

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СКАЛЯРНОГО
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ РЕКУПЕРАТОРА У СИСТЕМІ ВЕНТИЛЯЦІЇ**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи ЕТм-61
спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка

та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

	<u>Бруц С. М.</u> (підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Наконечний М. С.</u> (підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Коваль В. П.</u> (підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Коваль В. П.</u> (підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>Микитишин А. Г.</u> (підпис)	(прізвище та ініціали)

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)
студенту Бруцу Степану Михайловичу –
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження режимів роботи скалярного електроприводу рекуператора у системі вентиляції

Керівник роботи Наконечний Мирослав Степанович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 11 » жовтня 2024 року № 4/7-988

2. Термін подання студентом завершеної роботи грудень 2024 року

3. Вихідні дані до роботи _____
.

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

- 1 Аналітичний розділ
- 2 Проектно-конструкторський розділ
- 3 Розрахунково-дослідницький розділ
- 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Клепчик В. М. ст. викладач		
Нормоконтроль	Коваль В. П. к.т.н. доцент		

7. Дата видачі завдання 14 жовтня 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Бруц С. М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Наконечный М. С.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Бруц С. М. Дослідження режимів роботи скалярного електроприводу рекуператора у системі вентиляції 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТм-61. – Тернопіль: ТНТУ, 2024

сторінок. – 66, рисунків - 42; таблиць -3; джерел – 15.

В кваліфікаційній роботі магістра розглянуто модернізацію обладнання з акцентом на вирішення проблеми утворення інію. Проведено аналіз літературних джерел для визначення ефективних підходів у цій галузі. Обрано рішення, що базується на підтримці температури точки роси на виході системи для розморожування інію.

Розроблено структурну схему автоматизованої системи управління (АСУ) з використанням ПІ-регулятора, параметри якого розраховано за методикою Зіглера-Нікольса ($k_p=2,02$, $k_f=0,011$). Стійкість системи перевірено у програмному середовищі CLASSiC 3.01, що підтвердило її оптимізацію на симетричний оптимум.

Створено алгоритм управління технологічним обладнанням у середовищі CoDeSys V2 із моделюванням роботи в умовах перешкод і без них. Встановлено, що компенсувальна температура на виході ПІД-регулятора має становити $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Запропонована структура АСУ забезпечує точний контроль утворення інію навіть за умов шумового впливу на перепаду тиску в теплообміннику.

Ключові слова: насос, автоматична система управління, ефективність, ПІД-регулятор, асинхронний двигун

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Визначення основних елементів та принципу роботи системи рекуперації.....	9
1.2. Аналіз методів вирішення проблеми покриття інієм.....	12
1.3. Аналіз роботи рекуперативної системи із захистом від інію.....	14
1.4. Огляд технічних засобів автоматичної системи управління двигуном	16
1.5 Висновки до розділу	18
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	19
2.1 Вибір електродвигуна.....	19
2.2. Розрахунок параметрів електродвигуна.	21
2.3 Вибір перетворювача частоти.....	25
2.4 Розрахунок механічних та електромеханічних характеристик електроприводу	27
2.5 Вибір функціональної та структурної схеми електроприводу.....	33
2.6. Імітаційна модель електроприводу.	36
2.7. Вибір обладнання.....	38
2.8 Висновки до розділу	39
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	41
3.1 Структурний і параметричний синтез системи керування технологічним обладнанням	41
3.2 Перевірка стійкості системи	43
3.3 Розроблення алгоритмів функціонування системи управління технологічним обладнанням	49
3.4 Комп'ютерне моделювання алгоритмів керування	51
3.5 Спостерігач змінних стану процесу утворення інію	53
3.6 Висновки до розділу	55
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	57
4.1 Заходи електробезпеки при роботі з електрообладнанням.	57
4.2 Зниження ризиків і пом'якшення наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	66

ВСТУП

Енергозбереження набуває все більшої ваги в сучасному світі через обмеженість енергетичних ресурсів, зростання цін на енергоносії та їхній негативний вплив на екологію. Зменшення споживання електроенергії є ключовим завданням, і одним із шляхів його досягнення є мінімізація втрат енергії, що виникають через неякісне електропостачання, аварійні ситуації та неефективне використання електроприладів.

Аналіз розподілу втрат в електроприводах показує, що основна частина – близько 90% – припадає на сферу безпосереднього споживання енергії, тоді як лише 10% втрачається під час передачі електроенергії. Це підкреслює важливість зосередження зусиль саме на підвищенні ефективності споживання.

Одним з ефективних способів досягнення енергозбереження є впровадження енергозберігаючих електроприводів. Такі приводи забезпечують не тільки відповідність технологічним вимогам виробництва, але й значно покращують енергетичні характеристики обладнання. Особливо актуальним є питання енергозбереження в електроприводах систем вентиляції, оскільки вони споживають значну кількість електроенергії.

Ефективність вентиляційних систем може бути суттєво підвищена завдяки застосуванню широтно-імпульсних модуляторів (ШІМ-перетворювачів). ШІМ-перетворювачі дозволяють плавно регулювати частоту обертання електродвигуна залежно від реальних потреб системи вентиляції. Це означає, що вентилятор не працює постійно на повній потужності, а адаптує свою роботу до поточних умов, що призводить до значної економії електроенергії.

Окрім використання ШІМ-перетворювачів, для оптимізації енергоспоживання в системах вентиляції можна застосовувати й інші методи; використання датчиків та автоматизованих систем керування, рекуперація тепла, оптимізація конструкції вентиляційної системи, регулярне технічне обслуговування.

Використання енергоефективних електродвигунів: Заміна старих електродвигунів на сучасні енергоефективні моделі (наприклад, класу IE3 або IE4) дозволяє значно знизити споживання електроенергії.

Застосування комплексу цих заходів дозволяє досягти значного зниження енергоспоживання в системах вентиляції та підвищити їхню енергетичну ефективність, що є важливим кроком на шляху до сталого розвитку та збереження навколишнього середовища.

Взимку при низьких температурах (нижче -15°C) рекуператори покриваються інієм, що сприяє погіршенню руху повітряних мас. Це відбувається через те, що холодні стінки каналу, стають холоднішими за інші частини системи і перетворюються на своєрідну «пастку» для вологи, завдяки гарній роботі рекуператора. **Метою роботи** є розробка рішення для вирішення даної проблеми.

Відповідно до поставленої мети були сформульовані такі **завдання дослідження**:

1. Описати структуру роботи системи вентиляції, сформулювати вимоги щодо показників якості керування.
2. Вибрати технологічне обладнання,
3. Побудувати імітаційну модель автоматичної системи управління, дослідити динамічні процеси замкнутої та розімкнутої системи, виконати синтез дискретного ПІ-регулятора..

Об'єкт дослідження є: процеси керування електроприводом системи вентиляції

Предмет дослідження: система управління енергозберігаючим електроприводом вентиляційної системи, яка оптимізує процес енергоспоживання, забезпечуючи мінімізацію споживаної потужності.

Наукова новизна отриманих результатів: Збільшення ефективності системи вентиляції за рахунок впровадження автоматизованої системи управління з використанням алгоритму відстеження зміни стану процесу утворення інію.

Практична цінність розробленої системи керування полягає у використанні асинхронних двигунів із перетворювачем частоти, що дозволяє знизити витрати електроенергії та покращити управління процесом вентиляції за рахунок точного регулювання швидкості обертання вентилятора, оптимізації повітряного потоку та автоматичного підтримання заданих параметрів мікроклімату в системах вентиляції.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні положення роботи і її результати доповідалися на XIII Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 2024 р.)

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 розділів, висновків та переліку посилань.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Визначення основних елементів та принципу роботи системи рекуперації.

Існує кілька типів рекуператорів, кожен з яких має свої особливості та принцип роботи. Ось більш детальний опис основних видів:

Пластинчасті рекуператори: Це найпоширеніший тип, що використовується в системах припливно-витяжної вентиляції. Їх принцип дії базується на перетині потоків припливного та витяжного повітря в спеціальному пластинчастому теплообміннику. Важливо, що потоки не змішуються, а теплообмін відбувається через стінки пластин. Для виготовлення пластин використовують різні матеріали, такі як алюміній, пластик, нержавіюча сталь або навіть папір. Пластинчасті рекуператори відрізняються простотою конструкції, надійністю та відносно невисокою вартістю.

Роторні рекуператори: Це другий за популярністю тип. В них теплообмін відбувається завдяки обертовому ротору, через який проходять потоки припливного та витяжного повітря. Ротор, виготовлений з теплопровідного матеріалу, акумулює тепло від витяжного повітря і передає його припливному. Роторні рекуператори характеризуються високою ефективністю рекуперації тепла, але мають складнішу конструкцію порівняно з пластинчастими.

Камерні рекуператори: В цих рекуператорах використовується камера, розділена заслінкою на дві частини. Витяжне повітря нагріває одну частину камери, після чого заслінка перемикається, і припливне повітря проходить через нагріту частину, отримуючи тепло. Камерні рекуператори мають просту конструкцію, але їх ефективність зазвичай нижча, ніж у пластинчастих та роторних.

Рекуператори на теплових трубах: Цей тип рекуператорів використовує закриту систему трубок, заповнених фреоном або іншим теплоносієм.

Витяжне повітря нагріває трубки, викликаючи випаровування фреону. Пара переміщується в іншу частину трубок, де конденсується, віддаючи тепло припливному повітрю. Рекуператори на теплових трубах ефективні для передачі тепла на значні відстані, але мають складнішу конструкцію.

Рекуператори з проміжним теплоносієм: У цих системах використовується проміжний теплоносіє (вода або водно-гліколевий розчин), який циркулює між двома теплообмінниками. Один теплообмінник встановлений у витяжному каналі, а інший – у припливному. Тепло від витяжного повітря передається теплоносію, який потім транспортує це тепло до припливного повітря. Цей тип рекуператорів дозволяє розділяти потоки повітря на значні відстані та забезпечує гнучкість у проектуванні системи вентиляції.

Додатково варто зазначити, що вибір типу рекуператора залежить від багатьох факторів, таких як:

Ефективність рекуперації: Кожен тип має свій коефіцієнт корисної дії (ККД).

Вартість: Різні типи рекуператорів мають різну вартість.

Складність монтажу та обслуговування: Деякі типи потребують складнішого монтажу та обслуговування.

Вимоги до системи вентиляції: Необхідно враховувати об'єм повітря, температуру та інші параметри.

Враховуючи всі ці фактори, можна вибрати оптимальний тип рекуператора для конкретних умов. Взимку при низьких температурах (нижче -15) рекуператори покриваються інієм, що сприяє погіршенню руху повітряних мас. Це відбувається через те, що холодні стінки каналу, стають холоднішими за інші частини системи і перетворюються на своєрідну «пастку» для вологи, завдяки гарній роботі рекуператора. У роботі буде розглянуто вирішення цієї проблеми.

Система є рекуперативною системою з проміжним теплоносієм, та вбудована у вентиляційну систему житлового будинку. Як теплоносіє

використовується 60% етиленгліколь, оскільки в умовах низьких температур, даний вид рідини має перевагу щодо найпоширенішого виду рідини - води, так як температура замерзання його розчину становить близько -50°C .

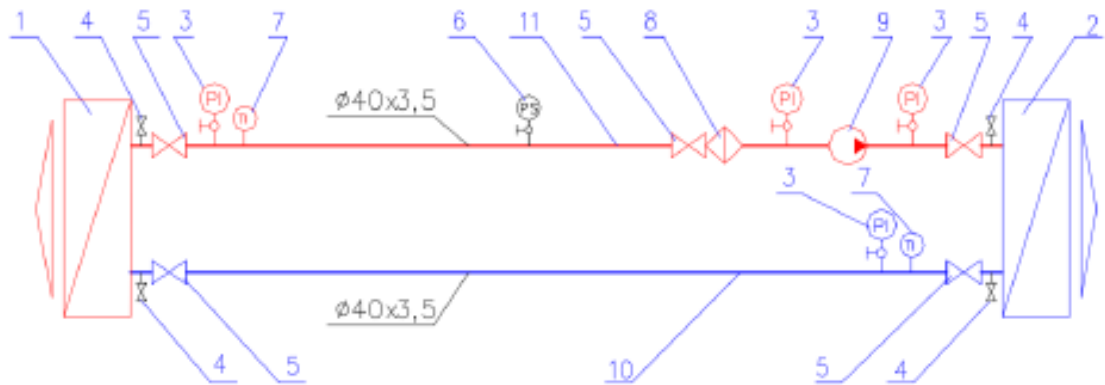


Рисунок 1.1 – Схема роботи рекуперативної системи

На рисунку 1.1 представлена схема пропонованої установки рекуперації з проміжним теплоносієм, де теплообмінники 1 нагрівач на витяжці та 2 охолоджувач на притоці; прилади, що показують стан системи: 3 манометр; 6 реле перепаду тиску; 7 термометр; клапани для ручного регулювання потоку 4,5; фільтр 8; насос 9, який проганяє теплоносій трубами 10 і 11

Установка рекуперації з проміжним теплоносієм працює наступним чином: утилізована теплота охолоджуваного повітря, яка від працюючого насоса 9 передається на нагрівання зовнішнього припливного повітря, в роботі схеми, при роботі електродвигунів витяжного і припливного вентиляторів і насоса 9, який по трубопроводу 10, тепло вимірювального теплообмінника 1 антифриз з негативною температурою і проходячи по трубках теплообмінника 10, 11 етиленгліколь нагрівається до певної позитивної температури завдяки вилученню теплоти з витяжного повітряного потоку, при цьому на пластинах теплообмінника на витяжці 2 відбувається випадання конденсату, який, при призводить до відомих проблем. За станом системи можна стежити за допомогою датчиків 3, 6, 7. При необхідності потік теплоносія можна перекрити вручну, за допомогою клапанів 4,5 [3]. У зв'язку з кліматичними

особливостями місцевості температура в регіоні нижче $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в зимовий період часу є постійною, і проблема утворення наростів інію стає актуальною. При цьому виникає безліч проблем: іній перешкоджає проходженню вихідного потоку повітря, що при сильному закупорюванні каналу може призвести до повної зупинки системи. Процес покриття інієм відбувається через те, що холодні стінки каналу стають холоднішими за інші частини системи і перетворюються на своєрідну «пастку» для вологи завдяки гарній роботі рекуператора.

1.2. Аналіз методів вирішення проблеми покриття інієм

Проблема розморожування інієвого шару у вентиляційних рекуперативних системах є дуже важливою, оскільки нарости можуть бути причиною поганої циркуляції повітряних потоків, великого навантаження двигунів вентиляторів, погіршення теплопередачі всередині системи. Завдяки своїй актуальності, вирішенням цієї проблеми займалися багато фахівців та їх праці були опубліковані на різних відомих ресурсах. Основним завданням цього розділу є пошук даних рішень та застосування їх до цієї роботи.

Одним із найстаріших, ненадійних і не потребують додаткового обладнання є метод механічного очищення. Цей метод не у наукових працях, оскільки у ньому не розглядаються будь-які технічні рішення. Він полягає в наступному: обслуговуючий персонал звільняє підступ до проблемних місць, потім за допомогою спеціальних засобів очищає канали вручну. Даний спосіб очищення є найпоширенішим, оскільки через відсутність фінансових і технічних засобів, він є вкрай дешевим. Але при використанні цього способу очищення можуть виникнути деякі проблеми, так в умовах, коли не можна наблизитися до місць, які необхідно очистити, або при вкрай поганих погодних умовах очищення не вдасться, також при відсутності кваліфікованого персоналу, очищення може призвести до поломок.

Ще одним способом позбавлення від інієвих наростів, який розглядається в наукових публікаціях, є метод, при якому нагрівачі, що

впроваджуються в вентиляційні канали нагрівають повітря, який видаляє нарости інію. При надходженні з датчиків сигналу про рівень наросту інію вище допустимого спрацьовує автоматика, що включає нагрівальні елементи.



Рисунок 1.2- Канальний повітрянагрівач

Цей метод не буде застосований у цій роботі, оскільки він має такі недоліки:

- цей метод є досить дорогим, оскільки при впровадженні даного повітрянагрівача необхідно розробити та впровадити схему релейно-контакторного захисту та управління
- металеві нитки розжарювання мають значну інерцію, тому електронагрівачі повинні бути забезпечені захистом від перегріву.
- витрати на електроенергію під час використання
- у зв'язку з особливістю будови вентиляційної системи, впровадження такого типу повітрянагрівача не завжди можливе.

Рішенням в галузі автоматики є метод, при якому знижується ефективність рекуператора [7]. Так при утворенні інієвого наросту, на систему керування рекуператором зворотного зв'язку з датчиків надходить відповідний сигнал, при появі якого спрацьовує система автоматики, при якій знижується швидкість або зовсім вимикається циркулюючий насос. В результаті тепло повітряних мас, яке не забрав теплообмінник через падіння ефективності рекуператора, плавить інієвий наріст.

На підставі проаналізованих рішень було прийнято рішення рухатись у наступному напрямку:

1. наявність інію визначатиметься за допомогою датчиків перепаду тиску;
2. звільнення ж від інієвого наросту проводитиметься з допомогою методу, у якому знижується ефективність рекуператора.

Детальний опис запропонованого технічного рішення буде описано нижче.

1.3. Аналіз роботи рекуперативної системи із захистом від інію.

У цій роботі буде реалізовано технічне вирішення проблеми освіти наростів інію, обране на підставі проаналізованої літератури, представлене на рисунку 1.3.

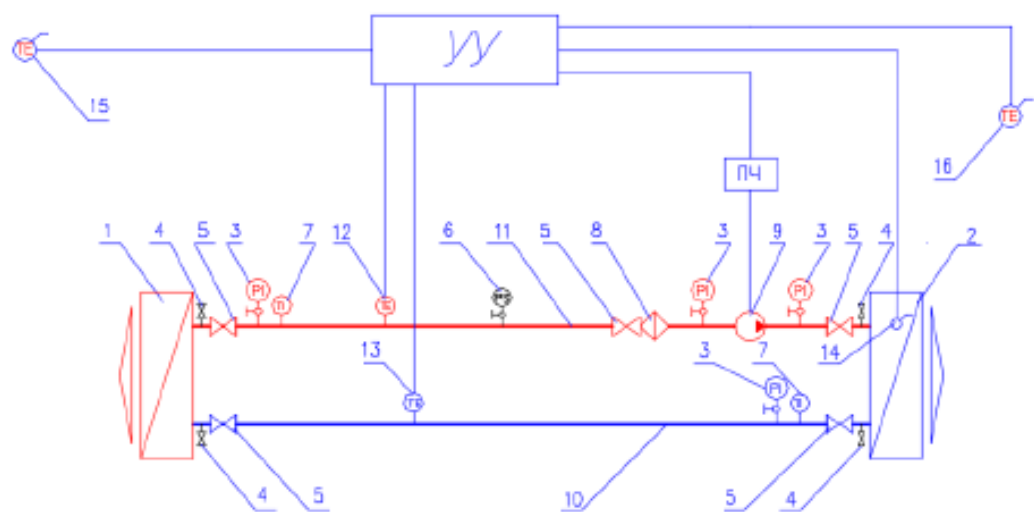


Рисунок 1.3 – Функціональна схема роботи рекуперативної системи із захистом від інію

Завданням вибору цього виду технічного рішення був вибір найбільш оптимальної реалізації пристрою, що враховує недоліки та переваги запропонованих у джерелах методів.

Модернізована система складається з наступних елементів:

теплообмінники – 1 нагрівач на витяжці та 2 охолоджувач на притоці; прилади, що показують стан системи: 3 манометр; 6 реле перепаду тиску; 7 термометр; клапани для ручного регулювання потоку 4,5; фільтр 8; насос 9 і перетворювач частоти ПЧ, що дозволяє керувати за допомогою пристрою керування УУ, двигуном насоса 9, який проганяє теплоносії трубами 10 і 11; для отримання даних про систему до труб прямого і зворотного потоків 11 і 10 приєднані датчики температури 12 і 13, датчик перепаду тиску 14, вимірювальний тиск до і після теплообмінного блоку, а також датчики температури зовнішнього повітря 16 і температури повітря всередині приміщення 15, що дозволяють отримувати та передавати інформацію пристрою керування.

Дана рекуперативна установка з проміжним теплоносієм і частотним управлінням працює наступним чином: утилізація теплоти охолоджуваного повітря, яка від працюючого насоса 9 передається на нагрівання зовнішнього припливного повітря, в роботі схеми, при роботі електродвигунів витяжного і припливного вентиляторів і насоса 9, який по трубопроводу 11 подає в трубки теплообмінника 1 антифриз з негативною температурою і проходячи по трубках теплообмінника 10, 11 етиленгліколь нагрівається до певної позитивної температури завдяки вилученню теплоти з витяжного повітряного потоку, при цьому на пластинах теплообмінника на витяжці 2 відбувається випадання, замерзає та утворює шар інію. При досягненні останнього критичного значення, датчик перепаду тиску 14 подає сигнал на пристрій керування УУ, у свою чергу пристрій керування, за допомогою перетворювача частоти ПЧ, за допомогою зниження частоти обертання двигуна насоса, знижує ефективність роботи рекуперативної установки. Таким чином, на теплообміннику 2 в зоні утворення інієвого наросту, підтримується температура точки роси, при якій відбувається відтавання інію. Так, після звільнення шляхів для проходження повітряних потоків, датчик перепаду тиску 14 сигналізує пристрою управління УУ про відсутність інію, останній у свою чергу за допомогою перетворювача частоти ПЧ виводить двигун насоса на режим роботи при якому максимальна ефективність рекуператора.

Основним критерієм для переходу системи в режим підтримки температури точки роси (режим зниженої ефективності) буде сигнал з датчика перепаду тиску. Кількість інію вимірюватиметься у відносних одиницях (0 – канал чистий, 1 – система повністю закупорена). Вимоги до системи керування електроприводом рекуператора:

- ☐ Підтримка чистоти каналу вентиляції
- ☐ Надійний перехід між режимами
- ☐ Визначення ступеня покриття інієм
- ☐ Забезпечення діапазону регулювання 1:10.

1.4. Огляд технічних засобів автоматичної системи управління двигуном

Як вимірювані технологічні змінні будуть використані такі величини:

- Перепад тиску, ΔP
- Температура, що виходить у зовнішнє середовище (після теплообмінника) повітря, $T_{\text{вих}}$

Керуючим впливом буде аналоговий сигнал із регулятора $U_{\text{кер}}$

В даному випадку не потрібно високої швидкодії, оскільки процес наростання інію досить довгий. Показники діапазону та точності регулювання також є невисокими. У зв'язку з цим прийнято рішення використати скалярне керування.

Збурюючи впливом у разі буде момент інерції двигуна (J). На валу закріплена крильчатка, момент її інерції малий, тому їм можна знехтувати

Основні критерії якості та цілі управління технологічним процесом, що закладаються в структуру ЕП:

- ☐ закладені закони скалярного управління;
- ☐ діагностика електродвигуна та перетворювача частоти;
- ☐ організації обміну даними з диспетчерським пунктом;
- ☐ виконання вимог стандартів безпеки;
- ☐ виконання вимог стандартів щодо стійкості до різних впливів.

У цій системі є чітка ієрархічна система, розділена на кілька рівнів. Система представлена на рисунку 1.4.

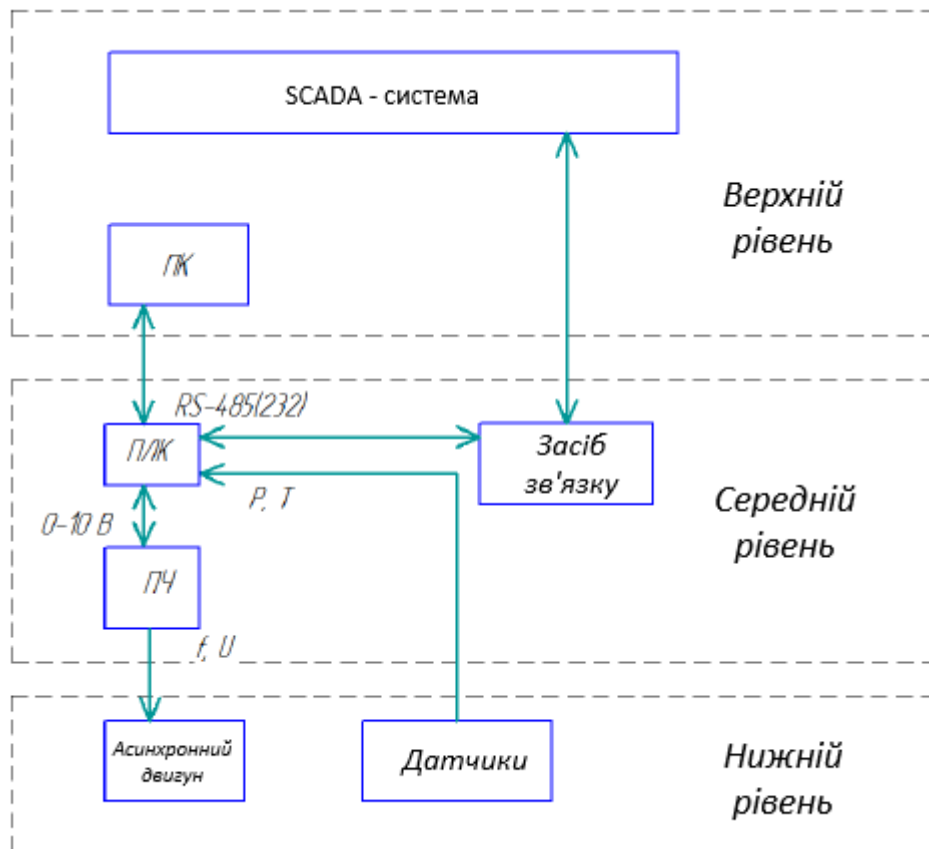


Рисунок 1.4 – Блок-схема апаратних засобів автоматизації

Всю систему поділено на такі складові:

- ☐ нижній рівень – рівень датчиків та виконавчих механізмів;
- ☐ середній рівень – рівень промислових контролерів (ПЛК), засобів керування (а також засобів зв'язку з високим рівнем);
- ☐ верхній рівень – мережне обладнання, керуючий ПК або scada-система (рівень операторських та диспетчерських станцій).

Згідно з рисунком 5, зв'язок між різними апаратними засобами буде проводитися в такий спосіб:

- ☐ Аналоговий сигнал із датчиків надходить на АЦП регулятора, який згодом обробляється. У системі використовується скалярне керування. У зв'язку з цим, частота обертання двигуна визначатиметься заданими

перетворювачем частоти напругою та частотою. Завдання на ПЧ надходитиме від ПЛК за допомогою аналогового сигналу 0 - 10 В.

□ Зв'язок контролера з високим рівнем буде здійснюватися за допомогою інтерфейсу RS-485 (232), побудованому на протоколі ModBus RTU. Для безпосереднього зв'язку ПК з контролером слід мати перетворювач інтерфейсу (RS-485 to USB) під час використання RS-485, і наявності COM-порта, під час використання RS-232. Для віддаленої роботи з пристроями буде потрібний інтернет-комунікатор, який здійснює зв'язок зі scada-системою.

1.5 Висновки до розділу

В результаті описаний об'єкт, на якому проводитиметься модернізація та описана проблема виникнення інію. На підставі зазначеної проблеми проведено літературний огляд, який допоміг визначити основні рішення, що застосовуються в даній галузі. У результаті обрано рішення, у якому розморожування інію буде здійснюватися з допомогою підтримки температури точки роси на виході системи.

Сформовано основні вимоги та структуру установки з усією периферійною частиною, а також правила взаємодії між рівнями системи.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір електродвигуна

В якості робочого механізму установці буде використаний відцентровий насос. Даний електропривід не вимагає великої точності під час управління технологічним процесом. Згідно з завданням потрібно забезпечити діапазон регулювання 1:10.

На підставі перелічених вище даних, було прийнято рішення використовувати частотний електропривід зі скалярним управлінням.

Вихідні дані до роботи представлені у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 - Вихідні дані

Продуктивність, м ³ /с	Напір. м	Швидкість обертання валу насоса, об/хв	ККД насоса	ККД передачі	Густина перекачуваної рідини кг/м ³	Коефіцієнт запасу
0,0014	29,9	2200	0,72	1,00	1110	1,3

Визначення необхідної розрахункової потужності для подальшого вибору обладнання (насос, двигун, ПЧ)

$$P_{\text{ов}} = K_3 \cdot P_{\text{нас}} = K_3 \frac{Q \cdot P_H}{\eta_{\text{на}} \cdot \eta_n} = K_3 \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_{\text{на}} \cdot \eta_n} =$$
$$= 1.3 \frac{1110 \cdot 9.81 \cdot 0.0016 \cdot 29.9}{0.72 \cdot 1} = 822.723, \text{ Вт}$$
$$P_H \geq P_{\text{розр}} = 0.823 \text{ кВт}$$

де, K_3 – коефіцієнт запасу;

$P_{\text{нас}}$ - потужність насоса (гідравлічна), кВт;

P_H - тиск на тиску насоса, Па;

Q - продуктивність насоса, м³/с;

H - повний тиск рідини, м;

ρ - густина рідини, що перекачується, кг/м³;

g - прискорення вільного падіння, м/с²;

$\eta_{на}$ - ККД насоса;

η_n - ККД передачі;

На основі розрахункової потужності вибрано насос датської фірми Grundfos CM1-10 A-R-G-E-AQQE (Рисунок 2.1). Насос CM – це компактний, горизонтальний, багатоступінчастий відцентровий насос. Він оснащений трифазним асинхронним електродвигуном (380/220 В, 50 Гц) потужністю 0,84 кВт, що встановлюється на лапах. Номінальна частота обертання двигуна становить 2750-2810 об/хв. Насос має осьовий випускний канал та спеціальне торцеве ущільнення валу AQQE. Вал, робочі колеса, камери, пробки заливних отворів, а також всмоктувальний і нагнітальний трубопроводи виготовлені з нержавіючої сталі.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд насоса Grundfos CM1-10 A-R-G-E-AQQE

Технічні характеристики вибраного двигуна відцентрового насоса

наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Параметри асинхронного двигуна

$P_{ном},$ кВт	$\eta_{ном},$ об/хв	ККД, %	коэф. потужності	$I_{ном},$ А	$M_{пуск} /$ $M_{ном}$	$I_{пуск} /$ $I_{ном}$	$M_{max} /$ $M_{ном}$	$J,$ кг×м ²
0,85	2810	78,1	0,84	2,1	2,8	5,3	2	0,0091

У зв'язку з особливістю електроприводу даного типу було поставлено завдання забезпечення наступних параметрів:

- плавний пуск та гальмування – час перехідного процесу $t \geq 2$ с;
- діапазон регулювання 1:10;
- обмеження моменту та струму двигуна $-M_{ldв..макс} \leq 2M_{дв.н}$;

2.2. Розрахунок параметрів електродвигуна.

Синхронна кутова швидкість електродвигуна:

$$\omega_c = \frac{\pi \cdot n_c}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 314,159, \text{ рад/с}$$

Тоді номінальна частота обертання електродвигуна становитиме:

$$n_{дв.н} = 2810 \text{ об/хв}$$

Розрахуємо номінальну кутову швидкість двигуна :

$$\omega_{дв.н} = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 2810}{30} = 294,263, \text{ рад/с}$$

Номінальний механічний момент електродвигуна буде;

$$M_{дв} = \frac{P_{дв}}{\omega_{дв.н}} = \frac{850}{294,263} = 2,889, \text{ Н}$$

Знайдемо номінальний фазний струм:

$$I_{фн} = \frac{P_{дв}}{m \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi_{\phi} \cdot \eta_n} = \frac{850}{3 \cdot 220 \cdot 0,84 \cdot 0,781} = 1,963, \text{ А}$$

Для визначення статичних і динамічних характеристик асинхронного двигуна потрібно розрахувати параметри його схеми заміщення. Для даного розрахунку було вибрано Т-подібну схему заміщення асинхронного двигуна для однієї фази представлено на рисунку 2.2.

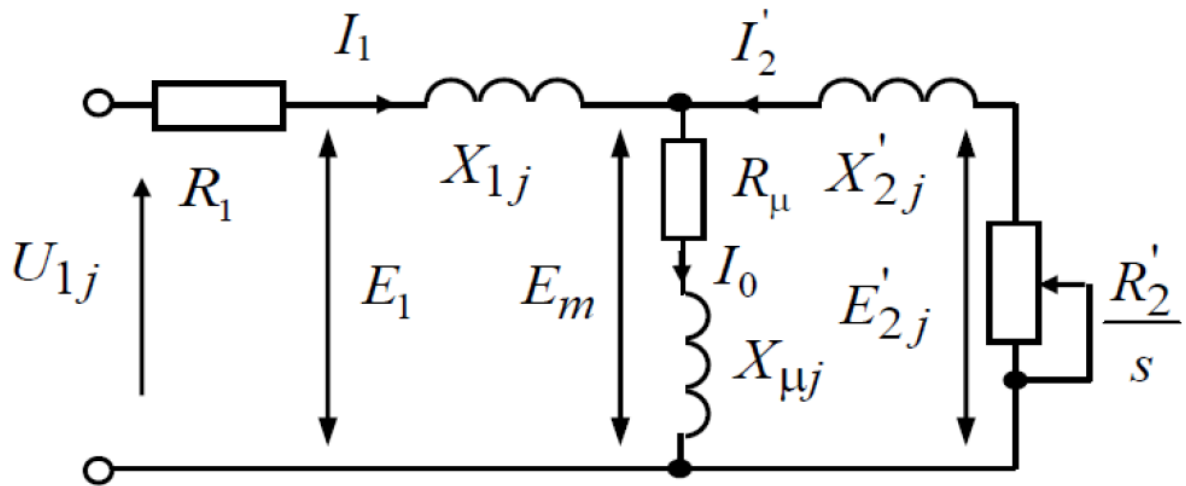


Рисунок 2.2 - Схема заміщення асинхронного двигуна

Асинхронні двигуни проєктуються таким чином, що максимальний коефіцієнт корисної дії (ККД) досягається при завантаженні, яке на 20–25% менше від номінального. Коефіцієнт потужності при цьому навантаженні суттєво відрізняється від значення при номінальному режимі. Через зазначені особливості конструкції асинхронних двигунів коефіцієнт завантаження приймається рівним $p^* = 0,75$. [9]

Враховуючи вище сказане струм статора двигуна при частковому завантаженні буде становити:

$$I_{11} = \frac{p^* \cdot P_{\text{дв}}}{m \cdot U_\phi \cdot \cos \varphi_\phi \cdot \eta_n} = \frac{0,75 \cdot 850}{3 \cdot 220 \cdot 0,84 \cdot 0,781} = 1,675, \text{ А}$$

Проведемо розрахунок струму холостого ходу електродвигуна:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{p^* \cdot I_{\phi H} \cdot (1-s)}{1 - p^* \cdot s_H} \right)^2}{1 - \left(\frac{p^* \cdot (1-s)}{1 - p^* \cdot s_H} \right)^2}} = \sqrt{\frac{1,502^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 1,963 \cdot (1-0,063)}{1 - 0,75 \cdot 0,063} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot (1-0,063)}{1 - 0,75 \cdot 0,063} \right)^2}} = 1,246, \text{ A}$$

Співвідношення для розрахунку критичного ковзання знайдемо використовуючи формулу Клосса

$$s_{kp} = s_H \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 + (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta(k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta(k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,027 \frac{2 + \sqrt{2^2 + (1 - 2 \cdot 0,063 \cdot 1(2 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,063 \cdot 1(2 - 1)} = 0,272$$

коефіцієнт β в першому наближенні прийемо рівним 1

Критичний механічний момент для рухомого режиму становитиме:

$$M_{kp} = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_H \cdot C_1 [R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2}]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 294,264 \cdot 1,029 [8,064 + \sqrt{8,064^2 + 7,609^2}]} = 6,166, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначимо величину критичного ковзання:

$$s_k = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_k^2}} = \pm \frac{7,609}{\sqrt{8,064^2 + 28,574^2}} = \pm 0,274$$

Тоді максимальний механічний момент електродвигуна:

$$M_{\max} = k_{\max} \cdot M_H = 2 \cdot 2,889 = 5,778, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Мінімальний механічний момент електродвигуна знайдемо з виразу:

$$M_{\min} = k_{\min} \cdot M_H = 1 \cdot 71,972, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для подальшого розрахунку активних та індуктивних опорів обмоток ротора та статора для вибраної схеми заміщення необхідно розрахувати наступні коефіцієнти:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{\phi n}} = 1 + \frac{1,246}{2 \cdot 5,3 \cdot 1,964} = 1,06$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_\phi^2 \cdot (1 - s_n)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_{\partial \phi}} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,063)}{2 \cdot 1,06 \cdot 2 \cdot 850} = 37,755$$

Приведений активний опір ротора, до обмотки статора двигуна буде становити:

$$R'_2 = \frac{A}{\left(\beta + \frac{1}{s_{kp}}\right) \cdot C_1} = \frac{37,775}{\left(1 + \frac{1}{0,272}\right) \cdot 1,06} = 7,609, \text{ Ом}$$

Визначимо активний опір обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,06 \cdot 7,609 \cdot 1 = 8,064, \text{ Ом}$$

Коефіцієнт γ , для розрахунку опору короткого замикання буде становити:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_{kp}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,272^2} - 1^2} = 3,543$$

$$X_k = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 3,543 \cdot 1,06 \cdot 7,609 = 28,547, \text{ Ом}$$

Попередньо проведемо розрахунок індуктивного опору обмотки ротора приведенного до обмотки статора:

$$X'_2 = 0,58 \frac{X_k}{C_1} = 0,58 \frac{28,578}{1,06} = 15,637, \text{ Ом}$$

Індуктивний опір обмотки статора:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_k = 0,42 \cdot 28,564 = 12,001, \text{ Ом}$$

Знаючи величину електрорушійної сили обмотки статора зробимо розрахунок індуктивного опору ланки намагнічування

$$E_1 = \sqrt{(U_\phi \cdot \cos \varphi_\phi - R_1 \cdot I_{\phi n})^2 + (U_\phi \cdot \sin \varphi_\phi - X_1 \cdot I_{\phi n})^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0,84 - 8,064 \cdot 1,963)^2 + (220 \cdot 0,543 - 12,001 \cdot 1,963)^2} = 194,242, \text{ В}$$

Проведемо розрахунок індуктивного опору намагнічування:

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{194,242}{1,246} = 155,884, \text{ Ом}$$

Результуюча індуктивність, зумовлена магнітним потоком у повітряному

засорі, що створюється сумарною дією полюсів статора [10]:

$$L_m = \frac{X_m}{2\pi f} = \frac{155,884}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,091, \text{ Гн}$$

Знайдемо величину індуктивності обмотки статора:

$$L_{1\delta} = \frac{X_1}{2\pi f} = \frac{12,001}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0382 \text{ Гн}$$

Тоді величина загальної індуктивності обмотки статора становитиме:

$$L_1 = L_{1\delta} + L_m = 0,0382 + 0,091 = 0,129, \text{ Гн}$$

Величина наведеної індуктивності обмотки ротора, спричинена впливом потоків розсіювання становитиме:

$$L'_{2\delta} = \frac{X'_2}{2\pi f} = \frac{15,637_2}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0498, \text{ Гн}$$

Остаточно величина повної індуктивності обмотки ротора становитиме:

$$L_2 = L_{2\delta} + L_m = 0,0498 + 0,091 = 0,141, \text{ Гн}$$

Зведемо в таблицю 2.3. розраховані вище параметри схеми заміщення електродвигуна.

Таблиця 2.3 - Параметри схеми заміщення електродвигуна

R_1 , Ом	L_1 , Гн	R'_2 , Ом	L'_2 , Гн	L_m , Гн
8,064	0,129	7,609	0,141	0,091

2.3 Вибір перетворювача частоти

На основі встановленої потужності двигуна відцентрового насоса, було обрано перетворювач частоти Danfoss VLT 2811 потужністю, загальний вигляд якого показано на рисунку 2.3.

Основні параметри частотного перетворювача включають широкий спектр функцій і можливостей. Пристрій забезпечує скалярне управління з компенсацією ковзання, що дозволяє підтримувати стабільність роботи двигуна. Для спеціальних режимів двигуна передбачено налаштування U/f

характеристики. Завдяки регулюванню швидкості без використання датчика швидкості (бездатчиковий режим) забезпечується простота налаштувань та економічність.

Перетворювач автоматично пропускає дві резонансні частоти для уникнення небажаних коливань. У пристрої інтегровано ПД-контролер процесу для точного регулювання параметрів. Вихідна частота пристрою становить від 0 до 1000 Гц, що забезпечує гнучкість у роботі з різними типами двигунів.



Рисунок 2.3 - Перетворювач частоти Danfoss VLT 2811

Частотний перетворювач підтримує як векторне, так і скалярне управління двигуном. Пусковий момент може досягати максимум 160% протягом 60 секунд, що є ключовим для запуску важких механізмів. Вбудовані функції захисту двигуна запобігають його перегріванню чи перевантаженню.

Також пристрій має функції точної установки з компенсацією швидкості, що забезпечує високоточну зупинку. Максимальна довжина

неекранованого моторного кабелю становить 75 метрів, що є перевагою в складних умовах монтажу.

Щодо інтерфейсів, частотний перетворювач має 1 аналоговий вхід із діапазоном 0-10 В по напрузі або 0-20 мА по струму (масштабований) та ще один аналоговий вхід 0-20 мА (масштабований). Вбудоване джерело живлення на 24 В/10 В призначене для живлення датчиків і логіки. Також пристрій оснащений одним реле (до 240 В змінного струму, 2 А), одним аналоговим виходом (0-20 мА), та п'ятьма програмованими цифровими входами. Частота імпульсного входу варіюється від 4 до 67600 Гц, що розширює можливості інтеграції. Ці характеристики забезпечують високу ефективність, надійність та гнучкість у роботі частотного перетворювача.

З урахуванням ШІМ вихідної напруги інвертора Напруга живильної мережі $U_c = (380 - 420)$ В. Частоту $f_{\text{шім}} = 5000$ Гц і період $T_{\text{шім}} = 1 / f_{\text{шім}} = 0,0002$ с. ШІМ вихідної напруги інвертора враховуємо в системі керування інвертора і в системі керування електроприводом.

2.4 Розрахунок механічних та електромеханічних характеристик електроприводу

Розрахунок характеристик проводимо, використовуючи параметри схеми заміщення.

Знайдемо синхронну кутову швидкість:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314,159, \text{ рад/с.}$$

Розрахуємо і побудуємо природну електромеханічну характеристику:

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(\omega) + 2I_0I_2'(\omega) \left[\frac{X_{1H} + X_{2H}'}{\left(R_1 + \frac{\omega_0 R_2'}{\omega_0 - \omega}\right)^2 + (X_{1H} + X_{2H}')^2} \right]}$$

де I' - значення приведенного струму ротора від ковзання:

$$I'_2(\omega) = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{\omega_0 R'_2}{\omega - \omega_0}\right)^2 + (X_{1H} + X'_{2H})^2}}$$

За вищенаведеними формулами розраховуються природні електромеханічні характеристики $I'_2(\omega)$ (рисунок 2.4) і $I_1(\omega)$ (рисунок.2.5)

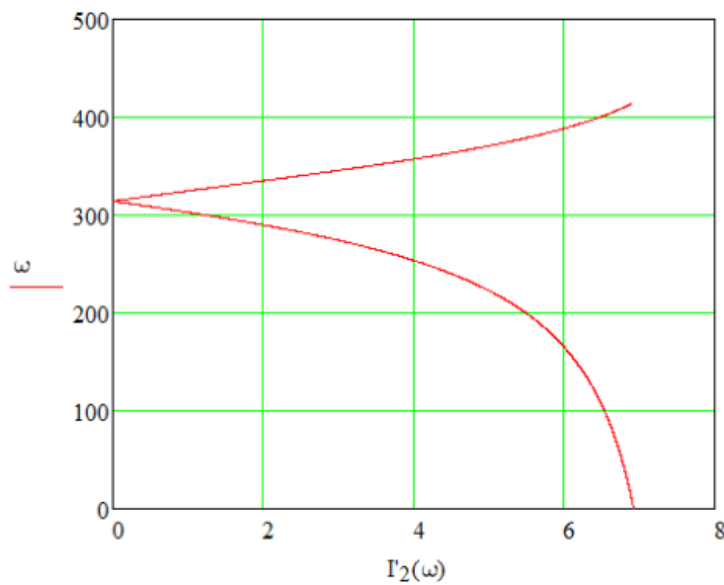


Рисунок 2.4 - Природна електромеханічна характеристика для струму ротора

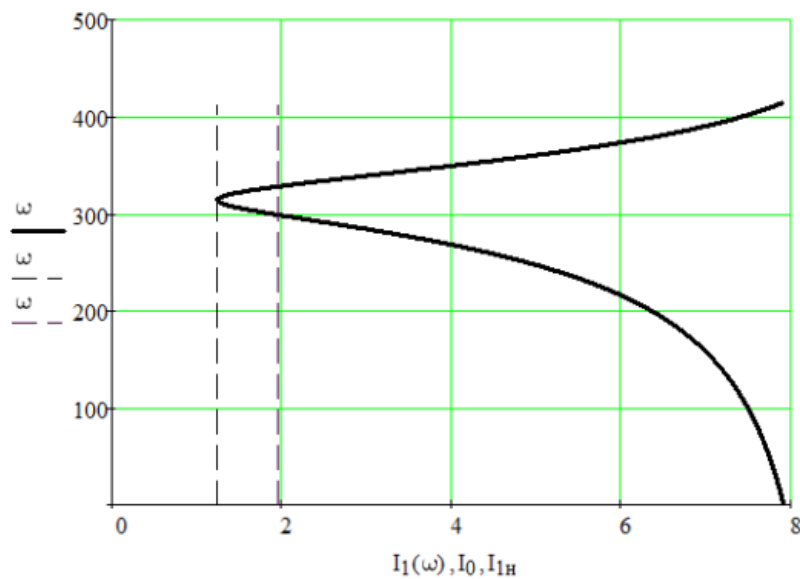


Рисунок 2.5 - Природна електромеханічна характеристика для струму статора

На рисунку 2.5 зазначено параметри електромеханічної характеристики:

- пусковий струм двигуна, розрахований за паспортними даними:

$$I_{n.p.} = k_i \cdot I_{1H} = 5,3 \cdot 1,963 = 10,404, \text{ А}$$

- пусковий струм двигуна, розрахований за схемою заміщення: $I_n = 12,179 \text{ А}$.

- швидкість холостого ходу двигуна: $\omega_0 = 314,159 \text{ рад/с}$;

- струм холостого ходу двигуна $I_0 = 1,246 \text{ А}$;

- номінальний струм статора двигуна: $I_{1H} = 1,963 \text{ А}$;

Розрахуємо і побудуємо природну механічну характеристику $M(\omega)$ (рисунок 2.6) за такою формулою:

$$M(\omega) = \frac{3U_{1H} \cdot R'_2}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \left[\left(R_1 + \frac{\omega_0 R'_2}{\omega_0 - \omega} \right)^2 + X_{\kappa H}^2 \right]}$$

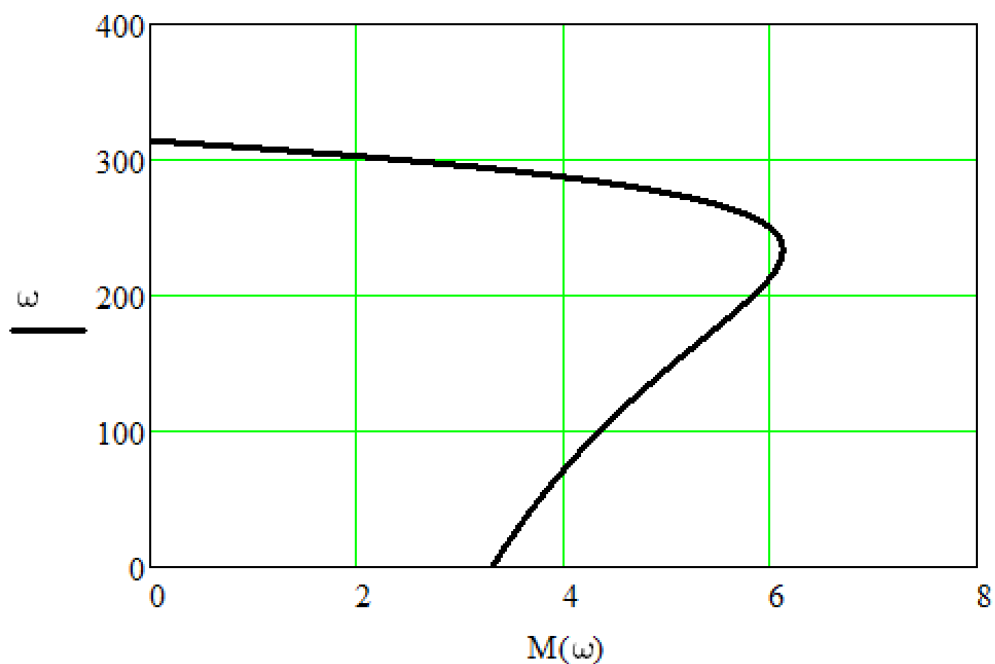


Рисунок 2.6 - Природна механічна характеристика двигуна $M(\omega)$

На рисунку зазначено такі параметри механічної характеристики:

- номінальна швидкість:

$$\omega_{ном} = 2810 \text{ рад/с}$$

- номінальний момент:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{850}{294,263} = 2,889 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

- критичний момент

$$M_{\text{кр}} = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_{\text{н}} \cdot C_1 \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2} \right]} =$$
$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 294,264 \cdot 1,029 \left[8,064 + \sqrt{8,064^2 + 7,609^2} \right]} = 6,166 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Характеристика навантаження насоса має наступний вигляд:

$$M_{\text{вал.м2}} = \Delta M_{\text{пост}} + M_{\text{повн}} \left(\frac{\omega_{\text{м2}}}{\omega_{\text{н}}} \right)^x$$

$\Delta M_{\text{пост}} = 0,36 \text{ Нм}$ - момент сил тертя;

$M_{\text{повн}} = 1,444 \text{ Нм}$ - момент навантаження;

$\omega_{\text{н}} = 294,218 \text{ рад/с}$ - номінальна швидкість;

$\omega_{\text{м2}}$ - швидкість у поточній точці;

$x = 2$ - степеневий коефіцієнт, що враховує характер навантаження.

З урахуванням закону зміни було побудовано навантажувальну характеристику двигуна (рисунок 2.7):

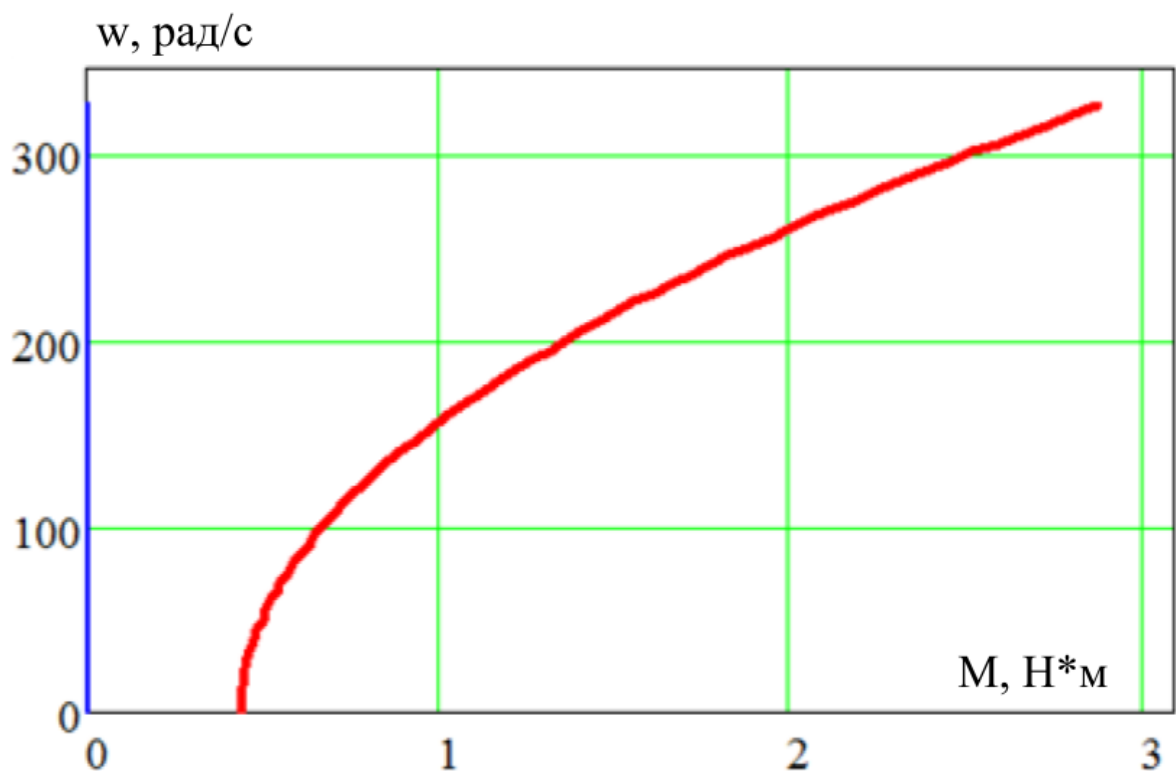


Рисунок 2.7 - Навантажувальна характеристика двигуна відцентрового насоса

З урахуванням різних завдань побудовано механічну характеристику в одних осях із навантажувальною (рисунок 2.8). При цьому обрано закон керування $U_1 / f_1^2 = const$:

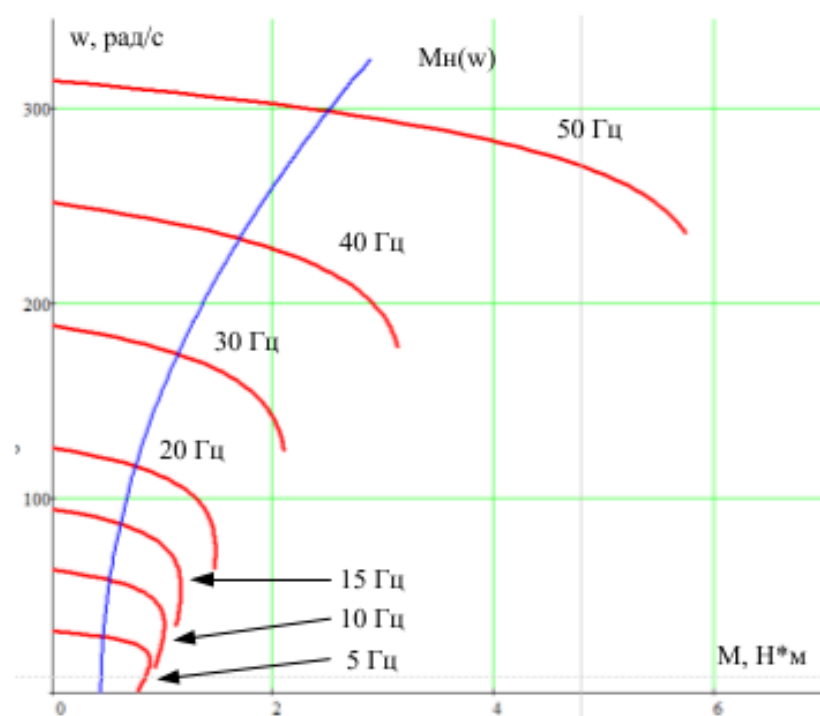


Рисунок 2.8 - Механічна та навантажувальна характеристики асинхронного електродвигуна відцентрового насоса

Як видно із сімейства побудованих характеристик, у діапазон роботи електроприводу входить навантажувальна характеристика, побудована раніше. Під час побудови характеристик було використано компенсацію моменту на малих частотах. Величина доданої напруги для кожної частоти дорівнює [10]:

$$\Delta U_1 = 0 \text{ В, при } f_1 = 50 \text{ Гц}$$

$$\Delta U_1 = 0 \text{ В, при } f_1 = 40 \text{ Гц}$$

$$\Delta U_1 = 18 \text{ В, при } f_1 = 30 \text{ Гц}$$

$$\Delta U_1 = 30 \text{ В, при } f_1 = 20 \text{ Гц}$$

$$\Delta U_1 = 30 \text{ В, при } f_1 = 15 \text{ Гц}$$

$$\Delta U_1 = 29 \text{ В, при } f_1 = 10 \text{ Гц}$$

$$\Delta U_1 = 23 \text{ В, при } f_1 = 5 \text{ Гц}$$

Також було побудовано сімейства характеристик для струму статора та наведеного струму ротора, які дозволяють детально аналізувати роботу електродвигуна в різних режимах.

На рисунку 2.9 представлено сімейства характеристик струму статора.

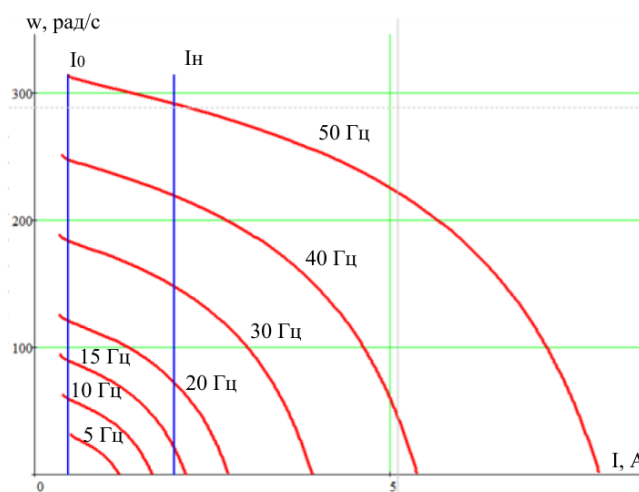


Рисунок 2.9 - Електромеханічна характеристика струму статора

Ці характеристики відображають зміну величини та форми струму залежно від умов навантаження, частоти живлення та параметрів управління. Завдяки їм можна оцінити енергоефективність двигуна, ступінь нагрівання обмоток статора, а також виявити потенційні режими перевантаження або інші критичні ситуації.

Рисунок 2.10 ілюструє сімейства характеристик наведеного струму ротора.

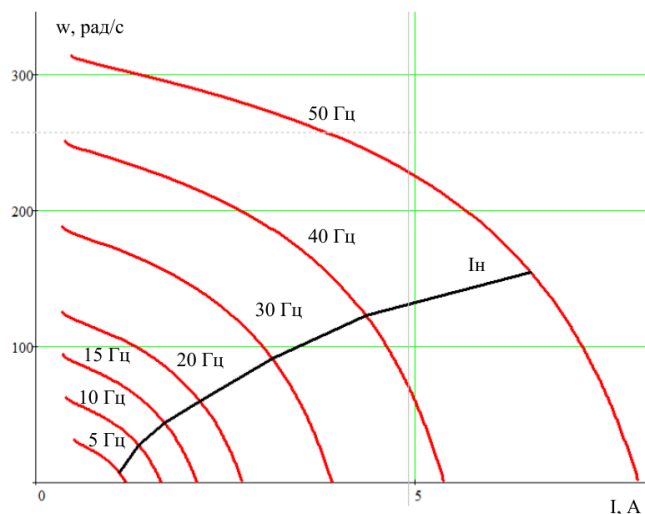


Рисунок 2.10 - Електромеханічна характеристика приведенного струму ротора

Ці характеристики дозволяють аналізувати процеси, що відбуваються в роторі, зокрема зміну струму під час запуску, роботи під навантаженням або гальмування. Вони є важливими для оцінки динамічних властивостей двигуна, таких як стійкість у перехідних процесах та реакція на зміну умов експлуатації.

2.5 Вибір функціональної та структурної схеми електроприводу

На рисунку 2.11 представлена структурна схема частотно-регульованого асинхронного електропривода відцентрового насоса зі скалярним керуванням. До складу електропривода входять частотний перетворювач Danfoss VLT 2811 та асинхронний електродвигун із короткозамкненим ротором, який є частиною

насоса Grundfoss. Основними параметрами електропривода є тип і характеристики задатчика інтенсивності швидкості (ЗІШ), мінімальна частота роботи перетворювача, а також закон регулювання та корекція вольт-частотної характеристики.

Перетворювач частоти Danfoss VLT 2811, який забезпечує зміну частоти живлення двигуна для регулювання швидкості. Асинхронний електродвигун із короткозамкненим ротором, який є частиною насоса Grundfoss і забезпечує його роботу. Задатчик інтенсивності швидкості (ЗІШ), який визначає цільову швидкість обертання двигуна залежно від вимог технологічного процесу.

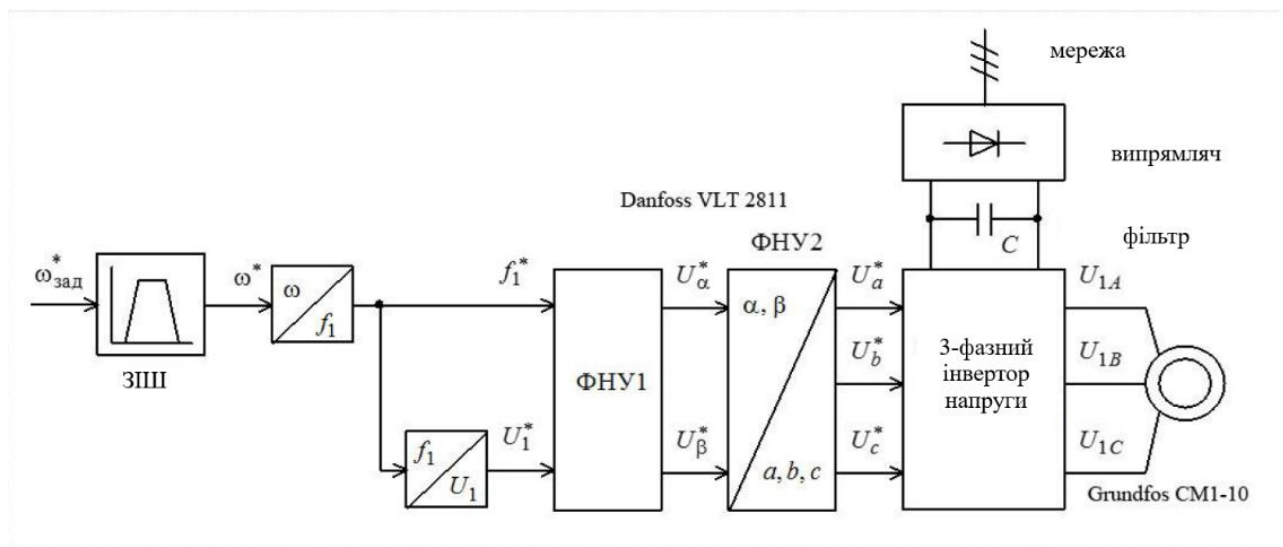


Рисунок 2.11 – Структурна схема частотно-регульованого асинхронного електроприводу з використанням скалярного керування.

Твердження про неможливість одночасного досягнення оптимальних енергетичних та механічних характеристик асинхронного двигуна в широкому діапазоні швидкостей та навантажень для законів керування виду U_{1j} / f_{1j} ґрунтується на теоретичних та практичних дослідженнях. Ця проблема зумовлена зростанням впливу активного опору обмотки статора зі зменшенням частоти напруги живлення.

На даний час практичного використання набули два способи частотного регулювання швидкості $E_{1j} / f_{1j} = const$, $E_{1j} / f_{1j}^2 = const$, $E_{1j} / \sqrt{f_{1j}} = const$. Однак,

при низьких частотах, падіння напруги на активному опорі статора $I_1 R_1$, де I_1 – струм статора стає порівнянним, а то й більшим за прикладену напругу. Це призводить до значного зменшення напруги на індуктивностях двигуна, що негативно впливає на його момент і, відповідно, на механічні характеристики. Крім того, збільшуються втрати в обмотці статора, що знижує енергетичну ефективність.

Щодо регулювання швидкості в класі законів $E_{1j} / f_{1j} = const$, $E_{1j} / f_{1j}^2 = const$, та необхідності підвищення фазної напруги на величину падіння напруги на активному опорі обмотки статора цей підхід, як вже було зазначено, називається частотним регулюванням з ІR-компенсацією.

ІR-компенсація полягає у додаванні до заданої напруги U_s компоненти, пропорційної струму статора I_s та опору R_s . Це дозволяє компенсувати падіння напруги на R_s та підтримувати необхідний рівень напруги на індуктивностях двигуна, що покращує його характеристики на низьких частотах.

Структурна схема системи скалярного частотного керування з ІR - компенсацією наведено на рисунок 2.12

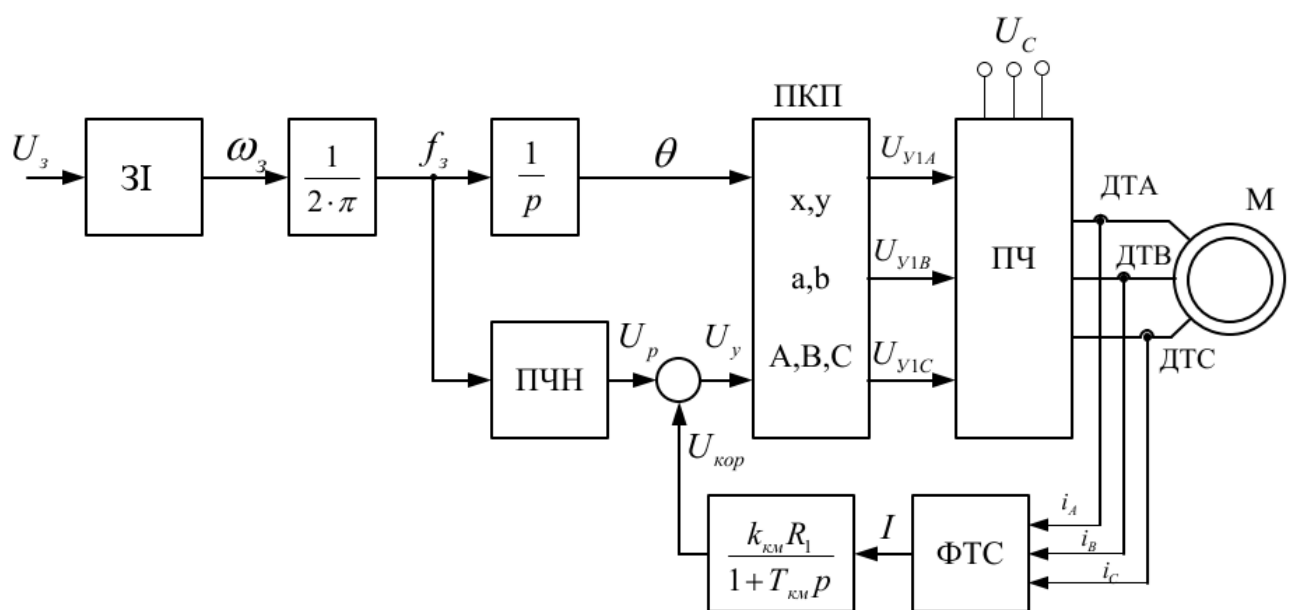


Рисунок 2.12 - Структурна схема системи скалярного частотного керування з IR-компенсацією

2.6. Імітаційна модель електроприводу.

В середовищі MATLAB Simulink було розроблено імітаційну модель асинхронного електроприводу з компенсацією моменту. Вигляд імітаційної моделі представлено на рисунку 2.13.

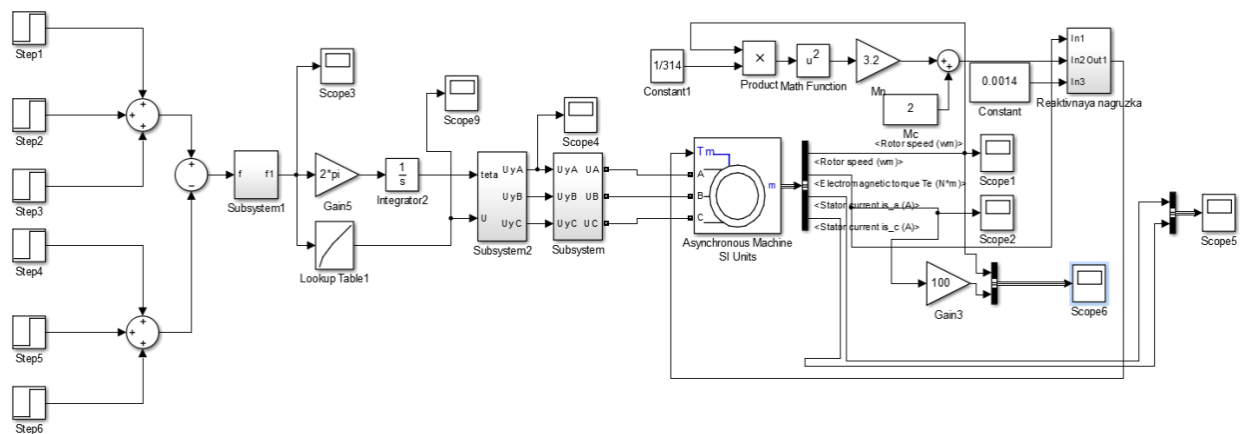


Рисунок 2.13 – Імітаційна модель системи частотного керування зі скалярною IR-компенсацією

На рисунку 2.14 представлена модель прямого координатного перетворювача.

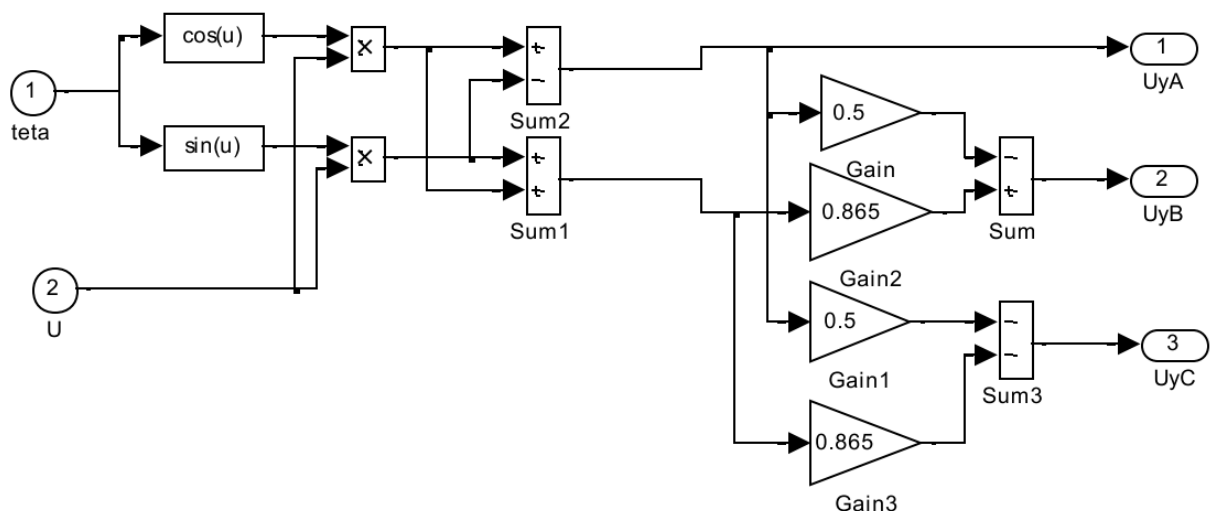


Рисунок 2.14 - Імітаційна модель прямого координатного перетворювача

На рисунку 2.15 представлена модель перетворювача частоти.

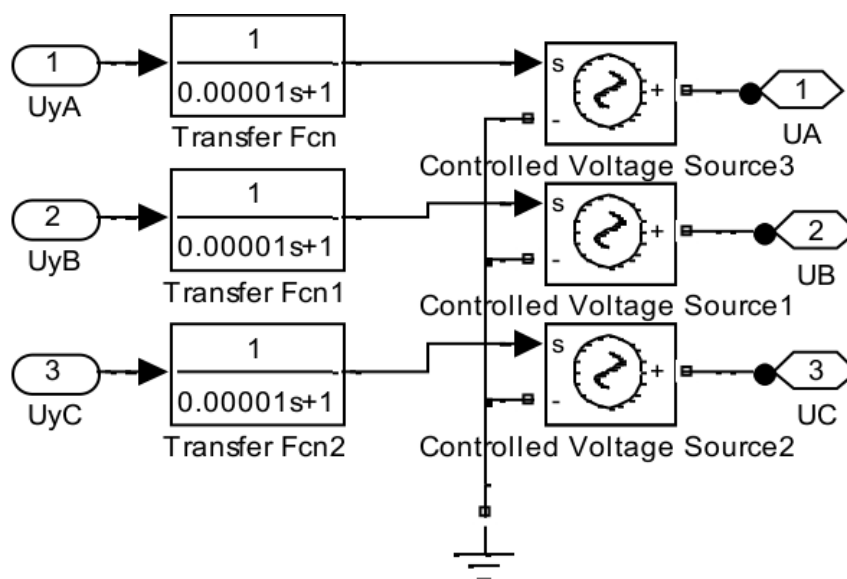


Рисунок 2.15 - Імітаційна модель перетворювача частоти

У ході виконання моделювання був проведений експеримент запуску асинхронного двигуна за допомогою перетворювача частоти. Експерименти проводили для частот 5, 20, 50 Гц. При цьому на підставі розрахованих характеристик була задана вольт-частотна характеристика (рисунок 2.16).

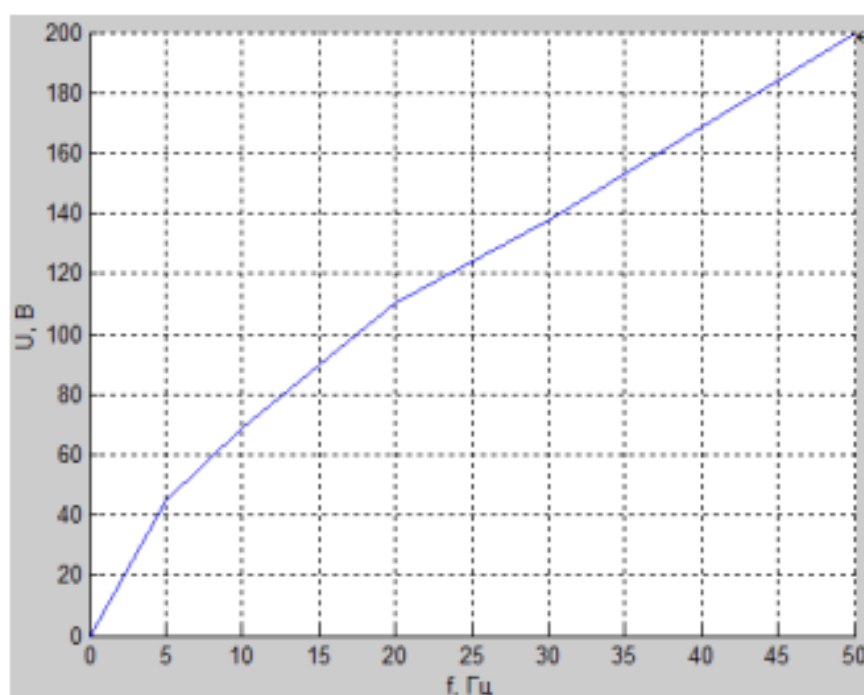


Рисунок 2.16 – Вольт-частотна характеристика

2.7. Вибір обладнання

Як пристрій управління вибраний логічний контролер промислового зразка виробника ОВЕН ОВЕН-ПЛК150 (рисунок 2.17). Контролер має невисоку ціну та технічні характеристики, достатні для реалізації цього проекту.



Рисунок – 2.17 – ОВЕН-ПЛК150

Даний вид контролера програмується у програмному середовищі CoDeSys V2. Це середовище розробки дозволяє створювати структури за допомогою блоків FBD.

Для зв'язку між ПЛК і персональним комп'ютером обслуговуючого персоналу використовуватиметься перетворювач інтерфейсів RS-232/422/485 в Ethernet MOXA NPort 5150 (рисунок 2.18).



Рисунок 2.18 – MOXA NPort 5150

Вихід в інтернет здійснюється за допомогою сервера послідовного порту інтернет комунікатор ODOT CN-8031 (рисунок 2.19). Даний прилад дозволить віддалено підключатися до обладнання за допомогою SCADA-системи з веб-інтерфейсом з будь-якого пристрою, який може вийти в мережу.



Рисунок – 2.19 Інтернет комунікатор ODOT CN-8031

Вибрано датчики температури Pt1000. Дані датчики підходять для будь-яких кліматичних систем, де необхідно вимірювати температури від -50 до 250 °C з високим ступенем точності (до 0,2 °C) на довгих відстанях.

Для роботи з тиском вибрано диференціальний перетворювач тиску Polar Bear DPM-2500D [13]. Цей перетворювач дозволить передавати диференціальну різницю тисків у форматі 4 – 20 мА.

2.8 Висновки до розділу

Була спроектована рекуперативна установка на базі системи, яка включає асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором і перетворювач частоти.

На основі розрахункової потужності вибрано насос фірми Grundfos CM1-10 A-R-G-E-AQQE потужністю 0,85 кВт та перетворювач частоти Danfoss VLT 2811.

Побудовано природні електромеханічні характеристика для струму ротора та статора, при частотному регулюванні.

В середовищі MATLAB Simulink було розроблено імітаційну модель асинхронного електроприводу з компенсацією моменту та задано вольт-частотну характеристику.

Було визначено технічні характеристики, виходячи з яких зроблено вибір устаткування. Вибір проводився за допомогою різних довідкових документів та посібників, представлених виробниками обладнання.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Структурний і параметричний синтез системи керування технологічним обладнанням

Електроприводи установок, що забезпечують певні кліматичні умови в приміщеннях, мають великі постійні часу. Пов'язано це з великою інерційністю процесів теплообміну. Те саме стосується і системи, що розглядається. Основним робочим елементом в установці є асинхронний частотний електропривід. Оскільки перехідні процеси в електродвигуні та перетворювачі частоти незрівнянно малі порівняно зі швидкістю протікання в рекуперативній установці, тому блок «Перетворювач частоти -Асинхронний двигун» було спрощено. Перетворювач частоти спрощено до аперіодичної ланки першого порядку з постійною часу $T_{пч} = 0,2$ с., а асинхронний двигун коливальною ланкою з постійними часами, $T_{ад1} = 0,15$ с і $T_{ад2} = 0,03$ с.. рисунок 3.1.

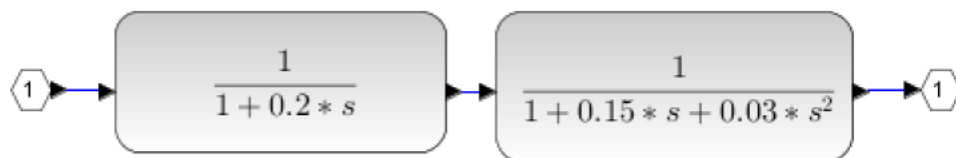


Рисунок 3.1 - Блок, що описує роботу системи ПЧ - АД у системі

Перехід від сигналу напруги, що подається з датчиків системи «Перетворювач частоти - Асинхронний двигун», до температурного сигналу буде здійснюватися за допомогою функції:

$$T_{np} = (T_{om} - T_{np}) \cdot k \frac{U}{U_{кр}} = T_{IN}$$

де, T_{np} - температура приміщення;

T_{om} - температура зовнішнього повітря;

k - коефіцієнт ефективності рекуператора

$\frac{U}{U_{кр}}$ - величина, зворотна максимальному значенню напруги;

Ця функція показує, якій величині напруги буде відповідати температура на вході з урахуванням ефективності рекуператора. Ланка, що характеризує процес зміни температури, представлена коливальною ланкою.

$$\frac{1}{1600s^2 + 100s + 1}$$

Процес наростання інію описує аперіодична ланка першого порядку з постійною часу 30 с і коефіцієнтом пропорційності 0,0002

$$\frac{0,0002}{30s + 1}$$

На підставі обраних ланок математичної моделі було складено структурну схему роботи АСУ установки (рисунок 3.2)

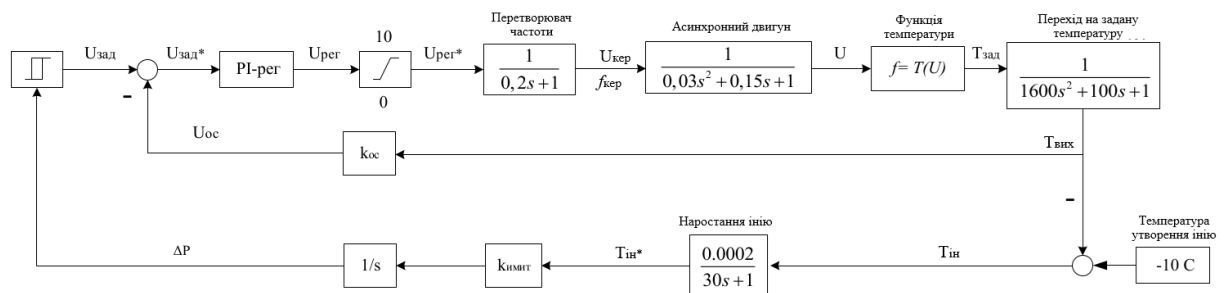


Рис 3.2 - Структурна схема АСУ установки

Було вирішено використовувати ПІ-регулятор, оскільки процес є досить затяжним. Основне завдання - забезпечити точність. Розрахунок параметрів регулятора проводили за методикою Зіглера-Нікольса, яка є одним із найбільш поширених емпіричних методів налаштування регуляторів у системах автоматичного управління. Цей підхід базується на визначенні реакції системи на ступінчастий вплив або на основі критичних параметрів системи, таких як критичний коефіцієнт підсилення та період коливань.

Основна перевага методики Зіглера-Нікольса полягає в її простоті та можливості отримати наближені значення параметрів регулятора навіть без

детального математичного моделювання об'єкта управління. Метод дозволяє швидко оцінити параметри пропорційного (P), інтегрального (I), диференціального (D) або комбінованого (PID) регулятора, що забезпечує ефективну роботу системи в більшості випадків.

У результаті розрахунків коефіцієнти регулятора отримали такі значення: коефіцієнт підсилення $kp=2,02$, інтегральна постійна $ki=0,011$. Ці параметри були обрані з урахуванням динамічних властивостей системи рекуперації, зокрема її інерційності і часу реакції.

3.2 Перевірка стійкості системи

Отримана модель системи розморожування виявилася робочою, але для подальшого її використання, необхідно провести перевірку стійкості. Для перевірки стійкості буде використано внутрішній контур, зображений на рисунку 3.3.

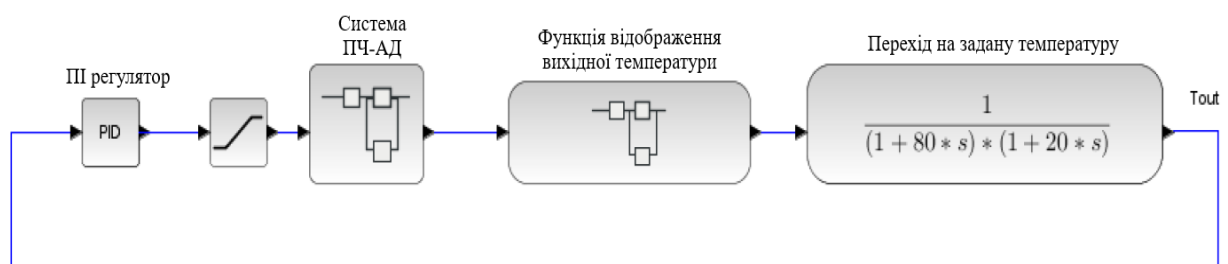


Рисунок 3.3 - Контур для визначення стійкості системи

Цей контур було обрано з урахуванням специфіки роботи системи, яка досягає найбільш нестійкого стану саме в режимі максимальної ефективності. У цьому режимі контур розморожування вимкнено, що зменшує втрати енергії, але підвищує чутливість системи до зовнішніх збурень і внутрішніх коливань.

Вибір цього контуру базується на прагненні досягти оптимального балансу між енергоефективністю та стабільністю роботи. Під час вимкнення

контуру розморожування система перебуває у стані, коли її робота максимально залежить від точності управління основними параметрами, такими як температура, тиск чи витрата. Це створює умови для випробування найкритичнішого режиму, що дозволяє ретельно перевірити налаштування регуляторів і системи управління в цілому.

Такий підхід дає змогу проєктувати систему, яка не тільки працює ефективно у стандартних умовах, але й зберігає стабільність у режимах, наближених до критичних. Крім того, випробування в цьому стані забезпечує підвищену надійність системи, та дає можливість знайти слабкі місця в управлінні або конструкції ще на етапі проєктування та налаштування.

Перевірку проводитимуть у середовищі CLASSiC 3.01, робоча схема представлена на рисунку 3.4.

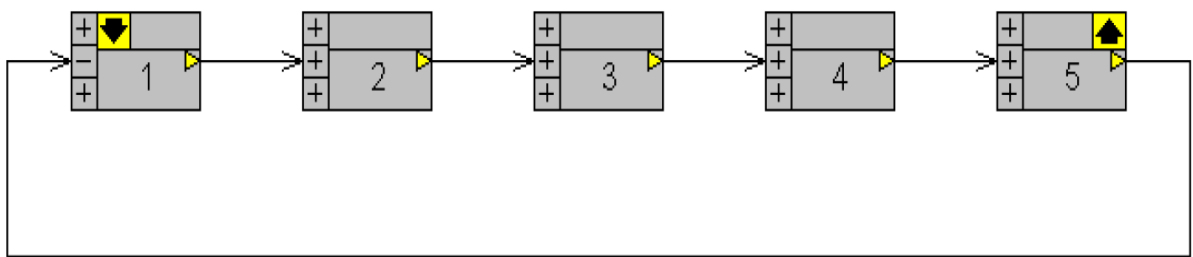


Рисунок 3.4 - Контур для визначення стійкості в середовищі CLASSiC 3.01

Перший блок (рисунок 3.5) являє собою ПІ-регулятор із передавальною функцією:

$$W(s) = \frac{K_p + K_p T_i s}{T_i s}$$

де K_p = 21- коефіцієнт пропорційності П-частини

T_i = 84 с - інтегральна постійна часу

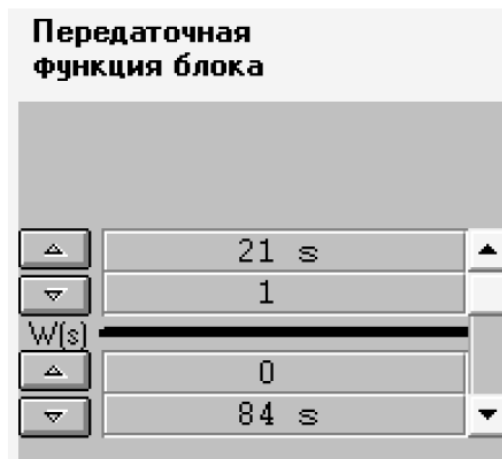


Рисунок 3.5 - ПИ - регулятор у програмному середовищі CLASSiC 3.01

Перехідний процес і показники якості замкнутої системи представлено на рисунку 3.6.

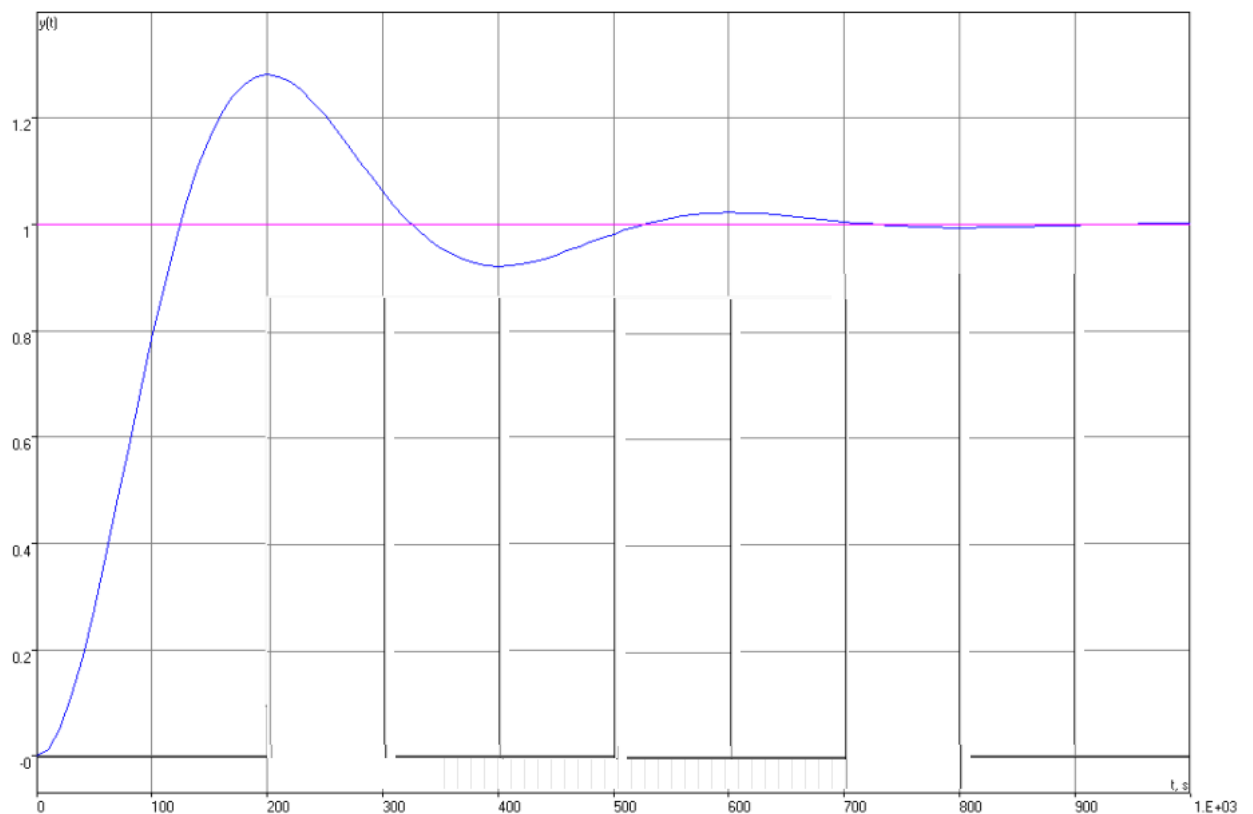


Рисунок 3.6 - Перехідний процес і його показники якості в програмному середовищі CLASSiC 3.01

Для оцінки стійкості буде використано критерій стійкості Найквіста.

Для подальшої оцінки необхідно розімкнути систему (рисунок 3.7).

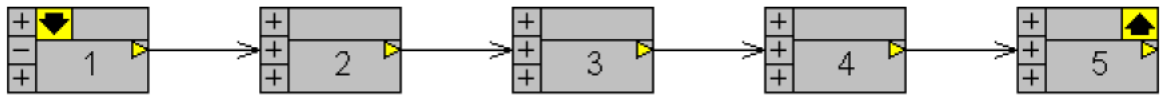


Рисунок 3.7 - Розімкнена система.

Далі необхідно побудувати годограф і визначити стійкість.

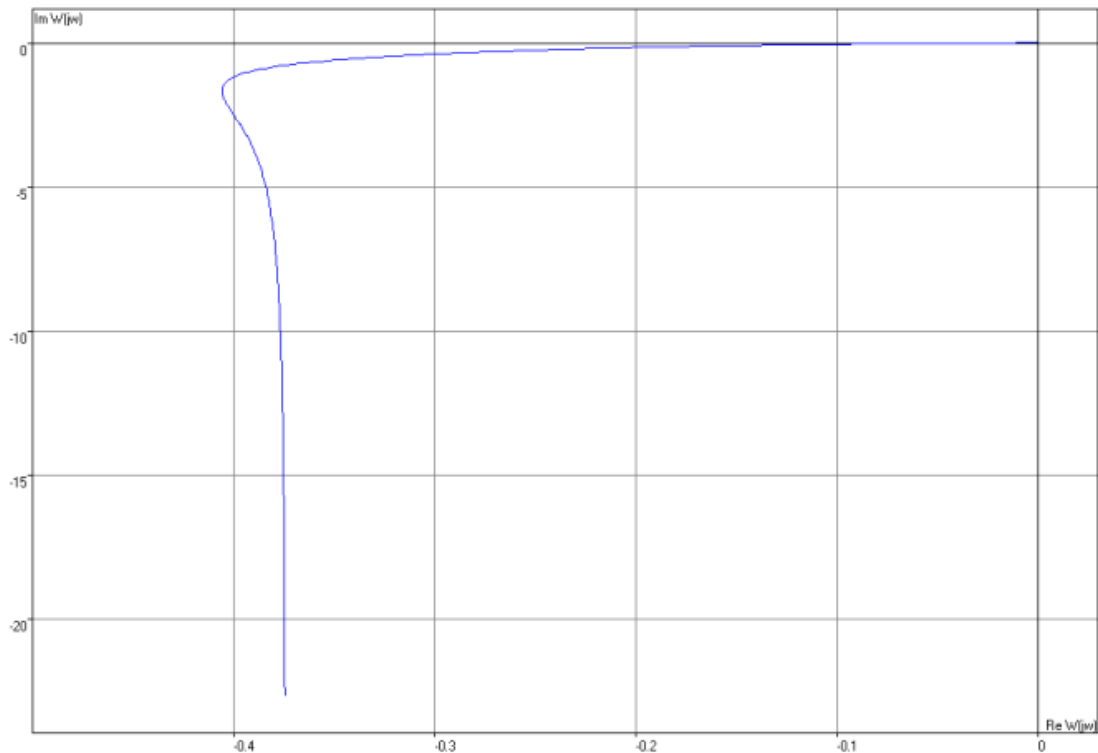


Рисунок 3.8 - АФХ розімкнутої системи

На підставі отриманого годографа, можна зробити висновок про те, що система є стійкою, оскільки критерій стійкості Найквіста говорить про те, що якщо коренів у правій півплощині немає, то годограф $W(j\omega)$ не повинен охопити точку $(-1, j_0)$. Що відповідає отриманим результатам.

Далі необхідно проаналізувати частотні характеристики розімкнутої системи (рисунок 3.9), на підставі яких можна визначити якість оптимізації системи.

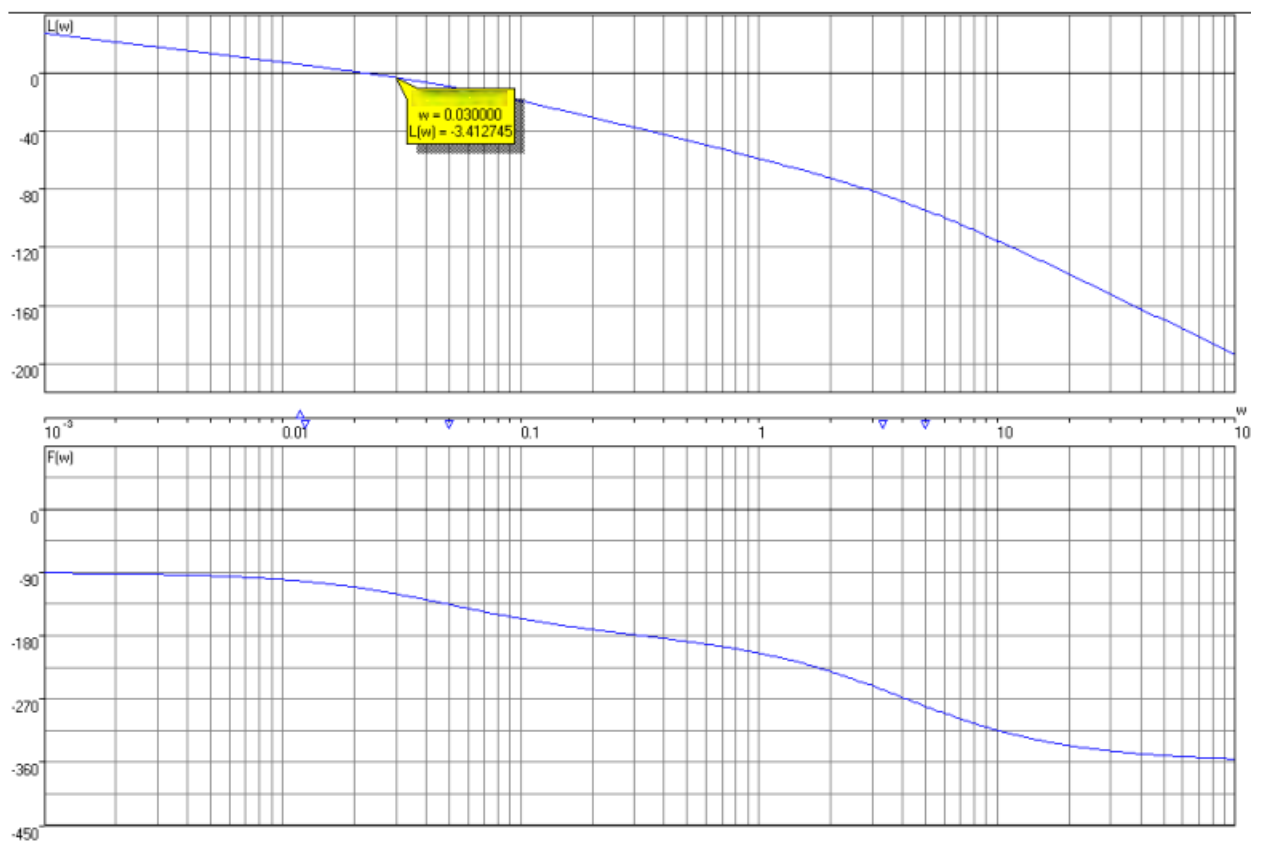


Рисунок 3.9- ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкнутої системи.

На підставі отриманих частотних характеристик можна зробити висновок про те, що система, налаштована на симетричний оптимум, перебуває не в найбільш оптимальнішому стані, оскільки точка частоти зрізу зміщена щодо симетричного положення між двома сусідніми точками сполучення. Для виправлення цього положення, частотну характеристику потрібно підняти на 3,41 дБ, для цього потрібно ввести в систему коригувальний коефіцієнт, що дорівнює:

$$K_{кор} = 10^{\frac{3.6}{20}} = 1,479$$

Після застосування цього коефіцієнта коефіцієнт пропорційності асинхронного двигуна зміниться і стане рівним 0,602.

Частотні характеристики розімкнутої оптимізованої системи. Її ЛАЧХ і ЛФЧХ показано на рисунку 3.10

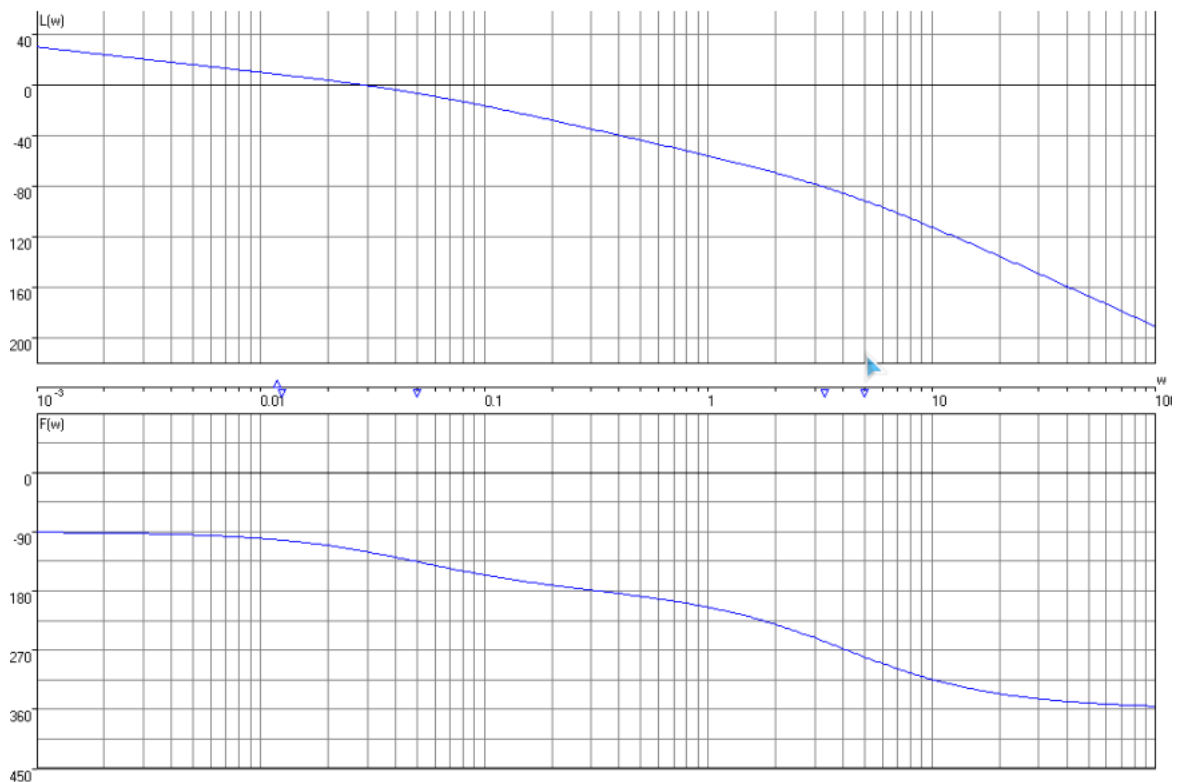


Рисунок 3.10 - ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкнутої системи.

Як видно з характеристики, після коригування, частота зрізу встановилася посередині між двома сусідніми точками сполучення, що свідчить про те, що система оптимізована на симетричний оптимум.

Далі, необхідно виправити цей коефіцієнт у повній моделі, що описує весь процес, у програмному середовищі SciLab. Нижче представлено графіки до (рисунок 3.11) і після (рисунок 3.12) коригування.

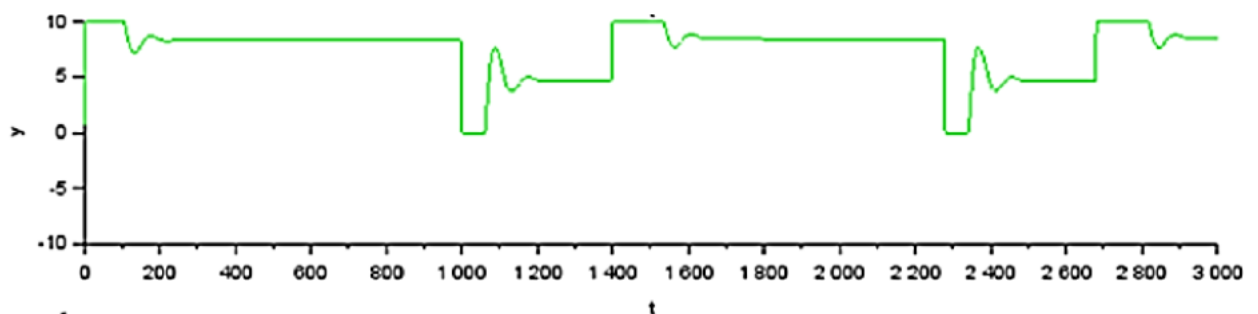


Рисунок 3.11 - Перехідні процеси системи до коригування

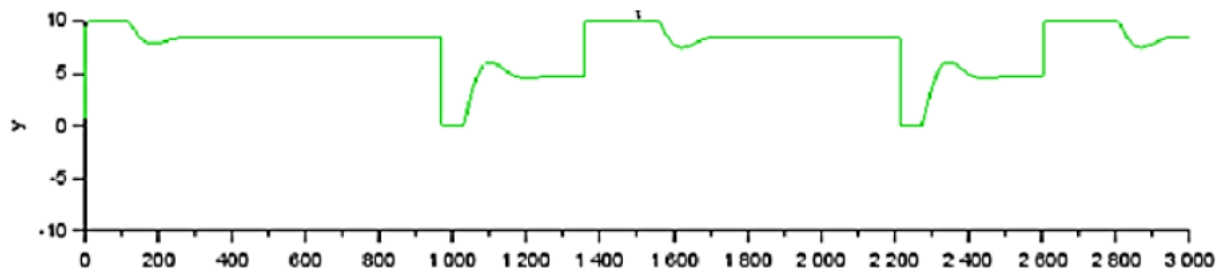


Рисунок 3.12 - Перехідні процеси системи після коригування

З перехідних процесів, отриманих до і після коригування, видно, що в характеристиках, отриманих після коригування, зменшилися коливальність і перерегулювання.

3.3 Розроблення алгоритмів функціонування системи управління технологічним обладнанням

Основним виконавчим елементом системи буде насос, що переганяє розчин теплоносія по трубах і виконаний з використанням асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Перехід на необхідну температуру буде описуватися передавальною функцією, описаною вище:

$$W(s) = \frac{1}{(1 + 80s)(1 + 20s)}$$

На виході у цієї ланки буде температура T_{OUT} . Цей параметр визначає температуру на виході витяжної частини установки, відповідно, змінюючи ефективність рекупераційної установки, буде змінюватися температура. У цьому й полягає суть роботи: втрати, отримані через неефективну роботу і перетворені на тепло, будуть нагрівати вентиляційну шахту і плавитимуть іній.

У ланці зворотного зв'язку відбувається операція порівняння - $T_{ВИХ}$ і $T_{п.і.}$. При досягненні $T_{ВИХ}$ температури в -10 С, починається процес наростання іневого шару на стінках шахти згідно з передавальною функцією:

$$W(s) = \frac{0,005}{1 + 30s}$$

Умовно, час наростання інею, за якого передача повітряних потоків погіршиться на 80%, прийнято $t_{y.v.} = 800$ с. Результат моделювання величини закупорювання інієм каналу вентиляції у відносних одиницях буде надіслано на гістерезисний елемент, оскільки після досягнення величини у 80% закупорювання спрацьовує ланка з гістерезисом. Після чого, необхідна задана величина температури порівнюється з величиною на виході системи і перетворюється в сигнал керування для ПІ-регулятора.

Блок-схема алгоритму роботи представлена на рисунку 3.13

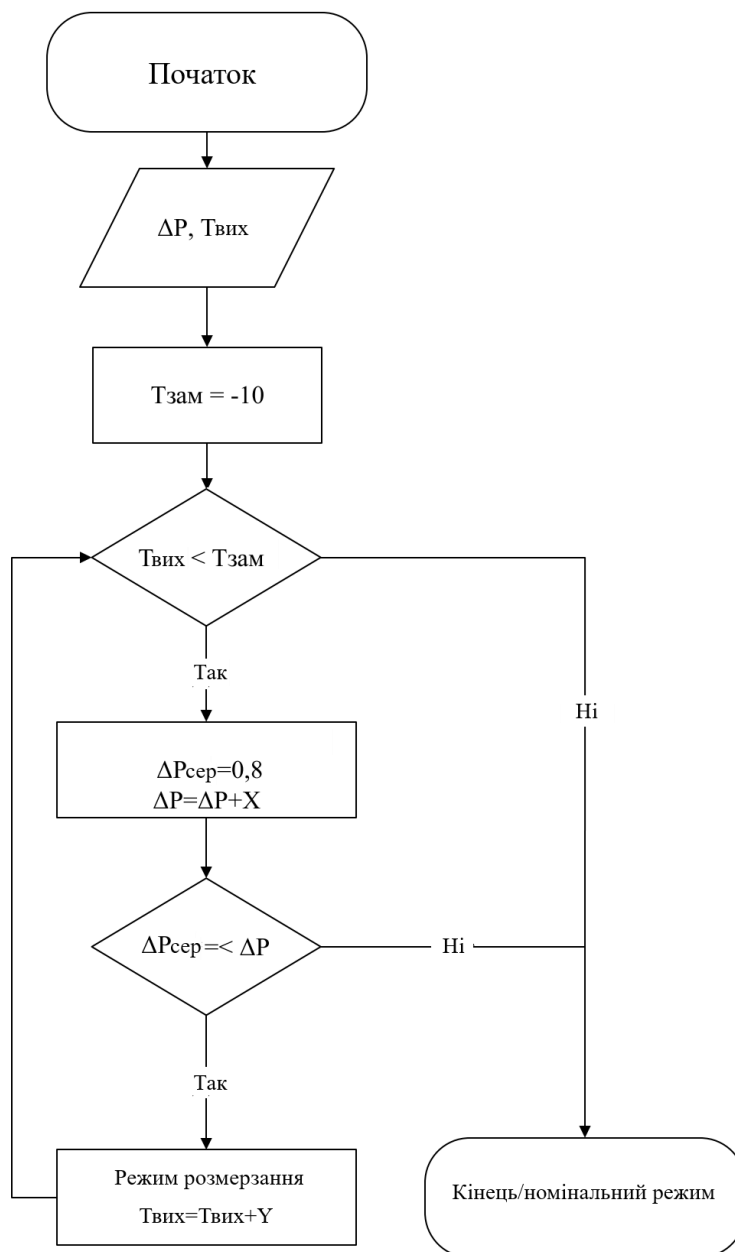


Рисунок 3.13 - Блок-схема алгоритму роботи

Тут, ΔP - перепад тиску, $T_{вих}$ - температура на виході рекуператора, $T_{зам}$ - температура, за якої починає замерзати конденсат, $\Delta P_{сер}$ - величина перепаду тиску, за якого спрацьовує автоматика

Завантаження цієї структури в регулятор, з розробкою різних програмних засобів керування було реалізовано в середовищі CoDeSys V2.

3.4 Комп'ютерне моделювання алгоритмів керування

На підставі структурної схеми, синтезованої в пункті 3.2., у

програмному середовищі XCos SciLab було зібрано модель системи з АСУ установки рекупераційної системи (рисунок 3.14).

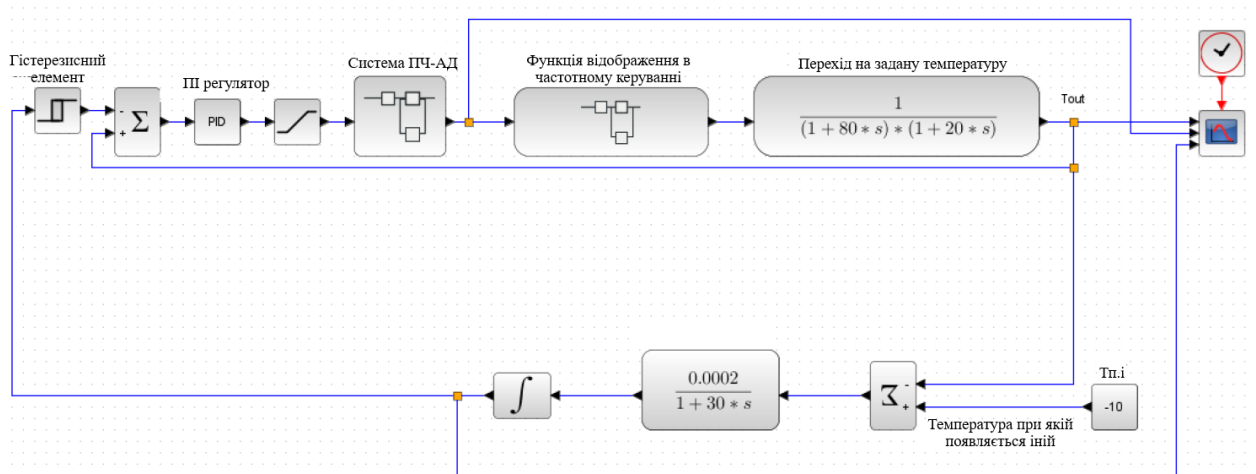


Рисунок 3.14 - Математична модель АСУ у програмному середовищі SciLab

Результати моделювання представлено на рисунку 3.15. Тут видно, що при досягненні величини $p_{fr} = 80 \%$ спрацьовує автоматика і температура на виході збільшується до температури точки роси, для плавлення інію. Після очищення каналу вентиляції, автоматика повертається у нормальний стан.

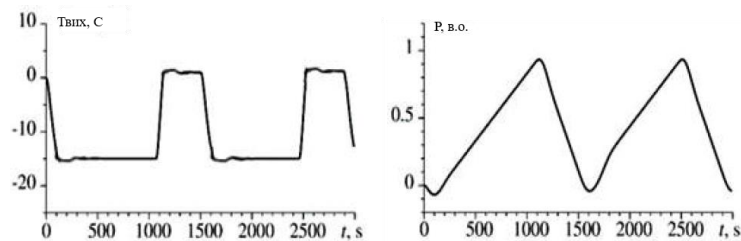


Рисунок 3.15 - Результат моделювання системи без перешкод

Однак у реальних умовах через вплив безлічі зовнішніх чинників, якісно оцінити ступінь покриття інієм безпосередньо на підставі датчика перепаду тиску виявилося неможливим. Виміряне значення перепаду тиску в реальній системі містить у собі значні завади від механічної частини системи рекуперації. Ця проблема стала причиною випадкових перемикань між режимами. Перехідні процеси отримані в результаті моделювання системи

(рисунок 3.16) із впливом перешкод представлені на рисунку 3.17

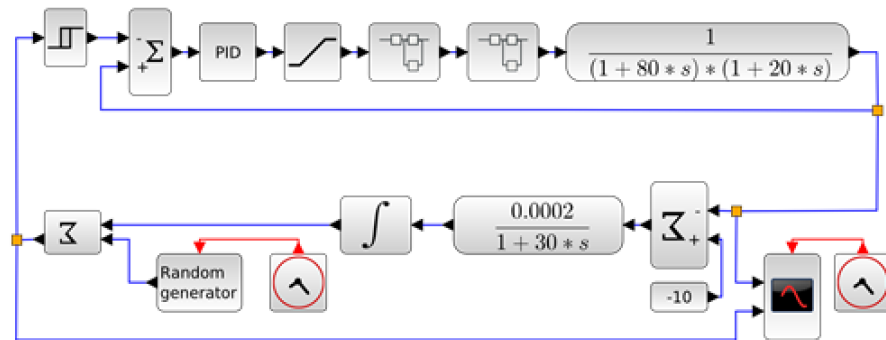


Рисунок 3.16 - Математична модель АСУ у програмному середовищі SciLab з імітацією перешкод

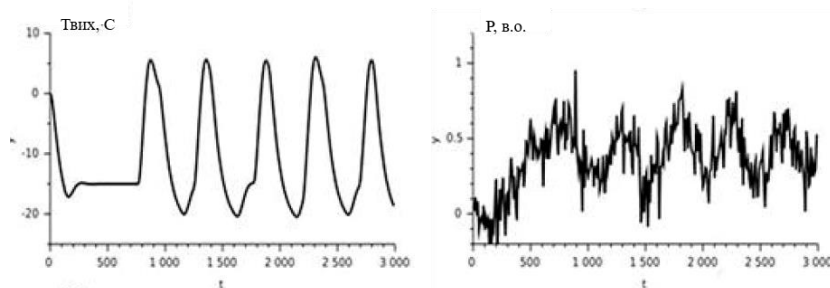


Рисунок 3.17 - Результати моделювання детермінованої системи з урахуванням перешкод.

Для розв'язання цієї проблеми датчик інію може бути представлений у вигляді диференціальних рівнянь або динамічної моделі. Подібний метод оцінки дає змогу спостерігати тенденцію зміни процесу наростання інію, завдяки використанню змінних стану. Таке рішення дасть змогу ефективно реалізувати системи управління з відтаванням, оскільки математична модель процесу не схильна до перешкод від механічної частини системи.

3.5 Спостерігач змінних стану процесу утворення інію

Основним показником, що впливає на процес утворення інію, є температура зовнішнього середовища. Так, за певної величини цього параметра починається процес утворення інію. Крім температури зовнішнього

повітря безпосередній вплив на процес утворення інію має вологість повітря в установці. При дуже сухому повітрі температура утворення інію може опускатися до -30°C , а при надмірній вологості, температура утворення інію ледь опускається нижче температури точки роси.

Основним завданням представленої моделі є знаходження моменту перемикання з одного режиму в інший, на підставі величини утвореного інію. Загалом інші величини, що впливають на модель досліджені не були, оскільки вони не мають особливого впливу на автоматику.

На рисунку 3.18 представлено структурну схему системи зі спостерігачем змінних стану процесу утворення інію.

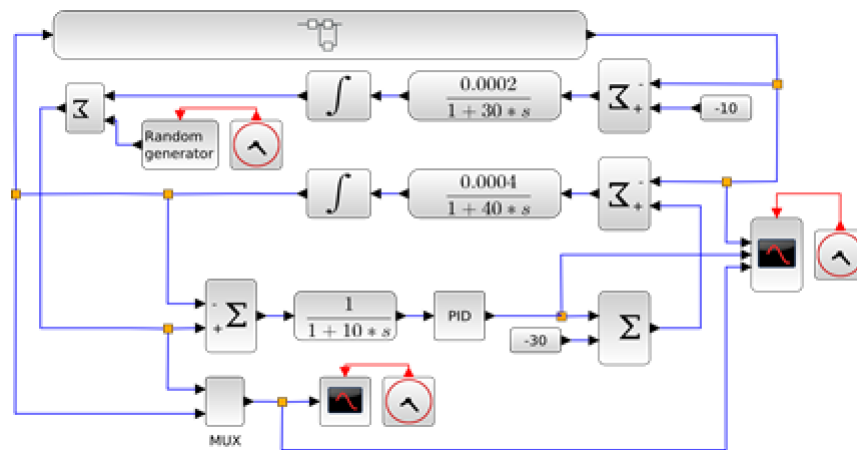


Рисунок 3.18 - Структурна схема зі спостерігачем змінних стану

Наведено еталонну модель, де динамічні характеристики еталонної моделі відрізняються від прийнятої в системі без перешкод. Зокрема, швидкість утворення інію завищено вдвічі, а час інерції збільшено на третину. У систему додано контур підстроювання температури утворення інію, що містить у собі демпфувальну ланку та ПІД-регулятор. Метою замкнутого контуру є підлаштування такої системи, за якої демпфована неузгодженість прямуватиме до нуля.

Як видно з рисунка, компенсувальне значення на виході ПІД регулятора має становити 20°C , але через те, що параметри моделі значно відрізняються від параметрів об'єкта, що описує процес створення інію, абсолютного збігу не спостерігається. Проте, основна мета вирішення проблем помилкового спрацьовування гістерезисного елемента вирішено і можна спостерігати

відновлення роботи контуру відтаювання. Дійсно, процеси переходу з режиму в режим практично відповідають рисунку 3.14 і в них відсутні помилкові спрацьовування, які спостерігаються на рисунку 3.16.

В результаті структурна схема системи зі спостерігачем змінної стану ступеня утворення інію забезпечує якісну оцінку реального ступеня утворення інію за досить шумним значенням перепаду тиску на теплообміннику, рисунок 3.19.

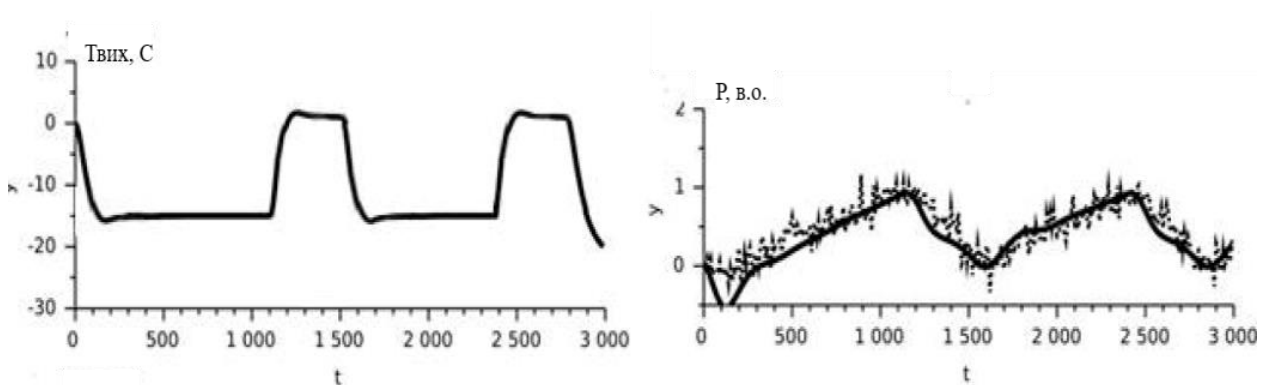


Рисунок 3/19 - Перепад тиску та оцінка ступеня утворення інію

У деяких системах можуть зустрічатися завдання, де потрібно вимірювання не прямих фізичних величин для організації технологічного процесу або автоматичної системи. Ці фізичні величини можуть мати цілком зрозумілі зв'язки з величинами, які можна виміряти стандартними датчиками в умовах зовнішніх впливів і описати у вигляді диференціальних рівнянь. У таких випадках потрібна складна методика оцінки значення нетривіальної фізичної величини з урахуванням як статичних, так і динамічних зв'язків. У цих умовах досить складно знайти в науковій і технічній літературі відповідний прототип рішення.

У цій роботі представлено методику виконання подібних завдань, яку можна застосувати в інших технологічних об'єктах, де потрібне вимірювання оригінальних фізичних величин.

3.6 Висновки до розділу

1. Розроблено структурну схемк АСУ установки з використанням ПІ-регулятора. Розрахунок параметрів регулятора проводили за методикою Зіглера-Нікольса. У результаті розрахунків отримали такі значення: коефіцієнт підсилення $kp=2,02$, інтегральна постійна $ki=0,011$.

2. Перевірка стійкості системи проводилася у середовищі CLASSiC 3.01. Отримані криві ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкнутої системи свідчать про те, що система оптимізована на симетричний оптимум.

3. Розроблено алгоритм функціонування системи управління технологічним обладнанням, який було реалізовано в середовищі CoDeSys V2. Моделювання алгоритму роботи проводилося у випадках наявності та відсутності перешкод. Встановлено, що компенсувальне значення на виході ПІД регулятора має становити $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Показано що, запропонована структура АСУ забезпечує якісну оцінку реального ступеня утворення інію за досить шумним значенням перепаду тиску на теплообміннику

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Заходи електробезпеки при роботі з електрообладнанням.

Струмоведучі частини електроустановки повинні бути недоступними для випадкового прямого дотику до них, а доступні для дотику відкриті її частини і сторонні провідні частини не повинні знаходитися під напругою, яка становить небезпеку ураження електричним струмом як у нормальному режимі роботи електроустановки, так і при пошкодженні її ізоляції.

Для захисту від ураження електричним струмом при прямому дотику повинні застосовуватись, окремо або в поєднанні, такі основні заходи захисту:

- основна ізоляція струмоведучих частин;
- огорожі і оболонки;
- бар'єри;
- розміщення поза зоною досяжності;
- наднизька (мала) напруга. Для додаткового захисту від прямого

дотику в електроустановках

напругою до 1 Кв можуть застосовуватись ПЗВ.

Захист від прямого дотику не вимагається, якщо номінальна напруга не перевищує:

- 25 В змінного або 60 В постійного струму при застосуванні системи БННН, а також системи ЗННН у випадку, коли

електрообладнання

експлуатується тільки в сухих приміщеннях і знаходиться в зоні дії системи зрівнювання потенціалів, а ймовірність контакту людини з частинами, які знаходяться під напругою, мала;

- 6 В змінного або 15 В постійного струму у всіх інших випадках.

Для захисту від ураження електричним струмом при непрямому дотику повинні застосовуватись, окремо або в поєднанні, такі заходи захисту:

- захисне заземлення;

- автоматичне вимикання живлення;
- зрівнювання потенціалів;
- вирівнювання потенціалів;
- подвійна або посилена ізоляція;
- захисний електричний поділ кіл;
- ізолюючі (непровідні) приміщення, зони, площадки;
- наднизька (мала) напруга.

Захист від непрямого дотику слід виконувати в усіх випадках, якщо напруга електроустановці перевищує 50 В змінного і 120 В постійного струму. В приміщеннях з підвищеною небезпекою, в особливо небезпечних і в зовнішніх установках виконання захисту від непрямого дотику може знадобитися при більш низьких напругах, наприклад: 25 В змінного і 60 В постійного струму або 12 В змінного і 30 В постійного струму за наявності відповідних вимог до конкретних електроустановок або електроприймачів.

Заходи захисту від ураження електричним струмом повинні бути передбачені в електроустановці чи її частині або застосовані до окремих електроприймачів і можуть бути реалізовані при виготовленні електрообладнання, або в процесі монтажу електроустановки чи в обох випадках. Застосування двох і більше заходів захисту в електроустановці не повинно чинити взаємного впливу, що знижує ефективність кожного з них.

Для захисного заземлення електроустановок можуть бути використані штучні і природні заземлювачі. В першу чергу слід використовувати природні заземлювачі. Якщо при використанні природних заземлювачів опір заземлювальних пристроїв задовольняє пред'явлені до них вимоги, то виконання штучних заземлювачів в електроустановках напругою до 1 кВ не обов'язкове. Використання природних заземлювачів як елементів заземлювальних пристроїв не повинно приводити до їх ушкодження при протіканні по них струмів короткого замикання або до порушення роботи пристроїв, з якими вони зв'язані.

Для заземлення в електроустановках різних призначень і напруг,

територіально зближених, необхідно, як правило, застосовувати один спільний заземлювальний пристрій.

Заземлювальний пристрій, який використовується для заземлення електроустановок одного або різних призначень і напруг, повинен задовольняти усі вимоги, висунуті до заземлення цих електроустановок: захист людей від ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції; умови режимів роботи мереж; захист електрообладнання від перенапруги; електромагнітну сумісність комп'ютерних і мікропроцесорних систем, РЗА і АСУ ТП, які застосовуються у цих електроустановках, тощо - протягом усього періоду експлуатації. В першу чергу повинні дотримуватись вимоги, висунуті до захисного заземлення.

При виконанні незалежного окремого заземлювача для функціонального заземлення за умовами роботи інформаційного або іншого чутливого до впливу перешкод устаткування повинні бути вжиті спеціальні заходи захисту від ураження електричним струмом, які виключають одночасний дотик до частин, що можуть при ушкодженні ізоляції опинитися під небезпечною різницею потенціалів.

Для об'єднання заземлювальних пристроїв різних електроустановок в один спільний заземлювальний пристрій можуть бути використані природні і штучні заземлювальні провідники при їх кількості не менше двох.

Необхідні значення напруг дотику і опорів заземлювальних пристроїв при стіканні з них струмів замикання на землю і струмів витoku повинні бути забезпечені при найбільш несприятливих умовах у будь-яку пору року.

При визначенні опору заземлювальних пристроїв повинні враховуватися штучні і природні заземлювачі. При визначенні питомого опору землі за розрахункове слід приймати його сезонне значення, яке відповідає найбільш несприятливим умовам. Заземлювальні пристрої повинні бути механічно міцними та динамічно стійкими до струмів замикання на землю і не повинні термічно ушкоджуватись за час їх протікання. Матеріал і переріз заземлювачів повинні забезпечувати їх стійкість до корозії на весь період експлуатації.

Електроустановки напругою до 1 кВ житлових, громадських і промислових будинків, приміщень для утримування тварин і зовнішніх установок повинні, як правило, отримувати живлення від джерела з глухозаземленою нейтраллю із застосуванням системи заземлення TN. Вимоги до вибору системи TN-C, TN-S, TN-C-S для конкретних електроустановок подаються у відповідних главах ПУЕ.

TN-S система заземлення – нульовий робочий та нульовий захисний провідники працюють окремо в усій системі. TN-C-S система заземлення – функції нульового робочого та нульового захисного провідників об'єднані в одному провідникові в частині мережі.

TN-C система заземлення – функції нульового робочого та нульового захисного провідників об'єднані в одному провідникові в усій мережі.

ІТ-система заземлення – мережа живлення системи ІТ не має безпосереднього зв'язку струмовідних частин з землею, а відкриті струмопровідні частин електроустановки заземлені.

L – фазний провідник.

N – нульовий робочий провідник.

PE – нульовий захисний провідник.

PEN – об'єднаний нульовий робочий та захисний провідник.

Для захисту від ураження електричним струмом при непрямому дотику в електроустановках із системою TN повинно виконуватися автоматичне вимикання живлення відповідно до підрозділу 1.4. На повітряних лініях мереж з системою TN повинно виконуватись повторне заземлення PEN- провідника відповідно до вимог підрозділу 1.6. Рекомендується також виконувати повторне заземлення PEN (PE) – провідника на вводі в електроустановки будинків згідно з підрозділом 1.6. В середині великих і багатоповерхових будинків аналогічну функцію виконує зрівнювання потенціалів шляхом приєднання нульового захисного провідника до головної заземлювальної шини.

4.2 Зниження ризиків і пом'якшення наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру

Науково-технічний прогрес характеризується зростанням кількості аварій, катастроф та посиленням їх руйнівного ефекту. Техногенні катастрофи мають таку періодичність або ймовірність: глобальні – 0,02–0,03 за рік; національні – 0,05–0,1 за рік; місцеві 1–20 за рік; об'єктові – 10–500 за рік.

На останнє десятиліття припадає майже половина загиблих і 40 % постраждалих у катастрофах під час стихійних лих XX століття. Вихід із такого становища один – зниження ризиків і пом'якшення наслідків НС, що вирішується на основі нової ідеології протидії катастрофам і розробленої на її базі державної стратегії управління ризиками.

В основу програми запобігання та реагування на НС техногенного та природного характеру покладено концепції прийнятного та виправданого ризику, стійкого розвитку суспільства. Концепцію прийнятного ризику використовують для раціонального планування заходів із забезпечення безпеки людей з урахуванням соціальних та економічних факторів. На її основі забезпечують техногенну безпеку. Прийнятний ризик – це ризик, який суспільство може забезпечити в певний період часу. Рівень прийнятного ризику встановлюється в державі законодавством.

За концепцією виправданого ризику прийнятний той ризик, котрий виправданий суспільством. При цьому представники суспільства, безпека яких на певному етапі розвитку науки і техніки не може бути забезпечена на прийнятому рівні (тих, хто реалізує нові технології з великим ризиком в інтересах суспільства), отримують соціально-економічні компенсації від суспільства. Зниження ризиків і пом'якшення наслідків НС є стратегічним завданням держави у забезпеченні національної безпеки.

У розв'язанні цього завдання важливе місце належить правовому забезпеченню. Регулювання законом господарської та іншої діяльності людей з метою зниження ризику НС можна здійснювати на трьох рівнях:

– по-перше, повна заборона соціально-економічної діяльності (проживання людей, будівництво, функціонування об'єктів, технологій та ін.) у тих випадках, коли рівень ризику неприпустимо великий. Наприклад у разі надзвичайно високого ризику природних лих забороняти розселення людей безпосередньо в зонах затоплення тощо;

– по-друге, постійне обмеження деяких видів господарської діяльності та/або використання (застосування) спеціальних способів діяльності у районах, де рівень ризику прийнятний за деяких умов. Це означає, що слід застосовувати спеціальні організаційні, технічні та інші заходи щодо захисту людей і об'єктів господарювання. Наприклад, використання спеціальних захисних споруд і особливих конструкцій на радіаційно-, вибухо- і пожежонебезпечних об'єктах, будівництво дамб і обвалування в районах можливих затоплень, укріплення схилів у районах з підвищеним ризиком зсувів тощо;

– по-третє, тимчасове обмеження проживання і господарської діяльності (тимчасова евакуація) на визначених територіях, рівень ризику для яких підвищений у зв'язку з порушенням умов безпеки у процесі вказаної діяльності. Наприклад, провали та осідання ґрунту, руйнування будівель через незадовільну якість будівництва водопровідних мереж міста.

Для розв'язання проблеми зниження ризику НС важливим є прогнозування і попередження аварій, катастроф, різних нестабільностей у природній і техногенній сферах. Для своєчасного прогнозування і виявлення небезпечного природного явища на стадії його зародження потрібна добре налагоджена загальнодержавна система моніторингу за передвісниками стихійного лиха, катастрофи.

Методи прогнозування наслідків НС за часом проведення можна поділити на дві групи:

– що ґрунтуються на апріорних оцінках (припущеннях), отриманих за допомогою теоретичних моделей та аналогій;

– основані на апостеріорних оцінках (оцінках наслідків НС, що вже

трапилися). Головна мета другого етапу програми – реалізація інвестиційних проектів, спрямованих на зниження ризиків і пом'якшення наслідків НС техногенного і природного характеру.

Основні напрями вкладання фінансових ресурсів на сучасному етапі такі:

- удосконалення системи моніторингу та прогнозування катастроф і стихійних лих;
- розроблення і впровадження функціонального комплексу інформаційного забезпечення процесів управління в НС;
- модернізація автоматизованої системи централізованого оповіщення населення;
- реалізація заходів щодо першочергового життєзабезпечення населення в НС;
- забезпечення населення засобами індивідуального захисту і медикаментами;
- упровадження мобільних комплексів оцінювання стійкості і сейсмостійкості будівель і споруд;
- удосконалення системи підготовки професійних рятувальників, штатних працівників державних установ у складі спеціально уповноважених органів виконавчої влади з питань ЦЗ,

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі було описано об'єкт, на якому проводитиметься модернізація та проблема виникнення інію. На підставі зазначеної проблеми проведено літературний огляд, який допоміг визначити основні рішення, що застосовуються в даній галузі. У результаті обрано рішення, у якому розморожування інію буде здійснюватися з допомогою підтримки температури точки роси на виході системи. Сформовано основні вимоги та структуру установки з усією периферійною частиною, а також правила взаємодії між рівнями системи.

Була спроектована рекуперативна установка на базі системи, яка включає асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором і перетворювач частоти. На основі розрахункової потужності вибрано насос фірми Grundfos CM1-10 A-R-G-E-AQQE потужністю 0,85 кВт та перетворювач частоти Danfoss VLT 2811. Було визначено технічні характеристики, виходячи з яких зроблено вибір устаткування. Вибір проводився за допомогою різних довідкових документів та посібників, представлених виробниками обладнання.

Розроблено структурну схемку АСУ установки з використанням ПІ-регулятора. Розрахунок параметрів регулятора проводили за методикою Зіглера-Нікольса. У результаті розрахунків отримали такі значення: коефіцієнт підсилення $k_p=2,02$, інтегральна постійна $k_i=0,011$.

Перевірка стійкості системи проводилася у середовищі CLASSiC 3.01. Отримані криві ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкнутої системи свідчать про те, що система оптимізована на симетричний оптимум.

Розроблено алгоритм функціонування системи управління технологічним обладнанням, який було реалізовано в середовищі CoDeSys V2. Моделювання алгоритму роботи проводилося у випадках наявності та відсутності перешкод. Встановлено, що компенсувальне значення на виході ПІД регулятора має становити 20 °С. Показано що, запропонована структура

АСУ забезпечує якісну оцінку реального ступеня утворення інію за досить шумним значенням перепаду тиску на теплообміннику

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування повітря. – Чинний від 01.01.2014. – Київ: Мінрегіонбуд, 2013. – 141 с
2. Зінич П. Л. Вентиляція громадських будівель і споруд: навчальний посібник / Зінич П. Л. – К. : КНУБА, 2002. – 256 с .
3. Джеджула, В. В. Особливості налаштування вентиляційних систем на проектну витрату повітря. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 2018, 1: 100-105.
4. Astrom K. J. PID Controllers: Theory, Design and Tuning. 2nd Edition / K. J. Astrom, T. Hagglund. – Research Triangle Park, North Carolina : Instrument Society of America, 1995. – 374 p.
5. Kraus T. W. Self-tuning PID controller uses pattern recognition approach / T. W. Kraus, T. J. Myron // Control Engineering. — 1984. — vol. June. — pp. 106- 111.
6. Ковриго Ю. М. Методи забезпечення стійкості систем регулювання на базі ПІ та ПІД регуляторів / Ю. М. Ковриго, Т. Г. Баган, О. С. Бунке // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2013. – № 3/3 (63). – С. 58-63.
7. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М.Куценко, В.Ф.Яковлєв та ін.–К.: Аграрна освіта, 2013. –449 с
8. Буняк О. А. Електричні машини : Навчальний посібник /. — Тернопіль : ФОП Паляниця В.А. , 2023 — 324 с.
9. Шевченко І.С. , Морозов Д.І. Електромеханічні системи в асинхронному електроприводі: Навч. посібник / Алчевськ: ДонДТУ, 2009. – 349 с
10. Математичні методи та особливості чисельних розрахунків динаміки електроприводів з асинхронними двигунами: монографія / О.П.Чорний, О.І.Толочко, В.К.Титюк. – Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2016. – 300 с.

11. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.
12. Плахтина О.Г. та ін. Частотно-керовані асинхронні та синхронні електроприводи: Навч. посібник. — Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2002. — 228 с.
13. Толочко О.І. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: Навчальний посібник. — Київ: НТУ «КПІ», 2016. — 150 с.
14. Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан — Тернопіль: ТНТУ, 2024. — 51 с.
15. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський) / укл. : О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. — Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.