

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Моделювання роботи електричних двигунів захватного
маніпулятора на технологічній лінії

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
Шифр, назва
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Шифр, назва
Спеціалізація «Електропобутова техніка»

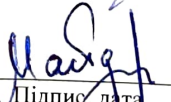
Шифр МРМА 22.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТм-21-1


Підпис

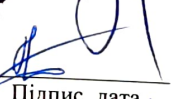
Ю.С. Свачій
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

П.С. Майдан
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

С.І. Луценко
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

О. С. Поліщук
Ініціали, прізвище

19 12 2022 р.

Хмельницький 2022

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень магістр

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр і назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

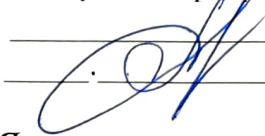
Шифр і назва

Спеціалізація _____

Освітня програма «Електропобутова техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС



_____ .2022 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Свачій Юлія Степанівна

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Моделювання роботи електричних двигунів захватного маніпулятора на технологічній лінії

керівник роботи Майдан Павло Сергійович, к.т.н, доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 1 07 202__ р. № 83

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____

3. Вихідні дані до роботи технічні характеристики технологічної лінії

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ.

Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень використання маніпуляторів на технологічних лініях

Моделювання системи керування електродвигунами захватного маніпулятора на технологічній лінії

Розробка візуалізації стану електродвигунів захватного маніпулятора на технологічній лінії в режимі online

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Конструкції роботів-маніпуляторів (2А1, Д0). Моделювання роботи електродвигуна (2А1, С3). Контролери крокових двигунів (А1, Е3).

Конфігурування технологічного об'єкту крокового електродвигуна (А1, Д1).

Розробка програми керування електродвигуном (А1, Д1). Розробка НМІ-

екрану для технологічного процесу (А1, Д1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

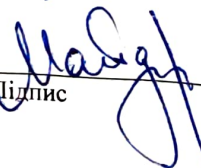
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1 Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень вил. маніпуляторів	29.10.22	
2 Моделивання системи керування електродвигунами захватом маніпулятора	11.11.22	
3 Розробка візуалізації: стану електродвигуна захватом маніпулятора	2.12.22	
4 Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	15.12.22	

Студент


Підпис

Керівник роботи


Підпис

Ю.С. Свачій
Ініціали, прізвище

П.С. Майдан
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної роботи магістра
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Свачій Юлія Степанівна

2. Тема магістерської роботи Моделювання роботи електричних двигунів захватного маніпулятора на технологічній лінії

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 8 арк., сторінок записки 93

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки: _____

Вступ.

Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень використання маніпуляторів на технологічних лініях

Моделювання системи керування електродвигунами захватного маніпулятора на технологічній лінії

Розробка візуалізації стану електродвигунів захватного маніпулятора на технологічній лінії в режимі online

Підпис студента С. Ювачій

"20" 12 2022 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 1 від «24» 12 2022 р.

Оцінка проекту ЕК добре 4,5/10

Рекомендації ЕК _____

Особливі відмітки _____

Технічний секретар [Підпис]

"24" 12 2022 р.

Зміст

		с.
	Вступ	6
1	Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень використання маніпуляторів на технологічних лініях	7
1.1	Огляд та аналіз конструкцій маніпуляторів на технологічній лінії	7
1.2	Огляд та аналіз конструкцій захватних пристроїв для маніпуляторів на технологічних лініях	11
1.3	Огляд та аналіз існуючих конструкцій крокових електродвигунів	15
	Висновки до розділу	29
2	Моделювання системи керування електродвигунами захватного маніпулятора на технологічній лінії	31
2.1	Моделювання роботи крокового електродвигуна захватного маніпулятора на технологічній лінії	31
2.2	Програмні засоби для візуалізації стану крокового електродвигуна захватного маніпулятора на технологічній лінії	36
	Висновки до розділу	53
3	Розробка візуалізації стану електродвигунів захватного маніпулятора на технологічній лінії в режимі online	55
3.1	Створення технологічного об'єкту крокових електродвигунів для захватного маніпулятора на технологічній лінії	55
3.2	Конфігурування технологічного об'єкту крокового електродвигуна для захватного маніпулятора на технологічній лінії	76
3.3	Розробка програми керування електродвигуном захватного маніпулятора на технологічній лінії	81

МРМА 22.00.00.000 ПЗ								
	Арк.	Модокум.	Підпис	Дата				
Знак.	Свачій Ю.С.		<i>С. Свачій</i>		Моделювання роботи електричних двигунів захватного маніпулятора на технологічній лінії	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Майдан П.С.		<i>П. Майдан</i>			М	4	93
Контр.	Пундик С.І.		<i>С. Пундик</i>		ХНУ гр. ЕТМ-21-1			
Патвер.	Поліщук О.С.		<i>О. Поліщук</i>					

Висновки до розділу	88
Загальні висновки	89
Перелік джерел посилань	90
Додатки	93

					<i>MPMA 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

Загально відомо, що мехатроніка на сучасному етапі розвитку, рахується такою галуззю науки та техніки, яка була заснована саме на синергетичному об'єднанні вузлів точної механіки із електротехнічними, електронними або, навіть, комп'ютерними компонентами. Таке поєднання елементів буде забезпечувати проєктування та виготовлення якісно нових механізмів, машин та систем оснащених інтелектуальними системами керування та спеціалізованими функціональними рухами [1, 2, 3]. Тому принципи синергетики лежать в якості основи при розробці та створенні мехатронних систем, а саме для поєднання в одному агрегаті різних компонентів із різною технічною природою, які будуть повинні взаємодіяти із навколишнім середовищем в якості єдиного функціонального та конструктивного організму.

Відомо, що мехатроніка буде старатись досягти повної інтеграції між силовою електронікою та прикладною механікою, мікропроцесорною технікою та електричними машинами, спеціалізованим програмним забезпеченням та програмованими логічними контролерами (ПЛК) [2]. У такому визначенні особливо виділена суть будь-якої мехатронної систем (МС), яка є триединою, в основу побудови якої закладені ідеї глибокого взаємозв'язку електронних, механічних та комп'ютерних елементів [3].

У машинобудуванні метою та предметом мехатроніки є саме створення та виготовлення якісно нових модулів руху та спеціалізованих машин, які є потрібними для виконання необхідних функціональних рухів та дій механізмів та машин. А будь-який функціональний рух МС є цілеспрямованим механічним переміщенням, яке потрібно скоординувати із інформаційними та технологічними процесами [3, 4].

Метою нашої роботи є: моделювання роботи електродвигуна захватного маніпулятора в програмному середовищі TIA PORTAL V.15.1, для виконання необхідних досліджень його роботи в якості цифрового двійника.

					<i>MPMA 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ВИКОРИСТАННЯ МАНІПУЛЯТОРІВ НА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЯХ

1.1 Огляд та аналіз конструкцій маніпуляторів на технологічній лінії

Відомо, що від виду системи керування класифікують наступні види маніпуляторів - із ручним та автоматичним видом керування [1-4]. У маніпуляторах із автоматичним видом керування ланки виконавчого механізму приводяться у рух саме сервоприводами, що працюють за попередньо створеною та завантаженою програмою. Маніпулятори саме із автоматичним видом керування, що застосовуються при автоматизації виробничих та технологічних процесів зазвичай називають промисловим роботом.

У маніпуляторах із ручним видом керування є людина-оператор, яка діє на всі ланки механізму керування та приводить у рух потрібні ланки виконавчого механізму. Відомо, що граничні сили та переміщення виконавчого органу обмежені можливостями людини-оператора. У разі потреби більших потужностей окремі ланки виконавчого механізму приводяться у рух приводами за сигналами, що створюються людиною-оператором через пристрій керування.

Класифікація роботизованих маніпуляторів на технологічних лініях [1-4].

Єдиної великої класифікації серед наявних роботів-маніпуляторів на сьогодні не існує. Пристрої за звичай класифікують за їхнім технологічним призначенням, конструктивними особливостями та іншими параметрами.

За типом монтажу роботизованого обладнання класифікують на:

- мобільні - прилади даного типу не мають прив'язки до конкретного місця базування та використовуються для виконання завдань у будь-якій точці виробництва або, навіть, за його межами. Вони можуть володіти різними джерелами живлення - постійні або автономні, різні умови, в яких можливе їх використання - для будь-якої погоди, жорстких або небезпечних умовах, у воді,

					MPMA 22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

наприклад, навіть для розмінування тощо. Мобільні робототехнічні пристрої відрізняються від інших порівняно невеликою масою та розмірами, потребують мало місця під час переміщення, а їх конструктивні можливості дають змогу успішно долати всі перешкоди, що можуть виникнути на їх напрямку руху. Нерідко мобільні маніпулятори мають спеціалізовані блоки, що відповідають за наявність в них штучного інтелекту. Недоліками є суттєво висока ціна та достатньо невелике корисне навантаження (за малим винятком);

- стаціонарні – найпоширеніший вид роботів-маніпуляторів. Можуть розрізнятися в залежності від обраного типу кріплення (підлоговий, настінний, стельовий). Базовою характеристикою є підвищена вантажопідйомність та достатньо широкий радіус дії;

- горизонтальні – довжина даних маніпуляторів може досягати декількох десятків метрів. Використовуються в тих випадках, коли необхідне одноразове обслуговування декількох ділянок технологічної лінії;

- вертикальні – використовуються, в більшості випадків, в умовах обмеженого простору [1-4].

За типом виконуваних функцій класифікують такі види маніпуляторів:

- зварювання - роботи, які виконуються за допомогою використання роботів, дають змогу отримати та забезпечити більш високу якість зварних швів та високу стабільність наявних дуг. Також перевагою є високі швидкості зварювальних робіт і використання низьких струмів, що неможливо при використанні ручного апаратного зварювання. Роботи-маніпулятори, які призначені для виконання таких зварювальних робіт, часто додатково можуть бути оснащені спеціальним обертовим столом, який дозволяє виконувати роботу в будь-якому положенні;

- складальні роботи-маніпулятори (зборка/розборка виробів) - така техніка використовується під час промислової зборки виробів будь-яких розмірів. Під час роботи із деталями великих розмірів саме ізолювання роботи людини за рамки технологічного процесу надасть змогу значно прискорити виробничий

					<i>МРМА 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

процес та скоротити сферу використання великих спеціальних вантажопідійомних пристроїв. У процесі виготовлення дрібних деталей буде зростати не лише швидкість, а і загальна точність та, звичайно, загальна якість роботи;

- обробка матеріалів – використання роботів-маніпуляторів у даній сфері дає можливість отримати ідеально гладкі робочі поверхні, крім того процес обробки супроводжується зміцненням стінок металу та, відповідно, підвищенням твердості металу більш ніж на 30% за рахунок виконання холодного кування. Автоматизований технологічний процес дасть змогу повністю виключити працю людини зі шліфування та полірування деталей;

- різання та обробка поверхонь -дані процедури, що супроводжується травмами для людей-співробітників, буде абсолютно безпечною для роботизованої техніки. Крім цього, роботи-маніпулятори можуть проводити операції з різання та обробки матеріалу з максимально можливою точністю, знизивши при цьому до мінімуму втрату матеріалу і скоротивши час, витрачений на обробку;

- будівельні – спеціалізовані роботи-маніпулятори, що використовуються саме в галузі будівництва, здатні виготовляти об'єкти із максимально можливою швидкістю, гранично точно витримуючи закладений програмою план роботи. Крім того, машини можуть робити без сну, не залежачи від погодних умов та спеціальних технологічних особливостей виробничого процесу;

- очищення, дозування або фарбування – прилади, які застосовуються при очищенні робочих поверхонь струменями води, яка буде подаватись під високим тиском, піскоструминної обробки або нанесення нових шарів фарби на готові вироби. Одна людина-оператор при цьому може успішно керувати відразу всім робототехнічним комплексом;

- інші - роботи-маніпулятори, що можуть використовуватись у всіх сферах життя людини, від військових операцій із, наприклад, розмінування до високотехнологічних операцій, які пов'язані з медициною.

					<i>МРМА 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

За типом приводу класифікують такі маніпулятори:

- електричні - можуть бути класифіковані в залежності від типу електродвигуна: синхронні та асинхронні; серводвигуни, а також крокові електродвигуни. Маніпулятори приводяться в рух за допомогою електричного струму і володіють високою продуктивністю та достатньою точністю операцій;

- гідравлічні роботи-маніпулятори – даний вид застосовується в тих випадках, коли необхідно виконувати роботу із вантажами, вага яких більша за 100 кг . Маніпулятори даного виду обладнані двигунами, в яких для приведення в робочий рух виконавчого органу застосовується саме рідина. Принцип роботи маніпулятора полягає в наявності насоса, що створює тиск робочої рідини в магістралі напору, яка з'єднана напряду з двигуном маніпулятора. Насос призначений для перетворення тиску рідини в механічний рух. Даний вид маніпуляторів найбільш широко використовують у автомобілебудуванні та важкій промисловості. До їх перевагами відносять порівняно невеликі габарити та вага установок, можливість рівномірного регулювання сили впливу та висока продуктивність;

- пневматичні - робочий інструмент приводиться в рух за допомогою енергії, яку отримують від стискання повітря. Базовим компонентом даної системи є саме компресор, який накачує повітря в пневмопроводи. Відсутність в'язкого середовища дає можливість використовувати дані маніпулятори там, де необхідна висока швидкість обертання пневмодвигуна. Характеризуються порівняно нижчою продуктивністю, але набагато менш чутливі до впливу зовнішніх факторів.

За корисним навантаженням маніпулятори класифікують:

- від 0 до 20 кг – захватні маніпулятори даного типу компактні, володіють досить високою швидкістю та точністю позиціонування, при досить невеликій вантажопідйомності та невеликій робочій зоні. Часто використовуються в так званих «чистих» приміщеннях;

- від 20 до 80 кг – дані захватні маніпулятори відрізняються високою

					<i>МРМА 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

продуктивністю та певною універсальністю в питаннях сфери використання. Такі маніпулятори оптимізовані під виконання швидких операцій, які багаторазів повторюються. Маніпулятори даного типу можуть використовуватись в компактних виробничих цехах із підвищеними показниками щільності в питанні монтажу обладнання при високій якості виконання операцій;

- від 80 до 300 кг - дані маніпулятори використовуються, в більшості випадків, в складних умовах виробництва. Саме тому відрізняються високою надійністю, високою зносостійкістю, а також простотою в питаннях конфігурування та керування;

- від 300 до 1000 кг - дані маніпулятори призначені для використання у, так званих, важких умовах. Зазвичай застосовуються в автомобілебудуванні для обертання автомобільних кузовів, операцій у ливарних або ковальських цехах.

- від 1000 до 3000 кг - дані маніпулятори досить легко працюють з вантажами з найбільшою масою. Використовуються на вантажно-розвантажувальних роботах завдяки своїм можливостям з достатньо високою точністю транспортувати найважчі вантажі [1-4].

1.2 Огляд та аналіз конструкцій захватних пристроїв для маніпуляторів на технологічних лініях

Захватні пристрої (ЗП), як зрозуміло із назви, застосовують для захвату, утримування та транспортування в певному положенні різних потрібних технологічних об'єктів. Принципи дії та конструкції ЗП суттєво різняться, дана різноманітність обумовлена тим, що технологічні об'єкти, які в процесі виробництва будуть проходити стадії від сировини до готового виробу, досить сильно можуть змінювати свої розміри, форму чи масу та можуть володіти суттєво різними фізичними властивостями [18].

До числа обов'язкових вимог, що виносять до ЗП зазвичай, відносять саме надійність захвату та утримування об'єкта, а також недопустимість

					<i>МРМА 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

пошкодження об'єкта та стабільність базування (збереження орієнтації).

На надійність утримування технологічного об'єкта ЗП мають вплив [18]:

– фізичні властивості об'єкта (маса, розташування центра ваги, шорсткість поверхні, розміри, форма, проникність повітря, жорсткість, момент інерції тощо);

– конструктивні параметри ЗП (спосіб захвату, форма та геометричні характеристики, силові параметри ЗП, матеріал та стан робочої поверхні захвату, тощо);

– динамічні параметри переміщення ЗП. Під час транспортування вектор сил, що діють на технологічний об'єкт змінюють напрямок та величину. Це виникає саме через спосіб переміщення ЗП (рух може бути поступальним, обертовим або складним; прискорення чи гальмування виконавчого механізму – відбувається зміна прискорення та швидкості). Надійність утримування технологічного об'єкта необхідно забезпечити за найбільш несприятливих умов.

Структурну схему практично будь-якого ЗП можна уявити саме у вигляді наступного ланцюга: привод – підсилювально-передаточна ланка – утримуючий елемент – інформаційно-вимірювальна ланка. При цьому різні типи ланок можуть бути розташовані в довільній послідовності.

ЗП можливо класифікувати за наступними ознаками:

- принцип роботи;
- спосіб захвату та утримання технологічного об'єкта;
- наявність сенсорних пристроїв для саморегулювання.

Відповідно до першої ознаки розрізняють ЗП:

– підтримувальні, що підтримують технологічний об'єкт за його нижню поверхню (вила, лопатки, транспортери тощо);

– утримувальні, які можуть створити силову взаємодію завдяки різним фізичним ефектам (вакуум, електростатичне притягування, адгезія тощо);

– захватні, які утримують технологічний об'єкт завдяки кінематичній взаємодії робочих елементів (пальці, губки, кліщі тощо) із поверхнею об'єкту, за

										Арк.
										12
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 22.00.00.000 ПЗ					

рахунок лише сили тертя.

Відповідно до другої ознаки ЗП класифікують як механічні, пневматичні та адгезивні; відповідно до третьої – сенсорні та без сенсорні.

Механічні способи захвату зазвичай базуються на кінематичній та силовій взаємодії саме захватного органу із технологічним об'єктом шляхом безпосереднього контакту.

Робота пневматичних ЗП базується на взаємодії потоку повітря із так би мовити, робочою поверхнею деталі.

Природа адгезивних способів обумовлена взаємодією сил адгезії робочої поверхні захватного органу та поверхні технологічного об'єкту.

В якості ЗП в нашій роботі ми будемо використовувати електромагнітний захват, через простоту конструкції та роботи.



Рисунок 1.1 - Загальний вигляд маніпулятора із 6 ступенями свободи та електромагнітним ЗП

Електромагніт – спеціалізований пристрій, який створює магнітне поле під час проходження через нього електричного струму. Стандартна будова електромагніту - наявність обмоток та феромагнітного осердя, який буде набувати спеціальних властивостей магніту при проходженні через обмотку електричного струму. В будові електромагнітів, які використовуються для

створення великого механічного зусилля також присутній якір (або рухома частина магнітопроводу), що використовується саме для передачі зусилля.

Стандартний матеріал для виготовлення обмоток електромагнітів – це ізолюваний алюмінієвий або мідний дріт, хоча існують і надпровідні електромагніти. Магнітопроводи, за звичай, виготовляють саме із магнітом'яких матеріалів – або з електротехнічної або із якісної конструкційної сталі, залізо-нікелевих або залізо-кобальтових сплавів, листової сталі або чавуну. Для зниження виникаючих втрат на вихрові струми магнітопроводи можуть виготовляти із набору листів (так звана, шихта).

Також електромагніти можуть використовуватись для створення магнітних потоків в електричних апаратах та електричних машинах, пристроях автоматики (двигунах, пускачах, генераторах, реле тощо).

Розрізняють наступні види електромагнітів:

– поляризовані електромагніти постійного струму (ПС) – у електромагнітах даного виду створюється два незалежних магнітних потоки: поляризаційний, який створюється за допомогою поля постійного магніту, а також робочий магнітний потік, який створюється за допомогою обмотки керування та сили намагнічування. Дія даного виду електромагніту залежить як від величини магнітного потоку, так і від напрямку протікання електричного струму в робочій обмотці;

– нейтральні електромагніти ПС – у даному виді електромагніту сила залежить тільки від величини струму в обмотці і не залежить від напрямку струму;

– електромагніти змінного струму – у даних електромагнітах живлення обмотки виконується саме від джерела змінного струму, а магнітний потік періодично змінює як величину так напрямок, внаслідок чого сила з якою притягується технологічний об'єкт буде змінюватись від мінімального до максимального значення із подвоєною частотою по відношенню до частоти струму живлення [18].

					<i>МРМА 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Електромагніти класифікують також за рядом інших конструктивних ознак: за способом вмикання обмоток – із послідовними та із паралельними обмотками; за характером роботи електромагнітів – такі, що працюють в тривалому, короткочасному та переривистому режимах; за швидкістю дії – швидкої та сповільненої дії тощо [18].

1.3 Огляд та аналіз існуючих конструкцій крокових електродвигунів

Одним із поширених видів синхронних електродвигунів є саме крокові електродвигуни. Таку назву вони отримали через те, що їх головний вал зазвичай виконує дискретне переміщення якраз на заданий кут (або крок) під дією імпульсів керування, які подаються на обмотки статора. Ці двигуни відносяться до синхронних тому, що ротор постійно відстежує магнітне поле, яке створюється обмотками статора. У результаті цього крокові двигуни дають змогу без застосування датчиків положення забезпечити точне позиціонування головного валу, а значить і робочого органу шляхом подачі заданого числа імпульсів керування. Саме цим і обумовлюється широке використання крокових електродвигунів в механічних пристроях різного призначення та різного розміру: від мікромехатронних пристроїв побутового призначення (наприклад, CD-ROM, принтери тощо) до промислових верстатів з ЧПК [2].

До переваг крокових електродвигунів можливо віднести наступні:

- досить високу точність до 3% в залежності від величини кроку за 200 кроків на один повний оберт;
- відсутність мультиплікативної похибки загального позиціонування;
- можливість досить швидкого старту, зупинки або реверсування руху;
- можливість отримання низьких швидкостей обертання без застосування редуктора;
- висока надійність та безпека, пов'язана із відсутністю в конструкції щіток.

					<i>МРМА 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

В якості недоліків крокових електродвигунів можливо вказати наступне:

- кроковим електродвигунам, як і іншим синхронним, притаманне фізичне явище резонансу;
- можлива втрата контролю загального положення під час роботи без використання зворотного зв'язку, пов'язана, наприклад, із певним перевищенням максимально допустимого моменту навантаження на головному валу;
- без навантаження в режимі гальмування загальне споживання енергії буде не нижчим, ніж при виконанні роботи електродвигуном;
- досить ускладнена робота на високих швидкостях;
- досить невисока питома потужність;
- відносно складна схема керування електродвигуном.

Наявність перерахованих недоліків призводить до необхідності застосування сервоприводів із використанням енкодерами замість крокових електродвигунів. Системи, що використовують зворотній зв'язок здатні роботи із суттєво великими прискореннями та за звичай змінним характером навантаження. Якщо навантаження крокового електродвигуна перевищує його момент, то інформація про загальне положення ротора втрачається і система потребує виконання операції базування за допомогою, наприклад, кінцевого вимикача або іншого давача. Системи, які використовують зворотній зв'язок не володіють подібним недоліком.

Під час проектування конкретних систем керування доводиться робити вибір між сервомотором та кроковим електродвигуном. Коли необхідно використовувати прецизійне позиціонування та досить точне керування швидкістю, а необхідний момент та швидкість не виходять за встановлені границі, то кроковий електродвигун є найбільш економічним вибором. Як і для звичайних електродвигунів, для підвищення моменту може бути застосована конструкція із використанням понижувального редуктора.

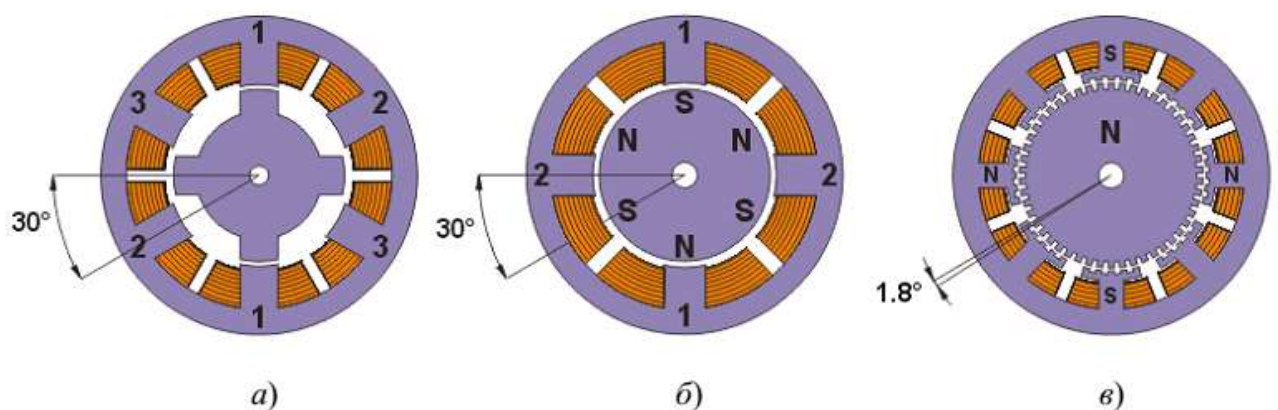
Проте відомо, що для крокових електродвигунів редуктор не завжди підходить. На відміну від колекторних електродвигунів, у яких момент може

					<i>МРМА 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

зростати зі збільшенням швидкості, кроковий електродвигун має дещо вищий момент на досить низьких швидкостях. До того ж, крокові електродвигуни мають набагато нижчу максимальну швидкість якщо порівнювати із колекторними електродвигунами, що дещо обмежує максимальне передаточне число i , відповідно, підвищення моменту за допомогою застосування редукторів.

Готові крокові електродвигуни із редукторами хоча й існують, проте є досить екзотичним. Ще одним фактом, що обмежує використання редуктора в конструкції із кроковим електродвигуном, є властивий йому деякий люфт. Колекторний електродвигун має дещо вищу питому потужність, нижчу вартість, просту схему керування, і разом із використанням одноступінчастого черв'ячного редуктора він здатний забезпечити майже той самий діапазон швидкостей, що й кроковий електродвигун. До того ж, при цьому можливо забезпечити значно вищий момент [6].

Явнополюсний ротор крокового електродвигуна може бути як активним так і реактивним. Активний ротор крокового електродвигуна оснащений обмоткою збудження постійного струму, контактними кільцями та щітками або ж виготовляється у вигляді звичайного постійного магніту із полюсами, які чергуються за полярністю. Реактивний ротор зазвичай, виготовляється без обмотки збудження із явно вираженими ненамагніченими полюсами.



а – з реактивним ротором; б – з активним ротором; в - гібридний
Рисунок 1.2 – Загальні схеми крокових електродвигунів різних типів:

Число полюсів ротора крокового електродвигуна вдвічі менше числа полюсів статора [6]. Також як окремий вид можливо виділити, так звані, гібридні електродвигуни, які є різновидом електродвигунів із активним ротором (див. рис. 1.2) [6].

Визначити тип електродвигуна можливо за зовнішнім виглядом. Під час обертання головного валу знеструмленого електродвигуна із постійними магнітами (або гібридного) відчувається перемінний опір обертанню, електродвигун обертається наче із певним клацанням. Головний вал знеструмлених електродвигунів із реактивним ротором і електродвигунів із наявними обмотками збудження обертається досить вільно. В конструкції електродвигуна із реактивним ротором немає виводів для обмотки збудження, але зазвичай він оснащений трьома (інколи чотирма) обмотками із одним загальним виводом. Електродвигуни із активним ротором можуть бути оснащеними обмоткою збудження та найчастіше володіють двома незалежними обмотками статора. Такі обмотки можуть бути забезпечені загальним відводом із середини. Іноді електродвигуни із активним ротором оснащені чотирма окремими розділеними обмотками [6].

Крокові електродвигуни оснащені реактивним ротором мають декілька полюсів на статорі та ротор спеціальної зубчастої форми із магнітом'якого матеріалу (рис. 1.2, а), намагніченість такого ротора повністю відсутня. На рисунку 1.2, а ротор має чотири зубці, а статор оснащений шістьма полюсами. Двигун має в конструкції три окремі незалежні обмотки, кожна із яких намотана на два протилежні полюси статора. Такий двигун має крок 30° [6].

Під час увімкнення струму тільки в одній з котушок, ротор буде прагнути зайняти положення, коли магнітний потік буде замкнений, тобто зубці ротора перебуватимуть навпроти тих полюсів, на яких розміщено обмотку, яка заживлена. Якщо потім вимкнути дану обмотку та увімкнути наступну, то ротор буде змінювати положення, щоб знову замкнути своїми зубцями магнітний потік. Таким чином, щоб забезпечити безперервне обертання, потрібно вмикати

фази саме поперемінно. Електродвигун є не чутливим до напрямку струму в обмотках. Реальний електродвигун може володіти більшою кількістю полюсів статора та, відповідно, більшою кількістю зубців на роторі, що відповідає більшій кількості кроків на один повний оберт. Іноді поверхню для кожного полюса статора можуть виконуватись зубчастою, що разом із відповідними зубцями ротора буде забезпечувати дуже малі значення для кута кроку, приблизно в кілька градусів. Електродвигуни із реактивним ротором досить рідко застосовуються в індустріальних виробництвах [6].

Крокові електродвигуни оснащені активним ротором складаються із статора, який має обмотки, та ротора, в якому розташовані постійні магніти (рис. 1.2, б). Полюси ротора, що чергуються, мають прямолінійну форму і розташовані паралельно головній осі електродвигуна. Завдяки намагніченості ротора в даних електродвигунах забезпечується вищий магнітний потік і, як наслідок, трохи більший момент, ніж у електродвигунів із реактивним ротором [6].

На рисунку 1.2, б електродвигун оснащено трьома парами полюсів ротора та двома парами полюсів статора. Електродвигун оснащено двома незалежними обмотками, кожна із яких намотана на двох протилежних полюсах статора. Такий електродвигун має величину кроку 30° . Під час протікання струму в одній із котушок ротор прагне зайняти наступне положення, в якому різнойменні полюси ротора і статора будуть знаходитись один навпроти одного. Для здійснення безперервного обертання необхідно замикати фази поперемінно. На практиці електродвигуни оснащені постійними магнітами зазвичай володіють або 24 або 48 кроками на один повний оберт (15° або $7,5^\circ$). Для прикладу на рисунку 1.3 наведено розріз реального крокового електродвигуна із постійними магнітами [6].

Для здешевлення конструкції крокового електродвигуна магнітопровід його статора виконано у вигляді штампованої склянки. Усередині знаходяться полюсні наконечники виконані у вигляді ламелей. Обмотки фаз розташовані на двох різних магнітопроводах, які встановлені один на одному. Ротор представляє

					<i>МРМА 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

в). Таким чином, зубці однієї частини ротора є, нібито, північними полюсами, а зубці іншої відповідно - південними. Верхня та нижня частини ротора є повернутими одна щодо одної по осі на половину кута кроку зубців. Число пар полюсів ротора завжди рівне кількості зубців на одній з його половинок. Статор гібридного електродвигуна також має зубці, забезпечуючи велику кількість еквівалентних полюсів, на відміну від основних полюсів, на яких розміщені обмотки. Зазвичай використовуються чотири основні полюси для кроку $3,6^\circ$ та вісім основних полюсів для кроку $1,8^\circ \dots 0,9^\circ$.

Зубці ротора забезпечують нижчий опір магнітного кола при певних положеннях ротора, що поліпшує як статичний так і динамічний момент. Це досягається відповідним розташуванням зубців, коли частина зубців ротора розташована строго навпроти зубців статора, а частина зубців між ними. Ротор, який представлено на рисунку 1.2, електродвигуна оснащено ста полюсами (п'ятдесят пар), двигун відповідно, має дві фази, тому повна кількість полюсів - двісті, а крок $1,8^\circ$ [6].

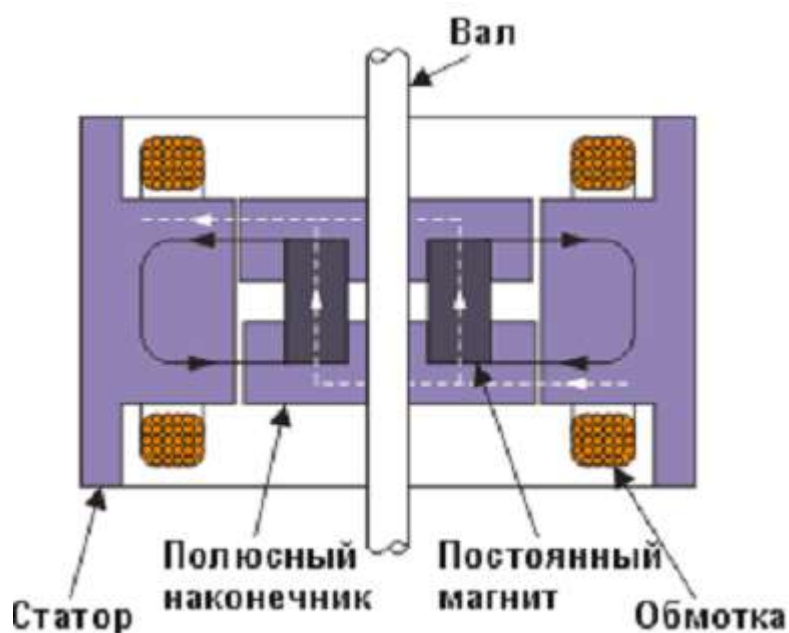


Рисунок 1.4 – Вигляд повздовжнього розрізу гібридного крокового електродвигуна

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 22.00.00.000 ПЗ

Арк.
21

Поздовжній розріз гібридного крокового електродвигуна наведено на рисунку 1.4. Стрілками показано напрямок руху магнітного потоку постійного магніту ротора. Частина потоку (на рисунку наведена суцільною чорною лінією) проходить через полюсні наконечники ротора, повітряні зазори та полюсний наконечник статора, дана частина не приймає участь у створенні моменту [6].

Повітряні зазори у верхнього та нижнього полюсного наконечника ротора є різними. Це досягається поворотом полюсних наконечників на половину кроку зубів. Існує другий магнітний ланцюг, який має мінімальні повітряні зазори та, відповідно, мінімальний магнітний опір. По цьому ланцюгу буде замикатись інша частина потоку (на рисунку наведена штриховою білою лінією), яка і буде створювати момент, саме таким чином і створюють магнітний потік котушки статора.

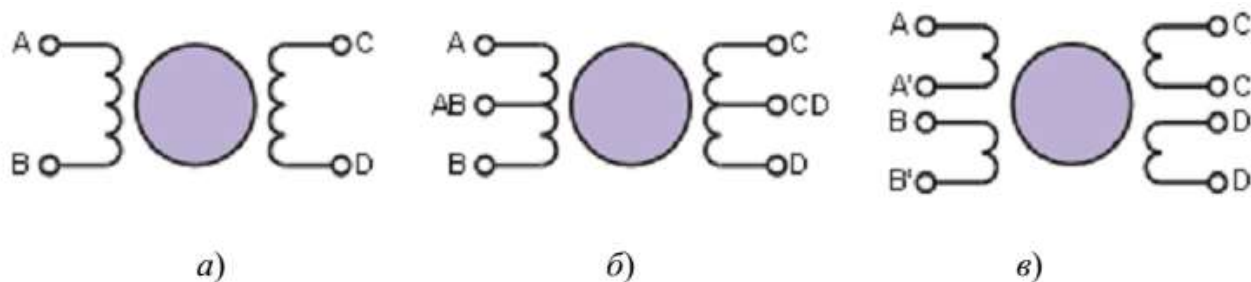
Величина зазору між зубцями ротора та статора є досить малою - близько 0,1 мм, що вимагає достатньо високої точності під час зборки. Щоб магнітний потік не замикався через головний вал, який перетинає магніт, його іноді виготовляють із немагнітних матеріалів [6].

Для отримання досить великих моментів необхідно збільшувати як поле, яке створюється статором, так і поле створене постійним магніту. При цьому потрібен трохи більший діаметр ротора, що в свою чергу буде зменшувати відношення крутного моменту до моменту інерції. Тому досить потужні крокові електродвигуни іноді конструктивно виконують із декількох секцій у вигляді етажерки. Крутний момент та момент інерції збільшуються пропорційно кількості секцій, а їхнє відношення залишається незмінним.

Звичайно, існують і інші конструкції крокових електродвигунів. Наприклад, електродвигуни із дисковим намагніченим ротором. Такі електродвигуни володіють досить малим моментом інерції ротора, що в низці випадків досить важливо [6].

Залежно від конфігурації обмоток крокові електродвигуни класифікують як біполярні та уніполярні (рис. 1.5). Біполярний кроковий електродвигун має

одну обмотку в кожній фазі, полярність увімкнення якої необхідно змінювати для зміни напрямку обертання магнітного поля. Для обмоток даного типу електродвигуна потрібна мостова схема включення. Біполярний кроковий електродвигун має дві обмотки та чотири виводи (рис. 1.5, а) [6].



а – біполярний; б – уніполярний; в - чотириобмотковий

Рисунок 1.5 – Загальний вигляд обмоток крокових електродвигунів:

Уніполярний кроковий електродвигун також має одну обмотку в кожній фазі, але від середини обмотки зроблено вивід (рис. 1.5, б). Це дозволяє змінювати напрямок обертання магнітного поля, створюваного обмоткою, перемиканням лише половинок обмотки.

При цьому значно спрощується схема ввімкнення електродвигуна. Кінці А, В, С та D обмоток будуть підключені до виходів транзисторних ключів, що з'єднують їх, наприклад, із мінусом джерела живлення, а середні точки АВ та CD з'єднуються разом та підключаються до протилежного полюса (відповідно, плюса).

Середні точки обмоток можуть бути об'єднані всередині електродвигуна, тому такий електродвигун може мати п'ять або, навіть, шість виводів. Іноді уніполярні крокові електродвигуни оснащені роздільними чотирма обмотками, з цієї причини їх помилково називають чотирифазними електродвигунами. Кожна обмотка має окремі виводи, тому всього таких виводів є вісім (рис. 1.5, в). За відповідного з'єднання обмоток такий кроковий електродвигун можна використовувати як уніполярний або, навіть, як біполярний. Уніполярний кроковий електродвигун із двома обмотками та виводами також можна використовувати в біполярному режимі роботи, якщо виводи залишити

непідключеними. У будь-якому разі струм обмоток слід підбирати таким чином, щоб не перевищити максимальної потужності розсіювання [6].

Якщо порівнювати між собою біполярний та уніполярний крокові електродвигуни, то біполярний має трохи вищу питому потужність. За одних і тих самих розмірів біполярні крокові електродвигуни можуть забезпечити вищий момент.

Момент, створюваний кроковим електродвигуном, прямо пропорційний величині магнітного поля, що створене обмотками статора. Шлях для збільшення магнітного поля - це збільшення струму або збільшення числа витків обмоток. Природним обмеженням при підвищенні струму обмоток є небезпека насичення залізного сердечника. Однак на практиці це обмеження діє досить рідко. Набагато істотнішим є обмеження щодо перегрівання електродвигуна внаслідок активних втрат в обмотках. Якраз цей факт і демонструє одну з переваг біполярних крокових електродвигунів. В уніполярному кроковому електродвигуні в кожен момент часу використовується тільки половина обмоток. Інша половина лише займає місце у вікні сердечника, що змушує робити обмотки дротом меншого діаметру. Водночас у біполярному кроковому електродвигуні завжди роблять усі обмотки, тобто їхнє використання є оптимальним. У даному електродвигуні перетин окремих обмоток удвічі більший, а опір – відповідно є вдвічі меншим. В свою чергу, це дасть змогу підвищити струм у 1,41 рази при тих самих втратах, що дає вигоду у моменті приблизно в 40%.

Якщо ж підвищеного моменту не потрібно, біполярний кроковий електродвигун дозволяє зменшити габарити або просто працювати із нижчими втратами. На практиці все ж таки часто використовують саме уніполярні крокові електродвигуни, бо вони потребують значно легших схем керування обмотками. Це досить важливо, якщо схеми керування виконані на дискретних компонентах. Нині існують спеціалізовані мікросхеми драйверів для біполярних крокових електродвигунів, із використанням яких драйвер виходить не складнішим, ніж

					<i>МРМА 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

для уніполярного крокового електродвигуна. Наприклад, це мікросхеми L293E, L298N або L6202 фірми SGS-Thomson, PBL3770, PBL3774 фірми Ericsson, NJM3717, NJM3770, NJM3774 фірми JRC, A3957 фірми Allegro, LMD18T245 фірми National Semiconductor [6].

Існує кілька способів керування кроковими електродвигунами:

- однокроковий або повнокроковий із увімкненням однієї фази (one phase on full step або wave drive mode);
- повнокроковий або повнокроковий з увімкненням двох фаз (two phase on full step або просто full step mode);
- напівкроковий (one and two-phase-on half step або просто half step mode);
- мікрокроковий (micro stepping mode).

На рисунку 1.6 наведено часові діаграми роботи крокового електродвигуна в різних режимах роботи. Усі способи керування можуть бути реалізовані як на біполярному, так і на уніполярному кроковому електродвигунах.

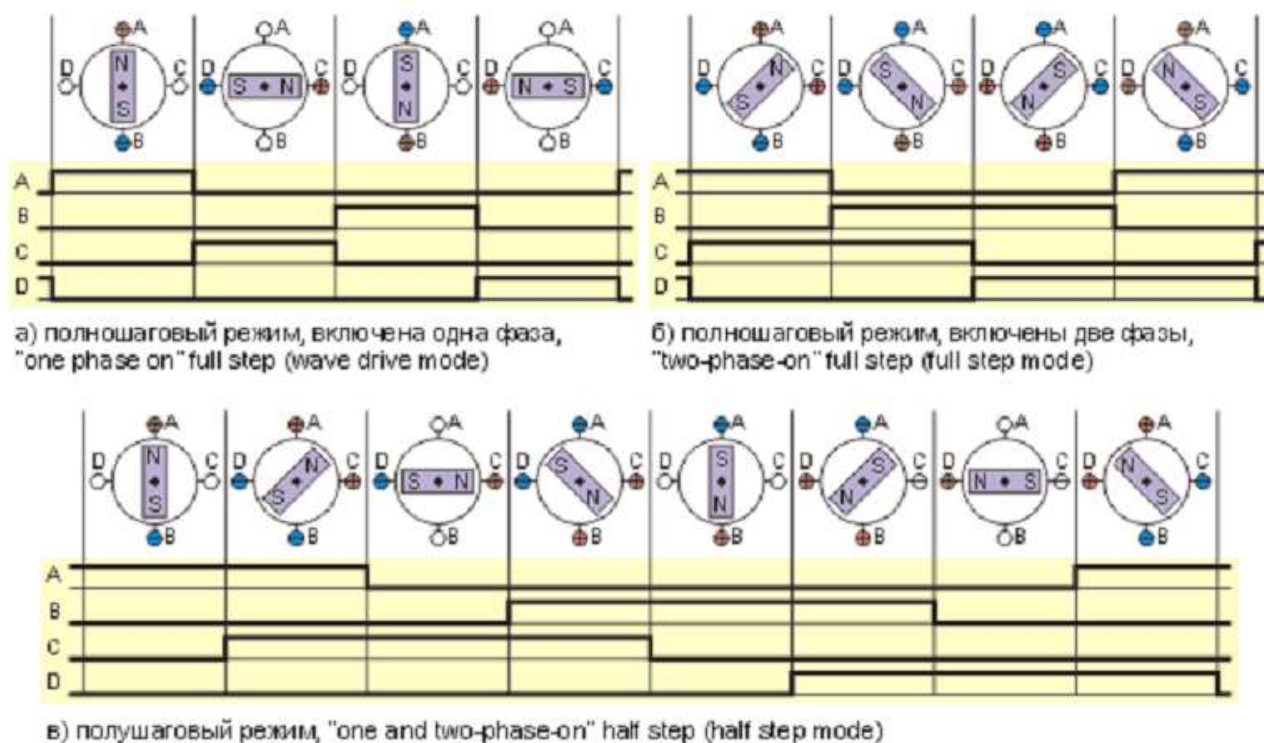


Рисунок 1.6 – Часові діаграми керування кроковими електродвигунами різними способами

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

Графіки показують динаміку подавання імпульсів керування на обмотки уніполярного крокового електродвигуна, рисунки - відповідні полярності підключення обмоток біполярного крокового електродвигуна і положення ротора.

Перший спосіб виконується за допомогою попереминої комутації фаз, при цьому вони не бувають перекритими, в кожен момент часу ввімкнено тільки одну фазу (рис. 1.6, а). Точки рівноваги ротора для кожного окремого кроку збігаються з «природними» точками рівноваги ротора в непідключеного електродвигуна. Недоліком наведеного способу керування є те, що для біполярного крокового електродвигуна в один і той самий момент часу використовується 50% обмоток, а для уніполярного електродвигуна - тільки 25%. Це означає, що в такому режимі роботи не буде отримано повний момент [6].

Другий спосіб - керування фазами із перекриттям: дві фази ввімкнено в один і той самий період часу. За даного способу керування ротор фіксується в проміжних позиціях між полюсами статора (рис. 1.6, б) і забезпечується приблизно на 40% вищий момент, ніж у разі однієї включеної фази. Цей спосіб керування забезпечує такий самий кут кроку, як і перший спосіб, але положення точок рівноваги ротора буде відносно зміщеним на півкроку відносно, так званих, «природних» точок [6].

Третій спосіб є комбінацією перших двох і тому носить назву напівкроковий режим, оскільки електродвигун виконує крок у половину основного. Цей метод керування є досить поширеним, оскільки електродвигун із меншим кроком коштує трохи дорожче і дуже заманливо отримати від ста-крокового електродвигуна двісті кроків на один повний оберт. Кожного другого кроку живиться лише одна фаза, а в усіх інших випадках живляться дві фази (рис. 1.6, в). У результаті кутове переміщення ротора складає половину кута кроку для перших двох способів керування. Крім зменшення величини кроку даний спосіб керування дає змогу частково позбутися явища резонансу.

Напівкроковий режим керування зазвичай не дає змоги отримати повний момент, хоча найбільш досконалі драйвери виконують модифікований напівкроковий режим, у якому електродвигун отримує практично повний момент, при цьому потужність розсіювання не буде перевищувати номінальної [6].

У мікрокроковому режимі керування струм у фазах будуть змінювати невеликими кроками, для забезпечення дроблення половинного кроку на ще менші мікрокроки. Коли одночасно увімкнено дві фази, але їх струми є не рівними, то положення рівноваги ротор отримає не в середині кроку, а в іншому місці, що буде визначатись співвідношенням струмів фаз. Змінюючи це співвідношення, можна отримати деяку кількість мікрокроків усередині одного великого кроку. Крім збільшення точності позиціонування, мікрокроковий режим має й ряд інших переваг: забезпечення плавності ходу; зниження шуму та вібрації.

Водночас для реалізації мікрокрокового режиму керування необхідні значно складніші драйвери, що дають змогу задавати струм в обмотках із необхідною величиною дискретності. Напівкроковий режим є всього лише окремим випадком мікрокрокового режиму керування, але він не потребує формування ступінчастого струму живлення котушок, тому його часто використовують. Мікрокроковий режим керування по суті є керуванням кроковим електродвигуном у режимі роботи синхронного електродвигуна. Саме такий режим використовують у синхронних сервоприводах. Драйвер електродвигуна живиться від постійного струму, з якого через ШІМ отримують змінний струм необхідної частоти.

У повнокроковому режимі керування із двома ввімкненими фазами положення точок рівноваги ротора будуть зміщені на півкроку. Потрібно зазначити, що такі положення ротор буде приймати під час роботи електродвигуна, але положення ротора не буде зберігатися сталим після вимкнення струму обмоток. Тому під час увімкнення та вимкнення живлення

					<i>МРМА 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

електродвигуна ротор буде виконувати рух на півкроку. Для того щоб він не робив зміщення під час зупинки, необхідно подавати в обмотки, так званий, струм утримання. Те саме справедливо і для напівкрокового та мікрокрокового режимів керування. Слід зазначити, що якщо у вимкненому стані ротор електродвигуна буде повертатись, то під час увімкнення живлення можливе зміщення ротора і на більшу, ніж половина кроку, величину.

Струм утримання може бути нижчим за номінальний струм, оскільки від електродвигуна із нерухомим ротором зазвичай не очікують високого моменту. Однак є певні використання, коли в зупиненому стані електродвигун повинен забезпечувати повний момент, що для крокового електродвигуна є можливим. Ця властивість крокового електродвигуна дає змогу в таких ситуаціях обходитися без використання спеціалізованих механічних гальмівних систем. Оскільки сучасні драйвери дають змогу виконувати регулювання струму живлення обмоток електродвигуна, завдання необхідного струму утримання зазвичай не становить жодних проблем. Завдання зазвичай полягає просто у відповідній програмній підтримці для керуючого мікроконтролеру крокового електродвигуна [6].

Опираючись на виконаний огляд та аналіз існуючих конструкції крокових електродвигунів ми спинили свій вибір на кроковому електродвигуні - 28BYJ-48. Такі крокові електродвигуни використовуються у механічних системах точного позиціонування – ЧПК верстатах, 3d-принтерах, принтерах та, звичайно, роботах-маніпуляторах [18].

Принципова схема підключення крокового електродвигуна 28BYJ-48 представлена на рисунку 1.7.

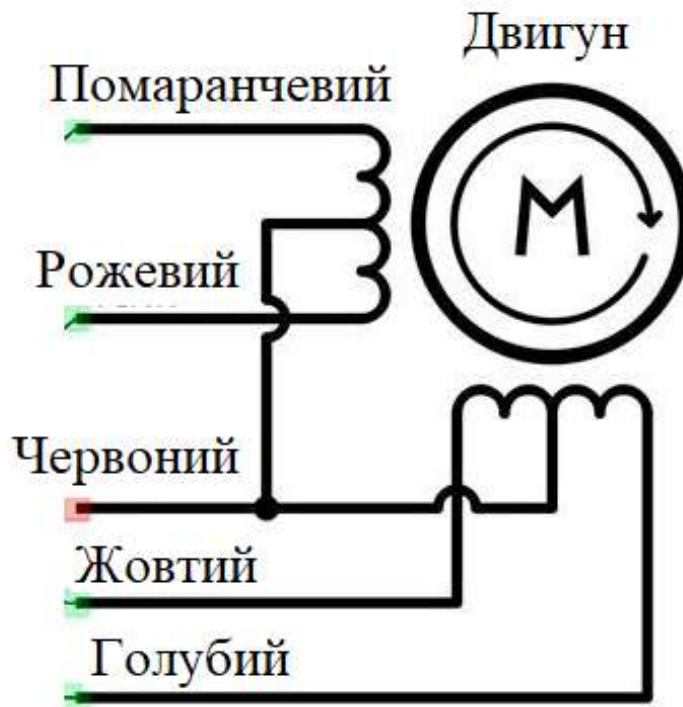


Рисунок 1.7 - Принципова схема підключення крокового електродвигуна 28BYJ-48

Технічні характеристики крокового електродвигуна 28BYJ-48 [18]:

- напруга живлення – або 5 В або 12 В;
- число фаз – 4;
- коефіцієнт редукції – 1/63,68395;
- кількість кроків ротора – 64;
- номінальна швидкість обертання – 15 хв^{-1} ;
- крутний момент – $450 \text{ г} \cdot \text{см}$;
- розміри (діаметр і висота) – 25x18 мм;
- вага – 40 г.

Висновки до розділу

Виконано огляд та аналіз існуючих конструкцій маніпуляторів, розглянуто базові класифікації роботів-маніпуляторів.

Проведено огляд та аналіз існуючих конструкцій захватних пристроїв для маніпуляторів на технологічних лініях, як результат аналізу обрано в якості ЗП в нашій роботі ми будемо використовувати електромагнітний захват, через простоту конструкції та роботи.

Опираючись на виконаний огляд та аналіз існуючих конструкції крокових електродвигунів ми спинили свій вибір на кроковому електродвигуні - 28BYJ-48. Такі крокові електродвигуни використовуються у механічних системах точного позиціонування – ЧПК верстатах, 3d-принтерах, принтерах та, звичайно, роботах-маніпуляторах.

					<i>МРМА 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНАМИ ЗАХВАТНОГО МАНІПУЛЯТОРА НА ТЕХНОЛОГІЧНІЙ ЛІНІЇ

2.1 Моделювання роботи крокового електродвигуна захватного маніпулятора на технологічній лінії

Відомо, що САК повинна охоплювати всі складники обраного об'єкту керування. Тому в програмному середовищі Simulink математичного пакету MATLAB було створено та виконано дослідження моделі спроектованої САК швидкістю руху стрічки транспортеру, за допомогою якої було проведено дослідження різних режимів роботи при навантаженні та без частотного керування, при навантаженні та без прямого запуску (рис. 2.1). Запропонована модель керує швидкістю обертання головного валу асинхронного електродвигуна, як відомо це важливий чинник для запобігання різних порушень, які можуть в свою чергу, призвести до передчасного зношення або зупинки двигуна [5, 6].

Створена модель крім переліку основних елементів також містить вісім допоміжних підсистем, загальний вигляд яких наведено нижче (рис. 2.2-2.9) [6].

					<i>МРМА 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

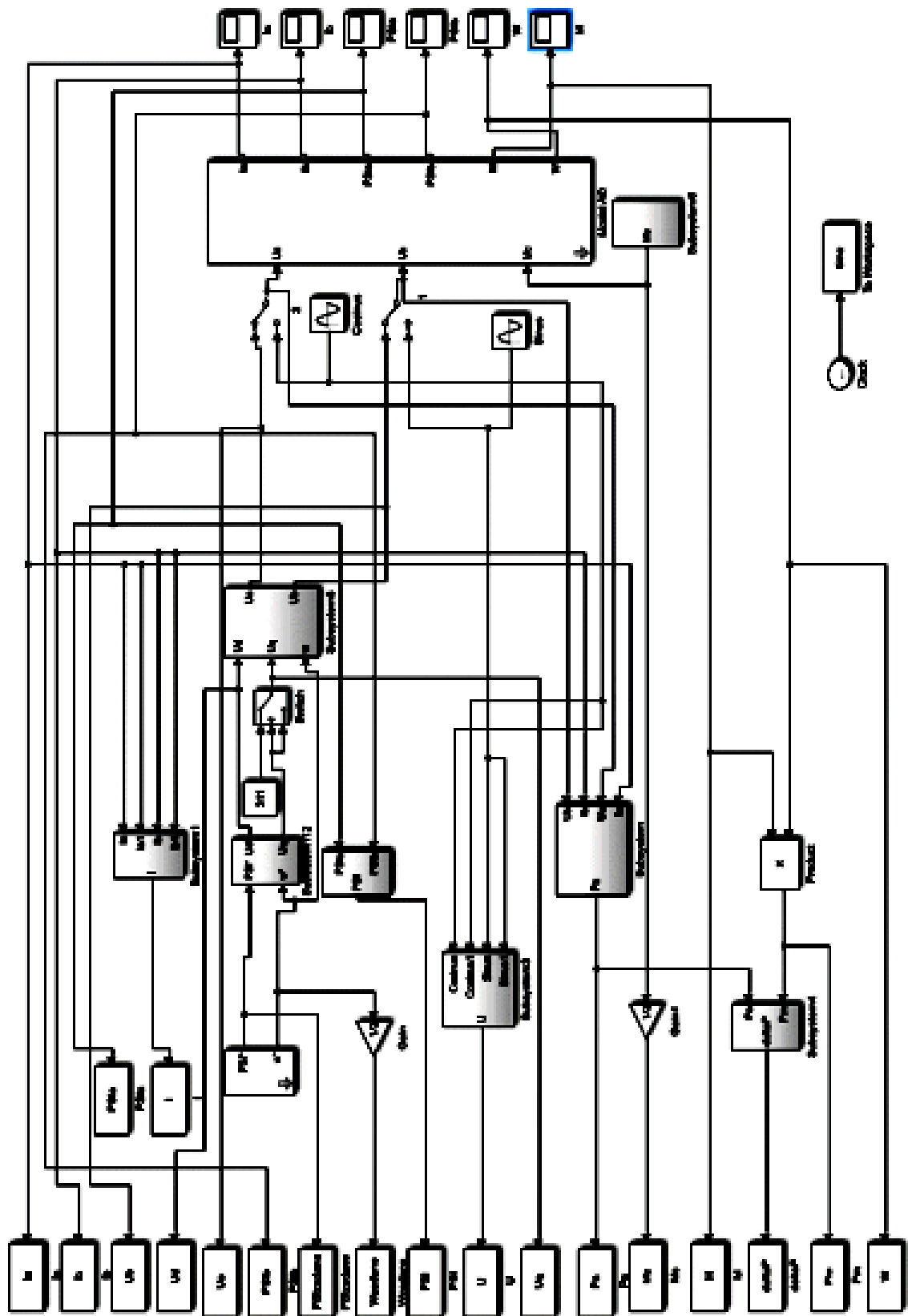


Рисунок 2.1 – Спроектована модель роботи крокового електродвигуна захватного маніпулятора на технологічній лінії

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 22.00.00.000 ПЗ

Арк.
32

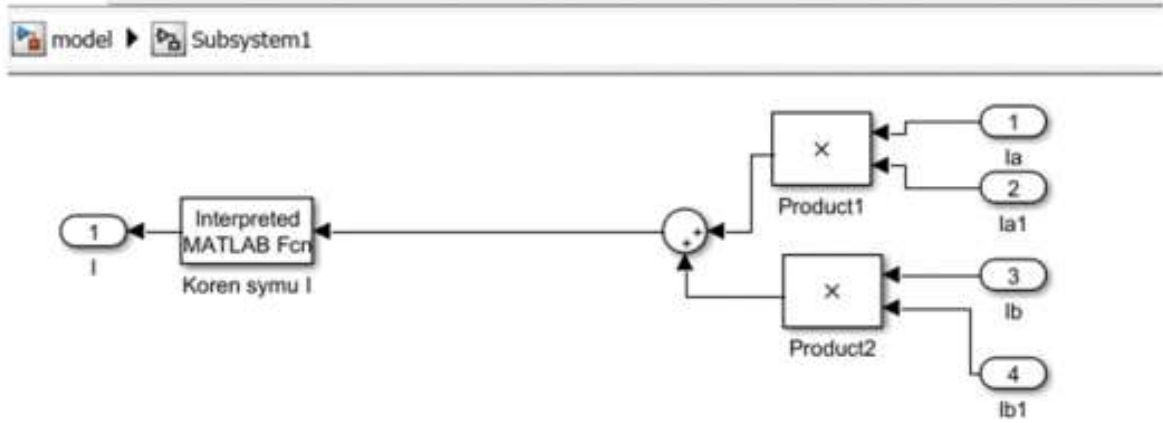


Рисунок 2.2 – Вигляд першої підсистеми САК крокового електродвигуна

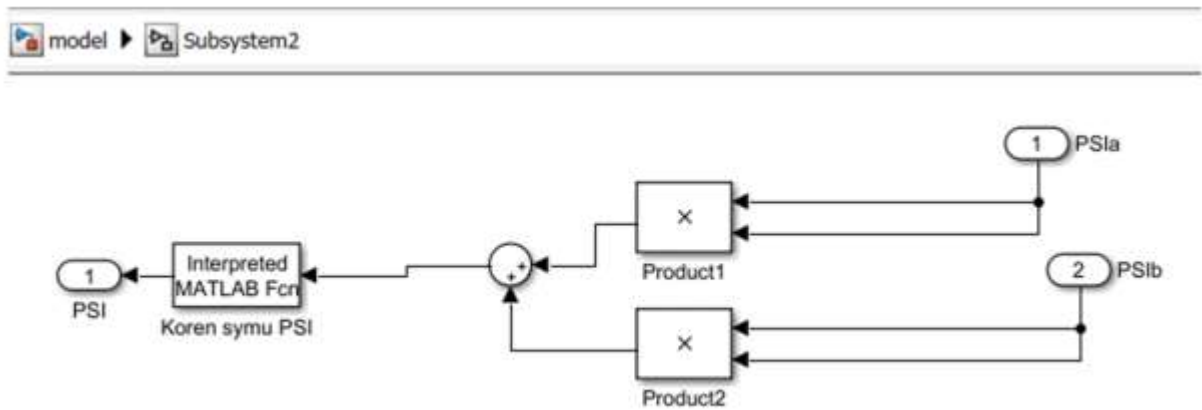


Рисунок 2.3 – Вигляд другої підсистеми САК крокового електродвигуна

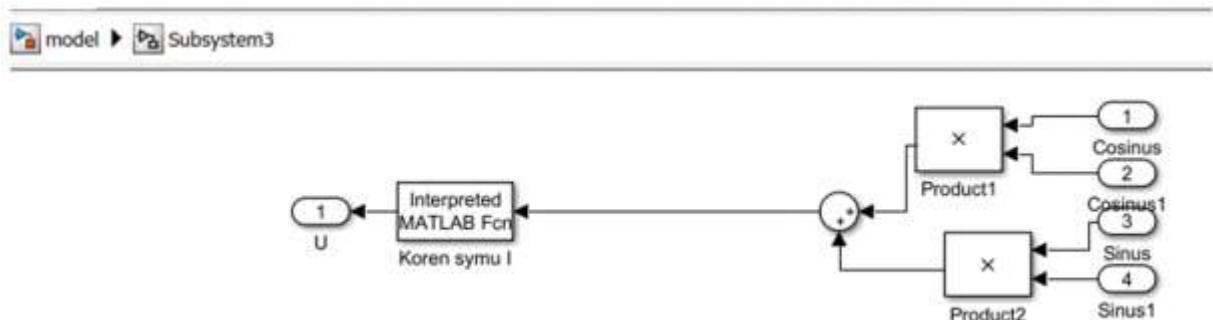


Рисунок 2.4 – Вигляд третьої підсистеми САК крокового електродвигуна

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

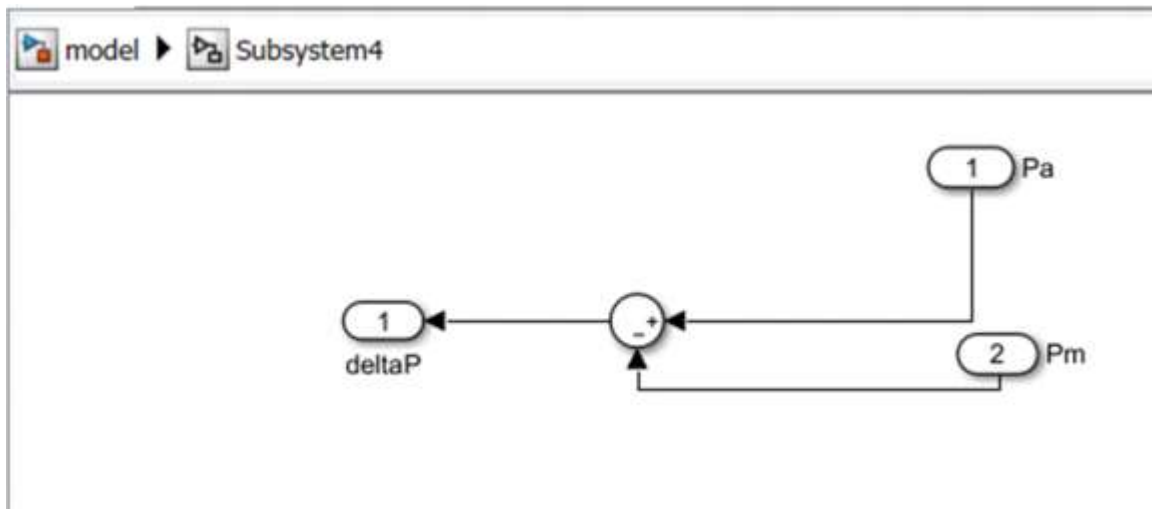


Рисунок 2.5 – Видгляд четвертої підсистеми САК крокового електродвигуна



Рисунок 2.6 – Видгляд п'ятої підсистеми САК крокового електродвигуна



Рисунок 2.7 – Видгляд шостої підсистеми САК крокового електродвигуна

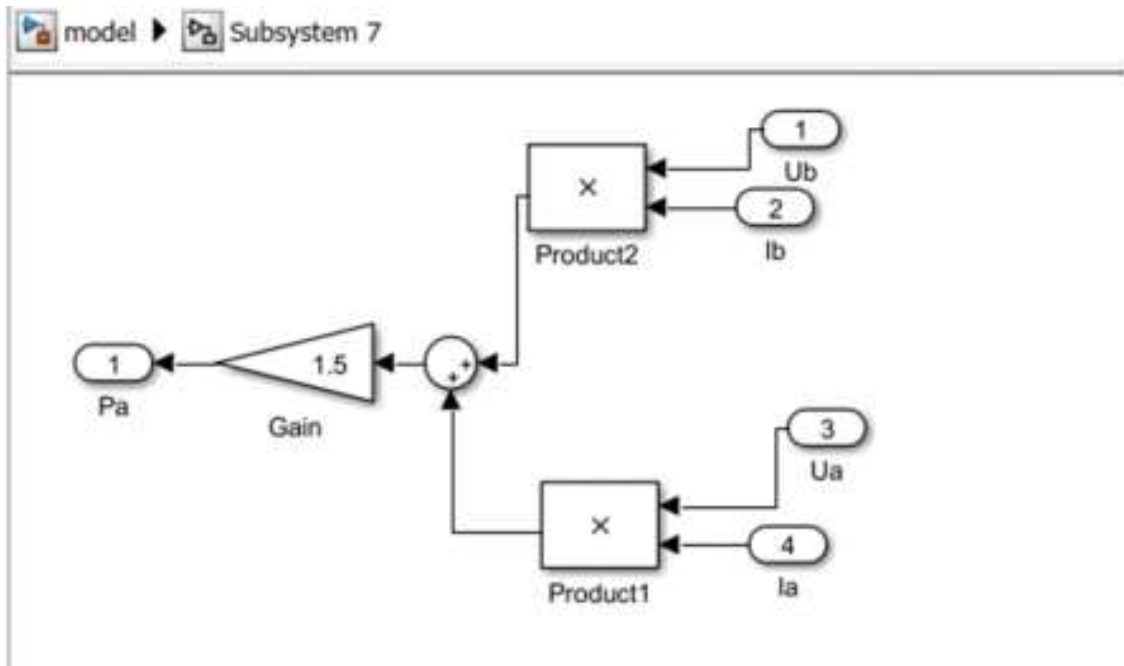


Рисунок 2.8 – Вигляд сьомої підсистеми САК крокового електродвигуна

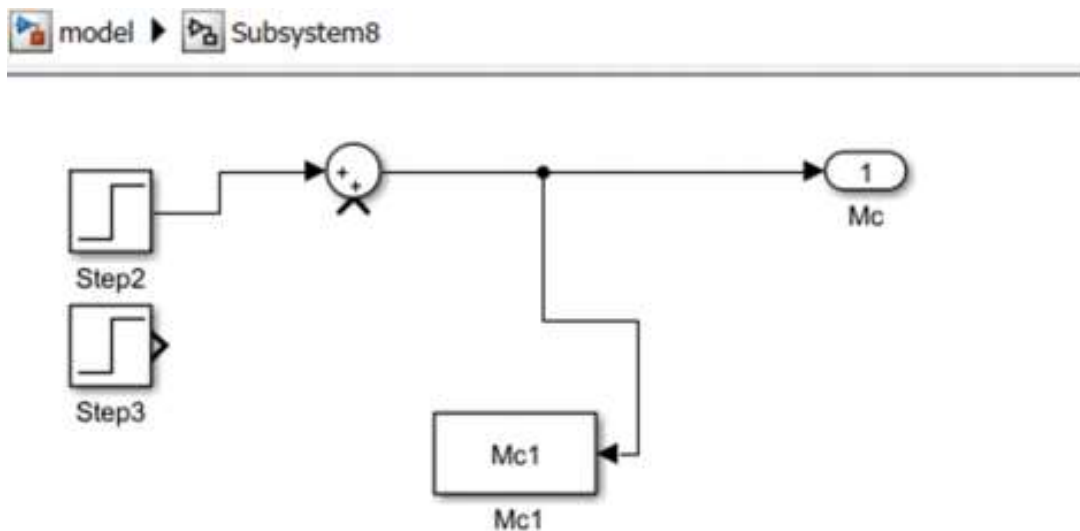


Рисунок 2.9 – Вигляд восьмої підсистеми САК крокового електродвигуна

Кожна з наведених підсистем САК крокового електродвигуна захватного маніпулятора на технологічній лінії відповідає за різний вид керування та виконує лише свою функцію [6].

2.2 Програмні засоби для візуалізації стану крокового електродвигуна захватного маніпулятора на технологічній лінії

Для створення необхідного програмного забезпечення для використання на PLC на теперішньому етапі розвитку, зазвичай, використовуються так звані, інтегровані середовища розробки (ICP) або на мові Євросоюзу - IDE – Integrated development environment, що в свою чергу, складаються із текстових редакторів, редакторів зв'язків, компіляторів, завантажувачів та необхідних симуляторів. ICP зазвичай являють єдину програму, в якій і проводиться вся необхідна розробка, як правило, в ICP знаходиться багато функцій для розробки, редагування, розгортання компілювання та налаштування створеної програми для PLC [12-17].

2.2.1 Інтегровані середовища розробки, загальна інформація

Ми будемо використовувати програмне забезпечення фірми Siemens, а саме - Totally Integrated Automation Portal або TIA Portal V.15.1 – ICP програмного забезпечення систем автоматизації технологічних процесів. Відомо, що в TIA Portal застосовується одночасно два базових програмних пакети:

- 1) Simatic Step 7 V.15.1, що застосовується для програмування PLC наступних серій: S7-300, S7-400, S7-1200, S7-1500 та WinAC [12];
- 2) Simatic WinCC V.15.1, що використовується для створення та налаштування людино-машинних інтерфейсів або SCADA-систем та програмування спеціалізованих сенсорних панелей [13-16].

Загально відомо, що в ICP типу TIA Portal використовуються два способи відображення структури розроблюваного користувачем проєкту автоматизації - Portal view та Project view. Portal view (рис. 2.10) дозволить «бачити» структуру розроблюваного проєкту саме із точки зору функцій та завдань, які можуть бути використані у проєкті. Базові функції, такі, як розробка нового проєкту – Create new project, відкриття збереженого та розробленого раніше проєкту – Open

existing project, відображення використовуваних в проєкті пристроїв (PLC, модулів вводу–виводу, НМІ-екранів тощо) та налаштування необхідних мережевих з'єднань між використаними пристроями – Devices&networks, моніторинг та діагностика у розроблюваному проєкті пристроїв – Online&Diagnostics та ін.

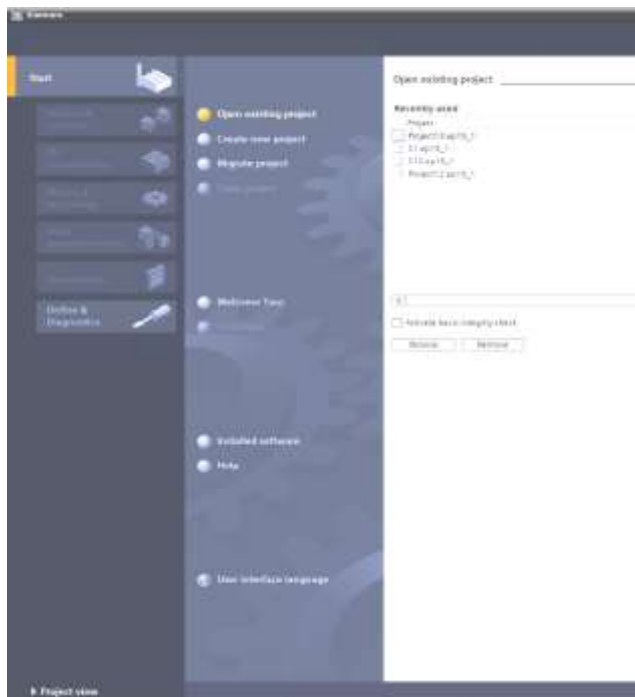


Рисунок 2.10 - Portal view структури створюваного проєкту

Project view (рис. 2.11) в свою чергу, допомагає відобразити компоненти розташовані, що розташовані всередині проєкту та дозволить отримати зручний доступ до будь-якого із використаних компонентів. У процесі роботи над створенням проєкту користувачем в будь-який момент можливо здійснити перемикання із Portal view на Project view структури створюваного проєкту та навпаки [12, 18, 20].



Рисунок 2.12 - Загальний вигляд НМІ-екрану

Більшість систем для створення НМІ-екранів оснащена типовим набором функціональних можливостей для виконання поставлених завдань для АРМ, наприклад [18, 20]:

- збирання поточної інформації про контрольовані технологічні параметри процесу (дані в реальному часі) із PLC та модулів віддаленого вводу–виводу даних;
- вторинна обробка отриманої інформації (її масштабування, обмеження вводу, перевірка правильності даних тощо);
- виконання певної логіки обробки одержаних даних із застосуванням вбудованих мов програмування;
- прийняття потрібних команд людини-оператора та транспортування їх на PLC чи модуль віддаленого виводу;
- графічне відображення поточного стану всього технологічного процесу та окремого обладнання в зручній формі для людини-оператора;
- збереження отриманих даних реального часу в архівах для даних та графічне представлення історичної інформації в зручній для сприйняття формі, наприклад, у вигляді графіків тощо;
- записування в електронних журналах інформації про виникнення надзвичайних подій у технологічному процесі та необхідних протидій

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

експлуатаційного персоналу;

- формування необхідних звітів, що базуються на архівній інформації, помилках та отриманих даних реального часу;
- формування, записування, збереження та зчитування отриманих даних реального часу у вигляді, так званих, рецептів;
- сповіщення обслуговуючого та експлуатаційного персоналу про виявлені надзвичайних події в контрольованому технологічному процесі та використовуваних програмно-апаратних засобах;
- виконання обміну отриманою інформацією із АСК виробництвом чи підприємством у складі ІСК;
- виконання потрібного захисту від несанкціонованого доступу до будь-яких компонентів та файлів розробленого проєкту;
- розроблення поточних оперативних календарних планів керування використовуваним обладнанням [12, 18, 20].

2.2.2 Типи кодових блоків, що використовуються в середовищі TIA Portal

При виконанні програмування PLC типу Simatic S7-1200 зазвичай застосовуються три базових типи спеціальних кодових блоків (рис. 2.13) [12, 18, 20]:

Organization block або OB, що спрацьовує лише на певні події в CPU та може зупинити виконання створеної програми користувача в будь-який момент часу. Вбудований базовий блок для виконання розробленої програми (OB1) є базовою структурою створеної програми та єдиним кодовим блоком, взагалі необхідним для користування програмою не розробником. Якщо ми будемо застосовувати інші OB при створенні проєктів, то такі OB будуть переривати виконання базового блоку OB1. Інші блоки OB виконують лише специфічні функції, такі як завдання запуску обладнання, виконання конкретного програмного коду через певні фіксовані інтервали часу або обробку переривань та помилок;

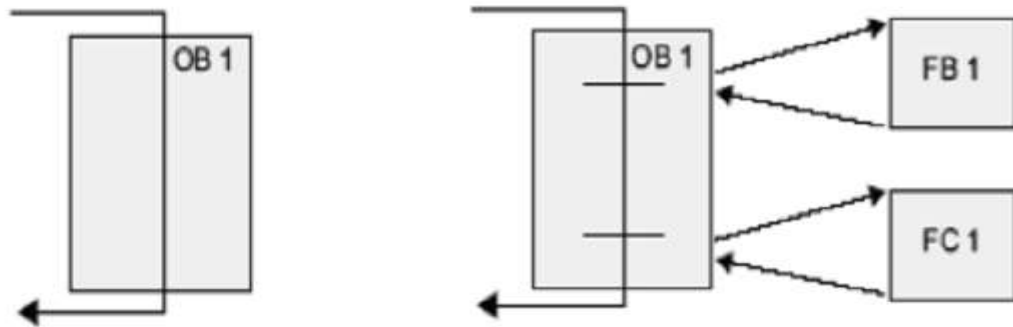


Рисунок 2.13 - Лінійна та модульна блокові структури при створенні програми розробником

- Function block або FB – це спеціальна підпрограма, яка буде виконуватись лише при виклику із іншого кодового блоку (OB, FB або FC). Викликаний блок буде передавати необхідні параметри в FB, а також буде створювати необхідний Data block або DB, який буде виконувати збереження даних для цього виклику або примірника цього блоку FB. Зміна екземпляра блоку даних DB дозволить головному блоку FB виконувати керування роботою цілої групи підключених пристроїв. Наприклад, один блок FB може здійснювати керування декількома насосами або кранами за допомогою використання різних блоків DB, що в свою чергу, будуть містити конкретні робочі параметри для кожного окремого насоса або крана. Що створити вставку виклик для FB – потрібно виконати послідовність дій:

1) перетягти потрібний FB із project tree в потрібну мережу - Network, що розташована на робочому полі. Відкриється діалогове вікно Call options;

2) у діалоговому вікні необхідно вказати, чи є потреба у виклику блоку в якості Single instance чи Multi-instance або в якості прикладу параметра або Parameter instance:

– якщо ми натиснемо на кнопку Single instance, нам необхідно буде обрати ім'я в текстовому полі Name для блоку DB, який ми призначимо для FB;

– якщо ж ми будемо виконувати виклик блоку, що містить моніторинг, необхідно буде виконати призначення функціонального блоку ProDiag для

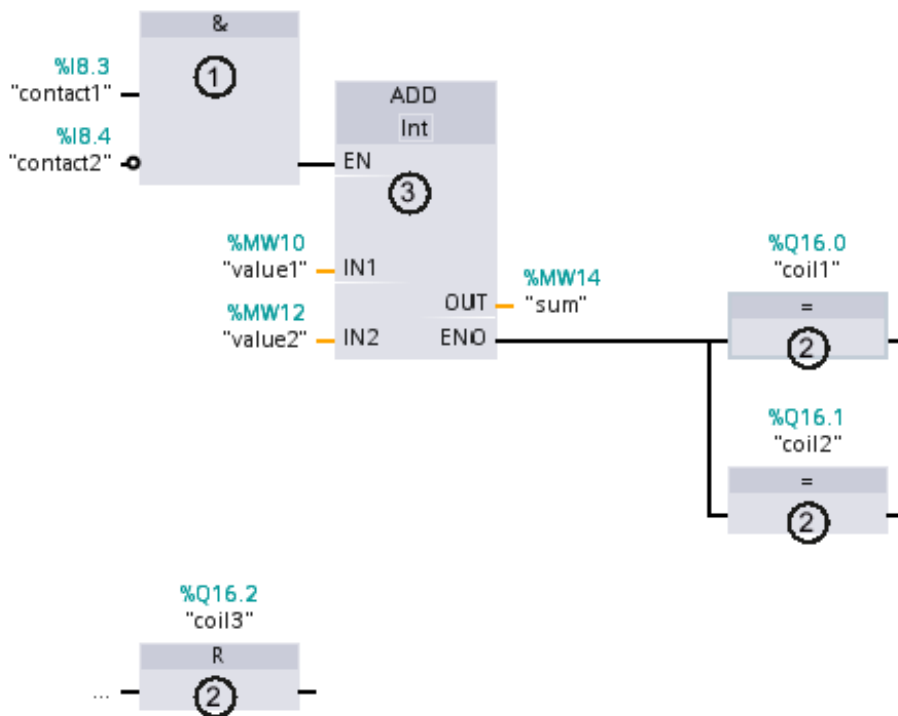
перемінної необхідно вказати саме символічне ім'я - Name, вказати тип даних - Data type, абсолютну адресу перемінної - Address та при необхідності – ввести коментар [12, 18, 20].

CPU є декілька варіантів для збереження даних під час виконання створюваної програми, наприклад, глобальна пам'ять CPU в свою чергу поділяється на цілий ряд спеціалізованих областей, які включають в себе: входи (I), виходи (Q) та бітову пам'ять (Меркера, M). Дана пам'ять є доступною для всіх кодових блоків без будь-яких обмеження.

M-пам'ять – будь-який із кодових блоків - OB чи FB або будь-яка FC має можливість звернутись до даних збережених в M-пам'яті, тобто дані зберігаються глобально в повному розпорядженні будь-яких елементів створюваної програми.

Тимчасова пам'ять – тут доступ до даних обмежено тим кодовим блоком - OB чи FB або тією FC, де були створені або проголошені адреси в тимчасовій пам'яті. Адреси тимчасової пам'яті завжди будуть лише локальними та не можуть бути використані будь-якими іншими кодовими блоками, навіть якщо один кодовий блок буде здійснювати виклик іншого кодового блоку. Наприклад, якщо блок OB викликає FC, то FC не може звернутись до тимчасової пам'яті блоку OB, що виконав виклик даної FC. До тимчасової пам'яті можливо виконати виклик лише через застосування саме символічної адресації.

Перемінна – спеціалізована область пам'яті PLC, що використовується для збереження даних певного типу. Кожна перемінна буде характеризуватись лише своїми довжиною та адресом, довжина залежить саме від типу даних, що будуть зберігатись. При зверненні в розроблюваній програмі до перемінної для зчитування або виконання запису даних потрібно ввести адресу саме цієї перемінної. У мовах програмування високого рівня (математичних) є два варіанти вказати необхідні адреси перемінної: символічна чи абсолютна адреси. При вводі абсолютної адреси перемінної необхідно вказати потрібну область пам'яті PLC, в якій вона розташовується, номер початкового байта, розмір



1 – Binary function - двійкова функція; 2 – Standart box - стандартні блоки;
3 – Complex box - складні блоки

Рисунок 2.14 – Приклад елементів програми на мові FBD :

Binary function або так звані, двійкові функції, використовуються зазвичай для запиту двійкових операндів та комбінування сигнальних їх стану. В якості прикладів Binary function можна вказати: OR operation - АБО операція, EXCLUSIVE OR operation - ЕКСКЛЮЗИВНА АБО операція та AND operation - І операція.

Standart box або так звані стандартні блоки використовуються саме для керування двійковими операндами, виконують виявлення необхідної границі Result of Logical Operation (RLO) або для виконання функції переходу в самій програмі. Standart box зазвичай оснащені лише одним входом.

Complex box або так звані складні блоки використовуються в якості елементів розроблюваної програми зі складними функціями. Використання порожнього блоку в більшості випадків є винятком, його можливо застосувати як заповнювач, в якому розробник зможе обрати необхідну інструкцію.

Правила під час використання елементів графічної мови FBD [12, 18, 20]:

– Network створений на мові FBD може містити декілька елементів. Всі елементи на логічному шляху повинні бути пов'язані між собою відповідно до стандарту IEC 61131-3;

– Standart box (наприклад, математичні операції, лічильники, тригери, таймери тощо) можуть додаватись в якості вихідних даних до існуючих блоків, що вже використовують двійкові логічні операції (наприклад, OR або AND). Лише спеціальні блоки порівняння є певним виключенням із правила;

– в інструкції із використанням попередніх логічних операцій можливо поєднувати тільки через булеві входи;

– в інструкції із використанням додаткових RLO можливо поєднувати тільки через нижній булевий вихід;

– можливо виконати підключення до блоків увімкнення входу EN або увімкнення виходу ENO, але виконання є не обов'язковим;

– у кожній Network можливо застосувати лише єдину jump instruction - інструкцію для стрибка;

– у кожній Network можливо використати лише єдину jump label - мітку для виконання стрибка;

– не можливо виконати призначення постійних (таких як TRUE або FALSE) двійковим логічним операціям, необхідно використати додаткові перемінні типу BOOL;

– інструкції щодо знаходження позитивної чи негативної границі RLO можуть бути розташовані не зліва від Network, оскільки таке розташування буде вимагати наявності попередньої RLO.

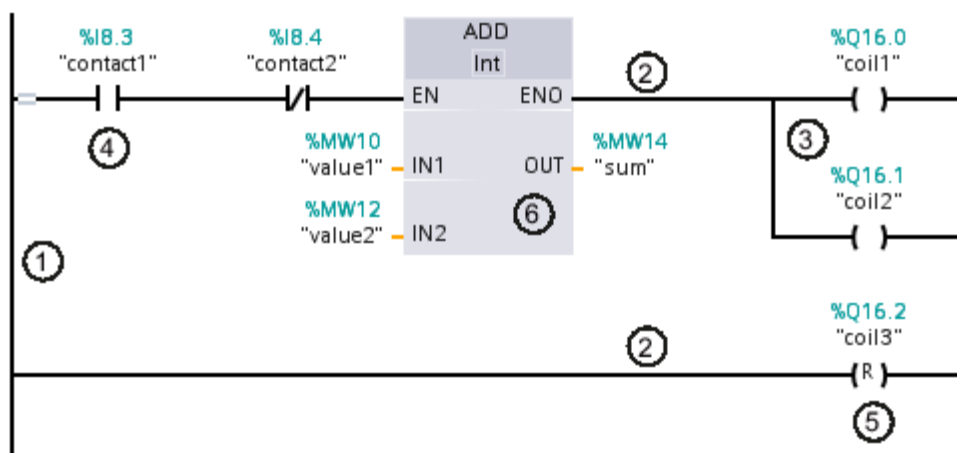
Ladder Logic або LAD – це графічна мова програмування, яка базується на застосуванні релейно-контактних схем [12, 20, 18].

Програма відображається в одній або декількох гілках Network. Network оснащено силовою шиною, що знаходиться ліворуч, з неї і беруть початок гілки. Бінарні скани сигналів будуть розташовуватись у вигляді контактів саме на

					<i>MPMA 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		46

гілках. Послідовне розташування контактів та елементів на гілці буде створювати послідовне з'єднання; розташування на окремих гілках, відповідно, буде створювати паралельний зв'язок. Складні функції в свою чергу представлені рамками, більшість програмних елементів повинні мати перемінні.

Існує щонайменше одна Branch від Power rail. Мережеве програмування починається саме з лівого краю Rung. Ви можете розширити Power rail на кілька Rung чи Branch, наприклад, на рис. 2.15 наведено елементи програми LAD.



1 – Power rail - силова шина; 2 – Rung - ступінь; 3 – Branch - гілка; 4 – Contact - контакт; 5 – Coil – котушка; 6 – Box – блок

Рисунок 2.15 – Елементи програми на мові LAD:

Power rail – кожна програма на мові LAD складається із Power rail, яка містить принаймні одну Rung. Network можливо розширити, якщо додавати додаткові Rung. Можливо також використати додаткові Branch для виконання програмування паралельних з'єднань на конкретних Rung.

Contacts – їх використовують або для створення або для виконання переривання струмопровідного зв'язку між двома елементами, струм, як відомо, передається по Branch зліва направо. Можливе використання Contacts для опитування стану сигналу або значення операнду та відповідно керування ним в залежності від результату даного потоку.

базових елементів PLC, таких як біти пам'яті входи/виходи або таймери:

- Value assignments - присвоєння значень;
- Operators - оператори;
- Expressions - вирази.

SCL також використовує зручні вказівки щодо керування циклом всієї програми, дозволяючи, наприклад, створювати гілки, стрибки або навіть цілі цикли програми.

Тому SCL особливо підходить при використанні у наступних областях:

- Mathematical/statistical tasks - математичні або статистичні завдання;
- Recipe management - керування засобами;
- Data management - керування даними;
- Process optimization - оптимізація процесів.

В залежності від оператора, що використовується доступна наступна класифікація виразів:

- Arithmetic expressions – арифметичні вирази, які або складаються із числового значення, або є поєднанням за допомогою арифметичних операторів двох значень чи виразів;

- Relational expressions - відносні вирази, що порівнюють значення двох операндів та як наслідок, видають булеве значення. Якщо порівняння відповідає дійсності - результат TRUE, якщо порівняння не виконане то - FALSE;

- Logical expressions – логічні вирази, які поєднують два операнди із логічними операторами (наприклад, AND, XOR, OR) або операндами лише заперечення (NOT).

Результат виразу можна використовувати наступними способами:

- в якості параметру для виклику блоку або інструкції;
- в якості присвоєння значення перемінної;
- як умову контрольної інструкції [20, 18].

– локальні Function keys завжди будуть запускати різні дії, які будуть залежати від того, який поточний екран, відображено на НМІ-екрані. Відповідно, дане призначення клавіш буде стосуватись лише екрану, на якому користувач призначив Function key.

Необхідно виконати налаштування навігації по робочому екрану для того, щоб дозволити людині-оператору викликати на пристрої НМІ-екран під час виконання:

– редактор Screen використовують для налаштування кнопок для здійснення виклику інших екранів;

– редактор Global Screen – для налаштування вже глобально призначених кнопок Function keys.

Button – дозволить виконати налаштування об'єкту, який людина-оператор може застосовувати під час виконання будь-якої функції.

Layout – у Inspector window користувач зможе виконати налаштування положення, типи шрифту, колір та стиль об'єкта та його геометрію. Можливо налаштувати, зокрема, наступні властивості:

– Mode – налаштування графічного зображення об'єкта – відображення кнопок призначається у Properties → General → Mode у Inspector window :

а) Invisible – кнопка не буде відображатись під час виконання дії;

б) Text – кнопка буде відображатись під час виконання дії із текстом в якому пояснюється функція даної кнопки;

в) Graphic – кнопка буде відображатися під час виконання дії із зображенням, яке пояснює функцію кнопки;

г) Graphics or text – кнопка буде відображатись під час виконання дії із текстом або зображенням. Якщо зображення не може бути відображеним, то буде відображено лише відповідний текст;

д) Graphics and text – кнопка буде відображається під час виконання дії із текстом та відповідним зображенням.

- Mode – буде визначати тип відповіді об'єкта під час виконання процесу;
- Display format – використовується для визначення, який формат буде приймати I/O field для вводу та виводу необхідних значень;
- Hidden input - використовується для визначення, чи буде відображено вхідне значення нормально чи зашифровано під час виводу даних.

Необхідно пам'ятати, що зазвичай за допомогою використання I/O field виводять дані, тобто режим Output за замовчуванням встановлено і тому властивості для налаштування вводу будуть недоступні, наприклад Hidden input .

Mode – відповідь з поля вводу-виводу вказується у Inspector window в Properties → General → Type .

- Input – тут можливо лише вводи за допомогою I/O field значення під час виконання технологічного процесу;

- Input/Output – значення можливо вводити та виводити за допомогою I/O field під час виконання технологічного процесу;

- Output – I/O field може використовуватись лише в якості виводу значень.

Формат відображення для вводу/виводу необхідних значень з технологічного процесу наведено у Properties → General → Format :

- Binary – ввід/вивід значень тільки у двійковому форматі;

- Hexadecimal – ввід/вивід значень тільки у шістнадцятковому форматі;

- Date – ввід/вивід необхідної інформації про дату, формат буде повністю залежати від налаштування мови на пристрої НМІ;

- Decimal – ввід/вивід значень тільки у десятковому форматі;

- Date/Time – ввід/вивід інформації про дату та час, формат буде повністю залежати від налаштування мови на пристрої НМІ;

- Time – ввід/вивід часу, формат буде повністю залежати від налаштування мови на пристрої НМІ;

- String – ввід/вивід лише рядків символів [12, 18, 20].

Висновки до розділу

Описано необхідні програмні та апаратні засоби для візуалізації стану захватного маніпулятора на технологічній лінії, описано використовувані типи кодових блоків, вказано поняття перемінних та особливості їх адресації, розглянуто мови програмування, що використовуються в програмному середовищі TIA Portal та вказано особливості створення HMI-екрану.

					<i>MPMA 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		54

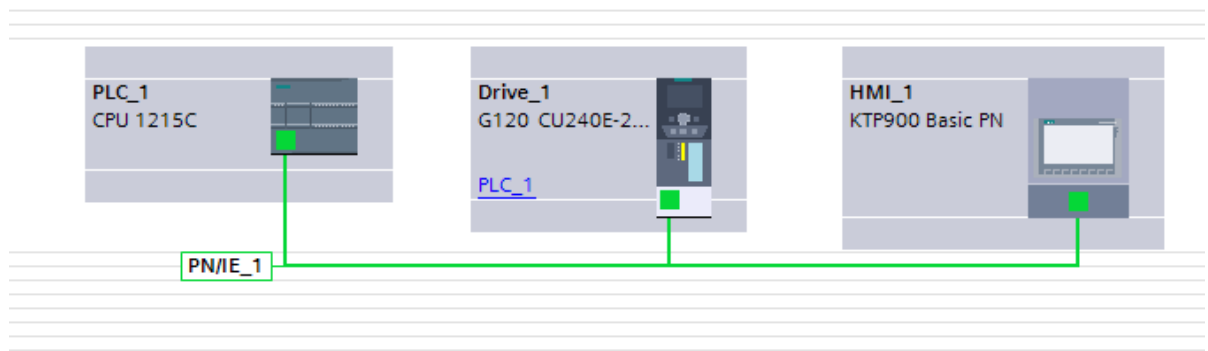


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд мережевого з’єднання між пристроями, що використовуються, вкладка Devices&Networks

Далі необхідно вибрати із спеціалізованого каталогу частотний перетворювач для керування електродвигунами:

Catalog → Drives&starters → SINAMICS drives → SINAMICS G120 → Control Units → CU240E-2 PN 6SL3244-0BB12-1FA0.

Потрібно поміняти назву для частотного перетворювача на наступну - Drive_1 та вказати для нього IP address - 192.168.1.2, потрібна маска шлюзу: 255.255.255.0.

Далі із каталогу із обладнанням обираємо необхідну віртуальну панель для виконання процесу керування підключеним обладнанням: Catalog → HMI → SIMATIC Basic Panel. Вказати для неї IP address - 192.168.1.3, маска шлюзу, відповідно: 255.255.255.0.

Використавши маніпулятор-миша можливо встановити мережеве з’єднання між спеціальним обладнанням, яке ми обрали. Характеристики даного з’єднання можливо редагувати в налаштуваннях.

Для полегшення застосування технологічних функцій, які можливо застосовувати із PLC SIMATIC, в програмному середовищі TIA Portal будемо застосовувати те, що називають Technology objects або ТО. У межах використання ТО усі доступні функції, так би мовити, інкапсулюються та надаються розробнику програми для зручності доступу та легкості використання в програмному середовищі TIA Portal [16, 17].

Зокрема, в, так званій, області «Керування рухом» дані ТО застосовуються для полегшення виконання керування та оброблення даних про осі, для

інструкції PID_3Step даний блок даних також повинен бути переданий в основне поле програми. PID_3Step включає в себе всі необхідні налаштування для виконання певного циклу керування. Коли користувач відкриває даний ТО, то отримує повну підтримку спеціального редактора для конфігурації елемента керування;

– PID_Temp – спеціалізований ТО, що забезпечує безперервний PID-контроль із певною інтегрованою оптимізацією. Даний PID_Temp спеціально створений саме для контролю температури. Він оснащений двома виходами, один для нагрівання та один для охолодження. Під час виконання виклику інструкції PID_Temp даний блок даних також повинен бути переданий в основне поле програми. PID_Temp включає в себе всі необхідні налаштування для виконання певного циклу керування. Коли користувач відкриває дане ТО, то отримує підтримку спеціального редактора для виконання конфігурування елемента керування.

У вікні конфігурації Drive ми виконаємо налаштування генератору імпульсів, а також увімкнемо електропривод та зворотній зв'язок із ним (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Створення нового ТО крокового двигуна маніпулятора

Hardware interface – імпульси будуть виводитись на блок живлення електроприводу за допомогою призначених та зафіксованих цифрових виходів.

У PLC із релейними виходами імпульсний сигнал не може виводитися на ці виходи, оскільки реле не будуть підтримувати потрібні частоти перемикавання. Щоб мати можливість працювати із Pulse Train Output або PTO на даних типах процесорах, користувач повинен застосовувати додаткову сигнальну плату із цифровими виходами.

Застосування PTO потребує використання високошвидкісного лічильника (HSC). Для цього може використовуватись вбудований HSC, загальну кількість обертів якого оцінити неможливо.

Pulse generator – у списку, що випадає, необхідно обрати саме PTO для керування сервомотором або кроковим двигуном за допомогою використання імпульсного інтерфейсу. Якщо ми не будемо використовувати Pulse generator та HSC (в конфігурації пристрою), для апаратного інтерфейсу можливо виконати налаштування автоматично. У даному випадку обраний у списку, що випадає PTO буде відображатись на білому тлі.

Якщо ж було обрано PTO, за допомогою використання кнопки Device configuration то відбувається перехід до призначення імпульсних параметрів у конфігурації підключеного пристрою CPU. Це можливо використати, якщо виникне певний конфлікт, оскільки PTO може бути підключеним на іншому кінці або користувач змінив необхідні параметри.

Необхідний Signal type – ми оберемо у списку, що випадає:

– PTO (pulse A and direction B) – застосовується для керування кроковим двигуном, при цьому використовуються імпульсний вихід та напрямний вихід.

Pulse output – необхідно обрати імпульсний вихід для руху в позитивному напрямку.

Activate direction output – при використанні даної опції ми можемо як вмикати так і вимикати вихід напрямку. Напрямок руху буде обмежено, якщо виконати вимикання виходу напрямку.

Direction output – в даному полі необхідно обрати вихід для напрямку

виводу.

– PTO (clock up A and clock down B) – використовується для керування кроковим двигуном, при цьому використовується по одному імпульсному виходу для руху як в позитивному так і в негативному напрямках.

Pulse output forward – у даному полі необхідно обрати спеціальний імпульсний вихід для руху в позитивному напрямку.

Pulse output backward – у даному полі необхідно обрати спеціальний імпульсний вихід для руху в негативному напрямку.

– PTO (A/B phase-shifted) – імпульсні виходи як для фази А так і для фази В будуть працювати із однаковою частотою, відповідно, період імпульсних виходів буде оцінюватись на кінці електроприводу в якості кроку. Зсув фази між А та В буде визначати напрямок руху;

– PTO (A/B phase offset - quadruple) – імпульсні виходи як для фази А так і для фази В будуть працювати із однаковою частотою. Всі виникаючі позитивні та негативні фронти для фаз А та В будуть оцінюватись в якості кроку на кінці електропривода. Зсув фази між А та В буде визначати напрямок руху.

Signal A – в даному полі необхідно обрати імпульсний вихід для сигналів фази А.

Signal B – у даному полі необхідно обрати імпульсний вихід для сигналів фази В.

Ви можете вибрати вихід, використовуючи символну адресу, або призначити його абсолютній адресі.

Обираємо в якості привода Drive → PTO (Pulse Train Out), електропривод буде підключено через вихід генератора імпульсів, додатковий вихід активації та додатковий вхід, одиниці вимірювання Position unit → ° [16, 17, 18].

Наступним кроком буде виконання конфігурування електроприводу (рис. 3.6).

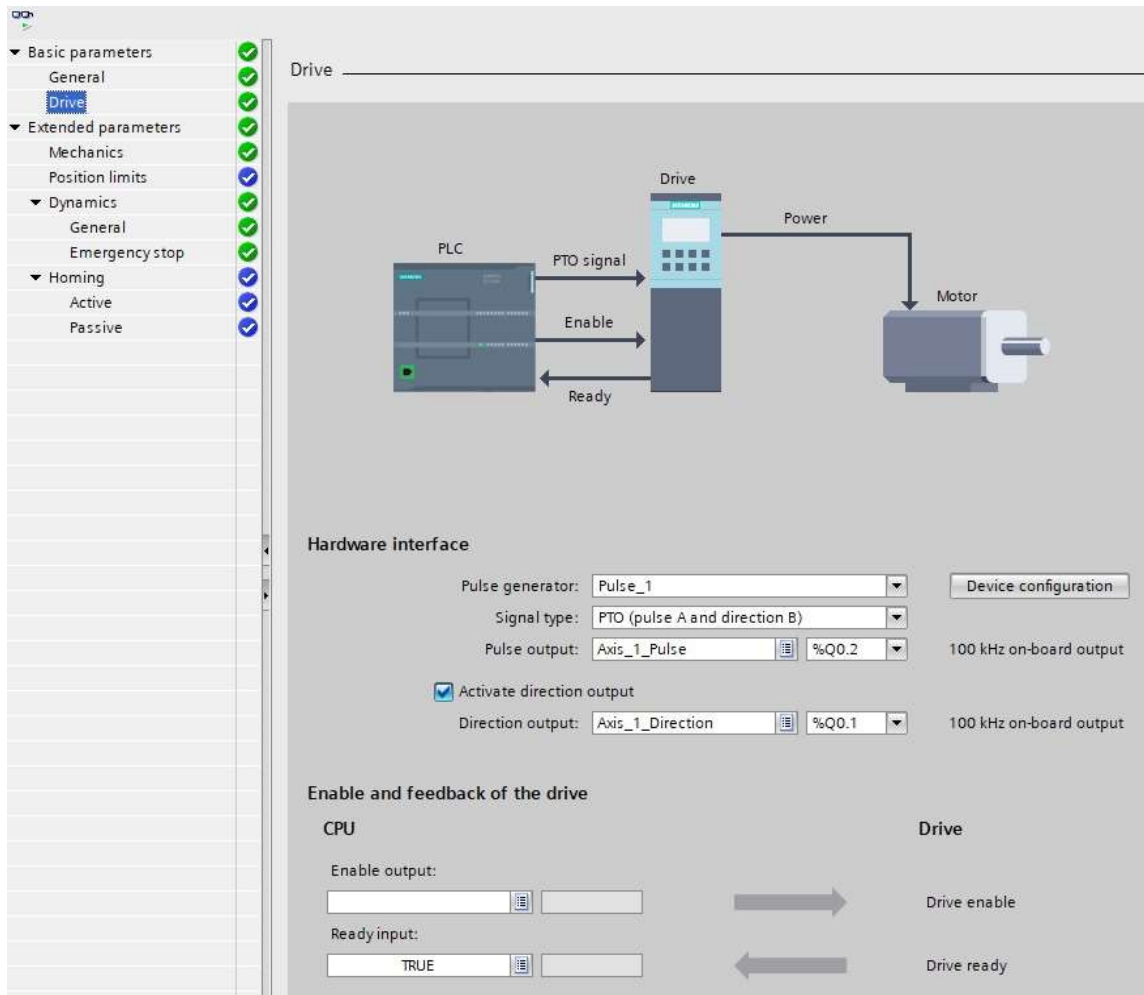


Рисунок 3.6 – Виконання конфігурування крокового електродвигуна 28BYJ-48

Hardware interface → Pulse generator із вікна, що випадає, обираємо необхідний нам електродвигун Pulse_1. Тип сигналу Signal type із вікна, що випадає, ми обираємо PTO (pulse A and direction B) – тобто, імпульсний вихід та напрямний вихід будуть використовуватись для виконання керування кроковим електродвигуном. Програма автоматично виконає підтяжку всіх необхідних значень.

Pulse output – тут ми обираємо імпульсний вихід для руху в позитивному напрямку. Ми можете виконати вибір виходу, через використання символічної адреси, або через призначення його абсолютній адресі, у нашому випадку → %Q0.2.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPMA 22.00.00.000 ПЗ

Арк.

62

Pulse output → Input address → Axis_1_Pulse → %Q0.2.

Виконання Activate direction output, за допомогою використання даної опції ми можемо або ввімкнути або вимкнути напрямний вихід. Напрямок руху буде обмежено, якщо виконати вимикання напрямного виходу.

Direction output - тут ми обираємо вихід для напрямного виходу, в нашому випадку → %Q0.1. Вигляд у програмі буде наступний:

Direction output → Axis_1_Direction → %Q0.1.

Конфігурування розширених механічних параметрів електродвигуна представлено на рисунку 3.7 [16, 17, 18].

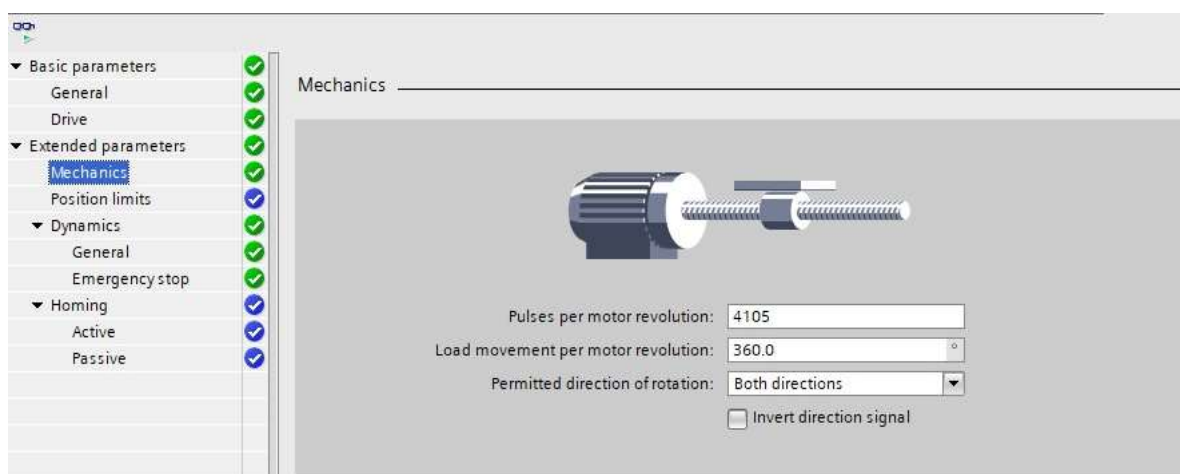


Рисунок 3.7 - Конфігурування розширених механічних параметрів електродвигуна

Спеціальна вкладка Mechanics тут виконуються наступні налаштування:

– кількості імпульсів, які необхідні для виконання одного повного обертання електропривода (границі (незалежно від вибраної одиниці виміру):

$$0 < \text{імпульс на один оберт електропривода} < 2147483647;$$

– навантаження за один повний оборот електропривода, конфігурування відстані для навантаження на обертання електропривода: (межі (незалежно від обраної одиниці вимірювання);

$$0,0 < \text{відстань на один оберт електропривода} < 1,0e12.$$

Дозволений напрямок обертання електропривода (технологічна версія від

V4). Необхідно виконати конфігурування даного поля, щоб визначити, чи має механіка створюваної системи буде виконувати рух в обох напрямках або лише в позитивному чи негативному напрямку.

Якщо ми не виконали активацію напрямку виходу імпульсного генератора в режимі PTO (pulse A and direction B), то вибір буде обмежено позитивним або негативним напрямком.

Invert direction – необхідно застосовувати даний прапорець, для виконання адаптації системи керування до логіки напрямку електропривода. Логіка напрямку обернена відповідно до обраного режиму PTO :

– PTO (pulse A and direction B) PTO – при 0 В на напрямному виході ми отримуємо позитивний напрям обертання; при 5 В/24 В на напрямному виході - негативний напрям обертання. Вказане значення напруги повністю залежить від використовуваного обладнання.

– PTO (clock up A, clock down B) – виходи Pulse output down та Pulse output up будуть змінені місцями;

– PTO (A/B phase-shifted) PTO – виходи Phase A та Phase B будуть змінені місцями;

– PTO (A/B phase-shifted - quadruple) PTO – виходи Phase A та Phase B будуть змінені місцями.

Значить нам необхідно обрати наступне [18, 20]:

Pulse movement per motor revolution → 4105;

Load movement per encoder revolution → 360,0°;

Permitted direction of rotation → Both directions.

Вкладка Position limits – використовується для налаштування границі положення привода електродвигуна, галочки не встановлюються (рис. 3.8).

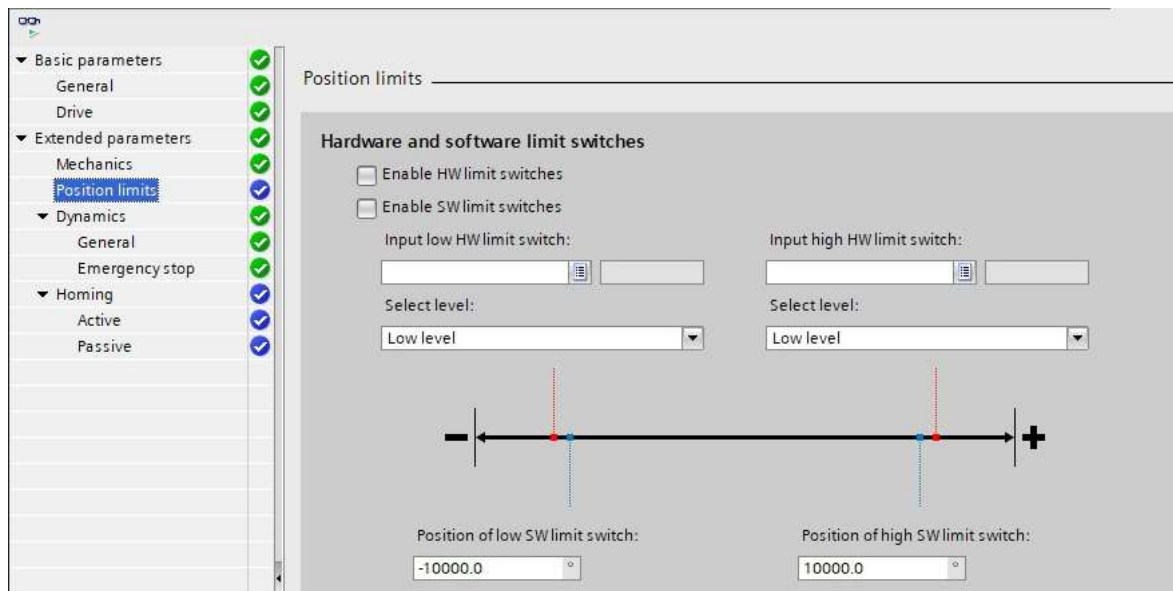


Рисунок 3.8 – Конфігурування Position limits для об'єкту

HW limit switchers – ця функція дозволяє виконати активацію використання нижнього або верхнього апаратних кінцевих вимикачів. Апаратні кінцеві вимикачі можуть використовуватись при виконанні задач реверсування напрямку під час виконання процедури самонаведення осі.

SW limit switchers – дана функція дозволяє виконати активацію використання нижнього та верхнього кінцевих вимикачів через програмне забезпечення [16, 17].

Загально відомо, що активовані програмні кінцеві вимикачі будуть виконувати свої функції лише при самонаведеній осі.

Використання Input HW low/high limit switch, для цього ми обираємо цифровий вхід для апаратного нижнього або верхнього кінцевого вимикачів зі списку, що випадає (рис. 3.8).

Введення осей відбору потужності буде застосовуватись лише із можливістю виконання миттєвого переривання.

Цифрові входи CPU або підключеної спеціальної сигнальної плати можуть використовуватись в якості входів із можливістю переривання для кінцевих вимикачів HW. За замовчуванням для цифрових входів за допомогою програмного забезпечення встановлюється стандартизований час фільтрації

6,4 мс. Якщо їх використовувати тільки в якості апаратних кінцевих вимикачів, то можуть виникнути небажані сповільнення, що призведе, в свою чергу, до зменшення часу фільтрації для відповідних цифрових входів.

В розділі Input filter можливо змінити час фільтра у конфігурації спеціального пристрою цифрових входів. У списку, що випадає, ми можемо виконати вибір рівня сигналу, доступний на CPU, коли наближається апаратний вимикач:

– Low level (normally closed contact) – 0 В (або стан FALSE) рівень сигналу на вході CPU повністю відповідає апаратному кінцевому вимикачу;

– High level (normally open contact) – 5 В/24 В (або стан TRUE) на вході CPU – наближений апаратний кінцевий вимикач (фактична напруга буде залежати від обладнання, що підключено).

Software high/low limit switch – в даній вкладці необхідно вказати значення положення нижнього та верхнього кінцевих вимикачів для програмного забезпечення.

Границі (незалежно від обраної одиниці вимірювання) [18]:

$-1,0e12 \leq$ верхній кінцевий вимикач програмного забезпечення $\leq 1,0e12$;

$-1,0e12 \leq$ нижній кінцевий вимикач програмного забезпечення $\leq 1,0e12$.

Відповідно значення задане для верхнього граничного вимикача програмного забезпечення повинно бути вищим або рівним значенню заданому для нижнього граничного вимикача.

Конфігурування динамічних параметрів Dynamics тут можливо виконати конфігурування максимальної швидкості, швидкості запуску/зупинки, прискорення/гальмування та границі поштовху всієї осі рисунок 3.9 [16, 17].

встановлено на рівні 0,0.

Rounding time/Jerk, positioning axis TO – тут виконується налаштування часу округлення/поштовху, позиціонування осі TO (у V.2.0). Можливо вказати бажану величину поштовху для прискорення та гальмування у вікні Jerk, а бажаний час згладжування для Ramp-up time необхідно ввести у полі Smoothing time. Час згладжування, для програмного забезпечення V.2.0-3.0, буде видимий при виконанні конфігурування та буде відноситись лише для Ramp-up time. Якщо значення прискорення та гальмування будуть різними, час згладжування для Ramp-down time буде обраховуватись аналогічно до поштовху для Ramp-up time.

Час згладжування для гальмування буде адаптуватись наступним чином [18]:

- Acceleratgion>Deceleration – час згладжування для Ramp-down time, менший, ніж для Ramp-up time ;
- Acceleratgion<Deceleration – час згладжування для Ramp-down time, більший, ніж для Ramp-up time ;
- Acceleratgion=Deceleration – час згладжування для Ramp-up time та для Ramp-down time рівні.

Задачі руху, запущені в створеній програмі користувача, будуть виконуватись завжди із вибраним поштовхом.

У вкладці Velocity необхідно вказати наступні значення:

- Unit of velocity limits → °/s;
- Maximum velocity → 45 °/s;
- Start/stop velocity → 1,0 °/s.

У вкладці Acceleratgion/Deceleration вказуємо такі значення:

- Acceleratgion → 88,0 °/s;
- Deceleration → 88,0 °/s.

Після цього програмне забезпечення автоматично змінить ramp-up/ramp-down time .

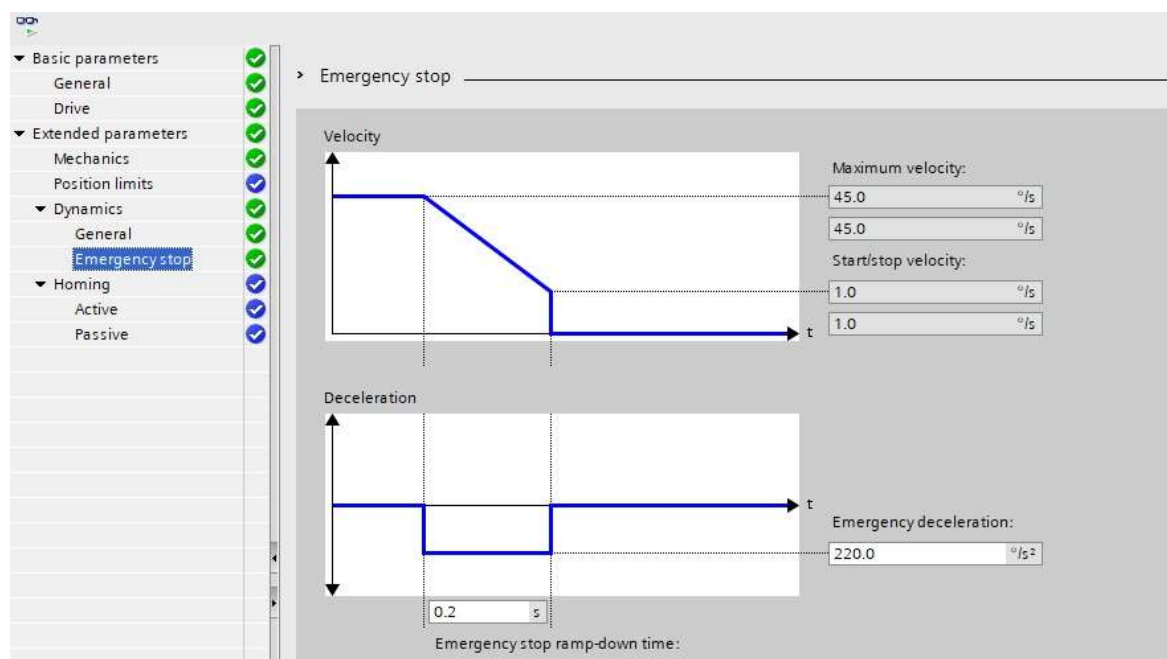


Рисунок 3.10 – Конфігурування параметру Emergency stop

Конфігурування сповільнення аварійної зупинки осі буде здійснюватись у вікні конфігурації Dynamics → Emergency stop, рисунок 3.10. У разі виникнення помилки та при відключенні центральної осі, ось буде виконувати зупинку із вказаним сповільненням, використовуючи інструкцію керування рухом MC_Power (вхідний параметр StopMode=0 або StopMode=2) [18].

Параметр Velocity, який ми налаштовували у вікні конфігурації General dynamics, також буде відображатись в цій інформаційній області.

Параметр Deceleration – необхідно ввести значення гальмування для повної аварійної зупинки в полі Emergency deceleration або ввести потрібне Emergency stop ramp-down time. Співвідношення між часом зниження швидкості аварійної зупинки та аварійним гальмування представлено в наступній формулі:

$$\text{EmergencyStop Ramp-downTime} = \frac{\text{MaximumVelocity} - \text{Start / stopVelocity}}{\text{EmergencyDeceleration}} \quad (3.3)$$

Вказане аварійне гальмування повинно бути достатнім для своєчасного зупинення центральної осі у випадку виникнення будь-якої надзвичайної ситуації на технологічній лінії (наприклад, коли наближається апаратний кінцевий вимикач до значення досягнення механічної кінцевої зупинки). Налаштована максимальна швидкість центральної осі повинна бути використана як базова для вибору величини аварійного гальмування.

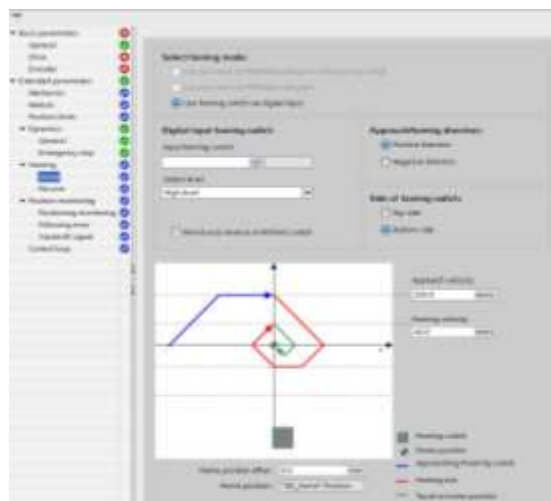
Встановлюємо наступні значення [18] для швидкості та прискорення гальмування:

Вкладка Velocity: Maximum velocity $\rightarrow 45 \text{ }^\circ/\text{s}$, Start/stop velocity $\rightarrow 1,0 \text{ }^\circ/\text{s}$.

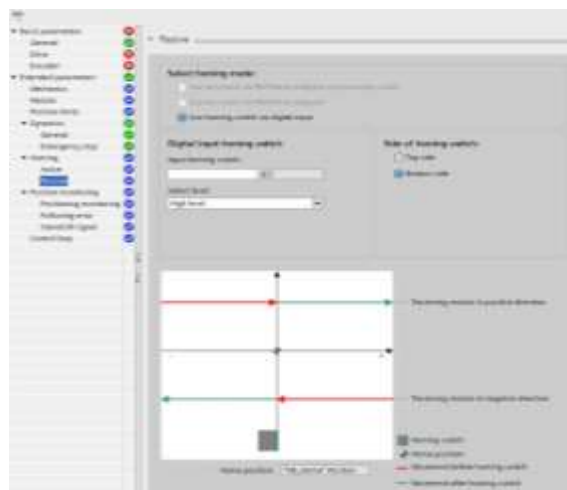
Вкладка Deceleration: Emergency deceleration $\rightarrow 220,0 \text{ }^\circ/\text{s}^2$.

Відповідно до вказаних значень програмне забезпечення автоматично змінить emergency stop ramp-down time.

Вкладка Homing або так зване, «самонаведення» тут ми будемо виконувати конфігурування необхідних параметрів для активного самонаведення в вікні конфігурації Active homing, рисунок 3.11, а. Active homing буде виконуватись виконується за допомогою інструкції керування рухом MC_Home із входним параметром Mode=3.



а



б

а – активне; б – пасивне

Рисунок 3.11 – Налаштування самонаведення осі маніпулятора:

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

змінить загальний напрямок свого руху.

Якщо ж зміну напрямку не активовано, і ось досягає встановленого рівня апаратного кінцевого вимикача під час виконання операції активного самонаведення, процедура виконання самонаведення буде зупинена із помилкою, і ось зупиниться при гальмуванні саме аварійної зупинки. Якщо можливо, необхідно застосувати один із наступних заходів, щоб переконатись, що машина не буде продовжувати рух до механічної кінцевої зупинки у разі зміни загального напрямку руху:

- необхідно тримати невисоку швидкість заходу;
- збільшити відстань між величиною апаратного кінцевого вимикача та величиною механічного кінцевого упору;
- збільшити встановлене прискорення/гальмування.

Approach/homing direction – використовуючи вибір напрямку, ми можемо встановити напрямок наближення, який буде застосовуватись під час виконання операції активного самонаведення, для пошуку встановленого перемикача самонаведення, а також визначення його напрямку руху. Напрямок виконання самонаведення однозначно буде визначати напрямок руху, який ось буде застосовувати для наближення до використововуваного рівня кінця перемикача самонаведення для виконання саме операції самонаведення.

Side of homing switch – в даній вкладці потрібно вказати, чи треба на осі встановлювати нижній або верхній перемикач самонаведення.

Approach velocity – у даному полі нам необхідно вказати величину значення швидкості, з якою необхідно шукати перемикач самонаведення під час виконання операції активного самонаведення.

Границі (не залежать від вказаної одиниці виміру):

- $\text{Start/Stop velocity} \leq \text{approach velocity} \leq \text{maximum velocity}$;
- *Homing velocity* – у даному полі ми можемо вказати величину швидкості, із якою слід перейти до перемикача самонаведення для виконання операції активного самонаведення;

самонаведення за допомогою використання цифрового входу [16, 17].

Digital inputs – у даній області нам необхідно виконати конфігурування перемикача для пасивного самонаведення:

– Input homing switch – у цьому полі ми можемо обрати цифровий вхід для перемикача пасивного самонаведення. Вхід повинен володіти можливістю виконання переривання. Входи підключеної спеціальної сигнальної плати та входи CPU можуть бути вказані в якості входів для перемикача пасивного самонаведення. Як вже описувалось раніше, що за замовчуванням для цифрових входів встановлено час фільтрації в розмірі 6,4 мс. Коли цифрові входи будуть застосовуватись в якості перемикача для самонаведення, це може призвести до небажаного гальмування і, отже, до певної неточності позиціонування. В залежності від встановленої швидкості самонаведення та вказаного ступеня перемикача пасивного самонаведення, вихідне положення може бути не встановленим. Час фільтру можливо ввести в вкладці Input filter у конфігуруванні пристрою цифрових входів.

Вказаний час фільтрації повинен бути меншим за тривалість вхідного сигналу на перемикачі пасивного самонаведення:

– Select level – у даному списку, що випадає, ми можемо вказати рівень перемикача пасивного самонаведення, який буде застосовуватись при виконанні операції самонаведення.

Side of homing switch – в даному вікні нам потрібно вказати, чи потрібно осі розміщувати на верхній або нижній стороні перемикач для пасивного самонаведення.

Home position – вказане положення, яке необхідно конфігурувати в інструкції керування рухом осі MC_Home, і яке буде застосовуватись в якості вихідного положення для осі. Якщо пасивне самонаведення буде виконуватись без команди axis at a standstill, пасивне самонаведення буде виконуватись на кожному наступному зростаючому чи спадаючому фронті на перемикачі самонаведення [16, 17, 18, 20].

					MPMA 22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		75

Так як на маніпуляторі встановлено три крокових двигуни то ми повинні конфігурувати і їх, для цього відкриваємо вкладку

PLC_1 → Technology objects → Add new object → Motion control →
→ TO_PositioningAxis

Вказуємо назву для осей другого та третього електродвигунів - Hand1_2_TO та Hand1_3_TO та переходимо до конфігурування основних параметрів обладнання, аналогічно описаному вище.

У вкладці Drive вкажемо:

- для другого крокового електродвигуна:

Pulse output → Input address → Hand_1_2_Pulse → %Q0.4;

Direction output → Hand_1_2_TO_Direction → %Q0.3.

- для третього крокового електродвигуна:

Pulse output → Input address → Hand_1_3_Pulse → %Q0.7;

Direction output → Hand_1_3_TO_Direction → %Q0.5.

Решта налаштувань виконується аналогічно описаним вище.

3.2 Конфігурування технологічного об'єкту крокового електродвигуна для захватного маніпулятора на технологічній лінії

Вікно Commissioning – дозволить нам виконати перевірку захватного маніпулятора в тестовому режимі, на правильність підключення електродвигунів та відсутність помилок чи похибок (рис. 3.12).

Будемо використовувати Axis control panel для переміщення центральної осі в ручному режимі, оптимізації конфігурації осі та тестування розробленої автоматичної системи керування кроковим електродвигуном.

Панель керування для центральної осі можна використовувати, лише якщо встановлено підключення до CPU в режимі on-line, тому є рекомендації по відключенню будь-якого іншого Інтернет-зв'язку, коли використовується панель керування для центральної осі та виконується оптимізація, щоб час відгуку

тривав найкоротший проміжок часу.

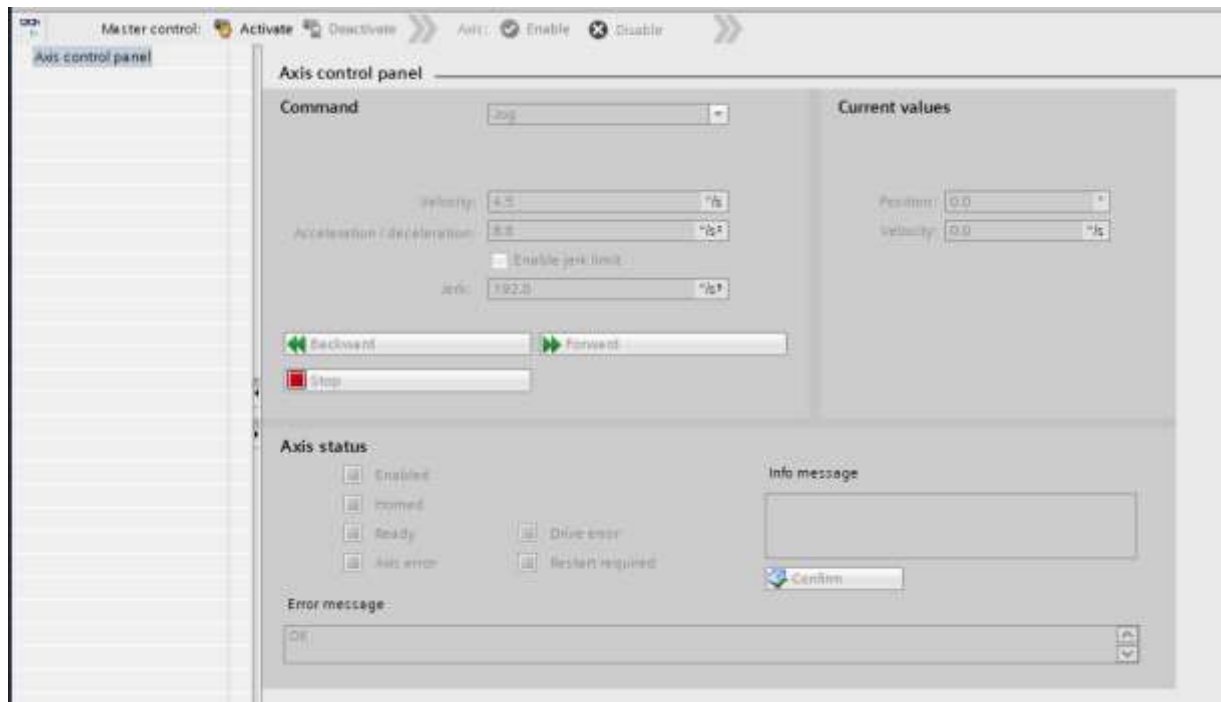


Рисунок 3.12 – Загальний вигляд вікна введення в експлуатацію - Commissioning

Панель керування для центральною віссю захватного маніпулятора поділена на декілька областей [16, 18, 20]:

1. Master control – у цій області ми можемо як взяти на себе головне керування над ТО так і навпаки повернути його розробленій автоматичній програмі користувача:

– Activate – може застосовуватись для підключення до CPU в Інтернеті та надає дозвіл взяти на себе головне керування для обраного ТО.

Приймаючи головне керування над ТО необхідно звернути увагу на наступні фактори:

- для того щоб отримати головне керування, ТО повинен бути не активний у програмі користувача;

- поки головне керування не повертається, програма користувача не матиме впливу на жодні функції ТО. Завдання керування рухом від програми користувача до ТО в даному випадку буде відхилятися як помилка;

- Deactive – за допомогою даної кнопки ми можемо повернути головне

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

керування у створену програму користувача.

2. Область Axis – у даній області ми можемо увімкнути або вимкнути ТО для роботи із панеллю керування осі або виконання оптимізації:

- Enable – кнопка для вмикання обраного ТО;
- Disable – кнопка для вимикання обраного ТО.

3. Область Command – в даній області робота можлива лише при умові вмикання центральної осі, тут ми можемо вибрати одну із таких команд:

- Jog – дана команда повністю відповідає команді керування рухом MC_MoveJog, що використовується в створеній програмі користувача;
- Positioning – дана команда повністю відповідає двом командам керування рухом осі MC_MoveAbsolute та MC_MoveRelative, що використовуються в створеній програмі. Центральна ось повинна бути самонаведена для того, щоб виконати операції абсолютного позиціонування;
- Homing – дана команда повністю відповідає команді керування рухом осі MC_Home, що використовується в розробленій програмі. Для самонаведення можливо застосувати наступні кнопки. Кнопка Homing відповідає режиму – Mode=3 або так зване «активне наведення». Для активного самонаведення перемикач самонаведення повинен бути повністю налагоджений у конфігурації центральної осі. Кнопка Set reference point відповідає режиму Mode=0 або так зване «пряме абсолютне самонаведення».

Значення величини швидкості самонаведення та заходу, зміщення опорного положення автоматично програмою беруться із конфігурації центральної осі без змін.

Залежно від вибору розробника будуть відображені відповідні поля для введення вказаних значень та кнопки запуску команд.

Для того, щоб активувати обмеження поштовху необхідно встановити прапорець Enable jerk limitation. За замовчуванням Jerk встановлюється на величину в 10% від налаштованого значення, це значення можливо налаштувати

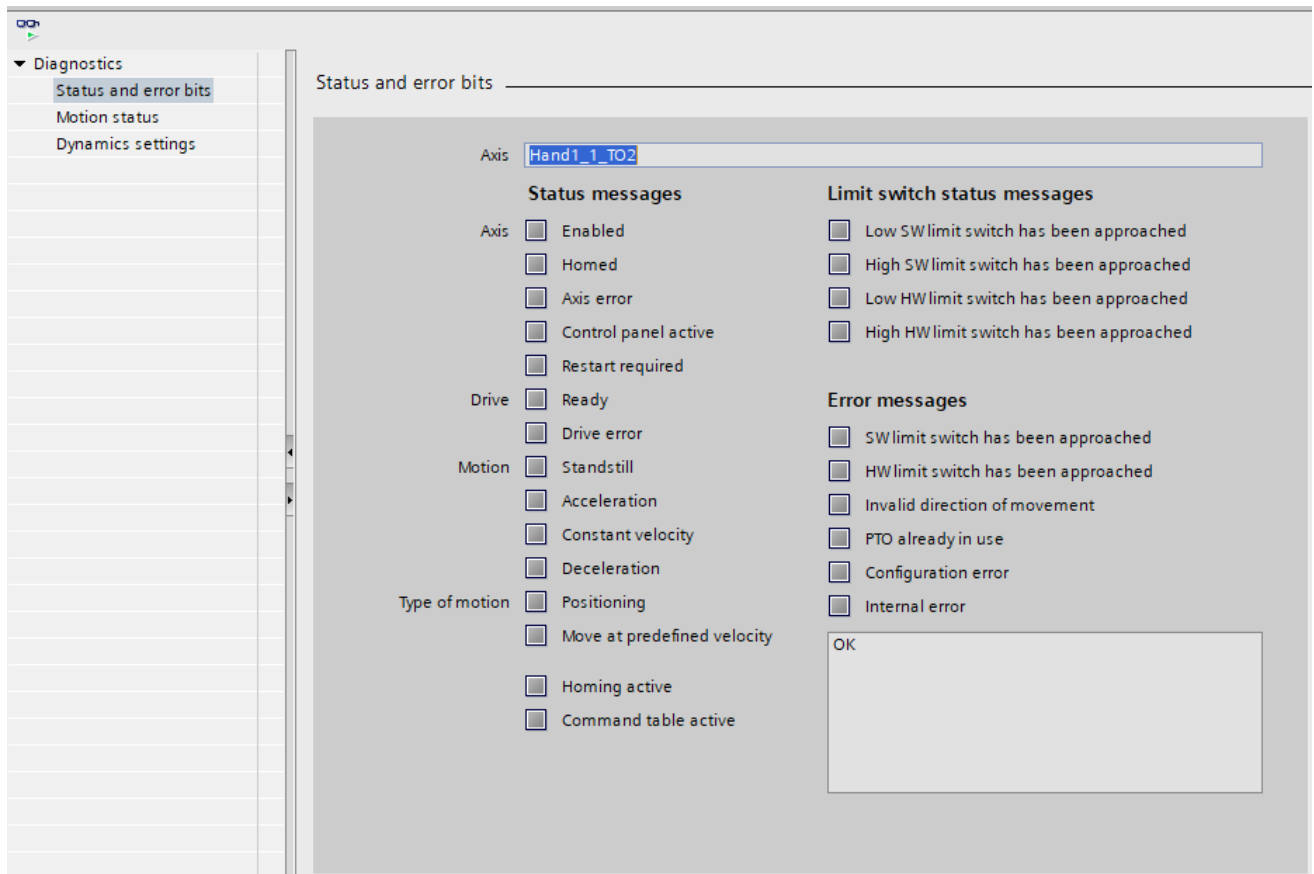


Рисунок 3.13 – Загальний вигляд неактивного вікна Diagnostics

Функція Diagnostics для ТО центральної осі позиціонування можна знайти в Project tree в розділі Technology object → Commissioning (рис. 3.13).

Вікно Diagnostics умовно поділено на наступні вкладки:

- status and error bits – тобто перевірка положень та станів центральної осі та електропривода;
- motion status – перевірка положення, актуальної та заданої позиції, актуальна та задана швидкості;
- dynamics settings – вказані величини для прискорення та гальмування, а також екстреного гальмування.

В активованому режимі діагностики відображається поточний стан електроприводу та центральної осі (рис. 3.14) [16-18, 20].

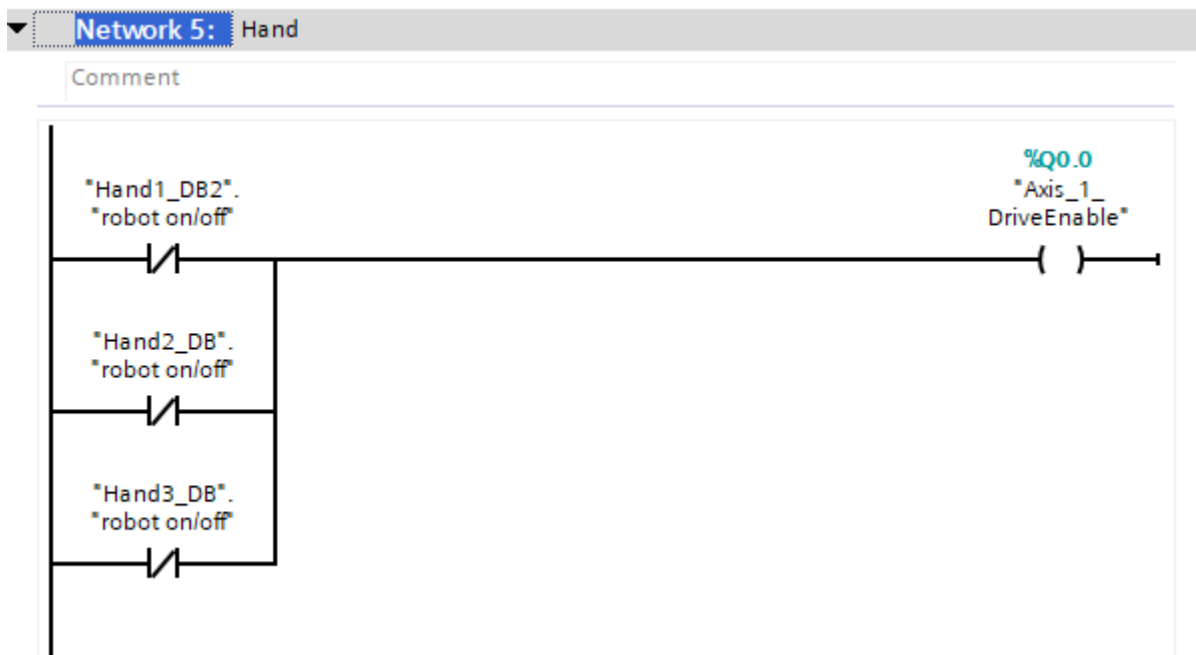


Рисунок 3.16 – Загальний вигляд програми для запуску електродвигунів захватного маніпулятора на мові LAD

За допомогою комбінації клавіш Ctrl+RC ми створимо ще одне робоче поле, змінюємо його назву на Hand_1 і в ньому створюємо необхідну програму з використанням графічної мови FBD.

Для цього ми використовуємо стандартні блоки із вкладки Technology → Motion control, яка знаходиться справа в блоці Instructions → Basic instructions (рис. 3.17).

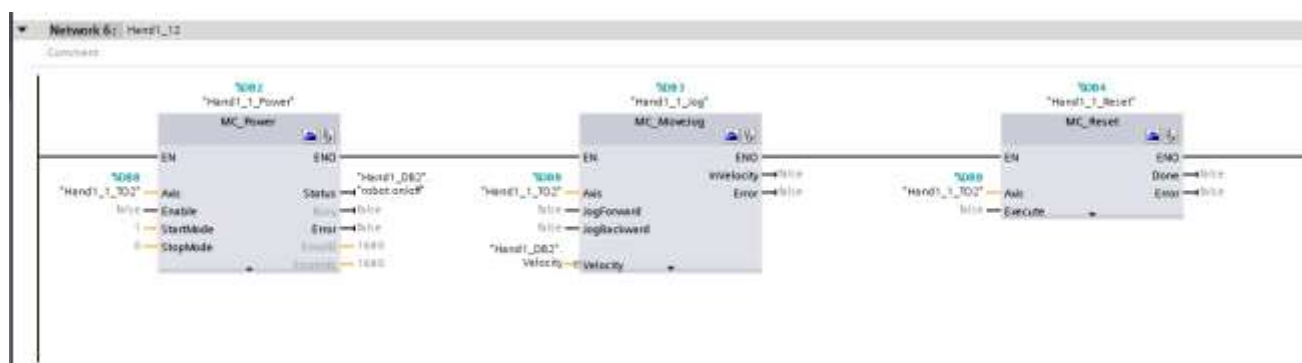


Рисунок 3.17 – Загальний вигляд програми для запуску електродвигунів захватного маніпулятора на мові FBD

Для запуску електродвигунів захватного маніпулятора нам знадобляться наступні стандартні блоки із вкладки Technology → Motion control, яка знаходиться справа в спеціальному блоці Instructions → Basic instructions (рис. 3.18).

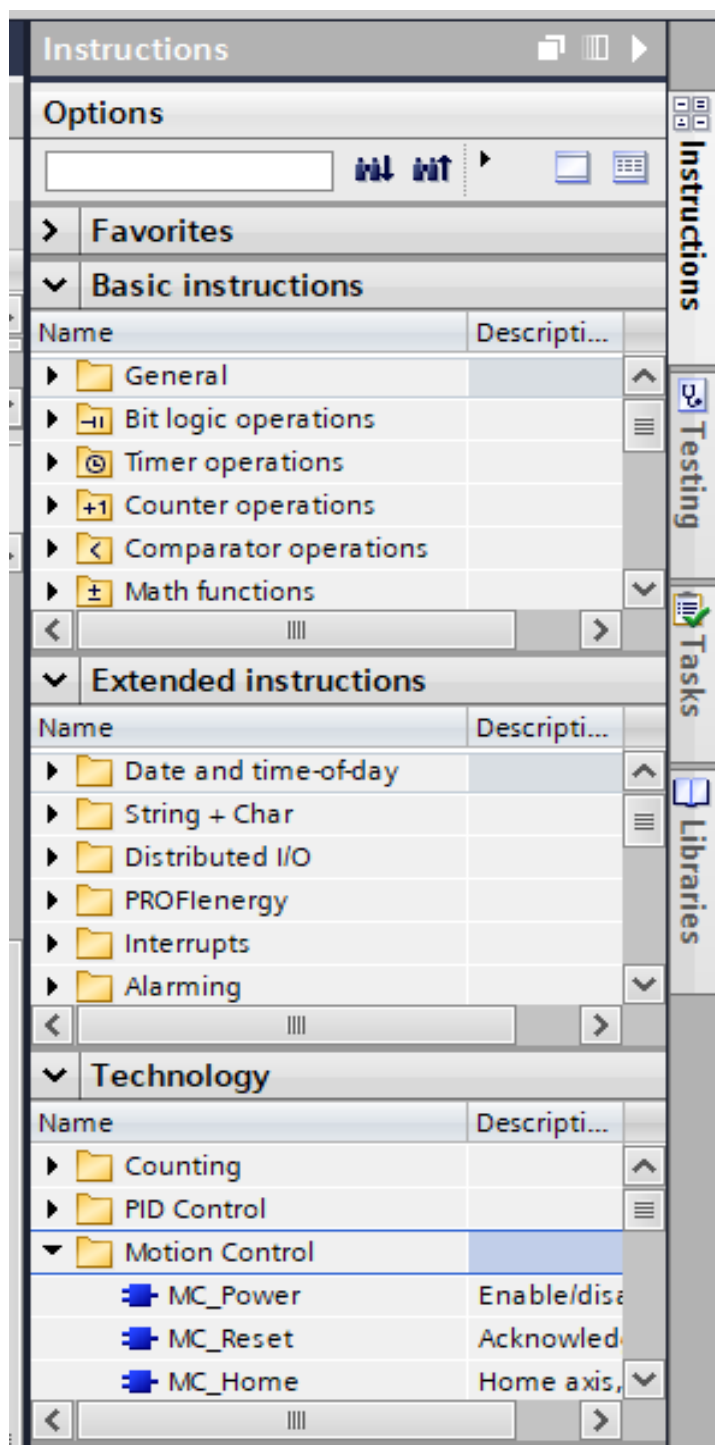


Рисунок 3.18 – Загальний вигляд спеціального блоку Instructions

Для запуску електродвигунів захватного маніпулятора ми використаємо

– Active homing або Mode=3 – самонаведення буде виконуватись автоматично;

– Passive homing або Mode=2 – під час виконання пасивного самонаведення інструкція MC_Home керування рухом осі не буде виконувати жодного руху для самонаведення. Тому потрібний для цього рух буде реалізовано розробником за допомогою використання інших інструкцій керування рухом осі. Коли буде включено перемикач самонаведення, центральна ось буде самонаводиться;

– Direct homing absolute або Mode=0 – положення поточної центральної осі встановлюється відносно поточного значення параметра Position ;

– Direct homing relative або Mode=1 – поточне положення центральної осі компенсується встановленим значенням параметра Position ;

– Absolute encoder adjustment relative або Mode=6 – поточне положення центральної осі компенсується встановленим значенням параметра Position ;

– Absolute encoder adjustment absolute або Mode=7 – положення поточної центральної осі встановлюється за значенням параметра Position ;

– Mode=6 та Mode=7 можна використовувати лише через накопичувачі із аналоговим інтерфейсом та підключенням через PROFIdrive .

Загальні вимоги: ТО центральної осі позиціонування налаштовано вірно; ось включена (не діє для режиму підключення накопичувача через PROFIdrive чи аналогового привода Mode=0 чи Mode=1).

Жодна команда MC_CommandTable не може бути активована при запуску із Mode=0, Mode=1 чи Mode=2.

Створюємо схему послідовно з'єднавши блоки згідно вказаного вище переліку, в назві блоків виконуємо заміну MC на Hand, для всіх блоків здійснюємо прив'язку перемінної Axis до Hand_1 ТО, блок MC_MoveJog повинен зчитувати початкову швидкість (або перемінну Velocity) зі створеної нами бази даних Hand_1 DB (рис. 3.17).

Виконується аналогічно описаному вище для створення ще двох програм на мові FBD для керування кроковими двигунами №2 та №3. Відповідно в назвах ми пропишемо Hand_1_2 та Hand_1_3.

Створюємо ще одне робоче поле, як описувалось вище, змінюємо назву на Hand_ActualPosition та в ньому створюємо програму за допомогою мови SCL (рис. 3.19).

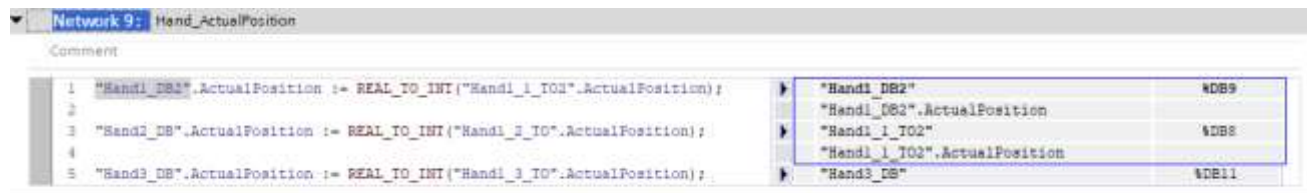


Рисунок 3.19 – Загальний вигляд робочого поля Hand_ActualPosition

В робочому полі за допомогою математичної мови SCL прописуємо зміну типу даних ActualPosition із створеної нами бази даних Hand_1 DB в ActualPosition в ТО Hand_1_TO2, який було створено раніше.

Переходимо до створення НМІ-екрану. За завданням створюємо цифровий пульт для керування кроковими електродвигунами захватного маніпулятора та електромагнітом, із можливістю ручного керування переміщенням та автоматичного переходу по заданим координатам (абсолютним та відносним) та заданою швидкістю, моментальною зупинкою, дискретного збільшення та зменшення швидкості руху та переміщення, з можливістю самонаведення центральної осі електродвигунів та відстеженням стану, поточної швидкості та величини пройденого шляху (рис. 3.21).

Апробацію роботи проведено на Міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Сучасні тенденції розвитку інженерії, технологій та транспорту», 18-19 жовтня 2022 року, м. Хмельницький, робота отримала схвальні відгуки, за результатами було надруковано тези в Збірнику тез конференції «Сучасні тенденції розвитку інженерії, технологій та транспорту».

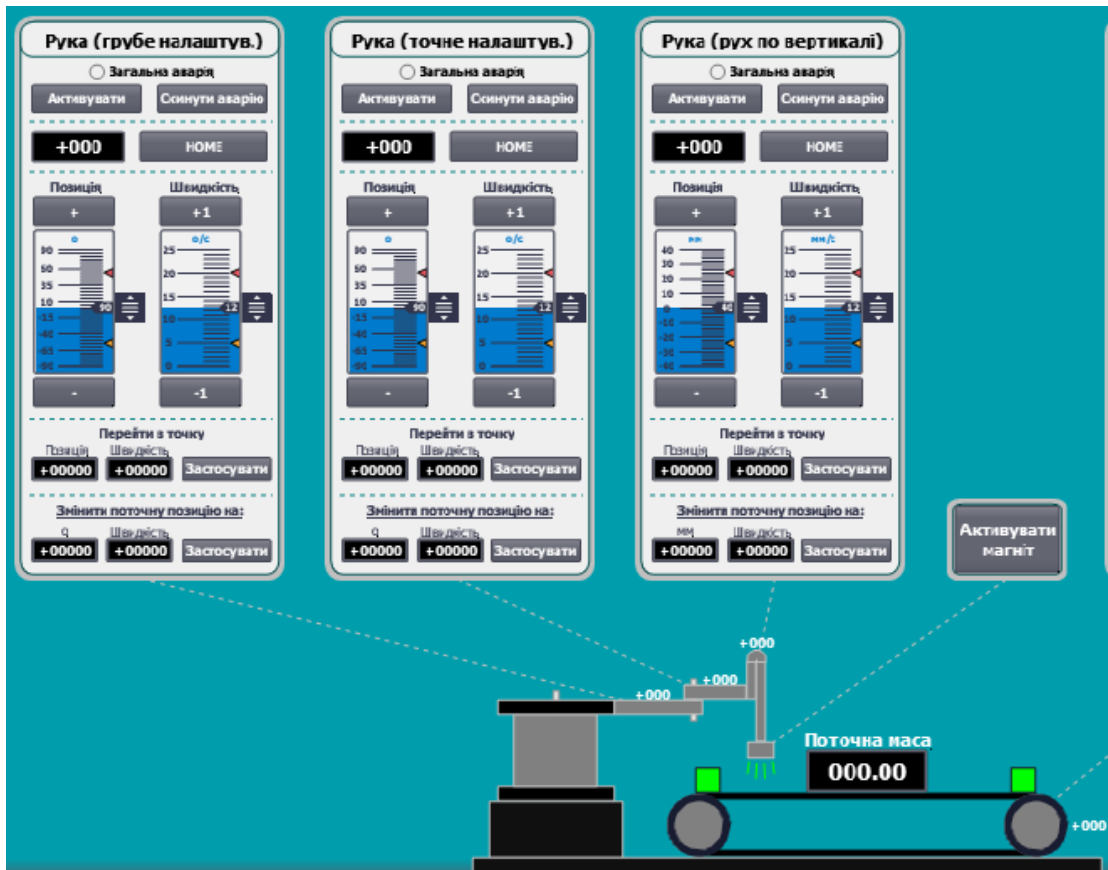


Рисунок 3.21 – Загальний вигляд НМІ-екрану для керування електродвигунами захватного маніпулятора

Висновки до розділу

Виконано поетапне моделювання та візуалізація роботи електродвигуна захватного маніпулятора на технологічній лінії з використанням програмного середовища TIA Portal V.15.1. Описано створення ТО крокового електродвигуна для захватного маніпулятора та керування ним, налаштування всіх необхідних елементів та запуск крокового електродвигуна як цифрового двійника в режимі тестування

Описано використання трьох мов програмування LAD, FBD, SCL та створення на їх основі програми керування електродвигуном захватного маніпулятора. А також створення НМІ-екрану для керування автоматизованим процесом захвату та переміщення в реальному часі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Виконано огляд та аналіз існуючих конструкцій маніпуляторів, розглянуто базові класифікації роботів-маніпуляторів.

Проведено огляд та аналіз існуючих конструкцій захватних пристроїв для маніпуляторів на технологічних лініях, як результат аналізу обрано в якості ЗП в нашій роботі ми будемо використовувати електромагнітний захват, через простоту конструкції та роботи.

Опираючись на виконаний огляд та аналіз існуючих конструкції крокових електродвигунів ми спинили свій вибір на кроковому електродвигуні - 28BYJ-48. Такі крокові електродвигуни використовуються у механічних системах точного позиціонування – ЧПК верстатах, 3d-принтерах, принтерах та, звичайно, роботах-маніпуляторах.

Описано необхідні програмні та апаратні засоби для візуалізації стану захватного маніпулятора на технологічній лінії, описано використовувані типи кодових блоків, вказано поняття перемінних та особливості їх адресації, розглянуто мови програмування, що використовуються в програмному середовищі TIA Portal фірми SIEMENS та вказано особливості створення HMI-екрану.

Виконано поетапне моделювання та візуалізація роботи електродвигуна захватного маніпулятора на технологічній лінії з використанням програмного середовища TIA Portal V.15.1. Описано створення ТО крокового електродвигуна для захватного маніпулятора та керування ним, налаштування всіх необхідних елементів та запуск крокового електродвигуна як цифрового двійника в режимі тестування

Описано використання трьох мов програмування LAD, FBD, SCL та створення на їх основі програми керування електродвигуном захватного маніпулятора. А також створення HMI-екрану для керування автоматизованим процесом захвату та переміщення в реальному часі.

										Арк.
										89
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	<i>MPMA 22.00.00.000 ПЗ</i>					

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Автоматизований електропривод машин та установок: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавр за освітньою програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» / О.В. Чермалих, О.В. Данілін, А.В. Босак, Л.В. Торопова; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 24,3 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 61 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41535>.

2. Компоненты приводов мехатронных устройств [Электронный ресурс] : учебное пособие / С. В. Пономарев [и др.]. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 5,34 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана. – ISBN 978-5-8265-1294-4.

3. Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні / [Л.Є.Пелевін, К. І. Почка, О. М. Гаркавенко та ін.]. – К.: Інтерсервіс, 2016. – 258 с.

4. Автоматизований електропривід машин та установок для шахт та копалень. Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / К.Н. Маренич, Ю.В. Товстик, В.В. Турупалов, С.В. Василюк, І.Я. Лизан. – Донецьк: ООО «Технопарк ДонГТУ «УНІТЕХ», 2015. – 252 с.

5. Сучасні електромехатронні комплекси і системи : навч. посібник / Т. П. Павленко, В. М. Шавкун, О. С. Козлова, Н. П. Лукашова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 116 с. ISBN 978-966-695-502-2.

6. Peter Corke. Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms In MATLAB. - 2nd edition. – Springer, 2017. – 722 p.

7. Мехатроніка : навч. посіб. / Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Човнюк Ю.В. – К., 2012. - 357 с

8. Основи робототехніки: навчальний посібник / Н.В. Морзе, Л.О. Варченко-Троценко, М.А. Гладун. – Кам'янець-Подільський : ПП Буйницький

										Арк.
										90
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 22.00.00.000 ПЗ					

19. О.П. Губарев. Мехатроніка: Циклічно-модульний підхід до вирішення практичних задач автоматизації / Губарев О.П., Ганпанцурова О.С. // К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 160 с.

20. Моделювання роботи маніпулятора в програмному середовищі TIA Portal v.15.1 (повідомлення 1) / Майдан П.С., Макаришкін Д.А., Михайловський Ю.Б., Золотенко Е.О. // Вісник Хмельницького національного університету, 2022. - №4. - С. 150-158.

					<i>МРМА 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						92
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					<i>МРМА 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						93
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

					<i>МРМА 22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						94
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		