

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет систем управління літальними апаратами
Кафедра систем управління літальних апаратів

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Розробка системи стабілізації кута повороту лопатей роторно-вітрової електроустановки та моніторинг отриманих даних за допомогою мобільного додатку»

Виконав: студент 6 курсу, групи 362
спеціальності

151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

Освітньо-професійна програма

“Інженерія мобільних додатків”

Назаренко А.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: Кузнєцов Ю.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: Лабазов О.О.

(прізвище та ініціали)

Форма № Н-9.01

Міністерство освіти і науки України
 Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
 «Харківський авіаційний інститут»

Факультет систем управління літальними апаратами
 Кафедра систем управління літальних апаратів
 Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
 Спеціальність 7.151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”
(шифр і назва)
 Спеціалізація “Інженерія мобільних додатків”
(шифр і назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідуючий кафедрою

к.т.н., с.н.с., доцент

_____ К.Ю. Дергачов

«__» _____ 2020 р.

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Назаренко Андрія Володимировича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Розробка системи стабілізації кута повороту лопатей роторно-вітрової електроустановки та моніторинг отриманих даних за допомогою мобільного додатку»

керівник проекту проф., к.т.н. Кузнєцов Ю.О. затверджені наказом вищого навчального закладу від 26.10.2020 року № 1775

2. Строк подання студентом проекту: 17 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до проекту технічне завдання на дипломне проектування.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналітичний огляд літератури та існуючих методів рішення задачі, дослідження проблеми та синтез математичних моделей, проектування системи, реалізація системи, експериментально-практична частина, розрахунок собівартості й ціни програмного продукту, побудова точки беззбитковості.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень) прикладі існуючих рішень, функціональна блок-схема програмного продукту, алгоритми рішень поставленої задачі, прототипи графічного інтерфейсу, зображення розробленого інтерфейсу, результати експерименту, результати розрахунку собівартості програмного продукту.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Оцінка стану проблеми системи	доцент., к.т.н. Кузнецов Ю.О.		
Аналіз і синтез системи	доцент., к.т.н. Кузнецов Ю.О.		
Конструкторська частина	к.т.н. Джулгаков В.Г.		
Дослідна частина	доцент., к.т.н. Кузнецов Ю.О.		
Експериментально-практична частина	доцент, к.т.н. Кузнецов Ю.О.		
Економічне обґрунтування	Хлівна І.В., ст. викл.		

7. Дата видачі завдання 4.09.2020**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Початок переддипломної практики	01.09.2020	
2.	Формулювання теми проекту. Розробка технічного завдання	18.09.2020	
3.	Математичний опис системи управління. Аналіз і синтез системи управління. Проведення експериментальних досліджень	16.10.2020	Залік з переддипломної практики
4.	Конструкторська частина роботи. Дослідна частина роботи. Експериментально-практична частина. Економічне обґрунтування розробки.	20.11.2020	
5.	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки і графічного матеріалу	04.12.2020	
6.	Попередній захист проекту	11.12.2020	
7.	Рецензування проекту. Захист проекту в ДЕК	17.12.2020	

Студент _____ Назаренко А.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Кузнецов Ю.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра 301

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідуючий кафедрою

к.т.н., с.н.с., доцент

_____ К. Ю. Дергачов

«__» _____ 2020 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на дипломне проектування

Назаренко Андрія Володимировича

1 Тема роботи: «Розробка системи стабілізації кута повороту лопатей роторно-вітрової електроустановки та моніторинг отриманих даних за допомогою мобільного додатку».

затверджена наказом по університету від «__» _____ 2020 р. № _____.

2 Строк здачі студентом закінченої роботи « 11 » _____ грудня _____ 2020 р.

3 Область застосування розробки: вітроенергетика.

4 Початкові дані для розроблювальної системи

4.1 Призначення і мета створення системи: розробка системи управління ВЕУ та моніторинг даних за допомогою мобільного додатку.

4.2 Загальні відомості: у вітроенергетиці потрібен моніторинг наборів параметрів з їх зберіганням і відображенням оператору.

5 Технічні вимоги до каналів системи управління

5.1 Питання, що підлягають розробці: огляд існуючих рішень; аналіз шляхів вирішення проблеми; розробка алгоритмів для рішення поставленого завдання класифікації зображень; проектування інтерфейсу користувача; створення програмного продукту з впровадженими алгоритмами; тестування; експеримент.

5.2 Режим роботи системи (безперервний, циклічний, одноразової дії): безперервний, автоматичний.

5.3 Показники якості системи управління: $t_{пп} \leq 5с$, $\sigma \leq 5\%$, $\varepsilon \leq 5\%$, $A_3 \geq 10$ дБ, $\varphi_3 \geq 60^\circ$.

5.4 Вимоги до приладового складу системи: приладовий склад повинен відповідати тактико-технічним вимогам.

5.5 Вимоги до взаємозамінності блоків: при відмові функціонального елемента він повинен бути замінений по відповідності до тактико-технічних характеристик.

6 Умови експлуатації системи

6.1 Кліматичні вимоги до експлуатації (температура середовища, у якій буде працювати система управління, її вологість, вміст хімічно активних компонентів і т.ін.)

а) температура середовища $-30...+50^\circ\text{C}$;

б) наявність вітру.

6.2 Механічні вимоги (вібрація, тряска, можливі перекося, удари, нахили і т.ін.): допускається вібрація в частотному діапазоні 0-50 Гц.

6.3 Наявність перешкод (електричні наведення радіоперешкоди, магнітні впливи): не допускаються.

6.4 Електричні параметри системи (напруга джерел живлення, потужність, стабільність, частота): $U=5В$, $P \leq 5$ Вт.

7 Додаткові функції, реалізовані системою (сигналізація про несправності, реєстрація необхідної інформації, самоконтроль самої системи і т.ін.): не передбачені.

8 Обсяг виконуваних розроблювачем робіт

8.1 Етапи проведення роботи: аналіз стану проблеми або досліджуваного питання, вивчення готових рішень, опис математичної моделі, проектування системи, реалізація системи, експериментальна частина, обґрунтування економічної ефективності проекту.

8.2 Обсяг розробки по кожному етапу: титульний лист, технічне завдання, анотація, список умовних позначень та скорочень, зміст, вступ, стан проблеми або досліджуваного питання і постановка задачі проектування, дослідження проблеми, проектування системи, реалізація системи, експериментальна частина, обґрунтування економічної ефективності проекту, висновок, список використаної літератури.

9 Параметри устаткування системи: визначаються в процесі проектування.

10 Вимоги безпеки: згідно з вимогами нормативно технічної документації.

11 Дослідницька частина: провести дослідження нечіткого регулятора у відповідності до заданих показників якості системи.

12 Експериментально-практична частина: розробка програмного продукту, тестування програмного засобу.

13 Економічна частина

13.1 Розробити (розрахувати, одержати): розрахувати собівартість і ціну ВЕУ з програмним проектом.

13.2 Умови і вимоги: оцінити економічну ефективність розвитку.

13.3 Очікуваний результат: ринкова вартість розробленого програмного продукту.

14 Перелік графічних матеріалів із зазначенням форматів: 10 плакатів формату А1 – функціональна схема системи, зовнішній вигляд програмних засобів, алгоритми у вигляді блок-схем.

Керівник роботи

Кузнєцов Ю.О.

(П.І.Б.)

« » _____ 2020 р.

Прийняв до виконання

Назаренко А.В.

(П.І.Б. студента)

« » _____ 2020 р.

Погоджено з питань:

конструкції

Джулгаков В.Г.

(П.І.Б.)

« » _____ 2020 р.

дослідницької частини

Кузнєцов Ю.О.

(П.І.Б.)

« » _____ 2020 р.

економіки

Хлівна І.В.

(П.І.Б.)

« » _____ 2020 р.

РЕФЕРАТ

108 сторінки тексту, 42 зображення, 7 таблиць, 50 використаних джерел та 4 додатків.

В даному дипломному проекті була розроблена система стабілізації кута повороту лопатей вітрогенератора та моніторинг отриманих даних за допомогою мобільного додатку.

Основне завдання даної дипломної роботи при проектуванні системи стабілізації вітроенергетичної установки - стабілізація швидкості обертання лопатей вітряної турбіни і вибір оптимального кута нахилу лопатей, а значить, забезпечення необхідної продуктивності за відсутності руйнівного впливу, наприклад, сильних поривів вітру.

Був проведений розрахунок двох варіантів собівартості програмного продукту проаналізовані існуючі аналоги, що пропонує ринок аналізу даних та практична реалізація даного проекту.

Ключові слова: система автоматичної стабілізації, управління, мікроконтроллер, вітрогенератор.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

САС – система автоматичної стабілізації;
ОАУ – об'єкт автоматичного управління;
МК – мікроконтроллер;
САУ – система автоматичного управління;
ВЕУ – вітроелектрична установка;
ЛАЧХ – логарифмічна амплітудно-частототна характеристика;
ЛФЧХ – логарифмічна фазо-частототна характеристика;
ЕРЕ – електрорадіоелемент;
ДЗП – додаткова заробітна плата;
ТП – технологічний процес;
ТЗ – технічне завдання;
ОЗП – основна заробітна плата;
ПДВ – податок на додану вартість.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
1 ОЦІНКА СТАНУ ПРОБЛЕМИ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ.....	13
1.1 Загальна характеристика проблеми та її рішення.....	13
1.2 Види електроустановок з горизонтальною віссю обертання.....	15
1.3 Постановка задачі.....	17
1.4 Огляд науково-технічної літератури і патентів.....	17
2 АНАЛІЗ І СИНТЕЗ СИСТЕМИ.....	19
2.1 Змістовна і графічна моделі об'єкта стабілізації.....	19
2.2 Розробка нелінійної та лінеаризованої математичної моделі об'єкта стабілізації ВЕУ.....	20
2.3 Формування функціональної схеми системи.....	25
2.4 Формування структурної схеми, передавальних функцій об'єкту автоматичного управління по управляючому та збурюючому впливам.....	26
2.5 Визначення коефіцієнта передачі коригувального елемента з умови забезпечення заданої точності САС.....	31
2.6 Синтез коригувального пристрою методом ЛАЧХ.....	34
2.7 Дослідження і аналіз функціональних властивостей скоригованої системи.....	36
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	38
3.1 Формулювання завдань стабілізації роторно-вітрової електроустановки.....	38
3.2 Вибір елементної бази роторно-вітрової електроустановки.....	38
3.3 Формування схеми комунікацій контролера і обладнання СУ.....	45
3.4 Формування повного алгоритму роботи роторно-вітрової електроустановки.....	45
3.5 Проектування інтерфейсу і функціональних модулів для мобільного додатку.....	47
3.6 Висновки.....	48
4 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	49
4.1 Моделювання системи управління вітроелектричної установки.....	49
4.2 Функціональний склад і режими роботи вітроелектричних установок.....	49
4.3 Імітаційне моделювання та його результати.....	51

4.4 Висновок	54
5 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	55
5.1 Завдання і технічні засоби виконання експерименту.....	55
5.2 Методика проведення експерименту	56
5.3 Аналіз результатів проведення експериментів	56
5.5 Експериментальне дослідження перехідних характеристик системи.....	57
5.6 Опис мобільного додатку.....	58
5.7 Керівництво користувача програмним забезпеченням.....	58
5.6 Висновки	59
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА. РОХРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ КУТА ПОВОРОТУ ЛОПАТЕЙ РОТОРНО–ВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ	60
6.1 Мета економічного розділу.....	60
6.2 Розрахунок собівартості віттрогенератора.....	60
Наведемо перелік робіт для розробників програмного продукту. Було встановлено тривалість робіт для кожного із співробітників, а також тривалість роботи над проектом в цілому.....	60
6.3 Сегментація ринку	60
6.4 Аналіз конкурентноспроможності	61
6.6 Розрахунок точки беззбитковості.....	68
6.5 Висновки	70
ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73
ДОДАТОК А.....	76
ДОДАТОК Б	83
ДОДАТОК В	86
ДОДАТОК Г	90

ВСТУП

Останім часом виснаження світових запасів горючих матеріалів викликає стійкий інтерес до поновлюваних джерел енергії, джерел, основаних на постійно існуючих або періодично виникають потоки енергії в навколишньому середовищі. Вітроенергетика досягла найбільших результатів в перетворенні цих потоків для промислових потреб: сучасні вітряні турбіни виробляють електроенергію, і частка альтернативних джерел в загальному виробництві електроенергії збільшується з кожним роком. Для стандартизації умов експлуатації необхідно застосовувати і розвивати установки, які здатні працювати в умовах не сильних потоків повітря. Цій вимозі відповідають трьох лопатеві роторно-вітрові електроустановки.

Одна з популярних тем в альтернативній енергетиці - це установка вітряних електростанцій. За допомогою недорогого вуличного мотор-генератора з лопатями ви зможете гарантовано отримувати по 500 і більше ват енергії. Однозначно виграють жителі тих областей, де часто дме сильний вітер. Конструкція вітряка така, що він повертається у напрямку за вітром, як флюгер. Залежно від кількості лопатей розрізняються подібні вітрогенератори по ефективності. Існують також вертикальні і горизонтальні вітряки, які можна пристосувати під конкретні умови.

Головних проблем в управлінні виетрогенератором займає розробка системи управління, яка забезпечує стабілізацію швидкості обертання лопатей вітротурбіни.

1 ОЦІНКА СТАНУ ПРОБЛЕМИ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ

1.1 Загальна характеристика проблеми та її рішення

Роторний вітрогенератор являє собою пристрій для прийому енергії вітру і перетворення її в обертальний рух. Вісь обертання таких конструкцій розташована вертикально, що істотно змінює фізику обертання і надає пристрою масу особливостей:

1) Вертикальні конструкції не потребують наведенні на вітер. Потік, що рухається з будь-якого боку, однаково впливає на лопаті пристрої;

2) Вплив потоку відбувається одночасно на робочу і на зворотну сторони лопатей, що трохи знижує ефективність крильчатки;

3) Вертикальні види вітрогенераторів не використовуються для промислової вироблення енергії, існують переважно для використання в приватних цілях.

Найзначніша особливість вертикальних конструкцій полягає в векторі прикладення зусилля потоку. Якщо для горизонтальних крильчаток зусилля вітру припадає на похилу поверхню і працює на зрушення, то вертикальні пристрої в більшості отримують імпульс, спрямований на лопать у фронтальному напрямку, що дозволяє використовувати енергію потоку в максимальному ступені.

При цьому, одночасно з корисним впливом потік контактує і з зворотною стороною лопати, що створює протидіє, гальмує обертання зусилля. Це є причиною меншої ефективності вертикальних турбін в порівнянні з горизонтальними.

Зовні більшість роторних конструкцій нагадують дитячу карусель - навколо вертикальної осі розташовані лопаті, числом від 2 і більше. Форма лопатей може бути різною, від подібності вертикально встановлених жолобів до площин у формі крила літака, розташованих вертикально по дотичній до окружності обертання.

Всі різновиди мають власні назви, більшість з них розроблені вже давно і є модифікаціями.

Є два основні класи вітряних турбін - вертикально-осьові і горизонтально-осьові. У цій статті будуть розглянуті установки з горизонтальною віссю. Найбільший ККД горизонтально-осьових ВЕУ досягається за умови забезпечення стійкості коллинеарності осі вітряного колеса і напрямку вітру. У той же час необхідність орієнтації за вітром вимагає наявності в конструкції ВЕУ спеціальних механізмів і систем управління для безперервного контролю роботи ВЕУ.

Заклучимо висновок, що горизонтально-осьові вітрові установки з можливістю регулювання кута повороту лопатей навколо осі обертання є найбільш перспективними для підтримання сталості кутової швидкості ротора в умовах зміна швидкості і напрямку вітру, а також навантаження.

Загальний вигляд вітроенергетичної установки з горизонтальною віссю обертання представлений на рисунку 1.1.

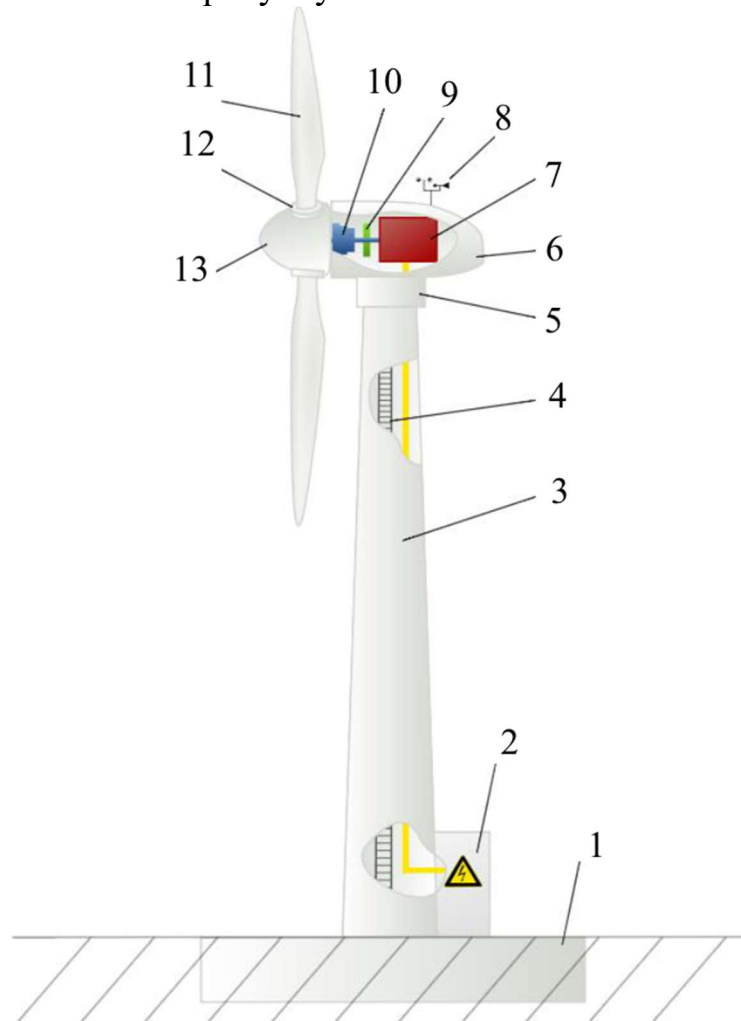


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд роторно-вітрової електроустановки з горизонтальною віссю обертання

На рисунку 1.1 прийняті наступні позначення:

- 1) фундамент;
- 2) силова шафа;
- 3) вежа;
- 4) сходи;
- 5) поворотний механізм,
- 6) гондола;
- 7) електричний генератор;
- 8) система стеження за напрямком і швидкістю вітра;
- 9) гальмівна система;
- 10) трансмісія;
- 11) лопаті;
- 12) система зміни кута атаки лопаті;
- 13) ковпак ротора.

1.2 Види електроустановок з горизонтальною віссю обертання

Горизонтально-осьові ВЕУ (горизонтальні вітрогенератори), в залежності від кількості лопатей можна розділити на одно-, двох-, трьох- і багатолопатеvu. Основним недоліком горизонтально-осьових вітрогенераторів є необхідність орієнтації ротора на вітер, що вимагає впровадження додаткових механізмів або способів орієнтації. Основною перевагою вітрогенераторів з горизонтальним ротором є їх більш висока ефективність роботи, за рахунок меншого розкиду кутів атаки на робочих режимах, а так само, за рахунок можливості у окремих ВЕУ управляти кутом установки лопатей. Вітроагрегати горизонтально-осьових ВЕУ, в порівнянні з вертикально-осьовими, мають більш низькі масогабаритні параметри, при інших рівних умовах.

Однолопастний вітрогенератори мають одну лопать і противагу, що виконує роль балансуєчого механізму. Перевагою однолопастних роторів, в порівнянні з багатолопатеvu, є їх більш висока швидкість обертання за рахунок більш низького моменту інерції. Це дозволяє використовувати в їх схемі прямоприводної синхронні електрогенератори, розраховані на більш високі обороти обертання, і як наслідок, мають менші масогабаритні розміри. Крім цього, ротор цієї конструкції має нижчу вартість за рахунок зменшення числа лопатей. Однолопастний вітрогенератор представлений на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Однолопастний вітрогенератор

У порівнянні з ВЕУ з кількістю лопатей три і більше, двухлопастні мають ті ж переваги, що і однолопастний. Ще одним безумовним достоїнством цих вітрогенераторів є врівноваженість ротора при будь-якому кутовому положенні лопатей, за рахунок парного їх кількості. Це їх гідність знайшло застосування в самопідйомних вітрогенератори малого і середнього діапазону потужностей. При підйомі з землі або опусканні на землю самопідйомних дволопатеvu

вітрогенераторів, площину їх ротора, при будь-якому кутовому положенні лопатей буде прагнути зайняти горизонтальне положення, що значно спрощує технологію процесу підйому або опускання цих ВЕУ.

Двухлопастний вітрогенератор представлений на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Двухлопастний вітрогенератор

Трилопатеві горизонтально-осьові ВЕУ є найбільш поширеними з пропонованих на ринку вітряків. Їх номінальна потужність становить від кількох ват до 7 МВт. Все вітроенергетичне обладнання великої потужності (від 500 кВт і вище) представляють трилопатеві горизонтально-осьові вітрогенератори.

Трьохлопастний вітрогенератор представлений на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Трилопатевий вітрогенератор

Багатолопатева ВЕУ мають велику кількість лопатей, яке у деяких моделях може досягати 50 одиниць. Ротор цих вітрогенераторів має великий момент інерції, внаслідок чого, має більш низькі швидкості обертання, але при цьому, розвиває більш високий крутний момент. Ця їх особливість є гідністю при роботі в Ветронасосная системах, саме в цій галузі промислового застосування вони зайняли нішу.

Багатолопатева вітрогенератор представлений на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Багатолопатева вітрогенератор

1.3 Постановка задачі

Основне завдання при проектуванні - розробити проект, який відповідає всім вимогам, встановленим в технічному завданні, а також при розробці документації, і спростить реалізацію цього проекту в майбутньому.

Одне з основних завдань при розробці системи управління роторної вітряної турбіною є стабілізація швидкості лопатей вітряної турбіни і кута нахилу і, отже, забезпечення необхідної продуктивності без руйнівних ефектів, таких як сильні пориви вітру і різка зміна напрямку вітру.

Для оптимальної системи управління необхідно враховувати такі параметри, як напрям, швидкість вітру, а також закони управління не тільки ПД, але і нечітким регулятор, оскільки він є надійним і адаптованим.

1.4 Огляд науково-технічної літератури і патентів

Аналіз літературних джерел дозволив визначити завдання, які вирішує система управління вітроустановкою.

Багато авторів, імена яких добре відомі в області проектування систем управління, в своїх роботах приводять принципи побудови та аналізу систем управління, до складу яких входять різні регулятори. У цих роботах описані

методи проектування систем, принципи побудови АСУ з автоматичним регулюванням.

Протягом останніх 5 років в різних країнах проводилася патентна експертиза, щоб зрозуміти актуальність розв'язуваної проблеми. Аналіз літературних джерел був необхідний для опису ОУ, дав можливість познайомитися з принципами побудови систем управління, в тому числі мікроконтролерних систем.

Огляд літературних джерел дозволив оптимізувати знання про системи автоматичного управління та розширити уявлення про використання мікроконтролерних систем в системах управління приводами. Наведені в літературі приклади побудови систем також допомагають при аналізі математичної моделі об'єкта управління, вибір закону.

Щоб отримати стабільну систему, що відповідає вимогам ТЗ, необхідно ввести коригуючий пристрій. Введено коригуючий пристрій для зміни структури і параметрів системи для забезпечення необхідних показників якості.

У Додатку А наведено список використаних патентів.

2 АНАЛІЗ І СИНТЕЗ СИСТЕМИ

2.1 Змістовна і графічна моделі об'єкта стабілізації

Автономні вітрогенератори складаються з генератора, , щогли, контролера, інвертора, хвостової частини і акумуляторної батареї. У класичних вітрових установок – 3 лопаті, які закріплені на роторі. Коли обертається ротор – генератора створює трифазний змінний струм, який передається на контролер, далі струм перетворюється в постійну напругу і подається на акумуляторну батарею.

Сучасні домашні інвертори мають модуль підключення постійного струму, спеціально розроблений для використання з сонячними панелями або вітряними турбінами. Таким чином, вітряна турбіна може бути частиною побутової електромережі, що знижує споживання електроенергії в мережі. Вітер крутить ротор. Вироблене електрика надходить від контролера до батарей. Інвертор перетворює напругу на клеммах акумулятора.

Загальна схема роботи вітрогенератора представлена на рисунку 2.1.

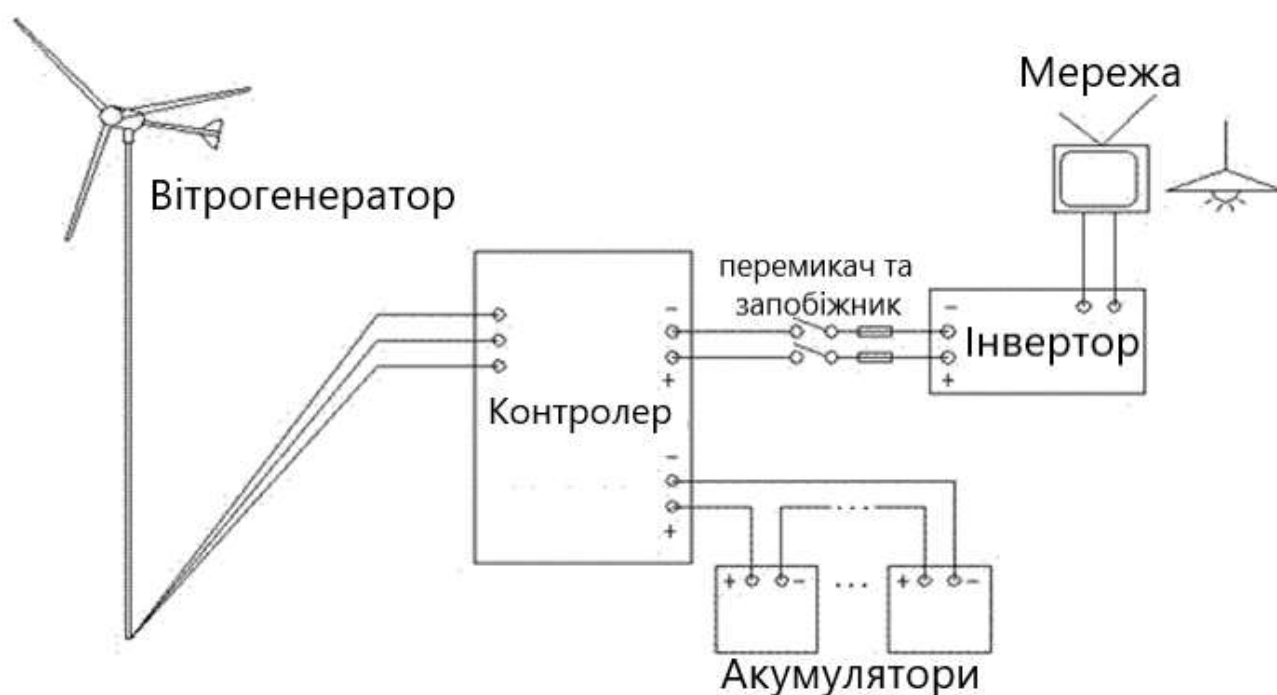


Рисунок 2.1 – Схема роботи вітрогенератора

Основний принцип роботи всіх вітряків - обертання вітроколеса з лопатями під натиском вітру. Крутний момент вітряної турбіни передається через систему передач на вал генератора, який виробляє електрику.

Функціональна схема об'єкта управління представлена на рисунку 2.2.

Для наочності досліджуваній об'єкт управління (горизонтально-осьової вітряк з поворотними лопатями) представлений у вигляді послідовного з'єднання

відповідних блоків: поворотні лопаті – ротор ВЕУ, блок створення повного крутного моменту - блок електрогенератора.

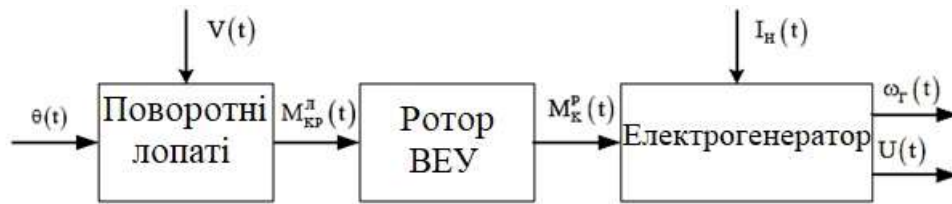


Рисунок 2.2 – Функціональна схема вітрогенератора

На рисунку 2.2 прийняті наступні позначення:

- 1) $V(t)$ – швидкість вітру;
- 2) $\omega_r(t)$ – кутова швидкість обертання ротора електрогенератора;
- 3) $\theta(t)$ – кут повороту лопаті відносно осі маху;
- 4) $I_H(t)$ – струм навантаження електрогенератора;
- 5) $U_H(t)$ – напруга на виході генератора;
- 6) $M_{кр}^л(t)$ – крутний момент, створюваний лопатою;
- 7) $M_{кр}^р(t)$ – сумарний крутний момент, створюваний ротором ВЕУ.

2.2 Розробка нелінійної та лінеаризованої математичної моделі об'єкта стабілізації ВЕУ

Момент, який створюється вітровим потоком на роторі:

$$M_{кр}^р(t) = \frac{C_p}{\lambda} \cdot \frac{\pi \rho}{2} \cdot R^3 \cdot V^3, \quad (2.1)$$

Де:

- 1) C_p – коефіцієнт використання енергії вітру (коефіцієнт потужності);
- 2) R – радіус ВЕУ;
- 3) V – швидкість вітру;
- 4) ρ – щільність повітря;
- 5) λ – швидкодія ротора.

Швидкість обертання вітрогенератора залежить від типу ротора і визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V}, \quad (2.2)$$

Де:

1) ω – кутова швидкість обертання ротора.

Коефіцієнт використання енергії вітру не є лінійним і залежить від налаштування швидкості і кута повороту лопатей:

$$C_p = f(\lambda, \theta). \quad (2.3)$$

Для того, щоб коефіцієнт використання вітру C_p виразити в явному вигляді, розглянемо його зміна при різних кутах відхилення осі обертання вітротубіни від напрямку вітру.

Потужність вітрового колеса при його вилученні з-під вітру змінюється пропорційно кубу синуса кута відхилення осі вітрового колеса від напрямку потоку.

Таким чином, можна припустити, що цей ефект аналогічний дії вітру на вітряне колесо, коли лопаті висмикуються з-під вітру, тобто повертають їх на один і той же кут. З урахуванням цього припущення вираз для коефіцієнта використання вітру набуває вигляду:

$$C_p = C_{p_0} \cdot \cos^3 \theta, \quad (2.4)$$

Де:

- 1) θ – кут повороту лопатей щодо осі маху;
- 2) C_{p_0} – коефіцієнт використання вітру при $\theta = 0$.

Тоді вираз (2.1) набуває вигляд:

$$M_k^p = \frac{\pi \rho}{2} \cdot R^2 \cdot \frac{V^4}{\omega} \cdot C_{p_0} \cdot \cos^3 \theta; \quad (2.5)$$

або

$$M_k^p = K_p \cdot \frac{V^4}{\omega} \cdot C_{p_0} \cdot \cos^3 \theta, \quad (2.6)$$

Де:

- 1) K_p – постійний коефіцієнт для даної конструкції вітрогенератора.

Грунтуючись на класичних законах механіки, рівняння динаміки ротора вітряної турбіни описується виразом:

$$I_{\text{Пр}} \frac{d\omega}{dt} = M_k^p - M_c - M_a - M_{\text{Тр}}, \quad (2.7)$$

Де:

- 1) $M_{Тр}$ – момент тертя;
- 2) M_c – момент опору електрогенератора;
- 3) $M_{Тр}$ – момент тертя;
- 4) $I_{Пр}$ – приведений до осі ротора момент інерції всіх рухомих частин;
- 5) M_a – аеродинамічний момент опору.

Оскільки сумарний момент M_a та $M_{Тр}$ набагато менше M_c , обумовленого електрогенератором, то вираз (2.6) приймає вигляд:

$$I_{Пр} \frac{d\omega}{dt} = M_k^P - M_c. \quad (2.8)$$

В якості електрогенератора, в залежності від його потужності, виду струму, умов роботи і режимів роботи (від власної навантаження або від мережі), можуть використовуватися генератори змінного струму або інші типи генераторів змінного струму, наприклад, вентильні.

Незважаючи на їх істотні конструктивні відмінності, загальним для них є те, що при заданому навантаженні, певній, наприклад, електричною потужністю P або струмом I_H вони вимагають відповідної стабілізації, перш за все, кутової швидкості обертання якоря або ротора. Таким чином, можна записати, що момент опору електрогенератора в загальному випадку є функцією двох основних змінних. Незважаючи на істотні конструктивні відмінності, їх об'єднує те, що для даної навантаження, яка визначається, наприклад, електричною потужністю (P) або струмом (I_H), вони вимагають відповідної стабілізації, перш за все, кутової швидкості обертання якоря або ротора. Отже, можна записати, що момент опору електрогенератора в загальному випадку є функцією двох основних змінних:

$$M_c = M_c(P, \omega); \quad (2.9)$$

або

$$M_c = M_c(I_H, \omega). \quad (2.10)$$

У цьому випадку ми маємо справу з невеликими збуреннями швидкості вітру і навантаження електрогенератора, а отже, з невеликими коливаннями вітряної турбіни навколо положення рівноваги:

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega = \omega_0 + \Delta\omega \\ V = V_0 + \Delta V \\ \theta = \theta_0 + \Delta\theta \\ I_H = I_{H0} + \Delta I \\ \Delta M_K^P = M_K^P(V, \omega, \theta) - M_{K0}^P(V_0, \omega_0, \theta_0) \\ \Delta M_c = M_c(I_H, \omega) - M_{c0}(I_{H0}, \omega_0) \end{array} \right. \quad (2.11)$$

Далі, враховуючи, що для стану рівноваги $M'_{K0} = M_{c0}$ та розкладаючи функції в ряд Тейлора за відповідними змінним, а також обмежуючись тільки першими ступенями, ми отримали:

$$\Delta M_K^P = \frac{dM_K^P}{dV} \Delta V + \frac{dM_K^P}{d\omega} \Delta\omega + \frac{dM_K^P}{d\theta} \Delta\theta; \quad (2.12)$$

$$\Delta M_c = \frac{dM_c}{dI_H} I_H + \frac{dM_c}{d\omega} \Delta\omega. \quad (2.13)$$

Тоді:

$$\left\{ \begin{array}{l} T\Delta\bar{\omega} + \Delta\bar{\omega} = R_1\Delta\bar{V} + R_2\Delta\bar{\theta} + R_3\Delta\bar{I}_H; \\ T = \frac{I_{\text{Пп}} \cdot \omega_0^2}{K_P V_0^4 C_{P_0} \cos^3 \theta_0 + \frac{dM_c}{d\omega} \omega_0^2}; \\ R_1 = \frac{4K_P C_{P_0} \cdot \cos^3 \theta_0}{K_P C_{P_0} \cos^3 \theta_0 + \frac{dM_c}{d\omega} \frac{\omega_0^2}{V_0^4}}; \\ R_2 = \frac{3\theta_0 C_{P_0} \cdot \cos^2 \theta_0 \sin \theta_0}{K_P C_{P_0} \cos^3 \theta_0 + \frac{dM_c}{d\omega} \frac{\omega_0^2}{V_0^4}}; \\ R_3 = \frac{\frac{I_H}{V_0^4} \frac{dM_c}{dI_H}}{K_P C_{P_0} \cos^3 \theta_0 + \frac{dM_c}{d\omega} \frac{\omega_0^2}{V_0^4}}; \\ \Delta\bar{\omega} = \frac{\Delta\omega}{\omega_0}; \\ \Delta\bar{V} = \frac{\Delta V}{V_0}; \\ \Delta\bar{\theta} = \frac{\Delta\theta}{\theta_0}. \end{array} \right. \quad (2.14)$$

Застосовуючи перетворення Лапласа до вираження (2.13) з нульовими початковими умовами, отримуємо відповідне рівняння динаміки і структуру керованого об'єкта (рисунок 2.3):

$$(Ts + 1)\bar{\omega}(s) = R_1\bar{V}(s) + R_2\bar{\theta}(s) + R_3\bar{\Delta I}_H(s).$$

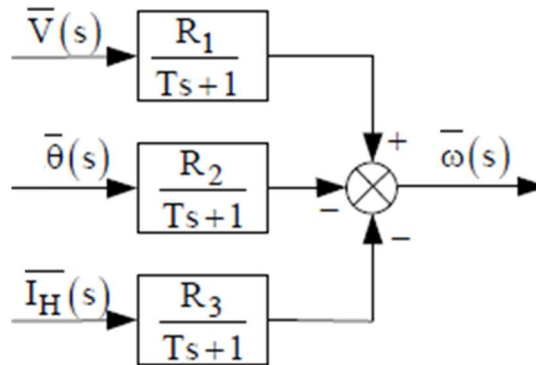


Рисунок 2.3 – Структурна схема об'єкта управління

Особливістю об'єкта управління є наявність трьох вхідних змінних.

Аналітичний опис засноване на диференціальному рівнянні руху ротора вітряної турбіни навколо власної осі обертання, заснованому на законі енергозбереження:

$$J\omega\dot{\omega} = P_{BK} - P_H,$$

Де:

- 1) J – момент інерції вітротурбіни щодо власної осі обертання;
- 2) ω – кутова швидкість обертання вітротурбіни;
- 3) P_H – потужність, споживана навантаженням;
- 4) P_{BK} – потужність.

Потужність P_{BK} результатом перетворення частини енергії вітрового потоку:

$$P_{BK} = C_p \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \frac{\rho \cdot V^3}{2}, \quad (2.15)$$

Де:

- 1) R – радіус вітроколеса;
- 2) ρ – щільність повітря;
- 3) V – швидкість вітрового потоку;
- 4) C_p – коефіцієнт використання потужності вітрового потоку.

Коефіцієнт C_p є нелінійною функцією аеродинамічних і геометричних характеристик лопатей, змінних стану моделі, об'єднаних трансцендентними

рівняннями зв'язку. Дані рівняння складені для різних секцій лопаті і вирішуються разом.

Оскільки ця вітряна турбіна використовується для автономного енергопостачання, її потужність становить 0,5 Вт.

За формулою 2.14 визначається радіус вітроколеса (зовнішнього перетину лопаті) R .

Вихідні параметри такі:

- 1) потужність ВЕУ $P_{\text{вк}} = 0,5$ Вт;
- 2) розрахункова швидкість вітру $V = 7,5$ м/с;
- 3) щільність повітря $\rho = 1,25$ кг/м³;
- 4) кількість лопатей $i = 2$;
- 5) коефіцієнт C_p для ВЕУ даного типу $C_p = 0.45$.

$$R^2 = \frac{P_{\text{вк}}}{C_p \cdot \pi \cdot \frac{\rho \cdot V^3}{2}} = \frac{0.5}{0.45 \cdot 3.14 \cdot \frac{1.25 \cdot 7.5^3}{2}} = 0.0225$$

$$R = \sqrt{0.0225} \approx 0,15.$$

Отже, радіус вітроколеса $R = 0,15$, метра.

2.3 Формування функціональної схеми системи

Система управління швидкістю вітряної турбіни має 3 контури: швидкість вітру, кут лопатей і навантаження. Оскільки основним завданням даної роботи є система управління лопатями вітряної турбіни, буде врахований її центральний контур - контур управління кутом нахилу лопатей вітрогенератора.

Функціональна схема контуру представлена на рисунк 2.4.

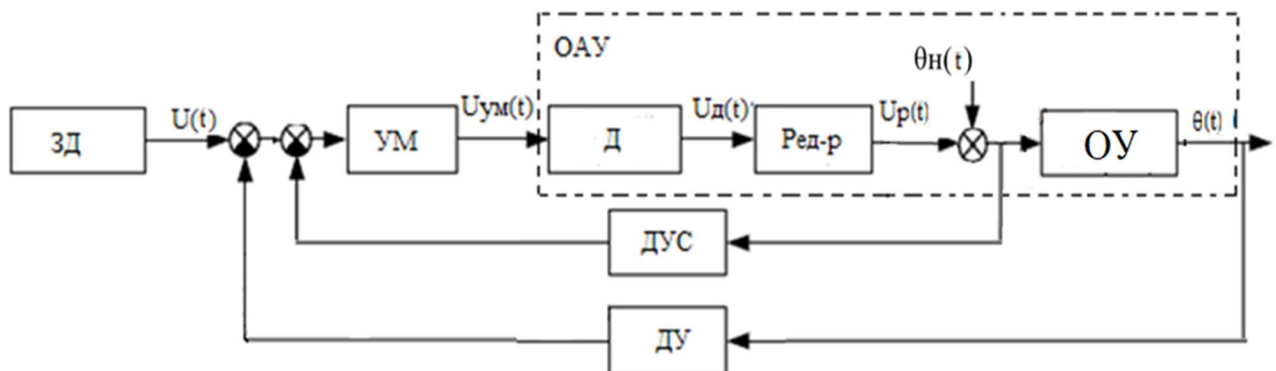


Рисунок 2.4 – Функціональна схема контуру управління кутом повороту лопаті ВЕУ

На рисунку 2.4 прийняті наступні позначення:

- 1) ОАУ – об'єкт автоматичного управління;

- 2) ДУС – датчик кутової швидкості;
- 3) ЗД – задаюча дія;
- 4) УМ – підсилювач потужності;
- 5) Д – двигун;
- 6) ДУ – датчик кута;
- 7) Р – редуктор;
- 8) ОУ – об'єкт управління.

2.4 Формування структурної схеми, передавальних функцій об'єкту автоматичного управління по управляючому та збурюючому впливам

Створимо структурну схему контуру управління кутом повороту лопатей вітряка (рисунок 2.5) з докладним описом передавальної функції, її елементів і процесів, що відбуваються в системі.

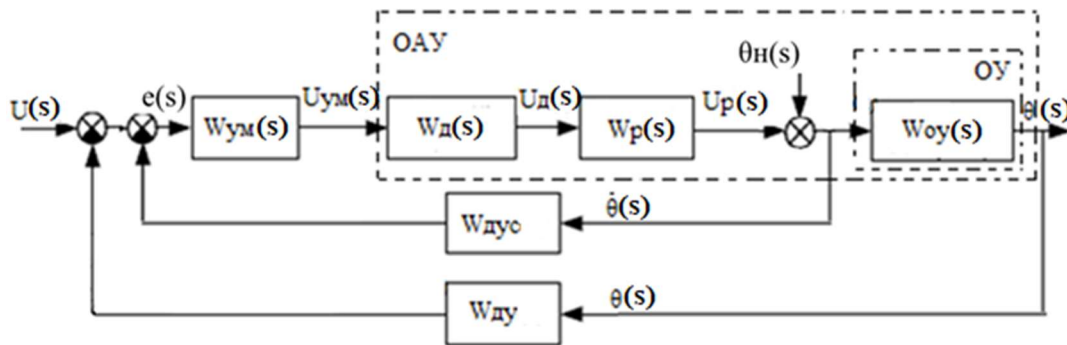


Рисунок 2.5 – Структурна схема контуру управління кутом повороту лопаті ВЕУ

На рисунку 2.5 прийняті наступні позначення:

- 1) $W_p(s)$ – передавальна функція редуктора;
- 2) $W_d(s)$ – передавальна функція двигуна;
- 3) $W_{oy}(s)$ – передавальна функція об'єкта управління;
- 4) $W_{dy}(s)$ – передавальна функція датчика кута;
- 5) $W_{ym}(s)$ – передавальна функція підсилювача потужності;
- 6) $W_{dys}(s)$ – передавальна функція датчика кутової швидкості;
- 7) $U(s)$ – зображення задаючого впливу;
- 8) $\theta_n(s)$ – зображення збурюючого впливу;
- 9) $U_d(s)$ – зображення напруги двигуна;
- 10) $U_{ym}(s)$ – зображення напруги підсилювача потужності;
- 11) $U_p(s)$ – зображення напруги редуктора.

Передавальна функція підсилювача потужності має вигляд:

$$W_{\text{УМ}} = \frac{U_{\text{УМ}}(s)}{E(s)} = K_{\text{УМ}} = 2. \quad (2.16)$$

Передавальна функція двигуна:

$$W_{\text{Д}}(s) = \frac{\omega(s)}{U_{\text{УМ}}(s)} = \frac{K_{\text{ДВ}}}{s(Ts+1)} = \frac{5}{s(0.05s+1)}. \quad (2.17)$$

Передавальна функція редуктора має вигляд:

$$W_{\text{Р}}(s) = \frac{U_{\text{Р}}(s)}{U_{\text{Д}}(s)} = \frac{\dot{\theta}_2}{\dot{\theta}_1} = \frac{\dot{\theta}_2}{\omega_{\text{ДВ}}} = \frac{18^\circ/\text{с}}{18000^\circ/\text{с}} = K_{\text{Р}} = 0.001; \quad (2.18)$$

$\dot{\theta}_1$ – кутова швидкість обертання двигуна;

$\dot{\theta}_2$ – кутова швидкість обертання редуктора.

Передавальна функція об'єкта управління – лопатей ВЕУ:

$$W_{\text{ОУ}}(s) = \frac{\theta(s)}{U_{\text{Р}}(s)} = \frac{R_2}{Ts+1} = \frac{1.41}{0.3s+1}. \quad (2.19)$$

В якості датчик кута виберемо потенціометрический датчик кута з напругою 12 В. Максимальний кут відхилення $\theta_{\text{max}} = 30^\circ$. Статичні властивості датчика показані на рисунку 2.6.

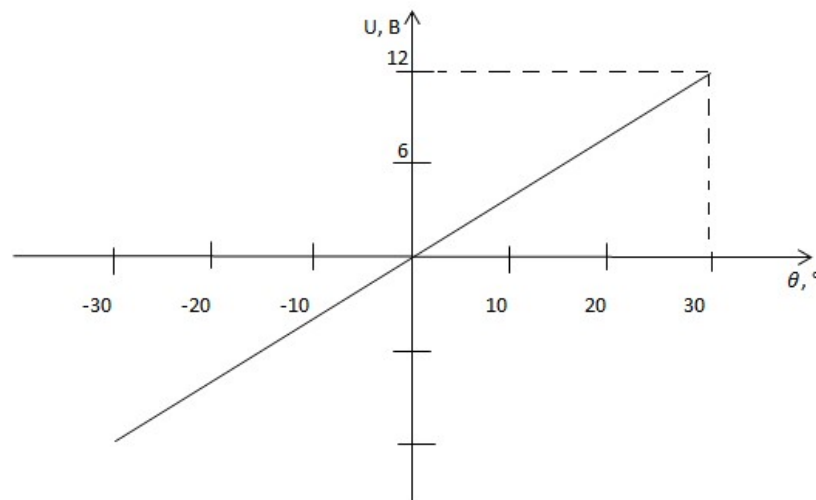


Рисунок 2.6 – Статична характеристика датчика кута повороту

Передавальна функція датчика кута:

$$W_{\text{ДУ}}(s) = \frac{U(s)}{\theta_{\text{max}}(s)} = K_{\text{ДУ}} = \frac{12}{30} = 0.4 \text{ В/град.} \quad (2.20)$$

Як датчик зворотнього зв'язку застосуємо тахогенератор.

Передавальна функція датчика кутової швидкості:

$$W_{\text{дус}}(s) = \frac{U_p(s)}{\theta_2(s)} = K_{\text{дус}} = \frac{18}{18} = 1 \text{ В/град/с.} \quad (2.21)$$

Виходячи з передаточних функцій всіх блоків системи, передавальна функція розімкнутої системи по керуючому впливу матиме вигляд:

$$W_u(s) = \frac{\theta(s)}{\Delta\theta(s)} = \frac{K_{\text{ум}}K_{\text{дв}}K_{\text{р}}R_2}{s(T_1s+1)(T_2s+1)} = \frac{0,0028}{0,015s^3+0,35s^2+s}. \quad (2.22)$$

Передавальна функція розімкнутої системи по збурюючому впливу:

$$W_f(s) = \frac{\theta(s)}{\theta_H(s)} = \frac{K_2}{T_2s+1} = \frac{0,2}{0,3s+1}. \quad (2.23)$$

Передавальна функція по управлінню для замкнутого контуру описується формулою:

$$\begin{aligned} \Phi_u(s) &= \frac{\theta(s)}{\theta_3(s)} = \frac{W_u(s)}{1+W_{\text{д}}(s) \cdot W_u(s)} = \frac{\frac{K_{\text{ум}}K_{\text{дв}}K_{\text{р}}R_2}{s(T_1s+1)(T_2s+1)}}{1+\frac{K_{\text{д}}K_{\text{ум}}K_{\text{дв}}K_{\text{р}}R_2}{s(T_1s+1)(T_2s+1)}}} = \\ &= \frac{K_{\text{ум}}K_{\text{дв}}K_{\text{р}}R_2}{s(T_1s+1)(T_2s+1)+K_{\text{д}}K_{\text{ум}}K_{\text{дв}}K_{\text{р}}R_2} = \\ &= \frac{0,0028}{0,015s^3+0,35s^2+s+0,01974}. \end{aligned} \quad (2.24)$$

Передавальна функція замкнутої системи по збурюючому впливу:

$$\begin{aligned} \Phi_f(s) &= \frac{\theta(s)}{\theta_H(s)} = \frac{W_f(s)}{1+W_{\text{д}}(s) \cdot W_u(s)} = \frac{\frac{K_2}{T_2s+1}}{1+\frac{K_{\text{д}}K_{\text{ум}}K_{\text{дв}}K_{\text{р}}R_2}{s(T_1s+1)(T_2s+1)}}} = \\ &= \frac{K_2 \cdot s(T_1s+1)(T_2s+1)}{(T_2s+1) \cdot (K_{\text{д}}K_{\text{ум}}K_{\text{дв}}K_{\text{р}}R_2+s(T_1s+1)(T_2s+1))} = \\ &= \frac{0,003s^3 + 0,07s^2 + 0,2s}{0,0045s^4 + 0,12s^3 + 0,65s^2 + s + 0,01974}. \end{aligned} \quad (2.25)$$

Передавальна функція замкнутої системи по помилці від керуючого впливу:

$$\begin{aligned} \Phi_u^e(s) &= \frac{e(s)}{\theta_3(s)} = \frac{1}{1+W_{\text{д}}(s) \cdot W_u(s)} = \frac{1}{1+\frac{K_{\text{д}}K_{\text{ум}}K_{\text{дв}}K_{\text{р}}R_2}{s(T_1s+1)(T_2s+1)}}} = \\ &= \frac{s(T_1s+1)(T_2s+1)}{s(T_1s+1)(T_2s+1)+K_{\text{д}}K_{\text{ум}}K_{\text{дв}}K_{\text{р}}R_2} = \\ &= \frac{0,015s^3+0,35s^2+s}{0,015s^3+0,35s^2+s+0,01974}. \end{aligned} \quad (2.26)$$

Передавальна функція замкнутої системи по помилці від збурюючого впливу:

$$\begin{aligned}\Phi_f^e(s) &= \frac{e(s)}{\theta_H(s)} = -\frac{W_f(s)}{1+W_D(s)\cdot W_U(s)} = -\frac{\frac{K_2}{T_2s+1}}{1+\frac{K_{дy}K_{ум}K_{дв}K_pR_2}{s(T_1s+1)(T_2s+1)}} = \\ &= -\frac{K_2s(T_2s+1)}{s(T_1s+1)(T_2s+1)+K_{дy}K_{ум}K_{дв}K_pR_2} = \\ &= -\frac{0,2s(0,05s+1)}{0,015s^3+0,35s^2+s+0,01974}\end{aligned}\quad (2.27)$$

Першим кроком моделювання є аналіз первинної лінійної системи управління, побудованої без використання коригувальних пристроїв(рисунок 2.7).

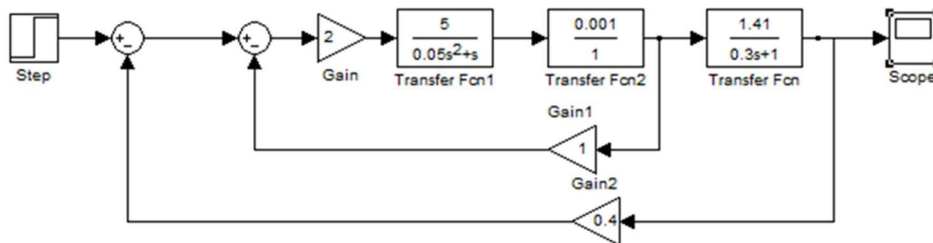


Рисунок 2.7 – Схема моделювання контуру управління кутом повороту лопаті ВЕУ

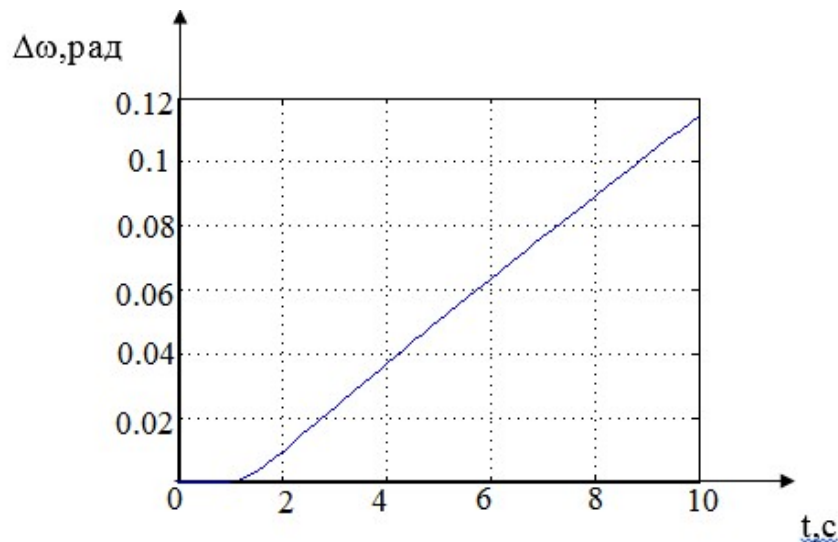


Рисунок 2.8 – Перехідний процес контуру управління кутом повороту лопаті ВЕУ

Дана система не забезпечує необхідний час перехідного процесу, тому додамо в систему П - регулятор (рисунок 2.9).

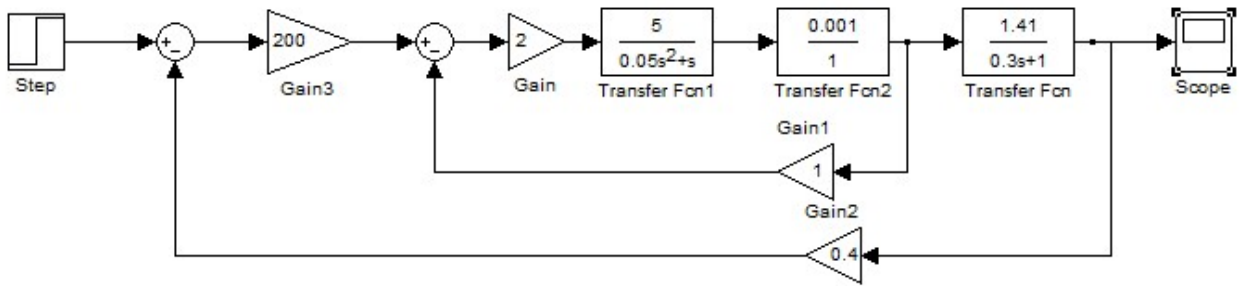


Рисунок 2.9 – Схема контуру управління кутом повороту лопаті ВЕУ з П - регулятором

Графіки перехідного процесу системи по керуючому та збурюючому впливу представлені на рисунку 2.10.

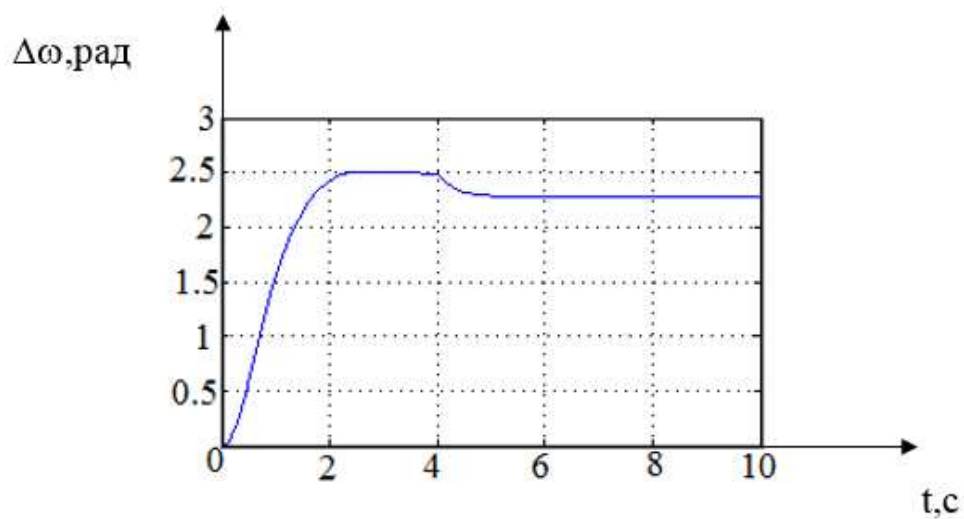


Рисунок 2.10 – Графік перехідного процесу системи контуру управління кутом повороту лопаті ВЕУ

Побудуємо амплітудочастотну і фазочастотну характеристику і визначимо показники якості системи (рисунку 2.11).

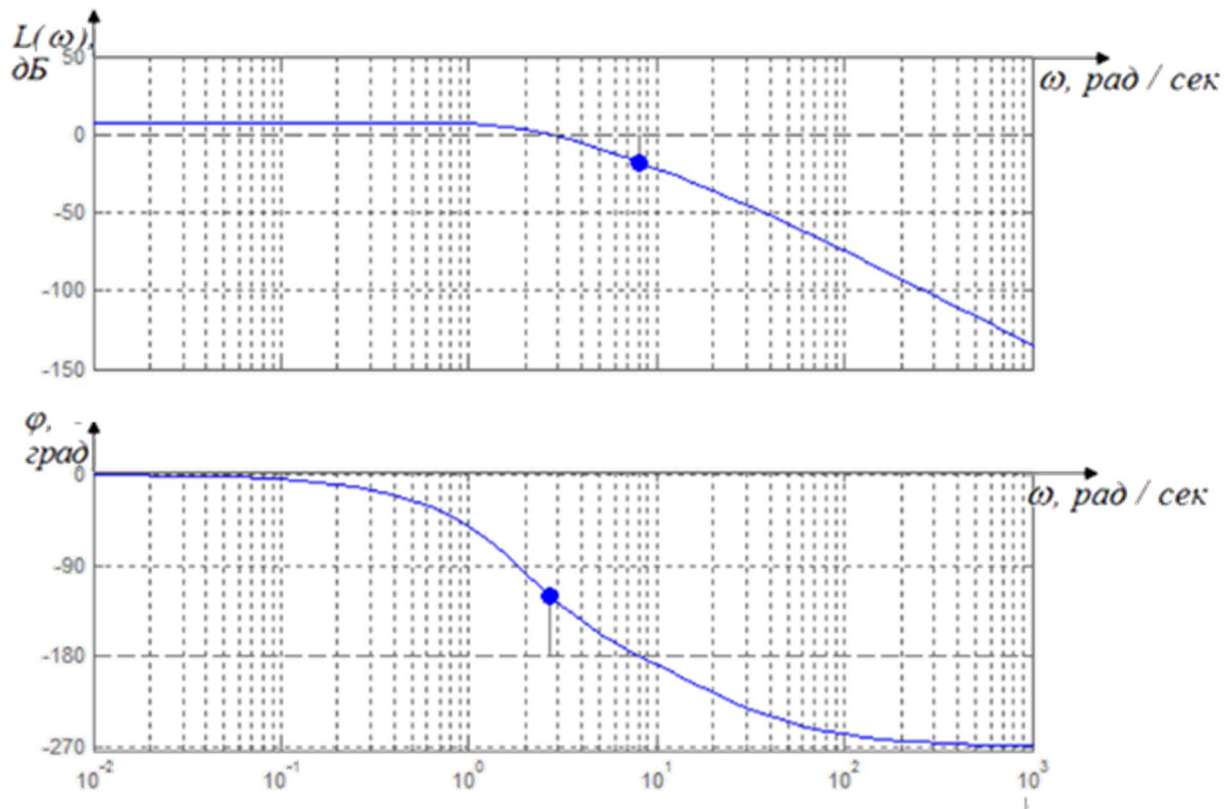


Рисунок 2.11 – ЛАЧХ и ЛФЧХ системи

Показники якості системи:

- 1) час перехідного процесу:
 - по управлінню 2с;
 - по обуренню 1с;
- 2) статична помилка: 0.2В;
- 3) перерегулювання: 0;
- 4) запас стійкості системи по фазі: 61.2 град. ;
- 5) запас стійкості системи по амплітуді: 20дБ.

Показники якості даної системи задовольняють вимогам технічного завдання. Як видно з графіків перехідного процесу, система є стійкою, але при дії обурення не повертається в початковий стан.

2.5 Визначення коефіцієнта передачі коригувального елемента з умови забезпечення заданої точності САС

Для знаходження коефіцієнта регулятора запишемо передавальну функцію через швидкісну помилку по управлінню:

$$\lim_{s \rightarrow 0} (\Phi_{\text{eu}}(s) * \frac{U_3 * s}{s^2}) \leq \varepsilon_{\text{доп}}; \quad (4.28)$$

$$\lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{s(0,015s^3 + 0,35s^2 + s)5}{s(0,015s^3 + 0,35s^2 + s + 1,4k_{\text{тр}})} \right) \leq 5 * 0,05. \quad (4.29)$$

Тоді

$$\frac{1}{1,4k_{\text{TP}}} \leq 0,05;$$

$$k_{\text{TP}} = 14,28 = 15;$$

$$k_{\text{рег}} = \frac{15}{0,0141} = 1063,8.$$

Передавальна функція по швидкісній помилці за збуренням:

$$\lim_{s \rightarrow 0} \Phi_{\text{ef}}(s) * \frac{\theta}{s^2} * s \leq 5 * 0,05; \quad (4.30)$$

$$\frac{2 * 0,3}{1,4k_{\text{TP}}} \leq 5 * 0,05;$$

$$1,4k_{\text{TP}} \geq 2,11;$$

$$k_{\text{TP}} = 1,5.$$

За коефіцієнт регулятора приймаємо $k_{\text{рег}} = 1063,8$.

Для забезпечення необхідних показників точності використовуємо програму в середовищі Matlab для знаходження оптимальних значень постійних часу.

У Додатку Б наведена програма у середовищі Matlab.

В результаті були отримані номограми Солодовнікова (рисунок 2.12 – 4.14), з яких були обрані постійні часу, які відповідають вимогам по запасам амплітуди і фази.

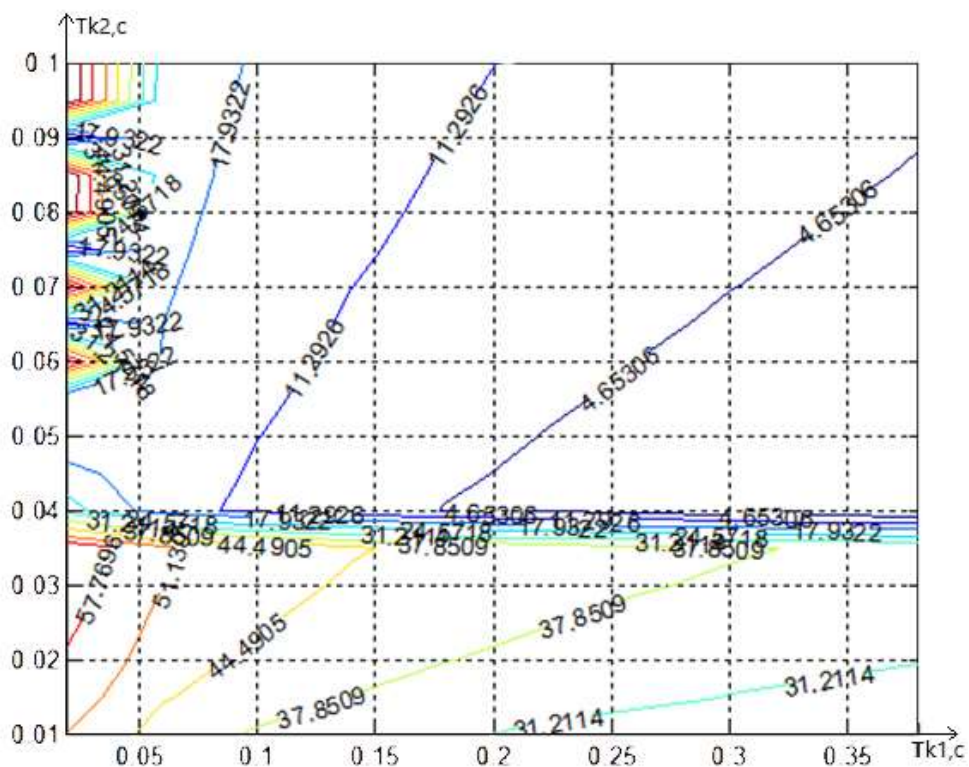


Рисунок 2.12 – Лінії рівня для запасу по амплітуді L

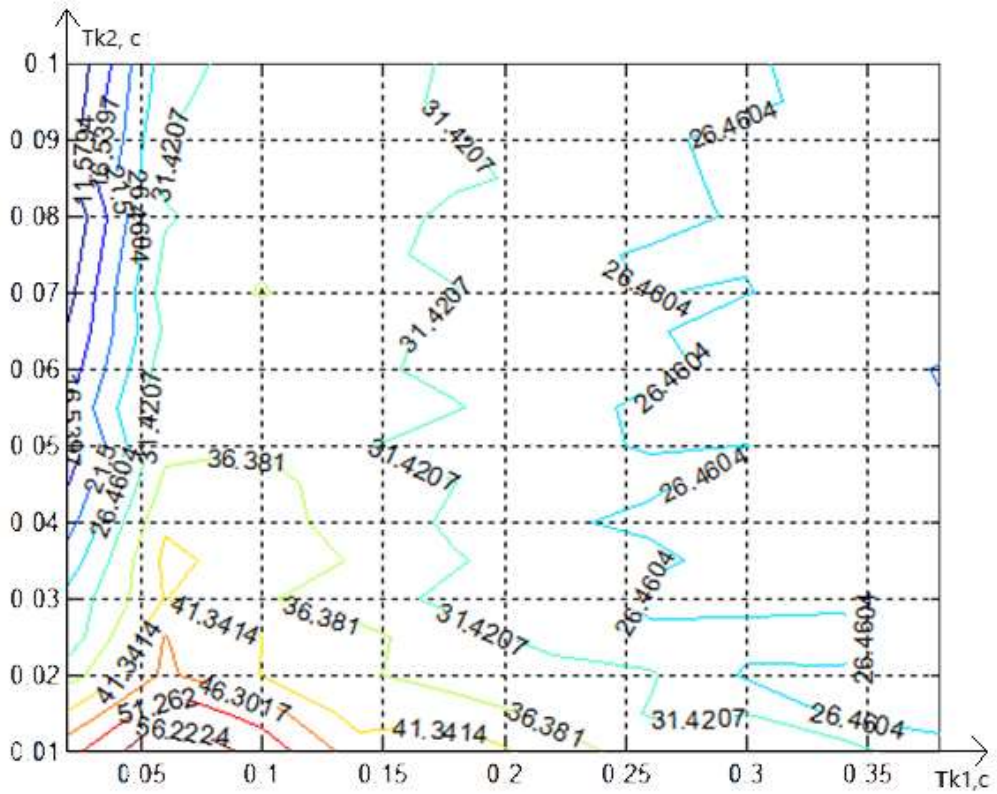


Рисунок 2.13 – Лінії рівня для запасу по фазі φ

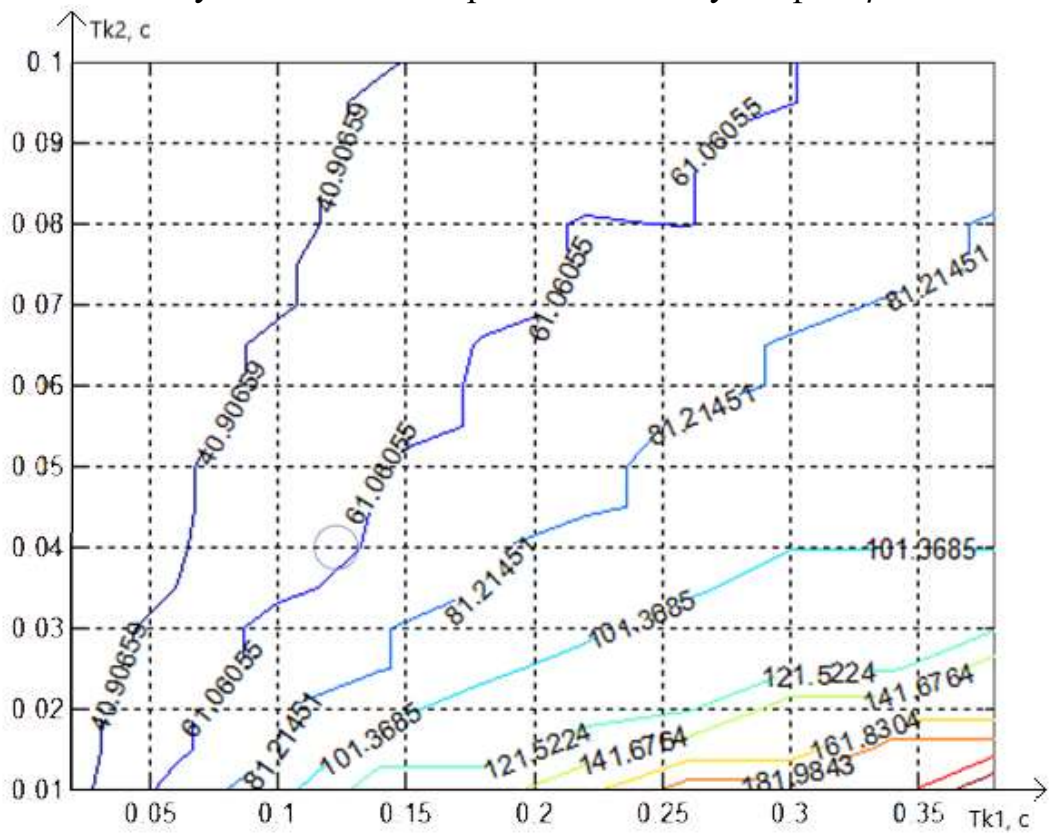


Рисунок 2.14 – Лінії рівня для запасу по ω зрізу

З отриманих номограм випливає, що найбільш підходящі постійні часу $T_1 = 0,1$ та $T_2 = 0,02$.

Передавальна функція регулятора буде мати вигляд:

$$W_p(s) = k_p \frac{T_{k1}s + 1}{T_{k2}s + 1}; \quad (2.31)$$

$$W_p(s) = \frac{U_M(s)}{\Delta R(s)} = 1063,8 \cdot \frac{0,1s + 1}{0,02s + 1}$$

2.6 Синтез коригувального пристрою методом ЛАЧХ

Аналізуючи показники якості, можна помітити, що система не відповідає заданим показниками якості, тому система потребує коригування. Вибір синтезу коригувального пристрою з використанням ЛАЧХ.

Для побудови ЛАЧХ наявної системи – необхідно визначити частоту сполучення і точку перетину першої асимптоти з віссю ординат:

$$20 \lg(K_u) = 20 \lg(15) = 23.5;$$

$$\lg \omega_1 = \lg\left(\frac{1}{T_1}\right) = \lg\left(\frac{1}{0.3}\right) = 0.52.$$

Побудований графік наявної ЛАЧХ приведений на рисунку 2.15. Визначимо характерні точки для побудови ЛАЧХ:

$$\lg \omega_1 = \lg\left(\frac{1}{T_1}\right) = \lg\left(\frac{1}{0.3}\right) = 0.52;$$

$$\lg \omega_2 = \lg\left(\frac{1}{T_2}\right) = \lg\left(\frac{1}{0.05}\right) = 1.3.$$

ЛАЧХ коригуючого пристрою представлена на рисунку 2.15.

Бажану ЛАЧХ будують по ділянках, на підставі вимог до показників якості перехідного процесу і запасам стійкості.

Найбільший вплив на динаміку надає форма бажаної ЛАЧХ в районі частоти зрізу. У зв'язку з цим, весь діапазон характеристики ділять на три частини: ділянку низьких частот, ділянку середніх частот та високочастотну ділянку.

Середньочастотний ділянка обмежена умовою необхідного запасу по модулю і фазі, в поєднанні з низькочастотних ділянкою з використанням прямої лінії, проведеної під кутом, який відрізняється від нахилу середнечастотного ділянки на $20 \frac{dB}{дек}$. Після цього перевіряють дійсний запас по фазі для бажаної ЛАЧХ на ділянці сполучення.

Бажану ЛАЧХ будують з співвідношення: $L_{ж}(\omega) = L_{рег}(\omega) + L_{расп}(\omega)$.
Графік бажаної ЛАЧХ приведений на рисунку 4.12.

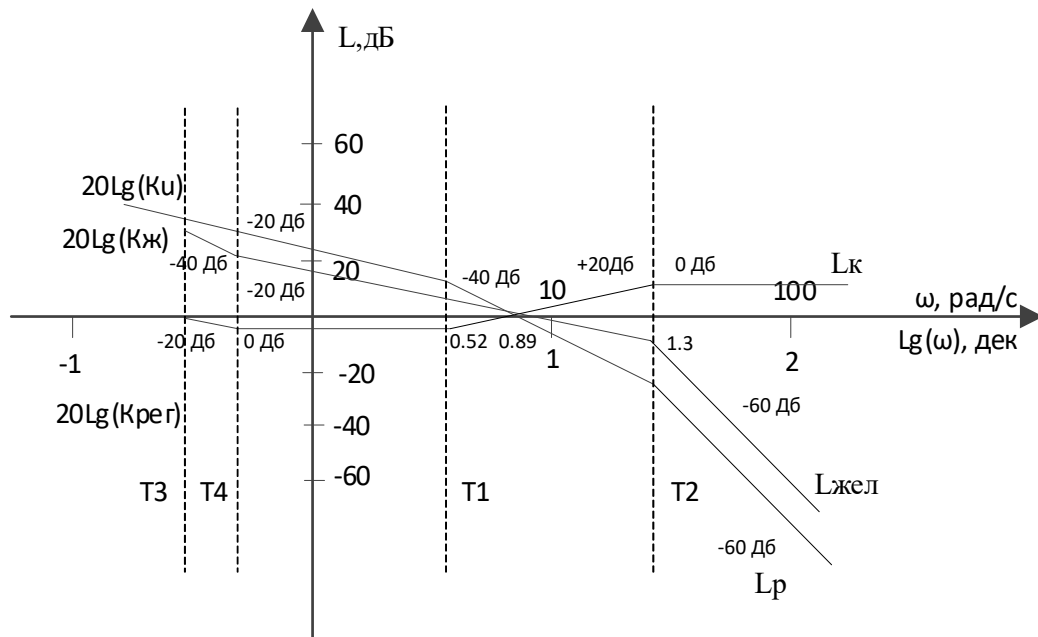


Рисунок 2.15 – Наявна (L_p), бажана ЛАЧХ ($L_ж$) та ЛАЧХ коригуючого пристрою (L_k)

Передавальна функція регулятора буде мати вигляд:

$$W_p(s) = k_p \frac{(T_4 s + 1)(T_1 s + 1)}{(T_3 s + 1)(T_2 s + 1)}; \quad (2.32)$$

$$W_p(s) = \frac{U_M(s)}{\Delta R(s)} = 1063,8 \cdot \frac{(2,75s + 1)(0,3s + 1)}{(3,63s + 1)(0,05s + 1)}$$

Графіки перехідного процесу скоректованої замкнутої системи по керуючому та збурюючому впливу представлені на рисунку 2.16.

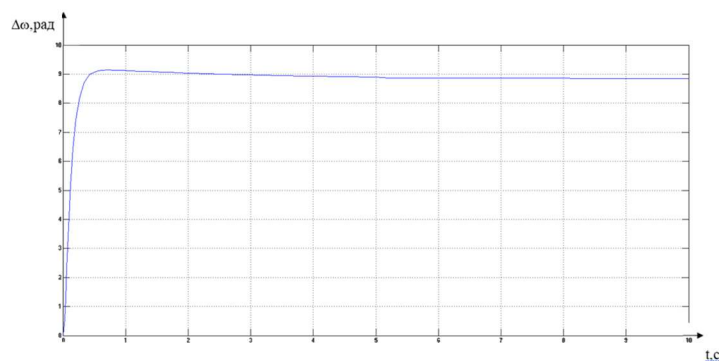


Рисунок 2.16 – Графік перехідного процесу скоригованої замкнутої системи по керуючому та збурюючому впливу (з 5 сек)

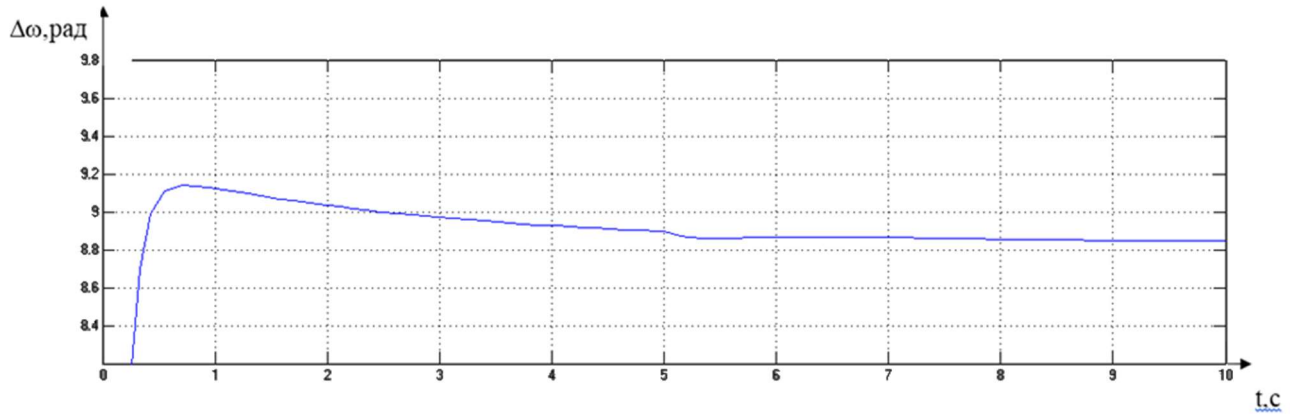


Рисунок 2.17 – Збільшений графік перехідного процесу скоригованої замкнутої системи по збурюючому впливу (з 5 сек)

Показники якості системи $\sigma = 5\%$; $\varepsilon_{уст} = 0,005$; $t_{пн} = 6,6$ с;
Скоригована система відповідає заданим параметрам якості.

2.7 Дослідження і аналіз функціональних властивостей скоригованої системи

Машинна модель скоригованої системи автоматичного управління в системі MATLAB представлена на рисунку 2.18.

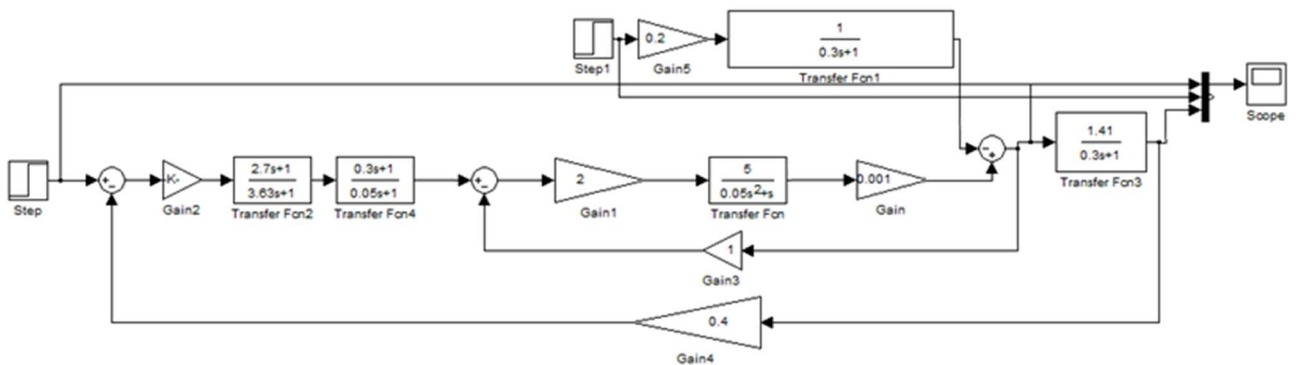


Рисунок 2.18 – Машинна модель скоригованої системи автоматичного управління вітрогенератором в системі MATLAB

Для визначення запасів стійкості по фазі і амплітуді побудуємо ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкнутої системи.

Графіки ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкнутої системи управління наведено на рисунку 2.19.

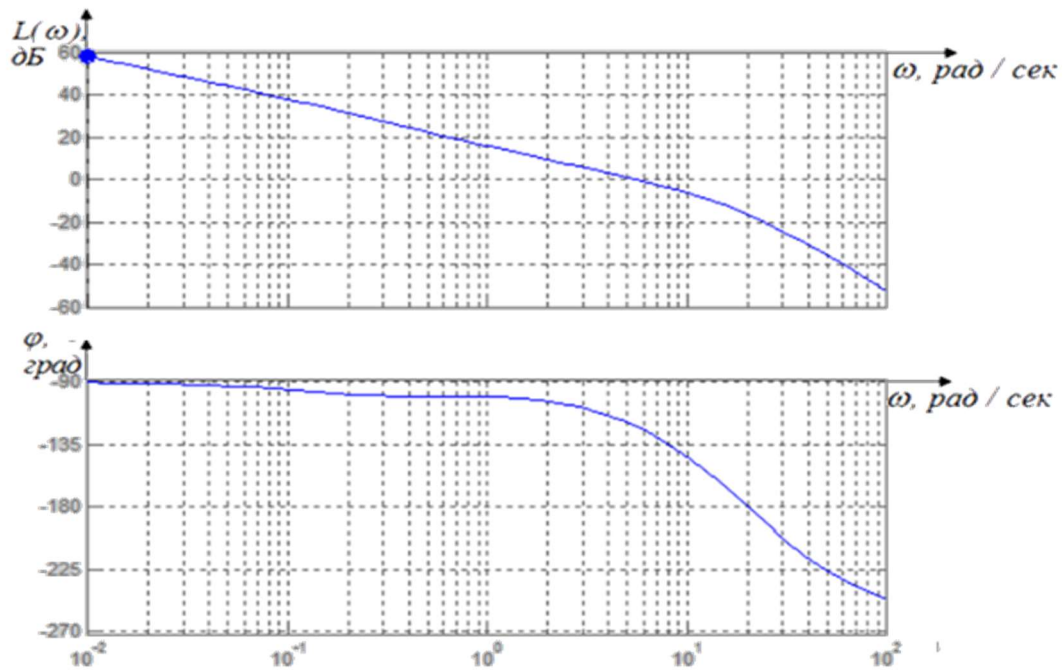


Рисунок 2.19 – Графіки ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкненої системи управління

Показники якості системи наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Показники якості системи

Встановлена помилка, $\varepsilon_{уст}$ м/с	0,005
Коливання, М	1
Час перехідного процесу по керуючому впливу, t_{nn} с	6,6
Перерегулювання, $\sigma\%$	0
Запас по фазі, φ град	61
Запас по амплітуді, L дБ	18

З показників якості випливає, що скоригована система автоматичного управління задовольняє заданим вимогам показників якості функціонування.

2.8 Висновки

У цьому розділі описаний об'єкт автоматичної стабілізації, а саме змістовна і графічна модель об'єкта, розробка нелінійної і лінеаризованої математичної моделі об'єкта стабілізації. Здійснено підбір виконавчих і вимірювальних функціональних елементів.

Також були отримані і описані лінеаризовані моделі об'єкта автоматичного управління, визначені передавальні функції окремих елементів системи управління з еталонним і впливи, побудовані функціональні і структурні схеми. Було проведено динамічний розрахунок системи позиціонування, синтезований контролер був виведений зі стану, показники якості відповідно до вимог ТЗ, отримані частотні властивості і система змодельована в середовищі MATLAB.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Формулювання завдань стабілізації роторно-вітрової електроустановки

Основним елементом вітроенергетичної системи є контролер Arduino Uno, за допомогою якого обробляється отримана інформація, а також формується керуючий сигнал на органи управління.

Для ефективного управління контролер установки повинен виконувати такі завдання:

- 1) реалізація заданого алгоритму управління;
- 2) відправка даних до мобільного додатку;
- 3) видача керуючих сигналів на виконавчий механізм.

На рисунку 3.1 приведена функціональна схема ВЕУ.

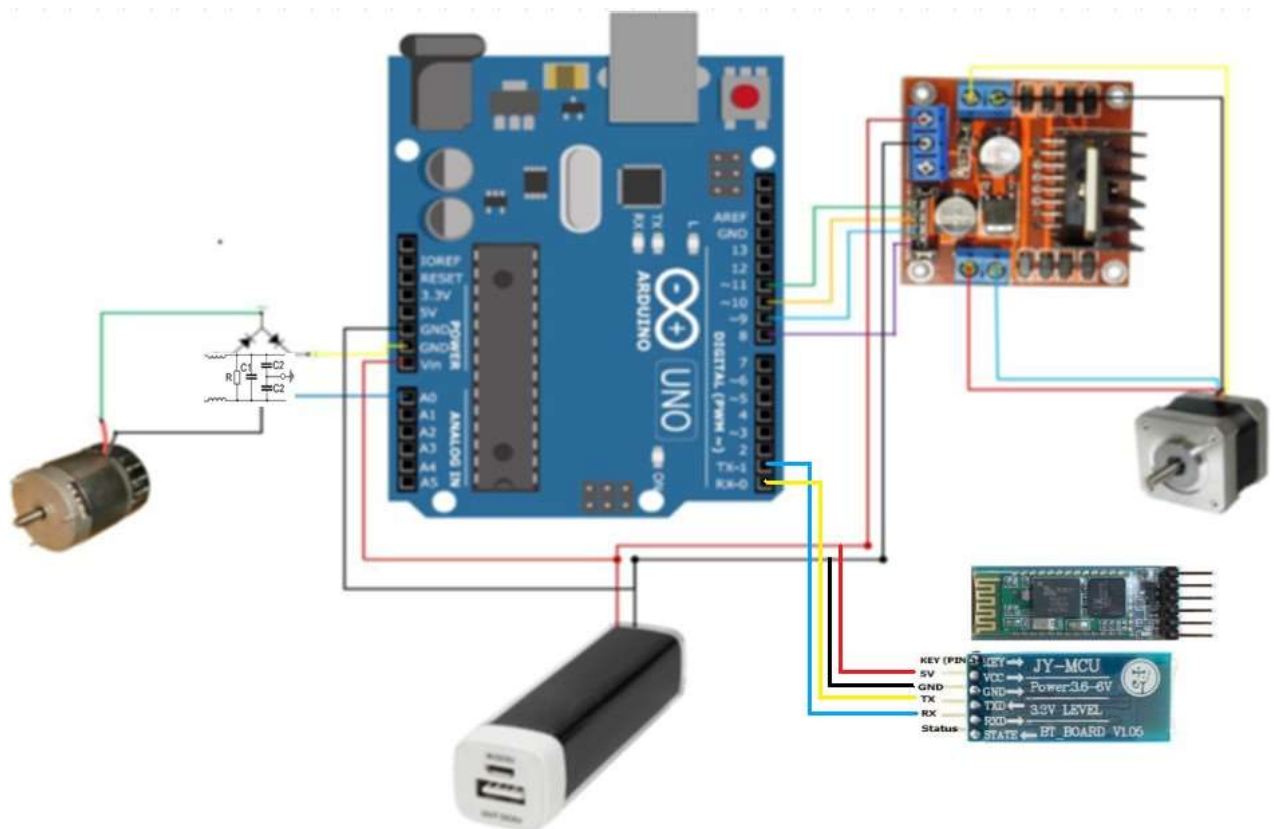


Рисунок 3.1 – Функціональна схема вітрогенератора

3.2 Вибір елементної бази роторно-вітрової електроустановки

У якості складових елементів системи, яка буде вирішувати поставлену в пункті 3.1 задачу, були обрані такі елементи:

- 1) Arduino Uno ATmega328;
- 2) Кроковий двигун NEMA-17;
- 3) Двигун SiaoKe 90TDY060D4-2;
- 4) Драйвер L298N;
- 5) Блютуз модуль HC-05.

Arduino Uno – це пристрій на основі мікроконтролера ATmega328. У його склад входять все необхідне для зручної роботи з мікро контролером: 14 цифрових входів/виходів (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів), 6 аналогових входів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для внутрисхемного програмування (ICSP) і кнопка скидання. Для початку роботи з пристроєм досить просто подати живлення від AC/DC-адаптера або батарейки, або підключити його до комп'ютера за допомогою USB-кабелю.

На відміну від всіх попередніх плат Arduino Uno в якості перетворювача інтерфейсів USB-UART використовує мікроконтролер ATmega328 замість мікросхеми FTDI.

Програмна частина складається з безкоштовної програмної оболонки (Arduino IDE) для написання програм, їх компіляції та програмування апаратури. Апаратна частина являє собою набір змонтованих друкованих плат.

Arduino може використовуватися як для створення автономних об'єктів автоматики, так і підключатися до програмного забезпечення на комп'ютері через стандартні дротові і бездротові інтерфейси.

Мікроконтролери для Arduino відрізняються наявністю попередньо прошитого в них завантажувача (bootloader). За допомогою цього завантажувача користувач завантажує свою програму в мікроконтролер без використання традиційних окремих апаратних програматорів. Завантажувач з'єднується з комп'ютером через інтерфейс USB (якщо він є на платі) або за допомогою окремого перехідника UART-USB. Підтримка завантажувача вбудована в Arduino IDE і виконується в один клік мишею.

Порти введення-виведення мікроконтролерів оформлені у вигляді штирьових лінійок. Ніякого буферізованія, захисту, конвертації рівнів або підтяжок, як правило, немає. Arduino Uno може бути живиться від USB або від зовнішнього джерела живлення – тип джерела вибирається автоматично. Напруга зовнішнього джерела живлення може бути в межах від 6 до 20 В. Мікроконтролери видають напругу від 5В або 3,3, в залежності від моделі плати. Відповідно порти мають такий же розмах допустимих вхідних і вихідних напруг. Програмісту доступні деякі спеціальні можливості портів введення-виведення мікроконтролерів, наприклад широтно-імпульсна модуляція (ШІМ), аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), інтерфейси UART, SPI, I2C. Кількість і можливості портів введення-виведення визначаються конкретним варіантом мікропроцесорної плати.

Крім портів на платах мікроконтролерів іноді встановлюється периферія в вигляді інтерфейсів USB або Ethernet. Опціональний набір зовнішньої периферії на модулях розширення включає в себе:

- 1) USB Device (найчастіше як віртуальний COM порт через FTDI FT232, є також версії з емуляцією USB HID Class клавіатур і мишок);
- 2) дротової і бездротової Ethernet як на основній платі так і на платах розширення;
- 3) модуль GSM і інші бездротові інтерфейси;
- 4) USB Host;
- 5) SD card;
- 6) модуль управління низьковольтних мотором на базі L298. Підтримуються кроковий і колекторний двигуни з напругою до 12 В і струмом до 2А на канал. Можуть підключатися також реле, електромагніти і т. П. Модуль не має гальванічної розв'язки;
- 7) графічний РКІ індикатор;
- 8) модуль з макетним полем.

Зовнішній та схематичний вигляд Arduino з додатковими платами зображено на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд Arduino UNO

Драйвер L298N двигуна 5В використовується для управління 4-х провідним двофазним кроковим двигуном, а також обмотками реле.

Для використання модуля потрібно на його основі зібрати макет. Потім підключити живлення, мікроконтролер, керовані пристрої і починати роботу.

Управління драйвером двигуна здійснюється або від Arduino контролера, або від іншого мікропроцесорного керуючого пристрою за допомогою спеціальних програм.

Характеристики:

- 1) живлення для моторів V_s : +5 В ~ +35 В, струм до 2А;
- 2) живлення логіки V_{ss} : 5В ~ 7В, сила струму 0 ~ 36 мА;
- 3) рівні сигналів: логічний нуль $-0.3 \leq V_{in} \leq 1.5\text{В}$, логічна одиниця: $2.3\text{В} \leq V_{in} \leq V_{ss}$;
- 4) максимальне споживання енергії 20 Вт (при температурі 75 ° С);
- 5) температура зберігання: -25 ~ +130 ° С.

Загальний вигляд драйвера L298N і габаритні розміри показані на рисунку 3.3.

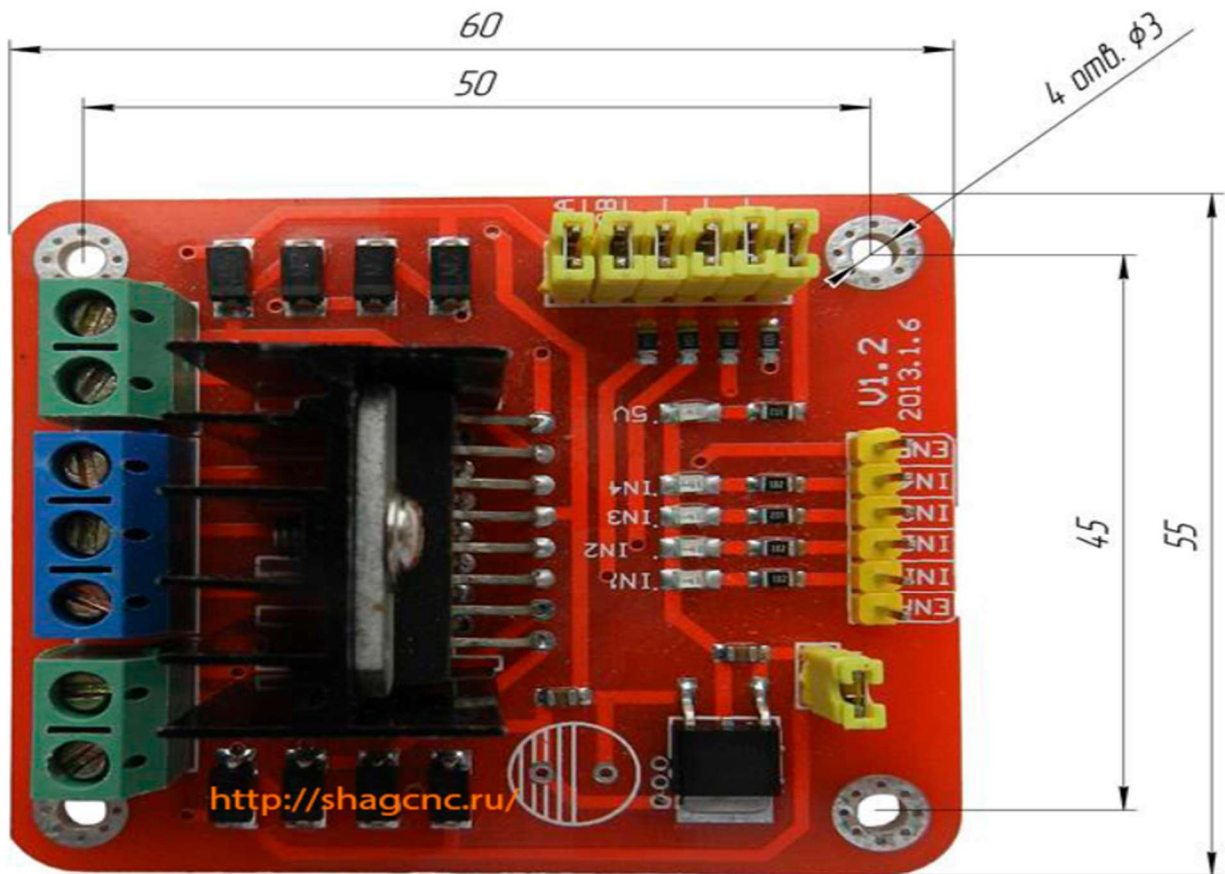


Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд драйвера L298N

Кроковий двигун NEMA-17 – це синхронний бесщеточний електродвигун з декількома обмотками, в якому струм, що подається в одну з обмоток статора, викликає фіксацію ротора. Послідовна активація обмоток двигуна викликає дискретні кутові переміщення (кроки) ротора.

Кроковий двигун NEMA-17, струм на обмотку 1.7А. Як правило використовується в 3D принтерах. Терморегулятори: білий А+, білий А-, жовтий В+, синій В-.

Характеристики:

- 1) кут повороту за один крок: 3.6 °;
- 2) діаметр вала: 5 мм;
- 3) довжина мотора: 40 мм;
- 4) струм на обмотку: 1.7А;
- 5) опір обмотки: 1.5 Ом;
- 6) індуктивність обмотки: 2.8 мГн;
- 7) крутний момент утримання: 40 Н / см (4.08 кгс.м);
- 8) крутний момент спокою: 2.2 Н / см (0.22 кгс / м);
- 9) інерція ротора: 54 г / см²;
- 10) кількість проводів: 4;
- 11) маса: 280 г.

Загальний вигляд крокового двигателя NEMA-17 і габаритні розміри показані на рисунку 3.4.

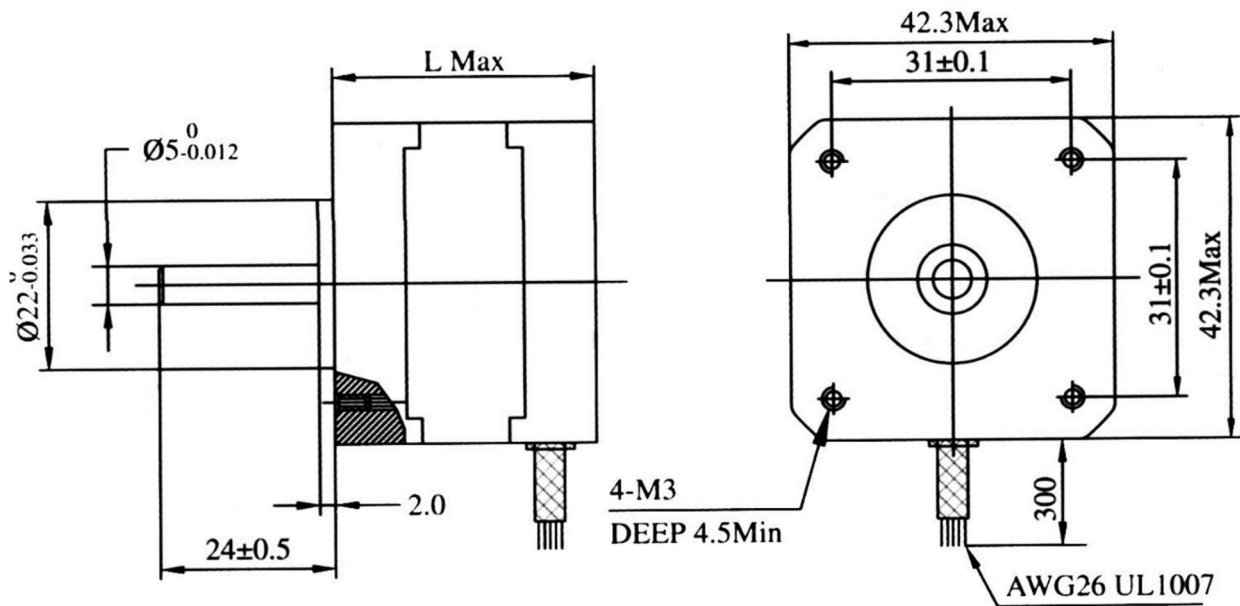


Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд крокового двигателя NEMA-17

Двигун SiaoKe 90TDY060D4-2 – електрична машина змінного струму, частота обертання ротора якої не дорівнює (в руховому режимі менше) частоті обертання магнітного поля, створюваного струмом обмотки статора.

Характеристики:

- 1) напруга: 24 V;
- 2) частота: 50 Гц;
- 3) швидкість: 60 об/мин;
- 4) вхідний струм: 2,2 A;
- 5) споживана потужність: 70 W;
- 6) номінальний крутний момент: 2800 Nm.

Загальний вигляд двигуна SiaoKe 90TDY060D4-2 і габаритні розміри показані на рисунку 3.5.

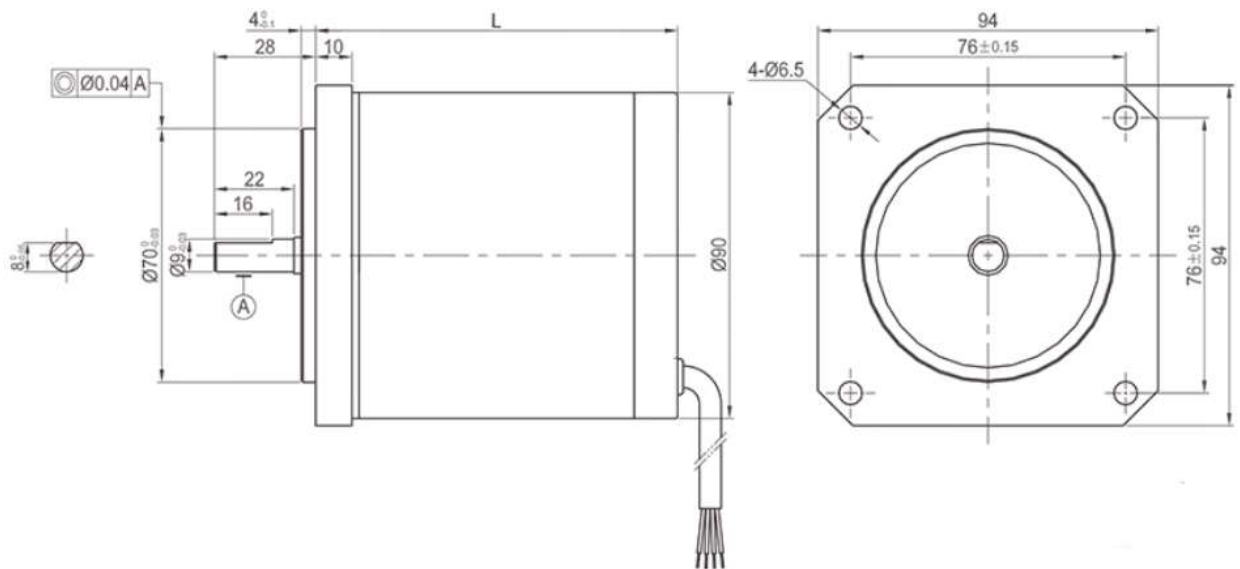


Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд крокового двигателя двигуна SiaoKe 90TDY060D4-2

Контролер Arduino не підтримують бездротовий зв'язок, а часто це просто необхідно. Наприклад, віддалене управління роботом на Arduino, відправка даних з метеостанції на арудіно в Інтернет або на домашній сервер, зв'язок кількох пристроїв між собою. Тут на допомогу розробникам пристроїв безліч зовнішніх модулів для організації різних технологій бездротового зв'язку: модулі WiFi, GSM / GPRS, IR, Bluetooth, радіомодулі для роботи в різних частотних діапазонах.

Технологія Bluetooth використовується для передачі даних між двома пристроями, які знаходяться в безпосередній близькості один з одним, причому необов'язкова пряма видимість. Технологія Bluetooth забезпечує хорошу стійкість до широкосмугових перешкод, що дозволяє безлічі пристроїв, що знаходяться в одному місці, одночасно спілкуватися між собою, не заважаючи один одному. Дуже широко дана технологія використовується в телефонах, планшетах, ноутбуках.

Одне з кращих рішень для організації двостороннього зв'язку по Bluetooth вашого Arduino-пристрої з планшетом, ноутбуком або іншим Bluetooth-пристроєм – Bluetooth-модуль HC-05, який може працювати як master (здійснювати пошук Bluetooth-пристроїв і ініціювати установку зв'язку), так і slave (ведене пристрій).

Характеристики:

- 1) Чіп Bluetooth: HC-05 (FC-114);
- 2) Діапазон частот радіозв'язку: 2,4-2,48 ГГц;
- 3) Потужність передачі: 0,25-2,5 мВт;
- 4) Чутливість: -80 дВм;
- 5) Напруга живлення: 3,3-5 В;
- 6) Струм: 50 мА;
- 7) Радіус дії: до 10 метрів;

- 8) Інтерфейс: послідовний порт;
- 9) Режими: master, slave;
- 10) Температура зберігання: $-40 \dots 85 \text{ }^\circ\text{C}$;
- 11) Робочий діапазон температур: $-25 \dots 75 \text{ }^\circ\text{C}$;
- 12) Габарити: $27 \times 13 \times 2,2 \text{ мм}$.

Загальний вигляд блютуз модуля показані на рисунку 3.6.

HC-05 FC-114

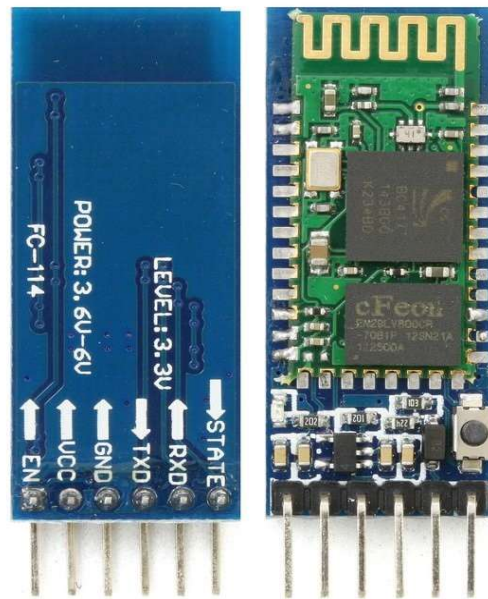


Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд блютуз модуля HC-05 FC-114

Функціональна схема роторно–вітрової електроустановки представлена на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 – Функціональна схема роторно–вітрової електроустановки

На рисунку 3.7 прийняті наступні позначення:

- 1) V – швидкість вітру;
- 2) Улог – логічний сигнал;
- 3) θ – кут повороту вітрогенератора;
- 4) Уупр – управляючий сигнал;
- 5) Уотф – отфільтрований сигнал;
- 6) $U_{тг}$ – сигнал тахогенератора;

3.3 Формування схеми комунікацій контролера і обладнання СУ

Комунікаційна схема дає повне уявлення про електричний пристрій. На принциповій схемі електричні елементи, складові пристрій, представлені у вигляді умовних графічних символів. На рисунку 4.7 представлена комунікаційна схема підключення вітрогенератора.

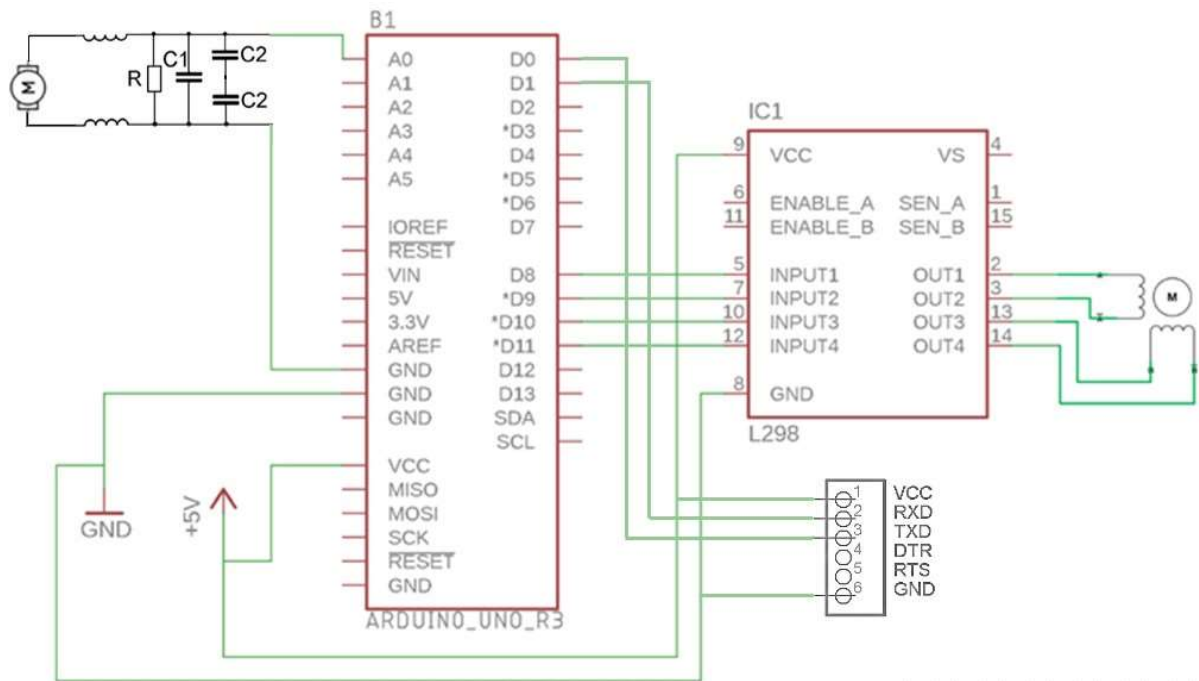


Рисунок 3.8 – Схема комунікацій контролера і обладнання СУ

3.4 Формування повного алгоритму роботи роторно-вітрової електроустановки

Щоб система завжди працювала коректно, в ній повинна бути вбудована логіка (алгоритм).

Основна логіка програми спрямована на максимальне збільшення вироблення електроенергії і генерацію керуючого сигналу для крокової двигуна, а також на відправку отриманих даних в мобільний додаток. Блок-схема алгоритму роботи системи представлена на рисунку 3.9.

Код програми представлений в Додатку В.



Рисунок 3.9 – Алгоритм роботи вітрогенератора

3.5 Проектування інтерфейсу і функціональних модулів для мобільного додатку

Вигляд стартового вікна додатку представлено на рисунку 4.9. Стартова форма повинна мати кнопку включення та виключення блютуз та кнопку пошуку блютуз пристроїв. Далі виводиться список доступних пристроїв.

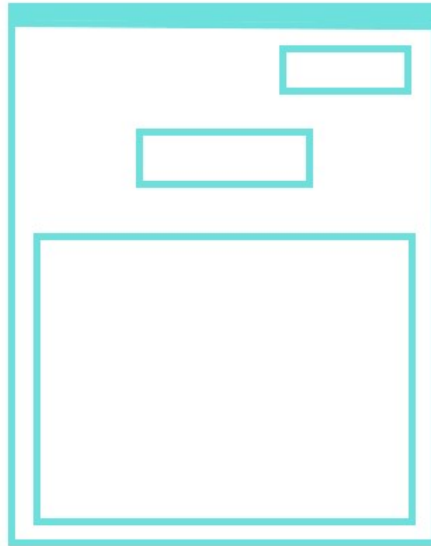


Рисунок 3.10 – Макет стартового вікна

Після вибору блютуз пристроя з'являється вікно підключення. Макет вікна представлено на рисунку 3.11.

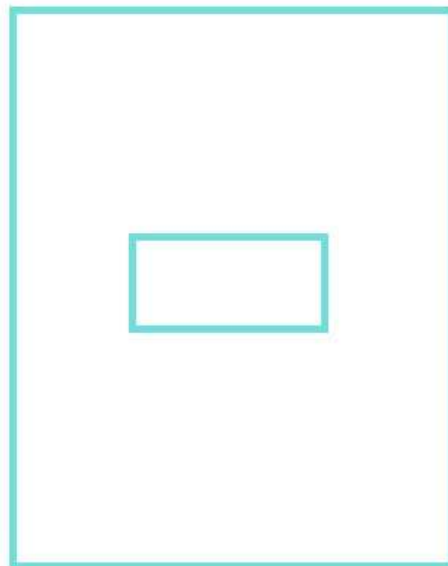


Рисунок 3.11 – Макет вікна підключення

Далі програма повинна направити користувача на головне вікно, де відображаються графік показників ВЕУ. Макет головного вікна приведено на рисунку 4.12.

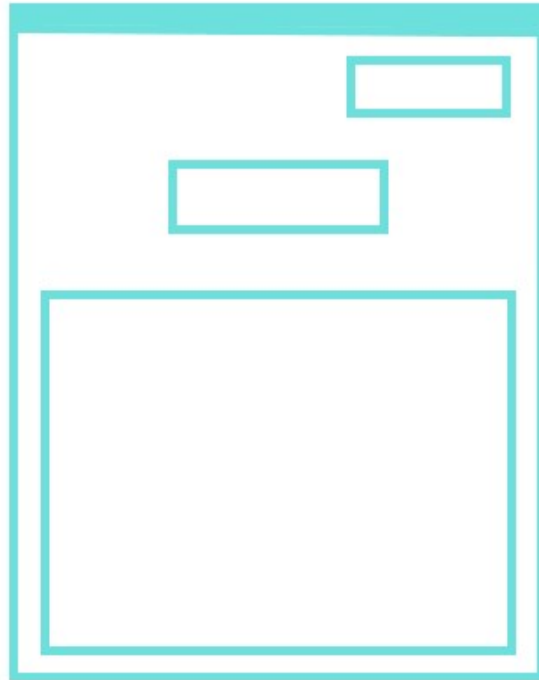


Рисунок 4.12 – Макет головного вікна

3.6 Висновки

У цьому розділі перераховані основні компоненти роторної вітряної електростанції і описані докладно. Сформовано функціональні і принципові схеми вітрогенератора і створений основний алгоритм роботи системи. Розроблено інтерфейс мобільного додатка.

4 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

4.1 Моделювання системи управління вітроелектричної установки

Розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) нині приділяється пильна увага у всіх країнах світу і на всіх континентах. Серед всіх видів ВДЕ особливе місце займає енергія вітру, яка має специфічні властивості – доступність з одного боку, і мінливість, обумовлене імовірнісним характером прогнозу. Існує безліч рішень по складу і режимам роботи вітроелектричних установок (ВЕУ), що залежать від різних факторів. Природно на перший план виступає проблема оптимізації режимів роботи ВЕУ.

Широко застосовні ВЕУ зі змінною швидкістю обертання генератора, що дозволяють отримувати більше енергії, ніж установки з постійною швидкістю обертання. Це пов'язано з тим, що ВЕУ зі змінною швидкістю обертання проектується таким чином, щоб забезпечити максимальне значення аеродинамічної ефективності в якомога ширшому діапазоні швидкості вітру.

4.2 Функціональний склад і режими роботи вітроелектричних установок

Головним завданням є безперервна адаптація частоти обертання ротора ω до змінної швидкості вітру v . Це дозволяє підтримувати оптимальне співвідношення швидкостей λ (швидкохідності), що забезпечує отримання максимальної вихідної потужності. Таким чином має місце головна перевага турбіни зі змінною швидкістю обертання – витяг більшої потужності. Однак проблема не тільки в цьому: необхідно також обмежити потужність при досягненні деякої граничної швидкості вітру. Відповідно до прийнятої практики використовується два види обмеження: механічне гальмування (МГ) і електричне гальмування (ЕГ) або їх комбінація МГ і ЕГ, як представлено на рисунку 4.1.

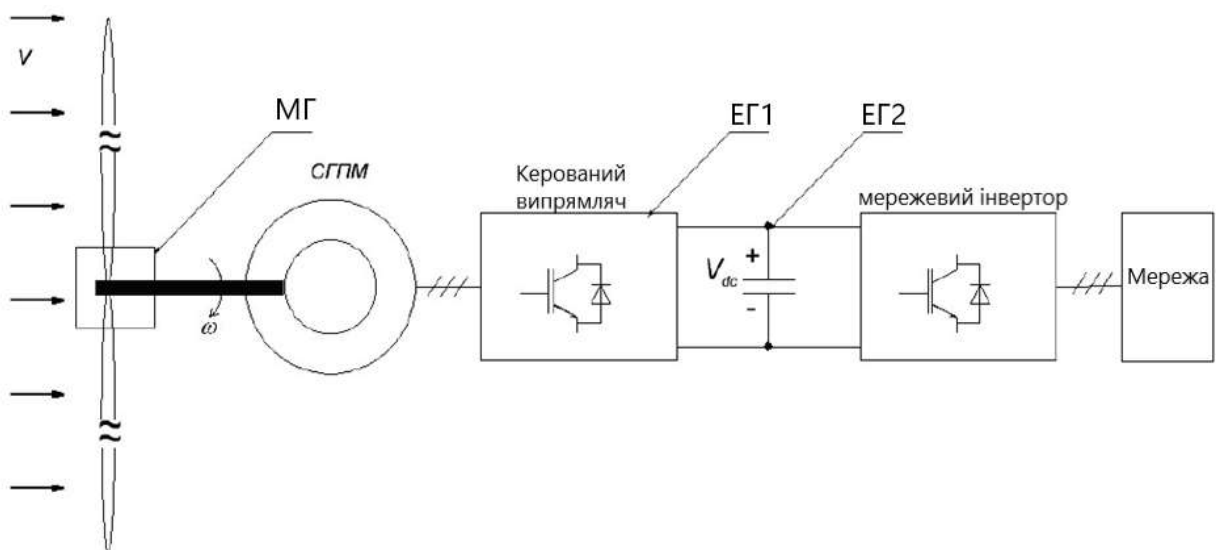


Рисунок 4.1 – Функціональний склад ВЕУ

Є кілька підходів до управління аеродинамічними зусиллями ротора турбіни з метою обмеження потужності при високих швидкостях вітру з метою запобігання поломки турбіни. Найпростіший і дешевий спосіб – пасивне управління. При такому методі обмеження лопаті жорстко кріпляться до маточини вітроколеса, а обмеження вихідної потужності здійснюється за рахунок аеродинамічної форми самих лопатей. Другий підхід – це активне управління кутом повороту лопатей при зміні швидкості вітру. Перевагою цього методу є хороше управління потужністю, можливості плавного пуску і аварійної зупинки. Особливістю даного способу є можливість отримання потужності близькою за величиною до номінальної потужності генератора при високій швидкості вітру. недоліком є ускладнення механізму регулювання, а також коливання потужності при високій швидкості вітру.

У даній роботі розглядається ВЕУ з активним управлінням кутом повороту лопатей. Управління кутом здійснюється по зміні вихідної потужності. структура такої системи представлена на рисунку 4.2, де: РП – регулятор потужності; ВМ – виконавчий механізм, в якості якого може застосовуватися гідро- або електропривод.

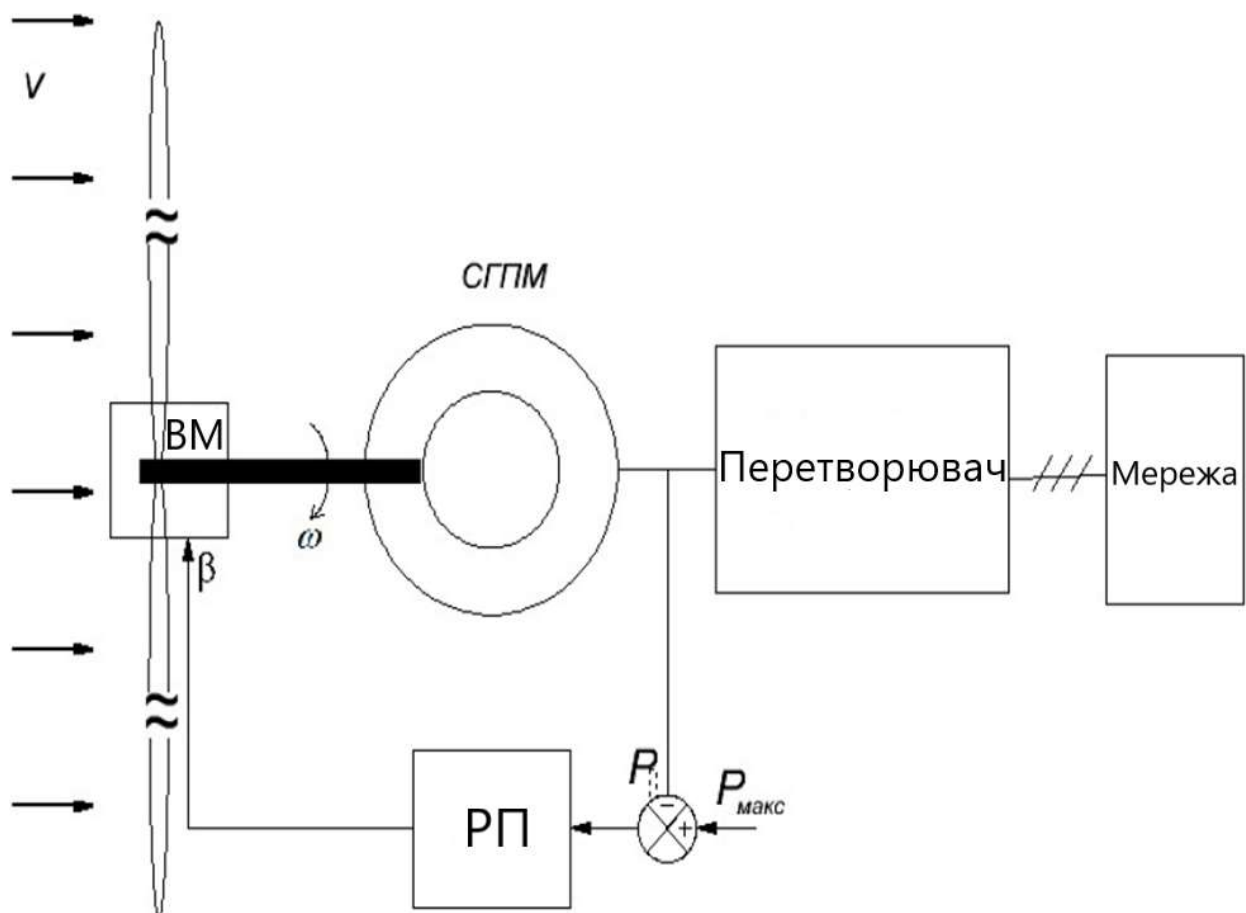


Рисунок 4.2 – Функціональна схема регулятора кута повороту лопатей

4.3 Імітаційне моделювання та його результати

Моделюванні проводилося за допомогою програми Matlab в середовищі Simulinkode23tbc змінним кроком. Загальний вигляд моделі ВЕУ представлений на рисунку 4.3.

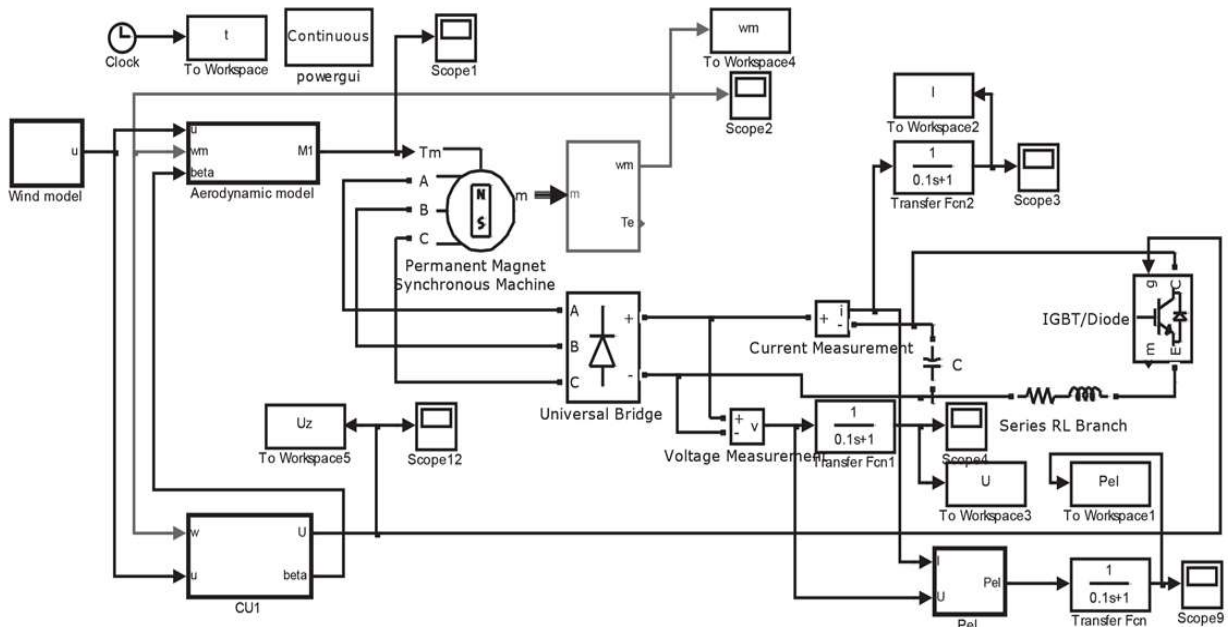


Рисунок 4.3 – Загальний вид моделі ВЕУ

В якості об'єкта моделювання була взята ВЕУ малого класу з номінальною потужністю 4 кВт, при номінальній швидкості вітру 6,5 м/с. Тип вітроколеса – трехлопадне з горизонтальною віссю обертання, радіусом 5 м. Максимальний коефіцієнт використання енергії вітру (КВЕВ) для даного типу коліс дорівнює 0,47, при значенні швидкохідності $\lambda_{ном} = 8,1$ і $\beta_{ном} = 0^\circ$. Вітроколесо забезпечена системою управління кроком, при значенні кута $\beta_{макс} = 90^\circ$ колесо флюгюрується. Передавальне число мультиплікатора 20. Генератор синхронний з постійними магнітами трифазний з номінальним моментом 24 Нм, з номінальною частотою обертання 2300 об / хв. Випрямляч трифазний мостовий некерований. Ємність конденсаторів в ланці постійного струму 0,3 мФ. В якості силового ключа для гальмівного модуля використаний IGBT транзистор. Значення гальмівного опору 2,5 Ома. Максимальне значення напруги в ланці постійного струму 300 В.

Динамічна модель вітру представлена на рисунку 4.4, заснована на описі турбулентності Девенпорт, а на рисунку 4.5 представлений результат моделювання швидкості вітру за допомогою даної моделі.

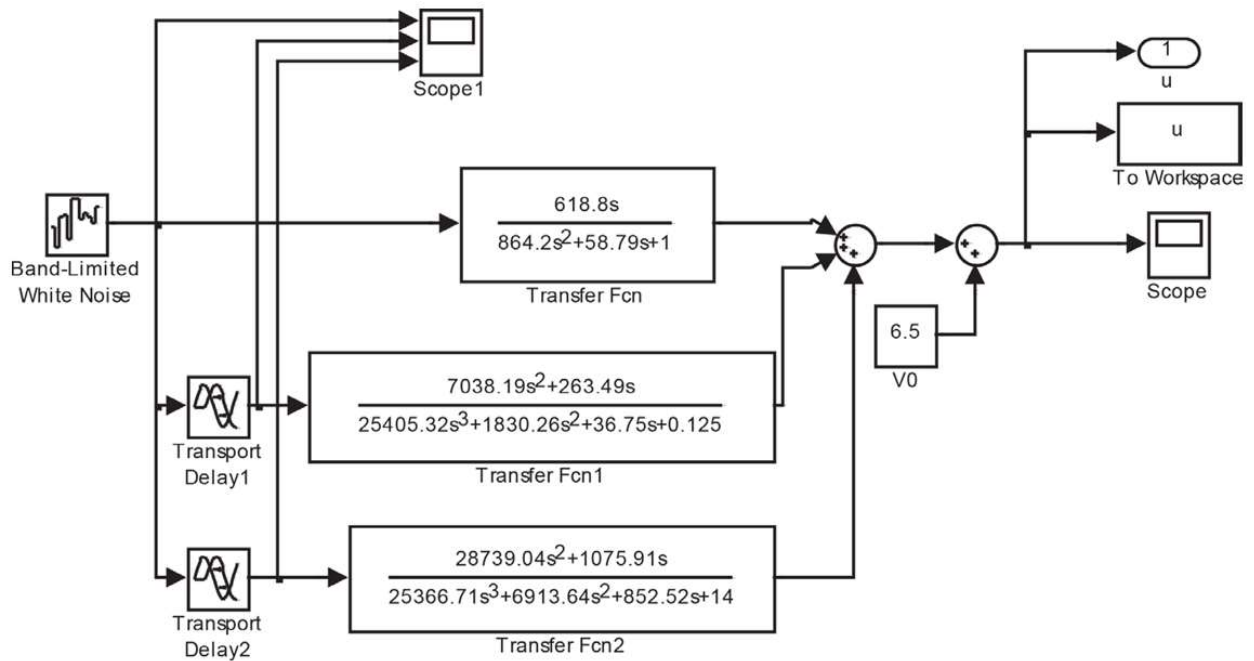


Рисунок 4.4 – Динамічна модель вітру

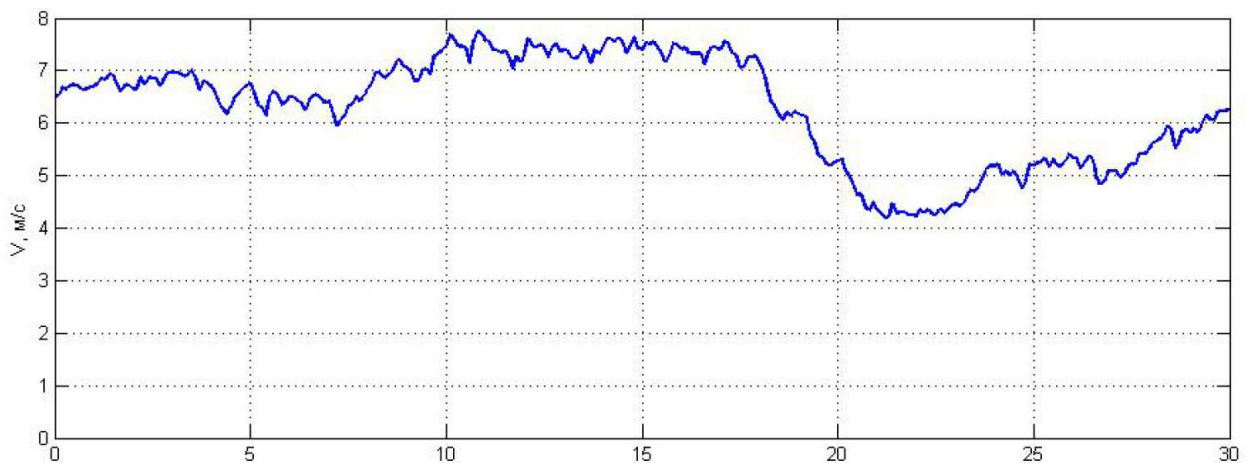


Рисунок 4.5 – Швидкість вітру

На рисунку 4.6 наведено результат моделювання коефіцієнта використання енергії вітру, а на рисунку 4.7 – значення кута установки лопатей β . Слід зазначити, що на ділянці часу від 10 до 17 с, коли швидкість вітру вище номінального значення 6,5 м / с, вступає в роботу система управління кутом, щоб не допустити перенапруження на генераторі. На ділянці часу від 19 до 30 з моделювання відбувається просадка швидкості вітру нижче номінальної, але при цьому КІЕФ прагне до свого максимального значення 0,47 для даного вітроколеса, при $\beta = 0^\circ$. Це означає, що ВЕУ працює з максимально можливим ККД для даного вітру.

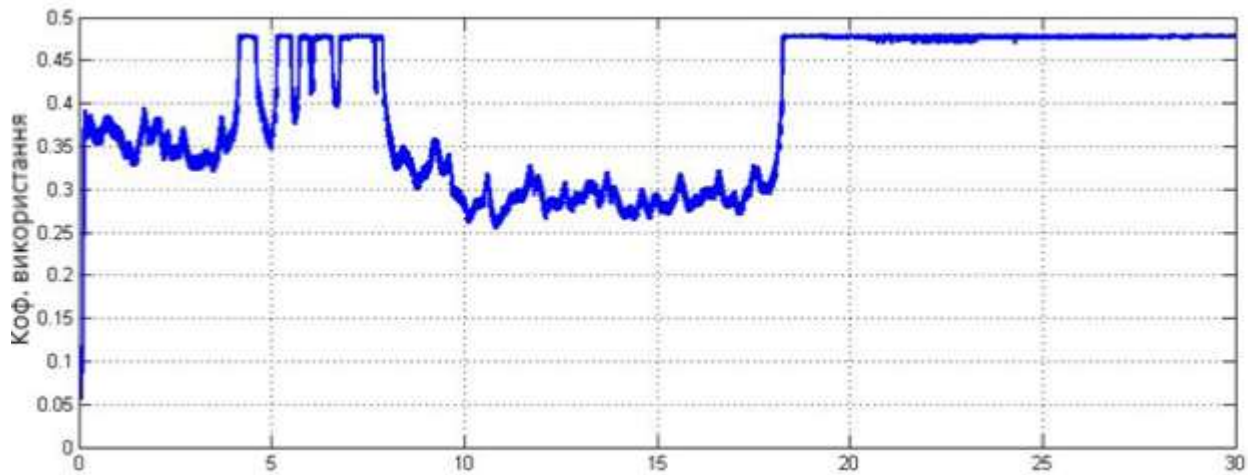


Рисунок 4.6 – Коефіцієнт використання енергії вітру

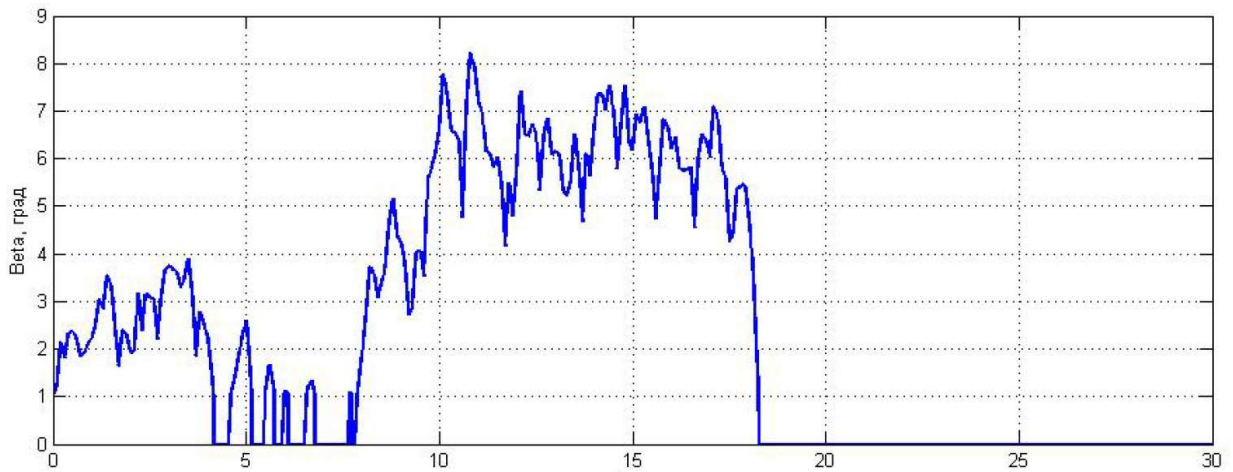


Рисунок 4.7 – Значення кута установки лопатей β

Швидкість, а отже напруга генератора при цьому повинні бути зменшені до значень менше номінальних рисунок 4.8, шляхом скидання надлишку енергії через гальмівний модуль і гальмівний резистор. Однак в якості гальмівного резистора можуть виступити різні накопичувачі енергії, здатні ефективно утилізувати енергію.

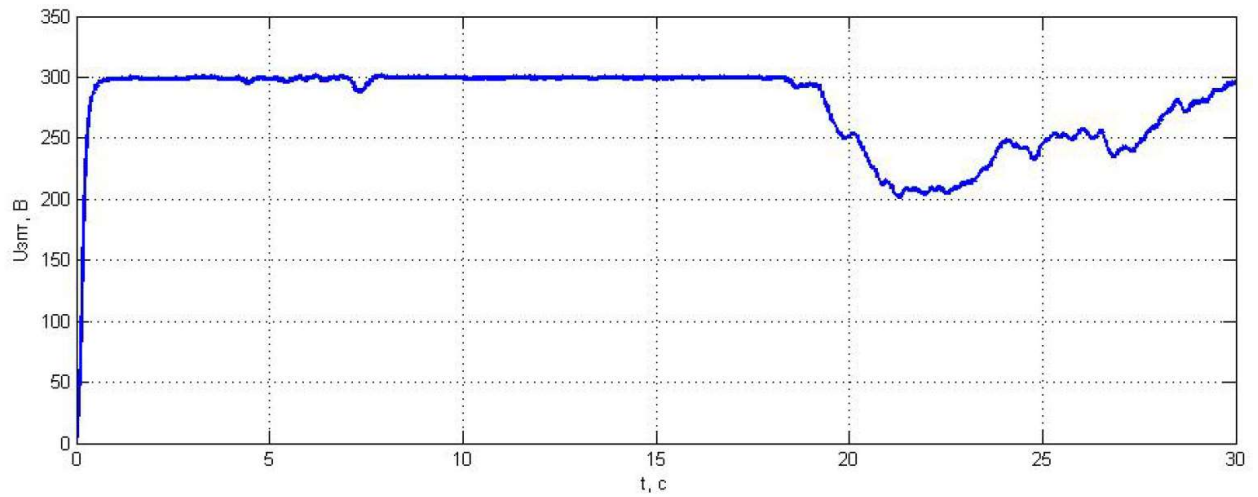


Рисунок 4.8 – Напряга в ланці постійного струму

4.4 Висновок

В даному пункті наведені результати моделювання, які показують перевагу управління за допомогою комбінації управління кутом вітроколеса і обмеженням енергії на рівні ланки постійного струму за допомогою гальмівного модуля. Представлена модель дозволяє досліджувати системи з великою кількістю параметрів, ніж стандартна модель ВЕУ в Simulink.

5 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Завдання і технічні засоби виконання експерименту

Проектування систем автоматичного управління (САУ) рухомих об'єктів являє собою складний ітераційний процес, пов'язаний з вибором структури системи і принципів її технічної реалізації, розрахунком або вибором набору параметрів, що забезпечують стабільність і якість. специфікація системи з високою надійністю її роботи.

Найбільший обсяг науково-дослідних робіт зі створення систем управління доводиться на стадію попереднього проектування. За результатами цього етапу формуються конкретні технічні умови на проектування елементів і пристроїв системи. Тому етап попереднього проектування дуже важливий і відповідальний.

Тому в процесі концептуального проектування використовується метод напівнатурального моделювання СУ. В ході цього моделювання можна перевірити взаємодію елементів системи, вибрати їх параметри, одночасно перевіряючи їх вплив на функціонування системи. Таким чином, можна говорити про просунутій конструкції СУ і виборі параметрів її елементів при напівнатуральному моделюванні. Для реалізації напівнатурального моделювання необхідне створення дослідних стендів.

В рамках дослідницьких стендів окремі елементи проектованої системи управління можуть бути реалізовані у вигляді реальних фізичних пристроїв, динамічно подібних моделей або чисельних моделей. Стенди для вивчення цифрових систем управління мають дуже складну структуру.

Універсальний дослідний стенд (УДС) містить:

1) цифровий контролер на основі сучасного однокристального мікроконтролера типу ArduinoUno, що має засоби для введення аналогових і дискретних сигналів і блок релейного комутації для реконфігурації системи управління;

2) аналогову обчислювальну машину (АВМ) на базі операційних підсилювачів з областю зберігання для моделювання об'єктів і компонентів системи управління;

3) блок електромеханічних пристроїв: двигун постійного струму з незалежним збудженням (ЕД), тахогенератор (ТГ) і імітатор навантаження на базі двигуна СЛ-267, розташований на загальному валу;

4) підсилювач потужності;

5) джерело живлення;

Для вирішення завдання напівнатурного моделювання повинні бути:

1) функціональна схема;

2) математичний опис об'єкта моделювання;

3) види і діапазони задають і впливів, що обурюють.

5.2 Методика проведення експерименту

Дії по підготовці до вирішення завдання напівнатурного моделювання:

- 1) відповідно до заданої функціональної схемою вирішити, яка частина відповідає реальним елементам, а яка частина моделюється на поле композиції;
- 2) розробка функціональної схеми моделі САУ: по заданому вхідному - вихідного рівняння об'єкта управління розробити функціональну схему САУ, вибрати або розрахувати шкалу відповідності між реальними змінними і машиною);
- 3) написати вхідний - вихідний рівняння реальної системи і моделі;
- 4) написати рівняння моделі в фізичних змінних;
- 5) прирівнявши коефіцієнти до одних і тих же похідним в рівняннях модельованого об'єкта і моделі, знайти необхідне значення коефіцієнтів моделі, що забезпечує повну відповідність рівнянь об'єкта і моделі;
- 6) розрахувати коефіцієнти операційних підсилювачів, зібрати схему і налаштувати ці коефіцієнти;
- 7) здійснити набір схеми регулятора структури системи, встановити задає і обурює впливу;
- 8) проведення експерименту;
- 9) оформити звіт з висновками та рекомендаціями щодо розробленим раніше алгоритмам.

5.3 Аналіз результатів проведення експериментів

Схема моделювання, реалізована на ПК наведена на рисунку 5.1, експеримент показаний на рисунку 5.2.

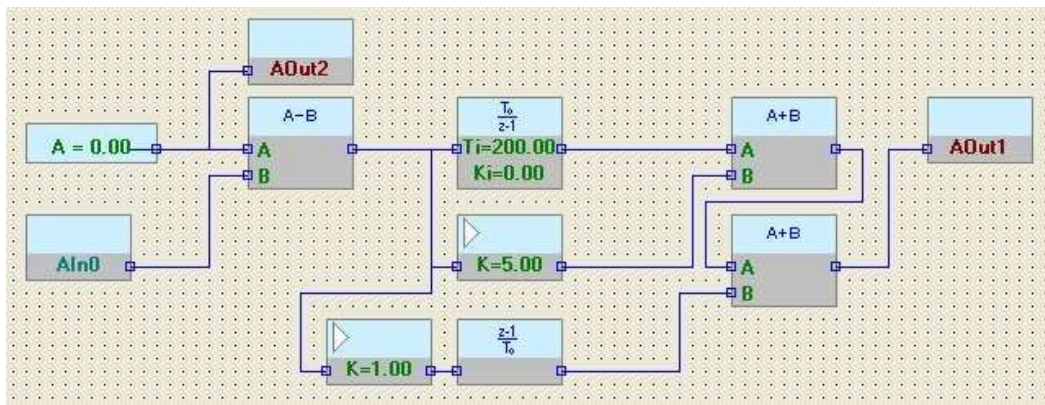


Рисунок 5.1 – Схема П-регулятора

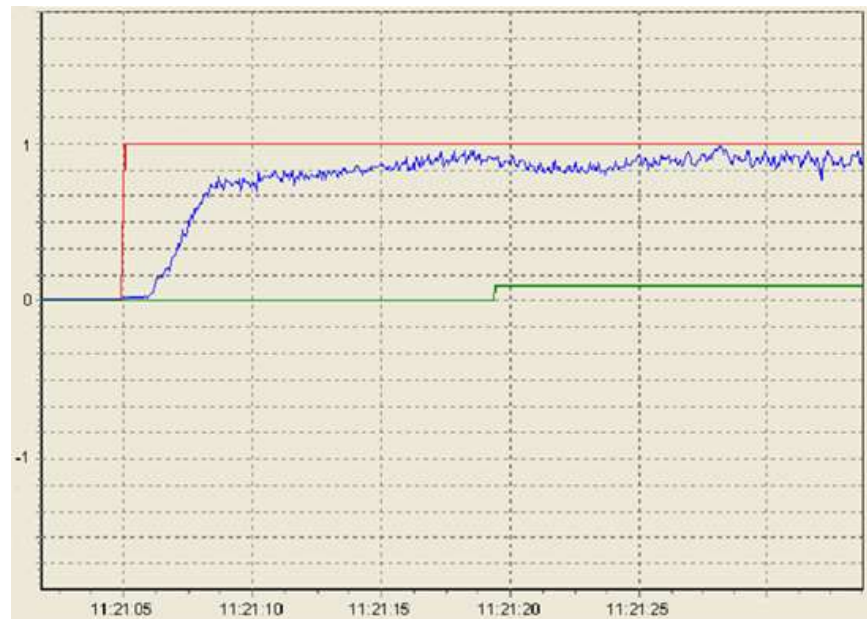


Рисунок 5.2 – Результат моделювання системи управління ВЕУ

Оцінені показники якості:

- 1) час перехідного процесу – $t_{пп}=5$ с;
- 2) перерегулювання – $\sigma=0$ %.

В процесі напінатурного моделювання та аналізу отриманих результатів було встановлено, що показники продуктивності системи відповідають вимогам технічного завдання.

Відмінності між показниками експериментального і машинного якості обумовлені різними факторами: силами тертя в приводі, похибками елементів електронної схеми і так далі.

5.4 Експериментальне дослідження перехідних характеристик системи

Для досягнення перехідного процесу на вітряну турбіну подавався постійний потік повітря зі швидкістю 5 м / с. Швидкість вимірювалась електронним анемометром.

Перехідний процес системи зображен на рисунку 5.3.

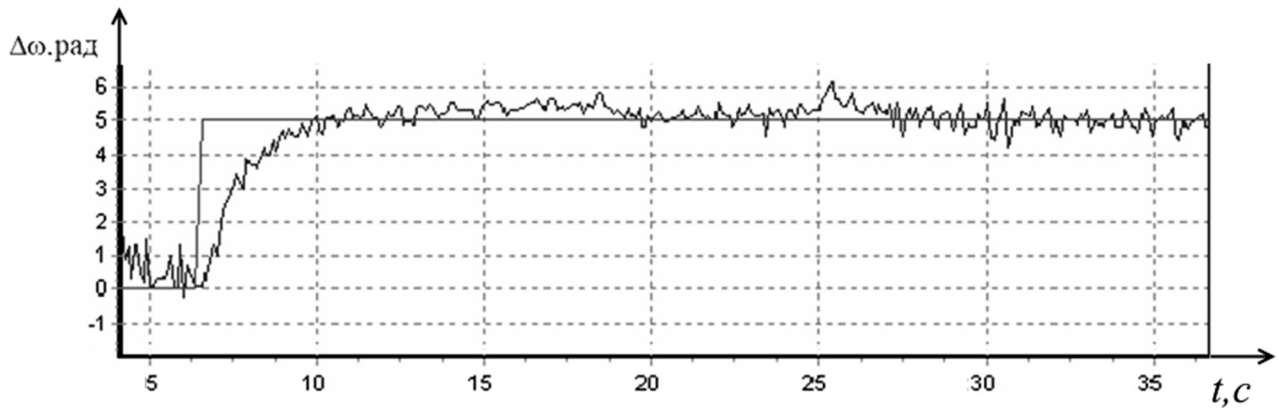


Рисунок 5.3 – Перехідний процес даної системи

Получені характеристики промодельованої системи визначені показники якості:

- 1) час перехідного процесу по задаючому впливу: $t_{пп} = 6$ с;
- 2) час перехідного процесу по обуренню: $t_{п} = 0,5$ с;
- 3) перерегулювання: $\sigma = 2\%$,
- 4) встановлена помилка: $\Delta_{уст} = 0$ В;
- 5) швидкісна помилка: $\Delta_{ск} = 0$.

В ході проведення натурального моделювання та аналізу отриманих результатів встановлено, що показники якості роботи системи задовольняють вимогам технічного завдання, саме час перехідного процесу зменшився на 0.5 секунди.

Відмінності між експериментальними і машинними показниками якості обумовлені різними факторами: силами тертя в приводі, похибкою елементів в електронних схемах і т.д.

5.4 Опис мобільного додатку

Проект представляє собою панель для користувача. Коли ви відкриваєте екран з'являється форма для входу, після підключення до блюзовому модулю ВЕУ можна побачити печаль в програмі і відображається графік вироблення електроенергії електронікою.

5.6 Керівництво користувача програмним забезпеченням

Щоб запустити розроблену програму в робочому режимі треба виконати наступні дії:

- 1) Включити блютуз на мобільному пристрої;
- 2) Відкрити розроблене програмне забезпечення;
- 3) Натиснути кнопку на потрібний пристрій та підключитися, де відображається графік.

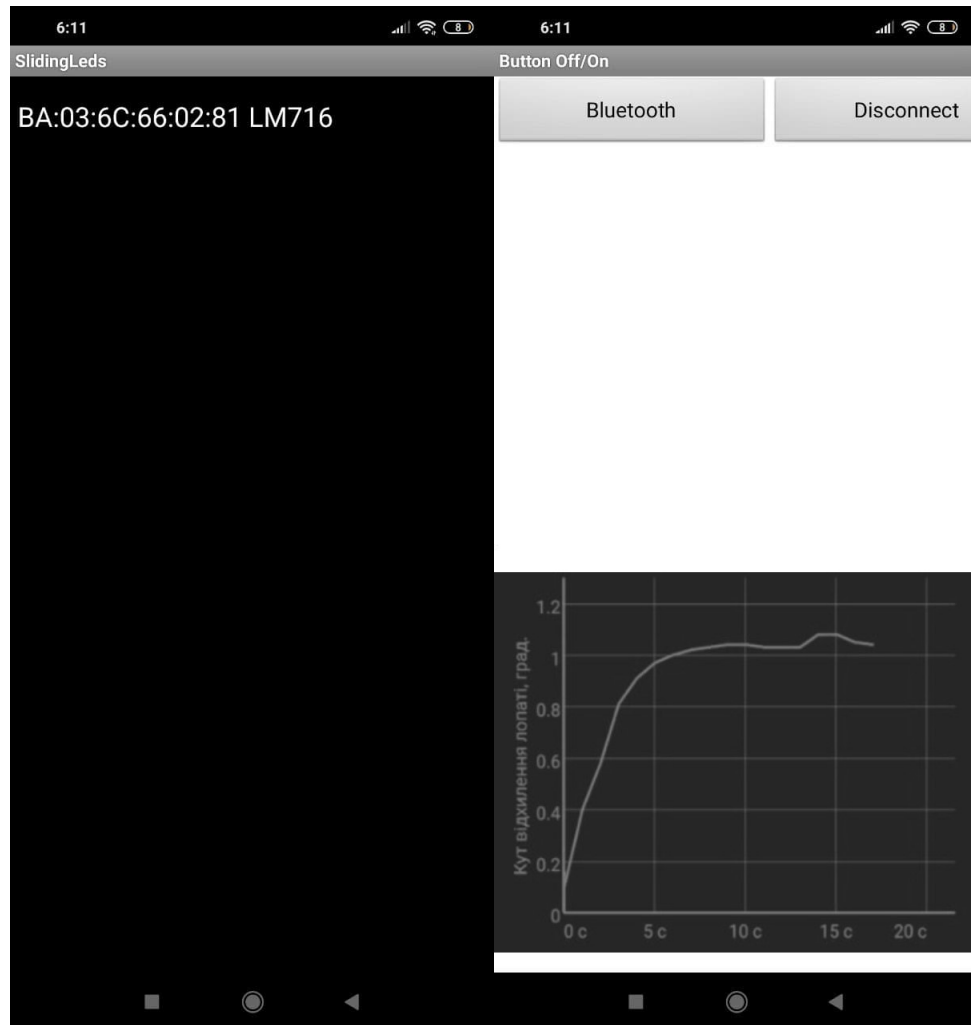


Рисунок 5.4 – Скріншоти роботи програми

5.7 Висновки

В рамках реалізації даної статті були проведені експериментальні і теоретичні дослідження системи. Можна сказати, що система працює справно. На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що експериментальні властивості системи не повністю відповідають теоретичним. Ця невідповідність виправдано тим фактом, що теоретичне моделювання виконується в ідеальних умовах, а експериментальне моделювання – ні.

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА. РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ КУТА ПОВОРОТУ ЛОПАТЕЙ РОТОРНО-ВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ

6.1 Мета економічного розділу

В роботі розробляється плата управління вітрогенератора.

Для отримання прибутку від вкладеного капіталу потрібно провести попередню підготовку техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) інноваційного проекту. Розмір отриманого доходу безпосередньо залежить від того, як якісно та грамотно підготовлена інформація про проект інвесторам.

Чіткі розрахунки та обґрунтування дозволить мінімізувати можливі ризики проекту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) розрахувати трудомісткість виконання робіт;
- 2) скласти кошториси витрат на розробку додатку;
- 3) провести розрахунок заробітної плати, визначити вартість додатку та розрахувати очікуваний прибуток від реалізації системи.

6.2 Розрахунок собівартості вітрогенератора

Було визначено, що для ведення всього проекту в цілому і керівництва ходом робіт необхідна посада керівника, для проектування системи, її подальшого налагодження та введення в експлуатацію необхідна участь розробника та монтажника основних компонентів.

Наведемо перелік робіт для розробників програмного продукту. Було встановлено тривалість робіт для кожного із співробітників, а також тривалість роботи над проектом в цілому.

6.3 Сегментація ринку

Сегментація ринку – це процес поділу споживачів на групи з урахуванням різних принципів і факторів сегментації. У процесі сегментації виділяють сегменти базару.

Розроблювана система поставляється заводам, підприємствам, приватним особам, які займаються розробкою, складанням і налагодженням стендів, виробникам авіаційного транспорту, а також виробникам різних виробів, де використовуються стабілізуючі пристрої. Оскільки дані системи виробляються на замовлення, то сегментування ринку доцільно проводити за кінцевим замовником.

Основною характеристикою сегмента є ємність – кількість виробів, які можуть бути продані в рік.

Повна потреба сегменту розраховується з урахуванням конкретних особливостей товару і сегментів. Для багатьох видів товарів індивідуального і промислового призначення $S_{1пол.i}$ можна розрахувати по наступній формулі:

$$S_{1\text{пол.}} = N_1 \cdot Q_1 \cdot m_1,$$

де N_1 – кількість підприємств споживачів виробу в i -му сегменті;

Q_1 – середня річна програма виробів в i -му сегменті, для яких буде постачатись розглянутий товар;

m_1 – кількість комплектуючих виробів, необхідних для виробництва одного виробу (1 шт.)

Таблиця 6.1 – Сегментування і розрахунок повної ємності ринку

Виробник	Завод-виробник			
	N_1	Q_1 , шт	m_1 ,шт	S_1 ,шт/рік
«Новатор»	1	15	1	17
«Антонов»	1	25	1	27
Озброєні сили України	1	20	1	22
Разом	3	60	3	66

Як видно з таблиці 6.1 повна ємність ринку складає 60 шт./рік.

6.4 Аналіз конкурентноспроможності

Конкурентоспроможність товару – це ступінь його відповідності обраному ринку з комерційних, технічних і економічних показників, забезпечуючи можливість збуту товару на цьому ринку. Це ті характеристики, які вигідно вирізняють даний товар від товарів-конкурентів.

Проведемо аналіз конкурентноспроможності нового виробу, за допомогою узагальненого показника якості, який враховує всю систему основних одиничних показників, і характерний для даного пристрою.

У процесі аналізу ринку збуту були виявлені основні конкуренти на українському ринку, такі як PLX Devices, OCZNIA. Головною відмінністю їх виробів від розроблюваної системи є те, що їх системи аналогові, а не цифрові. Також є відмінності у технічних характеристиках, які будуть наведені нижче.

При порівнянні варіантів використовується наступний порядок розрахунку.

1. Виділяються еталонні значення окремих показників якості і формується гіпотетичний варіант.

Гіпотетичний варіант – штучно створений варіант, в якому кожен показник має найкраще можливе значення.

2. Кожному показнику якості присвоюємо коефіцієнт вагомості, в сумі рівні 1.3.

Розраховується відносне значення одиничних показників шляхом порівняння P_{ij} із $P_{i\text{гіп}}$ з урахуванням того, що для гіпотетичного варіанти відносні показники дорівнюють одиниці ($K_{i\text{гіп}} = 1$), для інших $K_{ij} \leq 1$.

$$K_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_{i\text{гип}}}$$

де P_{ij} – абсолютні значення i -го показника для j -го варіанту;

$P_{\text{гип}}$ – абсолютні значення i -го показника для гіпотетичного варіанти

Отримані результати наведені в табл. 6.2

Таблиця 6.2 – Аналіз конкурентоспроможності

Показники якості	Коефіцієнт вагомості	Абсолютні значення показників якості				Відносні значення показників якості							
		1	2	3	4	1		2		3		4	
		Розроблювани	PLXDevices	OCZ NIA	Гіпотетичний	Ki1	K _{i1} *b _i	Ki2	K _{i2} *b _i	Ki3	K _{i3} *b _i	Ki4	K _{i4} *b _i
Точність стабілізації	0.4	9	10	7	10	0.9	0.41	1.0	0.4	0.70	0.28	1.00	0.4
Здатність підлаштовуватися під зміну параметрів	0.15	10	9	7	10	1.0	0.15	0.9	0.12	0.70	0,1	1.00	0,15
Швидкодія	0.25	9	19	6	10	0.9	0.22	1.0	0.25	0.60	0.15	1.00	0.25
Складність реалізації	0.1	8	10	5	10	0.8	0.08	1.0	0.1	0.50	0.005	1.00	0.1
Напрацювання на відмову	0.1	9	7	10	10	0.9	0.09	0.8	0.08	1.00	0.1	1.00	0.1
Разом	1	45	55	35	50	4.5	0.95	4.7	0.95	3.5	0.63	5	1.00

Виходячи з результатів порівняльного аналізу, найбільше значення показника якості має розробляється виріб. Найближчим конкурентом є продукція PLX Devices. Рівень якості пропонованого виробу порівняно з цим конкурентом становить:

$$Y_{\text{н-6}} = Y_{1-2} = \frac{K_1^0}{K_2^0} = \frac{0,95}{0,95} = 1$$

Порівняння виробів, присутніх на українському ринку, показало, що розробляється продукт забезпечує найбільшу точність стабілізації.

За отриманими рівнем якості можна зробити висновок, що становище на ринку виробу, буде стійким.

6.5. Розрахунок собівартості вітрогенератора за участю виконавців роботи

У таблиці 6.3 показані співробітники, які працюють над реалізацією даного проекту, а також їх щоденні та щомісячні посадові оклади. Перелік робіт виконуваних співробітниками і їх тривалість наведена в таблиці 5.2 і становить 22 робочих / днів у місяці.

Проведемо розрахунки с урахуванням рівня фахівців, які будуть приймати участь в розробці.

Таблиця 6.3 – Склад виконавців роботи

Посади	Посадові оклади, грн	
	Місячні	Денні
Керівник	12800	581
Конструктор	9800	445
Монтажник	5200	236
Програміст	9000	409

Таким чином, денні оклади керівника, конструктора, монтажника та програміста складають 581 грн., 445 грн. 236 грн., 409 грн. відповідно. Результати розрахунків тривалості розробки за видами робіт містяться в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Розрахунок трудомісткості робіт

Вид робіт	Тривалість, дні	Трудомісткість, чол./дні	Виконавці			
			Керівник	Конструктор	Монтажник	Програміст
Попередня робота						
Постановка задачі	1	1	+	-	-	-
Розробка графіку роботи	1	1	+	-	-	-
Технічне завдання (ТЗ)						
Розробка ТЗ	1	3	+	+	+	+
Розробка системи керування	2	4	+	+	-	+
Розробка вітрогенератора	6	6	+	+	-	-
Розробка програми	2	4	+	-	-	+
Налаштування	1	2	+	+	+	+
Проектування стенду						
Підготовчі роботи	1	3	+	+	+	+
Складальні роботи	2	4	+	+	+	-
Монтажні роботи	3	5	+	+	+	-
Розробка алгоритмів	3	6	+	-	+	+
Впровадження						
Налагодження продукту	2	4	+	+	+	-
Випробування та здача в експлуатацію	1	3	+	+	+	-
Всього	26	46	13	9	8	6

Розрахунок собівартості робіт починається з розрахунку основної заробітної плати (ЗП). Обчислення ЗП розробників лабораторного стенду формується з урахуванням трудовитрат, кількості виконавців і середньоденної ЗП. Для цього кількість днів, відпрацьованих окремими виконавцями за стадіями, множимо на їх денні оклади:

$$\text{ОЗП} = 13 \cdot 581 + 9 \cdot 445 + 8 \cdot 236 + 6 \cdot 409 = 15\,900 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата складе:

$$\text{ДЗП} = \frac{20\% \cdot 15900}{100\%} = 3\,180 \text{ грн.}$$

Розрахунок вартості виробів, необхідних для виготовлення лабораторного стенду, наведено в табл. 6.5. Ціни наведено в гривнях.

Таблиця 6.5 – Перелік покупних виробів

Найменування покупних виробів	Тип	Кількість виробів на один прилад	Ціна за одиницю виробу (грн)	Сума (грн)
Драйвер	L298N	1	153	153
Керуюча плата	Arduino Uno ATmega328	1	182	182
Кроковий вигун	NEMA-17	1	315	315
Двигун	Siaoke 90TDY060D4-2	1	327	327
Діодний міст		1	17	17
Дроти	JUMPERS-FM-100MM	1 упаковка	26	26
Акумулятор	ZOP Power 11.1V 5000мАч 30С	1	1010	1010
Металева вежа	-	1	40	40
Разом:				2070

Таблиця 6.4 – Ціна основних засобів

Основні засоби	Ціна за одиницю, грн.	Кількість, шт.	Ціна, грн.
Комп'ютерний стіл	1200	2	2400
Стілець	400	2	800
Комп'ютер	10 000	1	10000
Принтер	1000	1	1000
Лампа настільна	250	2	500

Продовження таблиці 6.4

Паяльна установка (з основними елементами припою)	626	1	626
Робочій стіл з лещатами	1450	1	1450
Всього			16776

Норма амортизації становить 25% від основних коштів, для виготовлення 1 виробу, що розраховується по формулі:

$$A_m = \frac{OC \cdot 0.25 \cdot D_p}{D_r},$$

де OC – вартість обладнання;

D_p – тривалість робочих днів;

D_r – кількість робочих днів у році.

$$A_m = \frac{16776 \cdot 0.25 \cdot 27}{264} = 428,93$$

Розрахунок собівартості і договірної ціни наведено в табл. 6.7

Таблиця 6.7 – Розрахунок собівартості виробу за статтями

№	Статті	Сума, грн	Примітки
1	Основна заробітна плата (ОЗП)	15900	$OЗП = \sum N_i \cdot ЗП_{ср}$
2	Додаткова заробітна плата (ДЗП)	3180	20% від ОЗП
3	Єдиний соціальний внесок	4197,6	22% від (ОЗП+ДЗП)
4	Матеріали та куплені вироби	16776	Із табл. 5
5	Амортизація	428,93	$A_m = \frac{OC \cdot 0.25 \cdot D_p}{D_r}$
6	Витрати на утримання обладнання	1677,6	10% від вартості основних засобів
7	Додаткові витрати	6360	40% від ОЗП
8	Виробнича вартість (С)	48520,13	п.1+п.2+п.3+...+п.7
9	Адміністративні витрати	7155	45% від ОЗП
10	Витрати на збут	1213	2.5% від п.8

Продовження таблиці 6.7

11	Собівартість власних робіт	105 408,26	п.1+п.2+п.3+...+п.10
12	Прибуток (П)	21 081,65	20% відп.11
13	Ціна без ПДВ	126 489,91	П+п.11
14	ПДВ	25 297,98	20% від ціни без ПДВ
15	Ціна з ПДВ	151 787,89	п.13+п.14

Таким чином, собівартість власних робіт з розроблення лабораторної установки складає – 105 408,26 грн., а його ціна з врахуванням ПДВ–151 787,89 грн.

Кількість замовлених екземплярів має бути не менше, ніж 60 шт.

Виробничу собівартість одного екземпляру лабораторної установки (ВС) визначають за формулою:

$$BC_0 = \frac{BC}{KPP}$$

де ВС – виробнича вартість;

КПП – кількість замовлених екземплярів.

$$BC_0 = \frac{48520,13}{60} = 808,66 \text{ грн.}$$

Повна собівартість одного екземпляру складається з суми виробничої собівартості (BCП), адміністративних витрат (AB) і витрат на збут (BЗ), які приходяться на один екземпляр виробу:

$$CP_0 = BC_0 + AB_0 + BZ_0$$

Адміністративні витрати AB₀, які приходяться на один екземпляр виробу, визначається формулою:

$$AB_0 = \frac{AB}{KPP}$$

$$AB_0 = \frac{7155}{60} = 119,25 \text{ грн}$$

Витрати на збут BЗ₀, які приходяться на один екземпляр виробу, визначається формулою:

$$BZ_0 = \frac{BZ}{KPP}$$

$$BЗ_0 = \frac{1213}{60} = 20,21 \text{ грн}$$

Таким чином, $СП_0 = 808,66 + 119,25 + 20,21 = 948,12$ грн.

Рентабельність продукції (норма прибутку) – це відношення загальної суми прибутку до витрат виробництва і реалізації продукції (відносна величина прибутку, що припадає на 1 грн. поточних витрат):

$$P_{\pi} = \frac{\text{Ц} - \text{BC}}{\text{BC}} \cdot 100\%,$$

де Ц – ціна одиниці продукції;

BC – собівартість одиниці продукції.

$$P_{\pi} = \frac{126\,489,91 - 48\,520,13}{48\,520,13} \cdot 100\% = 16\%$$

Отже, рентабельність складає 16%.

Розрахуємо величину оптової ціни одного виробу ЦПП (без врахування ПДВ):

$$\text{ЦПП} = \text{СП} \cdot \left(1 + \frac{P_{\pi}}{100}\right),$$

де P_{π} – коефіцієнт рентабельності.

$$\text{ЦПП} = 315,77 \cdot \left(1 + \frac{17}{100}\right) = 369,45 \text{ грн.}$$

6.6 Розрахунок точки беззбитковості

При впровадженні у виробництво приладу важливо знати, чи стане цей виробничий процес рентабельним і чи буде він приносити бажаний прибуток. Для цього необхідно визначити точку беззбитковості (ТБ) і зобразити її графічно.

Для підтвердження стійкості проекту необхідно, щоб значення ТБ було менше значень нормальних обсягів виробництва. Чим далі від них значення ТБ (у відсотковому співвідношенні), тим стійкіше проект.

Дохід від реалізації виробів знаходимо множенням ціни одного ПП на кількість замовлених екземплярів ПП:

$$ДР = \text{ЦПП} \cdot \text{КПП}$$

$$ДР = 369,45 \cdot 100 = 36\,945$$

Аналітичний розмір критичної програми (РКП) розраховують діленням постійних витрат $РП_{\text{ост}}В$ на різницю між ціною одного виробу ЦПП і змінними витратами, які приходяться на один виріб ($З_{\text{м}}В_0$), тобто:

$$РКП = \frac{РП_{\text{ост}}В}{ЦПП - З_{\text{м}}В_0}$$

Річні постійні витрати $РП_{\text{ост}}В$ складаються із суми наступних витрат:

$$РП_{\text{ост}}В = ВУО + А_{\text{м}} + ДВ + АВ + ВЗ,$$

де ВУО – витрати на утримання обладнання;

$А_{\text{м}}$ – амортизація;

ДВ – додаткові витрати;

АВ – адміністративні витрати;

ВЗ – витрати на збут.

$$РП_{\text{ост}}В = 16776 + 428,93 + 6360 + 7155 + 1213 = 31932,93 \text{ грн.}$$

Річні змінні витрати $РЗ_{\text{м}}В$ складаються із суми наступних витрат:

$$РЗ_{\text{м}}В = ВМ + ФОП + ЄСВФОП,$$

де ВМ – матеріали та куплені вироби;

ФОП – фонд оплати праці;

ЄСВФОП – єдиний соціальний внесок.

$$РЗ_{\text{м}}В = 2070 + (15900 + 3180) + 4197,6 = 25347,6 \text{ грн.}$$

Змінні витрати, які приходяться на один виріб, визначаємо діленням річних змінних витрат на річну програму випуску виробу:

$$З_{\text{м}}В_0 = \frac{РЗ_{\text{м}}В}{КПП}$$

$$З_{\text{м}}В_0 = \frac{25347,6}{60} = 422,46 \text{ грн.}$$

$$РКП = \frac{31932,93}{1099,81 - 422,46} \approx 47 \text{ шт.}$$

Річний дохід в точці беззбитковості:

$$ДР_{\text{БЗ}} = 1099,81 \cdot 47 = 51691,07 \text{ грн}$$

Графічне представлення точки беззбитковості представлено на рисунку 6.1

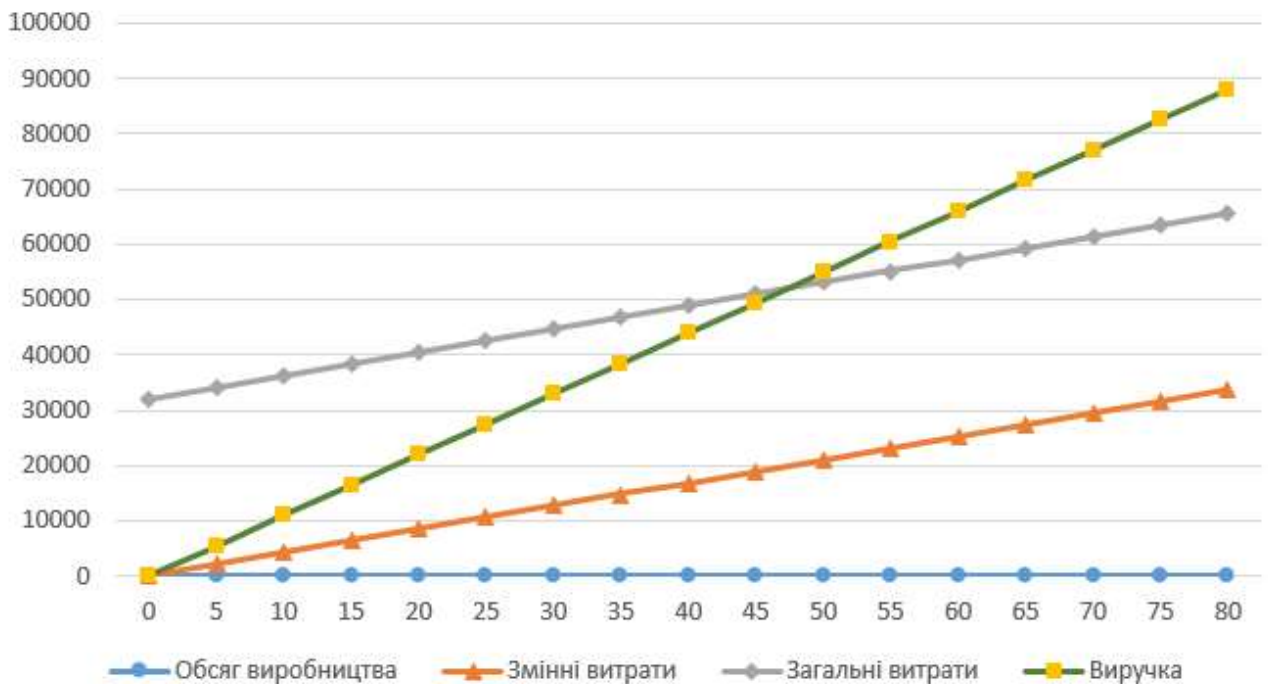


Рисунок 6.1 – Графік беззбитковості

6.5 Висновки

Були проаналізовані існуючі аналоги, що пропонує ринок аналізу даних. Конкурентоспроможність розроблюваного додатку підтверджується порівняльними даними інших фірм розробників, та підтверджується собівартістю системи, з урахуванням всіх пунктів розрахунку економічної частини.

В даному розділі був проведений розрахунок двох варіантів собівартості програмного продукту. Виходячи з проведеного аналізу, встановлена собівартість складає 105 408,26грн.

Розрахунок зроблений з урахуванням і всіх необхідних трудовитрат, ПДВ, відрахувань в пенсійний фонд, фонд зайнятості і відрахувань на соціальне страхування, накладних витрат. Розроблений продукт має хороші показники якості. Він має високу надійність, довговічність. Згідно з розробкою новітніх технологій створення мобільних роботів, які значно допомагають у рішення задач інтелектуального аналізу переміщення рухомого об'єкта в повітрі. Даний програмний продукт являється вигідним, з точки зору, всіх розрахунків, що показують точку беззбитковості. Виходячи з отриманих даних, можна сказати наступне, що даний проект по розробці мобільного робота, є хорошим конкурентом на ринку товарів, а саме своєю відносно невисокою ціною

комплектуючого обладнання, масогабаритними розмірами, а також точним і якісним управлінням.

Відповідно до графіку, після 47 впроваджень вітрогенератора, розроблювана система вийде на рівень прибутку. Ціль поставлена в початку розділу, а саме, розрахунки собівартості мобільного робота було досягнуті. Та проведені всі поточні розрахунки.

ВИСНОВКИ

В рамках даної дипломної роботи була розроблена система управління роторною-вітроелектростанцією. Для розробки системи були обрані всі необхідні елементи, отримані математичні моделі настройки і впливів, що обурюють, оцінені властивості моделі та визначено необхідні показники якості.

В ході цієї роботи було проведено аналіз існуючих рішень, за результатами якого були знайдені рішення, які або складно вивчити, або мають високу вартість. Для розробки системи були обрані всі необхідні елементи, отримані математичні моделі встановлюють і впливів, що обурюють, оцінені властивості моделі та визначено необхідні показники якості. Розроблено функціональну схему системи автоматичного управління, на основі якої побудована структурна схема вітрогенератора. Побудовано характеристики для системи автоматичного управління (САУ).

Крім того, було створено пристрій цифрової корекції, яке може забезпечити задані показники якості розроблюваної системи. Отримано властивості моделі коректируемой системи, проведена її експериментальне відпрацювання і отримані її динамічні властивості. Після обробки всіх отриманих даних з'ясувалося, що пристрій корекції спроектовано так, щоб забезпечувати всі необхідні показники якості.

Було алгоритм роботи системи управління ВЕУ. Були обрані методи реалізації: датчики, мікроконтролери та виконавчі пристрої, розроблені інтерфейсні і функціональні модулі.

Також були реалізовані експериментальні і теоретичні дослідження системи. Можна сказати, що система відпрацьовує адекватно. На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що експериментальні характеристики системи не повністю відповідають теоретичним характеристикам. Ця невідповідність виправдано тим, що теоретичне моделювання проводиться в ідеальних умовах, а експериментальне – ні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Невичерпна енергія. Кн. 1. Вітроелектрогенератори/ В.С. Кривцов, А.М. Олійник, А.И. Яковлев. – Підручник. – Харків.: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», Севаст. нац. техн. ун-т, 2003.– 400 с.;
2. Кривцов В.С., Шефтер Я.І., Яковлев А.І. Вітроенергетика. - Харків: ХАІ, 2004. – 519с.;
3. Невичерпна енергія. Кн. 2. Вітроелектрогенератори/ В.С. Кривцов, А.М. Олійник, А.И. Яковлев. – Підручник. – Харків.: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», Севаст. нац. техн. ун-т, 2004.– 519 с.;
4. Суббота А. М. Майбутнє енергетики – альтернативні джерела енергії / А. М. Суббота, Д. А. Гаєвая // Радіоелектрон. і комп'ют. системи. – 2010. – № 4. – С. 125–132. – Бібліогр.: 7 назв. – рос.;
5. Суббота А. М. Система управління вітроенергетичної установкою / А. М. Суббота, И. Ю. Дибська, А. В. Заболотный //Радіоелектрон. і комп'ют. системи. – 2009. – № 3. – С. 61–67;
6. Апаратура радіоелектронна. Миючі засоби. Склад, властивості і область застосування. - Натомість ОСТ 4 ГО.029.200. -Введить. 01.01.86. - 1986. - 58 с. ;
7. Апаратура радіоелектронна. Складально-монтажне виробництво. Установка електро-радіо елементів на друковані плати. Типові технологічне-ські операції. - Натомість ОСТ4 ГО.054.088. -Введить. 01.07.86. - 1986. - 67 с. ;
8. Установки електричні вітрові: Загальні тех- нічні вимоги: ДСТУ 4037-2001/ Ред. Григор'єва. - К.: Держстандарт України, 2001. - 28 с. ;
9. Кашкаров А.П. Вітрогенератори, сонячні батареї і інші корисні конструкції: - М .: ДМК Пресс, 2011. - 144 с. 11. Журнал "Винахідник і раціоналізатор", 2009, № 7, с. 26.;
10. Безруких П.П., Буш Н, Ланберг Л., Старков А.Н. Ветровой атлас России. Сайт компании “TransGas Industry”, 2008.
11. Рекомендації та пропозиції щодо створення стійких і економічно ефективних локальних систем електропостачання сільських поселень від 100 до 500 дворів на основі комплексного використання альтернативних джерел електроенергії / Інструктивно-метод.видання. - М .: ФГНУ «Росінформагротех», 2009. - 224 с. ;
12. Мудров А.Г., Мудрова А.А. Проблеми енергозбереження. // Вісник Казанського державного аграрного університету. 2012. Т. 23. № 1. - С. 98-101;
13. Енергетичні установки і навколишнє середовище: / Под ред. проф. Маляренко В.А. - Харків: ХНАМГ, 2002. - 398 с.;
14. В.А.Маляренко "Введення в інженерну екологію енергетики", Харків: ХНАМГ, 2001., 166с. ;
15. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії. (т.2, 3, 4, 5 серії) ;
16. Том 2. Невичерпна енергія. Вітроелектрогенератори / В.С. Кривцов, О.М. Олейніков, О.І. Яковлев – Х.: Національний аерокосмічний університет

«ХАІ», Севастополь: Севастопольський національний технічний університет, 2003.– 400с. ;

17. Том 3. Невичерпна енергія. Вітроенергетика / В.С. Кривцов, О.М. Олейніков, О.І. Яковлев – Х.: Національний аерокосмічний університет «ХАІ», Севастополь: Севастопольський національний технічний університет, 2004. – 519с. ;

18. Т.4. Невичерпна енергія. Альтернативна енергетика / В.С. Кривцов, О.М. Олейніков, О.І. Яковлев – Х.: Національний аерокосмічний університет «ХАІ», Севастополь: Севастопольський національний технічний університет, 2006.– 643с. ;

19. Том 5. Невичерпна енергія. Вітроводнева енергетика. / В.І.Кривцова, О.М. Олейніков, О.І. Яковлев – Х.: Національний аерокосмічний університет «ХАІ», Севастополь: Севастопольський національний технічний університет,, 2007.– 680с. ;

20. Володимир Сидорович. Світова енергетична революція: Як поновлювані джерела енергії змінять наш світ. - М.: Паблішер, 2015. - 208 с. - ISBN 978-5-9614-5249-5;

21. Д. де Рензо, В. В. Зубарев Вітроенергетика. Москва. Енергоатоміздат, 1982 ;

22. Е. М. Фатев Питання вітроенергетики. Збірні статей. Видавництво АН СССР, 1959;

23. В. І. Саранчук, М. О. Ільяшов, В. В. Ошовський, В. С. Білецький. Хімія і фізика горючих копалин. — Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. — с. 600. ISBN 978-966-317-024-4 ;

24. УНІАН: «За даними Держстату, впродовж останніх двох років Україна суттєво збільшила обсяг виробництва електроенергії альтернативними джерелами»;

25. «В Краматорську до лютого налагодять виробництво 3 МВт вітротурбіни» – "Українська енергетика UA-Energy.org" ;

26. «Українці побудують перший вітропарк в Казахстані» – Економічна правда;

27. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття; під заг. ред. А. К. Шидловського, М. П. Ковалка. — К. : Українські енциклопедичні знання. – 2001. — 398 с.;

28. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Кн. 5 : Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі / Т. О. Бурячок, З. Ю. Буцьо, Г. Б. Варламов, С. В. Дубовської, В. А. Жо-втянський; Наук. ред. В. Н. Клименко, Ю. О. Ландау, І. Я. Сігал. — 2013. — 390 с.;

29. Застосування альтернативного джерела енергії на об'єктах автосервісу компанії ВАТ «ТАТНАФТА» по автодорозі М7 С.Ю. Дмитрієв;

30. Volume of the Conference “The First German-Russian Week of the Yong Researcher”. Moscow, June 2012. Printed by: “Informpress-94”, p. - 42.;

31. Base Power Generating Facilities And Technologies: Principles, Desing And Environmental Aspects/ Workbook on a learning module to support teaching in

Environmental Engineering and Management / Edited by Vitalij. A. Maliarenko, Dr. Sci. (Eng.), Prof.– Kharkov –Dandy–Vaasa. Printing and Publishing Division, KSAME 2002.– 282 pp.;

32. Журнал "Енергосбереження", 2009, № 4, с. 32-34;
33. Журнал "Новини енергетики", 2010, № 3;
34. Електронно-цифрова бібліотека Європейського патентного відомства;
35. Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент)
<http://www.rupto.ru/> ;
36. Державне підприємство «Український інститут промислової власності»: www.ukrpatent.org ;
37. Державна служба інтелектуальної власності України: www.sips.gov.ua. ;
38. <http://www.findpatent.ru/> ;
39. <http://uapatents.com/> ;
40. http://www.business.ua/articles/tehnology/Tok_shou-65084/ ;
41. <http://www.uspto.gov/patents/process/search/index.jsp> ;
42. <http://patents.ic.gc.ca/opic-cipo/cpd/eng/search/advanced.html> ;
43. http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP ;
44. <http://www1.fips.ru/> ;
45. <http://www.priorsmart.com/> ;
46. <http://www.ep.espacenet.com> або <http://www.european-patent-office.org> ;
47. <http://base.ukrpatent.org/searchINV/search.php?action=setsearchconditions> ;
48. <http://www.khai.edu/csp/nachportal/Arhiv/REKS/2010/REKS410/Subbota.pdf> ;
49. http://www.ostc.thaiembdc.org/document/patentUS/renew_727.pdf ;
50. http://www.awea.org/utility/pdf/Wind_and_Reliability_Factsheet.pdf.

ДОДАТОК А

№	№ патенту дата, автори, організація	Країна	Назва	Мета винаходу	Методи і способи досягнення мети	Результат	Недоліки
1	46052 Смирнова Л.І. Качинський М.С.	Україна	Вітроустановка	Створення можливостей для аеродинамічного самозапуску і саморегулювання при будь-яких режимах роботи, без додаткової витрати енергії в широкому діапазоні швидкостей вітру	До вітроустановці, що містить вітроколесо з горизонтальним валом, радіальні лопатки у вигляді циліндрів з торцевими дисками, приводи для обертання циліндрів і електрогенератор, причому приводи виконані у вигляді роторів типу Савоніуса, встановлені на осях обертання циліндрів і жорстко пов'язані з ними відповідно до винаходу введений датчик кутової швидкості	Установка створює можливості для аеродинамічного самозапуску і саморегулювання при будь-яких режимах роботи, без додаткової витрати енергії в широкому діапазоні швидкостей вітру	Обмежені можливості для самозапуску і саморегулювання роботи вітроколеса
2	49497 Коханевич В.П. Шихайлов Н.А. Грищенко М.М	Україна	Вітроустановка з обмежувачем швидкості повороту гондол	Винахід відноситься до вітроенергетики і може бути використано для обмеження кутової швидкості	Поставлена задача вирішується тим, що в вітроустановці, що містить поворотну гондолу з ротором, встановлену за допомогою поворотного пристрою на нерухомій	Ветроустановка, що містить шарнірно підвішену гондолу до якої між ротором і	При різкій зміні напрямку вітру виникає значний гіроскопический момент,

				повороту гондоли вітроустановки з горизонтальною віссю обертання	опорі до якої за допомогою осі кріпиться важіль з флюгерної площиною, який через пружину регулювання пов'язаний з кронштейном, жорстко кріпиться до гондолі і штормовий лопаті, яка жорстко кріпиться до гондолі	шарнірним кріпленням жорстко кріпляться похилі флюгерні площині	призводить до руйнування лопатей
3	79610 Трегуб Н.И. Василенко А.С.	Україна	Безредукторна електромеханічна вітроустановка	Підвищити чутливість і швидкодія механізму орієнтації вітродвигуна за напрямком вітру з одночасним поліпшенням його аеродинамічних	Позаду площині обертання лопатей вітродвигуна встановлений хвостовий дифузор в формі оболонки бічної поверхні зрізаного конуса, орієнтованого площиною отвори меншого підстави вперед, а більшого підстави назад, концентрично з віссю обертання вітродвигуна, що підвищує чутливість і швидкодія механізму орієнтації з одночасним	Конструкція такої вітроустановки дозволяє виконувати електромеханічне перетворення прийнятої лопатями вітрової енергії без багатоступеневих	Конструкція не забезпечує необхідної швидкодії механізму орієнтації за напрямком вітру з одночасним підвищенням аеродинамічних показників і полегшенням запуску, а також стабілізації

				х показників і полегшенням запуску	підвищенням аеродинамічних показників	механізмів мультиплікації, які мають труться	оборотів при поривчастим вітром
4	2295058 А.М. Шевченко И.П. Бойченко А.Н. Лисин С.П.	Росія	Роторно-вітрова енергоустановка	Підвищити вихідної потужності електрогенератора	Роторно-вітрова енергоустановка містить вертикальну опору, на якій встановлено електрогенератор з горизонтальним валом, що несе ветроколесо, лопаті якого виконані у вигляді циліндрів Магнуса, забезпечених приводами для їх обертання, при цьому роторно-вітрова енергоустановка оснащена додатковим ветроколесом	Поліпшення робочих характеристик роторно-вітрової енергоустановки за рахунок збільшення крутного моменту на валу електрогенератора	Вітроколесо розташоване по одну сторону електрогенератора, що забезпечує появу додаткових радіальних сил, що діють на корпус електрогенератора і вимагає енергетичних витрат на їх подолання

5	2209999 Росія А.И. Зеленський А.М. Медведєв М.М. Пепелин	Росія	вітродви- гун	Створення вітродвигуна, в якому забезпечується найбільш повне перетворення енергії вітру в корисну роботу за рахунок зменшення прохідного перетину для вітрового по- струму бреші проходженні його через вітродвигун і вибору форми і	Завдання, яке вирішується винаходом, досягається за рахунок того, що в вітродвигунів, що містить горизонтальні вали з закріпленими на них лопатовими вітроколесами, відповідно до винаходу на кожному валу закріплені два вітроколеса на однаковій відстані одна від одної, осі валів розташовані паралельно один одному так, що лопаті одного вітроколеса кожної сусідньої пари валів розташовані між лопатями двох ветроколес другого	Вітродвигун, в якому забезпечуєтьс я найбільш повне перетворення енергії вітру в корисну роботу за рахунок зменшення прохідного перетину для вітрового потокун при проходженні його через вітродвигун і	Велика площа, яку займає поруч розташованими вітроколесами, і внаслідок цього неефективне використання енергії вітру з певної площі

				розташування лопатей	валу, кожна лопать має трапецієподібну форму з кутом розчину, рівним половині кутового кроку розташування лопатей на одному вітроколесі	вибору форми і розташування лопатей	
6	2103545 Глазунов І.М.	Росія	Вітро-енергетична установка	Підвищення до гранично можливого рівня ефективності роботи і можливостей використання вітро-енергоустановок, зменшення витрат на виготовлення, монтаж та експлуатацію	Умовою отримання максимально можливої потужності від потоку повітря є одна і та ж величина вхідного і вихідного перерізів труби і певне геометричне співвідношення між діаметрами повітряного і водяного гвинтів	Використовува ний ветродвигателе м потік повітря примусово формується аеродинамічно ю трубою	Недоліком пристрою є необхідність застосування повітряного гвинта вітродвигуна великого діаметру і використання труби, практично, тільки як огорожі обертового повітряного гвинта.

7	43014 Томас Самбрано, Тайлер Макреді	США	Вітро- турбіна	Створення вітроенергетичної установки, здатної працювати з високим ККД, нескладної у виготовленні і надійної в роботі.	Вітрова турбіна, яка включає в себе опорний вузол, який налаштований для з'єднання з будівлею в безпосередній близькості до парапету і вузол ротора з'єднаний з підтримкою таким чином, що його ротор орієнтований по відношенню до посилення вітру для оптимізації вироблення електроенергії.	Створення вітро-енергетичної установки, здатної працювати з високим ККД, нескладної у виготовленні і надійної в роботі.	Низький ККД
---	---	-----	-------------------	--	--	---	-------------

ДОДАТОК Б

```

clear;
clc;
%+++++++Вихідні дані
% Коефіцієнт передачі розімкнутої САП
K=0.4;
% Постійна часу електродвигуна
Td=0.144;
%+++++++Розрахунок
Tk1=0.02:0.02:1;
Tk2=0.02:0.02:1;
nt3=length(Tk1);
nt4=length(Tk2);
for i=1:nt3 % побудова ліній рівня запасів стійкості
for j=1:nt4 % в площині параметрів KE
a0=Td^2*Tk2(j)^2;
a1=0;
a2=Td^2+Tk2(j)^2;
a3=-K^2*Tk1(i)^2;
a4=1;
a5=-K^2;
p1=[a0 a1 a2 a3 a4 a5];
kp1=roots(p1);
nkp1=length(kp1);
for k1=1:nkp1
if (imag(kp1(k1))==0) & (sign(kp1(k1))==1)
z1=kp1(k1);
end;
end;
omcp(j,i)=sqrt(z1);
fiz(j,i)=180+180/pi*(atan(Tk1(i)*omcp(j,i))-pi/2-
atan(Tk2(j)*omcp(j,i))-atan(Td*omcp(j,i)));
z=1/(Tk2(j)*Td-Tk2(j)*Tk1(i)-Tk1(i)*Td);
if z>0
z2=sqrt(z);
else
z2=1e6;
end;
ompi=z2;
Lz(j,i)=-
20*log10(K/ompi*sqrt((Tk1(i)^2*ompi^2+1)/(Tk2(j)^2*ompi^2+1)/(Td^2
*ompi^2+1)));
end
end;
figure(1);
[c,h]=contour(Tk1,Tk2,Lz,20); clabel(c, h);
xlabel('Tk1');ylabel('Tk2');
figure(2);
[c,h]=contour(Tk1,Tk2,fiz,20); clabel(c, h);
xlabel('Tk1');ylabel('Tk2');

```

```
figure(2);
[c,h]=contour(Tk1,Tk2,omcp,20); clabel(c, h);
xlabel('Tk1');ylabel('Tk2');
% Вибрані значення постійних часу KE
Tk1_1=0.5; Tk2_1=0.3;
W1=tf(K,[1 0]);W2=tf([Tk1_1 1],[Tk2_1 1]);W3=tf(1,[Td 1]);
W12=series(W1,W2);
W=series(W3,W12);
figure(4);
bode(W),grid on
F=feedback(W,1);
figure(5);
```

ДОДАТОК В

```

#define l0 8
#define l1 9
#define l2 10
#define l3 11
#define butt 6
int sensorPin = A0; // номер аналогового входу
int k = 9000;
int rounds = 1;
int s = 25;
int del = 1;
int dell = 50;
int cur_step = 0;
int max_step = 0;
int max_step_speed = 0;
void setup() {
  pinMode(l0, OUTPUT);
  pinMode(l1, OUTPUT);
  pinMode(l2, OUTPUT);
  pinMode(l3, OUTPUT);
  pinMode(A0, INPUT_PULLUP);
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  for (int i = s; i > 0; i--) {
    out();
    step_r();
  }
  delay(del);
  for (int i = s; i > 0; i--) {
    step_l();
    out();
  }
  delay(del);
}
void steper(int count = 0) {
  switch (count) {
  case 0:
    digitalWrite(l0, 1);
    digitalWrite(l1, 0);
    digitalWrite(l2, 0);
    digitalWrite(l3, 0);
    delayMicroseconds(k);
    break;
  case 1:
    digitalWrite(l0, 1);
    digitalWrite(l1, 0);
    digitalWrite(l2, 1);
    digitalWrite(l3, 0);
    delayMicroseconds(k);
    break;
  case 2:
    digitalWrite(l0, 0);
    digitalWrite(l1, 0);

```

```

digitalWrite(12, 1);
digitalWrite(13, 0);
delayMicroseconds(k);
break;
case 3:
digitalWrite(10, 0); digitalWrite(11, 1);
digitalWrite(12, 1);
digitalWrite(13, 0);
delayMicroseconds(k);
break;
case 4:

digitalWrite(10, 0);
digitalWrite(11, 1);
digitalWrite(12, 0);
digitalWrite(13, 0);
delayMicroseconds(k);
break;
case 5:
digitalWrite(10, 0);
digitalWrite(11, 1);
digitalWrite(12, 0);
digitalWrite(13, 1);
delayMicroseconds(k);
break;
case 6:
digitalWrite(10, 0);
digitalWrite(11, 0);
digitalWrite(12, 0);
digitalWrite(13, 1);
delayMicroseconds(k);
break;
case 7:
digitalWrite(10, 1);
digitalWrite(11, 0);
digitalWrite(12, 0);
digitalWrite(13, 1);
delayMicroseconds(k);
break;
}
}
void stop_s() {
digitalWrite(10, 1);
digitalWrite(11, 0);
digitalWrite(12, 1);
digitalWrite(13, 0);
}
void step_l() {
for (int i = 7; i >= 0; i--)
steper(i);
cur_step--;
delay(dell);
}
void step_r() {

```



```

for (int i = 0; i <= 7; i++)
  steper(i);
cur_step++;
delay(dell);
}
void go_to_step(int s) {
  if (s > cur_step)
    for (int i = cur_step; i > s; i--)
      step_l();
  else if (s < cur_step)
    for (int i = cur_step; i < s; i++)
      step_r();
}
int peak(int pin, int k) {
  int mem = 255;
  int tmp = 0;
  for (k; k > 0; k--) {
    tmp = 255 - analogRead(pin);
    if (tmp < mem) mem = tmp;
    delayMicroseconds(50);
  }
  return mem;
}
int readMean(int pin, int samples) {
  // змінна для зберігання суми лічених значень
  int sum = 0;
  // читання и складання значень
  for (int i = 0; i < samples; i++) {
    sum = sum + peak(pin, samples);
  }
  // ділимо суму значень на кількість вимірювань
  sum = sum / samples;
  // повертаємо середнє значення
  return sum;
}
void out() {
  stop_s();
  for (int i = 0; i < 50; i++) {
    int tmp = readMean(sensorPin, 30);
    if (tmp > max_step_speed)
      max_step = cur_step;
    Serial.print(255);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(0);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(tmp);
    delay(10);
  }
  go_to_step(max_step);
}

```

ДОДАТОК Г

```
package ru.astar.btarduinoapp1;

import android.app.ProgressDialog;
import android.bluetooth.BluetoothAdapter;
import android.bluetooth.BluetoothDevice;
import android.bluetooth.BluetoothSocket;
import android.content.BroadcastReceiver;
import android.content.Context;
import android.content.Intent;
import android.content.IntentFilter;
import android.content.pm.PackageManager;
import android.os.Handler;
import android.support.annotation.Nullable;
import android.support.v7.app.AppCompatActivity;
import android.os.Bundle;
import android.text.method.MovementMethod;
import android.text.method.ScrollingMovementMethod;
import android.util.Log;
import android.view.View;
import android.widget.AdapterView;
import android.widget.Button;
import android.widget.CompoundButton;
import android.widget.EditText;
import android.widget.FrameLayout;
import android.widget.LinearLayout;
import android.widget.ListView;
import android.widget.ProgressBar;
import android.widget.RelativeLayout;
import android.widget.Switch;
import android.widget.Toast;

import com.jjoe64.graphview.GraphView;
import com.jjoe64.graphview.series.DataPoint;
import com.jjoe64.graphview.series.LineGraphSeries;

import java.io.BufferedInputStream;
```

```
import java.io.IOException;
import java.io.InputStream;
import java.io.OutputStream;
import java.lang.reflect.Method;
import java.util.ArrayList;
import java.util.HashMap;
import java.util.List;
import java.util.Set;

/**
 * @author Astar75
 *
 */

public class MainActivity extends AppCompatActivity implements
    CompoundButton.OnCheckedChangeListener,
    AdapterView.OnItemClickListener,
    View.OnClickListener {

    private static final String TAG =
MainActivity.class.getSimpleName();
    public static final int REQUEST_CODE_LOC = 1;

    private static final int REQ_ENABLE_BT = 10;
    public static final int BT_BOUNDED = 21;
    public static final int BT_SEARCH = 22;

    public static final int LED_RED = 30;
    public static final int LED_GREEN = 31;
    private static final long DELAY_TIMER = 1000;

    private FrameLayout frameMessage;
    private LinearLayout frameControls;

    private RelativeLayout frameLedControls;
```

```
private Button btnDisconnect;
private Switch switchRedLed;
private Switch switchGreenLed;
private EditText etConsole;

private Switch switchEnableBt;
private Button btnEnableSearch;
private ProgressBar pbProgress;
private ListView listBtDevices;

private BluetoothAdapter bluetoothAdapter;
private BtListAdapter listAdapter;
private ArrayList<BluetoothDevice> bluetoothDevices;

private ConnectThread connectThread;
private ConnectedThread connectedThread;

private ProgressDialog progressDialog;

private GraphView gvGraph;
private LineGraphSeries series;

private String lastSensorValues = "";

private Handler handler;
private Runnable timer;

private int xLastValue = 0;

@Override
protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
    super.onCreate(savedInstanceState);
    setContentView(R.layout.activity_main);
```

```
frameMessage      = findViewById(R.id.frame_message);
frameControls     = findViewById(R.id.frame_control);

switchEnableBt    = findViewById(R.id.switch_enable_bt);
btnEnableSearch   = findViewById(R.id.btn_enable_search);
pbProgress        = findViewById(R.id.pb_progress);
listBtDevices     = findViewById(R.id.lv_bt_device);

frameLedControls  = findViewById(R.id.frameLedControls);
btnDisconnect     = findViewById(R.id.btn_disconnect);
switchGreenLed    = findViewById(R.id.switch_led_green);
switchRedLed      = findViewById(R.id.switch_led_red);
etConsole         = findViewById(R.id.et_console);

gvGraph           = findViewById(R.id.gv_graph);
series            = new LineGraphSeries();

gvGraph.addSeries(series);
gvGraph.getViewPort().setMinX(0);
gvGraph.getViewPort().setMaxX(40);
gvGraph.getViewPort().setXAxisBoundsManual(true);

switchEnableBt.setOnCheckedChangeListener(this);
btnEnableSearch.setOnClickListener(this);
listBtDevices.setOnItemClickListener(this);

btnDisconnect.setOnClickListener(this);
switchGreenLed.setOnCheckedChangeListener(this);
switchRedLed.setOnCheckedChangeListener(this);

bluetoothDevices = new ArrayList<>();

progressDialog = new ProgressDialog(this);
progressDialog.setCancelable(false);
```

```
        progressDialog.setTitle(getString(R.string.connecting));

        progressDialog.setMessage(getString(R.string.please_wait));

        IntentFilter filter = new IntentFilter();

        filter.addAction(BluetoothAdapter.ACTION_DISCOVERY_STARTED);

        filter.addAction(BluetoothAdapter.ACTION_DISCOVERY_FINISHED);
        filter.addAction(BluetoothDevice.ACTION_FOUND);
        registerReceiver(receiver, filter);

        bluetoothAdapter = BluetoothAdapter.getDefaultAdapter();

        if (bluetoothAdapter == null) {
            Toast.makeText(this, R.string.bluetooth_not_supported,
                Toast.LENGTH_SHORT).show();
            Log.d(TAG, "onCreate: " +
                getString(R.string.bluetooth_not_supported));
            finish();
        }

        if (bluetoothAdapter.isEnabled()) {
            showFrameControls();
            switchEnableBt.setChecked(true);
            setListAdapter(BT_BOUNDED);
        }

    }

    @Override
    protected void onPause() {
        super.onPause();

        cancelTimer();
    }
}
```

```
@Override
protected void onResume() {
    super.onResume();

    if (connectedThread != null) {
        startTimer();
    }
}

@Override
protected void onDestroy() {
    super.onDestroy();

    cancelTimer();

    unregisterReceiver(receiver);

    if (connectThread != null) {
        connectThread.cancel();
    }

    if (connectedThread != null) {
        connectedThread.cancel();
    }
}

@Override
public void onClick(View v) {
    if (v.equals(btnEnableSearch)) {
        enableSearch();
    } else if (v.equals(btnDisconnect)) {
        cancelTimer();

        if (connectedThread != null) {
            connectedThread.cancel();
        }
    }
}
```



```
        }

        if (connectThread != null) {
            connectThread.cancel();
        }

        showFrameControls();
    }
}

@Override
public void onItemClick(AdapterView<?> parent, View view, int
position, long id) {
    if (parent.equals(listBtDevices)) {
        BluetoothDevice device =
bluetoothDevices.get(position);
        if (device != null) {
            connectThread = new ConnectThread(device);
            connectThread.start();

            startTimer();
        }
    }
}

@Override
public void onCheckedChanged(CompoundButton buttonView,
boolean isChecked) {
    if (buttonView.equals(switchEnableBt)) {
        enableBt(isChecked);

        if (!isChecked) {
            showFrameMessage();
        }
    }
}
}
```

```
@Override
protected void onActivityResult(int requestCode, int
resultCode, @Nullable Intent data) {
    if (requestCode == REQ_ENABLE_BT) {
        if (resultCode == RESULT_OK &&
bluetoothAdapter.isEnabled()) {
            showFrameControls();
            setListAdapter(BT_BOUNDED);
        } else if (resultCode == RESULT_CANCELED) {
            enableBt(true);
        }
    }
}

private void showFrameMessage() {
    frameMessage.setVisibility(View.VISIBLE);
    frameLedControls.setVisibility(View.GONE);
    frameControls.setVisibility(View.GONE);
}

private void showFrameControls() {
    frameMessage.setVisibility(View.GONE);
    frameLedControls.setVisibility(View.GONE);
    frameControls.setVisibility(View.VISIBLE);
}

private void showFrameLedControls() {
    frameLedControls.setVisibility(View.VISIBLE);
    frameMessage.setVisibility(View.GONE);
    frameControls.setVisibility(View.GONE);
}

private void enableBt(boolean flag) {
    if (flag) {
```

```

        Intent intent = new
Intent(BluetoothAdapter.ACTION_REQUEST_ENABLE);
        startActivityForResult(intent, REQ_ENABLE_BT);
    } else {
        bluetoothAdapter.disable();
    }
}

private void setListAdapter(int type) {

    bluetoothDevices.clear();
    int iconType = R.drawable.ic_bluetooth_bounded_device;

    switch (type) {
        case BT_BOUNDED:
            bluetoothDevices = getBoundedBtDevices();
            iconType = R.drawable.ic_bluetooth_bounded_device;
            break;
        case BT_SEARCH:
            iconType = R.drawable.ic_bluetooth_search_device;
            break;
    }
    listAdapter = new BtListAdapter(this, bluetoothDevices,
iconType);
    listBtDevices.setAdapter(listAdapter);
}

private ArrayList<BluetoothDevice> getBoundedBtDevices() {
    Set<BluetoothDevice> deviceSet =
bluetoothAdapter.getBondedDevices();
    ArrayList<BluetoothDevice> tmpArrayList = new
ArrayList<>();
    if (deviceSet.size() > 0) {
        for (BluetoothDevice device: deviceSet) {
            tmpArrayList.add(device);
        }
    }
}

```

```

    }

    return tmpArrayList;
}

private void enableSearch() {
    if (bluetoothAdapter.isDiscovering()) {
        bluetoothAdapter.cancelDiscovery();
    } else {
        accessLocationPermission();
        bluetoothAdapter.startDiscovery();
    }
}

private BroadcastReceiver receiver = new BroadcastReceiver() {
    @Override
    public void onReceive(Context context, Intent intent) {
        final String action = intent.getAction();

        switch (action) {
            case BluetoothAdapter.ACTION_DISCOVERY_STARTED:
                btnEnableSearch.setText(R.string.stop_search);
                pbProgress.setVisibility(View.VISIBLE);
                setListAdapter(BT_SEARCH);
                break;
            case BluetoothAdapter.ACTION_DISCOVERY_FINISHED:
                btnEnableSearch.setText(R.string.start_search);
                pbProgress.setVisibility(View.GONE);
                break;
            case BluetoothDevice.ACTION_FOUND:
                BluetoothDevice device =
intent.getParcelableExtra(BluetoothDevice.EXTRA_DEVICE);
                if (device != null) {
                    bluetoothDevices.add(device);
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        listAdapter.notifyDataSetChanged();
    }
    break;
}
}
};

/**
 * Запрос на разрешение данных о местоположении (для
Marshmallow 6.0)
 */
private void accessLocationPermission() {
    int accessCoarseLocation =
this.checkSelfPermission(android.Manifest.permission.ACCESS_COARSE
_LOCATION);
    int accessFineLocation =
this.checkSelfPermission(android.Manifest.permission.ACCESS_FINE_L
OCATION);

    List<String> listRequestPermission = new
ArrayList<String>();

    if (accessCoarseLocation !=
PackageManager.PERMISSION_GRANTED) {

listRequestPermission.add(android.Manifest.permission.ACCESS_COARS
E_LOCATION);
    }
    if (accessFineLocation !=
PackageManager.PERMISSION_GRANTED) {

listRequestPermission.add(android.Manifest.permission.ACCESS_FINE_
LOCATION);
    }

    if (!listRequestPermission.isEmpty()) {

```

```

        String[] strRequestPermission =
listRequestPermission.toArray(new
String[listRequestPermission.size()]);
        this.requestPermissions(strRequestPermission,
REQUEST_CODE_LOC);
    }
}

@Override
public void onRequestPermissionsResult(int requestCode, String
permissions[], int[] grantResults) {
    switch (requestCode) {
        case REQUEST_CODE_LOC:

            if (grantResults.length > 0) {
                for (int gr : grantResults) {
                    // Check if request is granted or not
                    if (gr !=
PackageManager.PERMISSION_GRANTED) {
                        return;
                    }
                }
                //TODO - Add your code here to start Discovery
            }
            break;
        default:
            return;
    }
}

private class ConnectThread extends Thread {

    private BluetoothSocket bluetoothSocket = null;
    private boolean success = false;

    public ConnectThread(BluetoothDevice device) {

```

```

        try {
            Method method =
device.getClass().getMethod("createRfcommSocket", new
Class[]{int.class});
            bluetoothSocket = (BluetoothSocket)
method.invoke(device, 1);

            progressDialog.show();
        } catch (Exception e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }

@Override
public void run() {
    try {
        bluetoothSocket.connect();
        success = true;

        progressDialog.dismiss();
    } catch (IOException e) {
        e.printStackTrace();

        runOnUiThread(new Runnable() {
            @Override
            public void run() {
                progressDialog.dismiss();
                Toast.makeText(MainActivity.this, "Не могу
соединиться!", Toast.LENGTH_SHORT).show();
            }
        });

        cancel();
    }

    if (success) {

```

```

        connectedThread = new
ConnectedThread(bluetoothSocket);
        connectedThread.start();

        runOnUiThread(new Runnable() {
            @Override
            public void run() {
                showFrameLedControls();
            }
        });
    }
}

public boolean isConnect() {
    return bluetoothSocket.isConnected();
}

public void cancel() {
    try {
        Log.d(TAG, "cancel: " +
this.getClass().getSimpleName());
        bluetoothSocket.close();
    } catch (IOException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}

private class ConnectedThread extends Thread {

    private final InputStream inputStream;
    private final OutputStream outputStream;

    private boolean isConnected = false;

    public ConnectedThread(BluetoothSocket bluetoothSocket) {

```



```
InputStream inputStream = null;
OutputStream outputStream = null;

try {
    inputStream = bluetoothSocket.getInputStream();
    outputStream = bluetoothSocket.getOutputStream();
} catch (IOException e) {
    e.printStackTrace();
}

this.inputStream = inputStream;
this.outputStream = outputStream;
isConnected = true;
}

@Override
public void run() {
    BufferedInputStream bis = new
BufferedInputStream(inputStream);
    StringBuffer buffer = new StringBuffer();
    final StringBuffer sbConsole = new StringBuffer();
    final ScrollingMovementMethod movementMethod = new
ScrollingMovementMethod();

    while (isConnected) {
        try {
            int bytes = bis.read();
            buffer.append((char) bytes);
            int eof = buffer.indexOf("\r\n");

            if (eof > 0) {
                sbConsole.append(buffer.toString());
                lastSensorValues = buffer.toString();
                buffer.delete(0, buffer.length());
            }
        }
    }
}
```

```
        } catch (IOException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }

    try {
        bis.close();
        cancel();
    } catch (IOException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}

public void write(String command) {
    byte[] bytes = command.getBytes();
    if (outputStream != null) {
        try {
            outputStream.write(bytes);
            outputStream.flush();
        } catch (IOException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }
}

public void cancel() {
    try {
        isConnected = false;
        inputStream.close();
        outputStream.close();
    } catch (IOException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}
}
```

```

private void enableLed(int led, boolean state) {
    if (connectedThread != null && connectThread.isConnected())
{
    String command = "";

    switch (led) {
        case LED_RED:
            command = (state) ? "red on#" : "red off#";
            break;
        case LED_GREEN:
            command = (state) ? "green on#" : "green
off#";

            break;
    }

    connectedThread.write(command);
}
}

private HashMap parseData(String data) { //
temp:37|humidity:80
    if (data.indexOf('|') > 0) {
        HashMap map = new HashMap();
        String[] pairs = data.split("\\|");
        for (String pair: pairs) {
            String[] keyValue = pair.split(":");
            map.put(keyValue[0], keyValue[1]);
        }
        return map;
    }

    return null;
}

private void startTimer() {

```

```

cancelTimer();
handler = new Handler();
final MovementMethod movementMethod = new
ScrollingMovementMethod();
handler.postDelayed(timer = new Runnable() {
    @Override
    public void run() {
        etConsole.setText(lastSensorValues);
        etConsole.setMovementMethod(movementMethod);

        HashMap dataSensor = parseData(lastSensorValues);
        if (dataSensor != null) {
            if (dataSensor.containsKey("Temp") &&
dataSensor.containsKey("millis")) {
                int temp =
Integer.parseInt(dataSensor.get("Temp").toString());
                series.appendData(new
DataPoint(xLastValue, temp), true, 40);

                Toast.makeText(MainActivity.this, "Millis:
" + dataSensor.get("millis"), Toast.LENGTH_SHORT).show();
            }
            xLastValue++;
        }

        handler.postDelayed(this, DELAY_TIMER);
    }
}, DELAY_TIMER);
}

private void cancelTimer() {
    if (handler != null) {
        handler.removeCallbacks(timer);
    }
}
}

```