

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) О. КОЛЛАРОВ
(ініціали, прізвище)
«___» _____ 2022 р.

**Кваліфікаційна робота
бакалавра**

на тему Покращення системи управління вентиляційної установки із застосуванням відновлювальних джерел енергії.

Виконала: студентка 3 курсу, групи ЕЛКзп-19
(шифр групи)
спеціальності підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(шифр і назва спеціальності підготовки)

та електромеханіка»

_____ Олександра ПОРФІЛЕНКО (ім'я та прізвище)	_____ (підпис)
Керівник <u>ст. викл. «ЕлІн», Е. НСМЦЕВ</u> (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)	_____ (підпис)

Рецензент _____ (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)	_____ (підпис)
---	-------------------

Нормоконтроль:

(підпис) О. ЛЮБИМЕНКО

(дата)

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

(дата)

ЛУЦЬК – 2022 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

(О. КОЛЛАРОВ)

« » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ
Олександрі ПОРФІЛЕНКО

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Покращення системи управління вентиляційної установки із застосуванням відновлювальних джерел енергії.

керівник роботи Едуард НЕМЦЕВ, ст. викл. «ЕлІн»
(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 6 червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: Номінальні дані електроприводу вентиляційної установки: номінальна потужність $P_{ном}=45(\text{кВт})$, коефіцієнт потужності $\cos \varphi_{ном.Д} = 0.687$, номінальне значення напруги $U_{ном.Д} = 380 \text{ (В)}$

ККД $\eta_{ном.ЕД} = 0.721$, номінальне значення ковзання $s_{ном.ЕД} = 0.0775$. Імовірна схема електроживлення установки, вид керування приводом. Систему ВДЕ Розрахувати для Миколаївської області.

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

1. Аналіз роботи електроприводу вентиляційної установки. Завдання та управління параметрами досліджуваного приводу.

2. Синтез за режимами керування електродвигуну вентиляційної установки.

3. Побудова математичної моделі приводу та її послідовний аналіз роботи під час зміни режимів, перехідних процесів.

4. Огляд та методологія впровадження заходів, питань із охорони праці.

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

Дев'ять слайдів у презентаційному матеріалі.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 4.1–4.3	Е. НЄМЦЕВ, ст. викл.		
Розділ 4.4	О. КОЛЛАРОВ, зав. каф.		
Нормоконтролер	О. ЛЮБИМЕНКО, доц. каф.		

7. Дата видачі завдання 27 квітня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	27.04–04.05.22	
2.	Розділ 2	05.05–13.05.22	
3.	Розділ 3	14.05–29.05.22	
4.	Розділ 4	30.05–05.06.22	
5.	Розділ 5 «Охорона праці»	01.05–06.06.22	

Студент(-ка) _____ Олександра ПОРФІЛЕНКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Едуард НЄМЦЕВ
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

ПОРФІЛЕНКО О., «Покращення системи управління вентиляційної установки із застосуванням відновлювальних джерел енергії.» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – ДВНЗ ДонНТУ, м. Луцьк, 2022.

У проведеному дослідженні протягом виконання усієї дипломної роботи був проаналізований, розрахований та побудований електропривод вентиляційної установки (його математична модель).

У проекті здійснено аналіз стану електричного приводу вентиляторних установок сьогодення, виконаний аналіз наявних шляхи їх удосконалення, і у тому числі для проектованої моделі (на початку роботи обирається наближена модель, а потім шляхом дослідження згорнутих підсистем отримується уточнена). Також у роботі виконано обрання електроприводу, електромеханічного обладнання, детально опрацьовані питання із автоматизації технологічного процесу, виконаний розрахунок у лінії електричного постачання установки в цілому, технічної експлуатації.

Ще одне питання, яке було розв'язане під час роботи стосувалося розробки інтерфейсу вводу та виводу інформації про стан миттєвий стан параметрів розглянутої енергосистеми.

У фінальній частині дослідження за наявною математичною моделлю, котра побудована була у застосунку Simulink математичного комплексу Matlab, вивчались перехідні процеси та роботи системи від резервного живлення.

Ключові слова: ВЕНТИЛЯЦІЙНА УСТАНОВКА, МОДЕЛЮВАННЯ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ КООРДИНАТ, ВЕКТОРНЕ УПРАВЛІННЯ, АСИНХРОННИЙ ПРИВОДНИЙ ДВИГУН, БЛОК ВИЗНАЧЕННЯ ПОТОКУ, РЕГУЛЯТОР КОВЗАННЯ, MATLAB, РЕГУЛЯТОР ПОТОКУ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
1. АНАЛІЗ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ. ЗАВДАННЯ ТА КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРИ ПРОЕКТОВАНОГО ПРИВОДУ.	11
1.1 Електричне виконання приводів та сучасних систем керування вентиляційної установки.	11
1.2 Виконання приводу із векторним керуванням, збір даних та виконання керування параметрами.	12
1.3 Автоматизована параметризація електроприводу.	15
2. СИНТЕЗ РЕЖИМІВ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНУ ПРИВОДУ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ.	25
2.1 Аналіз технологічного процесу електричного та механічного обладнання вентиляційного устаткування.	25
3. РОЗРАХУНОК ТА ОБРАННЯ СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ТА ВИМІРУ УСТАНОВКИ.	41
3.1 Розрахунок лінії живлення приводу та датчиків.	41
3.2 Обрання контролерів, перетворювачів. розробка електричної схеми.	43
4. МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ПРИВОДУ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ.	48
4.1 Розрахунок резервної мережі із альтернативними джерелами.	48
4.2 Моделювання резервної мережі із альтернативними джерелами.	55
4.3 Аналіз режимів роботи приводу вентиляційної установки.	61
ВИСНОВКИ.	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.	66

ДОДАТОК А.	68
ДОДАТОК Б.	69
ДОДАТОК В «Властивості фотоелектричної панелі».	74

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

СК – скалярне керування;
ВУ – вентиляційна установка;
РС – регулятор струмового обмеження;
КК – компенсація ковзання;
МФП – модель фазового перетворювача;
АН – автономний інвертор;
БК – безконтактний контролер;
ВК – векторне керування;
ЕП – електропривод;
СЕС – сонячна електростанція.

ВСТУП

В даній роботі головним об'єктом дослідження постає система управління вентиляційної установки. Окрім цього, однією із задач дослідження виступає моделювання роботи загальної електричної мережі, котра має у своєму складі саму вентиляційну та її системи електричного живлення. Під живленням розуміється також і додаткова (резервна) мережа із застосуванням відновлювальних джерел енергії.

Дана дипломна робота має за мету виконати аналіз системи керування (обрання основних елементів, після їх розрахунку та налаштування), а також дослідження процесів та відповідних режимів самої установки. Задля цього пропонується розробити систему для моделювання, а також додаткові заходи, щодо підвищення загального коефіцієнту продуктивності усієї установки, особливо при впровадженні векторного управління електроприводом.

Автоматизація електромеханічного обладнання, яке залучено у ланках кондиціонування і вентиляції є завданням особливо актуальним у розрізі роботи великих об'єктів, таких, як наприклад, промислових та виробничих цехів. Від поточних значень параметрів якості у автоматичній, а також алгоритмів керування її буде залежить зручність експлуатації, надійність, а також і безпека роботи усієї вентиляційної установки та системи.

Управлінням до загальної системи вентиляції постають, як правило, засоби автоматики локальної. Одним із головних недоліків цього регулювання виступає фактор того, що не враховує воно фактичний баланс теплових та повітряних показників середи, а також поточні погодні умови: напрямок і швидкість та вітру, температуру зовнішнього повітря, атмосферний тиск.

І тоді під зовнішнім впливом цих методів керування вентиляційна система повітря виконує свій технологічний процес, здебільшого, не у номінальному (або ефективному) режимі.

Тоді параметри ефективності у роботи системи витяжної вентиляції можливо підвищити значно, за умови, якщо виконувати оптимальне керування,

котре має у своїй основі застосуванні програмних логічних контролерів сьогодення.

Автоматизована енергосистема керування являє собою сукупність об'єктів власне управління, а також пристроїв керування, взаємодія котрих забезпечує перебіг автоматизованого процесу у відповідності заданій програмі. В такому технологічному процесі розуміється операційна послідовність, котрі необхідно виконувати, аби із вхідних даних отримати сприятливий вихідний результат. Для досліджуваної установки сприятливим вихідним результатом виступає переміщення вітрових потоків у приміщенні, котре обслуговується, зі вказаними попередньо показниками (температури, складу повітря).

У функціональну основу системи керування вентиляційної установки, як і у більшості аналогічних за структурою систем управління, закладено принципи зворотного зв'язку: генерування впливу (або впливів), котрі здійснюють керування, за інформаційною основою про власне об'єкт, який отримано через використання датчиків, розподілених чи встановлених на самому об'єкті.

Провівши аналіз [2, 5] технічних рішень сьогодення для реалізації вентиляційної установки було зроблено висновок, що функції управління можливо розділити на чотири основні категорії:

- Оперативне програмоване керування;
- Захисні блокування та функції;
- Реєстрація та контроль за параметрами;
- Функція регулювання.

Відповідно за технологічним процесом обов'язковими показниками за контролем виступає:

- Зовнішній показник температури повітря, після проходження теплообмінника та температури в приміщенні;
- Значення тиску і температури в загальному та у зворотному трубопроводах, а також й виході кожного із теплообмінників;

Здійснення дистанційного управління та контроль передбачається робити задля вимірювання встановлених головних параметрів технологічного процесу чи показників, котрі є задіяними у під час реалізації решти функцій керування. Це виконується через застосування безпосередньо вимірювальних перетворювачів і датчиків зі виведенням на індикатор параметрів виміру чи екран персонального комп'ютера оператора.

Для виміру другорядних параметрів, як правило, застосовують стаціонарні прилади, ними виступають манометри чи термометри.

Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи. Дипломна робота виконана обсягом 74 машинописних сторінок та складається із вступу, основних чотирьох розділів, висновків, переліку із 11 використаних джерел та 3 додатки. У роботі представлено також 47 рисунків і 6 таблиць.

1. АНАЛІЗ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ. ЗАВДАННЯ ТА КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРИ ПРОЕКТОВАНОГО ПРИВОДУ.

1.1 Електричне виконання приводів та сучасних систем керування вентиляційної установки.

Обслуговування, контроль за приводами із векторним керуванням здійснюється, на практиці, завдяки вбудованій в мережу, компактній електричній шафі. Тут інвертори перетворювачі, а також перетворювачі з боку живлення можуть управлятися та експлуатуватися і безпосередньо із самого електроприводу та із застосуванням зовнішнього пристрою керування.

Якщо керування відбувається напряду – із самого електроприводу чи апарату в цілому тоді:

- В стандартному виконанні через використання пристрою управління та задачі параметрів;
- В додатковому постачанні через використання зручного пристрою обслуговування під назвою OP_{1S};
- Завдяки використанню встановленим пакету на персональному комп'ютері типу Simovis, котрий керує приводом. .

Якщо управління відбувається із зовнішнього пристрою керування, тоді задавати значення можна:

- Із клем керування на зібраному електричному приводі;
- Через використання модулів комунікації або за допомогою технологічних модулів;
- За допомогою приладу, котрий підключено за послідовним інтерфейсом (наприклад типу SST₂).

В стандартному виконанні (комплектації) у всіх електричних апаратах є пристрій завдання параметрів, або на передній панелі, або розташований на самому утримувачі білу блоку електроніки у вбудованих системах. Прилад із

налаштування та послідуєчого обслуговування поєднує у собі такі основні функції:

- Обслуговування, а саме – увімкнення або вимкнення, збільшення чи зменшення вхідного впливу, зміну напрямку обертання вправо чи вліво;
- Введення у роботу інвертора, додаткових перетворювачів, та перетворювача живлення;
- Вивід інформації про поточний стан, а також індикація, у випадку зміни параметрів;
- Стан величини дійсних параметрів впливу;
- Виведення на екран індикації повідомлень та попереджень та про стан помилки;
- Виведення на екран показники стану перетворювача;

На пристрої із завданням параметрів і обслуговування міститься 9-контактний вивід у вигляді інтерфейсу типу RS485.

1.2 Виконання приводу із векторним керуванням, збір даних та виконання керування параметрами.

Електричний привод із векторним керуванням доволі легко можна підключити до системи автоматизації будь-якої типу, так до прикладу, в програмовану систему із автоматизації на основі бази мікроконтролерів програмного керування, чи в систему, керовану промисловим персональним комп'ютером. У цьому випадку система автоматизації виконує керування електроприводом у відповідності до вимог, котрі ставляться технологічному процесу за завданням. Слід звернути уваги, що при цьому, дані про слово-стану керуючого впливу, котре генерується циклічно, передаються на електропривод. А вже сам привод пересилає ну зворотному шляху для систем автоматизації параметри поточного стану і виміряні покази потрібних параметрів. Можливе і здійснення власного параметризація та конфігурування приводу під час зміни вимог у технологічному процесу.

1.3 Автоматизована параметризація електроприводу.

У той же момент серійні перетворювачі векторне керування складається із модульних та компонентів із високими показниками продуктивності, що, у свою чергу, дозволяє використовувати їх задля індивідуального використання.

Електричний привод запропоновано за [2,4] використовувати за двома варіантами конструкцій:

1) Із перетворювачем частоти задля під'єднання до електричної мережі змінного струму.

2) Із використанням інвертору задля під'єднання до шин постійного струму, що живиться від випрямляча без віддачі або віддачею енергії в мережу.

Компоненти системи електричного приводу виконуються за єдиним виконанням та незалежно від використовуваного приладу, тобто інвертора чи перетворювача. Вони також розробляються за різними габаритними розмірами, є звичайні, а існують і спеціальні, котрі розташовані доволі близько один біля іншого одного для заощадження робочого місця. Така модульність й єдність у виконанні комплектуючих до електричних систем дозволяють виконувати узгодження поставлених вимог системи електричного приводу до вимог за комунікацією та технологією. Тож сама система такого електроприводу може вироблятися за різним виконанням, наприклад – компактним, шафового виконання та вбудованого. Через це існують наступні види захисту:

- Компактного виконання застосовується за класом захисту (IP 22).
- Вбудованого виконання застосовується за класом захисту (IP00);
- Шафового виконання майже завжди виконується із перетворювачем, котрий має захисний клас IP20. Існує можливість використовувати шафи із підвищеним класом захисту. Перетворювачі, котрі розташовані у шафі готові повністю до виконання підключення до групових чи одиночних приводів, та до другорядних приладів в залежності від власне призначень самого електроприводу.

Тоді існують такі наявні виконання приводів:

- 1) Електроприводи, котрі працюють в одному квадранті, де завжди відкритими є 6 із 12 діодів випрямляча на вході;
- 2) Електроприводи, які працюють в всіх чотирьох квадрантах, 6 пульсні, іщ штучною комутацією;
- 3) Електроприводи, котрі працюють в всіх чотирьох квадрантах, із шести пульсним випрямлячем пов'язаним із мережею.

Перетворювач живлення, імпульсний, із віддачею, а також без віддачі енергії у електромережу може складатися із інвертора зі IGBT-модулями, котрий працює у режимі випрямляча. Значення напруги, котре видається у електромережу, має наближену до синусоїдальної форму, і тому тут не можуть виникати вищі гармоніки, а тоді і вплив на електромережу живлення є мінімальним. Також перевагами додатковими є установлюване значення коефіцієнту потужності усієї електромережі, виконання компенсації за значенням реактивної потужності, робота під час зниженого значення напруги у мережі й безпечне від'єднання під час виходу з ладу мережі без суттєвого пошкодження інвертора та без вигорання самого запобіжника під час генераторного режиму.

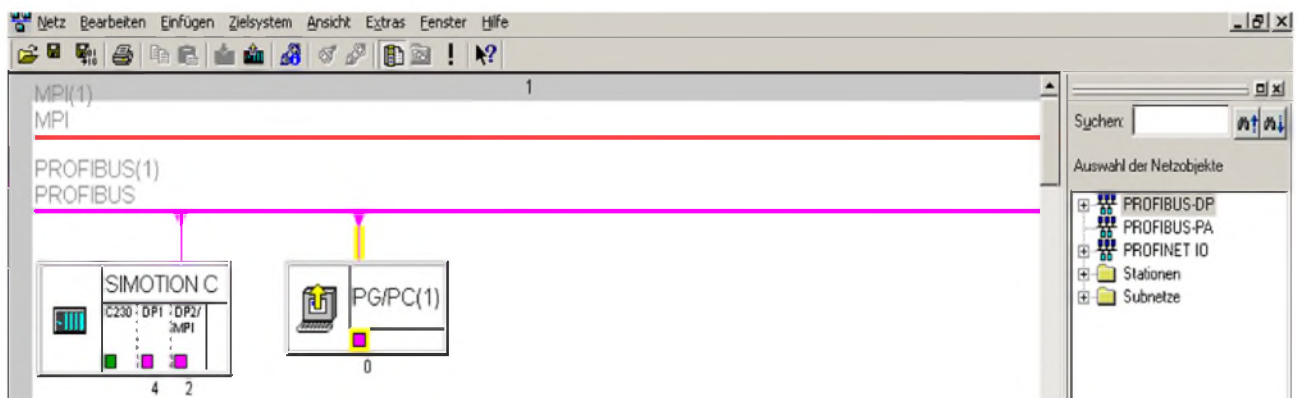


Рисунок 1.3 – Зв'язок перетворювача із ПЛК та комп'ютером користувача

Тоді варто зазначити, що надається операційні панелі введення та виведення інформації додатково. За їх допомогою можливе виконання параметризації та керування перетворювачем. При цьому власне

параметризація заснована на принципах роботи із меню вводу, коли вибирається номер певного параметру й далі виконується введення його значення. Так на рис. 1.4 втілено вікно параметризації та введення параметрів, яке виконано у дипломній роботі

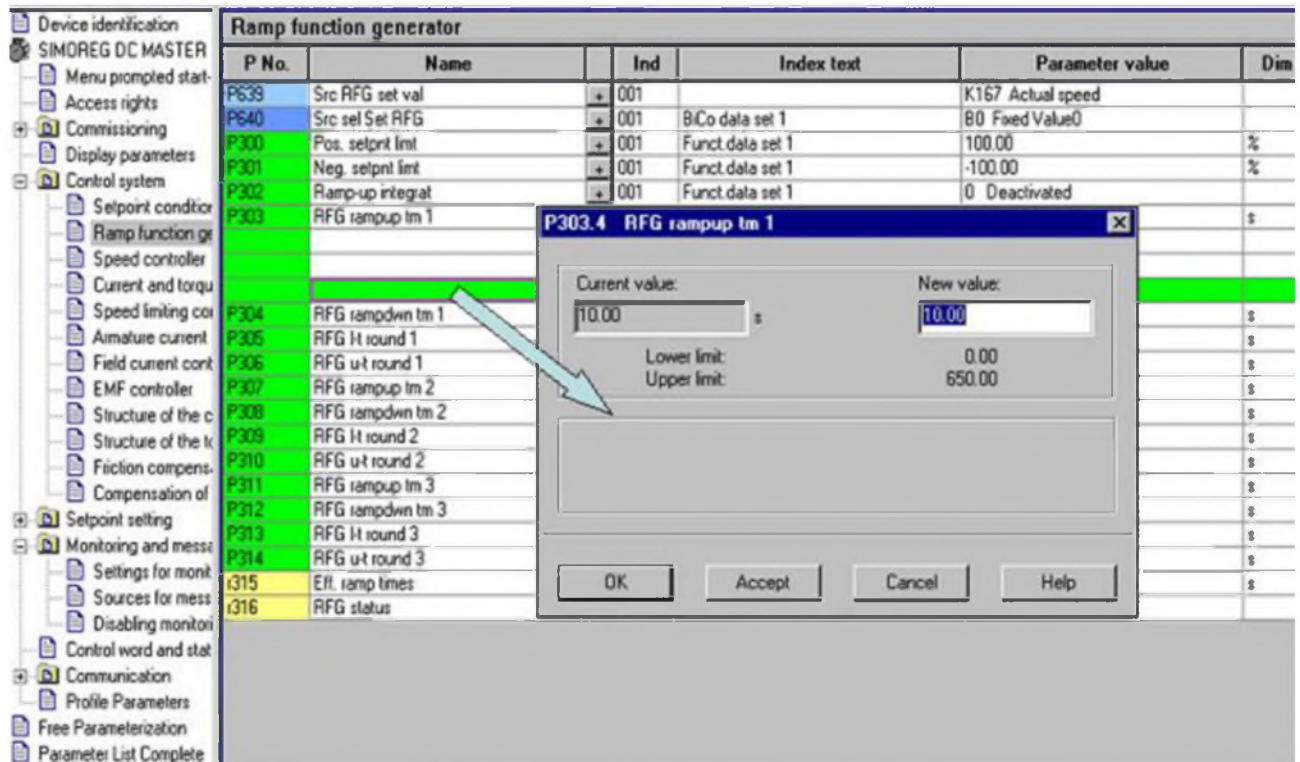


Рисунок 1.4 – Вікно параметризації та введення параметрів

Після цього виконується індикація у текстовому режимі. Опис величин та їх параметрів, а також опису позначень текстових приводиться англійською або німецькою мовою. Сама операційна панель також містить і пам'ять, яка не зтирається після зникнення напруги, та може зберігати кожний набір параметрів незалежно. Тоді існує вірогідність у їх архівуванні (початкових значень показників) для їх подальшого перенесення із метою використання у інших пристроях. Підключається операційна панель безпосередньо й до пристрою параметризації й обслуговування на 9 дев'яти контактний роз'єм, а після цього ще й фіксується за допомогою приручення. Власне операційну панель можливо застосувати, як прилад дистанційного управління. При цьому операційна панель (що було показано на рис. 1.3) працює у режимі «ведучого» ,

а підключений пристрій працює в режимі «відомого». Плата підтримує швидкість передачі даних 9,55 (Кбіт/с) і 19,35 (Кбіт/с). Можна застосувати схему підключення точка-точка (для одного приладу), та застосувати й шинну топологію для більшості складених приладів та пристроїв, котрі підключаються.

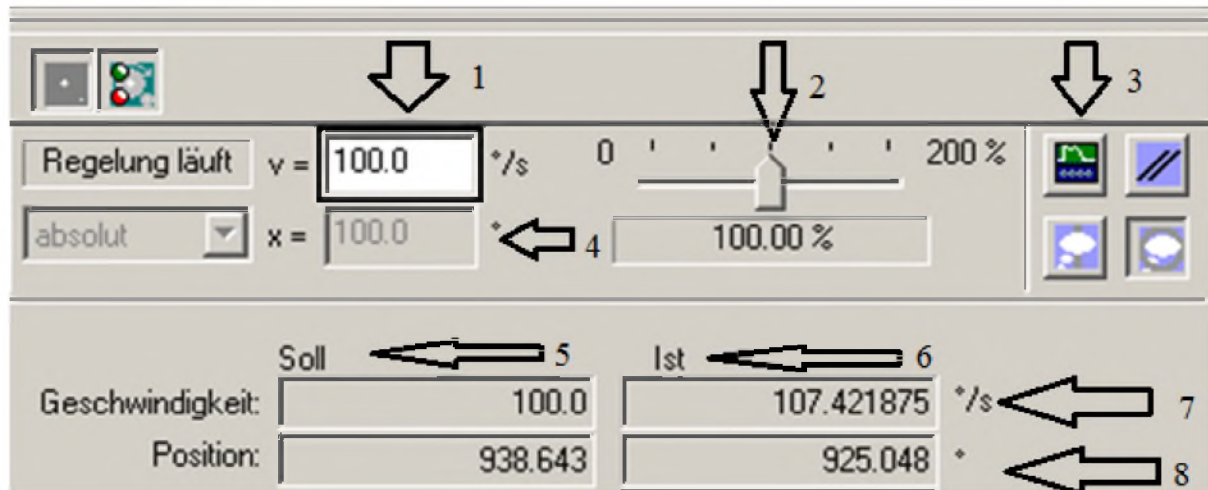


Рисунок 1.5 – Детальний розбір панелі керування

Із поданого на рис. 1.5 (детальний вигляд панелі керування) випливає, що (позначки на рисунки):

1. Значення швидкості приводу, можливо змінювати під час режиму реального часу.
2. Значення прискорення, можливо змінювати під час режиму реального часу.
3. Можливість викликати віртуальний осцилограф та за допомогою нього задати та встановити необхідні для дослідження характеристики та залежності.
4. Значення за положення вісі, можливо змінювати під час режиму реального часу.
5. Наведено власне задане значення (швидкості та позиційне).
6. Наведено поточне значення (швидкості та позиційне).

Блок-схему алгоритму із комплексного налагодження електроприводу із частотним регулюванням за мікропроцесорним керуванням представлена на рис. 1.6.

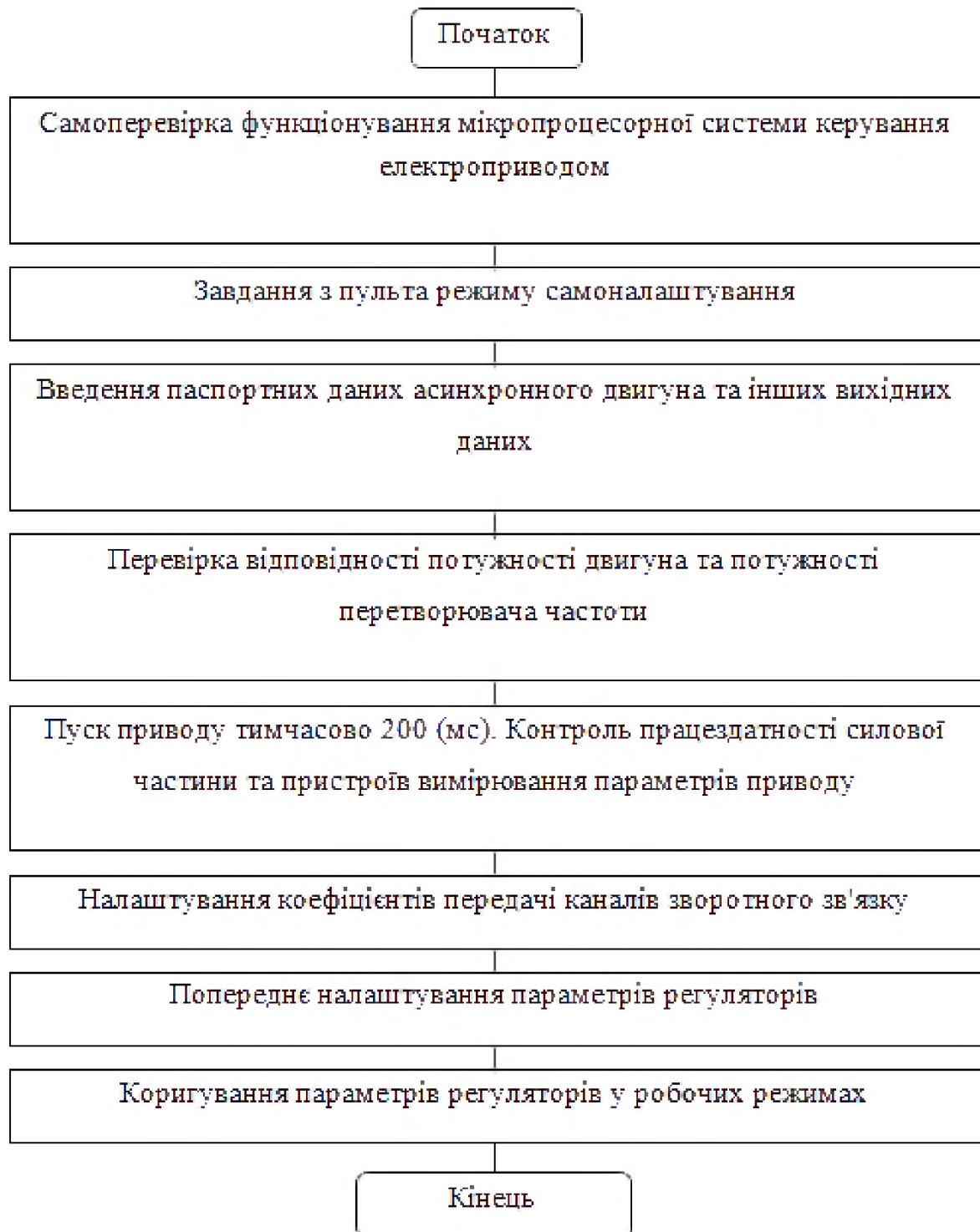


Рисунок 1.6 – Алгоритм із комплексного налагодження електричного приводу із регулюванням частоти

Далі постала задача у виборі електричної схеми живлення електропривода. Так проаналізувавши наявні способи живлення (рис. 1.7). Так було досліджено роботу найбільш розповсюдженної схеми (яка залишилась ще у більшості не модернізованих електроприводах) вентиляційних установок – перетворювача частоти із інвертором струму.

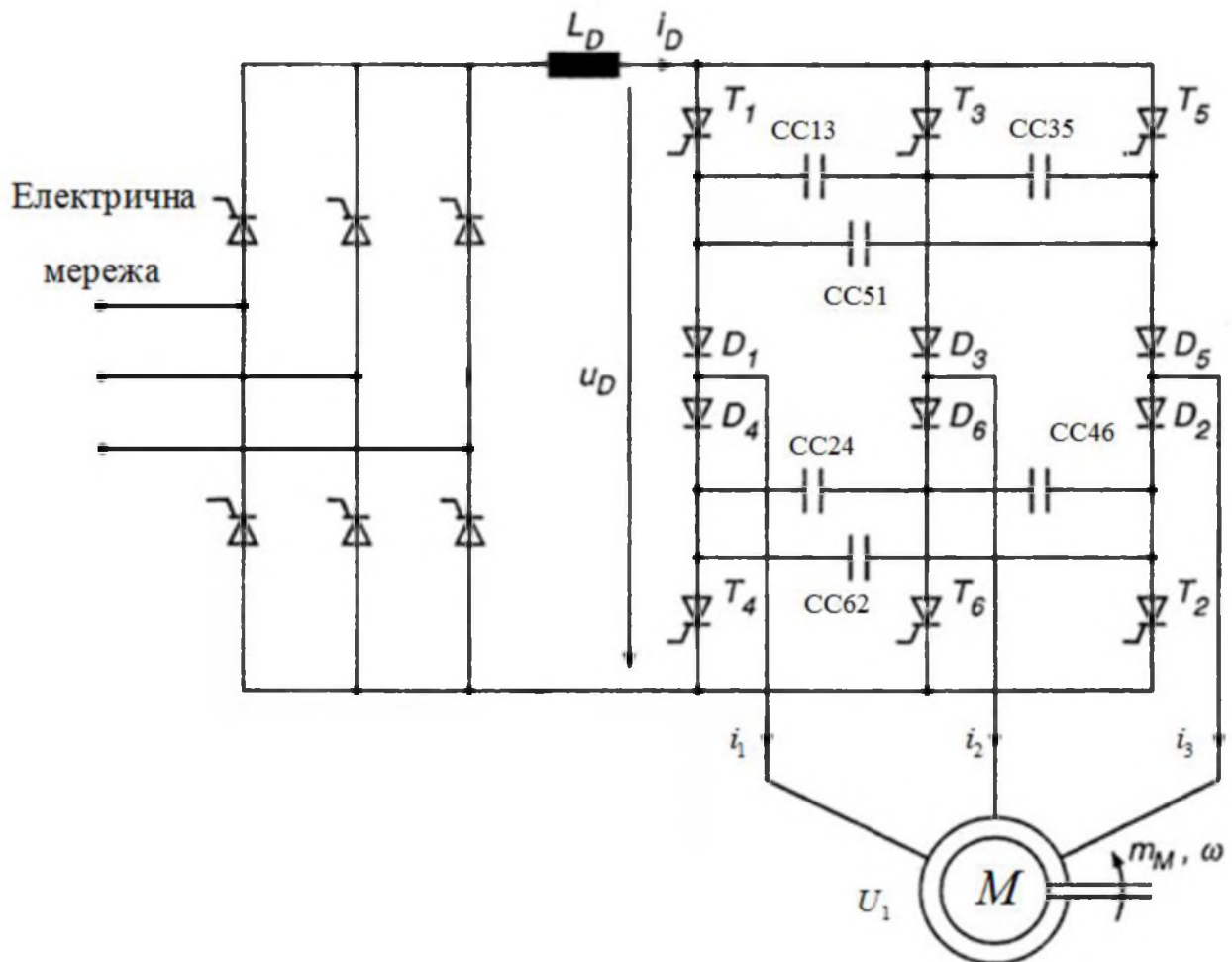


Рисунок 1.7 – Схема електрична перетворювача частоти із інвертором струму

Вона має свої переваги про які також слід сказати, так незважаючи на певні обмеження електропривод із струмовим інвертором практично саме так швидко керуємо, що й при використанні частотного перетворювача із інвертором напруги, через те, що імпульси, які відкривають рухові частини перетворювача зсуваються доволі швидко, що можна побачити безпосередньо на значенні вихідного моменту на валу електродвигуна. Тоді зміна струму, навпаки, у проміжній ланці та за допомогою частини живлення від мережі

через дросель вимагає більшого часу на роботу. В свою чергу, під час живлення від електромережі, де $f_M=50$ (Гц) й наявності резерву достатнього за напругою еквівалентна стала часу буде лежати у діапазоні 10-15 (мс). У цьому і є певний недолік, тому що не завжди є цей запас за напругою (рис. 1.8), тобто привод є не готовим до таких імпульсних стрибків напруги під час комутації.

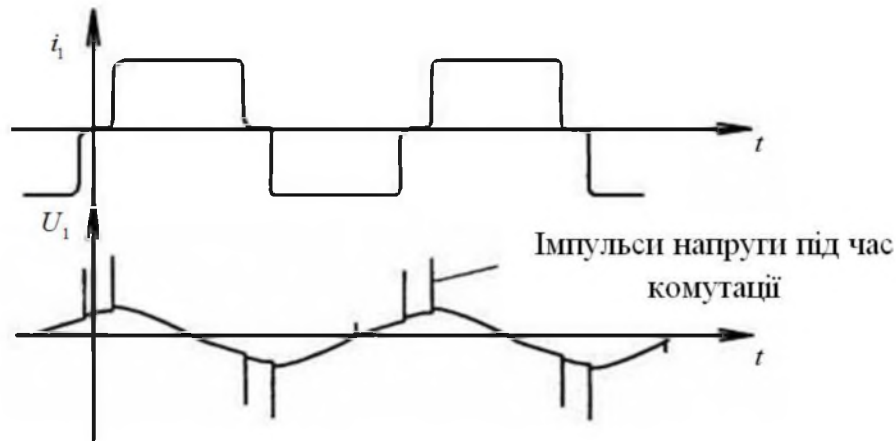


Рисунок 1.8 – Осцилограма перебігу значення напруги й струму у перетворювачі частоти із інвертором струму

Тоді як альтернативний варіант було розглянуто застосування широтно-імпульсної модуляція із використанням програмного модулятора.

Власне принцип роботи самого програмного модулятора можливо проаналізувати із допомогою станів векторів. Кожна гілка інвертора виступає при цьому ідеальним ключем. Тоді достатньо вісьмох комбінацій (рис. 1.9) напруг інвертора, котрі однозначно напругу електродвигуна визначають.

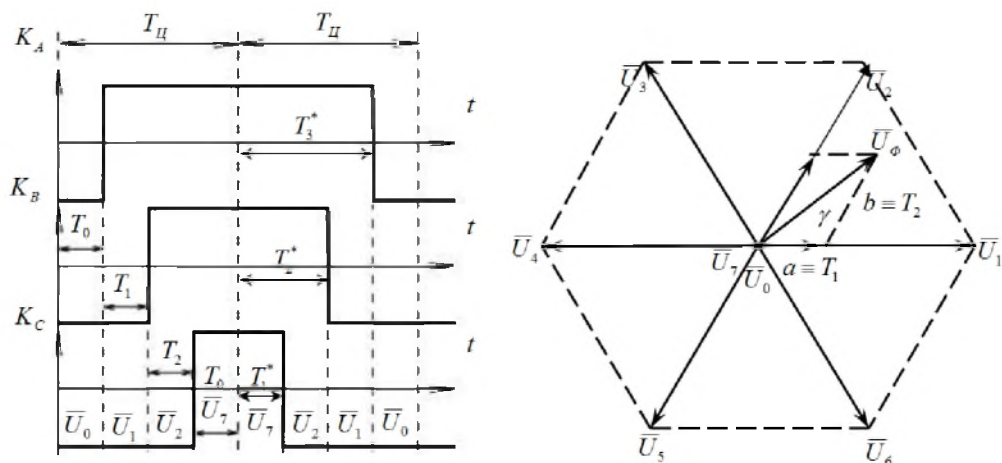


Рисунок 1.9 – Осцилограма формування фазної напруги

Наведений на рис. 1.9 модуляційний спосіб може характеризуватися необхідністю у розрахунках із застосуванням мікропроцесорного пристрою на протязі періоду у три часових інтервали, а також відповідних комутаційних точках ключів інвертора.

Із рис. 1.9 значення відносного часу включення можна визначити користуючись геометричними міркувань (вектори проведені на рис. 1.9):

$$\frac{\sqrt{3} \cdot |\bar{U}_{\phi.3}|}{U_d} \cdot \sin(60^\circ - \varphi_3) = \frac{T_1}{T_{II}} \quad (1.1)$$

$$\frac{\sqrt{3} \cdot |\bar{U}_{\phi.3}|}{U_d} \sin(\varphi_3) = \frac{T_2}{T_{II}} \quad (1.2)$$

$$\frac{\sqrt{3} \cdot |\bar{U}_{\phi.3}|}{U_d} \sin(60^\circ + \varphi_3) = \frac{T_1}{T_{II}} \quad (1.3)$$

де: $\bar{U}_{\phi.3}$ – значення модулю заданого визначення фазної напруги електродвигуна;

φ_3 – значення бажаної фази для заданого вектора напруги;

U_d – значення напруги у проміжній ланці постійного струму.

Варто прийняти до уваги, що під час використання ШІ модуляції опорного синусоїдального сигналу значення дійсної вихідної інверторної напруги буде обмежуватися на рівні 7/8 напруги вхідного випрямляча (або напруга електромережі). Ступень збільшення застосування інвертора за значенням напруги можливо реалізувати шляхом застосування трьох гармонійних у опорній напрузі за рахунок імпульсів зсуву, котра показана на рис. 1.10

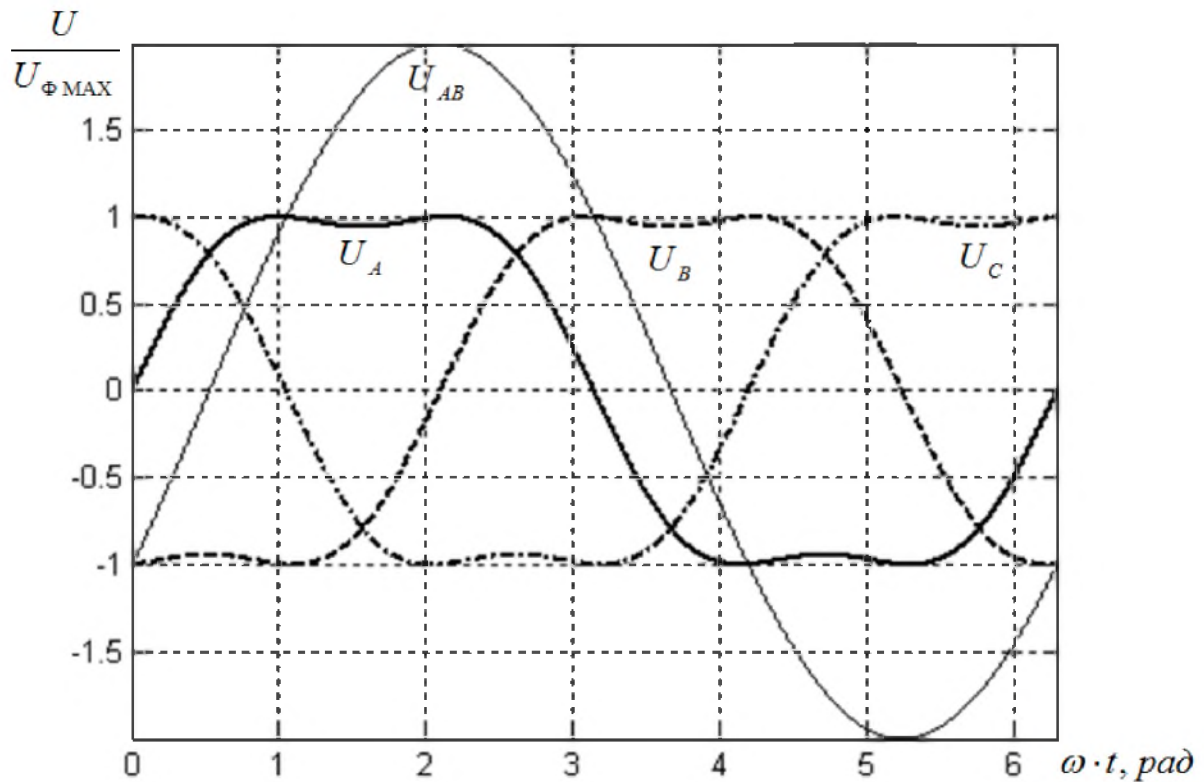


Рисунок 1.10 – Осцилограма формування фазної напруги

Система електричного приводу із прямим керуванням моментом, особливо під час застосування систем регулювання на основі інтелектуальних мереж. Схема функціональна прямого керування за моментом приведено на рис. 1.11.

Тоді головною перевагою розглянутої та обраної системи є високою динаміки за регулюванням значенням моментом – час першого узгодження складає 2 (мс), що у декілька разів вище за попередній оглянутий, дійсний спосіб у виконання способу. Також тут існує можливість працювати під час низьких швидкостей. Якщо говорити про недоліки, то існують проблеми під час пуску електроприводу, та при роботі на низьких значеннях швидкостей і при перемиканні моментів.

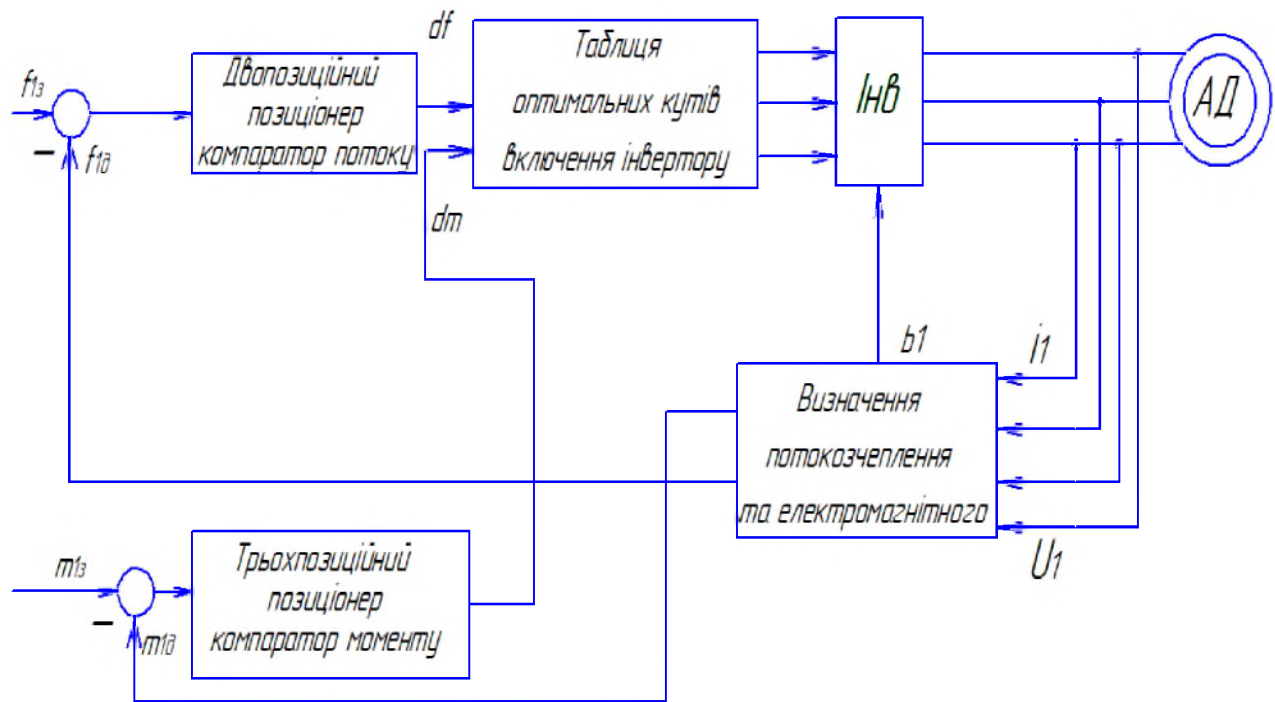


Рисунок 1.11 – Схема функціональна прямого регулювання за моментом

Аналіз методів керування перетворювачів частоти з ШІ модуляцією зображує, що немає одного критерію обрання методу оптимального управління. Тоді при прийнятому рішенні потрібно виконати умови, котрі ставляться до системи регулювання, так й до технічних можливостей заснованих мікропроцесорних засобів.

Позначення скорочень та підписів, котрі зустрічаються на схемі були занесені у табл.. 2.1

Таблиця 2.1 – Позначення електромеханічного обладнання на схемі

Позначення на схемі	Електромеханічне обладнання
ЗІ	Здавач інтенсивності
РШ	Регулятор швидкості
ТГ	Тахогенератор
АД	Асинхронний двигун
ДС	Датчик струму
БПЧ	Безпосередній перетворювач частоти
РС	Регулятор струму
РШ	Регулятор швидкості
ПК	Перетворювач координат
БК	Безпосередній контролер

Із метою висвітлення процесів, котрі протікають у вентиляційній установці побудована технологічна схема процесу вентиляції (рис. 2.2).

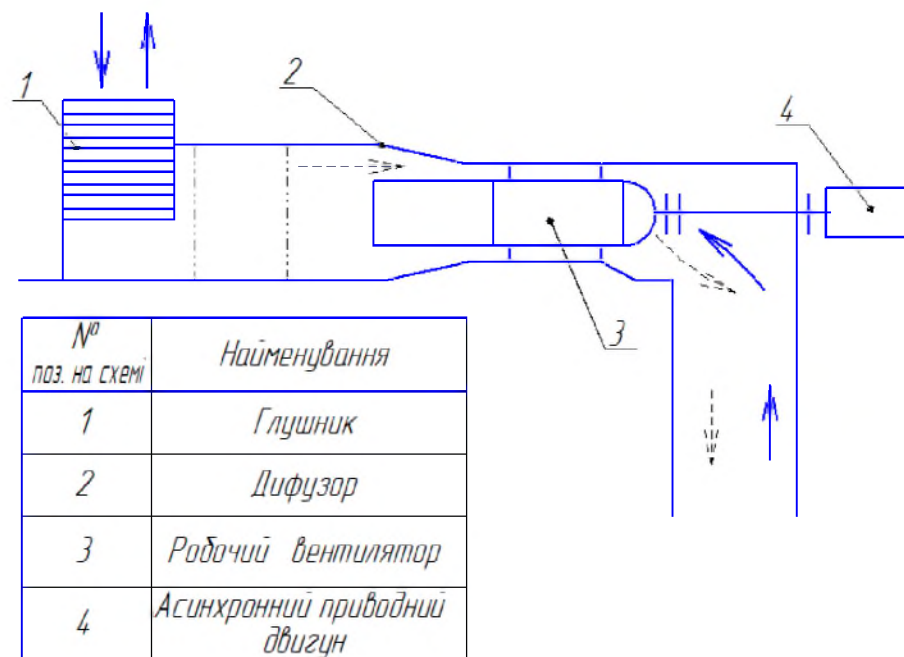


Рисунок 2.2 – Технологічна схему процесу вентиляції повітря

Тут у таблиці, на рис. 2.2 представлені, як основні елементи так і напрям конвекції повітря.

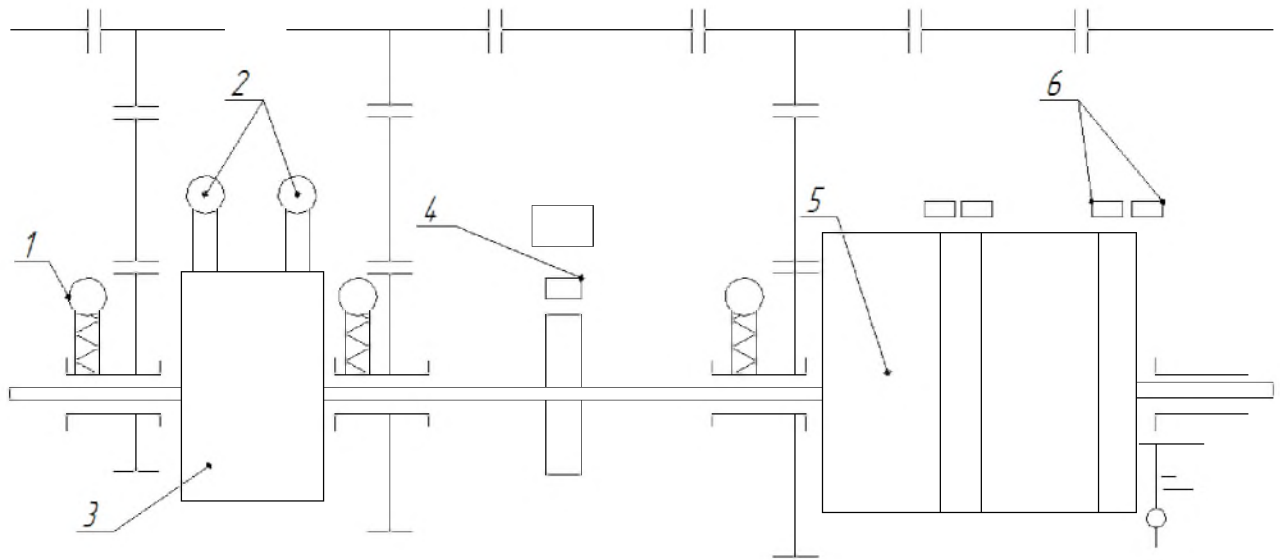


Рисунок 2.3– Механічна схема електроприводу вентилятору

А на рис. 2.3 вже позначається обладнання на механічній схемі та пояснено його склад за допомогою табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Позначення обладнання на механічній схемі

№ Позначення на схемі	Складові частини обладнання
1	Підшипники
2	Обмотки електродвигуни
3	Електричний двигун
4	Тормозний пристрій
5	Вентилятор
6	Положення прямого і спрямовуючих апаратів вентилятору

Особливістю аналізованої системи векторного управління асинхронним приводом є непрямий метод визначення швидкості ротора тільки на підставі

заміщення асинхронного електродвигуна (представлена на рис. 2.3), оскільки вона є більш простою та зручною для практичних розрахунків.

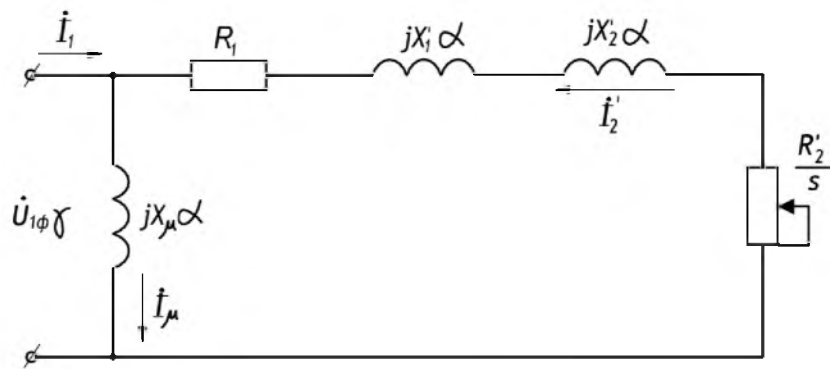


Рисунок 2.5 –Г-подібну схема заміщення ЕД

Тож виконаємо розрахунок параметрів Г-подібної схеми заміщення для подальшої побудови статичних характеристик приводу вентиляційної установки.

Тож визначимо значення за номінальним фазним струмом статора двигуна:

$$I_{1.ном} = \frac{P_{ном.ЕД}}{3 \cdot \cos \varphi_{ном.ЕД} \cdot U_{1\phi} \cdot \eta_{ном}} ; \quad (2.1)$$

$$I_{1.ном} = \frac{45000}{3 \cdot 0.687 \cdot 380 \cdot 0.721} = 79.69 \text{ (A)}$$

Визначення синхронної (2.2) й номінальної (2.3) кутової значення швидкості:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} \quad (2.2)$$

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot 1500}{30} = 157.09 \left(\frac{рад}{с} \right)$$

$$\omega_{ном.ЕД} = \omega_0 \cdot (1 - S_{ном})$$

$$\omega_{ном.ЕД} = \frac{314.17}{2} \cdot (1 - 0.0775) = 144.93 \left(\frac{рад}{с} \right) \quad (2.3)$$

А визначення номінального моменту зводиться до:

$$M_{ном.ЕД} = \frac{P_{ном.ЕД}}{\omega_{ном.ЕД}}$$

$$M_{ном.ЕД} = \frac{45000}{144.93} = 310.52 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (2.4)$$

З'ясування значення номінальних втрат за потужністю:

$$\Delta P_{ном.ЕД} = \frac{P_{ном.ЕД} \cdot (1 - \eta_{ном.ЕД})}{\eta_{ном.ЕД}}$$

$$\Delta P_{ном.ЕД} = \frac{45000 \cdot (1 - 0.721)}{0.721} = 17,414 \text{ (кВт)} \quad (2.5)$$

Номінальні механічні приводні втрати будуть розраховуватися :

$$\Delta P_{ном.мех} = P_{ном.ЕД} \cdot 0.05$$

$$\Delta P_{ном.мех} = 45000 \cdot 0.05 = 2.25 \text{ (кВт)} \quad (2.6)$$

Пов'язані із обертанням електродвигуна значення додаткові втрати розраховуються:

$$\Delta P_{\partial\partial\partial.EД.2} = 0.03 \cdot P_{ном.EД}$$

(2.7)

$$\Delta P_{\partial\partial\partial.EД.2} = 0.03 \cdot 45000 = 1.35 \text{ (кВт)}$$

Структурний вигляд зсередини датчики та звужуючого пристрою представлено на рис. 2.6, позначення до креслення наведені у табл. 2.3.

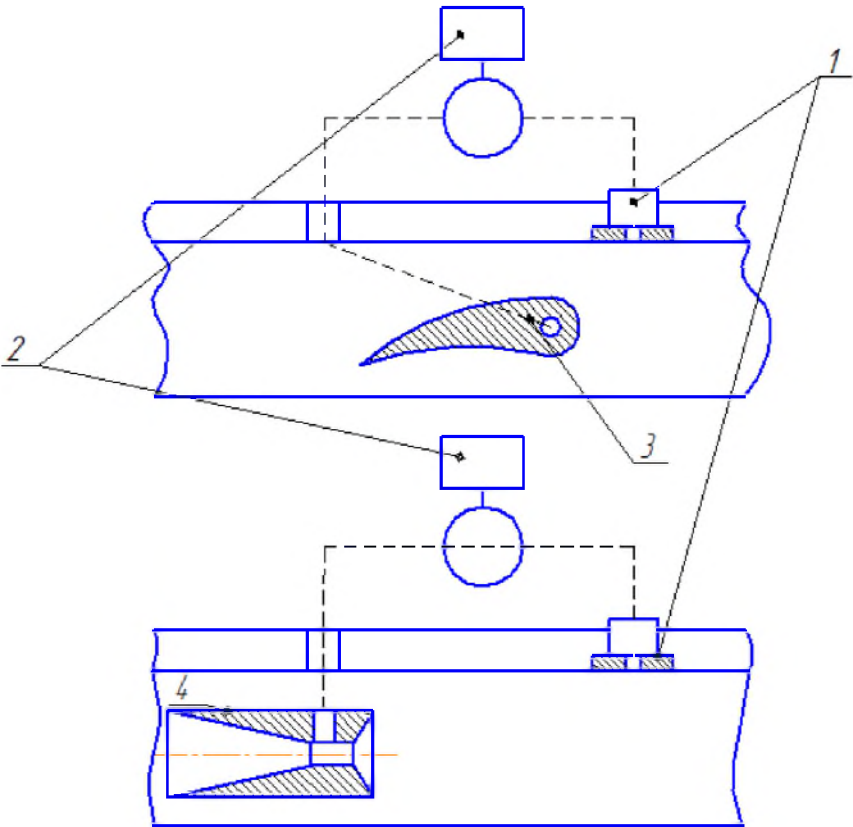


Рисунок 2.6– Структурний вигляд зсередини датчики та звужуючого пристрою

Таблиця 2.3 – Позначення частин обладнання

№ Позначення на схемі	Складові частини обладнання
1	Отвір у пластині
2	Дифманометр
3	Лопать вентилятору
4	Звужуючий пристрій

Прийmemo за початкову модель дослідження (схему рис. 2.7), вона дозволяє здійснювати регулювання моменту чи частоти обертання електричного двигуна параметрів по черзі.

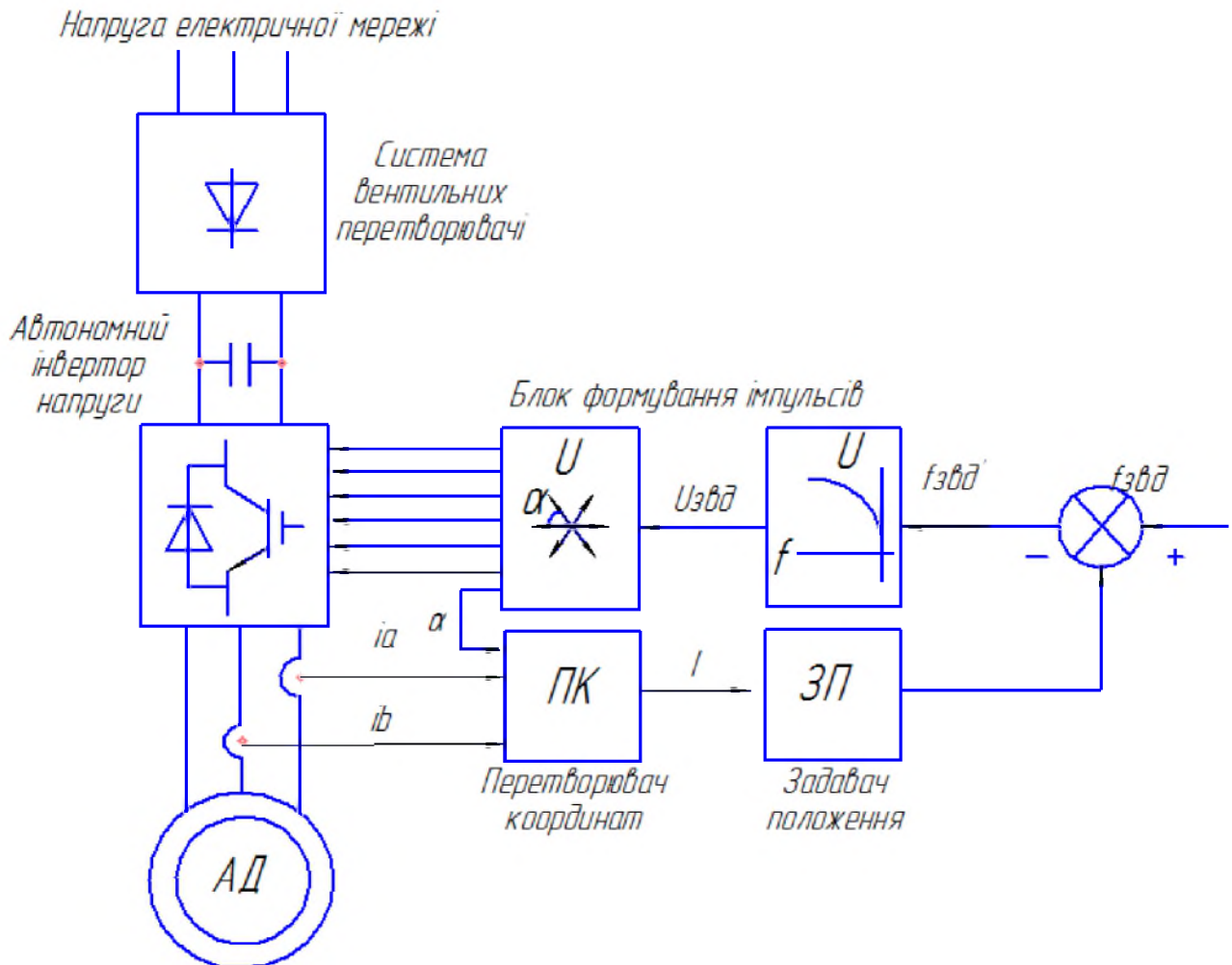


Рисунок 2.7 – Початкова модель векторного керування, прямого типу

Відмінною головною особливістю даного векторного керування виступає реалізація пускового режиму, так би мовити, «із ходу», тобто під час підключеного перетворювача до електродвигуна, який вже почав обертатися. Вимірюється, при цьому, такі параметри, як значення струму статора I_a , I_b , а також й число обертів ротора. Отримана інформація у вигляді вимірних сигналів подаються на вхід математичної моделі виконаного асинхронного двигуна.

В моделі електродвигуна виконується визначення магнітного потоку та розділу статора струму на дві основні складові – магнітного потоку I_d , та моменту I_q . Дані розглянуті складові значення струму можливо регулювати незалежно й окремо за власним каналом. Таке рішення дозволяє під час збереження потокової складової змінювати й моменту електричного двигуна.

Покращення наступне параметрів електроприводу із частотним регулюванням стає можливим в ході реалізації розглянутого у першому розділі спеціального алгоритму прямого керування моментом (рис. 1.6), який виконано за теорією розривних управляючих впливів в режимі ковзання.

Момент холостого ходу асинхронного двигуна:

$$M_0 = \frac{\Delta P_{ном. мех} + \Delta P_{доп. ЕД. 2}}{\omega_0} \quad (2.8)$$

$$M_0 = \frac{2250 + 1350}{157.09} = 22.93 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Тоді визначення електромагнітного моменту, виконується за (2.8):

$$M_{ем. ЕД} = M_{ном. ЕД} + M_{ном} \quad (2.9)$$

$$M_{ем. ЕД} = 310.52 + 22.93 = 333.45 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Змінні номінальні втрати у роторі двигуна:

$$\Delta P_{вр. 2 ном. ЕД} = M_{ем. ЕД} \cdot s_{ном. ЕД} \cdot \omega_0 \quad (2.10)$$

$$\Delta P_{вр. 2 ном. ЕД} = 333.45 \cdot 157.09 \cdot 0.0775 = 4.6 \text{ (кВт)}$$

Тоді значення коефіцієнту завантаження електродвигуна будемо приймати: $k_{зв}=0.5$.

Визначення показників змінних номінальних витрат у електродвигуні:

$$\Delta P_{зм} = \frac{P_{ном.ЕД}}{k_{зв}^2 + 1} \quad (2.11)$$

$$\Delta P_{зм} = \frac{17414}{1 + 0,5^2} = 13.932 \text{ (кВт)}.$$

Визначення постійних номінальних втрат ЕД:

$$\Delta P_{пст} = \Delta P_{ном.ЕД} - \Delta P_{зм} \quad (2.12)$$

$$\Delta P_{пст} = 17.414 - 13.932 = 3.483 \text{ (кВт)}.$$

Визначення змінних номінальних витрат у статорі двигуна:

$$\Delta P_{зм.1ном} = \Delta P_{зм} - \Delta P_{вр.2ном.ЕД} ; \quad (2.13)$$

$$\Delta P_{зм.1ном} = 13.932 - 4.6 = 9.332 \text{ (кВт)}.$$

Опір активний статора фази двигуна:

$$R_1 = \frac{\Delta P_{зм.1ном}}{3 \cdot I_{1ном.ЕД}^2} \quad (2.14)$$

$$R_1 = \frac{\Delta P_{зм.1ном}}{3 \cdot I_{1ном.ЕД}^2} = \frac{9332}{3 \cdot 79.69^2} = 0.4899 \text{ (Ом)}.$$

Значення електромагнітного максимального моменту двигуна:

$$M_{E_{м.мах.ЕД}} = \lambda_{мах} \cdot M_{ном.ЕД} + M_0 \quad (2.15)$$

$$M_{E_{м.мах.ЕД}} = 2.25 \cdot 333.45 + 22.93 = 773.193 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Параметри коефіцієнту, котрий має значення розмірністю опору:

$$b = \frac{3 \cdot U_{1ф.ном.ЕД}^2}{\Delta P_{вр.2ном.ЕД}} \cdot (s_{ном.ЕД} - 2 \cdot R_1); \quad (2.16)$$

$$b = \frac{3 \cdot 380^2}{4600} \cdot 0.0775 - 2 \cdot 0.4899 = 6.34 \text{ (в.о.)}$$

Розрахунковий повний опір визначається у прямій залежності від $U_{1ф.ном.ЕД}$ за:

$$Z_{пв} = \frac{3 \cdot U_{1ф.ном.ЕД}^2}{2 \cdot M_{E_{м.мах.ЕД}} \cdot \omega_0} - R_1 = \frac{3 \cdot 380^2}{2 \cdot 773.193 \cdot 157.09} - 0.4899 = 1.2934 \text{ (Ом)} \quad (2.17)$$

А наведене значення активного опору ротору (буде залежати напряму від коефіцієнту за (2.16)) приводного двигуна:

$$R_2' = \frac{\left(b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot Z_{пв}^2}\right) \cdot s_{ном.ЕД}}{2} \quad (2.18)$$

$$R_2' = \frac{\left(6.34 + \sqrt{6.34^2 - 4 \cdot 1.2934^2}\right) \cdot 0.0775}{2} \approx 0.47 \text{ (Ом)}$$

Значення опору індуктивного короткого замикання за (2.19) буде представляти різницю квадратів поміж повним та активним опром:

$$x_k = \sqrt{Z_{ne}^2 - R_1^2} = \sqrt{1.2934^2 - 0.4899^2} = 1.197 \text{ (Ом)} \quad (2.19)$$

У формулі Клосса коефіцієнт буде визначається, як:

$$a = \frac{R_1}{R_2'} = \frac{0.4899}{0.47} = 1.0423 \text{ (в.о.)} \quad (2.20)$$

Опри індуктивності статора двигуна та ротора двигуна:

$$x_2' = x_1 = \frac{x_k}{2} = \frac{1.197}{2} = 0.599 \text{ (Ом)} \quad (2.21)$$

Визначення параметру струму холостого ходу ЕД:

$$I_{x.x.ED} = I_{1ном.ED} \cdot \sqrt{1 - \cos(\varphi_{ном.ED})} \quad (2.22)$$

$$I_{x.x.ED} = 79.69 \cdot \sqrt{1 - 0.687} = 44.58 \text{ (А)}$$

Тоді супутні втрати у сталі:

$$\Delta P_{cm} = \Delta P_{зм} - (\Delta P_{ном.мех} + \Delta P_{дод.ED.2}) \quad (2.23)$$

$$\Delta P_{cm} = 13.932 - (2.25 + 1.35) = 10.332 \text{ (А)}$$

Звідси опір активний гілки намагнічування:

$$R_m = R_\mu = \frac{\Delta P_{cm}}{3 \cdot I_{x.x.EД}^2} \frac{10320}{3 \cdot 44.58^2} = 1.731 \text{ (Ом)} \quad (2.24)$$

Тоді визначити параметр

$$\sin(\varphi_0) = \sqrt{1 - \left[\left(\frac{R_\mu + R_l}{U_{1\phi.ном.EД}} \right) \cdot I_{x.x.EД} \right]^2} \quad (2.25)$$

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - \left[\left(\frac{1.731 + 0.4899}{380} \right) \cdot 44.58 \right]^2} = 0.9655$$

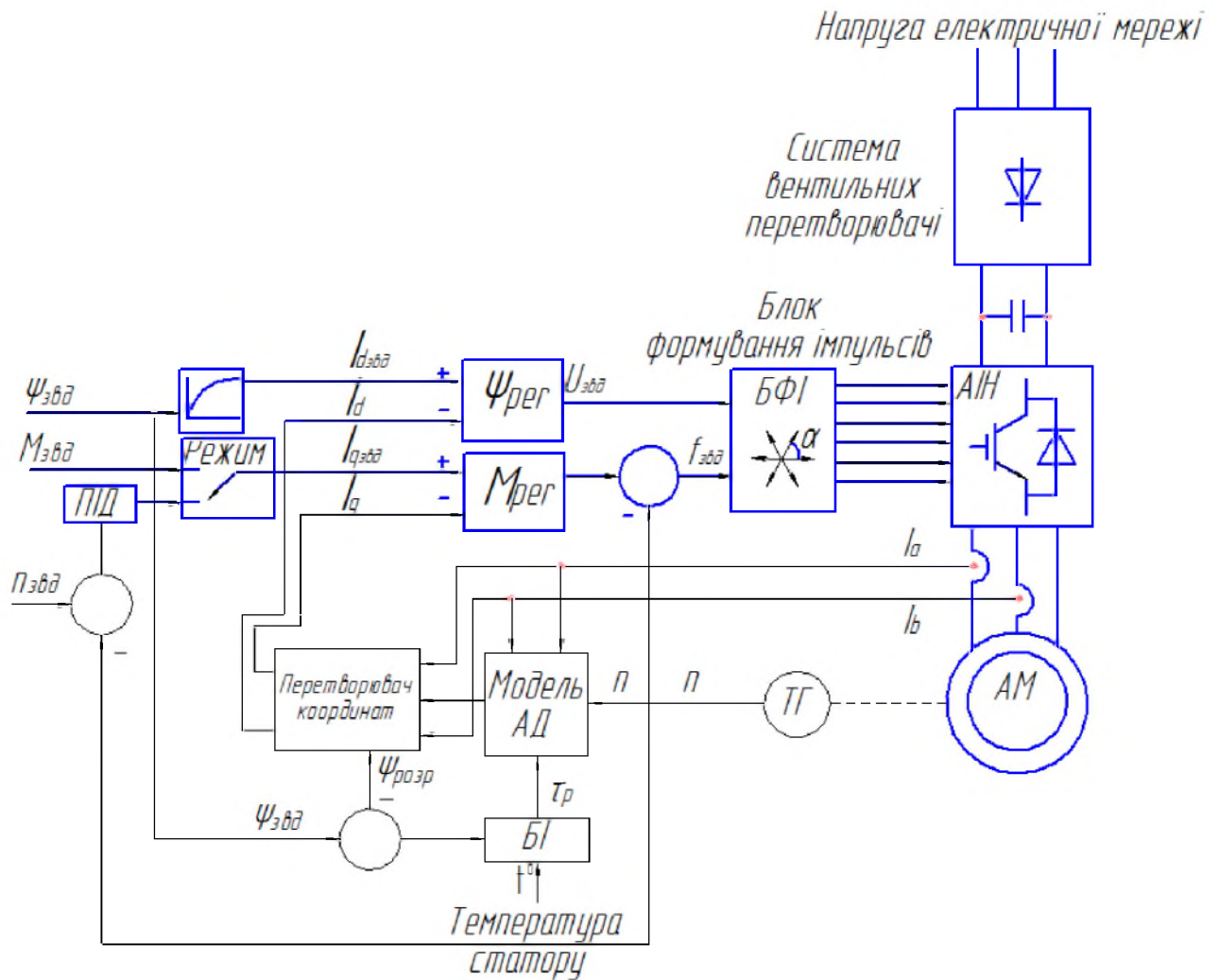


Рисунок 2.8 – Функціональна схема із векторним управлінням АП без датчика

На рис. 2.8 наведено функціональну схему системи за векторним управлінням асинхронним електроприводом без застосування датчика за показником швидкістю. А як видно із рисунку 2.8, увесь процес регулювання в системі виконується у системі координат, котра обертається, де вектор за потоком ротору орієнтований за віссю. У приведеній на рис. 2.8 схемою застосовані наступні позначення (таблиця 2.4)

Визначення показників u_{1a} й $u_{1\beta}$ доцільно виконувати на підставі розрахунку тривалості за 1 (мс) імпульсів керування ($\alpha_a, \alpha_b, \alpha_c$) і величини випрямленого значення за напругою інвертора u_d .

Таблиця 2.4 – Позначення обладнання схемі

Позначення на схемі	Електромеханічний прилад
РШ	Регулятор швидкості
РС	Регулятори струму
РП	Регулятор потоку
ПЧ (АІН)	Автономний інвертор напруги
ПК	Перетворювач координат
РЧ (РК)	Регулятор ковзання
Г	Синусно-косинусний генератор
БВН	Блок визначення напруги
БВП	Блок визначення потоку
$\alpha_a, \alpha_b, \alpha_c$	Кути відкриття ключів інвертора.

Визначення опору індуктивної гілки намагнічування двигуна відбувається за:

$$x_m = x_\mu = \frac{U_{1\phi.\text{ном.ЕД}} \cdot \sin(\varphi_0)}{I_{x.x.\text{ЕД}}} - x_1 \quad (2.26)$$

$$x_m = x_\mu = \frac{380 \cdot 0.9655}{44.58} - 0.599 = 7.63 \text{ (Ом)}$$

Тоді у відповідності до виконаного розрахованих показників можна побудувати характеристику природну, використовуючи наступні вирази для критичного ковзання:

$$S_{кр} = \frac{R_2'}{\sqrt{(x_2' + x_1)^2 + R_1^2}} \quad (2.27)$$

$$S_{кр} = \frac{0.47}{\sqrt{(1.197)^2 + 0.4899^2}} = 0.3634 \text{ (в.о.)}$$

Тоді й максимальний момент валу двигуна визначається:

$$M_M = \frac{3 \cdot U_{1\phi.\text{ном.ЕД}} \cdot R_2'}{\left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{кр}} \right)^2 + (x_2' + x_1)^2 \right] \cdot \omega_0} \quad (2.28)$$

$$M_M = \frac{3 \cdot 380 \cdot 0.47}{\left[\left(0.4899 + \frac{0.47}{0.3634} \right)^2 + (1.197)^2 \right] \cdot 157.09} = \frac{535.8}{4.5949 \cdot 157.09} =$$

$$= 0.7423 \text{ (в.о.)}$$

На рис. 2.9 представлена візуалізація вентиляційної установки із розрахованим асинхронним електричним приводом вентилятору.

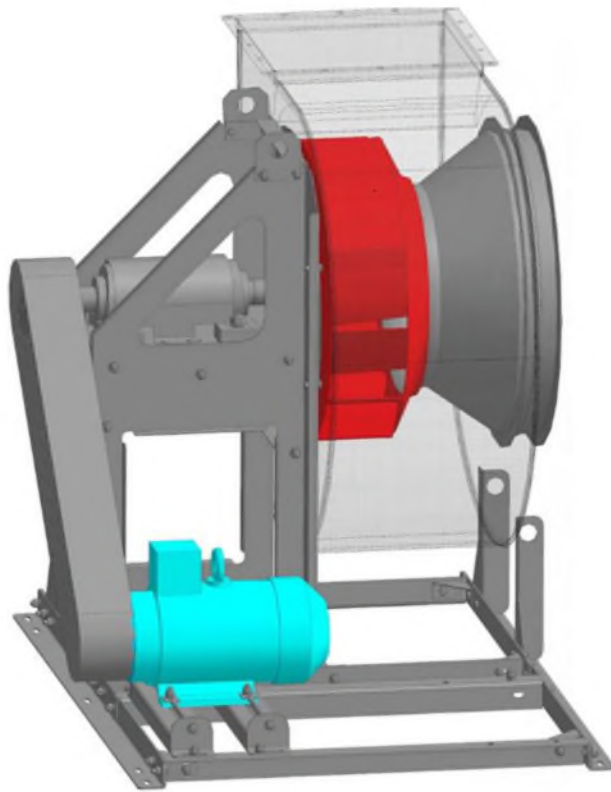


Рисунок 2.9 – Візуалізація вентиляційної установки

3. РОЗРАХУНОК ТА ОБРАННЯ СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ТА ВИМІРУ УСТАНОВКИ.

3.1 Розрахунок лінії живлення приводу та датчиків.

Спочатку виконуємо розрахунок кабельної лінії у ланці від альтернативного джерела енергії, а саме від системи розподіленої генерації із ЦРП-10 (кВ) – до компресорного цеху.

Силові кабелі електромережі обираються за розрахунком:

$$U_{ном} = U_{мереж} = 10 \text{ (кВ)} \quad (3.1)$$

Стандартний переріз кабелю високовольтного необхідно визначати за:

$$F_{пер} = \frac{I_{1.ном}}{j_e} = \frac{79.69}{1.6} = 49.81 \text{ (мм}^2\text{)} \quad (3.1)$$

де: $I_{1.ном} = I_p = 79.69 \text{ (А)}$;

$j_e = 1.6 \left(\frac{\text{А}}{\text{мм}^2} \right)$ буде приймати із [4];

Тоді обираємо переріз у сталі $F_{ст} = 70 \text{ (мм}^2\text{)}$

Далі за даними каталогу, обираємо кабель марки АПвПу-10 КВ(3*70/16), $I_{доп.кат} = 189 \text{ (А)}$.

Робимо перевірку на допустимість вибору за перерізом:

$$F_{пер.кат} \geq F_{пер.роз} \quad (3.2)$$

$$70 \text{ (мм}^2\text{)} \geq 53,29 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Також перевіримо й умова виконання за допустимим нагріванням тривалого розрахункового струму :

$$I_{нгр.кт} \geq I_{1.ном}$$

$$I_{нгр.т} \cdot k_{ср} \cdot k_{нр} \cdot k_{пер} \geq I_{1.ном} \quad (3.3)$$

$$189 (A) \geq 79.69 (A)$$

де: $k_{нр} = 1$; $k_{ср} = 1$. $k_{пер} = 1.15$ – значення коефіцієнтів для розрахунку втрат за допустимими нагріваннями прийнятими із [4,5].

Вигляд та детальна конструкція обраного за розрахунками типу кабелю приведена на рис. 3.1.

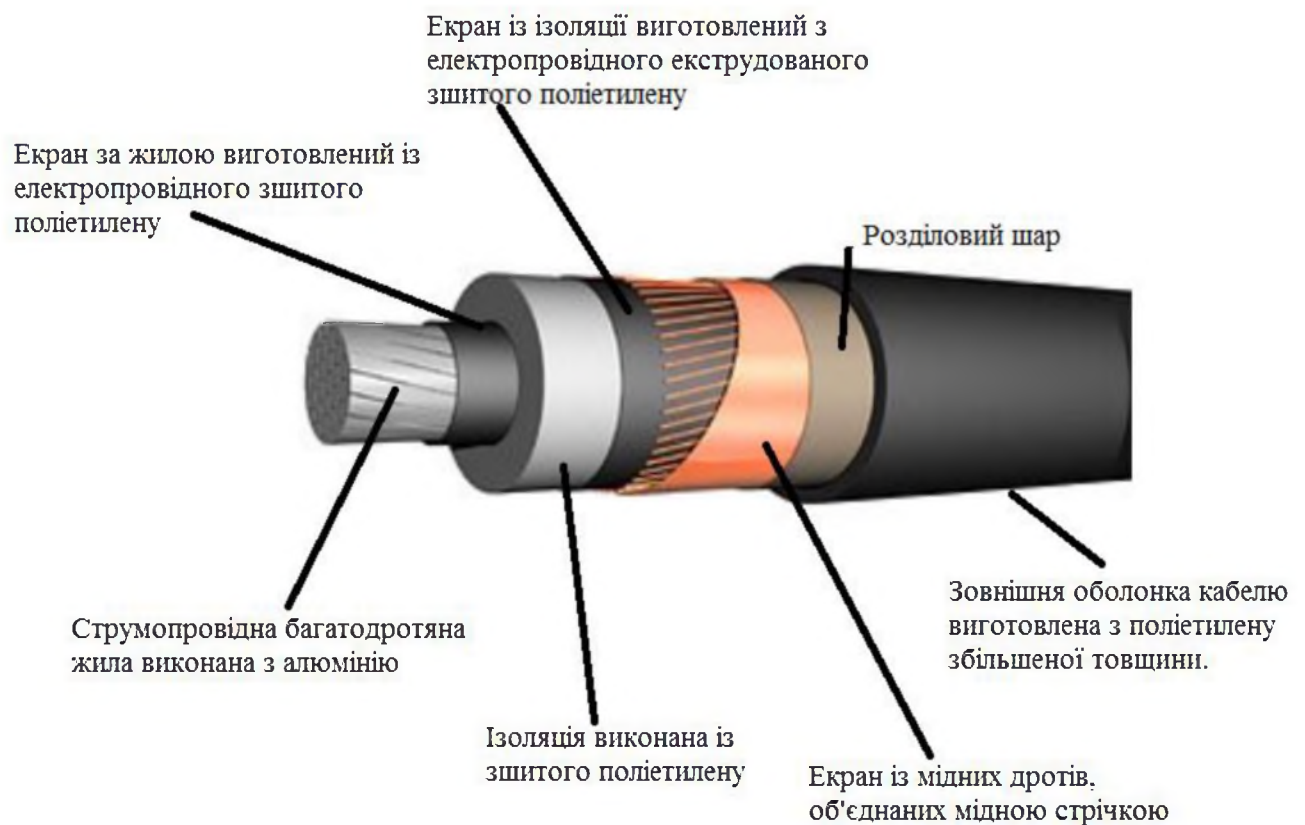


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд та конструкція обраного за розрахунками типу кабелю

Обраний кабель перевіряємо за значенням втрати за напруги:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{1.ном} \cdot l \cdot (x_0 \cdot 0,6 + r_0 \cdot 0,8)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 79.69 \cdot 0.8 \cdot (0.0778 \cdot 0.6 + 0.449 \cdot 0.8) = 44.76 \text{ (В)}$$
(3.4)

де. $l=0.8$ (км) – довжина лінії;

$x_0=0.0778$ (Ом/км) – питомий індуктивний опір

$r_0=0.449$ (Ом/км) – питомий активний опір

У відповідності до того положення, що втрати не повинні перевищувати 5%, а у розрахованому випадку:

$$\Delta U_{в.о.} \leq 5\%$$

$$\Delta U_{в.о.} = \frac{\Delta U}{U_{мереж}} \cdot 100 = \frac{44.76}{10^4} \cdot 100 \approx 0.45 \text{ (%)}$$

$$0.45 \leq 5\%$$
(3.5)

Тоді обраний кабель підходить за втратою напруги.

3.2 Обрання контролерів, перетворювачів. розробка електричної схеми.

На кресленні (рис. 3.2) наведена схема з'єднання датчиків приводу вентилятора(їх схема буде представлена на рис. 3.4) із блоком АІ/АО(аналогових входів та виходів). У ході дослідження типів сучасних перетворювачів та приймаючи до уваги вже виконанні розрахунки у електричній мережі та їх номінальні значення, було обрано в якості перетворювача Simodrive 611. Тоді контролером керування може виступити Simotion C230. Тепер залишається тільки скласти схему, котра зв'яже перетворювач, контролер руху та датчики вентилятору (SQ1–SQ6). На всі індуктивні датчики приходить

$\pm 24V$ через 1 провід (від Simotion C230 та Simodrive 611). 30...35 номери клем на які приходять сигнальні дроти з датчиків

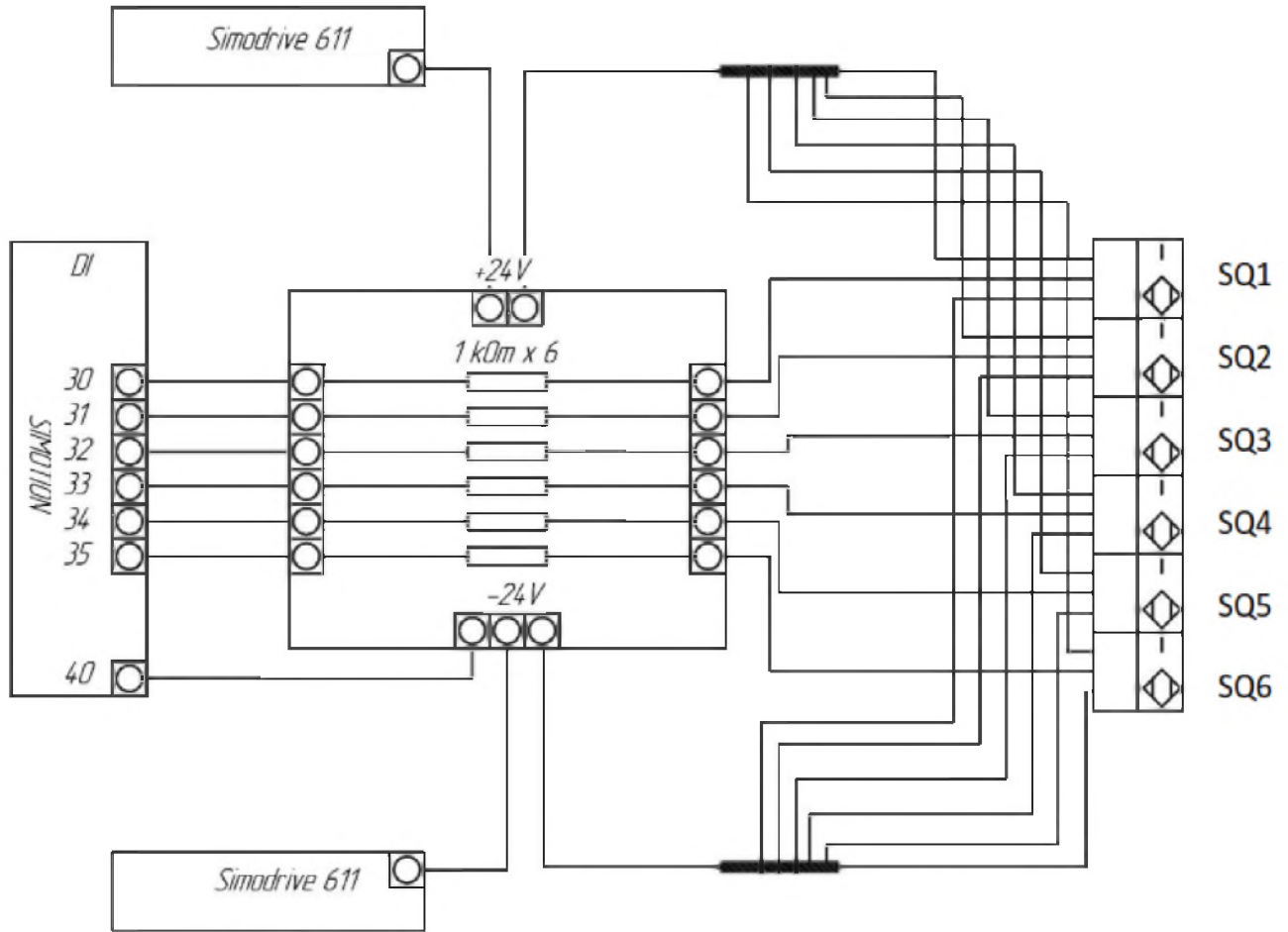


Рисунок 3.2 – Схема з'єднання перетворювача, датчиків та контролера за рухом

Окрім цього увагу приділено було також й з'єднанню сигнальних проводів датчиків на клемну колодку X01, через роз'єм на 16 бінарних виходів – пінів (XP2/XS2). , що зображено на рис. 3.4, схемі з'єднання.

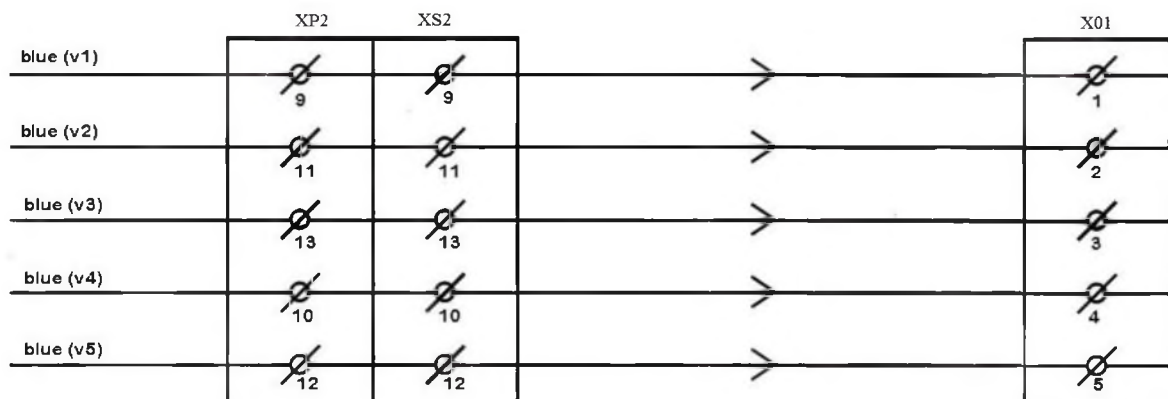


Рисунок 3.3 – З'єднання у клемну колодку сигнальних проводів

На кресленні рис. 3.5 приведена схема з'єднання сигнальних проводів пристроїв вентиляційних пристроїв із блоком типу SM322 (DI/DO16/DC 24V). X01 –клемна колодка, на яку приходять сигнальні провідники. A1.1 – блок SM322.

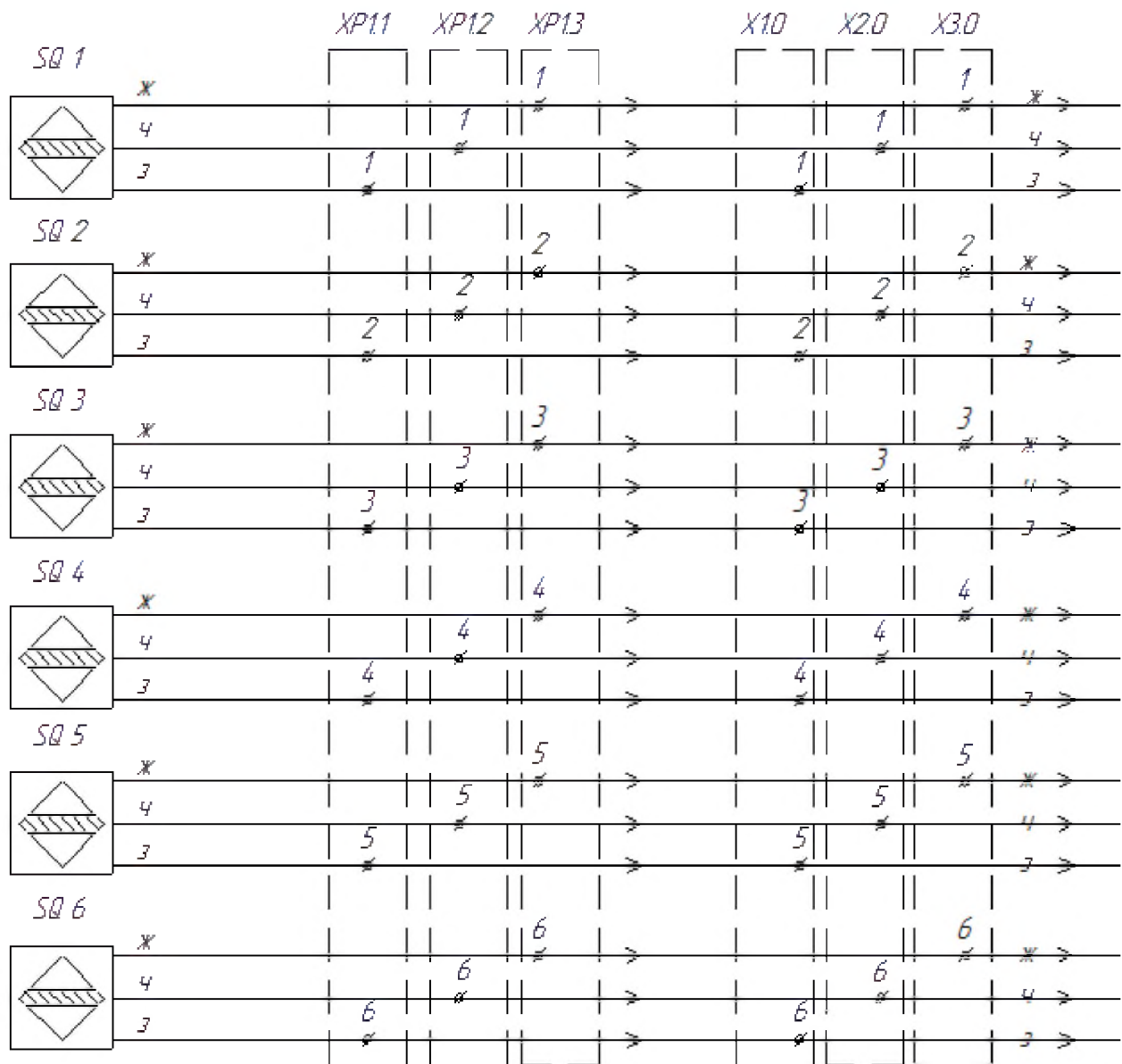


Рисунок 3.4 – Схема підключення датчиків в системі вентиляційної установки

Також тут представлена схема з'єднання сигнальних проводів через клему X01 до блоку DI/DO16 (датчиків температури).

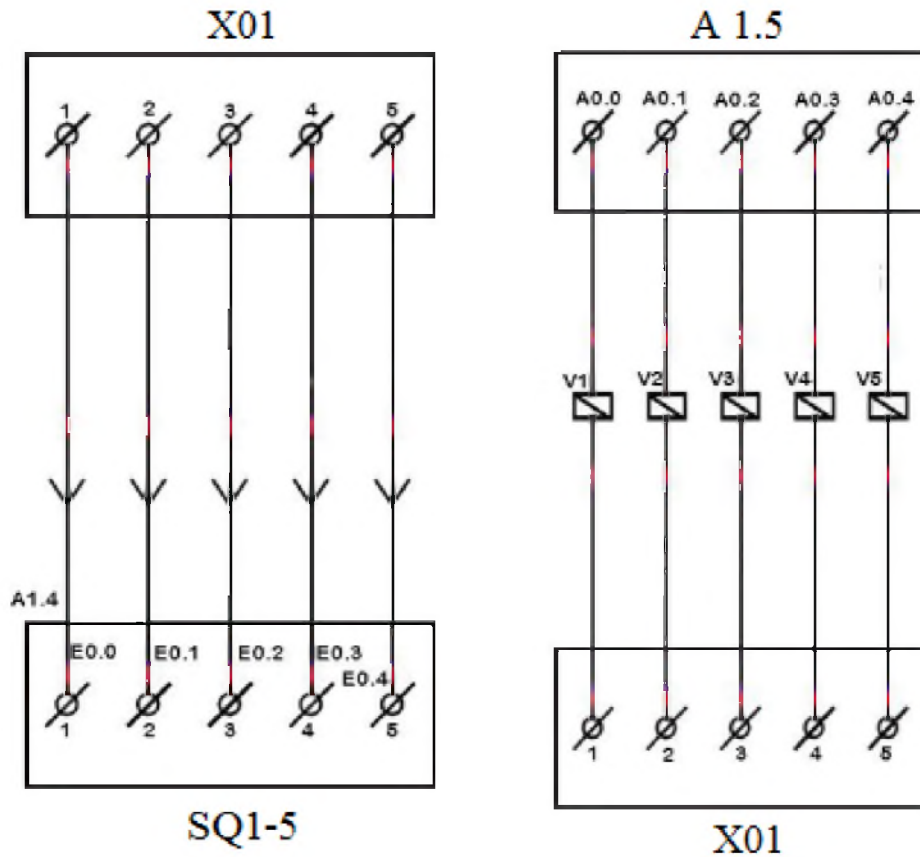


Рисунок 3.5 – З'єднання сигнальних проводів

На кресленні приведена схема з'єднання (рис. 3.6) виводів живлення для датчиків пристрою (SQ1 –SQ15) із вбудованих блоків контролювентелційної установки Simotion (+24V) та перетворювача типу Simodrive 611 (-24V).

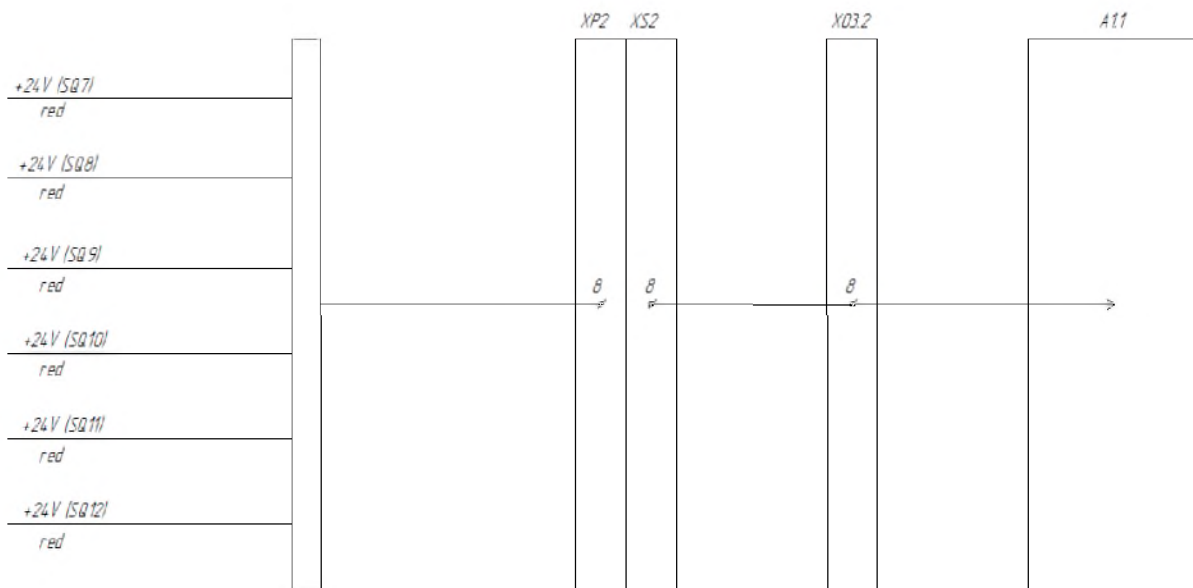


Рисунок 3.6 – Схеми з'єднання живлення для датчиків

Тут на кожен індуктивний датчик подається живлення окремо. Також позначені наступні елементи:

XP.2/XS.2 – Роз'єм на 16 пінів.

A1.1 – позначена блоку живлення контролер із перетворювачем.

X03.2 – позначена клемма, котра з'єднує кабель живлення датчиків та блоки живлення.

Тоді на рис. 3.7 було представлено загальну, спроектовану у ході дослідження, електричну систему живлення вентиляційної установки.

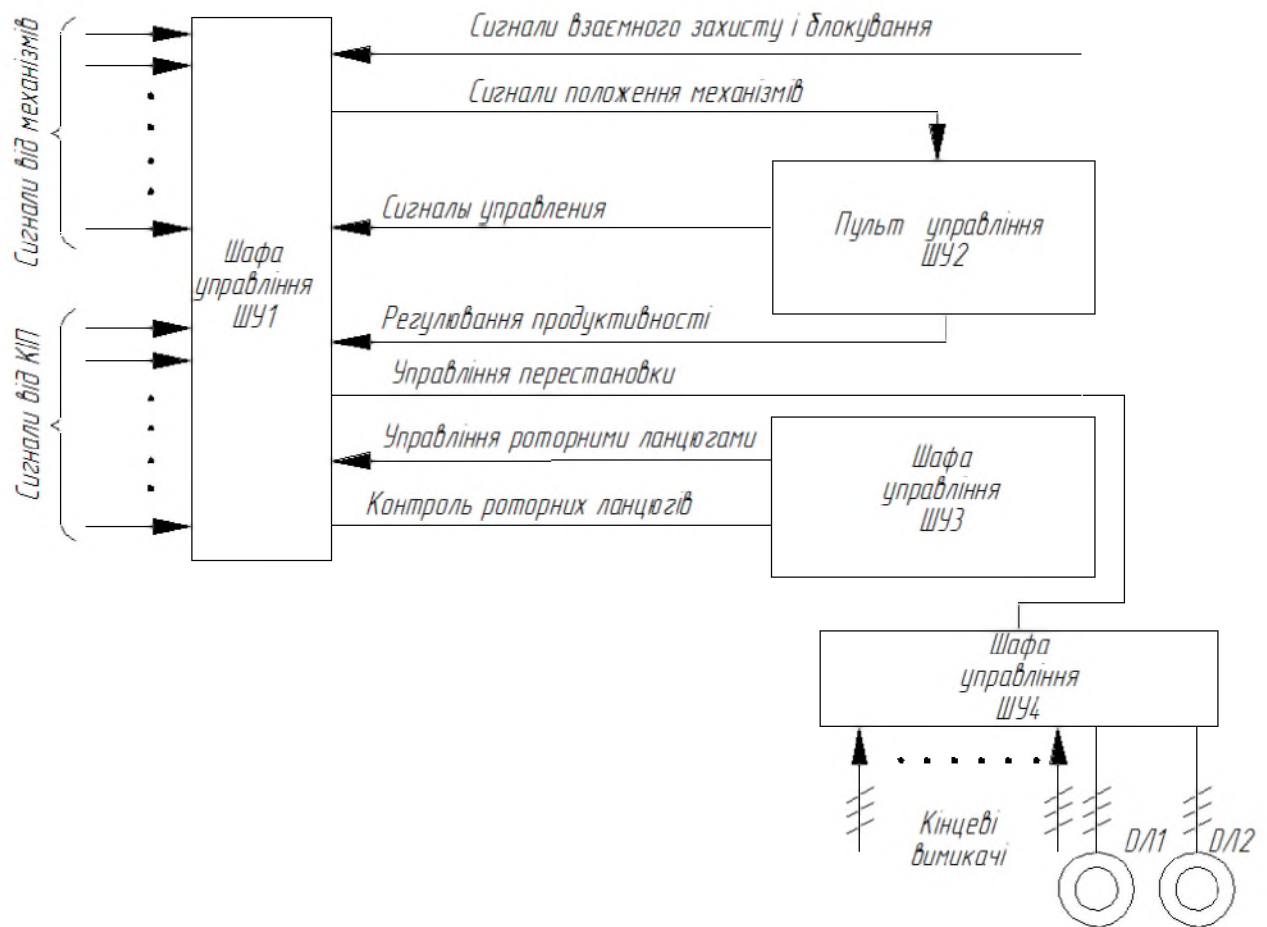


Рисунок 3.7– Загальна електрична система живлення установки

4. МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ПРИВОДУ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ.

4.1 Розрахунок резервної мережі із альтернативними джерелами.

Тож за проведеним аналізом у третьому розділі була доповнена(показана на рис. 4.1) раніше прийнята – спрощена схема векторного керування.

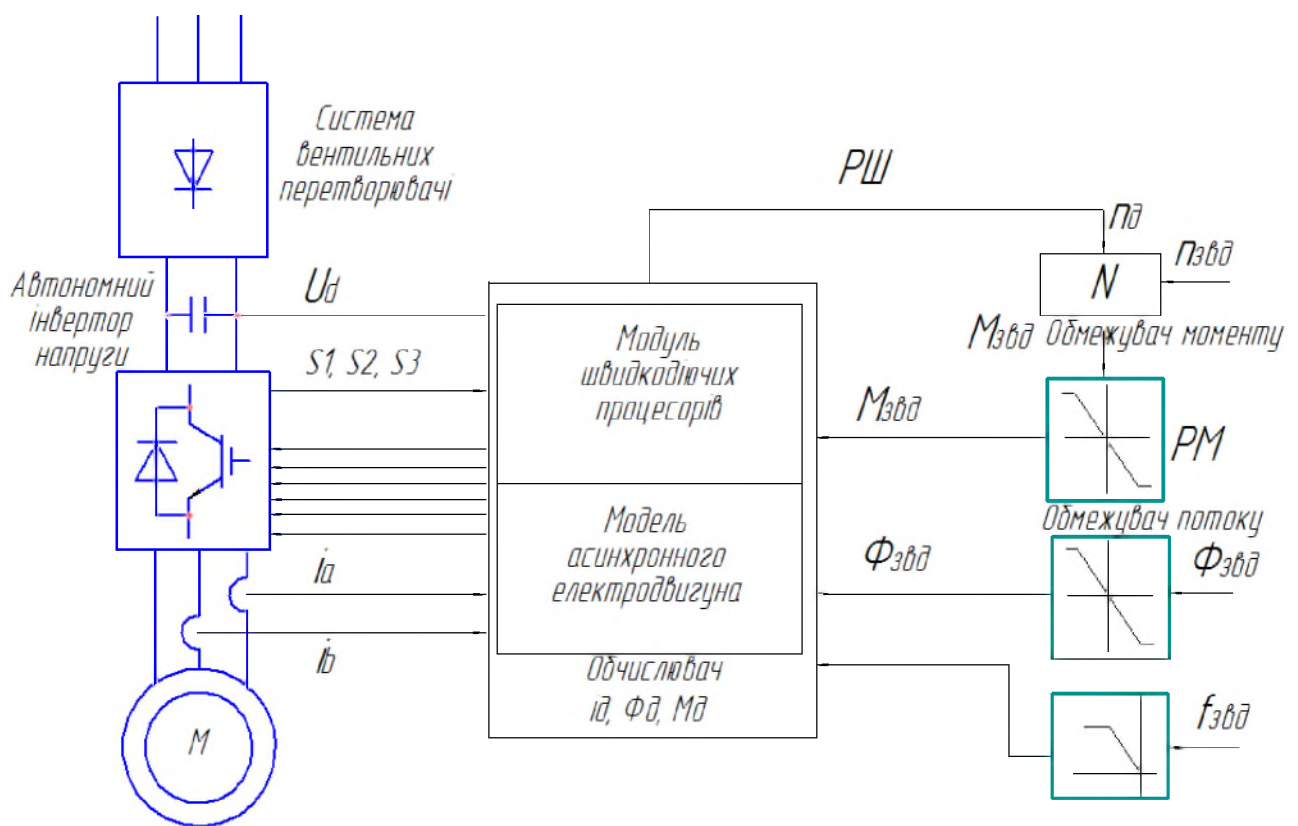


Рисунок 4.1 – Структурна схема обраного типу векторного керування

За аналізом сучасних систем альтернативного живлення, у якості додаткового живлення, було встановлено, що у більшості випадків використовують саме ФЕС (фотоелектричні станції), аніж системи із вітрогенераторами. Адже перші не вимагають додаткові площі під своє використання й у більшості випадків можуть бути встановлені на даху підприємства, у якому і знаходиться основна установка. У даному випадку, це

вентиляційна установка, тож і потужність проєктованого резерву (сонячної станції) необхідно обирати за її потужністю із певним запасом.

Отже, для того аби розрахувати ФЕС варто:

- 1) Визначити показник навантаження.
- 2) Обрати інвертор та батареї для накопичення та послідууючої передачі енергії.
- 3) Віднайти мінімальну необхідну кількість сонячних модулів, для виконання завданих умов, а також визначити кількість панелей з'єднаних паралельно та послідовно у масиви.

Маючи інформацію, щодо чисельності необхідної тижневої електроенергії (позначення – $E_{Tж}$);

Звідси маємо, що показник середньодобової активної потужності споживання ($P_{Cp.d}$) є зворотною величиною до годин, роботи привода, який живлення отримає від ФЕС ($T_{Tж}$), цей параметр необхідно обрати за початковими даними.

$$P_{Cp.d} = \frac{E_{Tж}}{T_{Tж}} = \frac{2380 \cdot 10^3}{35} \approx 68 \text{ (кВт)} \quad (4.1)$$

Вихідне значення потрібної енергії від сонячних модулів можливо отримати за (4.2), приймаючи при цьому втрати у інверторі із запасом у 15–20% ($k_{з.Ін}$).

$$E_{Tж}^* = k_{з.Ін} \cdot E_{Tж} = 1.2 \cdot 2380 \cdot 10^3 = 2856 \left(\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{тиж}} \right) \quad (4.2)$$

Для того, аби запасати енергії генеровану сонячною станцією, необхідно передбачити ланцюг акумулювання енергії, а для цього потрібно розрахувати ємність добову самих акумуляторних батарей $E_{Акб.с}$:

$$E_{Акб.с} = \frac{E_{Тжс}^* \cdot k_{з.Акб.с}}{7 \cdot U_{кн.вх}} = \frac{2380 \cdot 10^3}{7 \cdot 48} = 7083.4 \left(\frac{А \cdot год}{доб} \right) \quad (4.3)$$

Дослідивши різні типи акумуляторних батарей для ФЕС було встановлено, що найбільш оптимальним варіантом на сьогодні виступають літій-іонні батареї, для них показник глибокого розрядження(межа до якої не варто розряджувати батарею) $k_{Акб.з.пз} = 0.35$. Таке рішення дозволить істотно скоротити кількість батарей.

Тоді показник коефіцієнту температури сонячних модулів становить $k_{t.кф} = 1.32$.

Час, коли немає генерації від модулів виражає значення коефіцієнту $N_{макс.д} = 0.557$

$$E_{Акб.сум} = \frac{E_{Акб} \cdot k_{t.кф} \cdot N_{макс.д}}{k_{Акб.з.пз}} \quad (4.4)$$

$$E_{Акб.сум} = \frac{7083.4 \cdot 1.32 \cdot 0.57}{0.35} = 15228 \text{ (А} \cdot \text{год)}$$

Звісно ж таку кількість енергії не здатна видавати одна батарея, тож варто визначити їх кількість, які поєднанні паралельно поміж одна одної за виразом (4.5).

$$N_{Акб.пр} = \frac{E_{Акб.сум}}{E_{Акб.ном}} \quad (4.5)$$

Однак варто зазначити, що й попередньо потрібно мати значення $E_{Акб.ном}$ тобто обрати тип акумуляторної батареї та зазначити паспортні дані.

Зробивши аналіз було встановлено, що літій-іонні батареї, мають стандартну ємність у $E_{Акб.ном} = 208 \text{ (А} \cdot \text{год)}$

Тож підставимо обране значення у (4.5) і не будемо забувати, що у випадку дрібної кількості, варто округлювати в більшу сторону

$$N_{Акб.пр} = \frac{15228}{208} = 73.22 \approx 74 \text{ (шт)} \quad (4.6)$$

Повний та точний розрахунок кількості модулів можна зробити тільки за умови прив'язки до географічного місцеположення. Так за умовами вхідного завдання, де вказується про розташування системи із ВДЕ у Миколаївській області можна отримати значення широти ($\varphi = 47.818^0$), а також і тривалість світлового дня для його мінімуму та максимуму, які відповідно бувають у грудні, де $n_{гр} = 8.45 \text{ (год)}$ та у червні – $n_{чр} = 16.06 \text{ (год)}$.

Визначаємо тоді і втрати енергії на цикли зарядження та розрядження акумуляторних батарей (приймаємо $k_{з/р.в} = 8.75\%$ для типу літій-іонних):

$$E_{Акб.з/р} = E_{Акб.сум} \cdot k_{з.р.вт} = 15228 \cdot 0.0875 = 1332.45 \text{ (А} \cdot \text{год)} \quad (4.7)$$

Варто також доповнити, що для отримання практичних значень, щодо величин: $n_{гр}$, $n_{чр}$ були побудовані функціональні залежності (рис. 4.2) для Миколаївської області.

Пряме випромінювання

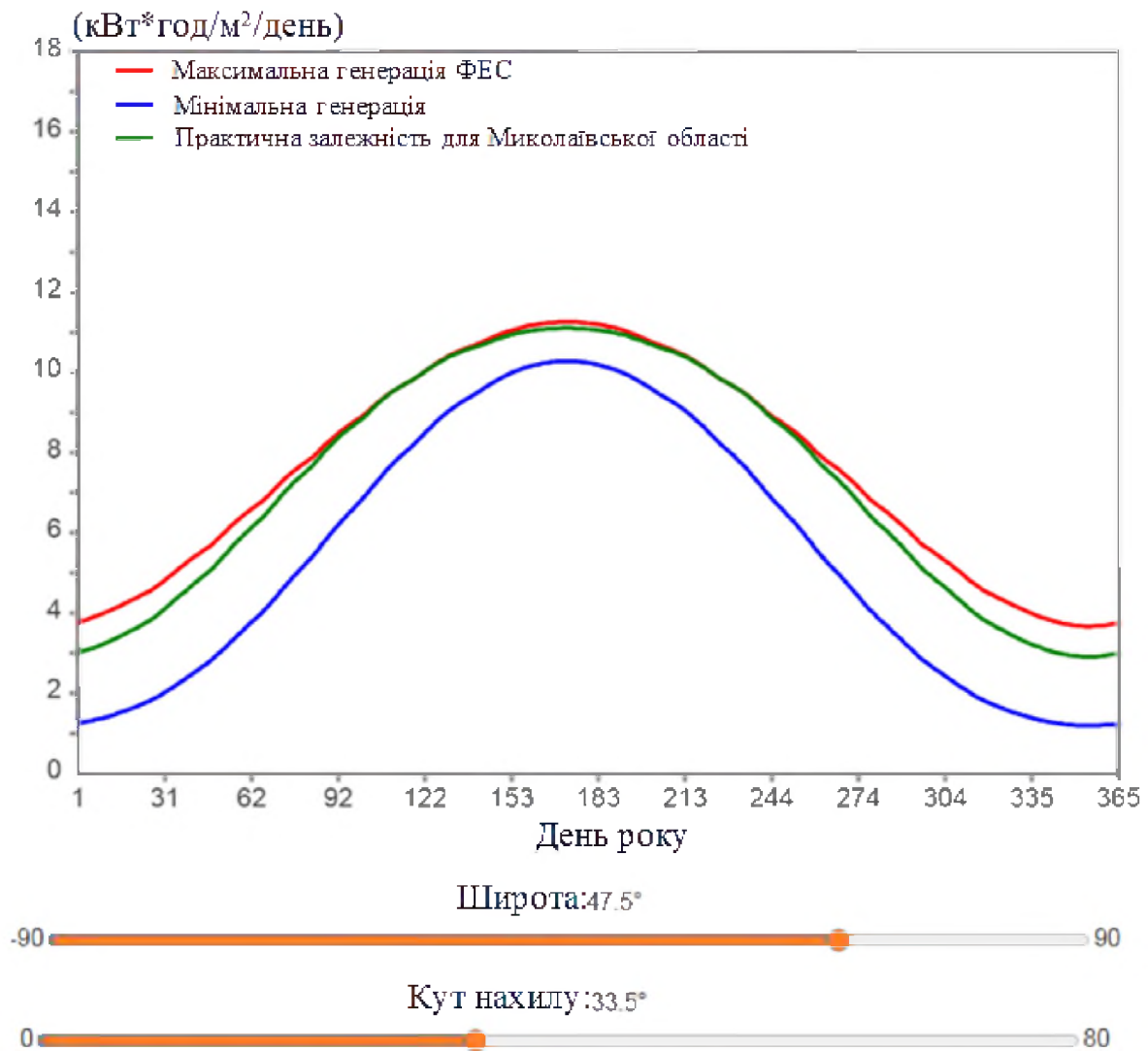


Рисунок 4.2 – Функціональна залежність рівня середньодобової освітленості сонячних панелей, від значення за географічною широтою

Тож показник струму, який будемо мати на виході модульної групи фотоелектричної станції дорівнює:

$$I_{\Phi C.зр} = \frac{E_{Акб.з/р}}{n_{нз}} = \frac{1332.45}{12.61} = 105.67 \text{ (A)} \quad (4.8)$$

$$n_{нз} = n_{чр} \cdot k_z = 16.06 \cdot 0.785 = 12.61 \text{ (год)}$$

І тепер настає етап, коли варто обрати тип із каталогу самої сонячної панелі.

Таблиця 4.1 – Паспортні дані фотоелектричних панелей

Назва параметру	Значення та одиниця виміру
Номінальна потужність	250 (Вт)
Тип кристалу	Монокристал
Напруга при максимальній потужності	30.49 (В)
Напруга холостого ходу	31.57 (В)
Струм при максимальній потужності	8.2 (А)
Струм короткого замикання	8.78 (А)
Кількість елементів у панелі	120 (шт.)
Розміри сонячної батареї (мм)	1476x952x30 (мм)
Рама	Анодований алюміній
Вага	14 (кг)

Із даних табл. 4.1 можемо встановити тепер і кількість з'єднаних паралельно панелей:

$$N_{np.m} = \frac{I_{\Phi C.3p}}{I_{к.з.п}} = \frac{105.67}{8.79} = 12,04 \approx 13 \text{ (шт.)} \quad (4.9)$$

Тоді кількість у групі послідовно з'єднаних панелей встановимо приймаючи до уваги і кількість отриману із (4.9) й загальну необхідну потужність. Вираз суттєво спрощується, оскільки у дослідженні представлені панелі одного типу.

$$P_{вих.ФЕС} = N_{нс.м} \cdot N_{пр.м} \cdot P_{ном.п} \Rightarrow N_{нс.м} = \frac{P_{вих.ФЕС}}{N_{пр.м} \cdot P_{ном.п}} \quad (4.10)$$

$$N_{нс.м} = \frac{68000}{13 \cdot 250} = 20.92 \approx 21 (шт)$$

Тоді виходячи із виконаного вище розрахунку уся станція для резервного живлення протягом тривалого часу у 10-12 годин установки становить 13 паралельних груп модулів з'єднанні між собою паралельно, а ті у свою чергу налічують кожна 21 панель, що з'єднанні між собою послідовно. Також система має 74 акумуляторних батареї.

Функціональна залежність, котра демонструє час оптимальної роботи ФЕС показаний на рис. 4.3

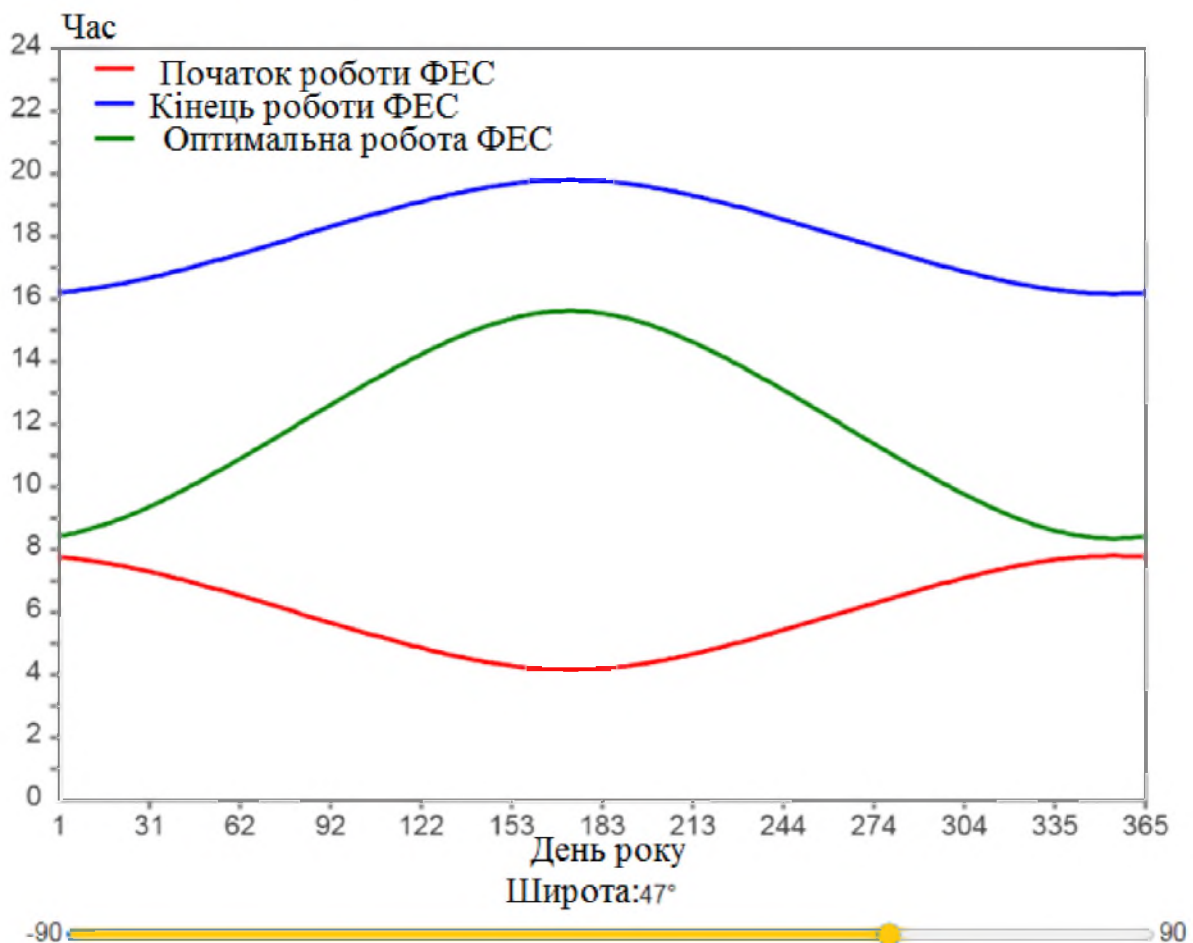


Рисунок 4.3 – Функціональна залежність рівня середньодобової потужності, від значення за географічною широтою

Тоді у наступному підрозділі варто промодельовати повну роботи групи поміж собою з'єднаних сонячних панелей.

4.2 Моделювання резервної мережі із альтернативними джерелами.

Для того аби здійснити моделювання роботи фотоелектричної станції у із заданою точністю у відповідних географічних координатах (Миколаївської області) необхідно скористатися програмним забезпеченням PV Syst.

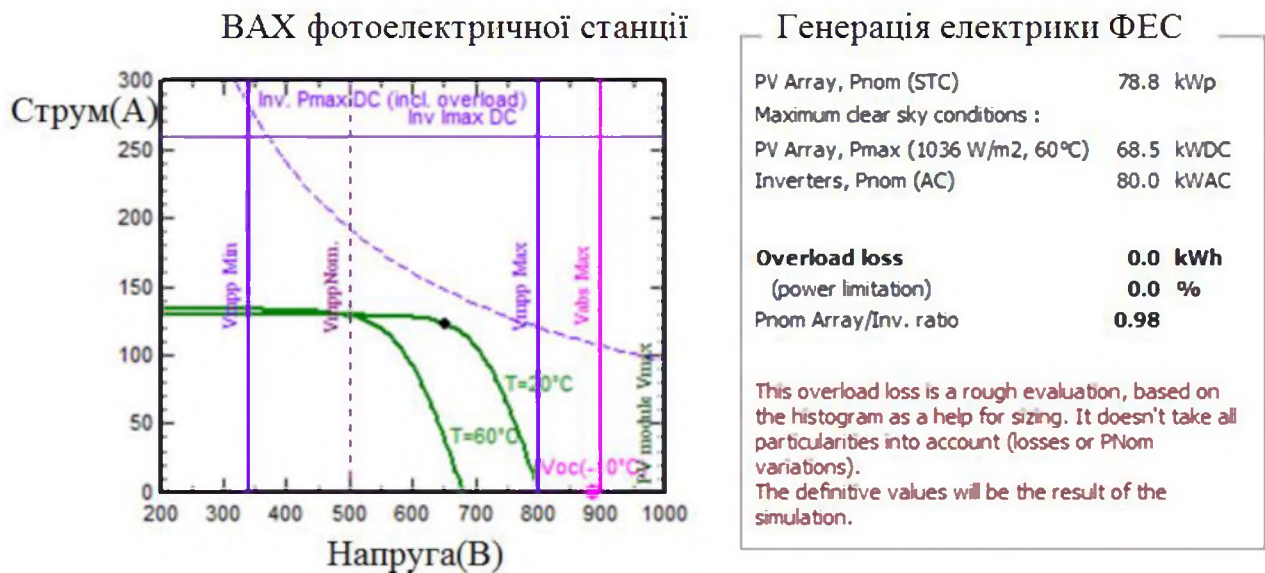


Рисунок 4.3 – Програмне моделювання проектованої станції

Використовуємо для подальшого моделювання приведену на рис. 4.4 схему заміщення фотоелектричних панелей

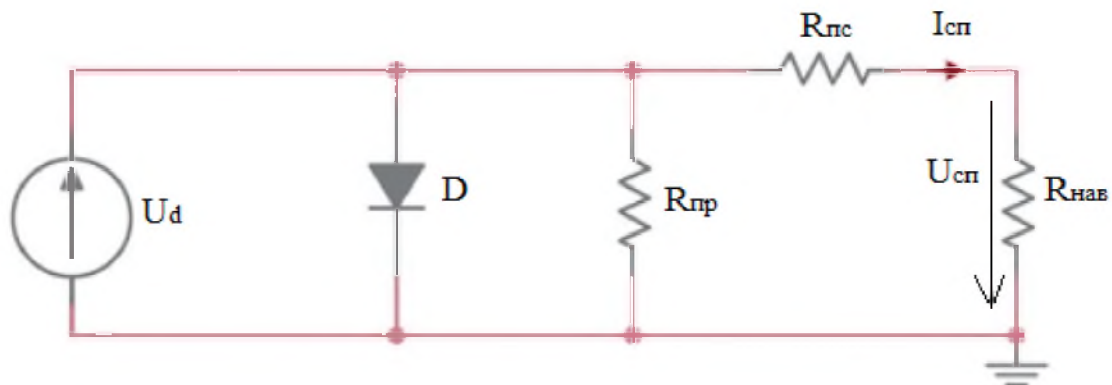


Рисунок 4.4 – Схема заміщення елементу фотоелектричного панелей

Так у програмному комплексі були введені координати об'єкту у Миколаївській області, кількість та тип панелей, інвертора, батарей, що зображено на рис. 4.5

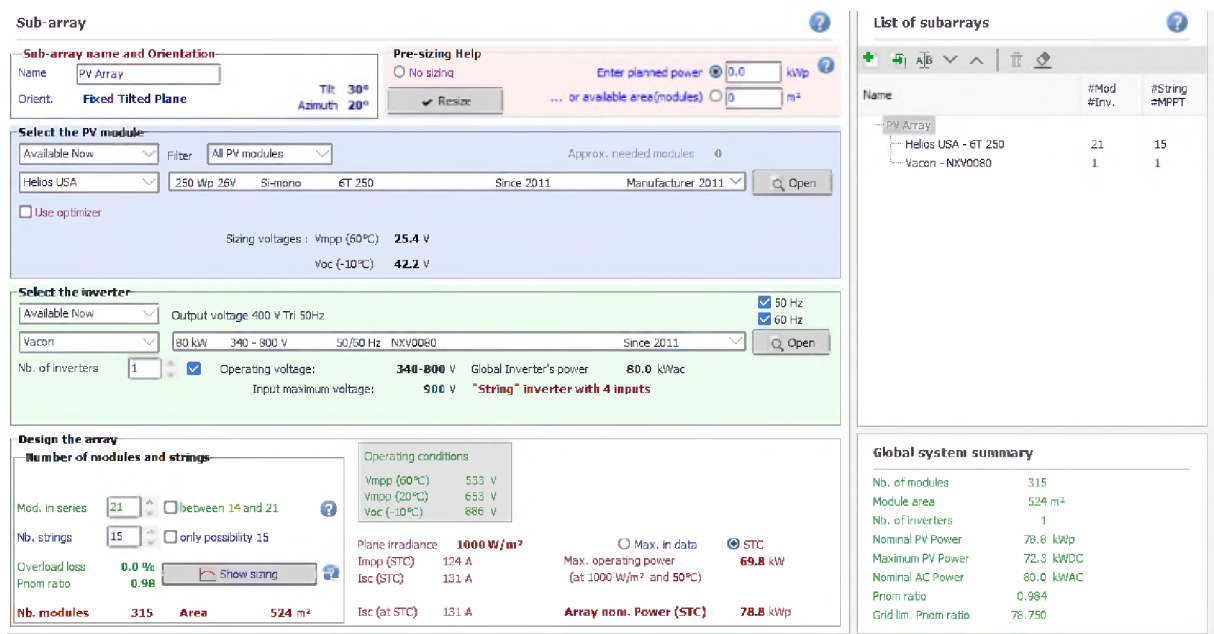


Рисунок 4.5 – Обрання типу сонячних панелей, інвертора, обрання методології керування електричної генерації

Тоді за показаним на рис. 4.6 розподілом погодинного рівня опромінювання поверхні групи сонячних панелей, можна скласти підсистему для вхідного завдання для математичної моделі.

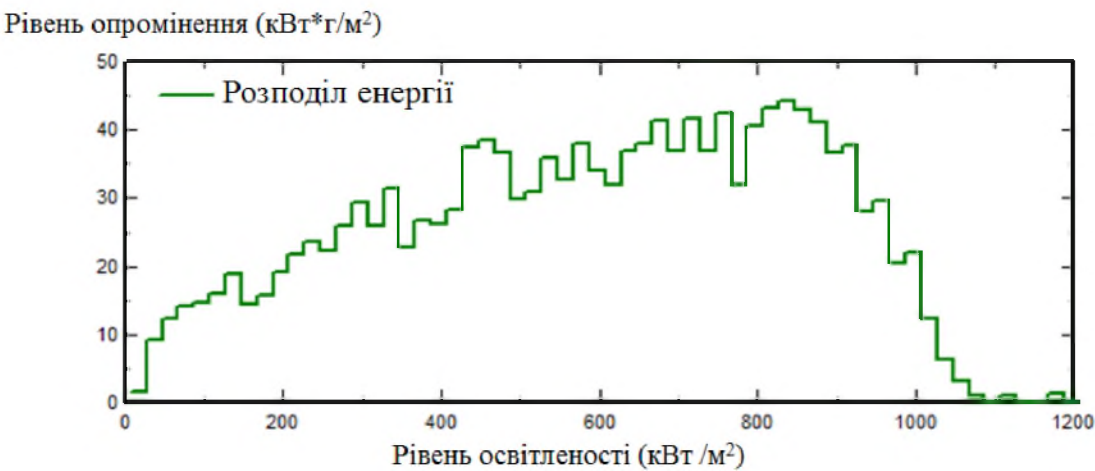


Рисунок 4.6 – Розподіл погодинного рівня опромінювання поверхні сонячних панелей

На рис. 4.7 продемонстровано вже роботу програмного скетчу передавання електричної енергії за PVSyst

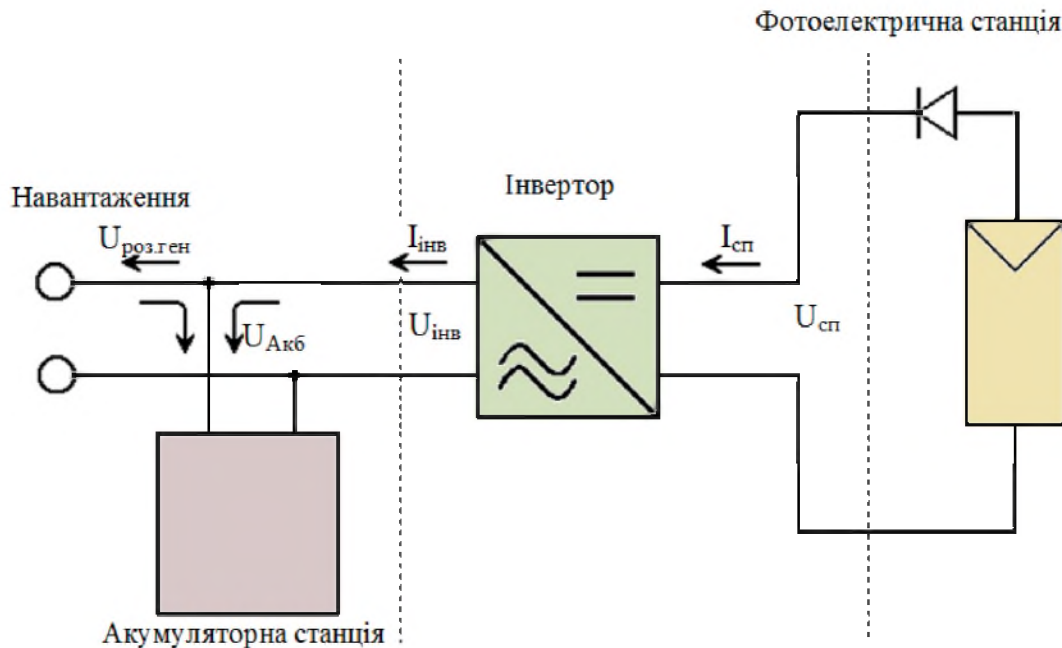


Рисунок 4.7 – Робота програмного скетчу передавання електричної енергії за PVSyst

На рис. 4.8 представлено середній рівень генерації значення потужності електрики у проектованій сонячній станції.

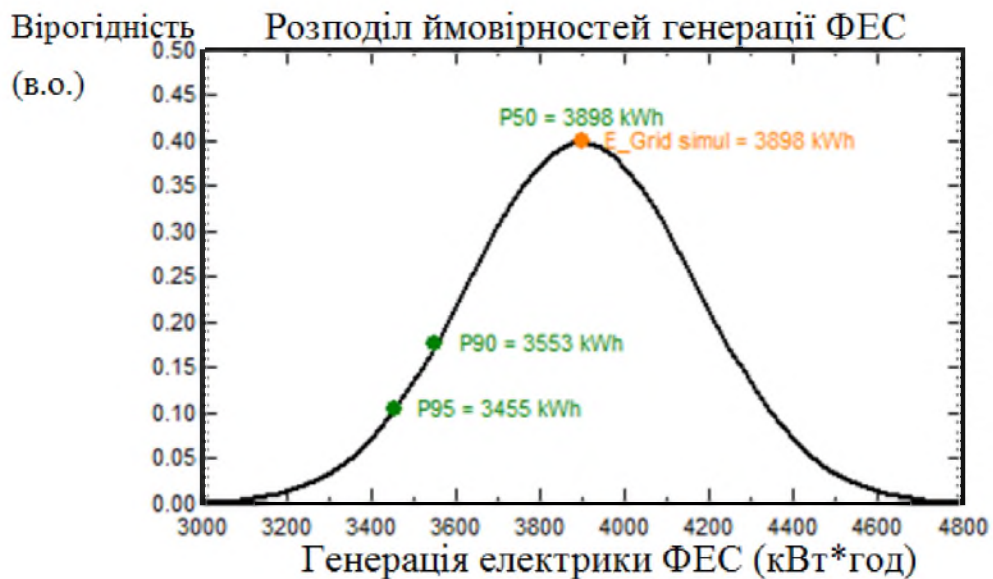


Рисунок 4.8 – Середня генерація значення потужності електрики у проектованій сонячній станції

Передача даних для відображення процесу моделювання роботи станції у Миколаївській області представлено у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Передача даних для відображення процесу моделювання роботи станції у географічних координатах

Глобальне горизонтальне освітленості $W_{Г.д.} [кВт/м^2/год]$	Горизонтальне дифузне освітленості $W_{д.о.} [кВт/м^2/год]$	Середнє значення температури $T_{ф.с.}, [C^0]$	Пора року
1,25	0.75	-2.7	Січень
2,07	1.1	-1.9	Лютий
3,05	1.64	3.3	Березень
4,14	2.13	11.2	Квітень
5,46	2.48	17.7	Травень
5,59	2.64	21.4	Червень
5,69	2.53	24.0	Липень
5,06	2.23	23.6	Серпень
3,72	1.77	18.1	Вересень
2,41	1.22	11.4	Жовтень
1,24	0.77	3.5	Листопад
0,99	0.63	-1.5	Грудень
3.4	1.66	10.7	Середнє значення за рік

На рисунку 4.9 представлено математичну модель резервної електромережі із сонячними панелями. Властивості елементів приведені у вікні параметрів (рис. 4.12) електричної моделі математичної сонячної станції й спосіб її поєднання поміж собою.

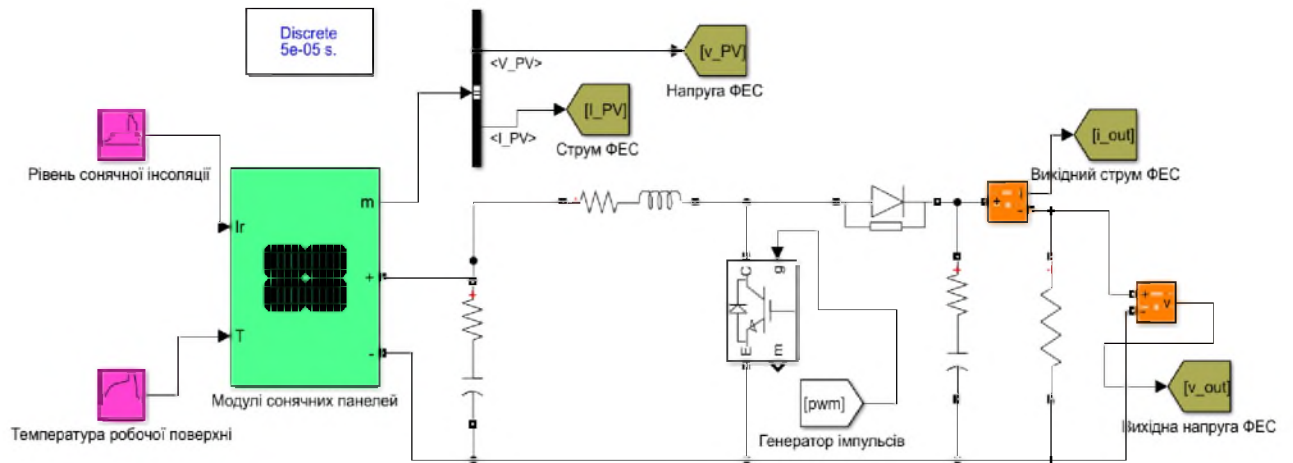


Рисунок 4.9 – Математична модель резервної електромережі із сонячними панелями

Виконавши моделювання системи (рис. 4.9) представлено на рис. 4.12 функцію потужності, а також ВАХ сонячної станції функціональної залежності температури поверхні.

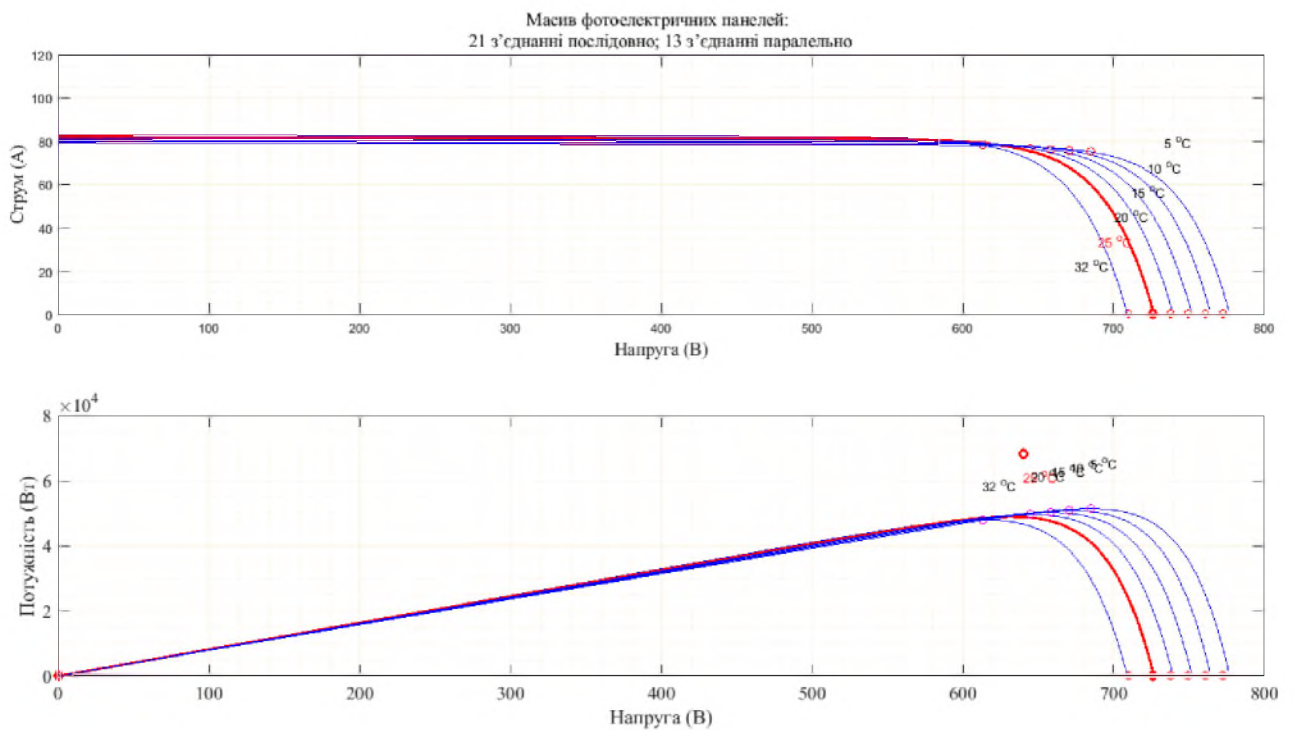


Рисунок 4.10 – Функція потужності і ВАХ сонячної станції функціональної залежності температури поверхні

Також провівши повторення із моделювання системи (рис. 4.9) представлено на рис. 4.13 функцію потужності, а також ВАХ сонячної станції функціональної залежності освітленості поверхні.

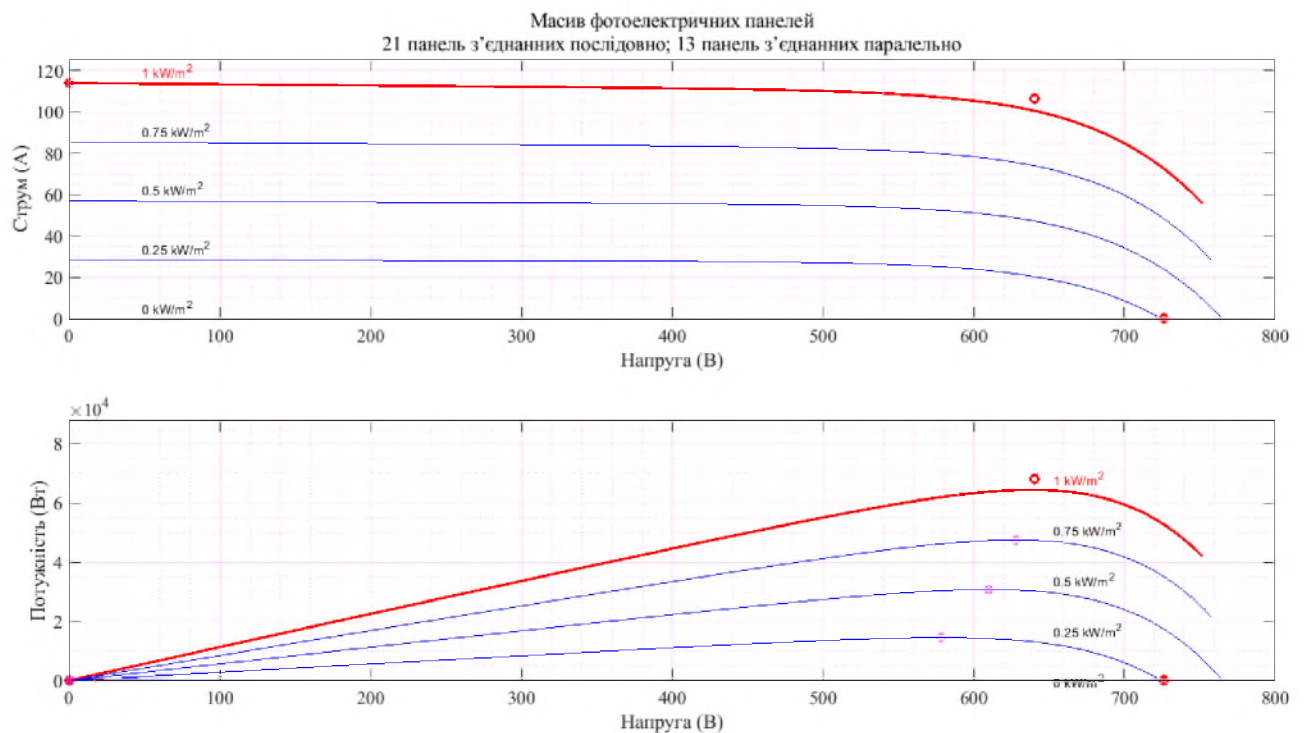


Рисунок 4.11 – Функція потужності і ВАХ сонячної станції функціональної залежності освітленості поверхні

Array data

Parallel strings: 13

Series-connected modules per string: 21

Module data

Module: User-defined

Maximum Power (W): 250.018

Cells per module (Ncell): 150

Open circuit voltage Voc (V): 31.57

Short-circuit current Isc (A): 8.78

Voltage at maximum power point Vmp (V): 30.49

Current at maximum power point Imp (A): 8.2

Temperature coefficient of Voc (%/deg.C): -0.32

Temperature coefficient of Isc (%/deg.C): 0.123

Display I-V and P-V characteristics of ...

array @ 25 deg.C & specified irradiances

Irradiances (W/m2): [1000 750 500 250 0]

Plot

Model parameters

Light-generated current IL (A): 11.1005

Diode saturation current IO (A): 1.5359e-09

Diode ideality factor: 1.4626

Shunt resistance Rsh (ohms): 3.9464

Series resistance Rs (ohms): 0.07448

Рисунок 4.12 – Вікно параметрів електричних моделі математичної сонячної станції та спосіб її поєднання поміж собою

4.3 Аналіз режимів роботи приводу вентиляційної установки.

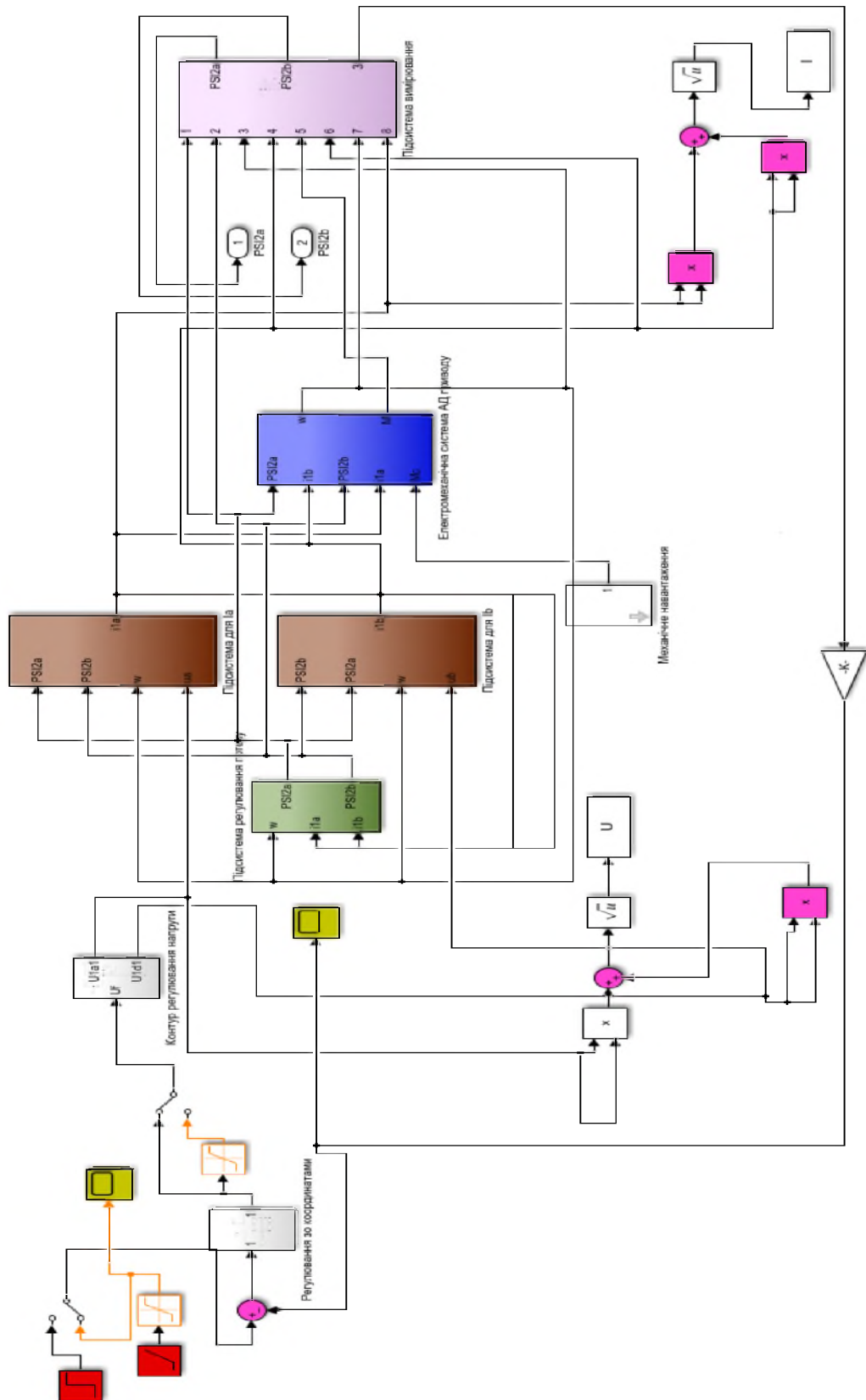


Рисунок 4.13– Математична модель приводу вентиляційної установки

Виконавши моделювання процесу роботи приводу вентиляторної установки були отримані часові діаграми рис. 4.14–4.17

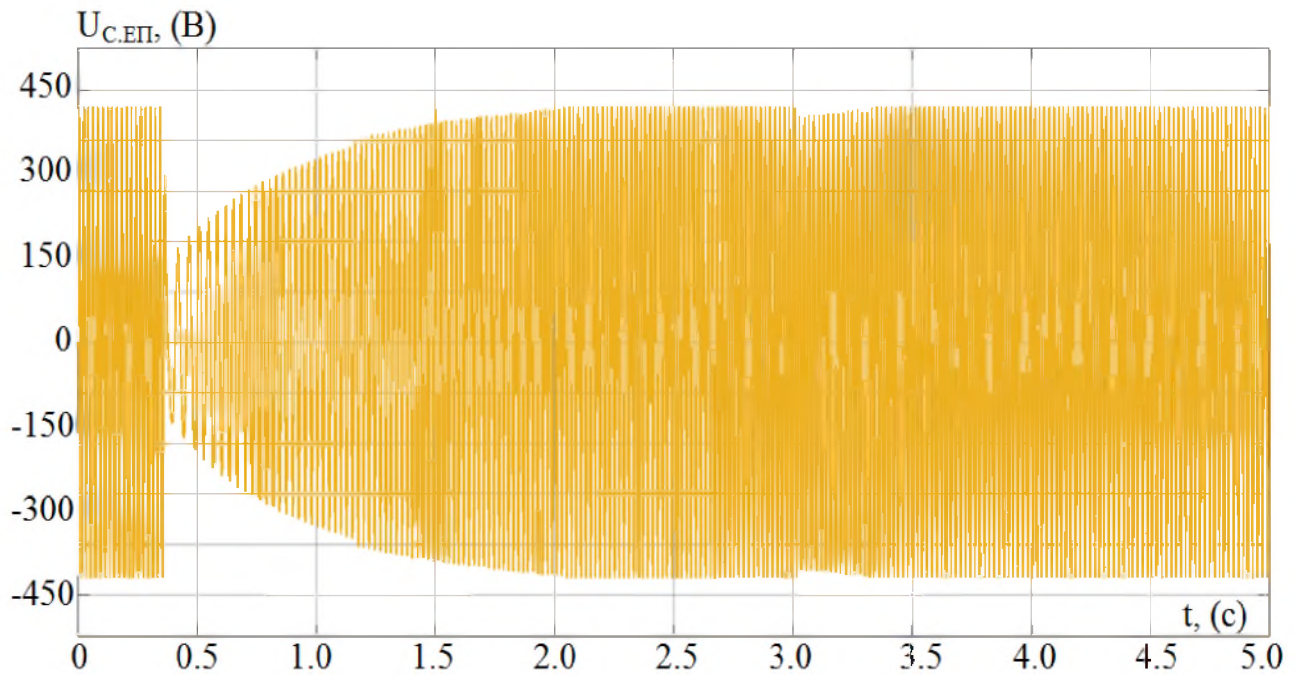


Рисунок 4.14 – Часова діаграма зміни напруги статора

Так на рисунках 4.14–4.15 зображені електричні характеристики електроприводу.

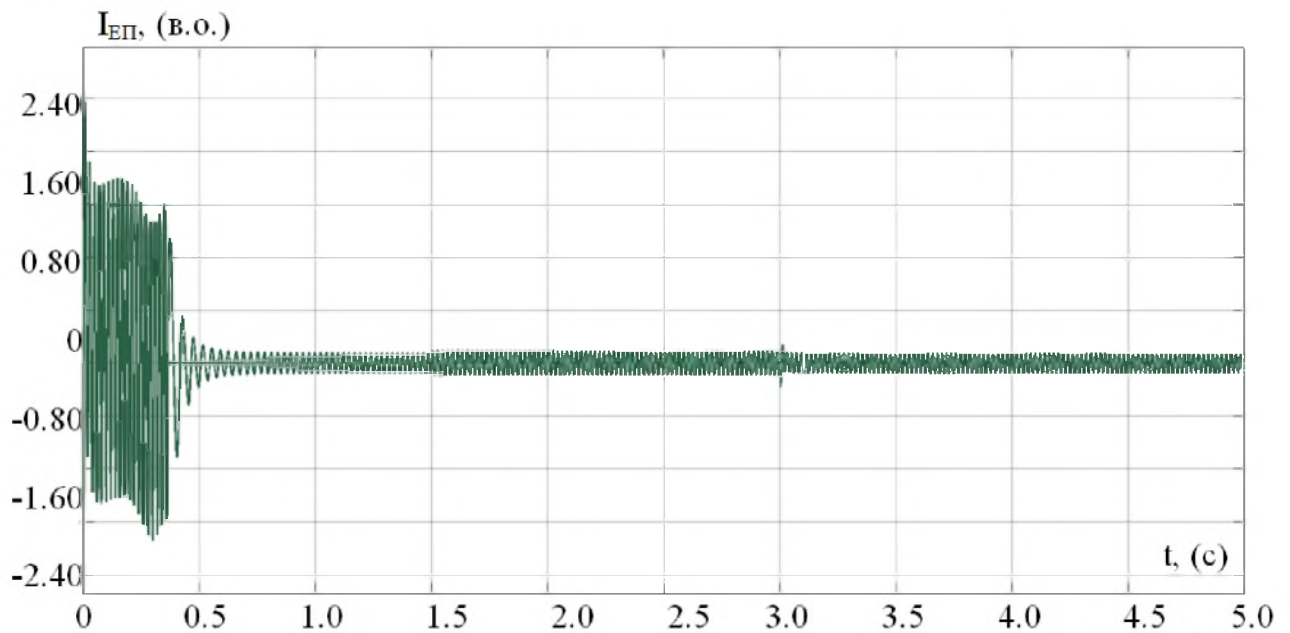


Рисунок 4.15 – Часова діаграма зміни струму електроприводу вентилятору

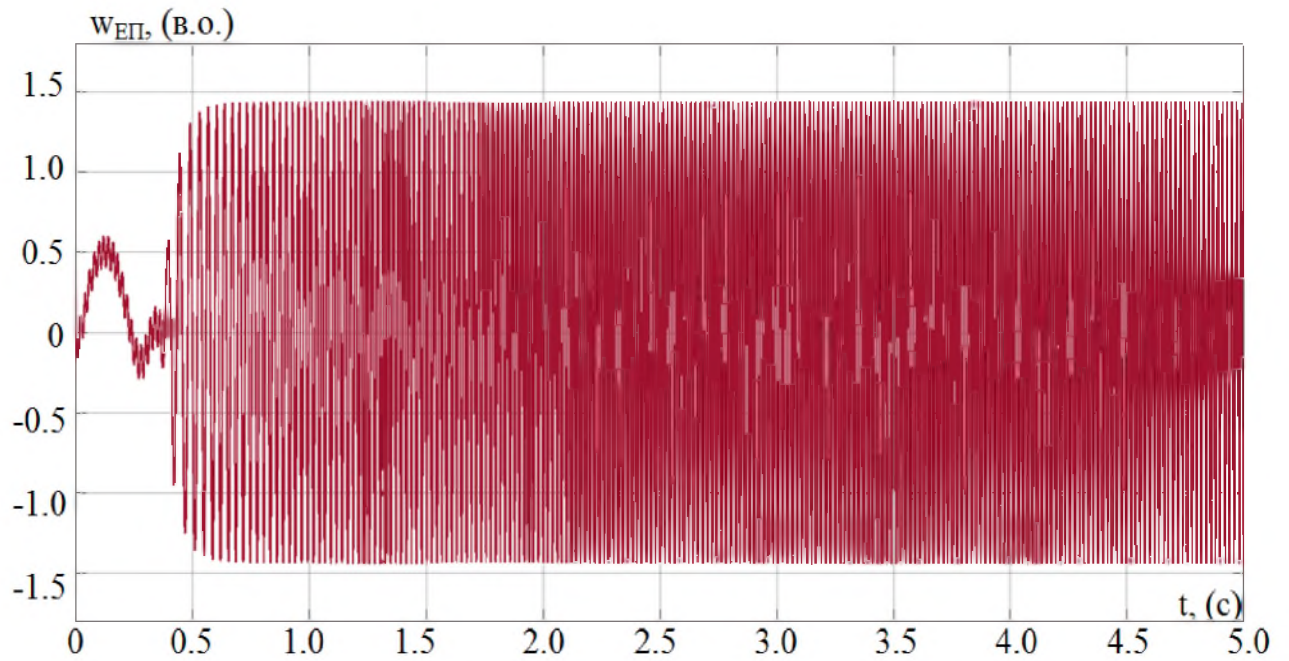


Рисунок 4.16 – Часова діаграма зміни швидкості обертання ротору ЕМ

А на рис. 4.16–4.17 зображено механічні часова діаграма зміни положення, тут видно, що після накиду механічного навантаження помилки у системі при відпрацюванні зникає.

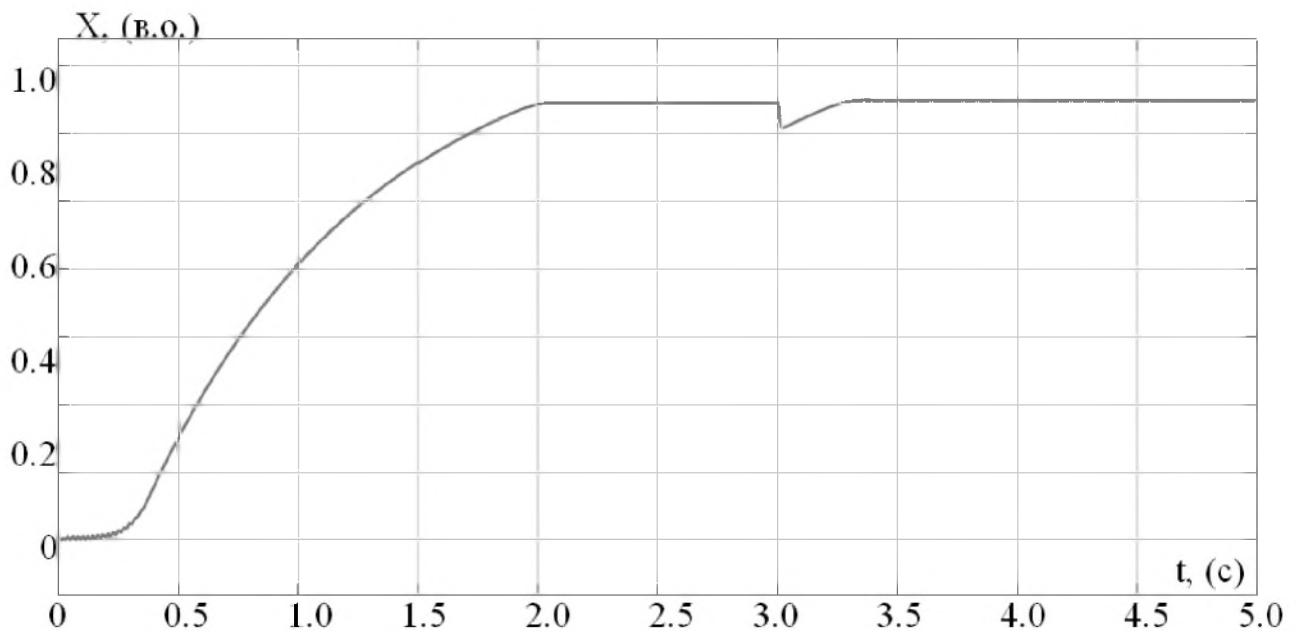


Рисунок 4.17 – Часова діаграма зміни положення

ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломного проекту із покращення системи автоматизації та управління вентиляційної установки були вирішені такі головні завдання:

- Виконано функціональну схему досліджуваної установки, частотні перетворювачі, обрано потрібне електромеханічне обладнання для конvekції повітря, а також керуючий контролер і власне асинхронний привод вентилятору.

- Спроековано схему принципову шафи управління за системою витяжно–припливної вентиляції, а також подані практичні поради та відповідні електричні схеми, щодо проведення монтажних робіт даного обладнання в ході практичної реалізації запропонованого методу.

- Досліджено різні типи законів керування електричним приводом вентиляторів, проаналізовано побудовані характеристики механічні вентиляторних двигунів, після цього здійснено вибір найбільш раціонального закон керування, а зробивши вибір та побудувавши структурну схему обраного типу векторного керування було проведено і моделювання роботи (у застосунку Simulink математичного комплексу Matlab) системи електричного приводу за динамічними режимами. На цьому ж етапі було й розглянуто типові основні схеми систем витяжно–припливної вентиляції та їх функції; а також методологію застосування у розглянутій системі електроприводу у вентиляторі із частотним керуванням.

Окремий етап дослідження стосувався й побудові енергосистемі для забезпечення вентиляторної установки додатковим, резервним живленням із ВДЕ. Так за вхідними даними для дипломної роботи була розрахована та побудована мат. модель сонячної станції для Миколаївської області. Підсумком стало те, що для резерву живлення протягом тривалого часу у $t=10-12$ (годин), потрібна фотоелектрична установка, яка налічує 13 паралельних груп модулів з'єднанні між собою паралельно, котрі, у свою чергу налічують

кожна 21 панель, що з'єднанні між собою послідовно. Також система має 74 літій-іонних акумуляторних батареї для накопичення енергії.

І нарешті фінальним етапом стало побудови моделі приводу вентиляційної установки із живленням від централізованої мережі і тієї, що у своєму складі має ВДЕ. Результати показали, що електрична мережа дає значний запасом за резервом, а сам обраний тип керування приводом покращує ефективність роботи приводу майже на 12.5% порівняні із іншими.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. П.О. Василега, «Електропривод робочих машин» : навчальний посібник / Муріков Д.В., Василега П.О. — м. Суми : видавництво «Університетська книга», 2016 р. — 229 с.
2. В. О. Мілейковський, Л.М. Котелков, «Вентиляція індивідуального житлового будинку» – м. Дніпро: 2018 р, — 156 с.
3. Возняк О.Т., Савченко О.О., Миронюк Х.В. та інші, «Теплогазопостачання та вентиляція» : навч. посібник / – м. Львів: видав. «Львівської політехніки», 2013 р. – 276 с.
4. Ципленков Д.В., Іванов О.Б, Кузнецов В.В., О.В. Бобров, та ін.. «Проектування електричних машин» : навч. посіб. / ; Нац.техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2020. – 408 с
5. Панченко С. В., Блиндюк В. С., Бабаєв М. М., та інші «Конструкція та динаміка електричного рухомого складу»: підручник / УкрДУЗТ,– м. Харків: 2018. – частина 1. – 280 с.,
6. «Одно та трьохфазні асинхронні електродвигуни» – електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. <https://www.bronzonimotori.com/products/?lang=en> Дата звернення: 02.05.22
7. «Системи опалення, вентиляції та кондиціонування» – електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. <https://www.ee-metal.com/best-technologies/maintenance-heating-ventilation-and-air-conditioning-systems/> Дата звернення: 05.05.22
8. «Системи вентиляції перед запуском для великих електродвигунів і генераторів» Доступно: [Режим доступу]. <https://www.expoworldwide.com/products-services/motor-purge-systems/pre-start-ventilation-systems> Дата звернення: 05.05.22
9. О.І. Соловей «Промислові електротехнологічні установки», навч. посібник, м. Київ, видав. «Кондор», 2009 рік, 172 с.

10. В.М. Кабацій, І.П. Радиш, С.П. Денисюк «Основи електротехніки та електропостачання, навч. посібник, м. Київ, ISBN: 978-966-2781-01-4 видав. «Кондор», 2018 рік, 216 с.

11. П.О.Василега «Електропостачання» навч. посібник, м. Київ, видав. «Університетська книга», 2019 рік, 416 с.

ДОДАТОК А.
«ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА ДО
ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ»

Студентки Олександри ПОРФІЛЕНКО, групи ЕЛКзп – 19

Призначення документа	Документ	Умовні позначення	Зміст зауваження

Дата _____

Підпис _____

(ПІБ)

ДОДАТОК Б

«Охорона праці для безпечної експлуатації установки та обслуговуючого персоналу, який працює з нею»

Експлуатація насосної установки.

У процесі експлуатації насосних установок не допускає:

- попадання води і продуктів перекачування на електрообладнання;
- підтікань через прокладання з'єднань трубопроводів та сальникові ущільнення;
- розливів, які у разі виявлення необхідно негайно прибирати;
- перегрівання підшипників, нагрів електродвигунів вище допустимої температури;
- ремонт, чищення та убирання обладнання під час його роботи.

Необхідно негайно зупинити насоси та електродвигуни у випадку, коли відбувається один чинник із зазначених нижче:

- підвищення температури підшипників вище за установлену норму;
- поява сторонніх шумів, стуків;
- появи неприпустимого рівня вібрації;
- сильного витікання продукту через фланцеві з'єднання
- припинення подання ущільнюючої рідини або охолоджуючої води на сальники, торцеве ущільнення, підшипники;
- перенавантаження двигуна;
- швидкого підвищення температури корпусу електродвигуна;
- загоряння електродвигуна або насоса

Випадки аварійних ситуацій, причини та їх усунення.

Ознаками можливих аварійних ситуацій під час роботи насосних установок є:

- небезпечний режим роботи насосних установок (вихід за межі допустимих значень параметрів - тиску, температури і ін.), що може призвести до аварійного стану;
- тимчасова зупинка процесу перекачування внаслідок спрацювання автоматичних захисних блокувань;
- поява вібрації або незвичних шумів, які свідчать про порушення в роботі насосної установки;
- розгерметизація насосного устаткування з попаданням токсичних , вибухонебезпечних речовин в виробниче середовище;
- загоряння насосного устаткування;
- непередбачене вимкнення електропостачання, коротке замикання електричних комунікацій, електрообладнання.

У випадку виникнення аварійної ситуації оператор повинен негайно повідомити про це безпосереднього керівника та діяти у відповідності із вимогами витягу з технологічного регламенту, що стосується процесу перекачування, в якому передбачені у т.ч. дії машиніста щодо усунення аварійного стану та застосування заходів захисту, а також у відповідності з Планом локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій (ПЛАС), якщо його наявність для даного об'єкта передбачена.

У випадку виникнення пожежі оператор повинен припинити роботу, відімкнути живлення електрообладнання, негайно розпочати гасіння пожежі наявними засобами пожежогасіння, діючи у відповідності з вимогами інструкції з пожежної безпеки підприємства.

У випадку травмування, отруєння потерпілому необхідно надати першу долікарську допомогу.

Після закінчення ремонтних робіт робоче місце приводиться в належний стан.

Послідовно виконуються: виведення бригади з робочого місця; зняття тимчасових огорожень і плакатів; зняття заземлень; установлення на місце стаціонарних огорожень і плакатів.

Перевірку ізоляції відремонтованого електроустаткування насосної станції безпосередньо перед вмиканням слід проводити у разі потреби до того, як будуть прибрані тимчасові огороження, застережні плакати, відразу після зняття переносних заземлень. Устаткування може бути увімкнене після закриття наряду-допуску.

Якщо на відключеній ділянці роботи проводилися за кількома нарядами-допусками, то устаткування може бути увімкнене лише після закриття всіх нарядів-допусків.

Заборонено підготовку до вмикання або випробування під напругою будь-якого устаткування насосної станції до повного закінчення робіт за нарядом-допуском.

Якщо під час виконання робіт за нарядами-допусками мали місце аварії та електротравми, то наряди-допуски потрібно зберігати в архіві підприємства, працівники якого виконували роботи за нарядом-допуском, згідно з Порядком розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 25.08.2004 N 1112.

Безпека обслуговуючого персоналу досліджуваної установки.

Оператор має постійне робоче місце. До складу робіт, які він повинен виконувати, входять наступні:

- підтримання заданих значень параметрів при перекачуванні рідини;
- обслуговування технологічного устаткування насосних станцій, насосних установок;

- ведення обліку і звітності про роботу насосних установок;
- здійснення контролю щодо безперебійної роботи насосних агрегатів, двигунів і арматури окремих відрізків трубопроводів, що обслуговуються;
- виконання поточного ремонту насосного устаткування та участь у його середньому і капітальному ремонті і інші роботи, передбачені довідником кваліфікаційних характеристик професій працівників, для відповідного розряду.

Під час роботи на обслуговуючий персонал можливий вплив таких небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

- токсична і подразнююча дія шкідливих речовин, які використовуються у технологічному процесі та можуть забруднювати повітря робочої зони внаслідок негерметичності насосних агрегатів, трубопроводів, арматури;
- ураження внаслідок утворення займистих і вибухонебезпечних сумішей;
- рухомі частини устаткування насосних станцій, насосних агрегатів;
- підвищена або знижена температура поверхні устаткування, повітря робочої зони;
- підвищені рівні шуму, вібрації на робочому місці;
- недостатня освітленість робочої зони;
- ураження електричним струмом;
- підвищена вологість повітря робочої зони;
- нервово-психічні перенавантаження.

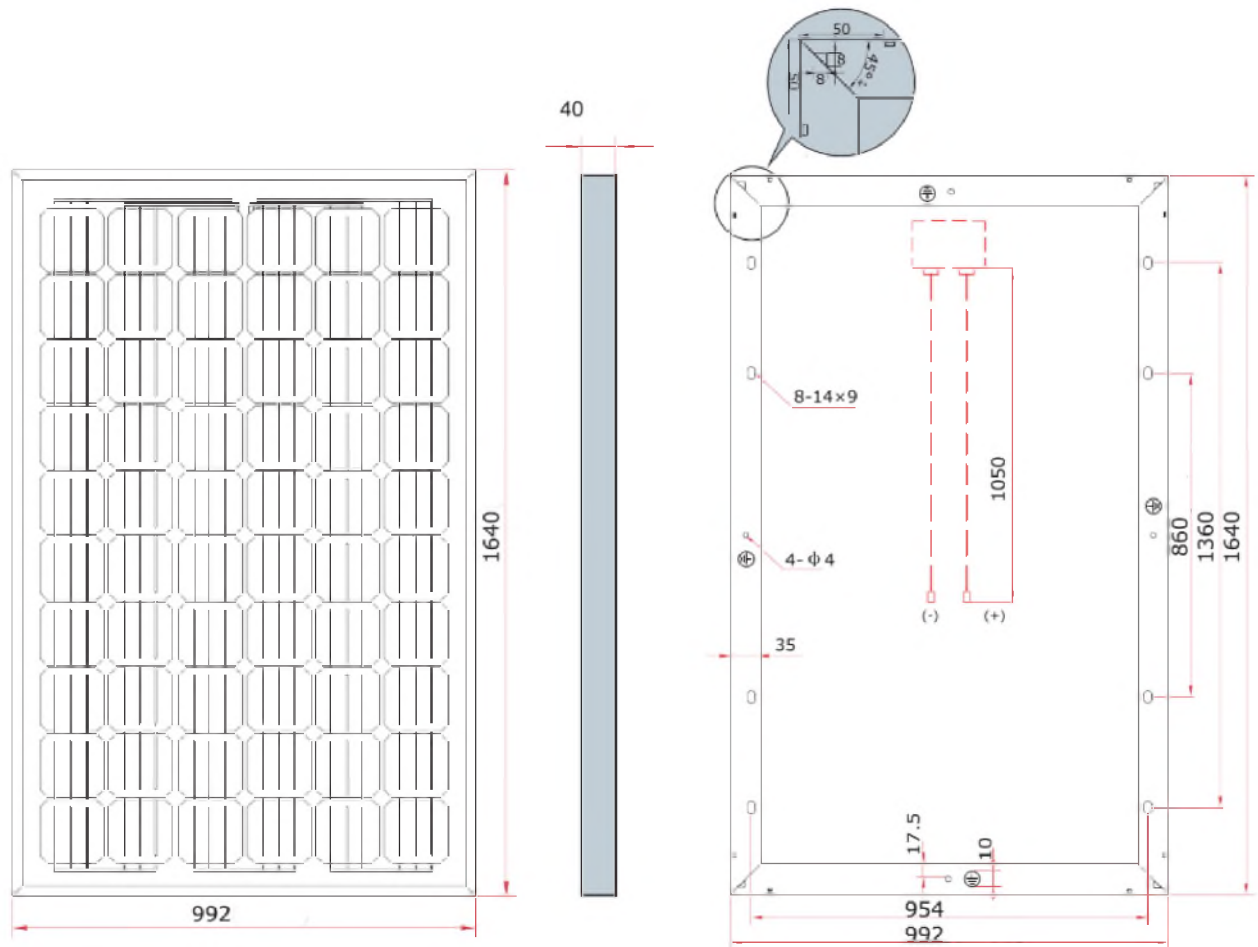
Працівники, які здійснюють технічну експлуатацію насосних станцій, забезпечуються спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до Норм безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам водного господарства, затверджених наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 12.10.2009 - **(НПАОП 0.00-3.08-09)**.

Під час виконання робіт, не пов'язаних з експлуатацією електротехнічного устаткування та гідромеханічного обладнання насосних станцій, необхідно керуватися відповідними правилами, нормами, інструкціями та іншими чинними нормативно-правовими актами з охорони праці.

До оперативного обслуговування електроустановок насосних станцій допускаються працівники, які знають оперативні схеми, посадові та експлуатаційні інструкції, інструкції з охорони праці, особливості обладнання та які пройшли навчання і перевірку знань на підприємстві відповідно до пункту 2.1 розділу 2 **НПАОП 40.1-1.21-98**

ДОДАТОК В

«Властивості фотоелектричної панелі»



Назва параметру	Значення та одиниця виміру
Номінальна потужність	250 (Вт)
Тип кристалу	Монокристал
Напруга при максимальній потужності	30.49 (В)
Напруга холостого ходу	31.57 (В)
Струм при максимальній потужності	8.2 (А)
Струм короткого замикання	8.78 (А)
Кількість елементів у панелі	120 (шт.)
Розміри сонячної батареї (мм)	1476x952x30 (мм)
Рама	Анодований алюміній
Вага	14 (кг)