

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістр

Освітній рівень

Метод керування автоматизованим процесом фракціонування бензинової

суміші

Назва теми

КВРАКІТ.2022167.01.06 ПЗ

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

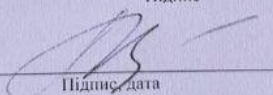
Виконав:

студент II курсу, група АКІТм-22-1


Підпис

Дмитро КОВБАСЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник


Підпис, дата

Галина РАДЕЛЬЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер


Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих
технологій та робототехніки


Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 21 » грудня 2023 р.

Хмельницький 2023

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки
Освітній рівень другий (магістерський)
Галузь знань 15 - Автоматизація та приладобудування
Спеціальність 151 - Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології
Освітньо-професійна програма Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедрою АКІТ-Р
МВ Мартинюк В. В.
" 01 " 09 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІНУ РОБОТУ**





Ковбасюку Дмитру Олександровичу

1. Тема роботи Метод керування автоматизованим процесом фракціонування бензинової суміші
Керівник роботи Радельчук Галина Іванівна, к.т.н., доцент
Затверджено наказом ректора університету від « 15 » 08 2023р. № 30
2. Строк подання студентом роботи на кафедру 01.12.2023 р.
3. Вихідні дані до роботи (характеристика об'єкта, умов дослідження та ін.)
Мета роботи моделювання роботи автоматизованої системи керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші, для виконання необхідних аналітичних досліджень роботи системи в якості цифрового двійника.
Об'єкт дослідження - процес фракціонування бензинової суміші в автоматизованій системі керування.
Предмет дослідження алгоритми та методи керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. Проблематика організації технологічного процесу фракціонування бензинової суміші. Моделювання системи автоматичного керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші. Розробка алгоритму технологічного процесу фракціонування бензинової суміші. Дослідження системи керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші. Висновки.

Завдання отримав Ковб

Науковий керівник МВ

Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормоконтроль	Людмила КОРЕЦЬКА к.т.н., доцент		
Антиплагіат	Микола ФЕДУЛА к.т.н., доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Вступ	20.09.2023р.	виконано
2	Проблематика організації технологічного процесу фракціонування бензинової суміші	15.10.2023р.	виконано
3	Моделювання системи автоматичного керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші	30.10.2023р.	виконано
4	Розробка алгоритму технологічного процесу фракціонування бензинової суміші	15.11.2023р.	виконано
5	Дослідження системи керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші	25.11.2023р.	виконано
6	Висновки	30.11.2023р.	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки до КРМ	01.12.2023р.	виконано
8	Оформлення презентаційних матеріалів	01.12.2023р.	виконано

Студент

Керівник роботи


Підпис


Підпис

Ковбасюк Д.О.
Прізвище, ініціали

Радельчук Г.І.
Прізвище, ініціали

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод керування автоматизованим процесом фракціонування бензинової суміші»

Автор роботи: Ковбасюк Дмитро Олександрович

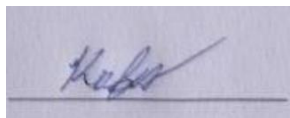
Керівник роботи: Радельчук Галина Іванівна

Пояснювальна записка: 117 стор., 54 рис., 3 дод., 63 джерела.

Графічна частина: 19 презентаційних слайдів.

БЕНЗОЛ, БЕНЗИНОВА СУМІШ, КОНТУР ТИСКУ, ЕЛЕКТРОПРИВІД,
ФРАКЦІОНУВАННЯ, АЛГОРИТМ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС
ОТРИМАННЯ БЕНЗИНОВОЇ СУМІШІ.

Мета роботи: моделювання роботи автоматизованої системи керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші, для виконання необхідних аналітичних досліджень роботи системи в якості цифрового двійника. Виконано автоматизацію технологічного процесу із використанням мікропроцесорної техніки. Передбачено використання засобів вимірювання, що забезпечують автоматизований технологічний облік. Виконано процес керування технологічного процесу із центру керування виробництвом.



Підпис студента

15.12.2023

Дата

Зміст

	с.
ВСТУП	4
1 ПРОБЛЕМАТИКА ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ФРАКЦІОНУВАННЯ БЕНЗИНОВОЇ СУМІШІ	8
1.1 Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень процесу фракціонування бензинової суміші	8
1.2 Постановка завдань для автоматизації процесу фракціонування бензинової суміші	11
1.3 Висновки до першого розділу	12
2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ФРАКЦІОНУВАННЯ БЕНЗИНОВОЇ СУМІШІ	13
2.1 Короткі технічні характеристики насосного обладнання та електродвигуна	15
2.2 Аналіз способів регулювання кутової швидкості електродвигуна	24
2.3 Вибір способу регулювання кутової швидкості	33
2.4 Розробка функціональної схеми керування електроприводом	35
2.5 Принцип дії частотного перетворювача із широтно-імпульсною модуляцією	39
2.6 Висновки до другого розділу	42
3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ФРАКЦІОНУВАННЯ БЕНЗИНОВОЇ СУМІШІ	43
3.1 Підбір необхідної апаратної частини для технологічного процесу фракціонування бензинової суміші	43
3.2 Програмна частина ТП фракціонування бензинової суміші	51
3.3 Розробка програмних засобів керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші	56
3.4 Розробка алгоритмів системи керування технологічним процесом	

фракціонування бензинової суміші	72
3.5 Висновки до третього розділу	77
4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ФРАКЦІОНУВАННЯ БЕНЗИНОВОЇ СУМІШІ	78
4.1 Вибір елементів силової частини електропривода та їх аналітичні дослідження	78
4.2 Аналітичні дослідження параметрів системи керування швидкості АД за векторного керування	89
4.3 Аналітичні дослідження контуру тиску	104
4.4 Висновки до четвертого розділу	108
ВИСНОВКИ	109
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	110
ДОДАТКИ	117

ВСТУП

Загально відомо, що в світовій практиці переробки нафтопродуктів запропоновано велику кількість схем вторинної перегонки бензину. При виборі технологічної схеми (ТС) зазвичай спираються на компонентний склад бензину, вимоги економічні та вимоги до якості фракцій, що входять в його склад. Метою вторинної перегонки бензину є розподіл бензину прямої перегонки на фракції, що будуть приносити вищий економічний ефект у технологічних процесах (ТП) подальшої переробки бензину (наприклад, риформінг, ізомеризація та взагалі нафтохімічних процесах) [1-6].

В якості сировини для установки ізомеризації найширше застосовують фракцію з температурою кипіння на рівні 62-75°C, в якій зменшують вміст фракцій C4, C7+, а також і загальний вміст бензолу.

В якості сировини для установки риформінгу використовують фракції з температурами кипіння від рівня 95-110°C до рівня 160-180°C, у якій обмежують вміст компонентів, що сприяють утворенню бензолу. Дослідження, виконані на установці марки Л-35-8/300Б, показали, що зі підвищенням температури початку кипіння сировини риформінгу з рівня в 100°C до рівня 105°C вміст бензолу в стабільному каталізаті знижується з 3,5 до майже 1,5% від загального об'єму [1-6].

Зазвичай для підготовки сировини для установок ізомеризації та риформінгу застосовують двоколонну схему, в якій виконують поділ фракції НК-180°C прямої перегонки на фракції типу НК-75°C, 75-100°C та 100°C-КК. Дана ТС з виділенням фракції, що сприяє утворенню бензолу, до реактора риформінгу дає можливість знизити загальний вміст бензолу в каталізаті, а також дещо зменшити питомі енергетичні витрати та збільшити вихід цільового продукту - високо-октанового компонента бензинової суміші, якщо виконувати порівняння зі ТС виділення фракції із вмістом бензолу після реактора риформінгу за однакової потужності установок, тому така задача є актуальною.

Метою роботи є змодельовати роботу автоматизованої системи керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші, для виконання необхідних аналітичних досліджень роботи системи в якості цифрового двійника.

Для досягнення даної мети роботи необхідно вирішити наступні **завдання**:

- виконати автоматизацію технологічного процесу використавши мікропроцесорну техніку. Під час створення проєкту керуватися затвердженими технічними вимогами до обладнання автоматизованих систем керування (АСК) ТП - розподіленої системи керування, (РСК) (або DCS - Distributed Control System), системи безпеки та протиаварійного автоматичного захисту (ПАЗ), а також контрольно-вимірювальних приладів (КВП);

- передбачити використання засобів вимірювання (ЗВ), що забезпечують автоматизований технологічний облік (заміна ЗВ за величиною витрати та рівнем температури не нижче Кл. 0,5-1,0), як на кордонах блоку, так і для відповідальних позицій налаштування;

- керування ТП виконувати із центру керування виробництвом (ЦКВ) всього заводу.

Об'єктом дослідження є процес фракціонування бензинової суміші в автоматизованій системі керування.

Предметом дослідження є алгоритми та методи керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші.

Методи досліджень.

Використовувались основні положення загальної теорії систем, системного аналізу (ієрархічності, декомпозиції та ін.), теорії моделювання процесів. Внаслідок проведення моделювання процесу та розроблення методу фракціонування бензинової суміші використано теоретико-множинні підходи, методи концептуального моделювання, апарат модельно-орієнтованих підходів, алгебру систем, принципи побудови баз знань та формування логічного висновку, евристичні оцінки.

Наукова новизна отриманих результатів: розроблено модель кіберфізичної системи автоматичного керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші в режимі реального часу.

Практична значимість отриманих результатів: розроблені програмно-технічні засоби для керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші.

Апробація результатів дослідження: участь у науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених в м. Хмельницький, робота отримала схвальні відгуки і тому за результатами було надруковано тези в збірнику наукових праць «Технічна творчість» №7 за 2023 рік.

Дипломна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного розділу, висновків, списку використаних джерел, 3 додатків. Загальний обсяг роботи складає 117 сторінок комп'ютерного тексту, у тому числі: 54 рисунки, список використаних джерел вміщує 63 найменувань.

У вступі описана актуальність обраної задачі, сформульовано завдання для аналітичних досліджень та мету роботи, представлено основні наукові результати та їх практичну цінність.

У першому розділі кваліфікаційної роботи представлено аналітичний огляд існуючих технічних та технологічних рішень ТП фракціонування бензинової суміші, а саме вказано описано методи фракціонування бензинової суміші, описано технологічну схему процесу фракціонування бензинової суміші, наведено основні показники якості отриманих при фракціонуванні бензинової суміші блоків продуктів, а також проведено постановку завдань для автоматизації ТП фракціонування бензинової суміші.

У другому розділі кваліфікаційної роботи описано моделювання АСК ТП фракціонування бензинової суміші. Наведено короткі технічні характеристики насосного обладнання та електродвигуна, що використовується в ТП фракціонування. Проведено аналіз існуючих способів регулювання кутової швидкості обертання електродвигуна. На основі аналізу виконано вибір способу

регулювання кутової швидкості АД.

Запропоновано функціональну схему керування встановленим електроприводом. Описано та проаналізовано принцип дії частотного перетворювача із широтно-імпульсною модуляцією, що використовується для керування АД.

У третьому розділі кваліфікаційної роботи магістра було виконано підбір необхідної апаратної частини для ТП фракціонування бензинової суміші, розроблено програмну частину ТП фракціонування бензинової суміші, а саме: розроблено програмні засоби керування та алгоритми системи керування ТП фракціонування бензинової суміші. Створено САК робочою ділянкою фракціонування бензинової суміші.

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи проведено моделювання (у програмному середовищі MATLAB, додаток Simulink) спроектованої САК електроприводу компресора насосної установки. Отримано динамічні характеристики, що відповідають ТП. Аналіз графічних залежностей перехідних процесів дозволив зробити висновок про відповідність отриманих результатів вимогам, що висувають до електроприводів насосних установок.

У висновках по кваліфікаційній роботі магістра наведено отримані результати роботи «Метод керування автоматизованим процесом фракціонування бензинової суміші».

1 ПРОБЛЕМАТИКА ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ФРАКЦІОНУВАННЯ БЕНЗИНОВОЇ СУМІШІ

В даній кваліфікаційній роботі виконується модернізація спеціальної установки для каталітичного риформінгу у складі, якої є блок фракціонування. Принципова схема розділення (фракціонування) бензинової суміші виконується за ТС, наведеною на рисунку 1.1.

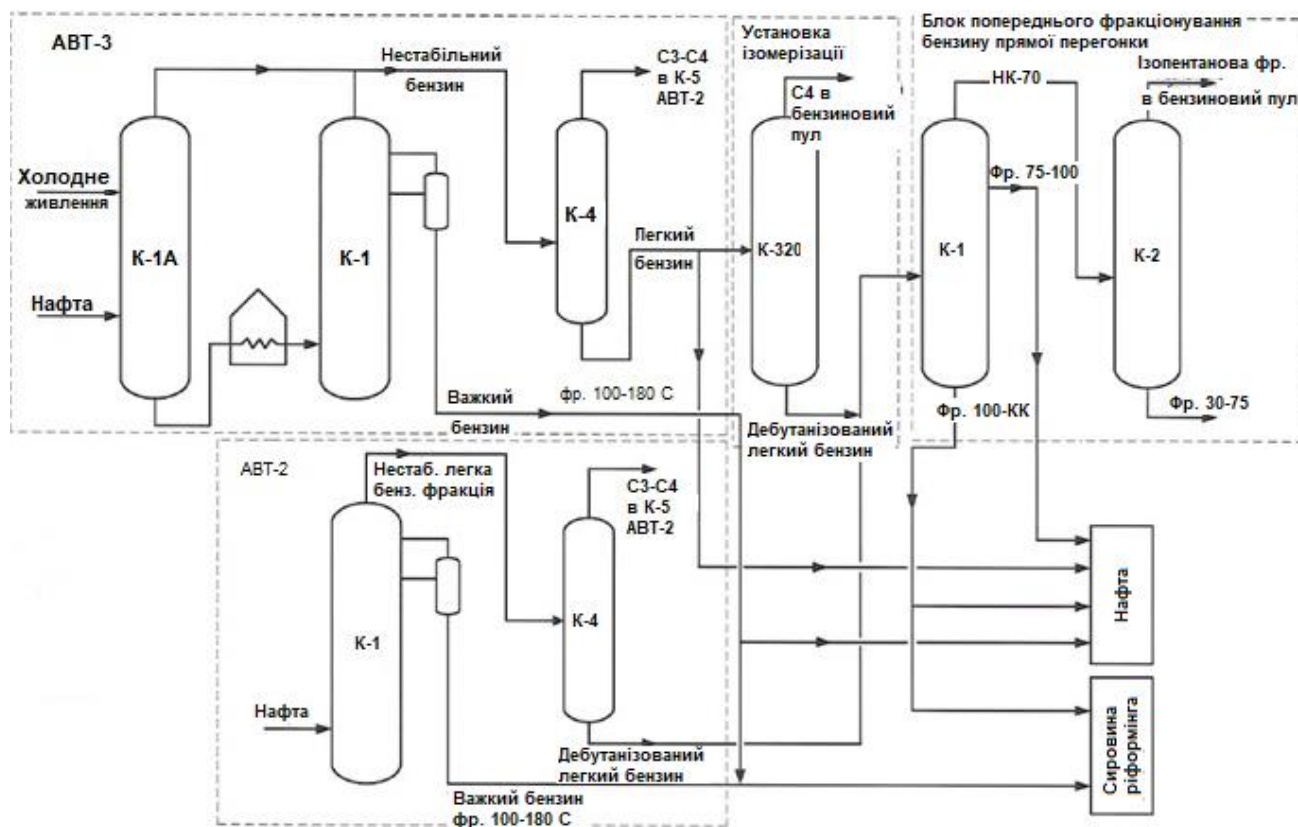


Рисунок 1.1 – Принципова схема процесу фракціонування бензинової суміші

1.1 Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень процесу фракціонування бензинової суміші

Загально відомо, що фракціонування - розділення суміші речовин (газів, ізотопів, рідин) на фракції, кожна з яких відокремлюється у вузькому інтервалі умов (тиску чи температури) [7-11].

Фракціонування найчастіше використовують у газовій та нафтовій

промисловостях з метою одержання гасу, бензину чи інших продуктів. Також фракціонування використовують для розділення нестабільного газового бензину на окремі складові. В основі даного виду фракціонування лежить метод, що носить назву ректифікація. Оскільки потрібно забезпечити чітке розділення вихідної сировини на складові, рівень температури кипіння яких розрізняється незначно, фракціонування виконують, зазвичай, в декілька кроків, на кожному з відбувається поділ речовини на два складники: з високою та низькою температурами кипіння [7-11].

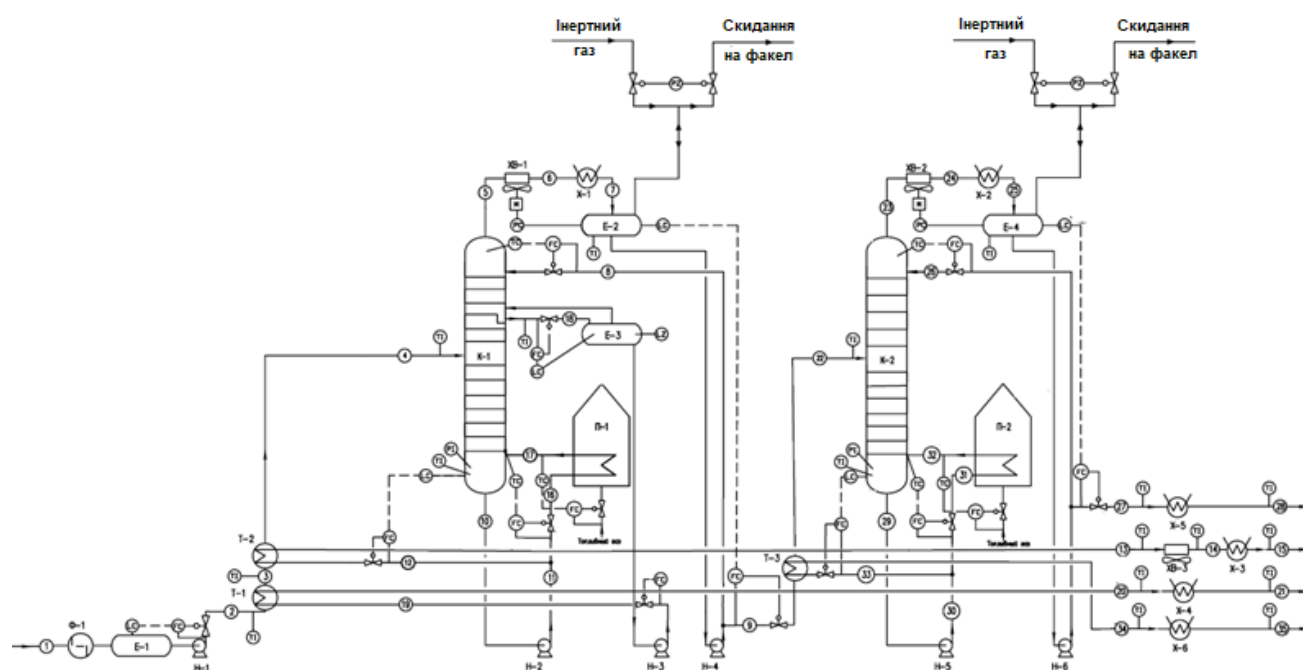


Рисунок 1.2 – Технологічна схема процесу фракціонування

Безпосередньо технологічний процес фракціонування виконується відповідно до ТС, представленою на рисунку 1.2.

Стабільна бензинова суміш за допомогою сировинного насоса НС-1 (або НС-1А) транспортується через магістралі теплообмінника Т-1 та магістралі Т-2 і з рівнем температури близько 120 °С надходить як сировина в колону К-1. Подача бензинової суміші регулюється за величиною витрати із певною корекцією за рівнем у ємності Є-1. Пари, що виходять зверху К-1, після

конденсації в спеціальному апараті повітряного охолодження ПХ-1 та водяному холодильнику ВХ-1, транспортуються у рефлюксну ємність Є-2, з якої за допомогою насосу НС-4 (або НС-4А) відкачується, так звана, фр. НК-75 °С. Частина даної фракції транспортується в колону як гостре зрошення, балансова кількість фр. НК-75 °С транспортується крізь магістралі Т-3 і з рівнем температури - 95°С направляється в К-2 на відокремлення ізопентанової фракції. Фракція, що утворює бензол, самопливом тече у ємність Є-3, потім за допомогою насосу НС-3 (або НС-3А) із заданою величиною витрати транспортується через магістралі Т-1, апарат ВХ-4, і з рівнем температури, що не перевищує 40°С виводиться із установки.

Фракція 100-160°С відкачується за допомогою насосу НС-2 (або НС-2А) знизу К-1, частина потоку транспортується в піч П-1, балансова кількість фракції за величиною витратою та з корекцією за рівнем речовини у кубі колони транспортується в магістралі Т-2, потім в апарат ПХ-3, апарат ВХ-3 та з рівнем температури, що не перевищує 40°С виводиться із установки.

Пари зверху К-2 після конденсації в апаратах ПХ-2 та ВХ-2 транспортуються у рефлюксну ємність Є-4, з якої за допомогою насосу НС-6 (або НС-6А) відкачують ізопентанову фракцію, частина фракції транспортується у К-2 як гостре зрошення, балансова кількість ізопентанової фракції транспортується в апарат ВХ-5, з рівнем температури, що не перевищує 40 °С виводять з установки.

Кубовий продукт К-2, негідроочищена сировина ізомеризації, відкачується за допомогою насосу НС-5 (або НС-5А) знизу К-2, частина потоку тече в П-2, балансова кількість фракції за рівнем витратою та з корекцією за рівнем речовини у кубі К-2 охолоджується в магістралі Т-3, ВХ-6 та з рівнем температури, що не перевищує 40°С виводиться з установки.

До ТП фракціонування пред'являються наступні технологічні вимоги:

- поділ бензинової суміші на фракції НК-75 °С (або верхній продукт), 75-100(95) °С (побічний продукт без використання, так званого, стріппінга –

фракція, що утворює бензол) та 100(95)-160 °С (або продукт отриманий в кубі - негідроочищена сировина риформінгу);

- на блоці гідроочищення використовувати фракцію, отриману зі блоку фракціонування бензинової суміші прямої перегонки із подальшим компаундуванням фр. НК-75 °С та 100-КК (або фр. 95-КК);

- виділення з фр. НК-75 °С ізопентанової фракції, продукт отриманий в кубі - негідроочищена сировина установки ізомеризації;

- забезпечення енергоресурсами, реагентами та допоміжними матеріалами виконується від джерел енергії та інженерних мереж нафто-переробного заводу (НПЗ). Відповідно до технологічних умов (ТУ) на приєднання об'єкта до інженерних мереж НПЗ;

- режим роботи установки - безперервний, не більше 8000 годин на рік [8-10].

Продукти блоку фракціонування повинні відповідати певним вимогам якості:

- ізопентанова фракція:

вміст нС5, не перевищує – 5,0%;

- фр. 30-75 °С:

вміст нС5, не перевищує – 5,0%;

вміст бензолу, не перевищує – 1,0%;

вміст суміші С7, не перевищує – 1,0%;

- фр. 100(95)-160 °С:

вміст суміші С6, не перевищує – 0,5% [7].

1.2 Постановка завдань для автоматизації процесу фракціонування бензинової суміші

Для досягнення поставленого завдання в кваліфікаційній роботі необхідно розв'язати наступні завдання:

- виконати автоматизацію технологічного процесу використавши мікропроцесорну техніку. Під час розроблення проєкту керуватися затвердженими технічними вимогами до обладнання автоматизованих систем керування (АСК) ТП - розподіленої системи керування, (РСК) (або DCS - Distributed Control System), системи безпеки та протиаварійного автоматичного захисту (ПАЗ), а також контрольно-вимірювальних приладів (КВП);

- передбачити використання засобів вимірювання (ЗВ), що забезпечують автоматизований технологічний облік (заміна ЗВ за величиною витрати та рівнем температури не нижче Кл. 0,5-1,0), як на кордонах блоку, так і для відповідальних позицій налаштування;

- керування ТП виконувати із центру керування виробництвом (ЦКВ) всього заводу.

1.3 Висновки до першого розділу

Виконано огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень технологічного процесу фракціонування бензинової суміші, а саме вказано описано методи фракціонування бензинової суміші, описано технологічну схему процесу фракціонування бензинової суміші, наведено основні показники якості отриманих при фракціонуванні бензинової суміші блоків продуктів.

Виконано постановку завдань для автоматизації технологічного процесу фракціонування бензинової суміші.

2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ФРАКЦІОНУВАННЯ БЕНЗИНОВОЇ СУМІШІ

У даній кваліфікаційній роботі розглядається процес автоматизації ділянки попереднього нагрівання нафтопродуктів блоку фракціонування, наведеної на рисунку 2.1.

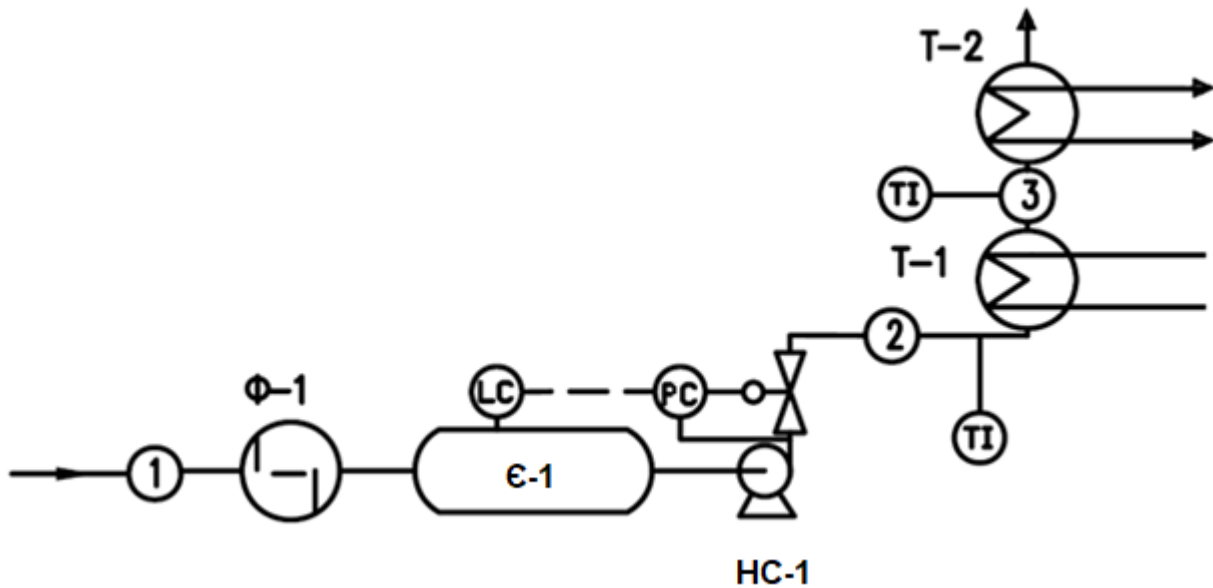


Рисунок 2.1 – Схема ділянки попереднього нагрівання нафтових продуктів: Ємність Є-1, оснащена давачем рівня LC; відцентровий насос НС-1; клапан для регулювання із витратоміром РС; теплообмінник Т-1

Базовою функцією представленої ділянки є підігрів стабільної бензинової суміші за рахунок теплообмінних процесів у магістралях теплообмінника Т-1 до рівня температури, не нижче 120 °С, з подальшим транспортуванням речовини за допомогою насосу НС-1 (або НС-1А). Подача бензинової суміші регулюється за величиною витрати з корекцією за рівнем речовини у сировинній ємності Є-1 (рис. 2.1) [1, 3].

Найбільший інтерес під час виконання автоматизації ТП становить електропривод відцентрового насосу НС-1.

Оскільки процес керування величиною витрати за допомогою електромеханічних засувки є мало ефективним, то логічно припустити, що під час модернізації ТС є можливість замінити не регульований електропривод відцентрового насосу НС-1 на регульований із вбудованою автоматичною системою підтримання необхідного рівня тиску.

Слід зазначити, що частотний перетворювач (ЧП) призначено для безступеневого регулювання частоти обертання асинхронного електродвигуна (АД) насосу. Регулювання швидкості обертання здійснюється завдяки перетворенню трифазної (або однофазної) напруги із постійною амплітудою та частотою в трифазну напругу зі змінною амплітудою та частотою. ЧП дають можливість виконувати необхідний захист електродвигуна, реалізовувати досить складні алгоритми керування, оптимізувати режими роботи в залежності від навантаження, регулювати ККД та виконувати інші функції. Використання ЧП із АД є досить перспективним та економічно обґрунтованим напрямком заміни як нерегульованого електроприводу змінного струму, так і регульованого електроприводу постійного струму.

Використання ЧП дає можливість [12-14]:

- плавного регулювання швидкості обертання головного валу електродвигуна від нуля до номінального значення при повному збереженні максимального крутного моменту на валу;
- зниження експлуатаційних, ремонтних та енергетичних витрат при підтримці заданої продуктивності механізмів та машин;
- зниження споживання електроенергії за рахунок використання оптимального керування електродвигуном в залежності від прикладеного навантаження;
- реалізації повного захисту електродвигуна;
- здійснення плавних пусків електродвигуна зі струмом, що не перевищує номінального значення;
- усунення пікових навантажень і просідання рівня напруги в

електромережі в момент плавного пуску електродвигуна.

2.1 Короткі технічні характеристики насосного обладнання та електродвигуна

Для транспортування речовини використовують відцентровий нафтоперекачувальний насос марки ЦН 160/112Е (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд відцентрового насосу ЦН 160/112Е

Насоси типу ЦН - двостороннього входу горизонтальні одноступінчасті, із торцевим ущільненням, насоси, що призначені для транспортування нафтопродуктів та води, що містить домішки нафтопродуктів [15]. Насос допускається для робіт у вибухонебезпечних виробництвах для перекачування речовин, що відносяться до категорії ІА, ІВ та групи вибухобезпечності Т1-Т4 відповідно до ДСТУ 8829:2019 [16]. Технічні характеристики наведені в додатках (див. Додаток В, табл. В.1).

В якості приводного електродвигун насоса використовується АД із короткозамкненим ротором серії 4А250S2У3. Паспортні дані електродвигуна наведено в таблиці В.2 (див. Додаток В).

Визначимо номінальну силу струму в статорі [17-19]:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{3 \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{ном}}; \quad (2.1)$$

$$I_{1ном} = \frac{75 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,9 \cdot 0,93} = 135,78 \text{ А.}$$

Знайдемо синхронну кутову частота обертання електромагнітного поля згідно наступної формули:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_{ном}}{30}; \quad (2.2)$$

$$\omega_0 = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157,1 \text{ 1/сек.}$$

Знайдемо номінальну кутову частоту обертання електромагнітного поля:

$$\omega_{ном} = \omega_0 \cdot (1 - s_{ном}); \quad (2.3)$$

$$\omega_{ном} = 157,1 \cdot (1 - 0,014) = 154,89 \text{ 1/сек.}$$

Визначимо номінальний крутний момент на валу електродвигуна підставивши значення:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}}; \quad (2.4)$$

$$M_{ном} = \frac{75 \cdot 10^3}{154,89} = 484,25 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Знайдемо силу струму статора при частковому навантаженні:

$$I_{11} = \frac{p^* \cdot P_{ном}}{3 \cdot U_{1ном} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*}}, \quad (2.5)$$

де p^* - коефіцієнт завантаження електродвигуна, $p^* = \frac{P}{P_{ном}} = 0,75$; $\cos \varphi_{p^*}$ - коефіцієнт потужності при частковому навантаженні, $\cos \varphi_{p^*} = 0,99$; η_{p^*} - ККД електродвигуна при частковому завантаженні, $\eta_{p^*} = \eta_{ном} = 0,93$.

$$I_{11} = \frac{0,75 \cdot 75 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,99 \cdot 0,93} = 102,85 \text{ А.}$$

Визначимо силу струму холостого ходу електродвигуна, згідно формули:

$$I_{11} = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left[p^* \cdot I_{1ном} \cdot (1 - s_{ном}) / (1 - p^* \cdot s_{ном}) \right]^2}{1 - \left[p^* \cdot (1 - s_{ном}) / (1 - p^* \cdot s_{ном}) \right]^2}}, \quad (2.6)$$

$$I_{11} = \sqrt{\frac{102,85^2 - \left[0,75 \cdot 135,78 \cdot (1 - 0,0014) / (1 - 0,75 \cdot 0,0014) \right]^2}{1 - \left[0,75 \cdot (1 - 0,0014) / (1 - 0,75 \cdot 0,0014) \right]^2}} = 25,35 \text{ А.}$$

Знайдемо величину критичного проковзування:

$$s_k = s_{ном} \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{(k_{\max})^2 - \left[1 - 2 \cdot s_{ном} \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1) \right]}}{1 - 2 \cdot s_{ном} \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)}, \quad (2.7)$$

де: β - жорсткість МХ електродвигуна і визначається з наступної формули:

$$\beta = R_1 / (C_1 \cdot R_2); \quad (2.8)$$

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1ном}}$$

$$C_1 = 1 + \frac{25,35}{2 \cdot 7 \cdot 135,78} = 1,01.$$

Значення коефіцієнта β знаходиться в межах діапазону 0,6–2,5 [17-19], тому в першому наближенні приймаємо коефіцієнт рівний $\beta = 1$:

$$s_k = 0,014 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{(2,2)^2 - [1 - 2 \cdot 0,014 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,014 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,06.$$

Визначимо коефіцієнт:

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1ном}^2 \cdot (1 - s_{ном})}{2 \cdot C_1 \cdot k_{max} \cdot P_{ном}}; \quad (2.9)$$

$$A_1 = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,014)}{2 \cdot 1,01 \cdot 2,2 \cdot 75 \cdot 10^3} = 0,43.$$

Тоді визначимо активний опір ротора, приведений до обмотки статора електродвигуна:

$$R_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_k} \right) \cdot C_1}; \quad (2.10)$$

$$R_2 = \frac{0,428}{\left(1 + \frac{1}{0,06}\right) \cdot 1,01} = 0,024 \text{ Ом.}$$

Знайдемо активний опір обмотки статора згідно формули:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2 \cdot \beta; \quad (2.11)$$

$$R_1 = 1,01 \cdot 0,024 \cdot 1 = 0,024 \text{ Ом.}$$

Визначимо параметр який буде дозволяти обрахувати індуктивний опір при виникненні короткого замикання:

$$\gamma = \sqrt{\left(1/s_k^2\right) - \beta^2}; \quad (2.12)$$

$$\gamma = \sqrt{\left(1/0,06^2\right) - 1^2} = 16,53.$$

Тепер визначимо індуктивний опір при виникненні короткого замикання:

$$X_{кном} = \gamma_1 \cdot C_1 \cdot R_2; \quad (2.13)$$

$$X_{кном} = 16,53 \cdot 1,01 \cdot 0,024 = 0,4 \text{ Ом.}$$

Тоді індуктивний опір обмотки ротора, приведений до обмотки статора визначимо за наступною формулою:

$$X_{2ном} = \frac{0,58 \cdot X_{кном}}{C_1}; \quad (2.14)$$

$$X_{2ном} = \frac{0,58 \cdot 0,4}{1,01} = 0,23 \text{ Ом.}$$

Знайдемо величину індуктивного опору обмотки статора:

$$X_{1ном} = 0,42 \cdot X_{кном}; \quad (2.15)$$

$$X_{1ном} = 0,42 \cdot 0,4 = 0,17 \text{ Ом.}$$

Підставивши отримані значення параметрів і знайдемо величину критичного проковзування згідно формули:

$$s_{кр} = \frac{C_1 \cdot R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{кном}^2}}; \quad (2.16)$$

$$s_{кр} = \frac{1,01 \cdot 0,024}{\sqrt{0,024^2 + 0,4^2}} = 0,06.$$

Визначимо ЕРС гілки намагнічування, що наведена потоком повітряного зазору в обмотці статора в номінальному режимі роботи електродвигуна:

$$E_1 = \sqrt{(U_{1ном} \cdot \cos \varphi_{ном} - I_{1ном} \cdot R_1)^2 + (U_{1ном} \cdot \sin \varphi_{ном} - I_{1ном} \cdot X_{1ном})^2}; \quad (2.17)$$

$$E_1 = \sqrt{(220 \cdot 0,9 - 135,78 \cdot 0,024)^2 + (220 \cdot 0,44 - 135,78 \cdot 0,17)^2} = 228,11 \text{ В.}$$

Знайдемо індуктивний опір намагнічуванню згідно наступної формули:

$$X_{\text{мног}} = \frac{E_1}{I_0}; \quad (2.18)$$

$$X_{\text{мног}} = \frac{228,1}{25,35} = 9 \text{ Ом.}$$

Визначимо електромеханічну характеристику, що відображає залежність приведенного струму ротора від величини проковзування згідно формули:

$$I'_{2j}(s) = \frac{U_{1j}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{\text{кном}}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_{\text{мног}}}\right)^2}}, \quad (2.19)$$

де U_{1j} - фазні напруги, прикладені до обмоток статора електродвигуна, приймаємо $U_{1j} = 220; 198; 176; 154 \text{ В}$. [17-19].

Зробимо припущення, що сила струму намагнічування електродвигуна має повністю реактивний характер, вираз для електромеханічної характеристики, що описує залежність сили струму статора від величини проковзування, буде виглядати наступним чином:

$$I_{1j}(s) = \sqrt{I_0^2 + I_{2j}'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_{2j}'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)}, \quad (2.20)$$

де I_0 буде змінюватися в залежності від значення величини напруги живлення, згідно з наступним виразом:

$$I_{0j} = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\text{ном}} + X_{\text{мног}})^2}}; \quad (2.21)$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{\text{кном}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кном}}^2}}. \quad (2.22)$$

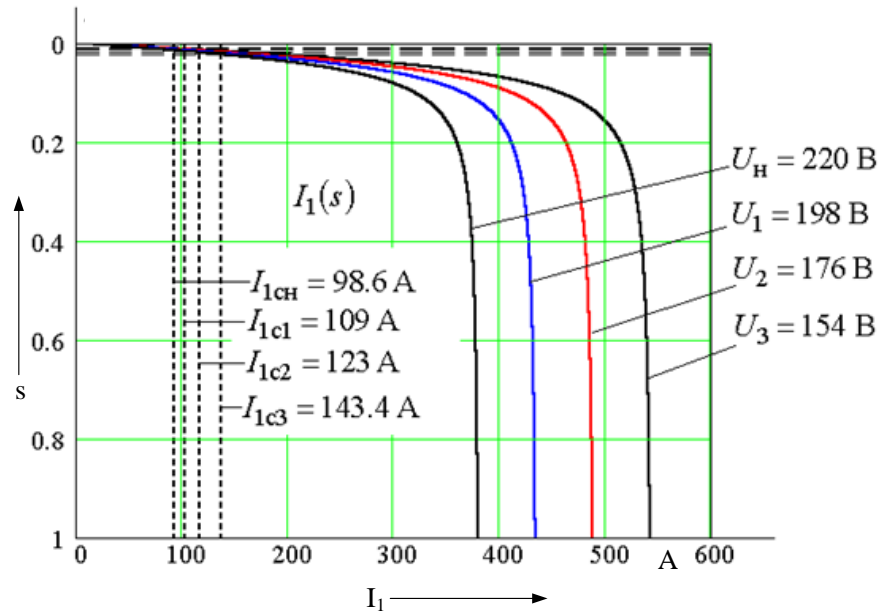


Рисунок 2.3 – Графічні залежності електромеханічних характеристик АД серії 4A250S2Y3

Визначимо МХ електродвигуна згідно наступного виразу:

$$M_j(s) = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_{\text{кном}}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\text{дном}}} \right)^2 \right]}. \quad (2.23)$$

Тоді рівняння навантажувальної характеристики ВМ матиме наступний вигляд:

$$M_c(s) = M_0 + 0,75 \cdot M_{\text{ном}} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}} \right)^2, \quad (2.24)$$

або

$$M_c(s) = M_0 + 0,75 \cdot M_{ном} \cdot \left(\frac{1-s}{1-s_{ном}} \right)^2. \quad (2.25)$$

де M_0 - момент опору тертя в рухомих частинах ВМ. Загально відомо, що втрати тертя визначаються за наступною формулою:

$$P_{mp} = 0,02 \cdot P_{ном};$$

$$P_{mp} = 0,02 \cdot 75 \cdot 10^3 = 1500 \text{ Вт.}$$

Робимо припущення, що втрати тертя не будуть залежати від частоти обертання, тому момент тертя визначиться згідно наступної формули:

$$M_0 = \frac{P_{mp}}{\omega_{ном}};$$

$$M_0 = \frac{1500}{154,89} \approx 10.$$

Сучасні АД проєктуються наступний чином, щоб найбільший ККД досягається при навантаження на електродвигуні на 10-15% менше за номінальне. Електродвигуни розраховують так тому, що більшість із них через стандартну дискретну шкалу потужностей працюють із деяким недовантаженням. Тому ККД при номінальному навантаженні на електродвигуні та навантаженні $p^* = 0,75$ практично рівні між собою, тобто $\eta_{ном} = \eta_{0,75}$ [17-19].

Вид МХ системи повністю залежить від прикладеної змінної напруги до обмоток статора АД.

Сімейство МХ $M_j(s)$ та навантажувальна характеристика механізму $M_c(s)$ представлене на графічних залежностях рисунок 2.4 [17-19].

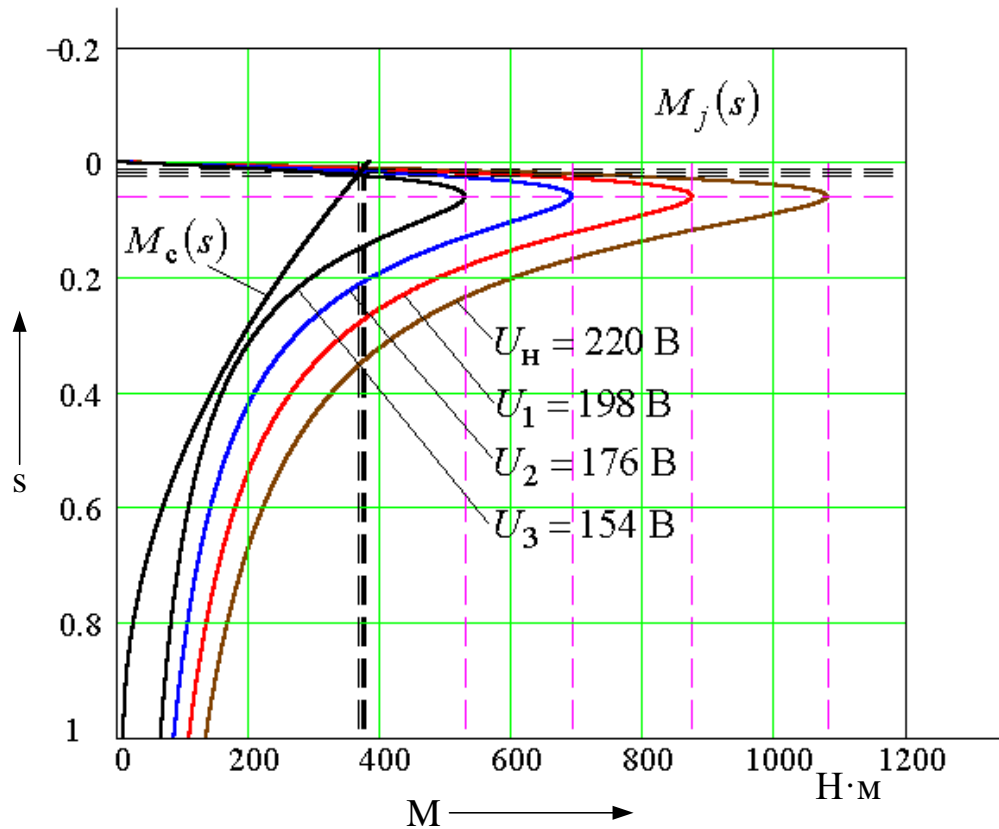


Рисунок 2.4 – Графічні залежності МХ електродвигуна $M_j(s)$ та насоса $M_c(s)$

2.2 Аналіз способів регулювання кутової швидкості електродвигуна

У більшості промислових механізмів для забезпечення досить високої продуктивності електропривода та встановленої якості його роботи необхідно виконувати регулювання кутової швидкості. Під регулюванням кутової швидкості обертання розуміють примусову зміну кутової швидкості електропривода в залежності від встановлених вимог ТП. Регулювання кутової швидкості виконується за допомогою додаткового впливу на приводний

електродвигун; може бути виконано спеціальним автоматичним пристроєм або людиною-оператором.

Найбільшого поширення набули наступні способи регулювання кутової швидкості АД: перемиканням числа полюсів; реостатне регулювання; каскадним увімкненням АД з іншими електричними машинами або перетворювачами; зміною частоти напруги живлення. Для регулювання величини кутової швидкості, крім наведених вище, можуть бути використані також інші способи увімкнення електродвигунів: регулювання зміною напруги, що підводиться до статора, імпульсне регулювання, регулювання за допомогою електромагнітної муфти ковзання та ін.

Способи регулювання кутової швидкості АД [17-19]:

- регулювання кутової швидкості АД перемиканням числа полюсів - з виразу для обрахунку кутової швидкості АД випливає, що кутову швидкість можна регулювати, змінюючи число пар полюсів p , якщо задано частоту мережі живлення f_1 та мало змінюється величина проковзування S :

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - S) = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot (1 - S)}{p}. \quad (2.26)$$

Оскільки p може бути лише цілим числом, то регулювання величини кутової швидкості буде ступінчастим. Такий спосіб регулювання реалізується практично в електродвигунах із короткозамкненим ротором, де перемикання полюсів виконується в обмотці статора, обмотка ротора при цьому автоматично пристосовується до вказаного числа пар полюсів. Принципові схеми приєднання напівобмоток для зміни числа пар полюсів в обмотках зі співвідношенням 2:1 представлено на рисунку 2.5 [17-19].

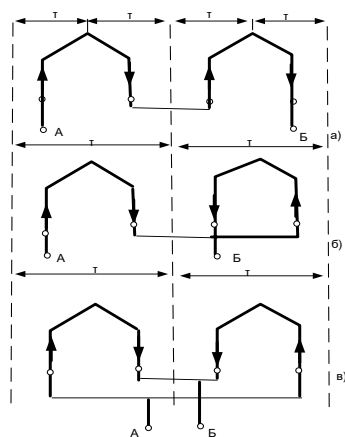


Рисунок 2.5 – Три варіанти принципних схем приєднання напівобмоток для зміни числа пар полюсів в обмотках зі співвідношенням 2:1

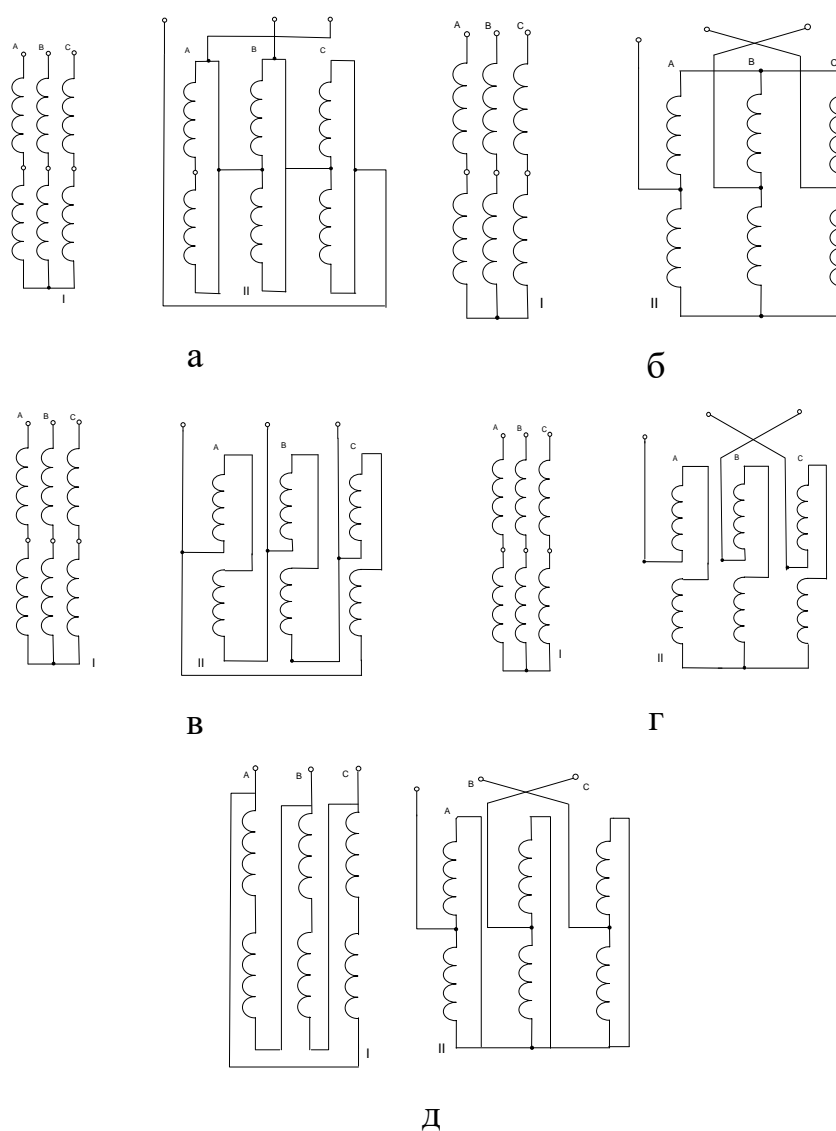


Рисунок 2.6 - Найбільш поширені схеми перемикування підключення обмоток статора

На рисунку 2.6 (а-д) представлено найбільш поширені схеми перемикання підключення обмоток статора. При перемиканні з одного числа пар полюсів на інше зберігається той самий напрямок обертання валу електродвигуна.

На рисунку 2.7 для схеми, приведеної на рисунку 2.6, а, наведені приблизні МХ, які можуть бути використані в приводах з вентильним навантаженням.

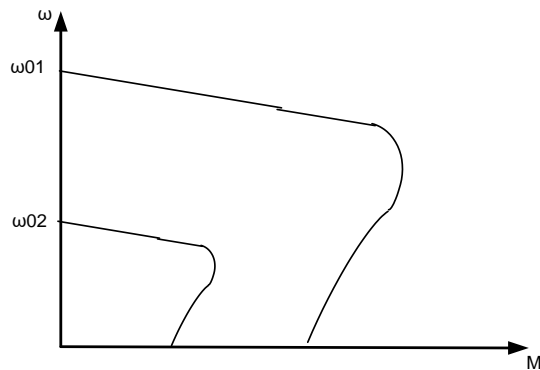


Рисунок 2.7 – Графічні залежності механічних характеристик для схеми рис. 2.6, а у приводах із вентильним моментом навантаження

Якщо використовується схема перемикання, що відповідає рисунку 2.6, б та в, то в даному випадку номінальні моменти, які розвиває електродвигун за одинарного та подвійного числа пар полюсів, відповідно, приблизно однакові, а його МХ матимуть вигляд, представлений на рисунку 2.8.

Перемикання підключення обмоток статора за схемами, наведеними на рисунку 2.6, г, д, дає можливість одержати крутний момент, удвічі вищий при подвійній кількості підключених пар полюсів, якщо виконувати порівняння із одинарною кількістю. Це, в свою чергу, означає, що зі зменшенням номінальної кутової швидкості АД в два рази відповідно зростає номінальний крутний момент (рис. 2.9).

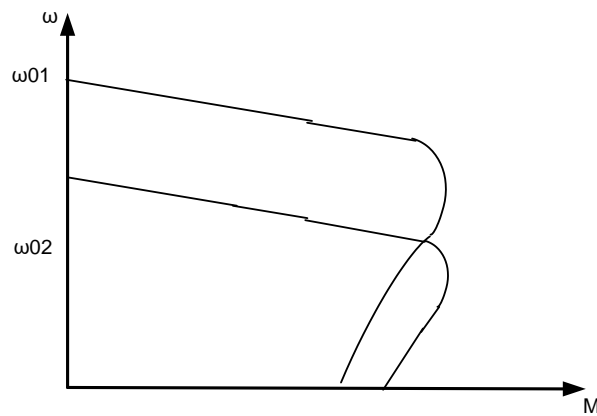


Рисунок 2.8 – Графічні залежності механічних характеристик для схем
рисунка 2.6, б, в

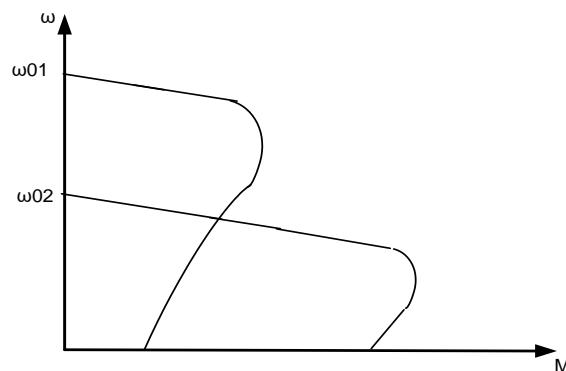


Рисунок 2.9 – Графічні залежності механічних характеристик для схем
рисунка 2.6, г, д

Точність регулювання кутової швидкості визначається статизмом на даній характеристиці та оцінюється величиною проковзування, яке в середньому становить: для багатошвидкісних електродвигунів малої потужності - 0,05, середньої потужності - 0,03, тобто точність виявляється порівняно високою [17-19].

Діапазон регулювання кутової швидкості практично не перевищує 6 до 1 (або 3000 до 500 об/хв).

Як відомо регулювання кутової швидкості перемиканням пар полюсів є ступінчастим, а не плавним. Водночас описаний спосіб регулювання кутової швидкості є досить економним та відрізняється МХ, що володіють великою жорсткістю. Завдяки своїм перевагам електродвигуни із перемиканням полюсів

знаходять застосування там, де не використовується плавне регулювання кутової швидкості, наприклад у металорізальних верстатах із метою зниження кількості механічних передач;

- реостатне регулювання кутової швидкості АД – виконується за допомогою введення резисторів у ланцюг ротора. Плавність регулювання кутової швидкості залежить від числа ступенів резисторів, що підключаються. Регулювання кутової швидкості виконується вниз від основної кутової швидкості. Реостатні характеристики АД, як і в електроприводах постійного струму, вирізняються невисокою жорсткістю, що знижується зі зростанням активного опору у ланцюзі ротора.

При використанні реостатного регулювання кутової швидкості допустимий діапазон не буде перевищувати 1,5~2. В умовах експлуатації рівень напруги мережі живлення також може змінюватися відносно її номінального значення. Зниження рівня напруги призведе до зниження модуля жорсткості характеристики i , відповідно, до ще більшого зменшення діапазону регулювання кутової швидкості. За вентильного навантаження може бути використано трохи більший діапазон регулювання кутової швидкості, приблизно 3~5. Плавність регулювання кутової швидкості тим вища, чим більше число ступенів регулювального резистора [17-19].

Допустиме навантаження тривало працюючого електродвигуна при реостатному регулюванні кутової швидкості визначається незмінним крутним моментом, що завжди рівний номінальному, оскільки номінальному крутному моменту відповідає номінальна сила струм електродвигуна.

Допустима сила струму та відповідно допустимий крутний момент електродвигуна повинен бути знижений відносно до номінального крутного моменту тим більшою мірою, чим нижча кутова швидкість електродвигуна.

Допустимий крутний момент АД із фазним ротором знижується відносно зниження кутової швидкості приблизно до $0,4 M_{\text{ном}}$ згідно із формулою:

$$M_{\text{дон}} \approx M_{\text{ном}} \sqrt{\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}}}. \quad (2.27)$$

Втрати потужності при реостатному регулюванні кутової швидкості складаються із тимчасових втрат, що включають втрати в сталі, і постійних - таких, що не залежать від прикладеного навантаження. За незмінного моменту навантаження та реостатного регулювання кутової швидкості втрати потужності в ланцюзі ротора змінюються пропорційно проковзуванню, а втрати в статорі не залежать від проковзування та залишаються константою за даного моменту навантаження. Основна втрата потужності відбувається в регульовальному резисторі.

Основними недоліками реостатного регулювання кутової швидкості є:

- невисока швидкодія;
- необхідність дискретної зміни активного опору в ланцюзі ротора за допомогою використання силових апаратів, керованих дистанційно або вручну, що в свою чергу дозволяє лише ступінчасте регулювання кутової швидкості та унеможливорює використання замкнутих АСК;
- досить великі втрати енергії.

На сучасному етапі спостерігається тенденція до зниження частоти використання даного виду регулювання кутової швидкості через суттєві недоліки порівняно з іншими методами регулювання кутової швидкості;

- регулювання кутової швидкості за допомогою використання силових напівпровідникових перетворювачів або каскадне регулювання виконується шляхом встановлення силових напівпровідникових перетворювачів між електродвигуном та основним джерелом живлення.

За принципом дії силові перетворювачі поділяються на наступні типи:

- 1) широтно-імпульсні перетворювачі (ШІП), що зв'язують електродвигун постійного струму із джерелом - виконують перетворення постійної напруги живлення ($U_{ip} = const, f_1 = 0$) на постійну регульовану напругу на виході

$(U_2 = \text{var}, f_2 = 0)$;

2) керовані випрямлячі (КВ), що зв'язують електродвигун постійного струму із джерелом змінного струму, частим випадком КВ є випрямляч некерований (В) - виконують перетворення змінної, зазвичай синусоїдальної напруги сталої частоти $f_1 = 50$ сталого діючого значення (наприклад 220В), у постійну регульовану напругу на виході ($U_{2\text{сеп}} = \text{var}, f_2 = 0$);

3) безпосередні перетворювачі частоти (БПЧ), що зв'язують електродвигун змінного струму із джерелом змінного струму – виконують перетворення тимчасової, зазвичай синусоїдальної напруги сталої частоти $f_1 = 50$ постійного реального значення (220 В) у змінну напругу на виході з регульованим реальним значенням та регульованою частотою ($U_2 = \text{var}, f_2 = \text{var}$);

4) автономні інвертори (АІ), що зв'язують електродвигун постійного струму із джерелом постійного струму, класифікуються як інвертори струму та напруги (АІН і АІС) - виконує перетворення постійної напруги живлення ($U_1 = \text{const}, f_1 = 0$) у постійну тимчасову напругу на виході із регульованим реальним значенням та регульованою частотою ($U_2 = \text{var}, f_2 = \text{var}$).

- регулювання кутової швидкості АД зміною рівня напруги – виконується шляхом регулювання рівня напруги, що підводиться до трьох обмоток статора АД, із можливістю виконувати зміну максимального крутного моменту, не змінюючи величини критичного проковзування. В якості пристрою для регулювання рівня напруги може бути використано, наприклад, тиристорний регулятор (ТРН). ТРН є пристроєм, що виконує перетворення рівня напруги мережі живлення в регульований рівень напруги тієї ж, заданої, частоти. У зв'язку із великими втратами на проковзування в асинхронних електроприводах, ТРН знайшли широке застосування для керування електродвигунами із фазним ротором. Використання ж ТРН в електроприводах АД з короткозамкненим ротором можливе лише для формування пуско-гальмівних режимів.

Регулювання кутової швидкості електродвигуна за даного способу

відбувається за рахунок зниження модуля жорсткості MX і здійснюється вниз від номінального рівня кутової швидкості. Плавність регулювання кутової швидкості визначається плавністю зміни рівня напруги. При використанні ТРН кутова швидкість регулюється безступінчато. MX електродвигуна із короткозамкненим ротором при регулюванні рівня напруги на статорі представлено на рисунку 2.10.

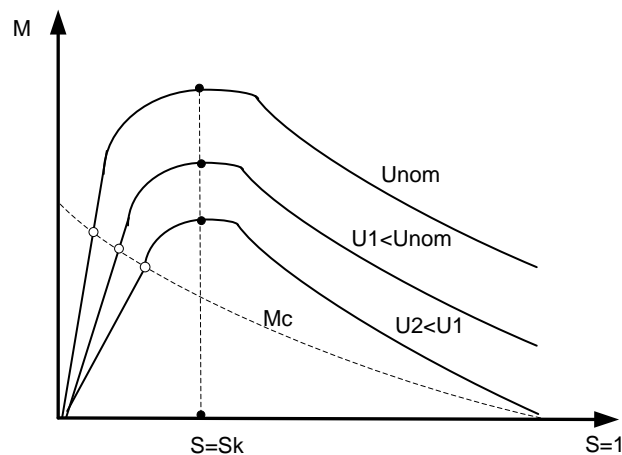


Рисунок 2.10 – Графічні залежності механічних характеристик АД при регулюванні рівня напруги на статорі

Із даних MX (рис. 2.10) випливає, що границі регулювання досить суттєво обмежені навіть у випадку використання вентильного навантаження, але їх можна досить суттєво розширити в замкнутих СК електроприводом. У дійсності внаслідок зниження величини критичного проковзування через вплив параметрів регулювального пристрою границі регулювання кутової швидкості в розімкнених СК знижуються ще більше.

Так як досить великі втрати потужності проковзування в електродвигуні із короткозамкненим ротором виділяються в самому роторі, то допустимий крутний момент різко знижується по мірі зростання величини проковзування, тому даний спосіб регулювання кутової швидкості АД із короткозамкненим ротором можна застосовувати лише в короткочасному режимі роботи та за малої потужності електродвигуна тому що він є економічно недоцільним.

Втрати енергії в електроприводі виходять приблизно рівними або навіть більшими, як і за реостатного регулювання кутової швидкості; втрати потужності проковзування здебільшого виносять із електродвигуна і виділяють у додатковому резисторі, що підвищують допустимий крутний момент. Даний спосіб може бути застосовано при вентильному навантаженні для тривалого режиму роботи, а при $M_c = const$ тільки для короткочасного режиму роботи [17-19].

2.3 Вибір способу регулювання кутової швидкості

Двигуни постійного струму знайшли досить широке застосування завдяки використанню сучасних ТРН, які дають можливість виконувати регулювання кутової швидкості даних електродвигунів шляхом зміни рівня напруги на якорі або в обмотках збудження. Для розширення діапазону регулювання кутової швидкості можуть використовуватись різні сигнали зворотного зв'язку (тахогенератори, напруга на якорі тощо). Однак експлуатація електродвигунів постійного струму спричиняє цілу низку незручностей, пов'язаних із конструктивними особливостями електричних машин даного типу:

- велика маса;
- наявність щітково-колекторного вузла;
- складність конструкції і, як результат, висока ціна;
- необхідність у періодичному обслуговуванні.

Вказані недоліки вимагають істотних витрат під час купівлі електричних машин постійного струму та подальшої експлуатації, а також можуть значно знизити надійність та точність СК вцілому. Необхідно зупиняти виробництво для обслуговування щітково-колекторних вузлів та планувати додаткові планово-попереджувальні роботи, крім того виконувати періодичне продування електричних машин від пилу [20, 21].

Можливість керування частотою обертання короткозамкнених АД було

доведено відразу ж після їхнього створення. Реалізувати дану можливість вдалося лише після появи силових напівпровідникових приладів - спочатку тиристорів, а пізніше транзисторів типу IGBT.

Зараз досить широко реалізується спосіб керування асинхронною машиною, яку сьогодні розглядають не лише із погляду вдосконалення керування ТП, а із погляду економії енергії. У побуті та промисловості використовують електродвигуни як змінного так і постійного струмів [17-21].

Для регулювання кутової швидкості найчастіше використовували електродвигун саме постійного струму. Перетворювач у такому випадку регулював тільки рівень напруги, був простий у конструкції та дешевий. Однак електродвигуни постійного струму мають досить складну конструкцію, критичний в використанні щітковий апарат та порівняно високу ціну.

АД мають досить широке поширення, надійні, мають відносно невелику вартість, досить хороші експлуатаційні якості, але регулятори кутової швидкості через складність систем електронного регулювання частоти напруги живлення коштували досить дорого та не володіли якостями, необхідними для широкого впровадження в промисловість.

Швидке збільшення ринку ЧП для АД не в останню чергу стало можливим у зв'язку з появою нової елементної бази – тобто силових модулів на базі IGBT (або біполярних транзисторів з ізольованим затвором), розрахованих на сили струму до кількох кілоампер, рівень напруги до кількох кіловольт, і рівнів частот комутації – в 30 кГц та вище [12-14].

В залежності від характеру навантаження ЧП повинен забезпечувати різні режими керування електродвигуном, реалізуючи ту чи іншу залежність між швидкістю обертання головного валу електродвигуна та рівнем вихідної напруги.

Режим із лінійною залежністю між напругою та частотою ($U/f = const$) реалізується найпростішими ЧП для забезпечення постійного моменту навантаження та застосовується для керування електродвигунами,

підключеними паралельно або синхронними електродвигунами.

Водночас у разі зниження рівня частоти, починаючи з певного значення, максимальний момент електродвигуна починає знижуватись також. Для підвищення моменту на низьких частотах у ЧП передбачають функцію збільшення початкового значення вихідної напруги, яку використовують для компенсації падіння моменту для навантажень із постійним моментом або збільшення початкового моменту для навантажень із високим пусковим моментом, таких, наприклад, як промисловий міксер [12-14].

Для регулювання електроприводів вентиляторів та насосів застосовується квадратична залежність напруги/частоти ($U/f_2 = const$). Даний режим, так само як і попередній, можливо застосовувати для керування паралельно під'єднаними електродвигунами.

Водночас для підвищення якості керування електроприводом потрібне застосування інших, більш досконалих методів керування. До них відносять метод векторного керування – який забезпечує найбільш ефективне та точне керування.

У результаті для електропривода, що використовується в насосній станції найбільш економічно доцільний спосіб - векторне керування зі зворотним зв'язком за величиною швидкістю. А для забезпечення підтримання заданого рівня тиску та величини витрати також необхідно реалізувати контур регулювання за рівнем тиску [17-21].

2.4 Розробка функціональної схеми керування електроприводом

Першу промислову векторну систему керування (СК) швидкістю обертання електропривода з АД було створено наприкінці 60-х років минулого століття фірмою SIEMENS [22].

У СК виконано безпосереднє вимірювання головного магнітного потоку за допомогою встановлених у зазорі електродвигуна давачів, дія яких заснована на

контури виконано на відміну від не рухомої, в системі координат, що обертається. Тому контур регулювання струмів за квадратурною $i_1\beta$ та прямою $i_1\alpha$ осями містить у собі перетворювачі координат прямого та зворотного каналів, відповідно, (ПКП і ПКЗ). На виходах регуляторів струмів РС α і РС β відбувається порівняння сигналів завдання струмів $i_1\alpha$ та $i_1\beta$, а також реальні значення відповідних струмів.

Вхідні сигнали РС $u_1\alpha$ та $u_1\beta$ є сигналами завдання рівня напруги інвертора. В обертовій системі координат напруги на виході інвертора u_1A , u_1B , u_1C створюють сили струму в статорних обмотках електродвигуна i_1A , i_1B , i_1C , які після перетворення у ПКЗ в обертову систему координат будуть працювати як сигнали зворотного зв'язку за силою струмом.

СК електроприводом виконана в обертовій системі координат та побудована за принципами підлеглого регулювання. Зовнішнім по відношенню до контуру регулювання сили струму, по осі α , є контур налаштування потокозчеплення ротора за допомогою регулятора потоку (РПт). Вихідний сигнал РПт представляє собою сигнал завдання складової сили струму статора відповідно до дійсної осі $i_1\alpha$. На вході РПт порівнюється сигнал завдання Ψ_2 та реальне значення потокозчеплення ротора Ψ_2 , розрахованого за допомогою математичної моделі потоку. Зовнішнім по відношенню до контуру регулювання струму $i_1\beta$ є контур регулювання моменту зі своїм власним регулятором (РМ). На вході РМ порівнюється вихідний сигнал регулятора швидкості (РШ) $M'd$, який задає необхідне значення електромагнітного моменту, та сигнал зворотного зв'язку за моментом M_d , що розраховується за допомогою математичної моделі. Контур регулювання швидкості з регулятором РШ замкнутий за сигналом частоти ω на виході давача швидкості (ДШ).

У запропонованій схемі (рис. 2.11) відхилення впливу перехресних зв'язків, наявних у математичній моделі електродвигуна, забезпечується шляхом використання швидкодіючих контурів РС. Це дає можливість розглядати

підсистему регулювання потокозчеплення ротора як не пов'язану з підсистемою РМ та робить можливим незалежне налаштування потокозчеплення ротора подібно до того, як відбувається регулювання потоку збудження в електродвигуні постійного струму із використанням незалежного збудження. Зокрема, існує можливість попереднього намагнічування електродвигуна, тобто можливість установити магнітний потік до того, як на контур регулювання швидкості буде подано сигнал завдання величини швидкості та коли швидкість електродвигуна, відповідно, дорівнює 0.

Під час розгляду принципу побудови СК передбачалося, що параметри електродвигуна постійні в часі, а параметри математичної моделі потоку точно відповідають параметрам електродвигуна і, відповідно, також залишаються постійними. Проте параметри електродвигуна можуть мати зміни в залежності від зовнішніх причин. Наприклад, активний опір обмоток статора та ротора залежить від рівня температури, яка, в свою чергу, залежить від сили струму, що протікає по обмотках, і від рівня температури навколишнього середовища. Крім того, магнітну систему електродвигуна не завжди можна розглядати як ненасичену, що характеризується сталими значеннями індуктивностей. Розбіжності між зміненими реальними параметрами електродвигуна та незмінними параметрами математичної моделі призводить до відхилення процесів у електродвигуні від аналітичних, не даючи змоги повною мірою використовувати всі переваги векторного керування. Тому необхідне підстроювання математичної моделі до нестабільних параметрів електродвигуна. Це одне із найважливіших завдань, що виникають під час розробки СК. Існує декілька методів вирішення даного завдання. Опишемо два порівняно легких завдання параметричної адаптації, що дають можливість враховувати в математичній моделі потоку зміну активного опору через нагрівання обмоток та насичення магнітної системи електричної машини [12-14, 22, 23].

Для розв'язання першого завдання в електродвигуні передбачається автоматичний контроль рівня температури обмоток за допомогою датчика

температури. Залежно від реального рівня температури опір обмоток розраховує СК на основі спеціальної теплової моделі електродвигуна. За отриманими значеннями в реальному часі відбувається регулювання математичної моделі [22, 23].

2.5 Принцип дії частотного перетворювача із широтно-імпульсною модуляцією

Схема трифазного мостового інвертора (рис. 2.12) складається із трьох плечей із транзисторними ключами. Початок фазної обмотки статора електродвигуна під'єднано до середніх точок кожного із плечей, якщо кінці обмоток статора з'єднані «зіркою», як це показано на рисунку 2.12, або кут трикутника, якщо кінці обмоток з'єднані «трикутником». Схема повинна містити у собі джерело пилкоподібної опорної напруги u_{on} , яке є спільним для всіх трьох фаз. Сигнали керування $u_{1A}^*, u_{1B}^*, u_{1C}^*$ являють собою трифазну систему синусоїдальних напруг, зміщених на кут 120° . Зміна частоти напруги на виході інвертора досягається шляхом зміни частоти сигналів керування, а зміна рівня амплітуди - зміною амплітуди сигналів керування.

На рисунку 2.13 представлено, як формується трифазна напруга на фазах навантаження, з'єднаного в «зірку». На рисунку 2.13 заштрихованими горизонтальними лініями позначено стани сигналів $f_1^* - f_6^*$, а отже, і замкнуті стани ключів 1-6.

Дана залежність від знаків різниць $u_{1A}^* - u_{on}, u_{1B}^* - u_{on}, u_{1C}^* - u_{on}$. Фазні напруги на виході можуть приймати чотири різних рівнів значень: $+(2/3)U_d, +(1/3)U_d, -(1/3)U_d, -(2/3)U_d$. Так, на крайньому лівому проміжку часу (див. рис. 2.12) замкнуті ключі №2, №4 і №6, чому відповідає рівність нулю рівня напруги на виході: $u_{1A} = u_{1B} = u_{1C} = 0$.

На наступному за ним проміжку часу замкнуті ключі №5, №6 та №1 (див.

рис. 2.12). При цьому $u_{1B} = -(2/3) \cdot U_d, u_{1A} = u_{1C} = (1/3) \cdot U_d$. Лінійна напруга між фазами А та В розраховується відповідно до $u_{1AB} = u_{1A} - u_{1B}$.

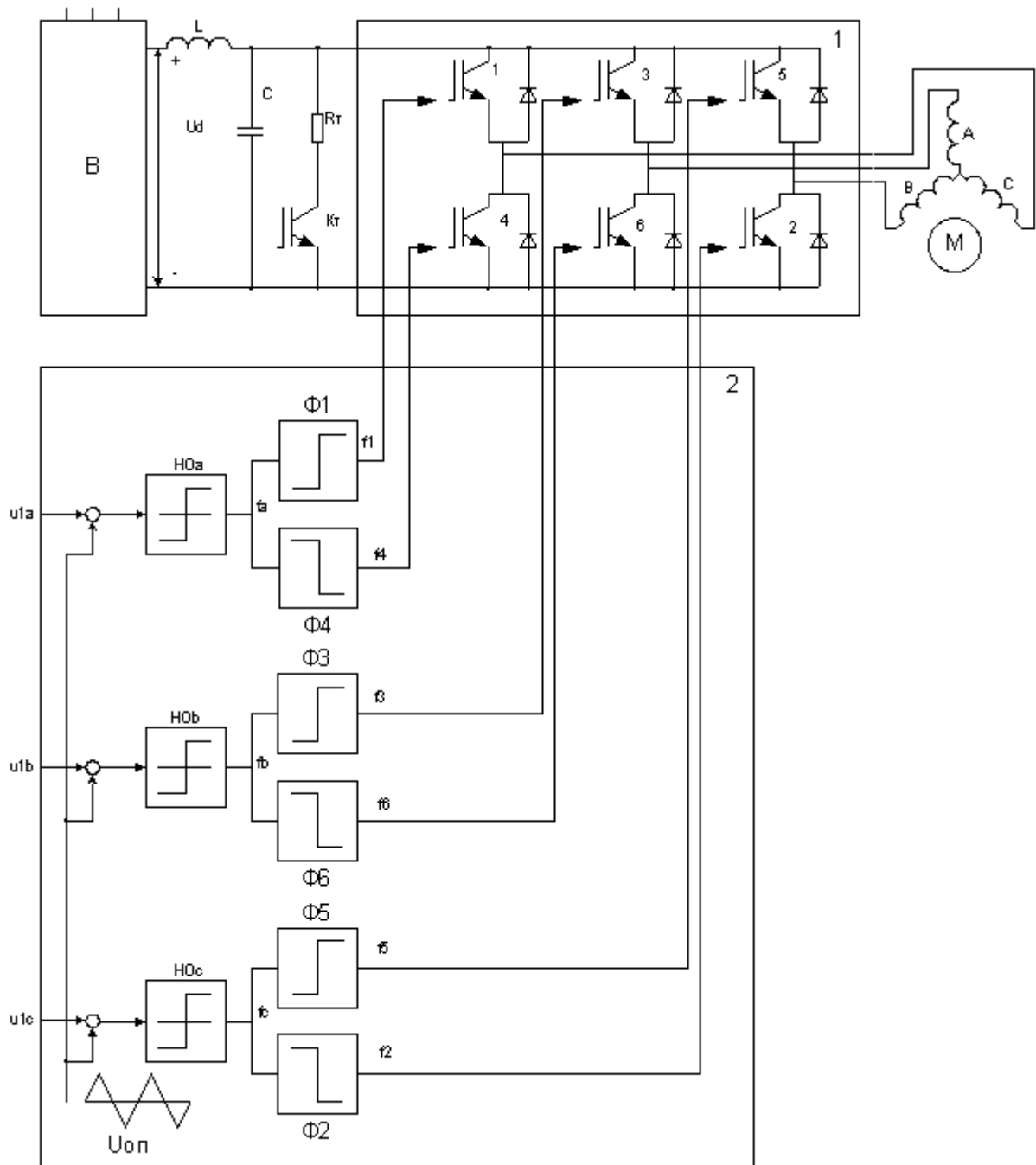


Рисунок 2.12 – Частотний перетворювач із 3-фазним інвертором та ШІМ

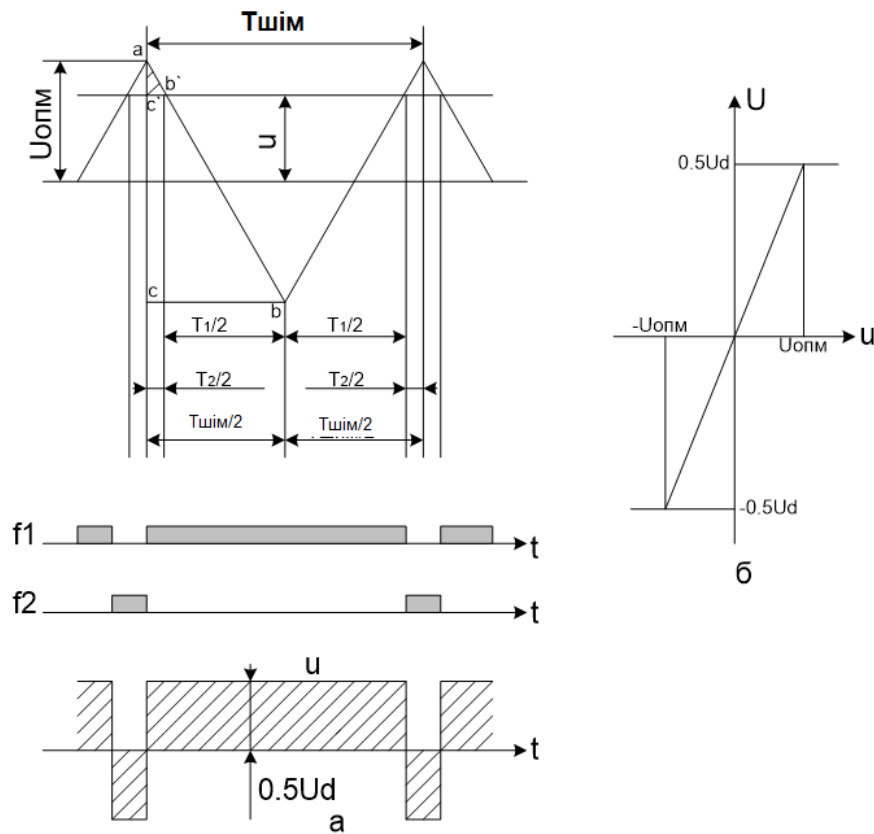


Рисунок 2.13 - Характеристика передаточного коефіцієнта інвертора: а – рівні напруги опорної та заданої; б - регульовальна характеристика інвертора

Необхідно відмітити, що алгоритм роботи запропонованої схеми, так само як алгоритм роботи однофазного інвертора, виключає можливість одночасного замикання обох ключів одного плеча моста. Крім того, у графічних залежностях рівня напруги є ділянки, на яких замкнено одночасно всі парні або всі непарні ключі, внаслідок чого значення рівня напруги на даних ділянках є рівним нулю.

У разі рівності рівнів амплітуди сигналу завдання u^* максимальному значенню рівня опорної напруги $U_{опм}$ величина амплітуди першої гармоніки напруги на виході інвертора бути рівною $0.5 \cdot U_d$ (рис. 2.13).

Для наочності графічну залежність рівня напруги побудовано за того самого співвідношення частоти ШІМ та частоти напруги на виході інвертора $\omega_{0ел}$. Вище написано про вплив високої частоти ШІМ справедливо і для трифазного інверторам [12-14].

Описана схема інвертора з явно вираженою пилкоподібною опорною напругою може бути реалізована як в аналоговій інвертором та ШІМ формі, так і в цифровій формі із використанням мікропроцесорної техніки. Поряд з цим розроблено та використовується алгоритми векторної ШІМ, спеціально орієнтовані саме на мікропроцесорну реалізацію [12-14, 22, 23].

2.6 Висновки до другого розділу

Виконано моделювання системи автоматичного керування ТП фракціонування бензинової суміші. Наведено короткі технічні характеристики насосного обладнання та електродвигуна, що буде використовуватись в ТП фракціонування. Проаналізовано існуючі способи регулювання кутової швидкості обертання електродвигуна. На основі аналізу виконано вибір способу регулювання кутової швидкості АД.

Розроблено функціональну схеми керування встановленим електроприводом. Описано та проаналізовано принцип дії частотного перетворювача із широтно-імпульсною модуляцією, що буде використовуватись для керування АД.

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ФРАКЦІОНУВАННЯ БЕНЗИНОВОЇ СУМІШІ

3.1 Підбір необхідної апаратної частини для технологічного процесу фракціонування бензинової суміші

Для налаштування електроприводу перекачувального насоса вибираємо ЧП фірми Danfoss модель VLT5000 [24].

ЧП фірми Danfoss модель VLT5000 є вдосконаленим та універсальним приводом із простим керуванням. Швидке меню містить усі базові параметри, що необхідні для введення електроприводу в роботу. Загальний вигляд ЧП фірми Danfoss модель VLT5000 представлено на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд ЧП фірми Danfoss модель VLT5000

Наявність вбудованих спеціалізованих функцій робить зручним використання даної моделі VLT5000 на насосних агрегатах або в системах вентиляції, а можливість виконання монтажу «стінка до стінки» та способу охолодження «cold plate» зробляють одно- чи багаторівневу СК компактною та простою функціонально. Можливість під'єднання різних типів датчиків для зворотного зв'язку (наприклад, датчик температури, тиску тощо), робить доступним автоматичне керування ТП (наприклад, підтримання заданого рівня температури чи рівня тиску).

На передній панелі ЧП фірми Danfoss модель VLT5000 є панель

керування, яка представлена на рисунку 3.2.

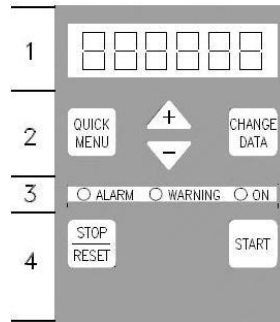


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд панелі керування ЧП фірми Danfoss модель VLT5000

Панель керування ЧП фірми Danfoss модель VLT5000 умовно поділяється на наступні чотири функціональні групи [25]:

- спеціальний 6-розрядний світлодіодний дисплей;
- кнопки для зміни параметрів і зміни функції світлодіодного дисплея;
- лампочки для індикації;
- кнопки для місцевого керування.

Усі параметри на спеціальному світлодіодному дисплеї мають 6-розрядний формат відображення, що дає можливість постійно відображати один елемент робочих параметрів протягом усього часу роботи безперервно. Як доповнення до спеціального дисплея є три індикаторні лампи для відображення ввімкнення мережевого живлення «ON» (або «ВКЛ»), попередження «WARNING» та аварійного сигналу «ALARM». За допомогою панелі керування ЧП можливо безпосередньо налаштувати більшість наборів параметрів ЧП, якщо тільки вказані функції не були запрограмовані як заблоковані за допомогою спеціального вбудованого параметра «018 Блокування зміни даних».

Кнопка «QUICK MENU» використовується для доступу до параметрів, що знаходяться у швидкому меню. Також можливе застосування у випадку, коли не повинно відбуватись зміни значень необхідного параметра.

Кнопка «CHANGE DATA» використовується для регулювання установок параметра. Можливе також застосування для підтвердження зміни встановлених

значень необхідних параметрів.

Трикутні кнопки «+/-» використовуються для вибору параметрів та налаштування необхідних значень. Можуть також застосовуватись у режимі дисплея для вибору відображення реального робочого значення.

Для отримання доступу до всіх встановлених параметрів слід одночасно натиснути кнопки «QUICK MENU» та «+».

Кнопка «STOP/RESET» застосовується для зупинки підключеного електродвигуна або для скидання значень ЧП після вимкнення. Кнопка може бути обрана як «Активна» стан «1» або «Неактивна» стан «0» за допомогою вбудованого параметра «014 Місцева зупинка/скидання». Якщо функція зупинки активна тобто «1», то в режимі відображення дисплей буде блимати.

Кнопка «START» використовується для запуску ЧП фірми Danfoss модель VLT5000. Будучи завжди активною, клавіша «START» не володіє пріоритетом над командою зупинки [24, 25, 26].

У режимі меню більшість параметрів ЧП фірми Danfoss модель VLT5000 може бути налаштовано. Для виконання прокручування параметрів застосовуються саме трикутні кнопки «+/-». У процесі прокручування в режимі меню номери обраних параметрів будуть блимати. Якщо дисплей показує три крапки праворуч, то значення обраного параметра має більше ніж три розряди. Для відображення значення, активізуйте кнопку «CHANGE DATA».

За допомогою кнопки «QUICK MENU» можливо отримати доступ до дванадцяти найважливіших вбудованих параметри ЧП. Після налаштування ЧП в більшості випадків готовий до виконання роботи. Якщо кнопку «QUICK MENU» натиснуто в режимі відображення, то відбудеться вмикання швидке меню. Прокрутка швидкого меню виконується за допомогою використання трикутних кнопок «+/-», зміна значень обраних параметрів виконується за допомогою натискання кнопки «CHANGE DATA» та подальшою зміною величини параметра за допомогою натискання кнопок «+/-».

Для запуску електродвигуна слід натиснути кнопку «Start (або Запуск)».

Встановити число обертів електродвигуна можливо шляхом налаштування вбудованого параметра «003 Місцеве завдання».

Якщо в параметрі «101» обрано режим «Постійний крутний момент» [або режим 1], то ми отримаємо залежність U/f , яка не залежить від навантаження, при якій частота та рівень вихідної напруги зростають зі зростанням навантаження, підтримуючи, таким чином, постійне намагнічування електродвигуна. Якщо навантаження носить квадратичний характер (наприклад, вентилятори або відцентрові насоси), то слід вибрати «Змінний крутний момент знижений» [режим 2], «Змінний крутний момент середній» [режим 3] або «Змінний крутний момент підвищений» [режим 4]. Якщо необхідний вищий момент перекидання, ніж той, що можуть забезпечити три перші режими, то слід вибрати значення «Змінний крутний момент знижений з пуском» [режим 5], «Змінний крутний момент середній пуском» [режим 6] або «Змінний крутний момент підвищений з пуском» [режим 7] [26].

Також існує вибір із двох різних режимів роботи ЧП фірми Danfoss модель VLT5000, у вбудованому параметрі «002» такі як: «Дистанційне керування» [або режим 0] та «Місцеве керування» [режим 1].

У параметрі «020 ручне керування» є можливість перемикання між ручним та автоматичним режимами керування. В автоматичному режимі ЧП керується за допомогою зовнішніх сигналів, тоді як у ручному режимі він керується безпосередньо з блока керування. У разі вибору значення «Не увімкнено» [режим 0], функцію ручного керування буде вимкнено, вибір значення «Увімкнено» [режим 1] дає можливість виконувати перемикання між ручним та автоматичним режимами керування.

Параметр «120 затримка запуску електродвигуна» дозволяє встановити час запізнювання після виконання умов запуску. Після того як час затримки минув, вихідна частота почне зростання до виходу на задане значення.

Параметр «207 час розгону» - це встановлення часу прискорення від частоти 0 Гц до номінальної частоти електродвигуна (або параметр «104 Частота

електродвигуна»).

Параметр «208 час уповільнення» - це встановлення часу переходу від номінальної частоти електродвигуна до частоти рівня 0 Гц.

За допомогою параметра «016 Місцевий реверс» можливо зробити вибір або скасувати виконання функції реверсу на панелі керування ЧП. Кнопку можливо використати тільки в тому випадку, якщо параметр «002 Місцеве/дистанційне керування» встановлено в значення «Місцеве керування» [режим 1], а параметр «013 Місцеве керування» - «Місцеве керування і розімкнута система» [режим 1] або «013 Місцеве керування» через параметр «100».

У параметрі «018 Блокування зміни даних» можливо виконати блокування будь-якої зміни параметрів за допомогою використання кнопок керування. Якщо вибрано «Заблоковано» [режим 1], то змінювати величини параметрів не можливо; однак, ще можливе регулювання рівнів параметрів через послідовний канал зв'язку.

Параметр «100 Конфігурація» використовується для вибору конфігурації, до якої повинен бути адаптований встановлений ЧП. Це спрощує адаптацію до встановленої прикладної задачі, до того ж невикористані в даній конфігурації параметри будуть приховані (тобто не активні). Якщо ми вибираємо параметр «Регулювання швидкості без зворотного зв'язку» [режим 0], то буде виконуватись нормальне регулювання швидкості обертання (без сигналу зворотного зв'язку), але із використанням автоматичної компенсації проковзування та навантаження, забезпечуючи сталість швидкості обертання при зміні величини навантаження. Компенсація буде мати вплив, але за необхідності може бути відключена в параметрах «134 Компенсація навантаження» та «136 Компенсація проковзування». Якщо ми виберемо «Регулювання швидкості зі зворотним зв'язком» [режим 1], то буде забезпечуватись підвищена точність швидкості обертання. Слід додати сигнал зворотного зв'язку, а в групі параметрів «400 Спеціальні функції» повинен бути

налаштований спеціальний ПІД-регулятор. Якщо ми виберемо «Регулювання процесу зі зворотним зв'язком» [режим 3], то буде активовано внутрішній регулятор процесу, що забезпечить точне керування процесом за допомогою використання сигналів зворотного зв'язку (СЗЗ). СЗЗ може бути встановлений в одиницях виміру заданого ТП або у відсотках. Слід додати СЗЗ процесу та налаштувати спеціалізований регулятор процесу в групі параметрів «400 Спеціальні функції». Якщо змонтовано плату DeviceNet та в параметрі «904 Варіанти» обрано один із двох варіантів - «20/70» або «21/71», то режим регулювання процесу зі зворотним зв'язком не буде виконуватись.

Використовуючи режим швидкого запуску, можна швидко та коректно виконати монтаж ЧП, представлений на рисунку 3.3 [24-26].

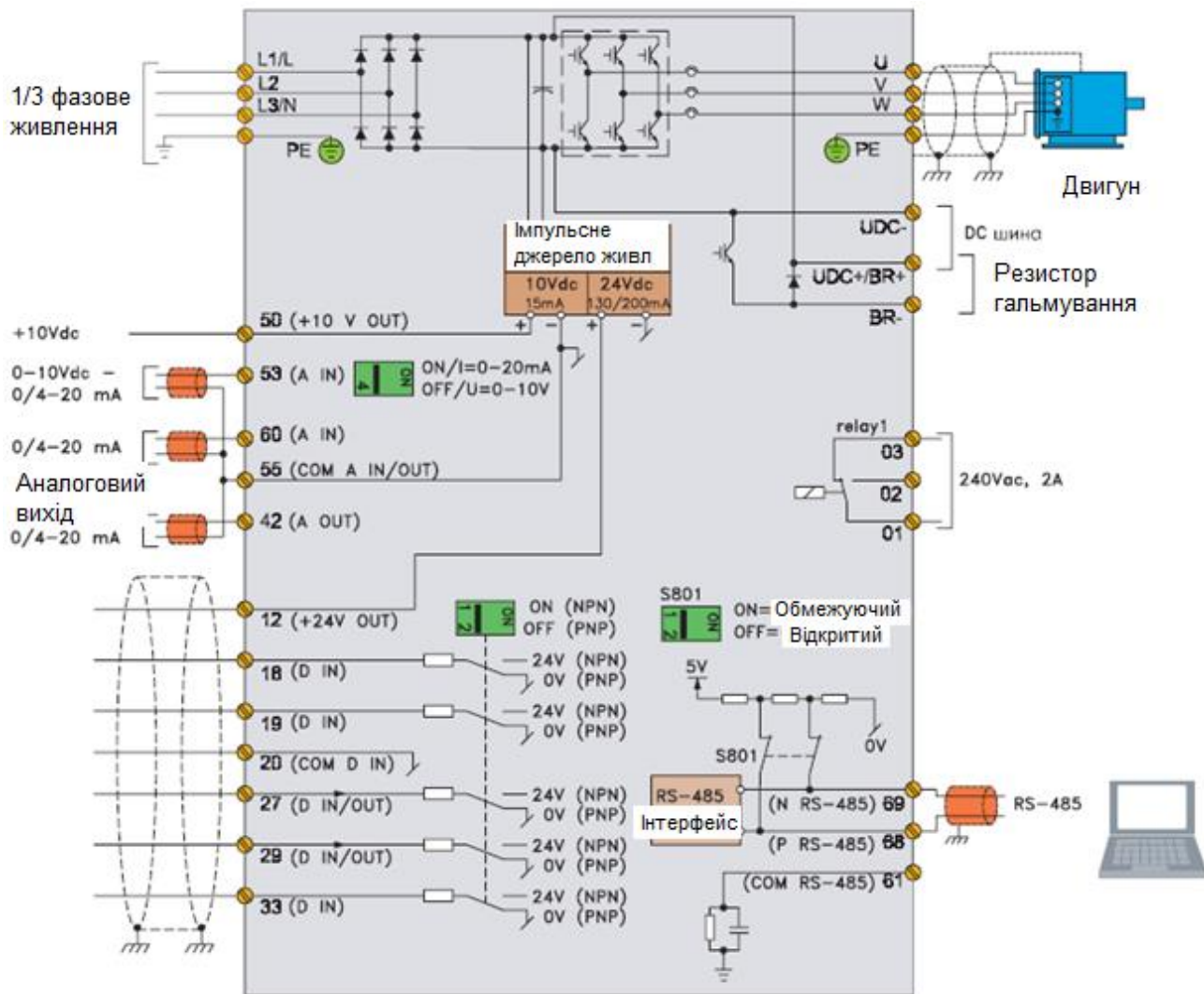


Рисунок 3.3 – Схема механічного монтажу ЧП

Для виконання електричного монтажу (підключення) необхідно під'єднати мережу живлення до клем живлення ЧП, тобто до клем 91, 92, 93, а провід заземлення - до клем 95. Екранований/броньований кабель від електродвигуна потрібно під'єднати до клем електродвигуна на ЧП, тобто до клем U, V, W (рис. 3.3). Також потрібно зняти захисну кришку під передньою панеллю керування та встановити перемичку між клемами 12 та 27 (рис. 3.3) [26].

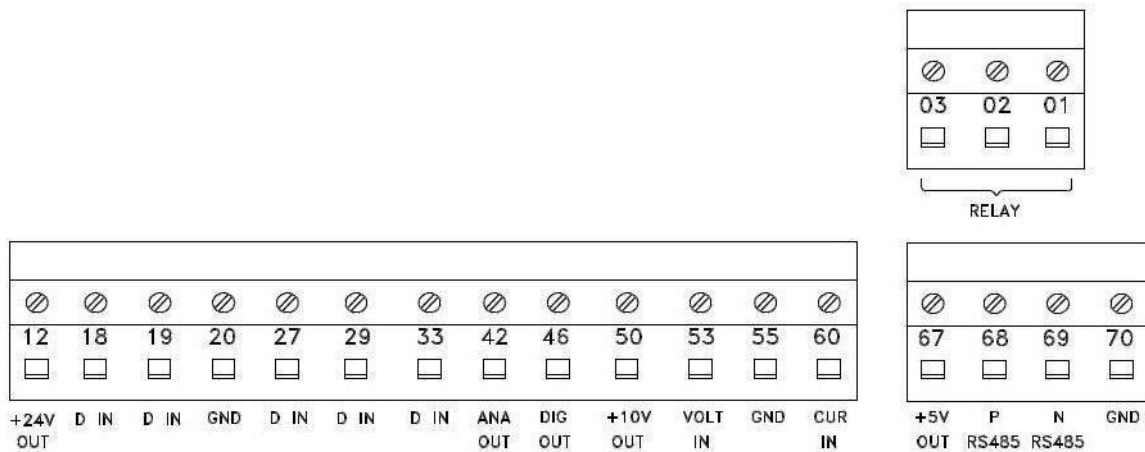


Рисунок 3.4 – Схема електричного монтажу (підключення) ЧП

Пояснення функцій клем для виконання електричного монтажу (підключення) наведено в додатку В, таблиця В.3.

Підбір давача рівня температури

Компанія ABB Instruments [27] пропонує досить широкий асортимент надійних давачів рівня температури, які здатні витримувати важкі промислові умови. Для вимірювання рівня температури будемо застосовувати спеціалізований давач рівня температури призначений для застосування в особливо важких умовах, які характерні саме для установок нафтовидобутку, зокрема морського, транспортування нафти та ТП хімії, нафтохімії та металургії (рис. 3.5).

Конструкція головки давача рівня температури забезпечує підвищений захист від впливу навколишнього середовища та випускається в трьох варіантах:

- з вбудованим перетворювачем сигналу;
- з блоком керамічних клем;
- з вбудованим перетворювачем сигналу та РК-дисплеєм.

В якості температурного давача використовується: або термометр опору Pt100 (вимірювання рівня температури до 600°C) або термопара типу К (Ni-CrNi) (рівень до 1100°C) [28].



Рисунок 3.5 – Загальний вигляд давача рівня температури серії Heavy Duty

Підбір давача рівня тиску

В якості давача рівня тиску ми виберемо перетворювач рівня тиску фірми Cerabar M модель PMC41/45 (рис. 3.6) [29].



Рисунок 3.6 – Загальний вигляд перетворювача рівня тиску Cerabar M
модель PMC41/45

Перетворювачі рівня тиску фірми Cerabar M [29] призначені для вимірювання рівня абсолютного й відносного тиску в парах, газах, рідинах та, навіть, пилу. Завдяки модульній концепції конструкції давач рівня тиску Cerabar M може бути використаний в різних галузях промисловості.

Точність давача рівня тиску Cerabar M:

- довготривала стабільність нижче ніж 0,1%/рік;
- похибка вимірювання менше ніж 0,2% від встановленого діапазону вимірювання (нелінійність менше ніж 0,1%).

Підготовлений для вимірювання рівня тиску за SIL 2 відповідно до ІЕС 61508/ІЕС 61511 [30, 31].

Встановлені давачі:

- п'єзорезистивний давач із металевою діафрагмою для діапазону вимірювання до 400 бар;
- суха ємнісна керамічна комірка (Ceraphire®) для діапазону вимірювання небільше 40 бар, стійкість до перевантаження, вакууму, виникнення зворотного тиску.

Вихідний сигнал струмовий в робочому діапазоні: або 4 - 20 мА, або 4 - 20 мА із мережами HART, PROFIBUS PA.

Давач рівня тиску Cerabar M виготовляється в корпусі з нержавіючої сталі для забезпечення всіх гігієнічних вимог фармацевтичної чи харчової промисловості. Виконання в алюмінієвому корпусі ідеально підходить для промислового виробництва [29]

3.2 Програмна частина ТП фракціонування бензинової суміші

3.2.1 Опис використовуваних програмних засобів для ТП фракціонування бензинової суміші

Використання програмованих логічних контролерів (ПЛК) та спеціалізованих ЕОМ в автоматизації ТП передбачає використання

спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ), необхідного для при розробці рішень завдань автоматизації. Необхідно створити програму для ПЛК, на який будуть покладені функції контролю та безпосереднього керування ТП. Далі необхідно розробити так званий людино-машинний інтерфейс (НМІ), що буде забезпечувати необхідний зв'язок верхнього рівня SCADA-системи із ПЛК та відображати візуалізацію ТП на моніторах для людини-оператора.

Більшість фірм-виробників ПЛК [32-40] постачають і спеціалізоване ПЗ для створення програм ПЛК, яке носить назву засоби програмування. В нашому проєкті будемо використовувати спеціалізоване середовище програмування ПЛК типу RSLogix 5000 фірми Rockwell Automation, що дасть можливість отримати повну сумісність апаратної та програмної частин СК [41-43].

Верхній рівень SCADA-системи буде створюватись в окремому середовищі програмування. Завданням є розробка спеціального графічного інтерфейсу, призначеного для взаємодії між АСК та людиною - тобто НМІ. Для зручності використання виберемо в якості НМІ-сервер спеціалізоване середовище RSView 32 фірми Rockwell Automation [44, 45].

3.2.2 Опис спеціалізованого середовища програмування RSLogix 5000

Програмний продукт RSLogix 5000 підтримує архітектуру ControlLogix та являє собою засіб програмування ПЛК типу Logix5000 [41-43].

Стандарт мов програмування IEC1131-3 [46] описує безліч властивостей ПЛК, включно із операційною системою (ОС), визначенням даних, мовами програмування та комплектом вбудованих інструкцій.

У IEC1131-3 [46] компоненти класифіковані за категоріями як обов'язкові та необов'язкові або додаткові. Внаслідок цього класифікація IEC1131-3 [46] надає мінімальний функціональний набір, який може бути розширено за необхідності для забезпечення вимог кінцевого користувача. Для досягнення даних вимог кожен розробник АСК може використовувати різні компоненти специфікації та надавати різні варіанти розширення.

ОС ПЛК Logix5000 з пріоритетною багатозадачністю відповідає визначенню стандарту IEC1131-3 [46]. У стандарті IEC1131-3 [46] ОС ПЛК може містити нуль або більше завдань, які можуть виконувати одну або більше програм, кожна з яких складається із однієї або більше функцій чи підпрограм. Відповідно до стандарту IEC1131-3 [46], кількість компонентів кожної з цих категорій буде залежати від конкретної реалізації. ПЛК типу Logix5000 підтримують безліч завдань, кожне із яких може складатись із безлічі програм з необмеженим числом підпрограм чи функцій. Стандарт IEC1131-3 [46] надає можливість виконати класифікацію різних способів виконання завдань. Завдання можуть бути визначені як періодичні, засновані на події або безперервні. Безперервні завдання не потребують планування, вони можуть займати весь вільний час ЦПУ, коли інші завдання будуть зупинені.

Періодичні завдання працюють згідно до плану, що заснований на повторі через певний заданий проміжок часу. Специфікація стандарту IEC1131-3 [46] не визначає базового часу для конфігурації періодичного завдання. Описуване стандартом IEC1131-3 [46] завдання, що засноване на певній події, буде запускатись у випадку виявлення висхідного фронту сигналу за заданим входом. ПЛК Logix5000 підтримують або безперервні або періодичні завдання. Крім того, період для періодичного завдання може бути налаштований, з мінімально можливим значенням від $1 \cdot 10^{-3}$ сек.

Згідно зі специфікацією стандарту IEC1131-3 [46] доступ до пам'яті надається за допомогою створення так званих іменованих перемінних. Імена перемінних за стандартом IEC1131-3 [46] повинні складатися з неменше як 6 символів (пакет програмування RSLogix5000 підтримує щонайменше 1 символ [41-43]), починатися завжди із символу підкреслення «_» або ж літери латинського алфавіту (A-Z) та далі містити будь-яку кількість символів, включно із символом підкреслення «_», цифрами (0-9) або літерою латинського алфавіту (A-Z). Додатково, малі латинські літери можуть підтримуватися в якості рівнозначних символів (A=a, B=b, ..., Z=z). ПЛК типу Logix5000 забезпечують

повну сумісність з даним визначенням, підтримують опцію використання малих літер та загальну довжину імен перемінних до 40 символів.

Змінні за стандартом IEC1131-3 [46] можуть бути визначені як доступні для всіх програм у межах ресурсу або ПЛК або в якості обмеженого доступу, який надають лише підпрограмам або функціям усередині однієї програми. Під час передавання даних між безліччю ресурсів або ПЛК шлях доступу можна налаштовувати для визначення місця розташування даних усередині всієї системи. ПЛК типу Logix5000 будуть забезпечувати сумісність із даним стандартом [46], надаючи можливості для визначення ділянок даних програм, ділянок даних ПЛК та можливості для налаштування шляхів доступу до даних під час використання механізму вироблених/споживаних даних.

Представлення перемінних у фізичній пам'яті за специфікацією стандарту IEC1131-3 [46] визначається використанням будь-яких елементарних типів даних або додатково визначених типів даних, які створюються як групи із безлічі даних різних стандартних елементарних типів. ПЛК типу Logix5000 підтримують використання елементарних типів даних - BOOL (Boolean, 1 біт), SINT (Small Integer, 8-бітове ціле), INT (Integer, 16-бітове ціле), DINT (Double Integer, 32-бітове ціле) та REAL (число з плаваючою комою згідно із IEEE) [46]. Крім того, підтримуються похідні типи даних за допомогою створення визначених користувачем масивів чи структур.

Специфікація стандарту IEC1131-3 [46] визначає п'ять різних мов програмування та стандартний набір загальних елементів. Усі мови визначено як необов'язкові, але, щонайменше, одна має підтримуватися для задоволення вимог сумісності згідно із стандартом IEC1131-3. Компоненти мови програмування згідно із стандартом IEC1131-3 [46] визначені наступним чином:

- загальні графічні елементи;
- загальні елементи мови;
- інструкції (або Instruction List - IL);
- елементи релейно-контактної логіки (або Ladder Diagram - LD);

- елементи функціональних блоків (або Function Block Diagram - FBD);
- елементи функціональних схем (або Sequential Function Chart - SFC);
- елементи структурованого тексту (або Structured Text - ST) [46].

ПЛК типу Logix5000 [41-43] та пакет програмування RSLogix5000 [47] підтримують як загальні елементи мови так і елементи релейно-контактної логіки - LD. Крім того, ще використовується формат імпорту/експорту ASCII, заснований на мові структурованого тексту - ST.

3.2.3 Опис SCADA пакету RSView 32

RSView 32 - це пакет програмного забезпечення (ППЗ), що працює на базі операційної системи Microsoft® Windows® [48], призначений для створення прикладних програм зі збору даних, виконання оперативного контролю та керування [44, 45]. ППЗ RSView 32 надає простий інтерфейс для Microsoft® Windows® [48] з усіма його функціональними можливостями та характеристиками, що необхідні для ефективного контролю та керування підключеним обладнанням та ТП загалом. Разом із елементами керування ActiveX серії RSTools™ [44, 45] та рештою комплексного сімейства продуктів Rockwell Software [49] ППЗ RSView 32 забезпечує максимальну гнучкість під час контролю та експлуатації СК. ППЗ RSView 32 легко інтегрується із іншими програмними продуктами фірм Rockwell Software, Microsoft та іншими сторонніми продуктами, завдяки підтримці даних технологій, як ActiveX, OLE, ODBC, VBA, OPC і DDE [48].

Характерними рисами ППЗ RSView32 є наступні [44, 45]:

- сумісність із продуктами Microsoft, RSI та ПЗ інших фірм-виробників;
- інтегроване, компонентне ПЗ для моніторингу та керування як механізмами так і ВМ та ТП загалом;
- багаторазово використовувані та з можливістю налаштування елементи керування ActiveX, які безпосередньо відображаються на НМІ;
- досить гнучка розширювана архітектура, що дає можливість додавати

необхідні розширення: RSView32Messenger, RSView32 TrendX, RSView32 SPC, RSView32 RecipePro та RSLadder.

- мережеві інтерфейси, що підтримуються: EtherNet/IP, DeviceNet, ControlNet, DH+, а також інші мережі, для яких доступне використання серверів OPC.

3.3 Розробка програмних засобів керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші

Програмування ПЛК фірми Allen-Bradley виконується в спеціально розробленому середовищі RSLogix5000 [41-43]. У ньому налаштовують блоки вводу/виводу, ПЛК, створюють програму керування на будь-якій з мов, що підтримуються (релейна логіка LD, структурований текст ST, функціональні блоки двох видів FBD та SFC), створюють перемінні для обміну даними із підключеними модулями вводу/виводу та для оперування отриманими даними. Зв'язок ЕОМ людини-оператора із ПЛК виконується за допомогою використання спеціального комунікаційного пакета RSLinx, який містить у собі набір драйверів для зв'язку різними протоколами та мережами. Створення програми відбувається в наступній послідовності:

- створення загального проєкту;
- виконання конфігурації модулів вводу/виводу;
- створення необхідних перемінних;
- налаштування логіки проєкту;
- виконання завантаження створеного проєкту на ПЛК;
- виконання контролю стану проєкту.

3.3.1 Створення загального проєкту

Створення загального проєкту відбувається в наступній послідовності: Спочатку вибір пункту File→New для створення нового проєкту, потім

визначення проекту.

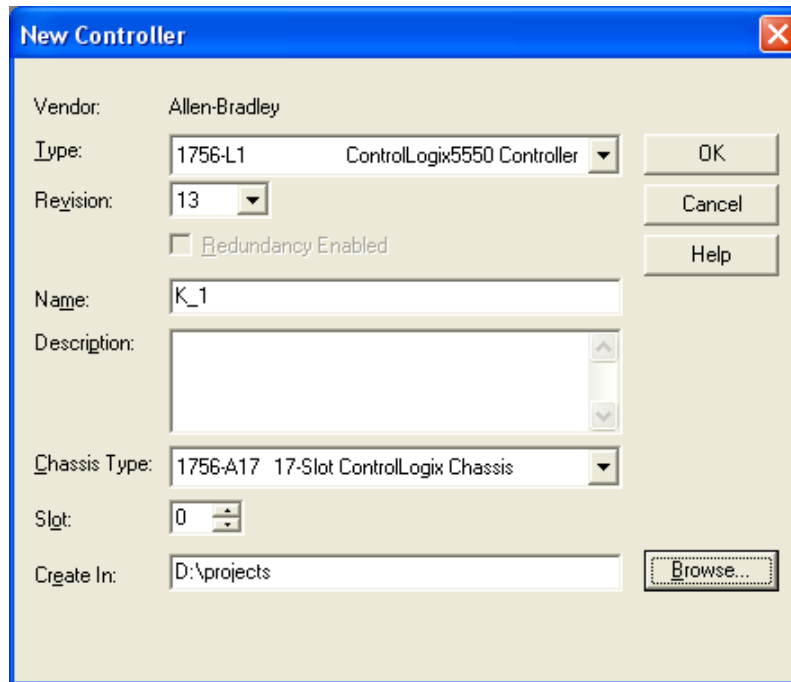


Рисунок 3.7 – Загальний вигляд вікна створення проекту

У вікні, що з'явилося, вводимо ім'я створюваного проекту (наприклад, K_1), тип ПЛК, що використовуватиметься (1756-L1), тип шасі (1756-A17), номер слота в якій встановлено ПЛК (0), шлях збереження всієї програми.

Після заповнення всіх вказаних полів натискаємо кнопку ОК. З'являється вікно планувальника завдань для ПЛК (рис. 3.8).

У даному вікні (рис. 3.8) можна створювати завдання, програми, підпрограми ПЛК, налаштовувати блоки вводу/виводу [41-43].

3.3.2 Виконання конфігурування модулів вводу/виводу

Для того щоб додати в проєкт новий модуль, у контекстному меню папки I/O Configuration вибираємо пункт New Module. У вікні каталогу модулів (див. рис. 3.9), що з'явилося, вибираємо необхідний модуль та натискаємо ОК.

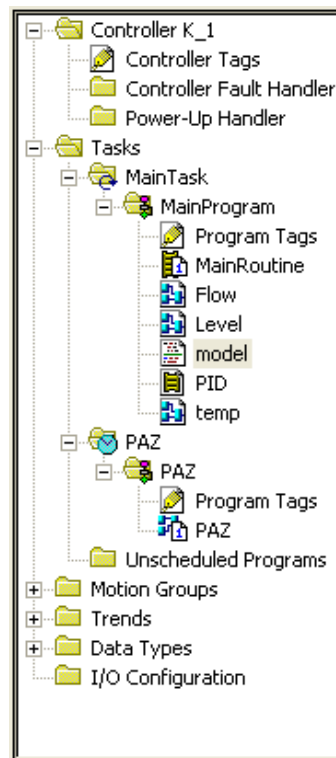


Рисунок 3.8 – Загальний вигляд вікна планувальника завдань для ПЛК

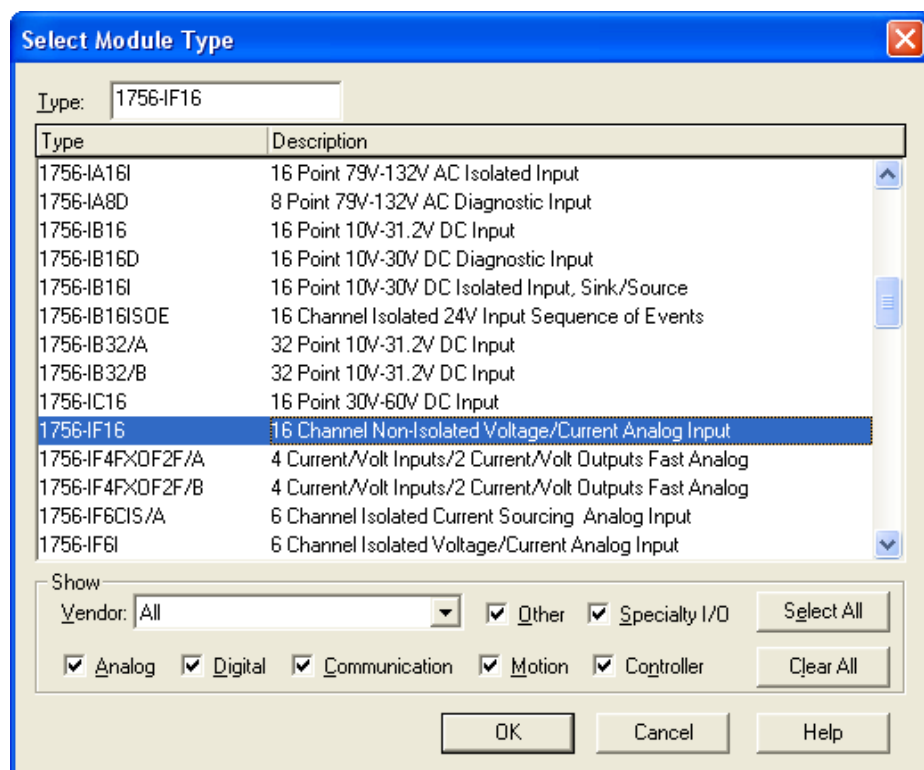


Рисунок 3.9 – Загальний вигляд вікна вибору модулів вводу/виводу

Далі, у вікні, що з'явилося (рис. 3.10) вводимо ім'я модуля вводу/виводу, номер слота в шасі тощо [41-43].

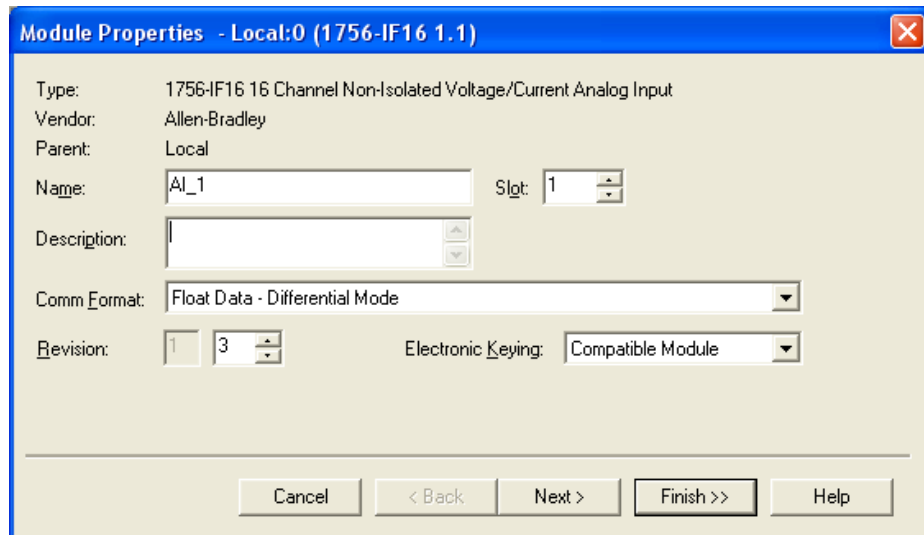


Рисунок 3.10 – Загальний вигляд вікна створення модуля вводу/виводу

Для того, щоб виконати налаштування обраних модулів вводу/виводу на сигнал за силою струму або величиною напруги, існує меню більш повного налаштування модулів.

Після вибору модуля вводу/виводу, з'являється значок з його ім'ям у папці I/O Configuration (див. рис. 3.8). Заходимо в дану папку, виділяємо потрібний модуль вводу/виводу і, натиснувши праву кнопку миші, вибираємо меню Properties. У вікні, що з'явилося, переходимо на закладку Configuration. Потім у полі Input Range (для модуля введення) або Output Range (для модуля виведення) вибираємо необхідний тип сигналу. Якщо сигнал за силою струму, то вибираємо його вхідний/вихідний діапазон в межах від 0 до 20 мА. Якщо інформаційний сигнал – рівень напруги, то також виконуємо вибір стандартних діапазонів. Потім у полі Scaling присвоюємо нижньому та верхньому рівням отриманого сигналу інженерні значення, які будуть надсилатися в перемінну. Наприклад, для рівня вхідного сигналу в 4 мА відповідатиме значення перемінної - 0, а рівню вхідного сигналу в 20 мА - значення перемінної - 55. Мінімальне та максимальне інженерне значення вибирається відповідно до діапазону вимірювання давача, що підключений. Такий вибір виконується для всіх каналів даного модуля вводу/виводу (рис. 3.11).

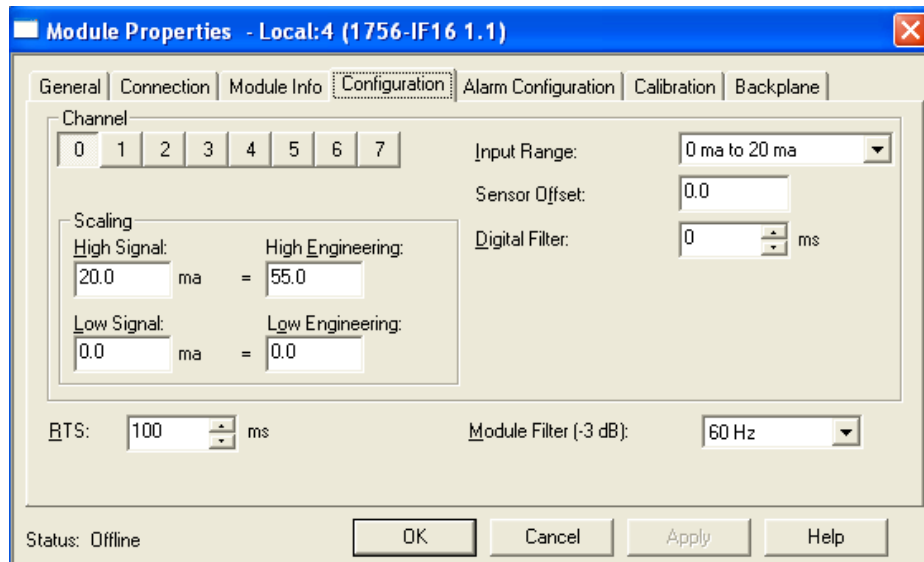


Рисунок 3.11 – Виконання налаштування вхідного сигналу по силі струму

На закладці Alarm Configuration (рис. 3.12) виконується встановлення меж нижнього та верхнього рівнів сигналу. Тобто якщо у нас вхідний сигнал змінюється в межах від 0 до 20 мА, а ми вкажемо мінімальне обмеження 4 мА, то під час подачі сигналу менше ніж рівень 4 мА, в інженерне значення буде виконуватись надсилання значення нуль [41-43].

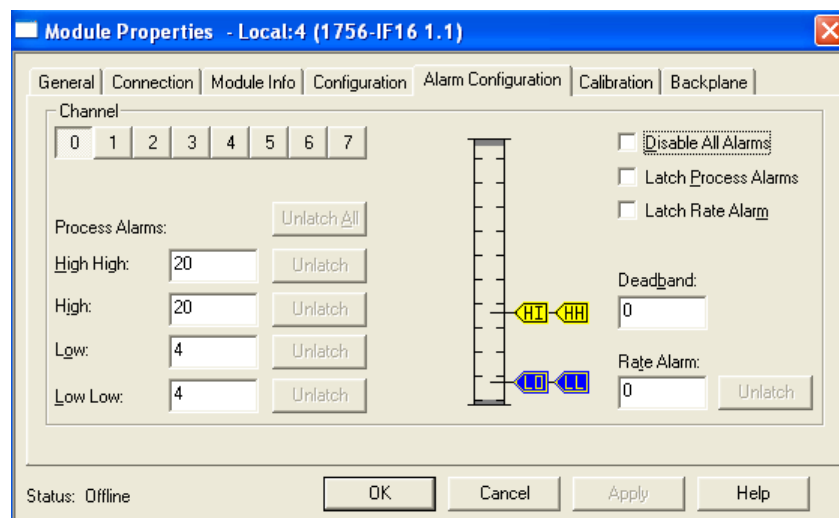


Рисунок 3.12 – Виконання налаштування меж діапазону сигналів

Важливим параметром під час налаштування модулів вводу/виводу є так званий час Requested Packet Interval (RPI) або час, за який модуль вводу/виводу повинен відповісти на запит від ПЛК. Якщо протягом вказаного часу відповіді

від модуля немає, то видається сигнал про помилку зв'язку (рис. 3.13).

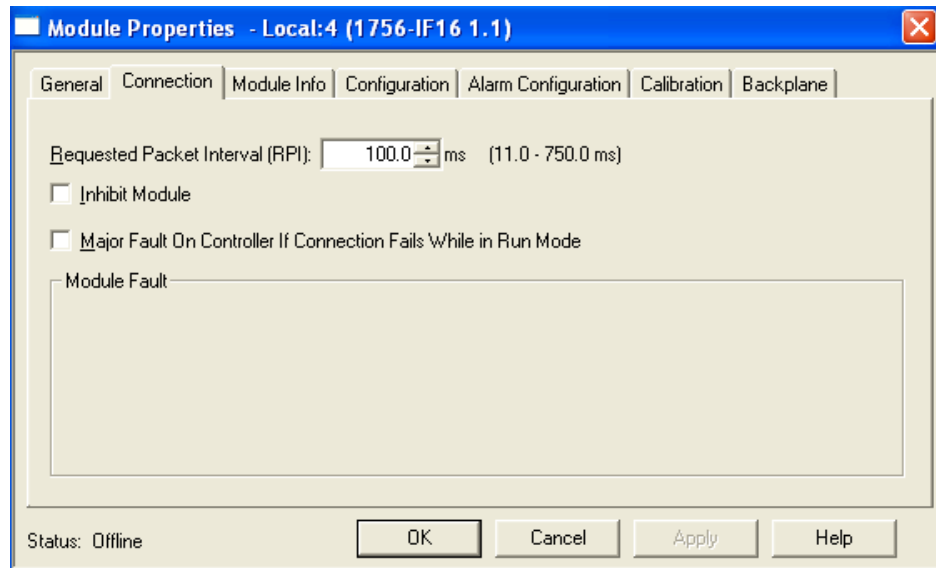


Рисунок 3.13 – Виконання налаштування часу RPI

3.3.3 Створення необхідних перемінних

Середовище RSLogix 5000 підтримує п'ять типів даних [41-43]:

- булевий тип даних (або BOOL), з діапазоном логічний 0 та логічна 1;
- ціле число (або INT), з діапазоном від -32768 до 32767;
- коротке ціле число (або SINT), з діапазоном від -128 до 127;
- подвійне ціле число (або DINT), з діапазоном від -2147483648 до 2147483647;
- дійсний тип чисел (або REAL), з діапазоном від $3,402823E+38$ до $-1,1754944E-38$ (від'ємні значення) або від $1,1754944E-38$ до $3,402823E38$ (позитивні значення), а також 0 [41-43].

Також можливо створювати перемінні-масиви із різним типом даних та, відповідно, різних розмірностей.

Для створення перемінної потрібно виділити папку або Controller Tags або Program Tags, в залежності від того, глобальну або локальну перемінну необхідно створити, потім натиснути праву кнопку миші та в контекстному меню, що сплигло, вибрати пункт New Tag. У вікні, що з'явилося, вводимо ім'я перемінної, його вид і тип даних (рис. 3.14).

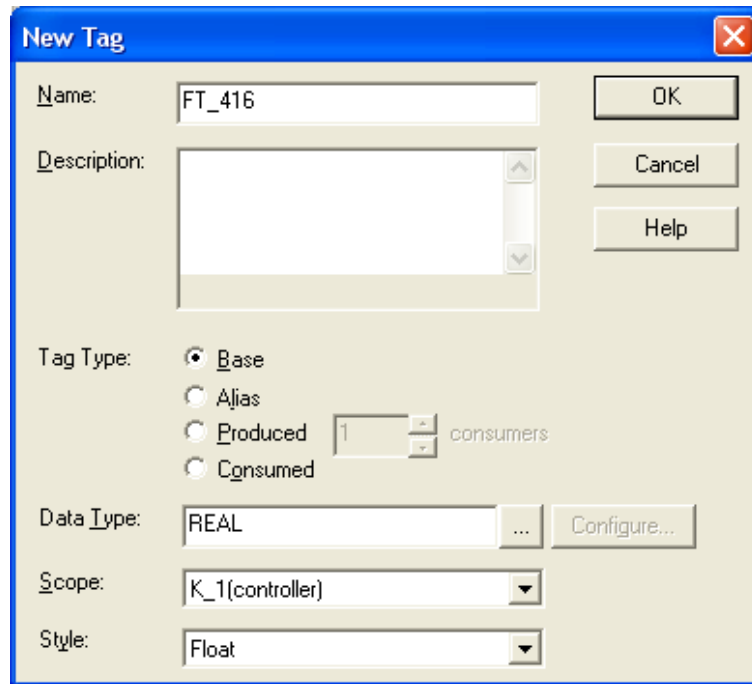


Рисунок 3.14 – Загальний вигляд вікна для створення перемінних

3.3.4 Налаштування логіки проекту

Під час створення проекту ПЛЗ автоматично створює головну задачу або MainTask, програму MainProgram та поле налаштування логіки MainRoutine. Вони будуть відображатись у вигляді папок [41-43].

Будь-яка логіка в MainRoutine буде виконана щоразу, коли виконується основна MainProgram. Можна використовувати MainRoutine для виклику своїх програм (процедур) у межах MainProgram.

У нашому проєкті буде створено дві задачі: MainTask та ПАЗ (PAZ)

У задачу MainTask будуть входити шість наступних процедур: MainRoutine, Flow, Level, model, PID, temp.

У задачу PAZ буде входити лише процедура PAZ.

Завдання MainTask є циклічним та буде виконуватись постійно, за винятком часу виконання завдання PAZ (рис. 3.15).

Задача PAZ є періодичною, з періодом виконання 100 мс (рис. 3.16). В обох створених завданнях час таймера встановлено 500 мс. Якщо операція в завданні виконується довше, ніж це задано таймером, то ПЛК буде видавати

ПОМИЛКУ.

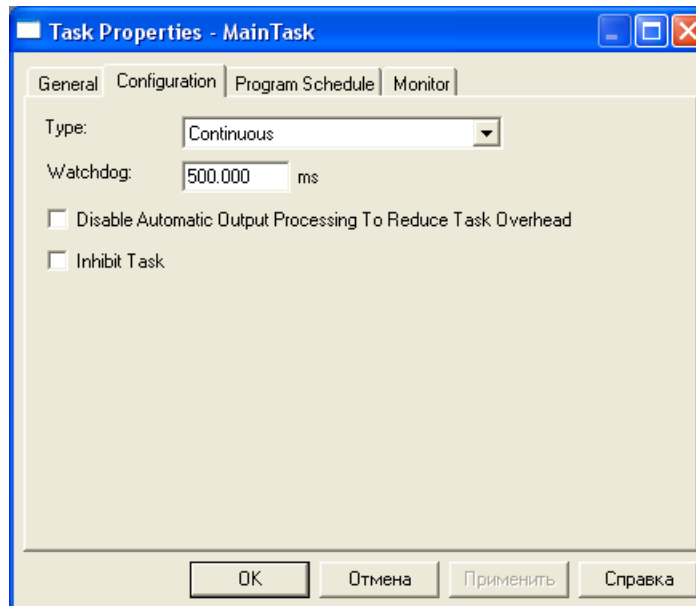


Рисунок 3.15 – Загальний вигляд вікна налаштування властивостей завдання MainTask

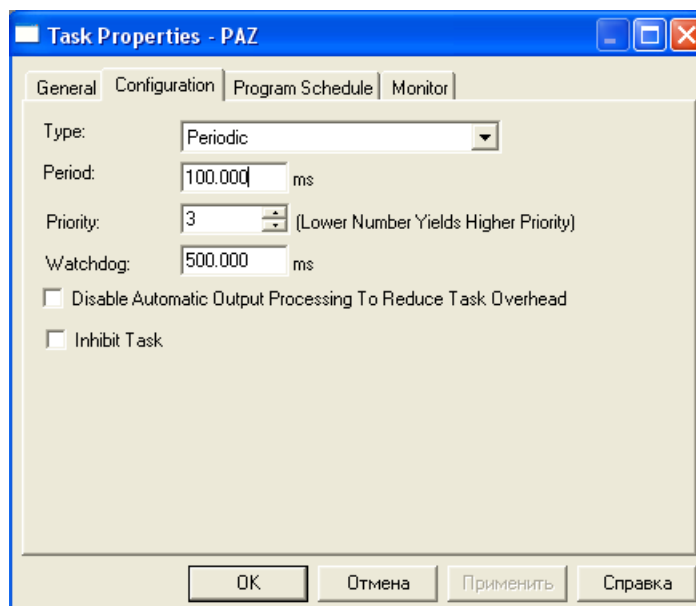


Рисунок 3.16 – Загальний вигляд вікна налаштування властивостей завдання PAZ

3.3.5 Виконання завантаження створеного проєкту на ПЛК

Зв'язок програмного середовища з ПЛК здійснюється за допомогою спеціального комунікаційного пакета RSLinx [50]. Спочатку запусимо роботу

драйвера Virtual Backplane. Для цього в комутаційному пакеті RSLinx заходимо в меню Communications→Configure Drivers, і вибравши необхідний тип драйверу зі списку наявних драйверів, натискаємо кнопку Add New (рис. 3.17).

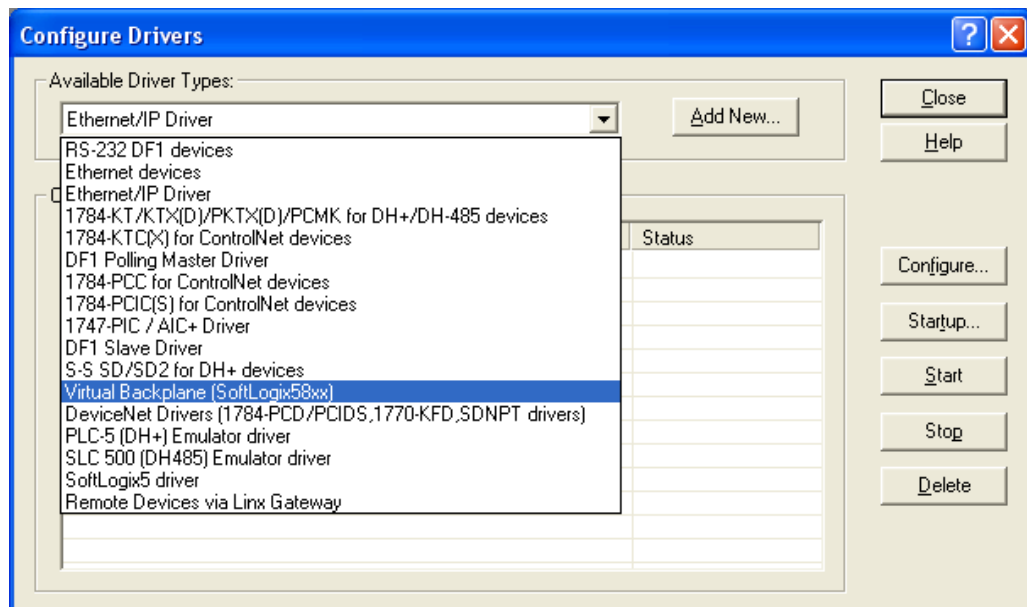


Рисунок 3.17 – Загальний вигляд вікна налаштування драйверів в комутаційному пакеті RSLinx

Потім у програмному середовищі RSLogix заходимо в меню Communication→Select Recent Communication Path, і у вікні, що з'явилося, обираємо потрібний драйвер і натискаємо кнопку ОК (рис. 3.18).

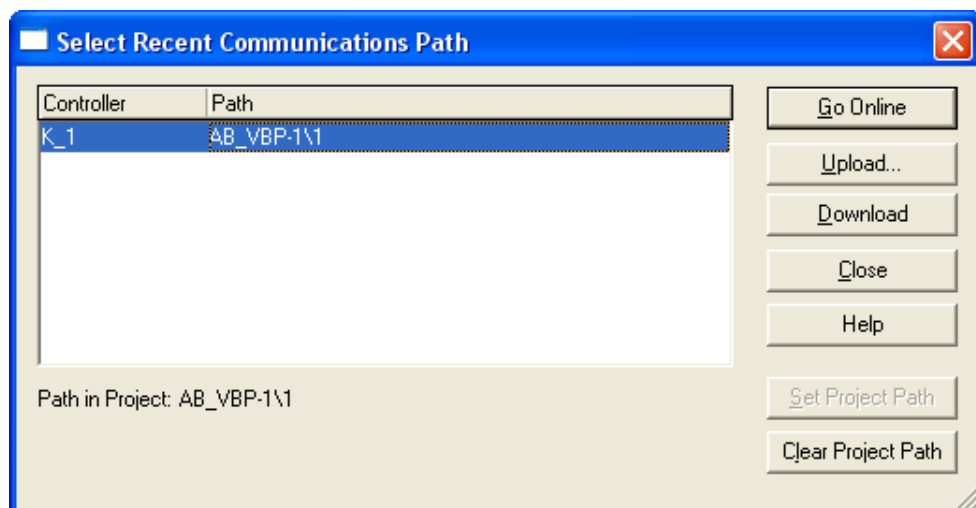


Рисунок 3.18 – Загальний вигляд вікна вибору драйвера драйверів в комутаційному пакеті RSLinx [50]

Виконавши вибір необхідного драйверу, заходимо в меню Communication, обираємо пункт Download, і проєкт буде автоматично завантажено в ПЛК. Після цього в тому ж меню обираємо пункти Go Online та кнопку Run, після цього завантажений проєкт запускається, і ПЛК починає обробку отриманих даних.

3.3.6 Принципи побудови програм мовою релейно-контактної логіки LD [46]

Програма мовою релейно-контактної логіки типу LD матиме вигляд послідовності сходинок (Rung), що йдуть одна за одною зверху вниз. Сходинки нумеруються цілими числами, починаючи з нуля (рис. 3.19).

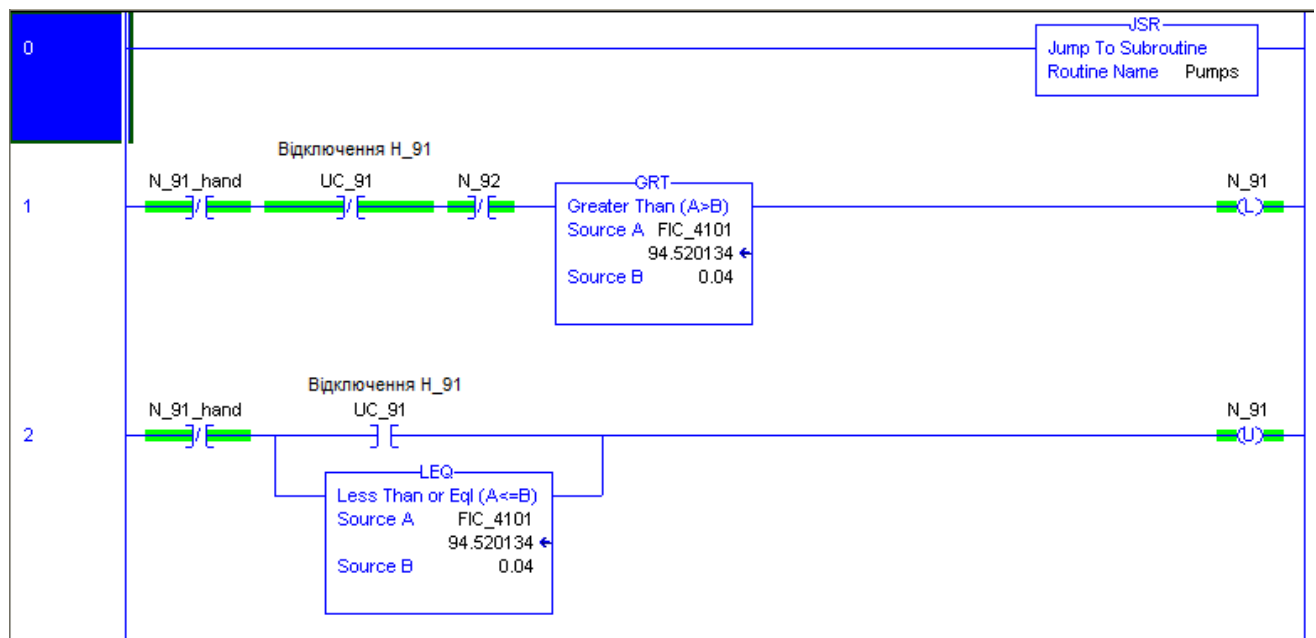


Рисунок 3.19 – Загальний вигляд програми на мові релейно-контактної логіки типу LD

Виконання програми також починається з самого верхнього ступеня (Rung) та послідовно переходить на наступні ступені, що розташовані нижче.

Усередині Rung можуть бути розташовані інструкції, що мають різний зовнішній вигляд та різне функціональне призначення. Інструкції поділяються на вхідні (input) та вихідні (output), причому input інструкції автоматично групуються в лівій частині Rung, а output, відповідно, - у правій. Усередині

кожної Rung повинна розташовуватись хоча б одна output інструкція, інакше редаговану Rung будуть вважати помилковою - зліва від Rung з'явиться стовпчик із символів "e" (або error).

Rung являє собою аналог ланцюга релейно-контакторної схеми LD. Зліва рахується, що розташований позитивний сигнал, або значення так званої, логічної одиниці. З правого боку Rung знаходиться область негативного сигналу або відповідно, логічний нуль. Порядок виконання інструкцій усередині Rung ніби імітує рух електричного струму від позитивного потенціалу до негативного потенціалу - у даному випадку зліва направо. Кожна інструкція має вхідний і вихідний контакт. Значення сигналу на вихідному контакті залежить від значення вхідного контакту та результату виконання інструкції (або RLO). Більшість інструкцій не виконує своїх функцій за нульового значення вхідного контакту та, відповідно, передає нульове значення на вихідний контакт.

Усередині Rung допускається наявність безлічі так званих гілок (або Branch).

Виконання інструкцій усередині Rung із Branch відбувається також послідовно зліва направо, причому за наявності декількох паралельних Branch наступна за ними інструкція не буде виконана доти, доки не буде виконано послідовно інструкції в кожній Branch, починаючи з верхньої Branch та закінчуючи нижньою Branch.

Над полем введення інструкцій розташована панель інструментів, на якій розташовані кнопки, які згруповані за своїм функціональним призначенням. Для введення інструкції необхідно спочатку вибрати мишею позицію інструкції, що вводиться, усередині Rung, потім можна скористатися одним із таких способів [46]:

- натиснути на відповідну кнопку розташовану на панелі інструментів;
- виконати команду меню «Add Ladder Element» і вибрати інструкцію зі списку, що випадає.

У нашому проєкті в якості регуляторів використовуються ПД-

регулювальні пристрої (або інструкція PID). Опишемо більш детально використання даної інструкції PID (рис. 3.20).

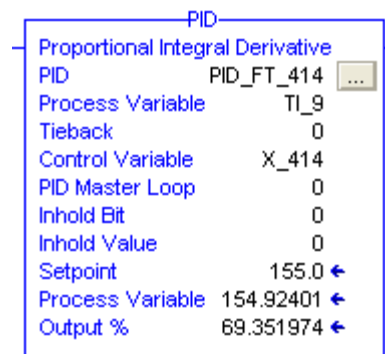


Рисунок 3.20 – Загальний вигляд інструкції PID

Інструкція PID призначена для виконання пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) закону регулювання в мові LD.

Операнди, що використовуються в інструкції PID:

- PID – тут необхідно вказати попередньо оголошену перемінну структури типу PID (див. рис. 3.20);

- Process Variable (або PV) - тут вказується вхідна аналогова перемінна, що виконує роль СЗЗ (див. рис. 3.20);

- Tieback – тут вказується аналогова перемінна сигналу керування від зовнішнього пристрою або задавача ручного керування, якщо не використовується, то встановлюється рівень – 0 (див. рис. 3.20);

- Control Variable (або CV) – тут вказується вихідна аналогова перемінна, у яку заноситься результат виконання інструкції PID - вихід ПІД-регулювального пристрою (див. рис. 3.20);

- PID Master Loop - якщо даний ПІД-регулювальний пристрій приймає участь у системі підлеглого керування в якості внутрішнього контуру, то в цьому полі вказується перемінна структури типу PID зовнішнього контуру керування, інакше необхідно ввести значення – 0 (див. рис. 3.20);

- Inhold bit - тут вказується двійкова перемінна, за значення, що дорівнює 1, вихід інструкції PID набуває значення аналогової перемінної, зазначеної в полі

Inhold value (див. рис. 3.20).

Нижче під операндами розташовуються три параметри, призначені для відображення поточних значень:

- Setpoint (або SP) - завдання ПІД-регулювального пристрою;
- Process Variable (або PV) - регульована величина;
- Output (або OP) - вихід ПІД-регулювального пристрою [46].

3.3.7 Принципи побудови програм графічною мовою функціональних блоків FBD [46]

Програма побудована за допомогою графічної мови FBD виглядає як набір функціональних блоків та зв'язків між ними. Блоки розташовуються на одному або більше аркушів (Sheet). Місце розташування блоку на аркуші може бути довільним. Також як і в мові релейно-контактної логіки, над областю програми розташовується загальна панель інструментів, де інструкції згруповані за типами (рис. 3.21).

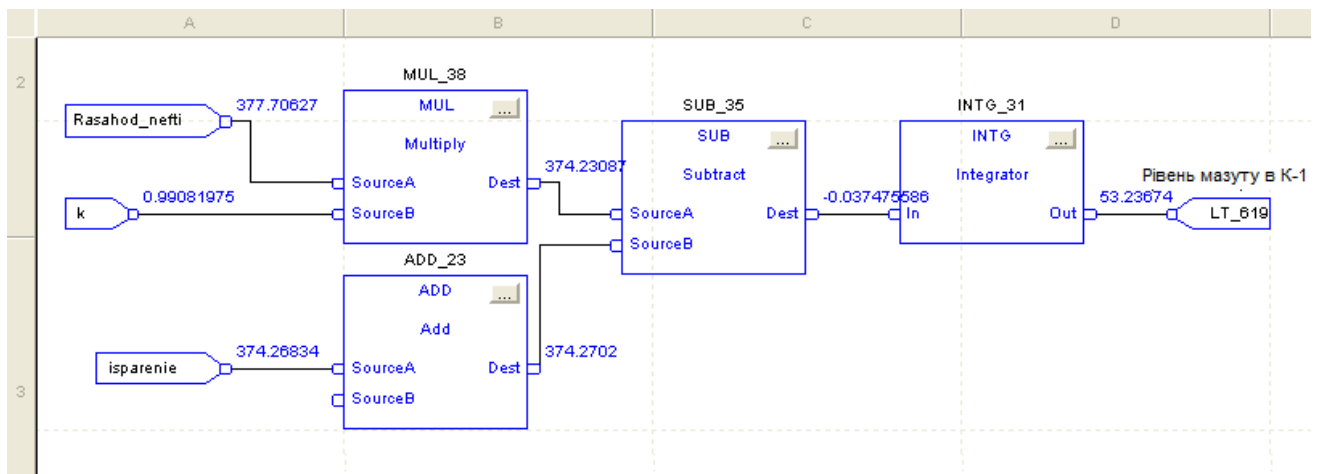


Рисунок 3.21 - Загальний вигляд програми на мові функціональних блоків типу FBD

Усередині вікна програми розташована загальна панель інструментів, за допомогою якої можна створити новий Sheet, видалити існуючий поточний Sheet, виконувати переміщення вперед та назад між Sheet, показувати та

приховувати сітку. За допомогою списку, що випадає, з номерами Sheet можна вибрати необхідний Sheet для перегляду та налаштування. За допомогою поля текстового введення праворуч від списку, що випадає, можливо задати опис для поточного Sheet.

Додавання нової інструкції в підпрограму виконується або за допомогою команди меню «Add Element...», або за допомогою натискання відповідної кнопки на загальній панелі інструментів. Важливо зазначити, що під час додавання будь-якої FBD-інструкції в області програмних перемінних створюється нова структура відповідного інструкції типу, якій за замовчуванням присвоюють ім'я у вигляді <мнемоніка інструкції>+<порядковий номер інструкції даного типу серед програмних перемінних>. Ім'я структури даних інструкції виводиться над тілом цієї інструкції (див. рис. 3.21).

Надалі дозволяється перейменування автоматично присвоєного імені структури. Для інструкції можна виконати заміну однієї структури на іншу, викликавши список перемінних, що випадає, подвійним клацанням миші та вибравши потрібну структуру зі списку [46].

Кожна структура має власний набір вхідних та вихідних контактів: вхідні розташовуються ліворуч, вихідні, відповідно, - праворуч. Контакти блоку приймають значення полів (внутрішніх перемінних) зіставленої з інструкцією структури. Зовнішній вигляд контактів залежить від типу даних зіставленого з ним поля структури: для дискретних полів це квадрат із крапкою всередині, для аналогових полів - квадрат без крапки. Якщо для перемінної структури введено текстовий опис, то він виводиться над ім'ям структури. Його можна редагувати після подвійного клацання в область тексту, у випадку якщо опис не задано, можливо задати командою меню «Edit Main Operand Description» [46].

Між вихідними контактами одного блоку та вхідним контактом іншого можливо встановити необхідний зв'язок, лише в тому випадку, якщо типи даних вихідного та вхідного контактів будуть збігатись. Зв'язок може бути виконаний явним чином - у вигляді лінії, що з'єднує два блоки (рис. 3.22).

У випадку зв'язування дискретних (цифрових) контактів, лінія з'єднання буде пунктирною, у випадку ж зв'язування аналогових контактів - лінія буде суцільною.

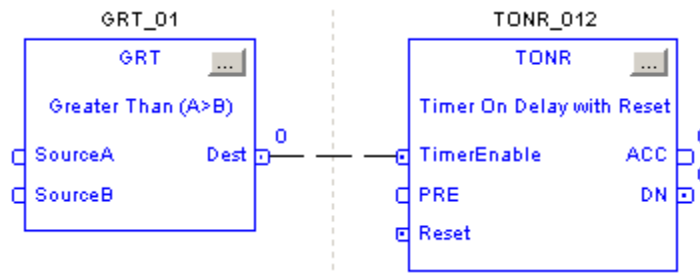


Рисунок 3.22 – Загальний вигляд з'єднання блоків в мові FBD

Можна виконати встановлення зв'язків неявним чином - за допомогою пари з'єднувачів - Input/Output Wire Connectors. Це зручно за великої кількості пов'язаних між собою функціональних блоків для економії місця та більш чіткого представлення всієї програми.

ICON - Input Connector (або входні) та OCON - Output Connector (або вихідні) Wire Connectors додаються в програму після натискання відповідних кнопок на загальній панелі інструментів або за допомогою використання команди контекстного меню «Add FBD element...» [46].

Виглядають Input/Output Wire Connectors як прямокутники з округленими кінцями з одного боку та трикутним виступом з іншого (рис. 3.23). Для того, щоб встановити необхідне з'єднання, розробнику потрібно задати однакове текстове ім'я для обох з'єднувачів - як ICON, так і OCON. У перший раз ім'я з'єднання вводиться вручну, тоді для другого з'єднувача його вже можливо обрати зі списку всіх заданих з'єднань.

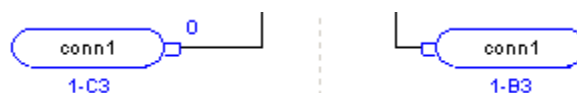


Рисунок 3.23 - Загальний вигляд ICON та OCON Wire Connectors

Ім'я з'єднання можливо обирати довільно, відповідно до необхідних завдань. Доцільно включати в ім'я з'єднувачів корисне смислове навантаження,

для спрощення читання всієї програми [46].

Після встановлення необхідного з'єднання під кожним з'єднувачем з'являються координати місця розташування іншого з'єднувача в полі введення підпрограми, наприклад, 1-С3, де 1 - це номер Sheet даної FBD-підпрограми, С - горизонтальна координата квадрата розташування, 3 - вертикальна координата квадрата, розташування іншого з'єднувача.

Крім використання внутрішніх з'єднувачів типу ICON та OCON у FBD-програмі існує можливість посилатися на зовнішні дані за допомогою спеціалізованих IREF (Input Reference або вхідні) та OREF (Output Reference або вихідні) посилання. Дані спеціалізовані посилання IREF/OREF мають вигляд прямокутників із загостреною правою або лівою стороною (рис. 3.24). Використання посилання IREF/OREF виконує функцію присвоювання значення перемінної або константи, на які виконується посилання, параметру функціонального блоку, на контакт якого посилання заводиться - для вхідних посилань, і, навпаки, для вихідних посилань [46].

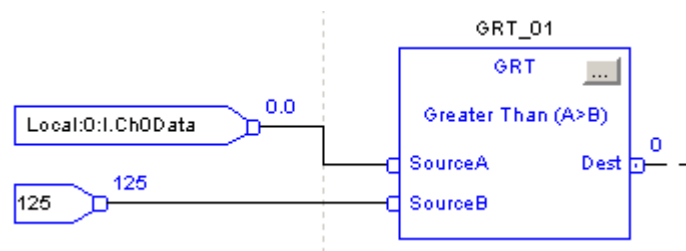


Рисунок 3.24 - Загальний вигляд посилання IREF

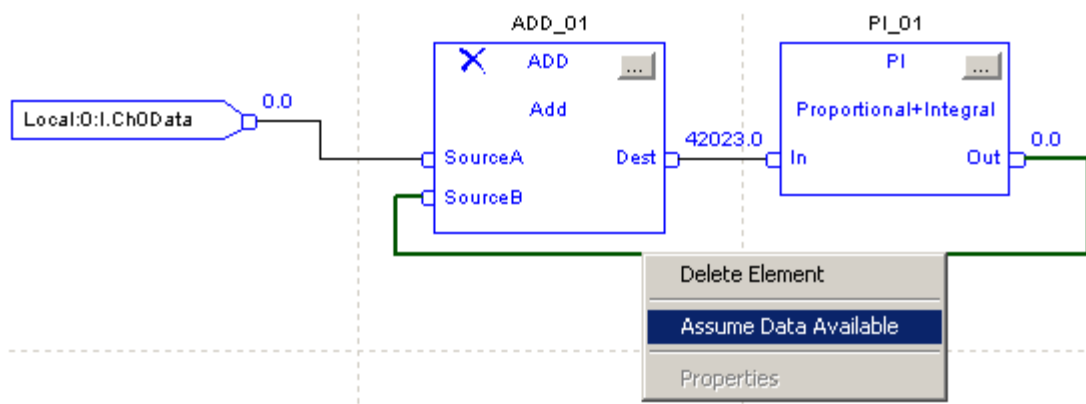


Рисунок 3.25 – Загальний вигляд введення зворотних зв'язків

При створенні в програмі зворотних зв'язків (рис. 3.25) у межах однієї послідовності пов'язаних блоків виникає необхідність встановлення дозволу на порядок виконання підключених блоків: для цього необхідно виділити необхідне з'єднання та за допомогою використання правої кнопки миші викликати контекстне меню, що випадає, в якому необхідно вибрати спеціалізовану команду «Assume Data Available» - або активне присвоєння даних.

Після цього на кінці з'єднання з'явиться подвійна стрілка, яка буде вказувати на функціональний блок, який буде виконуватися в першу чергу [46].

3.4 Розробка алгоритмів системи керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші

При вмиканні САК ТП фракціонування бензинової суміші спочатку виконується перевірка готовності системи до роботи (рис. 3.26). У випадку якщо система готова ($X_{\text{гот}}=1$) виконується перевірка наявності даних із давачів інформації в пам'яті ПЛК ($X_{\text{ан}}=1$), якщо інформація є то виконується підключення АЦП та зчитування необхідних даних, якщо інформація відсутня то виконується завантаження в пам'ять ПЛК даних із давачів із наступною перевіркою їх знаходження в ПЛК ($X_{\text{плк}}=1$). Якщо дані є в пам'яті ПЛК то виконується передача інформації на верхній рівень керування, в протилежному випадку виконується повторне підключення АЦП для зчитування інформації в пам'ять ПЛК.

Наступним кроком виконується перевірка передачі даних від ПЛК на верхній рівень керування, якщо передача відбулась виконується подачі напруги живлення на АД насосної установки, в протилежному випадку виконується повторна перевірка передачі даних.

Спочатку виконується вмикання САК рівнем тиску, наступним кроком іде зв'язок із давачами інформації та перевірка їх стану (рис. 3.27). Якщо значення рівня тиску відповідає заданому рівню то виконується автоматична зупинка

насосів. Якщо ж значення рівня тиску не відповідає заданому то виконується формування спеціального повідомлення для людини-оператора та створення керуючого сигналу для керування швидкістю роботи встановленого насосу.

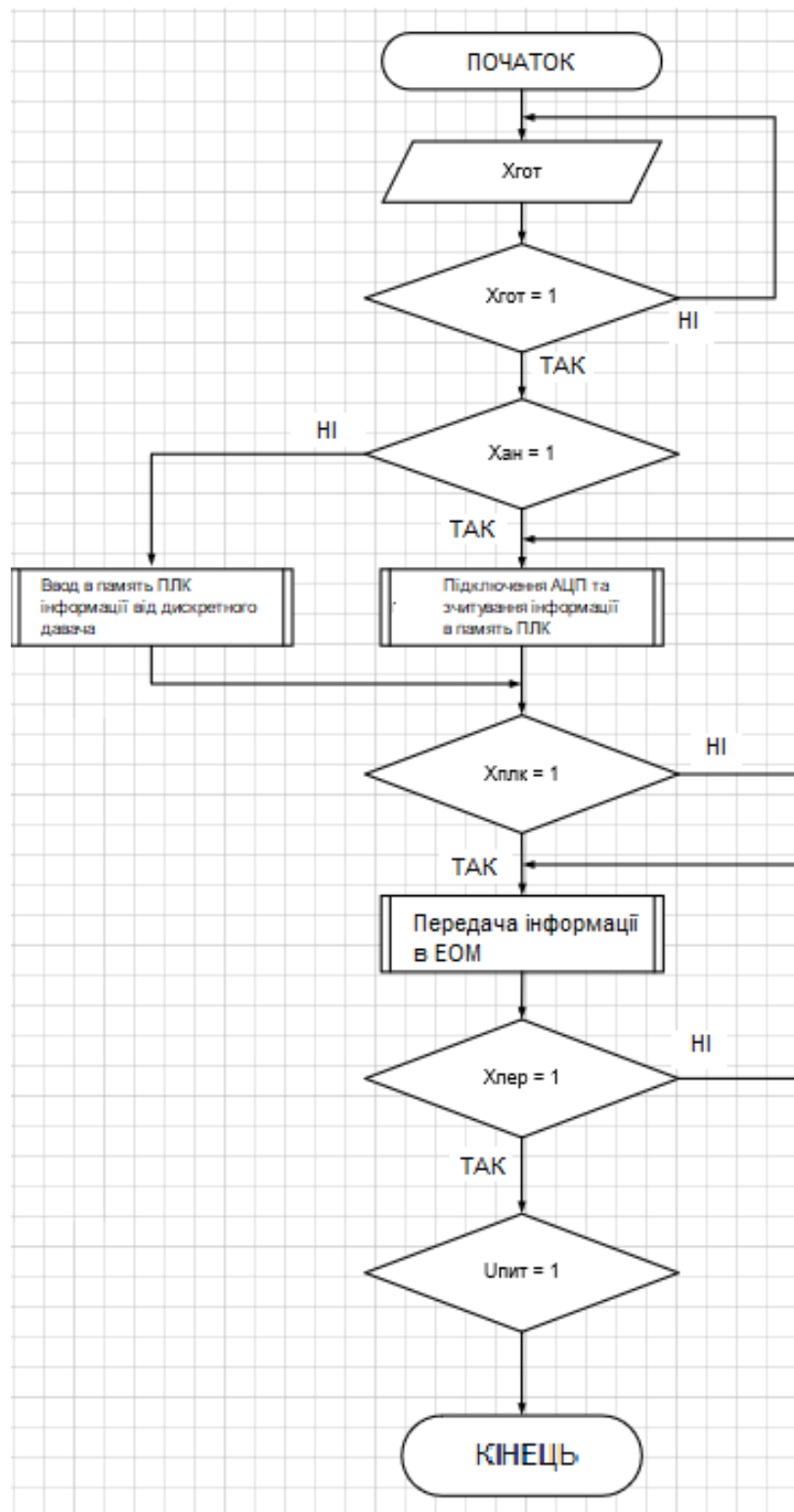


Рисунок 3.26 – Блок схема алгоритму передачі інформації в ТП фракціонування бензинової суміші

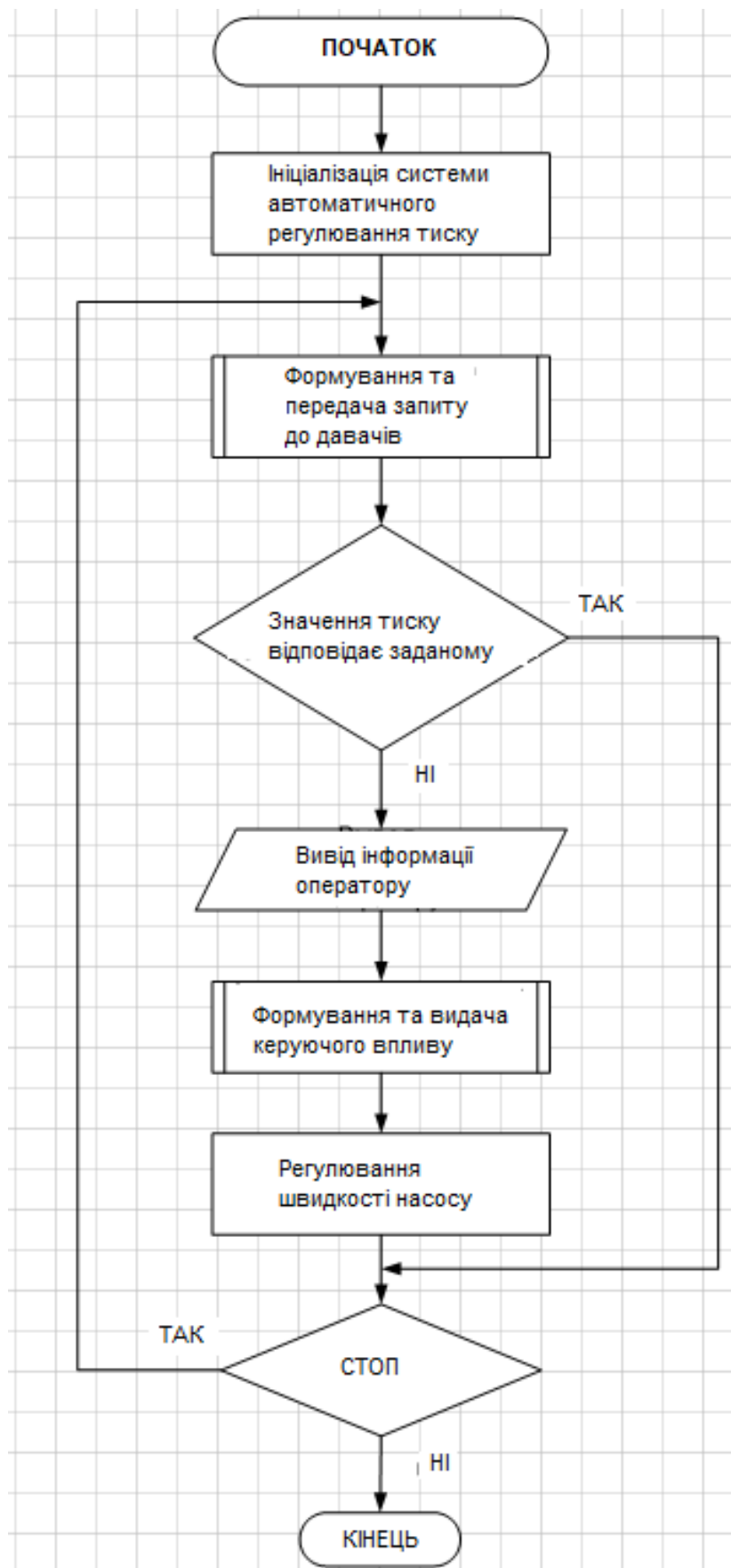


Рисунок 3.27 – Блок-схема керування процесом регулювання рівня тиску

Швидкість регулюється до тих пір поки рівень тиску не буде відповідати заданому рівню. Після цього знову виконується формування та передача запиту про стан давачів і реальну величину рівня тиску в системі.

При запуску АД в роботу виконується перевірка чи остання зупинка АД виконувалась методом «вибігу», якщо так виконується перевірка можливості вмикання режиму підхват (рис. 3.28), якщо ні то переходимо до перевірки рівня напруги живлення на АД, за необхідності заряджання ємності фільтру за допомогою зарядного конденсатору до необхідного рівня з наступним відпрацюванням виходу на завдання.

Після виконання перевірки можливості вмикання режиму підхват виконується пошук значення частоти, що відповідає швидкості обертання ротору АД.

Якщо вказану частоту виявлено то виконується вмикання силового контактору і виконується вихід на завдання.

Якщо частота, що відповідає швидкості обертання ротору АД не виявлена то виконується пошук частоти, що відповідає значенню швидкості обертання ротору АД в оберненому напрямку, у випадку її виявлення виконується частотне гальмування до заданого рівня частоти з наступною фіксацією постійним струмом заданого рівня напруги і вимикання ШІМ.

При первинній подачі живлення на схему керування примусово буде встановлено, що остання зупинка була за методом «вибігу» (рис. 3.29).

Виконується перевірка чи зупинка АД виконувалась методом «вибігу», якщо так то наступний крок виконання перевірки відповідності заданих параметрів. Якщо зупинка не виконувалась методом «вибігу» то виконується примусове частотне гальмування до заданої частоти, а потім фіксація постійного рівня напруги і перевірка заданих параметрів з наступним вимикання ШІМ.

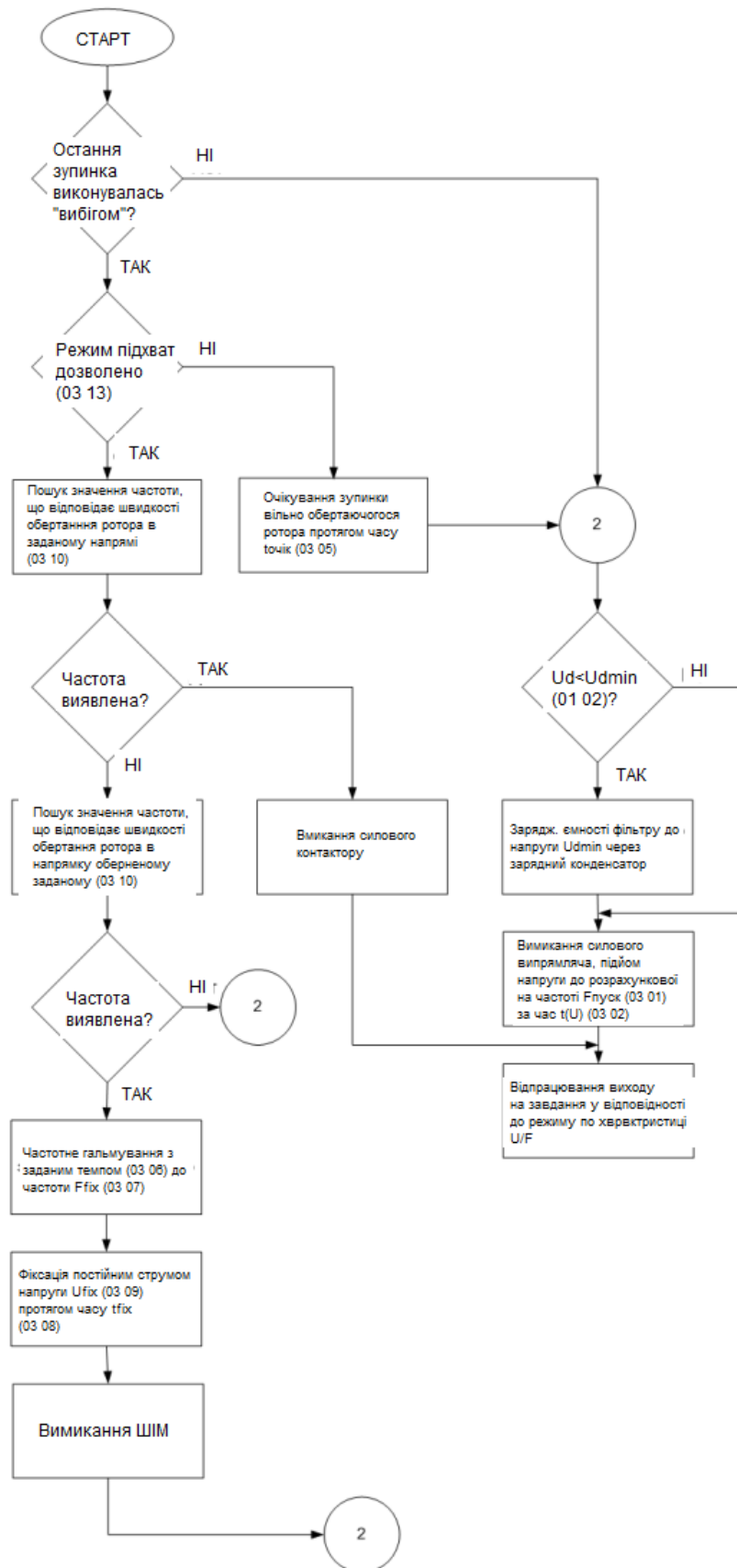


Рисунок 3.28 – Блок-схема алгоритму запуску АД

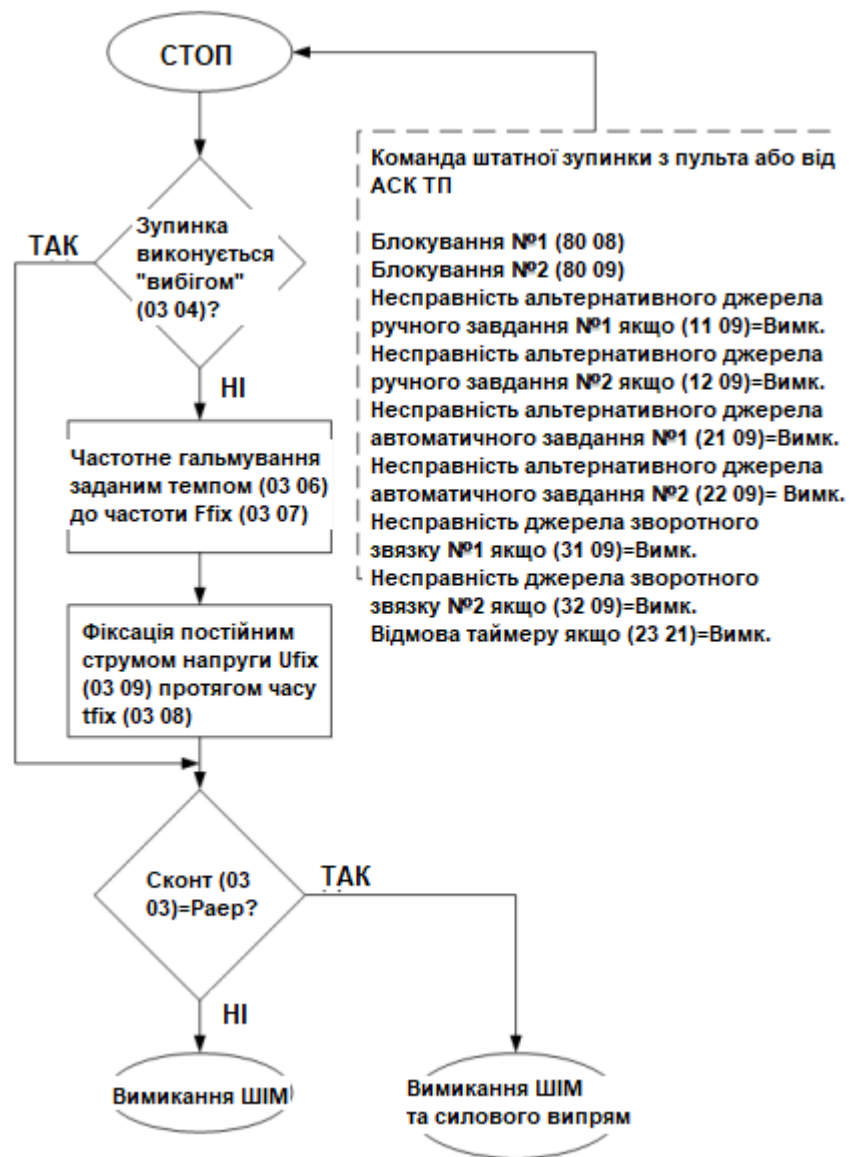


Рисунок 3.29 – Блок-схема алгоритму гальмування АД

3.5 Висновки до третього розділу

Проведено підбір необхідної апаратної частини для ТП фракціонування бензинової суміші, розроблено програмна частина ТП фракціонування бензинової суміші, а саме: розроблено програмні засоби керування ТП фракціонування бензинової суміші та алгоритми системи керування ТП фракціонування бензинової суміші. Створено САК робочою ділянкою фракціонування бензинової суміші.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ФРАКЦІОНУВАННЯ БЕНЗИНОВОЇ СУМІШІ

4.1 Вибір елементів силової частини електропривода та їх аналітичні дослідження

Загальна схема силової частини електропривода наведена на рисунку 4.1 та складається із наступних елементів:

- некерованого випрямляча;
- блоку конденсаторів для фільтрування;
- транзисторного інвертора;
- АД.

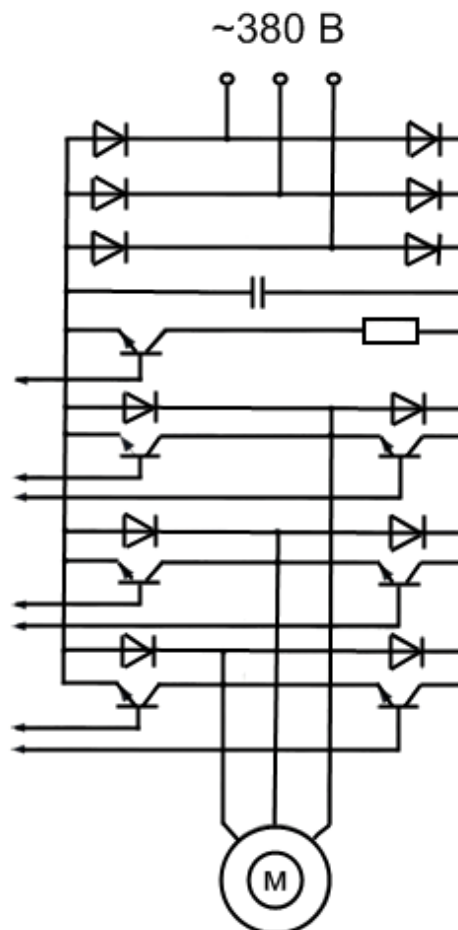


Рисунок 4.1 – Загальна схема силової частини електроприводу

Розрахунок виконаємо по порядку. Спочатку виконаємо розрахунок та підбір діодів для некерованого випрямляча. Діоди будемо вибирати за силою струму, що тече через вентиль [17-19].

Необхідний клас вентилів може бути обраний згідно із співвідношенням:

$$U_{KL} = K_{II} \cdot K_H \cdot U_{VM}, \quad (4.1)$$

де U_{VM} - максимальне значення зворотної напруги; K_{II}, K_H - коефіцієнти, що враховують повторювані та короткочасні перенапруги на вентилях, приймаємо $K_{II} = 1,25, K_H = 1,5$.

$$U_{VM} = \sqrt{6} \cdot U_{1\phi}; \quad (4.2)$$

$$U_{VM} = \sqrt{6} \cdot 220 = 539 \text{ В};$$

$$U_{KL} = 1,25 \cdot 1,5 \cdot 539 = 1010 \text{ В}.$$

Виходячи з отриманого значення обираємо клас діода не нижче 11.

Знайдемо значення напруги в ланці постійного струму:

$$U_d = \frac{3 \cdot \sqrt{6}}{\pi} \cdot U_{1\phi}; \quad (4.3)$$

$$U_d = \frac{3 \cdot \sqrt{6}}{3,14} \cdot 220 = 515 \text{ В}.$$

Розрахуємо діюче значення лінійної напруги згідно наступного рівняння:

$$U_c = \frac{\pi}{3 \cdot \sqrt{2}} \cdot U_d; \quad (4.4)$$

$$U_c = \frac{3,14}{3 \cdot \sqrt{2}} \cdot 515 = 381 \text{ В.}$$

Визначимо середнє значення сили струму, що тече через вентиль:

$$I_{всеп} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^{2\pi} i_v dv = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^{2\pi/3} I_d dv = \frac{I_d}{3}, \quad (4.5)$$

де I_d - дійсне значення сили струму, приймаємо значення рівним номінальній силі струму електродвигуна.

$$I_d = \frac{I_{ном}}{0,816}; \quad (4.6)$$

$$I_d = \frac{13,8}{0,816} = 16,9 \text{ А};$$

$$I_{всеп} = \frac{16,9}{3} = 5,64 \text{ А.}$$

Вибираємо діоди - тип ВЛ-25-8 із силою струму $I_{ном} = 25 \text{ А}$, клас за напругою не нижче 11.

Також вибираємо транзистор типу - КТ828 з наступними характеристиками:

- постійна сила струму колектора - 5А;
- постійна напруга колектор-емітер - 400 В;

- потужність розсіювання на колекторі - 50Вт.

Тепер розглянемо параметри схеми заміщення АД. Схему заміщення для однієї фази АД представлено на рисунку 4.2 [17-19].

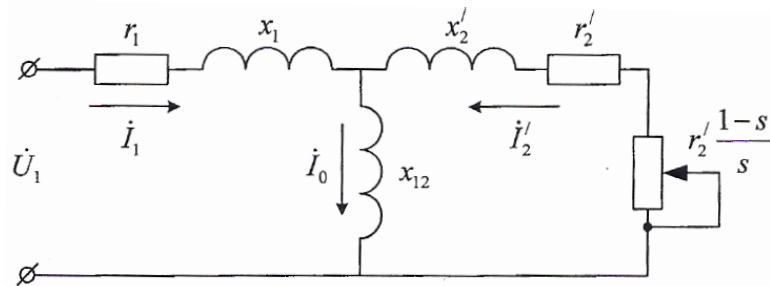


Рисунок 4.2 - Т-подібна схема заміщення однієї фази АД

Розрахунки виконаємо базуючись на даних АД.

Жорсткість лінеаризованої робочої частини МХ для АД розрахуємо за наступною формулою:

$$\beta = \frac{M_{крит}}{\omega_0 \cdot S_k}, \quad (4.7)$$

де $M_{крит}$ - критичний момент АД; ω_0 - синхронна швидкість обертання АД; S_k - критичне проковзування АД.

Розрахуємо критичний момент АД згідно формули:

$$M_{крит} = k_m \cdot M_{ном}, \quad (4.8)$$

де k_m - перевантажувальна здатність за моментом; $M_{ном}$ - номінальний момент АД. Звідки [17-19]:

$$M_{крит} = 3,1 \cdot 53,37 = 171,85 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначимо синхронна частота обертання АД:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30}, \quad (4.9)$$

де n_0 - синхронна швидкість обертання АД.

$$\omega_0 = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,67 \text{ об/хв.}$$

Знайдемо критичне проковзування АД відповідно до формули:

$$S_k = \frac{R_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{K3}^2}}, \quad (4.10)$$

де R_2 - активний опір ротора, приведений до обмотки статора; R_1 - активний опір обмотки статора; X_{K3} - реактивний опір короткого замикання.

$$X_{K3} = X_1 + X_2, \quad (4.11)$$

де X_1 - реактивний опір обмотки статора; X_2 - реактивний опір ротора приведений до обмотки статора.

$$X_{K3} = 1,67 + 1,17 = 2,84 \text{ Ом;}$$

$$S_k = \frac{2,79}{\sqrt{2,8^2 + 2,84^2}} = 0,7;$$

Звідки

$$\beta = \frac{165,45}{104,67 \cdot 0,7} = 2,3.$$

Розрахуємо параметри структурної схеми АД за довільного повороту обертової системи координат відносно просторових векторів (рис. 4.3) [51-55].

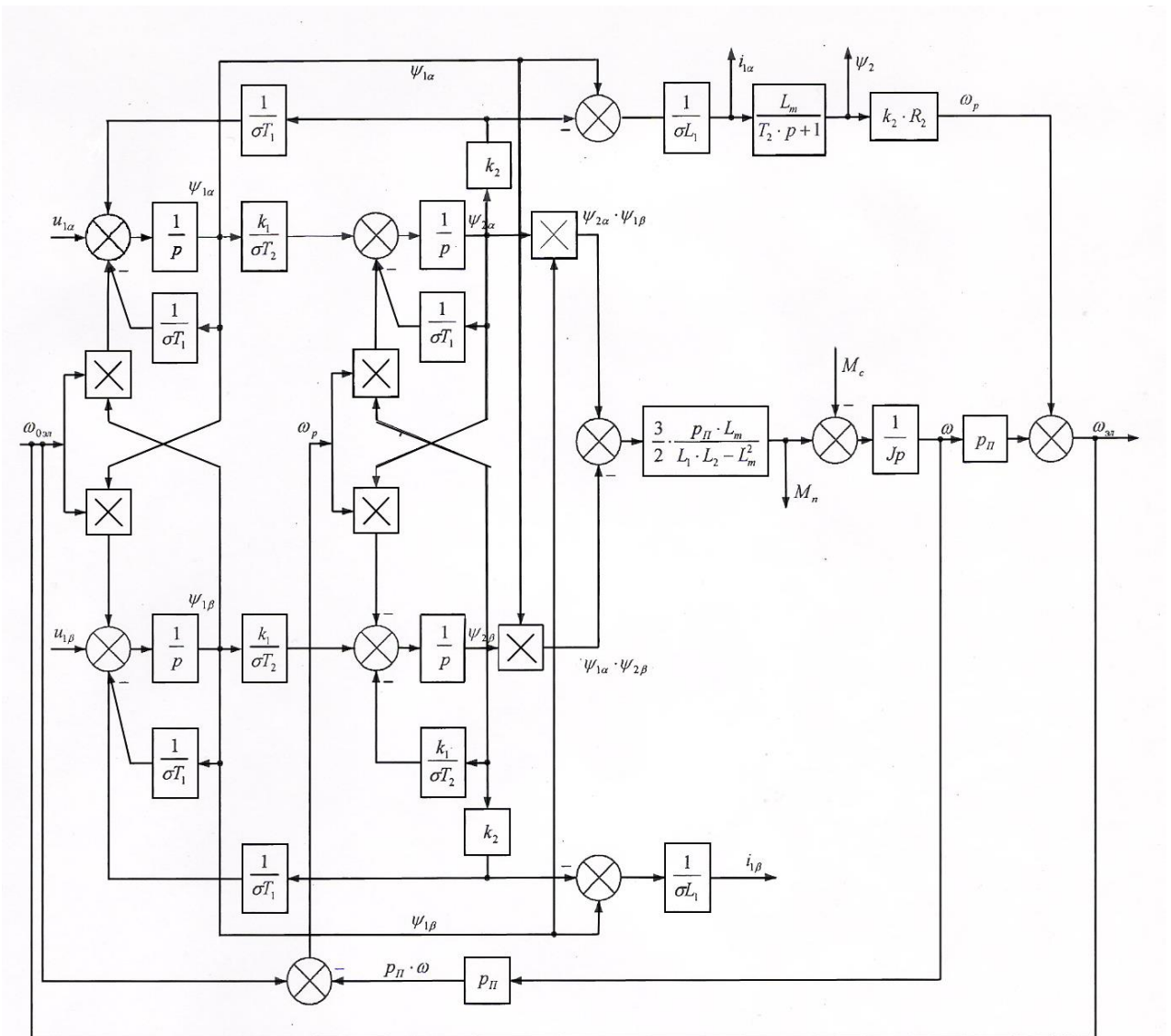


Рисунок 4.3 - Структурна схема АД за довільного повороту обертової системи координат відносно просторових векторів

Індуктивні опори були розраховані при номінальній частоті обертання АД.

Тому для визначення реальних індуктивностей необхідно значення індуктивних опорів поділити на номінальне значення кутової частоти обертання $\omega_{0ном}$ після чого отримаємо наступне значення [17-19]:

$$L_m = \frac{X_m}{\omega_{0ном}}, \quad (4.12)$$

де $\omega_{0ном}$ - номінальна кутова частота обертання магнітного потоку,
 $\omega_{0ном} = 314 \text{ с}^{-1}$.

$$L_m = \frac{2,84}{314} = 0,009.$$

Аналогічно визначимо індуктивності розсіювання фаз статора $L_{1\sigma}$ та ротора $L_{2\sigma}$ згідно наступних формул:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_1}{\omega_{0ном}}; \quad (4.13)$$

$$L_{1\sigma} = \frac{1,67}{314} = 0,0053 \text{ Гн};$$

$$L_{2\sigma} = \frac{X_2}{\omega_{0ном}}; \quad (4.14)$$

$$L_{2\sigma} = \frac{1,17}{314} = 0,00373 \text{ Гн}.$$

Тоді повні індуктивності фаз статора $L_{1\sigma}$ і ротора $L_{2\sigma}$ будуть відповідно дорівнювати L_1, L_2 [17-19]:

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma}; \quad (4.15)$$

$$L_1 = 0,009 + 0,00532 = 0,014 \text{ Гн};$$

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma}; \quad (4.16)$$

$$L_2 = 0,009 + 0,00373 = 0,013 \text{ Гн}.$$

Визначимо постійну часу фази обмотки статора згідно формули:

$$T_1 = \frac{L_1}{R_1}, \quad (4.17)$$

де L_1 - повна індуктивність фази обмотки статора; R_1 - величина активного опору фази обмотки статора.

$$T_1 = \frac{0,014}{2,8} = 0,005 \text{ с}.$$

Аналогічно визначимо постійну часу фази обмотки ротора:

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2}, \quad (4.18)$$

де L_2 - повна індуктивність фази обмотки статора; R_2 - величина

активного опору фази обмотки статора.

$$T_2 = \frac{0,013}{2,78} = 0,0046 \text{ с.}$$

Визначимо коефіцієнт розсіювання машини згідно виразу:

$$\sigma = 1 - k_1 \cdot k_2, \quad (4.19)$$

де k_1 - безрозмірний коефіцієнт, що визначає відношення індуктивності L_m, L_1 ; k_2 - безрозмірний коефіцієнт, що визначає відношення індуктивності L_m, L_2 .

$$k_1 = \frac{L_m}{L_1}; \quad (4.20)$$

$$k_1 = \frac{0,009}{0,014} = 0,645;$$

$$k_2 = \frac{0,009}{0,013} = 0,695.$$

Тоді визначимо коефіцієнт розсіювання:

$$\sigma = 1 - 0,645 \cdot 0,695 = 0,551.$$

Також для виконання моделювання ТП необхідно розрахувати наступне значення:

$$\frac{1}{J} = \frac{1}{0,065} = 15,38,$$

де J - момент інерції на валу АД.

Визначимо значення всіх блоків структурної схеми АД за довільного повороту обертової системи координат відносно просторових векторів, (див. рис. 4.3) [51-55]:

$$\frac{1}{\sigma \cdot T_1} = \frac{1}{0,551 \cdot 0,005} = 362,97;$$

$$\frac{1}{\sigma \cdot L_1} = \frac{1}{0,551 \cdot 0,014} = 129,63;$$

$$\frac{k_1}{\sigma \cdot T_1} = \frac{0,645}{0,551 \cdot 0,005} = 83,71;$$

$$\frac{1}{\sigma \cdot T_2} = \frac{1}{0,551 \cdot 0,0046} = 391,14;$$

$$\frac{1}{\sigma \cdot L_2} = \frac{1}{0,551 \cdot 0,013} = 139,6;$$

$$\frac{k_1}{\sigma \cdot T_2} = \frac{0,645}{0,551 \cdot 0,0046} = 252,57;$$

$$\frac{L_m}{T_2 p + 1} = \frac{0,009}{0,0046 \cdot p + 1};$$

$$k_2 \cdot R_2 = \frac{1}{933};$$

$$\frac{3}{2} \cdot \frac{p \cdot L_m}{L_1 \cdot L_2 - L_m^2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{4 \cdot 0,009}{0,014 \cdot 0,013 - 0,009^2} = 384,07.$$

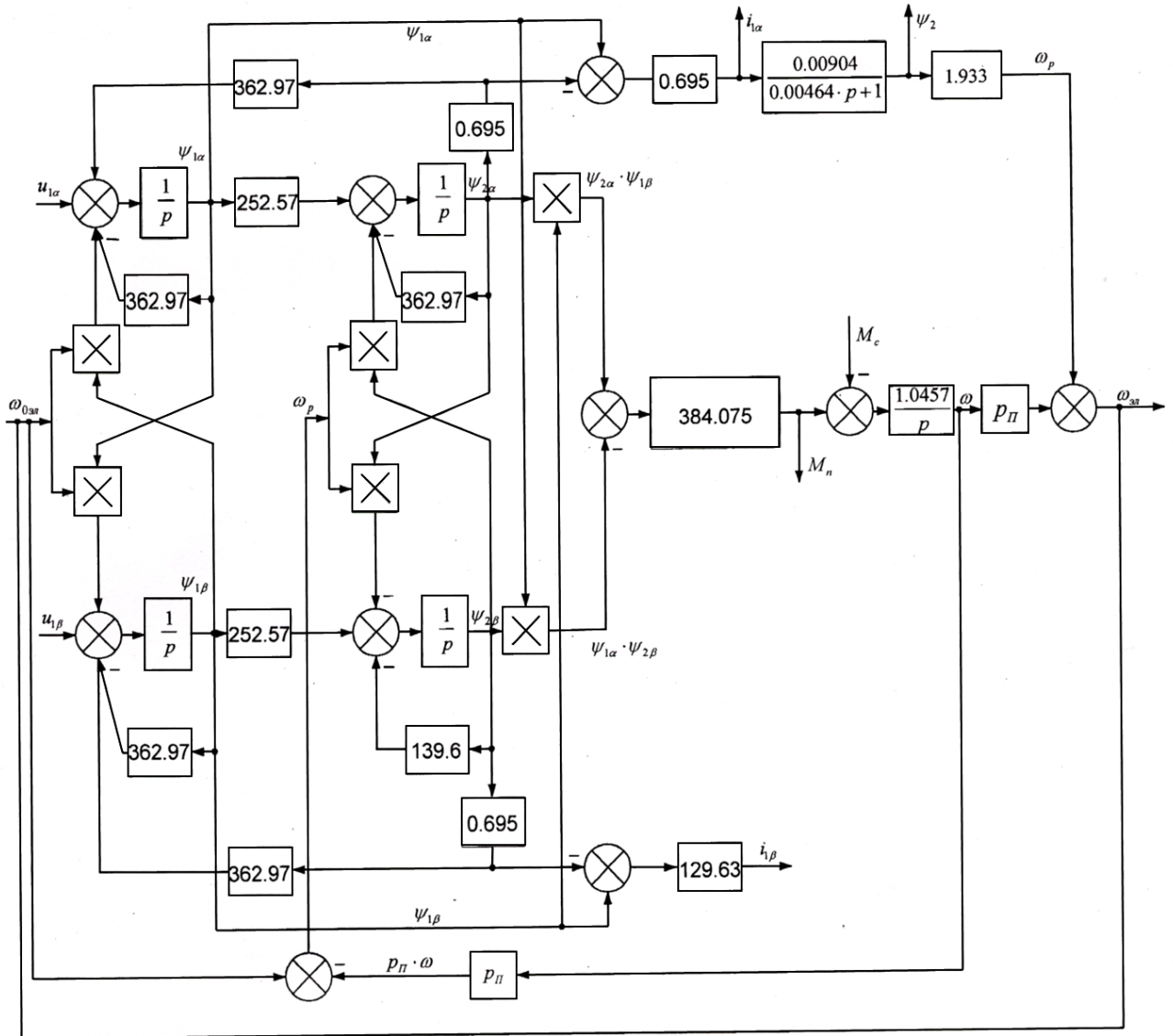


Рисунок 4.4 - Розрахункова структурна схема АД за довільного повороту обертової системи координат відносно просторових векторів [51-55]

Розробимо структурну схему АД під час довільного повороту обертової системи координат відносно просторових векторів, виконавши необхідну

підстановку числових значень. Результат представлено на рисунку 4.4.

4.2 Аналітичні дослідження параметрів системи керування швидкості АД за векторного керування

До аналогової частини відносять наступні елементи:

- автономний інвертор напруги - АІН;
- регулятор швидкості - РШ;
- асинхронний двигун - АД;
- зворотні зв'язки за силою струму та потоком.

РШ виконано у вигляді складного П-регулювального пристрою, налаштування контуру швидкості будемо виконувати за допомогою модульного оптимуму.

Визначимо коефіцієнти передачі давачів зворотних зв'язків за силою струму та величиною напруги [51-55].

Коефіцієнт передачі давача напруги $K_{оснU}$:

$$K_{оснU} = \frac{U_{зад}}{U_{ном}}, \quad (4.21)$$

де $U_{зад}$ - величина напруги завдання на вході системи регулювання ,
приймаємо $U_{зад} = 10В$; $U_{ном}$ - величина номінальної напруги АД, $U_{ном} = 220В$.

$$K_{оснU} = \frac{10}{220} = 0,046.$$

Розрахуємо коефіцієнт передачі давача сили струму згідно формули:

$$K_{оснI} = \frac{U_{зад}}{\lambda \cdot I_{ном}}, \quad (4.22)$$

де λ - здатність до перенавантаження; $I_{ном}$ - номінальна сила струму АД.

$$K_{оснI} = \frac{10}{4 \cdot 277,7} = 0,01.$$

Визначимо коефіцієнт передачі давача швидкості згідно наступної формули:

$$K_{осш} = \frac{U_{зад}}{\omega_{ном}}, \quad (4.23)$$

де $\omega_{ном}$ - номінальна швидкість обертання АД.

$$K_{осш} = \frac{10}{93,65} = 0,11.$$

Налаштування контурів регулювання та аналітичні дослідження динамічних характеристик САК швидкості обертання АД при векторному керуванні.

Структурну схему СК, призначену для визначення структури та параметрів регуляторів та для аналітичного дослідження перехідних процесів, представлено на рисунку 4.5 [51-55].

Схему побудовано із використанням математичного опису ненасиченого АД, що розташований в системі координат, що обертається. ЧП характеризується коефіцієнтом передачі за величиною напруги та чистим запізнюванням на час τ , що в свою чергу є рівним періоду ШІМ інвертора.

Прийmemo припущення, що величини M_D та ψ_D , які визначаються в моделі потоку, точно повторюють електромагнітний момент АД M_D і потокозчеплення ротора АД ψ_D у масштабах, що характеризуються коефіцієнтами передачі зворотних зв'язків за величиною моменту та потокозчепленням ротора k_{Dm} та $k_{D\psi}$ відповідно. Давач швидкості відповідно має коефіцієнт передачі $k_{D\omega}$. Досвід показує, що стандартні налаштування регуляторних пристроїв, зазвичай розраховують відповідно до лінеаризованого опису системи, це в свою чергу забезпечує задовільну динаміку всієї системи, що побудована відповідно до принципів підлеглого регулювання, і в разі обмеження вихідних змінних регуляторних пристроїв [51-55].

4.2.1 Аналітичні дослідження параметрів АІН

Передаточна функція автоінвертора напруги матиме наступний вигляд:

$$W(p) = K_{II} \cdot e^{-\tau \cdot p} \quad (4.24)$$

Розрахуємо ЕРС, що буде наводитись в обмотці статора згідно із формулою:

$$E_1 = \sqrt{(U_{1ном} \cdot \cos \varphi_{ном} - I_{1ном} \cdot R_1)^2 + (U_{1ном} \cdot \sin \varphi_{ном} - I_{1ном} \cdot X_1)^2}, \quad (4.25)$$

де $\cos \varphi_{ном}$ - величина номінального коефіцієнту навантаження.

$$\sin \varphi_{ном} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{ном}}; \quad (4.26)$$

$$\sin \varphi_{ном} = \sqrt{1 - 0,79^2} = 0,613;$$

$$E_1 = \sqrt{(220 \cdot 0,79 - 8,9 \cdot 2,8)^2 + (220 \cdot 0,613 - 8,9 \cdot 1,67)^2} = 191.$$

Визначимо величину регулювальної характеристики інвертора:

$$E_{du}(\beta) = k_2 \cdot U_{1ном} \cdot \cos \beta, \quad (4.27)$$

де k_2 - коефіцієнт, що залежить від схеми з'єднання вентилів інвертора, приймаємо $k_2 = 2,34$

$$E_{du}(\beta) = 2,34 \cdot 220 \cdot \cos \beta.$$

Знайдемо значення кутів інвертування при роботі АД із номінальною швидкістю:

Величина номінальної випрямленої ЕРС обмотки статора буде рівною:

$$E_{d1H} = k_1 \cdot E_1 \cdot S_{ном}, \quad (4.28)$$

де k_1 - коефіцієнт, що залежить від схеми підключення вентилів, приймаємо $k_1 = 1,35$; $S_{ном}$ - номінальне проковзування АД.

$$S_{ном} = \frac{\omega_0 - \omega_{ном}}{\omega_0}, \quad (4.29)$$

де $\omega_{ном}$ - номінальна кутова швидкість АД, рад/с; ω_0 - синхронна кутова швидкість АД, рад/с.

$$S_{ном} = \frac{104,67 - 93,65}{104,67} = 0,11.$$

Звідки

$$E_{d1H} = 1,35 \cdot 191 \cdot 0,11 = 28,35.$$

При умові, що

$$E_{du}(\beta) = E_{d1H}. \quad (4.30)$$

Визначимо величину β - жорсткість лінеаризованої робочої частини МХ АД β_{\max} :

$$\beta_{\max} = \arccos\left(\frac{E_{d1H}}{k_2 \cdot U_{1ном}}\right); \quad (4.31)$$

$$\beta_{\max} = \arccos\left(\frac{28,35}{2,34 \cdot 220}\right) = 87,78.$$

Розрахуємо значення кутів інвертування, під час роботи з мінімальною швидкістю обертання:

Величина випрямленої ЕРС обмотки статора дорівнює:

$$E_{d1m} = k_1 \cdot E_1 \cdot S_{\max}, \quad (4.32)$$

де S_{\max} - максимальне проковзування АД.

$$S_{\max} = \frac{\omega_0 - \frac{\omega_0}{D}}{\omega_0}, \quad (4.33)$$

де D - діапазон регулювання частоти обертання АД, приймаємо $D = 4$.

$$S_{\max} = \frac{104,67 - \frac{104,67}{4}}{104,67} = 0,9;$$

$$E_{d1m} = 1,35 \cdot 191 \cdot 0,9 = 232.$$

Розрахуємо величину β - жорсткість лінеаризованої робочої частини МХ АД β_{\min} :

$$\beta_{\min} = \arccos\left(\frac{E_{d1m}}{k_2 \cdot U_{\text{ном}}}\right); \quad (4.34)$$

$$\beta_{\min} = \arccos\left(\frac{232}{2,34 \cdot 220}\right) = 63,7.$$

Знайдемо величину коефіцієнту посилення інвертора K_I , за наступною формулою:

$$K_I = \frac{\Delta E_{du}}{\Delta U_{yu}} = \frac{E_{du} \cdot (\pi - \beta_{\max}) - E_{du} \cdot (\pi - \beta_{\min})}{\Delta U_{yu}}, \quad (4.35)$$

де β_{\max} - максимальна жорсткість лінеаризованої робочої частини МХ АД, приймаємо $\beta_{\max} = 1,521$; β_{\min} - мінімальна жорсткість лінеаризованої робочої

частини МХ АД, приймаємо $\beta_{\min} = 1,103$; ΔU_{yu} – величина напруги, вибираємо з довідникової літератури [56-60], задавшись величиною кута α , приймаємо $\Delta U_{yu} = 7,5$

$$\alpha = 180 - \beta_{\max} - \beta_{\min};$$

$$\alpha = 180 - 87,77 - 63,67 = 28,56;$$

$$K_I = \frac{E_{du} \cdot (3,14 - 1,52) - E_{du} \cdot (3,14 - 1,103)}{7,5} = 27,53.$$

Визначимо постійну часу запізнення τ інвертора, с:

$$\tau = \frac{1}{2} \cdot (T_{\text{диск}} + T_{\text{зан}}), \quad (4.36)$$

де $T_{\text{зан}}$ - стала часу запізнення інвертора.

$$T_{\text{диск}} = \frac{1}{\pi \cdot f \cdot m}, \quad (4.37)$$

де m - число фаз, приймаємо $m = 3$; f - частота мережі живлення, за замовчуванням $f = 50$.

$$T_{\text{диск}} = \frac{1}{3,14 \cdot 50 \cdot 3} = 0,002;$$

$$\tau = \frac{1}{2} \cdot (0,002 + 0,001) = 0,0016.$$

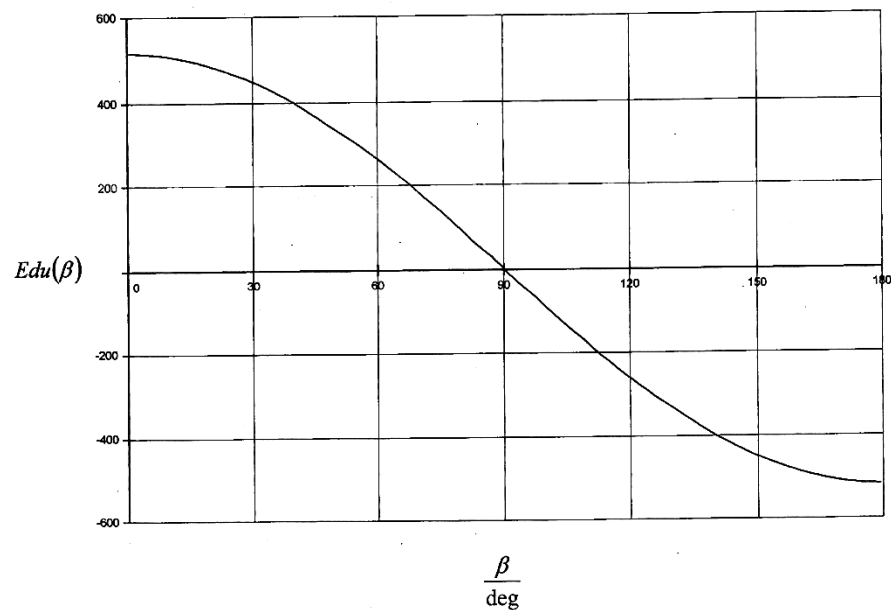


Рисунок 4.6 – Графічна залежність регулювання характеристики інвертора

Запишемо кінцевий вигляд передаточної функції АІН [56-60]:

$$W(p) = 27,529 \cdot e^{-0,0016p}.$$

4.2.2 Аналітичні дослідження контуру струму [56-60]

Дослідження будемо виконувати без урахування впливу перехресних зв'язків. Передаточна функція розімкнутого контуру струму статора по осі β буде мати наступний вигляд:

$$W_{1\beta} = W_{p.u.\beta}(p) \cdot \frac{k_n \cdot e^{-\tau \cdot p} \cdot k_{d.c.}}{R_1 \cdot (\sigma \cdot T_1 \cdot p + 1)}, \quad (4.38)$$

де $k_{d.c.}$ - коефіцієнт передачі давача струму; k_n - коефіцієнт передачі перетворювача; $W_{p.u.\beta}(p)$ - передаточна функція регулятора швидкості; σ -

коефіцієнт розсіювання машини; τ - значення часу чистого запізнювання.

У зоні частот, де $\omega \leq \tau^{-1}$ фазова частотна характеристика (ФЧХ) ланки чистого запізнювання близька до ФЧЗ аперіодичної ланки із постійною часу запізнення τ . Тому під час виконання аналітичних досліджень параметрів РС можна прийняти малу постійну часу такою, що дорівнює часу чистого запізнювання або $T_{\mu 1} = \tau$, і для налаштування контуру на модульний оптимум використовувати ПІ-регулювальний пристрій із наступними параметрами:

$$\beta_p = \beta_{p.c.} = \frac{\sigma \cdot T_1 \cdot R_1}{2 \cdot T_{\mu 1} \cdot k_n \cdot k_d}, \quad (4.39)$$

де $\beta_{p.c.}$ - величина динамічного коефіцієнту РС; $T_{\mu 1}$ - мала постійна часу.

$$\beta_p = \beta_{p.c.} = \frac{0,551 \cdot 0,005 \cdot 2,8}{2 \cdot 0,0002 \cdot 27,26 \cdot 0,009} = 78,68.$$

Знайдемо постійну часу регулятора струму $\tau_{p.c.}$ згідно із формулою:

$$\tau_{p.c.} = \sigma \cdot T_1; \quad (4.40)$$

$$\tau_{p.c.} = 0,551 \cdot 0,005 = 0,0021.$$

Під час аналітичного дослідження контуру струму $i_1 \alpha$ повинно бути враховано зворотний зв'язок відносно похідної потокозчеплення ротора. Якщо виконати перенос входу зворотного зв'язку на вхід ланки або $1/[R_1 \cdot (\sigma \cdot T_1 \cdot p + 1)]$, отримаємо передаточну функцію ОК контуру у наступному вигляді [56-60]:

$$W_{01}(p) = \frac{T_2 \cdot p + 1}{R_1 \cdot [\sigma \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot p + (\sigma \cdot T_1 + T_2 + k_2 \cdot L_m / R_1) \cdot p + 1]}. \quad (4.41)$$

Враховуючи те, що $T_2 \gg \sigma \cdot T_1$, то в контурі струму i_α можливо використовувати ПІ-регулювальний пристрій із параметрами, як і у контурі струму i_β .

4.2.3 Аналітичні дослідження контуру регулювання поточозчеплення ротора [56-60]

Для проведення аналітичних досліджень параметрів регулятора в контурі, що містить підпорядкований замкнутий контур (у запропонованому випадку - контуру струму статора відносно осі α), необхідно досліджувати контур як аперіодичну ланку із малою постійною часу, що в свою чергу, дорівнює подвоєній малій постійній часу підпорядкованого контуру. Тоді передаточна функція ОК, за якою досліджуються параметри РП, буде мати наступний вигляд [56-60]:

$$W_{0\varphi} = \frac{X_m \cdot k_{\delta.nm.}}{k_{\delta.nm.}} \cdot \frac{1}{(T_{\mu\psi} \cdot p + 1) \cdot (T_2 \cdot p + 1)}, \quad (4.42)$$

де $k_{\delta.nm.}$ - величина коефіцієнту передачі давача потоку, приймаємо $k_{\delta.nm.} = 1$; T_2 - стала часу фази обмотки статора; $T_{\mu\psi}$ - мала стала часу за відсутності запізнювання у визначенні поточозчеплення ротора.

Визначимо малу сталу часу за відсутності запізнювання в визначенні поточозчеплення ротора:

$$T_{\mu\psi} = T_{1екв} = 2 \cdot T_{\mu 1}, \quad (4.43)$$

де $T_{\mu 1}$ - мала стала часу контуру струму; $T_{1екв}$ - еквівалентна мала стала часу контуру струму.

$$T_{\mu\psi} = 2 \cdot 0,00025 = 0,0005.$$

Знайдемо параметри ПІ-регулювального пристрою потоку:

$$\beta_{p.nm.} = \frac{T_2 \cdot k_{д.м.}}{2 \cdot T_{\mu\psi} \cdot L_m \cdot k_{д.nm.}}, \quad (4.44)$$

де $\beta_{p.nm.}$ - величина динамічного коефіцієнту РПт.

$$\beta_{p.nm.} = \frac{0,0046 \cdot 0,009}{2 \cdot 0,0005 \cdot 0,009 \cdot 1}.$$

Тоді визначимо стала часу РПт:

$$\tau_{p.nm.} = T_2;$$

$$\tau_{p.nm.} = 0,0046.$$

4.2.4 Аналітичні дослідження контуру регулювання електромагнітного моменту АД [56-60]

Приймаємо припущення, що в АД встановлено номінальне потокозчеплення ротора ψ_{2H} та контур не містить ланки із великою постійною часу, тоді передаточна функція ОК при розрахунку в амплітудних значеннях матиме наступний вигляд [51-55]:

$$W_{0M}(p) = \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot k_2 \cdot \psi_{2H} \cdot k_{\partial M} \cdot \frac{1}{k_{\partial c} \cdot (T_{\mu M} \cdot p + 1)}, \quad (4.45)$$

де $k_{\partial M}$ - коефіцієнт зворотного зв'язку за моментом; ψ_{2H} - потокозчеплення ротора; $k_{\partial c}$ - коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом; $T_{\mu M}$ - мала стала часу контуру регулювання моменту.

У цьому виразі $1/k_{\partial c} \cdot (T_{\mu M} \cdot p + 1)$ - передаточна функція аперіодичної ланки, якою під час розрахунку параметрів РМ буде замінено передаточну функцію замкненого контуру струму $i_1\beta$ за наступної умови:

$$T_{\mu M} = T_{іекв} = 2 \cdot T_{\mu i}.$$

Для налаштування контуру на модульний оптимум регуляторний пристрій повинен бути інтегровальним із наступною передаточною функцією:

$$W_{pM}(p) = \frac{\beta_{pM}}{p}, \quad (4.46)$$

де β_{pM} - динамічний коефіцієнт РМ.

$$\beta_{pM} = \frac{1}{\left[2 \cdot T_{\mu M} \cdot \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot k_2 \cdot \psi_{2H} \cdot k_{\partial M} \right]}, \quad (4.47)$$

де p_n - число пар полюсів АД; $k_{\partial M}$ - коефіцієнт зворотного зв'язку за моментом, приймаємо $k_{\partial M} = 1$; ψ_{2H} - величина потокозчеплення ротора.

$$\beta_{pM} = \frac{1}{\left[2 \cdot 0,0005 \cdot \frac{3}{2} \cdot 4 \cdot 0,69 \cdot 1,67 \cdot 1 \right]} = 95,7.$$

4.2.5 Аналітичні дослідження контуру швидкості [56-60]

Дослідження будемо виконувати на модульній оптимум. Оскільки ОК представляє собою ідеальну інтегровальну ланку, для налаштування на модульній оптимум необхідно використати пропорційний регулювальний пристрій швидкості із коефіцієнтом k_{pui} із наступною формулою:

$$k_{pui} = \frac{k_{\partial M} \cdot J}{2 \cdot T_{\mu\omega} \cdot k_{\partial ui}}, \quad (4.48)$$

де $k_{\partial M}$ - величина коефіцієнту зворотного зв'язку за моментом; J - момент інерції АД; $k_{\partial ui}$ - коефіцієнт передачі давача швидкості; $T_{\mu\omega}$ - мала стала часу контуру швидкості.

$$T_{\mu\omega} = 2 \cdot T_{\mu M};$$

$$T_{\mu\omega} = 2 \cdot 0,0005 = 0,001;$$

$$k_{pui} = \frac{1 \cdot 0,065}{2 \cdot 0,001 \cdot 0,1} = 306,4.$$

Звідки стала часу РШ буде дорівнювати:

$$\tau_{pui} = 2 \cdot T_2;$$

$$\tau_{p\mu} = 2 \cdot 0,001 = 0,002.$$

В елементах схеми, що належать до моделі потоку, аналітичні дослідження будуть проводитись відповідно до наступних формул:

- ефективне значення потокозчеплення ротора ψ_{2ef} :

$$\psi_{2ef} = \frac{X_m}{T_2 \cdot p + 1} \cdot i_{1\alpha}; \quad (4.49)$$

$$\psi_{2ef} = \frac{2,84}{0,0046 \cdot p + 1} \cdot i_{1\alpha}.$$

- частота роторної ЕРС:

$$\omega_p = \frac{X_m \cdot i_{1\alpha}}{T_2 \cdot \psi_{2ef}}; \quad (4.50)$$

$$\omega_p = \frac{2,84 \cdot i_{1\alpha}}{0,0046 \cdot \psi_{2ef}} = 0,21 \cdot \frac{i_{1\alpha}}{\psi_{2ef}}.$$

- електромагнітний момент АД:

$$M_\delta = 3 \cdot p_n \cdot k_2 \cdot i_{1\alpha} \cdot \psi_{2ef}; \quad (4.51)$$

$$M_\delta = 3 \cdot 4 \cdot 0,69 \cdot i_{1\alpha} \cdot \psi_{2ef} = 6,26 \cdot i_{1\alpha} \cdot \psi_{2ef}.$$

4.3 Аналітичні дослідження контуру тиску

Для керування рівнем тиску будемо використовувати структурну схему, наведену на рисунку 4.6 [56-60].

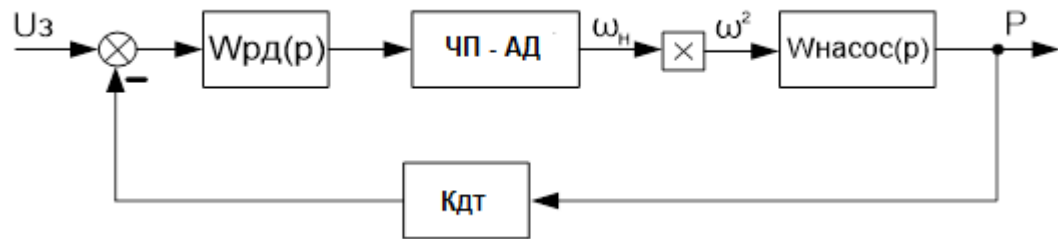


Рисунок 4.6 – Структурна схема контуру керування рівнем тиску

Для того щоб виконати аналітичні дослідження регулятора контуру рівня тиску, необхідно спочатку визначити передаточну функцію насоса в якості ОК.

З [15] випливає, що напір, що створюється за допомогою насоса є величиною, що пропорційна квадрату частоти обертання:

$$\frac{H_1}{H_i} = \frac{\omega_1}{\omega_i},$$

або

$$H = k_H \cdot \omega^2,$$

де k_H - коефіцієнт напору, що визначає умову вибору типу насоса, приймаємо $k_H = 0,79$.

Передаточну функцію насоса можна визначити з наступної формули:

$$W_{насос}(p) = \frac{k_H}{p}.$$

Оскільки ОК представляє собою ідеальну інтегровальну ланку, для налаштування на модульний оптимум необхідно використати пропорційний регулювальний пристрій рівня тиску із наступним коефіцієнтом [51-55]:

$$k_{pm} = \frac{k_H}{2 \cdot T_{\mu m} \cdot k_{\text{от}}},$$

де $k_{\text{от}}$ - коефіцієнт зворотного зв'язку за тиском, приймаємо $k_{\text{от}} = 1$; $T_{\mu m}$ - мала стала часу контуру тиску.

Знайдемо значення малої сталої часу контуру тиску згідно формули:

$$T_{\mu Д} = 2 \cdot T_{\mu с};$$

$$T_{\mu Д} = 2 \cdot 0,0005 = 0,001.$$

Виконаємо підстановку отриманих значень в початкову формулу:

$$k_{pm} = \frac{0,79}{2 \cdot 0,001 \cdot 1} = 395.$$

Виконаємо за допомогою програмного середовища MATLAB [61-63] структурну схему керування, наведену на рисунку 4.7.

Отримані графічні залежності представлено на рисунках 4.8 – 4.10.

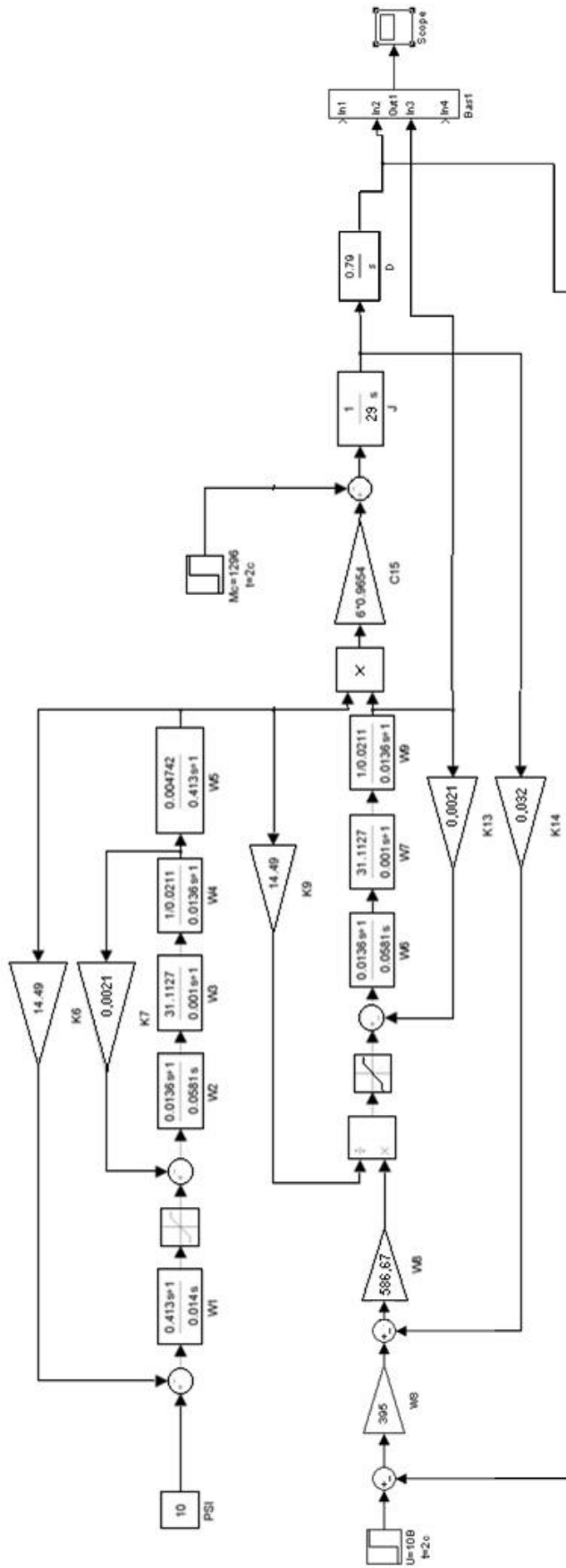


Рисунок 4.7 - Структурна схема ЧП-АД із контуром регулювання рівня тиску

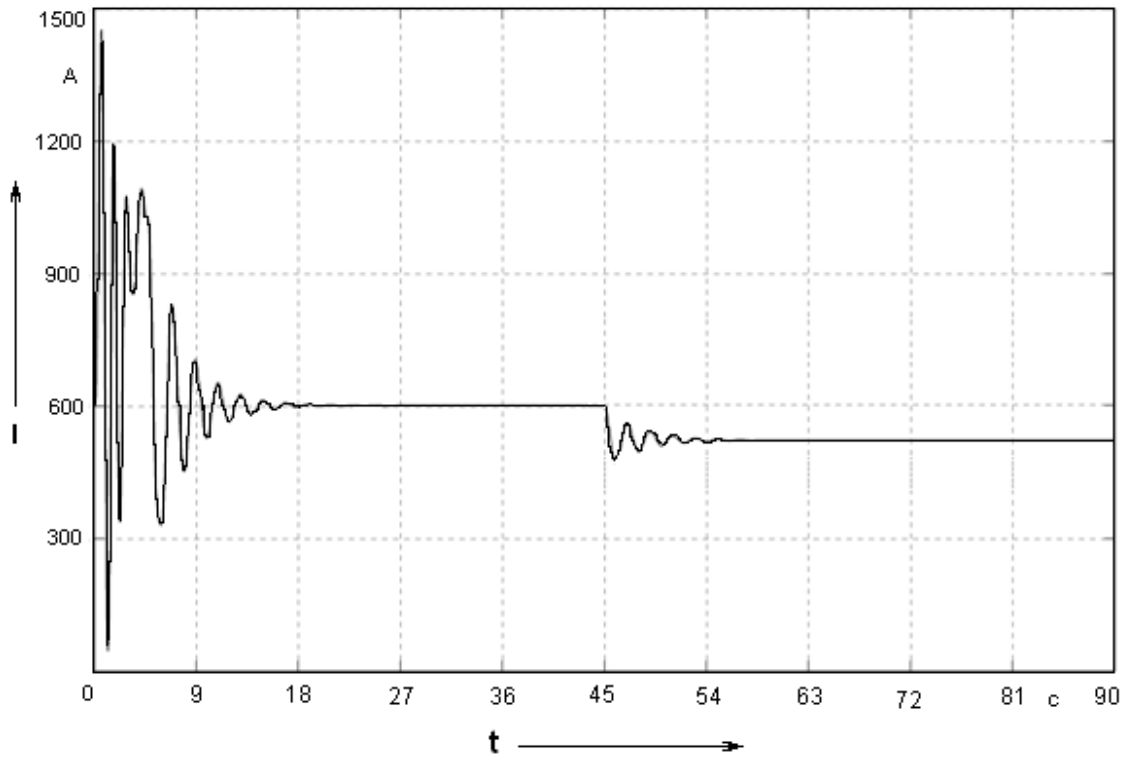


Рисунок 4.8 – Графічна залежність тривалості перехідного процесу контуру струму під час збільшення навантаження

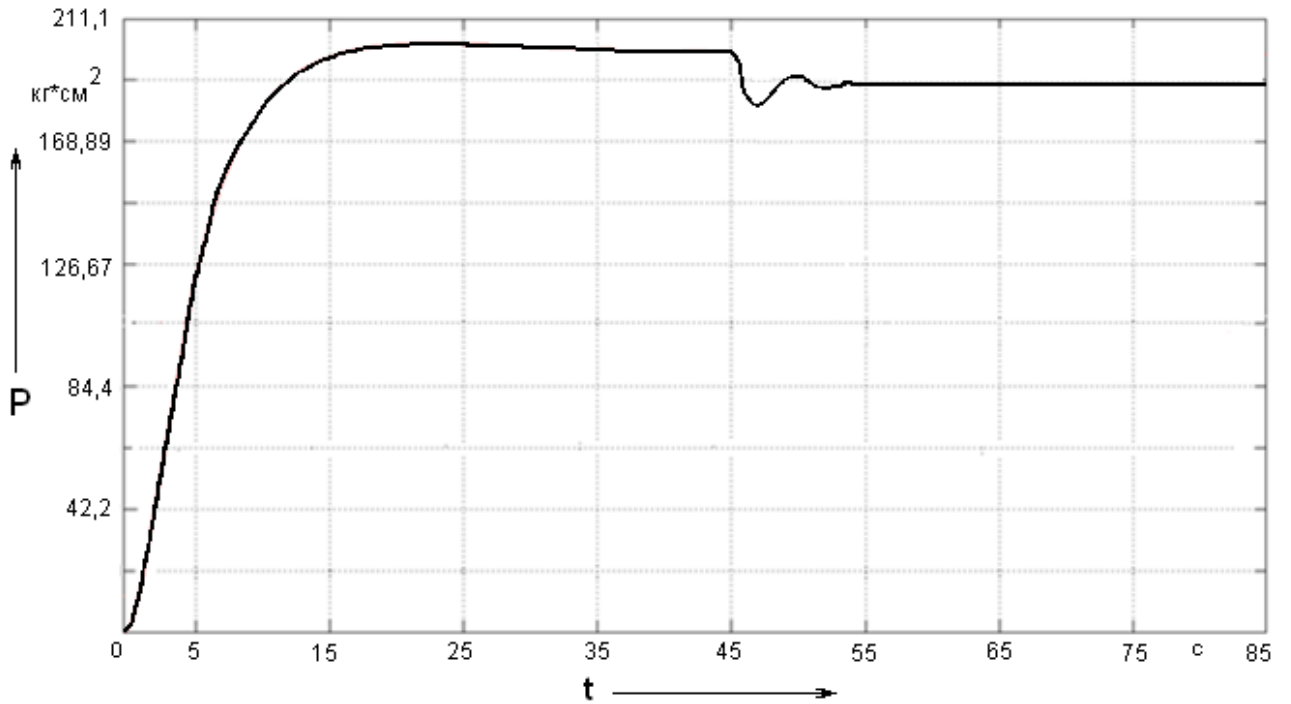


Рисунок 4.9 – Графічна залежність тривалості перехідного процесу контуру тиску під час збільшення навантаження

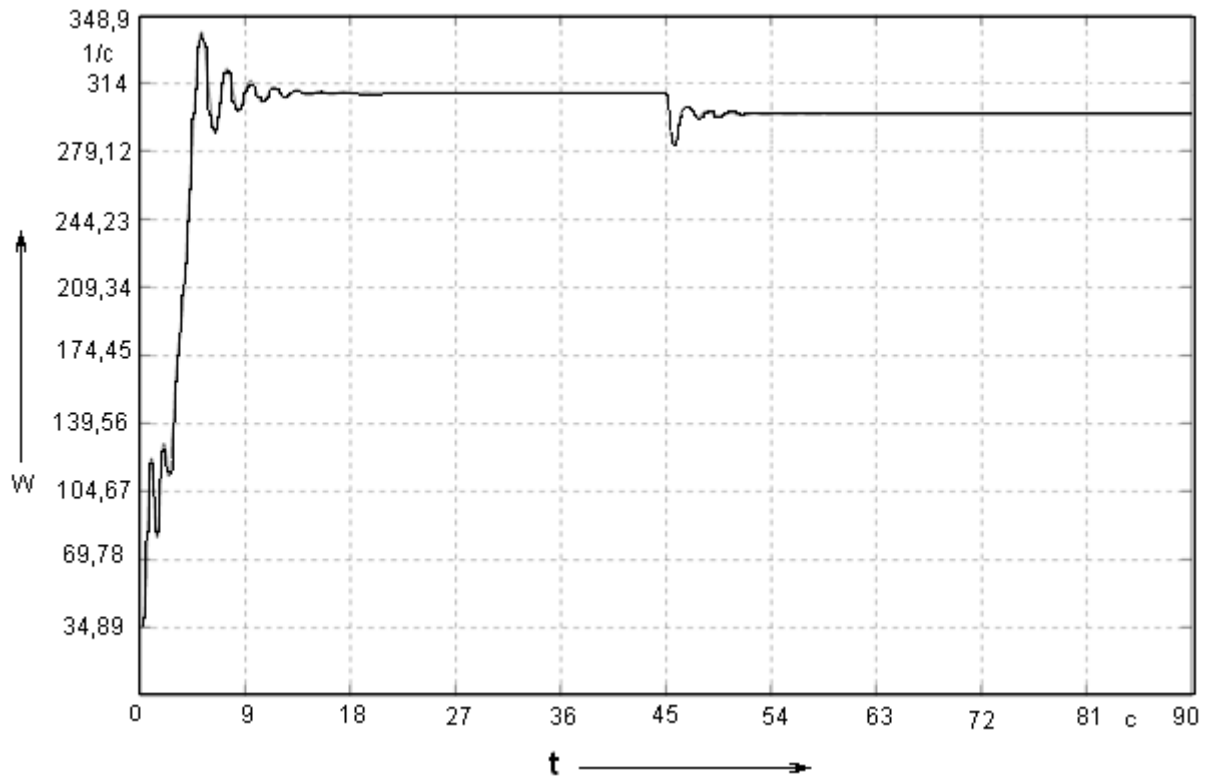


Рисунок 4.10 – Графічна залежність тривалості переходного процесу контуру швидкості при збільшенні навантаження

Проаналізувавши отримані в аналітичному дослідженні графічні залежності очевидно, що підтримка рівня тиску під час збільшення навантаження відбувається без стрибків та кидків, тож можливо вважати, що контур регулювання рівня тиску налаштований адекватно [61-63].

4.4 Висновки до четвертого розділу

Виконано моделювання (у програмному середовищі MATLAB, додаток SIMULINK) спроектованої САК електроприводу компресора насосної установки. Отримано динамічні характеристики, що відповідають ТП. Аналіз графічних залежностей переходних процесів дозволив зробити висновок про відповідність отриманих результатів вимогам, що висувають до електроприводів насосних установок.

ВИСНОВКИ

Виконано огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень ТП фракціонування бензинової суміші.

Виконано постановку завдань для автоматизації ТП фракціонування бензинової суміші.

Виконано моделювання системи автоматичного керування ТП фракціонування бензинової суміші. Наведено короткі технічні характеристики насосного обладнання та електродвигуна, що буде використовуватись в ТП фракціонування. Проаналізовано існуючі способи регулювання кутової швидкості обертання електродвигуна. На основі аналізу виконано вибір способу регулювання кутової швидкості АД.

Розроблено функціональну схеми керування встановленим електроприводом. Описано та проаналізовано принцип дії частотного перетворювача із широтно-імпульсною модуляцією, що буде використовуватись для керування АД.

Проведено підбір необхідної апаратної частини для ТП фракціонування бензинової суміші, розроблено програмна частина ТП фракціонування бензинової суміші, а саме: розроблено програмні засоби керування ТП фракціонування бензинової суміші та алгоритми системи керування ТП фракціонування бензинової суміші. Створено САК робочою ділянкою фракціонування бензинової суміші.

Виконано моделювання (у програмному середовищі MATLAB, додаток Simulink) спроектованої САК електроприводу компресора насосної установки. Отримано динамічні характеристики, що відповідають ТП. Аналіз графічних залежностей перехідних процесів дозволив зробити висновок про відповідність отриманих результатів вимогам, що висувають до електроприводів насосних установок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сіренко Г.О. Фізико-хімія паливно-мастильних матеріалів: [монографічний підручник (спеціальний курс лекцій)] [за ред. Г. О. Сіренка] / Г. О. Сіренко, В. І. Кириченко, І. В. Сулима. – Івано-Франківськ : Супрун В. П., 2017 – с. – Літ. – 366. – Форм. 167. – Рис. 119. – Табл. 132. – 100 прим.
2. Моторні палива: властивості та якість [текст] підручник / Сергій Бойченко, Андрій Пушак, Петро Топільницький, Казимир Лейда; за заг. ред. проф. С. Бойченка. – К. : «Центр учбової літератури», 2017. – 324 с. ISBN 978-617-673-588-5
3. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення. К / Упор. В.Я.Чабанний. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. – 353с.
4. ISO 8402 Quality management and quality assurance. Vocabulary. – [1995-07-01]. – 60 р.
5. Інструкція з контролювання якості нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України: №271/121:2007. – Офіц. вид. – К.: М-во палива та енергетики України, 2007. – 100 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України. Інструкція).
6. Нафтопродукти. Терміни та визначення: ДСТУ 3437-96. – [Чинний від 01.08.1997]. – К.: Управління Держспоживстандарту України, 1997. – 100 с.
7. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення: ДСТУ 3021-95. – [Чинний від 01.01.1996]. – К.: Управління Держспоживстандарту, 1996. – 75 с.
8. Бойченко С. В. Газ і паливно-мастильні матеріали: навч.-метод. посібн. / С. В. Бойченко, Л. М. Черняк, Н. М. Кучма, О. С. Тітова. – К.: НАУ, 2006. – 109 с
9. Бойченко С. В. Хімотологія: навч.-метод. посібн. / С. В. Бойченко Л. М. Черняк, Н. М. Кучма, В. В. Єфименко. – К.: НАУ, 2006. – 157 с.
10. Топільницький П. І. Переробка нафтових і природних газів / П.І.

Топільницький. – Львів: Державний університет «Львівська політехніка», 1998. – 169 с.

11. Чабанний В. Я. Паливно-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення / В.Я.Чабанний. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. – 353 с.

12. Сучасні перетворювачі частоти в системах електропривода : навч. посібник / М. В. Загірняк, Т. В. Коренькова, А. П. Калінов, А. І. Гладир, В. Г. Ковальчук. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – Харків: Видавництво «Точка», 2017. – 206 с. ISBN 978-617-7470-78-5

13. Автономні перетворювачі та перетворювачі частоти: Навчальний посібник/М.М.Казачковський. - Дніпропетровськ: НГА України, 2000. - 197 с.

14. Сенько В.І., Трубіцин К.В., Чибеліс В.І. Інвертори і перетворювачі частоти : монографія — Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. — 300 с. ISBN 978-617-7844-11-1

15. Насосні та повітродувні станції : навч. посібник / Т. О. Шевченко, Ю. В. Ярошенко, М. М. Яковенко, В. М. Беляєва ; Харків. нац. ун-т міськ. гос-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ, 2014. – 195 с.

16. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. - ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 20 с.

17. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.

18. Електропривод: Механіка електроприводу. Електромеханічне перетворення енергії та електромеханічні властивості двигунів постійного струму: [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В.М. Пижов, Н.Д. Красношайка, М.Я. Островерхов.– Електронні текстові дані (1 файл: 2,48 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 198 с. (доступ за посиланням

<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/4195>

19. Electrical Drives. Principles-Planning-Applications-Solutions. Jens Weidauer, Richard Messer / Siemens, 2015. – 397 p., англійською мовою.

20. Електричні машини і трансформатори : навч. посібник / М. О. Осташевський, О. Ю. Юр'єва; за ред. В. І. Мілих. – Харків : ФОП Панов А. М., 2017. – 452 с. ISBN 978-617-7541-11-9

21. Белікова Л.Я. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – Одеса : Наука і техніка, 2012. – 478 с.

22. Ковбаса Сергій Миколайович. Система векторного керування асинхронним двигуном з властивостями грубості до варіацій активного опору ротора: дис... канд. техн. наук: 05.09.03 / НАН України; Інститут електродинаміки. – К., 2004.

23. Пересада С. М., Ніконенко Є. О. Курсовий проект з керування електроприводами [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С.М. Пересада, Є.О. Ніконенко – Електронні текстові дані (1 файл: 2,6 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 57 с.

24. VLT® 5000 [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.danfoss.com/uk-ua/products/dds/low-voltage-drives/vlt-and-vacon-legacy-drives/vlt-5000/>

25. VLT 5000, Регулятор частот [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://ugov.ua/catalog/detail/vlt-5000-peretvoriuvach-chastoty/>

26. VLT ® 5000 Series - 1MD.50.A8.02 - VLT is a registered Danfoss trademark – 62 p.

27. Технічне обладнання АВВ для вимірювання температури / АВВ MEASUREMENT&ANALYTIC – 24 с.

28. Датчик температури SensyTemp TSP / Інструкція з обслуговування. OI/TSP-RU, 03.2010 - 74 с.

29. KA01030P/00/RU/16.14 71304270 Короткий посібник з експлуатації

Cerabar M PMC51, PMP51, PMP55. Вимірювання робочого тиску - 44 с.

30. Стандарт ІЕС 61508. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems – Part 1: General requirements. ICS 13.110; 25.040; 29.020 – 23 p.

31. ІЕС 61511-1:2016. Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector - Part 1: Framework, definitions, system, hardware and application programming requirements, 2016. – 175 p.

32. Офіційний сайт АВВ [Електронний ресурс] – Режим доступу:

https://voltline.ua/?gclid=CjwKCAjwxOymBhAFEiwAnodBLFveqp7HpBqiViT-qrBAkYJ0_BVY-BuLr0WXhJ3V1tQgm2c7CsnfcBoCTS8QAvD_BwE

33. Офіційний сайт ADVANTECH [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<http://advantech-bb.com.ua/>

34. Офіційний сайт ALLEN-BRADLEY [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley.html>

35. Офіційний сайт MOTOROLA [Електронний ресурс] – Режим доступу:

https://www.motorolasolutions.com/ru_ru.html

36. Офіційний сайт FISHER-ROSEMOUNT [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://www.emerson.com/ru-ua/automation/rosemount>

37. Офіційний сайт SAMSUNG [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://www.samsung.com/ua>

38. Офіційний сайт HEWLETT PACKARD [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://www.hp.com/ua-uk/home.html>

39. Офіційний сайт YOKOGAWA [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<http://www.yokogawa.com.ua/page.php?id=11>

40. Офіційний сайт SIEMENS [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://www.siemens.com/ua/uk.html>

41. Logix5555 [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://www.dosupply.com/automation/allen-bradley-plc/controllogix/Logix5555>

42. FlexLogix Controller System User Manual 1794-L34 Firmware Revision 16 - User Manual – 130 p.

43. ControlLogix Redundancy System Catalog Numbers 1756-CNB/D/E, 1756-CNBR/D/E, 1756-ENBT, 1756-EWEB, 1756-L55, 1756-L55M12, 1756-L55M13, 1756-L55M14, 1756-L55M16, 1756-L55M22, 1756-L55M23, 1756-L55M24, 1756-L61, 1756-L62, 1756-L63, 1757-SRM. User Manual, Publication 1756-UM523F-EN-P - December 2006 – 186 p.

44. RSView32 [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://www.solvusoft.com/ru/file-extensions/software/rockwell-automation-inc/rview32/#>

45. RSView32 (CPR SR [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://rview32-cpr-sr.updatestar.com/ua>

46. IEC 61131-3:2013. Programmable controllers - Part 3: Programming languages, 2013. – 464 p.

47. RSLOGIX 5000 Програмне забезпечення для підприємств – 17 с.

48. Microsoft® Windows® [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://www.microsoft.com/uk-ua>

49. Rockwell Automation [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://www.rockwellautomation.com/en-ua/company/about-us/ukraine.html>

50. RSLinx Classic [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://commerce.rockwellautomation.com/rockwell/en/USD/p/9355-RSLC/bundleBrand>

51. Ладанюк А. П., Архангельська К. С., Власенко Л. О. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами: Навч. посіб. / – К.: НУХТ, 2014. – 274 с.

52. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.

53. Теорія автоматичного управління: Навчальний посібник [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»; уклад.: О. Й. Штіфзон, П. В. Новіков, В.П. Бунь. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 144 с.

54. Шаповаленко В. А. Чисельні методи та моделювання на ЕОМ: Навчальний посібник. Модуль 1. / В. А. Шаповаленко, Л. М. Буката, О. Г. Трофименко. – Одеса : ВЦ ОНАЗ, 2010. – Ч. 1. – 95 с.

55. Буката Л.Н. Чисельні методи та моделювання на ЕОМ: навчальний посібник. – Ч. 1. – Модуль 2 / Буката Л.Н., Глазунова Л.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2013. – 84 с.

56. Лукінюк М.В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічний об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтег. технології / М. В. Лукінюк. - К.: НТУУ «КПІ», 2008. - 236 с.

57. Синєглазов В.М., Сергєєв І.Ю. Автоматизація технологічних процесів: Навчальний посібник. – К.: НАУ, 2010. – 506 с.

58. Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів / Гончаренко Б.М., Осадчий С.І., Віхрова Л.Г., Каліч В.М., Дідик О.К. – Кіровоград: Видавець – Лисенко В.Ф., 2016. – 352 с.

59. Автоматизація виробничих процесів : підручник / І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В.М. Сідлецький, С. М. Швед ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харчових технологій. – Київ : Ліра-К, 2015, 2019. – 378 с.

60. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник / Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с. ISBN 978-966-2007-12-1.

61. Getting Started with MATLAB. Version 6.5. The MathWorks, Inc., 2002.
62. Matlab Documentation. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: - <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/control>
63. Simulink Documentation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/simulink>

ДОДАТКИ

Додаток А

Тези конференції

УДК 658.5:005.591.6; 681.5

Технологічні процеси виробництва виробів

ВИБІР СПОСОБУ РЕГУЛЮВАННЯ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Ковбасюк Д.,
Радельчук Г.І.

Хмельницький національний університет

Двигуни постійного струму знайшли досить широке застосування завдяки використанню сучасних ТРН, які дають можливість виконувати регулювання кутової швидкості даних електродвигунів шляхом зміни рівня напруги на якорі або в обмотках збудження. Для розширення діапазону регулювання кутової швидкості можуть використовуватись різні сигнали зворотного зв'язку (тахогенератори, напруга на якорі тощо). Однак експлуатація електродвигунів постійного струму спричиняє цілу низку незручностей, пов'язаних із конструктивними особливостями електричних машин даного типу: велика маса; наявність щітково-колекторного вузла; складність конструкції і, як результат, висока ціна; необхідність у періодичному обслуговуванні.

Вказані недоліки вимагають істотних витрат під час купівлі електричних машин постійного струму та подальшої експлуатації, а також можуть значно знизити надійність та точність СК в цілому. Необхідно зупиняти виробництво для обслуговування щітково-колекторних вузлів та планувати додаткові планово-попереджувальні роботи, крім того виконувати періодичне продування електричних машин від пилу [1-5].

Можливість керування частотою обертання короткозамкнених АД було доведено відразу ж після їхнього створення. Реалізувати дану можливість вдалося лише після появи силових напівпровідникових приладів - спочатку тиристорів, а пізніше транзисторів типу IGBT.

Зараз досить широко реалізується спосіб керування асинхронною машиною, яку сьогодні розглядають не лише із погляду вдосконалення керування ТП, а із погляду економії енергії. У побуті та промисловості використовують електродвигуни як змінного так і постійного струмів [1-5].

Для регулювання кутової швидкості найчастіше використовували електродвигун саме постійного струму. Перетворювач у такому випадку регулював тільки рівень напруги, був простий у конструкції та дешевий. Однак електродвигуни постійного струму мають досить складну конструкцію, критичний в використанні щітковий апарат та порівняно високу ціну.

АД мають досить широке поширення, надійні, мають відносно невелику вартість, досить хороші експлуатаційні якості, але регулятори кутової швидкості через складність систем електронного регулювання частоти напруги живлення коштували досить дорого та

не володіли якостями, необхідними для широкого впровадження в промисловість.

Швидке збільшення ринку ЧП для АД не в останню чергу стало можливим у зв'язку з появою нової елементної бази – тобто силових модулів на базі IGBT (або біполярних транзисторів з ізольованим затвором), розрахованих на сили струму до кількох кілоампер, рівень напруги до кількох кіловольт, і рівнів частот комутації – в 30 кГц та вище [6].

В залежності від характеру навантаження ЧП повинен забезпечувати різні режими керування електродвигуном, реалізуючи ту чи іншу залежність між швидкістю обертання головного валу електродвигуна та рівнем вихідної напруги.

Режим із лінійною залежністю між напругою та частотою ($U/f = const$) реалізується найпростішими ЧП для забезпечення постійного моменту навантаження та застосовується для керування електродвигунами, підключеними паралельно або синхронними електродвигунами.

Водночас у разі зниження рівня частоти, починаючи з певного значення, максимальний момент електродвигуна починає знижуватись також. Для підвищення моменту на низьких частотах у ЧП передбачають функцію збільшення початкового значення вихідної напруги, яку використовують для компенсації падіння моменту для навантажень із постійним моментом або збільшення початкового моменту для навантажень із високим пусковим моментом, таких, наприклад, як промисловий міксер [6].

Для регулювання електроприводів вентиляторів та насосів застосовується квадратична залежність напруги/частоти ($U/f_2 = const$). Даний режим, так само як і попередній, можливо застосовувати для керування паралельно під'єднаними електродвигунами.

Водночас для підвищення якості керування електроприводом потрібне застосування інших, більш досконалих методів керування. До них відносять метод векторного керування – який забезпечує найбільш ефективне та точне керування.

У результаті для електропривода, що використовується в насосній станції найбільш економічно доцільний спосіб - векторне керування зі зворотним зв'язком за величиною швидкістю. А для забезпечення підтримання заданого рівня тиску та величини витрати також необхідно реалізувати контур регулювання за рівнем тиску [1-5].

Перелік посилань

1. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
2. Електропривод: Механіка електроприводу. Електромеханічне перетворення енергії та електромеханічні властивості двигунів постійного струму: [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ;

уклад.: В.М. Пижов, Н.Д. Красношапка, М.Я. Островерхов.– Електронні текстові дані (1 файл: 2,48 Мбайт).
– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 198 с. (доступ за посиланням
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/4195>)

3. Electrical Drives. Principles-Planning-Applications-Solutions. Jens Weidauer, Richard Messer / Siemens, 2015. – 397 p., англійською мовою.

4. Електричні машини і трансформатори : навч. посібник / М. О. Осташевський, О. Ю. Юр'єва; за ред. В. І. Міліх. – Харків : ФОП Панов А. М., 2017. – 452 с. ISBN 978-617-7541-11-9

5. Белікова Л.Я. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – Одеса : Наука і техніка, 2012. – 478 с.

6. Сучасні перетворювачі частоти в системах електропривода : навч. посібник / М. В. Загірняк, Т. В. Коренькова, А. П. Калінов, А. І. Гладир, В. Г. Ковальчук. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – Харків: Видавництво «Точка», 2017. – 206 с. ISBN 978-617-7470-78-5

Додаток Б

Презентаційні слайди

Метод керування автоматизованим процесом фракціонування бензинової суміші

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

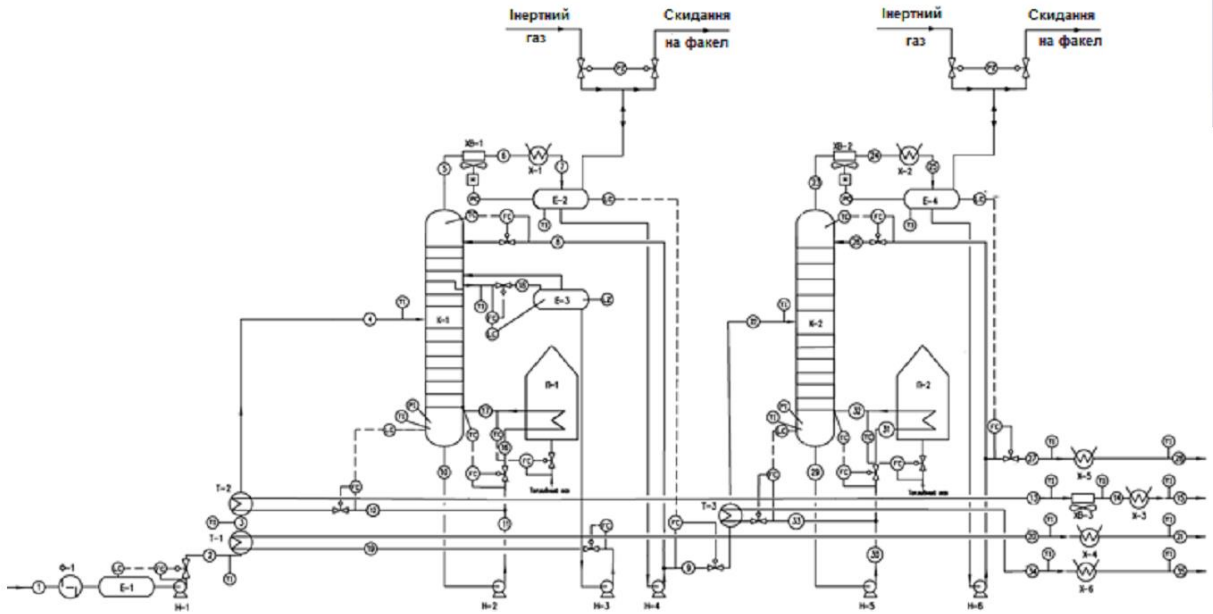
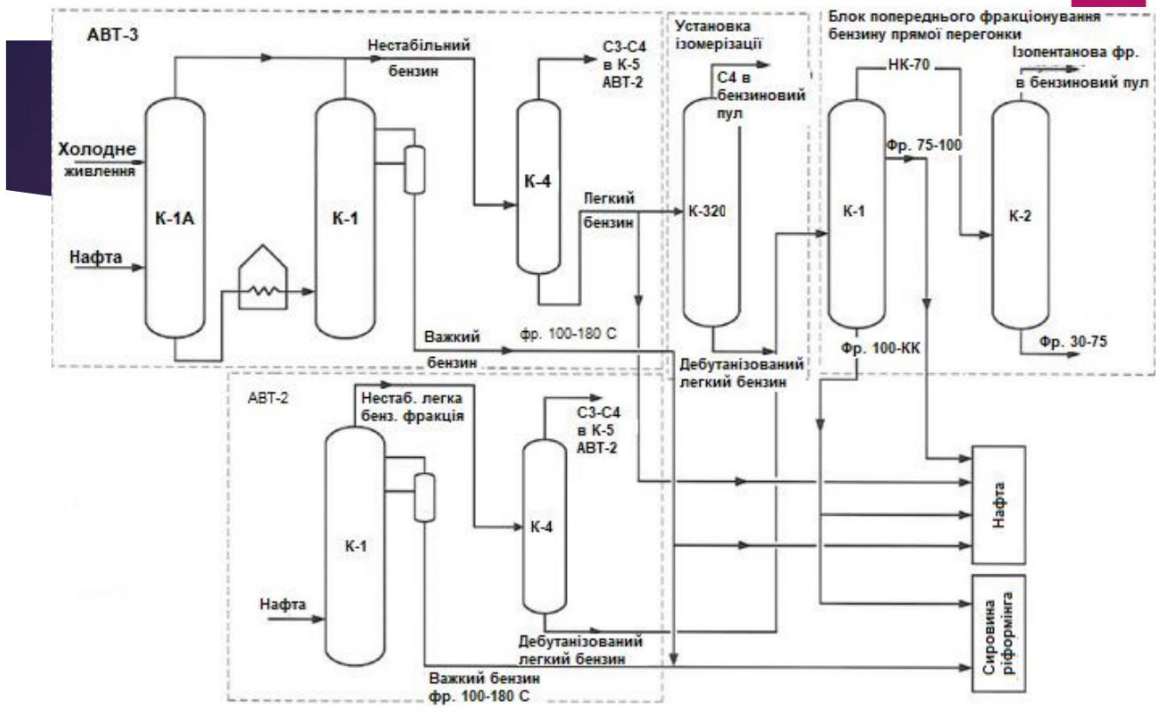
АКТУАЛЬНІСТЬ

Диктується сучасним рівнем автоматизації, що постійно зростає, на великих промислових. Загально відомо, що в світовій практиці переробки нафтопродуктів запропоновано велику кількість схем вторинної перегонки бензину. При виборі технологічної схеми (ТС) зазвичай спираються на компонентний склад бензину, вимоги економічні та вимоги до якості фракцій, що входять в його склад. Метою вторинної перегонки бензину є розподіл бензину прямої перегонки на фракції, що будуть приносити вищий економічний ефект у технологічних процесах (ТП) подальшої переробки бензину (наприклад, риформінг, ізомеризація та взагалі нафтохімічних процесах).

Метою роботи є змоделювати роботу автоматизованої системи керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші, для виконання необхідних аналітичних досліджень роботи системи в якості цифрового двійника.

Об'єктом дослідження є процес фракціонування бензинової суміші в автоматизованій системі керування.

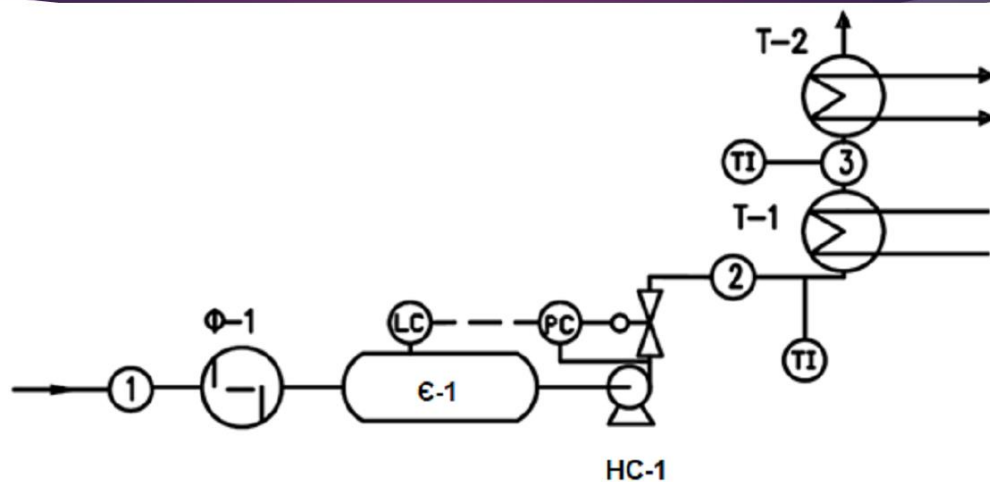
Предметом дослідження є алгоритми та методи керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші.



ЗАВДАННЯ

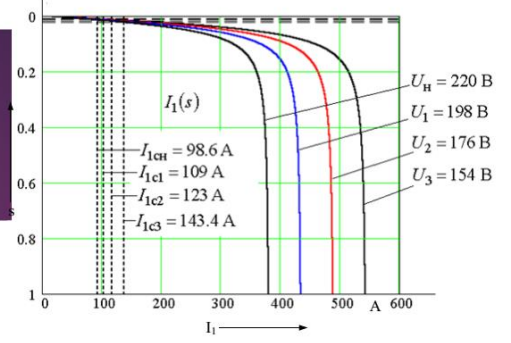
- виконати автоматизацію технологічного процесу використавши мікропроцесорну техніку. Під час створення проєкту керуватися затвердженими технічними вимогами до обладнання автоматизованих систем керування (АСК) ТП - розподіленої системи керування, (РСК) (або DCS - Distributed Control System), системи безпеки та протипаварійного автоматичного захисту (ПАЗ), а також контрольно-вимірювальних приладів (КВП);
- передбачити використання засобів вимірювання (ЗВ), що забезпечують автоматизований технологічний облік (заміна ЗВ за величиною витрати та рівнем температури не нижче Кл. 0,5-1,0), як на кордонах блоку, так і для відповідальних позицій налаштування;
- керування ТП виконувати із центру керування виробництвом (ЦКВ) всього заводу.

Схема дільниці попереднього нагрівання нафтових продуктів

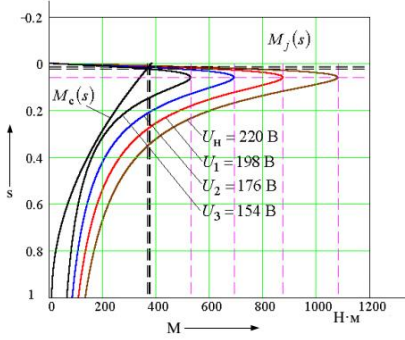




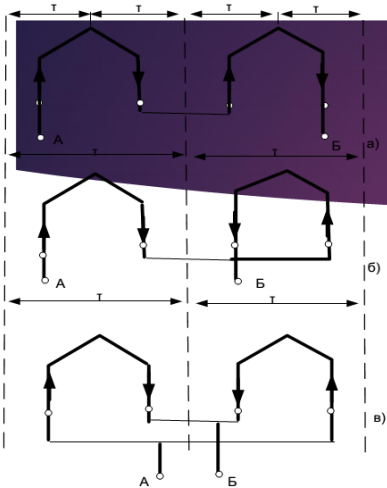
Загальний вигляд відцентрового насосу ЦН 160/112Е



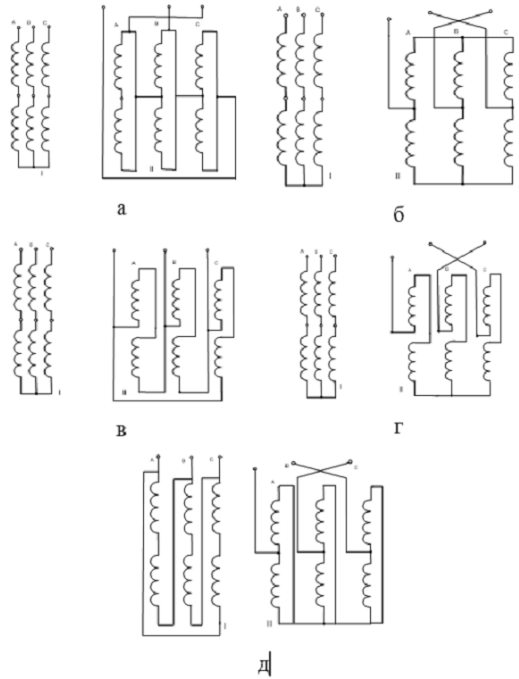
Графічні залежності електромеханічних характеристик АД серії 4А250S2У3



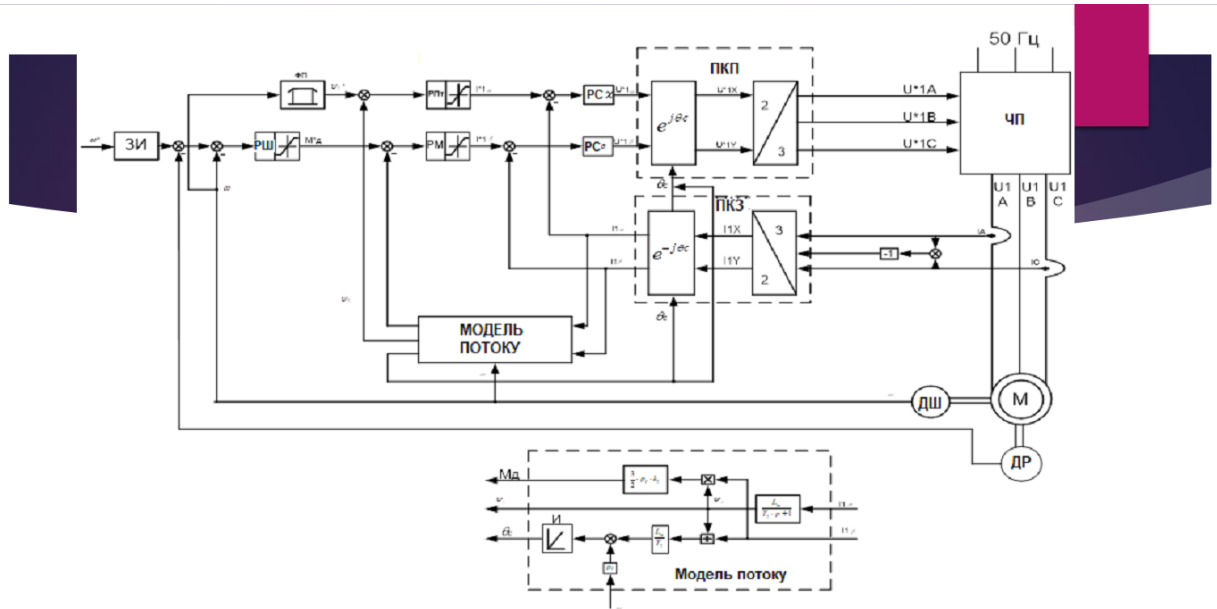
Графічні залежності МХ електродвигуна та насоса



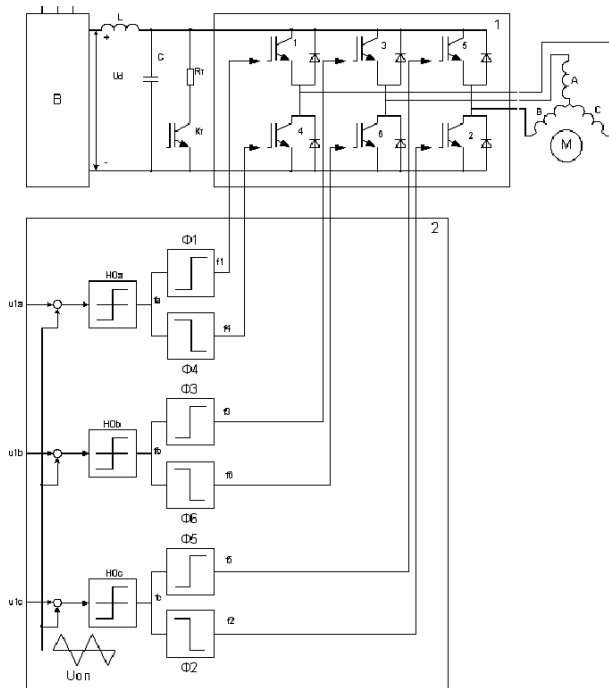
Найбільш поширені схеми перемикання підключення обмоток статора



Три варіанти принципів схем приєднання напівобмоток для зміни числа пар полюсів в обмотках зі співвідношенням 2:1

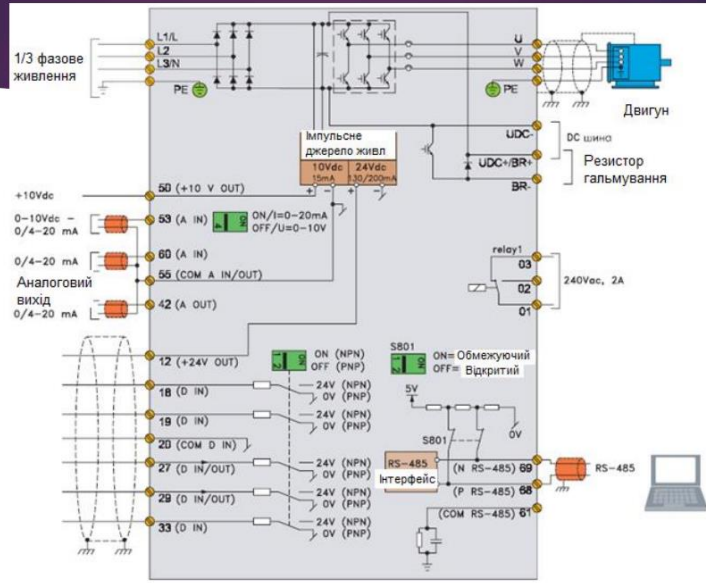


Функціональна схема САК рівня тиску під час векторного керування АД

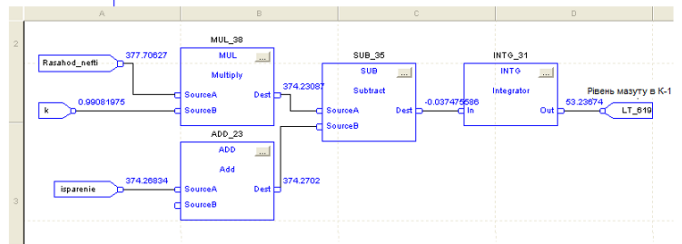
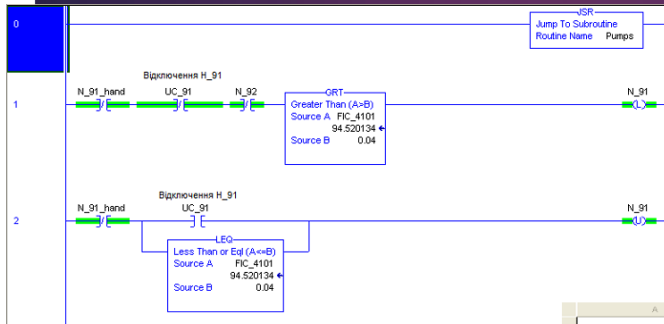


Частотний перетворювач із 3-фазним інвертором та ШІМ

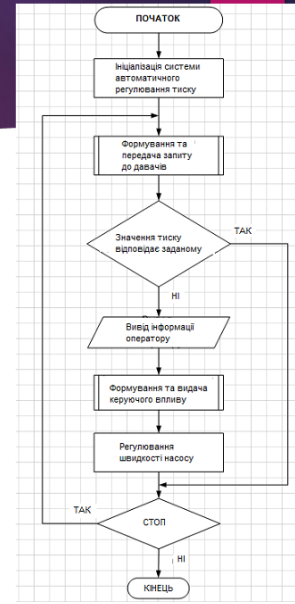
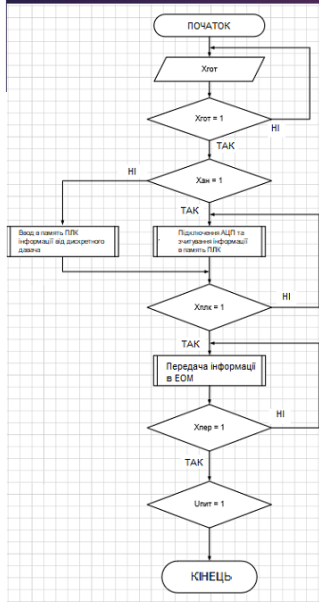
Підбір необхідної апаратної частини для технологічного процесу фракціонування бензинової суміші



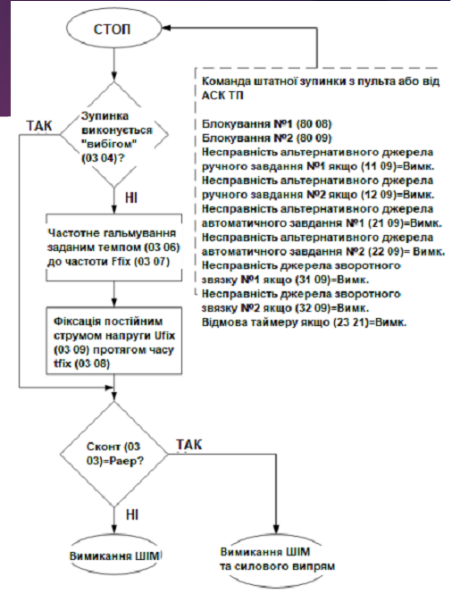
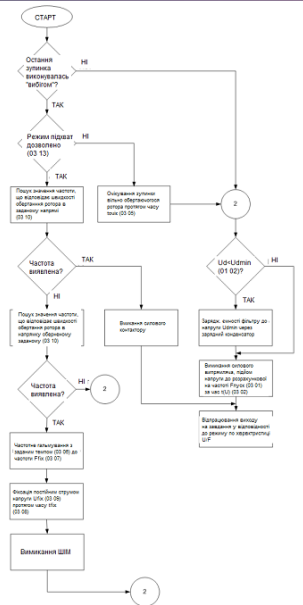
Принципи побудови програм графічною мовою релейно-контактної логіки LD та мовою функціональних блоків FBD



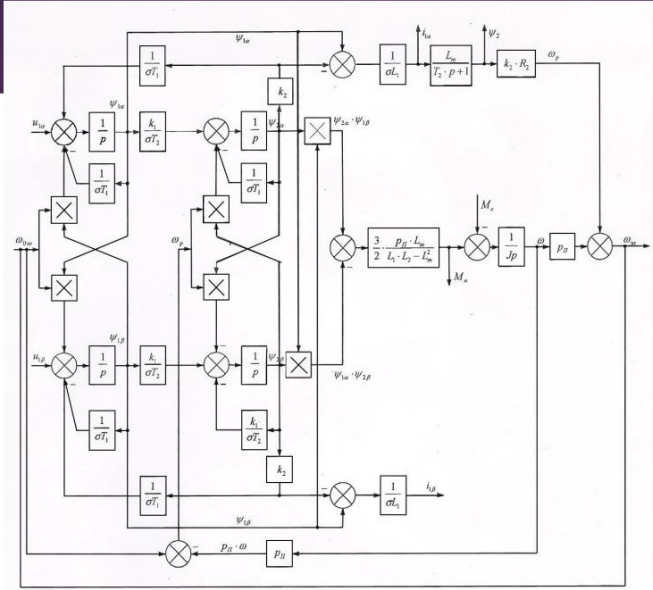
Розробка алгоритмів системи керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші



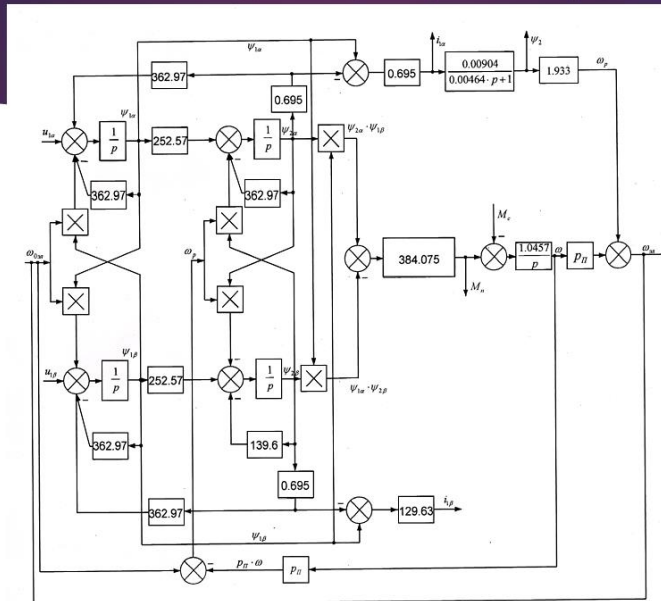
Розробка алгоритмів системи керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші



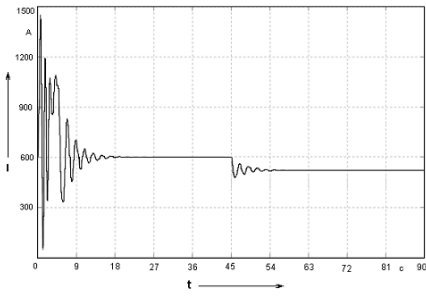
Структурна схема АД за довільного повороту обертової системи координат відносно просторових векторів



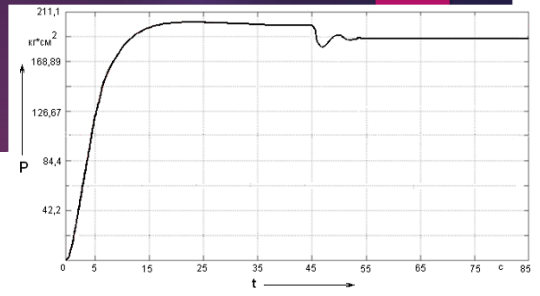
Розрахункова структурна схема АД за довільного повороту обертової системи координат відносно просторових векторів



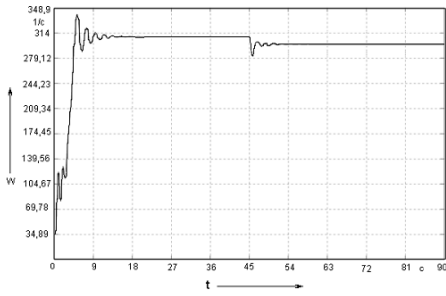
Аналітичні дослідження контуру тиску



Графічна залежність тривалості перехідного процесу контуру струму під час збільшення навантаження



Графічна залежність тривалості перехідного процесу контуру тиску під час збільшення навантаження



Графічна залежність тривалості перехідного процесу контуру швидкості при збільшенні навантаження

Додаток В

Таблиця В.1 – Технічні характеристики насосів марки ЦН

Марка агрегата	Подача, м ³ / час	Напор, м	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	Допуск. кавитац. запас, м
ЦН 90/100	90	100.00	2900	44.00	4.80
ЦН 90/100-Е	90	100.00	2900	50.00	4.80
ЦН 90/100а	90	100.00	2900	40.00	4.80
ЦН 90/100а-Е	90	100.00	2900	45.00	4.80
ЦН 160/112	160	112.00	2900	77.00	4.80
ЦН 160/112Е	160	112.00	2900	75.00	4.80
ЦН 160/112а	150	100.00	2900	62.00	4.80
ЦН 160/112а-Е	150	100.00	2900	67.00	4.80
ЦН 160/112б	135	80.00	2900	50.00	4.80
ЦН 160/112б-Е	135	80.00	2900	54.00	4.80

Таблиця В.2 - Паспортні дані електродвигуна

Номінальна потужність електродвигуна, кВт	$P_n = 75$
Номінальна швидкість електродвигуна, об/хв	$n_n = 3000$
Номінальне проковзування	$s_n = 0.014$
Номінальний ККД	$\eta_n = 0.93$
Номінальний коефіцієнт навантаження	$\cos\phi_n = 0.9$
Момент інерції валу електродвигуна, кг/м ²	$J = 1$
Лінійна напруга живлення, В	$U_1 = 380$
Фазна напруга живлення, В	$U_{1\phi} = 220$

Таблиця В.3 – Функції клем для підключення ЧП

Номер клем	Функція
01-03	Виходи реле 01-03 можуть використовуватись для індикації стану та для аварійних попереджень.
12	Джерело живлення 24 В DC.
18-33	Цифрові входи.
20, 50	Загальна точка для вхідних та вихідних клем.
42	Аналоговий вихід для відображення частоти, завдання, сили струму або крутного моменту.
46	Цифровий вихід для відображення стану, попереджень або аварійних сигналів, а також частотний вихід.
50	Напруга живлення +10 В DC для потемніюметра або термістора.
53	Аналоговий вхід по напрузі 0-10 В DC.
60	Аналоговий вхід по силі струму 0/4-20 мА.
67	Напруга живлення +5 В DC для шини Profibus.
68, 69	Інтерфейс послідовного зв'язку RS 485.
70	Загальний провід для клем 67, 68 та 69. Цей вивід зазвичай не використовується.

Завідувачу кафедри АКІТтаР
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Ковбасюк Д.О.

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курс, групи АКІТм-22-1

ЗАЯВА


З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.12.2023

дата



підпис

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Ковбасюк Дмитро Олександрович

Тема: Метод керування автоматизованим процесом фракціонування бензинової суміші

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень _____ Кількість сторінок записки 117

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: створено автоматизовану систему керування технологічним процесом фракціонування бензинової суміші

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі виконано аналітичний огляд існуючих технічних та технологічних рішень ТП фракціонування бензинової суміші, описано методи фракціонування бензинової суміші, описано технологічну схему процесу фракціонування бензинової суміші, наведено основні показники якості отриманих при фракціонуванні бензинової суміші блоків продуктів, а також проведено постановку завдань для автоматизації ТП фракціонування бензинової суміші. У другому розділі описано моделювання АСК ТП фракціонування бензинової суміші. Наведено короткі технічні характеристики насосного обладнання та електродвигуна, що використовується в ТП фракціонування. Проведено аналіз існуючих способів регулювання кутової швидкості обертання електродвигуна. У третьому розділі виконано підбір необхідної апаратної частини для ТП фракціонування бензинової суміші, розроблено програмну частину ТП фракціонування бензинової суміші, а саме: розроблено програмні засоби керування та алгоритми системи керування ТП фракціонування бензинової суміші. Створено САК робочою ділянкою фракціонування бензинової суміші. У четвертому розділі виконано моделювання (у програмному середовищі MATLAB, додаток Simulink) спроектованої САК електроприводу компресора насосної установки. Отримано динамічні характеристики, що відповідають ТП. Аналіз графічних залежностей перехідних процесів дозволив зробити висновок про відповідність отриманих результатів вимогам, що висувають до електроприводів насосних установок.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється програмній реалізації та техніці безпеки при роботі із автоматизованою системою

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

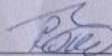
8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (4,00/С)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Володимир Антонович Гончар, кандидат технічних наук, доцент, кафедра Трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет

“ 15” 12 2023 р.

 (підпис)

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод керування автоматизованим процесом фракціонування бензинової суміші

Автор: Ковбасюк Дмитро Олександрович

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Радельчук Галина Іванівна, кандидат технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;
 - 2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;
 - 3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.
- Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 3,33 % і адресується до 173 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Дата 21.12.2023

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

Валерій МАРТИНЮК

Валерій МАРТИНЮК

Галина РАДЕЛЬЧУК

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 3,0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 12%

ID: 122179 Назва: Метод керування автоматизованим процесом фракціонування бензиною Додано в БД: 2023-12-08 Автора: Дмитро КОВБАСЮК Керівник: Галіна РАДЕЛЬЧУК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	96186	1440	4936 (5%)	75 (5%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність платіау в документі	
		Символи	Лексеми

Ім'я користувача:
Кафедра АКІПТК

ID перевірки:
1015983893

Дата перевірки:
08.12.2023 12:55:20 EET

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
08.12.2023 13:12:33 EET

ID користувача:
100005862

Назва документа: Ковбасюк_антиплаг

Кількість сторінок: 119 Кількість слів: 17461 Кількість символів: 128329 Розмір файлу: 2.40 MB ID файлу: 1015664580

2005 слів позначені як "вилучені" та не враховуються у підрахунку слів

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

3.33% Схожість

Найбільша схожість: 1.18% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1015664564)

2.62% Джерела з Інтернету

173

Сторінка 121

1.44% Джерела з Бібліотеки

33

Сторінка 122

1.26% Цитат

Цитати

6

Сторінка 123

Не знайдено жодних посилань

0% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

0% Вилучення з Інтернету

3

Сторінка 124

Немає вилучених бібліотечних джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

44

Підозріле форматування

26
сторінок