

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка малопотужного вітрогенератора з вертикальною віссю обертання

Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

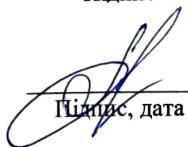
Шифр БРМА 23.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
3 курсу група ЕТс-20-1


Підпис

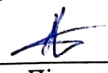
Токарчук Є. О.
Ініціали, прізвище


Керівник


Підпис, дата


д.т.н., проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата


Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

д.т.н., проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

20 06 2023 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

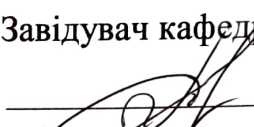
Шифр і назва

Спеціалізація Електропобутова техніка

Освітня програма _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС


20.06.2023

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Токарчук Єгор Олегович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка малопотужного вітрогенератора з вертикальною віссю обертання.

керівник роботи Поліщук Олег Степанович, д.т.н., проф

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 1 03 2023 р. № 5

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 20.06.23

3. Вихідні дані до роботи енергетичні характеристики силового обладнання та мережі

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

Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень в області вітро-генераторів. 2. Розробка конструкції малопотужного вітрогенератора з вертикальною віссю обертання. 3. Розрахунок вузлів вітрогенератора та вибір супроводжуючого обладнання, Висновки Перелік посилань

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. Вітрогенератори вертикального та горизонтального типу (ДО, А1). 2. Вітрогенератор вертикального типу (ДІ, А1). 3. Вітрогенератор (ЕЗ, А1). 4. Вітрогенератор вертикального типу (СК, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

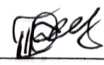
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1. <u>Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень в області вітрогенераторів</u>		
2. <u>Розробка конструкції малопотужного вітрогенератора з вертикальною віссю обертання</u>		
3. <u>Розрахунок вузлів вітрогенератора та вибір супроводжуючого обладнання</u>		
4. <u>Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу</u>		

Студент


Підпис

Є.О. Токарчук
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

О.С. Поліщук
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Токарчук Єгор Олегович

2. Тема магістерської роботи Розробка малопотужного вітрогенератора з вертикальною віссю обертання

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 4 арк., сторінок записки 56

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки: _____

Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень в області вітрогенераторів. 2. Розробка конструкції малопотужного вітрогенератора з вертикальною віссю обертання. 3. Розрахунок вузлів вітрогенератора та вибір супроводжуючого обладнання, Висновки Перелік посилань.

Підпис студента 

"26" "06" 2023 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 12 від "28" "06" 2023 р.

Оцінка проекту ЕК відмінно 5.0/А

Рекомендації ЕК у виробництво

Особливі відмітки _____

Технічний секретар 

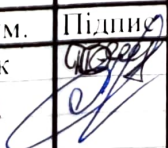


"28" "06" 2023 р.

ЗМІСТ

стор.

Вступ.....	5
1 Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень в області вітрогенераторів.....	6
1.1. Загальні відомості про вітроенергетику.....	6
1.2 Конструкції вітрогенераторів з вертикальною віссю.....	9
1.3 Класифікація вітрових установок.....	13
1.4 Проблеми експлуатації промислових вітрогенераторів.....	17
1.5 Висновок до першого розділу.....	19
2 Розробка конструкції малопотужного вітрогенератора з вертикальною віссю обертання.....	20
2.1 Розробка структурної схеми.....	20
2.2 Розробка турбіни вітрогенератора.....	21
2.3 Розробка генератора.....	24
2.4 Висновок до другого розділу.....	28
3 Розрахунок вузлів вітрогенератора та вибір супроводжуючого обладнання.....	29
3.1 Розрахунок електромагнітних характеристик генератора.....	29
3.2 Вибір контролера.....	46
3.3 Вибір інвертора.....	47
3.4 Вибір акумуляторних батарей.....	50
3.5 Висновок до третього розділу.....	52
Висновки.....	53
Перелік джерел посилання.....	54
Додаток А.....	56

БРМА 23.00.00.000 ПЗ

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Розробка малопотужного вітрогенератора з вертикальною віссю обертання	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Гокарчук	Поліщук				б	4	56
Перевір.	Поліщук	Поліщук				ХНУ гр. ЕТс-20-2		
Н.контр. Затвер.	Мундик С. П.	Поліщук						

ВСТУП

Енергія вітру останнім часом набула великого значення. Це стосується як практичного використання, так і наукових експериментів і розробок у сфері застосування енергії вітру.

У сучасній економіці, коли світові енергетичні ресурси поступово вичерпуються, а атмосфера стає все більш забрудненою, стає актуальним використання альтернативних джерел енергії, які раніше не були настільки розглядані. Вчені розраховували, що через 150 років єдиним викопним джерелом енергії на Землі залишиться торф. За прогнозами, до 2051 року будуть вичерпані всі відомі запаси нафти, до 2065 року зникне уран, до 2081 року буде спалено останній кубометр газу, а до 2135 року закінчатся поклади кам'яного вугілля. В такій ситуації стає життєво необхідним розробляти та використовувати всі можливі можливості для впровадження та використання передових технологій, які забезпечать доступ до економічно вигідних та екологічно чистих джерел енергії.

У зв'язку з цим основна увага приділяється використанню енергії вітру в сільському господарстві, виробництві та побуті.

Варто також зазначити, що альтернативна енергетика є високотехнологічною галуззю, яка потребує значних науково-технічних ресурсів. Останні дослідження відкривають перспективи використання альтернативних джерел енергії і свідчать про те, що вітрова енергія є найбільш ефективною та широко використовуваною для України.

Вітрогенератори не потребують палива або води і можуть бути повністю автоматизовані. Сучасна вітроенергетика вже є складовою частиною енергетичних систем у багатьох розвинених країнах світу, а в деяких країнах вона є одним із основних компонентів альтернативної енергетики на основі відновлюваних джерел енергії.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ В ОБЛАСТІ ВІТРОГЕНЕРАТЕРІВ

1.1 Загальні відомості про вітроенергетику

Вітроенергетика - це галузь енергетики, що використовує потенціал вітру для виробництва електроенергії. Її основою є використання вітрогенераторів, пристроїв, які перетворюють кінетичну енергію вітру на електричну енергію.

Вітрогенератори складаються з ротора, що містить лопаті, які приводяться в рух вітром. Під час обертання ротор генерує механічну енергію, яка потім перетворюється на електричну енергію за допомогою генератора.

Електротехнічні системи включають системи зберігання енергії, системи управління, трансформатори та інші компоненти, які забезпечують оптимальну роботу вітроенергетичної системи, підключення до електричної мережі та передачу отриманої електроенергії.

Інфраструктура включає башти для розміщення вітрогенераторів, транспортні системи для доставки та установки компонентів, дороги для обслуговування та інші інженерні структури.

Таким чином, вітроенергетика поєднує технології генерації електроенергії з використанням вітрового потенціалу, електротехнічні системи та необхідну інфраструктуру для ефективного використання вітроенергії [2].

Переваги вітроенергетики включають:

- вітро є безкоштовним та відновлюваним джерелом енергії;
- вітроенергетика є екологічно чистим джерелом енергії, оскільки не випускає шкідливі викиди та не спричиняє забруднення повітря;
- вітроенергетика сприяє редукції використання вуглецю та боротьбі зі зміною клімату;
- вітроенергетика може забезпечувати децентралізоване виробництво електроенергії, зменшуючи залежність від традиційних джерел енергії;

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- вітрові установки можуть бути встановлені на різних масштабах - від одиночних вітрогенераторів для побутових потреб до великих вітропарків для комерційного виробництва енергії;

Проте, вітроенергетика також стикається з рядом викликів. Серед них залежність від погодних умов, необхідність наявності достатньо вітряних регіонів, потенційний вплив на птахів та ландшафт, а також потреба в ефективному управлінні енергетичною системою для забезпечення стабільності мережі та збереження отриманої електроенергії.

Україна займає 14-е місце у світі за встановленою потужністю вітроагрегатів. Країна пройшла шлях етапного розвитку в цій сфері. Спочатку було налагоджено серійне виробництво вітрогенераторів USW 56-100 з максимальною потужністю 107,5 кВт. У США вже експлуатується кілька тисяч таких вітрогенераторів. Завдяки серійному виробництву на підприємствах машинобудування була розроблена та впроваджена нормативна база для вітроенергетики, а також були впроваджені нові технології, які були новітніми для країни [3]. Також набуто практичного досвіду у будівництві вітроелектростанцій. За час експлуатації вітрогенераторів USW 56-100 в Україні була складена реальна карта вітрового потенціалу. Важливо враховувати, що вітроагрегати самі по собі не бувають поганими або добрими, але може бути неправильно вибране місце розташування у вітрополях.

Усі вітроелектростанції (ВЕС) в Україні, включаючи Донузлавську, Сакську, Новоазовську, Тарханкутську та Трускавецьку, обладнані ліцензійними вітроагрегатами, виготовленими на Південному машинобудівному заводі, і знаходяться на етапі будівництва. Вартість виробництва вітрової електроенергії на цих ліцензійних установках досягає світового рівня - чотири центи за кіловат. Зворотній ефект від експлуатації і прибутковість електростанцій (ГЕС, ТЕС, АЕС) досягаються тільки при роботі на 100% проектної потужності, тому жодна з них не виробляє електроенергію до повного завершення будівництва. Важливо відзначити, що вартість виробництва електроенергії на ГЕС, ТЕС і АЕС не

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

собівартість виробленої електроенергії на вітроагрегатах становитиме від 1,7 до 2,0 центів, що є досить привабливою величиною. За 30 років, що є середнім терміном окупності, електроенергію з вітроелектростанцій можна продавати за 3 центи за кВт-год. Однак, при скороченні терміну окупності до 10 років, ціна на електроенергію повинна зрости до 6 центів і більше, особливо якщо кошти на будівництво вдасться залучити за нульовою річною ставкою. При 10% кредитних ставках на окупність за 10 років, тариф становитиме 7 центів за кВт-год і більше. Для порівняння, в Німеччині новозбудовані вітроелектростанції продають електроенергію за 8,5 цента.

1.2 Конструкції вітрогенераторів

Вітрогенератори з горизонтальною віссю (ВГВ) є найпоширенішим типом вітрогенераторів у комерційному масштабі (рис.1.1, аркуш [БРМА23.00.00.000ДО]). Вони мають ось обертання лопатей, розташовану горизонтально, перпендикулярно до напрямку вітру. Ось обертання зазвичай розташована на вершині високої башти, а лопаті розташовані нижче.



Рисунок 1.1 - Вітряк Green Powe SE 500

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 – Вітряк UA Winds

Основні типи конструкцій вітрогенераторів з вертикальною віссю включають:

- савоніусовий ротор: Цей тип ВВВ має форму як двох напівкілець, розташованих проти один одного. Лопаті мають форму вигнутих півкілець і працюють на принципі повітряного опору. Савоніусові ротори працюють ефективно при низьких швидкостях вітру, але мають меншу коефіцієнт використання вітру порівняно з іншими конструкціями;
- дар'єсовий ротор: Цей тип ВВВ складається з набору вертикальних лопатей, розташованих у вигляді перехресного хреста. Лопаті мають аеродинамічну форму, що забезпечує ефективніше збір енергії вітру. Дар'єсові ротори можуть працювати ефективно при широкому діапазоні швидкостей вітру;
- вертикальний вітрообмінник: Це специфічний тип ВВВ, який складається з набору вертикальних лопатей, розташованих по висоті. Кожна лопасть має спеціальну форму, яка створює вихровий потік повітря, що забезпечує збільшення продуктивності системи.

Переваги вітрогенераторів з вертикальною віссю включають:

- здатність працювати при змінному та непостійному напрямленні вітру;
- можливість встановлення на обмеженому просторі, так як вони не потребують орієнтації по напрямку вітру;
- менша чутливість до турбулентності вітру.

Проте, ВВВ також мають свої обмеження, які слід враховувати. Один з них нижчий коефіцієнт ефективності порівняно з вітрогенераторами з горизонтальною віссю. Це означає, що ВВВ можуть генерувати менше електроенергії при тих самих вітрових умовах.

Крім того, використання ВВВ також вимагає більших вимог до конструкції та установки. Їх потрібно встановлювати у спеціально призначених місцях з міцними опорами, що може бути складним та дорогим процесом [4].

Тому використання ВВВ ширше застосовується в невеликих масштабах (рис. 1.3), зокрема в міських середовищах та для побутових застосувань, де вимоги до потужності не настільки високі, а можливість їх інтеграції з міською інфраструктурою має велике значення.



Рисунок 1.3 - Вітряк FlySky SW 800

										Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	БРМА23.00.00.000 ПЗ					

Основні характеристики та переваги вітрогенераторів з вертикальною віссю включають:

- орієнтаційна незалежність: ВВВ не потребують активного слідкування за напрямком вітру, оскільки їх лопаті можуть працювати в будь-якому напрямку вітру. Це робить їх ефективними в умовах змінного та непостійного напрямку вітру;

- менша чутливість до турбулентності: ВВВ можуть працювати ефективно навіть в умовах турбулентного вітру, так як їх конструкція дозволяє їм краще переносити зміни швидкості та напрямку вітру;

- менша вимога до висоти башти: ВВВ можуть бути встановлені на нижчих баштах, оскільки їх конструкція не вимагає підйому лопатей на велику висоту. Це зменшує витрати на будівництво та установку;

- менше впливу на птахів та ландшафт: ВВВ мають менший вплив на птахів та ландшафт, оскільки їх лопаті рухаються вздовж вертикальної осі, що зменшує ризик зіткнення з птахами та не вимагає великих вільних просторів для обертання.

Тому ВВВ частіше використовуються в невеликих масштабах, зокрема в міських середовищах та для побутових застосувань, де вимоги до потужності не настільки високі, а можливість їх інтеграції з міською інфраструктурою має велике значення.

1.3 Класифікація вітрових установок

Вітрові установки можна класифікувати за декількома критеріями. Основні типи класифікації вітрових установок включають:

За конструкцією ротора:

- вітрогенератори з горизонтальною віссю (ВГВ): Вітрогенератори, в яких ось обертання лопатей розташована горизонтально. Це найпоширеніший тип вітрогенераторів у комерційному масштабі;

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- вітрогенератори з вертикальною віссю (ВВВ): Вітрогенератори, в яких ось обертання лопатей розташована вертикально (рис. 1.4). ВВВ мають інші конструктивні особливості та характеристики.



Рисунок 1.4 - Вітряк UA Winds з збільшеними лопостями

За потужністю:

- макро-вітрогенератори: Це великі вітрові установки, які можуть мати потужність від кількох сотень кіловат до кількох мегават;
- мікро-вітрогенератори: Це менші вітрові установки, зазвичай з потужністю від декількох кіловат до декількох десятків кіловат.

За розміщенням:

- сухопутні вітрові установки: Встановлені на суходолі, як правило, на відкритих просторах, полях або горах;
- морські вітрові установки: Встановлені на морських платформах або стійках, розташованих у відкритих морських водах.

За типом установки:

- одиночні вітрові установки: Складаються з одного вітрогенератора;
- вітрові ферми: Групи вітрогенераторів, розташованих поруч із одним одним, що утворюють масштабний вітровий комплекс.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- удари блискавок. Удари блискавок можуть призвести до пожежі. На сучасних вітрогенераторах встановлюються громозахисні системи;
- відключення. При різких коливаннях швидкості вітру спрацьовує електричний захист апаратів входять до складу системи, що знижує ефективність системи в цілому. Так само для великих вітростанцій велика ймовірність спрацьовування захисту на відхідних ЛЕП;
- нестабільність роботи генератора. Через те що в більшості промислових вітрогенеруючих установках стоять асинхронні генератори, стабільна робота їх залежить від сталості напруги в ЛЕП;
- пожежі. Пожежа може виникнути через тертя обертових частин всередині гондоли, витоку масла з гідравлічних систем, обриву кабелів і т. д. Пожежі вітрогенераторів рідкісні, але їх важко гасити через віддаленість вітряних електростанцій і великої висоти, на якій відбувається пожежа [5]. На сучасних вітрогенераторах встановлюються системи пожежогасіння.



Рисунок 1.6 – Промислові вітрогенератори

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1.5 Висновок до першого розділу

В розділі проведено огляд та аналіз існуючих та технічних рішень в області вітрогенераторів. Описується загальна відомість в сфері вітроенергетики та проблеми в експлуатації промислових установок. Розглядається конструкція вертикального типу та її будова. Відображаються також загальні характеристики та переваги саме вертикальних вітрогенераторів. Здійснюється класифікація вітрових установок.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МАЛОПОТУЖНОГО ВІТРОГЕНЕРАТОРА З ВЕРТИКАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми

Створення структурної схеми є критичним етапом у проектуванні різноманітних систем і пристроїв. Ця схема слугує візуальним відображенням структури системи та взаємозв'язків між її складовими елементами. Для розробки структурної схеми можна скористатися наступними кроками. Визначення цілей та вимог до системи: перед початком розробки необхідно чітко зрозуміти, які функції системи повинні бути виконані і які вимоги потрібно врахувати. Ідентифікація складових елементів: визначення основних компонентів системи, які будуть включені до структурної схеми. Це можуть бути блоки, модулі, пристрої, підсистеми і т.д.

Встановлення зв'язків: визначення зв'язків між складовими елементами системи. Це можуть бути фізичні з'єднання, передача даних, сигналів або енергії між елементами. Розташування елементів на схемі: розміщення елементів системи на структурній схемі відповідно до їх зв'язків та організації. Підписи та пояснення: надання підписів до елементів схеми та необхідних пояснень для кращого розуміння структури системи [6]. Перевірка та оновлення: перевірка структурної схеми на відповідність вимогам та коректність. При необхідності внесення необхідних корекцій.

Структурна схема може бути представлена у формі блок-схеми, схеми зв'язків, блок-схеми потоку даних або ієрархічної схеми, залежно від типу системи та її складності. Ця схема є важливим інструментом для розуміння структури системи та планування процесу розробки.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

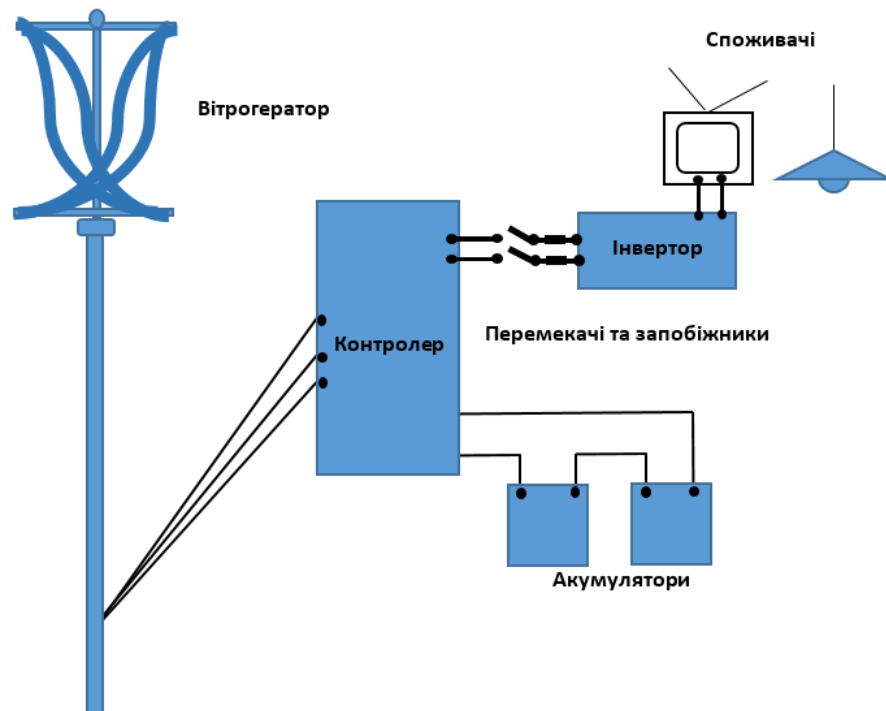


Рисунок 2.1- Принципова схема побудови вітрогенератора з акумуляторами

Вітрогенератор працює наступним чином. Вітер розкручує лопаті вітряка, той у свою чергу обертає ротор вітрогенератора (рис. 2.1). На затискачах статора виникає електрорушійна сила, яка через контролер випрямляється і заряджає акумулятори. До акумуляторів через той же контролер підключений інвертор, що перетворює електроенергію постійного струму в напругу з фіксованою (промисловою) частотою і амплітудою.

2.2 Розробка турбіни вітрогенератора

З'єднуючий елемент – призначений для з'єднання ротора до лопат вітрогенератора.

Схема розташування лопатей – два зустрічних рівносторонніх трикутника. За даним кресленням потім легше буде розташувати куточки кріплення лопатей.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

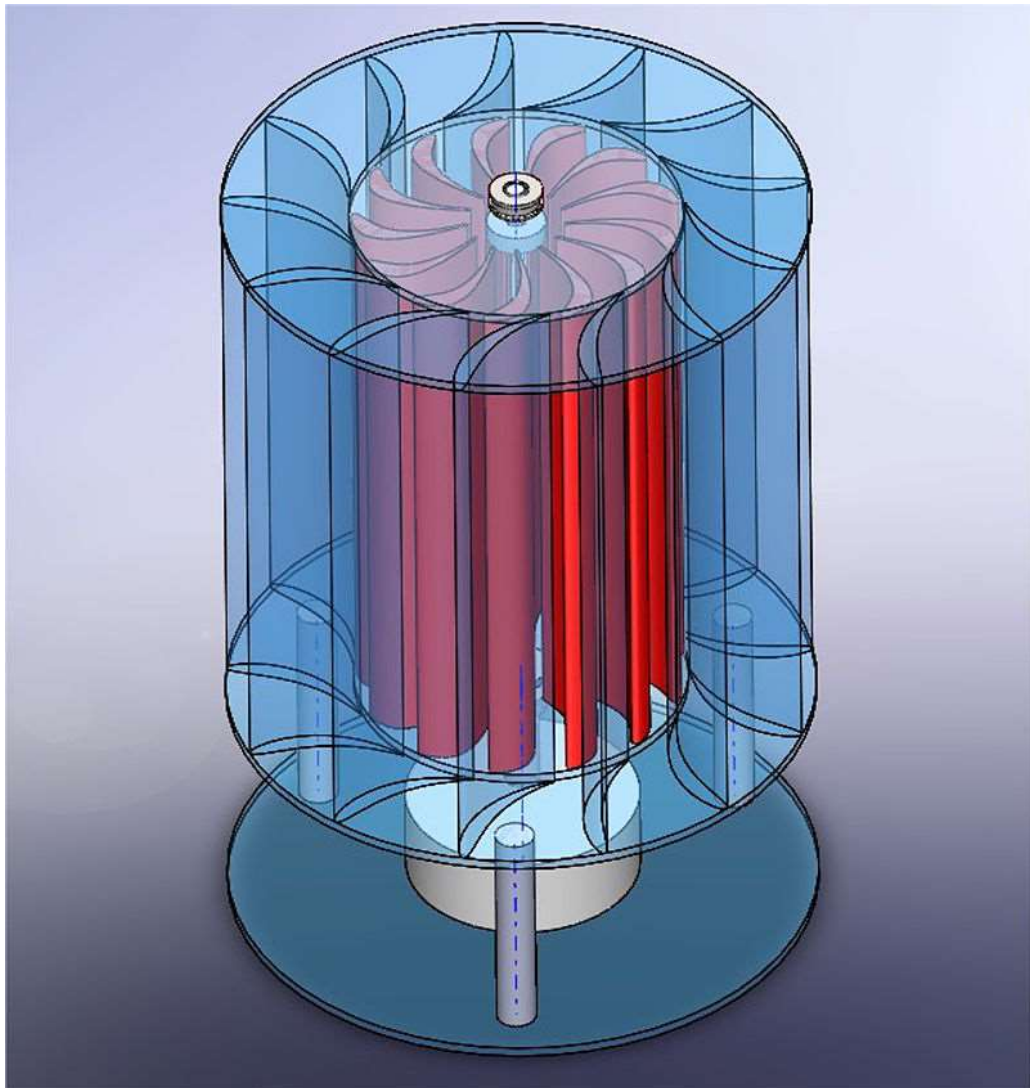


Рисунок 2.2 - Турбіна вертикального вітрогенератора

Розробка турбіни вітрогенератора (рис. 2.2) включає в себе процес створення ефективною та надійною системи, яка перетворює кінетичну енергію вітру на електричну енергію. Розробка турбіни розпочинається з етапу проектування, де враховуються різноманітні параметри, такі як розміри, конструкція лопатей, вибір матеріалів і т. д. Паралельно проводяться розрахунки для визначення оптимальних характеристик турбіни. Після виготовлення лопатей, турбіна монтується на вітрогенераторі. Установка відбувається на спеціально відібраному місці, де є достатній потік вітру для генерації електроенергії. Згенерована турбіною електроенергія підключається до електричної мережі з метою постачання електричної енергії споживачам.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

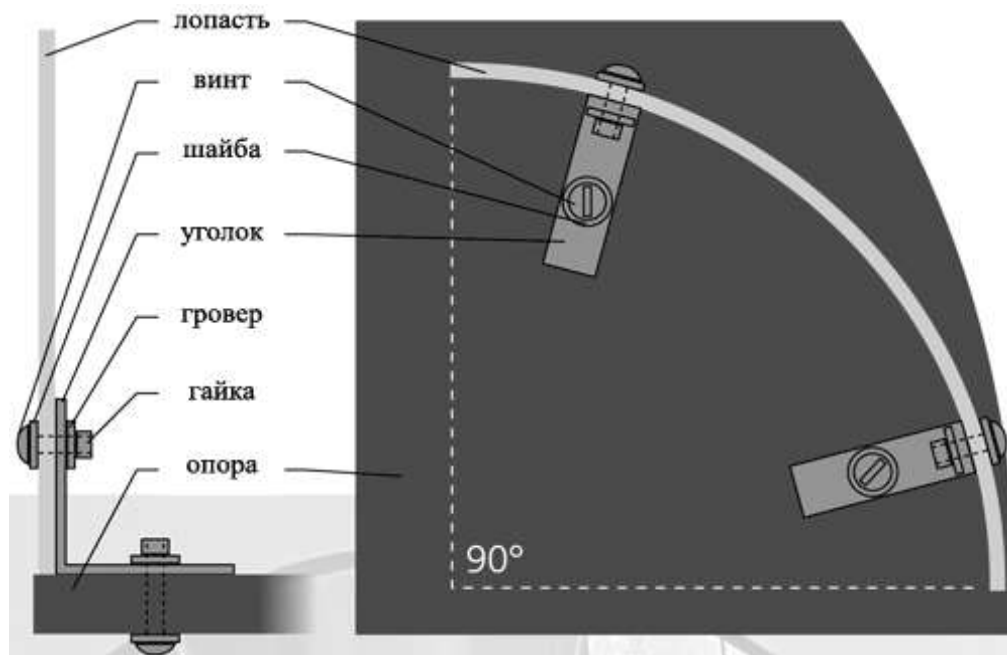


Рисунок 2.3 - Кріплення лопастей

Послідовність виготовлення турбіни:

Виготовлення нижньої і верхньої опор лопастей (рис 2.3). За допомогою спеціального інструмента виріжте з ABS пластику круг. Потім обведіть його контур і виріжте другий круг, повністю ідентичний першому.

У центрі одного з кругів виріжте отвір діаметром 30 см. Цей круг буде верхньою опорою для лопастей.

Візьміть хаб (маточину від автомобіля), розмітьте його і просвердліть чотири отвори на нижньому крузі для його кріплення.

Створіть шаблон розташування лопастей і відмітьте на нижньому крузі місця для кріплення куточків, які будуть з'єднувати опору і лопасті.

Складіть лопасті в стопку, добре їх закріпіть і обріжте до необхідної довжини. У цій конструкції лопасті мають довжину 116 см. Чим довші лопасті, тим більше енергії вітру вони збирають, але при цьому стають менш стійкими при сильному вітрі.

Виріжте отвори для кріплення куточків на лопастях. Закріпіть куточки на лопастях, нахиливши їх, а потім просвердліть отвори.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

За допомогою шаблону розташування лопастей, який наведено на рисунку 2.4, прикріпіть лопасті до опори за допомогою куточків.

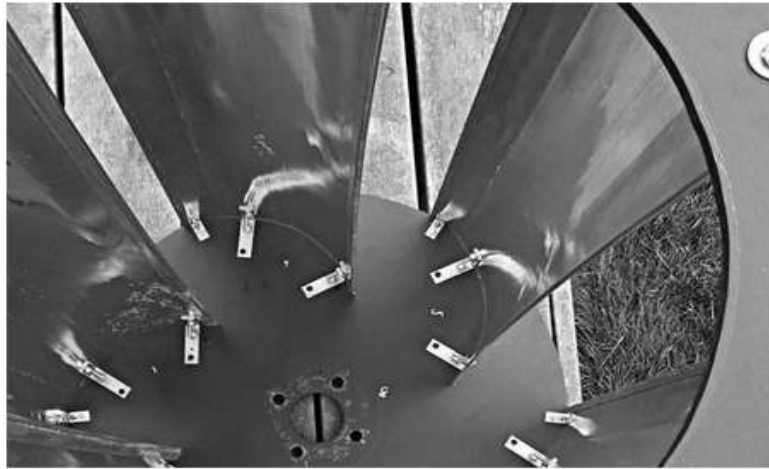


Рисунок 2.4 - Кріплення лопатей турбіни вітрогенератора.

2.3 Розробка генератора

2.3.1 Розробка ротора вітрогенератора

Покладіть дві основи ротора одну на одну, з'єднайте отвори і позначте невеликі мітки з боків за допомогою напилювача або маркера. Це буде використовуватись для правильної орієнтації їх відносно один одного [7].

Створіть два паперових шаблони (рис. 2.5) для розташування магнітів і приклейте їх на основу. За допомогою маркера позначте полярність кожного магніта. Можна використати невеликий магніт, обмотаний ниткою або ізоляцією, як "тестер полярності". Проводячи його над великим магнітом, ви зможете чітко побачити, чи відштовхується він від нього, чи притягується.

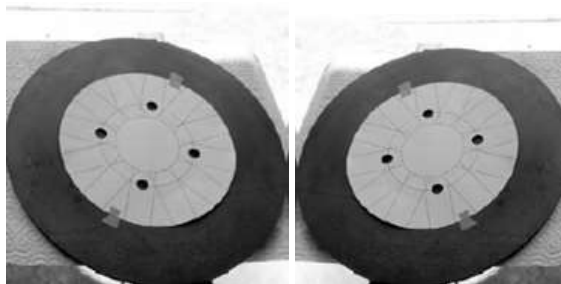


Рисунок 2.5 – Підстави ротора

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

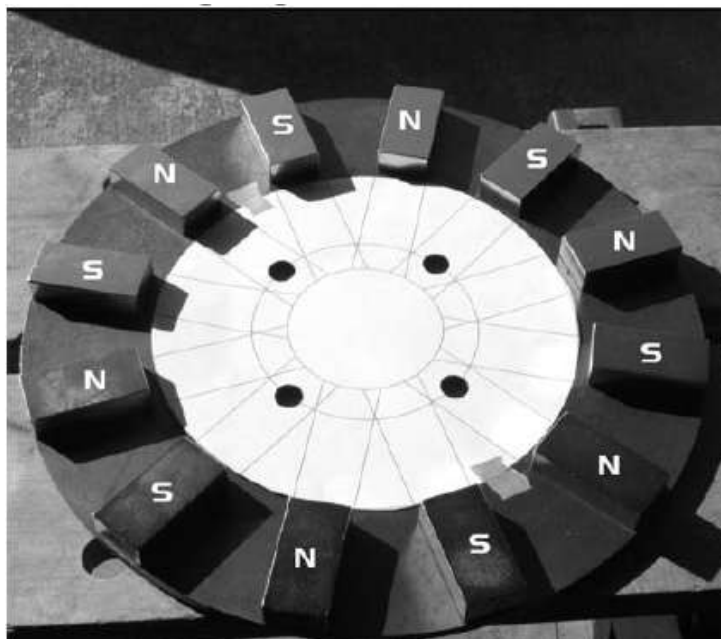


Рисунок 2.6 – Розташування магнітів

Приготуйте епоксидну смолу, додавши до неї затверджувач. Рівномірно нанесіть смолу знизу магніту, дбайливо підніміть магніт до краю основи ротора і перемістіть його до потрібної позиції (рис. 2.6). Для уникнення розпаду ротора не розміщуйте магніт зверху, оскільки його велика сила може призвести до непередбачуваних наслідків. Покладіть ротори на значну відстань один від одного.

2.3.2 Розробка статора вітрогенератора

Виробництво статора є дуже складним процесом. Статор вітрогенератора є електричним компонентом, складається з 9 котушок, а їх структура зображена на рисунку 2.7. Котушки статора поділені на 3 групи, по 3 котушки в кожній групі. Кожна котушка складається з дроту діаметром 24AWG (0,51 мм) і має 320 витків. Збільшення кількості витків, але за допомогою тоншого дроту, призведе до підвищення напруги, але зменшить максимальний струм.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.



Рисунок 2.7 - Котушка статора

Намотування котушок вручну є монотонним і важким завданням. Щоб спростити процес, ми розробили пристрій - намотувальний верстат (рис. 2.8). Крім того, конструкція верстату є простою і може бути зібрана з доступних матеріалів. Всі котушки повинні бути намотані однаково, в одному напрямку. Щоб уникнути розмотування котушок, вони обмотані ізоляційною стрічкою і покриті епоксидною смолою.

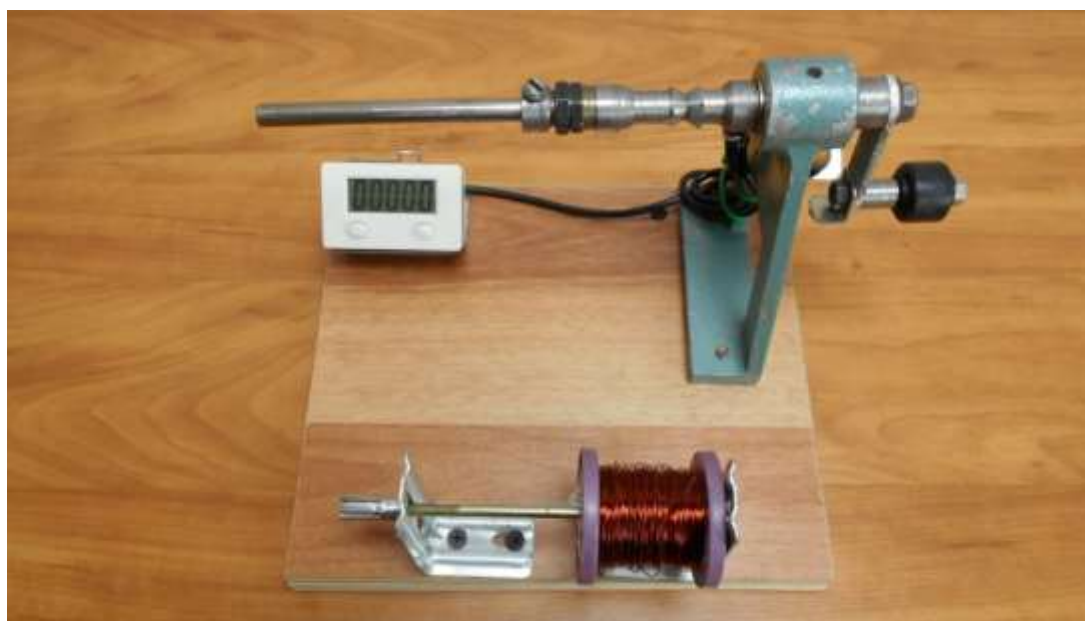


Рисунок 2.8 - Намотувальний пристрій для котушок

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

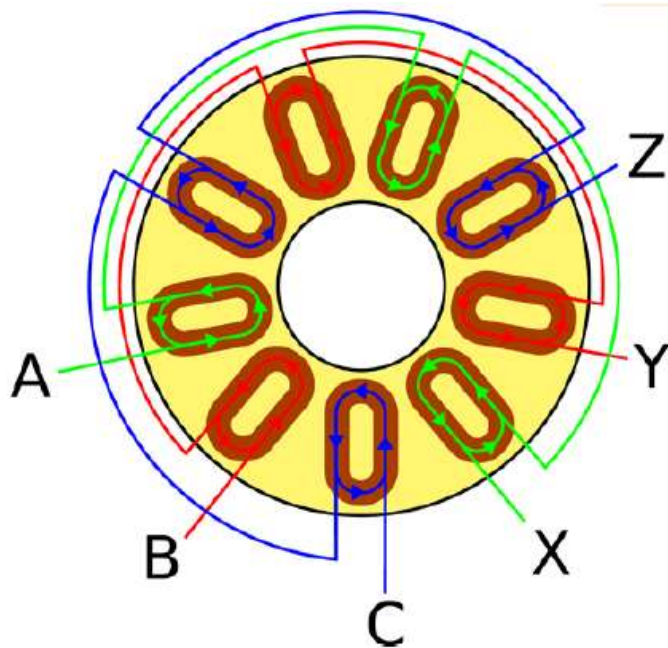


Рисунок 2.9 – Схема з'єднання котушок статора

Необхідно очистити кінці виводів кожної котушки від ізоляції за допомогою шкурки. Потім ми з'єднуємо котушки відповідно до схеми з'єднань, що дозволяє отримати трифазний змінний струм. Кінці котушок ми припаюємо.

Ми маємо можливість з'єднати котушки у формі "зірки" для отримання великої напруги або у формі "трикутника" для отримання великого струму.



Рисунок 2.10 - Розміщення котушок статора.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

2.3.3 Загальний вид конструкції вітрогенератора

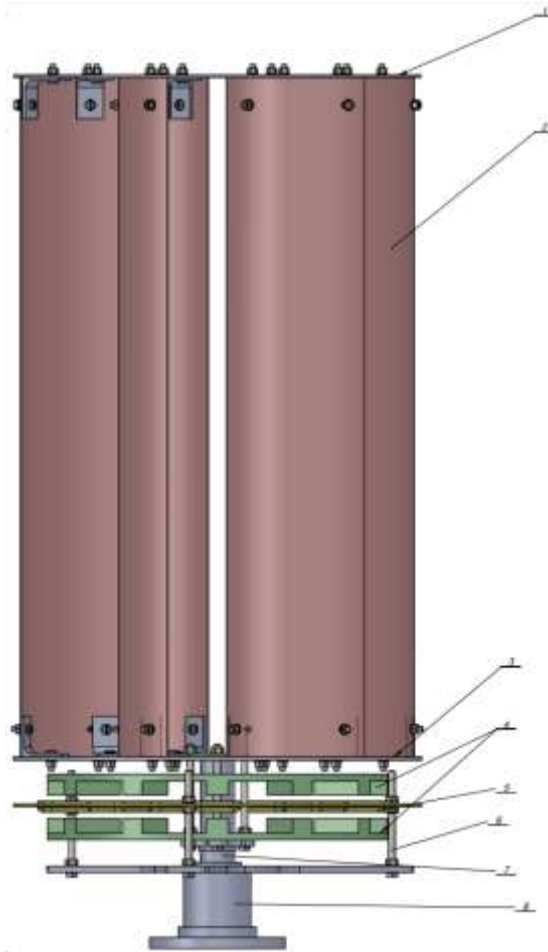


Рисунок 2.11 - Загальний вид генератора вітряка

Вітрогенератор складається: верхньої опори - 1, лопастей - 2, нижньої опори - 3, основа ротора - 4, шайба - 5, кронштейн - 6, статора - 7, кріплення ротора - 8.

2.4 Висновок до другого розділу

В даному розділі здійснюється розробка конструкції малопотужного вітрогенератора з вертикальною віссю обертання. Розробляється структурна схема. Також описується робота та конструкція турбіни вітрогенератора, ротора та статора. Додатково зображена загальна конструкція з усіма її елементами що розробляються.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

3 РОЗРАХУНОК ВУЗЛІВ ВІТРОГЕНЕРАТОРА ТА ВИБІР СУПРОВОДЖУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ

3.1 Розрахунок електромагнітних характеристик генератора

Тангенціальну довжину магніта розраховуємо за наступною формулою:

$$L_z = \frac{\pi \cdot (1 - \alpha p)}{p \cdot (\alpha p - \Delta z)}, \quad (3.1)$$

де αp - конструктивний коефіцієнт полюсного перекриття, приймається в межах 0,6-0,7. Приймаємо $\alpha p = 0,6$;

Δz - відносні значення розміру, рекомендується в межах 0,1-0,2. Приймаємо $\Delta z = 0,1$.

Тоді:

$$L_z = \frac{3,14 \cdot (1 - 0,6)}{6 \cdot (0,6 - 0,1)} = 0,4188 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт заповнення ротора магнітами визначається із формули:

$$k_{zm} = 2 \cdot (1 - \alpha p) \cdot (\alpha p - \Delta z) = 2 \cdot (1 - 0,6) \cdot (0,6 - 0,1) = 0,4 . \quad (3.2)$$

Відносна магнітна проникність магніта визначається із формули:

$$\mu_r = \frac{B_r}{\mu_0 \cdot H_c}, \quad (3.3)$$

де B_r - магнітна індукція $B_r = 0,82 \text{ Тл}$;

μ_0 - магнітна стала, $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} = 1,25663706 \cdot 10^{-6} \text{ Гн / м}$;

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

H_c - коерцитивна сила $H_c = 560000 A / м.$

$$\mu_r = \frac{0,82}{1,25663706 \cdot 10^{-6} \cdot 560000} = 1,16524 \text{ Гн} / \text{м}.$$

Розрахунковий коефіцієнт полюсного перекриття приймається $(1,1 \dots 1,2) \cdot p$.

Тоді:

$$\alpha \delta = (1,2) \cdot \alpha p, \quad (3.4)$$

$$\alpha \delta = (1,2) \cdot 0,6 = 0,72.$$

Відносна магнітна провідність зазору складає:

$$\Lambda_{\delta z} = \frac{\pi^2 \cdot \alpha \delta \cdot (1 - \alpha p)}{8 \cdot (\alpha p - \Delta z) \cdot \mu r \cdot \delta_z \cdot p^2}, \quad (3.5)$$

де δ_z - відносний магнітний зазор ($\delta z = 0,005 \dots 0,02$).

Приймаємо $\delta_z = 0,02$.

Відповідно:

$$\Lambda_{\delta z} = \frac{3,14^2 \cdot 0,72 \cdot (1 - 0,6)}{8 \cdot (0,6 - 0,1) \cdot 1,16524 \cdot 0,02 \cdot 6^2} = 0,847 \text{ Гн}.$$

Розсіювання магніта визначається за формулою:

$$\Lambda_{\sigma z} = (k_{\sigma} - 1) \cdot \Lambda_{\delta z}, \quad (3.6)$$

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де k_σ - коефіцієнт розсіювання магніта ($k_\sigma = 1,1 \dots 1,4$).

Приймаємо $k_\sigma = 1,3$.

Тоді:

$$\Lambda_{\sigma z} = (1,3 - 1) \cdot 0,847 = 0,2541 \text{ Гн}.$$

Розсіювання якорної обмотки складає:

$$\Lambda_{\sigma \alpha z} = \frac{\pi^2 \cdot (1 - \alpha p) \cdot \Sigma \lambda}{2 \cdot p \cdot (\alpha p - \Delta z) \cdot \mu_r \cdot m \cdot q \cdot k_d \cdot k_o^2}, \quad (3.7)$$

де $\Sigma \lambda$ - питома магнітна провідність розсіювання ($\Sigma \lambda = 2 \dots 4$).

Приймаємо $\Sigma \lambda = 3$;

q - число пазів на полюс $q = \frac{18}{12} = 1,5$;

m - число фаз, $m = 3$;

k_d - коефіцієнт приведення магніторушійної сили реакції якоря по поздовжній осі $k_d = 0,85$;

k_o - обмотувальний коефіцієнт $k_o = 0,93$.

Відповідно:

$$\Lambda_{\sigma \alpha z} = \frac{3,14^2 \cdot (1 - 0,6) \cdot 3}{2 \cdot 6 \cdot (0,6 - 0,1) \cdot 1,16524 \cdot 3 \cdot 1,5 \cdot 0,85 \cdot 0,93^2} = 0,51205 \text{ Гн}.$$

Відносна електрорушійна сила холостого ходу:

$$E_{oz} = \frac{\Lambda_{\delta z}}{1 + \Lambda_{\sigma z} + \Lambda_{\delta z}}, \quad (3.8)$$

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$E_{oz} = \frac{0,847}{1 + 0,847 + 0,2541} = 0,40312 \text{ В.}$$

Відносний струм короткого замикання складає:

$$I_{kz} = \left[\Lambda_{\sigma\alpha z} + (1 + \Lambda_{\sigma z}) \cdot \left(1 + \frac{\Lambda_{\sigma\alpha z}}{\Lambda_{\delta z}}\right) \right]^{-1}, \quad (3.9)$$

$$I_{kz} = \left[0,51205 + (1 + 0,2541) \cdot \left(1 + \frac{0,51205}{0,847}\right) \right]^{-1} = 0,39615 \text{ А.}$$

Відносний робочий струм визначається за формулою:

$$I_z = \frac{4 \cdot k_d \cdot k_o \cdot A}{\pi \cdot \sqrt{2} \cdot (1 - \alpha p) \cdot H_c}, \quad (3.10)$$

де A - лінійне струмове навантаження, $A = 37 \cdot 10^3$,

$$I_z = \frac{4 \cdot 0,85 \cdot 0,93 \cdot 37 \cdot 10^3}{3,14 \cdot \sqrt{2} \cdot (1 - 0,6) \cdot 560000} = 0,11756 \text{ А.}$$

Відношення робочого струму до струму короткого замикання:

$$i = \frac{I_z}{I_{kz}}, \quad (3.11)$$

$$i = \frac{0,11756}{0,39615} = 0,29675.$$

Відношення робочої напруги до напруги холостого ходу:

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$u = \sqrt{1 - (i \cdot \cos \varphi)^2} - i \cdot \sin \varphi, \quad (2.12)$$

де $\cos \varphi$ - номінальний коефіцієнт потужності, $\cos \varphi = 0,85$;

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = 0,527,$$

$$u = \sqrt{1 - (0,29675 \cdot 0,85)^2} - 0,29675 \cdot 0,527 = 0,81134 \text{ В.}$$

Коефіцієнт використання генератора по потужності визначається за формулою:

$$k_u = (\sqrt{1 - u^2} \cdot \cos \varphi - u \cdot \sin \varphi) \cdot u, \quad (3.13)$$

$$k_u = (\sqrt{1 - 0,81134^2} \cdot 0,85 - 0,81134 \cdot 0,527) \cdot 0,81134 = 0,24077.$$

Коефіцієнт заповнення ротора магнітами:

$$k_{zm} = 2 \cdot (1 - \alpha p) \cdot (\alpha p - \Delta z), \quad (3.14)$$

$$k_{zm} = 2 \cdot (1 - 0,6) \cdot (0,6 - 0,1) = 0,4.$$

Діаметр ротора визначається із формули:

$$D = \left(\frac{2}{\pi}\right) \cdot \sqrt[3]{\frac{k_d \cdot P_H}{k_u \cdot f \cdot \lambda \cdot \cos \varphi \cdot B_r \cdot H_c \cdot E_{oz} \cdot I_{kz}}}, \quad (3.15)$$

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де P_H - номінальна потужність, $P_H = 5000 \text{ Вт}$;

f - частота, $f = 50 \text{ Гц}$,

$$D = \left(\frac{2}{3,14}\right) \cdot \sqrt[3]{\frac{0,85 \cdot 5000}{0,24077 \cdot 50 \cdot 0,8165 \cdot 0,85 \cdot 0,82 \cdot 560000 \cdot 0,40312 \cdot 0,39615}} \\ = 0,35501 \text{ м.}$$

Діаметр корпусу, до якого примикають магніти визначається із формули:

$$d = D + 0,3, \quad (3.16)$$

$$d = 0,35501 + 0,3 = 0,38501 \text{ м.}$$

Внутрішній діаметр корпусу, до якого примикають магніти визначається із виразу:

$$d' = D + 0,023, \quad (3.17)$$

$$d' = D + 0,023 = 0,37801 \text{ м.}$$

Товщина магнітопроводу визначається із виразу:

$$L = D \cdot \lambda, \quad (3.18)$$

$$L = 0,35501 \cdot 0,08165 = 0,02899 \text{ м.}$$

Тангенціальна довжина магніта:

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$l_m = 2 \cdot (1 - \alpha p) \cdot \tau, \quad (3.19)$$

$$l_m = 2 \cdot (1 - 0,6) \cdot 0,09294 \text{ м.}$$

Радіальна довжина магніта визначається із формули:

$$b_m = 0,5 \cdot D \cdot (\alpha p - \Delta z), \quad (3.20)$$

$$b_m = 0,5 \cdot 0,35501 \cdot (0,6 - 0,1) = 0,08875 \text{ м.}$$

Кут між вісями сусідніх магнітів визначається із виразу:

$$\alpha = \frac{2 \cdot \Pi}{2 \cdot p}, \quad (3.21)$$

$$\alpha = \frac{2 \cdot 180}{2 \cdot 6} = 30^\circ.$$

Відстань від осі обертання ротора до основи магніту:

$$D_{\hat{a}\hat{o}} = D + 2 \cdot \delta_{\hat{a}}, \quad (3.22)$$

$$D_{\hat{a}\hat{o}} = 0,35501 + 2 \cdot 0,003 = 0,36101 \text{ м.}$$

Коефіцієнт повернення магніта визначається із виразу:

$$\rho = \frac{B_r}{H_c}, \quad (3.23)$$

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$\rho = \frac{0,82}{560000} = 1,46429 \cdot 10^{-6},$$

$$S_m = L \cdot b_m, \quad (3.24)$$

$$\psi_B = \frac{\pi \cdot b_m}{2 \cdot 2 \cdot l_m} + \ln\left(1 + \frac{\pi \cdot b_m}{2 \cdot 2 \cdot l_m}\right) - \left(\frac{\pi \cdot 2 \cdot b_m}{2 \cdot 2 \cdot l_m}\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\pi \cdot l_m}{2 \cdot 2 \cdot b_m}\right), \quad (3.25)$$

$$\begin{aligned} \psi_B &= \frac{3,14}{2} \cdot \frac{0,08875}{2 \cdot 0,07435} + \ln\left(1 + \frac{3,14}{2} \cdot \frac{0,08875}{2 \cdot 0,07435}\right) - \\ &- \left(\frac{3,14}{2} \cdot \frac{2 \cdot 0,08875}{2 \cdot 0,07435}\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{3,14}{2} \cdot \frac{0,07435}{2 \cdot 0,08875}\right) = 0,96087. \end{aligned}$$

Розрахунок провідності розсіювання фіктивного електромагніта, осердя якого має ту ж конфігурацію:

$$\Lambda_{Ai} = (2,5 \cdot 1 + 0,8 \cdot b_m \cdot \psi_B) \cdot 10^{-8}, \quad (3.26)$$

$$\Lambda_{EM} = (2,5 \cdot 1 + 0,8 \cdot 0,08875 \cdot 0,96087) \cdot 10^{-8} = 1,40691 \cdot 10^{-9} \text{ Гн}.$$

Бокова провідність розсіювання магніта визначається із виразу:

$$\Lambda_{sm\delta} = k_\lambda \cdot \mu_0 \cdot 0,5 \cdot (\mu_r + 1), \quad (3.27)$$

де k_λ - коефіцієнт, що враховує зниження потоку розсіювання через кінетичну проникність постійних магнітів і нерівномірне розподілення питомої магніторушійної сили по висоті магніта, $k_\lambda = 0,42$;

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$\Lambda_{sm\delta} = 0,42 \cdot 1,25663706 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5 \cdot (1,16524 + 1) = 1,65628 \cdot 10^{-8} \text{ Гн}$$

Торцева провідність розсіювання магніта визначається із виразу:

$$\Lambda_{sm\Gamma} = k_{\lambda} \cdot \mu_0 \cdot b_m, \quad (3.28)$$

$$\Lambda_{sm\Gamma} = 0,42 \cdot 1,25663706 \cdot 10^{-6} \cdot 0,08875 = 4,68429 \cdot 10^{-8}$$

Провідність розсіювання магніта визначається із виразу:

$$\Lambda_{sm} = 2 \cdot \Lambda_{sm\delta} + 2 \cdot \Lambda_{sm\Gamma}, \quad (3.28)$$

$$\Lambda_{sm} = 2 \cdot 1,65628 \cdot 10^{-8} + 2 \cdot 4,68429 \cdot 10^{-8} = 1,26811 \cdot 10^{-7}$$

Об'єм магніта визначається із виразу:

$$V_m = \frac{120 \cdot P_H \cdot k_d}{\cos \varphi \cdot k_u \cdot \pi^2 \cdot B_r \cdot H_c \cdot p \cdot E_{oz} \cdot I_{kz} \cdot n}, \quad (3.29)$$

де P_H - номінальна потужність електричного генератора, $P_H = 5000 \text{ Вт}$;

B_r - магнітна індукція, $B_r = 0,82 \text{ Тл}$;

H_c - коерцитивна сила, $H_c = 560000 \text{ А} \cdot \text{в} / \text{м}$;

p - число пар полюсів, $p = 6$;

n - частота обертання, $n = 500 \text{ хв}^{-1}$;

$$V_m = \frac{120 \cdot 5000 \cdot 0,85}{0,85 \cdot 0,24077 \cdot 3,14^2 \cdot 0,82 \cdot 560000 \cdot 6 \cdot 0,40312 \cdot 0,39615 \cdot 500} = 0,00115 \text{ м}^3$$

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Попереднє значення повітряного зазору:

$$\delta = \frac{\delta_z \cdot D}{k_\mu \cdot k_\delta}, \quad (3.30)$$

де k_δ - коефіцієнт повітряного зазору, $k_\delta = 1,1$;

k_μ - коефіцієнт насичення, $k_\mu = 1,1$;

$$\delta = \frac{0,02 \cdot 0,35501}{1,1 \cdot 1,1} = 0,00587 \text{ м.}$$

Діаметр статора визначається із виразу:

$$D_s = (D - 2 \cdot \delta), \quad (3.31)$$

$$D_s = (0,35501 - 2 \cdot 0,00587) = 0,34328 \text{ м.}$$

Число пазів якоря визначається із формули:

$$z = p \cdot m, \quad (3.32)$$

$$z = 3 \cdot 6 = 18.$$

Глибина паза визначається із формули:

$$h_n = \frac{A}{j_a \cdot b_{zn} \cdot k_{un}}, \quad (3.33)$$

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де A - лінійне струмове навантаження, $A = 37 \cdot 10^3$;

j_a - щільність струму в обмотці якоря, $j_a = 6 \cdot 10^6$;

k_{un} - коефіцієнт використання паза для круглого дроту, $k_{un} = 0,25$;

b_{zm} - відносна ширина паза, $b_{zm} = 0,6$;

$$h_n = \frac{37 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^6 \cdot 0,6 \cdot 0,25} = 0,04111 \text{ м}$$

Відносна магнітна індукція магніта на холостому ході визначається із виразу:

$$B_{moz} = 1 - \frac{E_{oz}}{\Lambda_{\delta z}}, \quad (3.34)$$

$$B_{moz} = 1 - \frac{0,40312}{0,847} = 0,52406 \text{ Тл.}$$

Відносна корисна індукція магніта на холостому ході визначається із формули:

$$B_{\Pi oz} = 1 - E_{oz} \cdot \frac{(\Lambda_{\sigma z} + 1)}{\Lambda_{\delta z}}, \quad (3.35)$$

$$B_{\Pi oz} = 1 - 0,40312 \cdot \frac{(0,2541 + 1)}{0,847} = 0,40312 \text{ Тл.}$$

Відносна індукція в зазорі на холостому ході визначається із виразу:

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$B_{\delta\sigma z} = \frac{2 \cdot p \cdot B_{\text{Поз}} \cdot (\alpha p - \Delta z)}{\pi \cdot \alpha \delta}, \quad (3.36)$$

$$B_{\delta\sigma z} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 0,40312 \cdot (0,6 - 0,1)}{3,14 \cdot 0,72} = 1,06932 \text{ Тл.}$$

Відносний індуктивний опір розсікання в традиційних відносних одиницях:

$$X_{\sigma\alpha z} = \frac{\Lambda_{\sigma\alpha z} \cdot I_z}{u \cdot E_{\sigma z}}, \quad (3.37)$$

$$X_{\sigma\alpha z} = \frac{0,51205 \cdot 0,11756}{0,81134 \cdot 0,40312} = 0,18405.$$

Відношення результуючої електрорушійної сили до напруги генератора:

$$k_e = \sqrt{\cos^2 \varphi + (X_{\sigma\alpha z} + \sin \varphi)^2}, \quad (3.38)$$

$$k_e = \sqrt{0,85^2 + (0,18405 + 0,527)^2} = 1,10805.$$

Робоча індукція в зазорі з врахуванням впливу розсіювання якоря:

$$B_{\delta} = B_r \cdot B_{\delta\sigma z} \cdot k_e \cdot u, \quad (3.39)$$

де B_r - магнітна індукція, $B_r = 0,82 \text{ Тл}$;

$$B_{\delta} = 0,82 \cdot 1,06932 \cdot 1,10805 \cdot 0,81134 = 0,78828 \text{ Тл.}$$

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Максимальна індукція в зубці визначається із виразу:

$$B_z = \frac{B_\delta}{1 - b_{zn}}, \quad (3.40)$$

$$B_z = \frac{0,78828}{1 - 0,6} = 1,97071 \text{ Тл.}$$

Ширина паза на рівні діаметра статора:

$$b_n = b_{zn} \cdot t_z, \quad (3.41)$$

$$b_n = 0,6 \cdot 0,05991 = 0,03595 \text{ м.}$$

Середнє значення індукції визначається із формули:

$$B_{zcp} = B_z \cdot \frac{t_z - b_n}{\left[\frac{\pi \cdot (D_s + h_n)}{z} \right] \cdot k_e}, \quad (3.42)$$

$$B_{zcp} = 1,97071 \cdot \frac{0,05991 - 0,03595}{\left[\frac{3,14 \cdot (0,34328 + 0,04111)}{18} \right] \cdot 0,97} = 1,56353 \text{ Тл.}$$

Висота спинки ярма якоря:

$$h_a = \frac{0,5 \cdot \alpha \delta \cdot \tau \cdot B_\delta}{k_c \cdot B_a}, \quad (3.43)$$

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$h_a = \frac{0,5 \cdot 0,72 \cdot 0,09294 \cdot 0,78828}{0,97 \cdot 1,4} = 0,01942 \text{ м.}$$

Внутрішній діаметр магнітопровода статора визначається із виразу:

$$D_a = D_s - 2 \cdot (h_n + h_a + \delta), \quad (3.44)$$

$$D_a = 0,34328 - 2 \cdot (0,04111 + 0,01942 + 0,00587) = 0,21047 \text{ м.}$$

Об'єм дроту обмотки якоря визначається із формули:

$$Q_a = \pi \cdot h_n \cdot b_{zn} \cdot k_{un} \cdot (D_s + h_n) \cdot (1 + \sqrt{2} \cdot \tau), \quad (3.45)$$

$$Q_a = 3,14 \cdot 0,03595 \cdot 0,04111 \cdot 0,6 \cdot (0,34328 + 0,04111) \times \\ \times (1 + \sqrt{2} \cdot 0,09294) = 0,00119 \text{ м}^3.$$

Втрати в обмотці якоря:

$$P_e = \rho_j \cdot j_i^2 \cdot Q_a, \quad (3.46)$$

$$P_e = \frac{1}{41} \cdot 10^{-6} \cdot 36^2 \cdot 10^6 \cdot 0,00119 = 1048,978 \text{ Вт.}$$

Маса спинки якоря визначається із виразу:

$$m_a = \gamma_{cm} \cdot \pi \cdot L \cdot h_a \cdot (D_s + h_a + 2 \cdot h_n) \cdot k_c, \quad (2.47)$$

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де γ_{cm} - питома маса сталі, $\gamma_{cm} = 7,8 \cdot 10^3$.

$$m_a = 7,8 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 0,02899 \cdot 0,01942 \cdot (0,34328 + 0,01942 + 2 \cdot 0,04111) \cdot 0,97 = 5,95384 \text{ кг.}$$

Магнітні втрати в ярмі магнітопровода статора визначаються із виразу:

$$P_{ca} = k_{\ddot{a}a} \cdot \rho_o \cdot B_a^2 \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^{1,5} \cdot m_z, \quad (3.48)$$

де $k_{\ddot{a}a}$ - конструктивний коефіцієнт, що враховує вплив на втрати технологічної обробки сталі, $k_{\ddot{A}a} = 1,6$;

ρ_o - питомі втрати для матеріалу магнітопровода, $\rho_o = 2,5$;

$$P_{ca} = 1,6 \cdot 2,5 \cdot 1,4^2 \cdot \left(\frac{50}{50}\right)^{1,5} \cdot 5,95384 = 46,67809 \text{ Вт.}$$

Маса зубців якоря:

$$m_z = \gamma_{cm} \cdot \pi \cdot h_n \cdot L \cdot (1 - b_{zn}) \cdot (D_s + h_n) \cdot k_c, \quad (3.49)$$

$$m_z = 7,8 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 0,04111 \cdot 0,02899 \cdot (1 - 0,6) \cdot (0,34328 + 0,04111) \cdot 0,97 = 4,35516 \text{ кг.}$$

Середнє значення індукції визначається із виразу:

$$B_{zcp} = B_z \cdot \frac{t_z - b_n}{\left[\frac{\pi \cdot (D_s + h_n)}{z} - b_n \right] \cdot k_c}, \quad (3.50)$$

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$B_{zcp} = 1,697071 \cdot \frac{0,05991 - 0,03595}{\left[\frac{3,14 \cdot (0,34328 + 0,04111)}{18} - 0,03595 \right] \cdot 0,97} = 1,56353 \text{ Тл.}$$

Втрати в зубцях якоря визначаються із виразу:

$$P_{cz} = k_{\ddot{A}z} \cdot \rho_o \cdot B_{zcp}^2 \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^{1,5} \cdot m_z, \quad (3.51)$$

$$P_{cz} = 1,8 \cdot 2,5 \cdot 1,56353^2 \cdot \left(\frac{50}{50}\right)^{1,5} \cdot 4,35516 = 47,91062 \text{ Вт.}$$

Механічні втрати:

$$P_{i \ddot{a}o} = k_T \cdot \left(\frac{n}{10}\right)^2 \cdot D_a^4, \quad (3.52)$$

$$P_{mex} = 1,02638 \cdot \left(\frac{500}{10}\right)^2 \cdot 0,21047^4 = 5,03557 \text{ Вт,}$$

коефіцієнт, який враховує матеріал полюсів

$$B_0 = B_\delta \cdot (k_\delta - 1), \quad (3.53)$$

$$B_0 = 0,78828 \cdot (1,1 - 1) = 0,07883.$$

Поверхневі втрати визначаються із виразу:

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{пов}} = 2 \cdot p \cdot \alpha p \cdot \tau \cdot L \cdot k_1 \cdot \left(\frac{z \cdot n}{10000} \right)^{1,5} \cdot (B_0 \cdot t_z \cdot 10^3)^2, \quad (3.54)$$

$$P_{\text{пов}} = 2 \cdot 6 \cdot 0,6 \cdot 0,09294 \cdot 0,02899 \cdot 23 \cdot \left(\frac{185 \cdot 500}{10000} \right)^{1,5} \times \\ \times (0,07883 \cdot 0,05991 \cdot 10^3)^2 = 8,49661 \text{ Вт.}$$

Додаткові втрати при навантаженні:

$$P_{\text{дод}} = 0,005 \cdot P_H, \quad (3.55)$$

$$P_{\text{дод}} = 0,005 \cdot 5000 = 25 \text{ Вт.}$$

Сумарні втрати визначаються із виразу:

$$\sum P = P_{ca} + P_{cz} + P_e + P_{\text{пов}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{пов}}, \quad (3.56)$$

$$\sum P = 46,67809 + 47,91062 + +1048,978 + 8,49661 + \\ +5,03557 + 25 = 1182,0989 \text{ Вт.}$$

Коефіцієнт корисної дії визначається із формули:

$$\eta = \frac{P_H}{P_H + \sum P}, \quad (3.57)$$

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$\eta = \frac{5000}{5000 + 1182,0989} \cdot 100 = 80,879 \text{ \%}.$$

3.2 Вибір контролера

За середнього рівня заряду акумуляторних батарей 624 Вт / год протягом 8-9 годин, вітровий генератор здатний виробити приблизно 5000 Ватт. У вітряні дні цей показник може збільшитися мінімум удвічі, тому за той самий період часу може бути вироблено 10000 Ватт.

На базі елементів, аналогічних тим, які використовуються у лінійному стабілізаторі, можна побудувати імпульсний стабілізатор напруги. За тих самих характеристик, імпульсний стабілізатор буде мати значно менші розміри і найкращий тепловий режим.

При першому включенні, коли конденсатор С4 розряджений і на виході підключене потужне навантаження, струм протікає через ІС лінійного стабілізатора DA1 [15]. Цей струм спричиняє падіння напруги на R1, що вимикає ключовий транзистор VT1, який миттєво переходить в насичення, оскільки індуктивний опір L1 великий і через транзистор протікає значний струм. Падіння напруги на R5 відкриває основний ключовий елемент - транзистор VT2. Струм, що наростає в L1, заряджає С4, при цьому зворотній зв'язок через R8 викликає запирання стабілізатора і ключового транзистора. Енергія, збережена в котушці, живить навантаження. Коли напруга на С4 знижується нижче напруги стабілізації, DA1 відкривається і ключовий транзистор також. Цей цикл повторюється з частотою 20-30 кГц.

Ланцюг R3, R4, С2 встановлює рівень вихідної напруги. Його можна плавно регулювати в невеликих межах, від Uст DA1 до Uвх. Проте, якщо U вих наближається до Uвх, можуть виникати певні нестабільності при максимальному навантаженні і збільшується рівень пульсації. Для пониження високочастотних пульсацій на виході стабілізатора використовується фільтр L2, С5.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

віддавати потужність в 2,5-3,5 рази більше номінальної протягом декількох секунд. Пристрої, які споживають багато енергії при включенні, такі як холодильник, можуть спричинити короточасне перевантаження. Потужність інвертора, зазвичай, близька до розрахункової потужності ВЕУ [16].

Наприклад, для максимального споживання електроенергії до 250 Вт в пікові моменти, можна встановити інвертор з потужністю 300 ВА. Цей інвертор може постійно навантажуватись до 300 Вт і короточасно до 350 Вт. Він призначений для живлення апаратури, яка працює від змінної напруги 220 В з частотою 50 Гц і живиться від акумуляторної батареї з напругою 12 В.

Основні технічні характеристики цього інвертора. Вхідна напруга: 10-15 В. Межі зміни вихідної напруги при зміні вхідної напруги і потужності навантаження: 215-230 В. Максимальна потужність навантаження: 350 Вт.

Інвертор містить задаючий генератор на мікросхемі DA1 (рис. 3.2), стабілізатор його живлення (DA2), розрядні польові транзистори VT1-VT4, потужні транзистори VT5 і VT6, комутуючі струм у первинній обмотці трансформатора Т1, вузол захисту по струму на реле К1 та вузол стабілізації вихідної напруги на мікросхемі DA3.

Генератор виробляє прямокутні імпульси з частотою близько 50 Гц з паузами, що виключають одночасне відкривання комутуючих транзисторів VT5 і VT6. Коли напруга на виході Q1 (або Q2) стає низьким рівнем, транзистори VT1 і VT3 (або VT2 і VT4) відкриваються, що призводить до швидкого розряду затворних ємностей і закриття транзисторів VT5 і VT6.

Вузол стабілізації вихідної напруги працює таким чином: якщо напруга на виході перевищує задане значення, струм через стабілізатор DA3 різко зростає. Це викликає освітлення фотодіода оптрона U1 і створює сигнал високого рівня на вході FV мікросхеми DA1. Виходи Q1 і Q2 мікросхеми переходять в стан низького рівня, що призводить до швидкого закриття транзисторів VT5 і VT6. Струм у полуобмотках 1.1 і 1.2 трансформатора Т1 змінюється, і на їх виходах з'являються протифазні імпульси.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Реле вузла струмового захисту є спеціальним іzolованим проводом, яке має витки, підібрані для спрацьовування захисту при потрібному струмі (20-30 А). Цей провід намотується на корпусі геркона КЕМ2 або іншого типу з контактами, які замикаються.

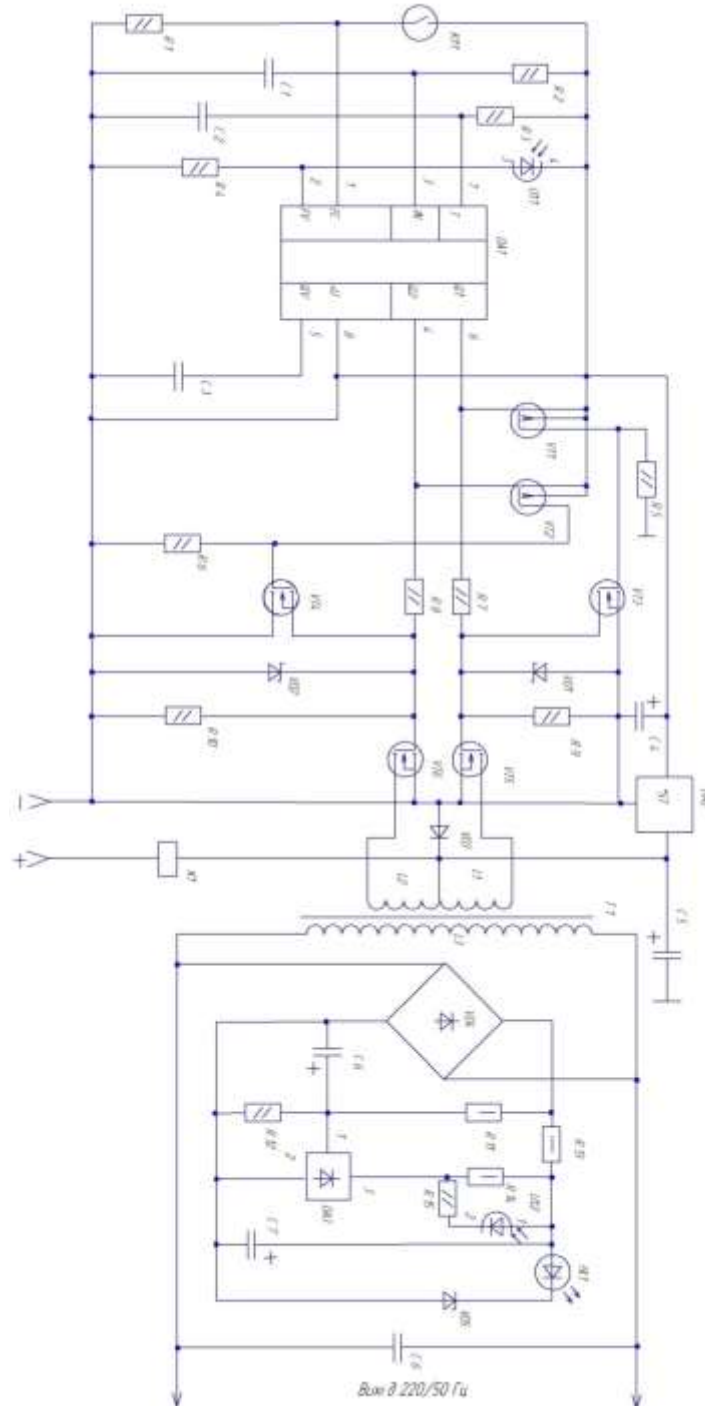


Рисунок 3.2 - Електрична принципова схема інвертора

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.

3.4 Вибір акумуляторних батарей

Електричний акумулятор-хімічне джерело струму багаторазової дії. Електричні акумулятори використовуються для накопичення енергії та автономного живлення різних пристроїв [19].

Вибір АБ проводиться залежно від середньорічної швидкості вітру в районі застосування. Характеристики деяких АБ, які можуть бути рекомендовані для використання в енергоустановки наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Характеристики акумуляторних батарей

Марка	6СТ19	6СТ21	ТНЖ25	ТЖ50	6С55АПЗ	48ТН-450У2	ТБ 350	5НК-55	5НК-125
Тип	Свинцева	Свинцева	Никель-железна	Никель-железна	Свинцева	Свинцева	Свинцева	никель-кадмієва	никель-кадмієва
Номинальна напруга, В	12	12	1,2	1,2	12	96		6	6
Номинальна ємність, Ач	190	210	250	450	55	450	350	55	125
призначення	стартерна	стартерна	тягова	тягова	стартерна	Для теплового зів	стаціонарна		
термін служби, років	1-2	2-3	8-10	8-10	необслуговуєма			10-15	10-15

заряду, навіть коли вони не підключені до навантаження. Для боротьби з цим ефектом може використовуватися крапельна підзарядка. Маючи пікову потужність 300 Вт і можливе час роботи від резервного джерела живлення 6 годин, ККД інвертора невідомий, приймаємо ККД інвертора рівним 80% і визначимо струм розрядки акумулятора:

$$I_{\text{раз. акб}} = W/U/\eta_i = A; \quad (3.58)$$

де $I_{\text{раз. акб}}$ -ток розрядки акумуляторної батареї;

W -пікова потужність, Вт;

U - напруга АКБ, В;

η_i - ККД інвертора, %

$$I = 300/12/0,8 = 31,25 \text{ А.} \quad (3.59)$$

де E -ємність акумуляторної батареї, А/ год;

H -час роботи споживача від резервного джерела електропостачання, h.

$$E = 31,25 * 6 = 187,5 \text{ А/час.} \quad (3.60)$$

Оскільки необхідний час роботи дорівнює 6 годинах, потрібно збільшити розраховану ємність на 20%. Отримаємо 225 А/ год.

За наявними даними зробимо вибір акумуляторної батареї: приймаємо 2 батареї VARTA 110 А/ч.

3.5 Висновок до третього розділу

В даному розділі проводиться розрахунок електромагнітних характеристик генератора. Також проводиться вибір контролера, інвертора. Порівнюються акумуляторні батареї та вибір найоптимальнішої.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У процесі виконання бакалаврської роботи було розроблено вертикальний вітрогенератор з невеликою потужністю, призначений для побутових потреб.

В першому розділі було проведено огляд і аналіз наявних технічних рішень в галузі вітроенергетики. Було розглянуто конструкції установок, які перетворюють енергію вітру на електричну енергію.

В другому розділі проведено розробку конструкції, де було описано принцип роботи і будову турбіни вітрогенератора, ротора та статора.

В третьому розділі здійснено розрахунок основних параметрів вітрового генератора і вибір додаткових компонентів.

Підсумовуючи вищевикладене, можна зробити висновок про доцільність виготовлення та впровадження запропонованої вітрової установки генератора. Цей пристрій забезпечує надійне та малогабаритне електроживлення, має велику потужність і зручний у використанні.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Вітроенергетика. Режим доступу: <https://saee.gov.ua/uk/ae/windenergy>.
2. Вертикальний вітрогенератор. Режим доступу: <http://www.ecosvit.net/ua/vertical-windgenerator-800w>.
3. Лабораторія незалежних досліджень. Режим доступу: <http://imlab.narod.ea/index.html>.
4. Сміт, Дж. Р., і Джонсон, А. Б. Вітрові турбіни з вертикальною віссю: історія, технологія та застосування, 2015. – 97 ст.
5. Алі, С. С., Сюй, Б. Огляд вітрової турбіни з вертикальною віссю: потужність і структурний аналіз (частина 1), 2018. - 915-929 ст.
6. Спера, Д. А. Технологія вітрових турбін: Основні концепції техніки вітрових турбін (2-е видання), 2009. – 101 ст.
7. Бертон, Т., Шарп, Д., Дженкінс, Н., і Босані, Е. Проектування та оптимізація вертикальної вітрової турбіни: огляд. Енергії, 2019. – 47 ст.
8. Чен, С. Проектування та аналіз вітрових турбін з вертикальною віссю, 2018. – 41 ст.
9. Нетрадиційні джерела енергії. Режим доступу: <https://eenergy.com.ua/baza-znan/netradytsijni-dzherela-energiyi/>.
10. Українська асоціація підприємств легкої промисловості. Режим доступу: <https://ukrlegprom.org/ua/>.
11. Заявка Великобританії № 1600243, МКИ F03D7/00, 2022р.
12. Паращивой, І. Дизайн вітрової турбіни: з акцентом на концепції Дар'є, 2002. – 25 ст.
13. Вітряки класичні (горизонтальні). Режим доступу: <https://kforum.com.ua/c/vitriaki-klasichni>.
14. Вітрові електростанції Британії. Режим доступу: <https://www.radiosvoboda.org/a/24562793.html>.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

15. Чонг, В. Т., і Фазлізан, А. Вітрові турбіни: проектування, керування та застосування. IntechOpen, 2018. – 54 ст.
16. Горизонтальні вітрогенератори. Режим доступу: <http://www.ecosvit.net/ua/gorizontajni-vitrogeneratori-vitrovi-elektrostantsii-vitryak>.
17. Магістрів Г. М. Відновлювані та ефективні електроенергетичні системи, 2010. – 62 ст.
18. Манвелл, Дж. Ф., Макгоуен, Дж. Г., і Роджерс, А. Л. Пояснення вітрової енергії: теорія, дизайн і застосування, 2009. – 114 ст.
19. Хансен, М. О. Л. Аеродинаміка вітрових турбін Routledge, 2015. – 79 ст.
20. Малопотужний вітрогенератор, особливості використання. Режим доступу: http://faetonukr.blogspot.com/2009/06/blog-post_25.html.
21. Манвелл, Дж. Ф., Макгоуен, Дж. Г., і Роджерс, А. Л. Пояснення вітрової енергії: теорія, дизайн і застосування, 2010. – 17 ст.
22. Гаш Р. і Твел Дж. Вітрові електростанції: основи, проектування, будівництво та експлуатація, 2018. – 87 ст.
23. Еріх Гау. (2005). Вітрові турбіни: основи, технології, застосування, економіка, 2005. – 96 ст.
24. Бертон Т., Дженкінс Н., Шарп Д. та Босані Е. Довідник з вітроенергетики, 2001. – 32 ст.
25. Основи вітроенергетики. Режим доступу: <https://gidrotehnka.com.ua/ua/a339386-что-nuzhno-znat.html>.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		