


Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра компютерні електромеханічні системи і комплекси


МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:


«Модернізація системи керування потужністю вітроенергетичної
установки»

Виконав: студент 2-го курсу, групи ЕПА-22м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

 Валентин ДОЦЕНКО

Керівник: к.т.н., доц. кафедри КЕМСК
 Олексій ЖУКОВ

«21» 11 2023 р.

Опонент:  к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ
Олексій БАБЕНКО

Допущено до захисту

зав. кафедри КЕМСК

к.т.н., доц. Микола МОШНОРИЗ

«21» 11 2023 р.

Дніпропетровський національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,
Освітньо-професійна програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

ЗАТВЕРДЖУЮ
зав. кафедри КЕМСК
к.т.н., доц. МИКОЛА Мошноріз
«24» 10 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Доценку Валентину Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація системи керування потужністю вітроенергетичної установки

керівник роботи Жуков Олексій Анатолійович к.т.н., доц. каф. КЕМСК.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «18» 09 2023 р. № 247

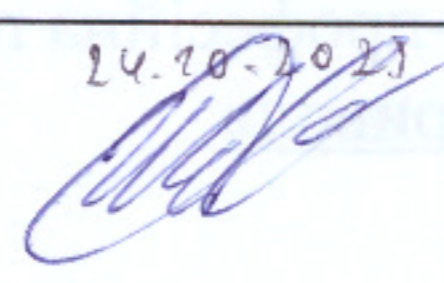

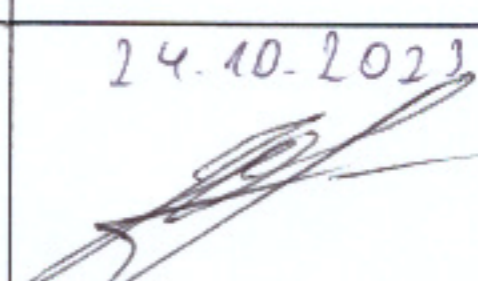
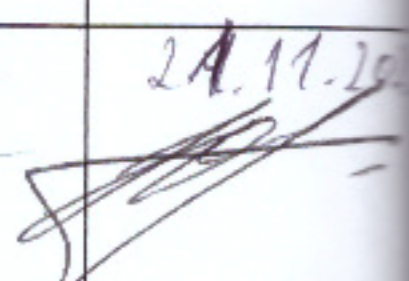
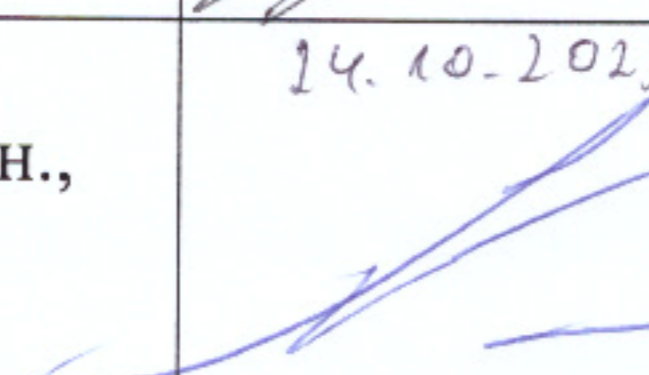
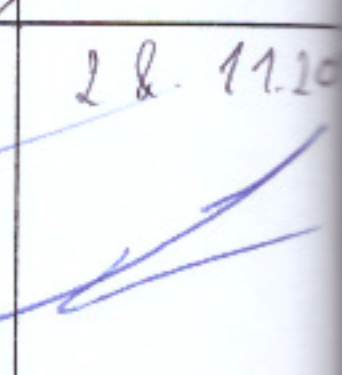
2. Строк подання студентом роботи «28» 11 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: режим роботи тривалий, електричний генератор синхронного типу, потужність до 1,5 кВт, режим роботи вітроенергетичної установки – автономна.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Характеристика об'єкта керування і режимів його роботи. Визначення параметрів вітрової установки. Попередній розрахунок потужності генератора ВЕУ. Техніко-економічне обґрунтування вибору генератора. Вибір генератора ВЕУ. Розробка системи керування вітроенергетичною установкою. Розробка математичної моделі. Комп'ютерне моделювання. Економічна частина; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Об'єкт, предмет, мета та задачі дослідження; Зовнішній вигляд та кінематична схема. Структурна схема системи автоматичного керування. Функціональна схема системи автоматичного керування. Результати моделювання системи автоматичного керування вітроенергетичною установкою. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи.

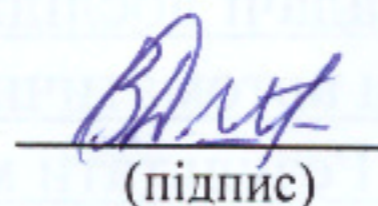
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Жуков О. А., к.т.н., доц. каф. КЕМСК	24.10.2023 	24.10.2023 
Економічна частина	Шулле Ю. А. к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ	24.10.2023 	24.11.2023 
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	24.10.2023 	28.11.2023 

7. Дата видачі завдання 24.10.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	03.10.2023	
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	27.11.2023	
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	28.11.2023	
4	Виконання розділу «Економічна частина»	21.11.2023	
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	28.11.2023	
6	Попередній захист МКР	28.11.2023	
7	Нормоконтроль МКР	28.11.2023	
8	Рецензування МКР	19.12.2023	
	Захист МКР		

Студент


(підпис)

Валентин ДОЦЕНКО
(прізвище та ім'я)

Керівник роботи


(підпис)

Олексій ЖУКОВ
(прізвище та ім'я)

АНОТАЦІЯ

УДК: 621.311.24

Доценко В.М. Модернізація системи керування потужністю вітроенергетичної установки. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма - Електромеханічні системи автоматизації та електропривод. Вінниця: ВНТУ, 2023. 120 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 145 назв; рис.: 26; табл. 14.

В магістерській кваліфікаційній роботі були запропоновані рішення щодо підвищення ефективності функціонування системи керування потужністю вітроенергетичної установки, шляхом створення системи автоматичного керування цією установкою, що дозволяє збільшити відбір потужності від вітрового колеса. В основній частині роботи запропоновано структурну та функціональну схему керування, обґрунтовано вибір електричного генератора, проведено комп'ютерне моделювання вітрової енергетичної установки, проведено комп'ютерне моделювання.

Графічна частина складається з 9 плакатів із результатами роботи.

Ключові слова: вітроенергетична установка, генератор вітрової установки, система керування, режими роботи, моделювання, математична модель.

ABSTRACT

Dotsenko V.M. Modernization of the power management system of the wind power plant. Master's qualification thesis on specialty 141 - Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics, educational program - Electromechanical automation systems and electric drive. Vinnytsia: VNTU, 2023. 120 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 145 titles; Fig.: 26; table 14.

In the master's qualification thesis, solutions were proposed to increase the efficiency of the power management system of the wind power plant, by creating a system of automatic control of this plant, which allows to increase the extraction of power from the wind wheel. In the main part of the work, a structural and functional control scheme is proposed, the choice of an electric generator is justified, a computer simulation of a wind power plant is carried out, a computer simulation is carried out.

The graphic part consists of 9 posters with the results of the work.

Key words: wind power plant, wind generator, control system, operating modes, modeling, mathematical model.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ АСПЕКТІВ РОБОТИ І ХАРАКТЕРИСТИКА ІСНУЮЧИХ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК	8
1.1 Класифікація існуючих структур вітроенергетичних установок	9
1.2 Класифікація по типу застосовуваної віротурбіни	9
1.3 Класифікація ВЕУ за типом застосовуваного генератора та силових перетворювачів.....	16
2 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЇ ВІТРОКОЛЕСА ВЕУ	24
2.1 Захист вітрової енергетичної установки від ураганного вітру	26
3 ПОПЕРЕДНІЙ РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ГЕНЕРАТОРА ВЕУ	28
3.1 Попередній розрахунок потужності генератора	28
4 РОЗРАХУНОК АЕРОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІТРОКОЛЕСА ВЕУ	30
5 ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ГЕНЕРАТОРА ТА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	34
6 ВИБІР ГЕНЕРАТОРА ЗА ПОТУЖНІСТЮ І ШВИДКІСТЮ ОБРЕТАННЯ ...	40
7 РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАТОРА ВЕУ	42
8 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ	45
8.1 Розробка структурної та функціональної схеми.....	45
8.2 Вибір інвертора	50
8.3 Вибір акумуляторів	51
8.4 Вибір контролера	52
9 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЮ УСТАНОВКОЮ.....	58
10 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	66

10.1	Визначення капітальних вкладень	66
10.2	Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу	68
10.3	Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання	69
10.4	Розрахунок терміну окупності електротехнічного комплексу ВЕУ	72
	ВИСНОВКИ	75
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	76
	Додаток А.....	79
	Додаток Б.....	81

ВСТУП

Актуальність. Останнім часом відновлювані джерела енергії стали однією з ключових складових ефективного розвитку світової спільноти. Проводиться активний пошук та вдосконалення технологій, спрямованих на досягнення ефективних рішень та розширення областей їх використання. Це обумовлено вичерпанням запасів органічних видів палива, різким зростанням їхньої ціни, низькою ефективністю використання і негативним впливом на навколишнє середовище, що стає предметом нових розробок та пропозицій.

Використання традиційних вуглеводнів шляхом їхнього спалювання призводить до значних втрат енергії.

Альтернативна енергетика є важливою складовою нового технологічного порядку, розвиваючи нові напрямки разом із інформаційними технологіями.

До відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) відносять гідроелектростанції, геотермальну, сонячну та теплову енергію, енергію припливів, енергію хвиль океану, вітроенергію, тверду біомасу, гази з біомаси, рідкі біопалива та відновлювані муніципальні відходи. Зокрема, в Україні вітроенергетика є дуже розвиненим видом ВДЕ. Проте, недостатня технічна ефективність є значним обмежуючим фактором для її розвитку, і вирішення цього завдання передбачає збільшення потужності вітроенергетичних установок.

Україна має значний потенціал для використання ВДЕ, проте ефективність використання традиційних джерел енергії сприймається, як серйозна задача.

Важливим кроком у розвитку вітроенергетики буде ефективних структур керування потужністю ВЕУ, щоб забезпечити конкурентоспроможність цього виду енергетики та зменшити його вартість.

Метою дослідження є вдосконалення ефективності управління вітровою енергетичною установкою шляхом розробки системи автоматичного керування, за рахунок оптимізації відбору потужності від вітрового колеса, що дозволяє підвищити загальну продуктивності вітроенергетичної установки.

Об'єктом дослідження в магістерській роботі є вітроенергетична установка.

Предметом дослідження є процеси регулювання потужності вітроенергетичної установки.

Задачі дослідження:

- Провести аналіз відомих структур ВЕУ та їх систем керування.
- Провести аналіз вітрового потенціалу місцевості
- Розробити структуру системи автоматичного керування ВЕУ.
- Розробити функціональну схему системи автоматичного керування ВЕУ.
- Здійснити вибір стандартного електричного обладнання для запропонованої системи автоматичного керування.
- Розробити комп'ютерну модель вітроенергетичної установки та її системи керування.
- Отримати графіки перехідних процесів при роботі запропонованої системи керування ВЕУ

Наукова новизна одержаних результатів.

Розроблено закон керування для регулятора струму зарядки акумуляторів в системі керування вітроенергетичною установкою, що наближає її роботу до точки максимального відбору потужності від вітрового колеса.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Отримав подальший розвиток підхід до побудови системи керування потужністю вітрової енергетичної установки.
2. Розроблено систему автоматичного керування вітрової енергетичної установки.
3. Розроблено структурну схему мікропроцесорного засобу та алгоритм його роботи для реалізації функцій регулятора системи автоматичного керування, що дозволяє підвищити гнучкість та спростити процес налагодження запропонованої системи.

Особистий внесок здобувача. Основні розрахункові результати з формулюванням відповідних висновків отримані автором самостійно.

Публікації. За тематикою дослідження опубліковано тези доповідей матеріалів конференції:

Всеукраїнська науково-практична конференції «**Світові тенденції ресурсозбереження**» . м. Харків. 25 - 27 жовтня 2023 р

1 АНАЛІЗ АСПЕКТІВ РОБОТИ І ХАРАКТЕРИСТИКА ІСНУЮЧИХ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Вітрова енергетична установка – це комплекс взаємопов'язаного обладнання та споруд, призначений для перетворення енергії вітру на інші види енергії (насамперед електричну, а також механічну та теплову). Основою роботи будь-якої вітроенергетичної установки є використання кінетичної енергії вітру. Вітер виникає внаслідок нерівномірного нагрівання поверхні поверхні Землі сонячним випромінюванням, через яке виникає різниця тиску в різних областях атмосфери та утворюються конвективні течії. Таким чином, можна стверджувати, що енергія вітру виникає внаслідок перетворення сонячної енергії в кінетичну енергію рухомих повітряних мас. На глобальному рівні на ці термічні явища накладається ефект обертання Землі, що призводить до появи певних переважаючих напрямків вітру. Крім загальних, або синоптичних закономірностей багато в цих процесах проявляються місцеві особливості, обумовлені певними географічними або екологічними факторами. Вітер характеризується своєю непостійністю за швидкістю та напрямком. Тим не менше, на Землі існують області, де він постійний протягом певного часу часі або протягом сезону, або ж протягом усього року. В таких областях розташування ВЕУ є найбільш вигідним. Вітер також змінюється в залежності від висоти над землею. Поблизу поверхні землі швидкість вітру зменшується через наявність тертя між шарами повітря та землею. Крім того, поблизу поверхні спостерігаються завихрення повітряних потоків. Швидкість вітру також зменшується в разі наявності будь-яких перешкод штучного (будівлі та споруди) або природного характеру (пагорби, гори тощо). Тому доцільно розташовувати ВЕУ на певній висоті від поверхні землі.

1.1 Класифікація існуючих структур вітроенергетичних установок

При експлуатації вітрових енергетичних установок однією з основних умов є забезпечення їх захисту від руйнування внаслідок дуже сильних випадкових поривів вітру. Вітрові навантаження пропорційні квадрату швидкості вітру, але раз у 50 років можуть виникати вітри із швидкістю в 5-10 разів вищою за середню, тому установки доводиться проектувати з великим запасом міцності. Крім того, швидкість вітру коливається в часі, що може призвести до руйнувань конструкцій від втоми, а для лопатей також існують значні змінні гравітаційні навантаження (близько 10^7 циклів за 20 років експлуатації).

Вітроенергетичні установки класифікують за наступними параметрами:

- за видом виробленої енергії;
- за потужністю;
- за областями застосування;
- за призначенням;
- за ознакою роботи із постійною або змінною частотою обертання вітрового колеса (ВК);
- за методами керування;
- за структурою системи генерації енергії.

За видом виробленої енергії вітрові енергетичні установки поділяються на механічні та електричні. Електричні вітрові енергетичні установки, в свою чергу, поділяють на установки постійного та змінного струму.

1.2 Класифікація по типу застосовуваної вітротурбіни

На сьогоднішній день використовуються дві основні конструкції вітрових установок (рисунки 1.1): горизонтально-осьові та вертикально-осьові вітрогенератори. Обидва типи ВЕУ мають приблизно однаковий коефіцієнт

корисної дії, але найширше поширення отримали вітрогенератори першого типу. Потужність вітрових установок може варіюватися від сотень ват до кількох мегават.

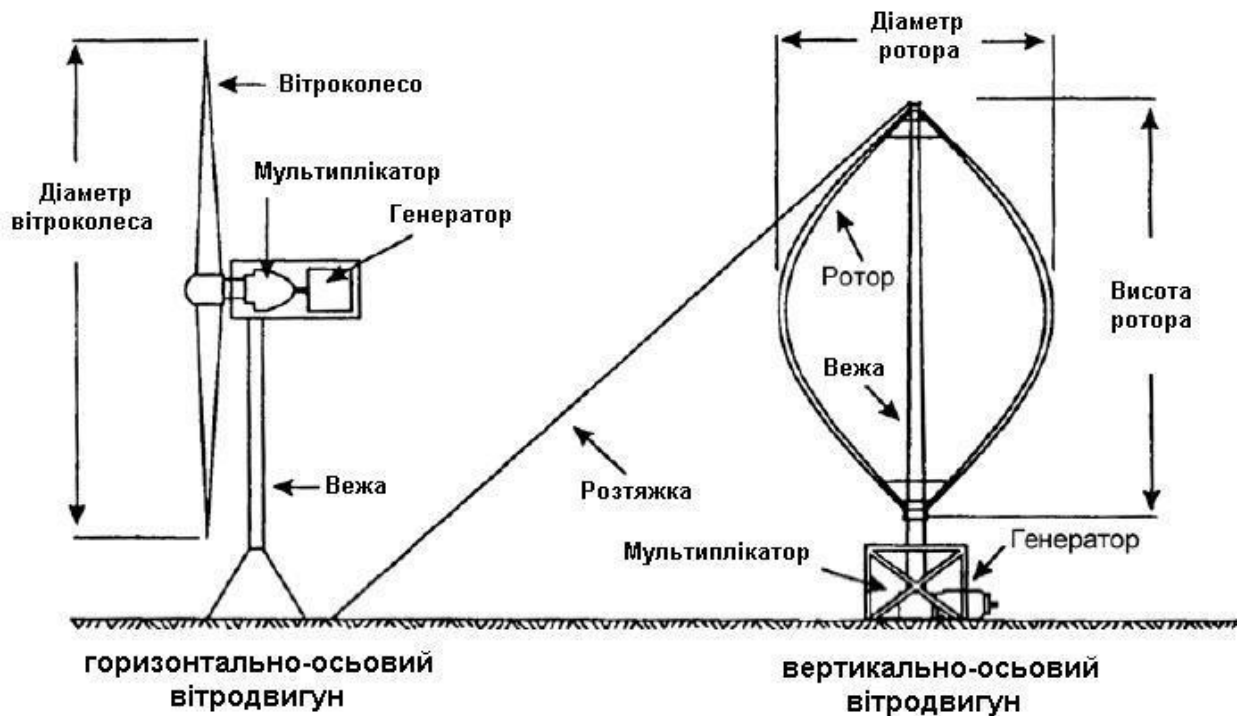


Рисунок 1.1 - Основні види вітрових колес ВЕУ

Вітрові установки обох типів складаються з наступних основних компонентів:

Вітроколесо (віротурбіна, ротор) – перетворює енергію вітрового потоку в механічну енергію обертання валу турбіни. Діаметр вітроколеса коливається від декількох метрів до декількох десятків метрів. Частота обертання варіює від 15 до 100 обертів в хвилину. Зазвичай для підключених до мережі вітроенергетичних установок частота обертання вітроколеса постійна, а для автономних систем з випрямлячем і інвертором – зазвичай змінна. Вітроколесо містить лопаті, які закріплюються в основі вітроколеса;

Мультиплікатор (редуктор) – проміжна ланка між вітроколесом і електрогенератором, яка підвищує частоту обертання валу вітроколеса і забезпечує синхронізацію з обертами генератора. Виняток становлять вітроенергетичні установки малої потужності зі спеціальними генераторами на

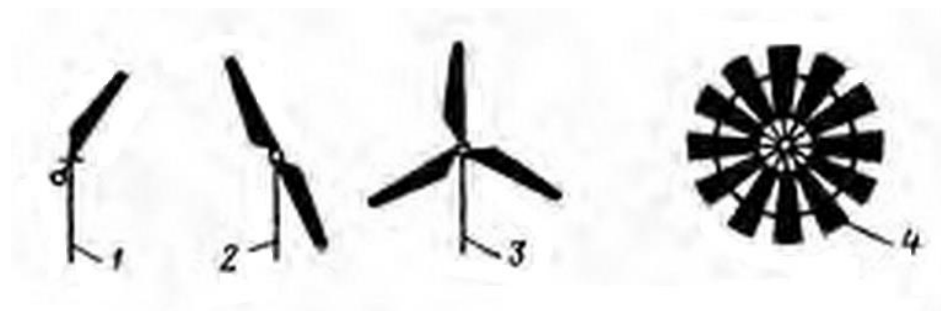
постійних магнітах; в таких вітроустановках мультиплікатори зазвичай не використовуються;

Вежа або щогла (іноді підсилюють сталевими розтяжками) – служить для орієнтації вітроколеса і мультиплікатора на вітер на певній висоті відносно землі, що необхідно для продуктивної роботи вітрогенератора та виконання вимог техніки безпеки. У великих вітроенергетичних установках висота вежі може сягати 75 метрів. Зазвичай це циліндричні щогли, хоча також використовуються решітчасті башти;

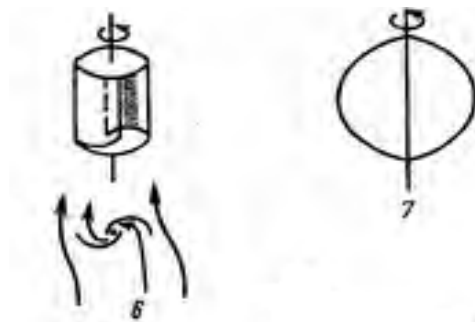
Основа (фундамент) – призначена для запобігання падінню установки при сильному вітрі.

Віротурбіна з горизонтальною віссю. Розглянемо горизонтально-осьові віротурбіни пропелерного типу. Основним аспектом обертання коліс цього типу є підйомна сила. До вітру вітроколесо в робочому положенні може розташовуватися перед опорною вежею або за нею. При передньому розташуванні віротурбіна повинна мати аеродинамічний стабілізатор або який-небудь інший пристрій, який утримує її в робочому положенні. При задньому розташуванні вежа частково затінює вітроколесо і турбулює вітровий потік. При роботі колеса в таких умовах виникають циклічні навантаження, підвищений шум і флуктуації вихідних параметрів вітроустановки. Напрямок вітру може змінюватися досить швидко, і вітроколесо повинно чітко відслідковувати ці зміни. Тому для ВЕУ потужністю понад 50 кВт для цієї мети використовуються електричні серводвигуни.

Але вітроенергетичні установки з горизонтальною віссю мають ряд недоліків, включаючи потребу в регулюванні орієнтації до напрямку вітру, що значно ускладнює конструкцію та підвищує вартість установки в цілому. Це серйозно ускладнює застосування установок даного типу в сфері малої вітроенергетики. До недоліків такої конструкції також можна віднести збільшений шум через ефект "зриву потоку".



а)



б)

Рисунок 1.2 - Класифікація вітротурбін: а) - з горизонтальною віссю;
б) - з вертикальною віссю.

На рисунку 1.2: 1 - однолопатне колесо; 2 - дволопатне, 3 - трилопатне, 4 - багатолопатне; 5 - ротор Савоніуса; 6 - ротор Дар'є.

В вітроелектрогенераторах зазвичай використовуються двох і трилопатеві вітротурбіни (рисунок 1.2), останні відрізняються дуже плавним ходом. Електрогенератор і редуктор, що з'єднує його з вітроколеса, розташовані зазвичай на верху опорної вежі в поворотній голівці, В принципі їх зручніше розмішати внизу, але виникають при цьому складнощі з передачею крутного моменту знецінюють переваги такого розміщення. Багатолопатеві колеса, розвиваючі великий крутний момент при слабкому вітрі, використовуються для перекачування води та інших цілей, не вимагають високої частоти обертання вітрового колеса.

Вітроелектрогенератори з вертикальною віссю (рисунок 1.2, б).

Вітроенергетичні генератори з вертикальною осі обертання завдяки своїй формі працюють, незалежно від напрямку вітру. Також ця конструкція дозволяє розташувати редуктор і генератор внизу вежі, просто збільшивши довжину валу.

Але в них є свої недоліки:

- Вони схильні до «втомних» поломок через часті автоколивання.

- Виникає пульсація крутного моменту, що призводить до непотрібних коливань параметрів генератора. Більшість вітроенергетичних генераторів використовують горизонтальну ось, але тривають дослідження вертикальних конструкцій.

Існують два типи вітродвигунів: тихохідні багатолопатеві і швидкохідні малолопатні. Тихохідні багатолопатеві вітродвигуни можуть починати працювати при слабкому вітру завдяки великому крутному моменту. Вони ефективно працюють при малих швидкостях вітру, але не дуже стабільно утримують постійну швидкість обертання. Тому їх важко використовувати там, де потрібна стабільність обертання, наприклад, для освітлення. Проте вони чудово справляються з потребами насосів з постійним навантаженням. Завдяки розміром вітроколеса, тихохідні вітродвигуни не дуже підходять для великих потужностей.

Другий тип вітродвигунів - це швидкохідні малолопатні, що мають вітроколесо з 2 - 3 лопатями. Вони можуть бути великих розмірів і потужностей, аж до вітроколеса діаметром в 50 м. Завдяки можливості порівняно хорошого регулювання числа обертів ці двигуни, застосовуються для електрифікації і механізації. Крім того, випускаються малопотужні двигуни з діаметром вітроколеса від 1 до 3,5 м для освітлення малих приміщень і зарядки акумуляторів.

Залежно від сфери застосування ВЕУ підрозділяють на автономні і мережеві і гібридні (рисунок 1.1, рисунок 1.2 та рисунок 1.3).

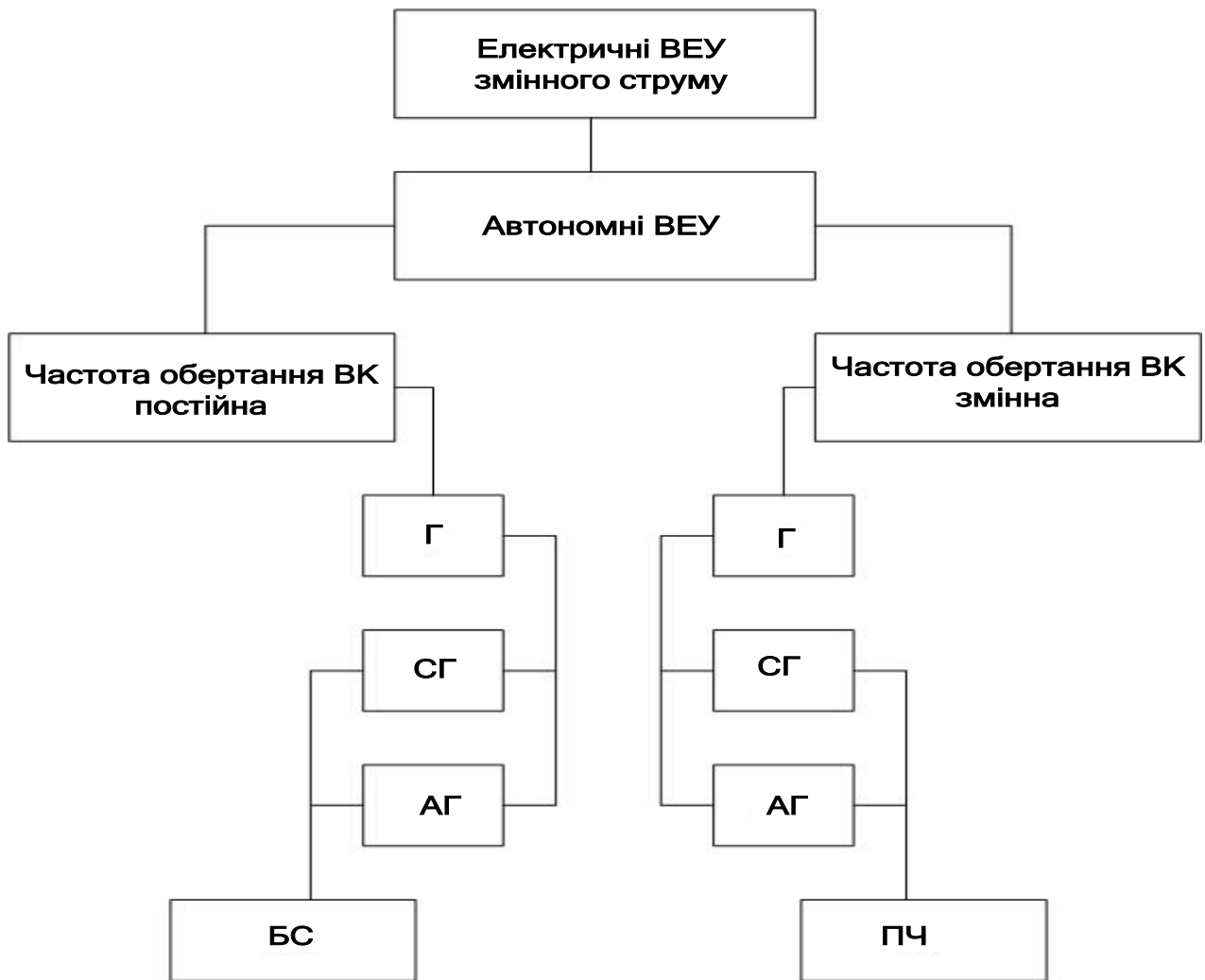


Рисунок 1.1 – Структурна схема автономних ВЕУ: Г – генератор; АГ – асинхронний генератор; БО – баластний опір; ПЧ – перетворювач частоти

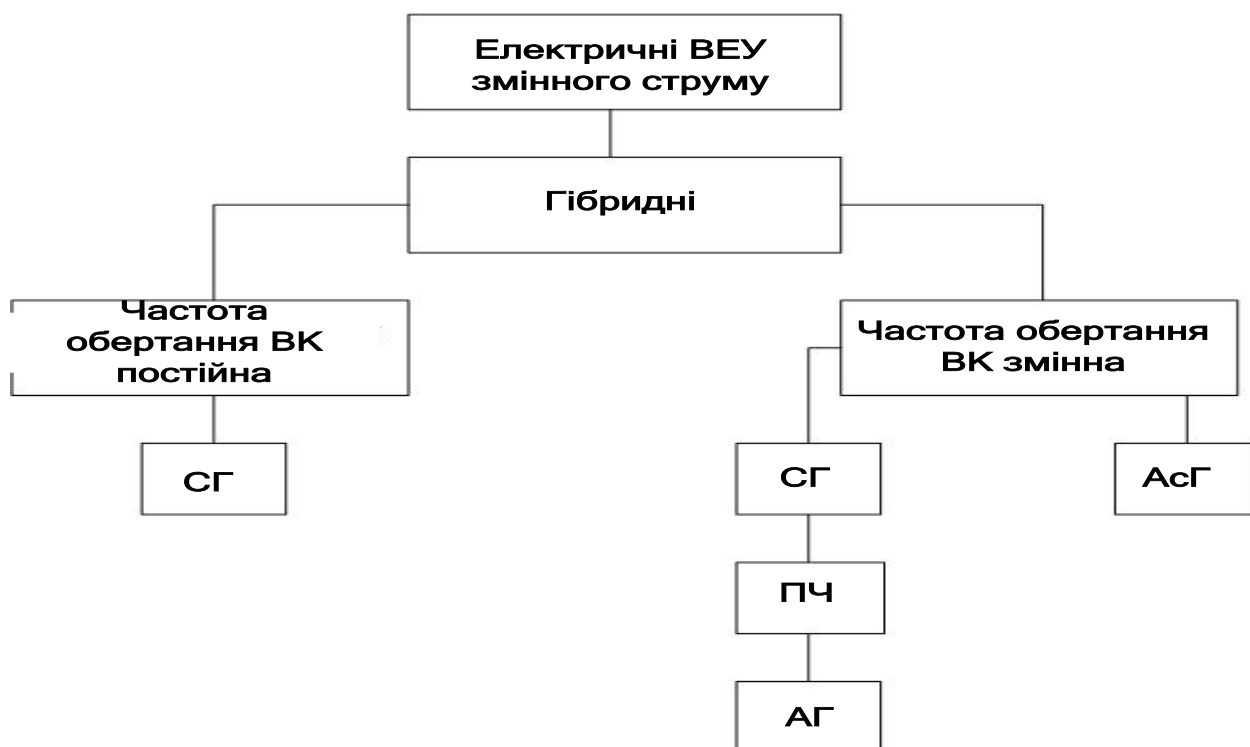


Рисунок 1.2 – Структурна схема гібридних ВЕУ: СГ – синхронний генератор, АсГ – асинхронізований генератор; ПЧ – перетворювач частоти

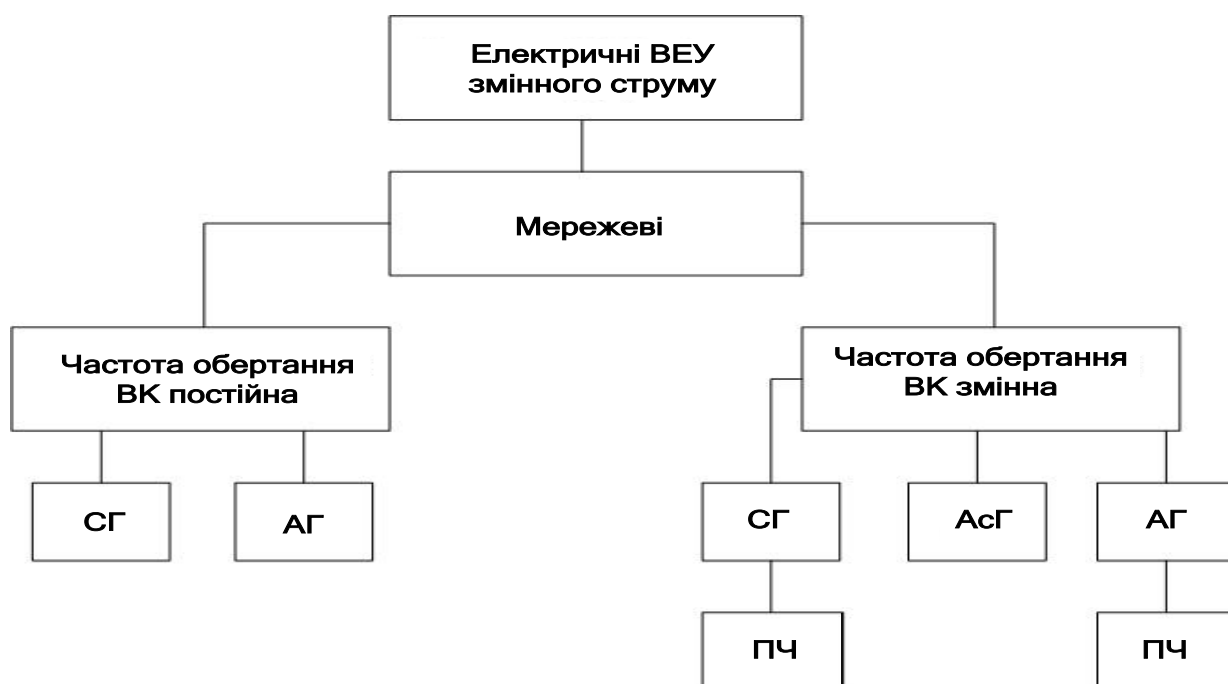


Рисунок 1.3 – Структурна схема мережевих ВЕУ: СГ – синхронний генератор; АГ – асинхронний генератор; АсГ – асинхронізований генератор; ПЧ – перетворювач частоти

1.3 Класифікація ВЕУ за типом застосовуваного генератора та силових перетворювачів

У даний час для ВЕУ найбільш поширеними є асинхронні генератори із короткозамкнутим ротором, а також застосовуються генератори постійного струму, синхронні генератори, асинхронний генератор з фазним ротором. Якщо асинхронний двигун приводиться в рух із частотою більшою, ніж синхронна частота, то він буде працювати в якості генератора, тому, як правило, для ВЕУ використовуються серійні асинхронні двигуни.

АГ підключаються до мережі безпосередньо, (Рисунок 1.4). До тих пір, поки частота обертання машини перевищує синхронну частоту, вона віддає в мережу електроенергію із частотою, що рівна частоті мережі. Використання АГ із КЗ ротором дозволяє економити на додаткових системах керування, оскільки в разі використання асинхронної машини допускається менш точне підтримання частоти обертання ВК, а також АГ легше входить у синхронізм із мережею [51].

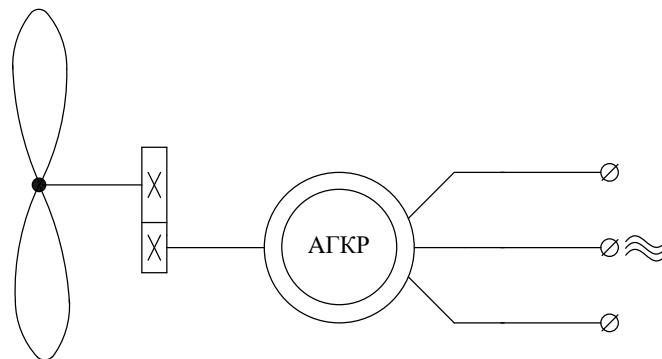


Рисунок 1.4. Схема підключення ВЕУ із використанням АГ з КЗ ротором

Іншим варіантом використання для ВЕУ АГ з КЗ ротором є схема із використанням безпосереднього перетворювача частоти. Така система, що зображена на рисунку 1.5 має більші можливості щодо керування ВЕУ, а також покращення ряду показників.

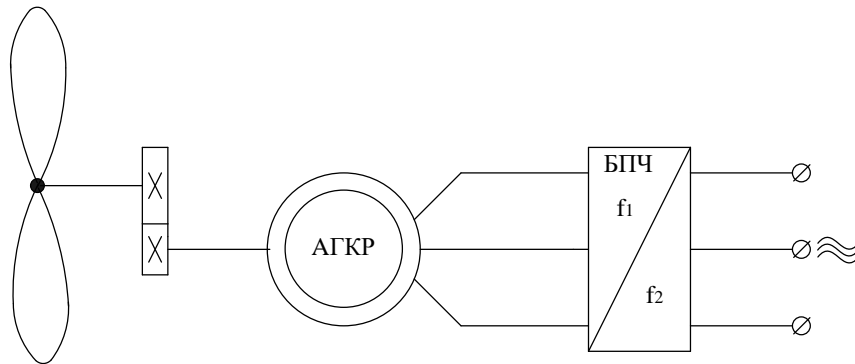


Рисунок 1.5. Схема підключення ВЕУ із використанням АГ з КЗ ротором і безпосереднього перетворювача частоти

Однак використання для ВЕУ асинхронної машини має ряд недоліків: при одному і тому ж вітровому режимі вона виробляє менше енергії ніж синхронна машина; вона працює з меншим коефіцієнтом потужності, обумовленим великими струмами намагнічення, які приблизно пропорційні квадрату напруги, тобто вона споживає реактивну потужність індуктивного характеру із мережі, що вимагає в ряді випадків використання компенсуючих пристроїв; обмежена можливість керування швидкістю генератора, що зводиться до аеродинамічного керування ВК або керування за допомогою зміни передаточного числа мультиплікатора. Наявність мультиплікатора знижує ККД системи.

Іншим варіантом електромеханічного перетворювача для ВЕУ є використання синхронного генератора. Найбільш проста схема, зображена на рисунку 1.6, включає в себе синхронний генератор, що працює паралельно з енергосистемою .

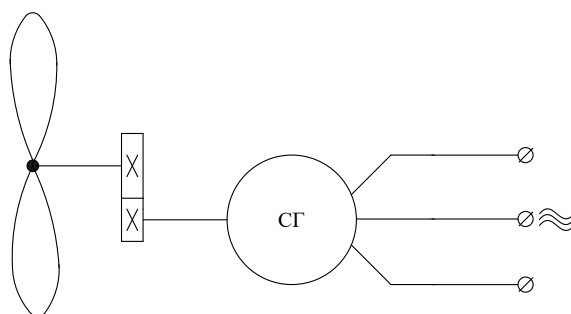


Рисунок 1.6 – Схема підключення ВЕУ із безпосереднім підключенням СГ до мережі

Оскільки, зазвичай, потужність енергосистеми набагато більша потужності ВЕУ, електрична машина буде знаходитися в синхронізмі в широкому діапазоні зміни потужності, що розвивається ВД. Перевагою СГ є можливість генерації та регулювання як активної, так і реактивної потужності, а також можливість регулювання напруги статора. Недоліки застосування синхронної машини із безпосередньою роботою на енергосистему, полягають в тому, що при певних вітрових умовах вона може переходити на роботу в режим двигуна и споживати енергію із енергосистеми, машина здатна до коливань при паралельній роботі з іншими агрегатами, а при різких поривах вітру з'являється велика імовірність випадання її із синхронізму. Наступна ж синхронізація машини і підключення її до енергосистеми являється складним процесом.

Значною мірою цих недоліків ВЕУ позбавляється при застосуванні безпосереднього перетворювача частоти, включеного між СГ та енергетичною системою, як показано на рисунку 1.7.

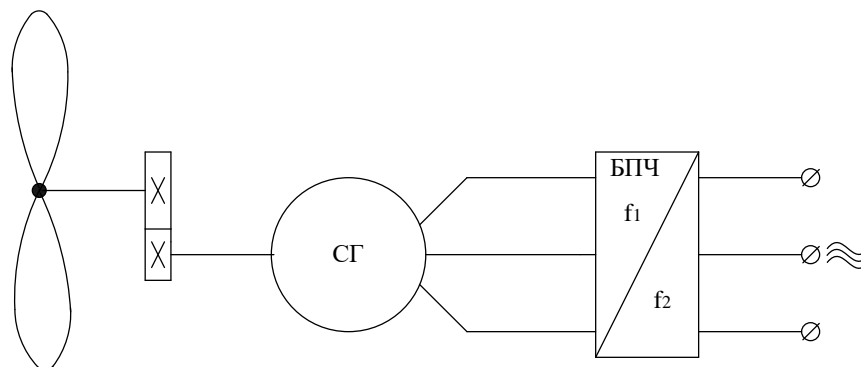


Рисунок 1.7 – Схема підключення СГ ВЕУ до мережі із застосуванням безпосереднього перетворювача частоти

Але така система має обмеження по керуванню ВЕУ, зокрема по керуванню її швидкістю обертання і моментом ВК. І звичайно ж недоліком є застосування мультиплікатора, що узгоджує частоту обертання ВК із генератором.

Суттєво кращі регульовальні можливості мають ВЕУ із застосуванням синхронного генератора і перетворювача частоти, що складається з кількох ланок.

Одним із таких варіантів структури є ВЕУ на основі синхронних генераторів із використанням додаткових перетворювачів. Статор синхронного генератора має трифазну обмотку, а на роторі може знаходитися обмотка збудження або постійні магніти. На рисунку 1.8 показана типова структура ВЕУ із синхронним генератором з використанням обмотки збудження. До мережі така установка підключена через силовий перетворювач частоти. Така система дозволяє контролювати коефіцієнт потужності і є ефективною за рахунок використання сучасних перетворювачів частоти із високим ККД.

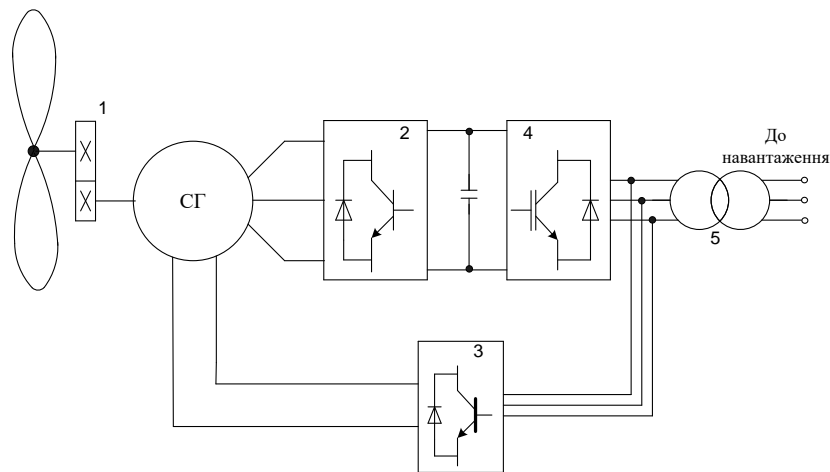


Рисунок 1.8. Конфігурація вітрової енергетичної установки із використанням синхронного генератора

На рисунку вітряне колесо підключено до редуктора (варіатора) 1, синхронний генератор СГ під'єднаний до мережі через два випрямлячі 2, 3, які працюють на основі широтно-імпульсної модуляції. Один з яких підключено до обмотки статора, що випрямляє напругу для інвертора 4, що через трансформатор 5 передає напругу у мережу, і може регулювати момент генератора. Інший керує випрямлячем, що живить обмотку збудження синхронного генератора.

Однак, така система потребує використання редуктора, що знижує ККД системи та синхронного генератора, розміри якого можуть бути досить значними, тобто така система є громіздкою.

На рисунку 1.9 показано варіант підключення ВЕУ через редуктор 1 до мережі із використанням синхронного генератора на постійних магнітах. Перевагою такого варіанту є простота конструкції і відсутність контактних кілець. Обмотка статора генератора підключена до мережі через діодний випрямляч 2, ШІМ-перетворювач 3 та інвертор 4. Діодний випрямляч випрямляє змінну напругу, зняту із статора генератора, ШІМ-перетворювач служить для регулювання моменту обертання вітротурбіни, для отримання максимальної потужності від ВК. Інвертор перетворює постійну напругу у змінну і віддає її у мережу, а також контролює коефіцієнт потужності [57,59].

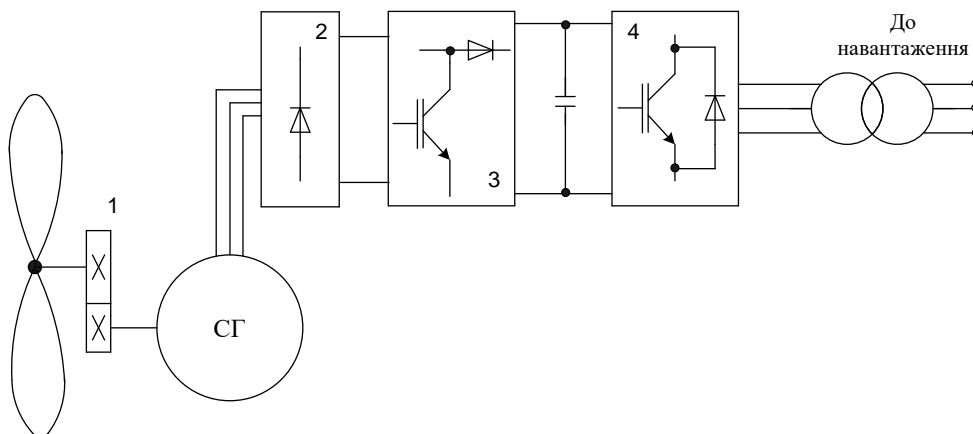


Рисунок 1.9 Структура системи ВЕУ із використанням синхронного генератора на постійних магнітах

Недоліком цієї системи, як і попередньої є використання редуктора, для підвищення частоти обертання вала, що необхідно для синхронного генератора. Наявність редуктора призводить до зменшення ККД ВЕУ. Постійні магніти в синхронному генераторі є дорогими і можуть втрачати магнітні властивості. Сам генератор має значні масогабаритні показники і годиться для установок невеликої потужності. Відсутня можливість прямого регулювання вихідної напруги.

Також використовуються асинхронні генератори із подвійним живленням, в якості яких можуть застосовуватися асинхронні двигуни з фазним ротором, які можуть бути використані для ВЕУ, так як мають певні переваги.

Головна перевага асинхронного генератора з фазним ротором полягає в тому, що напруга на його виході має постійну частоту при зміні частоти обертання ротора в деяких межах.

Існують два варіанти схем із використанням генератора подвійного живлення – схема асинхронізованого синхронного генератора (АСГ) та над синхронного вентильного каскаду (НВК).

На Рисунок 1.10 показано схему асинхронізованого синхронного генератора із використанням в обмотці ротора безпосереднього перетворювача частоти (БПЧ), а обмотка статора напряму підключається до енергетичної системи.

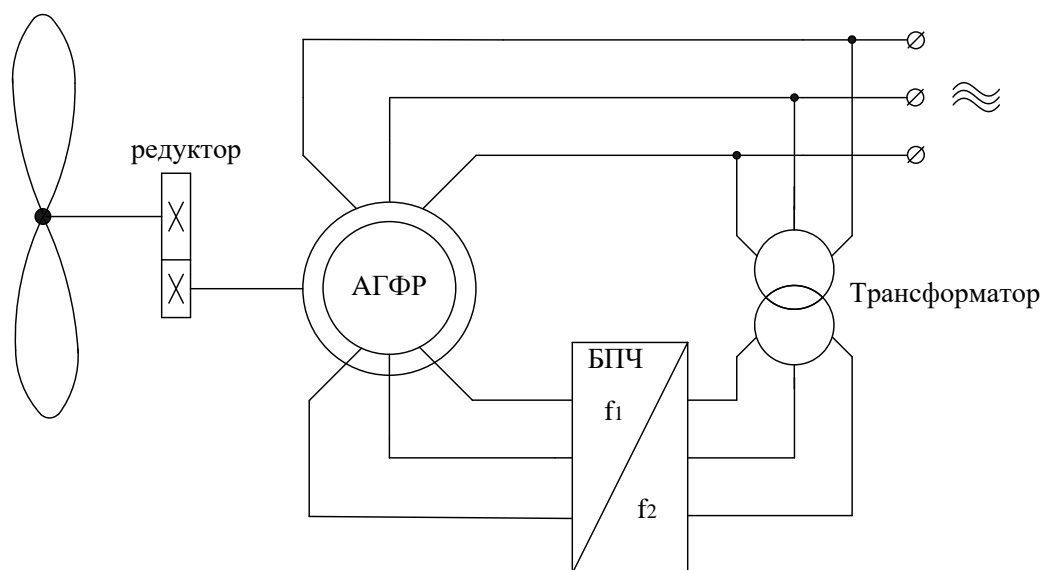


Рисунок 1.10. Схема ВЕУ на базі асинхронізованого синхронного генератора із живленням ротора через перетворювач частоти

ВЕУ на основі асинхронізованого синхронного генератора може працювати як в надсинхронному, так і в під синхронному режимах. Для того, щоб отримати приємлиму потужність, діаметр цих машин має бути достатньо великим, тобто використання серійних АД з фазним ротором обмежене. Крім

того серійна машина працюватиме в режимах, далеких від номінального, що є небажаним.

На рисунку 1.11 показана спрощена схема ВЕУ із використанням надсинхронного вентильного каскаду. Обмотка статора приєднується до енергетичної системи, а обмотка ротора підключена до входу трифазного випрямляча, який з'єднано з інвертором, що ведений мережею (ІВМ) [54, 61].

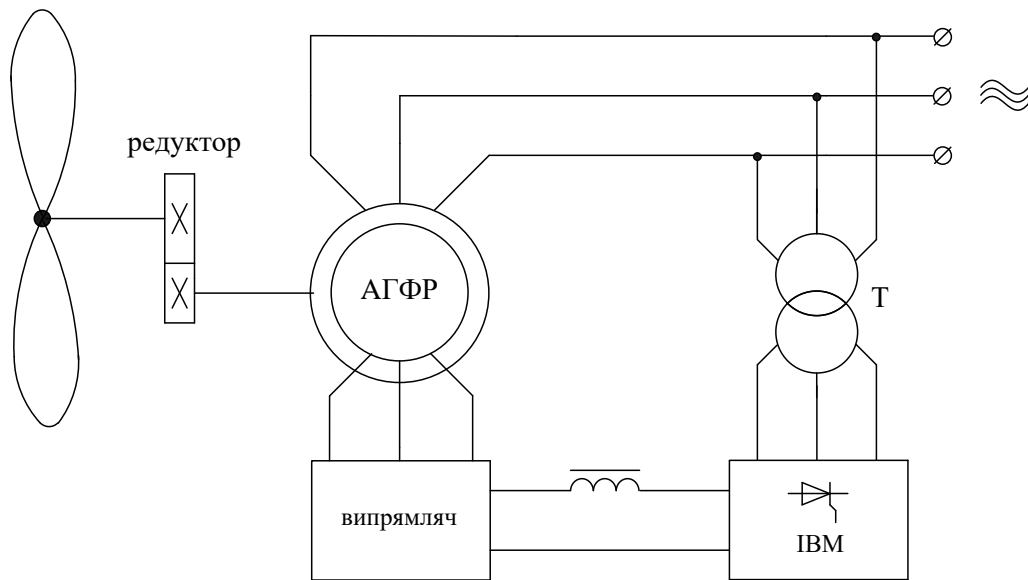


Рисунок 1.11. Схема ВЕУ із використанням НВК

Потужність в такому випадку знімається зі статора і з ротора, що збільшує коефіцієнт використання машини, а також розширює можливості керування.

Недоліком такої системи, крім перерахованих для асинхронізованого синхронного генератора, є також те, що генерування активної потужності можливе лише при надсинхронній швидкості обертання, підсинхронний режим неможливий, так як випрямляч в колі ротора може пропускати активну потужність тільки від роторної обмотки на перетворювач частоти, а не навпаки. Це означає необхідність в високій швидкості обертання ВК (а ВЕУ вертикального типу є тихохідними) або ж застосування мультиплікатора, котрий знизить загальний ККД системи.

Висновок: В розділі 1 розглянуто теоретичні аспекти улаштування і застосування вітрових коліс ВЕУ, а також деякі структури з різними типами

електричних генераторів. Ключовими недоліками проаналізованих варіантів ВЕУ є: мала ефективність через низький аеродинамічний ККД вітроколеса, внаслідок порушення нормального аеродинамічного обтікання вітроколеса і великих аеродинамічних втрат та недостатньо адаптовані принципи керування потужністю до конкретних випадків застосування ВЕУ.

2 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЇ ВІТРОКОЛЕСА ВЕУ

На Рисунку 2.1 представлено зовнішній вигляд та складові частини горизонтального вітрового генератора.

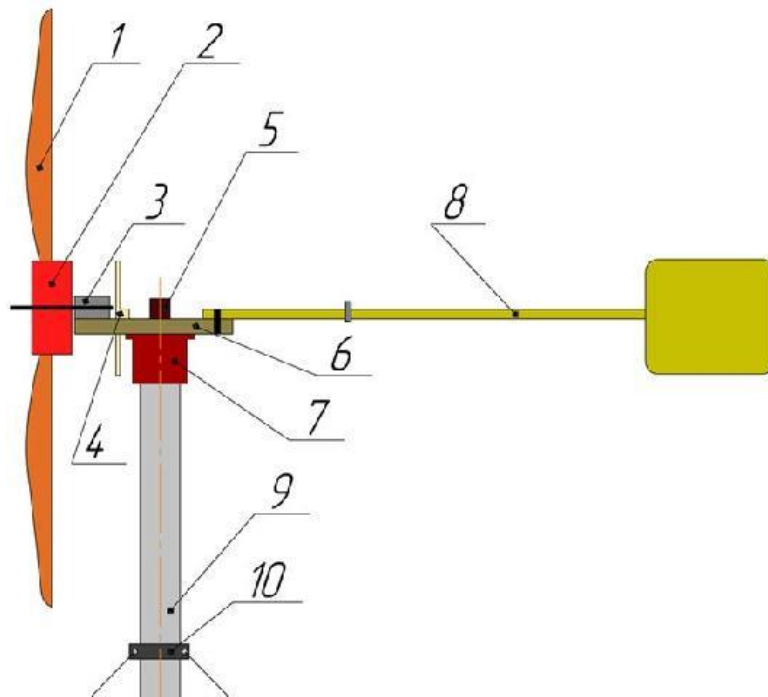


Рисунок 2.1 – Складові частини ВЕУ з горизонтальною віссю обертання вітрового колеса

1. лопаті вітроколеса;
2. генератор;
3. станина для закріплення вала генератора;
4. бічна лопать для захисту вітрогенератора від ураганного вітру;
5. струмоприймач, який передає струм до нерухомих контактів;
6. рама для кріплення вузлів ВЕУ;
7. поворотний вузол, який дозволяє повертатися вітроенергетичній установці навколо осі;
8. хвіст з опірненням для орієнтації вітроколеса за вітром;

9. щогла ВЕУ;

10. хомут для кріплення розтяжок

На рисунку 2.2 зображені розміри бічних лопатей (1), хвіст з оперенням (2), а також важіль (3), через який передається зусилля від пружини. Хвіст з оперенням для повороту вітроколеса за вітром потрібно виготовити за розмірами з профільної труби 20x40x2,5 мм і покрівельного заліза як оперення.

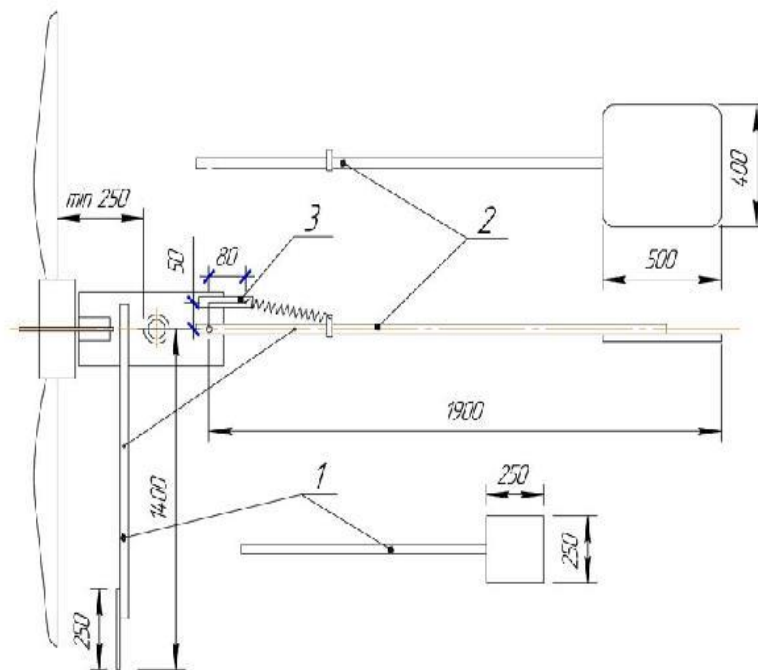


Рисунок 2.2 – Розміри конструкції вітроколеса ВЕУ

Для безпечного монтажу генератора необхідно дотримуватись відстані не менше 250 мм між лопатями і щоглою. В іншому випадку неможливо гарантувати, що лопаті, під дією вітру та гіроскопічних сил, не вигинуться настільки, що не пошкодять щоглу.

2.1 Захист вітрової енергетичної установки від ураганного вітру

Максимальна швидкість вітру, при якій може експлуатуватися дана вітряна електростанція, складає 8-12 м/с. Якщо швидкість вітру більша, робота вітряної електростанції повинна обмежуватися.

Звичайно, запропонований тип вітряка тихохідний. Навряд чи лопаті розкрутяться до надзвичайно високих обертів, при яких вони зруйнуються. Але при занадто сильному вітрі тиск на хвіст оперення стає дуже значним, і при різкій зміні напрямку вітру вітрогенератор буде різко повертатися.

Враховуючи ж, що лопаті при сильному вітрі швидко обертаються, то вітроколесо перетворюється у великий важкий гіроскоп, який противиться будь-яких поворотів. Саме тому між рамою і вітроколесом виникають значні навантаження, які зосереджуються на валу генератора.

Крім того, шестилопатеve вітроколесо діаметром 3 м володіє значним аеродинамічним опором, і при сильному вітрі буде значно навантажувати щоглу.

Тому, для довгої і надійної роботи, необхідно захистити його від ураганних вітрів. Найпростіше захистити вітряк за допомогою бічної лопаті. Це досить простий пристрій, що добре зарекомендував себе на практиці.

Робота бічної лопаті полягає в наступному: при робочому вітрі (до 8 м/с) тиск вітру на бічну лопать (1) менше жорсткості пружини (3), і вітряк встановлюється приблизно за вітром за допомогою оперення. Для того щоб пружина не складала вітряк при робочому вітрі більше ніж це потрібно, між хвостом (2) і бічною лопаттю натягнута розтяжка (4).

Коли швидкість вітру досягає 15 м/с, тиск на бічну лопать стає сильнішим, ніж зусилля пружини, і вітрогенератор починає складатися. При цьому вітряний потік починає набігати на лопаті під кутом, що обмежує потужність вітроколеса.

При сильному вітрі вітрове колесо автоматично складається, а лопаті вирівнюються паралельно до напрямку вітру, призводячи до припинення його

роботи. Розміри бічної лопаті представлені на рисунку 2.3. Рекомендується виготовляти бічну лопать та її опору з профільної труби 20x40x2,5 мм та сталевго листа товщиною 1-2 мм.

Для робочої пружини можна використовувати будь-які пружини з вуглецевої сталі із захисним цинковим покриттям. Головне, щоб сила пружини в крайньому положенні становила 12 кг, а в початковому (коли вітряк ще не складений) – 6 кг.

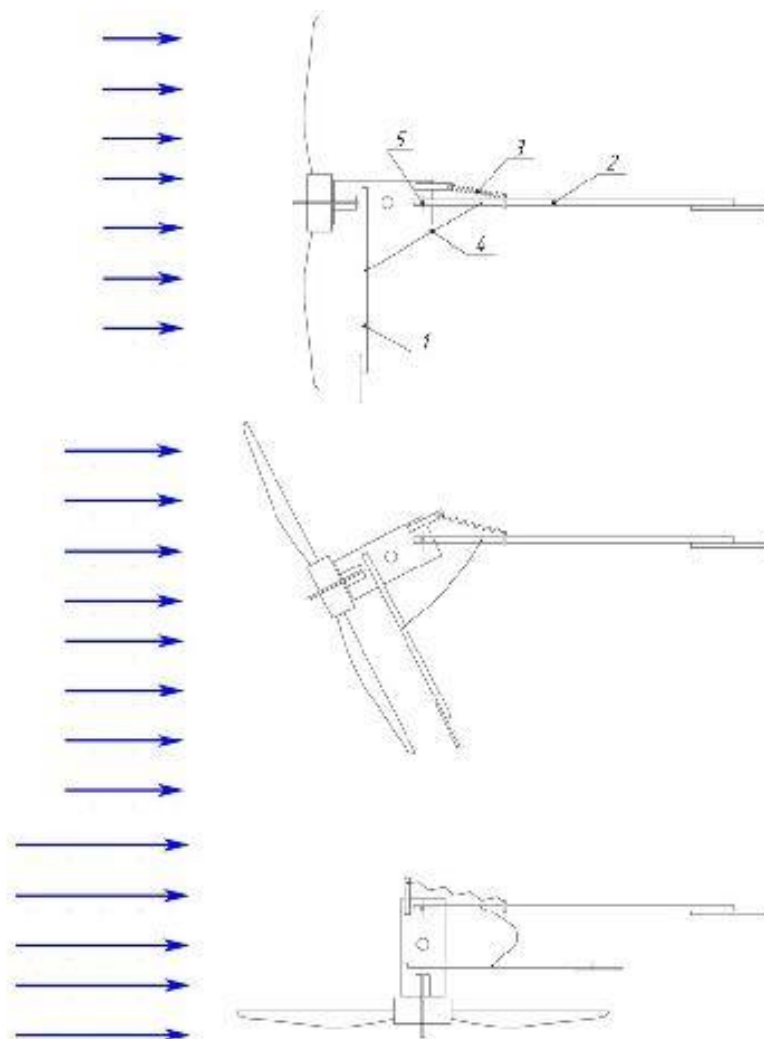


Рисунок 2.3 – Захист установки від ураганних вітрів.

3 ПОПЕРЕДНІЙ РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ГЕНЕРАТОРА ВЕУ

Електричний генератор та необхідне обладнання для ВЕУ необхідно обирати виходячи з таких умов:

- Кількість електроенергії, яка потрібна об'єкту щомісячно (вимірюється в кВт-год). Ці дані потрібні для вибору електрогенератора і їх можна отримати з комунальних рахунків на оплату електроенергії або розрахувати самостійно.

- Очікуваний період автономної роботи енергосистеми в безвітряні періоди або у ті моменти, коли споживання енергії перевищить швидкість заряджання акумуляторів від генератора. Цей параметр визначає кількість та ємність акумуляторних батарей.

Максимальне навантаження на мережу в пікові моменти (вимірюється в кВт). Це потрібно для вибору інвертора змінного струму.

3.1 Попередній розрахунок потужності генератора

Для прикладу взято типовий приватний будинок у. За попередніми розрахунками будинок споживатиме не більше 250 кВт·год. електроенергії щомісячно з урахуванням використання енергозберігаючих технологій. Витрати електроенергії не дуже високі, тому що господарі будуть використовувати для опалення та нагріву води газовий котел, а вітрогенератор необхідний тільки для живлення побутових електроприладів.

Мешканці проводять основну частину дня на роботі, а пік споживання електроенергії припадає на ранкові та вечірні години. Тому на час присутності господарів будуть ввімкнені електроприлади сумарною потужністю до 2 кВт.

Якщо будинок знаходиться на пагорбі, то є відкритий простір, навколо місця встановлення вітрогенератора.

При відключенні електроенергії під час безвітряної погоди електроенергію в будинку буде забезпечувати бензиновий генератор. Необхідно повністю забезпечити 250 кВт·год електроенергії щомісячно з піковими навантаженнями до 2000 Вт

Щоб знати, як швидко повинні зарядитися акумулятори при витраті електроенергії 250 кВт·год. на місяць: Швидкість заряду акумуляторних батарей генератором повинна скласти як мінімум 350 Ватт за годину.

Розраховуємо середню щогодинне споживання

$$W_{\text{ср.г}} = \frac{W_M}{N \cdot n}, \quad (3.1)$$

де $W_{\text{ср.г}}$ - середнє щогодинне споживання, [кВт/ г];

W_M - середньомісячне споживання;

N - число днів у місяці;

n - число годин у добі.

$$W_{\text{ср.г}} = 25030 \cdot 24 = 0,347 \text{ (кВт/ г)}.$$

Для того, щоб забезпечити заряд акумуляторних батарей генератором за цих умов із швидкістю 350 Ватт за годину, потрібно взяти генератор, номінальна потужність якого буде як мінімум в два-три рази більше необхідної, тому що генератор буде працювати всього на 30-35% від номінальної потужності

$$P_H = W_{\text{ср.г}} \cdot 2 \quad (3.2)$$

де P_H - номінальна потужність.

$$P_H = 350 \cdot 3 = 1050 \text{ (Вт)}.$$

4 РОЗРАХУНОК АЕРОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІТРОКОЛЕСА ВЕУ

Конструкційна схема 3-лопастного вітроколеса дана на рисунку 4.1., Де L- довжина лопаті, R-радіус кола, D - діаметр вітроколеса.

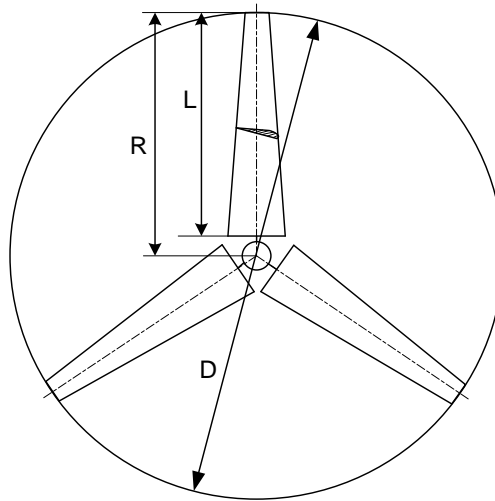


Рисунок 4.1 - Схема вітроколеса

В залежності від вітроенергетичного потенціалу для даної території та необхідної кількості електроенергії можна розрахувати площу обмаху вітроколеса:

$$S = W_{\Sigma} / \left(\eta_{\text{веу}} \cdot \frac{E_{\text{кВт-год}}}{\text{м}^2 \cdot \text{рік}} \right), \quad (4.1)$$

де, W_{Σ} - необхідна кількість енергії для споживання за один рік;

$\frac{E_{\text{кВт-год}}}{\text{м}^2 \cdot \text{рік}}$ - природний потенціал енергії вітру для даного району вибирається

з атласу енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України, згідно таблиці питомого енергетичного потенціалу вітрової енергії в Україні;

$\eta_{\text{всг}}$ – коефіцієнт перетворення енергії потоку вітроустановкою
($\eta_{\text{всг}} = \eta_a \eta_i \eta_e$).

$$S = 3000 / (0,4 \cdot 1120) = 6.69 \text{ (м}^2\text{)}.$$

$$W_{\Sigma} = W_M \cdot n, \quad (4.2)$$

n - кількість місяців у році;

W_M - кількість енергії для споживання на місяць.

$$W_{\Sigma} = 250 \cdot 12 = 3000 \text{ (Вт)}.$$

$$\eta_{\text{всг}} = \eta_B \eta_M \eta_e, \quad (4.3)$$

де η_e - коефіцієнт перетворення енергії вітрового потоку вітротурбіною (КПЕП перетворення вітрового потоку для даного типу, може приймати значення 0,1 – 0,5);

η_e - коефіцієнт корисної дії електрогенератора (0,8);

η_i - коефіцієнт корисної дії мультиплікатора та трансмісії (1), оскільки мультиплікатор не використовується.

$$\eta_{\text{всг}} = 0,5 \cdot 0,8 = 0,4$$

Знаючи площу обмаху ротора знайдемо його діаметр.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}, \quad (4.4)$$

де $\pi = 3.14$.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 6.69}{3.14}} = 2.9 \text{ (м)}.$$

Таблиця 4.1 - Питомий енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні

№ району	Середньорічна швидкість вітру, V_{cp} , м/с	Висота, м	Природний потенціал вітру, кВт.год/м ² рік	Технічно-досяжний потенціал вітру, кВт.год/м ² рік
1	< 4,25	15	1120	200
		30	1510	280
		60	2030	375
		100	2530	460
2	4,5	15	2010	390
		30	2710	520
		60	3640	700
		100	4540	850
3	5,0	15	2810	520
		30	3790	690
		60	5100	860
		100	6350	975
4	5,5	15	3200	620
		30	4320	830
		60	5810	1020
		100	7230	1150

Графічно вітроенергетичний потенціал України показаний на рисунку 4.2.

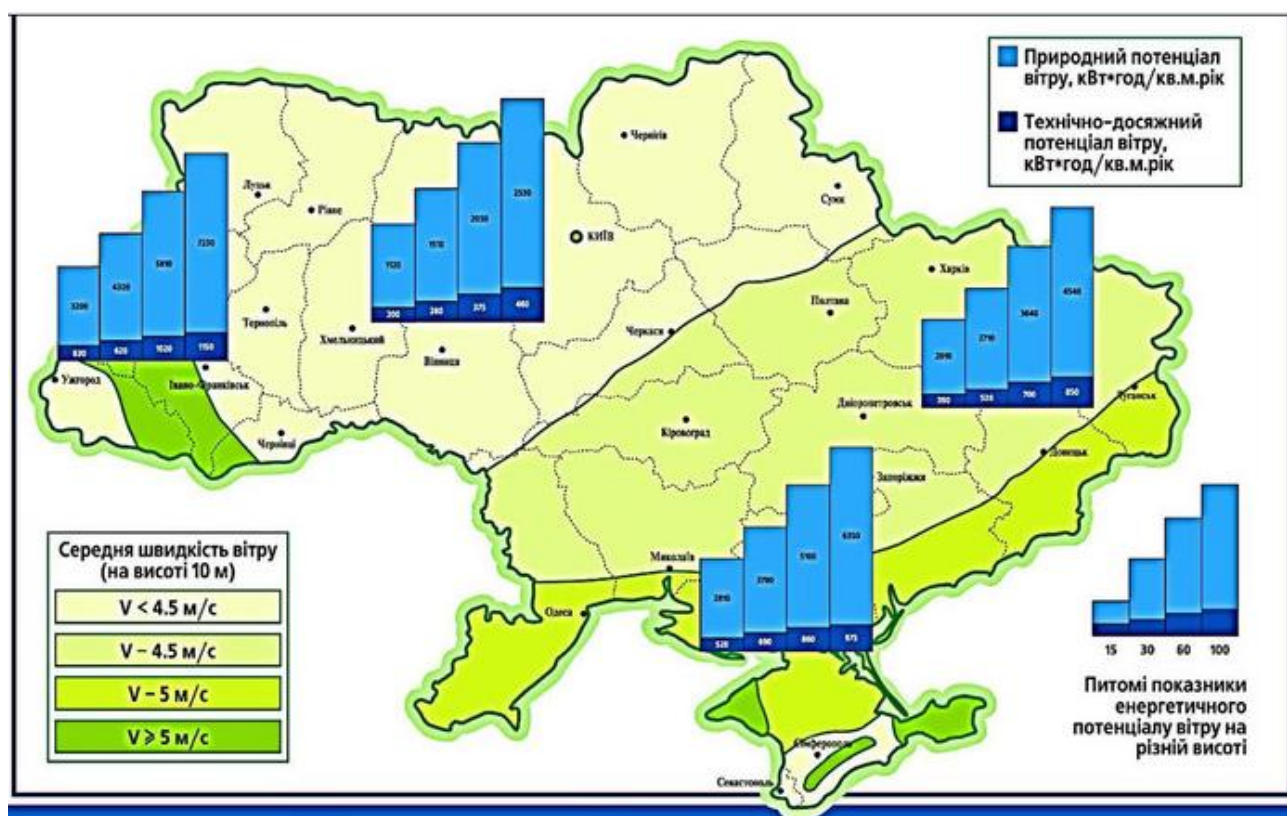


Рисунок 4.2 – Питомий енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні

Висновок. На основі фактичного вітрового потенціалу у конкретному регіоні були визначені початкова потужність вітрового генератора та основні параметри вітроколеса.

5 ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ГЕНЕРАТОРА ТА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Традиційна структура енергетичної системи з використанням вітроенергетики може бути описана так: вітровий генератор перетворює енергію вітру на механічну енергію з певними параметри, а далі вона перетворюється в електричну енергію.

Для вибору типу електричного генератора для вітроенергетичної установки проводився аналіз можливих варіантів.

Недоліки у вітроенергетичних установках з асинхронним генератором із короткозамкненим ротором включають низьку ефективність, фіксовану робочу частоту обертання, що обмежує використання енергії, наявність мультиплікатора, що погіршує надійність і підвищує вартість. Хоча переваги цього технічного рішення включають в себе надійність асинхронного генератора при невисокій вартості, його невибагливість та можливість використання стандартних машин відповідної потужності, а також простоту підключення вітроенергетичної установки до мережі.

Незважаючи на перераховані недоліки, до недавнього часу близько 85 % світового парку мережевих ВЕУ було реалізовано саме таким чином. Виробництво даної конструкції відбувається і нині.

В конструкції ВЕУ на базі асинхронного генератора з фазним ротором завдяки наявності регульованого опору обмотки ротора з'являється можливість змінювати механічну характеристику генератора, що дозволяє змінювати частоту обертання до 10 % вище номіналу. Можливості первинного перетворювача енергії використовуються краще, ніж при оснащенні ВЕУ АГ з КЗ ротором. Однак наявність обмотки ротора, ковзних контактів і блоку баластних резисторів погіршують показники надійності.

Рішення ВЕУ з асинхронизированим синхронним генератором забезпечує стабільну частоту генерованої напруги в широкому діапазоні частот обертання ВК ($\pm 30\%$ від номінальної і більше), що дозволяє значно підвищити ефективність первинного перетворення енергії. Однак на порушенні при значній розбіжності частот витрачається відчутна частина електроенергії, що виробляється. Наявність ковзних контактів і мультиплікатора також знижує надійність пристрою порівняно з установкою на базі АГ з КЗ ротором.

При використанні ВЕУ на базі синхронного генератора з збудженням від постійних магнітів з'являється необхідність подвійного перетворення 100% вироблюваної СГ електроенергії напівпровідниковими перетворювачами більшої потужності призводять до подорожчання системи, а наявність мультиплікатора повідомляє установки недоліки, властиві описаним вище конструкцій. Однак з точки зору використання можливостей первинного перетворювача енергії схема більш вдала, ніж усі попередні рішення. Крім цього, ККД генератора електроенергії вище порівняно з асинхронними машинами.

Приведені витрати – показник порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень, який широко використовують при виборі кращого з варіантів вирішення технічних завдань. При порівнянні можливих варіантів вирішення будь-якого завдання кращим, за інших рівних умов, вважається варіант, що вимагає мінімуму приведених витрат:

$$Z_i = E_n \cdot K_i + C_i, \quad (5.1)$$

де i – кількість розглянутих варіантів;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень (приймається $0,17$ для всіх галузей промисловості), $1/\text{рік}$;

K_i – капітальні вкладення, грн;

C_i – загальні щорічні відрахування, які враховуються в собівартості продукції (враховуючи і амортизаційні відрахування), грн/рік.

Здійснимо розрахунок для системи з тихохідним синхронним генератором.

Капітальні вкладення:

$$K = D + CK, \quad (5.2)$$

де D – вартість генератора ($D = 6265$ грн),

CK – вартість системи керування ($CK = 14730$ грн),

$$K = 6265 + 14730 = 20995 \text{ (грн)}.$$

Річні капітальні витрати:

$$K_{\text{річні}} = E_n \cdot K, \quad (5.3)$$

$$K_{\text{річні}} = 0,17 \cdot 20995 = 3569,15 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальні додаткові відрахування:

$$C = C_A + C_D + C_P + C_O, \quad (5.4)$$

де C_{Ai} – амортизаційні відрахування, грн/рік;

C_{Pi} – відрахування на ремонт, грн/рік;

C_{Di} – додаткові відрахування, грн/рік;

C_{Oi} – відрахування на обслуговування, грн/рік.

Величина амортизаційних відрахувань в середньому приймається 10% від капітальних вкладень:

$$C_A = 0,1 \cdot K, \quad (5.5)$$

$$C_A = 0,1 \cdot 20995 = 2099,5 \text{ (грн/рік)}.$$

Відрахування на ремонт електрообладнання приймають в розрахунку 2% від капітальних вкладень:

$$C_P = 0,02 \cdot K, \quad (5.6)$$

$$C_P = 0,02 \cdot 20995 = 419,9 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування враховують втрати енергії в стаціонарних та перехідних режимах роботи:

$$C_D = \Delta P_{\Sigma ДВ} \cdot c, \quad (5.7)$$

де $\Delta P_{\Sigma ДВ}$ – сумарні втрати потужності в генераторі у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік, (кВт·год)/рік;

c – вартість для одного кіловата потужності за годину, грн/(кВт·год) ($c = 4,70$ грн/(кВт·год)).

Сумарні втрати потужності в генераторі у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік:

$$\Delta P_{\Sigma ДВ} = (\Delta P_{ном} + \Delta P_{перех.}) \cdot k_3 \cdot \Phi, \quad (5.8)$$

де $\Delta P_{ном}$ – втрати потужності в генераторі в номінальному режимі роботи, кВт;

$\Delta P_{перех.}$ – додаткові втрати потужності в генераторі у перехідних режимах роботи, кВт;

k_3 – коефіцієнт завантаження по потужності (приймають рівним 0,8);

Φ – дійсний фонд часу роботи системи ВЕУ за рік, год/рік.

Втрати потужності в генераторі в номінальному режимі роботи:

$$\Delta P_{ном} = P_{ном} \cdot \frac{1 - \eta_{ном}}{\eta_{ном}}, \quad (5.9)$$

де $P_{ном}$ – потужність електричного генератора ($P_{ном} = 1$ кВт);

$\eta_{ном}$ – номінальний ККД генератора ($\eta_{ном} = 0,8$),

$$\Delta P_{ном} = 1 \cdot \frac{1 - 0,8}{0,8} = 0,25 \text{ (кВт)}.$$

Додаткові втрати потужності в генераторі у перехідних режимах роботи приймають рівними 10% від номінальних:

$$\Delta P_{перех.} = 0,1 \cdot \Delta P_{ном}, \quad (5.10)$$

$$\Delta P_{\text{перех}} = 0,1 \cdot 0,25 = 0,025 \text{ (кВт)}.$$

Дійсний фонд часу роботи ВЕУ за рік:

$$\Phi = \varepsilon \cdot Z_{\text{р.д.}} \cdot Z_{\text{р.з.}} \cdot t_{\text{р.з.}}, \quad (5.11)$$

де ε – відносна тривалість ввімкнення згідно тахограми ($\varepsilon = 1$);

$Z_{\text{р.д.}}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{\text{р.д.}} = 365$ 1/рік);

$Z_{\text{р.з.}}$ – кількість робочих змін ($Z_{\text{р.з.}} = 1$);

$t_{\text{р.з.}}$ – тривалість робочої зміни ($t_{\text{р.з.}} = 24$ год),

$$\Phi = 1 \cdot 365 \cdot 1 \cdot 24 = 8760 \text{ (год/рік)}.$$

Сумарні втрати потужності в генераторі у стаціонарних та перехідних режимах роботи згідно формули (4.8):

$$\Delta P_{\Sigma \text{дв}} = (0,25 + 0,025) \cdot 0,8 \cdot 8760 = 1927,2 \text{ ((кВт} \cdot \text{год)/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (5.7):

$$C_{\text{д}} = 1927,2 \cdot 4,7 = 9057,84 \text{ (грн/рік)}.$$

Відрахування на обслуговування електрообладнання приймають рівним 5% від суми відрахувань на амортизацію, ремонт та додаткових витрат:

$$C_{\text{о}} = 0,05 \cdot (C_{\text{А}} + C_{\text{д}} + C_{\text{р}}), \quad (5.12)$$

$$C_{\text{о}} = 0,05 \cdot (1699,5 + 1349,04 + 419,9) = 169,4 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальні додаткові відрахування згідно формули (5.4):

$$C = 2099,5 + 9057,84 + 399,9 + 169,4 = 11726,64 \text{ (грн/рік)}.$$

Приведені витрати згідно формули (2.1):

$$З = 0,17 \cdot 20995 + 11726,64 = 32721,81 \text{ (грн/рік)}.$$

Для інших систем електричного привода проведемо аналогічні розрахунки, результати розрахунків зведемо в порівняльну таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Порівняльна таблиця варіантів обладнання ВЕУ

Показники	Генератори ВЕУ		
	Тихохідний синхронний генератор	Генератор постійного струму	Асинхронний генератор
1	2	3	4
Вартість генератора Д, грн	6265	3890	2200
Вартість системи керування СК, грн	14730	20350	22456
Капітальні вкладення К, грн	20995	23640	24585
Річні капітальні витрати $K_{річн}$, грн/рік	2889.15	2658.8	2819.45
Амортизаційні відрахування C_A , грн/рік	1699,5	1564	1658.5
Відрахування на ремонт C_P , грн/рік	339,9	312.8	331.7
Додаткові відрахування C_D , грн/рік	1349,04	1704.051	1521.994
Відрахування на обслуговування C_O , грн/рік	169,4	179.043	175.61
Загальні відрахування С, грн/рік	11726,64	12654,8	14958,52
Приведені витрати З, грн/рік	32721,81	37255,25	36453,44

Висновок. Отже для даної ВЕУ рекомендовано використовувати систему із синхронним генератором на постійних магнітах, враховуючи порівняння вартості та вимоги до системи.

6 ВИБІР ГЕНЕРАТОРА ЗА ПОТУЖНІСТЮ І ШВИДКІСТЮ ОБРЕТАННЯ

На даний момент ми знаємо, найбільш ефективною з енергетичного погляду конфігурацією потужної мережевої вітроенергетичної установки є система, що працює при змінній регульованій частоті обертання вітроколеса, переважно без проміжного мультиплікатора. Ця система базується на синхронному магнітоелектричному генераторі з повним перетворенням електричної потужності за допомогою напівпровідникового перетворювача частоти, що забезпечує високі показники якості виробленої електроенергії.

Цей висновок стосується вітроенергетичних установок середньої і малої потужності, які працюють в умовах автономних об'єктів разом із системами накопичення електроенергії.

Для вибору відповідного генератора обираємо синхронний (вентильний) генератор змінного струму ВГ-1 (12) 450. Важливо відзначити, що вентильний генератор - це синхронний генератор, у якого випрямлення струму і напруги виконується за допомогою напівпровідникового випрямляча, що складається з діодів, відомих як "вентилі". Збудження може бути як електромагнітне, так і на постійних магнітах.

Технічна характеристика генератора наведена в таблиці 6.1

Таблиця 6.1 – Технічні характеристики генератора

Марка генератора	Номинальна кількість обертів	Номинальна потужність	ККД	Вихід на напруга	Максимальна потужність	Максимальна кількість обертів
ВГ-1(12) 450	450 об/хв	1000 Вт	80%	57 В	1400 Вт	1000 об/хв

Зовнішній вигляд генератора ВЕУ марки ВГ-1(12) 450 приведено на рисунку 6.1



Рисунок 6.1 - Зовнішній вигляд генератора ВГ-1(12) 450

Висновок. Отже, для системи генерації електричної потужності вітроенергетичної установки, що розглядається, доцільно вибрати синхронний (вентильний) генератор змінного струму ВГ-1 (12) 450.

7 РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАТОРА ВЕУ

У генератора, призначеного для вітроенергоустановок, слід враховувати специфічні особливості: нестационарний характер сили і швидкості вітру за відносно короткі проміжки часу; істотні динамічні моменти на валу генератора і вітротурбіни; відсутність мультиплікатора, як механічної ланки, здатної демпфувати осьові зусилля на валу; постійно діючі у генераторі перехідні процеси і пов'язані з ними струми, електродинамічні сили, додаткові втрати енергії і нагрівання активних частин електричної машини; малі кругові швидкості ротора. Саме таким вимогам відповідає генератор ВГ-1(12)450. Його характеристики було пораховано і приведено на рисунках 7.1-7.4.

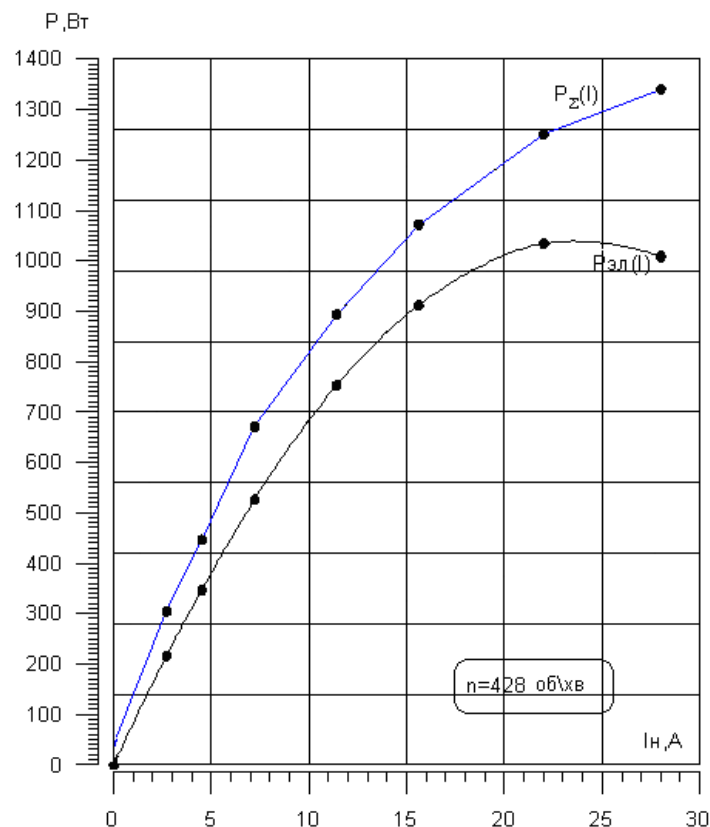


Рисунок 7.1 – Характеристика потужності генератора ВГ-1(12)450

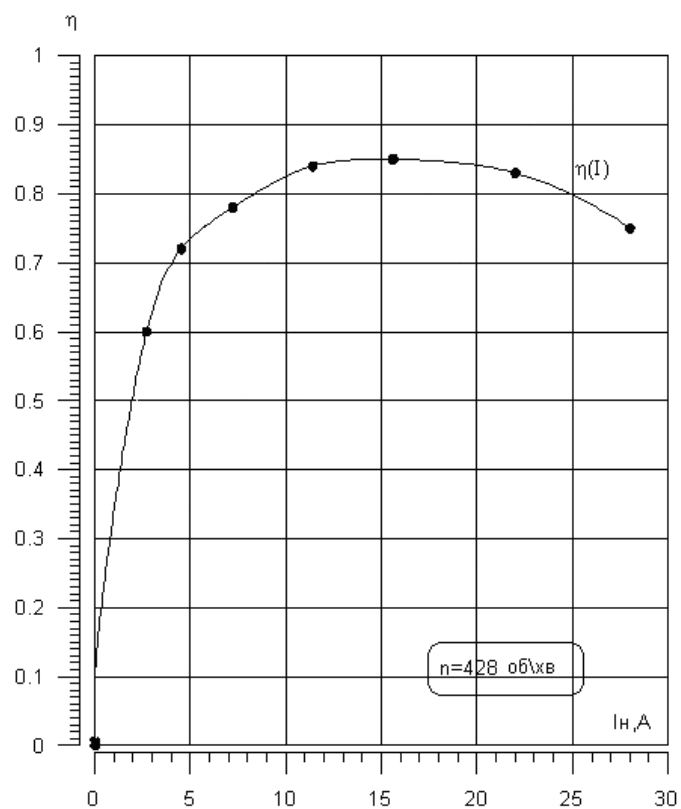


Рисунок 7.2 – Характеристика зміни ККД генератора залежно від навантаження

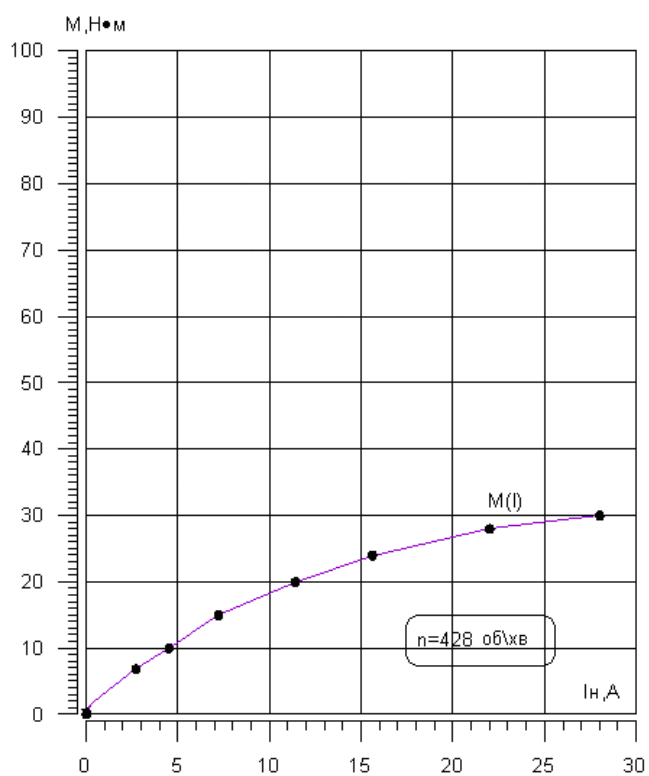


Рисунок 7.3 – Моментна характеристика генератора ВГ-1(12)450

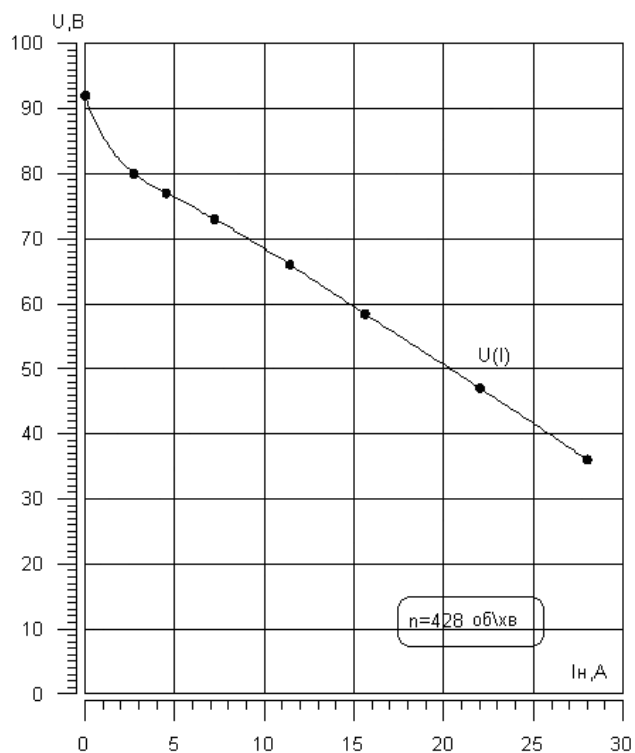


Рисунок 7.4 – Зовнішні характеристики генератора ВГ-1(12)450

Згідно паспортних і розрахункових даних вітроколеса, була побудована його вітроенергетична характеристика, приведена на рисунку 7.5.

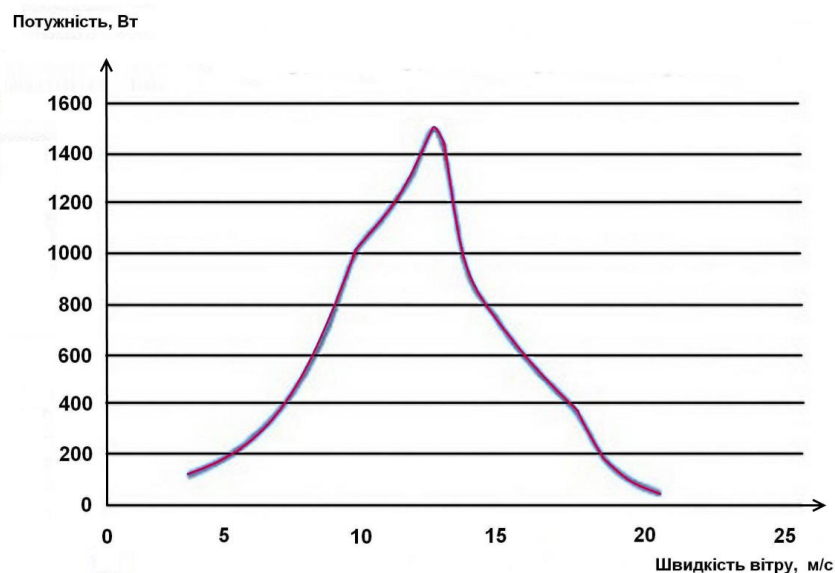


Рисунок 7.5 – Вітроенергетична характеристика вибраного вітроколеса

8 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

8.1 Розробка структурної та функціональної схеми

У системах, які використовують відновлювальні джерела енергії, зокрема вітроенергетичних установках, важливо вирівнювати рівні та різні типи напруг між собою. Це особливо актуально для установок, що працюють при змінних частотах обертання, де змінюється як амплітуда змінної напруги, так і її частота. Практика показує, що такі установки є найбільш ефективними, на відміну від тих, що працюють при постійних частотах обертання та інших алгоритмах (застосування редукторів, перемикання обмоток тощо). З цією метою використовуються різноманітні технічні пристрої, які можна наглядно представити у вигляді структурної схеми. Структурна схема дозволяє візуально відобразити взаємозв'язок пристроїв, їх вирівнювання, вибрати необхідні пристрої і також оцінити, які саме пристрої підлягають контролю з боку системи управління.

У якості генераторів для вітроенергетичної установки використано синхронну машину із збудженням від постійних магнітів. Конструктивні особливості синхронних генераторів, включаючи використання магнітом'яких матеріалів, дозволяють підвищити ККД. Додатковою перевагою є зменшення реактивного моменту генератора, що призводить до зниження пульсацій реактивного моменту, а отже, до зменшення вібрацій та шуму.

У автономних системах, які використовують відновлювальні джерела енергії, використовуються накопичувачі електроенергії. Це дозволяє передавати енергію споживачу навіть у випадку відсутності генерації. Разом з тим, під час пікової генерації енергія буде накопичуватися. Зазвичай в якості накопичувачів застосовують акумулятори.

Так, як виникає задача узгодження змінної напруги, у якій зі зміною швидкості вітру змінюються як амплітуда і частота, з відповідною напругою

акумуляторів, то у ВЕУ малої та дуже малої потужності часто застосовується перетворення змінної напруги генератора спочатку в постійну напругу для заряджання акумуляторів, а потім – знову в змінну, стабілізовану за амплітудою (найчастіше 220 В) та частотою (50 Гц). В якості випрямлячів можуть використовуватися як керовані (виконані на тиристорах або транзисторах), так і некеровані випрямлячі (виконані на діодах).

Одним із варіантів випрямляча є міст Ларіонова, виконаний на тиристорах (рисунок 8.1).

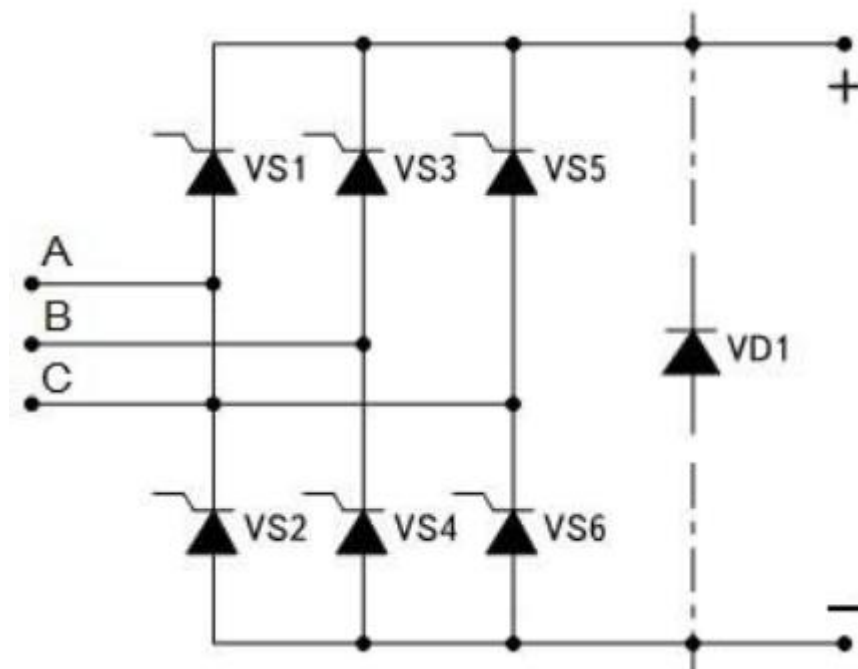


Рисунок 8.1 – Трифазний випрямляч на тиристорах

На рисунку 8.2 показана структурна схема електропостачання споживача від вітрогенератора (з акумуляторами).

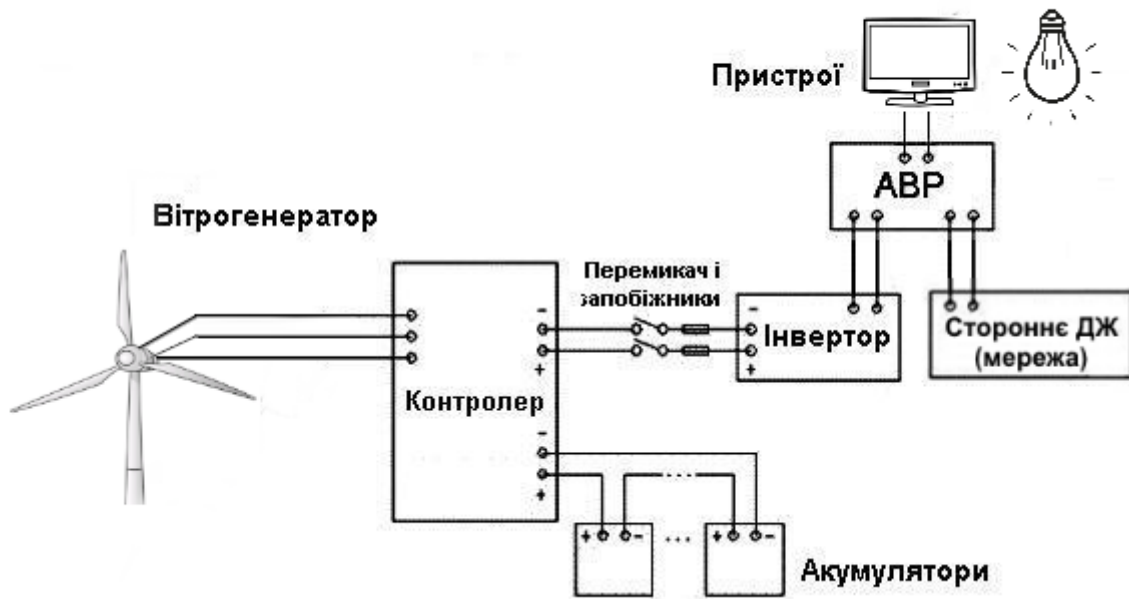


Рисунок 8.2 – Структурна схема системи керування ВЕУ

Дана система складається з приладів:

1. генератор
2. контролер
3. акумулятори
4. комутаційний апарат
5. запобіжники
6. інвертор
7. АВР

На основі структурної схеми була розроблена функціональна схема системи керування вітровою електричною установкою.

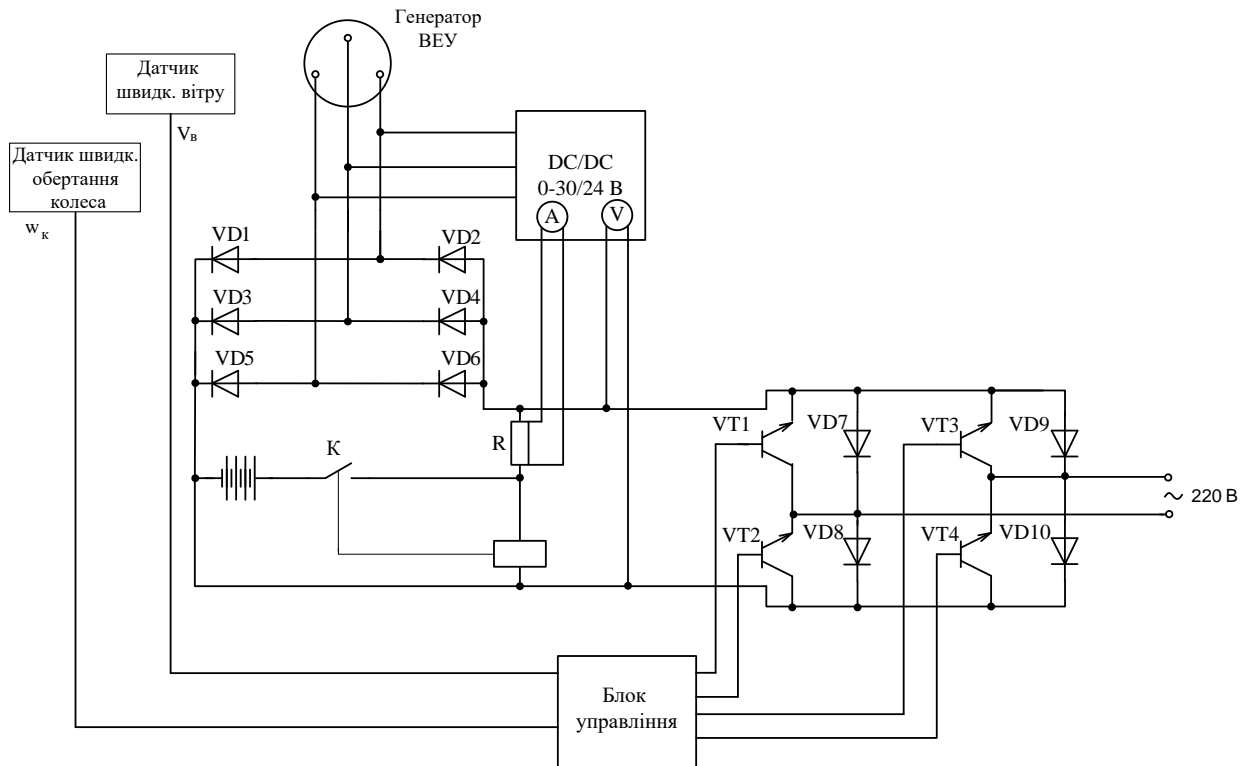


Рисунок 8.4 – Функціональна схема керування електроприводом БЕУ

Дана схема передбачає безперебійне постачання споживача електроенергією, при нестачі енергії в акумуляторних батареях, АВР перемикає систему з основного джерела живлення на резервний.

Резервним джерелом живлення може бути бензогенератор при відсутності електропостачання або резервним джерелом живлення може бути сам вітровий електротехнічний комплекс при наявності централізованого електропостачання.

Робота БЕУ характеризується залежністю коефіцієнту потужності від швидкохідності БЕУ. На рисунку 8.4 приведено графік залежності коефіцієнту потужності вітроколеса C_p від його швидкохідності λ , а на рисунку 8.3 б — залежність вихідної потужності вітроколеса P_{BK} від кутової швидкості обертання, на якому показано оптимальне значення кутової швидкості обертання вітрового колеса ω_{opt} , при якій від БЕУ відбирається максимум потужності.

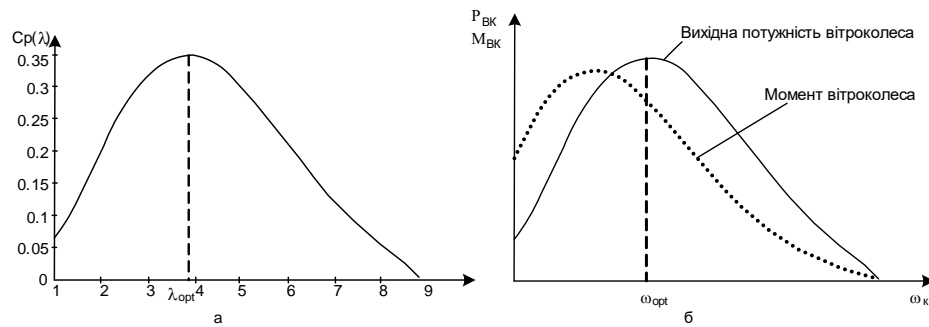


Рисунок 8.4 - Характеристики вітрового колеса: а) залежність коефіцієнта потужності C_p від швидкості λ ; б) залежності вихідної потужності і моменту вітрового колеса від його кутової швидкості

При роботі ВЕУ колеса ключовим аспектом є оптимізація роботи в точці відбору максимальної потужності. З діаграм видно, що максимальний відбір потужності від вітрового колеса досягається при певній оптимальній швидкості його обертання, із збільшенням якої коефіцієнт потужності починає зменшуватися.

Розглянемо концепцію системи керування ВЕУ, яка працює з окремим навантаженням. У такому випадку важливо забезпечити підтримку оптимальної швидкості обертання вітрового колеса і максимальної потужності, що відбирається, шляхом регулювання струму заряду акумулятора. Зміна струму заряду акумулятора призведе до зміни моменту навантаження вітрового колеса і налаштування його оптимальної швидкості обертання відповідно до поточної швидкості вітру. Такий підхід дозволяє автоматично утримувати кутову швидкість обертання вітроколеса, регулюючи момент навантаження ВЕУ, і стабілізувати швидкість за рахунок збільшення струму заряду та струму навантаження.

З рисунка 8.5 видно, що без регулювання ВЕУ не використовує свій потенціал повністю: на низьких швидкостях вітру турбіна перевантажена, а на високих - недовантажена. Іншими словами, ВЕУ працює на кутовій швидкості колеса, відмінній від оптимальної, рухаючись у ту чи іншу сторону.

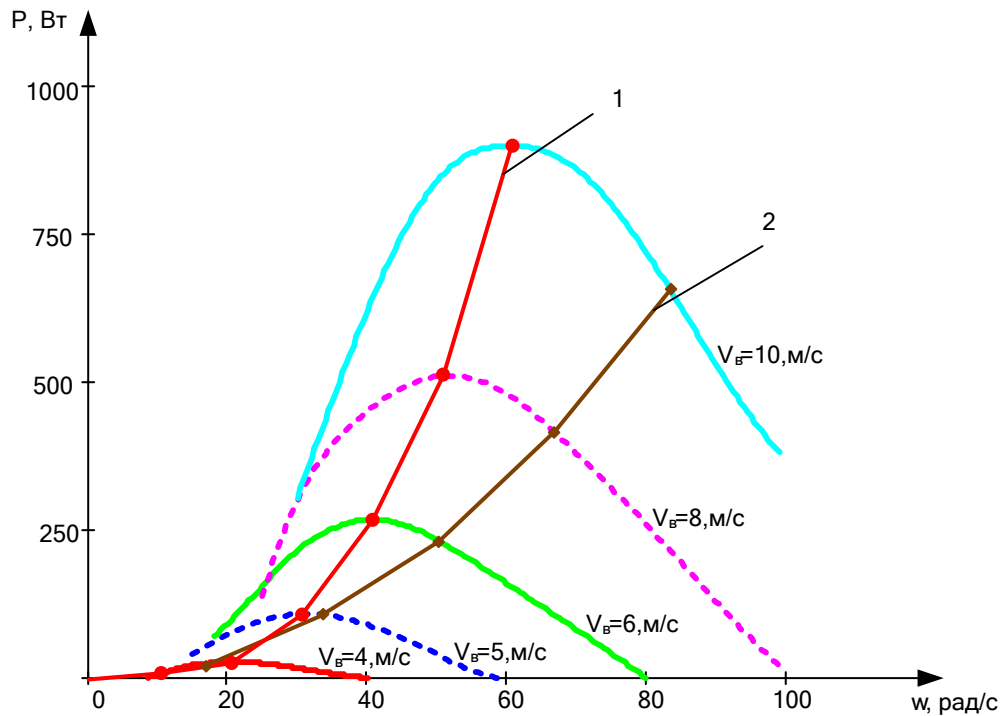


Рисунок 8.5 Криві потужностей вітрової турбіни при її роботі із регулюванням (1) та без регулювання (2)

Система дозволяє оптимізувати роботу вітроенергетичної установки, наділяючи можливість регулювання її моменту обертання. Іншими словами, система прагне досягти оптимальної точки MPPT (Maximum Power Point Tracking), тобто досягнення максимально можливої електричної потужності на виході схеми за рахунок змінної швидкості обертання вітроколеса.

8.2 Вибір інвертора

Інвертор пристрій призначений для перетворення постійного струму в змінний. Для виконання поставленого перед нами завдання, тобто забезпечення пікової потужності 2 кВт вибираємо інвертор українського виробника, моделі ФОРТ F25 з наступними параметрами табл. 8.1

Таблиця 8.1 – Параметри інвертора

Модель	Номінальна потужність (Вт)	Пікова потужність (Вт)	Вхідна напруга (В)	Вихідна напруга (В)	Заряд від мережі
ФОРТ F25	1200	2500	48	220	так

Зовнішній вигляд інвертора зображено на рисунку 8.6.



Рисунок 8.6 – Зовнішній вигляд інвертора ФОРТ F25

8.3 Вибір акумуляторів

Ємність акумуляторів впливає на термін автономної роботи від них при низькій швидкості вітру або повній його відсутності. Чим більше місткість ваших акумуляторних батарей, тим більше може генератор накопичити в них електроенергії, і тим довше зможе забезпечувати систему електроенергією

Одного акумулятора 12В 100Ач вистачає приблизно на 1 годину роботи при навантаженні 1 кВт, тобто 1 кВт/година (відповідно: 12В 40Ач - 24 хвилини при навантаженні 1 кВт, 12В 150Ач - 1 година 30 хвилин при навантаженні 1 кВт, 12В 200Ач - 2 години при навантаженні 1 кВт).

Для досягнення терміну роботи 12 годин при навантаженні в 1 кВт використаємо свинцево - кислотні батареї марки Lead-Acid "ВУЛКАН"

українського виробника моделі 6СТ-100А з параметрами вказаними в таблиці 8.2

Таблиця 8.2 – Параметри акумуляторних батарей

Модель	Місткість (Ач)	Струм розряду(А) по EN*	Напруга (В)	Габарити Д/Ш/В (мм)	Вага (кг)	Термін служби (років)
6СТ-100А	100	690	12	352*175*187	24.5	4-6

Оскільки вхідна напруга інвертора 48 (В), а напруга батарей 12 (В) використовуємо наступну схему з'єднання батарей рисунок 8.7



Рисунок 8.8 – Схема з'єднання батарей.

8.4 Вибір контролера

В якості мікроконтролера обрано мікроконтролер компанії ST - STM407VGT6. Цей мікроконтролер має широкий функціонал та високу продуктивність.

Мікропроцесором цього мікроконтролера є 32-бітний ARM Cortex-M4 з вбудованим арифметичним сопроцесором (FPU - плаваючий точковий блок), 1 мегабайтом Flash-пам'яті та 192 кілобайтами ОЗУ. Максимальна частота, на якій може працювати цей мікропроцесор, становить 168 МГц. Основні характеристики мікроконтролера:

- 32-бітний мікропроцесор ARM Cortex-M4;

- тактова частота 168 МГц; 210 DMIPS (Dhrystone Mega Instructions Per Second – кількість мільйонів виконаних інструкцій в секунду за тестом продуктивності Dhrystone); 1.25 DMIPS/МГц (Dhrystone 2.1);
- підтримка DSP-інструкцій (Digital Signal Processing - цифрова обробка сигналів);
- високопродуктивна матриця шин АНВ;
- 1 мегабайт Flash-пам'яті;
- 192 + 4 кбайт (власні регістри процесора) SRAM-пам'яті (Statistic Random Access Memory – статична пам'ять з випадковим доступом);
- напруга живлення 1,8 ... 5,6 В;
- внутрішні RC-генератори на 16 МГц і 32 кГц (для RTC - Real-Time Clock - годинник реального часу);
- можливість підключення зовнішнього джерела тактування від 4 до 26 МГц для мікропроцесора і для RTC - 32,768 кГц;
- модулі відладки за протоколами SWD (Serial Wire Debug - відладка за послідовним з'єднанням)/JTAG, модуль ETM (Embedded trace macrocell - вбудована макроячейка трасування);
- три 12-бітних АЦП (аналого-цифровий перетворювач) на 24 вхідні канали (швидкість до 7,2 мегасемплів, температурний датчик);
- два 12-бітних ЦАП (цифро-аналоговий перетворювач);
- DMA-контролер (DMA - Digital Memory Access - доступ до пам'яті напряму, тобто обминання мікропроцесора від пристроїв АЦП, ЦАП і ін.) на 16 потоків із підтримкою пакетної передачі.
- 15 таймерів (12 16-бітних, два з яких можуть генерувати ШИМ, і два 32-бітних таймера загального призначення, 24-бітний таймер ядра - SysTick);
- два "сторожевих" таймера (watchdog - WDG та IWDG - таймери, які стежать за станом системи і усувають "зависання");
- комунікаційні інтерфейси;

- Контролер FSMC (Flexible Static Memory Controller – гнучкий контролер статичної пам'яті) – можливість підключення рідкокристалічних дисплеїв LCD 8080/6800, а також робота з такими типами пам'яті, як Compact Flash, SRAM, PSRAM, NOR, NAND;
- Апаратний генератор випадкових чисел;
- Апаратний розрахунок CRC (Cyclic Redundancy Check – циклічний код – алгоритм знаходження контрольної суми, призначений для перевірки цілісності даних), 96-бітний унікальний ідентифікатор (ID);

Для реалізації потрібного алгоритму знадобиться задіяти наступну периферію мікроконтролера: 6 каналів одного АЦП (датчик температури, 3 датчика напруги, 2 датчика струму – згідно структурної схеми). Для швидкого переміщення даних з 6 каналів АЦП в оперативну пам'ять пристрою раціонально використовувати DMA, щоб надто не навантажувати процесор і переміщати дані безпосередньо. Дані будуть переміщені у вигляді масиву, після чого їх можна буде усереднити;

Зовнішній вигляд плати мікроконтролера зображено на рисунку 8.8



Рисунок 8.8 – зовнішній вигляд плати мікроконтролера STMF407VGT6

На рисунку 8.9 приведена схема мікропроцесорного пристрою керування струмом заряду акумуляторів ВЕУ, для роботи її в точці відбору максимальної потужності.

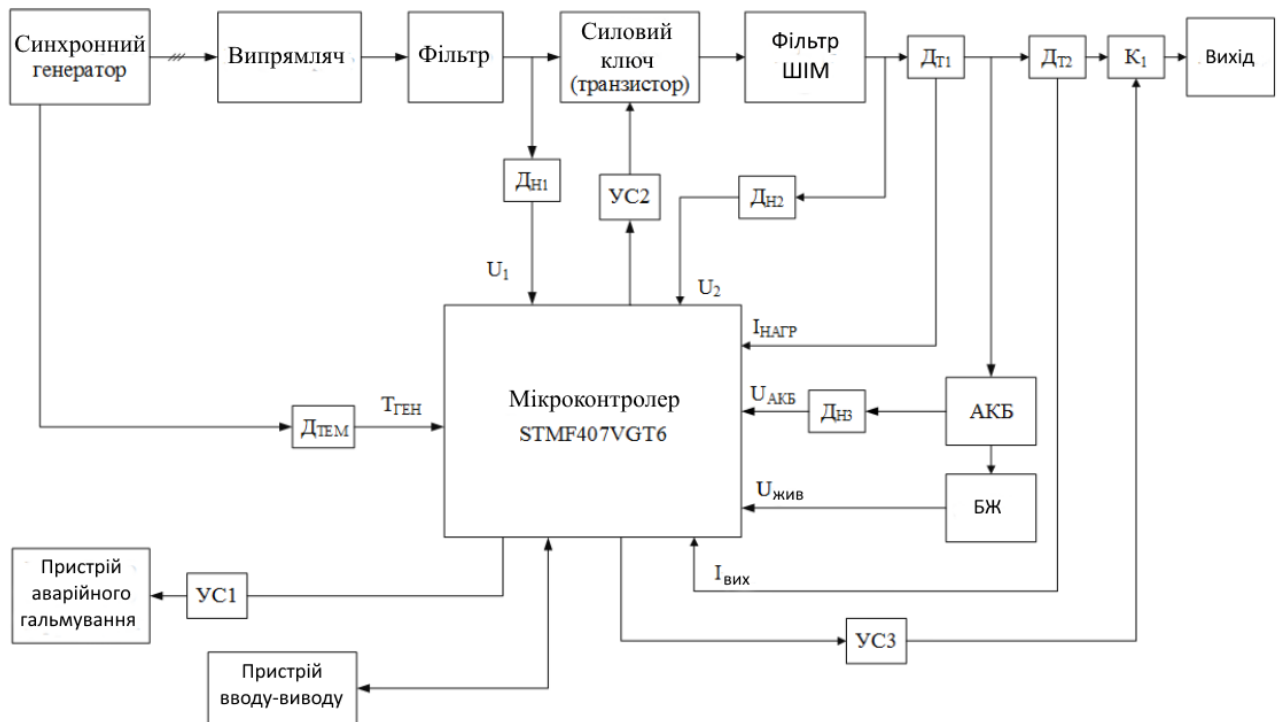


Рисунок 8.9 Функціональна схема мікропроцесорного пристрою керування генератора ВЕУ

Загальний алгоритм роботи мікропроцесорної системи керування ВЕУ приведено на рисунку 8.10.

А призначення конфігурації виводів мікроконтролера, зображено на рисунку 8.11.

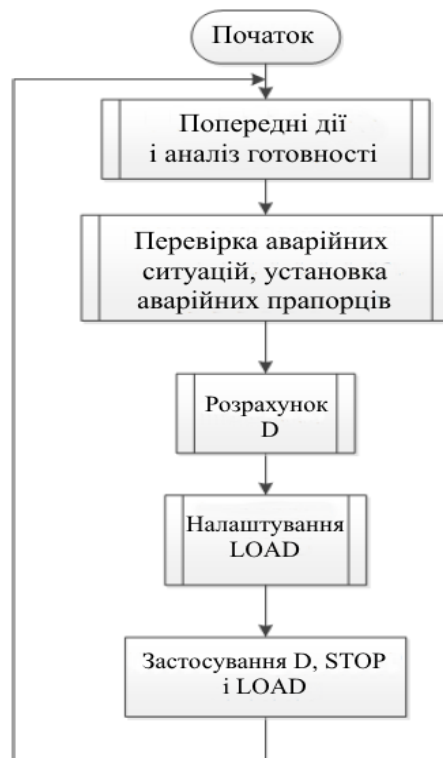


Рисунок 8.10 – Загальний алгоритм роботи мікропроцесорної системи керування ВЕУ

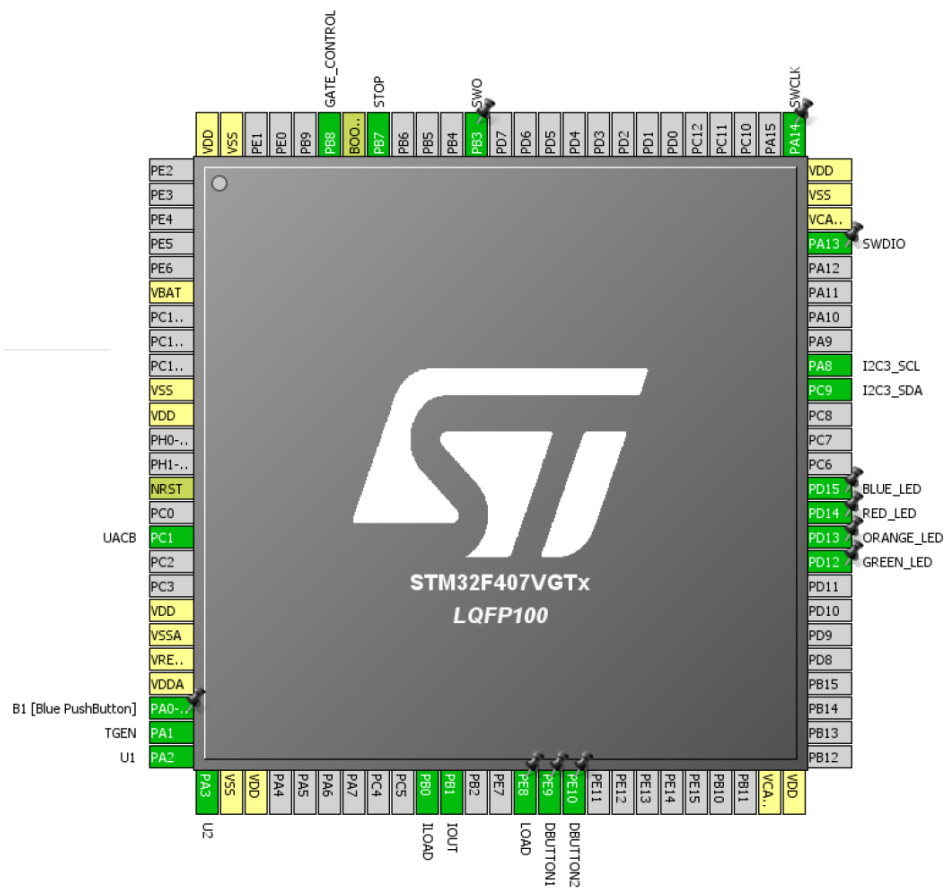


Рисунок 8.11 – призначення конфігурації виводів мікроконтролера

Висновок. Запропонована система дозволяє наближати роботу ВЕУ до точки відбору максимуму потужності, впливаючи на її момент обертання. Тобто прагнути до роботи у так званій точці МРРТ – отримання максимально можливої електричної потужності на виході схеми, зі змінною швидкістю обертання вітроколеса.

9 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЮ УСТАНОВКОЮ

Виконаємо моделювання системи з урахуванням подочі на вхід швидкості обертання вітрового колеса та регулюючого впливу на випрямляч, який подає живлення акумуляторній батареї. На виході системи будемо мати трифазну напругу вітрогенератора та стабілізовану постійну напругу, яка живить генератор.

Структурна схема системи зображена на рисунку 9.1.

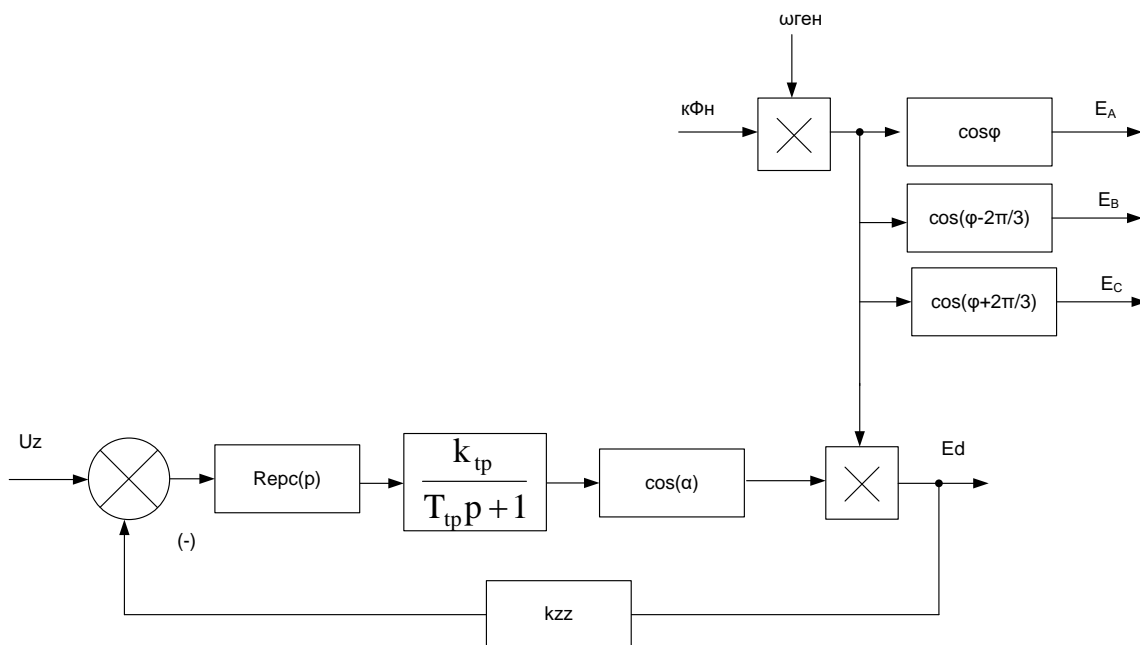


Рисунок 9.1 – Структурна схема вітрогенератора

На структурній схемі позначено: $k\Phi_n$ – номінальний магнітний потік, який створюється постійними магнітами; $\omega_{ген}$ – швидкість обертання вала генератора; E_A , E_B , E_C – відповідно ЕРС фазних напруг фаз А, Б та С; U_z – задаюча напруга (може змінюватися від 0 до 10 В); $Repc(p)$ – регулятор ЕРС, яка формується на виході випрямляча; k_{tp} – коефіцієнт підсилення тиристорного випрямляча; T_{tp} – постійна часу тиристорного випрямляча; α – кут відкриття тиристорів випрямляча; E_d – випрямлена ЕРС, якою заряджається акумуляторна батарея; k_{zz} – коефіцієнт зворотного зв'язку по ЕРС.

Представлену структурну схему побудуємо у ППП Matlab. Комп'ютерна модель системи, зібрана в Simulink, зображена на рисунку 9.2.

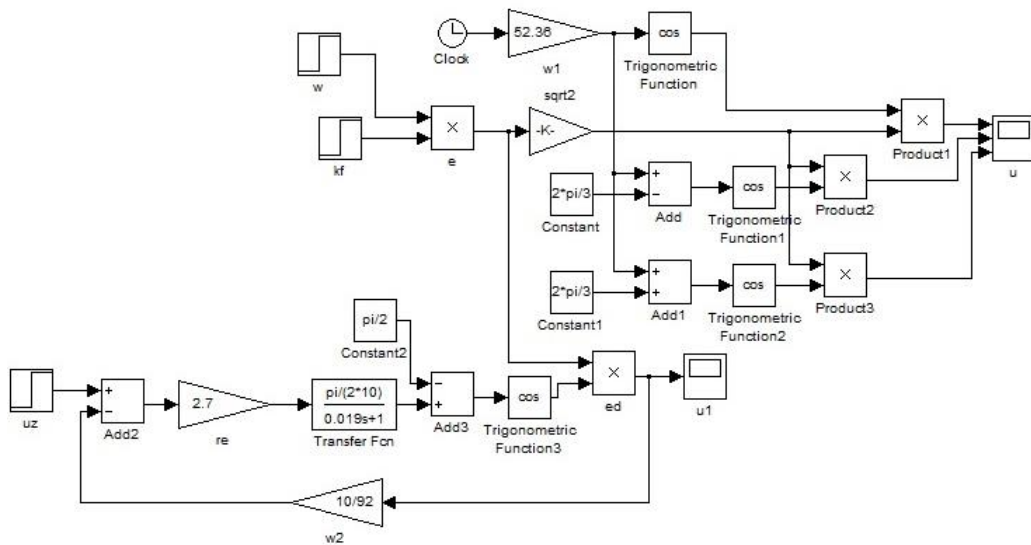


Рисунок 9.2 – Комп'ютерна модель системи, зібрана в ППП Matlab Simulink

Промодельюємо систему, подавши на вхід номінальну напругу задання 10 В. Отримаємо графіки фазних ЕРС (рисунок 9.3) та перехідної характеристики випрямленої ЕРС (рисунок 9.4).

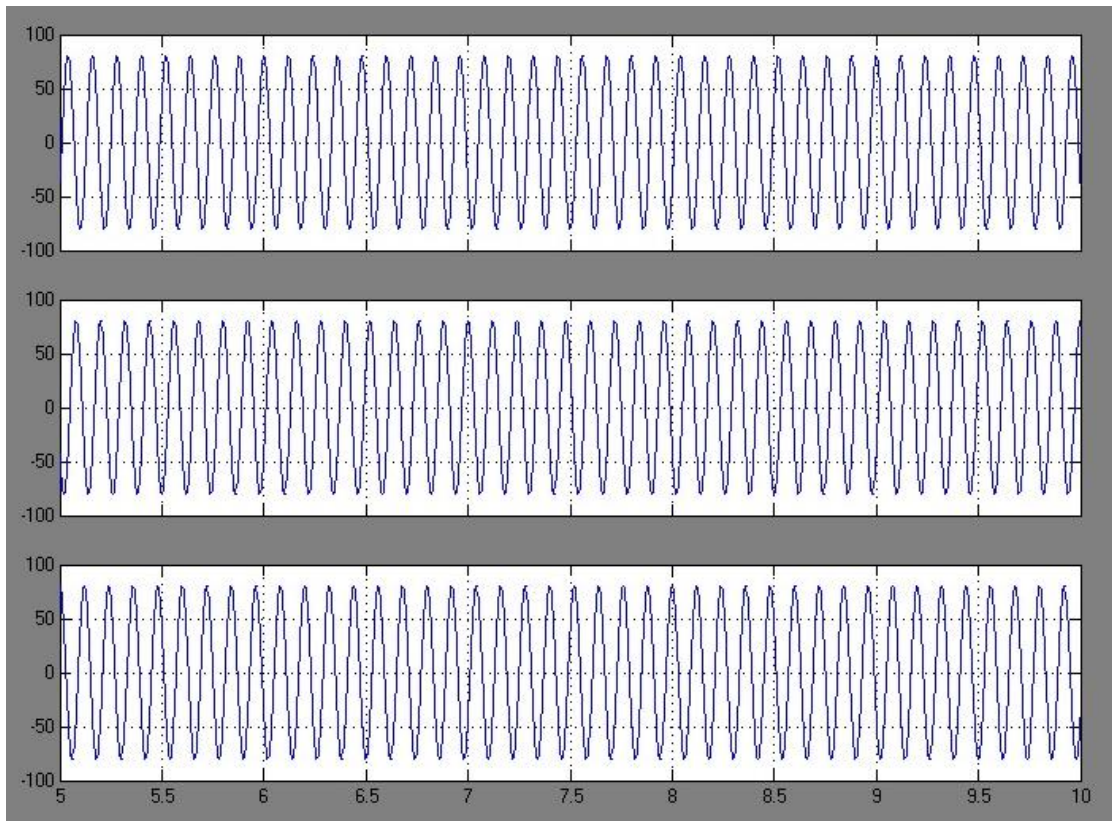


Рисунок 9.3 – Графіки фазних ЕРС на виході генератора (зверху до низу фази А, Б та С)

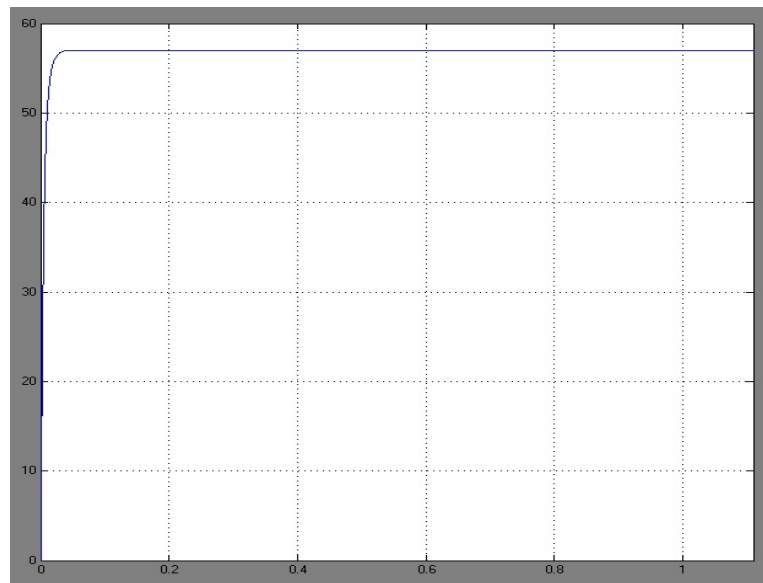


Рисунок 9.4 – Графік перехідного процесу випрямленої ЕРС на виході генератора

Як видно з графіків на виході генератора трифазна напруга з амплітудним значенням 80 В. На виході випрямляча маємо випрямлену ЕРС, рівну 57 В. Результати моделювання показали, що розрахунки виконані вірно.

Промодельюємо роботу системи при швидкості, яка відрізняється від номінальної. Такий випадок необхідно розглянути, оскільки швидкість на валу генератора змінюється випадковим чином.

Для моделювання скористаємося джерелом сигналу швидкості обертання, комп'ютерна модель якого, представлена на рисунку 9.6.

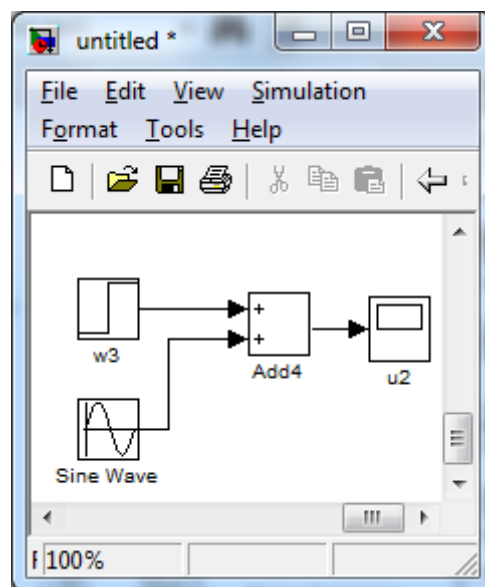


Рисунок 9.5 – Комп'ютерна модель джерела сигналу швидкості обертання, яка змінюється довільним чином

Представимо графік зміни швидкості обертання на рисунку 9.7.

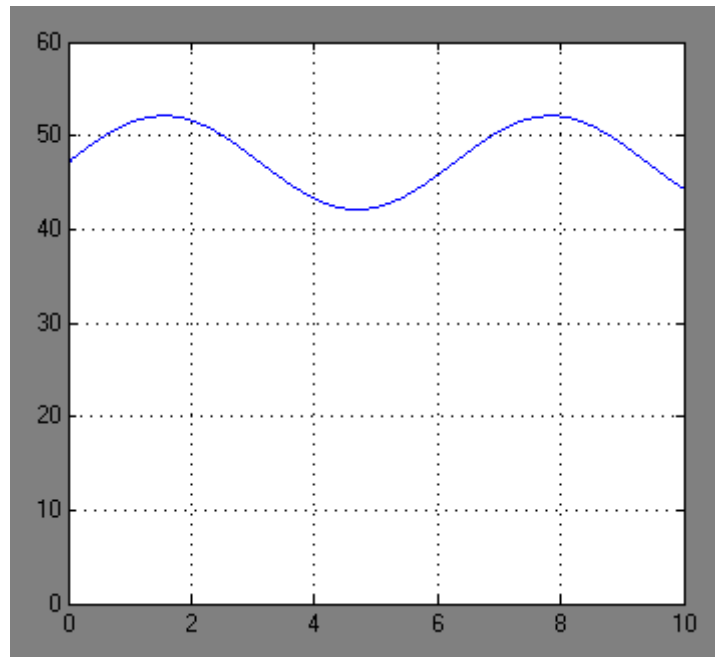


Рисунок 9.6 – Графік швидкості обертання, яка змінюється довільним чином

В результаті роботи системи при зміні швидкості обертання генератора, отримаємо графік перехідного процесу випрямленої ЕРС, зображений на рисунку 9.7.

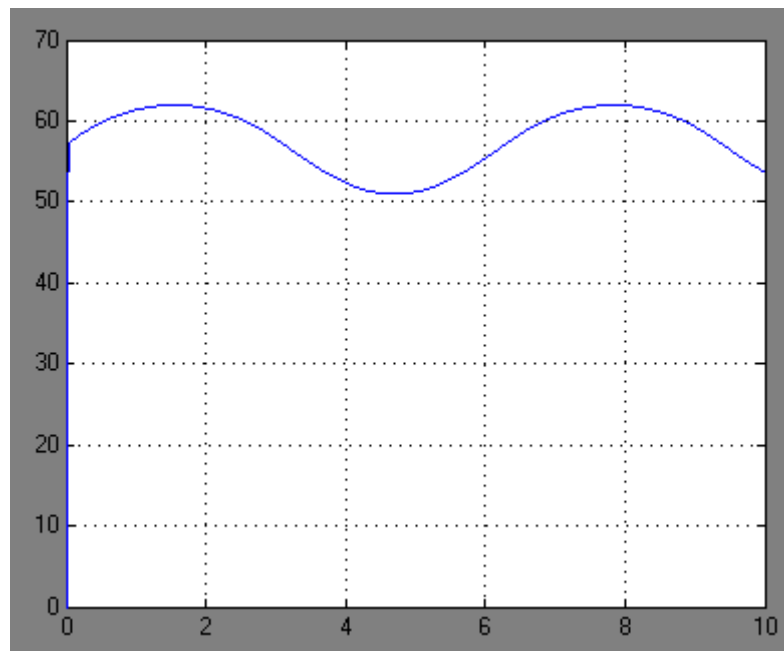


Рисунок 9.7 – Графік перехідного процесу випрямленої ЕРС при швидкості обертання, яка змінюється довільним чином

З графіка видно, що при зміні швидкості обертання вала генератора, його ЕРС також змінюється. Цього можна уникнути, якщо переобрати регулятор. Побудуємо графік перехідного процесу випрямленої ЕРС при інших налаштуваннях регулятора (рисунок 9.8).

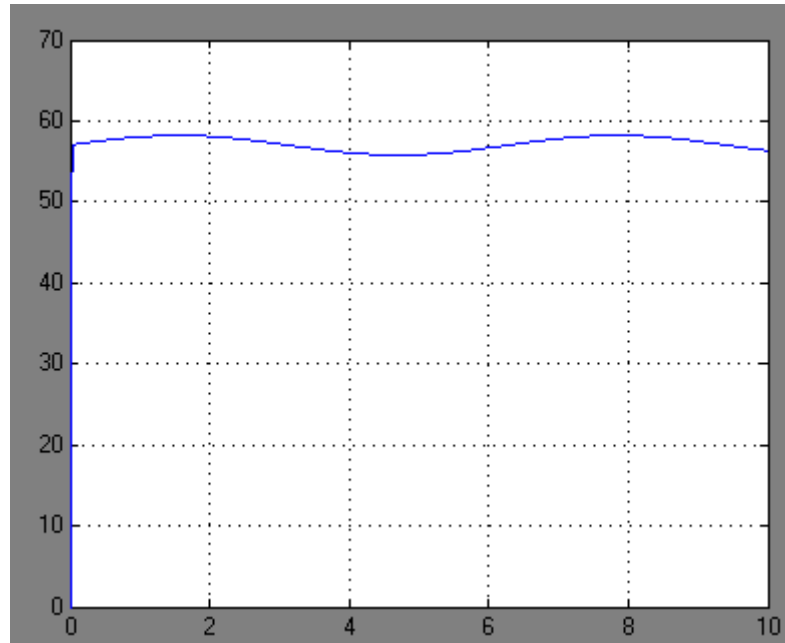


Рисунок 9.8 – Графік перехідного процесу випрямленої ЕРС при інших налаштуваннях регулятора та швидкості обертання, яка змінюється довільним чином

При цьому отримаємо графіки трифазних ЕРС, які зображено на рисунку 9.9.

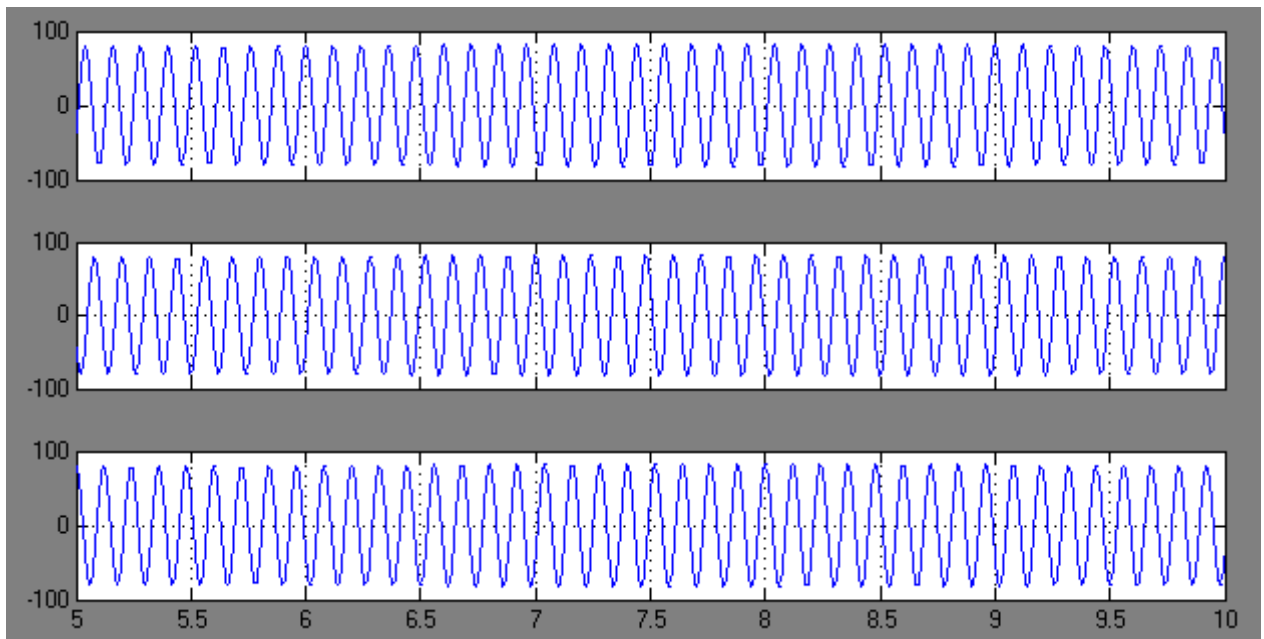


Рисунок 9.9 – Графіки фазних ЕРС на виході генератора при інших налаштуваннях регулятора та швидкості обертання, яка змінюється довільним чином

Висновок. Створено модель системи керування ВЕУ відповідно до її складу у середовищі Matlab Simulink, яка дозволяє визначати параметри настройки регуляторів в системі керування. Проведено дослідження роботи системи автоматичного керування ВЕУ шляхом комп'ютерного моделювання.

Вимоги, які пред'являються до автономних систем ЕП, включно із вітроенергетичними установками, умовно можна поділити на дві групи:

- загальні вимоги, що задаються технологічним процесом (діапазон швидкості, статична і динамічна точності її підтримки, межі зміни моменту і прискорення, смуга пропускання частот, граничний час регулювання і т.д).

- спеціальні вимоги, які визначаються техніко-економічними особливостями самих пристроїв (масогабаритні і вартісні показники, енергетичні характеристики, надійність і інші техніко-економічні показники).

Серед техніко-економічних вимог, що пред'являються до електротехнічного комплексу ВЕУ, необхідно виділити наступні:

- високі значення потужності і моменту на валу виконавчого двигуна при мінімальних масі і габаритах;

- висока ремонтпридатність;

- мала енергоємність;

- уніфікація вузлів і елементів;

- економічність і низька вартість.

Оскільки повне поєднання всіх вимог в одному пристрої практично неможливо, тому при розробці конкретної ВЕУ врахування одних вимог досягається за рахунок нехтування інших. Технічні вимоги ВЕУ підтверджують необхідність побудови високодинамічних систем:

- діапазон потужностей виконавчого електродвигуна 0,1-30кВт;

- діапазон зміни швидкості в межах до 50: 1 - 1000: 1;

- смуга пропускання частот 30-1000 Гц;

- короткочасне перевантаження по моменту кратністю до 2,5-3,0 і вище.

Визначення економічної ефективності ВЕУ багато в чому залежить від кількості виробленої електроенергії в електростанціях [14]. Ефективність роботи електростанції оцінюється коефіцієнтом використання встановленої потужності. Це відношення фактичного річного виробітку генерованої електроенергії в даній електростанції (в нашому випадку ВЕУ) до максимально можливого виробітку енергії в залежності від енергоресурсу.

10 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В сучасних ВЕУ, підключених до єдиної електричної системи, коефіцієнт використання встановленої потужності становить від 0,15 до 0,30. Коефіцієнт використання встановленої потужності ВЕУ залежить від наступних факторів [14]:

- частий ремонт електростанції;
- графік навантаження споживаної потужності протягом доби;
- наявність вітру і її максимальна потужність протягом всього часу експлуатації.

10.1 Визначення капітальних вкладень

Ціна кожного із елементів електротехнічного комплексу, а також і їх загальна вартість представлені в таблиці 10.1.

Таблиця 10.1 – Кошторис капіталовкладень

Елементи електротехнічного комплексу	Ціна, грн.
Синхронний генератор ВЕУ	30800,00
Конструкція ВЕУ, встановлення	19500,00
Перетворювач частоти (мережевий інвертор)	75148,00
Магнітний редуктор	24200,00
AGM аккумулятори EverExceed DP-12200 (6 шт. – 14,4 кВт)	84594,00
Контролер WWS100A-260	38440,00
Додаткові пристрої системи ВЕУ	12300,00
Периферійні пристрої, комутаційні апарати	6800,00
Кабель силовий 4 мм (80м.)	1800,00
Загальна вартість	293582,00
Транспортні витрати та монтажні витрати (13%)	38165,66
Витрати на будівельні роботи (10%)	29358,20
Капітальні витрати (інвестиції)	361105,86

Розрахунок вітрогенератора здійснюється в розрахунку на його номінальну потужність 15 кВт та із врахуванням більш ефективного

використання енергії вітру в конструкції ВЕУ за рахунок застосування замість планетарного механічного редуктора нової конструкції – магнітного редуктора, що дозволить підвищити коефіцієнт використання встановленої потужності.

Для визначення капітальних вкладень потрібно до загальної вартості обладнання додати також і вартість його доставки, монтаж цього обладнання та витрати на будівництво. А також потрібно розрахувати амортизаційні відрахування.

Вартість доставки обладнання розраховуються в залежності від відстані, маси вантажу та тарифу залізничного перевезення на відстань одного кілометра тони вантажу. Монтажні роботи розраховуються відповідно до нормативів вартості монтажних робіт. Спрощуючи розрахунок, вартість доставки та монтажних робіт, можна прийняти рівними 13% від загальної вартості обладнання:

$$C_{\text{дм}} = C_{\Sigma} \cdot 0,13 \text{ (грн.)} \quad (10.1)$$

$$C_{\text{дм}} = 293582 \cdot 0,13 = 38165,6 \text{ (грн.)}$$

Витрати на будівельні роботи (влаштування фундаментів) розраховують виходячи із нормативів витрат на будівництво. Даний норматив для укрупнення розрахунку приймається рівним 10% від вартості обладнання:

$$C_{\text{б}} = C_{\Sigma} \cdot 0,1 \text{ (грн.)} \quad (10.2)$$

$$C_{\text{б}} = 293582 \cdot 0,1 = 29358,2 \text{ (грн.)}$$

Амортизаційні відрахування знаходяться із добутку норми амортизації на первісну вартість об'єкту основних фондів:

$$A_{\text{р}} = \frac{C_{\Sigma} \cdot N_{\text{а}}}{100\%}, \quad (10.3)$$

де $N_{\text{а}}$ – норма амортизації (при умові, що термін експлуатації ВЕУ приймемо за 20 років норма амортизації буде рівною 10%)

$$A_p = \frac{361105,9 \cdot 10\%}{100\%} = 36111 \text{ (грн.)}$$

10.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Відповідно до правил улаштування електроустановок обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд не нижче п'ятого, а група допуску по електробезпеці не нижче третьої. Приймаємо, що ВЕУ обслуговує працівник із п'ятим розрядом, оскільки обслуговування такого пристрою потребує вищого рівня професіоналізму та знання комп'ютерних технологій обміну даними та налаштування мікропроцесорних пристроїв.

Розрахунок витрат на заробітну плату обслуговуючого персоналу виконується за наступною формулою:

$$C_3 = C_{30} + C_{3д}, \quad (7.4)$$

де C_{30} – основна заробітна плата по тарифу;

$C_{3д}$ – додаткова заробітна плата.

$$C_{30} = N \cdot T_1 \cdot K \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_C \cdot \beta, \quad (7.5)$$

де N – кількість робітників які обслуговують ВЕУ ($N = 1$ чол.);

T_1 – годинна тарифна ставка робітника першого розряду, приймаємо рівною $T_1 = 40$ грн.. Тарифна ставка 1-го розряду вираховується з в розрахунку на мінімальну заробітну платню, яка станом на 2023р. не змінювалась і становить 6700 грн.

K – тарифний коефіцієнт (для робітника 4-го розряду: $K = 2,33$, див. таблицю 4.2);

K_C – коефіцієнт співвідношень, що встановлений Генеральною угодою між профспілками і урядом ($K_C = 1$);

β – відношення часу, затраченого робітником, на обслуговування установки відносно загального часу своєї роботи ($\beta = 1$);

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу обслуговування вітроенергетичної установки:

$$\Phi_{\text{еф}} = \varepsilon \cdot Z_{\text{РД}} \cdot Z_{\text{РЗ}} \cdot t_{\text{РЗ}}, \quad (10.6)$$

де ε – відносна тривалість увімкнення ($\varepsilon = 0.8$);

$Z_{\text{РД}}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{\text{РД}} = 250$ днів/рік);

$Z_{\text{РЗ}}$ – кількість робочих змін ($Z_{\text{РЗ}} = 1$);

$t_{\text{РЗ}}$ – тривалість робочої зміни ($t_{\text{РЗ}} = 1$).

Розраховуємо ефективний фонд часу обслуговування ВЕУ та основну заробітну плату по тарифу:

$$\Phi_{\text{еф}} = 0,8 \cdot 250 \cdot 1 \cdot 1 = 200 \text{ (год./ рік)}.$$

$$C_{\text{зо}} = 1 \cdot 40 \cdot 2,33 \cdot 200 \cdot 1 \cdot 1 = 18640 \text{ (грн.)}.$$

Таблиця 10.2 – Тарифна сітка працівників

Тарифні розряди	I	II	III	IV	V	VI
Тарифні коефіцієнти	1	1,5	1,8	2,03	2,33	2,7

10.3 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання

Поточний ремонт електроустаткування проводиться на місці його встановлення із відключенням і зупинкою ремонтним персоналом.

Грошові витрати для проведення ремонтних робіт містять в собі витрати на комплектуючі, запасні частини та інші елементи, що потребують заміни, а також витрати на оплату праці працівників, що проводять ремонтні роботи. Графік планових попереджувальних ремонтних робіт представлено в таблиці 10.3.

Таблиця 10.3 – Графік планових ремонтних робіт

Найменування обладнання	Види ремонтних робіт по місяцях												Трудоміст-ть, люд-год.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Вітрогенератор				10				10				14	34
Система керування (ПЧ)				6				6				12	22
Контролер заряду і АКБ			6				6				8		20
Магнітна муфта			8				8				10		8
Кабельна мережа			9				9				12		30
Механічна конструкція ВЕУ				2			2					4	8
	Загальна трудомісткість												122

Приймаємо, що виконання даних ремонтних, відновлювальних та налагоджувальних робіт проводитиметься електромонтером шостого розряду. Відповідно до того, що є відомими кількість годин виділених на проведення ремонтних робіт основна заробітна плата працівника знаходитиметься із наступної формули:

$$C_{\text{зоп}} = T_1 \cdot K \cdot \Phi_{\text{ефр}} \text{ (грн.)}, \quad (10.7)$$

$$C_{\text{зоп}} = 40 \cdot 2,7 \cdot 122 = 13176 \text{ (грн.)}.$$

Фонд основної заробітної плати, грн./рік:

$$\Phi_0 = \Phi(1+0,05+0,01+\alpha), \quad (10.8)$$

де Φ – тарифний фонд Φ_e експлуатаційних робітників або фонд прямої заробітної плати Φ_p ремонтного персоналу, грн./рік;

0,01 – частка доплат за роботу у святкові дні;

0,05 – частка доплат за роботу в нічний час;

α – частка преміальних доплат для відповідної категорії робітників.

Величина основної заробітної плати для експлуатаційних робітників:

$$\Phi_{OE} = 18640 (1+0,05+0,01+0,2) = 23486 \text{ грн./рік.}$$

І для ремонтних:

$$\Phi_{OP} = 13176 (1+0,05+0,01+0,25) = 17261 \text{ грн./рік.}$$

Величина додаткової заробітної плати визначається в розмірі 15% від фонду основної заробітної плати. Тому сумарна величина фонду з врахуванням додаткової заробітної плати складе, грн./рік:

$$\Phi_{од} = \Phi_o \cdot 1,15 \quad (10.9)$$

Відповідно для обслуговуючого та ремонтного персоналу:

$$\Phi_{OED} = \Phi_{OE} \cdot 1,15 = 23486 \cdot 1,15 = 27009 \text{ грн./рік.}$$

$$\Phi_{OPD} = \Phi_{OP} \cdot 1,15 = 17261 \cdot 1,15 = 19850 \text{ грн./рік.}$$

Для формування фонду соціального страхування розраховується заробітна плата. З цього фонду витрачаються кошти на оплату тимчасової втрати працездатності, оплату декретної відпустки, санаторно-курортне лікування та відпочинок працівників, оздоровчу діяльність дітей працівників тощо.

Крім того, на заробітну плату здійснюються нарахування в пенсійний фонд та фонд зайнятості. Отже, витрати по заробітній платі ($C_{ЗП}$) розраховуються так, грн./рік:

$$C_{ЗП} = \Phi_{OB} \cdot \left(1 + \frac{\beta_{П} + \beta_{З} + \beta_{С}}{100} \right) (\text{грн./ рік.}) \quad (10.10)$$

де $\beta_{П}$ – нарахування в пенсійний фонд, $\beta_{П} = 32\%$;

$\beta_{З}$ – нарахування у фонд зайнятості, $\beta_{З} = 1,5\%$;

$\beta_{С}$ – нарахування на соціальне страхування, $\beta_{С} = 1,5\%$.

Відповідно розраховуємо витрати по заробітній платі експлуатаційному персоналу:

$$C_{зп} = 27009 \cdot \left(1 + \frac{32 + 1,5 + 1,5}{100}\right) = 36462 \text{ (грн./ рік.)}$$

$$C_{зпр} = 19850 \cdot \left(1 + \frac{32 + 1,5 + 1,5}{100}\right) = 26798 \text{ (грн./ рік.)}$$

Таблиця 10.4 – Зозрахунок витрат по заробітній платі

Показник		Заробітна плата
Ф _е	Заробітна плата експлуатаційного персоналу	18640
Ф _р	Заробітна плата ремонтного персоналу	13176
Ф _{ое}	Величина основної ЗП експлуатаційного персоналу	23486
Ф _{ор}	Величина основної ЗП ремонтного персоналу	17261
Ф _{оед}	Основний фонд ЗП експлуатаційного персоналу	27009
Ф _{орд}	Основний фонд ЗП ремонтного персоналу	19850
С _{зпе}	Витрати по ЗП експлуатаційного персоналу	36462
С _{зпр}	Витрати по ЗП ремонтного персоналу	26798

10.4 Розрахунок терміну окупності електротехнічного комплексу ВЕУ

Виріток електричної енергії ВЕУ (15 кВт). Розрахуємо кількість електроенергії, що виробить ВЕУ за один рік

$$W_{\text{річн.}} = S_{\text{об}} \cdot C_P \cdot P_{\text{ППВ}} \cdot K_{\text{МР}}, \quad (10.11)$$

де C_P – розрахунковий коефіцієнт потужності вітроколеса (ВЕУ 15 кВт) з горизонтальною віссю обертання в робочій точці (приймаємо рівним $C_P = 0,456$);

$S_{\text{об}}$ – площа обертання лопатей, яку охоплює вітроколесо при обертанні (згідно існуючих розрахунків для вітроколеса $S_{\text{об}} = 72,5$).

$P_{\text{ППВ}}$ – природний потенціал вітру Вінницької області на висоті 15 метрів ($P_{\text{п.п.в.}} = 1120 \text{ (кВт·год/м}^2\text{)/рік}$).

$K_{\text{МР}}$ – коефіцієнт підвищення використання потенціалу вітру за рахунок застосування магнітного редуктора в конструкції ВЕУ.

Використання МР замість механічного редуктора не тільки зменшує масогабаритні розміри ВЕУ, але і підвищує надійність і термін служби ВЕУ,

забезпечується регулювання швидкості обертання швидкохідного валу МР із врахуванням моментів інерції на валах та моментів навантаження, прикладених на ВГ у вигляді навантаження. Крім того, забезпечується рекуперація надлишкової енергії зі статора МР через ПЧ під час збільшення швидкості обертання ВК від заданого максимального діапазону обертання.

Приймаємо значення K_{MP} в розрахунках рівним 1,3.

$$W_{\text{річн.}} = 72,5 \cdot 1120 \cdot 0,456 \cdot 1,2 = 44433 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Відповідно до [Закону України "Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії" № 514](#) та Постанови від 31 березня 2023 р. № 594 «Про встановлення «зелених» тарифів на електричну енергію, вироблену генеруючими установками приватних домогосподарств» величина «Зеленого» тарифу» на електричну енергію, вироблену генеруючими установками приватних домогосподарств, встановлена потужність яких не перевищує 30 кВт та які введені в експлуатацію в період з 01 січня 2020 року по 31 грудня 2024 року, складає 635,07 коп/кВт·год (без ПДВ) Тобто за рік сума складе:

$$C_{\text{Рвс}} = 6,3507 \cdot W_{\text{річн.}} \quad (10.12)$$

$$C_{\text{Рвс}} = 6,3507 \cdot 44433 = 282180,7 \text{ (грн.)}.$$

Термін окупності розраховуємо за виразом:

$$T_{\text{ок}} = \frac{C_{\Sigma} + C_{\text{ДМ}} + C_{\text{Б}}}{C_{\text{Рвс}} - C_{\text{ПЕ}} - C_{\text{ПР}} - A_p} \quad (10.13)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{293582 + 38165,6 + 29358,2}{282180,7 - 36462 - 26798 - 36111} = 1,98 \text{ (роки)}.$$

Висновок: аналізуючи отримані результати розрахунків можна зробити висновок, що досліджувана ВЕУ в комплексі із врахуванням виконанням усіх робіт по її встановленню при величині природного потенціалу вітру окупить себе за 1,98 роки завдяки використанню ефективних можливостей магнітного редуктора в складі вітроенергетичної установки.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі вирішено завдання розробки автоматичної системи керування потужність вітрової електроустановки, яка відрізняється законом регулювання та структурою. Ця система дозволяє ефективно використовувати потужність вітрового колеса, забезпечуючи стабілізацію напруги на виході електроустановки.

Розроблено алгоритм управління для регулятора струму заряду акумулятора вітроенергетичної установки, робота якого спрямована на максимізацію потужності від вітрового колеса.

Запропоновано структуру та функціональну систему керування вітроенергетичної установки, яка забезпечує його оптимальну роботу у точці максимального відбору потужності.

Проведено аналіз вітрового енергетичного потенціалу місцевості.

Моделювання запропонованої системи автоматичного керування виконано в середовищі Matlab Simulink, проведено дослідження стійкості та якості генерованої напруги вітровим електротехнічним комплексом.

Запропоновано алгоритм для мікропроцесорного пристрою, який реалізує функції регулятора системи автоматичного керування вітроенергетичною установкою. Це спростить процес налагодження запропонованої системи.

Виконано техніко-економічне обґрунтування запропонованого варіанту системи електропривода, підтверджуючи ефективність та економічну доцільність впровадження цього технічного рішення.

Проведено економічний розрахунок витрат запропонованого варіанту системи керування, визначено, що впровадження запропонованих рішень призведе до економії річних експлуатаційних витрат. Це підтверджує правильність досліджень та економічну доцільність впровадження даного технічного рішення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. В. Г. Петрук, С. С. Коцюбинська, і Д. В. Мацюк, «Енергетичний потенціал альтернативної енергетики в Україні», Вісник ВПІ, вип. 4, с. 90–93, Листоп. 2010.
2. Система автоматичного керування електричною вітроенергетичною установкою з вертикальною віссю обертання / Мокін Б. І., Мокін О. Б., Жуков О. А. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського . – 2010 – №3 С. 20 – 24.
3. Бриль А.О., Васько В.П., Васько П.Ф. Особливості функціонування промислових вітроелектричних станцій у складі регіональної електросистеми // Доповіді III міжнародної конференції “Нетрадиційна енергетика в XXI столітті”, Крим, Судак, 9-15 вересня 2002 р. – Київ: ІТТФ НАНУ. – 2002. – С. 112-113
4. Юндин М.А. Струмові захисту електрообладнання: Навчальний посібник. - Зерноград: РІО ФГТУ ВПО АЧГАА, 2004. - 212с.
5. Федосєєв А.М. Релейний захист електричних систем. Підручник для вузів. М., «Енергія», 1976 р.
6. Воронін С.М. Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії: Навчальний посібник. - Зерноград: ФГТУ ВПО АЧГАА, 2007. - 204с.
7. Бистрицький Г.Ф. Загальна енергетика: Навч. посібник для середовищ. проф. освіти: - М.: Видавничий центр «Академія», 2005. - 208с.
8. Васько П.Ф. Питомі характеристики енергетичного потенціалу вітру на території України // Енергетика и электрификация. – 1997. – №4. – С. 53-55.
9. Вітроенергетика / Под ред. Д. де Рензо: Пер. з англ.; У 39 під ред. Я. І. Шефтер. - М.: Енергоатом виданий, 1982.
10. Бесонов Л. А. Теоретичні основи електротехніки. Електромагнітне поле. 2003.
11. Юндин М. А., Корольов А. М. Курсове та дипломне проектування з електропостачання сільського господарства. - Зерноград: АЧГАА, 1999.-110с.

12. Інтернет <http://www.src-vertical.com>
13. Щур І.З. Багатофункціональне керування активним випрямлячем в локальній вітроенергетичній системі з вертикальною віссю обертання / І.З.Щур, О.Р.Турленко// Вестн. Нац. Ун-та «Харьк. политехн. ин-т».
14. Мокін Б. І. Математична модель пристрою керування електричною вітроенергетичною установкою з вертикальною віссю обертання / Б.І.Мокін, О.Б.Мокін, О.А.Жуков // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – №3. – С.48-54.
15. Мокін Б. І., Мокін О. Б., Жуков О. А. Векторні діаграми та математичні моделі вітрового колеса з вертикальною віссю обертання//Електронне науково-спеціалізоване видання «Наукові праці Вінницького національного технічного університету» на англ.,рос.і укр. мовах.– 2008. – Вип. 1. – Розділ: Енергетика і електротехніка. – Адрес: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-2/2008-2.htm>
16. Мокін Б. І., Мокін О. Б., Жуков О. А. Математичні моделі сил, що діють на вітрове колесо з вертикальною віссю обертання, при ненульових кутах повороту лопатей / /Електронне науково-спеціалізоване видання «Наукові праці Вінницького національного технічного університету» на англ.,рос.і укр. мовах.– 2008. – Вип. 2. – Розділ: Енергетика і електротехніка.
17. Мокін Борис Іванович. Ідентифікація параметрів моделей та оптимізація режимів системи електропривода трамвая з тяговими електродвигунами постійного струму: монографія / Б.І.Мокін, О.Б.Мокін – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 92 с. 19.

ДОДАТОК А

(Обов'язковий)

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

в.о. зав. кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.

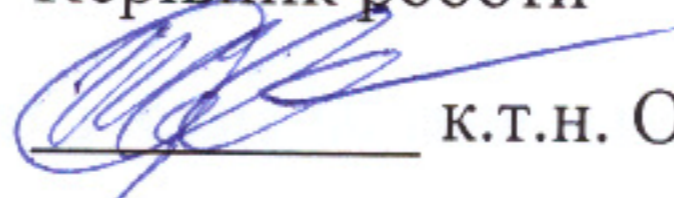
 М.М. Мошноріз“07” 11 2023 р.**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на магістерську кваліфікаційну роботу

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОТУЖНІСТЮ**ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ**

08-24.МКР.007.00.000 ТЗ

Керівник роботи



к.т.н. О.А. Жуков

“07” 11 2023 р.

Виконавець: ст. гр. ЕПА-22м

 В.М. Доценко“07” 11 2023 р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Модернізація системи керування вітроенергетичної установки».

Скорочене найменування розробки – «Система керування вітроенергетичної установки».

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем бакалаврських дипломних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Вітровий електротехнічний комплекс призначений для резервного живлення об'єктів домашнього господарства

4 Вимоги до розробки

Система керування вітроенергетичною установкою повинна забезпечувати ефективний відбір потужності від вітрового колеса.

5 Комплектація розробки

Вітроенергетична установка складається з складається із вітродвигуна, електричного генератора і системи керування.

6 Технічні характеристики

Тип електричного генератора – синхронний, потужністю 1000 Вт.

1

7 Елементна база

Генератор, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т.п. виробництва України чи країн близького зарубіжжя.

8 Конструктивне виконання

Електропривод виготовляється окремими блоками, що реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у брызгозахищеному виконанні

9 Джерела розробки

ГКД 3.003 – 2000. Вітроенергетика. Вітрові електричні установки. Порядок поставлення на серійне виробництво / Бриль А.О., Васько В.П., Хілько В.А., Шульга В.Г. – Київ: Державний комітет промислової політики України, 2000. – 31 с.

ГКД 341.003.001.002-2000. Правила проектування вітрових електричних станцій / Жовмір М.М., Симонов А.С. та інші. – Строк перевірки 2004 р. – Київ: Мінпаливоенерго України, 2001. – 52 с.

10 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

11 Живлення електропривода

Живлення електропривода повинно бути виконане трифазною напругою 0,4 кВ.

Додаток Б

ІЛЮСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ

**МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОТУЖНІСТЮ
ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ**

Актуальність теми. Мета, об'єкт та предмет дослідження.

Актуальність теми. Завдяки постійному зростанню потреби в енергії, збільшенню екологічних вимог та стрімкому зростанню цін на традиційні карбонові енергоресурси, використання відновлювальних джерел енергії, зокрема вітрової енергії, набуває наростаючої актуальності.

На сьогоднішній день в Україні функціонують вітрові електроустановки, однак існуючі системи автоматичного керування не можуть забезпечити стабільність роботи при зміні швидкості вітру.

Задача розробки ефективної системи керування вітровою електроустановкою з фіксованими лопатями виявляється досить актуальною. Запропонована система має забезпечити стабільну роботу вітрових коліс у широкому діапазоні зміни вітрового навантаження, здатна максимально використовувати потужність вітрового електротехнічного комплексу та генерувати напругу високої якості.

В даній магістерській кваліфікаційній роботі розглядається вітрова електроустановка з горизонтальною віссю обертання вітрового колеса, зокрема у контексті вдосконалення систем керування для оптимального використання вітрового потенціалу та забезпечення стабільності електрогенерації.

Мета дослідження полягає у вдосконаленні ефективності управління вітровою енергетичною установкою шляхом розробки системи автоматичного керування, за рахунок оптимізації відбору потужності від вітрового колеса, що дозволяє підвищити загальну продуктивності вітроенергетичної установки.

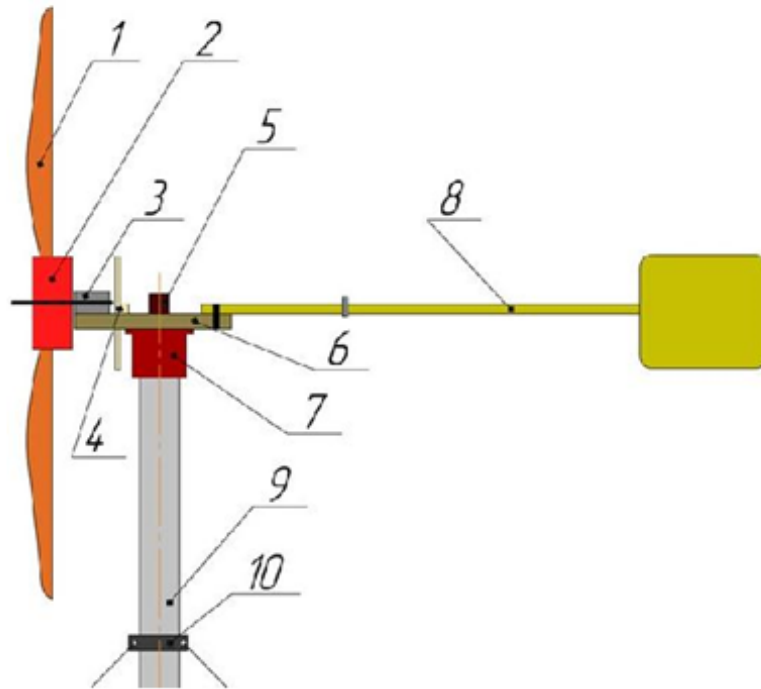
Об'єктом дослідження в магістерській роботі є вітроенергетична установка.

Предметом дослідження є процеси регулювання потужності вітроенергетичної установки.

Задачі дослідження

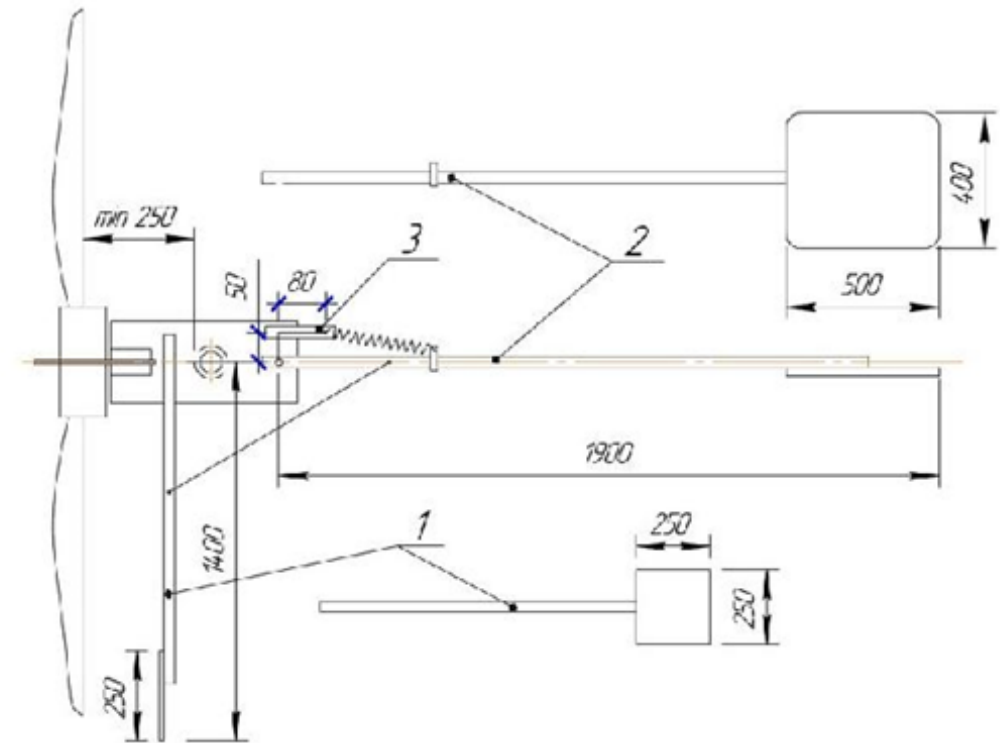
- Провести аналіз відомих структур ВЕУ та їх систем керування.
- Провести аналіз вітрового потенціалу місцевості
- Розробити структуру системи автоматичного керування ВЕУ.
- Розробити функціональну схему системи автоматичного керування ВЕУ.
- Здійснити вибір стандартного електричного обладнання для запропонованої системи автоматичного керування.
- Розробити комп'ютерну модель вітроенергетичної установки та її системи керування.
- Отримати графіки перехідних процесів при роботі запропонованої системи керування ВЕУ

Улаштування і кінематична схема ВЕУ



Улаштування вітрової електростанції:

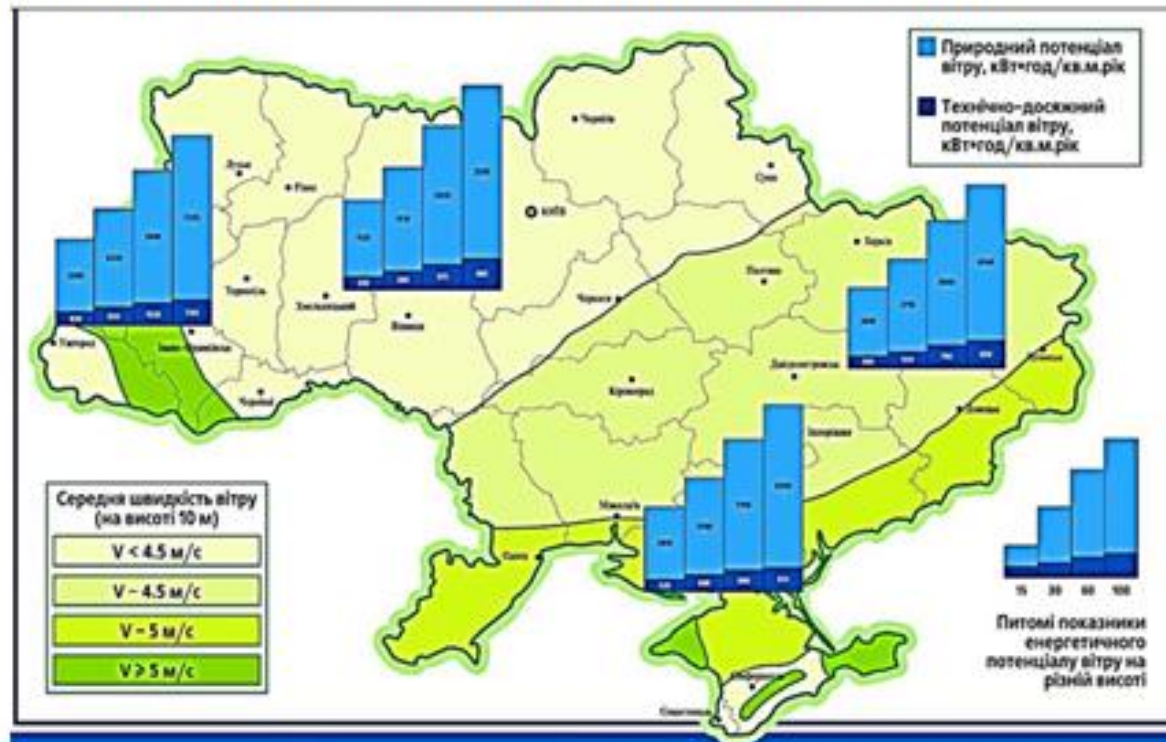
1. лопаті вітроколеса; 2. генератор; 3. станина для закріплення вала генератора; 4. бічна лопать для захисту вітрогенератора від ураганного вітру; 5. струмоприймач, який передає струм до нерухомих проводам; 6. рама для кріплення вузлів вітряної електростанції; 7. поворотний вузол, який дозволяє повертатися вітрогенератору навколо осі; 8. хвіст з опірненням для установки вітроколеса за вітром; 9. щогла вітрогенератора; 10. хомут для кріплення розтяжок



Кінематична схема ВЕУ:

1. розміри бічний лопатей, 2. хвіст з оперенням, 3. важелі, через які передається зусилля від пружини.

Енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні



№ району	Середньорічна швидкість вітру, $V_{ср}$, м/с	Висота, м	Природний потенціал вітру, кВт.год/м ² рік	Технічно-досяжний потенціал вітру, кВт.год/м ² рік
1	< 4,25	15	1120	200
		30	1510	280
		60	2030	375
		100	2530	460
2	4,5	15	2010	390
		30	2710	520
		60	3640	700
		100	4540	850

Техніко-економічне обґрунтування вибору системи керування

Таблиця 5.1 – Порівняльна таблиця варіантів обладнання ВЕУ

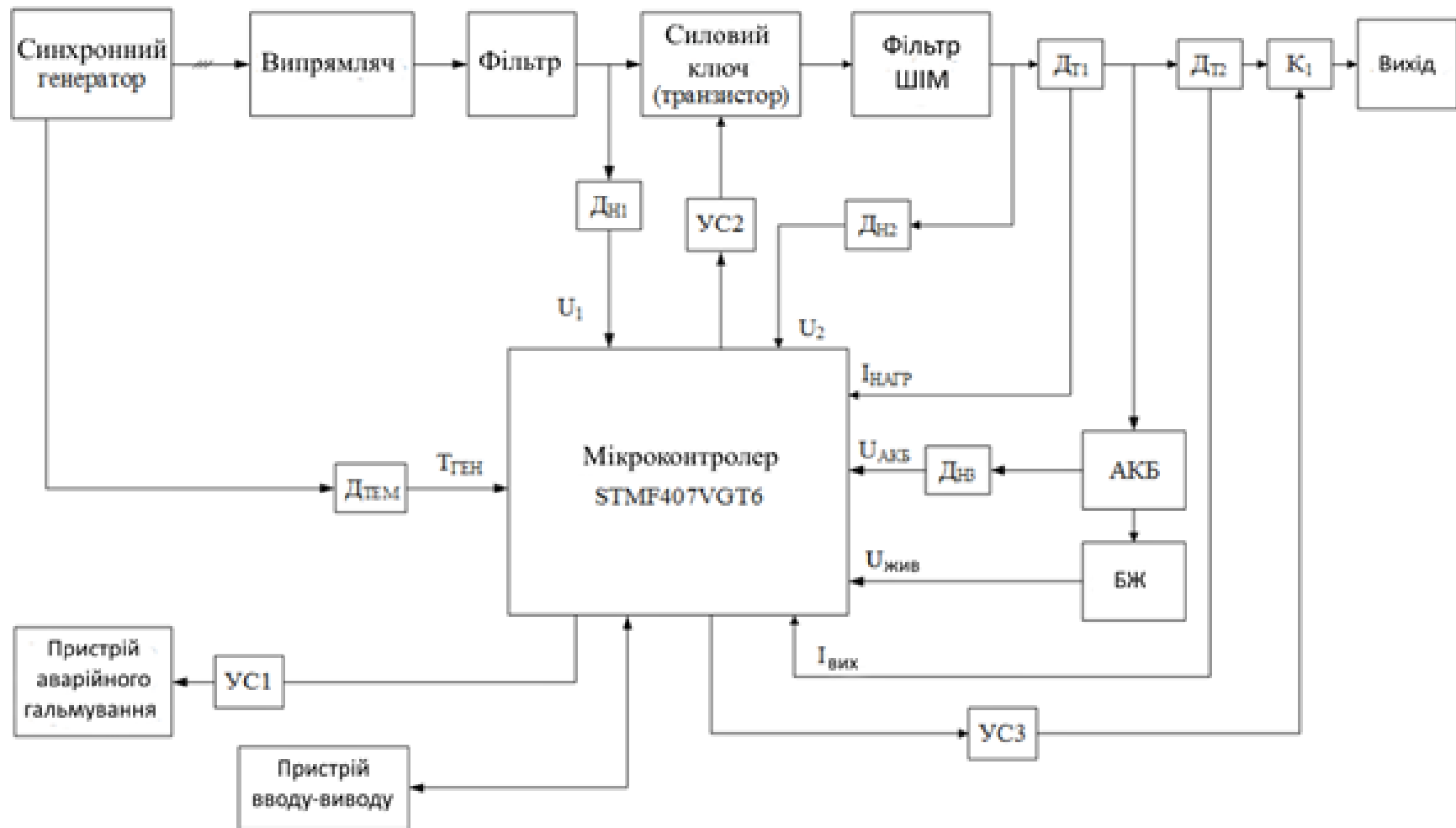
Показники	Генератори ВЕУ		
	Тихохідний синхронний генератор	Генератор постійного струму	Асинхронний генератор
1	2	3	4
Вартість генератора D , грн	6265	3890	2200
Вартість системи керування СК, грн	14730	20350	22456
Капітальні вкладення K , грн	20995	23640	24585
Річні капітальні витрати $K_{\text{річн}}$, грн/рік	2889.15	2658.8	2819.45
Амортизаційні відрахування C_A , грн/рік	1699,5	1564	1658.5
Відрахування на ремонт C_P , грн/рік	339,9	312.8	331.7
Додаткові відрахування C_D , грн/рік	1349,04	1704.051	1521.994
Відрахування на обслуговування C_O , грн/рік	169,4	179.043	175.61
Загальні відрахування C , грн/рік	11726,64	12654,8	14958,52
Приведені витрати Z , грн/рік	32721,81	37255,25	36453,44

Структура системи автоматичного керування ВЕУ



Рис. 7.1. Структурна схема системи автоматичного керування ВЕК

Функціональна схема системи автоматичного керування ВЕУ



Функція максимумів потужностей характеристик ВЕУ

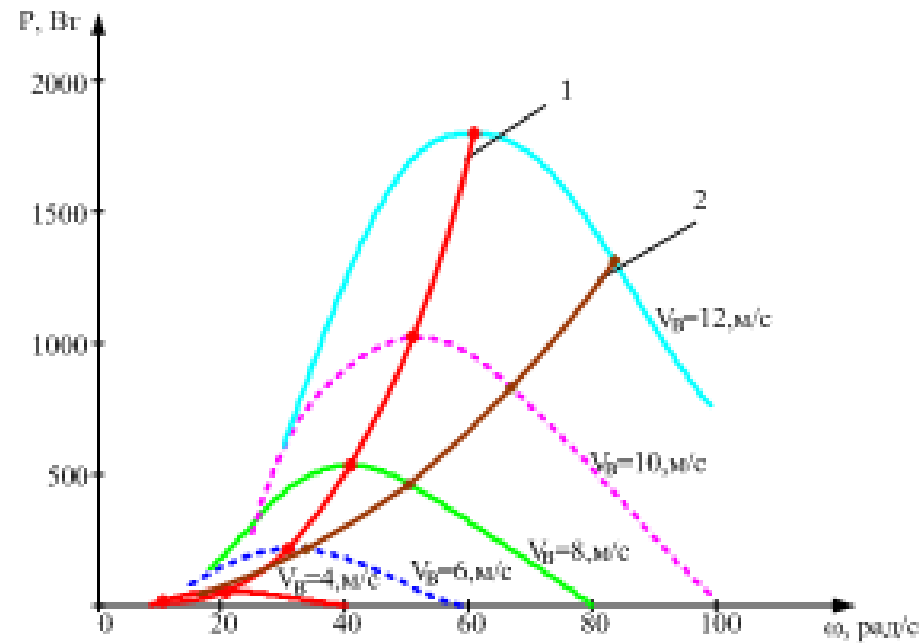


Рис. 9.1 Графічне зображення функції потужностей вітроенергетичних характеристик

Параметри обраного генератора ВЕУ

Технічні характеристики генератора

Марка генератора	Номінальна кількість обертів	Номінальна потужність	ККД	Вихід на напруга	Максимальна потужність	Максимальна кількість обертів
ВГ-1(12) 450	450 об/хв	1000 Вт	80%	57 В	1400 Вт	1000 об/хв



Зовнішній вигляд генератора ВГ-1(12)450

Статичні характеристики генератора ВЕУ

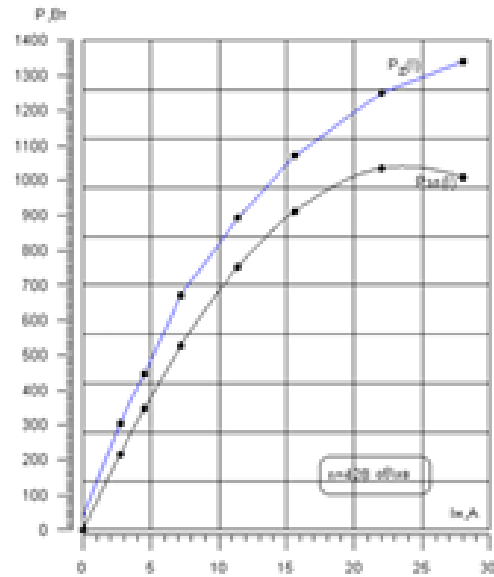


Рисунок 8.1 – Характеристика потужності генератора 1

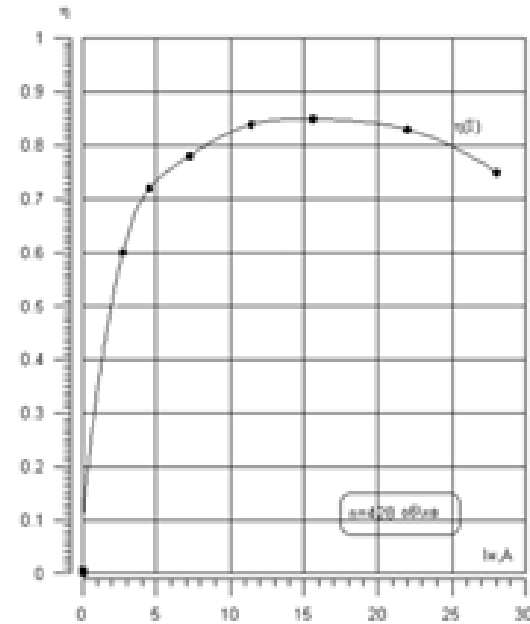
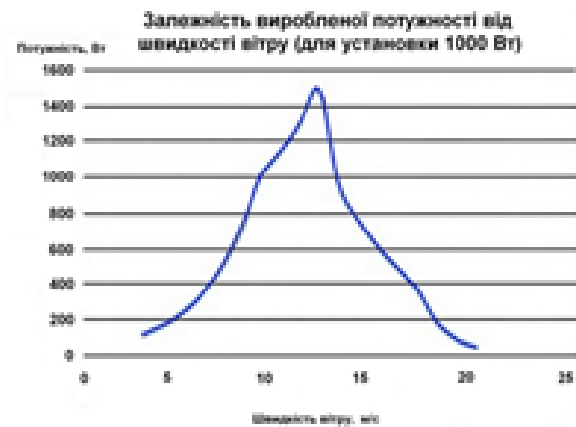


Рисунок 8.2 – Характеристика зміни ККД генератора залежно від навантаження

Результати моделювання системи автоматичного керування ВЕУ

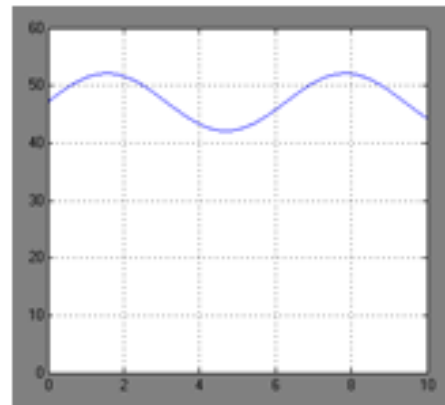


Рис. 14.1. Графік швидкості обертання вітрового колеса, яка змінюється довільним чином

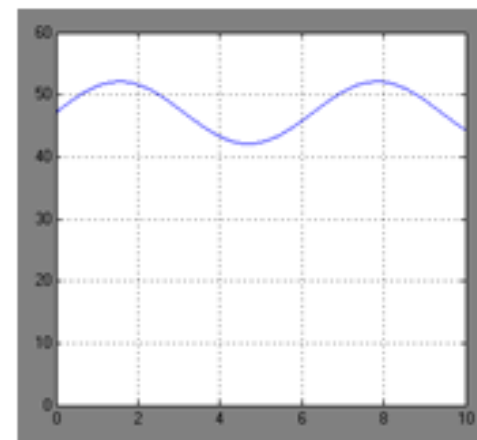


Рис. 14.2. Графік перехідного процесу випрямленої ЕРС при відсутності регулювання

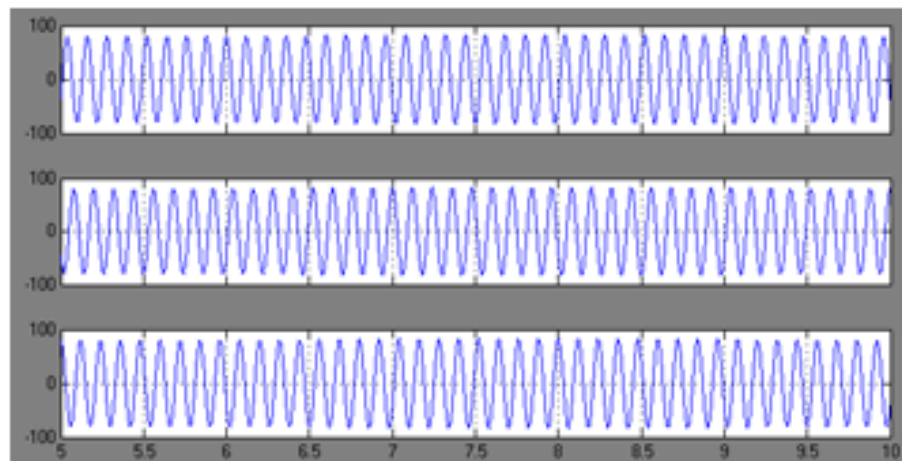


Рис. 14.4. Графіки фазних ЕРС на виході генератора

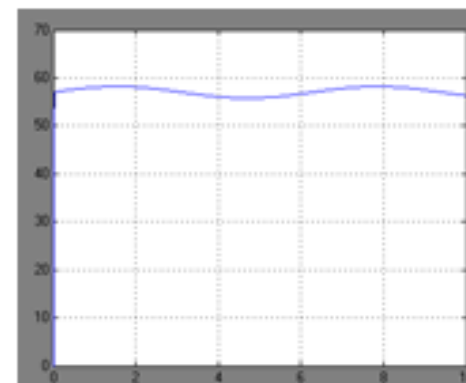
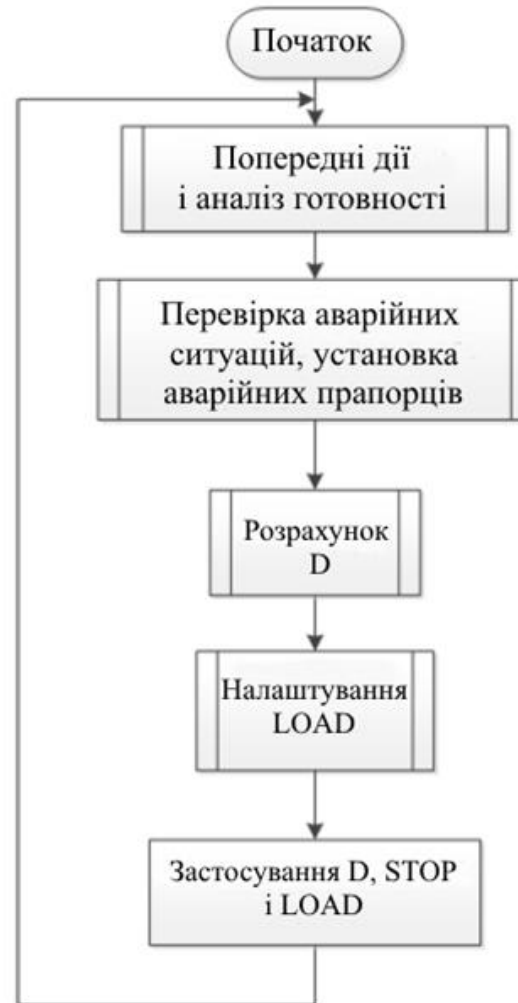


Рис. 14.3. Графік перехідного процесу випрямленої ЕРС при наявності регулювання

Загальний алгоритм роботи системи керування ВЕУ



Результати проектування

Науково-практичні результати:

1. Розроблено систему керування керування вітроенергетичної установки, яка забезпечує її роботу у точці максимального відбору потужності вітрового колеса.
2. Отримав подальший розвиток підхід до побудови регулятора струму заряду акумулятора вітрової енергетичної установки.
3. Розроблено функціональну схему, вибрано елементи та розроблено алгоритм роботи системи автоматичного керування ВЕУ, що дозволяє підвищити гнучкість та спростити процес налагодження запропонованої системи.

Публікації

* Тези доповіді за результатами всеукраїнської науково-практичної конференції «Світові тенденції ресурсозбереження». м. Харків. 25 - 27 жовтня 2023 р.

174

ДО ПИТАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТІВ ІНФРАСТРУКТУРИ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

ЖУКОВ О. А., к. т. н.

alex4444_2004@ukr.net,

ДОЦЕНКО В. М., студент

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

На сьогодні транспортна галузь України визначає соціально-економічний розвиток держави, та об'єднує в собі низку транспортних, інфраструктурних, науково-виробничих та навчальних галузей, спрямованих на забезпечення транспортування товарів та забезпечення пасажиропотоку [1].

Проте на сучасному етапі розвитку транспортної галузі України суттєвою перешкодою для забезпечення належного рівня функціонування транспортних підприємств є високий рівень витрат енергоресурсів. Окремою проблемою є повна залежність підприємств електротранспортів від електроенергетичної

08-24.МКР.007.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата
Розробив:		Доценко В.М		21.11.23
Перевірів:		Жуков О.А		21.11.23
Т. контр.				
Рецензент:		Бабенко О.В.		21.12.23
Норм.кон.				28.11.23
Затверд.		Мошноріз М М		28.11.23

Модернізація системи керування
потужністю вітроенергетичної
установки
Актуальність, мета, об'єкт та предмет
дослідження.

Літ. _____

Архив _____

ВНТЗ, м. Івано-Франківськ

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Модернізація системи керування потужністю вітроенергетичної установки

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-22м

Науковий керівник: к.т.н., доц. Жуков О.А.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність	78,6%
Схожість	21,4%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

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)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

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

Автор роботи

(підпис)

Доценко В.М.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Жуков О.А.

(прізвище, ініціали)