

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних електронних систем
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора

Виконав: студент 2 курсу,
групи КІВТ-21м
спеціальності 152 – Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка
освітня програма: комп'ютеризовані
інформаційно-вимірювальні
технології

Кочеван О.О.

Керівник: д.т.н., проф. каф. ІРТС
Васілевський О.М.
« 16 » Васілевський 2022 р.

Опонент: Зінов'як Б.В. к.т.н.,
« 16 » 12 2022 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

« 19 » 12 2022 р.

Вінницький національний технічний університет
 Факультет інформаційних електронних систем
 Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
 Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
 Галузь знань 15 "Автоматизація та приладобудування"
 Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
 Освітньо-професійна програма Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

«16» вересня 2022 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кочеван О.О.

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора

керівник роботи Васілевський О.М., д.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "14" 09 2022 року № 203

2. Строк подання студентом роботи 16 грудня 2022 р

3. Вихідні дані до роботи _____

Діапазон напруги на виході генератора 220...340 В;

Тип ВП – асинхронний генератор з вітроколесом;

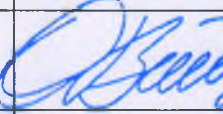

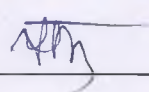
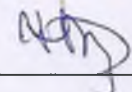
ПЛК – VIPA 200V;

Мова програмування – STL.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Особливості об'єкту дослідження; Розрахунок номінальних параметрів перетворювача механічної енергії вітрового потоку у електричну; Розробка системи автономного енергозабезпечення на прикладі реального об'єкта. Апаратна та програмна реалізація вимірювального каналу обертання лопаті вітрогенератора. Моделювання системи стабілізації вихідної напруги перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну; Математичне моделювання роботи вітроелектричних установок. Практична реалізація вітрогенераторної системи та експериментальні дослідження; Економічна частина

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Розширена функціональна схема побудови дослідного зразка вітрогенераторної системи; Конструктивна схема вітроустановки

6. Консультанти розділів роботи

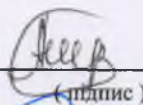
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	д.т.н., професор Васілевський О.М.		
Економічна частина	проф. кафедри ЕПВН, проф. д.т.н. Буреннікова Н.В.		

7. Дата видачі завдання 17.09.2022 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

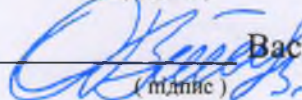
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2022-07.09.2022	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2022-13.09.2022	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	14.09.2022-27.09.2022	
4.	Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	28.09.2022-10.10.2022	
5.	Математичне моделювання та метрологічні розрахунки. Експериментальне дослідження.	11.10.2022-04.11.2022	
6.	Економічна частина.	14.11.2022-20.11.2022	
7.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	26.11.2022-01.12.2022	
8.	Нормоконтроль.	02.12.2022-09.12.2022	
9.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	10.12.2022-19.12.2022	
10.	Захист МКР ЕК.	20.12.2022-21.12.2022	

Студент


(підпис)

Кочеван О.О.

Керівник роботи


(підпис)

Васілевський О.М.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.374.415

Кочеван О.О.. Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора.

Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка, освітня програма: комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології. Вінниця: ВНТУ, 2022. 121 с. На укр. мові. Бібліогр.: 30 назв; рис.: 30; табл. 7.

У магістерській кваліфікаційній роботі виконано розробку методу перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора. Метод призначений для вимірювання та контролю інформації про стан вітрогенераторних систем в цілому та їх окремих елементів.

В режимі реального часу, за допомогою програмного забезпечення WinPLC7 контролюється режим роботи вимірювальних параметрів роботи вітрогенератора із подальшим порівнянням їх з номінальними (оптимальними) показниками.

У економічному розділі зроблено розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки.

Ключові слова: вітрогенератор, метод перетворення, вал генератора, кутова швидкість, вимірювальний перетворювач, потужність, динамічні та статичні метрологічні характеристики.

ABSTRACT

O.O. Kocheban. The method of converting the mechanical energy of the wind flow into electrical energy with the adjustment of the angular speed of the generator shaft.

Master's thesis on specialty 152 - Metrology and information and measurement technology, educational program: computerized information and measurement technologies. Vinnytsia: VNTU, 2022. 121 p. In Ukrainian speech Bibliography: 30 titles; Fig.: 30; table 7.

In the master's qualification work, the method of converting the mechanical energy of the wind flow into electrical energy with the regulation of the angular speed of the generator shaft was developed. The method is intended for measuring and controlling information about the state of wind generator systems as a whole and their individual elements.

In real time, with the help of the WinPLC7 software, the operating mode of the measurement parameters of the wind generator is controlled, followed by their comparison with the nominal (optimal) indicators.

The economic section calculates the economic efficiency of scientific and technical development.

Key words: wind generator, conversion method, generator shaft, angular velocity, measuring converter, power, dynamic and static metrological characteristics.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОСОБЛИВОСТІ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	11
1.1 Огляд існуючих вітротурбін. Основні терміни та поняття	11
1.2 Висновок до розділу 1.....	22
2 РОЗРАХУНОК НОМІНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕТВОРЮВАЧА МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІТРОВОГО ПОТОКУ У ЕЛЕКТРИЧНУ.....	23
2.1 Механічні характеристики вітротурбін.....	23
2.2 Імітація поведінки вітротурбіни.....	25
2.3 Функціонування вітроенергетичної установки	26
2.4 Огляд структури перетворювача механічної енергії вітрового потоку у електричну.....	27
2.5 Будова промислової вітряної установки	29
2.6 Висновок до розділу 2.....	30
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ПРИКЛАДІ РЕАЛЬНОГО ОБ'ЄКТА. АПАРАТНА ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ	31
3.1 Вибір схеми забезпечення об'єкта енергією.....	31
3.2 Загальна схема енергозабезпечення промислового об'єкта.....	32
3.3 Обґрунтування вибору обладнання для комплектації ВЕУ	34
3.4 Розробка програмного забезпечення управління системою енергопостачання господарства	35
3.5 Проектування системи моніторингу роботи автономної енергоустанов.37	37
3.6 Апаратне та програмне забезпечення. реалізація на мові LAD.....	39
3.7 Висновок до розділу 3.....	46
4 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ОБЕРТАННЯ ЛОПАТІ ВІТРОГЕНЕРАТОРА. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІТРОВОГО ПОТОКУ У ЕЛЕКТРИЧНУ.....	47

4.1	Моделювання системи стабілізації вихідної напруги перетворювача механічної енергії вітрового потоку у електричну	47
4.2	Рівняння перетворення.....	55
4.3	Статичні характеристики вимірювального каналу швидкості обертання вала генератора.....	58
4.4	Висновок до розділу 4.....	63
5	МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ СИСТЕМИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	64
5.1	Існуючі підходи до математичного моделювання роботи вітроелектричних установок	64
5.2	Лабораторний стенд для дослідження вітрогенераторних вимірювальних перетворювачів	69
5.3	Висновок до розділу 5.....	72
6	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	72
6.1	Оцінювання наукового ефекту.....	73
6.2	Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки	77
6.3	Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи.....	79
6.4	Висновки до економічного розділу.....	93
	ВИСНОВКИ.....	94
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	96
	Додаток А (обов'язковий) Ілюстративна частина.....	101
	Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки роботи.	102
	Додаток В (довідниковий) Лістинг програми	146

ВСТУП

Перетворення енергії вітру в електрику є дуже ефективним, оскільки вітрогенератор виробляє в 17-40 разів більше енергії, ніж споживає за цей час. У свою чергу ККД може досягати 50%. Енергія вітру є загальнодоступним відновлюваним ресурсом. Її використання не завдає шкоди навколишньому середовищу, оскільки перетворення відбувається без викидів речовин або парникових газів в атмосферу. Продуктивність вітряка залежить від швидкості вітру. Крім того, вони не витримують поривів вітру, які перевищують максимально допустиму швидкість вітру для конкретної ділянки. Найкраще місце для вітряка – на висоті з високою швидкістю вітру та низькою турбулентністю. Вітряки настільки гучні, що природоохоронці стверджують, що птахи врізаються в обертові лопаті. У зв'язку з цим вітроелектростанції часто припиняють роботу в вітряну погоду і сезон міграції птахів.

Властивості вітру вимірюють на метеостанціях. Для опису зміни швидкості вітру з плином часу необхідні щоденні спостереження протягом принаймні 10-12 років, а також необхідно враховувати природні залежності, такі як вища швидкість вітру взимку, ніж влітку, і вища вдень, ніж вранці. У світовій практиці використання вітроенергетичних установок вважається перспективним, якщо середньорічна швидкість вітру на даній території становить 5-6 м/с. Лідерами у використанні енергії вітру як альтернативного джерела енергії є: Китай, США, Німеччина, Іспанія, Індія. При типових швидкостях 3-5 м/с на більшій частині території України необхідні техніко-економічні розрахунки, аналіз і більш детальний вибір оптимальної конструкції ВЕУ.

Ця тема дуже актуальна. Вартість електроенергії (1 кВт/год) зростає з кожним роком, як і ціни на опалення, газ і воду. Це пов'язано не тільки з інфляцією в країні, зростання цін на енергоносії також пов'язане з подорожчанням невідновлюваних джерел енергії – вугілля, природного газу,

нафти – основного джерела виробництва електроенергії в Україні. За прогнозами, до 2030 року електроенергія подорожчає. Оцінка цієї теми приводить до запитання, чи потрібен громадянам частковий чи повний перехід на альтернативні джерела енергії [1].

Метою роботи є розробка методу для перетворення кінетичної енергії вітрового потоку у електричну та системи контролю параметрів перетворювачів механічної енергії вітрового потоку у електричну на основі ПЛК, що забезпечить моніторинг та оптимальний режим роботи установок.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані та вирішені такі **задачі**:

- аналіз загальних понять та фізичне представлення енергії вітру;
- основні параметри перетворювачів механічної енергії вітрового потоку у електричну та методи їх вимірювань;
- методи та засоби вимірювання швидкості обертання валу генератора;
- схеми роботи перетворювачів механічної енергії вітрового потоку у електричну.

Об'єктом дослідження в роботі є процес вимірювального контролю метрологічних параметрів вимірювальних перетворювачів механічної енергії вітрового потоку у електричну.

Предметом дослідження є методи та засоби, які забезпечують стабільну роботу перетворювачів механічної енергії вітрового потоку у електричну.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених задач в роботі були використані методи теорії вимірювального контролю, які були використані для обробки експериментальних результатів, комп'ютерного моделювання, теорії вимірювань, похибок вимірювань та технічного контролю використовувались для визначення вірогідності контролю, методи алгоритмізації та програмування для розроблення програмної частини засобу вимірювального контролю.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше запропоновано апаратно-програмно обмежувати кутову швидкості вала генератора вітротурбіни при екстремальних швидкостях вітру, що забезпечило максимальний рівень коефіцієнта потужності, і, як наслідок, стабільний у часі режим роботи при максимальному значенні ККД.

Практичне значення одержаних результатів. У роботі отримані такі практичні результати:

1. Розроблена структурно-алгоритмічна організація перетворювача кінетичної енергії у електричну з покращеними метрологічними характеристиками.
2. Розроблений програмний засіб для контролю електричних параметрів на виході вітрогенератора.
3. Представлено типова крива потужності ВЕУ на основі експериментальних даних.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати, що представлені в магістерській роботі, одержані автором самостійно.

Апробація результатів. Результати роботи обговорювалися на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ.

Обсяг і структура магістерської кваліфікаційної роботи. Робота складеться зі вступу, 6 розділів, основних висновків по роботі, переліку використаних джерел (31 Бібліографічних посилань, 3 сторінок), та додатків (15 сторінок). Загальний обсяг роботи в якому викладено основний зміст складає 101 сторінка і містить рисунків 50, таблиць 9. Повний обсяг магістерської кваліфікаційної роботи 121 сторінка.

1 ОСОБЛИВОСТІ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Огляд існуючих вітротурбін. Основні терміни та поняття

Для розробки комбінованої системи електропостачання необхідно спочатку дослідити існуючі вітротурбіни, так як комбінована енергосистема передбачає розробку окремо вітрогенератора і систему додаткових пристроїв. У цьому розділі розглянемо огляд існуючих вітротурбін. Всі відомі на сьогоднішній день вітрогенератори базуються на загальному принципі та використовуються з метою перетворення природної енергії вітру в механічну енергію. Далі ця енергія перетворюється в корисну електричну енергію. За типом конструювання вітрогенератори поділяють на горизонтально-осьові вітротурбіни і вертикально-осьові.

Перші вітротурбіни. Найстарішим видом вітротурбіни горизонтально-осьового типу є так званий перський вітряк (рисунок 1.1). Даний вид був вперше описаний близько 900-х років і розглядається з точки зору сучасної системи класифікації як вітряк з вертикальним віссю обертання.

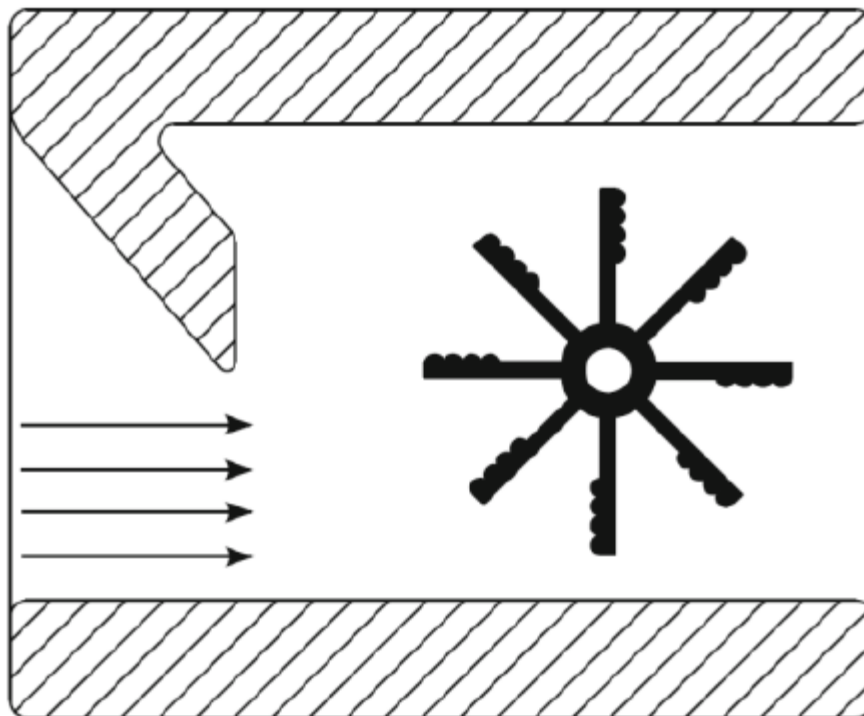


Рисунок 1.1 - Персидський млин

Трохи пізніше в 1279р. з'явився голландський вітряк (рисунок 1.2) Вісь обертання змінилася з вертикальної на горизонтальну.

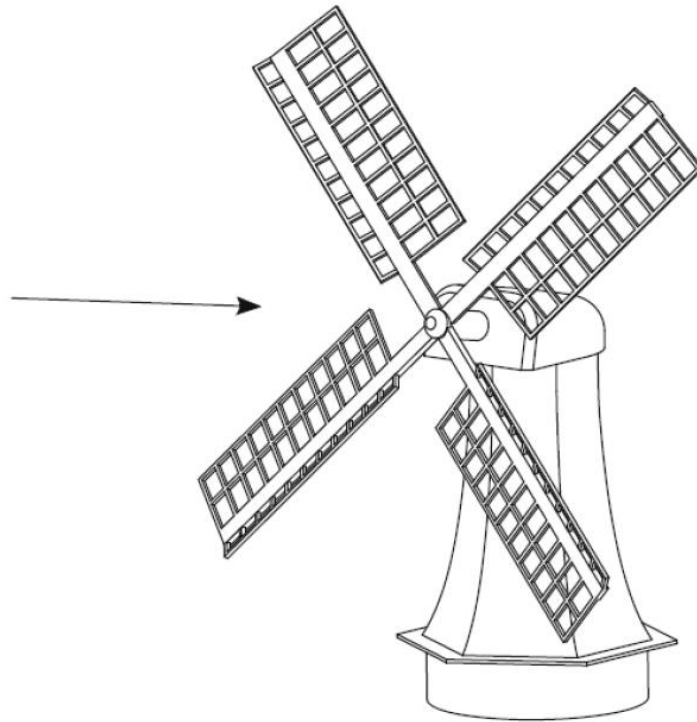


Рисунок 1.2 - Голландська віротурбіна

Нестандартні горизонтально-осьові віротурбіни. Розглянемо основні характеристики нестандартної віротурбіни. У такого типу конструкції відсутня горизонтальна вісь обертання. Також може бути кількість лопатей, відмінних від трьох (один, два або більше трьох). У даному рішенні сили опору грають важливу роль. В своїй будові пристрій має ротор з підвітряного боку, де ведеться робота з постійною швидкістю. Виходячи з даних характеристик, можна отримати велику кількість різних рішень. Але лише деякі з них стали досить популярними у практичному використанні.

Невеликі турбіни. Невеликі вітрові турбіни – це турбіни з площею охоплення ротора не більше 200 м². Тому діаметр обмежується 16 м. Однак більшість з них мають набагато менші діаметри. Перший метод передбачає ту ж роботу, що і для сучасної турбіни, і неекономічний в більшості випадків. Як приклад розглянемо вітрогенератор, що показаний на рис.1.3. Він має

наступні параметри: необхідна маса лопаті для простої моделі показана на рис.1.4. Маса навантаження повинна бути більше 300 кг.

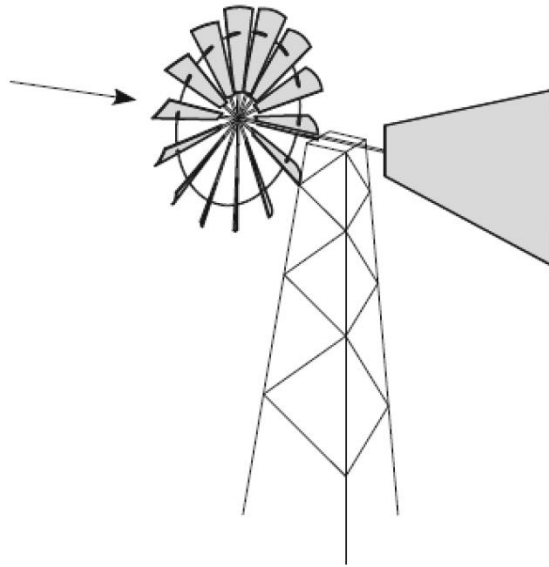


Рисунок 1.3 - Досліджуваний вітрогенератор

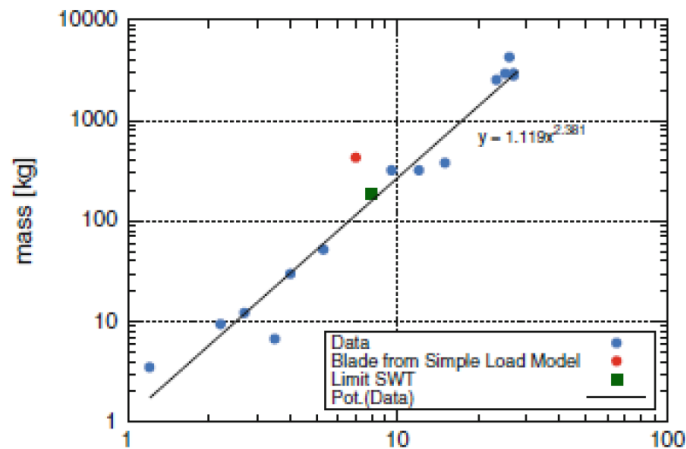


Рисунок 1.4 - Необхідна маса лопатей

Вертикальні вітрові турбіни. Як пояснювалося раніше, вітряні млини з вертикальною віссю обертання і подальша вертикальна вісь вітряних турбін, мабуть, з'явилися раніше, ніж пристрої з горизонтальною віссю обертання. Здебільшого через винаходи Дарріуса і Савонія інтерес до вертикальним типів турбін був відновлений на початку двадцятого століття. На рис. 1.5

наведено вигляд вітрогенератора Совоніуса. Різні модернізації ротора Дар'є показані на рис. 1.6.



Рисунок 1.5 - Вітрогенератор Совоніуса

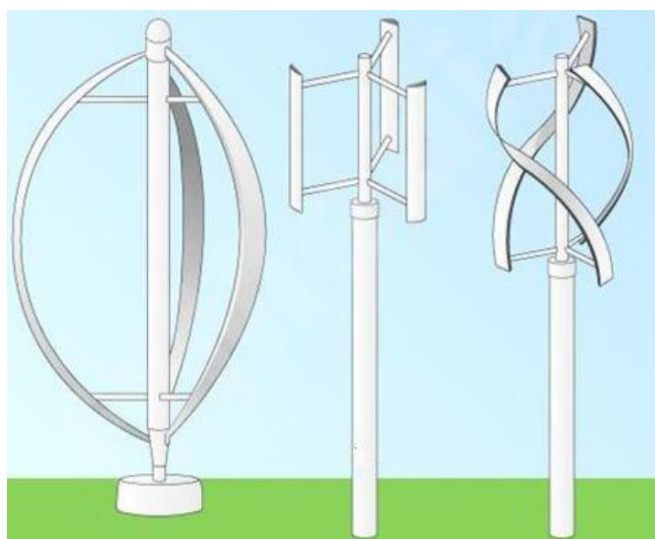


Рисунок 1.6 - Вітрогенератор Дар'є (вітрогенератор Дар'є, вітрогенератор Дар'є Н типу, гвинтовий вітрогенератор Дар'є)

Ротор Дар'є. Перша аеродинамічна вітротурбіна з вертикальною віссю була розроблена Жоржем Дар'є у Франції і вперше запатентована в 1927 році.

У такій конструкції швидкості обертання його лопатей кратні швидкості вітру. Таким чином, чим більше швидкість обертання, тим сильніше вітер [14].

Найбільш вивчені аеродинамічні теорії для турбіни Дар'є можна в цілому класифікувати за трьома категоріями: моментна модель, однопоточна модель і багатопоточна модель.

Моментна модель. Моментні моделі були застосовані в аеродинамічному обчисленні вертикально осьового вітрогенератора ротора Дар'є з давніх часів. В даний час використовуються три моделі імпульсів, але всі вони засновані на одній і тій же думці – обчислювати швидкості потоку через турбіну, прирівнюючи потокову аеродинамічну силу на лопатях зі зміною швидкості руху повітря на основі моделей імпульсів [15].

Модель з одним потоком. Темплін спочатку запропонував одну модель потокового течії і використовував її в аналізі та прогнозуванні характеристик віротурбіни. Модель потоку – це перший і найпростіший метод прогнозування.

У даній моделі передбачається, що ротор укладений в один потік. Хоча він може бути використаний для прогнозування загальної продуктивності малонавантаженої вітряної турбіни, ця модель завжди пророкує більш високу потужність, ніж експериментальні результати. Тим часом, вона не може використовуватися для прогнозування розподілу швидкості вітру по ротору.

Багаторівнева модель. З огляду на недоліки моделі з однопотокові трубки, Вілсон і Ліссаман представили модель множинного потоку в 1974 році. У цій моделі обсяг прокату ротора був розділений на ряд сусідніх і аеродинамічно незалежних паралельних трубок, як показано на рис.1.8. В кожній потоковій трубці застосований лезовий елемент і теорія імпульсів. Потік вважався нев'язким і нестисливим для розрахунку наведеної швидкості. У 1975 році Стрікленд запропонував іншу поліпшену модель з декількома потоками, в якій аеродинамічний опір було включено в розрахунок і яку можна було використовувати для розумного прогнозування загальної продуктивності легко навантажувати ротора. Основна відмінність між моделями Уїлсона і Стрікленд полягає в тому, що Стрікленд розглядав

вплив сил опору, в той час як Вілсон обчислював швидкість, використовуючи тільки теоретичну підйому силу. У 1976 році Муракамі розглянув вплив геометрії аеродинамічного профілю, конструкцію несучої конструкції, співвідношення сторін леза, міцність леза і інтерференцію леза в моделі множинного потоку. Шарп включив вплив числа Рейнольдса в розрахунок. Рід і Шарп змінили модель множинного потоку.

Класичні горизонтально-осьові вітрогенератори. Далі необхідно розглянути горизонтально-осьові вітрогенератори. Їх можливо класифікувати за кількістю лопатей. Бувають одно -, двох -, трьох- і багатолопатеві горизонтально-осьові вітрогенератори. На рис.1.9 показаний класичний горизонтально-осьовий вітрогенератор. Основним недоліком такої установки є необхідність направляти ротор на повітряний потік. Основною перевагою горизонтально-осьового вітроприймача є його висока продуктивність роботи. Якщо їх порівняти з вертикально-осьовими вітрогенераторами, то такі установки мають більш низькі габаритні параметри, але потребують розміщенню високо над землею [16].



Рисунок 1.7 - Вертикально-осьовий вітрогенератор

Однолопатевий вітрогенератори. Такі установки мають протипагу одній лопаті вітрогенератора, який служить для балансування механізму. До

переваг таких роторів можна віднести більш високу швидкість обертання, отже, можливо використовувати електрогенератори, які розраховані на високі обороти обертання. Також така установка має невелику вартість на її виробництво за рахунок застосування тільки однієї лопаті. Промисловістю випускаються однолопатні вітрогенератори потужністю до 10 кВт (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Однолопатевий вітрогенератор

Дволопатевий вітрогенератори. Такі вітроприймачі за своїми характеристиками схожі з однолопатними вітрогенераторами. Також до переваг таких установок можна віднести врівноваженість ротора при будь-якому положенні лопатей, так як такий механізм має парну кількість лопатей. Типовий представник дволопатевих вітрогенераторів показаний на рис.1.9



Рисунок 1.9 - Дволопатевий вітрогенератор

Вертикально-осьові вітрогенератори. Існує багато різних моделей вертикально-осьових вітрогенераторів. З технологічної точки зору, вертикально-осьові вітрогенератори мають наступні переваги:

- а) вони працюють безшумно;
- б) використовують корисно вітри, що дмуть з будь-яких напрямків;
- в) вимагають менше технічного обслуговування;
- г) починають обертатися вже при швидкості вітру в 1 м/с;
- д) не вимагають спеціального місця (можна розмістити, наприклад, на даху або недалеко від будинку);
- е) не бояться ні снігу, ні дощу, не вимагають установки на дуже велику висоту (достатньо 3-5 м).

Нижче розглянемо найбільш схожі на установку, представлену в даному проекті, моделі [17].

Вітрогенератори із застосуванням ротора Дар'є. Ротор Дар'є (рисунок 1.6) - це турбіна, яка винайдена французьким винахідником Жоржем Дар'є(1888-1979), запатентована в 1927 році [3]. Працює за принципом застосування підйомної сили, ротор складається з двох злегка вигнутих, лопатей, які кріпляться на осі. При малих швидкостях вітру він має високий

коефіцієнт швидкості. Але така конструкція має низький ККД. Також має велике навантаження на щоглу, а значить, має низьку міцність. Конструкція надскладна у виготовленні.

Вітрогенератор із застосуванням ротора Оніпко. Працює при слабкому вітрі, тобто застосується в тих місцях, де дме стабільний невеликий вітер. Ротор Оніпко (рисунок 1.10) починає працювати вже при швидкості вітру від 0,1 метрів в секунду. Він не має потреби в розміщенні високо над землею, досить кілька метрів над землею. При сильних вітрах він особливо не відрізнятиметься від класичних вітрогенераторів. Неприпустимо використовувати в тих місцях, де спостерігається поривистий вітер.



Рисунок 1.10- Ротор Оніпко

Вітрогенератор Ленца. В основі дії такого вітрогенератора лежить закон електромагнітної індукції Лоренца Ленца, в якому ротор утримується завдяки магнітному полю. Також є тихохідним і практично безшумним. До недоліків такого пристрою відносять низький період використання опорних вузлів, так як присутні додаткові навантаження, це обумовлено тим, що коли ротор починає рухатися, підйомна сила змінюється на 360 градусів від кожної лопаті. Вітрогенератор Ленца показаний на рис.1.12.



Рисунок 1.12 - Вітрогенератор Ленца

Вітрогенератор із застосуванням ротора Савоніуса. Також може працювати при малих швидкостях. Володіє високим пусковий блоком моментом. До недоліків таких установок можна віднести високу вартість матеріалів при виготовленні, а також енергетична ефективність нижче, ніж у горизонтальних вітрогенераторів. Вітрогенератор Савоніуса показаний на рис.1.13.



Рисунок 1.13 - Вітрогенератор Савоніуса

Ортогональний вітрогенератор. Такі конструкції мають дві або три лопаті, що знаходяться паралельно щоглі. Ця споруда не потребує застосування будь-яких напрямних механізмів, так як працює незалежно від напрямку легковажного потоку. Це обладнання можна розташовувати на даху будинку або невисоко від землі. Ортогональний вітрогенератор показаний на рис.1.14

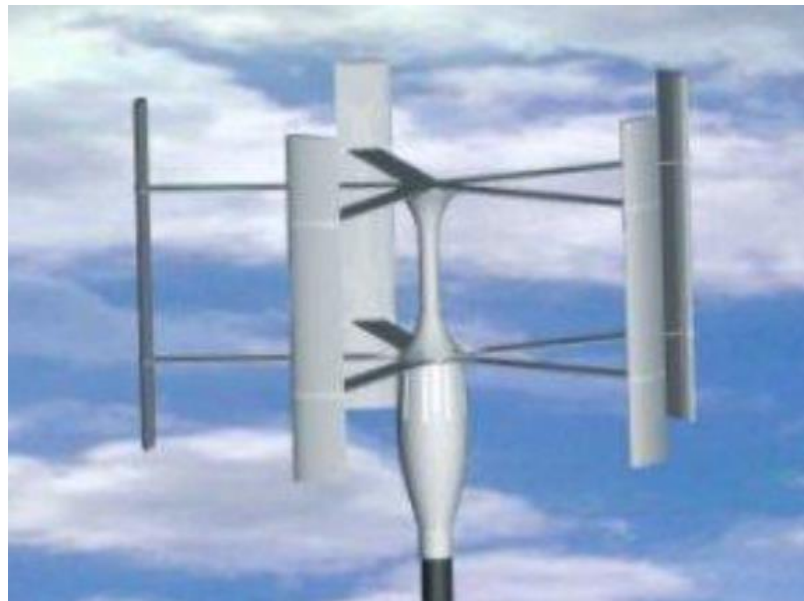


Рисунок 1.14 - Ортогональний вітрогенератор

Багатолопатевий вітрогенератор. Має два ряди обертових лопатей. 1-ий ряд лопатей знаходиться нерухомо щодо своєї осі - його завданням є захоплювати енергію вітру, стискати її зі зростанням значення швидкості і подавати на другий ряд, який обертає ротор (рисунок 1.15). Але, з огляду на, що такий генератор має досить велику кількість лопатей, він є матеріалозатратним пристроєм при виробництві.

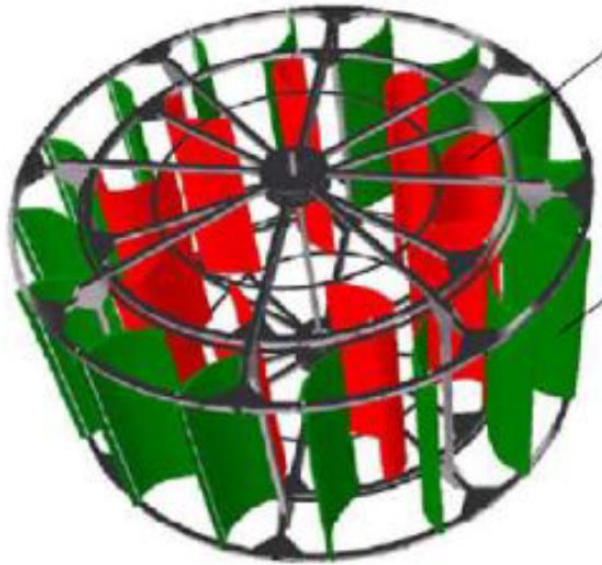


Рисунок 1.15 - Багатолопатекий вітрогенератор

Крім того вимагає велику монтажну площу при його розміщенні [4].

Отже, розвиток вітроенергетики буде стимулювати прогрес у всій електроенергетиці.

1.2 Висновок до розділу 1

У першому розділі розглянуті особливості при проектуванні вітроелектричних установок. Представлено вітер як вхідну величину вимірювального перетворювача. Визначено, що використання вітроустановок для виробництва електроенергії є найбільш ефективним способом утилізації енергії вітру. Ефективність перетворення механічної енергії в електричну в електрогенераторі становить 95%, а втрати електричної енергії при її передачі не перевищують 10%.

2 РОЗРАХУНОК НОМІНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕТВОРЮВАЧА МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІТРОВОГО ПОТОКУ У ЕЛЕКТРИЧНУ

2.1 Механічні характеристики вітротурбін

Механічна характеристика вітрової турбіни – це залежність крутного моменту вітрової турбіни від функції швидкості вітротурбіни Z . Функція Z визначається як відношення окружної швидкості вістря лопаті радіусом R до ефективною швидкості вітру V .

$$Z = \frac{\omega \cdot R}{V}. \quad (2.1)$$

Для побудови механічної характеристики вітротурбіни вихідними даними є залежність коефіцієнта потужності C_p від швидкості Z , показано на рис.3.1.

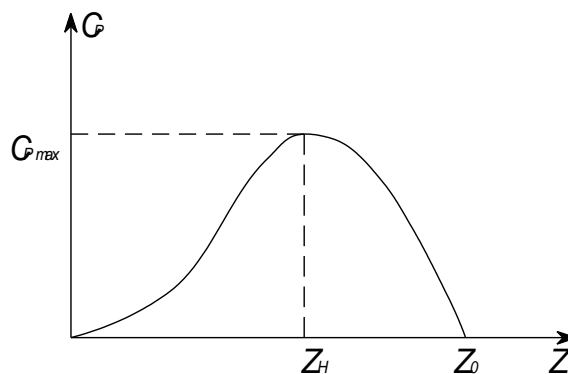


Рисунок 2.1 – Залежність $C_p = f(Z)$

Механічні характеристики, що наведені на рис. 2.1, дозволяють визначити наступні параметри:

- $M_{пуск}$ - початкове значення крутного моменту при кутовій швидкості $\omega = 0$;
- M_{max} – максимальний крутний момент при заданій швидкості вітру;
- C_{max} - відповідає режиму максимального ККД;

- ω_0 - швидкість холостого ходу вітрогенератора.

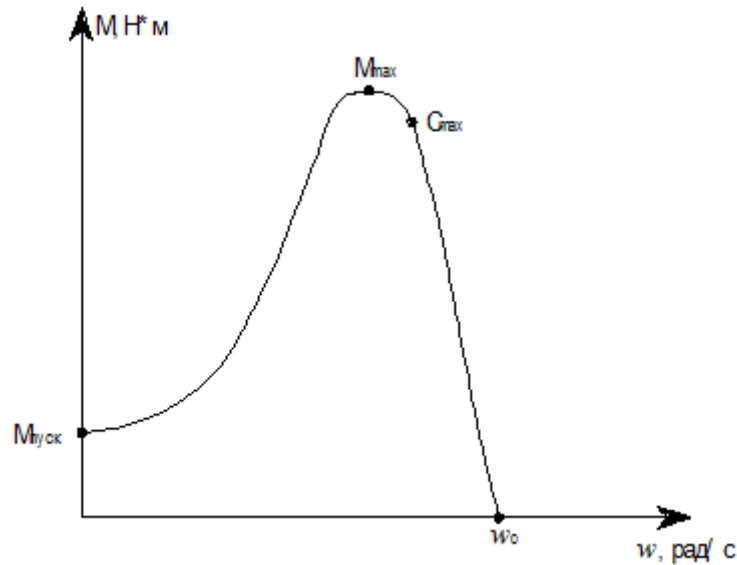


Рисунок 2.2 - Механічна характеристика вітрогенератора

В більшості вітрогенераторів значення пускового моменту не дорівнює нулю. Це означає, що коли швидкість вітру перевищує номінальну швидкість і вітрогенератор не може почати працювати самостійно. Вітрові турбіни можуть бути приведені в дію лише шляхом початкового прискорення.

Сімейство механічних властивостей вітряної турбіни з постійною геометрією вітрової турбіни описується такими виразами:

$$M_{BT} = \frac{1}{2 \cdot \omega} \cdot \rho \cdot V_B^3 \cdot A_{BT} \cdot C_P(Z_{BT}), \quad (2.2)$$

де ρ – щільність повітря, кг/м^3 ; V_B – швидкість вітрового потоку, м/с ; A_{BT} – ефективна площа, м^2 ; $C_P(Z_{BT})$ – коефіцієнт використання вітрогенератором енергії вітру (коефіцієнт потужності); $Z_{BT} = \omega_d \cdot R_{BT} / V_B$ – швидкохідність вітрогенератора.

При зміні швидкості вітру точки M_{max} і C_{max} утворюють лінію максимального крутного моменту та лінію оптимального відбору потужності вітрової турбіни.

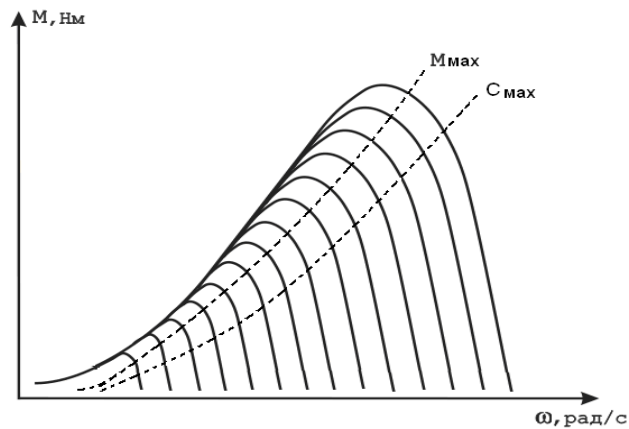


Рисунок 2.3 – Сімейство механічних характеристик вітротурбіни

Швидкість вітрогенератора є найважливішим параметром його характеристик, який залежить від трьох основних змінних: радіуса охопленого вітрогенератором кола, кутової швидкості обертання та швидкості вітру [6].

2.2 Імітація поведінки вітротурбіни

Експериментальні властивості вітрових двигунів отримують в аеродинамічних трубах, де створюються штучні повітряні потоки, або в природних умовах у вітрових лабораторіях, де вежі оснащені спеціальним обладнанням.

За допомогою інерційного методу отримують експериментальні характеристики вітродвигунів. Даний метод базується на законі інерції обертючих мас. Щоб визначити крутний момент об'єкта, кутове прискорення потрібно помножити на дію на цей об'єкт, що обертається, тобто:

$$M = I \cdot \frac{d\omega}{dt}, \quad (2.2)$$

де M – крутний момент; I – момент інерції тіла, що обертається; $\frac{d\omega}{dt}$ – кутове прискорення.

Отже, знаючи кутове прискорення в момент і момент інерції моделі, що обертається, можна визначити крутний момент. Загальна структура вітрової електростанції показана на рис.2.4.

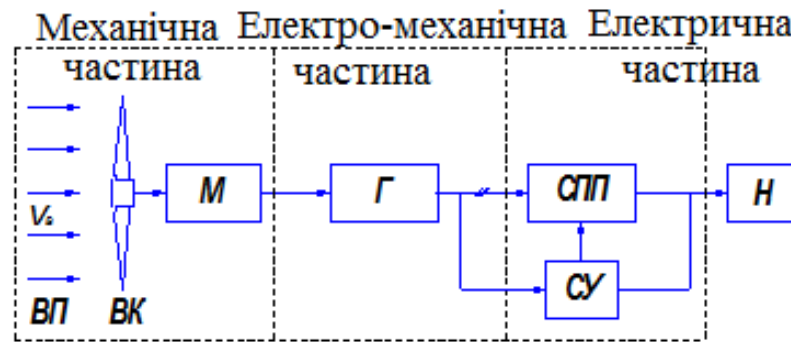


Рисунок 2.4 – Структурна схема ВЕУ

2.3 Функціонування вітроенергетичної установки

Принцип роботи вітряної турбіни такий: під дією вітру вітряк починає обертатися, що в свою чергу приводить в обертання ротор генератора. Електроенергія від генератора випрямляється і доставляється споживачам через інвертор, який перетворює постійний струм в змінний. Надлишок енергії подається на акумулятор через контролер заряду. У разі недостатньої швидкості вітру накопичений в акумуляторі заряд подається споживачам через інвертор.

В даний час розроблено різні типи вітроприймальних пристроїв, які мають таку структуру, що вони можуть обертатися, просуватися або вібрувати через асиметричну силу, створювану в потоці вітру. За напрямом осі обертання відносно напрямку вітру вітроприймальні пристрої можна розділити на такі категорії:

- мають горизонтальну вісь обертання, паралельну напрямку вітрового потоку (підходять для звичайних вітряків);

- вісь обертання [7] перпендикулярна до напрямку вітру.

2.4 Огляд структури перетворювача механічної енергії вітрового потоку у електричну

Вітроенергетика — галузь науки і техніки, що розробляє теоретичні основи, методи і засоби отримання механічної, електричної та теплової енергії за допомогою енергії вітру, визначає доцільність і масштаби використання енергії вітру в народному господарстві.

Використання енергії вітру здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв. Вітроелектростанція (ВЕС) — комплекс технічного обладнання, що перетворює кінетичну енергію вітрових потоків у будь-який інший вид енергії.

Вітрова турбіна — це двигун, який використовує кінетичну енергію вітру для генерації механічної енергії. Розрізняють вітрогенератори лопатевого типу (найбільш поширені) з коефіцієнтом використання енергії вітру до 0,48, поворотні (роторні) вітрогенератори та барабанні вітрогенератори з коефіцієнтом використання енергії не вище 0,15. До основних компонентів системи відносяться наступні елементи, без яких вітряк не може функціонувати:

- Генератор, необхідний для генерування змінного струму. Струм і напруга генератора залежить від швидкості і стабільності вітру;

- Лопаті – використовують кінетичну енергію вітру для переміщення валу генератора;

- Щогла – як правило, чим вища щогла, тим стабільніший і сильніший вітер, тим ефективніше генератор. Щогли бувають різної форми і висоти.

Список необхідних додаткових компонентів:

- Контролер – керує багатьма процесами вітрової турбіни, такими як обертання лопатей, зарядка акумулятора, функції захисту тощо. Він

перетворює змінний струм, який генерує генератор, у постійний для зарядки акумулятора;

— Акумулятори – накопичують електроенергію для використання, коли немає вітру. Вони також вирівнюють і стабілізують вихідну напругу генератора. Завдяки їм можливо отримати стабільну напругу без перебоїв навіть при нестійкому вітрі. Об'єкт живиться від батарейок;

— Анемометр і датчик напрямку вітру – відповідають за збір даних про швидкість і напрям вітру в установках середньої та великої потужності;

— AVR – Автоматична активація резервів. Автоматичне перемикання між декількома джерелами живлення з інтервалом 0,5 секунди при втраті основного живлення. Дозволяє об'єднати в одну автоматизовану систему вітрові турбіни, електромережі, дизельні генератори та інші джерела енергії. AVR не дозволяє мережі об'єктів працювати від двох різних джерел живлення одночасно; інвертор перетворює постійний струм, що зберігається в акумуляторі, у змінний, який використовується більшістю приладів.

Існує чотири види інверторів:

— Модифікована синусоїда – перетворює струм на змінний струм за напруги 220В за допомогою модифікованої синусоїди (прямокутна синусоїда). Підходить лише для обладнання, яке не чутливе до якості напруги: освітлення, опалення, зарядка обладнання тощо;

— Чиста синусоїда — перетворює струм на чисту синусоїду змінного струму з напругою 220 В. Підходить для будь-яких типів електроприладів: електродвигунів, медичного обладнання та ін.;

— Мережевий інвертор, на відміну від попереднього типу, дозволяє системі працювати без акумуляторів, але його можна використовувати лише для експорту електроенергії в загальну мережу. Зазвичай їх вартість в кілька разів вище, ніж у автономного інвертора. Іноді вони коштують дорожче, ніж усі інші частини вітрової турбіни разом узяті.

2.5 Будова промислової вітряної установки

Загальну будову вітроенергетичної установки зображено на рис. 2.5.

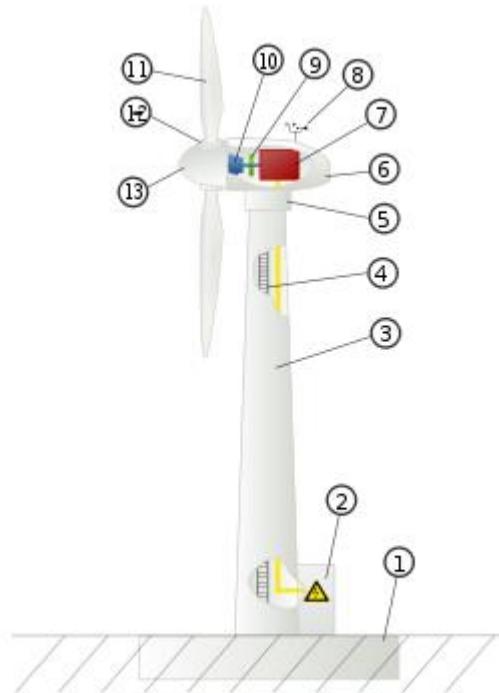


Рисунок 2.5 – Загальна схема будови вітроенергетичної установки

До основних функціональних вузлів вітроенергетичної установки відносять:

1. Фундамент
2. Силовий шафа, що включає силові контактори і ланцюги управління
3. Вежа
4. Сходи
5. Поворотний механізм
6. Гондола
7. Електричний генератор
8. Система слідкування за напрямком і швидкістю вітру (анемометр)
9. Гальмівна система
10. Трансмсія
11. Лопаті

12. Система зміни кута атаки лопаті

13. Ковпак ротора

Існує два основних типи вітрових турбін: вертикальна вісь обертання і горизонтальна вісь. Турбіни з вертикальною віссю працюють при низьких швидкостях вітру, але з низьким ККД. Тому вертикально-осьові системи зустрічаються дуже рідко і зазвичай використовуються в домашніх системах.

Вітчизняна вітряна промисловість активно розвивається. Тепер можливо придбати вітряну турбіну за незначну ціну та забезпечити свій приватний будинок роками енергонезалежності. Як правило, для живлення невеликого будинку достатньо агрегату номінальною потужністю 1 кВт при швидкості вітру 9 м/с.

2.6 Висновок до розділу 2

У другому розділі розглянуто особливості конструкції вітрової електростанції. Вітер відображається як вхідне значення вимірювального датчика. Використання вітрових турбін для виробництва електроенергії було визначено як найефективніший спосіб використання енергії вітру. ККД генератора на перетворення механічної енергії в електричну становить 95%, а втрати електричної енергії при передачі не перевищують 10%.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ПРИКЛАДІ РЕАЛЬНОГО ОБ'ЄКТА. АПАРАТНА ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

3.1 Вибір схеми забезпечення об'єкта енергією

Сучасні вітроенергетичні установки з аеродинамічними роторами мають досить високий ККД - відомий у вітроенергетиці як вітроенергоефективність. Очевидно, що ми не можемо використати всю енергію, що надходить у периметр вітряка. Відповідно до закону Беца, максимально можливий ККД енергії вітру становить 0,59, а сучасні електростанції досягають 0,5. Якщо уявити це у вигляді звичайного ККД, то він перевищить 84%. Це дуже високий ККД. Для порівняння: парові турбіни мають ККД близько 30%, газові - 34%. Вітряк потужністю 3 МВт має діаметр близько 100 метрів і встановлений на вежі заввишки 100 метрів.

Рішення для експлуатації вітрогенераторів зі споживачами. На рисунку 3.1 показано сценарій, коли споживач живиться від вітрової турбіни (з акумуляторами) і підключається до мережі.

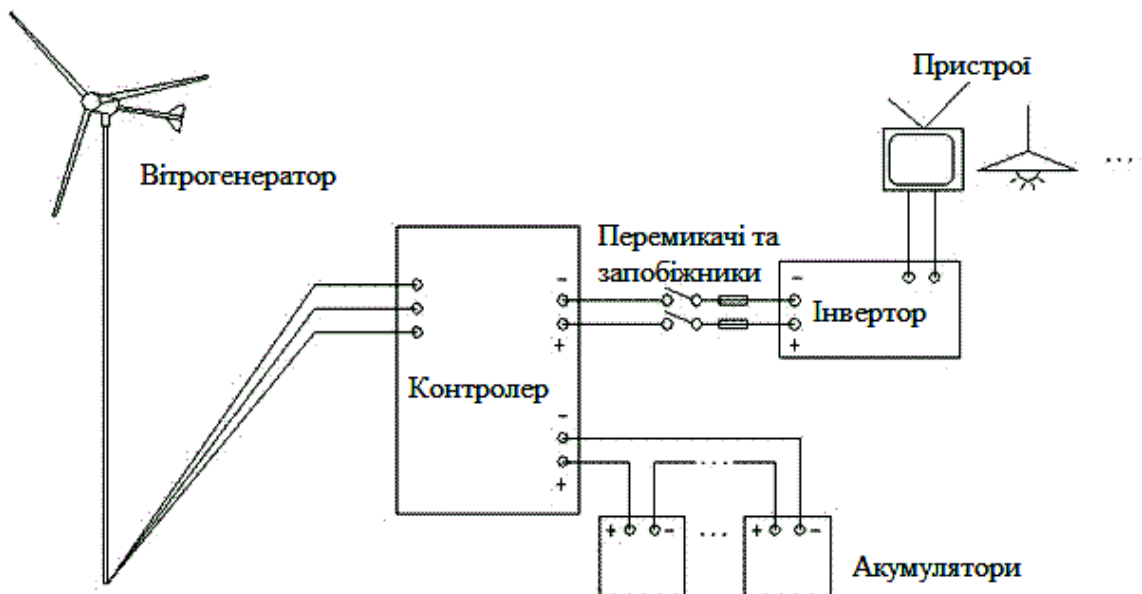


Рисунок 3.1 – Вітрогенератор (з акумуляторами) і його комутація з мережею

Дана система складається з таких основних вузлів та приладів:

1. Генератор
2. Контролер
3. Акумулятори
4. Комутаційний апарат
5. Запобіжники
6. Інвертор
7. АВР

Схема забезпечує безперебійне електропостачання споживачів у разі збою в системі централізованого електропостачання. Коли основне джерело живлення, тобто централізована мережа, вимкнено, AVR перемикається з основного джерела живлення на резервне.

Резервне живлення – це альтернативне джерело енергії – вітряна електростанція, яка перетворює енергію вітру в електроенергію. Отримана енергія подається на акумулятор через контролер. Напруга з батареї подається на інвертор, який перетворює постійну напругу 12В в напругу змінного струму 220В частотою 50Гц для забезпечення електроенергією споживачів.

Крім того, схема складається з вітряка, основним вузлом якого є вітряк. Структурна схема 3-лопатевого вітряка показана на малюнку 3.2, де L - довжина лопаті, R - радіус кола, D – площа вітряка.

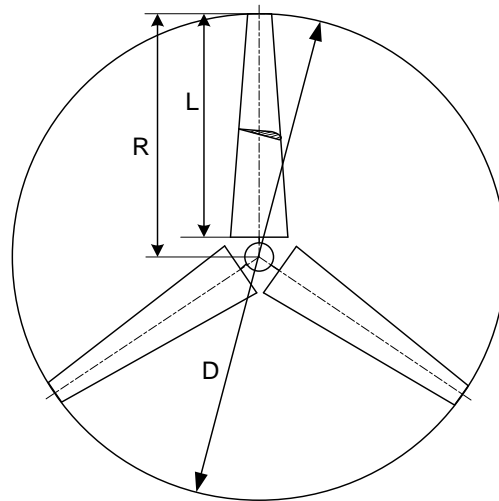


Рисунок 3.2 – Схема вітроколеса

Розрізняють одно-, дво-, три- та багатостулкові (лопатеві) вітряки.

3.2 Загальна схема енергозабезпечення промислового об'єкта

Як вже зазначалося вище, автономна енергоустановка складається з вітроелектростанції та дизельного генератора.

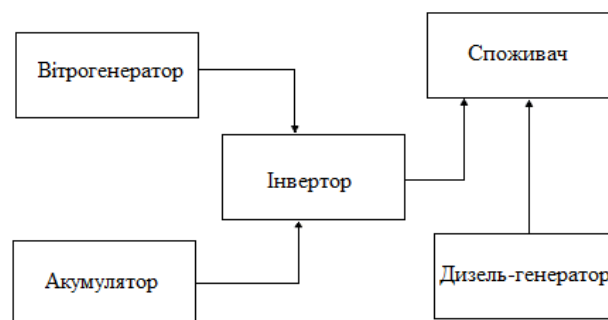


Рисунок 3.1 – Схема електропостачання

Схема живлення на рисунку 3.1 працює за наступним алгоритмом: коли вітрова електростанція виробляє достатньо енергії, струм від вітрової електростанції подається на навантаження через інвертор; для живлення навантаження; якщо виробництво енергії вітроелектростанції недостатньо, а

потужності батареї недостатньо для забезпечення навантаження, можна використовувати дизель-генератор.

3.3 Обґрунтування вибору обладнання для комплектації ВЕУ

Перш ніж приступати до проектування автономної електростанції, необхідно заздалегідь визначити характер і потужність навантажень, які будуть використовуватися. Для цього використаємо розроблену програму.[4] Для розрахунку було вирішено обрати м.Вінницю із середньорічною швидкістю вітру 5,2-6 м/с.

Таблиця 3.1 - Навантаження господарства

Найменування обладнання	Кількість, шт	Потужність, Вт	Час роботи, год	Період часу	Споживання за місяць, кВт*ч
електролампа	15	60	4	день	108
телевізор	4	60	6	день	43.2
відеоплеєр	1	10	6	тиждень	0.23
комп'ютер	1	150	4	день	18
принтер	1	20	1	неделя	0.009
холодильник	1	150	8	день	36
пральна машина	1	600	1	тиждень	2.58
праска	4	600	3	тиждень	30.96
електродриль	1	500	2	тиждень	4.3
електронасос	1	400	2	день	24
Сумарне електроспоживання в місяць					285.5

За допомогою додатку ми вибираємо встановлену потужність ВЕС: середньорічна швидкість вітру – 5,2 м/с; місячне споживання кВт/год – 285,5; необхідна потужність вітрогенератора – 3 кВт. Однак, оскільки в майбутньому навантаження може зрости, в проєкті необхідно передбачити вітрові турбіни максимальною потужністю 5 кВт. Мабуть, найважливішою частиною, яка визначає загальну ефективність вітрової турбіни, є вітрогенератор. Для цілей даної магістерської роботи було вирішено вибрати

ВЕУ Буктукова «Тор» потужністю 5 кВт. Перевагою такого вітрогенератора є те, що він має широкий діапазон робочих швидкостей вітру від 2 до 60 м/с і не потребує системи направлення вітру. Середня тривалість робочого часу на рік становить 270 днів. Крім того, важливою перевагою є нижча ціна в порівнянні з аналогічними системами.

Перевагою генератора є те, що він може досягати своєї номінальної потужності на низькій швидкості (300 об/хв), що особливо важливо в умовах українського клімату, де переважно низька швидкість вітру. Для завдань регулювання потужності, з одного боку, можна використовувати недорогі контролери, так звані програмовані реле. Але недолік цього типу контролера полягає в тому, що він не може бути підключений до людино-машинного інтерфейсу. Тому варіант контролера ПЛК VIPA 200 В із центральним процесором CPU 312 є кращим. Дизель-генератор AD4-230VM1 має низьку витрату палива (0,39 л/кВт*год) і нижчу ціну порівняно з аналогічними продуктами, що особливо важливо при обмеженому бюджеті. Перевагою акумуляторів ТНЖ 250 є тривалий термін служби і відносно невисока ціна. Інвертор DR1512E розрахований на вхідну напругу 12 В.

3.4 Розробка програмного забезпечення управління системою енергопостачання господарства

У будинку є автономна система енергопостачання, яка складається з вітряних електростанцій та дизель-генераторів. Вітрова електростанція забезпечує будинок електроенергією. Ми реалізуємо наступний алгоритм за допомогою ПЛК:

- Якщо вітрова електростанція виробляє 220В змінного струму (визначається вольтметром), автоматично перемикається будинок на живлення вітрової електростанції. В іншому випадку енергія, вироблена вітровою електростанцією, використовується для зарядки акумуляторів;

- Система автоматично перемикає будинок з вітроелектростанції на батарею, коли ємність батареї досягає більше 95% і вітрова електростанція не має номінальної вихідної напруги;

- Коли заряд батареї нижче 35%, система автоматично перемикає будинок на живлення від дизельного генератора або вітряної електростанції, якщо вітряна електростанція виробляє потрібну напругу;

- при швидкості вітру понад 30 м/с (визначається анемометром) автоматично відключати вітроелектростанцію від системи;

- передбачена можливість відключення вітрової електростанції від системи з операторського пульта (за допомогою кнопки на операторському пульті);

- Відображення даних на панелі керування про швидкість вітру, заряд акумулятора, вироблення енергії ВЕС, швидкість установки, напрям вітру;

Таблиця символів (табл. 3.2) представляє імена та адреси символів в області пам'яті ПЛК, з якої надсилаються значення датчиків, а також керуючі та контрольовані компоненти (кнопки керування, двигуни тощо). Програмне забезпечення реалізовано на мові Step 7 [2] у середовищі Simatic Manager. Програма керування працює, зчитуючи дані з ряду датчиків (наведених у таблиці 3.2).

Таблиця 3.2 - Таблиця символів

	Назва	Адреса	Тип	Опис
1	Д1	MD26	Real	датчик напрямку вітру в градусах
2	Д2	MD34	Real	швидкість установки в об/хв
3	Anemometer	MD42	Real	швидкість вітру в м/с
4	High velocity	Q 0.2	Bool	сигналізація ураганної швидкості вітру

5	Reset High	I 0.0	Bool	скидання сигналізації ураганної швидкості вітру
6	Diesel generator	Q 0.0	Bool	перемикання на живлення від дизельного генератора
7	Wind Power	Q 0.1	Bool	перемикання на живлення від вітроелектростанції
8	Volt	MD46	Real	напруга на виході вітроелектростанції
9	Disconnect	I 0.1	Bool	кнопка від'єднання вітроелектростанції від системи
10	Accumulator	Q 0.3	Bool	перемикання на живлення від акумуляторів
11	AccumulationDegree	MD50	Real	рівень заряду акумуляторів
12	Power off	I 0.2	Bool	відключення системи управління

Ця таблиця завершує алгоритм програми управління енергозабезпеченням ферми. Контрольний перелік плану управління наведено в Додатку Б.

3.5 Проектування системи моніторингу роботи автономної енергоустановки

Як вже було сказано вище, електростанції проектуються таким чином, щоб мінімізувати участь людини в їх роботі. Але, незважаючи на це, залишати систему без будь-якого контролю не можна. Для вирішення цієї проблеми було вирішено реалізувати систему SCADA у гнучкому середовищі WinCC. Вибір зупинився на цій програмі, оскільки вона

зарекомендувала себе протягом багатьох років як надійний і простий у вивченні та розумінні продукт. Ці якості тим більше важливі, що в більшості випадків на фермах можуть працювати і жити люди без спеціальної технічної освіти. Опис функцій системи. Коли вітер діє на турбіну, турбіна приводить в обертання ротор генератора. Електроенергія, вироблена генератором, подається на випрямляч, від випрямляча на акумулятор або на інвертор. Від інвертора до споживача. За відсутності вітру або недостатньої швидкості вітру споживачі можуть отримувати електроенергію від акумулятора. Однак ємність батареї обмежена. Коли заряд батареї вичерпаний, а вітер відсутній або його недостатньо, генератор на рідкому паливі можна вмикати.

Основні фактори, що впливають на роботу ВЕС:

- Швидкість вітру, середня швидкість вітру за розрахунковий період часу (день, місяць, рік тощо) є, мабуть, одним із найважливіших факторів, що характеризують територію, де розташована вітрова електростанція. Крім того, у разі ураганної швидкості вітру вітрові турбіни повинні перейти в положення лопатей і припинити вироблення електроенергії. Цей захід призначений для забезпечення безпеки персоналу та зниження ризику пошкодження обладнання;

- Напрямок вітру, дані про напрям вітру також характеризують територію, де проводилися вимірювання. Вони необхідні для складання вітрових карт досліджуваної території;

- Періоди затишшя, які часто виникають в тій чи іншій місцевості, викликають необхідність резервної системи енергопостачання. Щоб правильно спроектувати систему резервного живлення (в даному випадку це батарея і генератор на рідкому паливі), необхідно знати, як часто і як довго будуть відбуватися перебої. Розробка моніторингових завдань.

Система контролю та моніторингу для автономних електростанцій повинна відповідати наступним вимогам:

- використовувати програму WinCC flexible як середовище виконання для цього завдання;

- У системі відображаються та архівуються дані про наступні параметри: швидкість вітру, вироблення електроенергії, швидкість установки, рівень заряду акумулятора;

- Попереджувальний сигнал, якщо значення ураганного вітру (в даному випадку понад 30 м/с) неприйнятні для нормальної роботи вітрогенератора.

Реалізація системи моніторингу в гнучкому середовищі WinCC. Було вирішено реалізувати систему моніторингу без опції спеціального обладнання, яка була розроблена відповідно до функціонального призначення окремих компонентів системи.

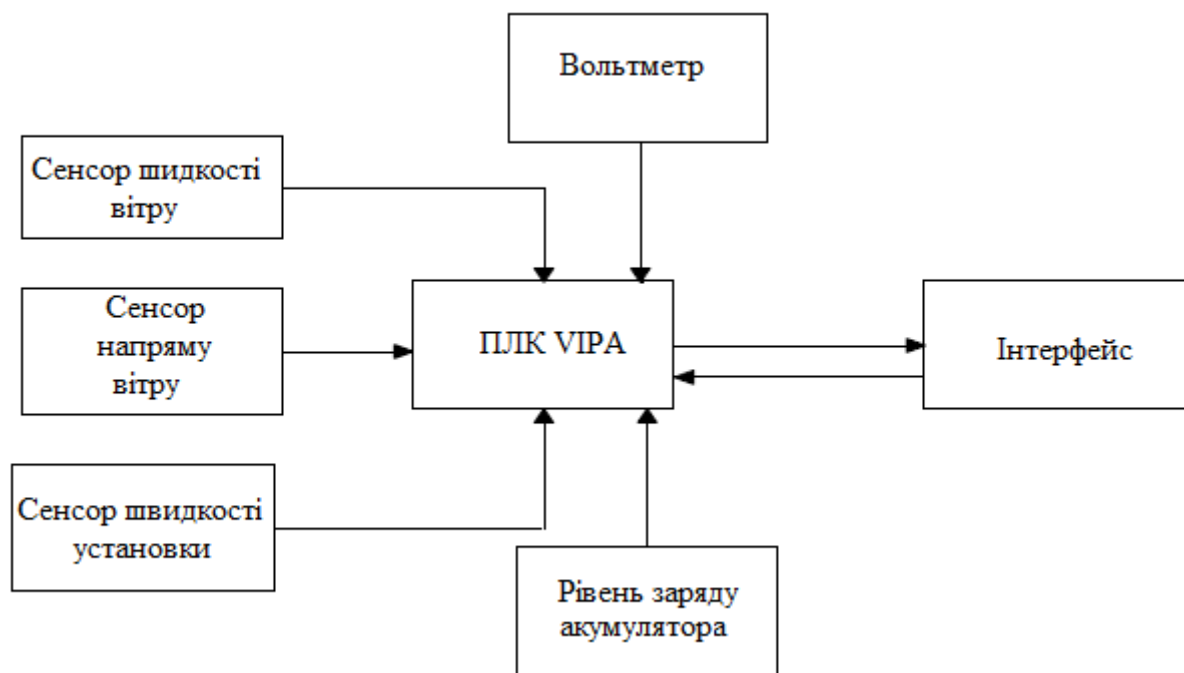


Рисунок 3.2 - Функціональна схема системи моніторингу

3.6 Апаратне та програмне забезпечення. реалізація на мові LAD

Теоретичні відомості про програмовані логічні контролери VIPA. Програмований логічний контролер (ПЛК) або ПЛК — цифровий комп'ютер, призначений для автоматизації технологічних процесів. На відміну від

комп'ютерів загального призначення, ПЛК має вдосконалені пристрої введення та виведення сигналів датчиків і механізми виконання, придатний для тривалої роботи без серйозного обслуговування та експлуатації в жорстких умовах навколишнього середовища [7]. Як правило, ПЛК не мають розроблених інтерфейсних пристроїв, таких як клавіатури та дисплеї, встановлені в шафі, а їх програмування, діагностику та обслуговування виконує програміст - спеціальний пристрій, підключений для цієї мети, або пристрій на базі ПК зі спеціальним програмним забезпеченням, і може поставлятися зі спеціальною інтерфейсною платою. У системі управління процесом ПЛК взаємодіє з системою інтерфейсу людина-машина: панеллю оператора або робочим місцем оператора на базі ПК. Центральне підключення датчиків і виконавчих механізмів до ПЛК: модулі вводу/виводу встановлюються в «рейку» ПЛК і підключаються до датчиків і виконавчих механізмів через окремі провідники або, коли датчики і виконавчі механізми підключені віддалено, за допомогою розподілених периферійних пристроїв від ПЛК Дані підключаються до ПЛК через промислову мережу. ПЛК є пристроями реального часу. У порівнянні з:

- мікроконтролерами (однокристальними мікрокомп'ютерами), мікросхемами, що використовуються для керування електронним обладнанням, сферою застосування ПЛК є, як правило, процес автоматизації промислового виробництва;

- комп'ютери, ПЛК орієнтовані на роботу з машинами і мають «машинний» вхід і вихід розвинених сенсорних сигналів і виконавчих механізмів, на відміну від можливостей орієнтованих на людину комп'ютерів (клавіатура, миша, монітор тощо);

- Вбудовані системи – ПЛК виробляються як окремі продукти, окремо від пристроїв, якими вони керують. Перші логічні контролери були у вигляді шафи з взаємопов'язаним набором реле та контактів. Ця схема була виправлена на етапі проектування і не може бути змінена пізніше. У 1968 році з'явився перший у світі ПЛК - модульний цифровий контролер

(Modicon) з пам'яттю 4кВ. У першому ПЛК, який замінив традиційні логічні контролери, логіка підключення була запрограмована за допомогою схеми підключення LD (Ladder Logic Diagram). Пристрій має той самий принцип роботи, але реле та контакти (крім входів та виходів) є віртуальними, тобто існують у вигляді програми, що виконується ПЛК [7].

У системі управління технологічними об'єктами логічні команди мають пріоритет над цифровими операціями, що дозволяє отримати потужну систему, що працює в режимі реального часу, за рахунок відносної простоти мікроконтролера (8 або 16-розрядна шина). У сучасних ПЛК реалізація цифрових операцій настільки ж важлива, як і логічні операції. Крім того, на відміну від більшості комп'ютерних процесорів, ПЛК забезпечують доступ до окремих бітів пам'яті. Німецька компанія VIPA спеціалізується на розробці та виробництві ПЛК, сумісних з контролерами Siemens за допомогою командних систем. Заснована в 1985 році, компанія виросла з невеликої інженерної фірми до глобальної компанії з офісами в Сполучених Штатах і Китаї. Штаб-квартира VIPA та склад готової продукції знаходяться в Герцогенаурахі.

Сьогодні VIPA пропонує наступні види продукції:

- мікро ПЛК серії System 100V;
- компактний ПЛК серії System 200V;
- ПЛК серії System 300V (програмно і апаратно сумісний з S7-300 фірми Siemens);
- процесори Speed_7 (надшвидкий процесор);
- ПЛК серії System 500V (SlotPLC, для встановлення в PCI-слот розширення PC-сумісного комп'ютера);
- дистанційні пристрої введення-виведення;
- різні види операційних панелей;
- програмне забезпечення [7].

Найбільші переваги використання контролерів VIPA отримують ті підприємства, які використовують системи автоматизації на базі ПЛК

Siemens. Вони мають можливість розширювати існуючі системи та створювати нові з меншими фінансовими витратами. Інженерам, знайомим із SIMATIC S7, не потрібно багато часу, щоб вивчити нове обладнання. Контролер програмується за допомогою програм WinPLC7 (VIPA) і STEP7 (Siemens). Контролер VIPA може працювати без карти пам'яті. Його використання доцільно, коли обсяг пам'яті, вбудованої в процесорний модуль, недостатній, або для копіювання програми на інший ПЛК. Крім того, однією з важливих характеристик продуктів VIPA є підтримка відкритих інтерфейсів, які широко використовуються в промисловості. Це створює можливість підключення додаткових апаратних пристроїв і полегшує інтеграцію окремих виробничих ділянок в інформаційну мережу підприємства.

За допомогою стандартних промислових інтерфейсів, таких як Ethernet, PROFIBUS, CANopen, DeviceNet, INTERBUS тощо, можна використовувати контролери VIPA (підтримують ці інтерфейси) з пристроями інших виробників. Впровадження апаратного забезпечення вимірювання падіння тиску. Для реалізації поставленої задачі будемо використовувати ПЛК VIPA серії System 200V [30]. Модуль System 200V можна використовувати для розширення систем автоматизації на основі бази даних контролера Siemens і промислової шини PROFIBUS за допомогою єдиного інструменту розробки.

Серія System 200V побудована за модульним принципом. Це означає, що користувачі мають можливість вибрати найкращу комбінацію модулів для вирішення своїх завдань і гнучко модифікувати її в разі розширення або зміни вимог до засобів. Всі модулі введення і виведення, а також інтерфейсні модулі універсальні, тобто можуть використовуватися з будь-яким CPU цієї серії.

Програмне забезпечення. Для виконання поставлених завдань ми будемо використовувати програмний пакет WINPLC7 для конфігурації, програмування, програмного налаштування та діагностики повного спектру контролерів VIPA. WINPLC7 містить усі інструменти, необхідні для

створення проектів: конфігуратор обладнання, редактор символів, конфігуратор мережі PROFIBUS, редактор програм, симулятор контролера.

Програмне забезпечення може бути використано для вирішення широкого кола завдань автоматизації [7]. Цей пакет містить вбудовану апаратну конфігурацію - додаток для зв'язку між мікроконтролером і комп'ютером.

Алгоритм і розробка програми. Ми будемо використовувати мову програмування Statement List (STL) для написання програм у програмному пакеті WINPLC7.

Алгоритм роботи програми такий: від приладу контролю кутової швидкості вала генератора надходить змінний електричний інформаційний сигнал про склад димових газів. Цей сигнал приймає функціональний блок FC105 (аналогове значення шкали) і перетворює його в змінну типу «реальний» (MDx). MDx - відповідає значенню електричного сигналу (напруги), в діапазоні 0-5В. Далі електричний сигнал перетворюється на відповідну кутову швидкості вала генератора. Отримавши значення для певної кутової швидкості вала генератора, порівнюється з параметрами, наведеними в першій частині (табл. 1.2). Якщо кутової швидкості вала генератора знаходиться в межах допустимого, то частотний регулятор продовжить працювати на меншій швидкості в тому ж режимі. Якщо кутової швидкості вала генератора перевищує встановлену межу, на контакт, що відповідає за частоту обертання двигуна. Процес контролю та управління здійснюється в режимі реального часу. Перелік програм див. у Додатку В.

Розроблене комплексне програмне забезпечення [3] та його основні підпрограми контролю кутової швидкості вала генератора показано на рис. 3.3.

Приклад програми, що виконується на першому каналі, показаний на малюнку 3.3, коли сигнал нульової потужності подається на ПЛК для перевірки роботи алгоритму та програми. 3.3.

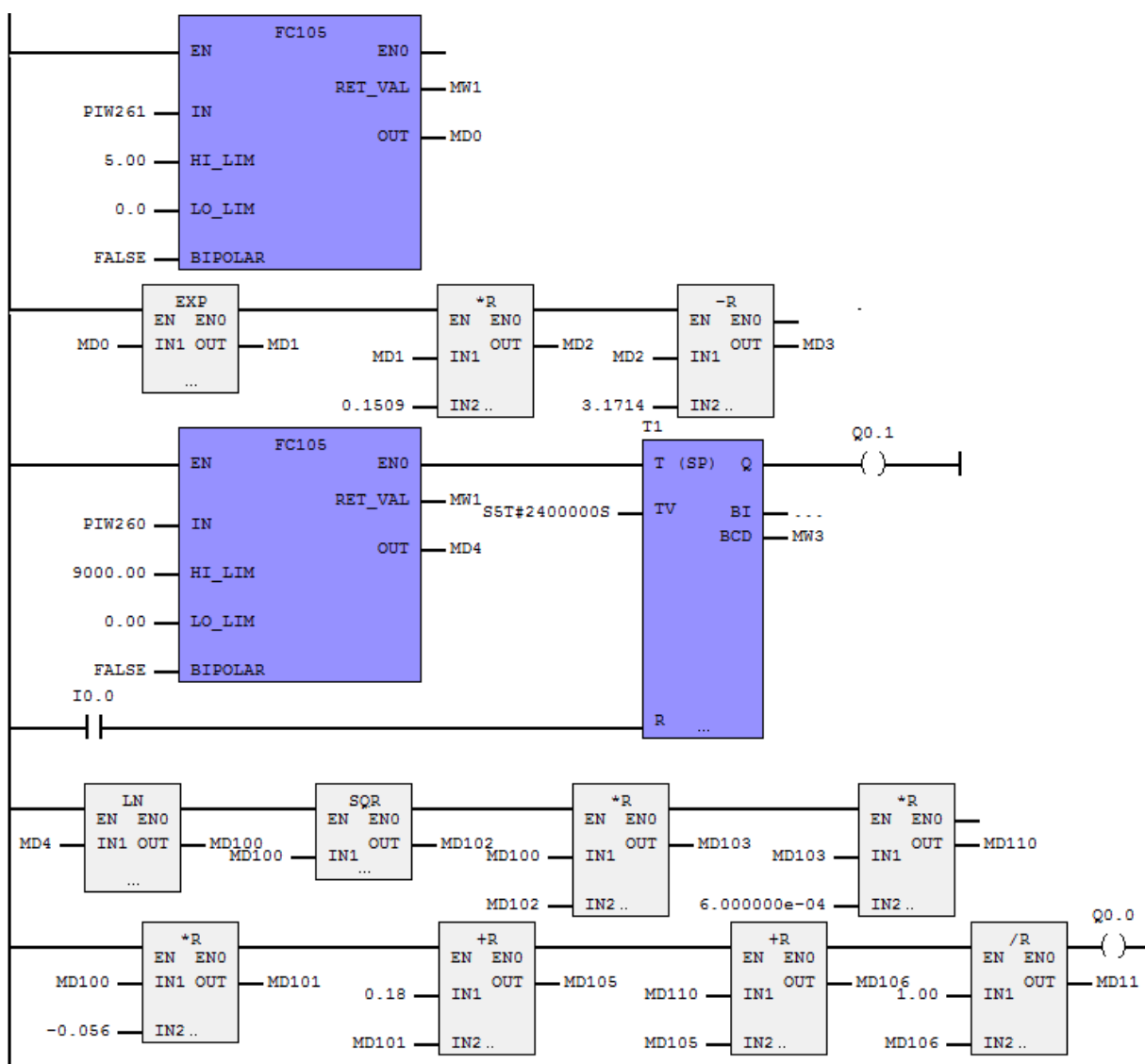


Рисунок 3.3 – Програмний комплекс контролю кутової швидкості вала генератора

STL	FBD	LAD	RLO/IN	STA/OUT	№	№	№	№	№	№
0:	•	CALL FC105	-	-						
1:	•	IN:=PIW768	0	0						
2:	•	HI_LIM:=20.00	-	-						
3:	•	LO_LIM:=0.00	-	-						
4:	•	BIPOLAR:=FALSE	-	-						
5:	•	RET_VAL:=MWO	0	0						
6:	•	OUT:=MDO	0000 0000	0000 0000						
7:	•	A BR	1	1	0	1 0000 0111				
8:	•	JNB _001	1	1	0	1 0000 0110				
9:	•	L MD 0	1	1	0	1 0000 0110				
10:	•	L MD 1	1	1	0	1 0000 0110				
11:	•	+R	1	1	0	1 0000 0110				
12:	•	T MD 2	1	1	0	1 0000 0110				
13:	•	AN OV	1	0	0	1 0000 0011				
14:	•	SAVE	1	0	0	1 0000 0011				
15:	•	CLR	0	0	0	1 0000 0000				
16:	•	_001 :A BR	1	1	0	1 0000 0111				
17:	•	JNB _002	1	1	0	1 0000 0110				
18:	•	L MD 1	1	1	0	1 0000 0110				
19:	•	L 2.718	1	1	1076753334	1 0000 0110				
20:	•	*R	1	1	0	1 0000 0110				
21:	•	T MD 3	1	1	0	1 0000 0110				
22:	•	AN OV	1	0	0	1 0000 0011				
23:	•	SAVE	1	0	0	1 0000 0011				
24:	•	CLR	0	0	0	1 0000 0000				
25:	•	_002 :A BR	1	1	0	1 0000 0111				
26:	•	JNB _003	1	1	0	1 0000 0110				
27:	•	L MD 3	1	1	0	1 0000 0110				
28:	•	L MD 4	1	1	0	1 0000 0110				
29:	•	*R	1	1	0	1 0000 0110				
30:	•	T MD 5	1	1	0	1 0000 0110				
31:	•	AN OV	1	0	0	1 0000 0011				
32:	•	SAVE	1	0	0	1 0000 0011				
33:	•	CLR	0	0	0	1 0000 0000				
34:	•	_003 :A BR	1	1	0	1 0000 0111				
35:	•	JNB _004	1	1	0	1 0000 0110				
36:	•	L MD 5	1	1	0	1 0000 0110				
37:	•	L MD 2	1	1	0	1 0000 0110				
38:	•	/R	1	1	2139095040	1 1111 0110				
39:	•	T MD 6	+INF	+INF	2139095040	1 1111 0110				
40:	•	_004 :NOP 0	1	1	2139095040	1 1111 0110				
41:										

Рисунок 3.4 – Приклад роботи програми по першому каналу

Як видно з лістингу програми LAD та результату роботи програми, мету та завдання роботи виконано.

Принцип роботи системи, що показано на рис.3.2 такий: ПЛК опитує датчик щодо швидкості вітру, напрямку вітру, швидкості встановлення та рівня заряду батареї через різні часові інтервали, визначені програмою. Отримані дані пересилаються в людино-машинний інтерфейс (LMI або панель оператора). З панелі оператора можна впливати на роботу системи (скидати сигналізацію про перевищення допустимої швидкості вітру, відключати системи моніторингу). Для нормального обміну даними між PLC

і LMI повинне бути пряме з'єднання між PLC і LMI. Для цих цілей служить інтерфейс MPI. При натисканні на кнопку «Динаміка напруги» відбувається перехід з головного вікна у вікно, де відображається зміни напруги на виході випрямляча в реальному часі. Відбувається зміна потужності, що виробляє установка.



Рисунок 3.4 – Динаміка напруги на виході випрямляча

3.7 Висновок до розділу 3

У третьому розділі розглядається закон Беца і визначається, що максимально можливий коефіцієнт використання енергії вітру становить 0,59. Для подальшого моделювання було обрано діаметр вітряка та висоту вежі. Розроблено систему вітрогенераторів (з акумуляторами) та їх комутацію з мережею та розглянуто її основні компоненти.

Представлено програмований логічний контролер компанії Siemens VIPA в Німеччині, який працює на програмному забезпеченні WinPLC7. Програма мови LAD, яка реалізує моніторинг та контроль параметрів при роботі вітрогенератора, може віртуально описати роботу програми пристрою, яка показує, що програма пристрою керування працює стабільно, що доводить, що пристрій можна реалізувати. Складено алгоритм роботи та лістинг програми на мові STL.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ОБЕРТАННЯ ЛОПАТИ ВІТРОГЕНЕРАТОРА. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІТРОВОГО ПОТОКУ У ЕЛЕКТРИЧНУ

4.1 Моделювання системи стабілізації вихідної напруги перетворювача механічної енергії вітрового потоку у електричну

Як і будь-який технологічний процес, вітрогенератор вимагає попереднього аналізу, вивчення його параметрів і можливої поведінки в різних зовнішніх умовах. Одним із найефективніших методів є виготовлення зменшеної лабораторної моделі досліджуваного технологічного процесу. Це правило стосується і вітрогенераторів. Але з появою сучасних комп'ютерів на ринку почали з'являтися різні програмні продукти, які дозволяють проводити обчислення і моделювати різні процеси без створення дорогого лабораторного обладнання. Одним з таких продуктів є програма Matlab. Matlab дозволяє моделювати різні процеси за допомогою математичних залежностей і готових блоків об'єктів. У цій роботі ми будемо використовувати готові блоки для моделювання. Опис модельованого об'єкта. У вітроенергетичних установках використовуються різні типи генераторів (синхронні, асинхронні та ін.). Одним із звичайних генераторів є синхронний генератор з обмотками збудження.

Особливістю цих генераторів є те, що для отримання номінальної потужності цих генераторів ротор повинен обертатися з номінальною швидкістю. Ця ситуація, як правило, неможлива за коливань швидкості вітру. Цей недолік можна подолати зміною напруги обмотки збудження генератора. У даній магістерській роботі було вирішено створити модель трьох вітроелектростанцій, оснащених системою стабілізації вихідної напруги. Оскільки принцип роботи однієї вітроелектростанції як технічного об'єкта

добре вивчений, доцільніше експлуатувати декілька вітрових електростанцій в одній системі енергопостачання. Проаналізувати як координувати їх між собою, яка має бути відстань між вітровими турбінами тощо.

На рис.4.1 показано три вітрогенератори, два з синхронними генераторами з постійними магнітами і один з обмотками збудження. На виході кожного генератора маємо трифазну напругу, яка випрямляється за допомогою трифазного випрямляча (за схемою зірка Ларіонова). Випрямлячі кожного генератора з'єднані послідовно. З виходу випрямляча струм подається на трифазний інвертор, який, у свою чергу, перетворює випрямлену напругу назад у змінну (частотою 50 Гц) і подає його на навантаження.

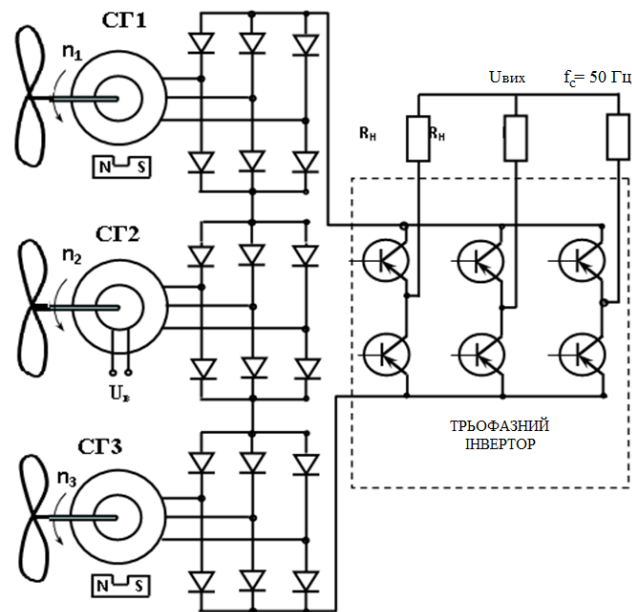


Рисунок 4.1 – Спрощена схема об'єкта, що моделюється

Послідовні випрямлячі виконують важливу практичну мету. Це пояснюється тим, що більшість вироблених у світі вітрових турбін досягають номінальної потужності при мінімальній швидкості вітру 9-10 м/с. Потужність, яку виробляє установка, залежить від швидкості вітру.

Потужність вітрового потоку P , що проходить через площу перетину S , дорівнює площі, помноженій на добуток швидкості потоку V на кінетичну енергію (ρV^2) одиниці об'єму потоку повітря:

$$P = \frac{V^3 \cdot S \cdot p}{2}, \quad (4.1)$$

Тобто, коли швидкість вітру падає на 2 м/с, генерована потужність падає у 8 разів (рівняння 3.1). Цей недолік можна дещо зменшити, з'єднавши випрямлячі послідовно, оскільки напруги від кожного випрямляча підсумовуються послідовно. Тому більшу потужність можна отримати при меншій швидкості вітру.

Об'єкти, змодельовані в цьому розділі, дещо відрізняються від наведених вище моделей. Було вирішено використовувати однофазний інвертор замість трифазного, а також додати згладжуючий LC-фільтр на виході випрямляча. Після проходження через фільтр напруга подається на однофазний інвертор. Оскільки інвертор генерує імпульси прямокутної форми, на виході інвертора додається низькочастотний LC-фільтр для перетворення прямокутної напруги в синусоїду. До навантаження RL подається синусоїдальна напруга. У моделі також передбачена система стабілізації вихідної напруги (рисунок 4.2).

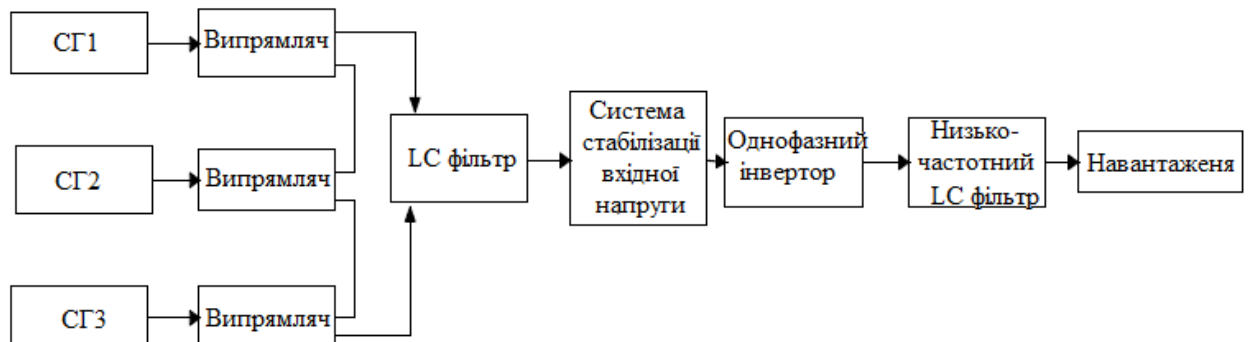


Рисунок 4.2 – Функціональна схема об'єкта, що моделюється

Оскільки описана вище модель досить велика, було вирішено показувати її частинами. Модель побудована з використанням бібліотеки SimPowerSystems.

На рис. 4.3 зображено синхронний генератор (СГ) з постійними магнітами.

Генератор може працювати і в режимі руху, для цього на w діаграмі необхідно подати сигнал позитивної полярності (в нашому випадку необхідний режим генератора, тому сигнал подається негативної полярності).

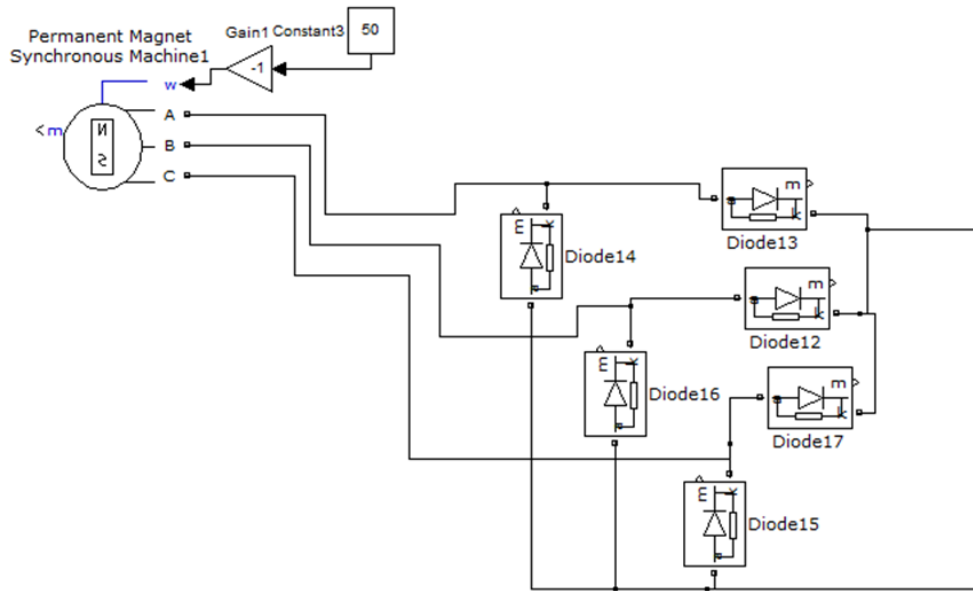


Рисунок 4.3 – Синхронний генератор з постійними магнітами

Коли змінний струм випрямляється, після випрямлення утворюється пульсуючий струм. Згладжування даних пульсації допомагає згладити LC-фільтр на рис. 4.4.

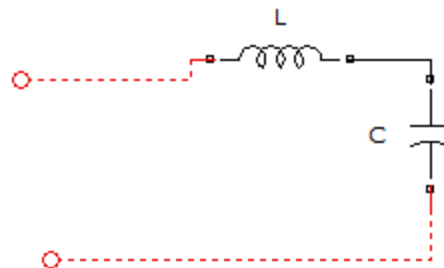


Рисунок 4.4 – Випрямляючий LC фільтр

Результати моделювання вихідної напруги з та без фільтру представлено на рис. 4.5 та 4.6.

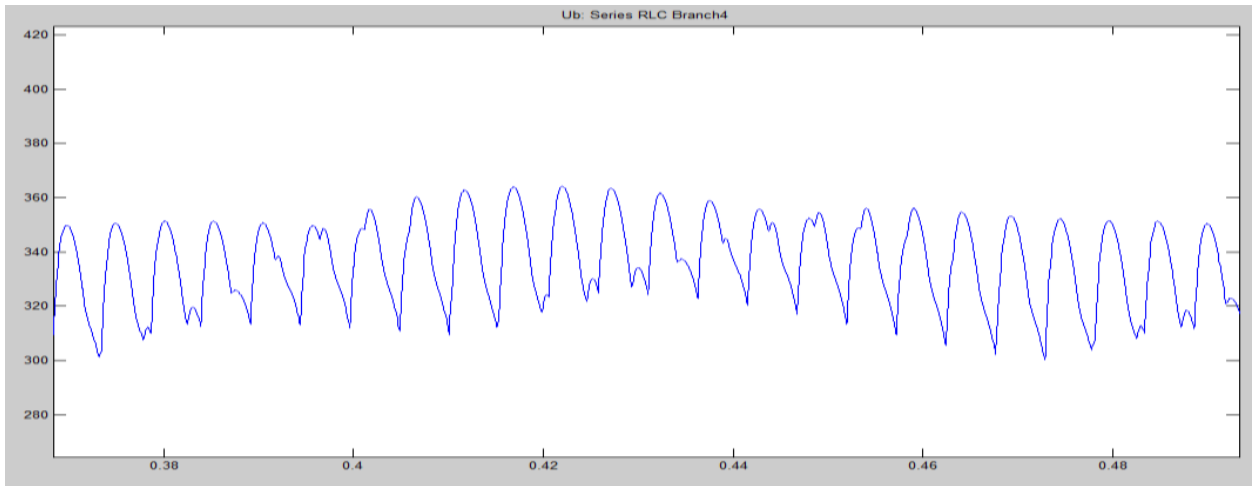


Рисунок 4.5 – Вихідна напруга без фільтру

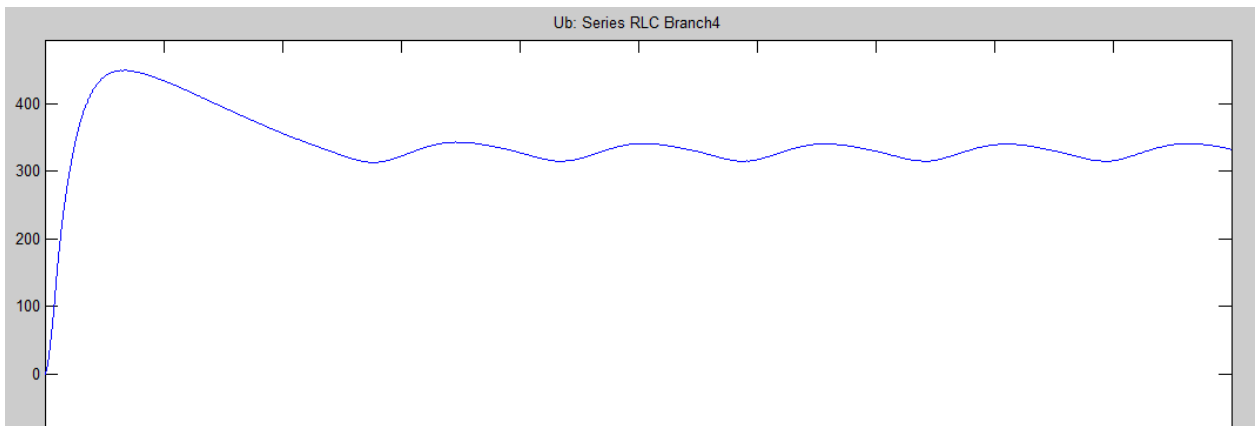


Рисунок 4.6 – Вихідна напруга з фільтром

На рисунку 4.7 зображено однофазний інвертор із системою керування. Інвертор побудований на основі транзисторів IGBT. Транзистори вмикаються за законом синусоїди за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Система управління побудована за допомогою спеціальних блоків генераторів ШІМ. У цьому блоці можна встановити бажану вихідну частоту струму, кількість плечей моста тощо.

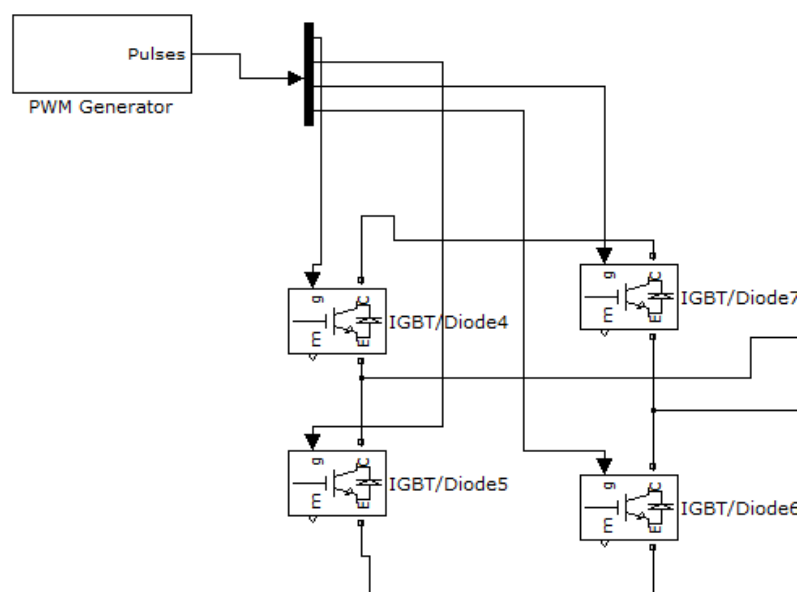


Рисунок 4.7 – Однофазний інвертор

Для нормальної роботи більшості побутових електроприладів неможливо використовувати прямокутну напругу (рисунок 4.7), тому необхідно додати на виході інвертора LC-фільтр низької частоти (рис. 4.8).

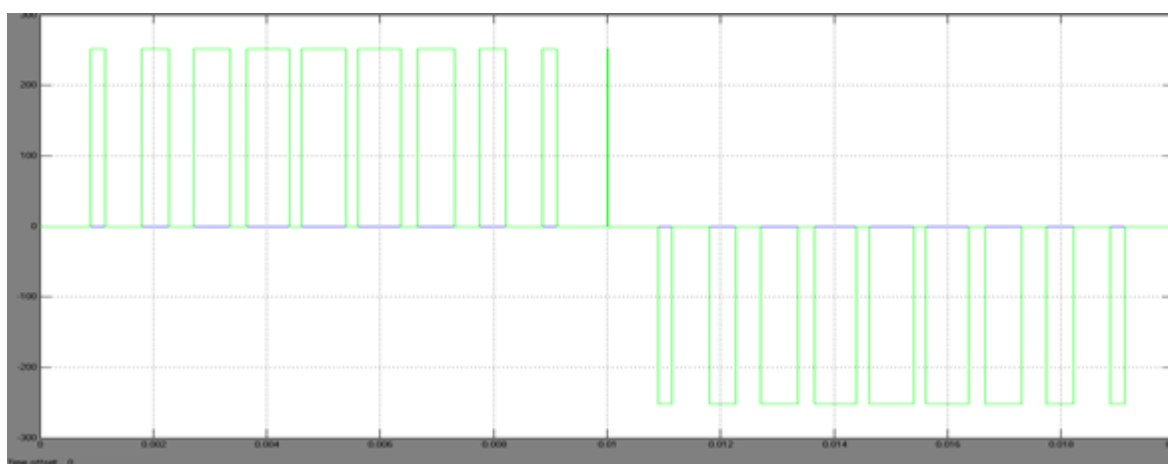


Рисунок 4.8 – Вихідна напруга після інвертора без фільтра

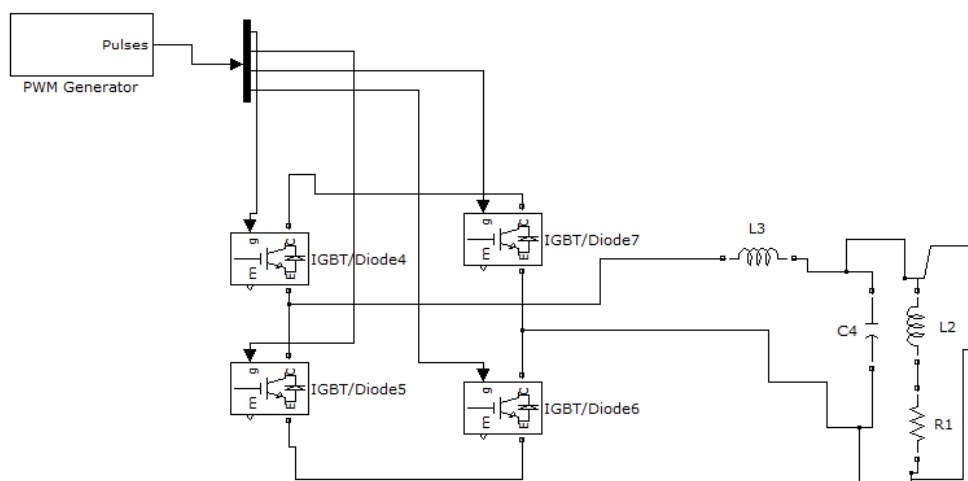


Рисунок 4.9 – Інвертор з фільтром і навантаженням

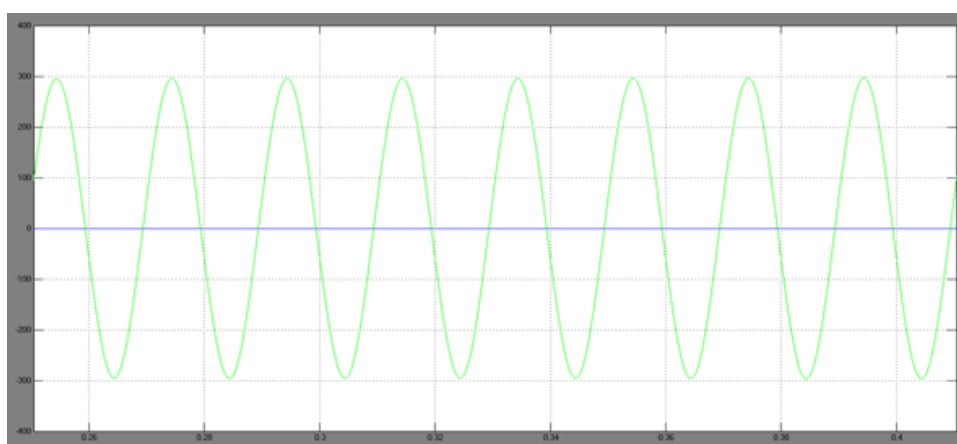


Рисунок 4.10 – Вихідна напруга після інвертора з фільтром



Рисунок 4.11 – Функціональна схема системи стабілізації вихідної напруги

На рис. 4.10 можна побачити як після фільтра з'являється синусоїдальний струм. Тут ми розглянемо компоненти, з яких складається вітроелектростанція. Тепер приступимо до моделювання системи регулювання вихідної напруги.

В Україні використовується фазна напруга 220В (дійсне значення). Його величина дорівнює 312В. Але оскільки вітер непостійний, тому вихідна напруга генератора непостійна, необхідна система для стабілізації вихідної напруги. Відповідно до нашої моделі загальна вихідна напруга випрямляча повинна бути 312 В. Загальна вихідна напруга випрямляча порівнюється з заданим значенням (312 В). Відхилення повертається в систему стабілізації. Система стабілізації стабілізує вихідну напругу шляхом зміни напруги, що подається на обмотку збудження синхронного генератора. Системи стабілізації побудовані з використанням широтно-імпульсної модуляції.

Система працює наступним чином: На вході системи надходить сигнал неузгодженості. Залежно від ступеня неузгодженості система змінює частоту імпульсів, що подаються на транзистори. У свою чергу транзистор отримує 15 В постійного струму. Імпульси напруги згладжуються LC-фільтром і подаються на обмотку збудження генератора. Ми виконаємо серію дослідів, щоб проілюструвати роботу стабільної системи. Для цього ми приймаємо: SG1 - Синхронний генератор з обмоткою збудження, SG2 - Синхронний генератор з постійним магнітом №1 і SG3 - Синхронний генератор з постійним магнітом №2, ω - Швидкість обертання ротора генератора, в одиницях радіан/секунду. Результати експериментального дослідження показані на рисунку 4.12.

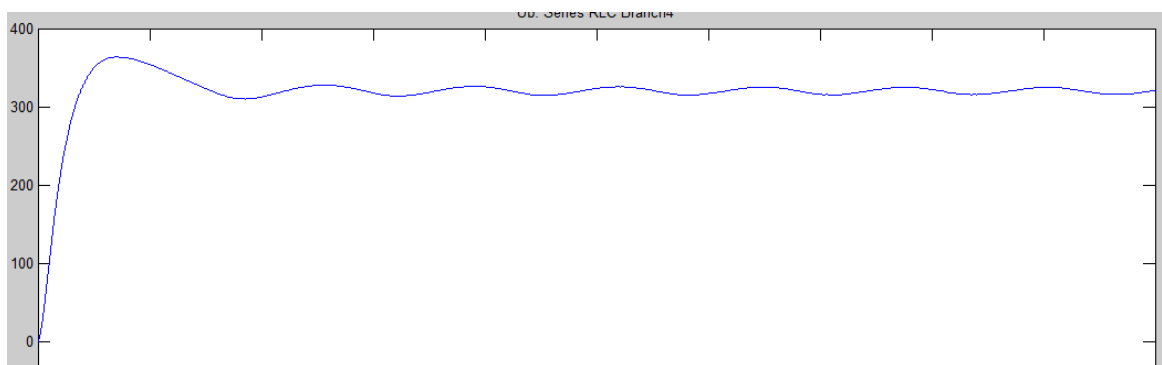


Рисунок 4.12 – Результати експериментальних досліджень

4.2 Рівняння перетворення

Рівняння передачі показує залежність між вхідними та вихідними величинами вимірювального перетворювача, що дозволяє визначити можливі відхилення (похибки) фактичного рівняння передачі від градуаційної характеристики внаслідок зміни параметрів конструкції [1]. Перерахунок швидкості обертання в первинному вимірювальному перетворювачі здійснюється за такою формулою:

$$f_x = \frac{n \cdot z}{60} \quad (4.1)$$

де f_x – частота електричних імпульсів; n – кількість обертів; z – кількість імпульсів за один повний оберт.

Для перетворення вихідного значення первинного вимірювального перетворювача ми будемо використовувати цифровий частотомір середнього значення. Оскільки його похибка квантування зменшується зі збільшенням вимірюваного значення, цей частотомір ефективний у діапазоні середніх і високих частот. Його принцип дії заснований на підрахунку кількості імпульсів невідомої частоти в межах інтервалу дискретизації, утвореного дискретизацією вимірювання часу. Кількість імпульсів невідомої частоти, підрахованих двійковим лічильником за час t_0 , визначається за формулою:

$$N_i = \int_{t_1}^{t_2} T_x dt = \frac{t_0}{T_x} = t_0 \cdot f_x, \quad (4.2)$$

де t_1 і t_2 – моменти початку і закінчення зразкового часового інтервалу.

В подільнику частоти формується зразковий часовий інтервал, що визначається виразом:

$$t_0 = k \cdot T_0 = \frac{k}{f_0}, \quad (4.3)$$

де k – коефіцієнт ділення подільника частоти; T_0 – період імпульсів зразкової частоти f_0 .

Кількість імпульсів невідомої частоти визначається за формулою:

$$N_F = k \cdot T_0 \cdot f_x = \frac{k \cdot f_x}{f_0}, \quad (4.4)$$

Отже, підставляючи рівняння 6.1 у рівняння 6.4, отримуємо рівняння перетворення каналу вимірювання швидкості обертання:

$$N_x = \frac{k \cdot n \cdot z}{60 \cdot f_0}, \quad (4.5)$$

Підставимо числові значення в рівняння перетворення, щоб отримати графічне представлення рівняння перетворення та помилки квантування (рисунок 4.13-4.14), де $k = 100000$; $n = 0 \dots 400$ об/хв; $f_0 = 100000$ Гц; $z = 1024$.

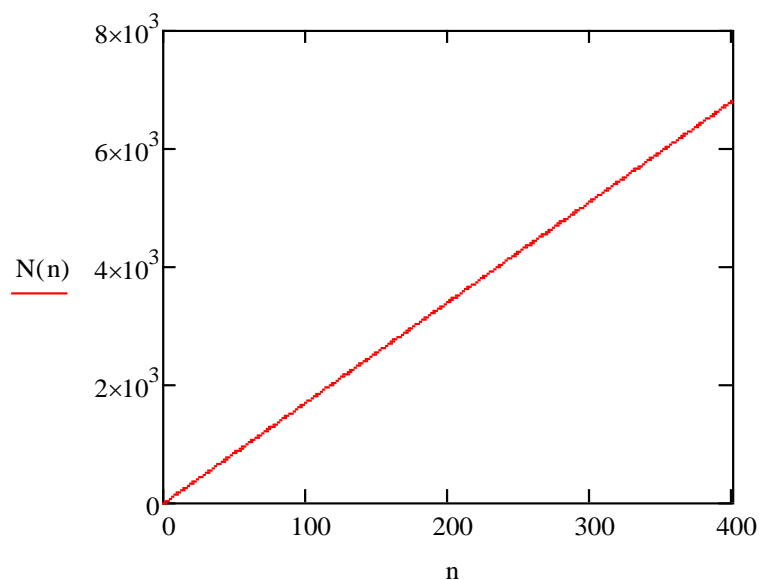


Рисунок 4.13 – Графічне представлення рівняння перетворення вимірювального каналу швидкості обертання

З отриманого рівняння перетворення можна вивести похибку квантування, яка є похибкою методу через обмежену кількість рівнів квантування h , що виникає в результаті заміни безперервних значень квантованими значеннями, що має загальний вигляд:

$$\delta_{\text{кв}} = \frac{1}{N} \cdot 100\% \quad (4.6)$$

Підставляючи вираз рівняння 4.6 у рівняння 4.5, отримуємо похибку квантування каналу:

$$\delta_{\text{кв}} = \frac{60 \cdot f_0}{k \cdot n \cdot z} \cdot 100\% \quad (4.7)$$

Графічне представлення похибки квантування показано на рис.4.2

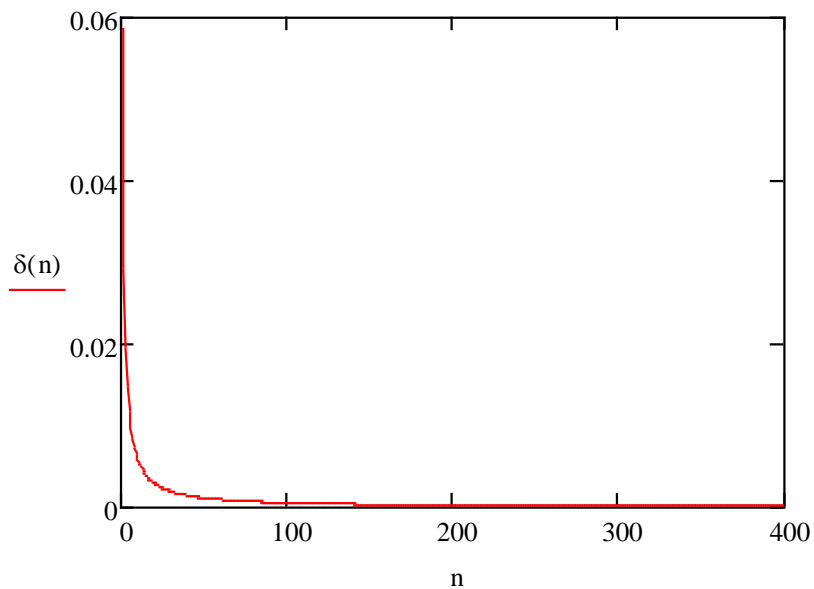


Рисунок 4.14 – Графічне представлення похибки квантування вимірювального каналу

4.3 Статичні характеристики вимірювального каналу швидкості обертання вала генератора

Статичні характеристики засобу вимірювання - характеризують ВН в статичному режимі, тобто коли вхідна фізична величина не змінюється з часом і всі перехідні процеси закінчуються. До основних статичних характеристик належать: номінальна функція перетворення, чутливість, поріг чутливості, діапазон відображення, діапазон вимірювань. У цьому дипломному проекті розраховуються такі властивості, як чутливість, адитивна та мультиплікативна складові похибки [1].

Як правило, функція перетворення має такий вигляд:

$$y = y(x, \Delta f), \quad (4.8)$$

де y – вихідна величина засобу вимірювань;

x – вхідна величина ЗВ;

Δf - впливні величини.

Представимо розклад функції перетворення в ряд Тейлора [14]:

$$y = y_0 + \left[\frac{\partial y}{\partial x} \right]_0 + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right]_0 \cdot x^2 + \frac{1}{6} \left[\frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \right]_0 \cdot x^3 + \dots + \left[\frac{\partial^2 y}{\partial x \partial f} \right]_0 \cdot x \cdot \Delta f + \left[\frac{\partial y}{\partial f} \right]_0 \cdot \Delta f + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 y}{\partial f^2} \right]_0 \cdot \Delta f^2 + \dots \quad (4.9)$$

Індекс «0» біля частинних похідних показує, що вони визначаються для значень впливних величин, що за нормальних умов $f = f_0$ (умовам градування).

Проаналізуємо складові рівняння (6.9):

y_0 - вільний член розкладу, $y_0 = y$ при $x=0$ і $\Delta f = 0$.

Номінальний коефіцієнт перетворення або чутливість:

$$\left[\frac{\partial y}{\partial x} \right]_0 = S_0. \quad (4.10)$$

Зміна чутливості в діапазоні перетворення:

$$\frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right]_0 = S'_0; \quad (4.11)$$

$$\frac{1}{6} \left[\frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \right]_0 = S''_0. \quad (4.12)$$

Коефіцієнти впливу на вихідний параметр y :

$$\left[\frac{\partial y}{\partial f} \right]_0 = \beta'_0; \quad (4.13)$$

$$\frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 y}{\partial f^2} \right]_0 = \beta''_0. \quad (4.14)$$

Коефіцієнт впливу на номінальну чутливість S_0 :

$$\left[\frac{\partial^2 y}{\partial x \partial f} \right]_0 = S'_0. \quad (4.15)$$

З урахуванням прийнятих позначень рівняння перетворення (4.16) представимо у вигляді:

$$y = y_0 + S_0 \cdot x + S'_0 \cdot x^2 + S''_0 \cdot x^3 + \dots + \alpha_0 \cdot x \cdot \Delta f + \beta'_0 \cdot \Delta f + \beta''_0 \cdot \Delta f^2 + \dots, \quad (4.17)$$

де, $y = S_0 \cdot x + S'_0 \cdot x^2 + S''_0$ - номінальна функція перетворення;

$\Delta y_n = S'_0 \cdot x^2 + S''_0 \cdot x^3$ - похибка не лінійності номінальної функції перетворення;

$\Delta y_m = \alpha_0 \cdot x \cdot \Delta f$ - мультиплікативна похибка перетворення в умовах зміни f_0 на величину Δf , тобто зміна чутливості S_0 на величину $\Delta S = \alpha_0 \cdot \Delta f$;

$\Delta y_a = \beta'_0 \cdot \Delta f + \beta''_0 \cdot \Delta f^2$ - адитивна похибка перетворення в умовах зміни f_0 на величину Δf , тобто зміна y_0 під дією впливних величин.

Використаємо математичний пакет Maple для проведення розрахунку статичних метрологічних характеристик.

За формулою (6.10) розрахуємо номінальний коефіцієнт перетворення або чутливість вимірювального каналу:

$$S_0 = \frac{\partial N}{\partial n} = \frac{z}{60}. \quad (4.18)$$

Зміна чутливості в діапазоні перетворення (4.11):

$$S_{02} = \frac{\partial N^2}{\partial n^2} = 0. \quad (4.19)$$

Рівняння перетворення має вигляд:

$$N_x = \frac{k \cdot n \cdot z}{60 \cdot f_0}, \quad (4.20)$$

де $k = 100000$;

$f_0 = 100000$;

$z = 1024$.

Номінальна функція перетворення має вигляд (формула 6.21), а її графічне представлення наведено на рис. 4.3:

$$y(n) = S_0 \cdot n + \frac{1}{2} \cdot S_{02} \cdot n^2 + \frac{1}{6} \cdot S_{03}; \quad (4.21)$$

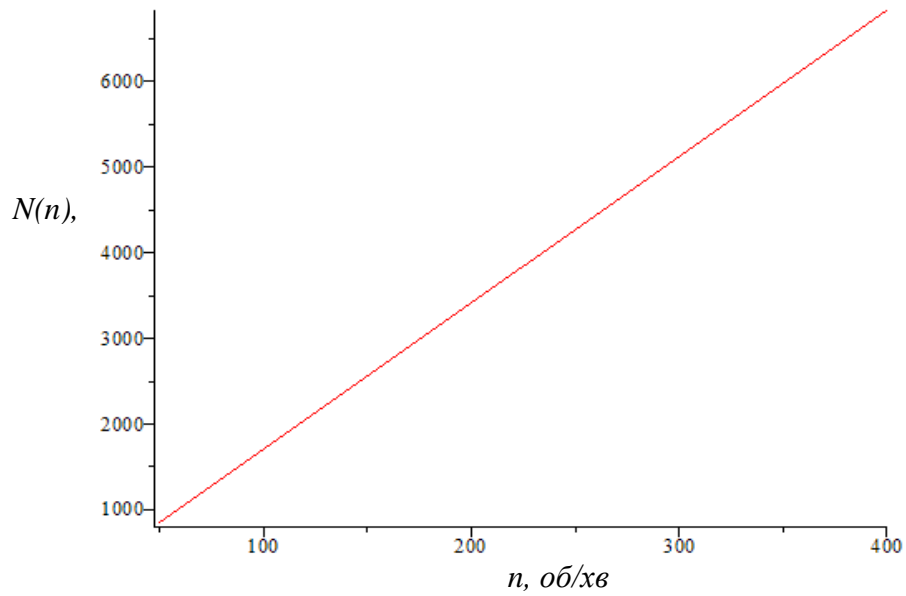


Рисунок 4.3 – Графік номінальної функції перетворення

Похибка не лінійності:

$$\Delta y_H(n) = S_0 2 \cdot n^2 + S_0 3 \cdot n^3; \quad (4.22)$$

$$\Delta y_H(n) = 0.$$

Визначимо коефіцієнт впливу β впливної величини z – кількість імпульсів за один оберт, яка залежить від швидкості обертання.

$$\beta'_0 = \frac{\partial N}{\partial z} = \frac{k \cdot n}{60 \cdot f_0'} \quad (4.23)$$

$$\beta''_0 = \frac{\partial N^2}{\partial z^2} = 0, \quad (4.24)$$

Коефіцієнт впливу впливних величин на номінальну чутливість S_0 :

$$\beta'_0 = \frac{\partial N^2}{\partial z \partial n} = \frac{k}{60 \cdot f_0'} \quad (4.25)$$

Адитивна похибка [1] перетворення представлена на рис.4.4.

$$\Delta N = \beta'_0 \cdot z + \beta''_0 \cdot z^2 = \frac{n \cdot z}{60} \quad (4.26)$$

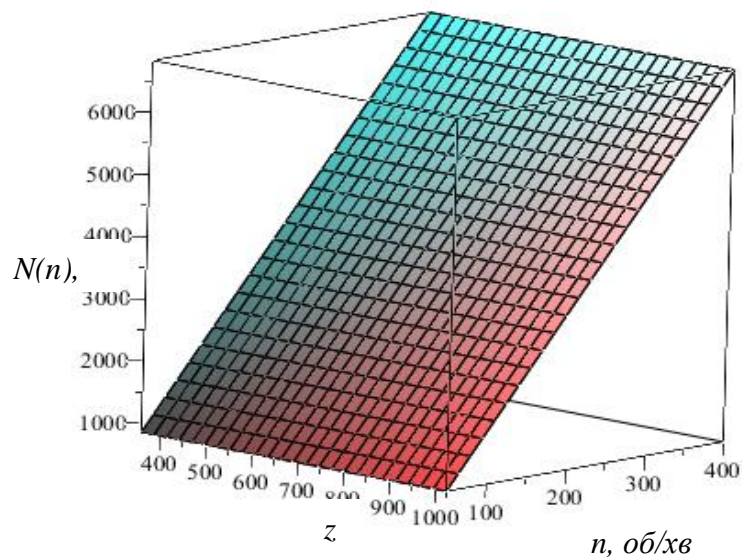


Рисунок 4.4 – Адитивна похибка

Мультиплікативна похибка [1] перетворення вимірювального каналу представлена на рисунку 4.5:

$$\Delta N = \alpha \cdot n \cdot z = \frac{n \cdot z}{60} \quad (4.27)$$

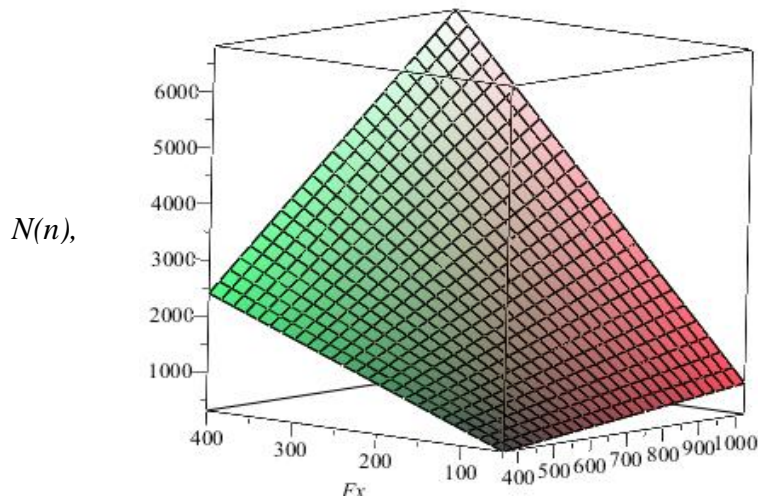


Рисунок 4.5. Мультиплікативна похибка ΔN в залежності від n , об/хв та z .

5.1 Висновок до розділу 4

У розділі чотири магістерської кваліфікаційної роботи представлені результати моделювання вихідної напруги з фільтрами та без них. Проаналізуйте отримані результати. Моделювання системи стабілізації вихідної напруги ВЕУ виконано в програмі Matlab. Розроблено систему моніторингу роботи автономних електростанцій. Розроблено програмний продукт для забезпечення управління системою енергопостачання. (Візьмемо для прикладу ферму з реальними параметрами).

В 4 розділі проаналізовано статичні та динамічні метрологічні характеристики каналу вимірювання обертання лопаті вітрової турбіни. Отримано номінальну передаточну функцію, яка буде використана в наступному розділі роботи.

5 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ СИСТЕМИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

5.1. Існуючі підходи до математичного моделювання роботи вітроелектричних установок

Складність моделювання виробництва електроенергії вітроенергетичної установки $EVEU(t)$ залежить від випадковості потоку вітру та нелінійного алгоритму перетворення енергії вітру в специфіку роботи, що вносить додаткову невизначеність.

Зарядні станції для електромобілів (EVS) використовують вітряні електростанції (WPE) та буферні акумулятори для балансування виробництва та споживання електроенергії, ми проаналізуємо існуючі методи моделювання процесу перетворення енергії вітру за допомогою вітрових електростанцій для перетворення її в електроенергію. Крім того, ми проаналізуємо роботу акумуляторної батареї з урахуванням конкретної реалізації процесу зарядки та стану заряду батареї.

На основі проведеного аналізу можна запропонувати математичний опис роботи, наприклад, системи автономної зарядної станції для електромобілів на основі вітрової турбіни. Вітрова енергія як випадкова величина має асиметричний розподіл, і, відповідно, вироблення електроенергії вітровими електростанціями (в тому числі автономними та мережевими) також є непостійним. Розподіл швидкості вітру найчастіше описується функцією Вейбула [38]. Однак, за наявності певних деталей у поведінці вітру, також надаються інші типи градієнтних зображень функції щільності розподілу швидкості вітру: розподіл Релея (у найпростішому вигляді), експоненціальний метод розподілу для максимальної ентропії, Комбінації (включаючи нормальні розподіли, поліноми Чебишева та ін.).

Потужність ВЕУ обмежена певною величиною, що дорівнює номінальній (установленій) потужності P_n незалежно від сили вітру. Графічний приклад типової кривої потужності приведено на рис. 5.1.

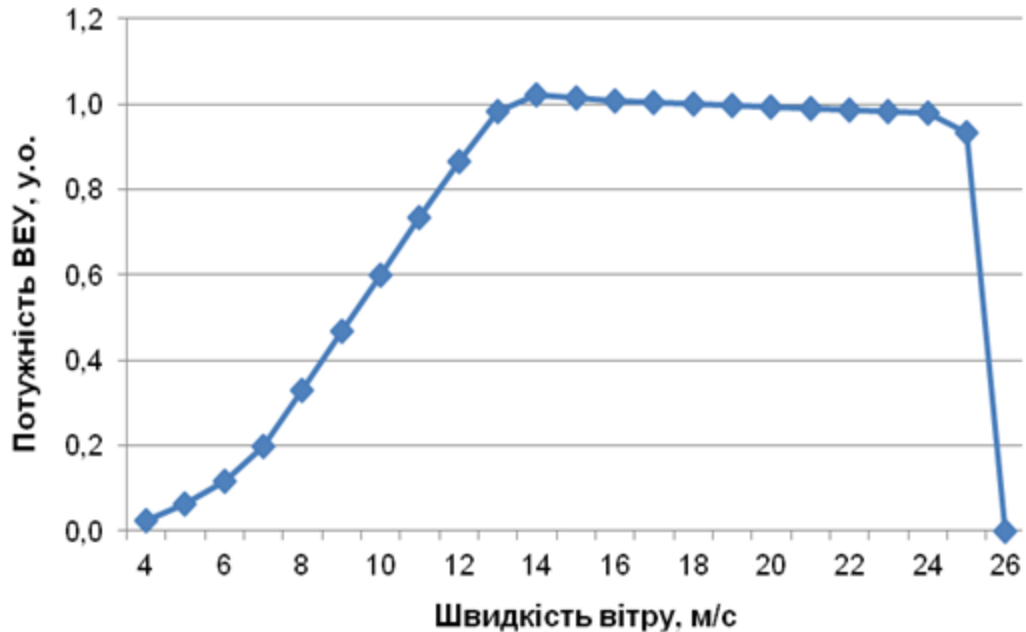


Рисунок 5.1 – Типова крива потужності ВЕУ.

Потужність при заданій швидкості вітру знаходять за виразом:

$$P_{BEU}(v) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot F \cdot \eta(v) \cdot \eta_m \cdot \eta_{el}, \quad (5.1)$$

де: P_{BEU} – потужність ВЕУ при заданій швидкості вітру, кВт;

ρ – густина вітрового потоку, кг/м³, при атмосферному тиску 760 мм.рт.ст., та температурі 15 °С становить 1,225 кг/м³;

v – поточна величина швидкості вітрового потоку, м/с;

$\eta(v)$ – коефіцієнт використання вітрової потужності;

F – площа обмаху ротора, м², що дорівнює площі кола,

тобто:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (5.2)$$

де: d – діаметр ротора, м.

Поточне (миттєве) значення вітрової електростанції має змінний характер. Для більш повної оцінки ефективності зарядної станції на базі вітрової турбіни план виробництва електроенергії за певний період (десять років, місяців, кварталів або років) буде накопичуватися в буферній батареї, а потім надходити в ЕМ батарею, більш помітно. Завдяки високому коефіцієнту надійності роботи кількість вітрогенераторів на одній зарядній станції практично не впливає на характер (динаміку) виробництва електроенергії, що підтверджено реальними даними роботи ВЕС, до складу якої входили 10 вітрогенераторів типу FL 2500 (рис. 5.2) [11].

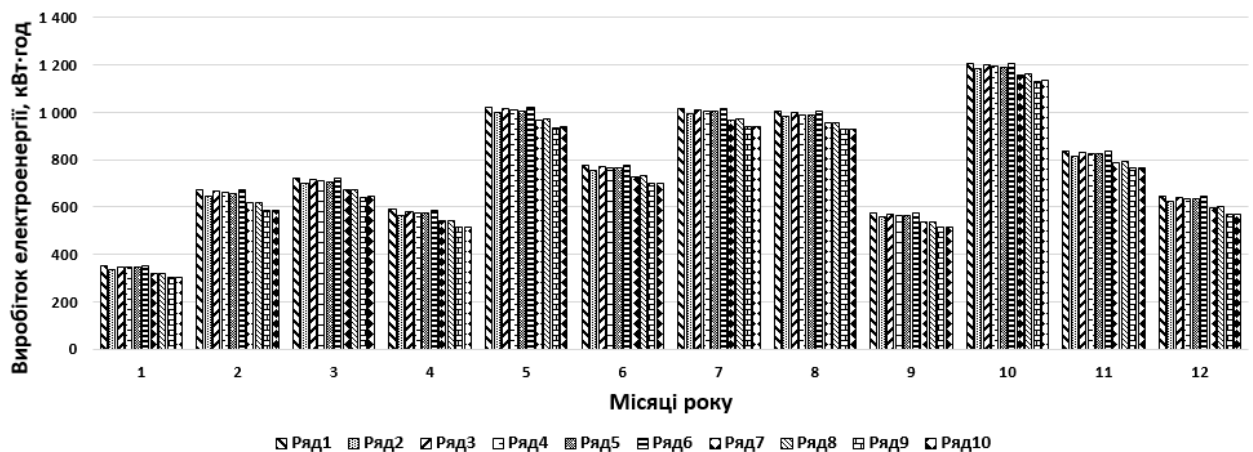


Рисунок 5.2 – Діаграма виробітку електричної енергії десяти ВЕУ

Згідно рис.4.2: Ряд 1 – ВЕУ 1 (FL-801); Ряд 2 – ВЕУ 2 (FL-802); Ряд 3 – ВЕУ 3 (FL-803); Ряд 4 – ВЕУ 4 (FL-804); Ряд 5 – ВЕУ 5 (FL-805); Ряд 6 – ВЕУ 6 (FL-806); Ряд 7 – ВЕУ 7 (FL-807); Ряд 8 – ВЕУ 8 (FL-808); Ряд 9 – ВЕУ 9 (FL-809); Ряд 10 – ВЕУ 10 (FL-810).

У модель вітрової турбіни [12], що задана кривою потужності $P(v)$, а швидкість вітру v (м/с) перетворена на висоту валу ротора, описуються через залежності виду:

$$P_n(v) = \begin{cases} 0, & v \leq v_0, v \geq v_{\max} \\ f(v), & v_0 < v < v_p \\ P_m, & v_p \leq v < v_{\max} \end{cases} \quad (5.3)$$

Наприклад, у роботі запропоновано логічну модель характеристик потужності у вигляді:

$$P(v) = \frac{a}{1 + be^{-cv}}, \quad (5.4)$$

де: a, b, c — параметри моделі, що визначаються за методом найменших квадратів.

Для оцінки параметрів даної моделі на основі паспортних даних ВЕУ в роботі розроблено спеціальний ітераційний метод, який являє собою комбінацію методу найменших квадратів, спуску змінної групи та лінеаризації. Значення параметра a є асимптотою функції, тому за її початкове наближення приймається максимальна потужність вітрогенератора. Для відомого значення $a \theta = a$ параметри b і c можна оцінити за допомогою комбінації методу найменших квадратів і лінеаризації. Використовуючи отримані оцінки b і c , параметр a задається формулою для лінійних найменших квадратів.

Відповідно до роботи, електроенергія, вироблена вітровою турбіною, визначається як інтеграл Рімана-Стільтьєса щодо інтегральної функції розподілу $F(v)$ або звичайний інтеграл Рімана за наявності неперервної диференціальної функції розподілу. $\varphi(v)$:

$$E_{BEV}(T) = T \int_0^{\infty} P(v) dF(v) = T \int_0^{\infty} P(v) \varphi(v) dv, \quad (5.5)$$

де: $P(v)$ – характеристика залежності потужності вітроустановки від швидкості вітру;

T – часовий проміжок, згідно якого визначено функцію розподілу.

У роботі пропонується логарифмічний нормальний розподіл для моделювання стохастичного процесу виробництва вітрової енергії:

$$E(t) \sim e^{\omega(t)+U(t)}, \quad (5.6)$$

де: $\omega(t)$ – алгебраїчна функція, що представляє середнє значення логарифму від величини виробленої ВЕС енергії;

$U(t)$ – є стохастичним процесом Орнштейна-Уленбека.

Це представлення дозволяє описувати випадкові процеси відповідно до розподілу Гауса (нормальний розподіл). Отже, режим виробництва будь-якої реальної вітроелектростанції (ВЕС) можна оцінити за наступною нелінійною функцією, яка, на відміну від (3), розділяє робочу область кривої потужності на субномінальний режим і режим виробництва при номінальній швидкості вітру. Такий підхід дозволяє врахувати технічні можливості сучасних зарядних пристроїв, з одного боку, і робочі характеристики електрохімічних акумуляторів, що встановлюються в електромобілі, в тому числі амортизацію і тягу, з іншого.

$$E(v) = \begin{cases} 0 & \text{при } v < v_0, \\ E_{MH} & \text{при } v_0 < v \leq v_n, \\ E_n & \text{при } v_n \leq v < v_{кр}, \\ 0 & \text{при } v > v_{кр}, \end{cases} \quad (5.7)$$

де: v_0 – початкова швидкість вітру, м/с;

v_n – номінальна швидкість вітру м/с;

$v_{кр}$ – критична швидкість вітру, при якій припиняється робота ВЕС м/с;

E_{MH} – енергія, що може бути вироблена при швидкості вітру менше

номінальної, кВт/год;

E_H – енергія, кВт/год.

Модель демонструє необхідність нових підходів до заряджання різних типів акумуляторів (буферних, тягових або інших) з низькою вихідною енергією від відновлюваних джерел енергії (ВЕУ), що, у свою чергу, може підвищити ефективність використання відновлюваних ресурсів з низьким потенціалом енергії. Для роботи систем ЗСЕМ з використанням вітрових турбін як первинних генераторів електричної енергії частка малих вітрів не є вирішальною для загальної ефективності системи, тому надалі для опису цих систем будемо використовувати моделі, що описуються рівняннями вище.

5.2 Лабораторний стенд для дослідження вітрогенераторних вимірювальних перетворювачів

Метою підрозділу 5.2 є розробка лабораторного стенду для дослідження вітрогенераторних вимірювальних перетворювачів. Теоретичні відомості детально представлено у розділах 1 та 2.

Практична реалізація. Структурна схема лабораторного стенду для вітрогенераторних ВП представлена на рис. 5.3.

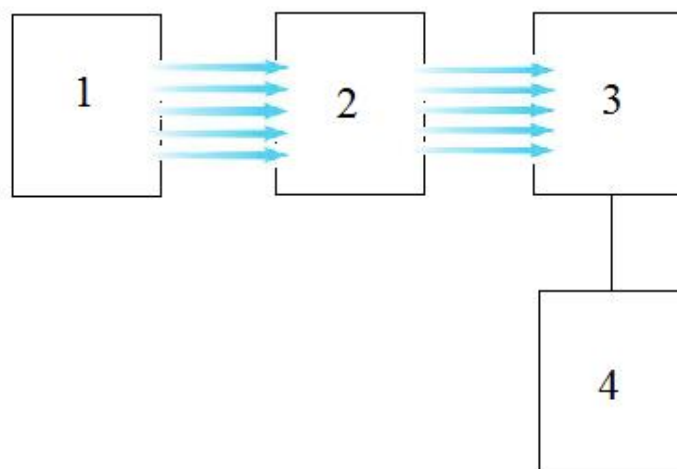


Рисунок 5.3 – Структурна схема лабораторного стенду для дослідження вітрогенераторних ВП

На рисунку 5.3 наведено наступні позначення:

- 1 – нагнітач повітря;
- 2 – анемометр;
- 3 – вітрогенератор;
- 4 – мультиметр.

Як видно з рисунку 1 лабораторний стенд містить у своєму складі безпосередньо вітрогенератор, який, в свою, чергу з'єднаний з мультиметром. В ролі нагнітача повітря виступає вентилятор. Потік повітря від вентилятора поступає безпосередньо на лопаті вітрогенератора. При цьому потік додатково проходить через чутливий елемент анемометра. Анемометр, в свою чергу, працює в автономному режимі і безпосередньо не зв'язаний з іншими елементами системи

Розробка функціональної схеми стенду. На рис 5.4 представлено функціональна схема лабораторного стенда для дослідження вітрогенераторних ВП. На схемі також представлені основні вузли стенду.

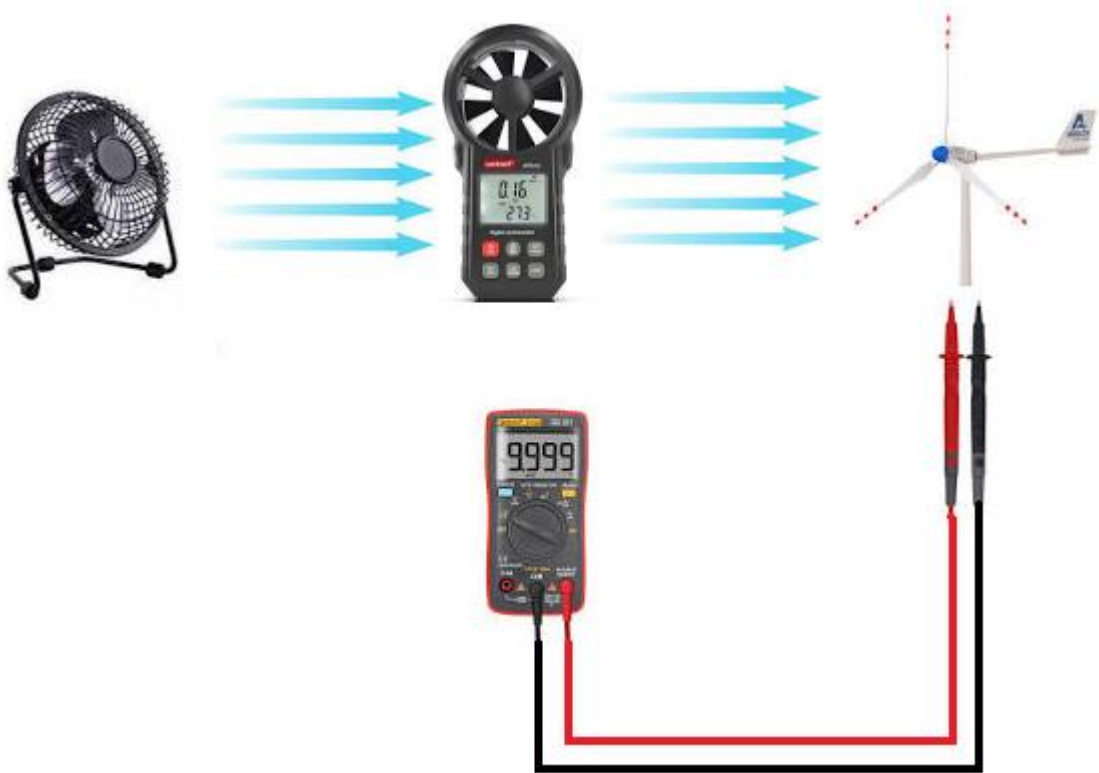


Рисунок 5.4 – Функціональна схема лабораторного стенда

При цьому на рис. 5.2 показано основні точки та лінії взаємодії між його елементами.

Хід лабораторної роботи. Необхідно забезпечити пряме попадання вітру на чутливий елемент анемометра та вітрогенератора. При цьому слід провести 10 вимірювань. При різних режимах роботи нагнітача повітря. Для кожного вимірювання знімаються швидкість вітру i , відповідно, збільшуються значення напруги та струму, i , як наслідок, потужності та ККД. Отримані значення заносимо в таблицю 1.

Таблиця 5.1 – Експериментальні дані

Номер вимірювання, режим роботи вентилятора	Напруга, В	Струм, А	Потужність	ККД	Швидкість вітру
1					
2					
....					
n					

Отриману табличну аналітичну форму представимо у вигляді графічної. Залежність ВАХ та потужність-напруга вітрогенератора від його параметрів зображена на рисунку 4.5.

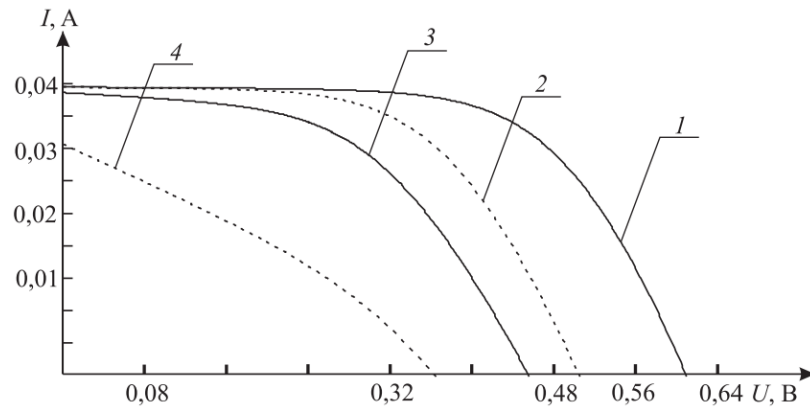


Рисунок 5.5 – Представлення графічної напруга-струм

Та відповідно графічна залежність напруга-потужність на рис. 5

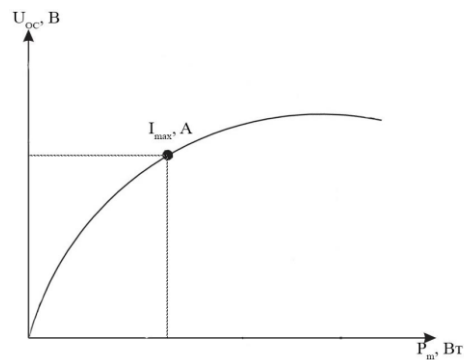


Рисунок 5.6 – Залежність потужність-напруга

Розроблений лабораторний стенд планується випробувати в навчальному процесі в рамках циклу лабораторних робіт з дисциплін “Вимірювальні перетворювачі” на інформаційних радіоелектронних технологій і систем ВНТУ.

4.3 Висновок до розділу 5

Розроблено та представлено лабораторний стенд для дослідження вітрогенераторних ВП. Особливістю є графічне представлення аналітичних форм у графічних, що дозволить студентам більш чітко засвоювати матеріал під час виконання роботи.

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нам нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов'язаних з практичним застосуванням. Основою таких досліджень є науковий ефект, який виражається в отриманні наукових результатів, які збільшують обсяг знань про природу, техніку та суспільство, які розвивають теоретичну базу в тому чи іншому науковому напрямку, що дозволяє виявити нові закономірності, які можуть використовуватися на практиці.

Для цього випадку виконаємо такі етапи робіт:

- 1) здійснимо проведення наукового аудиту досліджень, тобто встановлення їх наукового рівня та значимості;
- 2) проведемо планування витрат на проведення наукових досліджень;
- 3) здійснимо розрахунок рівня важливості наукового дослідження та перспективності, визначимо ефективність наукових досліджень.

6.1 Оцінювання наукового ефекту

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора» можна охарактеризувати

двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 4.1 та 4.2.

Таблиця 6.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи виставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали		
		Експерти (ПІБ, посада)		
		1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	0	0	0
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	57	60	59

Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)	0	0	0
Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим	0	0	0
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	0	0	0
Середнє значення балів експертів		58,7		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як нова, тобто отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних знань (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту) та проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів.

Таблиця 5.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
Відкриття закону, розробка теорії	0	0	0
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	67	69	65
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	0	0	0
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	0	0	0
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	0	0	0
Середнє значення балів експертів	67,0		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою[32]:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (5.1)$$

де $k_{нов}$, $k_{теор}$ - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи, $k_{нов} = 58,7$, $k_{теор} = 67,0$ балів;

0,6 та 0,4 – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{нау} = 0,6 \cdot k_{нов} + 0,4 \cdot k_{теор} = 0,6 \cdot 58,7 + 0,4 \cdot 67,00 = 62,00 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника $E_{нау}$ проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 4.3.

Таблиця 5.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70...100
Середній	50...69
Достатній	15...49
Низький (помилкові дослідження)	1...14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора», даний рівень становить 62,00 балів і відповідає статусу -середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

6.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

Окрім наукового аудиту розробки доцільно також розглянути майбутній технічний рівень якості розробки, розглянувши її основні технічні показники. Ці показники по-різному впливають на загальну якість досліджуваної розробки.

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розрахуємо за формулою [32].

:

,

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (5.2)$$

де k – кількість найбільш важливих технічних показників, які впливають на якість нового технічного рішення;

α_i – коефіцієнт, який враховує питому вагу i -го технічного показника в загальній якості розробки. Коефіцієнт α_i визначається експертним

шляхом і при цьому має виконуватись умова $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$;

β_i – відносне значення i -го технічного показника якості нової розробки.

Відносні значення β_i для різних випадків розраховуємо за такими формулами:

- для показників, зростання яких вказує на підвищення в лінійній залежності якості нової розробки:

$$\beta_i = \frac{I_{ni}}{I_{ai}}, \quad (5.3)$$

де I_{ni} та I_{na} – чисельні значення конкретного i -го технічного показника якості відповідно для нової розробки та аналога;

- для показників, зростання яких вказує на погіршення в лінійній залежності якості нової розробки:

$$\beta_i = \frac{I_{ai}}{I_{ni}}; \quad (5.4)$$

Використовуючи наведені залежності можемо проаналізувати та порівняти техніко-економічні характеристики аналогу та розробки на основі отриманих наявних та проектних показників, а результати порівняння зведемо до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога.

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Номінальна вихідна потужність	кВт	9	10	1,11	0,25
Пікова вихідна потужність	кВт	12	15	4,25	0,2
Шум напруги в інвенторі	В	6	4	1,5	0,1
Коефіцієнт енергетичних втрат	-	0,8	0,9	1,13	0,2
Коефіцієнт корисної дії	%	50	60	1,2	0,25

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення складе:

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 1,11 \cdot 0,25 + 4,25 \cdot 0,2 + 1,5 \cdot 0,1 + 1,13 \cdot 0,2 + 1,2 \cdot 0,25 = 1,80.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,80 рази.

6.3 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

6.3.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіїувальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [32].

$$: Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.5)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=24$ дні.

$$Z_o = 15800,00 \cdot 48 / 24 = 31600,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту	15800,00	658,33	48	31600,00
Інженер-дослідник	14500,00	604,17	40	24166,67
Консультант (інженер-енергетик)	15500,00	645,83	7	4520,83
Лаборант	6850,00	285,42	30	8562,50
Всього				68850,00

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.6)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.7)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=6700,00$ грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду [32].;

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 24$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 6700,00 \cdot 1,10 \cdot 1,65 / (24 \cdot 8) = 63,34 \text{ грн.}$$

$$Z_{p1} = 63,34 \cdot 8,30 = 525,69 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Підготовка робочого місця інженера-дослідника	8,30	2	1,10	63,34	525,69
Інсталяція програмно го забезпечення середовища розробки і моделювання	6,20	3	1,35	77,73	481,93
Компіляція програмних блоків	7,50	5	1,70	97,88	734,12
Монтаж моделі вітрогенератора	16,00	5	1,70	97,88	1566,13
Монтаж експериментальних блоків	8,00	5	1,70	97,88	783,06
Формування бази даних дослідження	22,00	2	1,10	63,34	1393,39
Контроль проходження експериментів	40,00	4	1,50	86,37	3454,69
Всього					8939,00

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (5.8)$$

де $H_{\text{дод}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 11%.

$$Z_{\text{дод}} = (68850,00 + 8939,00) \cdot 11 / 100\% = 8556,79 \text{ грн.}$$

6.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{одд}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (5.9)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (68850,00 + 8939,00 + 8556,79) \cdot 22 / 100\% = 18996,07 \text{ грн.}$$

4.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора».

Витрати на матеріали на даному етапі проведення досліджень в основному пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальних математичних моделей або програмного забезпечення, тому дані витрати формуються на основі витратних матеріалів характерних для офісних робіт.

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (5.10)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{ej} – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 2,0 \cdot 283,00 \cdot 1,1 - 0 \cdot 0 = 622,60 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.7– Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Офісний папір А4 500	283,00	2,0	0	0	622,60
Папір для записів А5 250	154,00	3,0	0	0	508,20
Органайзер офісний	200,00	3,0	0	0	660,00
Набір канцелярський офісний	210,00	3,0	0	0	693,00
Картридж для принтера	980,00	1,0	0	0	1078,00
Диск оптичний CD-RW	23,00	2,0	0	0	50,60
Flesh-пам'ять 32 GB	410,00	1,0	0	0	451,00
Всього					4063,40

6.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_e), які використовують при проведенні НДР на тему «Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$K_e = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (5.11)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, грн;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_g = 4 \cdot 254,00 \cdot 1,1 = 1117,60 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.8– Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Безконтактні датчики обертання	4	254,00	1117,60
Датчики кутової швидкості	4	164,00	721,60
Модель генератора	1	1250,00	1375,00
Модель корисного навантаження	1	610,00	671,00
Блок інтерфейсний БІ-Е22	1	2640,00	2904,00
Кабелі силові	5	120,00	660,00
Всього			7449,20

6.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (5.12)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.і}}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 8500,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 9350,00 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Блок управління силовим ланцюгом та контакторами	1	8500,00	9350,00
Всього			9350,00

6.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{прог}} \cdot C_{\text{прог},i} \cdot K_i, \quad (5.13)$$

де $C_{\text{прог}}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{\text{прог},i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{\text{прог}} = 7860,00 \cdot 1 \cdot 1,11 = 8724,60 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.10 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
---------------------------------	------------------	-------------------------	------------------

Прикладне програмне забезпечення розробки та моделювання	1	7860,00	8724,60
Всього			8724,60

6.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б}}{T_{в}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.14)$$

де $Ц_{б}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{в}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (24650,00 \cdot 2) / (2 \cdot 12) = 2054,17 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Персональний комп'ютер проведення розробки та моделювання	24650,00	2	2	2054,17
Робоче місце інженера-дослідника	9200,00	5	2	306,67
Пристрої передачі даних	7510,00	4	2	312,92

Пристрій виводу інформації	6740,0 0	5	2	224,67
Оргтехніка	6750,0 0	4	2	281,25
Приміщення лабораторії	625000 ,00	20	2	5208,33
ОС Windows 11	8570,0 0	2	2	714,17
Прикладний пакет Microsoft Office 2019	7825,0 0	2	2	652,08
Метрологічний комплекс КІВТ- 22 на основі ЕОМ Vinga Advanced A0196 (ІЗМ8ІНТ.А0196)	21450, 00	2	2	1787,50
Всього				11541,75

6.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (5.15)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 6,20$ грн;

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,30 \cdot 380,0 \cdot 6,20 \cdot 0,95 / 0,97 = 706,80 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.12– Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Персональний комп'ютер проведення розробки та моделювання	0,30	380,0	706,80
Робоче місце інженера-дослідника	0,12	300,0	223,20
Пристрої передачі даних	0,01	250,0	15,50
Пристрій виводу інформації	0,42	15,0	39,06
Оргтехніка	0,50	5,0	15,50
Модель генератора	2,50	22,0	341,00
Метрологічний комплекс КІВТ-22 на основі ЕОМ Vinga Advanced A0196 (ІЗМ8ІНТ.А0196)	0,32	100,0	198,40
Всього			1539,46

6.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (5.16)$$

де H_{cb} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», приймемо $H_{cb} = 20\%$.

$$B_{cb} = (68850,00 + 8939,00) \cdot 20 / 100\% = 15557,80 \text{ грн.}$$

6.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (5.17)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», приймемо $H_{cn} = 40\%$.

$$B_{cn} = (68850,00 + 8939,00) \cdot 40 / 100\% = 31115,60 \text{ грн.}$$

6.2.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_g = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ig}}{100\%}, \quad (5.18)$$

де H_{ig} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», приймемо $H_{ig} = 50\%$.

$$I_g = (68850,00 + 8939,00) \cdot 50 / 100\% = 38894,50 \text{ грн.}$$

5.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків;

витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{нзв} = (З_o + З_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.19)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 110\%$.

$$B_{нзв} = (68850,00 + 8939,00) \cdot 110 / 100\% = 85567,90 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = З_o + З_p + З_{од} + З_n + M + K_в + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_в + B_{нзв}. \quad (4.20)$$

$$B_{заг} = 68850,00 + 8939,00 + 8556,79 + 18996,07475 + 4063,40 + 7449,20 + 9350,00 + 8724,60 + 11541,75 + 1539,46 + 15557,80 + 31115,60 + 38894,50 + 85567,90 = 319146,09 \text{ грн.}$$

Загальні витрати $ЗВ$ на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (5.21)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta = 0,95$.

$$ЗВ = 319146,09 / 0,95 = 335943,25 \text{ грн.}$$

6.4 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер.

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора» використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник K_p рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t}, \quad (5.22)$$

де I – коефіцієнт важливості роботи. Прийmemo $I = 4$;

n – коефіцієнт використання результатів роботи; $n = 0$, коли результати роботи не будуть використовуватись; $n = 1$, коли результати роботи будуть використовуватись частково; $n = 2$, коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках; $n = 3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок. Прийmemo $n = 3$;

T_c – коефіцієнт складності роботи. Прийmemo $T_c = 2$;

R – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то $R = 4$; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то $R = 3$; якщо нижче відомих результатів, то $R = 1$. Прийmemo $R = 4$;

B – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Прийmemo $B = 335943,25$ грн;

t – час проведення дослідження. Прийmemo $t = 0,17$ років, (2 міс.).

Визначення показників I , n , T_C , R , B , t здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [32].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t} = 4^3 \cdot 2 \cdot 4 / 335,9 \cdot 0,17 = 9,14.$$

Якщо $K_p > 1$, то науково-дослідну роботу на тему «Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

6.4 Висновок до економічного розділу

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора» складають 335943,25 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень науково-економічного ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора» є середній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_p > 1$, що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

ВИСНОВКИ

Відповідно до теми та індивідуального завдання, у даній магістерській кваліфікаційній роботі було розроблено метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора. Розроблений метод може застосовуватись на об'єктах з різними вихідними параметрами, як по потужності, так і по номіналу напруги.

Розглянуто особливості конструкції вітрової електростанції. Вітер відображається як вхідне значення вимірювального датчика. Використання вітрових турбін для виробництва електроенергії було визначено як найефективніший спосіб використання енергії вітру. ККД генератора на перетворення механічної енергії в електричну становить 95%, а втрати електричної енергії при передачі не перевищують 10%.

Відповідно до закону Беца і визначається, що максимально можливий коефіцієнт використання енергії вітру становить 0,59. Для подальшого моделювання було обрано діаметр вітряка та висоту вежі. Розроблено систему вітрогенераторів (з акумуляторами) та їх комутацію з мережею та розглянуто її основні компоненти.

Представлено програмований логічний контролер компанії Siemens VIPA в Німеччині, який працює на програмному забезпеченні WinPLC7. Програма мови LAD, яка реалізує моніторинг та контроль параметрів при роботі вітрогенератора, може віртуально описати роботу програми пристрою, яка показує, що програма пристрою керування працює стабільно, що доводить, що пристрій можна реалізувати. Складено алгоритм роботи та лістинг програми на мові STL.

Представлені результати моделювання вихідної напруги з фільтрами та без них. Проаналізуйте отримані результати. Моделювання системи стабілізації вихідної напруги ВЕУ виконано в програмі Matlab. Розроблено систему моніторингу роботи автономних електростанцій. Розроблено

програмний продукт для забезпечення управління системою енергопостачання.

Проаналізовано статичні та динамічні метрологічні характеристики каналу вимірювання обертання лопаті вітрової турбіни. Отримано номінальну передаточну функцію, яка буде використана в наступному розділі роботи.

Розроблено та представлено лабораторний стенд для дослідження вітрогенераторних ВП. Особливістю є графічне представлення аналітичних форм у графічних, що дозволить студентам більш чітко засвоювати матеріал під час виконання роботи.

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора» складають 335943,25 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень науково-економічного ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора» є середній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_p > 1$, що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Головка В.М. Вплив параметрів системи орієнтації ротора з використанням конструктивної схеми "хвіст на косому шарнірі" на статичні характеристики вітроустановки / В.М. Головка, В.П. Коханевич, М.О. – С.45–54.
2. Шихайлов, В.І. Будько // Відновлювана енергетика. – 2016. – №1. – С.45–54.
3. Будько В.И. Современное состояние и развитие возобновляемой энергетики / В.И. Будько, С.А. Кудря, А.В. Пепелов, // Альтернативная энергетика и экология. – 2017. – №4-6. – С.130–141.
4. Павлов В.Б. Зарядження електромобілів від відновлюваних джерел/ В.Б. Павлов, В.І. Будько // Технічна електродинаміка. – 2017. – №6. – С.32–35.
5. Павлов В.Б. Особливості роботи автономних зарядних станцій електромобілів з використанням вітроелектричних установок та буферних акумуляторів енергії / В.Б. Павлов, С.О. Кудря, В.І. Будько, В.М. Кириленко, В.Ю. Іванчук // Технічна електродинаміка. – 2019. – №4. – С. 70-76.
6. Кудря С.О. Використання вітрової та сонячної енергії для опріснення /С.О. Кудря, М.А. Ткаленко, Л.В. Яценко, Л.Я. Шинкаренко, В.І. Будько // XVIII Міжнародна науково-практична конференція «Відновлювана енергетика XXI століття». – Київ, 2016. – С.229–231.
7. Остапчук О.В. Перспективи використання джерел розподіленої генерації в енергосистемі України / О.В. Остапчук, В.І. Будько // Міжнародна науково-практична конференція — Енергозбереження та енергоефективність -2018, Дніпро, 2018р. – С.36–38.
8. Electricity access database - International Energy Agency. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.iea.org/energyaccess/database/>

9. Работа ОЕС. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/dyspatcherska-informatsiya/robota-oes-ukrayiny-zatyzhden/>
10. ДСТУ 3466-96 Якість електричної енергії. Терміни та визначення. Київ, 1998. 22 с.
11. Каплун В.В. Структурно-параметричний синтез комбінованих систем електроживлення: монографія / В.В.Каплун – К.: КНУТД , 2017. – 187с.
12. Кудря С.О., Будько В.І. «Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії»: електронний курс лекцій / С.О. Кудря, В.І. Будько // – Київ: Національний технічний університет України («КПІ»), 2013. – 360 с. 171.
13. Кудря С.О. Стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні (за матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 7 жовтня 2015 р.) / С. О. Кудря // Вісник Національної академії наук України. - 2015. - № 12. - С. 19-26. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2015_12_6
14. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; За ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2003. – 544 с.
15. Э. Парр Программируемые контроллеры. Руководство для инженера – Москва: «Бином», 2007.
16. А. А. Копесбаева Программно-технические комплексы управления. Методические указания к курсовой работе для студентов всех форм обучения специальностей 050702 – Автоматизация и управление – Алматы: АИЭС, 2010.
17. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006.

18. Безруких П.П. Ветроэнергетика. (Справочное и методическое пособие). М.: – ИД «Энергия». 2010.
19. Кашкаров А.П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. – М.: ДМК Пресс, 2011.
20. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
21. Енергія вітру [Електронний ресурс]. – Режим доступу URL:<http://www.energy-village.in.ua/index.php?form=WindEnergy>.
22. Вітрогенератори [Електронний ресурс]. – Режим доступу URL:<http://ibud.ua/ua/statya/vetrogenerator-3041>
23. Параметри вітрогенераторів [Електронний ресурс]. – Режим доступу URL:http://ecost.lviv.ua/ua/osnov_parametr.html
24. Юкиш М.Й., Кухарчук В.В., Білинський Й.Й. Оптико-електронні засоби контролю параметрів обертального руху на основі просторової модуляції: монографія / М.Й, Юкиш, В.В. Кухарчук, Й.Й. Білинський. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 138с.
25. В.О. Бржезицький, Я.О. Гаран, І.М. Маслюченко Трансформування вищих гармонічних складових напруги електромагнітними трансформаторами // Наукові праці НУХТ. — 2013. — № 49. — с. 98 – 103.
26. Схеми роботи вітрогенераторів [Електронний ресурс]. – Режим доступу URL: http://ecost.lviv.ua/ua/pr_work.html
27. Поджаренко В.О., Кухарчук В.В. Вимірювання і комп'ютерно-вимірювальна техніка. Навчальний посібник. – К.: УМК ВО, 1991. – 240 с.
28. ДСТУ 3481-96 (ГОСТ 30485-97) Локальна мережа введення - виведення для розподілених автоматизованих систем керування. Загальні технічні вимоги
29. ДСТУ 2827-94 Комплекс мікропроцесорних засобів диспетчеризації, автоматики, телемеханіки. Правила приймання і методи випробувань

30. ДСТУ ІЕС 61069-1:2007 Вимірювання та керування в промислових процесах. Визначення властивостей системи для її оцінення. Частина 1. Загальні аспекти та методологія (ІЕС 61069-1:1991, IDT)

31. ДСТУ ІЕС 61069-2:2007 Вимірювання та керування в промислових процесах. Визначення властивостей системи для її оцінення. Частина 2. Методологія оцінювання (ІЕС 61069-2:1993, IDT)

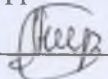
32. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

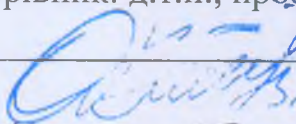
Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

МЕТОД ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІТРОВОГО ПОТОКУ У ЕЛЕКТРИЧНУ З РЕГУЛЮВАННЯМ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ ВАЛА ГЕНЕРАТОРА

Виконав: студент 2-го курсу, групи КІВТ-21м
спеціальності 152 – Метрологія
та інформаційно-вимірвальна техніка
(шифр і назва напрям підготовки, спеціальності)

Кочеван О. О.
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., проф. каф. ІРТС
Васілевський О. М.
(прізвище та ініціали)

«16» 12 2022 р.

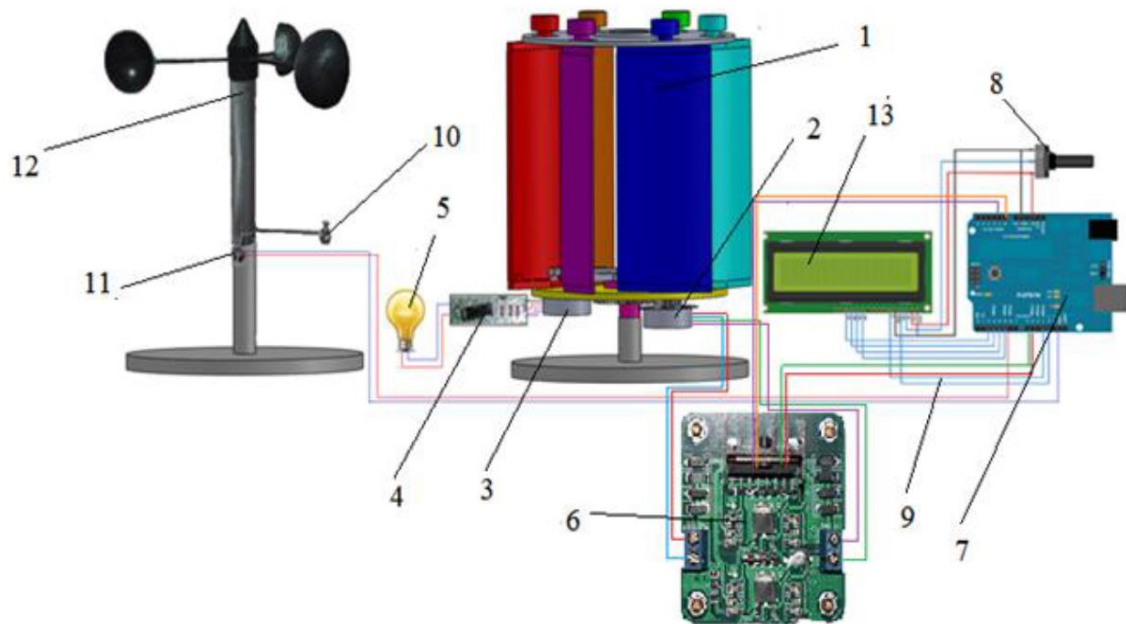


Рисунок 1 – Функціональна схема вітрогенераторної системи

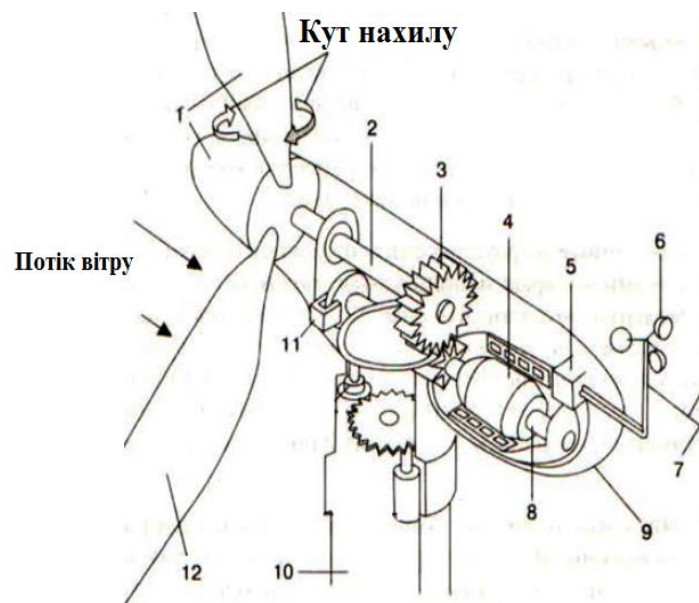


Рисунок 1 – Конструктивна схема вітроустановки

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ
МЕТОД ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІТРОВОГО
ПОТОКУ У ЕЛЕКТРИЧНУ З РЕГУЛЮВАННЯМ КУТОВОЇ
ШВИДКОСТІ ВАЛА ГЕНЕРАТОРА

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Метод перетворення механічної енергії вітрового потоку у електричну з регулюванням кутової швидкості вала генератора»

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра
ІРТС

(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність 88% Схожість 12%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.


Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Маньковська В.С.
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Кочеван О. О.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Васілевський О.М.
(прізвище, ініціали)

Додаток В
(обов'язковий)

Лістинг програми керування на мові STL

```

CALL FC105                L 12.00                _007 :A BR
  IN:=PIW768              <=R                    JNB _008
  HI_LIM:=20.00           )                        L MD 5
  LO_LIM:=0.00            A(                       L MD 2
  BIPOLAR:=FALSE         L MD 6                    /R
  RET_VAL:=MW0           L 18.00                  T MD 7
  OUT:=MD0                >=R                    _008 :NOP 0
A BR                       )
JNB _001                  A I 0.0
L MD 0                    = Q 0.0
L MD 1
+R
T MD 2
AN OV
SAVE
CLR
_001 :A BR
JNB _002
L MD 1
L 2.718
*R
T MD 3
AN OV
SAVE
CLR
_002 :A BR
JNB _003
L MD 3
L MD 4
*R
T MD 5
AN OV
SAVE
CLR
_003 :A BR
JNB _004
L MD 5
L MD 2
/R
T MD 6
_004 :NOP 0

A(
L MD 6

L 12.00
<=R
)
A(
L MD 6
L 18.00
>=R
)
A I 0.0
= Q 0.0

CALL FC105
  IN:=PIW769
  HI_LIM:=20.00
  LO_LIM:=0.00
  BIPOLAR:=FALSE
  RET_VAL:=MW0
  OUT:=MD0
A BR
JNB _005
L MD 0
L MD 1
+R
T MD 2
AN OV
SAVE
CLR
_005 :A BR
JNB _006
L MD 1
L 2.718
*R
T MD 3
AN OV
SAVE
CLR
_006 :A BR
JNB _007
L MD 3
L MD 4
*R
T MD 5
AN OV
SAVE
CLR

CALL FC105
  IN:=PIW770
  HI_LIM:=20.00
  LO_LIM:=0.00
  BIPOLAR:=FALSE
  RET_VAL:=MW0
  OUT:=MD0
A BR
JNB _009
L MD 0
L MD 1
+R
T MD 2
AN OV
SAVE
CLR
_009 :A BR
JNB _010
L MD 1
L 2.718
*R
T MD 3
AN OV
SAVE

```



```

CLR
_010 :A BR
      JNB _011
      L MD 3
      L MD 4
      *R
      T MD 5
      AN OV
      SAVE
      CLR
_011 :A BR
      JNB _012
      L MD 5
      L MD 2
      /R
      T MD 8
_012 :NOP 0

A(
L MD 8
L 62.00
<=R
)
A(
L MD 8
L 80.00
>=R
)
A I 2.2
= Q 2.2

L 100.00
L MD 6
-R
T MD 10
AN OV
SAVE
CLR
A BR
JNB _013
L MD 10
L MD 7
-R
T MD 11
AN OV
SAVE
CLR
_013 :A BR
      JNB _014
      L MD 11
      -R

T MD 10
_014 :NOP 0

CALL FC105
IN:=PIW771
HI_LIM:=20.00
LO_LIM:=0.00
BIPOLAR:=FALSE
RET_VAL:=MW0
OUT:=MD0
A BR
JNB _015
L MD 0

L MD 1
+R
T MD 2
AN OV

SAVE
CLR
_015 :A BR
      JNB _016
      L MD 1
      L 2.718
      *R
      T MD 3
      AN OV
      SAVE
      CLR
_016 :A BR
      JNB _017
      L MD 3
      L MD 4
      *R
      T MD 5
      AN OV
      SAVE
      CLR
_017 :A BR
      JNB _018
      L MD 5
      L MD 2
      /R
      T MD 9
_018 :NOP 0

A(
L MD 9
L 0.55
>R
)
A I 3.3
= Q 3.3

```