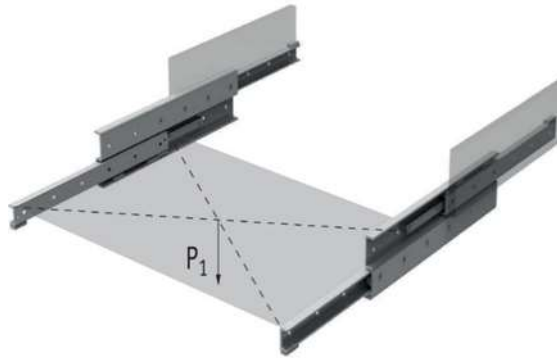


Рисунок 4.8 - Телескопічні вила

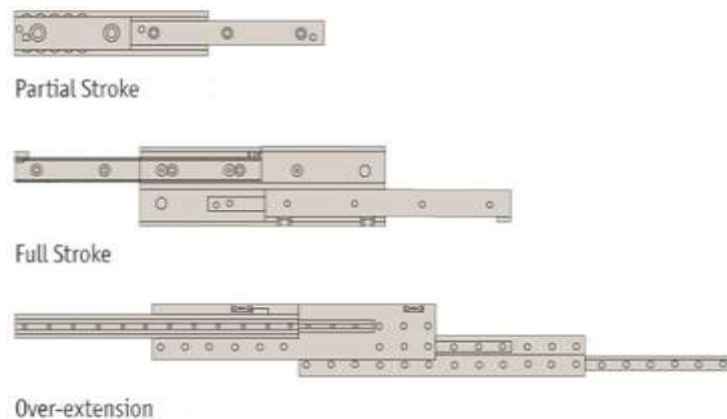


Рисунок 4.9 - Три різні типи телескопічних вилок

Більше того, навіть якщо рух осей Y та Z може залишитися незмінним, механізм їх лінійного руху необхідно замінити через непрактичність використання ходового гвинта у великих масштабах. Вісь Y слід замінити високоточними напрямними рейками та системою шестерень та рейок (показано на рис. 4.10 і 4.11). Ця система дозволить легше встановлювати/замінювати осі Y з необмеженою довжиною. Крім того, заміна тросового транспортера також збільшить мобільність системи. Для осі

З рекомендується конструкція крана з системою шківів (як показано на рис. 4.12). Однак, також необхідно встановити запобіжні затискачі, оскільки це працює як гальмівна система. У разі відключення електроенергії спрацює система запобіжних затискачів, щоб утримати вантаж від падіння.



Рисунок 4.10 - Прецизійна шестерня для осі Y



Рисунок 4.11 - Рейкова система для осі Y

На рис. 4.13 зображено просту візуалізацію AS/RS для пусконаладжувальної сторони на майбутньому етапі проекту.



Рисунок 4.12 - Приклад структури осі Z

Ця система не тільки зменшує простір і кількість рухів, але й зменшує кількість кінцевих вимикачів або датчиків. Крім того, проектування електричної реалізації та написання програмування ПЛК значно простіші.

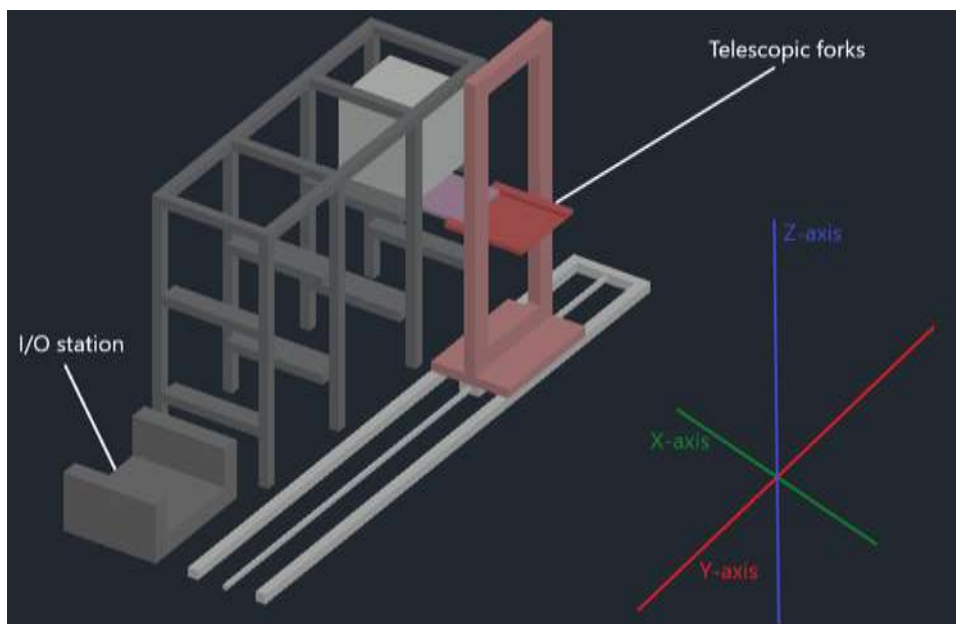


Рисунок 4.13 - Просте зображення запропонованої AS/RS

Крім того, для отримання точного руху рекомендується використовувати двигун із замкнутим циклом.

Оскільки багато компонентів у цьому проєкті використовувалися як альтернативи відсутнім компонентам, процедура експлуатації не була оптимальною. Як наслідок, найкращим рішенням було б перебудувати систему. Це залежатиме від рішення замовника щодо того, чи інвестувати в подальші дослідження та відповідне обладнання.

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1. Програмування компонентів системи

Огляд ПЛК (програмованого логічного контролера).

Для цього проєкту було обрано контролер ПЛК Siemens SIMATIC S7-1200, який широко використовується на практиці в багатьох промислових системах. Як альтернативна заміна S7-200, S7-1200 має переважні характеристики. Контролери S7-1200 є однією з лінійок програмованих логічних контролерів (ПЛК) для автоматизації. Компактний дизайн, низька вартість та потужні інтегровані функції – ось для чого розроблено S7-1200. PROFINET є переважними характеристиками S7-1200 порівняно з S7-200 та іншими попередніми версіями з точки зору високошвидкісного лічильника та імпульсного виводу (PTO).

Процесор ПЛК S7-1200 складається з мікропроцесора, джерела живлення, цифрових входів/виходів, аналогових входів, вбудованого PROFINET. Усі процесори забезпечують захист паролем, щоб запобігти несанкціонованому доступу до процесора та програм керування; функція «захист ноу-хау» захищає код у певному блоці.

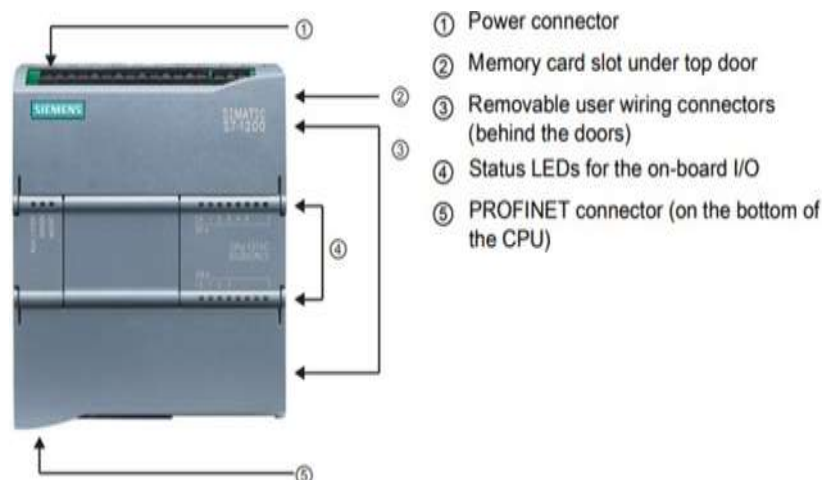


Рисунок 5.1 - ПЛК Siemens S7-1200

Програмне забезпечення для програмування S7-1200 підтримує три мови програмування: Рейкова логіка (LAD), схеми функціональних блоків (FBD), структура мови керування (SCL). Програмне забезпечення має значну гнучкість, оскільки воно інтегроване в Siemens TIA Portal версії 15, який включає середовище програмування WinCC, Step 7 та консоль HMI в одному наборі.

Іншими словами, для роботи з S7-1200 з точки зору програмування програмного забезпечення потрібен лише TIA Portal.

SIMATIC S7-1200 має чотири різні моделі процесорів: 1211C, 1212C, 1214C та 1215C. Кожна з них має різний номер замовлення. Усі основні характеристики S7-1200, необхідні для цієї конструкції, показані на малюнку. Таблиця 9У цієї дисертації моделлю є SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC 6ES7 214-1AG31-0XB0, а програму написано Ladder Logic (LAD) на TIA Portal V15.

Конфігурація пристрою.

Виберіть ПЛК ЦП 1214C DC/DC/DC з артикулом 6ES7 214-1AG31-0XB0



Рисунок 5.2 – конфігурація ПЛК

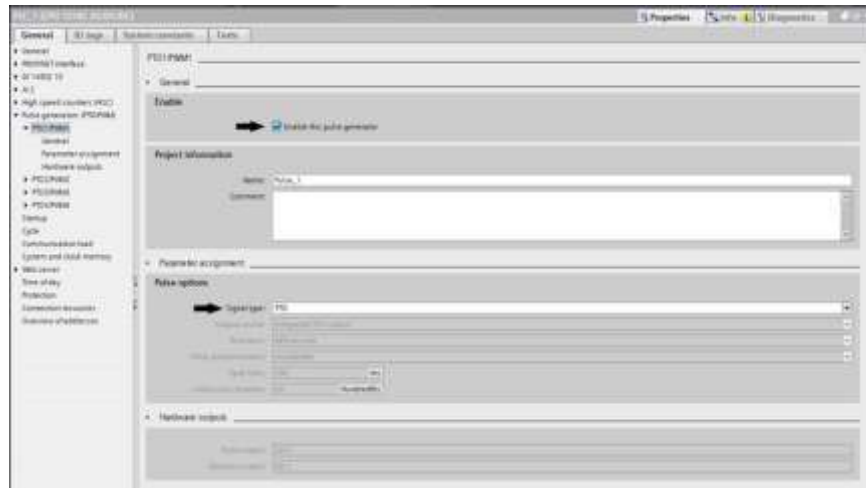


Рисунок 5.3 - Пульс Конфігурація виходів контролера

РТО (вихід імпульсної послідовності) та PWM (широотно-імпульсна модуляція). Однак, було ввімкнено лише один тип сигналу РТО, який називається «Pulse_1» (показано наРисунок 80)«Pulse_1» має два чітко фіксовані виходи: імпульсний вихід, який використовується для контролю руху та імпульсного запуску двигуна (адреса Q0.0); вихідний напрямок, який керує напрямком руху двигуна, обидва призначаються автоматично. Вихідний напрямок (Q0.1) не використовувався в цьому проєкті. Однак, оскільки вихід автоматично визначається TIA Portal, необхідно налаштувати його, щоб уникнути вхідних помилок. Зокрема, цей РТО «Pulse_1» використовувався для керування імпульсами всіх чотирьох осей.

Конфігурація рухомих та технологічних об'єктів.

«Pulse_1» було попередньо створено в імпульсному інтерфейсі під час налаштування пристрою PLC S7-1200. Після того, як генератор імпульсів та напрямок крокового двигуна налаштовано, наступним кроком є підключення технологічного об'єкта (також відомого як «Вісь» – показано наРисунок 81) до «Pulse_1». Ця «вісь» з'єднує інтерфейс між кроковим двигуном та програмою користувача.

Основні параметри технологічного об'єкта - «Axis_main» (показано наРисунок 82) має бути визначено для повного налаштування крокових двигунів, тоді як визначення розширених параметрів необов'язкове.

Призначення «Axis_main» генератору імпульсів «Pulse_1» автоматично генеруватиме імпульсний вихід та напрямок виходу, які вже були визначені під час налаштування пристрою. Зелена галочка (показана на рис. нижче) вказує на те, що крокові двигуни та технологічні об'єкти були успішно налаштовано, іншими словами, кроковий двигун підключено до користувацької програми.

Тепер програма може керувати генератором імпульсів «Pulse_1». Функція «МС_Power» (Power керування рухом), що відображається в Рисунок 83 використовується для контролю імпульсів, що генеруються чотирма кроковими двигунами, на основі параметра «Увімкнено». Стан змінної «pulse_enable» визначає, чи дозволяє програма вмикати або вимикати імпульси двигунів.

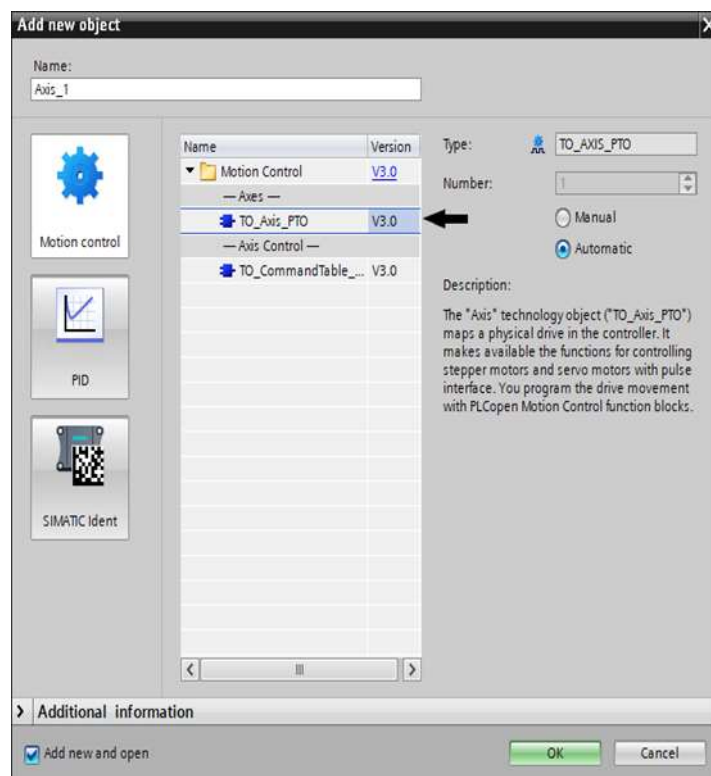


Рисунок 5.4 - Створення осі керування рухом для крокового двигуна

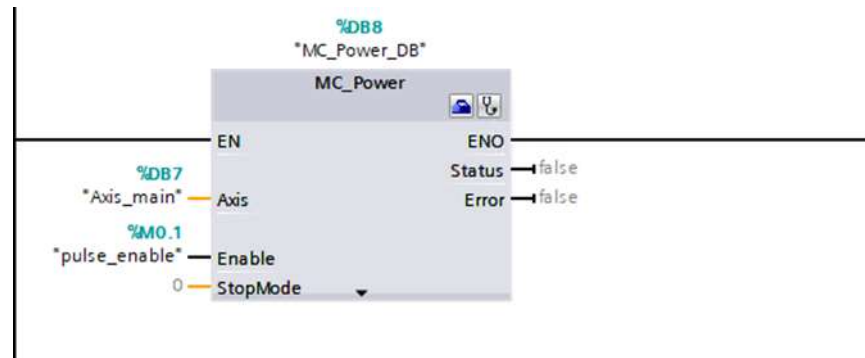


Рисунок 5.5 - Створення функції керування рухом для крокового двигуна

Змінна структура.

Конструкція складається з двох полиць, кожна з яких містить шість слотів (комірок). Кожній комірці зліва направо та зверху вниз присвоєно номер від «1» до «12» відповідно (рис. 5.5).

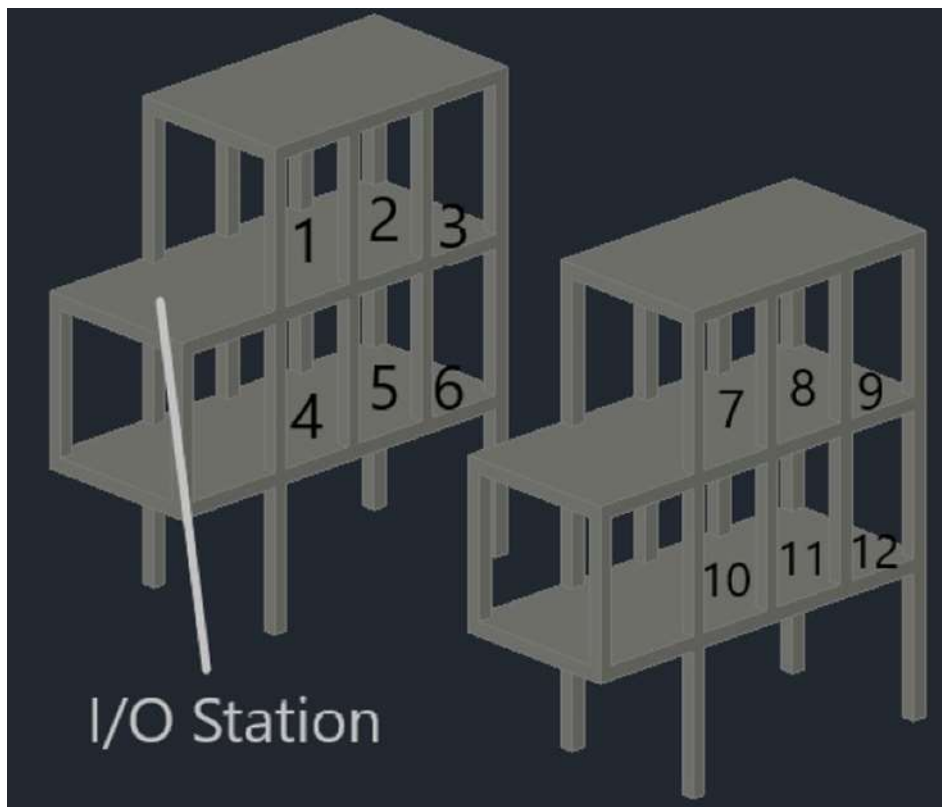


Рисунок 5.6 - Положення комірок на обох полицях

Змінні НМІ від «c1» до «c12», показані на Рисунок 85 відображає кнопки, де кожна кнопка ілюструє клітинку, призначену відповідному номеру (рис. 5.7). З іншого боку, змінні від «lc1» до «lc12» – це індикатори, які відображають стан цієї конкретної комірки. Іншими словами, світло увімкнене, якщо в комірці вже є елемент, і, навпаки, світло вимкнене, якщо ця комірка вільна.

На рис. 5.8 відображаються всі входи, виходи та пам'яті, що використовуються в програмі. Сім входів є кінцевими вимикачами, відповідний кроковий двигун зупиниться при досягненні відповідного кінцевого вимикача. Виходи «x_pulse», «y_pulse», «z_pulse» та «t_pulse» використовуються для ввімкнення або вимкнення імпульсів двигуна X, Y, Z та T відповідно. Наприклад, якщо «x_pulse» дорівнює 1, двигун працює; якщо «x_pulse» дорівнює 0, двигун зупиняється. Напрямок двигунів контролювався чотирма виходами «x_dir», «y_dir», «z_dir» та «t_dir». Кожне значення виходу напрямку представляє унікальний напрямок конкретного двигуна, де кожен двигун має лише два напрямки. Як умова для зручності розуміння, значення виходів напрямку

hmi_data_block				
	Name	Data type	Offset	Comment
1	start	Bool	0.0	button: starts the program
2	stop	Bool	0.1	button: pause the program
3	home	Bool	0.2	button: set mode "home"
4	store	Bool	0.3	button: set mode "store"
5	retrieve	Bool	0.4	button: set mode "retrieve"
6	c1	Bool	0.5	button: cell 1
7	c2	Bool	0.6	button: cell 2
8	c3	Bool	0.7	button: cell 3
9	c4	Bool	1.0	button: cell 4
10	c5	Bool	1.1	button: cell 5
11	c6	Bool	1.2	button: cell 6
12	c7	Bool	1.3	button: cell 7
13	c8	Bool	1.4	button: cell 8
14	c9	Bool	1.5	button: cell 9
15	c10	Bool	1.6	button: cell 10
16	c11	Bool	1.7	button: cell 11
17	c12	Bool	2.0	button: cell 12
18	lc1	Bool	2.1	light: cell 1
19	lc2	Bool	2.2	light: cell 2
20	lc3	Bool	2.3	light: cell 3
21	lc4	Bool	2.4	light: cell 4
22	lc5	Bool	2.5	light: cell 5
23	lc6	Bool	2.6	light: cell 6
24	lc7	Bool	2.7	light: cell 7
25	lc8	Bool	3.0	light: cell 8
26	lc9	Bool	3.1	light: cell 9
27	lc10	Bool	3.2	light: cell 10
28	lc11	Bool	3.3	light: cell 11
29	lc12	Bool	3.4	light: cell 12

Рисунок 5.7 – змінні НМІ

PLC tags									
	Name	Tag table	Data type	Addr...	Retain	Access...	Write...		Comment
1	x_stop_right	Default tag table	Bool	%I0.0	☐	☒	☒	☒	limit switch on right side of X-axis
2	y_stop_down	Default tag table	Bool	%I0.1	☐	☒	☒	☒	limit switch at home of Y-axis
3	z_stop_up	Default tag table	Bool	%I0.2	☐	☒	☒	☒	limit switch above Z-axis
4	t_stop_mid	Default tag table	Bool	%I0.3	☐	☒	☒	☒	limit switch at the middle of T-axis
5	e_stop	Default tag table	Bool	%I0.4	☐	☒	☒	☒	emergency stop
6	t_stop_right	Default tag table	Bool	%I0.5	☐	☒	☒	☒	limit switch on right side of T-axis
7	t_stop_left	Default tag table	Bool	%I0.6	☐	☒	☒	☒	limit switch on left side of T-axis
8	x_stop_left	Default tag table	Bool	%I0.7	☐	☒	☒	☒	limit switch on left side of X-axis
9	Axis_main_pulse	Default tag table	Bool	%Q0.0	☐	☒	☒	☒	PTO output to generate the pulse for all axes
10	Axis_main_direction	Default tag table	Bool	%Q0.1	☐	☒	☒	☒	not in used (avoid errors)
11	x_pulse	Default tag table	Bool	%Q0.2	☐	☒	☒	☒	enable/disable the pulse of the X-motor
12	x_dir	Default tag table	Bool	%Q0.3	☐	☒	☒	☒	control direction (left/right) of the X-motor
13	y_pulse	Default tag table	Bool	%Q0.4	☐	☒	☒	☒	enable/disable the pulse of the Y-motor
14	y_dir	Default tag table	Bool	%Q0.5	☐	☒	☒	☒	control direction (forward/downward) of the Y-motor
15	z_pulse	Default tag table	Bool	%Q0.6	☐	☒	☒	☒	enable/disable the pulse of the Z-motor
16	z_dir	Default tag table	Bool	%Q0.7	☐	☒	☒	☒	control direction (up/down) of the Z-motor
17	t_pulse	Default tag table	Bool	%Q1.0	☐	☒	☒	☒	enable/disable the pulse of the T-motor
18	t_dir	Default tag table	Bool	%Q1.1	☐	☒	☒	☒	control direction (clockwise/counter-clockwise) of the T-motor
19	p_run	Default tag table	Bool	%M0.0	☐	☒	☒	☒	run the program
20	pulse_enable	Default tag table	Bool	%M0.1	☐	☒	☒	☒	enable pulse for the motion control axis
21	step_enable	Default tag table	Bool	%M0.2	☐	☒	☒	☒	check whether the system allows the step motor to run or not
22	p_busy	Default tag table	Bool	%M0.3	☐	☒	☒	☒	check when program is running or not
23	p_busy_retrieve_L	Default tag table	Bool	%M0.4	☐	☒	☒	☒	when program is running "retrieve left"
24	p_busy_retrieve_R	Default tag table	Bool	%M0.5	☐	☒	☒	☒	when program is running "retrieve right"
25	p_busy_store_L	Default tag table	Bool	%M0.6	☐	☒	☒	☒	when program is running "store left"
26	p_busy_store_R	Default tag table	Bool	%M0.7	☐	☒	☒	☒	when program is running "store right"
27	retrieve_L_finish	Default tag table	Bool	%M1.0	☐	☒	☒	☒	when "retrieve left" finishes
28	retrieve_R_finish	Default tag table	Bool	%M1.1	☐	☒	☒	☒	when "retrieve right" finishes
29	store_L_finish	Default tag table	Bool	%M1.2	☐	☒	☒	☒	when "store left" finishes
30	store_R_finish	Default tag table	Bool	%M1.3	☐	☒	☒	☒	when "store right" finishes

Рисунок 5.8 – Змінні програми

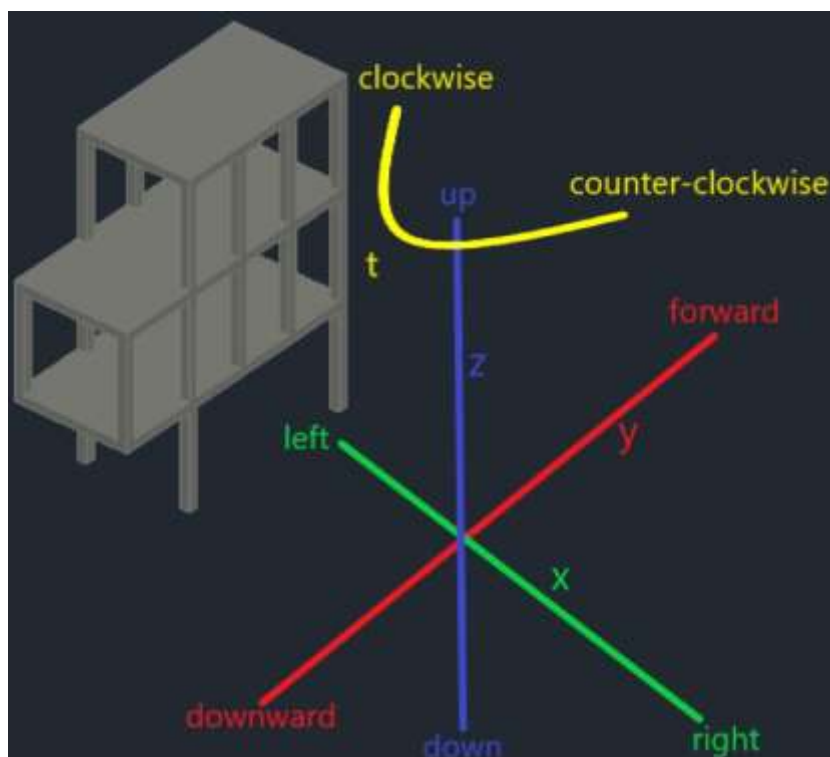


Рисунок 5.9 - Напрямки руху кожної осі

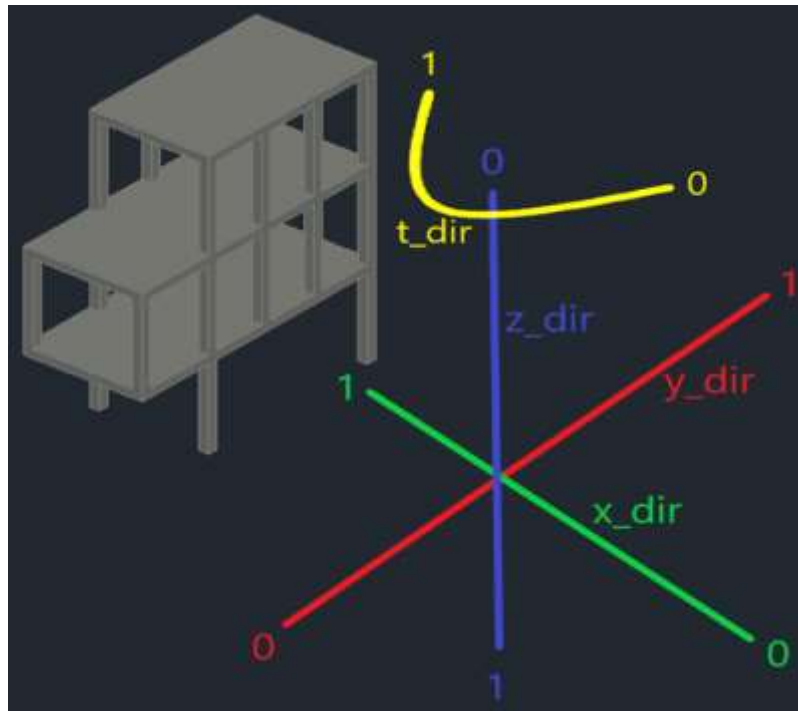


Рисунок 5.10 - Значення виходів напрямку (x_dir , y_dir , z_dir) при русі в певному напрямку

5.2 Програмні блоки

Структура програмування була розділена на дві частини: основні функціональні блоки та підфункції. Основні функціональні блоки містять п'ять функціональних блоків (FB), що представляють п'ять режимів моделі.

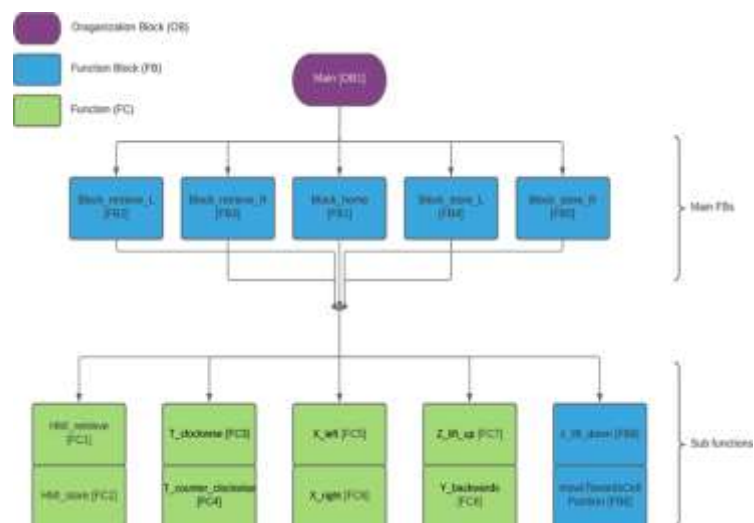


Рисунок 5.11 - Ієрархія виклики програмних блоків



Рисунок 5.12 - Структура програмних блоків

Таблиця 5.1 Опис основних функціональних блоків FBs

Блок	Опис
Block_home [FB1]	Рух до початкового положення (вихідне положення пристрою S/R). Ця функція особливо використовується у разі відключення електроенергії або поломки, коли пристрій S/R знаходиться у випадковому положенні, і дані в пам'яті можуть бути втрачені. Пристрій S/R безпечно переміститься до початкового положення.
Block_retrieve_L [FB2]	Коли у вибраній комірці на лівій полиці є елемент, машина S/R переміщується до позиції комірки, переносить елемент і розміщує його на станції вводу/виводу. Якщо вибрана комірка порожня, функція не працює.
Block_retrieve_R [FB3]	Коли у вибраній комірці на правій полиці є елемент, машина S/R переміщується до позиції комірки, переносить елемент і розміщує його на станції вводу/виводу. Якщо вибрана комірка порожня, функція не працює.
Block_store_L [FB4]	Коли вибрана клітинка на лівій полиці порожня, S/R Машина рухається до станції вводу/виводу, щоб забрати елементи, потім переміщується до потрібної комірки та розміщує елемент у цій комірці.
Block_store_R [FB5]	Коли вибрана комірка на правій полиці порожня, машина S/R рухається до станції, щоб забрати елементи. Переміщується до позиції комірки та розміщує елемент у цій комірці

Підфункції (внутрішні функції) складаються з різних FC та FB.

Таблиця 11. Опис усіх підфункцій

Функція	Опис
HMI_retrieve	Коли процес пошуку у вибраній комірці завершується, програма вимикає підсвічування цієї комірки на HMI.
HMI_store	Коли процес збереження у вибраній комірці завершується, програма вмикає підсвічування цієї комірки на HMI.
T_clockwise	Обертає Т-мотор за годинниковою стрілкою
T_counter_clockwise	Обертає Т-мотор проти годинникової стрілки
X_left	Переміщує Х-мотор вліво
X_right	Переміщує Х-мотор у правий бік
Y_backward	Рухає Y-мотор назад
Z_lift_up	Переміщує Z-мотор вгору, спеціально піднімає предмет
Z_lift_down	Переміщує Z-мотор вниз, спеціально розміщуючи елемент
moveTowards CellPosition	Функція переміщує Y-мотор вперед до вибраної позиції комірки. Якщо вибрана комірка знаходиться в нижньому рядку, функція також переміщує Z-мотор вниз

Програма починає виконуватися, коли натискається кнопка «пуск» на HMI, коли кнопка «стоп» та аварійна зупинка не були активовані, тоді ініціюється «p_run», як показано в логіці LAD рис. 5.13.

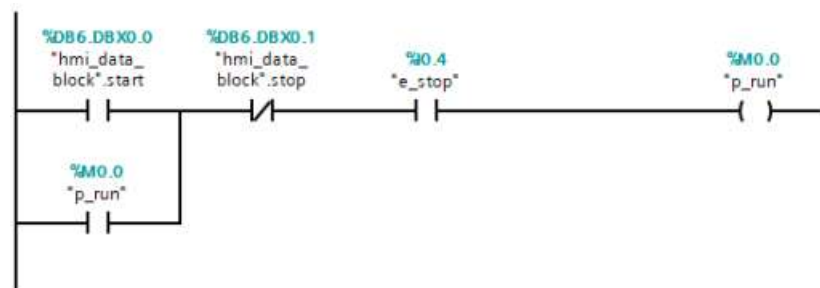


Рисунок 5.13 - Логіка LAD для запуску програми

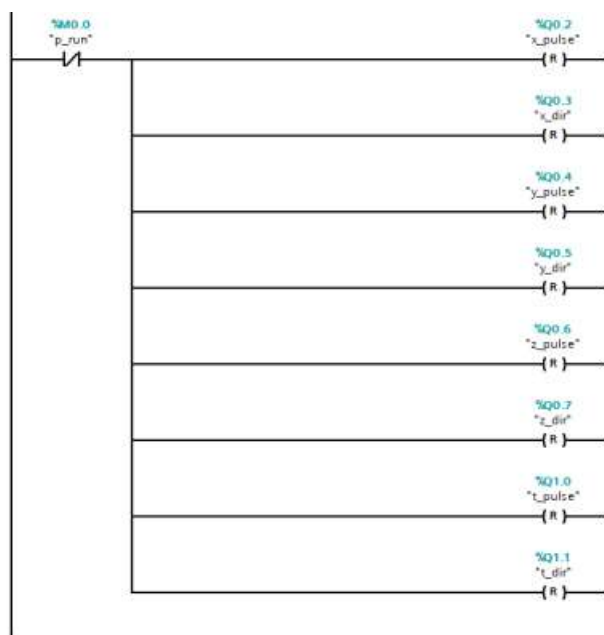


Рисунок 5.14 - Скидання всіх виводів, коли «p_run» деактивовано

Пам'ять «pulse_enable» запускає імпульс «Axis_main» (рис. 5.15) для запуску крокового двигуна. Змінна «step_enable» вирішує, чи генерувати імпульс для двигуна, «step_enable» завжди встановлена на «1», коли програма працює. Через можливі несправності обладнання, коли програма не працює, але вихід двигуна має значення «1», «step_enable» вимкне генерацію імпульсів для двигунів.

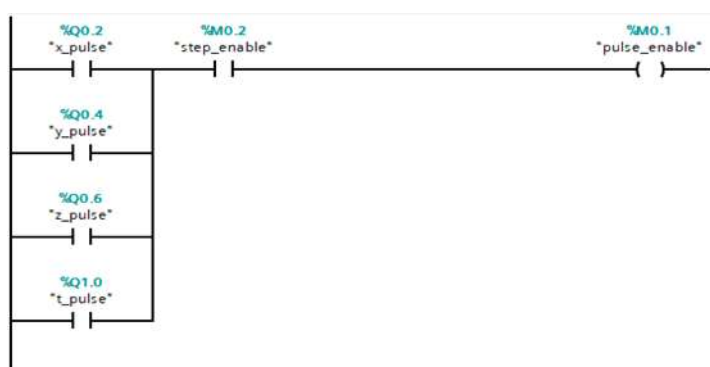


Рисунок 5.15 - Увімкнення імпульсного виходу для запуску двигуна

Рис. 5.16 і 5.17 обидва ілюструють логічний вираз режиму «збереження». Щоб активувати режим «збереження», спочатку «p_run» має бути «1» (програма виконується), потім потрібно послідовно натиснути кнопку «Збереження» та кнопку, що відповідає вибраній комірці на НМІ. Однак режим «Збереження» не активується, коли на НМІ світиться індикатор вибраної комірки («lc» має бути «1»), що вказує на те, що в цій комірці вже є елемент. Іншими словами, функція «збереження» викликається лише тоді, коли в вибраній комірці немає елемента

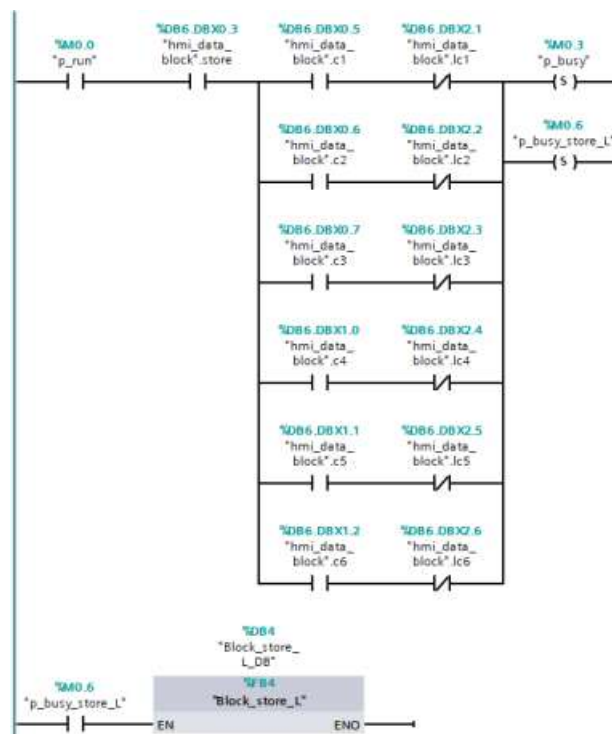


Рисунок 5.16 - Запуск режиму «Зберігання», якщо вибрана комірка знаходиться на лівій полиці

Кожна клітинка індексується числом від 1 до 12, як показано на малюнкуРисунок 84.Комірки, пронумеровані від 1 до 6, викликатимуть функціональний блок «Block_store_L» (рис. 5.16) а комірки з номерами від 7 до 12 викликатимуть функціональний блок «Block_store_R» (рис. 5.17).

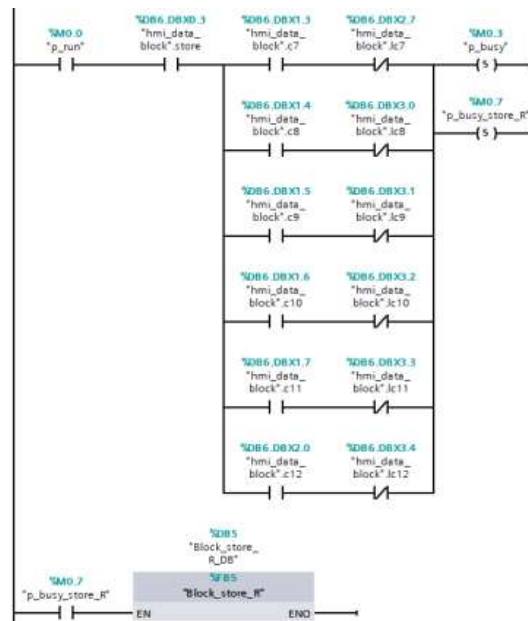


Рисунок 5.17 - Запуск режиму «Зберігання», якщо вибрана комірка знаходиться на правій полиці

Логічні вирази процесу «Отримання», що відображаються відносно схожі на процес «Збереження». Єдина відмінність полягає в тому, що режим «Отримання» запускається лише за наявності елемента у вибраній комірці.

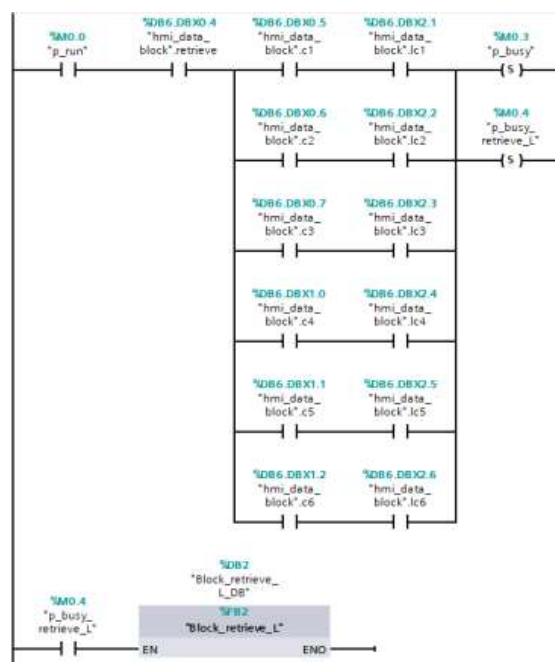


Рисунок 5.18 - Запуск режиму «Отримання», якщо вибрана комірка знаходиться на лівій полиці

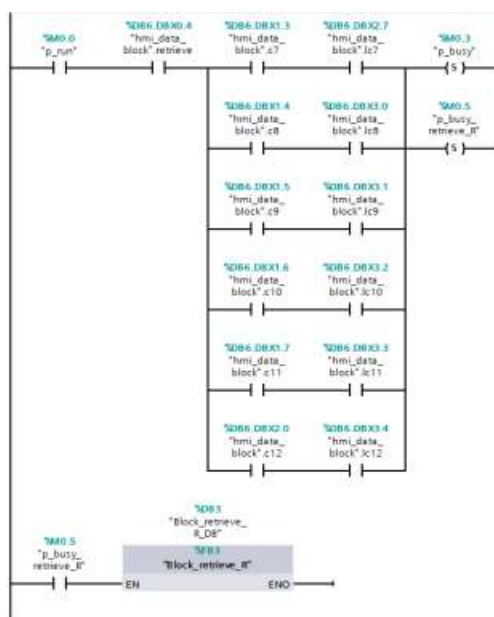


Рисунок 5.19 - Запуск режиму «Отримання», якщо вибрана комірка знаходиться на правій полиці

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Вимоги охорони праці під час роботи з електроустаткуванням

Загальні положення

Інструкція з охорони праці для електрика при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування розроблена відповідно до Закону України «Про охорону праці» (Постанова ВР України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ) в редакції від 20.01.2018 р, на основі «Положення про розробку інструкцій з охорони праці», затвердженого Наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 29 січня 1998 року № 9 в редакції від 01 вересня 2017 року, з урахуванням «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів», затвердженими наказом Міністерства палива та енергетики 25.07.2006 р. № 258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 13.02.2012 р. №91, «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів», затверджених наказом Держнаглядохоронпраці України 09.01.1998 р. № 4.

Всі положення даної інструкції з охорони праці поширюються на електриків освітньої установи, які виконують роботи з ремонту та обслуговування електроустаткування.

До самостійного виконання робіт з ремонту та обслуговування електричного обладнання допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання за фахом, а також:

- медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я до виконання даної роботи;

- вступний і первинний на робочому місці інструктажі з охорони праці;

- навчання безпечним методам і прийомам праці;

перевірку знань правил улаштування електроустановок, правил безпеки при експлуатації електроустановок, вимог охорони праці;

при ремонті і обслуговуванні електрообладнання напругою до 1000В мають групу з електробезпеки не нижче III, а понад 1000В - не нижче IV.

Електрику необхідно знати і виконувати вимоги інструкції з охорони праці при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування, інструкцій по роботі з ручним інструментом, електричним інструментом і драбинами.

Електрику при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування слід дотримуватися вимог Правил безпечної експлуатації електричних установок споживачів і Правил технічної експлуатації електричних установок споживачів, і мати відповідну групу з електробезпеки згідно з вимогами цих Правил.

Виконуючи роботи з ремонту та обслуговування електричного обладнання, може спостерігатися вплив нижчеперелічених шкідливих і небезпечних виробничих факторів:

- падіння з висоти;
- ураження електричним струмом;
- підвищена напруженість електричного поля;
- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- підвищений рівень вібрації;
- недостатня освітленість робочої зони;
- фізичні перевантаження;
- нервово-психічні перевантаження.

Електрику при виконанні ремонту і обслуговування електроустаткування необхідно використовувати наведені нижче ЗІЗ:

- напівкомбінезон бавовняний - на 12 місяців;
- рукавички на - 3 місяці;

черевики шкіряні на - 24 місяці;
калоші діелектричні - чергові;
рукавиці діелектричні - чергові;
килимки діелектричні - чергові.

Електрик при ремонті і обслуговуванні електрообладнання зобов'язаний:

тримати у чистоті і порядку своє робоче місце;
дотримуватися Правил внутрішнього трудового розпорядку;
вміти застосовувати засоби індивідуального, колективного захисту, засоби пожежогасіння;

вміти надавати першу допомогу потерпілим від нещасних випадків;

знати і виконувати всі вимоги нормативних актів з охорони праці, правил протипожежного захисту та виробничої санітарії.

негайно повідомляти своєму безпосередньому керівнику про будь-який нещасний випадок, що трапився на виробництві, про ознаки професійного захворювання, а також про ситуацію, яка створює загрозу життю і здоров'ю людей;

знати терміни випробування захисних засобів і пристосувань, правила експлуатації, догляду та користування ними. Не дозволяється використовувати захисні засоби і пристосування з простроченим терміном перевірки;

виконувати тільки доручену роботу;

дотримуватися вимог інструкцій з експлуатації обладнання;

знати, де знаходяться засоби надання допомоги, первинні засоби пожежогасіння, головний і запасні виходи, шляхи евакуації в разі аварії або пожежі;

знати номери телефонів медичної установи (103) і пожежної охорони (101).

Електрик може відмовитися від виконання дорученої йому роботи, якщо виникла виробнича ситуація, яка становить загрозу для його життя і здоров'я оточуючих, або для навколишнього середовища, і доповісти про це своєму прямому керівнику.

На робочому місці заборонено курити, вживати алкогольні напої та інші речовини, які надають наркотичну дію на організм людини.

З метою запобігання отримання травм і виникнення травмонебезпечних ситуацій слід дотримуватися нижчеперелічених вимог: не можна залучати до роботи сторонніх осіб;

не починати роботу в разі відсутності умов для її безпечного виконання;

виконувати роботу тільки на справному обладнанні, зі справними пристроями та інструментом;

виявивши несправність терміново доповісти безпосередньому керівнику або усунути їх власними силами, якщо це відноситься до посадових обов'язків;

не торкатися неізольованих або пошкоджених проводів;

не виконувати роботу, яка не входить до професійних обов'язків.

Вміти надавати першу допомогу при кровотечах, переломах, опіках, ураженнях електричним струмом, раптовому захворюванні або отруєнні.

Дотримуватися правил особистої гігієни:

верхній одяг, головний убір і інші особисті речі слід залишати в гардеробі;

працювати в чистому спецодязі;

приймати їжу в призначеному для цього місці.

Вміти правильно користуватися ЗІЗ та засобами колективного захисту, первинними засобами пожежогасіння, протипожежним інвентарем, знати, де вони знаходяться.

Особи, які порушили цю інструкцію з охорони праці для електрика при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування, несуть дисциплінарну, адміністративну, матеріальну і кримінальну відповідальність відповідно до чинного законодавства України.

Вимоги безпеки перед початком роботи

Одягти спецодяг, провести огляд і підготовку робочого місця, прибрати зайві предмети.

Видалити із зони проведення робіт сторонніх осіб і звільнити робоче місце від сторонніх матеріалів та інших предметів, обгородити робочу зону і встановити знаки безпеки.

Переконалися в достатньому освітленні робочого місця, відсутність електричної напруги на відремонтованому обладнанні.

Оглянути на справність вимикачі, розетки електричної мережі, електровілок, електричних проводів, з'єднувальних кабелів, переконалися в наявності і справності ЗІЗ (засобів індивідуального захисту) і попереджувальних пристроїв (рукавичок діелектричних, окулярів захисних, калош, килимків і т. п.).

Виконуючи роботи з інструментом необхідно упевнитися в його справності, в відсутності механічних пошкоджень ізоляційного покриття і в своєчасності проходження випробувань інструменту.

Провести перевірку робочого місця на відповідність вимогам пожежної безпеки, на достатність освітлення робочого місця.

Виявивши недоліки і порушення з питань електричної і пожежної безпеки, негайно доповісти своєму безпосередньому керівнику.

6.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт

Виконуючи посадові обов'язки, електрик зобов'язаний мати при собі посвідчення перевірки знань з питань охорони праці. За відсутності посвідчення або наявності посвідчення з терміном перевірки, працівник не отримує допуск до роботи.

Роботи в електричних установках щодо заходів безпеки поділяються на 3 категорії:

- зі зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмопровідних частинах або біля них;
- без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

Працівники, які виконують спеціальні види робіт, до яких висуваються додаткові вимоги безпеки, повинні бути навчені безпечному проведенню таких робіт і мати про це відповідний запис в посвідченні про перевірку знань.

Працівникові, який обслуговує закріплені за ним електричні установки напругою до 1000 В одноосібно, необхідно мати III групу з електробезпеки.

Виконуючи роботи в електричних установках потрібно проводити організаційні заходи, що забезпечують безпеку робіт:

- оформляти роботи нарядом-допуском, розпорядженням відповідно до переліку робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації;
- проводити підготовку робочих місць;
- допуск до роботи;
- здійснювати контроль над виконанням робіт;
- переводити на інше робоче місце;
- установлювати перерви в роботі та її закінчення.

Для підготовки робочого місця до роботи, яка вимагає зняття напруги, необхідно застосувати, в певному порядку, наведені нижче технічні заходи:

виконати необхідні відключення і вжити всіх заходів, що виключають помилкове або самовільне включення комутаційної апаратури;

розвісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою;

провести перевірку на відсутність напруги на струмопровідних частинах, які повинні бути заземлені для захисту людей від ураження електричним струмом;

встановити заземлення (включити заземлюючі ножі, застосувати переносні заземлення);

встановити огорожі, якщо необхідно, близько робочих місць або струмоведучих частин, що залишилися під напругою, а також вивісити на даних огорожах плакати безпеки.

в залежності від місцевих умов, струмовідні частини обгородити до чи після їх заземлення.

Працювати без зняття напруги на струмопровідних частинах або поблизу них слід як мінімум двом працівникам, одному з них, керівнику робіт, необхідно мати групу IV; іншим групу III з обов'язковим оформленням роботи нарядом-допуском або розпорядженням.

При знятті і встановленні запобіжників під напругою в електроустановках напругою до 1000 В слід заздалегідь відключити всі навантаження, які підключені до зазначених запобіжників; використовувати при цьому ізолюючі кліщі або діелектричні рукавички, а якщо є відкриті плавкі вставки, то і захисні окуляри.

Роботу з використанням драбин потрібно проводити вдвох, один з працівників повинен перебувати знизу. Стояти на ящиках або інших предметах забороняється. При установці приставних драбин на балках,

елементах металевих конструкцій і т. п. слід надійно закріпити верхню і нижню частину драбини на конструкціях.

Під час обслуговування та ремонту електричних установок користуватися металевими драбинами забороняється.

6.3 Вимоги безпеки після закінчення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування

Відключити (від'єднати) необхідне електрообладнання, електроінструмент від мережі.

Навести порядок на робочому місці, прибрати в спеціальні місця деталі, матеріал, сміття і відходи.

Прибрати у відведене місце весь інструмент і пристосування.

Зняти і прибрати спецодяг, ЗІЗ, ретельно помити руки.

Провести огляд робочого місця на відповідність його всім вимогам протипожежного захисту.

Повідомити своєму безпосередньому керівнику про недоліки і несправності, які були під час виконання роботи. Зафіксувати це в оперативному журналі.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пожежі:

вимкнути електричне обладнання, припливно-витяжну вентиляцію, якщо вона є;

повідомити в пожежну частину за телефоном 101 і доповісти про це своєму керівнику, а при його відсутності іншій посадовій особі;

приступити до ліквідації осередка загоряння, застосовуючи передбачені для цього засоби пожежогасіння. Виконувати гасіння електричного обладнання, що знаходиться під напругою, можна тільки

вуглекислотними вогнегасниками типу ОУ або піском. Гасити їх водою або пінним вогнегасником забороняється.

Електрик повинен пам'ятати, що при раптовому відключенні напруги, вона може бути подана знову без попередження.

Слід швидко відключити механізми і пристрої:

- в разі раптового відключення електроенергії,;
- якщо подальша їх робота загрожує безпеці працівників;
- в разі відчуття дії електричного струму при торканні металевих частин пускової апаратури;
- в разі іскріння;
- при найменших ознаках загоряння, появи диму, запаху гару;
- якщо з'явився незнайомий шум.

У разі короткого замикання в мережі електроживлення необхідно знеструмити обладнання і повідомити своєму прямому керівнику.

Якщо сталося ураження електричним струмом, слід звільнити потерпілого від дії електричного струму, для чого відключити електричну мережу або від'єднати потерпілого від струмопровідних частин за допомогою діелектричних захисних засобів та інших ізолюючих речей і предметів (сухий одяг, суха жердина, прогумований матеріал і т. п.), або перерізати (перерубати) провід будь-яким інструментом з ізолюючою рукояткою, обережно, без додаткового нанесення травм потерпілому. До прибуття медпрацівника необхідно надати потерпілому першу допомогу.

При нещасних випадках (травмуванні людини) негайно повідомити про це безпосереднього керівника.

6.4 Розрахунок захисного заземлення

Захисне заземлення забезпечує зниження напруги дотику при замиканні на корпус до відносно безпечних значень шляхом зменшення потенціалу заземленого обладнання, вирівнювання потенціалів підвищенням потенціалів місця, на якому стоїть людина, до значень, що близькі до потенціалу заземлених конструктивних частин обладнання.

Розрахунок захисного заземлення має на меті визначення основних параметрів заземлення – кількість, розміри та порядок розміщення одиночних заземлювачів та заземлюючих провідників, при яких напруга дотику та кроку в період замикання фази на заземлений корпус не перевищує допустимих значень.

Розрахунок захисного заземлення здійснюється для випадку розташування заземлювача в однорідній землі. При цьому враховується опір верхнього шару землі (шар сезонних змін), який обумовлений замерзанням або засухою ґрунту. Розрахунок, який заснований на коефіцієнтах використання провідності заземлювача називається способом коефіцієнтів використання. Його виконують, як при простих, так і при складних конструкціях групових заземлювачів.

Загальні вимоги електробезпеки повинні відповідати ДСТУ 7237:2011. Для захисту від уражень електричним струмом використовують захисне заземлення. Воно повинно захищати людей від уражень електричним струмом у випадку дотику до металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитись під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, це досягається з'єднанням металевих частин електроустановок з землею, або її еквівалентом.

Згідно з класифікацією приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом (ПУЕ 1.1.6.), приміщення в якому проводяться всі роботи відноситься до першого класу (без підвищеної небезпеки). Під час

роботи використовуються електроустановки з напругою живлення 36 В, 220 В, та 360 В. Опір контура заземлення повинен мати не більше 4 Ом.

Розрахунок проводять за допомогою методу коефіцієнта використання (екранування) електродів. Коефіцієнт використання групового заземлювача η – це відношення діючої провідності цього заземлювача до найбільш можливої його провідності за нескінченно великих відстаней між його електродами.

При розрахунку заземлювачів в однорідній землі способом коефіцієнтів використання значення опору R захисного заземлення визначаємо в наступному порядку:

обчислюємо опір пристрою заземлення R_z . Згідно правил улаштування електроустановок (ПУЕ) найбільш припустимі значення R_z , складають для установок до 1000 В:

10 Ом при сумарній потужності генераторів або трансформаторів, що живлять дану мережу, не більше 100 кВА;

4 Ом у всіх інших випадках.

- визначаємо необхідний опір штучного заземлювача $R_{ш}$:

$$R_{ш} = \frac{R_e \cdot R_z}{R_e - R_z}, \quad (4.1)$$

де R_e – опір розтікання природного заземлювача, Ом; R_z – необхідний опір заземлюючого пристрою, Ом.

- обчислюємо кількість вертикальних і довжину горизонтальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{a'}, \quad (4.2)$$

де n – кількість вертикальних електродів, штук; S – площа цеху, m^2 ; a' – задана відстань між електродами, м.

$$l_r = 2a + 2b, \quad (4.3)$$

де l_r – сумарна довжина горизонтальних електродів, м; a – ширина сторони цеху, м; b – довжина сторони цеху, м.

- розраховуємо опори розтікання вертикального R_v та горизонтального R_g електродів:

$$R_v = \frac{\rho_{роз,в}}{2 \cdot \pi \cdot l_v} \left(\ln \frac{2l_v}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l_v}{4t - l_v} \right), \quad (4.4)$$

де $\rho_{роз,в}$ – розрахунковий питомий опір землі для вертикального електрода, Ом·м;

l_v – довжина вертикальних стрижневих електродів, м; d – діаметр електрода, мм;

t – глибина занурення в землю верхнього кінця електрода, м;

$$R_g = \frac{\rho_{роз,г}}{2 \cdot \pi \cdot l_g} \cdot \ln \frac{2l_g}{0,5 \cdot b' \cdot t}, \quad (4.5)$$

де $\rho_{роз,г}$ – розрахунковий питомий опір для горизонтального електрода, Ом·м;

l_g – довжина горизонтальних електродів, м; b' – товщина горизонтального електрода, м.

- за даними таблиці 4.1 та таблиці 4.2 визначаємо коефіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів η_v та η_g та з їх врахуванням обчислюємо розрахунковий опір заземлювача за виразом:

$$R_z = \frac{R_v \cdot R_g}{R_v \cdot \eta_g + R_g \cdot \eta_v \cdot n}, \quad (4.6)$$

Для розрахунку заземлювача задаємось такими вихідними даними: виробничий цех площею $S=5000$ м² і з понижуючою підстанцією 10/0,4 кВ. Заземлювач передбачається виконати з вертикальних стрижневих електродів довжиною $l_v=5$ м, діаметром $d=12$ мм і відстанню між ними $a'=5$ м та горизонтальних електродів (сталеві смуги перетином 440 мм) на глибині $t=0,8$ м. Розрахункова величина питомого опору ґрунту у місці спорудження захисного заземлення береться з таблиці 6.3 (для чорнозема $c=20$ Ом/м). Коефіцієнти вертикальної прокладки K_v і горизонтальної прокладки K_g приймаються з таблиці 6.4 (для третього кліматичного району $K_v=1,3$, $K_g=2,5$).

Талиця 6.1 – Коефіцієнт використання горизонтального стрічкового електрода, що з'єднує вертикальні електроди (труби, кутики і ін.) групового заземлювача

Відношення відстані між вертикальним і електродами до їх довжин	Число вертикальних електродів							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Вертикальні електроди розміщені в ряд								
1.	0,8 5	0,7 7	0,7 2	0,6 2	0,4 2	-	-	-
2.	0,9 4	0,8 0	0,8 4	0,7 5	0,5	-	-	-
3.	0,9 6	0,9 2	0,8 8	0,8 2	0,6 8	-	-	-
Вертикальні електроди розміщені по контуру								
1.	-	0,4 5	0,4 0	0,3 4	0,2 7	0,2 2	0,2 0	0,1 9
2.	-	0,5 5	0,4 8	0,4 0	0,3 2	0,2 9	0,2 7	0,2 3
3.	-	0,7 0	0,6 4	0,5 6	0,4 5	0,3 9	0,3 6	0,3 3

Талиця 6.2 – Коефіцієнт використання вертикальних електродів групового заземлювача (труб, кутиків, і т. ін.) без урахування впливу стрічки зв'язку

Число заземлювачів	Число вертикальних електродів					
	1.	2.	3.	1.	2.	3.
	Електроди, розміщені в ряд			Електроди, розміщені по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	-	-	-	0,41	0,58	0,66
60	-	-	-	0,39	0,55	0,64
100	-	-	-	0,36	0,52	0,62

Таблиця 6.3 – Розрахункові значення питомих електричних опорів ґрунтів

Ґрунт	Значення, які рекомендуються для розрахунків, Ом/м
Пісок	700
Супісок	300
Суглинок	100
Глина	40
Чорнозем	20
Торф	20

Таблиця 6.4 – Значення підвищувальних коефіцієнтів K_r , K_v за кліматичними зонами

Кліматична зона	Тип заземлювачів	
	Горизонтально прокладені заземлювачі (смугові та ін.) при глибині від поверхні ґрунту $t=0,8$ м, K_r	Стрижневі вертикально встановлені заземлювачі при глибині від поверхні землі $t=0,5-0,8$ м, K_v
I	4,5–7	1,8–2
II	3,5–4,5	1,6–1,8
III	2,5–4	1,4–1,6
IV	1,5–2	1,2–1,4

Розрахункові питомі опори ґрунту для вертикальних і горизонтальних заземлювачів визначаються відповідно так:

$$\rho_{роз.в} = K_v \cdot \rho, \text{ Ом/м}, \quad (6.7)$$

$$\rho_{роз.г} = K_r \cdot \rho, \text{ Ом/м} \quad (6.8)$$

Таким чином за формулами (6.7), (6.8), для чорнозему:

$$\rho_{роз.в} = 1,3 \cdot 20 = 26, \text{ Ом/м};$$

$$\rho_{роз.г} = 2,5 \cdot 20 = 50, \text{ Ом/м}.$$

У якості природного заземлювача використовуємо металеву технологічну конструкцію з опором розтікання природного заземлювача

$$R_e = 15 \text{ Ом}.$$

Здійснюємо розрахунок у відповідності з зазначеною послідовністю:

- згідно ПУЕ необхідний опір заземлюючого пристрою складає:

$$R_3 = 4 \text{ Ом};$$

за формулою (6.1) визначимо необхідний опір штучного заземлювача $R_{ш}$:

$$R_{ш} = \frac{15 \cdot 4}{15 - 4} = 5,5 \text{ Ом};$$

за формулами (4.2), (4.3) обчислюємо кількість вертикальних та довжин горизонтальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{5000}}{5} = 5 \text{ штук},$$

$$l_r = 2 \cdot 50 + 2 \cdot 100 = 300 \text{ м};$$

за формулами (4.4), (4.5) розраховуємо опори розтікання вертикального R_v та горизонтального R_h електродів:

$$R_v = \frac{26}{2 \cdot \pi \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,012} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,3 + 5}{4 \cdot 3,3 - 5} \right) = 5,7 \text{ Ом},$$

$$R_h = \frac{50}{2 \cdot \pi \cdot 300} \cdot \ln \frac{2 \cdot 300}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 0,3 \text{ Ом};$$

за даними таблиць (4.10, (4.11) обираємо коефіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів $K_v=0,4$ та $K_h=0,21$;

обчислюємо розрахунковий опір заземлювача R за формулою (4.6):

$$R_r = \frac{5,7 \cdot 0,3}{5,7 \cdot 0,21 + 0,3 \cdot 0,4 \cdot 56} = 0,22 \text{ Ом}.$$

Таким чином, проєктований заземлювач є контурним, складається з 56 вертикальних стрижневих електродів довжиною 5 м і діаметром 12 мм та горизонтального електрода у вигляді сталеві смуги довжиною 300 м, перетином 440 мм^2 , занурених у землю на 0,8.

ВИСНОВКИ

У роботі представлено процес розробки автоматизованої системи зберігання та пошуку товарів (AS/RS) та її загальної структури. Було розроблено невелику практичну модель з метою дослідження роботи системи керування. в рамках проєкту було реалізовано проектування макета, контролера, програмування та інтерфейсу користувача для проєкту без врахування будь-яких інших факторів.

Компонування системи описано на основі механічного та електричного проектування, де перераховано кожен компонент та зображено механізм системи. Труднощі у виконанні проєкту полягали у відсутності деяких компонентів та кінцевих вимикачів, наданих замовником. Тому проектування та програмування ПЛК довелося адаптувати до цих змін. 3D-креслення та електрична схема були розроблені за допомогою AutoCAD Electrical. Відповідно до вимог, основною мовою програмування, що використовувалася в цьому проєкті, була мова сходиноквих діаграм.

Розроблена модель показала хорошу продуктивність в процесі складування товарів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ABB. Comparison of tripping characteristics for miniature circuit-breakers [Електронний ресурс]. January 2013. Режим доступу: https://library.e.abb.com/public/114371fcc8e0456096db42d614bead67/2CDC400002D0201_view.pdf (дата звернення: 17.11.2025).
2. ABB. S201-B16 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://new.abb.com/products/2CDS251001R1165/miniature-circuit-breaker-s200-1p-b-16-ampere> (дата звернення: 17.11.2025).
3. ABSSAC. Power Lead Screws [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.abssac.co.uk/c/Power+Lead+Screws/14/> (дата звернення: 17.11.2025).
4. Acamley P. Stepping motors – a guide to theory and practice / Eds. D. P. Atherton, G. W. Irwin. London: The Institution of Engineering and Technology, 2002. DOI: 10.1049/PBCE063E.
5. AliExpress. Bearing Passive Round Wheel Perlin Wheel V-slot V-type C-Beam [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.aliexpress.com/i/32621936426.html> (дата звернення: 17.11.2025).
6. AliExpress. Emergency stop switch button LA38/203 209B [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.aliexpress.com/item/1005001418698060.html> (дата звернення: 17.11.2025).
7. Amazon. SHZOND 2PCS Linear Rail 0.78-47 Inch SBR Linear Guide Rail with 4PCS Bearing Block Linear Rail Set Slide Guide Rod for DIY CNC Routers Lathes Mills [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.amazon.com/SHZOND-Linear-0-78-47-Bearing-Routers/dp/B07DYQS23Q> (дата звернення: 17.11.2025).
8. Atlantadrives [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.atlantadrives.com/app-rp2.htm> (дата звернення: 17.11.2025).

9. Bakker B. TB6600 Stepper Motor Driver with Arduino Tutorial [Электронный ресурс]. Makerguides, 2018. Режим доступа: <https://www.makerguides.com/tb6600-stepper-motor-driver-arduino-tutorial/> (дата звернения: 17.11.2025).
10. Banggood. Machifit 500mm 2040 V-Slot Aluminum [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://sea.banggood.com/Machifit-500mm-2040-V-Slot-Aluminum-Profile-Extrusion-Frame-DIY-CNC-Tool-Black-p-1295974.html?cur_warehouse=CN (дата звернения: 17.11.2025).
11. Buildbotics. How to Wire Stepper Motors [Электронный ресурс]. 03.09.2019. Режим доступа: <https://buildbotics.com/wiring-stepper-motors/> (дата звернения: 17.11.2025).
12. Cadivi-vn. Instruction of choosing wire and cable [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cadivi-vn.com/vn/huong-dan-lua-chon-day-va-cap-ha-the.html> (дата звернения: 17.11.2025).
13. Cameron D. E. Origin and reduction of acoustic noise in variable reluctance motors: Bachelor thesis. Massachusetts Institute of Technology, 1990. Режим доступа: <https://core.ac.uk/download/pdf/4422073.pdf> (дата звернения: 17.11.2025).
14. Collins D. Pulley balancing for belt drives [Электронный ресурс]. Linearmotiontips, 2017. Режим доступа: <https://www.linearmotiontips.com/pulley-balancing-belt-drives-always-necessary/> (дата звернения: 17.11.2025).
15. Collins D. How does the number of stator phases affect stepper motor performance? [Электронный ресурс]. Linearmotiontips, 22.09.2018. Режим доступа: <https://www.linearmotiontips.com/how-does-the-number-of-stator-phases-affect-stepper-motor-performance/> (дата звернения: 17.11.2025).
16. Collins D. What benefits do dovetail slides offer versus other linear bearing types [Электронный ресурс]. Linearmotiontips, 10.08.2018. Режим доступа:

<https://www.linearmotiontips.com/what-benefits-do-dovetail-slides-offer-versus-other-linear-bearing-types/> (дата звернення: 17.11.2025).

17. Conveyco. 20 Warehouse Automation Statistics That'll Blow Your Mind [Електронний ресурс]. November 2019. Режим доступу: <https://www.conveyco.com/warehouse-automation-statistics/> (дата звернення: 17.11.2025).

18. Dematic. Dematic RapidStore ASRS [Електронний ресурс]. 2016. Режим доступу: <https://pages.dematic.com/assets/view-ung/?map=10&id=322> (дата звернення: 17.11.2025).

19. DFRobot. TB6600 Stepper Motor Driver User Guide [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.makerguides.com/wp-content/uploads/2019/10/TB6600-Manual.pdf> (дата звернення: 17.11.2025).

20. Electronics Stack Exchange. How to find out whether I have a unipolar or a bipolar stepper motor [Електронний ресурс]. 11.01.2012. Режим доступу: <https://electronics.stackexchange.com/questions/24848/how-to-find-out-whether-i-have-a-unipolar-or-a-bipolar-stepper-motor> (дата звернення: 17.11.2025).

21. Electronics Tutorials. PN Junction Theory [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_2.html (дата звернення: 17.11.2025).

22. Eminebea. Stepping motor [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.eminebea.com/en/product/rotary/steppingmotor/hybrid/standard/__icsFiles/afieldfile/2017/09/29/17pm-k_1.pdf (дата звернення: 17.11.2025).

23. Encyclopaedia Britannica. Rack and pinion [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.britannica.com/technology/rack-and-pinion> (дата звернення: 17.11.2025).

24. Erectastep. Aluminum or Steel: Which Metal is Better? [Електронний ресурс]. 2020. Режим доступу: <https://www.erectastep.com/aluminum-steel-metal-better/> (дата звернення: 17.11.2025).

25. Ferretto Group. Automated storage and retrieval systems [Електронний ресурс]. 2019. Режим доступу: <https://www.ferrettogroup.com/index.cfm/en/solutions/asrs/> (дата звернення: 17.11.2025).
26. Groover M. P. Automation, production systems, computer-integrated manufacturing. Pearson, 2016. ISBN: 9781292076119, 9781292076126.
27. Nichols D. H. Physics for Technology. CRC Press, 2018. Режим доступу: <https://www.ebooks.com/en-us/book/209555483/physics-for-technology-second-edition/daniel-h-nichols/> (дата звернення: 17.11.2025).
28. Введення в комп'ютерну графіку та дизайн: Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка"/Укладачі: О.В. Тотосько, П.Д. Стухляк, А.Г. Микитишин, В.В. Левицький, Р.З. Золотий - Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023 - 304с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41166>.
29. Основи наукових досліджень і теорія експерименту : Навчальний посібник для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / укл. Ю. Б. Капаціла, П. О. Марущак, В. Б. Савків, О. П. Шовкун. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2023. 186 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/40843>
30. Коноваленко І. В. Платформа .NET та мова програмування C# 8.0 : навч. посіб. / І. В. Коноваленко, П. О. Марущак. – Тернопіль : В. А. Паляниця, 2020 – 320 с. <http://library.megu.edu.ua:8180/jspui/handle/123456789/4115>
31. Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. – 324 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39189>
32. Капаціла Ю.Б., Савків В.Б. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності «Автоматизація,

- комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 60 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48495>
33. Капаціла Ю.Б., Шовкун О.П. Дослідження релейного електронного регулятора температури. /Методичні вказівки до лабораторної роботи з курсу «Приводи та автоматика мехатронних систем» для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль: ТНТУ. 2025. 15 с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/50560>.
34. Козбур І.Р., «Дослідження часових характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39206>
35. Капаціла Ю.Б., Марущак П.О., Савків В.Б. Методичні вказівки з виконання курсової роботи з дисципліни «Основи наукових досліджень» для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 174 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Тернопіль: ТНТУ, 2023. 32 с
36. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/1551>
37. Методичні вказівки по роботі з програмним симулятором "AVR simulator IDE" з курсу "Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 21 с.
38. Моделювання нелінійних систем керування у пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р.

Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. - 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28057>

39. Моделювання систем керування в пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. - 23 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28056>

40. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Multisim. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо . - Тернопіль : ТНТУ Імені Івана Пулюя, 2018. - 26 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26404>

41. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Proteus VSM. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ, 2018. - 26 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26397>

42. Методичні вказівки до курсового проектування з курсу "Проектування систем автоматизації" / Савків В.Б., Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П. Тернопіль : ТНТУ, 2025. 128 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48646>

43. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка”. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. – 53 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/44635>

44. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка” Модуль 3. «Імпульсна техніка, вторинні джерела живлення, основи цифрової електроніки» – Тернопіль: ТНТУ, 2024. -26 с.

45. Трембач Р.Б., Шовкун О.П. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Інформаційно – вимірювальні системи” Модуль І. «Вимірювальна техніка» – Тернопіль: ТНТУ., 2024. – 67 с.
46. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський)/ укл.: О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.
47. Навчально-методичний посібник до практичних заняття з дисципліни «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» для студентів освітнього ступеня „бакалавр" усіх спеціальностей та форм навчання / Укладачі : О. Я. Гурик, І. Б. Окіпний, В. С. Сенчишин, С. Ю. Мариненко, О. І. Король. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 123 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48496>
48. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 1 [навчальний посібник]. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с.
49. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с.
50. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.
51. Буров Є., Митник М. Комп'ютерні мережі. (у 2-х томах). Львів, Магнолія, 2018.
52. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем. Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / А. Г. Микитиший, М. М. Митник,

О. С. Голотенко, В. В. Карташов. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. – 324 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42625>

53. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>