

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій  
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП

Олексій КОЙФМАН

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Інтелектуальні системи управління та робототехнічні комплекси  
в гірничо-металургійному виробництві»  
за спеціальністю 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології  
та робототехніка

**на тему «Модернізація АСУ формуванням садки вогнетривких  
виробів в умовах вогнетривкого заводу»**

Керівник роботи

Вікторія МІРОШНИЧЕНКО

Консультант від  
бази практики

Олексій ПІПКО

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Олег МАЧУЛЯН

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Андрій ЛЕОНОВ

Запоріжжя 2025

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>автоматизації виробництва та цифрових технологій</u>
Кафедра	<u>автоматизації, електро- та робототехнічних систем</u>
Освітньо-кваліфікаційний рівень	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та роботехніка</u>
ОПП	<u>Інтелектуальні системи управління та робототехнічні комплекси в гірничо-металургійному виробництві</u>

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Гарант ОПП

Олексій КОЙФМАН

27.11.2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Мачуляна Олега Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Модернізація АСУ формуванням садки вогнетривких виробів в умовах вогнетривкого заводу  
керівник роботи Мірошніченко Вікторія Ігорівна, доцент, канд. техн. наук,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом Університету від 14.10.2024 р. №238/14.10.2024
2. Термін подання роботи 03.02.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, результати власних експериментів та досліджень тощо
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області (літературний огляд, недоліки існуючих систем, сучасні тенденції). 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури системи управління та сигналізації технологічних параметрів (Основні задачі АСУТП, концепція роботи системи, обґрунтування та вибір технічних рішень). 3. Реалізація запропонованої системи (3.1. Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації, 3.2. Проектування САР тиску в гідравлічній системі, 3.3. Алгоритмічне та програмне забезпечення окремих задач системи). 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема структурна автоматизації. Схема функціональна автоматизації. Схема структурна комплексу технічних засобів. Блок-схеми алгоритмів керування та програмного забезпечення. Результати розрахунків

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1-4	Мірошніченко В.І., доцент кафедри АБЕРС

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	02.12.2024-06.12.2024	
2	Розділ 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури комп'ютерної системи управління	06.12.2024-26.12.2024	
3	Розділ 3. Реалізація запропонованої системи автоматизації	26.12.2024-16.01.2025	
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи автоматизації	16.01.2025-26.01.2025	
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	26.01.2025-02.02.2025	
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	03.02.2025-06.03.2025	
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	07.02.2025-12.02.2025	
8	Рецензування завершеної роботи. захист	12.02.2025-16.02.2025	

Здобувач

(Олег МАЧУЛЯН)

Керівник роботи

(Вікторія МІРОШНИЧЕНКО)



## АНОТАЦІЯ

*Мачуляк Олег Володимирович.* Модернізація АСУ формуванням садки вогнетривких виробів в умовах вогнетривкого заводу. – Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». ОПП «Інтелектуальні системи управління та робототехнічні комплекси в гірничо-металургійному виробництві» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2025.

Об'єктом дослідження є АСУ формуванням садки вогнетривких виробів в умовах вогнетривкого заводу.

Предметом дослідження є автоматизація системи формування садки вогнетривких виробів в умовах вогнетривкого заводу.

У першому розділі проаналізована предметна область застосування автоматизованих систем керування з використанням гідроприводів. Розглянуті наявні системи автоматизації, сформульована невирішена частина проблеми, яку планується досліджувати та вирішувати в рамках кваліфікаційної роботи.

У другому розділі надана загальна характеристика технологічного процесу, проведено аналіз технологічного процесу як об'єкту автоматизації, визначені задачі управління об'єктом, задачі автоматичного контролю та регулювання відповідних технологічних параметрів, обґрунтовано вибір структури системи автоматизованого управління та технічних засобів для всіх рівнів автоматизації.

У третьому розділі обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації для визначених технологічних параметрів, спроектовано САР; з використанням програмних продуктів Starter та TIA PORTAL розроблено програмне забезпечення для функціонування частотного перетворювача та контролера Siemens для систем регулювання технологічними параметрами. В прикладному пакеті програм MATLAB розроблено структуру та набір правил для нечіткого регулятора для керування двигуном насосу гідроприводу.

У четвертому розділі виконано розрахунок економічної ефективності запропонованої системи автоматизації.

**АСУ, ЦМВ, ФОРМУВАННЯ САДКИ, ГІДРОПРИВОД, НЕЧІТКА ЛОГІКА**



## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	4
ВСТУП .....	6
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	8
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ.....	11
2.1 Визначення параметрів керування гідروприводом САУ №9.....	11
2.2 Основні задачі автоматичного контролю, регулювання та керування гідроприводом .....	12
2.3 Опис роботи запропонованої системи керування гідроприводом САУ садки №9 .....	16
3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	20
3.1 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації .....	20
3.2 Проектування САР тиску в гідравлічній системі.....	21
3.3 Алгоритмічне та програмне забезпечення окремих задач системи 30	
4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ...51	
ВИСНОВКИ .....	56
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	57
ДОДАТОК А	
ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ .....	59

## ВСТУП

Вогнетривами називаються матеріали на основі мінеральної сировини й одмінні здатністю зберегти без істотних змін свої функціональні властивості в різноманітних умовах служби при високих температурах. Без вогнетривів немає іншого практично прийняттого способу одержувати й підтримувати тривалий час високі температури в більших об'ємах.

В Україні середня витрата вогнетривів становить 13,8...16 кг/т сталі. На сьогодні в Україні працюють близько 18 вогнетривких підприємств. Найбільші з них:

- Запоріжвогнетрив ( найбільший, заснований в 1933 році);
- Годин-Ярський комбінат;
- Пантелеймонівський;
- Красногорівський;
- Великоанадольський (самий старий, 115 років)
- Червоноармійський динасовий завод;
- Микитовський та інші.

Основними проблемами Української вогнетривкої галузі є:


- 1) надлишок потужностей при їхній переважній орієнтації на випуск традиційної тобто застарілої продукції (алюмосилікатні й кремнеземисті вогнетриви);
- 2) економічна криза в результаті якого металургійні комбінати закуповують вогнетриви тільки для поточних потреб;
- 3) високі ціни на природний газ і імпортна сировина;
- 4) частка, що збільшується з кожним роком, імпортих вогнетривів (на сьогодні 120 тисяч тон, у рік).

Але сировинна база України досить багата й підприємствам можна освоювати випуск нової продукції за рахунок сировини яке раніше не використовувалося у виробництві вогнетривів:

- руди цирконію;
- графіту;
- ставроліту;
- руди хрому
- дістена;
- талько-магнезити й інші.

Основні тенденції розвитку світової вогнетривкої промисловості:

- 1) розширення сортаменту матеріалів, які забезпечують високі показники експлуатації в сучасних металургійних агрегатах: переклазовуглецеві, багатоглиноземисті, карбидокремнієві й інші;
- 2) розширення області застосування вогнетривких наливних мас і бетонів не потребуючі для формування футерівки дорогого встаткування;



3) розширення області застосування вогнетривів мінімальна втрата, що наносить, навколишньому середовищу й не потребуючих спеціальних заходів щодо утилізації.

Створення вогнетривких систем, що мають високий потенціал у частині забезпечення поточних ремонтів футерівки в процесі її експлуатації.

Матеріали проведених досліджень було апробовано та опубліковано на Всеукраїнській науково-технічній інтернет-конференції «Автоматизація та біомедичні і комп'ютерні технології», Дніпро, 12 березня 2024 р.

Апробація роботи:

Мачулян, О., Мірошніченко, В. Дослідження САУ формуванням садки вогнетривких виробів. Університетська наука-2024: тези доп. Міжнар. наук-техн. конф., Дніпро, 23–24 трав. 2024 р. (ДВНЗ «ПДТУ»). Дніпро, 2024. С. 270-271



## 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

В даний час українці та країни ближнього зарубіжжя, що отримали у спадок після розвалу Радянського Союзу підприємства промислового сектору мають морально застаріле обладнання, яке не відповідає основним сучасним вимогам експлуатації та потребує модернізації.

Для отримання необхідного економічного ефекту потрібні такі показники виробничого процесу як зниження енерговитрат і підвищення продуктивності випуску продукції. Для цього необхідна розробка комплексних обґрунтованих заходів, рекомендацій і технічних рішень щодо подолання проблем, що накопичилися, і поліпшення ситуацій по галузях.

Одним з таких прикладів є управління електрогідравлічним приводом, який у більшості випадків характеризується незадовільним станом та значним ступенем зношування основних фондів. Тривала експлуатація як насосного, так трубопровідного обладнання призвела до зношування основних частин гідравлічних систем, а також старіння систем керування та поступового виходу їх з ладу (поломок частинами). Приблизні відхилення фактичних напірних систем – до 11-23%, енергетичних – від 10 до 33% від номінальних, зростання гідравлічного опору від 50 до 60 % [1].


Розвиток сучасного електронного складника дає поштовх побудови електронно-гідравлічних систем шляхом впровадження досконалішого гідрообладнання та передачі керуючих функцій електроніці [2]. На поточний момент у світовій практиці починає широко використовуватися частотно-керований асинхронний електропривід зі стандартними короткозамкненими асинхронними електродвигунами загального застосування. Це пов'язано з появою великої кількості досконалих і щодо недорогих перетворювачів частоти, побудованих на сучасній елементній базі.

Суттєво розширився асортимент приводів, які знаходять щоразу більше застосування в транспорті, особливо для автоматизації та роботизації технологічних процесів в машинах. Широкими темпами розвиваються приводи, які при суттєвому зменшенні габаритів і маси, забезпечують високу потужність, надійність тощо.

Гідравлічні системи керування перевершують електричні і пневматичні за точністю і діапазоном регулювання швидкості виконавчих механізмів [3].

Режими роботи гідроприводів характеризуються частим ввімкненням та вимкненням насосів і гідророзподільників, зміною режимів роботи гідроприводу та характеру навантажень на гідродвигунах [5].

Вказані обставини визначають необхідність дослідження динамічних процесів в приводах, а також вибір комплексу конструктивних параметрів системи керування, який забезпечить достатню швидкодію і належні




показники якості регулювання в усьому діапазоні функціонування гідроприводу [9].

Досягнення цілей зменшення енергоспоживання без зниження потужної продуктивності дозволить підвищити коефіцієнт корисної дії шляхом невеликої модернізацією обладнання та більш гнучким керуванням вихідними параметрами. Для найбільшої експлуатаційної та економічної ефективності сучасні перетворювачі частоти в керуючій частині мають контролер з датчиком зворотного зв'язку (датчиком тиску на виході насоса, датчиком навантаження на механізмі тощо), що дозволяє автоматично реалізувати оптимальний технологічний процес, а також вирішити ряд додаткових завдань (контроль, діагностика, захист) [2]. Питання визначення параметрів гідросистеми, як окреме гідравлічне завдання, розглядалось в роботах Петросова В. А., Попкова В. В. (Україна), Fenton J. D. (Австрія), Kopiláková V., Turza J., Hujo L., Kosiba J. (Словаччина), Кантора Л. І., Левинских Б. Е., Сулейманова Р. Н., Яременка О. В. [19].

Останніми десятиліттями розвиток гідроприводів мобільних робочих машин характеризується стійкою тенденцією до широкого застосування регульованих аксіально-поршневих насосів (АПН) з регуляторами подачі, які входять до системи керування робочим об'ємом АПН. Ця тенденція пояснюється прагненням розробників і споживачів гідроустаткування до розширення функціональних можливостей, реалізації режимів енергозбереження і оптимального використання потужності двигуна при виконанні робочих процесів. Регулятори подачі в значній мірі визначають технічні характеристики і функціональні можливості регульованих АПН, а отже, і технічний рівень сучасного гідроприводу [6].

В будівництві, на транспорті та в промисловості широко застосовуються мобільні та стаціонарні робочі машини на основі керованого гідроприводу. Гідросистеми таких машин створені на базі шестеренних насосів та релейних розподільників. При роботі робочих мобільних машин із змінними органами (ковшами та захватами різного призначення, гідромолотами, бурильним обладнанням, крановими підвісками, щітками, відвалами та ін.) виникає необхідність змінювати швидкості руху цих органів в широких діапазонах [1]. В свою чергу використання шестеренних, пластинчатих насосів при необхідності регулювання руху окремих частин гідроприводу обумовлює втрати потужності в такій системі. Використання регулюючих дроселів у комплексі з регульованими насосами забезпечать пропорційні їхньому руху швидкості виконавчих механізмів, що зумовить високий гідравлічний ККД. Такі гідросистеми називаються адаптивними.

Пропорційне електрогідравлічне керування регульованих насосів дозволяє інтегрувати гідропривід в загальну систему керування, значно розширює можливості мобільної техніки та технологічного обладнання, дозволяє реалізувати енергозберігаючі режими, підвищує точність



керування, зменшує масо-габаритні показники, а також підвищує безпеку і покращує умови праці операторів [1].

На цей час світові виробники часто поєднують гідроприводи з електронними системами керування, застосовують «інтелектуальні» гідрокомпоненти з вбудованою електронікою і спеціальні комутаційні засоби (польові шини) з відкритою структурою, тобто мехатроний гідропривід [7]. Це дозволяє ефективно поєднувати виняткові силові та динамічні властивості гідравліки з можливостями мікроелектроніки та комплексних систем керування, що швидко розвиваються. При цьому важливе місце займають пропорційні електрогідравлічні пристрої, які керують регульованими насосами, що надає таким системам керування додаткових можливостей та новим якісним характеристикам системи.

Більшість об'ємних гідроагрегатів (ГА), наприклад, систем рідкого циркуляційного змащення пар тертя механізмів та машин включають нерегульовані насоси (в основному шестеренні) з приводним асинхронним електродвигуном (АД) з короткозамкненим ротором [8]. При розрахунку параметрів ГА, дослідженні його роботи, оцінки енергетичних втрат, оцінки ККД приймають частоту обертання постійного валу насоса і ККД при водному електродвигуні не враховують. При функціонуванні системи мастила виникають режими, при яких виникає необхідність регулювати подачу насоса об'ємним способом, а не традиційним дросельним за допомогою, наприклад, налаштування переливного клапана. Поява надійних промислових перетворювачів частоти електричного струму відкриває можливість регулювання подачі шестеренних, пластинчатих насосів шляхом зміни частоти обертання валу АД. При цьому належну увагу слід приділити штучним механічним характеристикам АД, оцінці енергетичних втрат в елементах ГА, включно з втратами АД, визначенням залежності ККД ГА з урахуванням зміни частоти живлення АД, побудови зовнішніх характеристик (швидкості обертання валу АД (насоса)) від тиску робочої рідини в нагнітальній магістралі при різних постійних синхронних швидкостях), визначенню залежності зворотної зв'язку за тиском для забезпечення управління перетворювачем частоти обертання та ін.

## 2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

На одному з підприємств України наявна значна кількість систем з керованим гідроприводом. Одним із прикладів використання застарілого керованого гідроприводу є технологічний об'єкт САУ садки вогнетривких виробів №9.

Початково ця лінія проектувалася під прес типу Букау з повним автоматичним циклом транспортування цегли на пічну вагонетку. Робота лінії садки вогнетривких виробів №9 повністю відповідала циклу роботи пресу.

Після модернізації цеху ЦМВ були встановлені преса типу LAEIS, всі системи САУ садки вогнетривких виробів були перероблені і деяким чином модернізовані. В поточний час в цеху ЦМВ знаходяться чотири садочні машини, з яких три в робочому стані (САУ №8 розібрана і неукмплектована пресом). САУ №7 і №6 працюють в автоматичному режимі, відповідному циклам пресів №7 та №6, САУ №9 працює частково і тільки в ручному режимі. Система керування САУ №9 побудована на морально застарілій елементній базі, деякі компоненти якої вийшли з ладу, тому працює частково.

### 2.1 Визначення параметрів керування гідроприводом САУ №9

При описі гідравлічної системи САК формуванням садки вогнетривких виробів як об'єкту управління необхідно виділити вхідні (керувальні та збурювальні впливи) та вихідні (керовані) параметри.

Вхідні параметри:

1) керувальні впливи:

- частота обертання двигуна насосу;
- спрацьовування переливного клапану тиску насосу;
- витрата технічної води для підтримки температури оливи;

2) збурювальні впливи:

а) контрольовані:

- спрацьовування клапанів САК формуванням садки;
- схема садки виробів;
- температура оливи;
- рівень оливи;
- стан фільтра (тиск на насосі очищення оливи);
- Контроль положення виконуючих механізмів;

б) неконтрольовані:

- втрати тиску через гідравлічний опір;
- витоки оливи;
- тертя під час руху оливи;
- наявність повітряних бульбашок у гідросистемі

Вихідні параметри: тиск оливи в гідросистемі.



## 2.2 Основні задачі автоматичного контролю, регулювання та керування гідроприводом

На підставі визначених параметрів гідравлічної системи САК формуванням садки вогнетривких виробів як об'єкту управління слід сформулювати основну задачу управління роботою САУ 9, що полягає в забезпеченні надійної роботи гідравлічної системи при мінімальному енергоспоживанні та виконання садки вогнетривких виробів у вагон для подальшого відправлення на випалювання у тунельну піч.

Можна виділити наступні задачі автоматичного контролю, регулювання та керування:

1) контроль та регулювання температури полягає в дотриманні вимог до гідравлічної системи забезпечує стабільну її роботу (мінімальна температура для запуску повинна бути 20 °С, максимальна не більше 55 °С);

2) контроль мінімального рівня оливи забезпечує можливість нормального функціонування гідравлічної системи;

3) контроль та регулювання тиску – забезпечити стабілізацію тиску в гідравлічній системі в необхідному для нормальної роботи виконавчих механізмів діапазоні (40 - 70 бар). При надто низькому тиску гідравлічна система може давати збої за рахунок збільшення часу виконання операцій виконавчими механізмами, а при підвищеному можуть заклинити гідравлічні клапана або відбутися спрацювання запобіжного клапану. Концепція побудови адаптивного керування гідроприводу.

4) керування частотою обертання двигуна насосу для стабілізації тиску в комплексі з пропорційним переливним клапаном, що дасть змогу надійнішої стабілізації тиску в гідравлічній системі, а також забезпечить більш плавний пуск двигуна та зниження споживання електричної енергії.

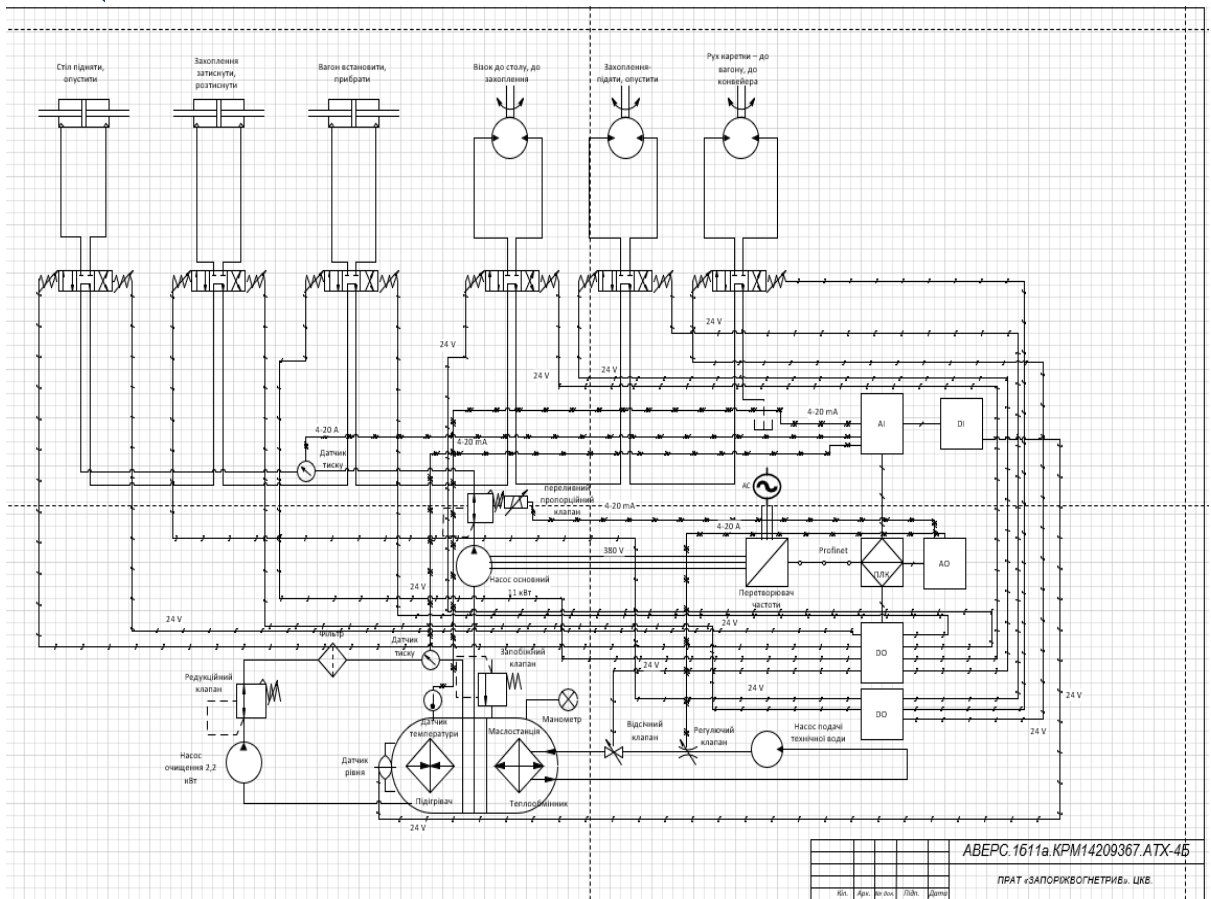


Рисунок 2.1 – Запропонована схема керування гідроприводу САУ садки №9 з застосуванням частотного перетворювача

На основі нових тенденцій в розробках систем керування гідроприводів представлена нова схема керування САУ №9 та додане додаткове обладнання.

#### Технічні дані наявної САУ

- Тип насосів циркуляційний та основний – пластинчаті – Г12-25М ( в наявності тільки основний);
- Індуктивні датчики - КВП-16 (10 шт.);
- Об’єм оливи маслостанції - 300 літрів;
- Золотникові гідророзподільники - BE10.574 E (32 л/хв);
- Реле тиску -MAP-080 21, 7-80 БАР, АТОС;
- Двигуни насосів:
  - циркуляційний - 2,2 кВт, 1500 об/хв. (відсутній)
  - основний - 11 кВт, 1000 об/хв.
- Максимальне навантаження – до 1,1 т.
- Продуктивність (за пресом) максимальна, вир/год – 1200.
- Тиск робочої рідини в гідросистемі, МПа – від 40 до 70.
- Продуктивність гідростанції, л - 140.
- Кількість персоналу, який обслуговує прес з автоматичною лінією, оператор - 1.

Запропоноване обладнання:

- Частотний перетворювач SINAMICS G120 з модулем керування CU240 (рис. 2.2) – 1 шт.;
- Перетворювач тиску WIKA S-11 – 2 шт. (рис. 2.2.3);
- Пропорційно переливний клапан Atos RZMO – A (40 л/хв) – 1 шт.(рис. 2.2.4);
- Індуктивний датчик положення Хесро IPS12-N8PO50-A12 (Sn=8 mm) - 15 (рис. 2.2.5);
- Клапани відсічні GAMA 2W-25 Н.З. 1" 0 - 10 бар FKM 24VDC – 1 шт. (рис. 2.2.6);
- Регулюючий клапан з позиціонером E290B048PDB67 DN20 PN10 ASCO Numatics керування 4-20 мА - 1 шт. (рис. 2.2.7);
- ДРП (ПДУ). Однорівневий поплавковий датчик – 1 шт. (рис. 2.2.8);
- Гідророзподільник Rexroth 4WE10 E33/CW110N9K4 MNR: R900597186 – 6 шт. (24 Volt) (рис. 2.2.9);



Рисунок 2.2– Частотний перетворювач SINAMICS G120 з модулем керування CU240



Рисунок 2.3 – Перетворювач тиску WIKA S-11



Рисунок 2.4 – Пропорційно переливний клапан RZMO – А (40 л/хв)



Рисунок 2.5 – Індуктивний датчик положення Херо IPS12-N8PO50-A12 (Sn=8 mm)



Рисунок 2.6 – Клапан відсічний GAMA 2W-25 Н.3. 1" 0 - 10 бар FKM 24VDC



Рисунок 2.7 – Регулюючий клапан з позиціонером E290B048PDB67 DN20 PN10 ASCO Numatics керування 4-20 мА




Рисунок 2.8 – ДРП (ПДУ). Однорівневий поплавковий датчик



Рисунок 2.9 – Гідророзподільник Rexroth 4WE10 E33/CW110N9K4 MNR: R900597186 (24 Volt)

### **2.3 Опис роботи запропонованої системи керування гідроприводом САУ садки №9**

Запуск маслостанції контролюється датчиком температури (діапазон запуску від 21° до 55°; 56° - відключення насосу,  $t \leq 20^\circ$  підключення підігріву (2 тени – 1,5 кВт)) та рівнем оливи по мінімальному рівні (ДРП (ПДУ)) однорівневий поплавковий датчик). Температура контролюється



Пі-регулятором на охолодження (літній період) – це відкриття-закриття відсічного клапану GAMA 2W-25 Н.З. 1" 0 (10 бар FKM 24VDC) та відпрацювання регулюючого клапану з позиціонером E290B048PDB67 DN20 PN10 ASCO Numatics (4-20 мА). Підігрів оливи виконується двома маслостійкими тенами в зимовий період.

Оператором задається уставка як по ПІ- регулятору температури, так по тиску. По тиску використовується Пі -регулятор (Пропорційно переливний клапан Atos RZMO – А (40 л/хв)), який обмежує тиск до уставки.

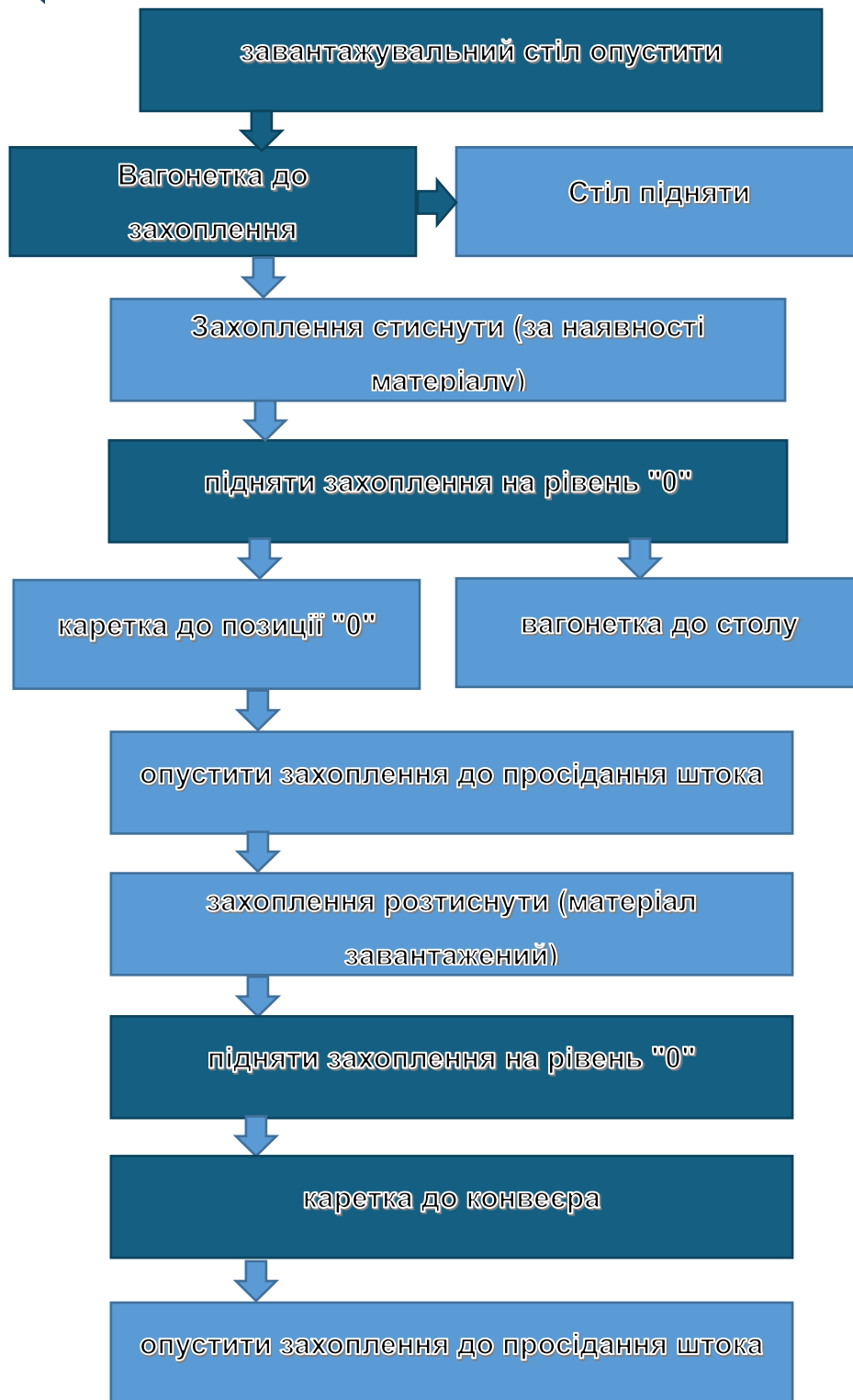


Рисунок 1.3.1- Алгоритм циклу роботи САУ

Клапани Atos RZMO – А - пропорційні переливні клапани тарілчастого типу, прямої дії з пропорційним регулюванням тиску за допомогою електронних опорних сигналів. Якщо тиск зростає то частотний регулятор гідроприводу зменшує оберти, контролюючи різницю тиску на вході та виході клапану RZMO і налаштовується через програму Starter с записом на флеш-карту частотного перетворювача. Цей клапан адаптивної дії – новий варіант керування системами гідроприводу. У випадку повного відключення від живлення, налаштування регулятора збережуться на

самому пристрої.

Налаштування параметрів роботи маслостанції, оператор налаштовує технологічні параметри САУ садки, вибираючи схему садки, за потреби може змінювати уставки по температурі і тиску.

гідроблок, до стану якого входять шість двосторонніх гідророзподільників (Rexroth 4WE10 E33/CW110N9K4 MNR: R900597186), кожен з яких контролює свій об'єкт рис 2.3.2 (старий варіант).

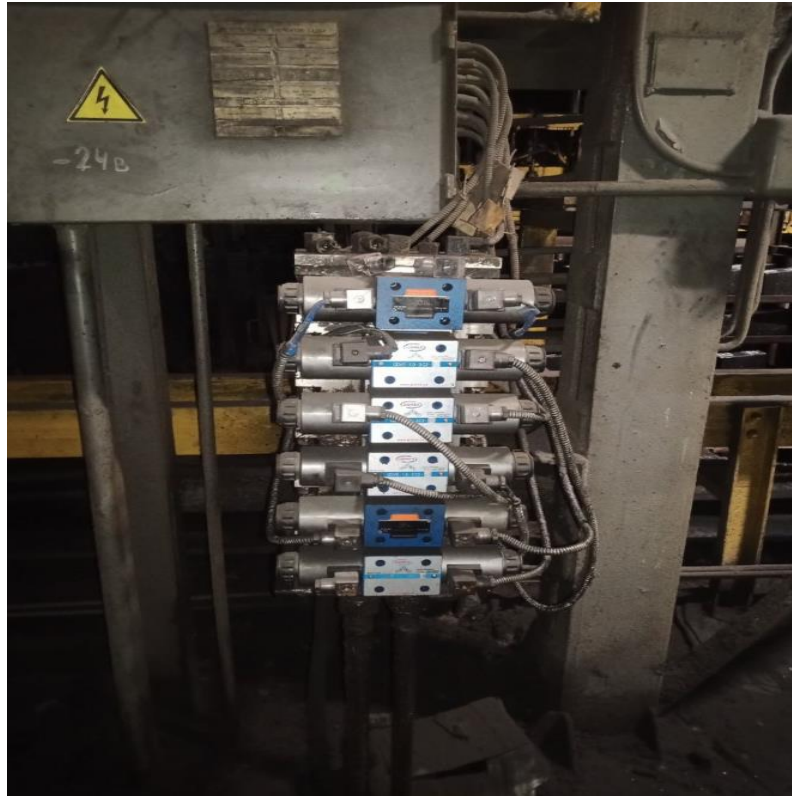


Рисунок 2.3.2 – Блок гідророзподільників (старий варіант)

Гідророзподільники обслуговують:

- ✓ три гідроциліндра:
  - Завантажувальний стіл (підняти, опустити);
  - Захоплення (Затиснути, розтиснути);
  - Вагон (встановити, прибрати).
- ✓ Три гідромотора:
  - Візок (до столу, до захоплення);
  - Захоплення (підняти, опустити);
  - Рух каретки (до вагону, до конвейєра).

Кінцеві положення гідромеханізмів контролюються індуктивними датчиками Хесро IPS12-N8PO50-A12 (Sn=8 mm).

### 3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ

#### 3.1 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації

Структурна схема автоматизації представлена у графічній частині struct. Вона являє собою дворівневу систему, на нижньому рівні якої реалізується збір інформації про значення технологічних параметрів, зокрема, тиску оливи в системі, температури та рівні оливи. Вказані аналогові сигнали надходять на модуль аналогового введення контролера Simatic S7-1200, CPU 1215C. Дискретні сигнали з датчиків положення захватів надходять на модулі дискретного введення. Також реалізуються керувальний вплив на двигун насосу для стабілізації тиску в гідросистемі, використовуючи частотний перетворювач.

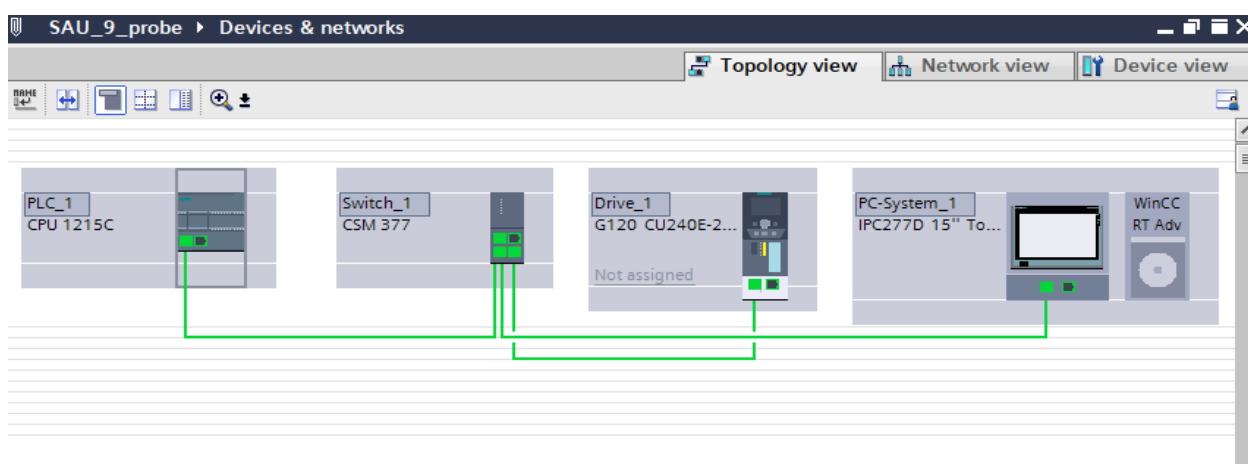


Рисунок 3.1.1 – Структура Tia portal

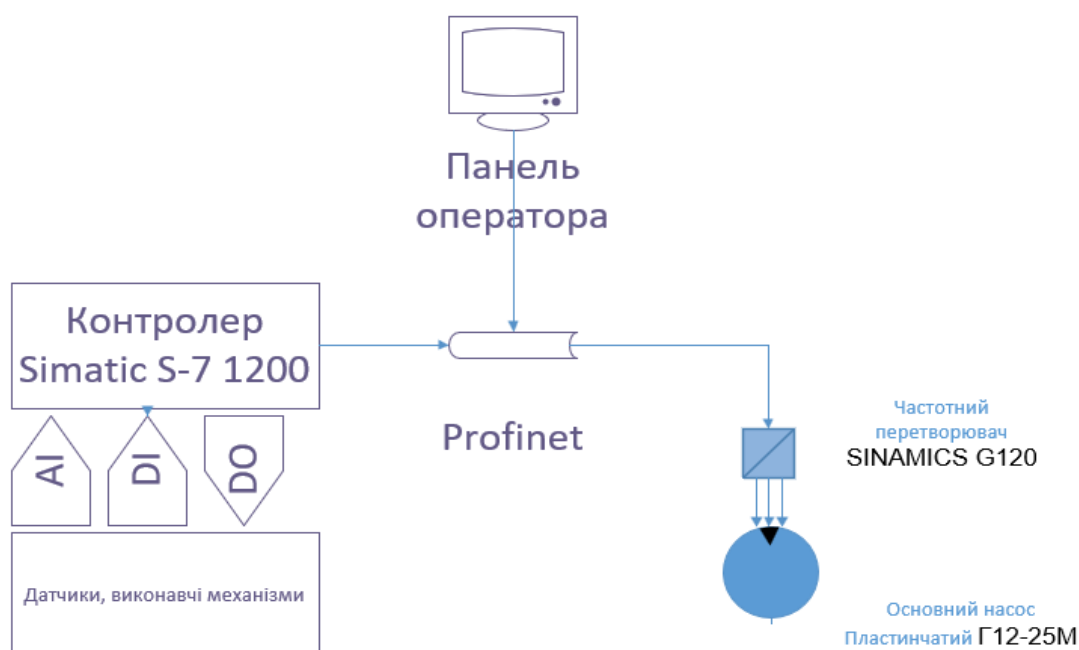


Рисунок 3.1.2 – Структурна схема автоматизації САУ садки №9

### 3.2 Проектування САР тиску в гідравлічній системі

Синтез нечіткого ПІ регулятора для керування двигуном насосу.

В ПЗ Simulink MatLab побудована модель системи управління з НЛР ПІ при  $x = 6.5$  (рис. 3.2.1) [6, 8].

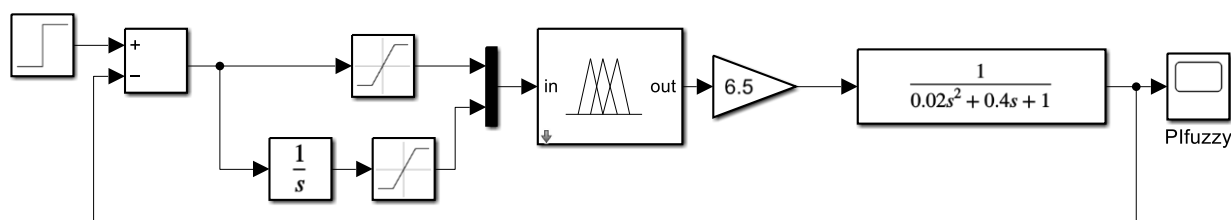


Рисунок 3.2.1 – Математична модель системи управління з НЛР\_ПІ у в Simulink MatLab

Fuzzy Logic Controller надаємо Fis name: Pifis7 (ім'я може бути будь-яке).

Налаштування Fuzzy Logic Controller для НЛР\_ПІ аналогічно налаштуванню НЛР\_ПД.

Викликається редактор системи нечіткого висновку (Fuzzy Inference System – FIS) у MatLab командою

```
>> fuzzy
```

Дале проводиться налаштування головного вікна редактора нечіткої логічної системи (див. рис. 3.2.2).

У *FIS editor* задається опис систему нечіткого логічного висновку *Mamdani*. Для створюваної системи обирається вид логічного зв'язку (*And method – min*) та (*Or method – max*), вид імплікації (*Implication – min*), спосіб агрегування висновків правил (*Aggregation – max*) та метод дефазифікації (*Defuzzification – centroid*).

У меню *Edit* послідовно додаємо 2 вхідні змінні з розміром базової шкали (*Range= [-1 1]*) та вихідну змінну з розміром базової шкали (*Range= [-1 1]*).

Для опису вхідних логічних змінних у редакторі функцій приналежності (*Membership Function Editor*), задаємо для кожної змінної трикутну функцію приналежності [9].

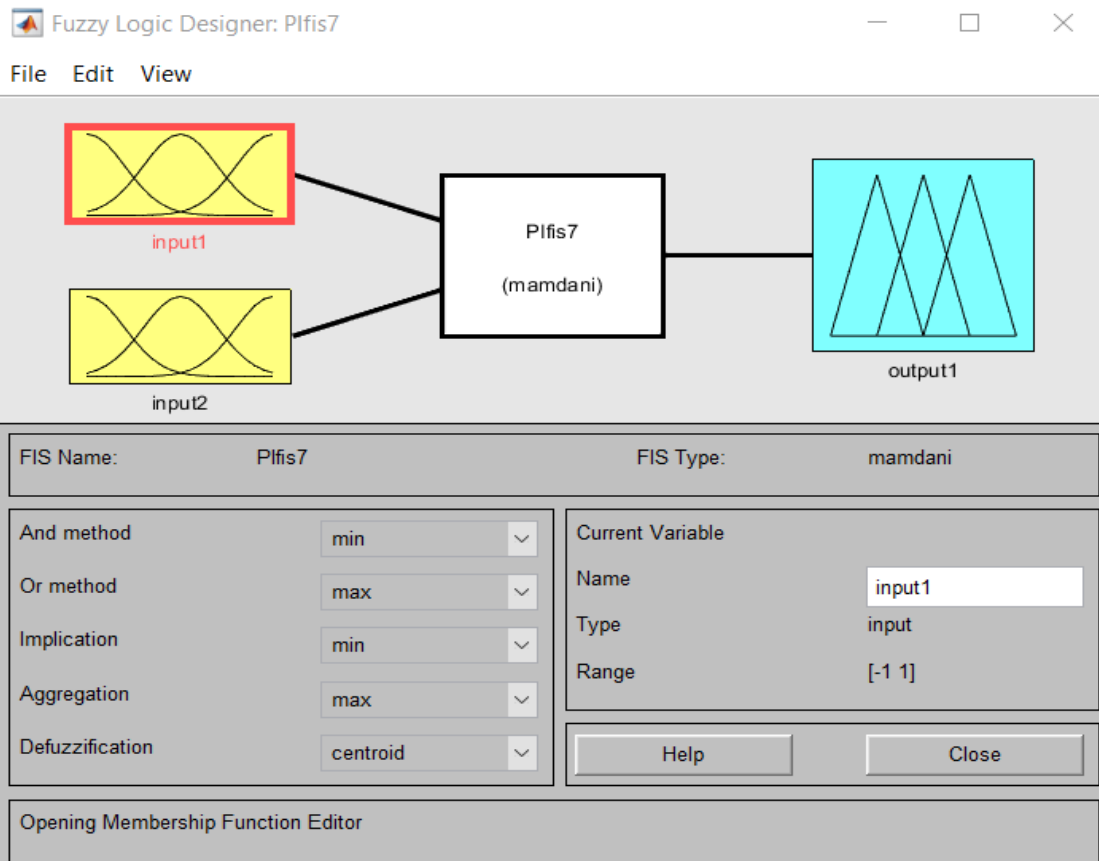


Рисунок 3.2.2 – Налаштування інтерфейсу FIS editor

Нехай терми лінгвістичної змінної «Помилка управління» розміщуються відповідно до табл.3.1 згідно налаштуванням НЛР\_П регулятора з параметрами:

Name = "NB"; Type = "trimf"; Param = [-1.33 -1 -0.33];

Name = "NM"; Type = " trimf"; Param = [-1 -0.33 -0.03];

Name = "NS"; Type = " trimf"; Param = [-0.33 -0.033 0];

Name = "Z"; Type = " trimf"; Param = [-0.1 0 0.1];

Name = "PS"; Type = " trimf"; Param = [0 0.033 0.33];

Name = "PM"; Type = " trimf"; Param = [0.033 0.33 1];

Name = "PB"; Type = "trimf"; Param = [0.33 1 1.33].

Результат налаштування функцій приналежності вхідних змінних «Помилка управління» наведено на рис. 3.2.3.

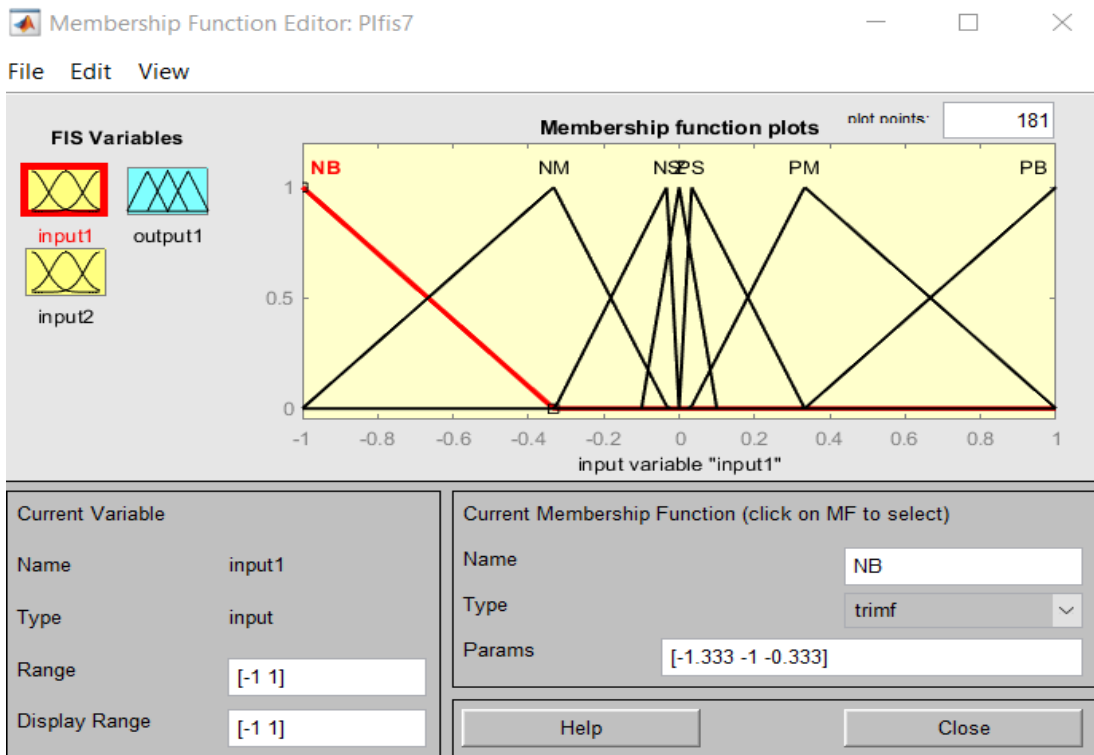


Рисунок 3.2.3 – Результат налаштування функцій приналежності вхідних змінних «Помилка управління»

Примітка. У якості центрів термів, що описуються функціями приналежності, обрані значення відповідно до табл. 11.2 для налаштування НЛР\_П.

Таблиця 3.2.1 – Закон управління проектованим НЛР\_П

	НВ (негативне велике)	НС (негативне середнє)	НМ (негативне мале)	Н (нульове)	ПМ (позитивне мале)	ПС (позитивне середнє)	ПВ (позитивне велике)
<i>e</i>	-1	-0,33	-0,033	0	0,033	0,33	1
<i>u</i>	-1	-0,66	0,33	0	0,33	0,66	1

Терми вхідної лінгвістичної змінної «Інтеграл помилки управління» формуємо рівномірно. Для опису вхідних логічних змінних «Інтеграл помилки управління» у редакторі функцій приналежності (*Membership Function Editor*), задаємо для кожної вихідної змінної трикутну функцію приналежності. З параметрами:

Name = "NBe"; Type = "trimf"; Param = [-1.33 -1 -0.66];

Name = "NMe"; Type = "trimf"; Param = [-1 -0.66 -0.33];

Name = "NSe"; Type = "trimf"; Param = [-0.66 -0.33 0];

Name = "Ze"; Type = "trimf"; Param = [-0.33 0 0.33];

Name = "PSe"; Type = "trimf"; Param = [0 0.33 0.66];

Name = "PMe"; Type = "trimf"; Param = [0.33 0.66 1];

Name = "PBe"; Type = "trimf"; Param = [0.66 1 1.33].

Результат налаштування функцій приналежності вхідних змінних «Інтеграл помилки управління» на рис. 3.2.4.

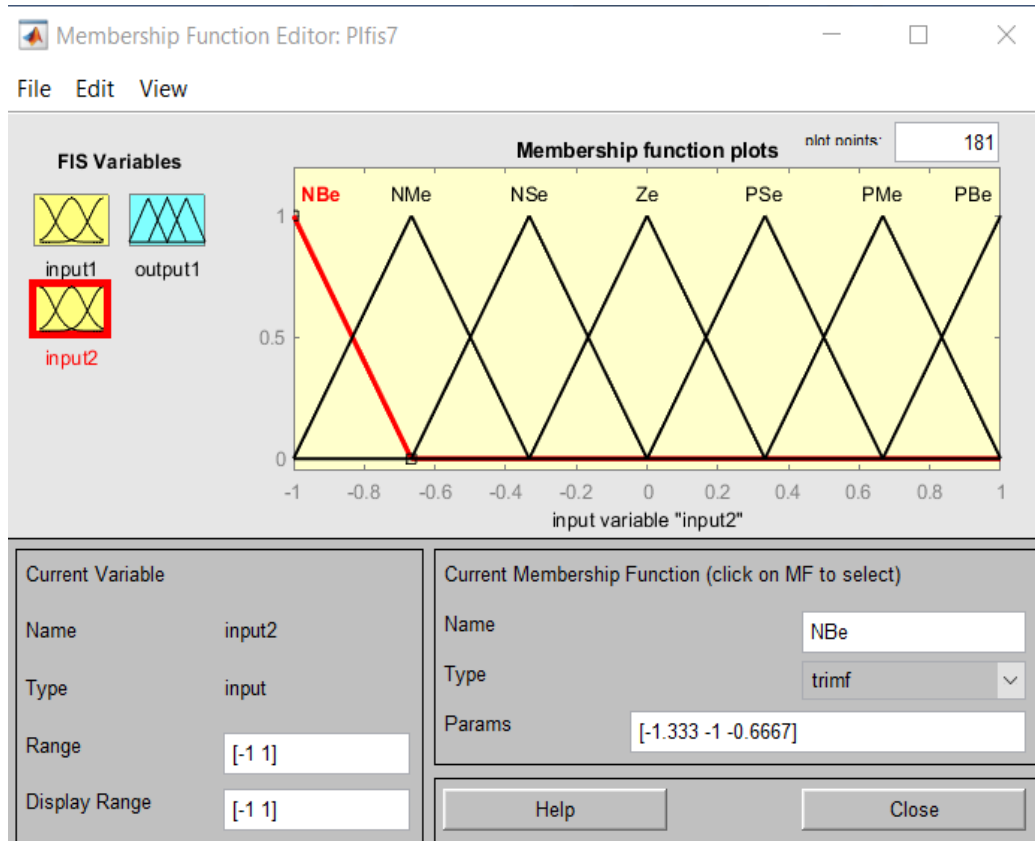


Рисунок 3.2.4 – Результат налаштування функцій приналежності вхідних змінних «Інтеграл помилки управління»

Для опису вихідних логічних змінних у редакторі функцій приналежності (*Membership Function Editor*), задаємо для кожної вихідної змінної трикутну функцію приналежності. З параметрами:

Name = "NBu"; Type = "trimf"; Param = [-1.33 -1 -0.66];

Name = "NMu"; Type = "trimf"; Param = [-1 -0.66 -0.33];

Name = "NSu"; Type = "trimf"; Param = [-0.66 -0.33 0];

Name = "Zu"; Type = "trimf"; Param = [-0.33 0 0.33];

Name = "PSu"; Type = "trimf"; Param = [0 0.33 0.66];

Name = "PMu"; Type = "trimf"; Param = [0.33 0.66 1];

Name = "PBu"; Type = "trimf"; Param = [0.66 1 1.33].

Результат налаштування функцій приналежності вхідних змінних наведено на рис. 3.2.5.

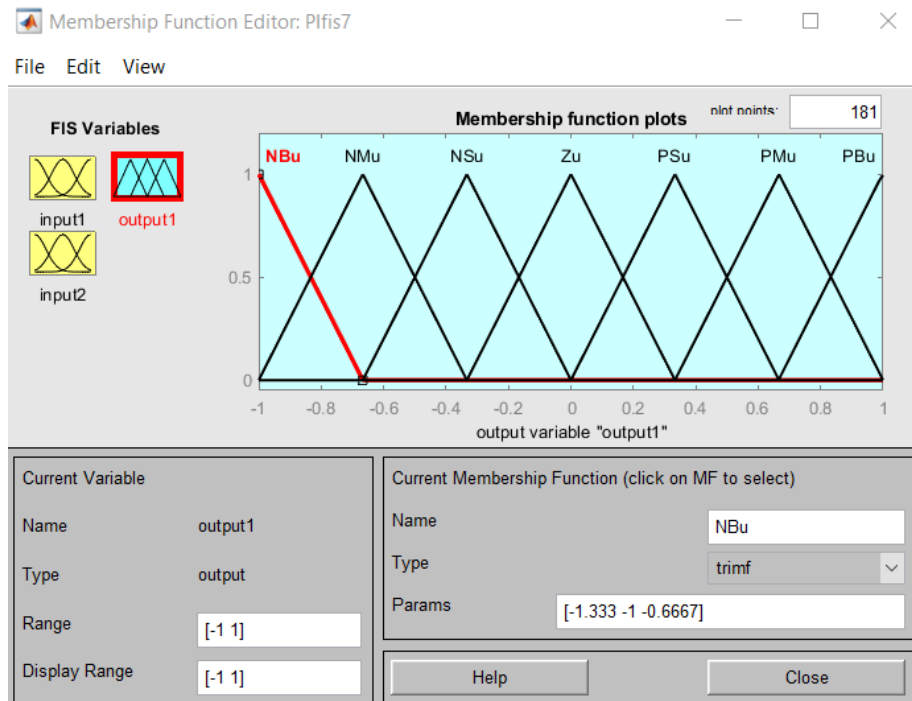


Рисунок 3.2.5 – Результат налаштування функцій приналежності вихідних змінних

Після опису вхідні та вихідні лінгвістичні змінні, здійснюється опис правил у вікні редактора Rule Editor, кількість правил для даного випадку дорівнює 49. Управляючі правила сформуємо згідно з табл. 3.2.1:


1. if (input1 is NB) and (input2 is NBe) then (output1 is NBu) (1)
2. if (input1 is NB) and (input2 is NMe) then (output1 is NBu) (1)
3. if (input1 is NB) and (input2 is NSe) then (output1 is NBu) (1)
4. if (input1 is NB) and (input2 is Ze) then (output1 is NBu) (1)
5. if (input1 is NB) and (input2 is PSe) then (output1 is NBu) (1)
6. if (input1 is NB) and (input2 is PMe) then (output1 is NBu) (1)
7. if (input1 is NB) and (input2 is PBe) then (output1 is NBu) (1)

Таблиця 3.2.2 – Модифіковані табличні лінгвістичні правила [10]



Таблица правил		e*						
		НВ	НС	НМ	0	ПМ	ПС	ПВ
Δ e*	НВ	НВ	НВ	НВ	НВ	НС	НМ	ПВ
	НС	НВ	НВ	НВ	НС	НМ	ПМ	ПВ
	НМ	НВ	НВ	НС	НМ	0	ПС	ПВ
	Н	НВ	НС	НМ	0	ПМ	ПС	ПВ
	ПМ	НВ	НС	0	ПМ	ПС	ПВ	ПВ
	ПС	НВ	НМ	ПМ	ПС	ПВ	ПВ	ПВ
	ПВ	НВ	Н	ПС	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ

8. if (input1 is NM) and (input2 is NBe) then (output1 is NBu) (1)
9. if (input1 is NM) and (input2 is NMe) then (output1 is NBu) (1)
10. if (input1 is NM) and (input2 is NSe) then (output1 is NBu) (1)
11. if (input1 is NM) and (input2 is Ze) then (output1 is NMu) (1)
12. if (input1 is NM) and (input2 is PSe) then (output1 is NMu) (1)
13. if (input1 is NM) and (input2 is PMe) then (output1 is NSu) (1)
14. if (input1 is NM) and (input2 is PBe) then (output1 is Zu) (1)
15. if (input1 is NS) and (input2 is NBe) then (output1 is NBu) (1)
16. if (input1 is NS) and (input2 is NMe) then (output1 is NBu) (1)
17. if (input1 is NS) and (input2 is NSe) then (output1 is NMu) (1)
18. if (input1 is NS) and (input2 is Ze) then (output1 is NSu) (1)
19. if (input1 is NS) and (input2 is PSe) then (output1 is Zu) (1)
20. if (input1 is NS) and (input2 is PMe) then (output1 is PSu) (1)
21. if (input1 is NS) and (input2 is PBe) then (output1 is PMu) (1)
22. if (input1 is Z) and (input2 is NBe) then (output1 is NBu) (1)
23. if (input1 is Z) and (input2 is NMe) then (output1 is NMu) (1)
24. if (input1 is Z) and (input2 is NSe) then (output1 is NSu) (1)

- 
25. if (input1 is Z) and (input2 is Ze) then (output1 is Zu) (1)
  26. if (input1 is Z) and (input2 is PSe) then (output1 is PSu) (1)
  27. if (input1 is Z) and (input2 is PMe) then (output1 is PMu) (1)
  28. if (input1 is Z) and (input2 is PBe) then (output1 is PBu) (1)
  29. if (input1 is PS) and (input2 is NBe) then (output1 is NMu) (1)
  30. if (input1 is PS) and (input2 is NMe) then (output1 is NSu) (1)
  31. if (input1 is PS) and (input2 is NSe) then (output1 is Zu) (1)
  32. if (input1 is PS) and (input2 is Ze) then (output1 is PSu) (1)
  33. if (input1 is PS) and (input2 is PSe) then (output1 is PMu) (1)
  34. if (input1 is PS) and (input2 is PMe) then (output1 is PBu) (1)
  35. if (input1 is PS) and (input2 is PBe) then (output1 is PBu) (1)
  36. if (input1 is PM) and (input2 is NBe) then (output1 is NMu) (1)
  37. if (input1 is PM) and (input2 is NMe) then (output1 is PSu) (1)
  38. if (input1 is PM) and (input2 is NSe) then (output1 is PMu) (1)
  39. if (input1 is PM) and (input2 is Ze) then (output1 is PMu) (1)
  40. if (input1 is PM) and (input2 is PSe) then (output1 is PBu) (1)
  41. if (input1 is PM) and (input2 is PMe) then (output1 is PBu) (1)
  42. if (input1 is PM) and (input2 is PBe) then (output1 is PBu) (1)
  43. if (input1 is PB) and (input2 is NBe) then (output1 is PBu) (1)
  44. if (input1 is PB) and (input2 is NMe) then (output1 is PBu) (1)
  45. if (input1 is PB) and (input2 is NSe) then (output1 is PBu) (1)
  46. if (input1 is PB) and (input2 is Ze) then (output1 is PBu) (1)
  47. if (input1 is PB) and (input2 is PSe) then (output1 is PBu) (1)
  48. if (input1 is PB) and (input2 is PMe) then (output1 is PBu) (1)
  49. if (input1 is PB) and (input2 is PBe) then (output1 is PBu) (1)

Налаштовування управляючих правил для даного випадку наведено на рисунку (див. рис. 3.2.6).

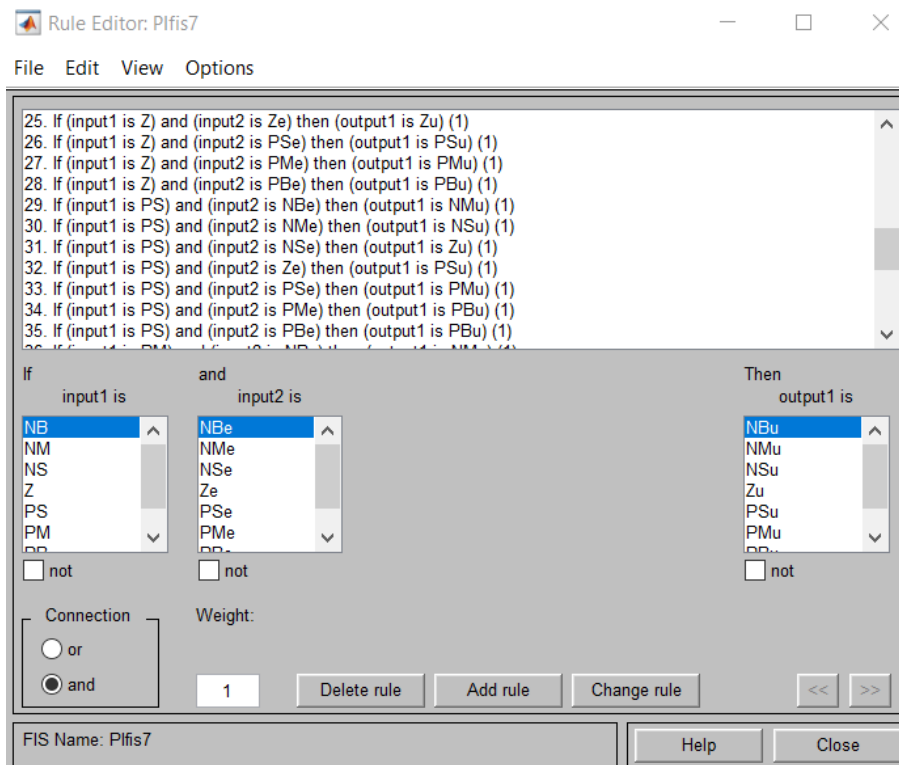


Рисунок 3.2.6 - Налаштовування опису правил функціонування НЛР\_ПІ

Посилки у правилах пов'язані (connection) за допомогою операції *and*. Введене правило забезпечене ваговим коефіцієнтом (*Weight=1*).

Після опису правил можливо за допомогою

- інтерфейсу *Rule Viewer* можливо переглянути роботу системи нечіткого висновку за різних вхідних даних ( див. рис. 3.2.7);
- інтерфейсу *Surface Viewer* можливо переглянути графічне подання закону управління (рис. 3.2.8).

Після процедур налаштування НЛР\_ПІ у редакторі системи нечіткого висновку здійснює запис результатів налаштування у Fuzzy Logic Controller. Для цього у вкладці *File* здійснюємо *Export* в математичну модуль нечіткого контролера *From Workspase* вказавши ім'я Fuzzy Logic Controller [11].

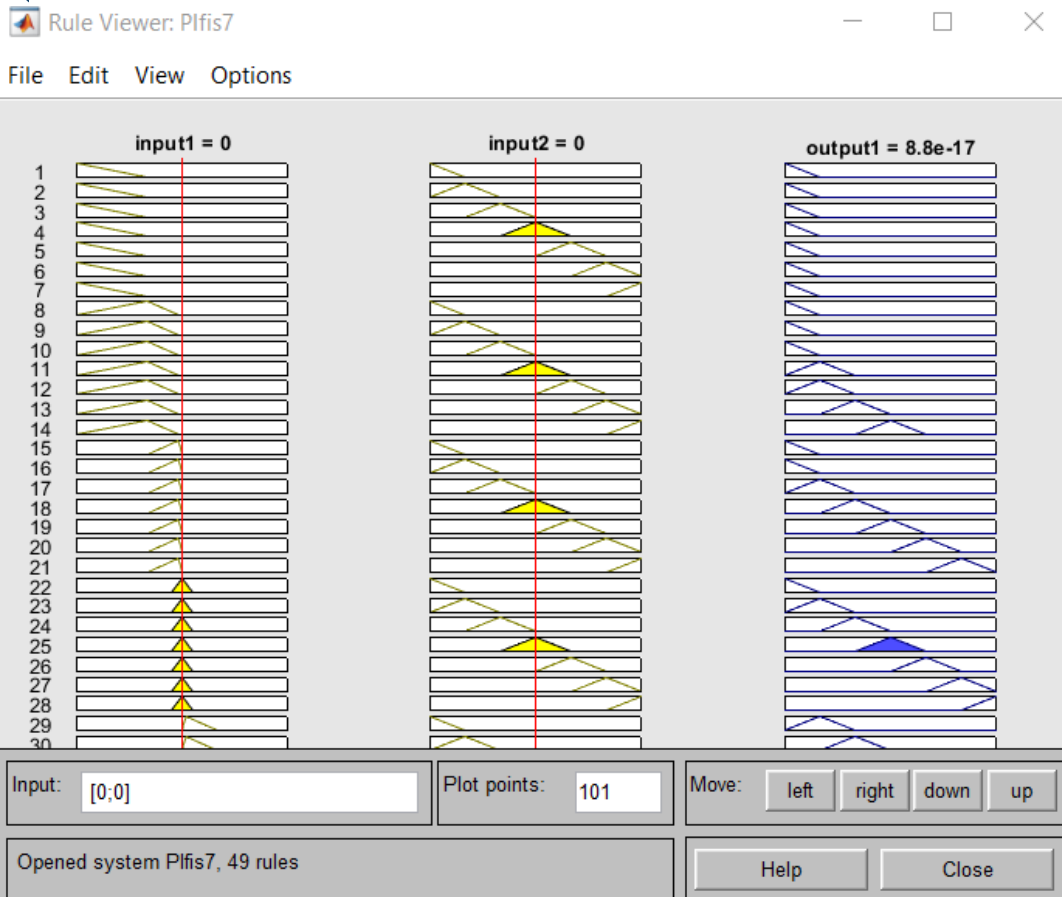


Рисунок 3.2.7 - Робота системи НЛР\_ПІ

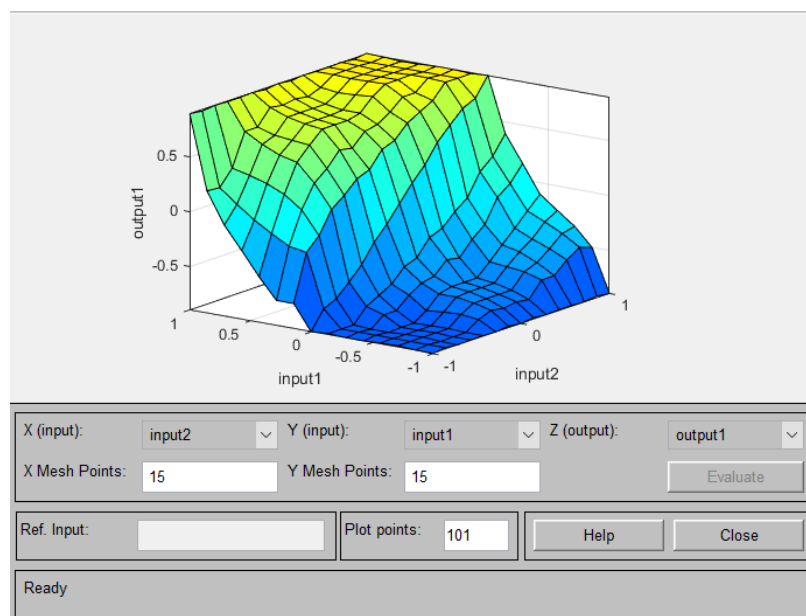


Рисунок 3.2.8 – Поверхня управління системою нечіткого висновку

Після експорту закону функціонування НЛР\_ПІ на математичної моделі системи управління получено перехідний процес для

синтезованого НЛР\_ПІ, який задовольняє поставленому завданню проектування

На рис. 3.2.9 показаний перехідний процес для синтезованого НЛР\_ПІ.

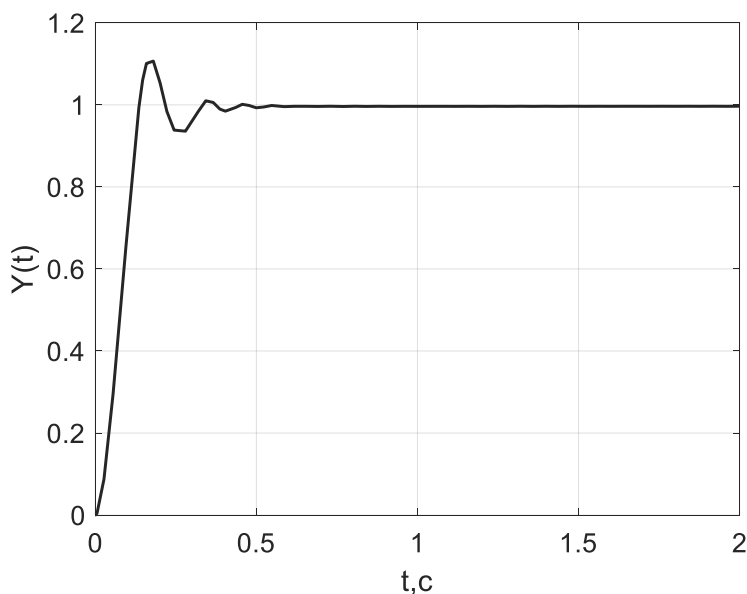


Рисунок 3.2.9 - Перехідний процес для НЛР\_ПІ із сімома правилами

### 3.3 Алгоритмічне та програмне забезпечення окремих задач системи

Схема управління САУ №9 включає використання 2-х ПІ регуляторів. Перший ПІ-регулятор управління керується через частотний перетворювач контролер передає лише регульовані параметри. Цей варіант зручний тим, що випадок виходу з експлуатації частотного перетворювача, встановлюється новий і налаштовується без переробки програми на Tia portal. При цьому використовується допоміжна програма від Siemens Starter.

Налаштування частотного приводу програмою Siemens Starter потребує додаткову карту пам'яті для збереження усіх налаштувань ПІ-регулятора.

Складання та підготовка Для установки параметрів через PC потрібно опціональний комплект для з'єднання PC-перетворювач-2. Він складається з двох компонентів:

- з'єднувальний кабель USB -> miniUSB;
- ПО STARTER на DVD

Апаратна підготовка.

- Підключити USB-кабель до роз'єму USB керуючого модуля.
- Інший кінець кабелю підключити до USB-роз'єму PC.

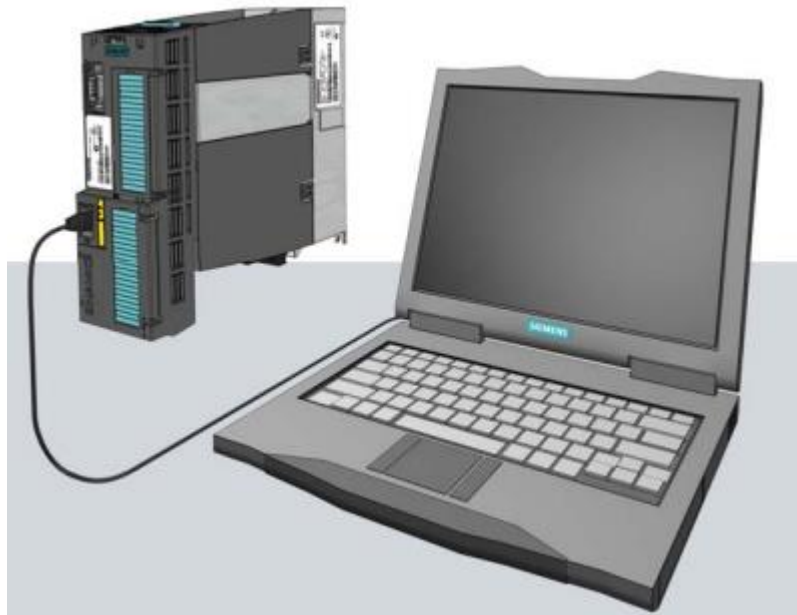


Рисунок 3.3.1 – Підключення до керуючого модулю приводу

Підготовка PC Для підключення STARTER до перетворювача необхідно переконатися, що емуляція USB COM посилається на COM-порт менше 8 (COM1 до COM7). Ці цифри необхідно запам'ятати для подальшого використання у STARTER.

- Якщо вище восьми, то подвійне клацання на з'єднанні.
- Перейти до розширеного вибору.
- Змінити адресу COM, вибравши вільну, нижчу адресу COM.
- Підтвердити вибір із ОК

Створення проекту STARTER. Після успішної установки увімкнути живлення перетворювача та запустити програму. Майстер проектів відкривається автоматично. Майстер допоможе створити перший проект (рис. 3.3.2).

- Вибрати „Find drive units online“
- Присвоїти проекту ім'я та клацнути на „continue“

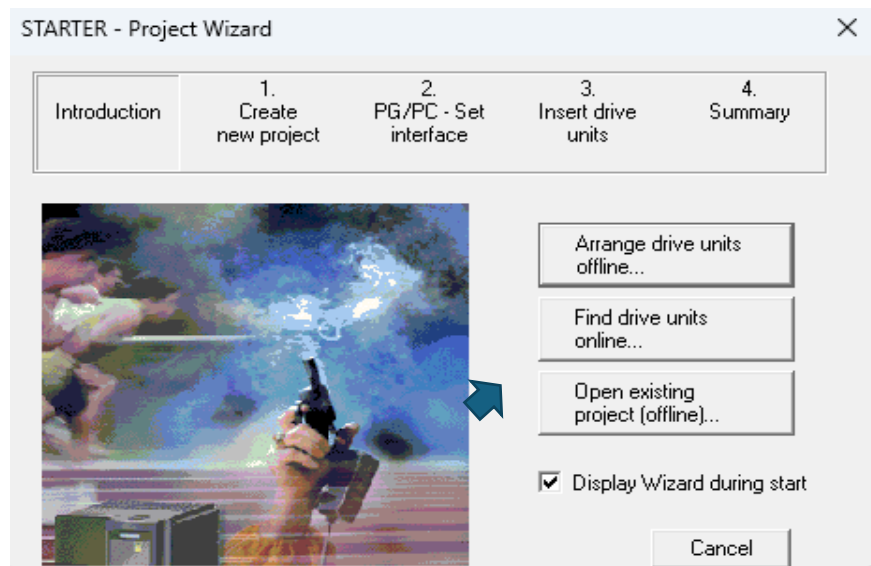


Рисунок 3.3.2 – Вибрати „Find drive units online“

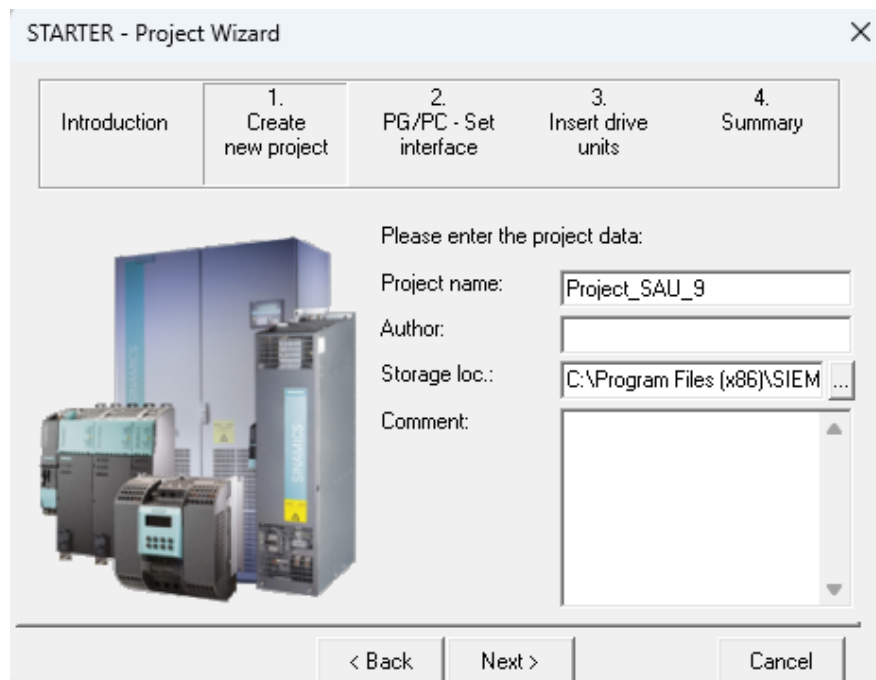


Рисунок 3.3.3 – Присвоїти проекту ім'я та клацнути на „continue“

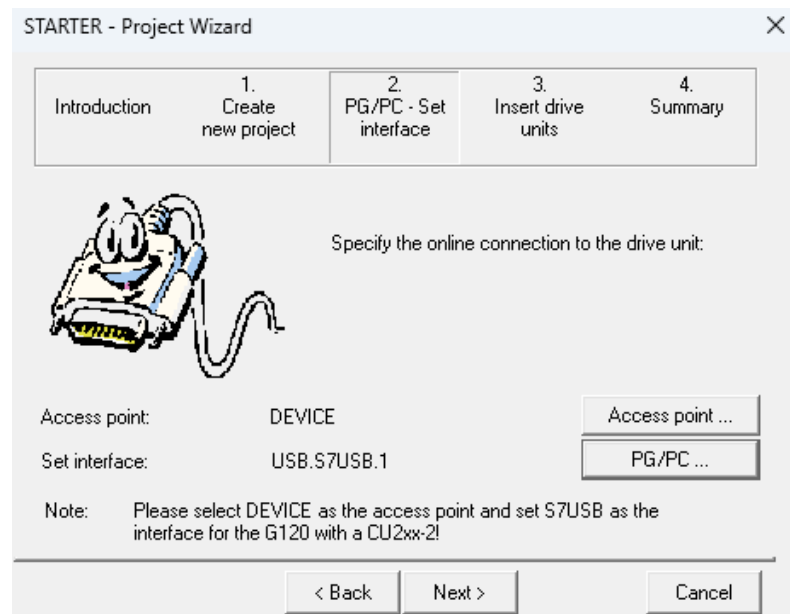


Рисунок 3.3.4 – Вибрати „PG/PC“

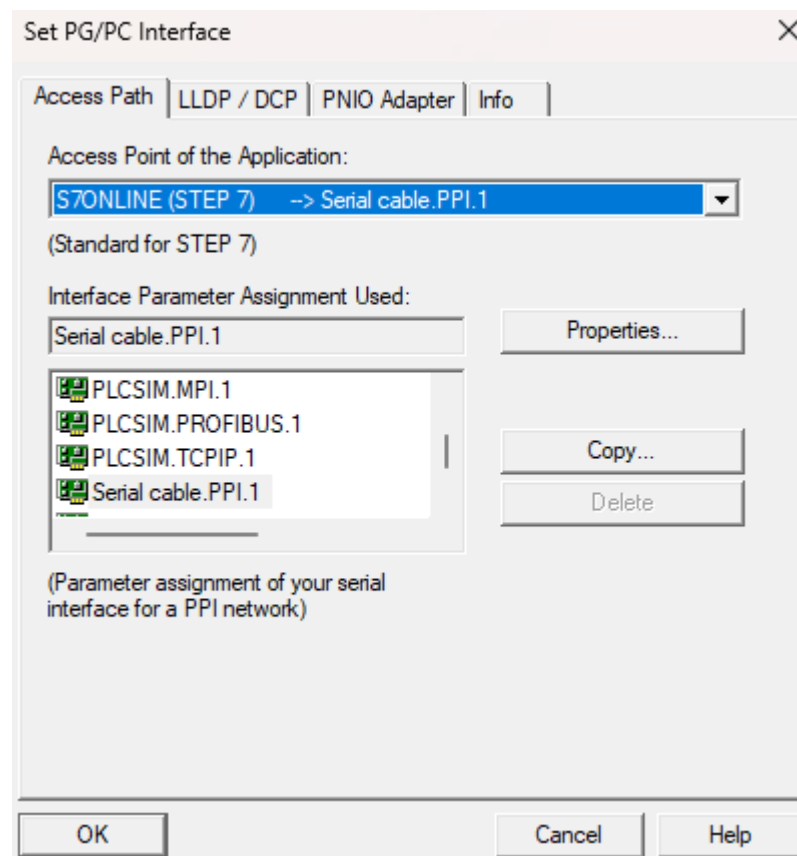


Рисунок 3.3.5 – Вибрати „S7ONLINE (STEP 7) – Serial cable .PPI.1“ та клацнути на „Properties“

Налаштувати інтерфейс: встановити швидкість передачі на 115200 бод на вкладці „Interface“. Вибрати „Automatic mode“ на вкладці „RS485“ та закрити діалог „Properties“ з „OK“

Інтерфейс користувача STARTER: Тепер перетворювач доданий до деревоподібної структури проекту і можна встановити параметри з допомогою ПЗ STARTER.

Завантаження даних перетворювача: Клацніть на полі „Connect to target system“ встановлюється з'єднання між PC та перетворювачем.

Параметрування: Тепер ПО STARTER та перетворювач з'єднані один з одним. Тепер можна розпочати встановлювати параметри перетворювача.

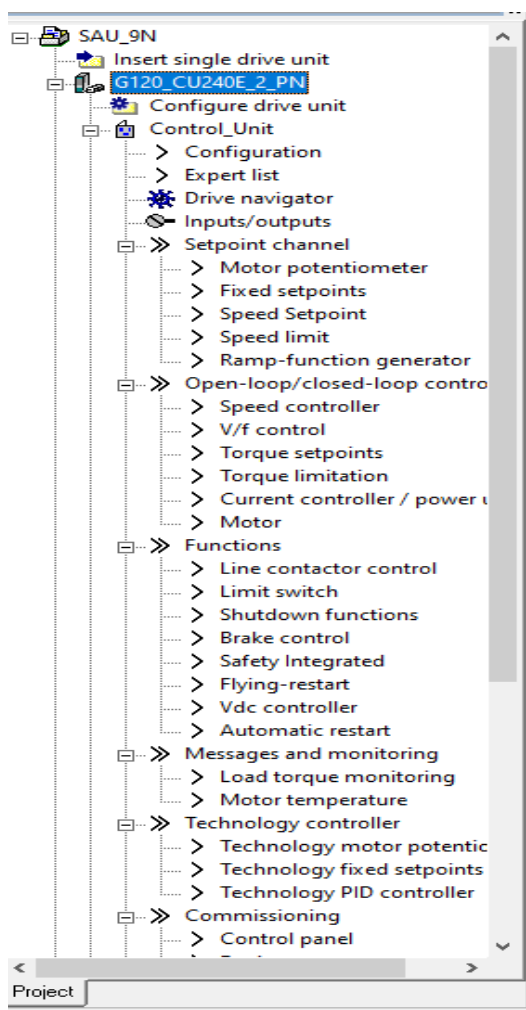


Рисунок 3.3.6 – Подвійне клацання на символі перетворювача у деревоподібній структурі проекту: відкривається папка директорій.

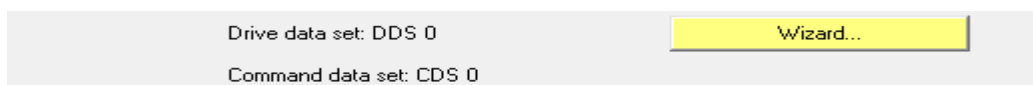


Рисунок 3.3.7 – Клацнути на „Wizard“ та дати майстру працювати

Майстер налаштування.

Майстер налаштування крок за кроком допоможе встановити такі параметри:

- структура керування (Control structure)
- налаштування заданих значень / джерел команд (Defaults of the setpoint source and the command source)
- двигун • параметри двигуна (Motor data)
- функції приводу (Drive functions)
- важливі параметри (Important parameters)

- розрахунок параметрів двигуна (Calculation of the motor data)
- резюме (Summary)

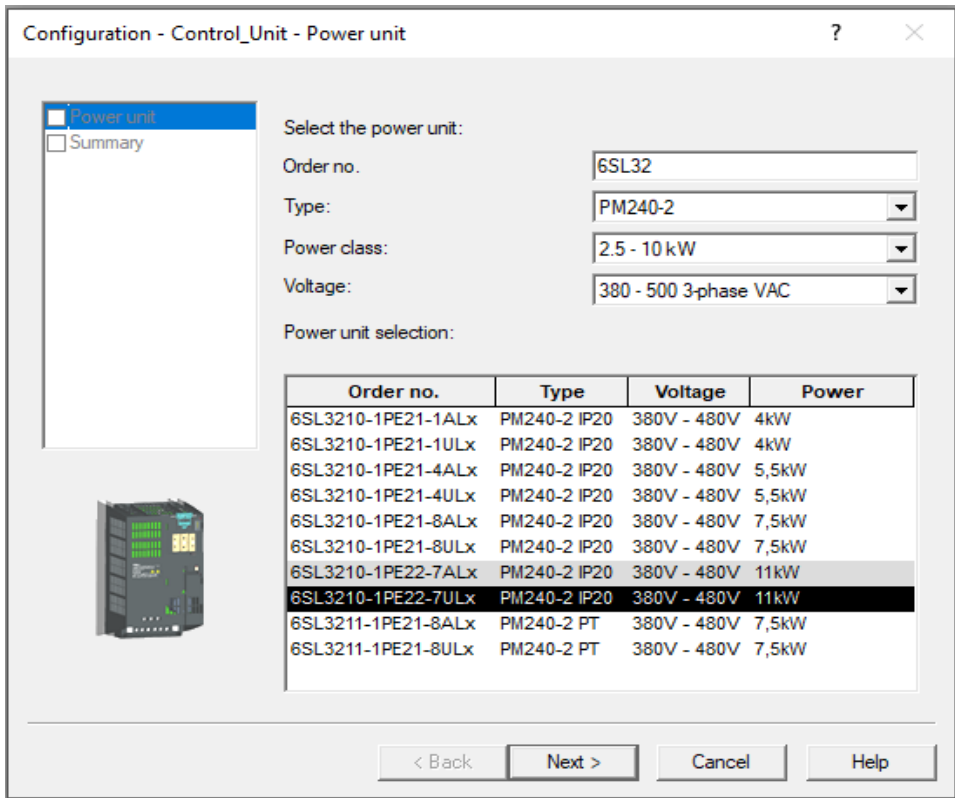


Рисунок 3.3.8 – Налаштування параметрів двигуна

### Ідентифікація даних двигуна.

Перед початком роботи перетворювача необхідно запустити двигун із ПК. У такий спосіб активуються всі параметри. Першим кроком є отримання пріоритету управління. Відкрити елемент „Commissioning“ у деревоподібній структурі проекту. Подвійне клацання на „Control panel“ у робочій області. У робочій області натисніть „Assume control priority“.

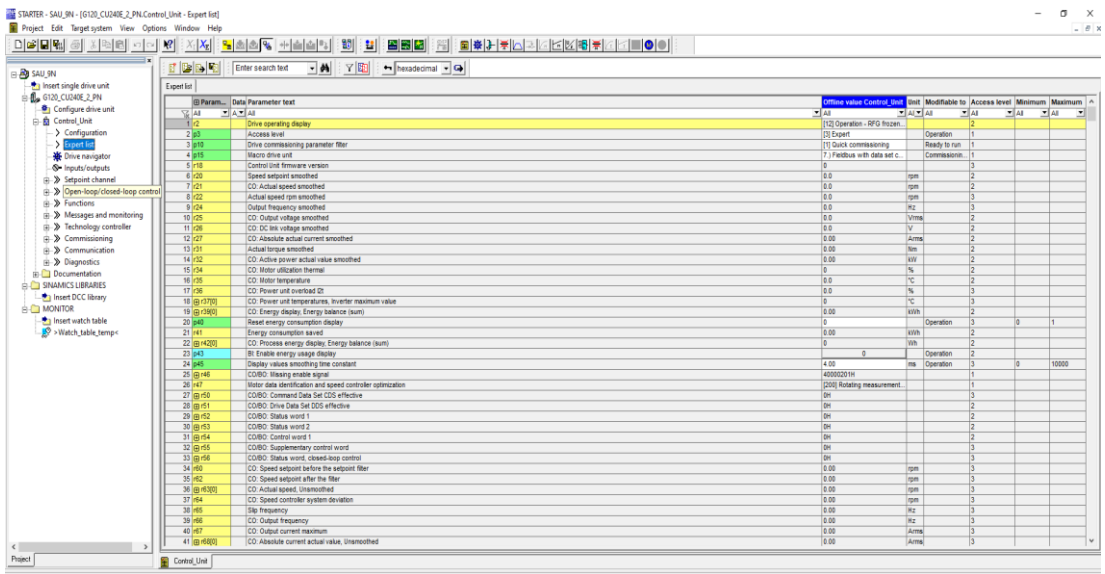




Рисунок 3.3.9 – Параметри частотного приводу

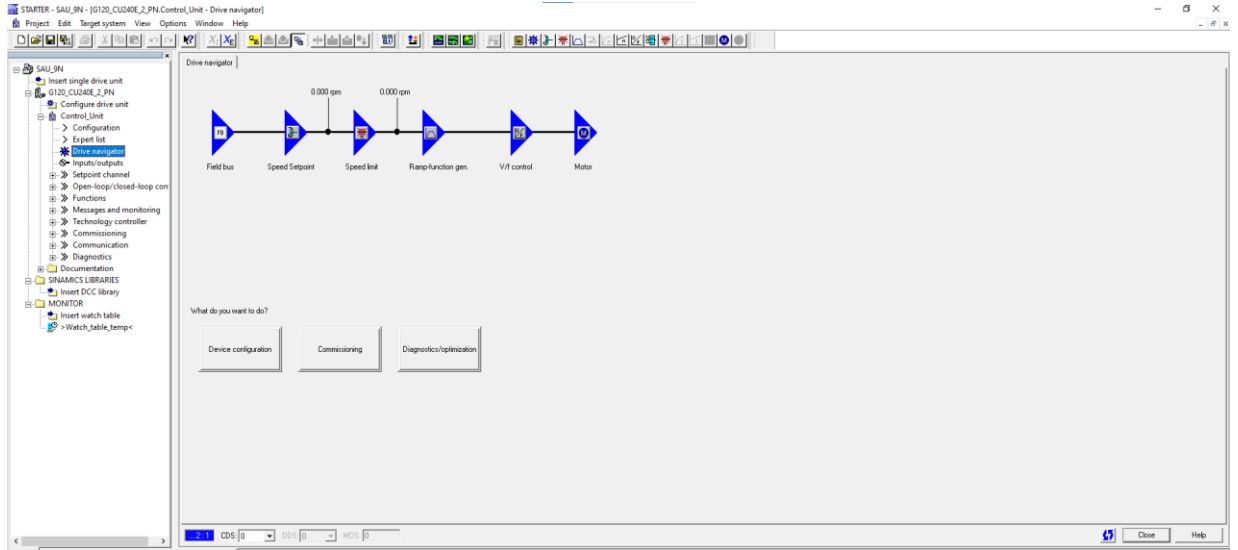


Рисунок 3.3.10 – Навігація по керуванню частотного приводу

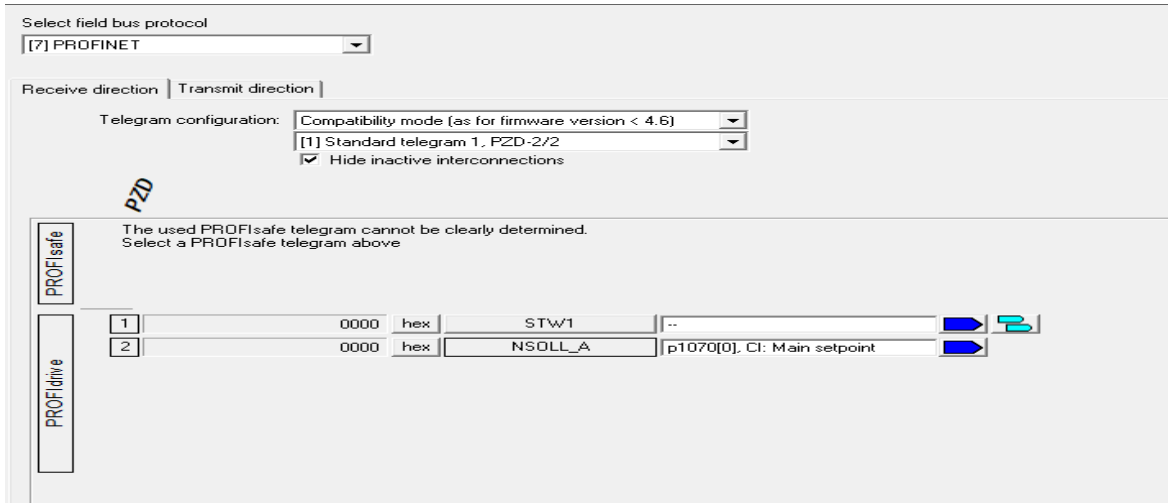


Рисунок 3.3.11 – Налаштування протоколу зв'язку

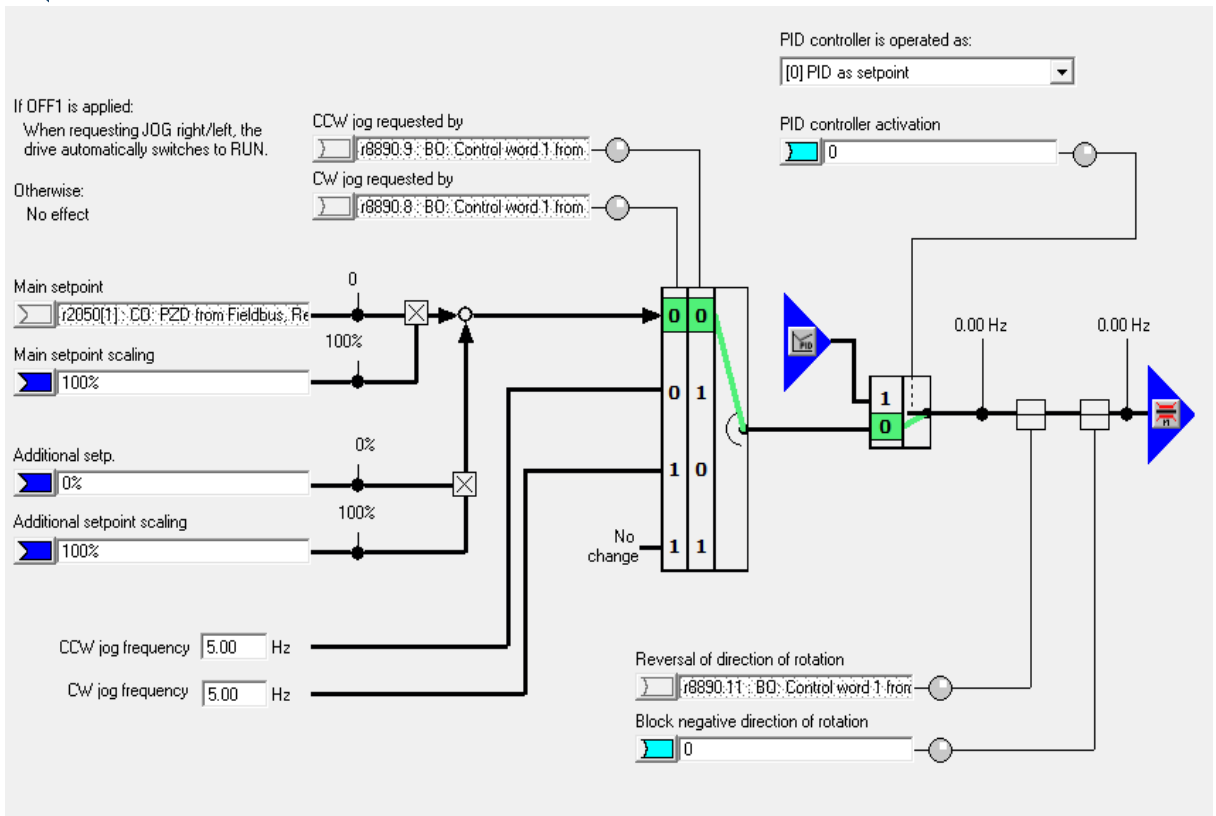


Рисунок 3.3.12 – Налаштування обмеженої вставки частоти контролера перетворювача

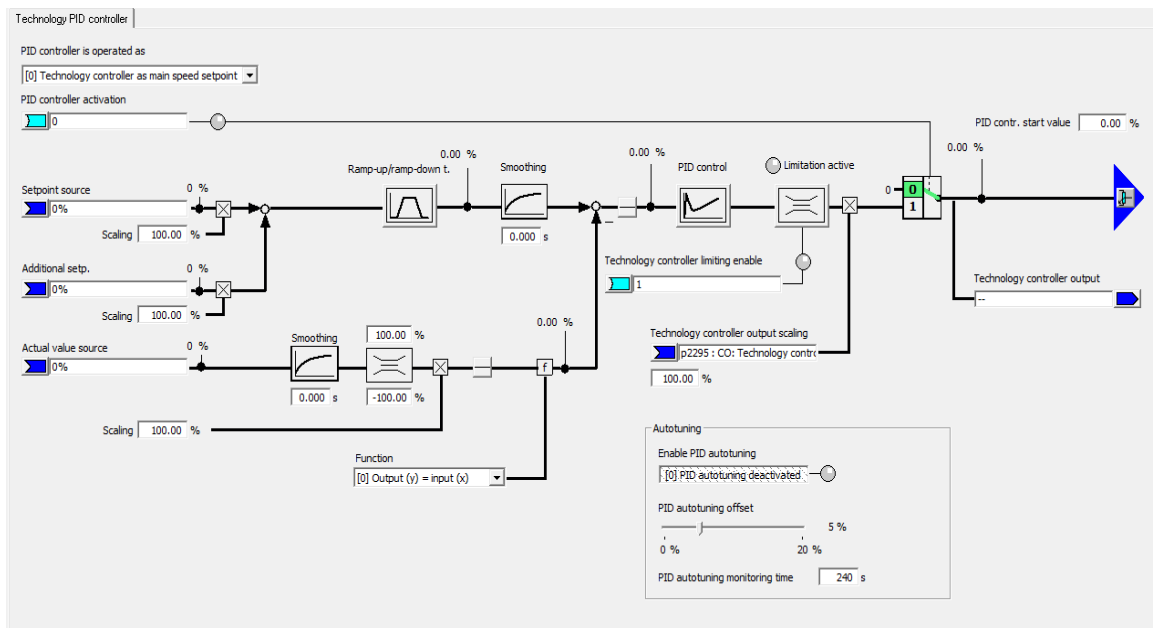


Рисунок 3.3.13 – Додаткові параметри уставки ПІД-регулятора

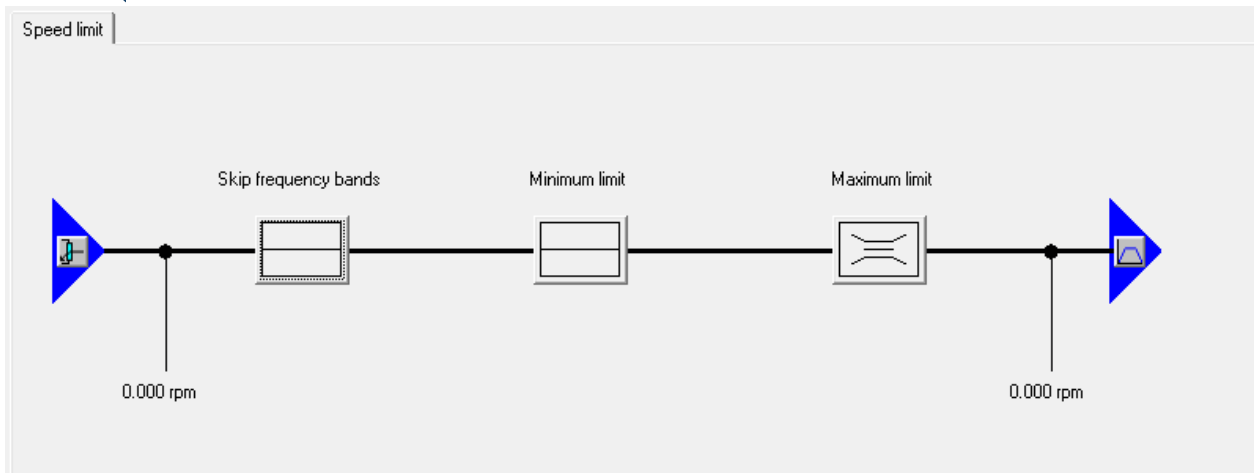


Рисунок 3.3.14 – Налаштування швидкості частотного приводу

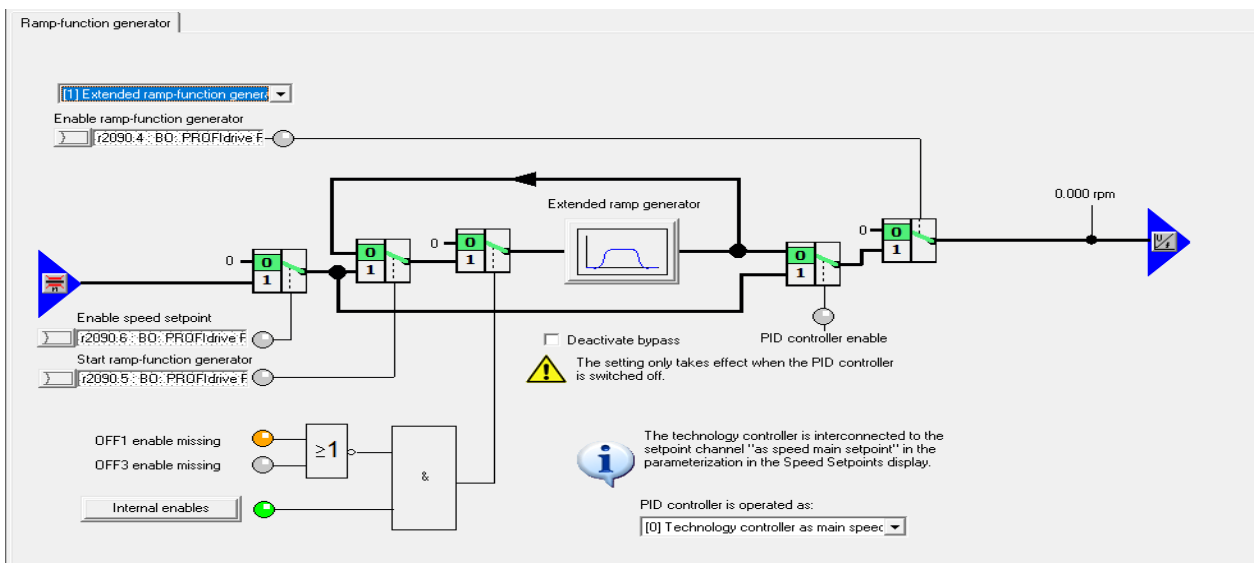


Рисунок 3.3.15 – Налаштування функції Ramp generator

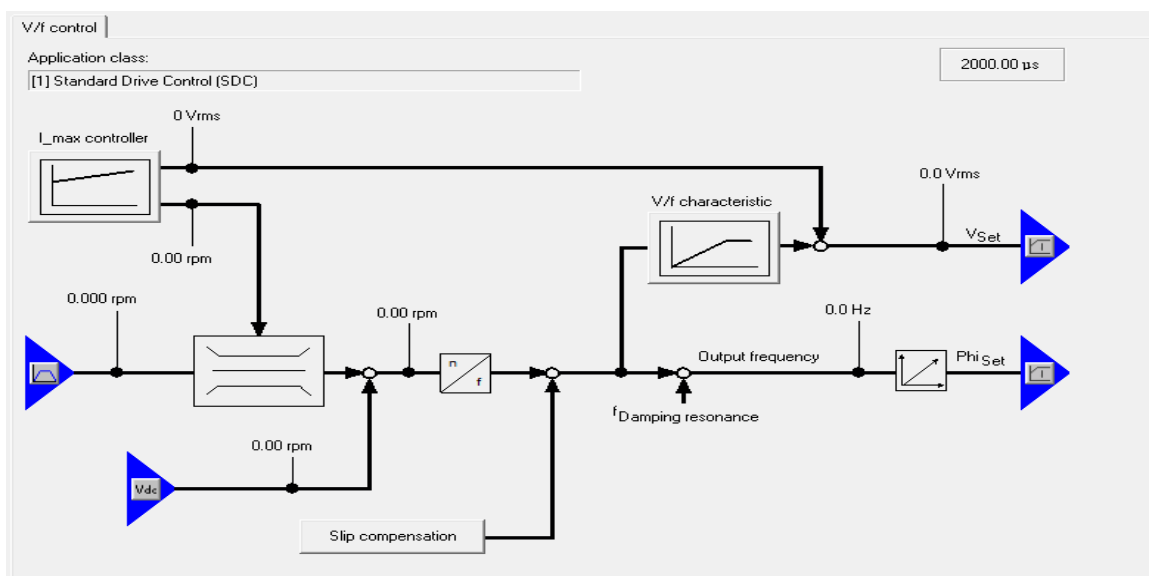


Рисунок 3.3.16 – Контроль напруги та частоти приводу

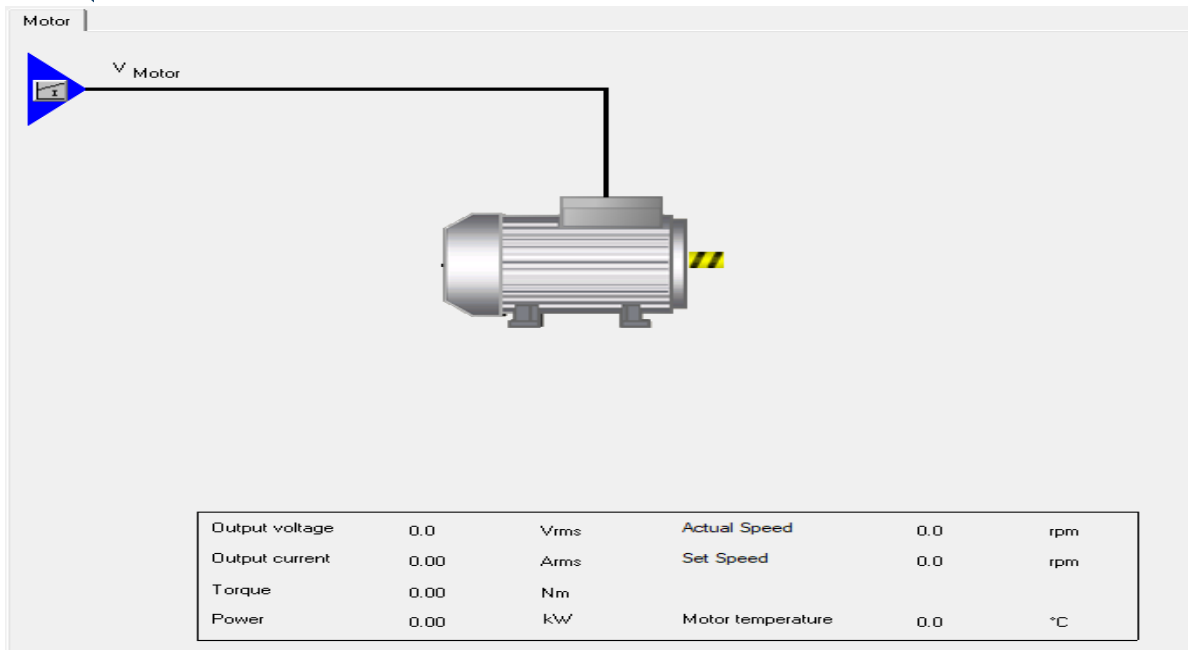


Рисунок 3.3.17 – Показники роботи мотору

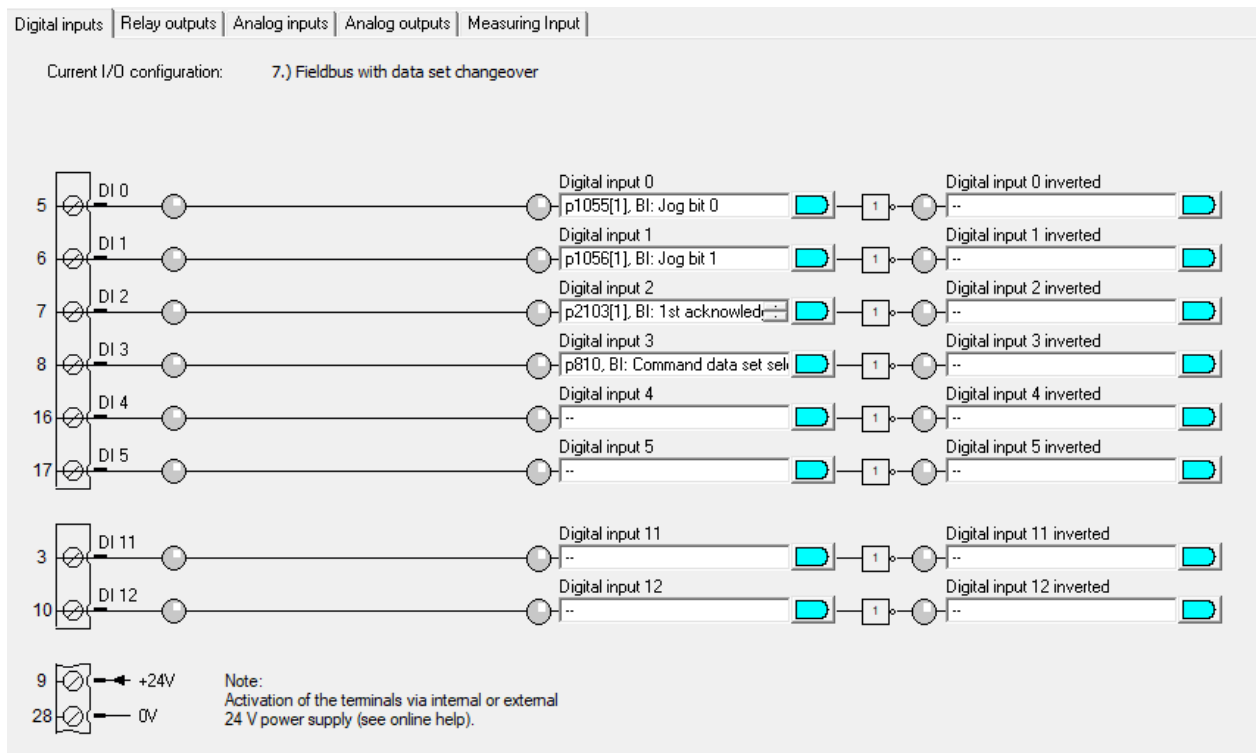


Рисунок 3.3.17 – Налаштування дискретних входів

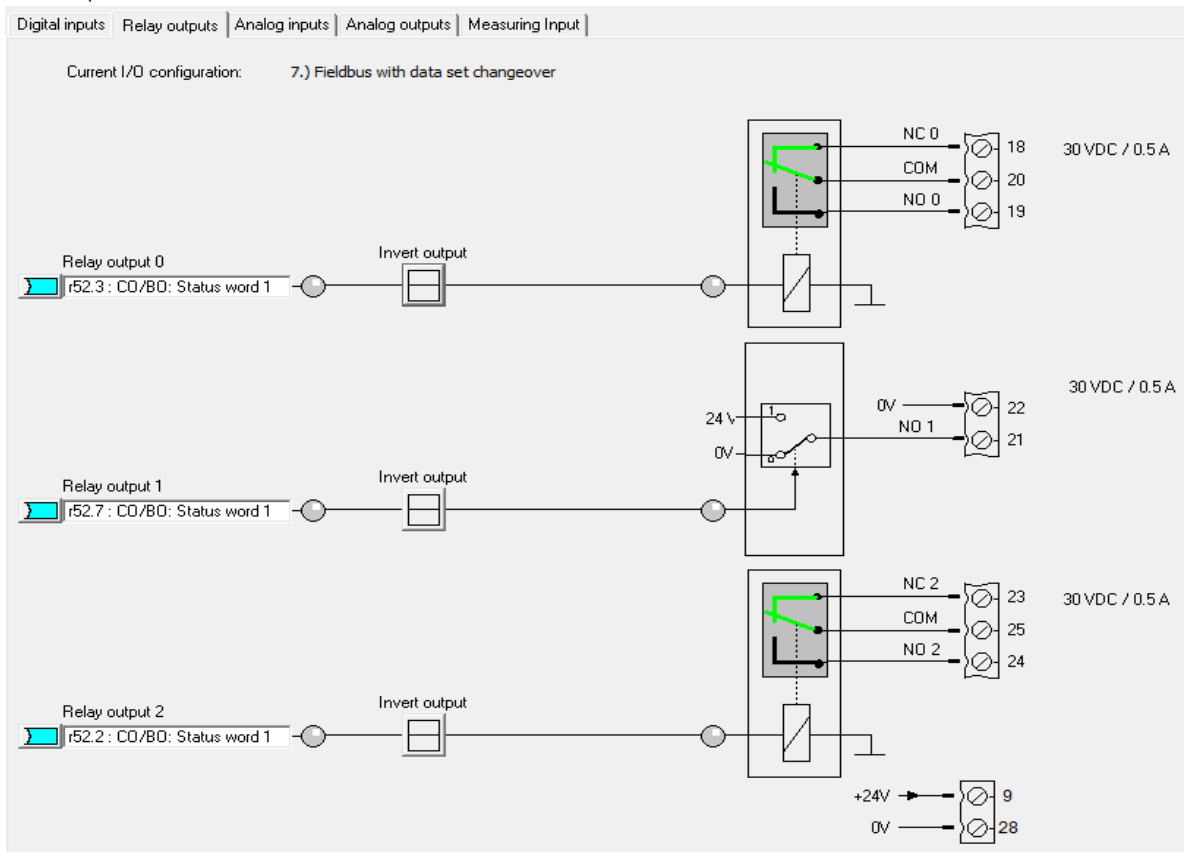


Рисунок 3.3.18 – Налаштування релейних виходів

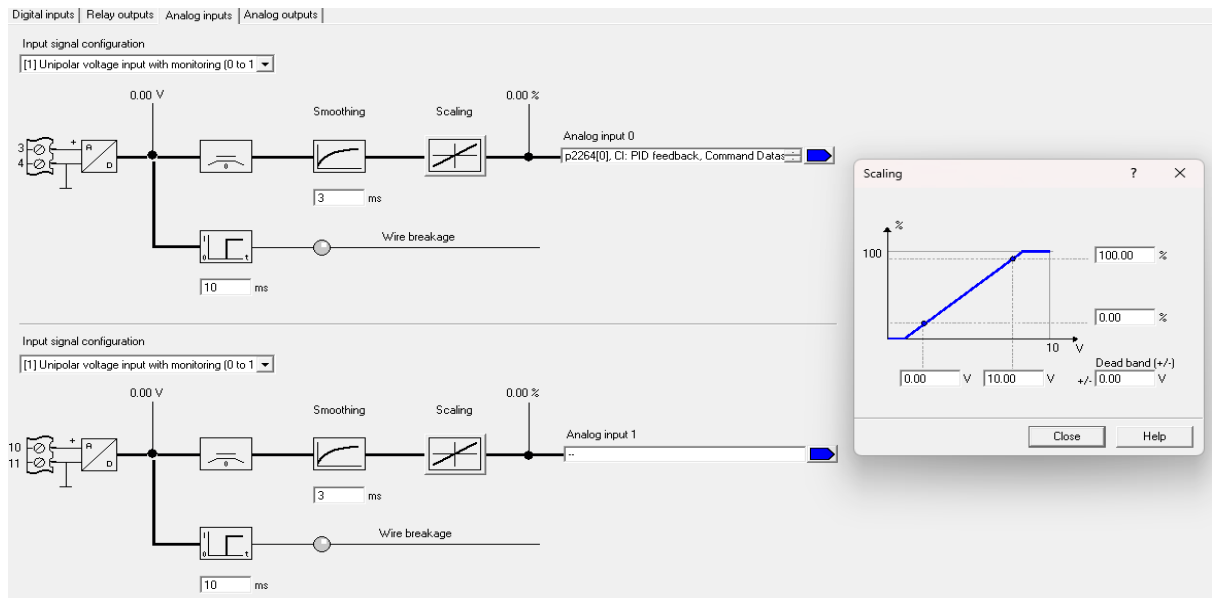


Рисунок 3.3.19 – Налаштування аналогових входів

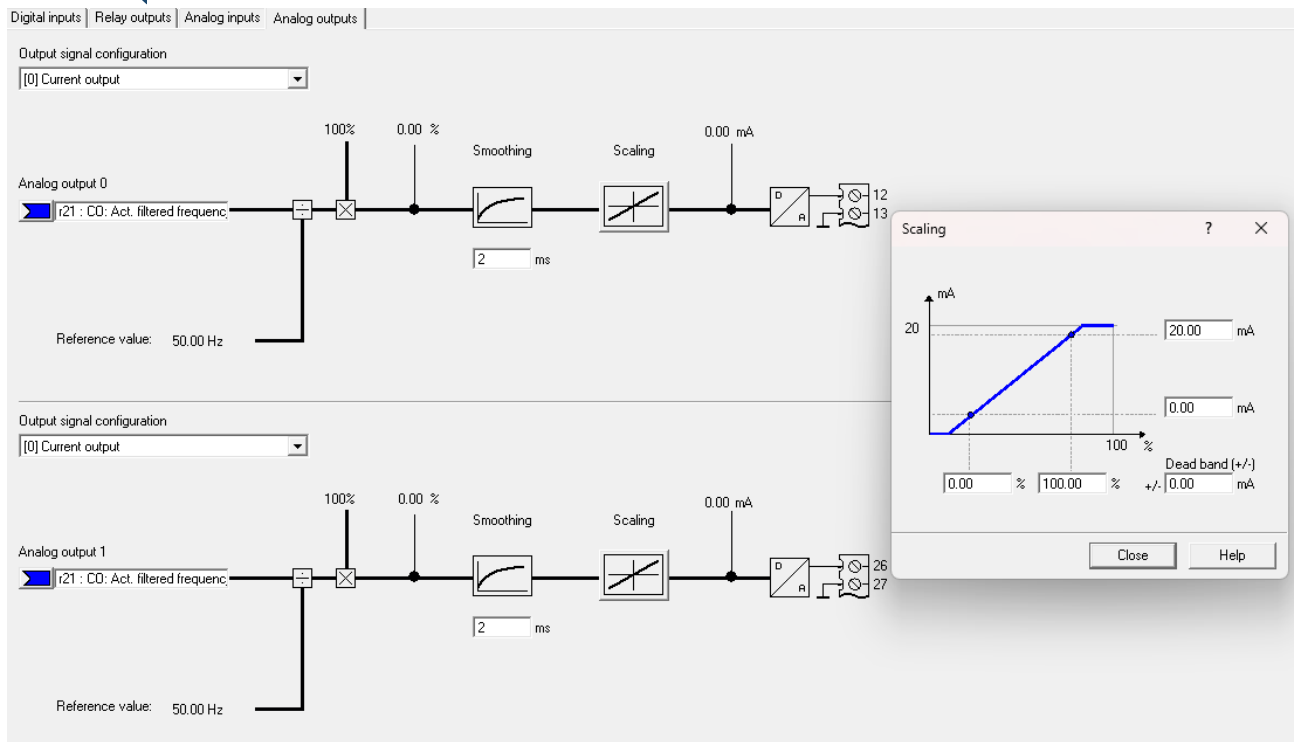


Рисунок 3.3.20 – Налаштування аналогових виходів

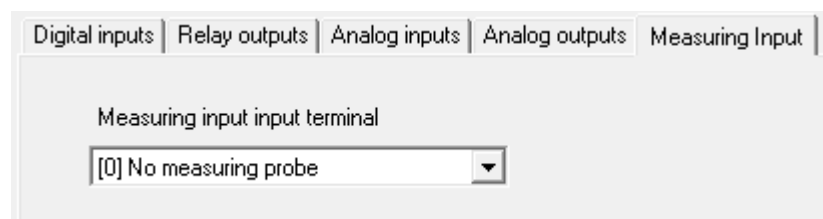


Рисунок 3.3.21 – Налаштування режиму вимірювання входів

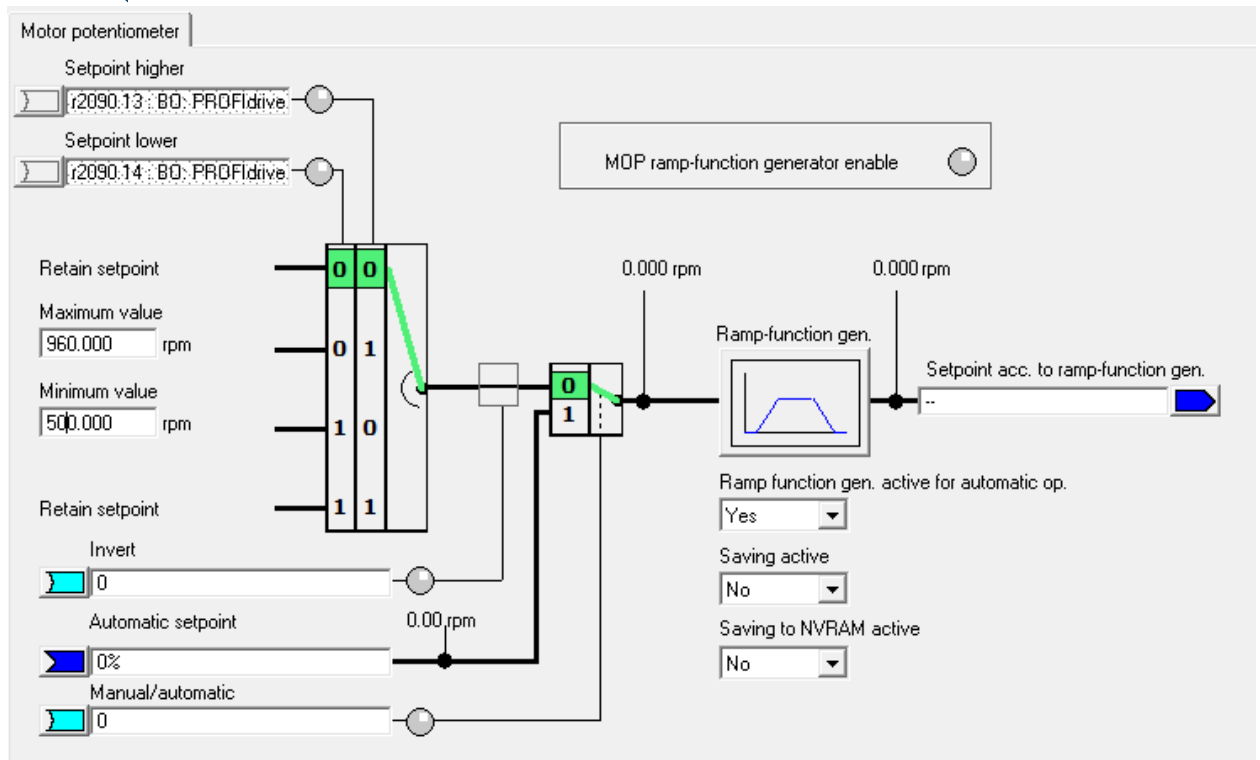


Рисунок 3.3.22 – Регулювання обертів двигуна

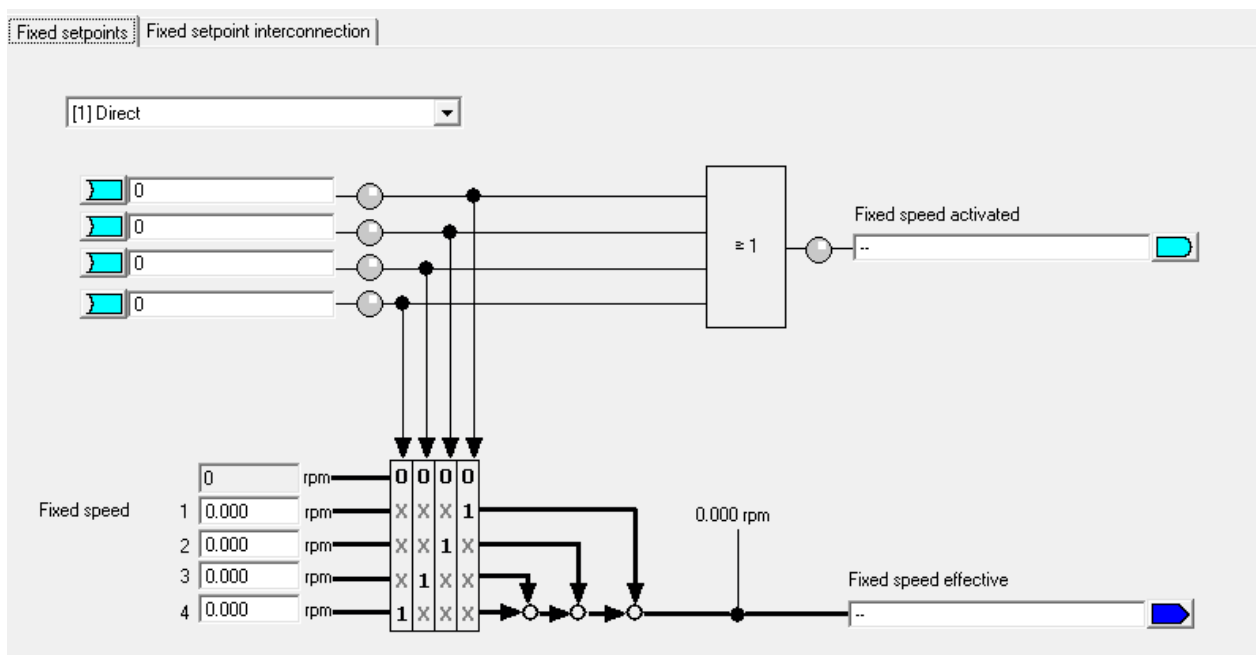


Рисунок 3.3.23 – Фіксація уставок обертів

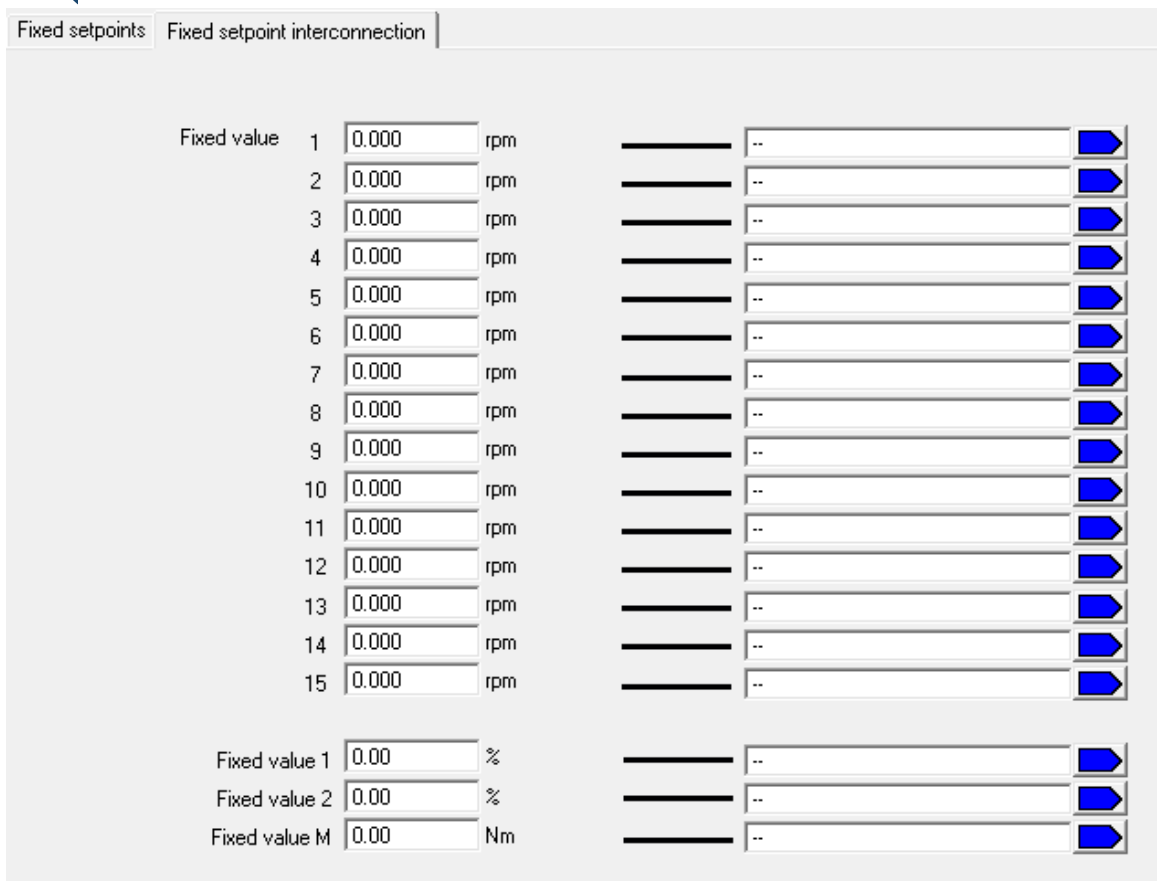


Рисунок 3.3.24 – з'єднання фіксованого заданого значення

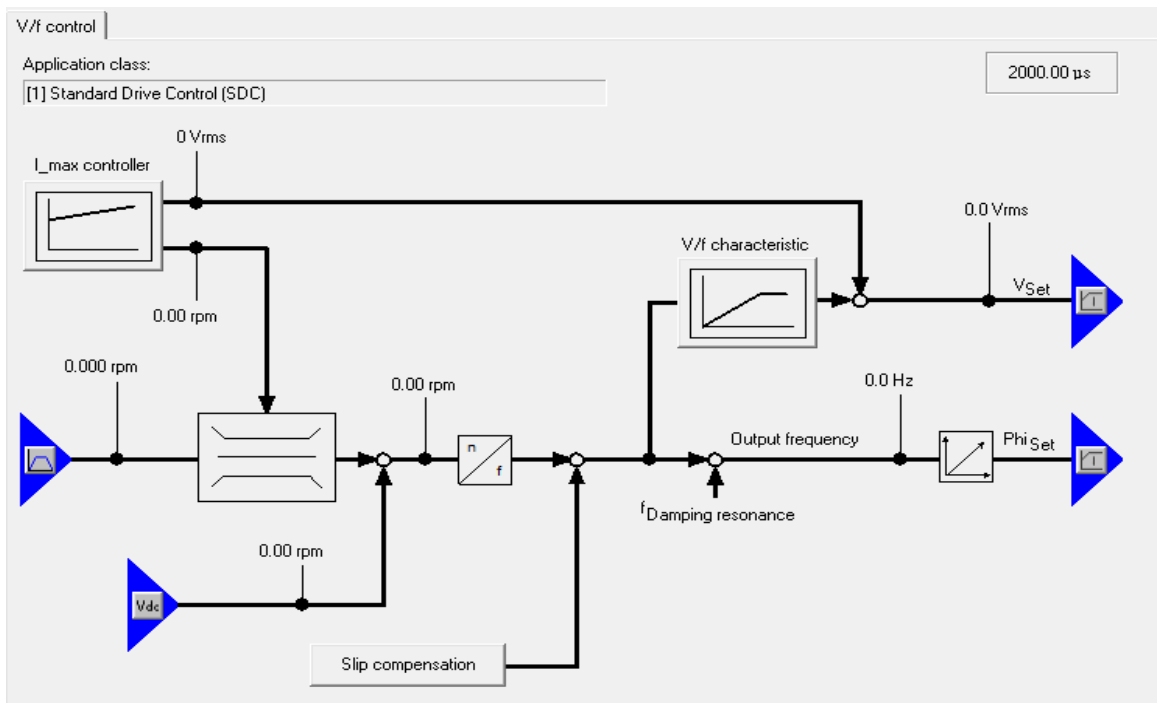


Рисунок 3.3.25 – Контроль відкритого та замкнутого контуру відношення напруги до частоти

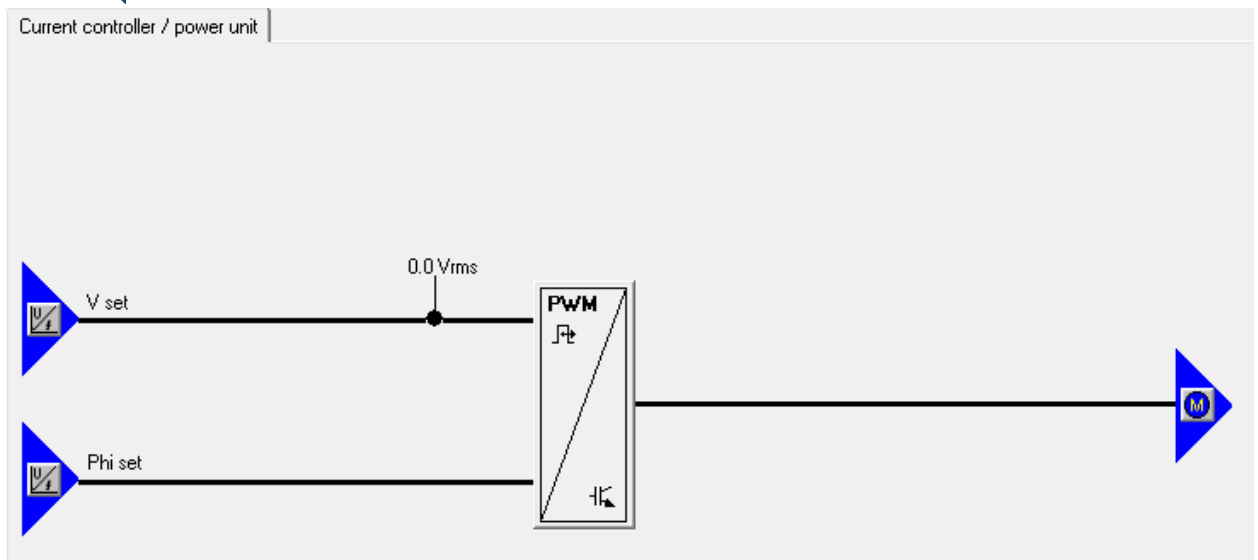


Рисунок 3.3.26 – контролер струму / блок живлення

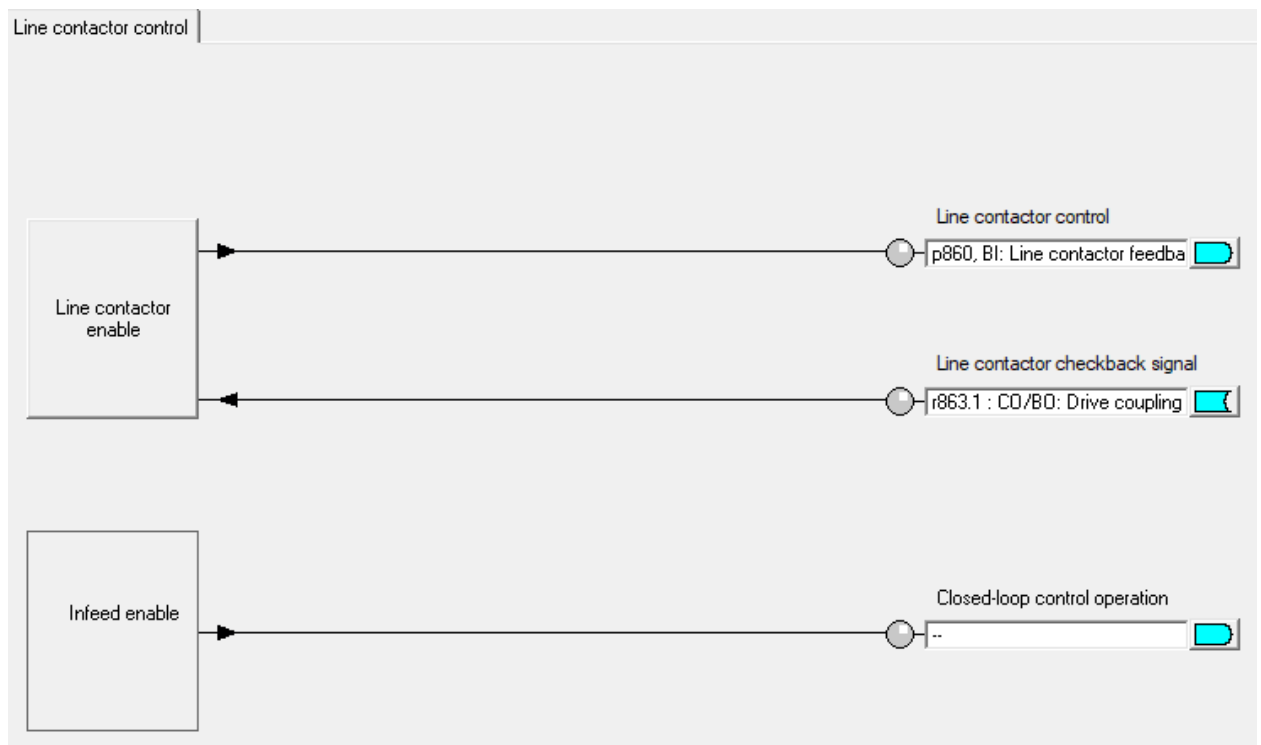


Рисунок 3.3.27 – Функція лінійний контактор

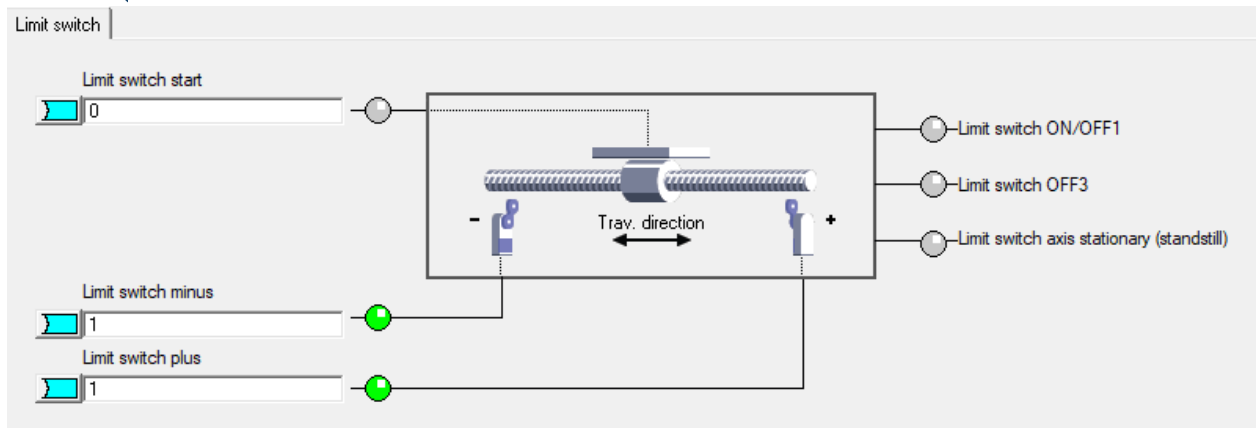


Рисунок 3.3.28 – Функція кінцевого вимикача

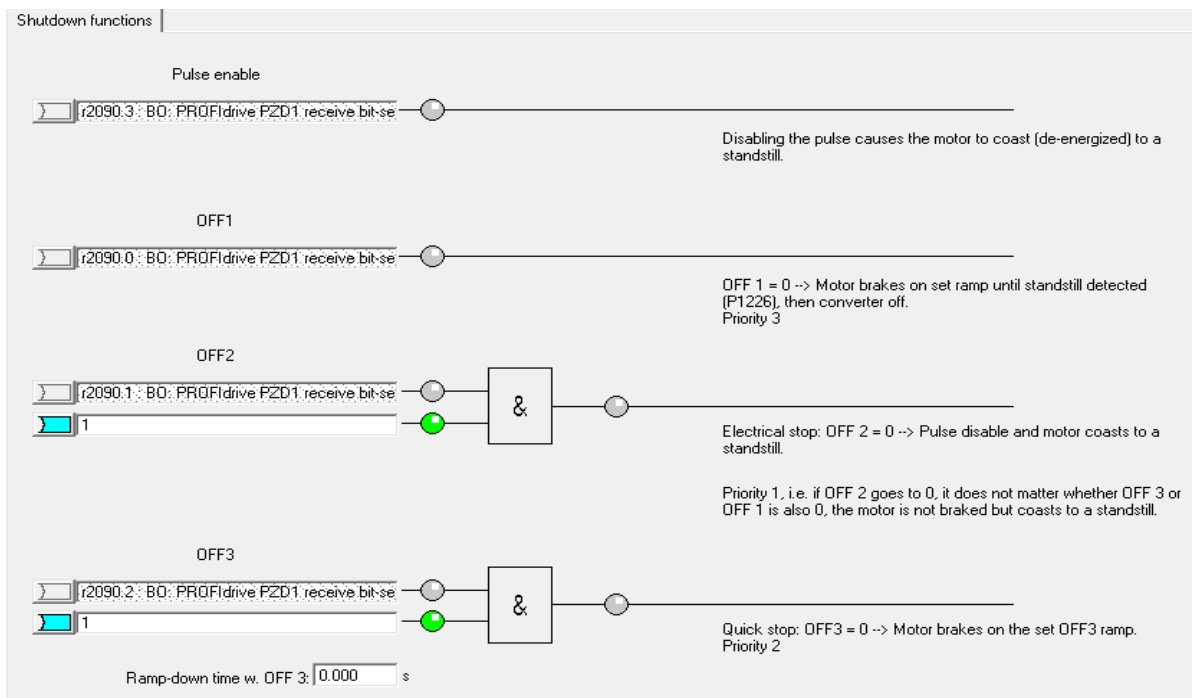


Рисунок 3.3.29 – Функції відключення

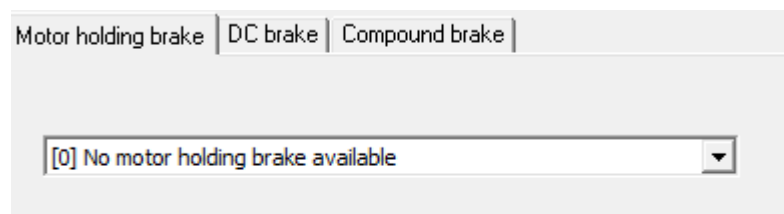


Рисунок 3.3.30 – Функції керування гальмами

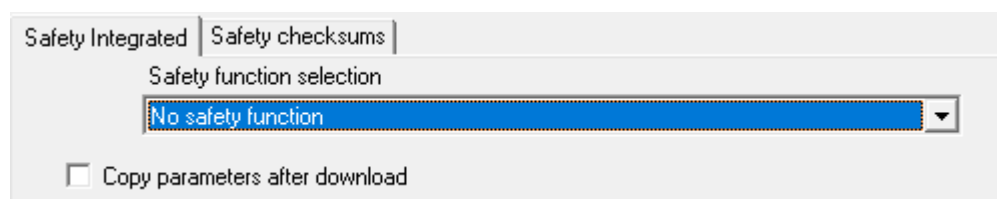


Рисунок 3.3.31 – Функція інтеграції безпеки



Рисунок 3.3.32 – Функція літаючого перезапуску неактивна

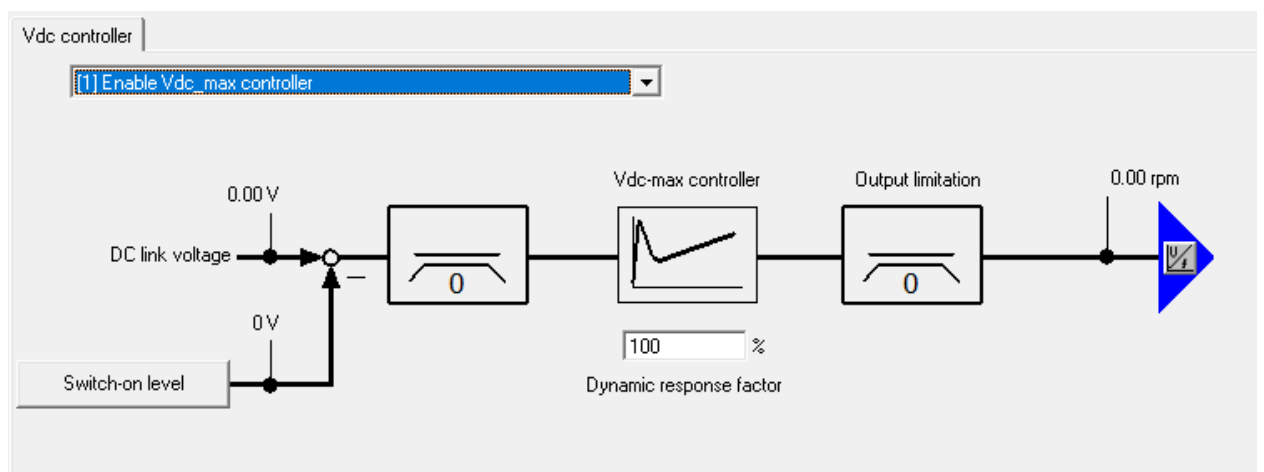


Рисунок 3.3.33 – Функція контролю постійної напруги

Automatic restart

Function selection: [0] Inhibit automatic restart

ON command active	
Fault because of power loss	General fault
-	-

Рисунок 3.3.34 – Функція автоматичного рестарту

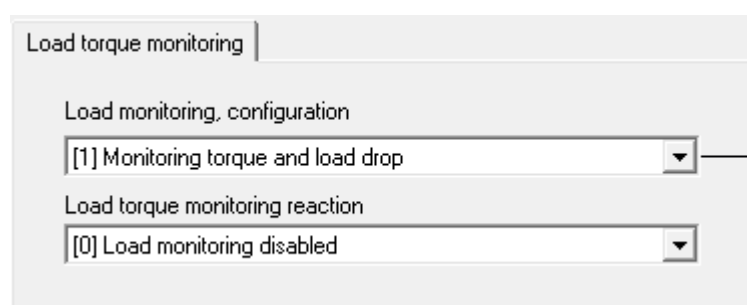


Рисунок 3.3.35 – Повідомлення і моніторинг моменту навантаження

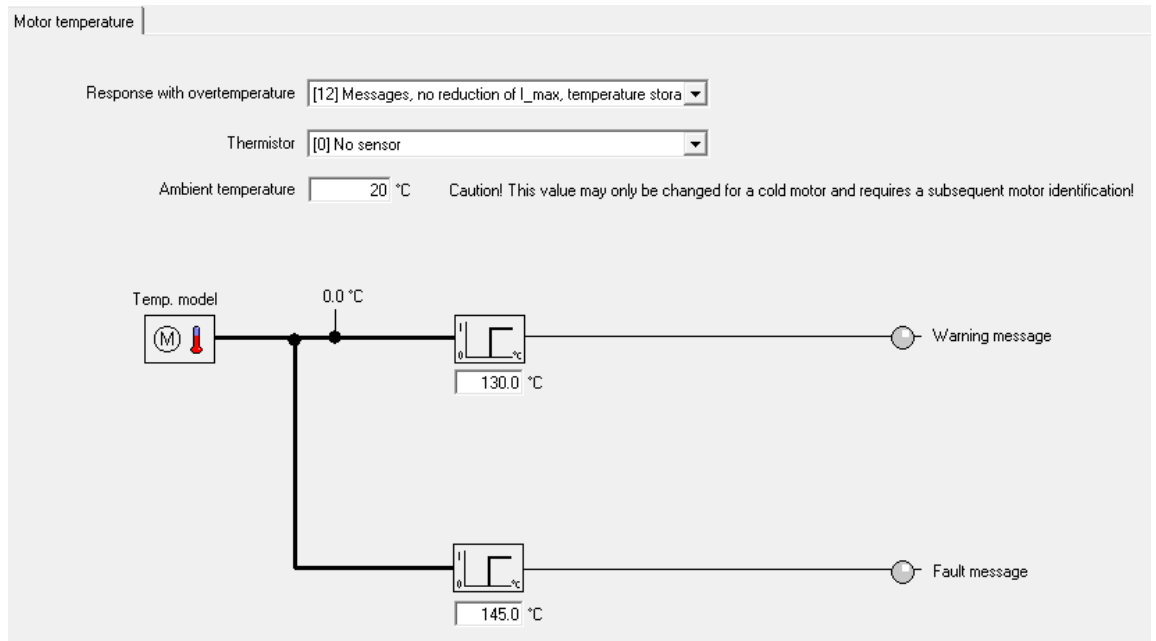


Рисунок 3.3.36 – Повідомлення і моніторинг температури двигуна

Trace 1 inactive | G120\_CU240E\_2\_PN

Trace | Measurements | Time diagram | FFT diagram | Bode diagram

No.	Active	Signal	Comment	Color
1	<input type="checkbox"/>			
2	<input type="checkbox"/>			
3	<input type="checkbox"/>			
4	<input type="checkbox"/>			
5	<input type="checkbox"/>			
6	<input type="checkbox"/>			
7	<input type="checkbox"/>			
8	<input type="checkbox"/>			

Recording

Meas. value acquisition: [synchronous recording - time-limited trace]

Basic cycle clock: 0.5 ms [G120\_CU240E\_2\_PN]

\*Factor: 1

Trace cycle clock: 0.5 ms

Duration: 100.0 ms | Maximum duration: ... ms

Trigger

Type: [immediate recording]

Display options

Repeated measurement

Arrange curves in tracks

Measuring cursor On

Limit display range to the last

100.0 ms

Save in the device (memory card)

Save recording in the device

Set number: 1 | Act. no.: 0

Number of recordings: 1

This setting is only possible for a time-limited trace with trigger.

Control\_Unit | Device trace

Рисунок 3.3.37 – Трасування пристрою

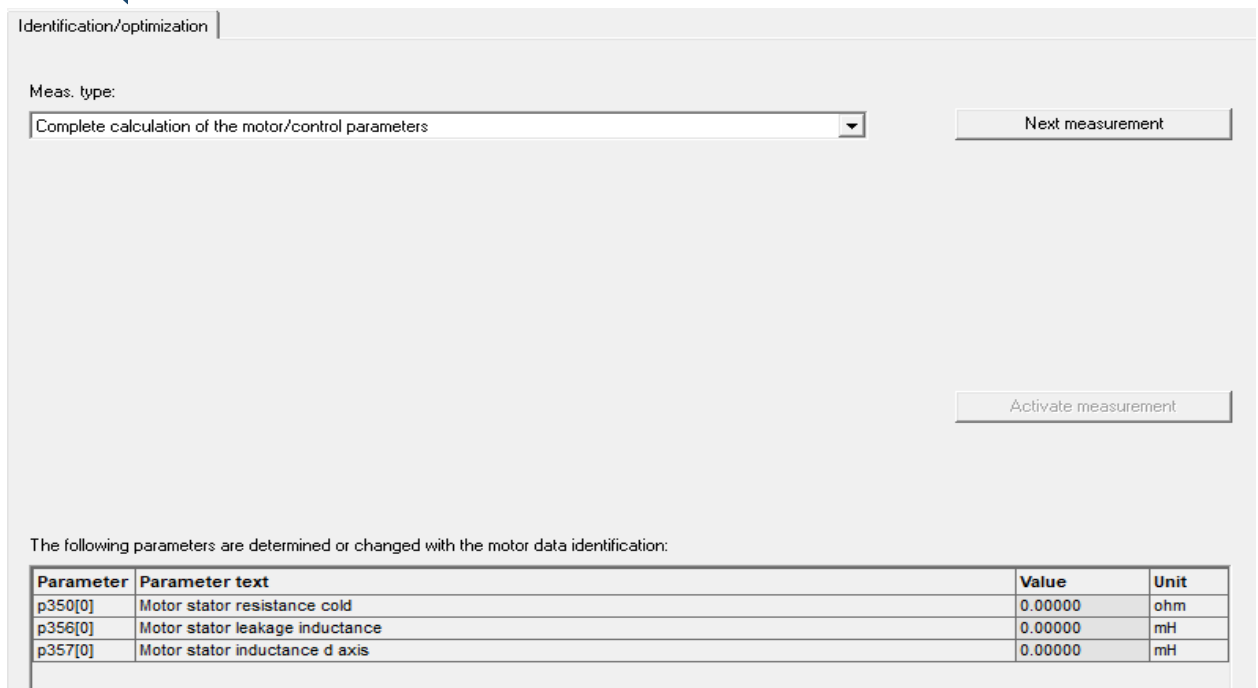


Рисунок 3.3.37 – Ідентифікація та оптимізація пристрою

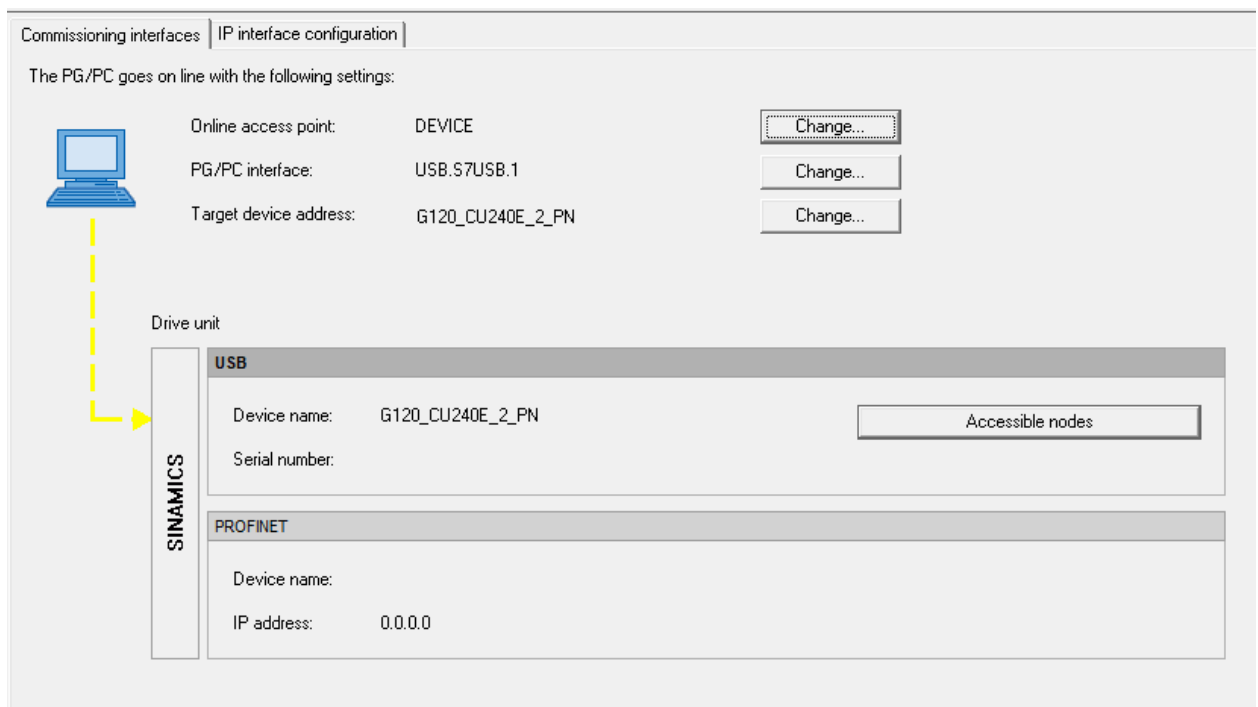


Рисунок 3.3.38 – Налаштування інтерфейсу для з'єднання

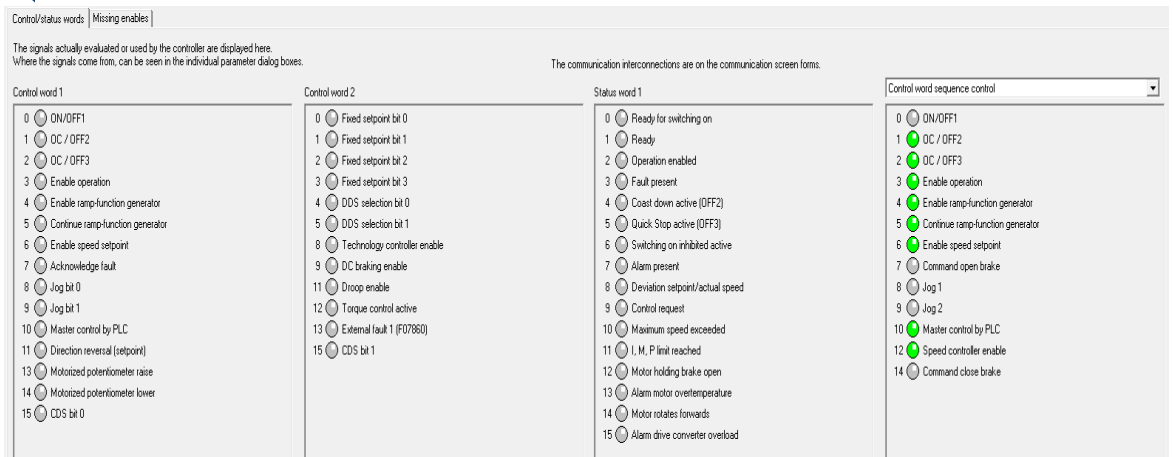


Рисунок 3.3.39 – Діагностика пристрою контроль слова стану

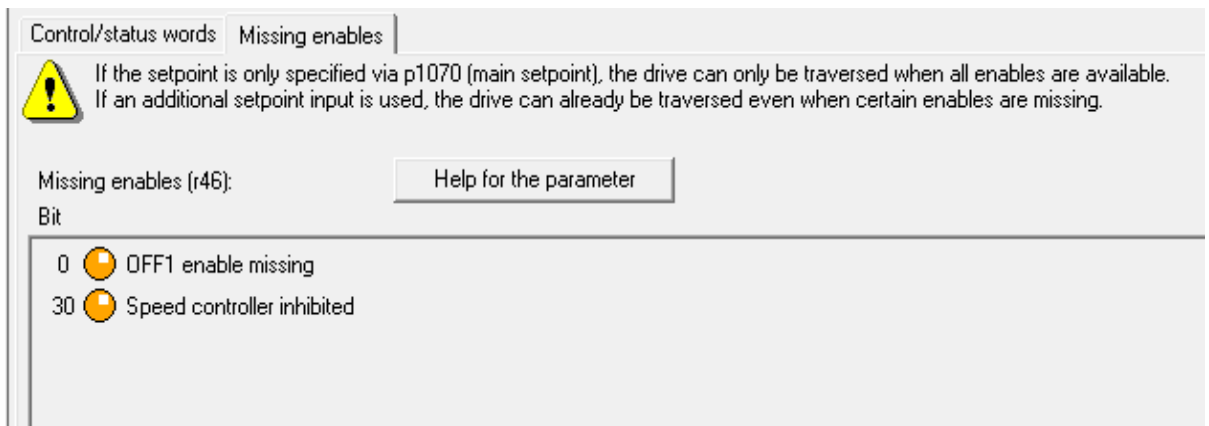


Рисунок 3.3.40 – Відсутня активація

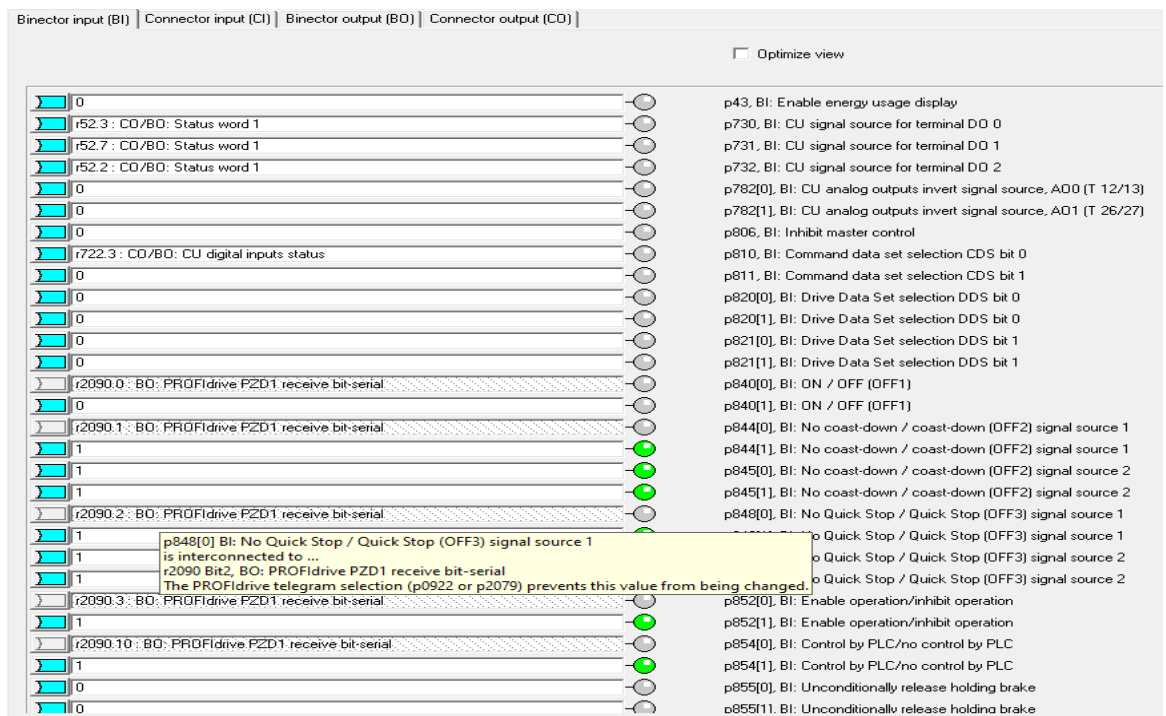



Рисунок 3.3.41 - Взаємозв'язки

Другий регулятор встановлюється на систему охолодження і контролює сигнал температури через подачу технічної води на



теплообмінник (актуально в літній період роботи гідроприводу). Цей тип ПІД- регулятора створюється у програмі TIA PORTAL.

## 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ

Для початку визначимо виробничі затрати на виробництво вогнетривів. На виготовлення одного виробу потрібно 30 секунд (беремо середнє значення, час може коливатися від 20 до 40 секунд в середньому). Тобто за одну хвилину буде виготовлено 2 вироби. Відповідно за 1 годину кількість виробів можна визначити по наступній формулі:

$$K_{\text{год}} = K_{\text{хв}} * 60, \quad (1)$$

де,  $K_{\text{год}}$  – кількість виробів за годину, шт;

$K_{\text{хв}}$  - кількість виробів за хвилину, шт;

60 – кількість хвилин у годині.

Відповідно отримуємо:

$$K_{\text{год}} = 2 * 60 = 120 \text{ шт./год.}$$

Далі визначаємо кількість виробів за добу. При цьому враховуємо, що обідня перерва на протязі доби становить 1 годину. Тобто прес на протязі доби працює 23 години. Відповідно отримуємо формулу:

$$K_{\text{доб}} = K_{\text{год}} * 23, \quad (2)$$

де,  $K_{\text{год}}$  – кількість виробів за годину, шт;

$K_{\text{доб}}$  - кількість виробів на добу, шт;

23 – робочі години з урахуванням обідньої перерви.

Отже маємо:

$$K_{\text{доб}} = 120 * 23 = 2760 \text{ шт./добу.}$$

Наступний крок – це розрахунок кількості виробів за місяць у середньому. Беремо у середньому 27 робочих днів на місяць. Інший час – це заплановані ремонтні роботи, які можуть становити від 3 до 5 днів на протязі місяця в залежності від планів. Відповідно отримуємо формулу:

$$K_{\text{міс}} = K_{\text{доб}} * 27, \quad (3)$$

де,  $K_{\text{міс}}$  – кількість виробів на місяць, шт;

$K_{\text{доб}}$  - кількість виробів на добу, шт;

27 – кількість робочих днів на місяць.

Отже маємо:

$$K_{\text{міс}} = 2760 * 27 = 74520 \text{ шт./міс.}$$

Для визначення річного обсягу продукції, що буде виготовлена, отримане на попередньому кроці значення помножуємо на 12 місяців. Тобто маємо таку формулу:

$$K_{\text{рік}} = K_{\text{міс}} * 12, \quad (4)$$

де,  $K_{\text{міс}}$  – кількість виробів на місяць, шт;

$K_{\text{рік}}$  - кількість виробів на рік, шт;

12 – кількість місяців у році.

Отже маємо:

$$K_{\text{рік}} = 74520 * 12 = 894240 \text{ шт./рік.}$$

Орієнтовна вартість одного виробу становить 70 доларів США, або 2940 грн. (з урахуванням курсу 42 гривні за 1 долар). Відповідно вартість річного обсягу продукції буде становити:

$$V_{\text{рік}} = K_{\text{рік}} * V_{\text{од.}}, \quad (5)$$

де,  $V_{\text{рік}}$  – річна вартість продукції, грн;

$K_{\text{рік}}$  - кількість виробів на рік, шт;

$V_{\text{од}}$  – вартість одного виробу у середньому, грн.

Отже маємо:

$$K_{\text{рік}} = 894240 * 2940 = 2629065600 \text{ грн.}$$

Тепер приймаємо, що за рахунок нової автоматизованої системи управління можна збільшити кількість виходу продукції потрібної якості на 0,5 % (прогнозоване). Тоді отримуємо таку формулу:

$$V_{\text{рік}+} = V_{\text{рік}} * (0,5/100), \quad (6)$$

де,  $V_{\text{рік}}$  – річна вартість продукції, грн;

$V_{\text{рік}+}$  – річна вартість продукції з урахуванням оновлення АСУТП, грн.

В підсумку отримуємо:

$$V_{\text{рік}+} = 2629065600 * (0,5/100) = 13145328 \text{ грн.}$$

Наступним кроком повинно стати визначення вартості впровадження оновленої АСУТП.

Для кожного компонента АСУТП загальна вартість визначається за формулою:

$$V_{\text{ком.заг.}} = N * v_{\text{ком.}}, \quad (7)$$

де,  $V_{\text{ком.заг.}}$  – загальна вартість компонентів даної групи, грн;

$v_{\text{ком.}}$  – вартість одного компонента даної групи, грн;

$N$  – кількість компонентів, шт.

Розрахунок наведемо для першої групи елементів. Для інших виконуємо аналогічно. Отже, маємо:

$$V_{\text{ком.заг.}} = 1 * 13851,00 = 13851,00 \text{ грн.}$$

Отриману загальну вартість для кожного окремого компонента складаємо та отримуємо загальну вартість на придбання компонентів АСУТП. Результати розрахунків наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 5.1 – Загальна вартість компонентів АСУТП

№ з/п	Замовний номер	Найменування	Кількість	Вартість за од., грн	Вартість разом., грн
1	6GK7277-1AA10-0AA0	Compact Switch Module CSM 1277	1	13581,00	13581,00
2	6AV2124-6QJ00-0AX1	Protect. Film 15" Widescreen	1	11000,00	11000,00
3	6AV6671-8XK00-0AX3	Steel mounting clip	2	2500,00	5000,00
4	6AV7241-3BA05-3FA0	SIMATIC HMI IPC477E (Panel PC)	1	253240,00	253240,00
5	6EP1332-1SH71	SIMATIC PM1207/1AC/24VDC/2.5A	1	4616,62	4616,62
6	6GK7277-1AA10-0AA0	Compact Switch Module CSM 1277	1	5674,54	5674,54
7	6ES7215-1HG40-0XB0	CPU 1215C, DC/DC/RLY, 14DI/10DO/2AI/2AO	1	42184,85	42184,85
8	6ES7954-8LL04-0AA0	SIMATIC S7 Memory Card, 256 MB	1	17388,00	17388,00
9	6ES7221-1BH32-0XB0	Digital Input SM 1221, 16DI, 24V DC	4	6264,68	25058,72
10	6ES7222-1HH32-0XB0	Digital Output SM1222, 16 DO, Relay	2	8856,00	17712,00
11	6ES7231-4HD32-0XB0	Analog Input SM 1231, 4AI	1	15649,00	15649,00
12	6ES7232-4HD32-0XB0	Analog Output SM 1232, 4AO	1	22989,00	22989,00
13	6AV2103-0DA02-3AH5	WinCC Prof. 512 PowerTags V19 DL	1	132800,00	132800,00
14	6AV2103-0DA00-0AY0	WinCC Professional 512 Powertags SUS DL	1	28278,60	28278,60
Разом:					595172,33

Окрім цих витрат, потрібно також визначити витрати на проектно-конструкторську документацію. Прийнемо її на рівні 3000000 грн. орієнтовно. Також прийнемо витрати на пусконаладжувальні роботи на такому ж рівні - 3000000 грн. Витрати на додаткове обладнання визначимо на рівні 5000000 грн (пульт керування, кабельна та провідникова продукція, клемники, тощо). Також на виконання монтажних робіт закладемо витрати на рівні 5000000 грн. Окрема стаття – розробка програмного забезпечення. Прийнемо її рівній 7500000 грн.

У підсумку потрібно кожен з цих статей додати одну до одної та отримати загальні витрати на впровадження АСУТП. У підсумку отримуємо:

$$В \text{ заг. АСУТП} = В \text{ обл} + В \text{ пкд} + В \text{ пнр} + В \text{ до} + В \text{ мр} + В \text{ пз}, \quad (7)$$

де, В обл. – вартість основного обладнання, грн;

Впкд – вартість розробки проектно-конструкторської документації, грн;

Впнр – витрати на пусконаладжувальні роботи, грн;

Вдо - витрати на додаткове обладнання, грн;

В<sub>мр</sub> – витрати на виконання монтажних робіт, грн;

В<sub>пз</sub> – витрати на розробку програмного забезпечення, грн;

У підсумку отримуємо:

$V \text{ заг. АСУТП} = 595172,33 + 3000000 + 3000000 + 5000000 + 5000000 + 7500000 = 24095172,33 \text{ грн.}$

Окупність проекту становитиме:

$Ok = V \text{ заг. АСУТП} / V \text{ рік} = 24095172,33 / 13145328,00 = 1,83 \text{ роки.}$

Останнє значення відповідає діючим вимогам та вказує на доцільність реалізації даного проекту.

Широкий діапазон регулювання швидкості обертання електродвигуна, висока точність підтримки її на встановлених режимах, плавний пуск і гальмування електроприводу, режими енергозбереження – це лише малий перелік переваг частотно-регульованого приводу по відношенню до інших типів приводів.

Гідронасос пластинчатий Г12-25М 11 кВт з частотним перетворювачем може дати значний економічний ефект:

1) енергозбереження.

а) робота без частотного перетворювача – робота с постійною продуктивністю.

б) в залежності від потреб частотний перетворювач може змінити швидкість обертання та знизити споживання електроенергії.

2) зменшення витрат на обслуговування.

а) менше гідравлічних ударів.

б) менший нагрів масла та насосу.

3) збільшення ресурсу виробітку.

а) м'який запуск.

б) зменшення зносу.

с) зменшення аварійних простоїв.

4) зменшення шуму та вібрацій.

5) зручне керування техпроцесами.

а) адаптація під потреби

б) оптимальне налаштування параметрів потоку.

6) швидка окупність (від 6 до 24 місяців).

Розрахунок без частотного перетворювача:

$W_p = \text{Потужність} * \text{година} = 11 * 7300 = 80300 \text{ кВт*год/рік}$

**Вартість:**

$80300 * 0,8235 = 66\ 127,05 \text{ грн/рік}$

Розрахунок з частотним перетворювачем:

$W_q = \text{Потужність} * \text{година} = 11 * 0,6 * 7300 = 48180 \text{ кВт*год/рік}$

**Вартість:**


$48180 * 0,8235 = 39\ 676,23 \text{ грн/рік}$

**Економія:**

$W_b = 66127,05 - 48180 = 17\ 947,05 \text{ кВт * год}$

$17947,05 * 0,8235 = 14\ 779,39 \text{ грн/р}$

*Не враховуючи ремонти.*



*Середня вартість частотного перетворювача-від 40000 до 60000  
 $14779,39 / 60000 = 0,246$  року(приблизно 3 місяці)*



## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі проаналізовано поточний стан питання застосування автоматизованих систем керування з використанням гідроприводів. Запропонована система керування гідроприводом САУ садки вогнетривких виробів №9 цеху магнезійних виробів підприємства.


На підставі вимог технологічного процесу, викладених в технологічній інструкції, запропонована модернізація метрологічного забезпечення та технічних засобів автоматизації.

З використанням програмних продуктів Starter та TIA PORTAL розроблено програмне забезпечення для функціонування частотного перетворювача та контролера Siemens. В прикладному пакеті програм MATLAB розроблено структуру та набір правил для нечіткого ПІ регулятора для керування двигуном насоса гідроприводу.

Виконано розрахунок очікуваного економічного ефекту від впровадження запропонованого рішення.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Козлов Л. Г. Наукові основи розробки систем гідроприводів маніпулятора з адаптивним регулятором на основі нейромереж для мобільних робочих машин : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.02. Вінниця, 2015. 421 с.
2. Козлов Л. Г., Буренніков Ю.А., Паславська О. В. Аналітичне оцінювання ККД об'ємного насоса з частотно-керованим приводним електродвигуном. *XLVI науково-технічна конференція підрозділів ВНТУ* : Матеріали XLVI науково-техн. конф. підрозділів ВНТУ, м. Вінниця, 22–24 берез. 2017 р. Вінниця, 2017. С. 56–59.
3. Гідроенергетика. Том 2. Гідравлічні машини. / Є. Сокол та ін. Харків : НТУ «ХПІ», 2020. 534 с.
4. Репінський С. В., Козлов Л. Г., Буренніков Ю.А. Керування регульованих насосів в гідроприводах, чутливих до навантаження: монографія / Вінниця: ВНТУ, 2016. 199 с.
5. Буренніков Ю. А., Козлов Л. Г., Репінський С. В. Динаміка системи керування регульованим насосом з автоматичним регулятором. Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»). Луцьк, 2009. Випуск 25, частина II. С. 26–30.
6. Буренніков Ю. А., Козлов Л. Г., Репінський С. В. Система керування аксіально-поршневого регульованого насоса з профільованим вікном золотника комбінованого регулятора подач. Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування : збірник наукових праць. 2012. № 64. С. 113–118
7. Буренніков Ю. А., Козлов Л. Г., Репінський С. В. Огляд електрогідравлічних систем керування насосами змінної продуктивності Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки». 2016. № 2(235). С. 202–206.
8. Репінський С. В., Козлов Л. Г., Паславська О. В. Математична модель мехатронного гідроприводу маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна. Вісник машинобудування та транспорту. 2019. № 1. С. 107-114.
9. Яким Р. С. Приводи транспортних машин : навч. посібник. Дрогобич : Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2020. 240 с.
10. Лін, Т.; Чен, К.; Рен, Х.; Чжао, Ю.; Мяо, К.; Фу, С.; Chen, Q. Гідравлічна система регенерації енергії через запобіжний клапан із блоком регенерації енергії. *ap. Ences 2017* , 7 , 613
11. Буренніков Ю. А., Козлов Л. Г., Репінський С. В., Поліщук О. В. Оптимізація конструктивних параметрів комбінованого регулятора подачі аксіально-поршневого регульованого насоса. Оптимізація конструктивних параметрів комбінованого регулятора подачі аксіально-поршневого регульованого насоса. *Промислова гідравліка і пневматика*. 2012. № 1(35). С. 73–77.



12. Li, Z., Su, L., & Lin, T. (2021). Overflow energy loss recovery system based on a hydraulic motor-electric generator. *Applied Sciences* , 11 (3), 941. URL: <https://doi.org/10.3390/app11030941>

13. Lin T, Chen Q, Miao C, et al. A system to recovery and recuse the overflow loss of the relief valve. Patent 102971447, 2016 (in Chinese).

14. Lu YX, Hu DH. *Electro-hydraulic proportional control technology*. Beijing, China: China Machine Press, 1988, pp.202–203.

15. ElarTSATU: Порівняльний аналіз схемних рішень побудови силової частини перетворювачів частоти. *ElarTSATU: Home*. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/14287> (дата звернення: 11.12.2024).

16. Єрмілова Н., Жмудь Є. Автомат-садчик на базі промислового робота. «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика»: ЗБ. НАУК. ПР. за матеріалами V Всеукр. науково-практ. Інтернет-конф., м. Полтава, 8 листоп. 2019 р. Полтава, 2019. С. 31–34. URL: [https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PoltNTU/6553/1/Збірник\\_Жмудь.pdf](https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PoltNTU/6553/1/Збірник_Жмудь.pdf) (дата звернення: 09.12.2024).

17. Алексієв В. О., Алексієв О. П., Ніконов О. Я. Мехатроніка, телематика, синергетика у транспортних додатках: навч-метод посібник. Харків : ХНАДУ, 2011. 212 с.

18. Алексієв В.О., Волков В.П., Калмиков В.І. Мехатроніка транспортних засобів та систем. Харків: ХНАДУ, 2004. 176 с.

19. Ковальчук В.Г., Родькін І.І., Коренькова Т.В. Ідентифікація параметрів математичної моделі електрогідравлічного комплексу на базі рівнянь енергобалансу. *Гідроенергетика України*, 3–4/2021, с.70–76.

## ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

На підприємстві у цеху ЦМВ використовуються магнезитові та хромітові руди, переважно з імпортних поставок. Завозяться на склад дроблення, звідки подаються в дробарку і надходять в у накопичуваний бункер. Залежно від марки вогнетривкої продукції додаються різні домішки порошоків для зв'язування та підвищення різних характеристик виробу. Через систему дозувань, де задається рецепт на певний вид продукції, суміш порошоків надходить на пресувальний пристрій (прес Лайс). Де пресувальник вибирає певне налаштування під даний вид вогнетриву та починає виробляти продукцію, складаючи її по спеціальній схемі на технологічний постамент (завантажувальний стіл) САУ садки вогнетривких виробів. Паралельно до цього ставиться вагон під навантаження.

### Опис садочної лінії 1

Садочна лінія складається з наступних механізмів та агрегатів: конвеєра відбору, перекладача елементів садки (ПЕМ), гідростанції, фіксатора пічного вагона, системи автоматичного керування (САК).

Призначення агрегатів та механізмів наступне. Конвеєр відбору призначений для формування елементів садки наймачем на столі та передачі його в зону захоплення ПЕМ. Перекладач елементів садки здійснює встановлення елементів садки на пічний вагон у заданому порядку. Оливостанція є силовим агрегатом для механізмів гідроприводу садочної лінії. Фіксатор пічного вагона утримує вагон у заданому положенні. САК керує роботою всіх агрегатів.

### Режими роботи

САУ лінії має два режими роботи: ручний та автоматичний. Управління роботою гідростанцією та іншими агрегатами в ручному режимі дозволяє виконувати кожну операцію окремо. Отже робота в автоматичному режимі керуванні гідростанцією дозволяє виконувати всі операції в автоматичному режимі без допомоги оператора по особовому алгоритму. Вибір режиму роботи лінії здійснюється за допомогою перемикача на пульті керування.

Під час встановлення перемикача в "Ручний режим" система керування переходить у ручний режим від кнопок, розташованих на пульті керування. Для кожного механізму лінії на пульті є кнопки керування та перемикачі (рис 1).

Стіл конвеєру, на якому відбувається формування елементу садки, вирівнюється подвійним перемикачем "Підйом" і "Опускання".

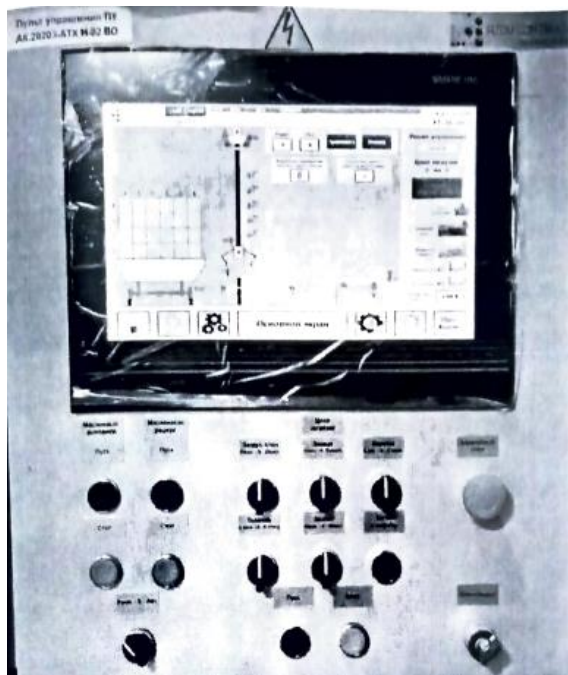


Рисунок А.1 – Вигляд пульта керування садкою на лінії 1

Після набору спеціальної схеми на постаменті пресовщик підходить до пульта, де знаходиться контролер РС, включає запуск машини садки. В цей момент запускаються насоси гідроблоку оливостанції, потім пресувальник набирає схему садки (кількістю рядів задаючи висоту). Перемикає ключ у режим "Автомат" (є ще ручний режим) і натискає кнопку "Пуск циклу". Постамент (стіл) опускається і вироби стають на візок, котрий починає пересуватися до вагону. Дійшовши до кінцевої точки, візок зупиняється і через декілька секунд починають опускатися захвати. Захвати беруть вогнетривні вироби і установлюють на вагон згідно зі схемою посадки, починаючи з 1 ряду (кількість рядів і стовбців може задаватися -3, 4, 5 перед початком циклу). Після підйому виробів візок повертається у вихідне становище під постамент (завантажувальний стіл) і захвати перемістивши вироби теж. В цей час пресовщик продовжує роботу без зупинок. До того, як здійсниться посадка другого виробу, пресовщик набирає половину схеми другої садки. Повним виконанням циклом буде заповнення всього вагону. Після цього вагон переміщує лафет під загрузку у тунельну піч обжигу.