

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет Інформаційних електронних систем
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до бакалаврської дипломної роботи на тему:

«МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ КОНТРОЛЕР ПРИСТРОЮ ЗАРЯДЖУВАННЯ ДЛЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРА»

Виконав: студент 4-го курсу, групи МНТ-206,
спеціальності 153 - Мікро- та наносистемна техніка
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Юрчук Я.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., професор каф. ІРТС

Осадчук В.С.

(прізвище та ініціали)

« 10 » 06 2024 р.

Рецензент: к.т.н., доц., доцент каф. ІКСТ

Семенова О.О.

(прізвище та ініціали)

« 10 » 06 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

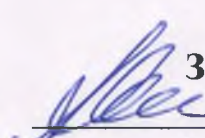
д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

« 11 » 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Інформаційних електронних систем
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 15 Автоматизація та приладобудування
Спеціальність 153 - Мікро- та наносистемна техніка
Освітньо-професійна програма – Мікро- та наносистемна техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІРТС
 Олександр ОСАДЧУК
15 березня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Юрчуку Ярославу Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Мікроелектронний контролер пристрою заряджування для вітрогенератора»

керівник роботи Осадчук Володимир Степанович, д.т.н., проф., проф. каф. ІРТС

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від "11" 03 2024 року № 80

2. Строк подання студентом роботи 07 06 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Схема електрична принципова; напруга живлення – 12В; струм споживання (максимальний) – 200 мА; Мінімальна тривалість машинного циклу дорівнює 200 нс.; Вихідний струм драйвера транзисторної збірки Дарлінгтона 500 мА (600 мА пік); клас точності друкованої плати - 3-й; кількість шарів друкованої плати – 2; ширина та довжина плати 100x85

4. Зміст текстової частини: Вступ. Огляд моделей вітрогенераторів та аналіз контролерів керування. Розробка конструкції друкованої плати контролера зарядки для вітрогенератора. Розрахунок параметрів друкованої плати. Результати модельних досліджень. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки..

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Вітрогенератор з фіксованою швидкістю обертання (Тип I). Вітрогенератор зі змінною швидкістю обертання та змінним опором ротора (Тип II). Вітрогенератор зі змінною швидкістю обертання на базі індукційного генератора з подвійним живленням DFIG (Тип III). Вітрогенератор з повним перетворювачем (Тип IV). Модель Генератор/Перетворювач. Модель Електричного управління. Схема роботи автономної вітрогенераторної установки. Блок-схема моделі вітрової турбіни. Схема електрична принципова. Тополгоія друкованої плати. Встановлення елементів на друкованій платі.

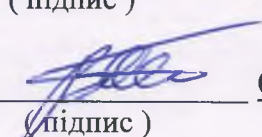
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	д.т.н., професор, професор каф. ІРТС Осадчук В.С.		
Охорона праці	професор кафедри БЖДПБ, професор, д.п.н., Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 17.03. 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми БДР	14.02.2024-28.02.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2024-10.03.2024	
3.	Затвердження теми. Розробка завдання на БДР.	11.03.2024-31.03.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	01.04.2024-06.05.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	07.05.2024-18.05.2024	
6.	Розробка графічної частини БДР	19.05.2024-22.05.2024	
7.	Охорона праці (ОП)	23.05.2024-28.05.2024	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	29.05.2024-05.06.2024	
9.	Нормоконтроль	06.06.2024-07.06.2024	
10.	Попередній захист БДР, доопрацювання, рецензування БДР	08.06.2024-10.06.2024	
11.	Захист БДР ЕК	11.06.2024-12.06.2024	

Студент  Юрчук Я.В.
(підпис)Керівник роботи  Осадчук В.С.
(підпис)

АНОТАЦІЯ

УДК 681.121.4

Юрчук Я. В. Мікроелектронний контролер пристрою заряджування для вітрогенератора. Бакалаврська дипломна робота – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 86 с. Українською мовою. Бібліогр.: 36 . назв; Рис.: 17.

У бакалаврській дипломній роботі розроблена схема та конструкція мікроелектронного контролера пристрою заряджання для вітрогенератора. Здійснений аналіз сучасного стану розвитку мікросистемної техніки в даній області, обраний метод конструювання, здійснений розрахунок механічної міцності друкованої плати, надійності пристрою та інші конструкторські розрахунки. Наведений опис принципу дії та роботи розробленого пристрою. Здійснене комп'ютерне схемотехнічне моделювання мікроелектронного контролера пристрою заряджання для вітрогенератора. Результати комп'ютерного схемотехнічного моделювання підтвердили працездатність мікроелектронного контролера пристрою заряджання для вітрогенератора.

Ключові слова: мікроелектронний пристрій, вітрогенератор, контролер, заряджання.

ABSTRACT

Yurchuk Y. V. Microelectronic controller of a charging device for a wind turbine. Bachelor's thesis - Vinnytsia: VNTU, 2024. 86 p. In Ukrainian. Bibliography: 36. titles; Figures: 17.

In his bachelor's thesis, he developed a circuit and design of a microelectronic controller for a wind turbine charger. An analysis of the current state of development of microsystems technology in this area was carried out, a design method was chosen, the mechanical strength of the printed circuit board, the reliability of the device and other design calculations were carried out. A description of the principle of operation and operation of the developed device is given. Computer circuit modelling of the microelectronic controller of the charging device for a wind turbine was carried out. The results of the computer circuit modelling have confirmed the operability of the microelectronic controller of the charging device for a wind turbine.

Keywords: microelectronic device, wind turbine, controller, charging.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД МОДЕЛЕЙ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ ТА АНАЛІЗ КОНТРОЛЕРІВ КЕРУВАННЯ	9
1.1 Огляд моделей вітрогенераторів типу DFIG	9
1.2 Структурна схема роботи автономної вітрогенераторної установки	18
1.3 Висновки до розділу.....	20
2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ КОНТРОЛЕРА ЗАРЯДКИ ДЛЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРА	21
2.1 Області застосування та цілі розробки приладу	21
2.2 Аналіз технічних вимог і умов експлуатації	21
2.3 Вибір і обґрунтування аналогів	23
2.4 Попередній аналіз і розробка схеми.....	26
2.5 Технологія виготовлення друкованих плат.....	34
2.6 Морфологічний аналіз.....	37
2.7 Розрахунок діаметрів контактних площадок.....	39
2.8 Розрахунок ширини провідників.....	41
2.9 Висновок до розділу.....	43
3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ	44
3.1 Розрахунок електромагнітної сумісності елементів друкованої плати.....	44
3.2 Розрахунок механічної міцності друкованої плати	46
3.3 Розрахунок на дію удару	51
3.4 Розрахунок надійності по раптовим відмовам	53
3.5 Висновки до розділу.....	56
4 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	57
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	61
5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи	62
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	64
5.3 Пожежна безпека.....	69
ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	77
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (бакалаврської) дипломної роботи.....	86

ВСТУП

Актуальність теми. Енергія це одне з найчастіше обговорюваних сьогодні понять, що крім свого фізичного змісту, має численні економічні, технічні, політичні й інші аспекти. Одним із перших джерел енергії, яке людство почало використовувати, була енергія вітру. Вітрова енергія відрізняється своєю доступністю та дешевизною. Також повсюдність і екологічна чистота, практична невичерпаність і ефективне перетворення є основними перевагами вітрової енергії. Сучасна вітроенергетична промисловість бере початок у 1979 році з серійного виробництва вітрогенераторів датськими виробниками Kuriant, Vestas, Nordtank і Bonus. Ці генератори були малими, з потужностями 20-30 кВт кожна. З 2005 року світові потужності вітроустановок більш ніж подвоїлись. Вони зросли до 121188 МВт. Для сучасного технологічного рівня ВЕУ використовуються території із середньорічною швидкістю вітру 5 м/с і вище з висотою флюгера 10 м, тому попередню оцінку вітрових характеристик території України зроблено на основі на цьому. стандарт. Загальна потужність майбутніх вітрових електростанцій в Україні оцінюється в 16 тис. МВт з річним виробництвом електроенергії приблизно 30 млрд. кВт/год. Кількість енергії, отриманої від вітру, залежить від щільності повітря, площі, яку покривають лопаті вітрової турбіни під час обертання, і куба швидкості вітру. Ось як працює сучасна вітряна турбіна: сила вітру обертає колесо з лопатями, яке через редуктор передається на вал генератора. Таким чином реалізується принцип перетворення механічної енергії в електричну. В умовах великої залежності України від закордонних поставок енергоносіїв, проблем вітчизняної теплової і атомної енергетики, використання енергії вітру постає для країни особливо актуально. На думку експертів, вітроенергетика є одним із найперспективніших напрямків розвитку української енергетики.

Метою бакалаврської дипломної роботи є розроблення та дослідження мікроелектронного контролера пристрою заряджання для вітрогенератора.

Об'єктом дослідження є процеси перетворення енергії при формуванні сигналів у мікроелектронному контролері пристрою заряджання для вітрогенератора.

Предметом дослідження часові та частотні параметри і характеристики сигналів керування мікроелектронного контролера пристрою заряджання для вітрогенератора.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- здійснити аналіз технічного розвитку галузі до якої відноситься пристрій що розробляється;
- здійснити порівняльну характеристику пристрою, який розробляється з уже існуючими аналогами та вказати на переваги й недоліки;
- запропонувати схему електричну принципову пристрою;
- виконати аналіз технічних вимог до конструкції пристрою;
- здійснити компоновання елементів для друкованої плати та виконати трасування з'єднань;
- зробити розрахунки топології друкованої плати, розрахувати електромагнітну сумісність, оцінити механічну міцність друкованої плати та виконати розрахунок надійності пристрою;
- розглянути питання охорони праці.

Методи дослідження засновані на використанні рівнянь математичної фізики; теорії розрахунку нелінійних електричних кіл; теорії проектування схем і конструкцій пристроїв мікро- та наносистемної техніки, теорії комп'ютерного моделювання пристроїв мікро- та наносистемної техніки.

Наукова новизна одержаних результатів

Отримав подальший розвиток метод створення мікросистемної техніки для розроблення мікроелектронного контролера пристрою заряджання для вітрогенератора.

Практичне значення одержаних результатів

Нова електрична схема та конструкція мікроелектронного контролера пристрою заряджання для вітрогенератора.

Структура і обсяг роботи. Бакалаврська дипломна робота має таку структуру: вступ, 5 розділів, висновки, список використаних джерел і додатки.

1 ОГЛЯД МОДЕЛЕЙ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ ТА АНАЛІЗ КОНТРОЛЕРІВ КЕРУВАННЯ

1.1 Огляд моделей вітрогенераторів типу DFIG

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Протягом останнього десятиліття велика увага приділялася дослідженням різних аспектів функціональності самих вітрових електростанцій та їхнього впливу на роботу мережі та енергосистеми. Особливо це стосується авторів із країн із найбільшим використанням нетрадиційних джерел енергії. До таких країн належать Данія, Німеччина, Швеція, Іспанія, Китай, США тощо. У своїх дослідженнях автори публікацій зазвичай використовують MathLAB Simulink [1], PSS E та Windtrap (Siemens-PTI) [2], PSLF (General Electric) [3], Power Factory (DIgSILENT) [4], EUROSTAG (Tractebel Engineering). GDF SUEZ & RTE) [5]. Проведено багато досліджень щодо спільної інтерполяції результатів моделювання цих комплексів [6-13], надано рекомендації щодо вибору математичних моделей та сфери їх застосування [14, 15].

В Україні багато науковців та інженерів-електриків також працюють над моделюванням та дослідженням режимів роботи ОЕС об'єктів відновлюваної енергетики [16, 17]. Вітрові турбіни та системи їх керування являють собою дуже складну електромеханічну систему. Хоча можна детально описати всі функції, зазвичай це не потрібно, оскільки багато з них не мають відношення до предметної області.

Важливо змоделювати можливість (або неможливість) вітряної станції контролювати напругу шляхом керування вихідною реактивною потужністю вітрової турбіни.

Є два потенційних рівня відображення для моделей ВЕС:

- Детальна модель вітряної електростанції, що показує окремі блоки та з'єднання між цими блоками та системою. Модель може бути використана для тестування/розробки пристроїв контролю напруги або алгоритмів генерації ре-

активної потужності для вітрових електростанцій. Прикладом такого алгоритму є взаємодія між центральним регулятором напруги та місцевим регулятором потужності.

- Вітряні електростанції можна моделювати з точки зору системи. Тут акцент робиться не на окремих вітрогенераторах, а на загальному ефекті, досягнутому всією енергетичною системою електростанцій. Цей рівень моделювання зазвичай використовується для розрахунків динамічної моделі та підходить для ситуацій, які мають великий вплив на системний потік і напругу та не потребують визначення внутрішніх умов вітрової станції.

Метою дослідження динамічної стабільності є обчислення реакції системи на певний набір аварій, як правило, одно- або трифазних коротких замикань, які можна усунути шляхом відключення ліній електропередачі. Перевірте реакцію генератора, щоб переконатися, що все обладнання працює синхронно, що демпфування коливань енергосистеми залишається на прийнятному рівні, і що напруга відновлюється належним чином після аварії. Ці розрахунки є важливою частиною процесу планування та проектування внутрішніх з'єднань вітрової електростанції. Вони проводилися в різних функціональних умовах, подібних до описаних вище при вивченні стаціонарних умов.

Динамічне моделювання вітрової електростанції має враховувати всі відповідні ефекти в межах цікавого діапазону часу, зазвичай через кілька секунд після аварії, яка є об'єктом аналізу перехідних процесів. Враховуючи зареєстровані частоти коливань, також необхідно точно відтворити відгук системи. Як правило, коливання в системі живлення відбуваються в діапазоні від 0,2 до 2 Гц. Також важливо змоделювати здатність (або нездатність) вітряної електростанції контролювати напругу протягом цих часових масштабів.

В даний час всі вітрові турбіни поділяються на чотири основних типи в залежності від використовуваного обладнання:

- Індукційні генератори, безпосередньо підключені до мережі (Тип I, рис. 1.1);

- Індукційний генератор з подвійним живленням (DFIG), у якому струм ротора регулюється перетворювачем потужності (тип II, рис. 1.2);
- Генератори з фазними роторами, в яких зовнішній опір регулюється силовим перетворювачем (тип III, рис. 1.3);
- підключені через перетворювач потужності синхронний або асинхронний генератори (Тип IV, рис.1.4).

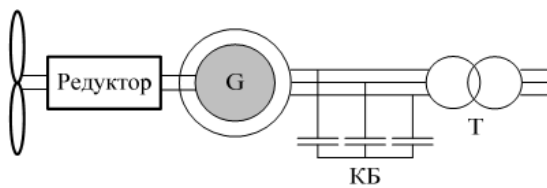


Рисунок 1.1 – Вітрогенератор з фіксованою швидкістю обертання (Тип I)

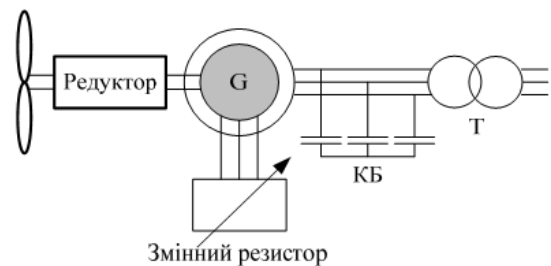


Рисунок 1.2 – Вітрогенератор зі змінною швидкістю обертання, а також змінним опором ротора (Тип II)

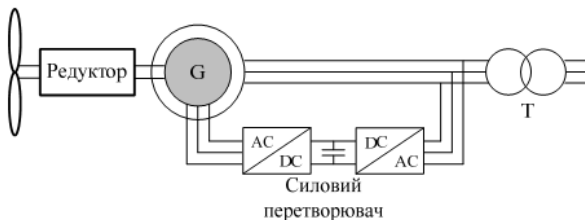


Рисунок 1.3 – Вітрогенератор зі змінною швидкістю обертання на базі індукційного генератора з подвійним живленням DFIG (Тип III)

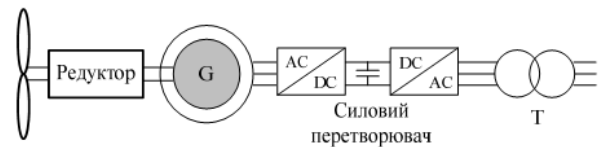


Рисунок 1.4 – Вітрогенератор з повним перетворювачем (Тип IV)

В останні роки найбільш часто використовуваними типами генераторів на потужних вітрових електростанціях є генератори типу III і типу IV. Розглянемо характеристики моделювання вітрової турбіни типу III на основі індук-

ційного генератора DFIG з подвійним живленням для аналізу стабільності. За основу взято пропозицію щодо моделювання динамічних процесів вітрових турбін типу DFIG компанії General Electric [15], одного з найбільших у світі виробників вітрових турбін. Для побудови повної моделі вітрової турбіни використовуються три моделі обладнання: модель генератора/перетворювача; модель електронного керування турбіною та модуль керування турбіною.

Модель генератора/конвертора. Модель є фізичним еквівалентом генератора та забезпечує інтерфейс між генератором, вітровою турбіною та мережею. На відміну від звичайних моделей генераторів, ця модель не включає механічні змінні стану ротора машини - вони включені в модель турбіни. Крім того, на відміну від традиційних моделей генераторів, усі змінні поточного стану модифіковані для відображення дійсних відповідей на команди вищого рівня від електричного блоку керування (тобто датчиків). Кінцевим результатом є алгебраїчно кероване джерело струму, яке визначає величину струму, необхідну для доставки в мережу у відповідь на команди потоку та реального струму від моделі збудження (перетворювача). Для заданого кроку часу модель підтримує синфазну (активну потужність) компонент постійного струму та постійну напругу по осі q (потік по осі d) на надперехідному реактивному опорі (x''). Модель має дві малі постійні часу (≈ 20 мс), щоб відтворити перетворювач дій (рис. 1.5).

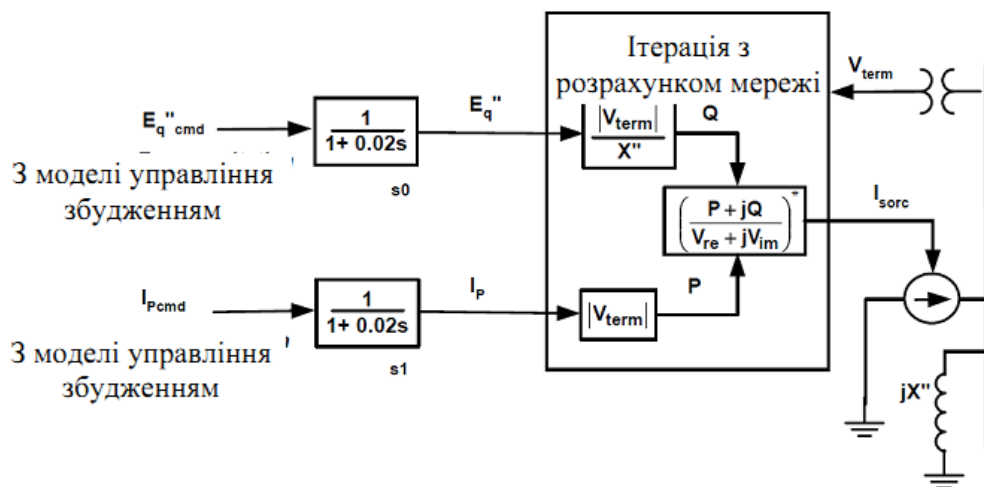


Рисунок 1.5 – Модель Генератор/Перетворювач

Ця модель враховує деякі обмеження та відключення, пов'язані з апаратними можливостями. Якщо напруга на клемі відхиляється від номінального значення понад певну межу, генератор вимкнеться через певний час. Ці рівні можуть відрізнятися для різних станцій. Крім того, сигнали відключення від моделі збудника (конвертора) і моделі турбіни також викликають відключення генератора.

Модель керування збудженням (перетворювач). Модель збудника подає активну та реактивну потужність в мережу на основі вхідних сигналів від моделі турбіни (Pord) контролера VAR (Qord). Qord можна отримати з окремої моделі або з симулятора функціональності DVAR, включеного в модель керування збудником. Ідея втомного дизайну полягає в тому, щоб істотно спростити модель, актуальну для реального використання в пристрої, зберігаючи при цьому ті аспекти, які є критичними для відтворення динамічних характеристик системи. Модель складається з наступних блоків управління:

- Емулятор WindVAR;
- Контур логіки управління відкритий;
- Електричний контролер.

Загальна блок-схема моделі електричного управління показана на рисунку 1.6.

Симулятор WindVAR. Симулятор WindVAR є спрощеною версією всього обладнання для контролю реактивної потужності ВЕС. Його функція полягає в контролі встановленої напруги на шині та додаткової компенсації падіння напруги в лінії та порівняння його з опорною напругою. Сам регулятор є ПП-регулятором з постійною часом TV. Постійна часу відображає затримку, пов'язану з часом, коли окремі вітряні турбіни не спілкуються, а також додаткове високочастотне затухання, необхідне для підтримки стабільності. Затримка вимірювання представлена постійною часу Tr.

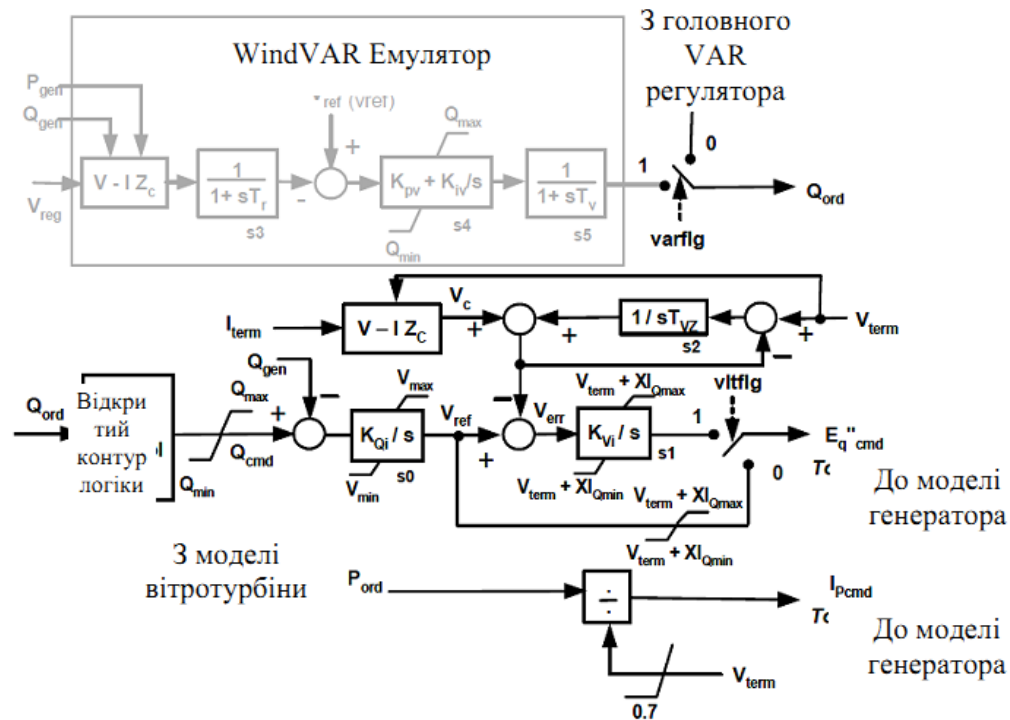


Рисунок 1.6 – Модель Електричного управління.

Відкритий контур логіки управління.

Логіка керування з відкритим контуром реагує на значні зміни напруги системи, а не коли напруга на клемі знаходиться в межах нормального діапазону. Управління з розімкнутим контуром реалізовано для покращення продуктивності систем із великими відхиленнями напруги через порушення системи. Ця функція вже використовувалася в деяких вітряних електростанціях WTG до впровадження місцевого електричного контролера замкнутого циклу, описаного нижче. Якщо відхилення напруги залишається незмінним, логіка управління разомкнутим контуром змінює реактивну потужність до заданого рівня. Як і з усіма такими контролерами з відкритим контуром, гістерезис необхідно враховувати, щоб уникнути коливань. Як тільки напруга перевищить межу, розімкнута ланцюг логіки реактивної потужності видає команду, і межа напруги переміститься вгору (або вниз, для перенапруги) на вказане значення V_{hyst} . Для нових модифікацій вітрогенераторів (випущених після середини 2003 року) цей блок не використовується.

Електричний регулятор.

Модель електричного регулятора є спрощеним зображенням системи перетворювач/збуджувач. Він контролює реактивну потужність Q_{gen} і напругу на клеммах U_{term} (падіння напруги дистанційної компенсації) генератора та обчислює команди напруги та струму E_q^{cmd} і I_P^{cmd} . Якщо перемикач $vlflg$ встановлено на 1, напруга на клеммах порівняння додається до опорної напруга U_{ref} , генерується напруга помилки U_{err} , і цей сигнал потім множиться на коефіцієнт посилення та інтегрується для обчислення внутрішньосмугової команди E_q^{cmd} . Величина підсилення визначає ефективну постійну часу, пов'язану з контуром регулювання напруги. Якщо перемикач $vlflg$ встановлено на 0, різницею інтеграл між Q_{cmd} і Q_{gen} використовується безпосередньо для обчислення команди E_q^{cmd} для керування Q_{gen} . В обох випадках E_q^{cmd} підлягає обмеженню, що змінюється в часі, яке $Limits$ відображає характеристики обладнання і запобігати нереально високим або низьким значенням. Команда I_P^{cmd} обчислюється діленням потужності P_{ord} моделі вітрової турбіни на напругу на клеммах генератора U_{term} .

Моделі вітрової турбіни та блоку керування турбіною. Моделі вітрових турбін забезпечують спрощене представлення дуже складних електромеханічних систем. Блок-схема моделі показана на малюнку 7. Простіше кажучи, функція вітряної турбіни полягає в тому, щоб генерувати якомога більше електроенергії з доступного вітру, не перевищуючи допустиме значення обладнання. Модель вітряної турбіни відтворює всі важливі елементи керування та механічну динаміку вітрової турбіни. Модуль під назвою «Вітроенергетична модель» середньої складності, з алгебраїчними залежностями, які контролюють механічну потужність на валу, яка залежить від швидкості вітру, швидкості обертання ротора та кута нахилу лопатей.

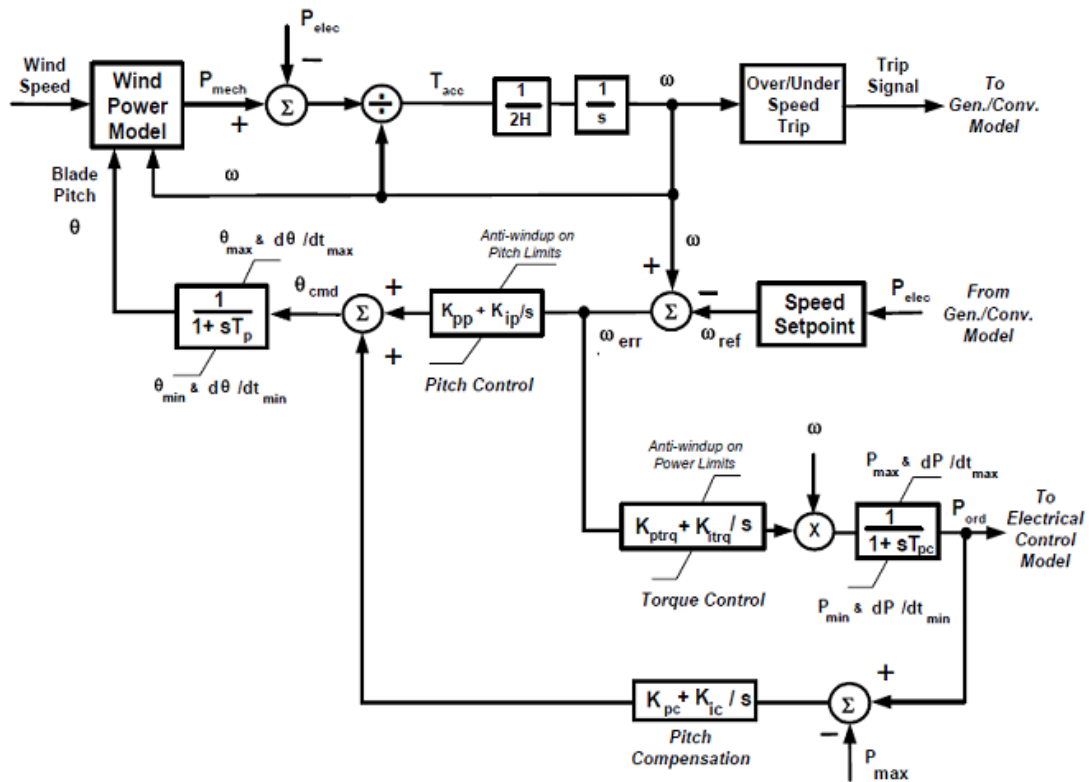


Рисунок 1.7 – Блок-схема моделі вітрової турбіни

Механічна модель ротора. Верхня частина рисунка 1.7 містить рівняння інерції ротора вітрової турбіни. Це рівняння використовує механічну потужність моделі енергії вітру та електричну потужність моделі генератора/перетворювача для розрахунку швидкості ротора. Цю частину моделі можна розширити, включивши модель двомасового ротора та розділивши маси турбіни та генератора. Це розширення можливе для відносно низьких власних кутових частот, характерних для вітрових систем. Модель також включає логіку відключення при перевищенні швидкості (більше 1,3) і при зниженні швидкості (менше 0,7). Модель керування паровою турбіною. Модель управління турбіною показана в нижній частині рисунка 1.7. Практичний сенс керування турбіною полягає в тому, що при перевищенні дозволеної потужності вітру лопаті нахиляються, щоб зменшити механічну потужність (P_{mech}), що передається на вал, до номінального значення (1,0 В.о.).

Якщо доступна сила вітру менша за номінальну потужність, лопаті встановлюються на мінімальний кут нахилу, щоб максимізувати механічну потужність. У будь-якому випадку блок керування турбіною визначає швидкість вала і намагається повернути машину до номінальної швидкості. Швидкість керування кутом нахилу досить велика і матиме значний вплив на результати моделювання динаміки. Модель керування турбіною надсилає команди до електричного блоку керування, щоб перетворювач передавав електроенергію в мережу. Електричне керування може або не може успішно виконати команду. Потужність, фактично передана в мережу, повертається в модель турбіни для використання в розрахунках заданого значення швидкості ротора. Як було сказано вище, динаміка електричного управління дуже швидка.

Для рівнів потужності, нижчих від номінального, швидкість турбіни буде регулюватися головним чином за допомогою команд електричної потужності до заданої цільової швидкості. Для рівнів потужності, вищих за номінальний, частота та обертання ротора спочатку контролюються за допомогою регулювання кута нахилу, що дозволяє швидкості підніматися вище заданого значення протягом короткого періоду часу. У цій моделі привід положення лопаті має кінцеве значення та є постійною протягом коротких періодів часу, пов'язаних із впливом кута лопаті на вихідну (механічну) потужність. Кут нахилу регулюється, не викликаючи різниці у відповідному прискоренні вала через збільшення швидкості вітру або збоїв у системі. Незважаючи на це, реакція є адекватною та відносно повільною порівняно з електронним керуванням.

Блок налаштування швидкості повільно відстежує зміни потужності з постійною часом приблизно 5 секунд. Роль керування турбіною полягає в згладжуванні коливань електричної потужності через коливання потужності на валу. Дозволяючи швидкості машини змінюватися навколо встановленої швидкості, інерція машини діє як буфер проти змін механічної енергії.

Модель не передбачає відключення турбін під час високої чи низької швидкості вітру. У ситуаціях, коли робота системи залежить від такої поведінки, користувач може просто вимкнути машину.

1.2 Структурна схема роботи автономної вітрогенераторної установки

До основних компонентів системи відносяться такі елементи (рис. 1.8), без яких робота вітряка була б неможлива:

1 генератор - необхідний для зарядки акумулятора. Швидкість заряджання акумулятора залежить від його заряду. Для отримання змінного струму потрібен генератор. Струм і напруга генератора залежать від швидкості та стійкості вітру.

2 лопаті - Використовуйте кінетичну енергію вітру для приводу валу генератора.

3 щогли – як правило, чим вища щогла, тим сильніший вітер. Видно, що чим вище щогла, тим вище продуктивність генератора. Щогли бувають різної форми і висоти.

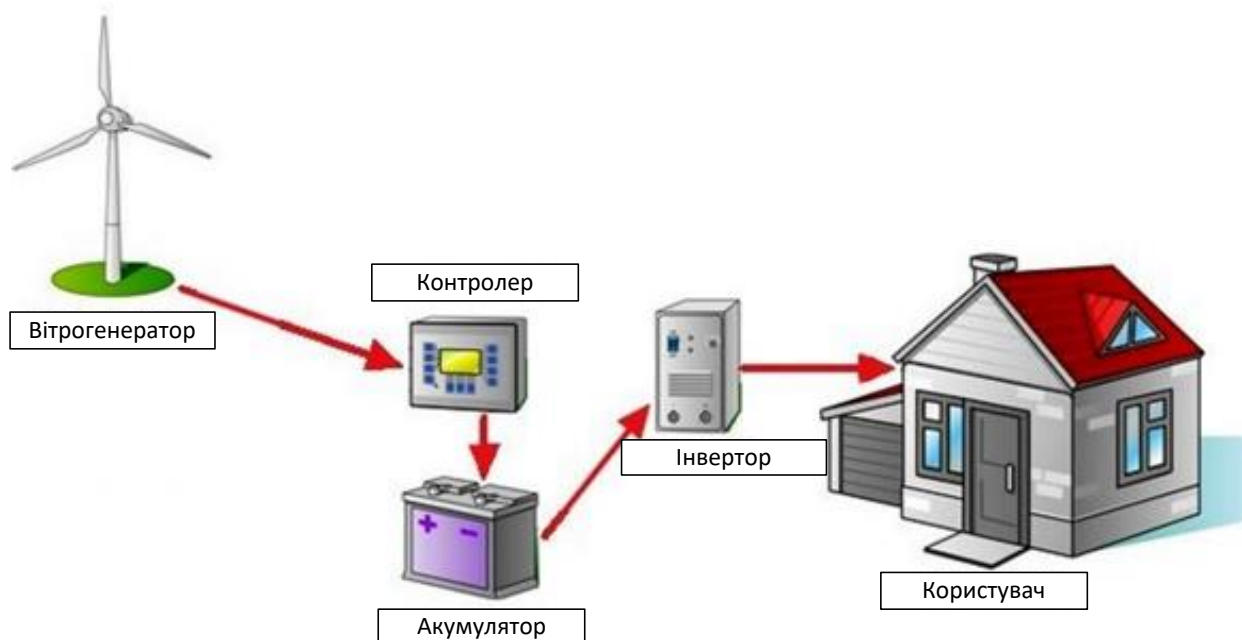


Рисунок 1.8 – Схема роботи автономної вітрогенераторної установки

Список додаткових необхідних компонентів:

1. Контролер керує багатьма процесами вітрової турбіни, такими як обертання лопатей, зарядка акумулятора, функції захисту тощо. Він перетворює змінний струм, який генерує генератор, у постійний для зарядки акумулятора.

2. Акумулятор - накопичує електроенергію для використання, коли немає вітру. Вони також вирівнюють і стабілізують вихідну напругу генератора. Завдяки їм ви отримуєте стабільну напругу без перебоїв навіть при поривчастому вітрі. Ваш заклад працює від акумулятора.

3. Анемометр і датчик напрямку вітру - відповідають за збір даних про швидкість і напрям вітру в установках середньої та високої потужності.

4. AVR - автоматичне перемикання живлення. Коли основне джерело живлення зникає, кілька джерел живлення автоматично перемикаються протягом 0,5 секунди. Це дозволяє об'єднати в одну автоматизовану систему вітрові турбіни, електромережі, дизельні генератори та інші джерела енергії. ПРИМІТКА: AVR не дозволяє жити об'єкт від двох різних джерел живлення одночасно!

1. Інвертор - перетворює потужність постійного струму, накопичену в акумуляторі, на потужність змінного струму, яка споживається більшістю побутових приладів.

Існує чотири види інверторів:

1. Модифікована синусоїда - перетворює струм у модифіковану синусоїду змінного струму з напругою 220 В (також відомий як: квадратна синусоїда). Підходить лише для пристроїв, які не чутливі до якості живлення, освітлення, опалення, зарядки пристрою тощо.

2. Чиста синусоїда - перетворює струм в чисту синусоїду змінного струму з напругою 220В. Підходить для будь-якої техніки: електродвигунів, медичного обладнання та ін.

3. Трифазний - перетворює струм в три фази з напругою 380В. Може використовуватися на трифазному обладнанні.

4. Мережа – на відміну від попередніх типів, дозволяє системі працювати без акумуляторів, але її можна використовувати лише для експорту елект-

роенергії в загальнодоступну мережу. Їх вартість зазвичай в кілька разів перевищує вартість автономних інверторів. Іноді вони коштують дорожче, ніж усі інші компоненти вентиляційної системи разом узяті.

1.3 Висновки до розділу

У даному розділі було здійснено порівняльну характеристику приладу, який розробляється, з відомим прототипами та аналогами. Зазначені переваги та недоліки.

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ КОНТРОЛЕРА ЗАРЯДКИ ДЛЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРА

2.1 Області застосування та цілі розробки приладу

Характеризуючи можливі області застосування розробленого пристрою у вітроенергетиці, можна сказати, що контролер управляє багатьма процесами вітрогенератора, такими як обертання лопатей, зарядка акумулятора, захисні функції тощо. Він перетворює змінний струм, який генерує генератор, у постійний для зарядки акумулятора.

Тому розроблений в роботі простий контролер заряду вітрової турбіни використовується як пристрій керування багатьма процесами вітрових турбін. Метою розробки контролера заряду вітрової турбіни було створення пристрою, який буде простим у використанні та має широкий спектр функцій. [16]

2.2 Аналіз технічних вимог та умов експлуатації

Це обладнання є стаціонарним.

Пристрій працює без постійної вібрації і має значення робочої температури повітря 50 °C (зверху), -40 °C (знизу).

До корпусу обладнання висуваються вимоги з електробезпеки та механічної міцності.

За робочими параметрами прилад відноситься до першої категорії - прилади, що працюють на стаціонарному ґрунті. Допустимий вплив теплового удару на пристрій: вище +24 °C і нижче 0 °C.

Ми спрощуємо аналіз робочих умов у наступній формі (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Аналіз умов експлуатації

Група використання	Стаціонарна
Клас використання	Наземний

Продовження таблиці 2.1

Група використання	Непрофесійна
Категорія розміщення	Приміщення з нормальними умовами
Умови експлуатації	Лабораторне чи студійне приміщення

Обґрунтування обраних категорій:

Група використання - стаціонарна (згідно класифікаційної характеристики контролер зарядки для вітрогенератораналежить до нерухомої апаратури);

Клас використання - наземний, (апаратура, яка працює на нерухомій основі);

Підгрупа використання – непрофесійна;

Категорія розміщення – 2, (для експлуатації в приміщеннях, під навісом і на об'єктах, коли коливання температури або вологості значно відрізняється від умов при відкритому повітрі). [17]

Норми зовнішніх дій зведені до таблиці 2.2.[17]

Таблиця 2.2 – Норми зовнішніх дій

Вигляд дії	Нормоване значення
Міцність при транспортуванні:	
Довжина ударного імпульсу, мс	11
Прискорення пікове, g	15
Кількість ударів у хвилину	1000
Теплостійкість:	
Робоча температура, °C	40
Гранична температура, °C	55
Холодостійкість:	
Робоча температура, °C	-
Гранична температура, °C	-40
Вологостійкість:	
Відносна вологість, %	93
Температура, °C	25
Стійкість до зниженого атмосферного тиску, кПа	70

Аналіз технічних умов:

1. Найменування пристрою – позиціонер супутникових антен.
2. Призначення - ручне й автоматичне керування положенням супутникової антени й автоматичне налаштування антени в будь – який з цих положень.

Технічні параметри:

1. Напруга живлення – 220 В.
2. Струм – змінний.
3. Кількість каналів – 100.
4. Номінальний рівень вхідного сигналу – 0,775.
5. Частотний діапазон – 50 Гц – 20кГц.
6. Габаритні розміри, не більше - 150х90х80 мм.
8. Маса – 2.1 кг.

Вимоги до конструкції приладу:

1. Зовнішній вигляд – це буде корпус прямокутної форми, на задній панелі якого є роз’єми для підключення живлення та сигнальні входи.
2. Корпус пристрою має бути виготовлений з металу. [17]

2.3 Вибір і обґрунтування аналогів

Уніфікований контролер на базі цифрового сигнального процесора TMS320 .

1. Призначення:

Він призначений для створення високоефективних систем керування електроприводами на основі електричних двигунів змінного струму та перетворювальної техніки.

2. Переваги в порівнянні зі світовими та вітчизняними виробниками:

Приводи змінного струму на ринку, включаючи такі відомі бренди, як SIEMENS і ABB, можуть задовольнити вимоги великої кількості технічних застосувань у сучасній промисловості. Водночас залишаються деякі проблеми, які роблять неможливим або ускладненим використання серійних електропри-

водів. Це електроприводи для транспортних засобів, електроприводи на базі машин подвійної потужності, спеціальне обладнання. У перелічених областях застосування необхідне використання сучасних нелінійних законів керування, що потребує підвищеної точності та обчислювальної потужності пристроїв керування для їх реалізації. Розроблений контролер та його програмне забезпечення дозволяють створити систему керування приводами змінного струму та перетворювальним обладнанням, яка за якістю керування та енергоефективністю не поступається аналогічним продуктам у світі.

3. Основні технічні характеристики:

- 6 розрядний процесор с 32 розрядним акумулятором;
- Тактова частота – 40 МГц;
- Виконання операцій $Y=AB+C$ за один такт;
- 32 kWord флеш-пам'яті;
- 2.5 kWord оперативної пам'яті;
- 8 kB флеш-пам'яті для параметрів налаштування;
- 14 аналогових входів (10 розрядний АЦП, час перетворення 1 мкс);
- 1 аналоговий вихід;
- 8 каналів ШІМ;
- 8 дискретних входів/виходів загального призначення;
- два канали для підключення фото імпульсних датчиків швидкості;
- комунікаційні інтерфейси RS-232, RS-485, CAN;
- 6 гальванічно розв'язаних дискретних входів;
- 2 гальванічно розв'язаних дискретних виходи;
- Живлення: $+2 \times 5$ В; ± 15 В;
- Розміри: 120x90x25 мм.

Вітрогенератори з вертикальною віссю обертання менш популярні, але заслуговують на окрему увагу. У деяких випадках вони більш актуальні. Вертикальні вітрогенератори також можна розділити на швидкохідні та тихохідні. Класичним прикладом вертикального тихохідного вітряка є карусельна вітряна турбіна.

Представлена на малюнку установка має такі характеристики:

- номінальна потужність - 1 Квт ;
- 2 ветромодуля ;
- конструкція безвантова (немає розтяжок) ;
- висота установки - 12 метрів ;
- рівень шуму - 0 дБ на відстані 15 метрів ;
- починає виробляти електроенергію при швидкості вітру від 3 м / сек.

Такі вітрогенератори виготовляють у США, Канаді, Великобританії, Японії та Німеччині. Вони прості в експлуатації і блискуче справляються з приземними мінливими потоками. Коли швидкість вітру збільшується, система негайно збільшує силу тяги, а потім автоматично стабілізує швидкість обертання. Що стосується особливостей вертикальних механізмів, поворотні вітрогенератори рухаються повільно, що дозволяє використовувати прості схеми без ризику пошкодити обладнання при випадкових поривах вітру. Ортогональний тип є перспективним для великої електроенергетики. Дійсно, у цих розробок є суттєвий недолік – схожі на старі літаки, тобто для того, щоб конструкція «злетіла», їй потрібен «розбіг». Тобто, щоб пристрій перемикався з режиму двигуна в режим генератора, його потрібно подати під напругу, повернувши до певних аеродинамічних параметрів.

Таблиця 2.3 - Порівняльна таблиця параметрів вітрових контролерів типу st24m, st48m, st96m, st120m

	Вітровий контролер st24m	Вітровий контролер st48m	Вітровий контролер st96m	Вітровий контролер st120m
Номінальна напруга: В	24	48	96	120
Максимальна входна напруга: В	40	80	160	200
Максимальна вихідна напруга: В	28.4	56.8	113.6	142
Номінальний струм: А	25	25	25	25

Продовження таблиці 2.3 - Порівняльна таблиця параметрів вітрових контролерів типу st24m, st48m, st96m, st120m

Максимальний струм (короткочасно): А	30	30	30	30
Дисплей:	LED (струм заряду / напруга АКБ)	LED (струм заряду / напруга АКБ)	LED (струм заряду / напруга АКБ)	LED (струм заряду / напруга АКБ)
Робоча температура:	-20...+60	-20...+60	-20...+60	-20...+60
Вологість:	0-80% без конденсату	0-80% без конденсату	0-80% без конденсату	0-80% без конденсату
Ступінь захисту:	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20

2.4 Попередній аналіз і розробка схеми

2.4.1 Аналіз електричної принципової схеми та принцип роботи

Призначення.

Контролер призначений для створення високоефективних систем керування електроприводами на основі електричних двигунів змінного струму та перетворювальної техніки.

Переваги у порівнянні зі світовими та вітчизняними виробниками.

Приводи змінного струму на ринку, включаючи такі відомі бренди, як SIEMENS і ABB, можуть задовольнити вимоги великої кількості технічних застосувань у сучасній промисловості. Водночас залишаються деякі проблеми, які роблять неможливим або ускладненим використання серійних електроприводів. Це електроприводи для транспортних засобів, електроприводи на базі машин подвійної потужності, спеціальне обладнання. У перелічених областях застосування необхідне використання сучасних нелінійних законів керування, що потребує підвищеної точності та обчислювальної потужності пристроїв керування для їх реалізації. Розроблений контролер та його програмне забезпечення дозволяють створити систему керування приводами змінного струму та

перетворювальним обладнанням, яка за якістю керування та енергоефективністю не поступається аналогічним продуктам у світі.

Основні технічні характеристики

Завдяки присутності 8-канальному 10-розрядного АЦП мікроконтролер (МК) PIC16F676 має широке застосування у контролерах вітрогенераторної техніки. Внутрішня структура і призначення висновків PIC16F676 збігаються з PIC16F630. Хоча PIC16F630 дорожче PIC16F676 приблизно на 20%, він має більш обмежені можливості. Програмувати ці МК можна за допомогою дуже поширених у вільному користуванні програматорів.

Мікроконтролери PIC16F676 і PIC16F630 є представниками так званої сімейства мікроконтролерів Microchip Technology Inc. "Mid-Range MCU Family". Ядром цієї серії мікроконтролерів є високопродуктивний RISC-процесор, що значно спрощує його освоєння а Він складається з двійкових 14-розрядних слів і виконується за один машинний цикл. Кожен машинний цикл виконується за чотири цикли тактової частоти МК, тобто до 20 МГц, за винятком інструкцій перетворення, які виконуються за два машинних цикли.

Один із шести джерел тактового сигналу можна вибрати програмно:

- RC - зовнішній RC генератор (два режими);
- INTOSC - внутрішній генератор 4 МГц (два режими);
- EC - зовнішній тактовий сигнал;
- XT - стандартний резонатор;
- HS——високочастотний резонатор;
- LP - низькочастотний резонатор.

Діапазон напруг живлення для мікросхем PIC16F630 і PIC16F676 становить 2,0...5,5 В. Мікроконтролер має низьке енергоспоживання:

- Менше 1,0 мА при напрузі живлення 5,5 В і тактовій частоті 4 МГц;
- 400 мкА (тип.) при напрузі живлення 2,0 В і тактовій частоті 4 МГц;
- 100 мкА (тип.) при напрузі живлення 2,0 В і тактовій частоті 1 МГц;
- 8,5 мкА (тип.) при напрузі живлення 2,0 В і тактовій частоті 32 кГц;
- Менше 1,0 мкА в режимі енергозбереження (сон);

- Типовий струм в режимі очікування становить 1 нА при напрузі живлення 2 В.

Ці МК містять два 6-розрядних порти: А (контакти RA0...RA5) і С (контакти RS0...RS5). Більшість контактів порту мікроконтролера є багатофункціональними. Конкретне призначення кожного з них задається програмою. Під час роботи виходу порту А внутрішні підтягувальні резистори можуть бути підключені до входу кожного програмного виходу (з окремим бітом дозволу). МК PIC16F630/676 містить флеш-пам'ять програм на 1024 x 14 двійкових слів і пам'ять даних EEPROM на 64 байти. Флеш-пам'ять можна перезаписати 100 000 разів, а EEPROM 1 000 000 разів. Інформація, записана в EEPROM і флеш-пам'яті, може зберігатися більше сорока років. Ці контролери підтримують переривання при мінливих рівнях сигналу, викликані чотирма джерелами. Для обробки переривань і підпрограм PIC16F630/676 має 8-рівневий апаратний стек. Усі забезпечують режими прямої, непрямої та відносної адресації для команд і даних.

Периферійні пристрої PIC16F630/676 включають 8-бітний лічильник таймера (Timer0), 16-бітний лічильник таймера (Timer1), 12 індивідуально настроюваних одноканальних портів введення та виведення, аналоговий компаратор і програмовані входи та виходи. Крім того, мікросхема PIC16F676 містить 10-розрядний модуль АЦП з 8 програмованими каналами. Одразу зауважимо, що основна відмінність між PIC16F676 і PIC16F630 полягає в тому, що 8 з 12 виходів портів можна запрограмувати як входи АЦП (AN0...AN7). Крім того, PIC16F630 не містить модуля АЦП.

МК PIC16F630/676 має такі особливості:

- Скидання при включенні (POR);
- Скидання через падіння напруги живлення (BOR);
- Забезпечує Power-On Timer (PWRT), Generator Start-up Timer (OST) і Watchdog Timer (WDT) з власним вбудованим RC генератором (для підвищення надійності роботи МК);

ULN2003 ULN2003A це є транзисторна збірка Дарлінгтона Ардуіно Arduino.

ULN2003 (uln2003a), це транзисторна збірка Дарлінгтона, кожен виріб містить сім пар Дарлінгтона з відкритим колектором і загальним висновком. Кожен канал розрахований на струм 500 мА і може витримувати піковий струм 600 мА. Діоди включені для придушення індуктивного навантаження, входи можуть переключатися на виходи для спрощення управління. Ці універсальні пристрої корисні для роботи в широкому діапазоні навантажень, включаючи електромагнітні клапани, реле двигунів постійного струму, світлодіодні лампи розжарювання, і теплові друкують голівки. Транзисторна збірка поставляється в 16 вивідному пластмасовому DIP-корпусі з об'ємною для зниження опору вивідними ніжками. Вхід: CMOS: Виходів: 7: Iout.max: 500 мА: Uout.max: 50 В: Логіка: Invert: Затримка: 250 нс.

Особливості (uln2003a):

- Сім пар Дарлінгтона в одному корпусі ;
- Вихідний струм драйвера 500 мА (600 мА пік) ;
- Вихідна напруга 50 В ;
- Вбудовані діоди придушення для індуктивних навантажень ;
- Виходи можуть підключатися паралельно для більш високої пропускну здатності струму ;

- TTL / КМОП / МОП / DTL сумісні входи ;
- Перемикання входів / виходів для спрощення управління.

Загальні відомості :

- Номенклатурний номер ULN2003A;
- Виробник STMicroelectronics;
- Номенклатурний номер виробника ULN2003A.

Короткий опис ICARRAYSSEVENDARL:

- Тип Транзисторна збірка Дарлінгтона ;
- Кількість драйверів / Ресивер 7/0.

Як правило, компонентну основу визначає розробник схеми. Мета аналізу бібліотеки компонентів полягає просто в тому, щоб з'ясувати, чи забезпечує вона задані характеристики продукту, як це визначено умовами та режимами роботи, і чи необхідно окреслити будь-які конструктивні заходи для належного функціонування розробки, хоча Номінальні характеристики компонентів схеми повинні враховуватися і потужність, узгодженість її швидкісного коду, забезпечення технічних вимог обладнання та конструкції, але наявність цих типів компонентів у серійному виробництві.

Площа кріплення компонентів, розташованих на друкованій платі, розраховується наступним чином.

Якщо компонент має круглий поперечний переріз (для конденсаторів, транзисторів, вертикально встановлених резисторів тощо), то використовуйте наступну формулу для обчислення площі

$$S=D^2[\text{мм}^2], \quad (2.1)$$

де d – це діаметр компонента.

Якщо елемент розміщений на платі горизонтально, то установочна площа

$$S=a \cdot b[\text{мм}^2], \quad (2.2)$$

де a , b – це відповідно ширина і довжина установки. [18]

Мікроконтролери PIC16F676iPIC16F630 виготовляються в 14-вивідних корпусах PDIP, SOICiTSSOP. Розташування висновків цих МК наведено на рис.

2.1

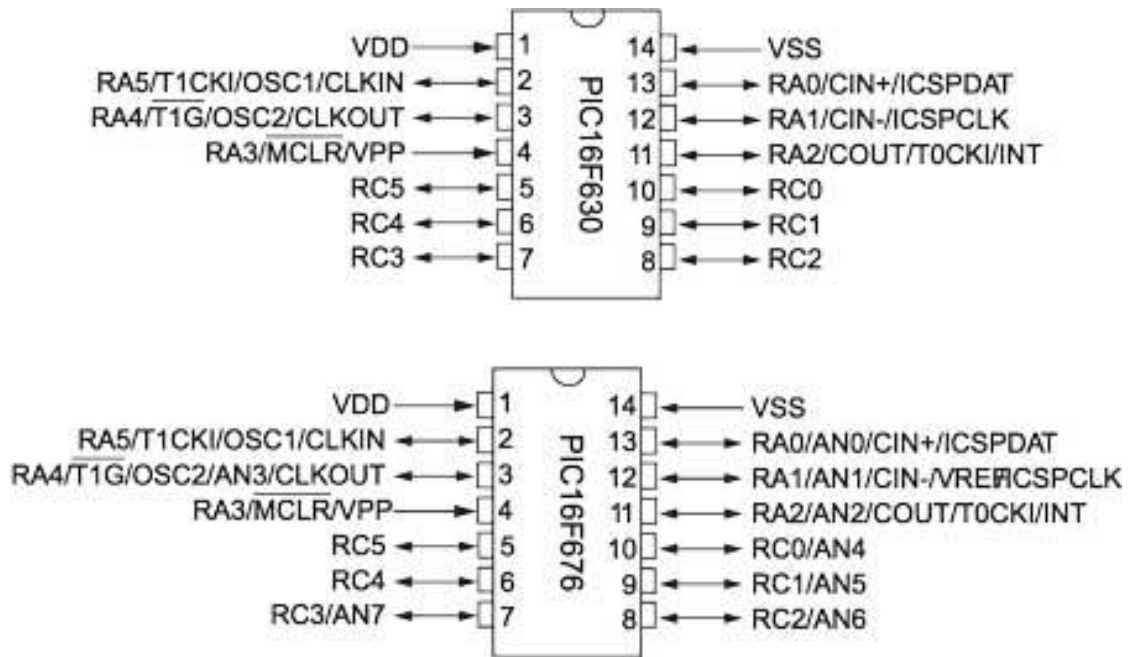
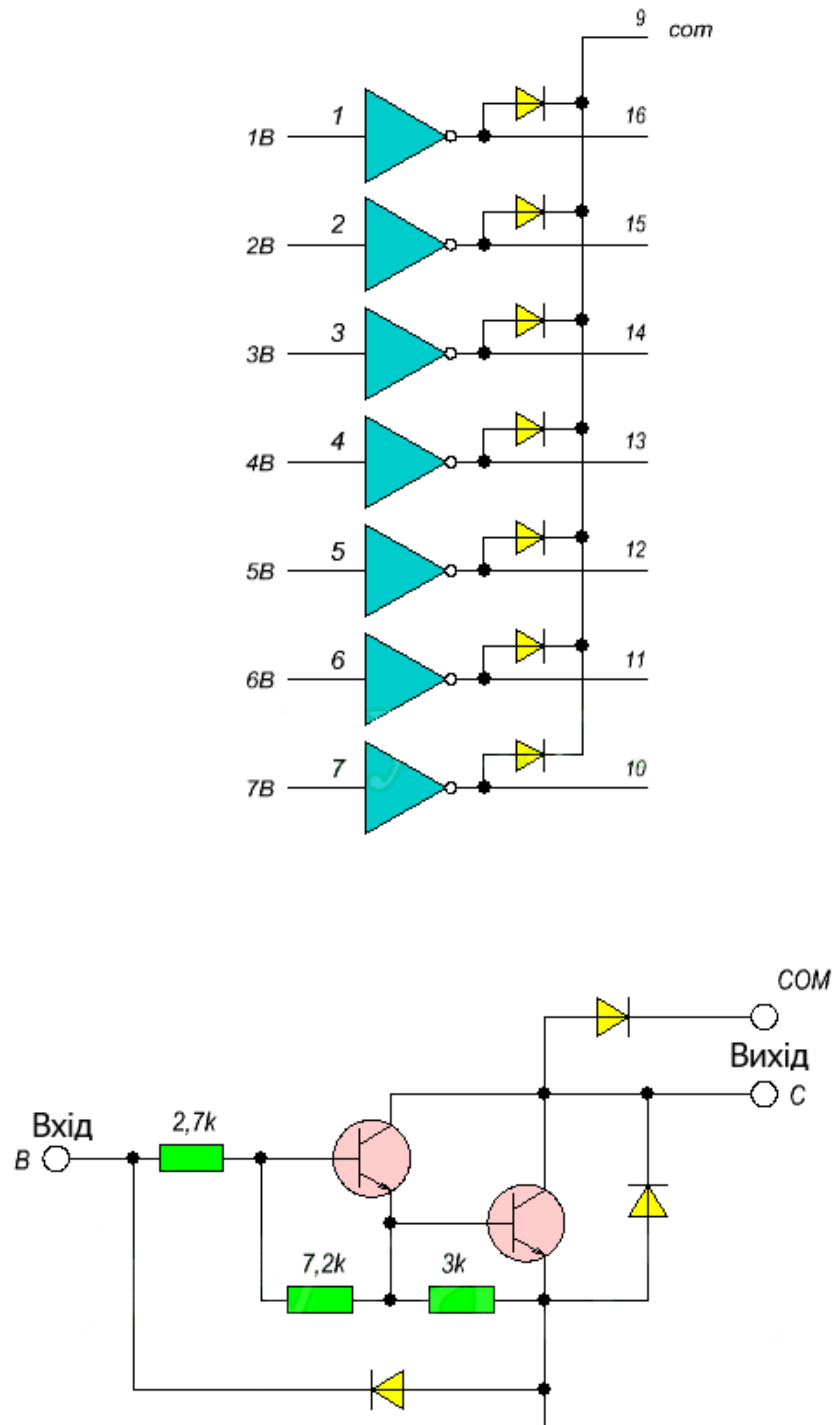


Рисунок 2.1 – Мікроконтролери PIC16F676іPIC16F630

Мікросхеми ULN2003 це транзисторна збірка Дарлінгтона з вихідними ключами підвищеної потужності, яка має на виходах захисні діоди, які призначені для захисту керуючих електричних ланцюгів від зворотного викиду напруги від індуктивного навантаження.

Технічний опис ULN2003. Структурна та принципова схема.



Характеристики :

- Номінальний струм колектора One-touch 0,5A;
- Максимальна вихідна напруга до 50V;
- На виході є захисний діод;
- Введення адаптується до різних логік;

- Можна застосовувати для релейного керування.

Таблиця 2.4 Конструктивно-експлуатаційні характеристики елементів

Назва еле- мента Тип корпуса мікросхем	Кіл., шт.	Конструктивні па- раметри		Допустимі умови експлуатації		
		Площа встанов.	Діаметр виводу, мм	Макс. темп. °C	Частота вібрації Гц	Струм спо- живання mA
Конденсатори						
K50-35- 22мкФ-25В	4	25*4	0.9	+155	15...200	10
K10-17Б- 100n	3	18*3	0,9	+155	15...200	7,5
Мікросхеми						
DIP- 100(DD1)16f 676	1	70	0,9	+70	5...600	30
DA1 ULN2003	1	70	0,9	+70	5...600	15
DA2 78L05	1	25	0,9	+70	5...600	15
DIP- 100(U1)DA3 _7812	1	25	0,9	+70	5...600	15
Діоди						
VD1 1N4733A	1	50	0,9	55÷+85 ⁰ C	10...600	10
VD2 1N45A	1	50	0,9	55÷+85 ⁰ C	10...600	10
HL1-HL6 АЛ307А	6	75*6	0,9	55÷+85 ⁰ C	10...600	20
Назва еле- мента Тип корпу- са мікрос- хем	Кіл., шт.	Конструктивні па- раметри		Допустимі умови експлуатації		
		Площа встанов.	Діаметр виводу, мм	Макс. темп. °C	Частота вібрації Гц	Струм спо- живання
Резистори						
C2-23	8	15*8	0,9	+70	10...200 0	10
Реле						
TRK792-12V	4	110*4	0,9	+70	10...200 0	10
Розніми						
PWL-2	2	100*2	0,5	10÷+125 ⁰ C		

2.5 Технологія виготовлення друкованих плат

Усі процеси виготовлення друкованих плат можна розділити на: субтрактивний метод, адитивний метод і напівадитивний метод.

Субтрактивний процес - отримання провідного візерунка передбачає вибіркове видалення провідних ділянок фольги методами травлення.

Адитивні процеси включають вибіркове осадження провідних матеріалів на основу друкованої плати.

Напівадитивний процес – передбачає попереднє нанесення тонкого електропровідного покриття з подальшим його видаленням з місць, де є прогалини.

Відповідно до ГОСТ 2375-86 конструкція друкованих плат враховує такі способи виготовлення:

- Хімічний - для двосторонніх друкованих плат;
- Позитивна комбінація - для використання на двосторонніх друкованих платах з металізованими монтажними отворами.

Як правило, двосторонні друковані плати виготовляються методом комбінування позитивної плівки, що передбачає експонування малюнка друкованих елементів зі світлочутливої позитивної плівки. Технологічний процес виготовлення друкованих плат за цим методом дуже розвинений, а технологічне обладнання добре оснащене.

Комбінований метод — це поєднання хімічних і електрохімічних методів. Вихідним матеріалом є діелектрик, фольгований з обох сторін, тому електропровідний малюнок виходить травленням міді, а металізація отворів досягається безгальванічним мідненням і подальшим електрохімічним осадженням шару міді. Пайка клем ERE виконується шляхом заповнення припоєм отворів у платі.

Комбінований спосіб складається з наступних основних операцій: вирізування заготовки та хіміко-механічна обробка поверхні, отримання захисного малюнка, нанесення захисної лакофарбової плівки, свердління та зенкерування,

безгальванічного міднення та зняття лакофарбової плівки, гальванопластика міді в два прийоми. Цей спосіб характеризується високою трудомісткістю та вимагає великої кількості ручних операцій під час процесу [18].

Підготовка поверхні перед нанесенням фоторезисту включає хімічне знежирення в розчині тринатрійфосфату.

Температура розчину 40-60°C, час обробки 2-5 хвилин.

Виробництво фольгованих склотекстолітових заготовок здійснюється шляхом нарізки листів дисковою фрезою діаметром $d=100\text{мм}$ і товщиною 3мм. Швидкість різання 100-120 мм/с.

Механічне та хімічне очищення поверхні мідної фольги полягає в наступному: очистити мідною абразивною ганчіркою, промити проточною водою, обробити 5-7% розчином HCl протягом 30 секунд і промити.

Фоторезист напилюється на поверхню фольги шляхом центрифугування та сушіння. Швидкість центрифуги 80-100 об/хв, температура сушіння 35-40°C.

Експонування друкованого зображення здійснюється в копіювальній рамі протягом 8-10 хвилин.

Виконання захисного лицьового зображення друкованої плати проводиться в ультразвуковій коливальній ванні з теплою водою ($t=40-50^\circ\text{C}$);

Мідь на незахищених ділянках фольги травлять (видаляють) в травильній установці КТ-38 протягом 15-18 хвилин, потім пластину обробляють водним розчином FeCl_3 і потім промивають холодною водою.

Нанести фарбу і просушити 6 годин при температурі 20-30°C.

буріння.

Для зенкування використовуйте свердло діаметром 1,25 мм.

Для поверхневої активації використовуйте розчин хлориду олова.

Безелектричне міднення 40% розчином мідного купоросу 20 хв.

Для видалення захисної фарби використовуйте ацетон.

Сушка.

Покриття сплавом РОЗЕ методом занурення у ванну при температурі $t=95^\circ\text{C}$.

Вибір матеріалу друкованої плати.

У нас такі вимоги до матеріалів:

- а) Висока технологічність;
- б) Високі електрофізичні властивості;
- в) здатний працювати в умовах вакууму;
- д) Забезпечити високу адгезію;
- д) Мінімальна механічна деформація.

Таблиця 2.5 Властивості матеріалів друкованих плат

Параметр	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Щільність без фольги, кг/м ³	1300...1400	1300...1500	1600...1900
Відносна діелектрична проникність	4,5...6	4,5...6	5...6
Питомий об'ємний опір, Ом·м	1012...1014	1012...1014	1014...1015
Діапазон робочих температур, °C	-60...+80	-60...+70	-60...+100

Найчастіше при виготовленні друкованих плат використовують склотекстоліт і гетинакс марок:

- а) ГФ - фрустрований гетинакс;
- б) СФ - фольгований склотекстоліт;
- в) ФГС - склотекстоліт травлений фольгою;
- г) СФПН - термостійкий фольгований склотекстоліт;
- д) STF – термостійке скловолокно.

Товщина друкованої плати визначається товщиною вихідного матеріалу та вибирається на основі підкладки компонента та навантаження.

Велика частина деталей пристрою розташована на друкованій платі.

Друкована плата піддається механічним навантаженням, тому слід вибирати скловолокно товщиною 2 мм. Граничне відхилення товщини цієї скловолоконної плити становить 0,2 мм.

На друкованій платі розміщено 34 радіоелементів. Мінімальний діаметр отворів для монтажу радіоелементів складає 0,9 мм.

Товщина друкованої плати розраховується за формулою

$$H_{\text{дп}} \leq \frac{d_{\text{min}}}{V} [\text{мм}], \quad (2.3)$$

де d_{min} - мінімальний діаметр отвору ($d_{\text{min}}=0,9$), мм;

V - співвідношення діаметру отвору до товщини пластини ($V=0,45$).

$$H_{\text{дп}} = \frac{0,9}{0,45} = 2 (\text{мм}).$$

В якості матеріалу друкованої плати обрано скло фольговане - текстоліт двосторонній СФ-2-35-2 ГОСТ 10316-78 з товщиною фольги 35 мкм і товщиною фольгованого матеріалу 2 мм. Для виготовлення двосторонніх і односторонніх друкованих плат. Матеріал являє собою шаруватий пресований пластик зі склотканини, просоченої термореактивною смолою і обшитої з обох сторін мідною фольгою.

Для утеплення корпусу використовується пластик ТУ 812.362 СМЗ.

2.6 Морфологічний аналіз

На основі сформульованих критеріїв виконуємо пошук оптимального варіанту конструкції приладу.

В результаті морфологічного аналізу вибрано оптимальний варіанти приладу, який характеризуються такими ознаками:

- Група РЕА приладу: Стаціонарна – стандартний лабораторний або офісний прилад, який постійно знаходиться в приміщенні;
- Тип приладу: радіоелектронний – в приладі використовуються радіоелектронні та електронні вузли, більша споживча потужність;

Таблиця 2.6. Морфологічна таблиця

Ознака		Альтернативні варіанти ознак		
№	Найменування	№	Найменування	
1	Група РЕА приладу	1	Стаціонарна	+
		2	Портативна	
2	Тип приладу	1	Радіоелектронний	+
		2	Оптоелектронний	
3	Форма корпусу блоку керування	1	Паралелепіпед	+
		2	Призма	
		3	Куб	
4	Тип корпусів	1	Герметичний розбірний	
		2	Герметичний нерозбірний	
		3	Негерметичний	+
5	Матеріал корпусу основного блоку	1	Сталь	
		2	Алюміній	
		3	Пластмаса	+
6	Матеріал мікро плати	1	Стеклотекстоліт	+
		2	Скло	
		3	Кераміка	
7	Елементна база	1	Плівкові елементи	
		2	Нависні елементи	+
		3	Гібридна	

- Модуляція сигналу, що передається: Широтно-імпульсна;
- Форма корпусу блоку керування: Паралелепіпед – в даній конструкції вибір форми блоку є оптимальним для розміщення в ньому всіх функціональних частин;
- Тип корпусів: негерметичний – Всі складові деталі корпусу виготовляються окремо, після чого відбувається складання корпусу;
- Матеріал корпусу основного блоку: Пластмаса – володіє достатньою механічною міцністю та має добрі якісно-цінові показники, також спрощує технологію виготовлення;

- Матеріал мікроплати: склотекстоліт фольгований двосторонній марки СФ-2-35-2. Він вигідно відрізняється від інших матеріалів своїми параметрами, такими як: висока механічна міцність, гарна теплопровідність, великий питомий опір й ін.;
- Внутрішня компоновка: Одноплатна – всі необхідні електричні модулі зведені на одній платі;
- Елементна база: Навісні елементи - всі елементи встановлюються навісним монтажем.

2.7 Розрахунок діаметрів контактних площадок

Для двосторонніх друкованих плат, що виготовлені комбінованим позитивним методом при фотохімічному способі отримання рисунку, мінімальний діаметр контактних площадок розрахований по формулі [17].

$$D := \left(d_{\text{отв}} + \Delta d_{\text{v.o.}} \right) + 2 \cdot b + \Delta t_{\text{v.o.}} + 2 \cdot \Delta_{\text{mp}} + \sqrt{\left(T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_{\text{n.o.}}^2 \right)} \quad (2.4)$$

де $d_{\text{отв}}$ - це діаметр просвердленого отвору ;

$\Delta d_{\text{v.o.}}$ - це верхнє граничне відхилення діаметру отвору ($\Delta d_{\text{v.o.}} = 0.05 \text{ мм}$);

b – це ширина гарантійного паска ($b = 0,1 \text{ мм}$);

$\Delta t_{\text{v.o.}}$ – верхнє граничне відхилення ширини друкованого провідника ($\Delta t_{\text{v.o.}} = 0.1 \text{ мм}$);

Δ_{mp} – величина підтравки діелектрика ($\Delta_{\text{mp}} = 0 \text{ мм}$ для комбінованого методу виготовлення плати);

T_d – значення позиційного допуску розташування отворів відносно один одного ($T_d = 0,25 \text{ мм}$);

T_D – значення позиційного допуску розташування контактних площадок відносно один одного ($T_D = 0,25 \text{ мм}$);

$\Delta t_{\text{n.o.}}$ – нижнє граничне відхилення ширини друкованого провідника ($\Delta t_{\text{n.o.}} = 0.08 \text{ мм}$);

Діаметр отвору знаходимо за формулою

$$d_{otv} = d_{viv} + (0.2 \dots 0.4) [mm], \quad (2.5)$$

де d_{viv} – діаметр виводу електрорадіоелемента.

Зведемо розрахунок контактних площадок у таблицю 2.7

Таблиця 2.7 - Розрахунок контактних площадок

Назва еле- мента Тип кор- пуса мік- росхем	Кіл. , шт.	Конструктивні параметри		Діаметри		
		Площа вста- нов.	К-сть конта- ктних площа- док ел	d _{viv}	d _{otv}	D
Конденсатори						
K50-35- 22мкФ- 25B	4	25*4	8	0,5	0.9	1,5
K10-17Б- 100n	3	18*3	6	0,5	0.9	1,5
Мікросхеми						
DIP- 100(DD1)1 6f676	1	70	14	0,5	0,9	1,5
DA1 ULN2003	1	70	16	0,5	0,9	1,5
DA2 78L05	1	25	3	0,5	0,9	1,5
DIP- 100(U1)D A3_7812	1	25	3	0,5	0,9	1,5
Діоди						
VD1 1N4733A	1	50	2	0,55	1,1	1,5
VD2 1N45A	1	50	2			
HL1-HL6 АЛ307А	6	75*6	12	0,55	1,1	1,5
Резистори						
C2-23	8	15*8	16	0,6	0,9	1,5

Продовження таблиці 2.7 - Розрахунок контактних площадок

Реле						
TRK792-12V	4	110*4	16	0,5	1,1	1,5
Розніми						
PWL-2	2	100*2	4	0,5	0,9	1,5

Як видно з таблиці, діаметри отворів від 0,9 мм до 1,1 мм, діаметри контактних площадок 1,5 мм.

Для діаметр контактної площадки 1,5мм і кількість контактних площадок – 116 отримаємо

$$S = S_{\text{кп}} \cdot n = \pi \cdot r^2 \cdot n = 3,14 \cdot 0,75^2 \cdot 116 = 205 (\text{мм}^2). \quad (2.6)$$

Для діаметр контактної площадки 3 мм і кількість контактних площадок – 8 отримаємо

$$S = S_{\text{кп}} \cdot n = \pi \cdot r^2 \cdot n = 3,14 \cdot 1,5^2 \cdot 8 = 57 (\text{мм}^2). \quad (2.7)$$

Для діаметр контактної площадки 2*2 мм і кількість контактних площадок – 30 отримаємо

$$S = S_{\text{кп}} \cdot n = \pi \cdot r^2 \cdot n = 3,14 \cdot 2^2 \cdot 30 = 377 (\text{мм}^2). \quad (2.8)$$

Отже, площу, яку займають контактні площадки на платі охоронної сигналізації рівна 991 мм².

2.8 Розрахунок ширини провідників

Розрахунок ширини провідників здійснений для шин живлення, а також для інформаційних провідників.

Для шин живлення

$$B_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t} (\text{мм}), \quad (2.9)$$

де $j_{\text{доп}}$ - це допустима густина струму, для двосторонньої плати, яка виготовлена комбінованим методом, $j_{\text{доп}} = 48 \text{ А/мм}^2$;

t – це товщина провідника, $t = 50 \text{ мкм}$;

$I_{\max}$ - це максимальний постійний струм, що проходить через провідник;

$I_{\max} = 0,6 \text{ А}$.

Обчислюємо

$$B_{\min} = \frac{0,6}{48 \cdot 0,05} = 0,25 (\text{мм}). \quad (2.10)$$

Визначимо мінімальну ширину провідника з умови допустимого падіння напруги

$$b_{\min} = \frac{I_{\max} \cdot \rho \cdot l_{\max}}{\Delta U_{\text{доп}} \cdot t} (\text{мм}), \quad (2.11)$$

де ρ - це питомий опір провідників, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

$I_{\max}$ – це струм, що проходить по провіднику, $I_{\max} = 0,6 \text{ А}$;

$l_{\max}$ – це максимальна довжина провідника, $l_{\max} = 0,145 \text{ м}$;

$U_{\text{доп}}$ – це допустиме падіння напруги (що становить 5% від напруги живлення

$U_{\text{доп}} = 5 \cdot 0,05 = 0,25 \text{ В}$);

t – це товщина провідника.

$$b_{\min} = \frac{0,6 \cdot 0,0175 \cdot 0,145}{0,25 \cdot 0,05} = 0,12 \text{ мм} = 12 \text{ мкм} (< 250 \text{ мкм}) \quad (2.12)$$

Розраховане значення ширини провідника не перевищує значення, вибраного для третього рівня точності.

2.9 Висновок до розділу

Струмопровідні малюнки на друкованих платах повинні бути чіткими і без рваних країв, нерівностей, розшарувань, розривів, чорних плям, бруду, плям і оксидів/

Відповідно до електричної принципової схеми розмір друкованої плати продукту був визначений як 100×85 мм, а розрахункова вага становила 73,6 г. Матеріал друкованої плати - склотекстолітова фольга. З обох сторін підібрана марка СФ-2-35-2, товщина фольги 35 мкм, алюміній з товщиною фольги 2 мм.

3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

3.1 Розрахунок електромагнітної сумісності елементів друкованої плати

Зі збільшенням швидкості рішень питання високочастотних зв'язків між компонентами стає все більш актуальним. При цьому необхідно не тільки визначити параметри тієї чи іншої лінії зв'язку (опір, ємність, індуктивність тощо), а й виміряти їх взаємовплив (паразитну ємність, взаємну індуктивність тощо). Це особливо важливо в мікроелектроніці, де час перемикання компонентів вимірюється наносекундами, а щільність розміщення мікросхем досить висока.

Електричні параметри компонентів друкованої плати залежать від різноманітних факторів, які певною мірою впливають на зміну розрахункових значень: режиму роботи схеми, матеріалу захисного покриття, технології виготовлення тощо. Врахувати всі ці фактори досить складно, а тому недоцільно на етапі проектування друкованої плати. Тут потрібні приблизні розрахунки з достатньою точністю, перевірені та уточнені після виготовлення та дослідження перших друкованих плат [20].

Метою розрахунку електромагнітної сумісності є визначення працездатності обладнання під впливом перехресних перешкод від ліній зв'язку та впливу зовнішніх електромагнітних полів [20]

1. Діелектрична проникність середовища між провідниками, що розташовані на зовнішній поверхні друкованої плати, що покрита лаком, дорівнює

$$\epsilon_r = 0.5(\epsilon_i + \epsilon_e), \quad (3.1)$$

де $\epsilon_n = 6$ – це діелектрична проникність склотекстоліта;

$\epsilon_n = 4$ – це діелектрична проникність лаку УР-231;

$$\epsilon_r = 0.5 (6+4) = 5.$$

2. Визначимо взаємну індуктивність та ємність провідників, що розташовані на одній поверхні плати

$$C = \frac{1,06 \cdot \varepsilon_r}{\lg\left(\frac{2 \cdot \delta}{W+b}\right)} [\text{пФ}], \quad (3.2)$$

де δ - найменша відстань між двома провідниками, м;

$W = 5 \cdot 10^{-5}$ - це товщина провідного шару міді, м;

$b = 2,5 \cdot 10^{-4}$ - це ширина провідників для третього класу точності, м.

$$C = \frac{1,06 \cdot 5}{\lg\left(\frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot 10^{-5} + 2,5 \cdot 10^{-4}}\right)} = 10,6 (\text{пФ}).$$

Паразитна взаємна індукція між двома друкованими провідниками (М, нГн) визначена по формулі

$$M = 2 \cdot l_2 \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_2}{S + 0,5 \cdot (t_1 + t_2)} - 1 \right) [\text{нГн}], \quad (3.3)$$

де S – це відстань між провідниками, $S = 0,05$ см;

l_2 - це довжина взаємного перекриття провідників, $l_2 = 4,5$ см;

t_1, t_2 – це ширина провідників, $t_1 = t_2 = 0,025$ см.

Маємо

$$M = 2 \cdot 4,5 \left(\ln \frac{2 \cdot 4,5}{0,05 + 0,5 \cdot (0,025 + 0,025)} - 1 \right) = 2,47 (\text{нГн}).$$

З рекомендованих розрахунків паразитної ємності та індуктивності видно, що їх параметри знаходяться в межах норми і для їх зменшення не потрібні додаткові засоби. Розраховані дані індуктивності та ємності є даними, які задо-

вольняють умовам проектування. Таким чином, електромагнітна сумісність пристрою відповідає стандарту.

3.2 Розрахунок механічної міцності друкованої плати

Розрахунок на дію вібрації.

Для забезпечення механічної стійкості частоти власних коливань друкованої плати повинна перевищувати частоту зовнішніх коливань.

Частота власних коливань визначається за наступною формулою

$$f = \frac{k_m \cdot k \cdot B \cdot h \cdot 10^4}{a^2} [\text{Гц}], \quad (3.4)$$

де k_m – поправочний коефіцієнт на матеріал;

k – поправочний коефіцієнт маси елементів;

B – частотна стала;

h – товщина плати (мм);

a – довжина плати (мм).

Враховуючи те, що пластина не сталевана, а виконана із СФ2-35-2.

Для того, щоб врахувати навантаження введемо поправочний коефіцієнт маси елементів k , який визначається у загальному випадку за формулою

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_E / Q_{II}}}, \quad (3.5)$$

де Q_E – маса елементів (г);

Довжина плати

$a = 100$ (мм);

$$a_{sm} = a \cdot 10^{-1} [\text{см}]; \quad (3.6)$$

$$a_{sm}=10 \text{ (см)};$$

$$a_m=a \cdot 10^{-3} \text{ [м]}; \quad (3.7)$$

$$a_m=0,1 \text{ (м)}.$$

Ширина плати

$$b=85 \text{ (мм)};$$

$$b_{sm}=b \cdot 10^{-1} \text{ [см]}; \quad (3.8)$$

$$b_{sm}=8,5 \text{ (см)};$$

$$b_m=b \cdot 10^{-3} \text{ [м]}; \quad (3.9)$$

$$b_m=0,085 \text{ (м)}.$$

Товщина плати

$$h=2 \text{ (мм)};$$

$$h_{sm}=h \cdot 10^{-1} \text{ [см]}; \quad (3.10)$$

$$h_{sm}=0,2 \text{ (см)};$$

$$h_m=h \cdot 10^{-3} \text{ [м]}; \quad (3.11)$$

$$h_m=0,002 \text{ (м)}.$$

Модуль пружності склотекстоліту

$$E=3,2 \cdot 10^{10} \left(\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right).$$

Густина склотекстоліту

$$\rho=1,4 \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3} \right).$$

Сумарна маса елементів

$$M_{el}=49,8 \text{ (г)}.$$

Маса плати з елементами

$$M=\rho \cdot a_{sm} \cdot b_{sm} \cdot h_{sm} + M_{el} \text{ [г]}, \quad (3.12)$$

$$M=73.6,8 \text{ (г)}.$$

$$M_{kg}=M \cdot 10^{-3} \text{ [кг]}, \quad (3.13)$$

$$M_{kg}=0,0736 \text{ (кг)}.$$

Коефіцієнт Пуассона

$$\nu=0,22 \text{ .}$$

Циліндрична жорсткість

$$D=\frac{E \cdot h_m^3}{12 \cdot (1-\nu^2)} \text{ ,} \quad (3.14)$$

$$D=22,418383 \text{ .}$$

Частота власних коливань рівномірно навантаженої плати , закріпленої в чотирьох точках

$$f_0 := \frac{\pi}{2 \cdot a_m^2} \cdot \left(1 + \frac{a_m^2}{b_m^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{D}{M_{kg}} \cdot a_m \cdot b_m} \quad (3.15)$$

$$f_0 = 602.578948 \text{ (Гц)}.$$

Частота впливу механічної вібрації

$$f := 80 \text{ (Гц)}.$$

Висновок:

Отже частота власних коливань плати $f_0 > f$ і система не буде входити в резонанс.

Коефіцієнт форми коливань:

$$K_{1x} = 1,3 ;$$

$$K_{1y} = 1,3 .$$

Коефіцієнт розстроювання

$$\eta = \frac{f}{f_0} , \quad (3.16)$$

$$\eta = 0,132763 .$$

Декремент затухання

$$\lambda_{\min} = 2 ;$$

$$\lambda_{\max} = 10 ;$$

$$\lambda = \pi \cdot 10^{-2} , \quad (3.17)$$

$$\lambda = 0,031416 .$$

Показник затухання

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{\pi} , \quad (3.18)$$

$$\varepsilon = 0,01 .$$

Коефіцієнт динамічності

$$K_{DIN} := \frac{\sqrt{\left[1 + (K_{1x} \cdot K_{1y} - 1) \cdot \eta^2\right]^2 + \varepsilon^2 \cdot \eta^2}}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + \varepsilon^2 \cdot \eta^2}}$$

$$K_{\text{DIN}} = 1.030322$$

Прискорення власного падіння:

$$g = 9,80665 \cdot \left(\frac{\text{М}}{\text{с}^2} \right) \quad g = 9,80665 \cdot \left(\frac{\text{М}}{\text{с}^2} \right)$$

Віброприскорення відповідно до індивідуального завдання

$$a_0 = 2 \cdot g \left[\frac{\text{М}}{\text{с}^2} \right], \quad (3.19)$$

$$a_0 = 19,6133 \left(\frac{\text{М}}{\text{с}^2} \right).$$

Амплітуда віброзміщення основи для кінематичного збудження

$$\xi_0 = \frac{a_0}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2} [\text{М}], \quad (3.20)$$

$$\xi_0 = 0,000078(\text{М}).$$

$$\xi_{0\text{мм}} = \xi_0 \cdot 10^3 [\text{мм}], \quad (3.21)$$

$$\xi_{0\text{мм}} = 0,077627(\text{мм}).$$

Віброзміщення для кінематичного зміщення

$$S_B = \xi_0 \cdot K_{\text{DIN}} [\text{М}], \quad (3.22)$$

$$S_B = 0,00008(\text{М}).$$

$$S_{\text{Bмм}} = S_B \cdot 10^3 [\text{мм}], \quad (3.23)$$

$$S_{\text{Bмм}} = 0,07998(\text{мм}).$$

Прогин плати для кінематичного збудження

$$\delta_{\text{dop}} = S_B - \xi_0 [\text{м}], \quad (3.24)$$

$$\delta_{\text{dop}} = 0,000002(\text{м}).$$

Довжина плати

$$l = a_m [\text{м}], \quad (3.25)$$

$$l = 0,1(\text{м}).$$

$$\delta_{\text{gran}} = \delta_{\text{dop}} \cdot l [\text{м}], \quad (3.26)$$

$$\delta_{\text{gran}} = 0(\text{м}).$$

Віброприскорення

$$a_B = \xi_0 \cdot K_{\text{DIN}} \left[\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right], \quad (3.27)$$

$$a_B = 20,208019 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right).$$

3.3 Розрахунок на дію удару

Цей розрахунок робиться для перевірки міцності при транспортуванні (упаковці).

Прилад повинен витримувати ударні імпульси тривалістю 5-10 мс і пікові прискорення до 5g. Як і у випадку з розрахунком впливу вібрації, вплив удару також розраховується для друкованої плати. Враховуючи, що максимальний ефект дає прямокутний імпульс, необхідно перевірити умови ударостійкості цього імпульсу [21-24].

Тривалість ударного імпульсу прямокутної форми

$$\tau = 0,005(\text{мс}).$$

$$\tau_s = \tau \cdot 10^{-3}[\text{с}], \quad (3.28)$$

$$\tau_s = 0,000005(\text{с}).$$

Умовна частота ударного імпульсу

$$\omega = \frac{\pi}{\tau_s}(\text{с}^{-1}), \quad (3.29)$$

$$\omega = 628318,530718(\text{с}^{-1}).$$

Коефіцієнт розстроювання

$$V = \frac{\omega}{2 \cdot \pi \cdot f_0}, \quad (3.30)$$

$$V = 165,953358.$$

Коефіцієнт передачі при ударі для прямокутного імпульсу

$$K_y = 2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot V}\right), \quad (3.31)$$

$$K_y = 0,01893.$$

Амплітуда прискорення ударно імпульсу

$$H_y = 49 \cdot 10^{-3}[\text{с}], \quad (3.32)$$

Максимальне відносне зміщення для прямокутного імпульсу

$$Z_{\max} = \frac{2 \cdot H_y}{2 \cdot \pi \cdot f_0} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot V}\right), \quad (3.33)$$

$$Z_{\max} = 2,449963 \cdot 10^{-7}$$

$$0,003 \cdot b = 0,255 \quad (3.34)$$

Умова

$$Z_{\max} < 0,003 \cdot b$$

Ударне прискорення

$$a_y = H_y \cdot K_y, \quad (3.35)$$

$$a_y = 0,000928.$$

Для друкованої плати має виконуватись умова

$$Z_{\max} < 0,003 \cdot b$$

$$Z_{\max} = 0,319 < 0,6$$

Аналізуючи отримані дані, ми дійшли висновку, що обраний спосіб кріплення друкованої плати (чотири отвори по краю плати) та її товщина гарантують найменшу частоту автоколивань, максимальне вібропереміщення під дією. Вібрація і мінімальне ударне прискорення при ударі. Цей вибір також був зроблений тому, що вібрація виникає лише під час транспортування обладнання.

3.4 Розрахунок надійності по раптовим відмовам

Надійність є одним з основних параметрів виробу. Після розрахунку можна зробити висновок про надійність обраного рішення та конструкції виробу. Надійність пристрою залежить від надійності і кількості використовуваних компонентів, кількості з'єднань між компонентами, способу кріплення компонентів і типу їх з'єднання, а також від зовнішніх факторів, теплових і електричних навантажень на компоненти. пристрій.

Розрахунок надійності пристрою полягає у визначенні показника надійності виробу на основі відомих характеристик надійності та умов експлуатації складових частин. Вихідним показником для розрахунків надійності є інтенсивність відмов радіодеталей за нормальних умов.

Складемо таблицю, в яку занесемо назви, кількості та поправочні коефіцієнти елементів, які ми знайшли з таблиці [25].

$k_{l1} = 1,46$ - вплив механічних факторів (стаціонарні умови експлуатації, удар і вібрація);

$k_{l2} = 1$ - кліматичні умови (вологість – 60-70%, температура 20-40°C);

$k_{l3} = 1$ - знижений атмосферний тиск, (висота - 0-1 км);

Тоді коефіцієнт, що враховує фактичні умови, дорівнюватиме

$$k_{\lambda} = k_{\lambda 1} \cdot k_{\lambda 2} \cdot k_{\lambda 3} = 1,46 ,$$

$$\lambda_i = \lambda_{i0} \cdot \alpha_{i0} ,$$

де λ_i – інтенсивність відмови i -тої рівнонадійної групи елементів;

i – рівнонадійні елементи;

N – кількість елементів;

λ_{i0} – інтенсивність відмови у номінальному режимі (таблиця 4.1 [25]);

α_{i0} – коефіцієнт, що залежить від температури і навантаження i -того елемента (таблиця 1).

Виходячи з цього знайти інтенсивність відмови усієї системи

$$\lambda = \sum \lambda_i k_{\lambda} N_i , \quad (3.36)$$

Таблиця 3.1 – Експлуатаційні інтенсивності відмов елементів пристрою з використанням поправочних коефіцієнтів

№ п\п	Найменування елементів	Кількість елементів N	Інтенсивність відмови, 10^{-6}	Поправочний коефіцієнт α_j	Інтенсивність відмов рівнонадійної групи елементів $\lambda_i \cdot 10^{-6}$
1.	Резистори С2-32	8	0.6	0.3	1.44
2.	Конденсатори К50-35	4	2	0.62	4,96
3.	Конденсатори К10-17Б	3	0.7	0.62	1,302
4.	Розніми	2	1*2	1	4
6.	Напівпровідникові діоди	2+6	2*2+3*3	0.9	11.7
7.	Мікросхема	4	2*2+2*3	0.51	5,1
...	...	...	...	...	...
10.	Плата	1	0.1	1	0,1
12.	Пайка	108	0.04	1	4.32

Інтенсивність відмови усієї системи

$$\lambda_{\Sigma} = 32,922 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Середній час безвідмовної роботи пристрою

$$t_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} [\text{год}], \quad (3.37)$$

$$t_{\text{сер}} = 0,03 \cdot 10^6 (\text{год}).$$

Середній час напрацювання на відмову складає: $t_{\text{сер}} = 30000$ год.

Імовірність безвідмовної роботи приладу протягом $t_1 = 10000$ годин буде дорівнювати

$$P(t_i) = e^{(-\lambda \cdot t_i)}, \quad (3.38)$$

$$\lambda_E = 0,000039.$$

Ймовірність безвідмовної роботи протягом $t_1 = 1000$ год

$$P(t_1) = e^{(-\lambda_E \cdot t_1)}, \quad (3.39)$$

$$P(1000) = 0.961751 .$$

3.5 Висновки до розділу

У розділі здійснені розрахунки електромагнітної сумісності елементів, механічної міцності друкованої плати, зокрема на удар, на вібрацію, а також виконаний розрахунок на надійність, та зроблені теплові розрахунки.

4 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Результати модельних досліджень наведені на рис. 4.1 – 4.7. На рис. 4.2 наведені графіки складових струму i_d (а) та i_q (б), що генерує турбіна ветрогенератора, при різних значеннях швидкості потоку вітру. На рис. 4.2 подані графіки складових струму i_d (а) та i_q (б), що генерує турбіна ветрогенератора, а на рис. 4.3 подані графіки відповідних їм напруги u_d (а) та напруги u_q (б). Графіки напруги статора (а) та струму статора (б) подані на рис. 4.4. на рис. 4.5 поданий графік струму навантаження I_{load} (а) та струму батареї I_{batt} (б). Як видно з рис. 4.5(а) струм у навантаженні має величину 1,15 А, тобто складає половину номінального струму. З графіку струму батареї на рис. 4.5(б) видно, що при максимальному навантаженні батарея розряджається [26]. На рис. рис. 4.6 представлені часові діаграми постійного струму I_{dc} (а) та напруги U_{dc} (б) електричного кола постійного струму. А на рис. 4.7 поданий графік ККД турбіни ветрогенератора.

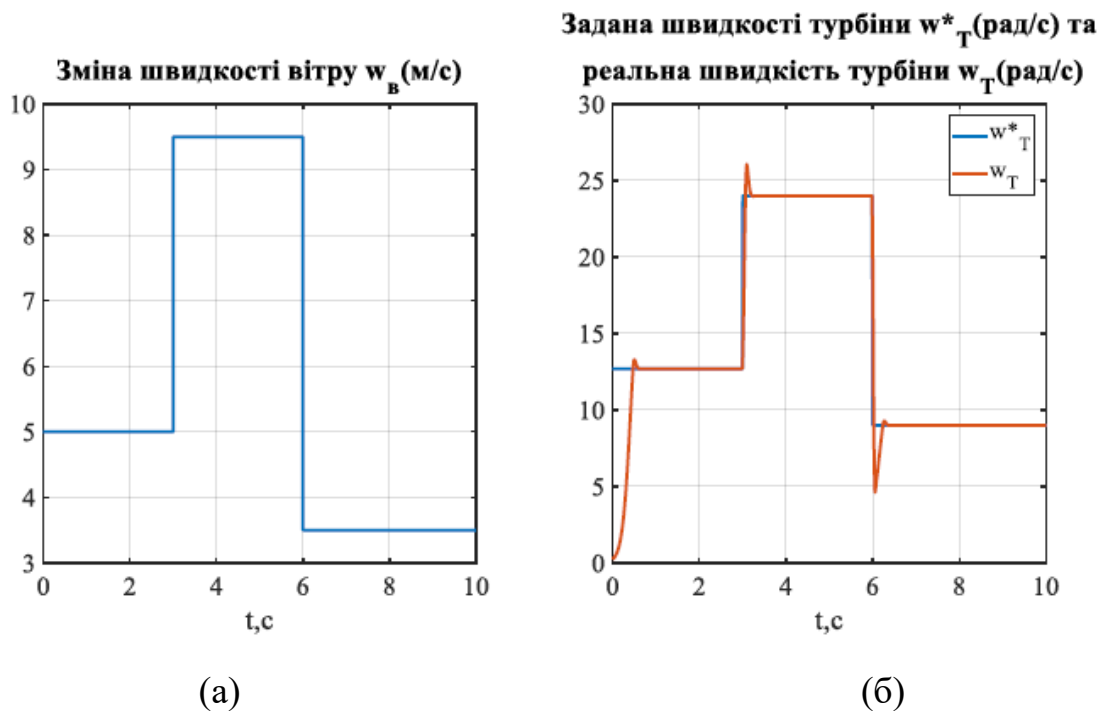


Рисунок 4.1 – Графік швидкості вітру (а) та відпрацювання кутової швидкості (б) турбіни ветрогенератора

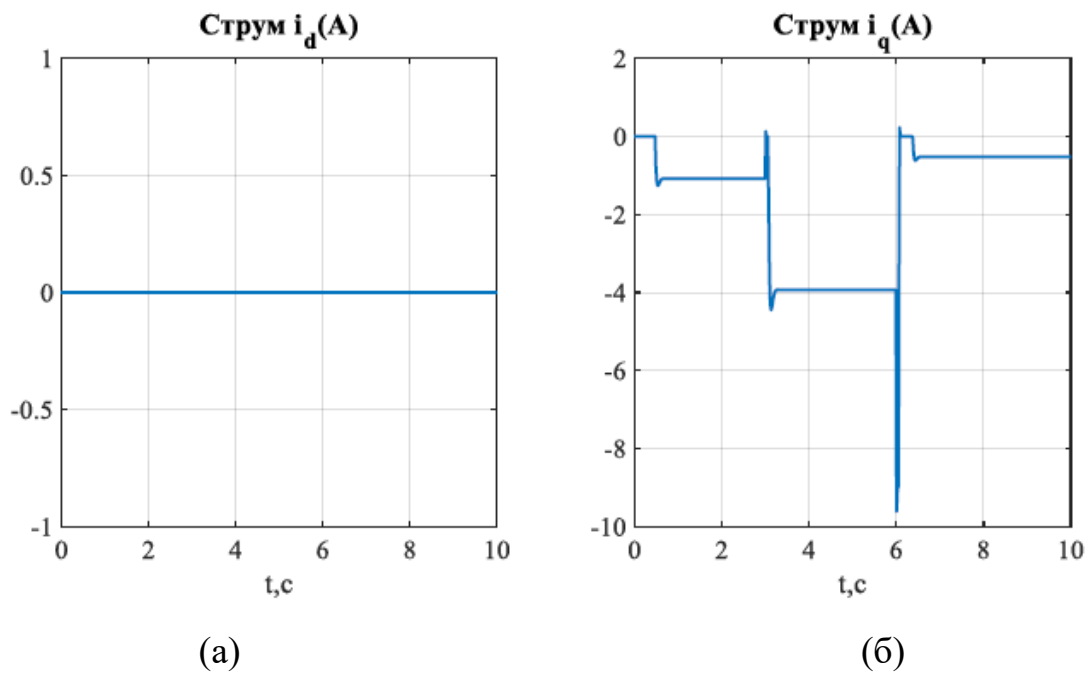


Рисунок 4.2 – Графіки складових струму i_d (а) та i_q (б), що генерує турбіна ветрогенератора

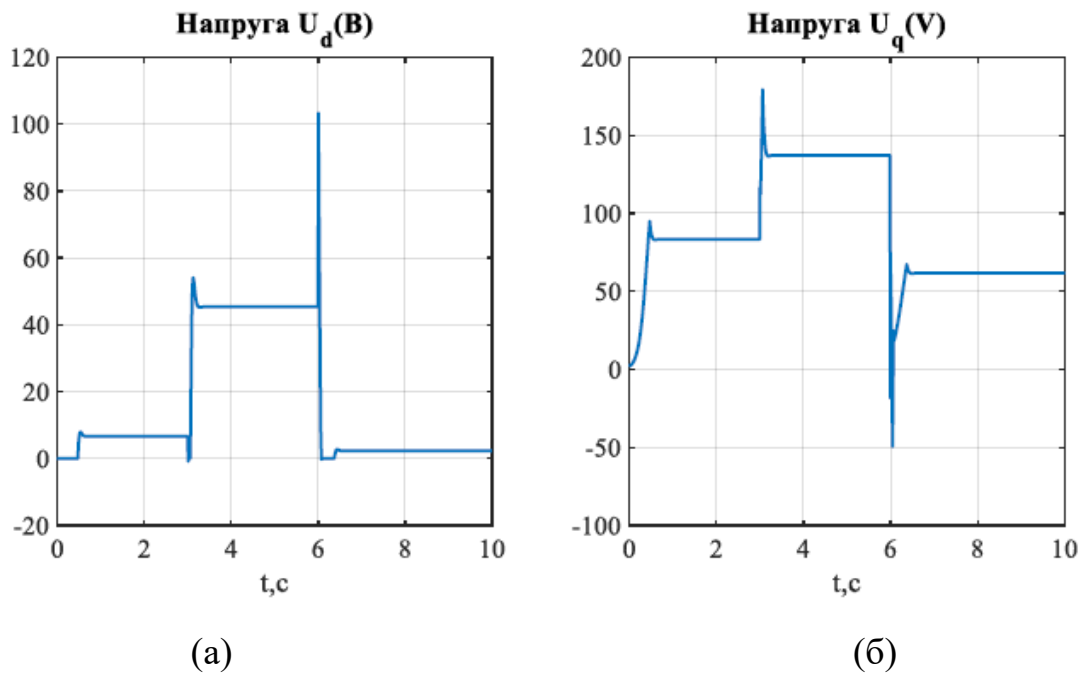
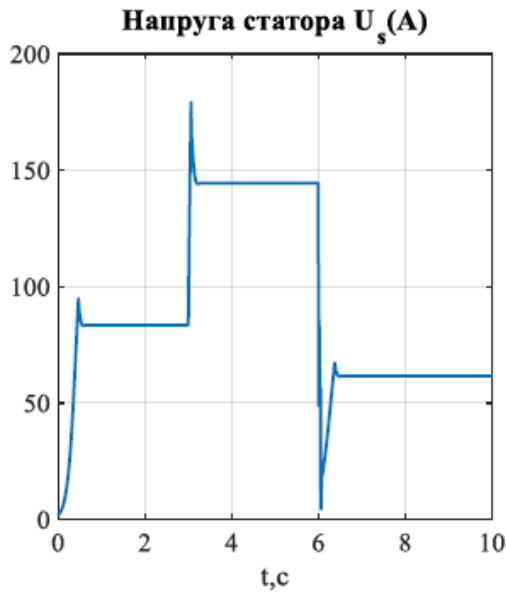
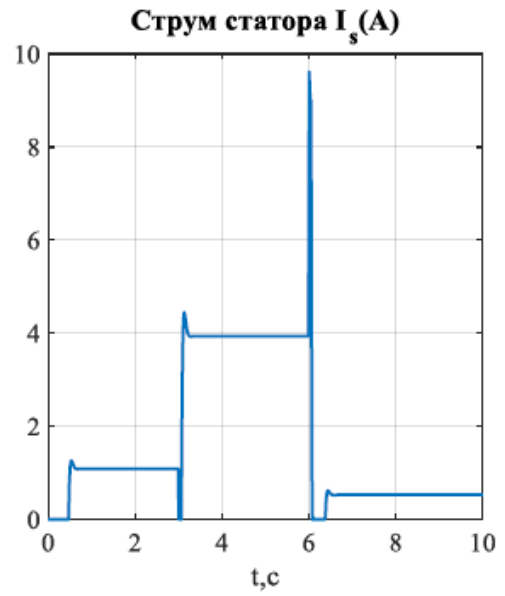


Рисунок 4.3 – Графіки напруги u_d (а) та напруги u_q (б)

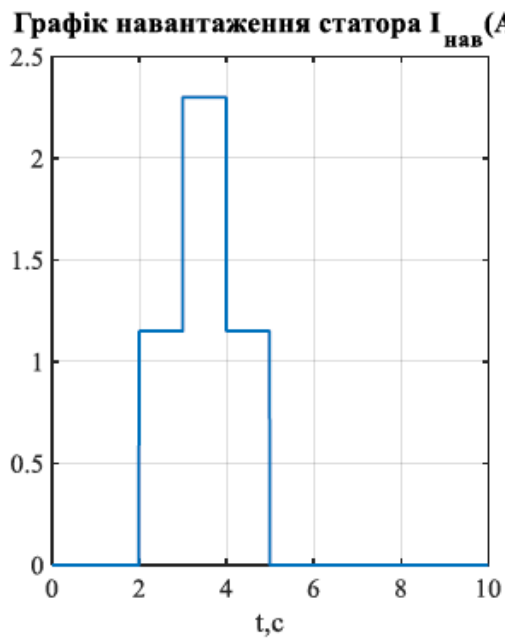


(a)

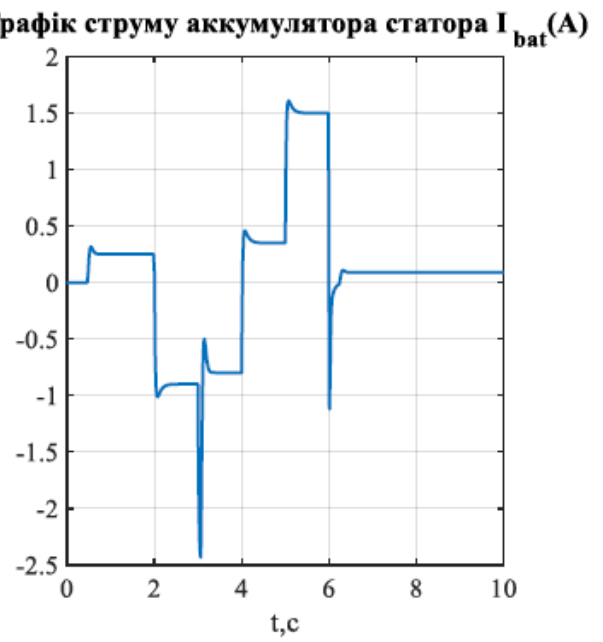


(б)

Рисунок 4.4 – Графіки напруги статора (а) та струму статора (б)



(a)



(б)

Рисунок 4.5 – Графік струму навантаження I_{load} (а) та струму батареї I_{batt} (б)

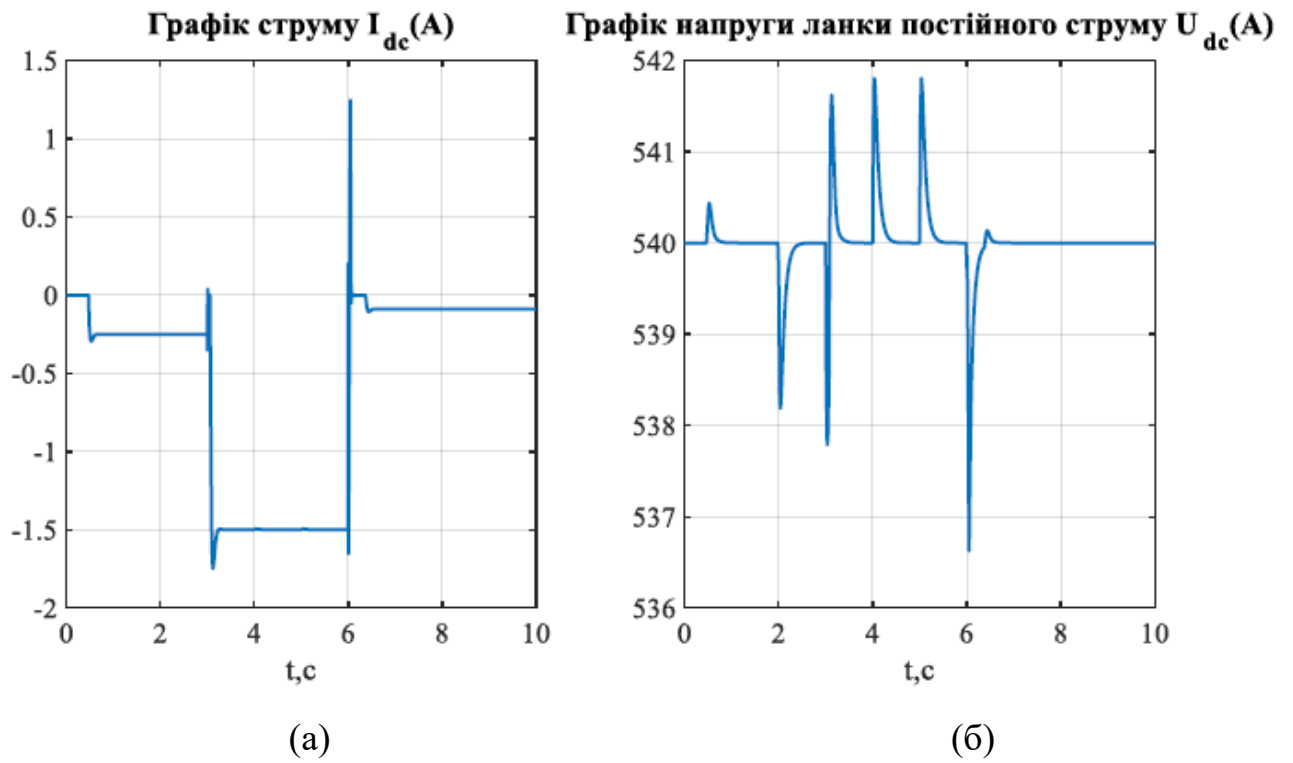


Рисунок 4.6 – Часові діаграми постійного струму I_{dc} (а) та напруги U_{dc} (б) електричного кола постійного струму

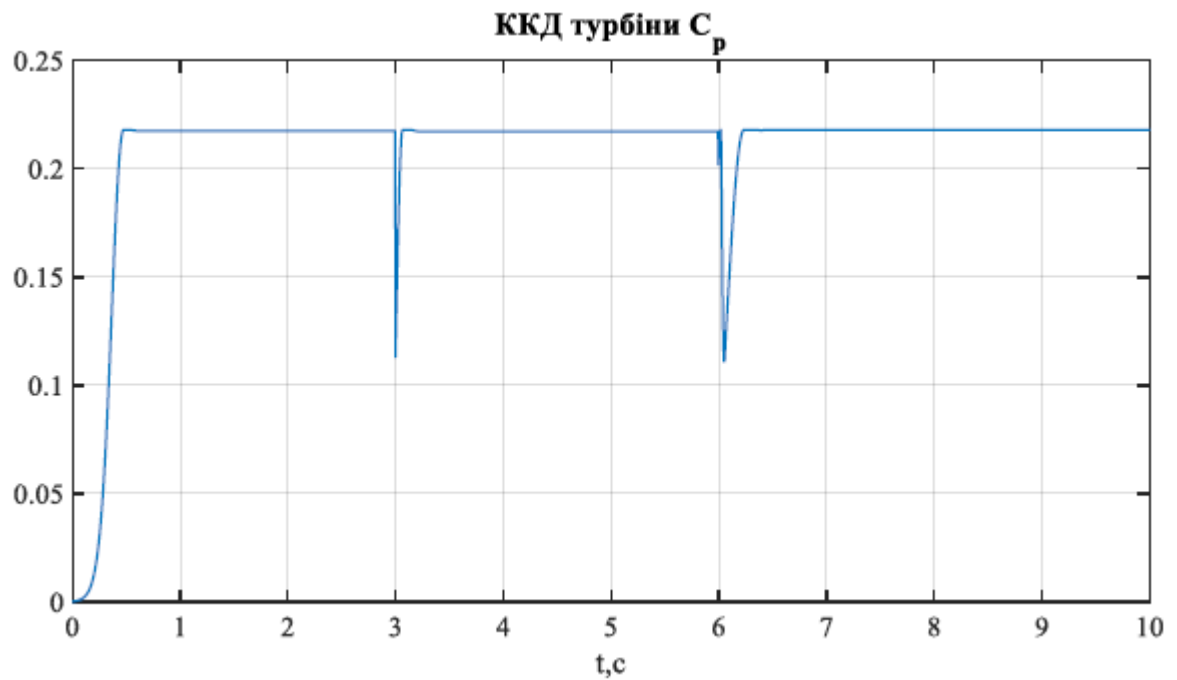


Рисунок 4.7 – Графік ККД турбіни ветрогенератора

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Останнім часом галузь електроніки, автоматизації та електронних комунікацій неустанно розвивається, але разом із цим зростає і важливість системи охорони праці в цих сферах. Сучасний стан охорони праці в галузі електроніки, автоматизації та електронних комунікацій потребує уважного аналізу наступних аспектів:

Безпека при роботі з електричними системами: Важливість правильної установки, експлуатації та обслуговування електричних приладів та систем високої напруги надзвичайно висока, що вимагає постійного удосконалення заходів безпеки. Ергономіка робочих місць: Організація робочих просторів з метою зменшення фізичного навантаження на працівників та забезпечення їхнього комфорту важлива для підвищення ефективності праці та запобігання травм. Захист від шкідливих речовин: Використання належних засобів захисту від шкідливих речовин та іонізуючого випромінювання важливо для забезпечення безпеки працівників у галузі електроніки. Навчання та інструктаж персоналу: Надання персоналу необхідних знань та навичок щодо правил безпеки, включаючи процедури пожежної безпеки та дії у надзвичайних ситуаціях, є ключовим для запобігання нещасних випадків на робочому місці. Мікроклімат та вентиляція: Забезпечення комфортних умов праці, включаючи оптимальний рівень температури та вологості повітря, є важливим аспектом збереження здоров'я працівників та підвищення їхньої продуктивності.

Оцінка сучасного стану охорони праці в галузі електроніки, автоматизації та електронних комунікацій вимагає комплексного підходу та постійного удосконалення, щоб забезпечити безпеку працівників та ефективність виробництва.

Розробка та аналіз мікроелектронного контролера зарядки для вітрогенератора відбувалася в приміщенні, яке обладнане робочими місцями з ПК. На виробника, згідно [27], могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена чи понижена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; підвищена чи понижена іонізація повітря; недостатня освітленість робочої зони; відсутність чи нестача природного освітлення.

2. Психофізіологічні: статичне перевантаження; розумове перевантаження; емоційні перевантаження.

Відповідно до наведених факторів здійснюємо планування щодо безпечного виконання роботи.

5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи організується відповідно до [28].

Основні засоби для забезпечення безпеки під час роботи за комп'ютером включають:

Ергономічне крісло: Використання крісла з підтримкою спини, регульованою висотою і нахилом сприяє зменшенню навантаження на спину та уникненню дискомфорту.

Антибліковий екран: Встановлення монітора з антибліковим покриттям або застосування фільтрів допомагає зменшити відблиски та поліпшити комфорт зору.

Організація робочого місця: Забезпечення достатнього освітлення, правильного розташування обладнання і достатнього простору для рук і ніг сприяє уникненню напруги та травм.

Регулярні перерви: Важливість коротких перерв у роботі полягає у зменшенні навантаження на очі та м'язи, підтримці кровообігу і загальному благополуччі.

Оновлення програмного забезпечення: Постійне оновлення програм та захист від вірусів допомагає зберегти дані в безпеці і запобігти можливим загрозам безпеці.

Контроль перегріву: Застосування систем охолодження та розташування комп'ютера у добре провітрюваному місці запобігає перегріву і зберігає оптимальну роботу обладнання.

Ці заходи допомагають забезпечити безпеку та комфорт під час роботи за комп'ютером, підвищують продуктивність та зберігають здоров'я користувача.

Для забезпечення безпеки використання електронного обладнання, такого як комп'ютери, у приміщеннях з робочими місцями необхідно мати відповідні технічні заходи, які захищають обладнання від потенційних ризиків електричної небезпеки та забезпечують безпеку користувачів ПК. [30].

Категорія приміщення з електробезпеки – без підвищеної небезпеки, згідно [31].

Приміщення, де розміщені робочі місця користувачів комп'ютерів, повинні мати належні технічні засоби для забезпечення електробезпеки обладнання та захисту користувачів від можливих уражень електричним струмом. Це стосується як ПК та його периферійних пристроїв, так і обладнання для їх обслуговування, ремонту та налагодження, а також іншого устаткування, такого як апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади та світильники. Під час монтажу та експлуатації ліній електромережі важливо запобігати виникненню електричних загорянь через коротке замикання та перевантаження проводів. Також слід обмежувати використання проводів з легкозаймистою ізоляцією і, якщо можливо, переходити на негорючу ізоляцію.

До вимог безпеки перед початком роботи належить:

- Увімкнути систему кондиціонування в приміщенні.
- Перевірити надійність кріплення апаратури на робочому столі та правильне розташування монітора для зручного перегляду екрану.
- Перевірити загальний стан апаратури та електропроводки, забезпечити

справність всіх з'єднань та правильне заземлення захисного екрана.

- Налаштувати освітленість робочого місця та висоту крісла для зручності користувача.
- Приєднати необхідну апаратуру до системного блоку та перевірити всі кабелі перед ввімкненням.

Під час виконання роботи важливо дотримуватися таких правил:

- Стійко розташовувати клавіатуру на робочому столі та уникати її хитання.
- Забезпечити вільну поверхню столу для переміщення миші та зручний упор для ліктьового суглоба.
- Утримуватися від сторонніх розмов та подразнюючих шумів.
- Регулярно при вимкненому комп'ютері прибирати пил з апаратури, використовуючи ледь змочену мильним розчином бавовняну ганчірку.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Підвищення швидкості руху повітря призводить до погіршення самопочуття, оскільки сприяє активізації конвективного теплообміну та процесу тепловіддачі при випаровуванні поту.

При зростанні температури повітря спостерігаються негативні явища. Виявлено, що при температурі повітря понад 30°C працездатність людини починає знижуватися. У високотемпературних та вологих умовах практично всю відпрацьовану теплову енергію людського організму віддається у навколишнє середовище через випаровування поту. При збільшенні вологості повітря не випаровується, а замість цього стікає краплинами з поверхні шкіри.

Низький рівень вологості призводить до інтенсивного випаровування вологи зі слизових оболонок, що може призвести до їх пересихання, розтріскування та збільшити ризик зараження хвороботворними мікроорганізмами.

Робота, яка виконується дослідником, згідно за енерговитратами відноситься до категорії I а (енерговитрати до 139Дж/с) [32]. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл.5.2.1 (відповідно до [33]).

Таблиця 5.2.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення відповідних нормативам параметрів мікроклімату в приміщенні передбачено наступні заходи: система опалення, кондиціонування повітря та регулярне вологе прибирання.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

В приміщенні, де здійснюється дослідження можливими шкідливими речовинами у повітрі є пил та озон. Джерелами цих речовин є офісна техніка. Пил потрапляє у приміщення ззовні. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 5.2.2.

Таблиця 5.2.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Середньо добова	Клас небезпечності
	Максимально разова		
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	1

Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (табл.5.2.3).

Таблиця 5.2.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Для забезпечення комфортних умов використовуються різні підходи, включаючи організаційні методи, такі як раціональна організація робочого часу в залежності від сезону та доби, а також чергування між працею і відпочинком. Також використовуються технічні засоби, такі як системи вентиляції, кондиціонування повітря та опалювальні системи.

5.2.3 Виробниче освітлення

Освітлення на робочих місцях відіграє важливу роль у впливі на працівників, охоплюючи їх емоційний стан, працездатність, мотивацію, продуктивність і безпеку праці.

Рівень освітлення на робочих місцях має вирішальне значення для гостроти зору, тривалості ясного бачення, контрастної чутливості і здатності розрізняти об'єкти на різних відстанях. Нормальна гострота зору, що дозволяє розрізняти дрібні предмети, зазвичай досягається при освітленні від 50 до 70 лк. Для досягнення максимальної чіткості бачення дрібних предметів необхідна освітленість в межах 600-1000 лк.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні, які необхідно забезпечити під час виконання роботи зазначені у таблиці 5.2.4 (відповідно [34]):

Таблиця 5.2.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи: Регулярне очищення скла від бруду проводиться не рідше двох разів на рік. Системі природного освітлення доповнює загальне штучне освітлення, створене за допомогою люмінесцентних ламп.

5.2.4 Виробничий шум

Шум - це звуки, які негативно впливають на людину, перешкоджаючи їй працювати або відпочивати. Ступінь цього впливу залежить від характеру та рівня шуму, тривалості його впливу, а також індивідуальних особливостей людини. Численні дослідження підтверджують, що шум є загальнофізіологічним подразником, який у певних умовах може впливати на багато органів та систем організму людини.

Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку відображені в [35]. Для умов виконання роботи допустимі рівні звукового тиску повинні наведені в таблиці 5.2.5.

Таблиця 5.2.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного широкополосного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення прийнятних рівнів шуму рекомендується використовувати комп'ютери з пасивним охолодженням та встановлювати пластикові вікна, які мають високу звукоізоляцію.

5.2.5 Виробничі випромінювання

Під час використання комп'ютерів (ПК) на робочому місці працівника виникає підвищений рівень електромагнітного випромінювання, яке може мати негативний вплив на здоров'я. Тривала експозиція низькочастотним полям біля ПК може призвести до порушень фізіологічних процесів у людини. Електромагнітні поля можуть викликати термічний і морфологічний вплив на організм, що призводить до функціональних змін.

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітора комп'ютера представлені в табл. 5.2.6.

Таблиця 5.2.6 - Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	10В / м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	0,3 А / м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати: для дорослих користувачів для дітей дошкільних установ і що вчаться середніх спеціальних і вищих навчальних закладів	20кВ / м 15кВ / м

Для зниження негативного впливу цих типів випромінювання можна рекомендувати використання екранних фільтрів на моніторах, які допомагають зменшити відбиття та блакитне світло, що може впливати на очі працівників. Крім того, регулярні перерви під час роботи за ПК та належне провітрювання приміщень також можуть сприяти зменшенню негативних наслідків впливу електромагнітного випромінювання.

5.3 Пожежна безпека

Мета забезпечення пожежної безпеки на об'єкті полягає в уникненні виникнення пожежі згідно з чинними нормативами та, у разі виникнення пожежі, в обмеженні її поширення, оперативному виявленні та ліквідації, а також у захисті життя та майна.

В приміщенні, де виконувалася робота використовуються тільки негорючі речовини та матеріали у холодному стані, тому за ступенем вибухопожежної та пожежної небезпеки приміщення відноситься до категорії «Д». Пожежну небезпеку несуть у собі лише кабельні електропроводки до обладнання, що є припустимим для даної категорії приміщень [36].

За вогнестійкістю приміщення відноситься до другої категорії згідно з [36].

5.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Система попередження пожежі складається з комплексу організаційних заходів та технічних засобів, спрямованих на усунення можливих причин виникнення пожежі.

Основні можливі причини пожежі в приміщенні, де здійснюється робота, включають:

- несправність електропроводки, така як іскри, перегрів провідників, або пересихання електроізоляційних матеріалів;
- використання електропобутових пристроїв, наприклад, електрочайники, або потрапляння вологи на працюючі електроагрегати;
- залишення без нагляду увімкнутих комп'ютерів, обчислювальної техніки та інших електроприладів.

Для запобігання виникненню пожежі рекомендується вживати такі заходи:

- призначення відповідальних осіб за пожежну безпеку приміщення;
- щорічне проведення повторних протипожежних інструктажів та навчання за програмою пожежно-технічного мінімуму з особами, відповідальними за пожежну безпеку;
- регулярне утримання засобів протипожежного захисту в справному стані;
- своєчасне повідомлення про будь-яку несправність пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання та іншого обладнання.

5.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Система протипожежного захисту включає у себе організаційні заходи та технічні засоби, які спрямовані на уникнення небезпечних ситуацій у разі пожежі та зменшення матеріальних та людських втрат. У разі виникнення пожежі в приміщенні передбачено наявність переносного вогнегасника з вуглекислим газом типу ОУ-5, який відповідає стандартам безпеки. Доступ до засобів первинного пожежогасіння та відключення електроприладів забезпечений. По-

вітряний інтервал між корпусом і сусіднім будинком становить 15 метрів, що відповідає вимогам. У приміщенні існує 6 шляхів евакуації для людей, а ширина коридорів і дверей відповідає нормативам. На стінах коридору розташовані схеми евакуації для нагадування про процедури в разі пожежі.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській дипломній роботі розроблений мікроелектронний контролер пристрою заряджання для вітрогенератора. Здійснене конструкторське проектування друкованої плати та визначені експлуатаційні характеристики мікроелектронного контролера пристрою заряджання для вітрогенератора. Було проведено порівняльну характеристику пристрою з вже існуючими прототипами та аналогами, вказані переваги та недоліки. Запропонована нова електрична принципова схема пристрою на базі сучасних інтегральних мікросхем.

На основі електричної принципової схеми проведено трасування та встановлені розміри плати виробу 100×85 мм і розрахована маса 73,6 г. За матеріал для друкованої плати вибрано склотекстоліт фольгований двосторонній марки СФ-2-35-2, який має товщину фольги 35 мкм, товщина матеріалу з фольгою 2 мм.

Були проведені розрахунки електромагнітної сумісності елементів, механічної міцності друкованої плати, а саме: на удар, на вібрацію, розрахунок на надійність, теплові розрахунки.

Під час розрахунку плати електромагніту сумісність на провідників, які розташовані на одній поверхні друкованої плати взаємну ємність та індуктивність провідників які розташовані на одній поверхні друкованої плати становили 10,6 пФ та 2,47 нГн, які знаходяться в межах норми і не потрібно додаткових засобів з їх зниження. Під час розрахунку плати на вібростійкість частота власних коливань не співпала з частотою зовнішнього впливу і становить 603Гц, отже співвідношення розмірів плати задовольняють вимогам вібростійкості. При розрахунку плати на надійність, було отримано 30000 годин безвідмовної роботи. При розрахунку на удар виявилось, що спосіб кріплення (чотири отвори по краях плати) та її товщина забезпечують механічну міцність плати.

Також у роботі представлені результати модельних досліджень системи контролю турбіни вітрогенератора та контролера пристрою заряджання акумулятора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Протасова Т.О. Лопатін Д.О. Пристрій індикації параметрів заряду для малопотужних систем енергоефективної вітрогенерації : Матеріали конференції факультету ЕлІТ СумДУ "Фізика. Електроніка. Електротехніка 2023" С. 97-98.
2. СІМ КРОКІВ УКРАЇНИ НА ШЛЯХУ ДО ПЕРЕХОДУ НА ВІДНОВЛЮВАНУ ЕНЕРГЕТИКУ. [Електронний ресурс]. URL: <https://ecoaction.org.ua/7-kroktiv-do-chystoi-enerhii.html>
3. Вальпа О. Сучасна середовище розробки мікроС для програмування мікроконтролерів на мові високого рівня Сі. Сучасна електроніка. 2010. № 6. с.64
4. Розвиток альтернативної енергетики в Україні: перспективи та проблеми. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ukrlogos.in.ua/10.11232-2663-4139.16.46.html>
5. “Альтернативні джерела енергоресурсів в Українському Причорномор’ї”. Аналітична записка. [Електронний ресурс]. URL: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/nacionalna-bezpeka/alternativnidzherela-energoresursiv-v-ukrainskomu-prichornomori>
6. Розвиток альтернативних джерел енергії в Україні. [Електронний ресурс]. URL: <https://naurok.com.ua/rozvitok-alternativnih-dzherel-energi-v-ukra-ni-32180.html>
7. Electronic Components Datasheet Search. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp>
8. Мікроконтролери в електротехнічних системах. [Електронний ресурс]. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/19120/2/МПІТ2-95-184.pdf>
9. Поради початківцям програмістам мікроконтролерів. [Електронний ресурс]. URL: <https://topcity.com.ua/news/siemens-news/poradi-pochatkivtsyam-programistammikrokontroleriv>
10. Простими словами про складні зарядні пристрої. [Електронний ресурс]. URL: <https://modelistam.com.ua/ua/prostymi-slovami-slojnyh-zaryadnyh-ustroistvah-a-272/>

11. Робототехніка. “Семисегментний індикатор Ардуїно”. [Електронний ресурс]. URL: <https://naurok.com.ua/robototekhnika-semisegmentniy-indikator-ardu-no-323671.html>
12. Світлодіодні індикатори. [Електронний ресурс]. URL: <https://radiodetali.com.ua/ua/catalog/svetodiodnyeindikatory>
13. Microcontroller (MCU). [Електронний ресурс]. URL: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/microcontroller>
14. Microcontrollers & Microprocessors. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.st.com/en/microcontrollersmicroprocessors.html>
15. Redirecting dynamic indication segment to a separate LED. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.edn.com/redirecting-dynamic-indication-segment-to-a-separate-led/>
16. Вітрогенератори. URL: https://energo.house/veter/vetrovaya-turbina.html#Obsie_pokazateli_turbin
17. Вітрогенератори. Пристрій і види. Робота і застосування. URL: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/jelektropitanie/vetrogeneratoroy>
18. Основні види вітрогенераторів: вертикальні та горизонтальні. URL: <https://tcip.ru/blog/wind/osnovnye-vidy-vetrogeneratorov-vertikalnye-gorizontálne.html>
19. Каргіл В.М., Мартіросов С.Н., Муругов В.П. Керівництво по застосування вітроустановок малої і середньої потужності. Москва, 2001. Р. 9-20. URL: http://winder.ua/images/stories/winder/INTERSOLAR_rukovodstvo_po_primeneniyu.pdf
20. Квитко А. В. Розрахунок потужності і вибір основних функціональних вузлів вітроелектричної установки. Науковий журнал КубГАУ, №98. Краснодар. 2014. Р. 1– 2. URL: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/25.pdf>
21. El Mourabit Youness. Dynamic modeling and control of a wind turbine with MPPT control connected to the grid by using PMSG. 3rd International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing. Fez, Morocco, 2017. Р. 1– 3. URL: <http://www.docme.su/doc/2202795/atsip.2017.8075587>

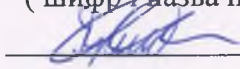
22. M.Shukla. Power Electronics Converters and Wind Turbine. Surat, India, 2017. P. 2-3. URL: <https://www.ijedr.org/papers/IJEDR1702195.pdf>
23. Пересада С. М., Ковбаса С. М. Теорія мехатронних систем. / НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”. Київ, 2011. 96с.
24. VEM Motors. СДПМ. URL: <https://vecgroup.ru>
25. MERLION. Акумуляторна батарея. URL: <https://220volt.com.ua/akkumulyatornaya-batareya-merlion-gp12330m6-12-v-33ah-6015/>
26. Xebike: Контролер BMS. URL: <https://xebike.com/product/kontroller-zashhity-akkumulyatora-bms-pcm-litij-li-ion-lipo-lifepo4-3-204s-100-1000a-12v-750v/>
27. ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об’єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->
28. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028
29. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров’я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_праор_0_00-7_15-18_01_ua.php
30. ДБНВ.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. К. : Мінбуд України, 2006. 154 с
31. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>
32. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>

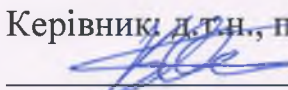
33. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
- [Електронний ресурс] - Режим доступу:
<http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
34. ДБН В.2.5-28-2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/prirodne-i-shtuchne-osvitlennja-nor8425.html>
35. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу:
<http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>
36. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ
МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ КОНТРОЛЕР ПРИСТРОЮ ЗАРЯДЖУВАННЯ
ДЛЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРА

Виконав: студент 4-го курсу, групи МНТ-206
спеціальності 153 – Мікро- та наносистемна техніка
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

 Юрчук Я.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., професор каф. ІРТС
 Осадчук В.С.
(прізвище та ініціали)

« 10 » 06 2024 р.

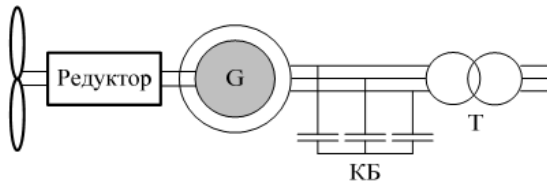


Рисунок 1 – Вітрогенератор з фіксованою швидкістю обертання (Тип І)

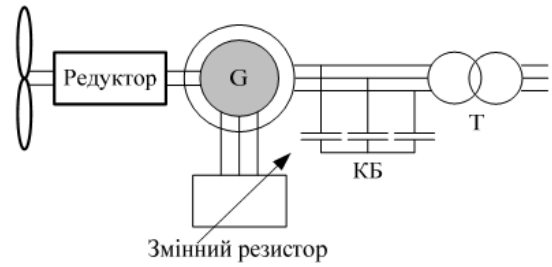


Рисунок 2 – Вітрогенератор зі змінною швидкістю обертання та змінним опором ротора (Тип II)

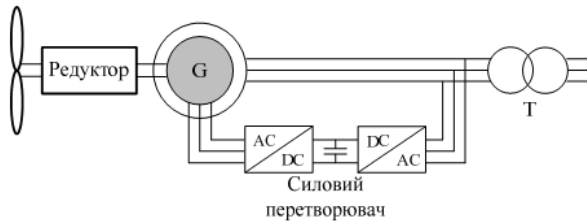


Рисунок 3 – Вітрогенератор зі змінною швидкістю обертання на базі індукційного генератора з подвійним живленням DFIG (Тип III)

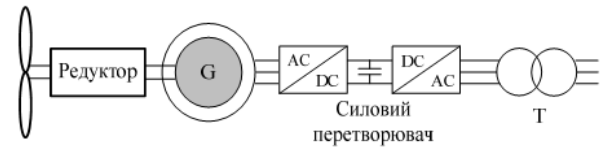


Рисунок 4 – Вітрогенератор з повним перетворювачем (Тип IV)

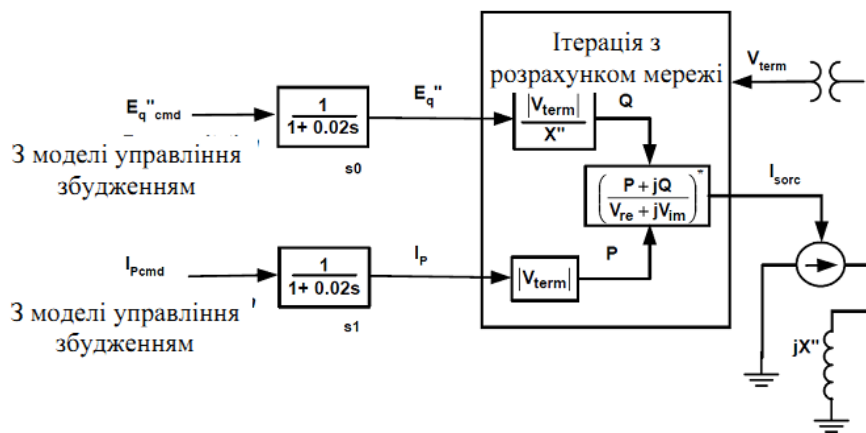


Рисунок 5 – Модель Генератор/Перетворювач

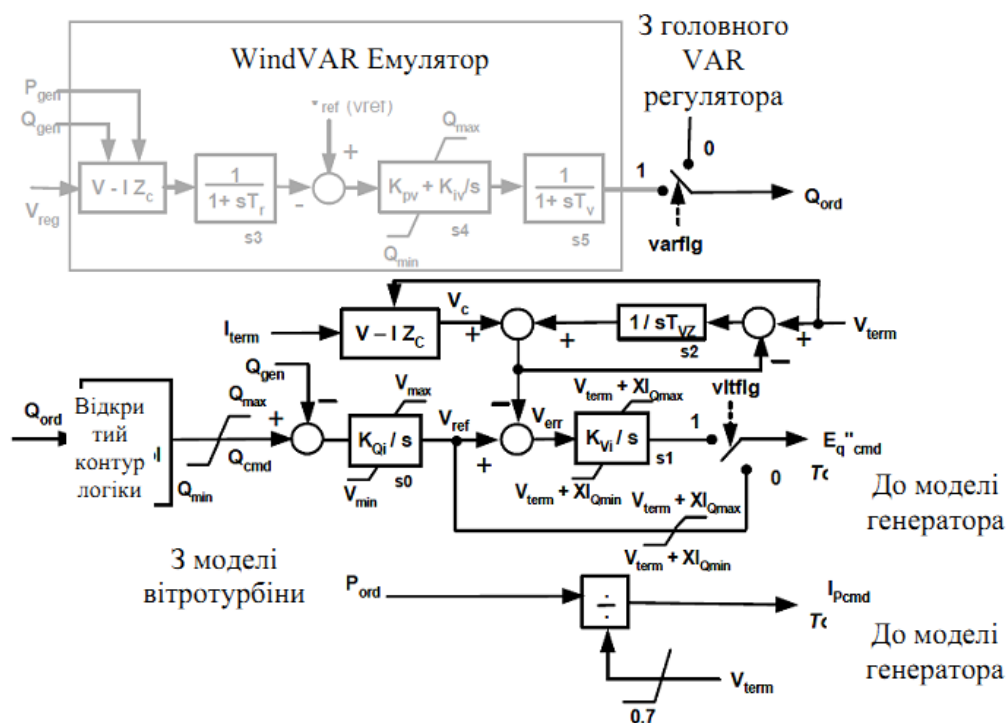


Рисунок 6 – Модель Електричного управління

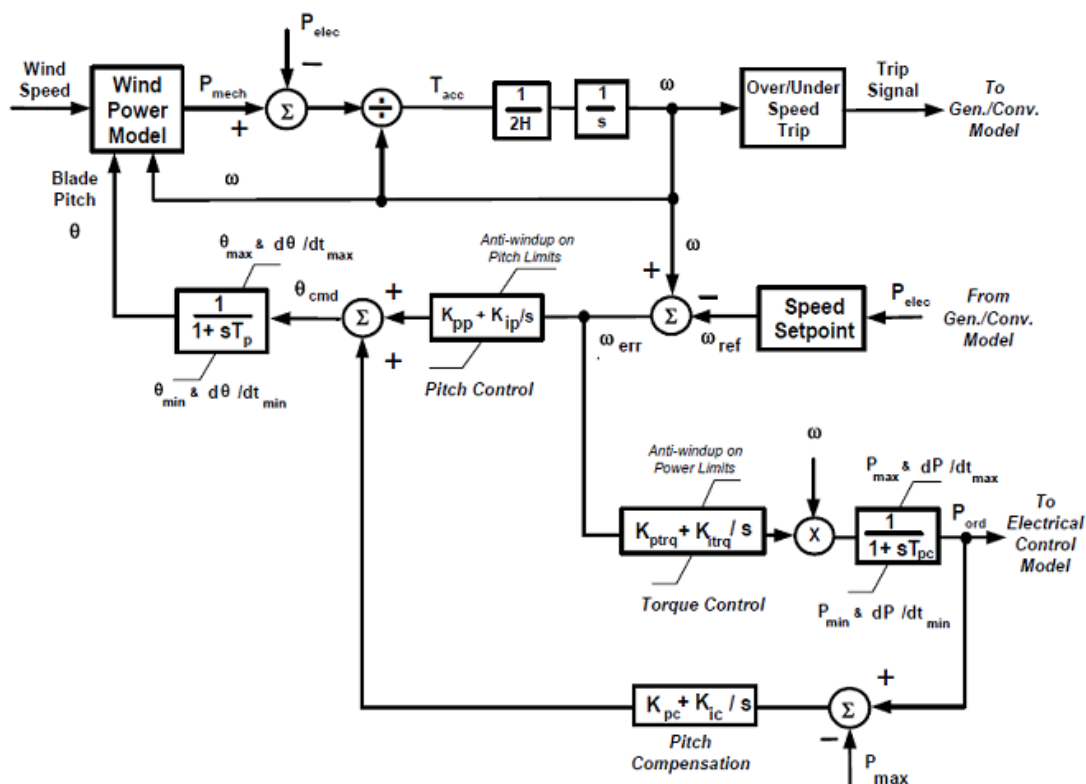


Рисунок 7 – Блок-схема моделі вітрової турбіни

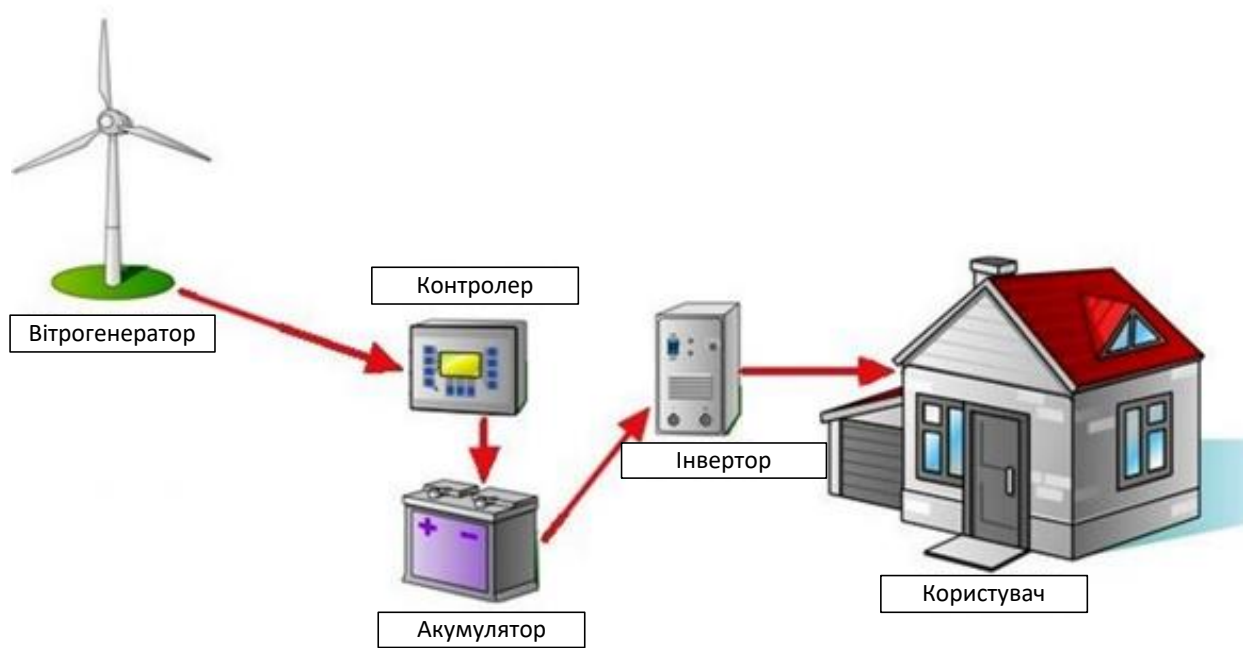


Рисунок 8 – Схема роботи автономної вітрогенераторної установки



(а)



(б)

Рисунок 9 – Портативні вітрогенератори з вертикальною (а) та горизонтальною (б) віссю обертання

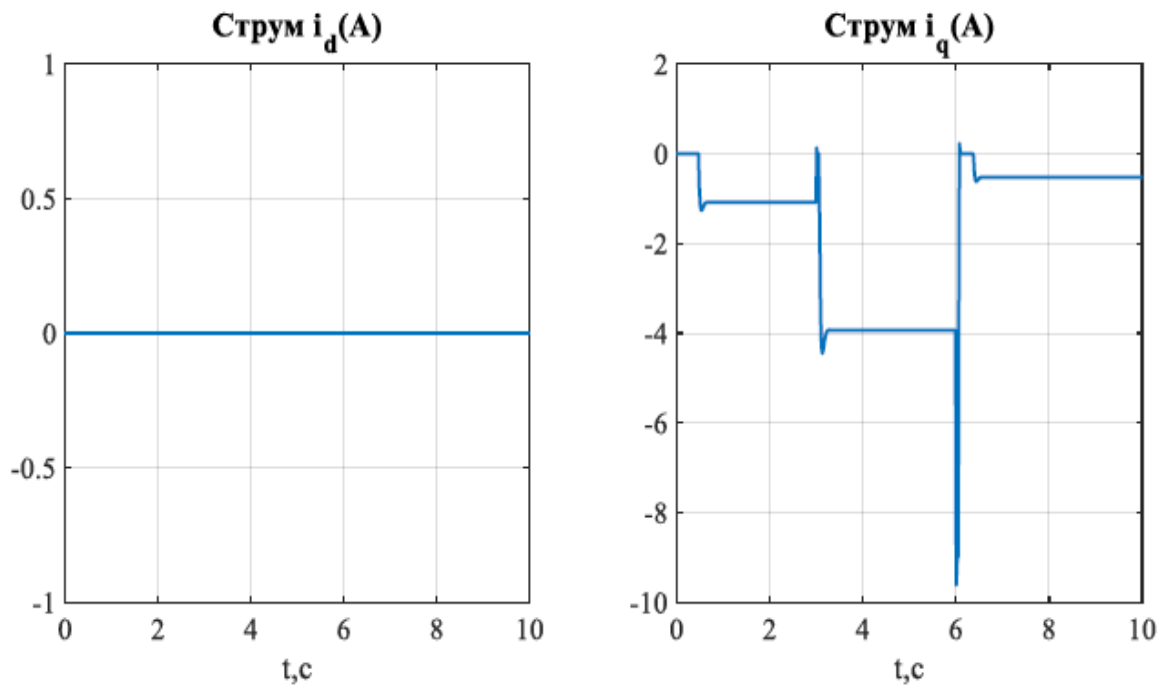


Рисунок 11 – Графік ККД турбіни ветрогенератора

Графіки складових струму i_d (а) та i_q (б), що генерує турбіна ветрогенератора

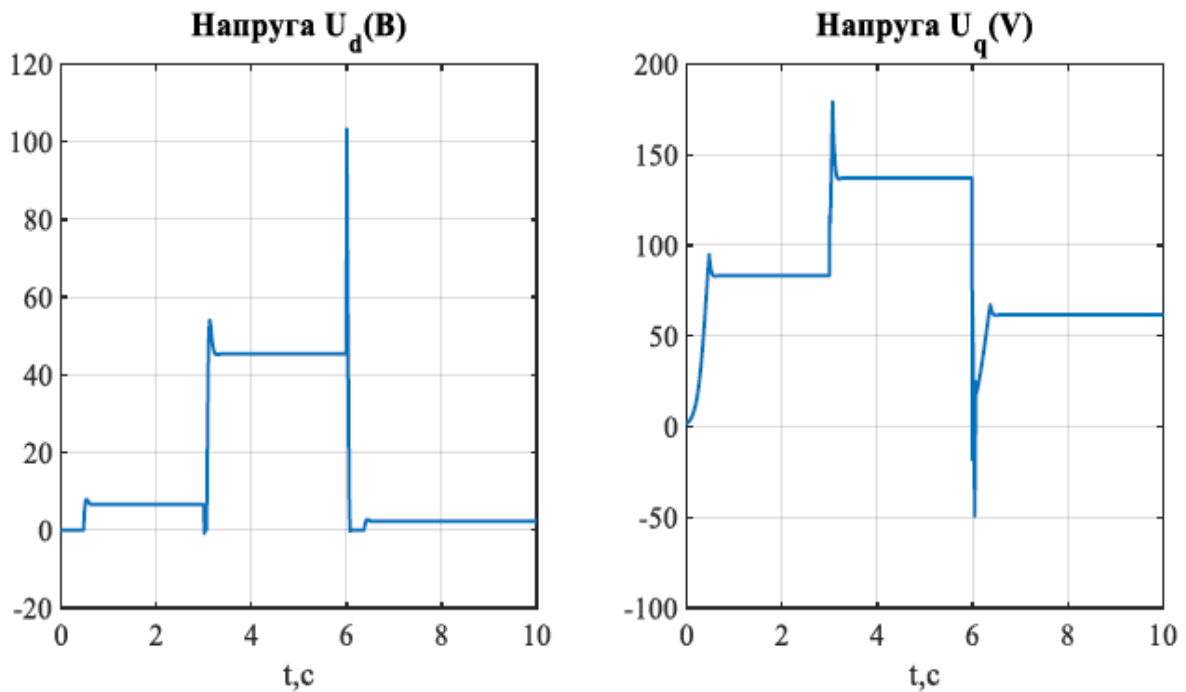


Рисунок 12 – Графіки напруги u_d (а) та напруги u_q (б)

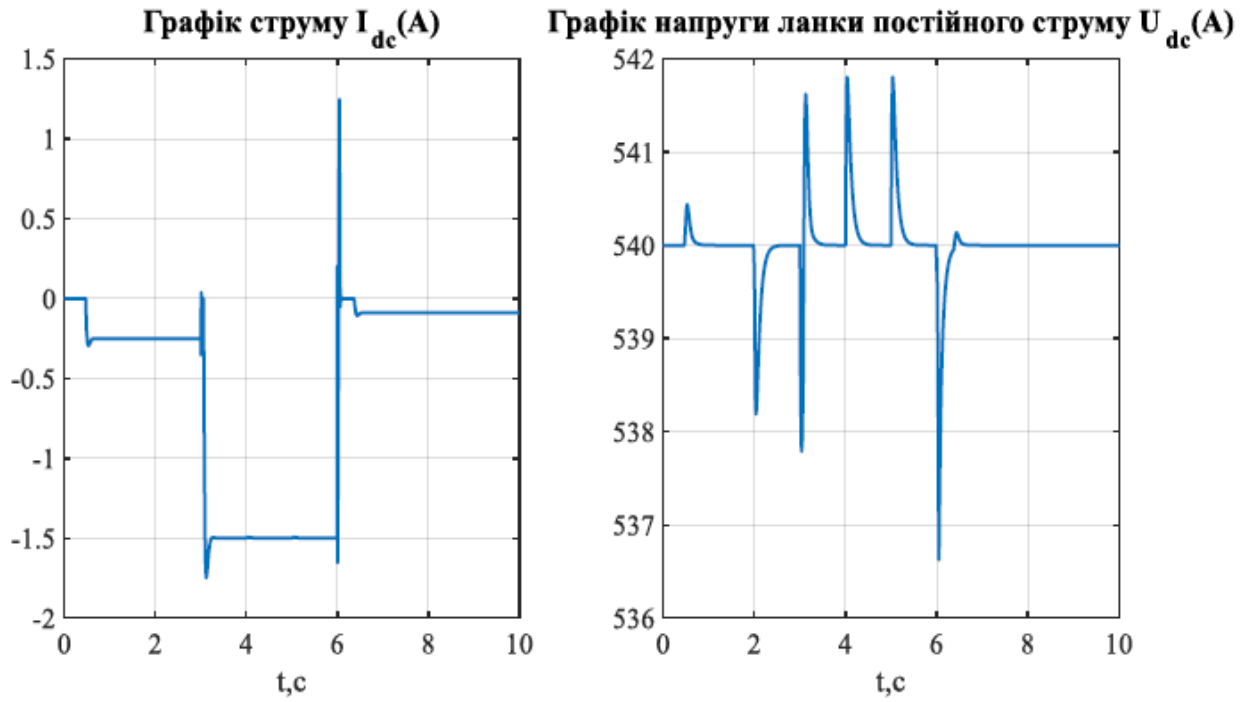


Рисунок 13 – Часові діаграми постійного струму I_{dc} (а) та напруги U_{dc} (б) електричного кола постійного струму

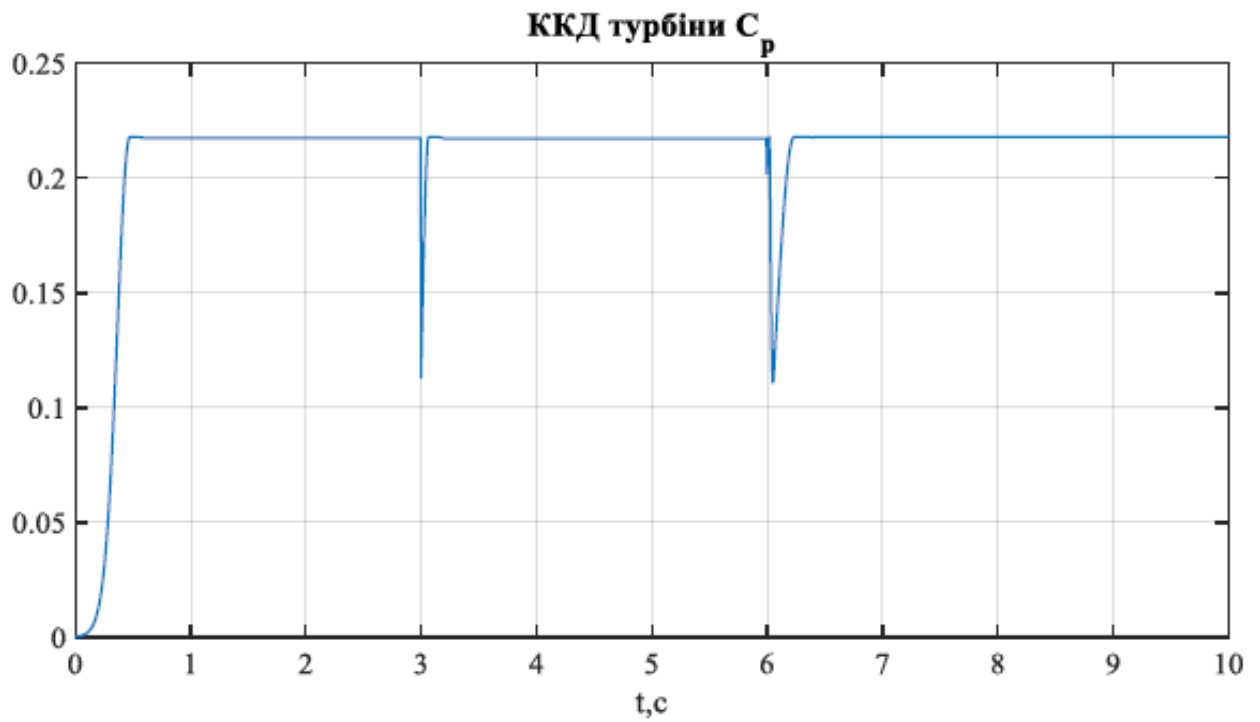


Рисунок 14 – Графік КПД турбіни ветрогенератора

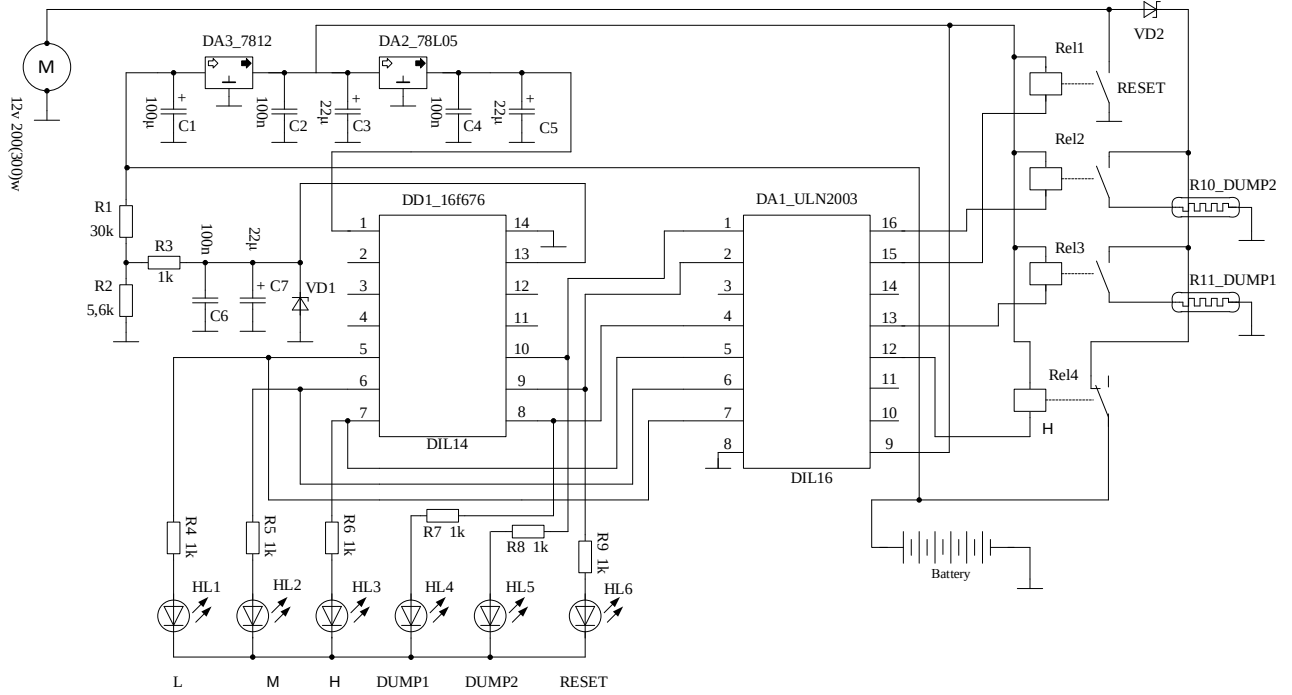


Рисунок 15 – Схема електрична принципова пристрою

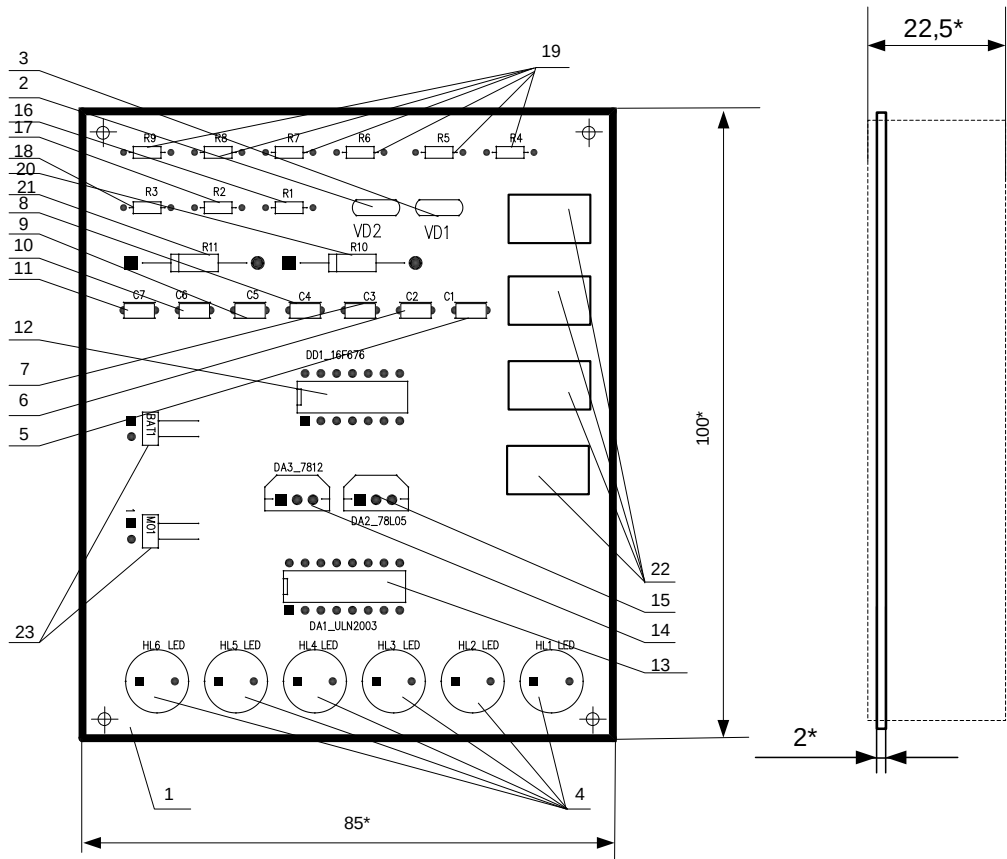
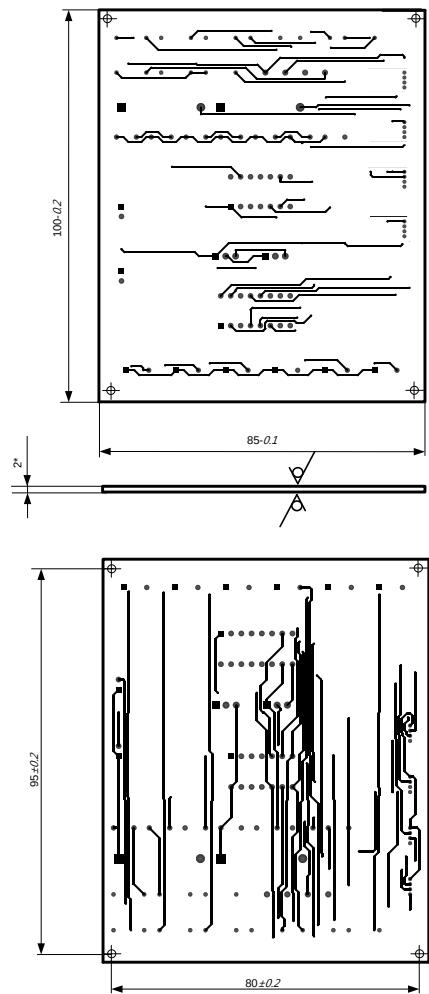


Рисунок 15 – Встановлення елементів на друкованій платі пристрою



Таблиця 1

Умовне позначення отворів	Діаметр отвору, мм	Діаметр конт. площ.	Наявність металізації	Кількість отворів
●	0,9	1,5	є	100
○	1,3	3		4
■	1,1	2×2	є	4
□	0,9	1,5×1,5	є	4

Таблиця 2

Параметри друкованого рисунку	Розміри, мм	
	в широких місцях	у вузьких місцях
Ширина провідника	0,45	0,25
Відстань між провідниками	0,25	0,15

1. *Розміри для довідок.
2. Плату виготовити комбінованим методом.
3. Плата повинна відповідати ГОСТ 23751-86.
4. Крок координатної сітки $1.25 \pm 0,1$ мм.
5. Параметри друкованого рисунку виконати згідно з таблицями 1, 2.
6. Форма контактної площадки довільна, $c = 0,1$ мм.
7. Граничні відхилення між центрами контактних площадок $\pm 0,1$ мм.
8. На поверхню плати, зі сторони провідників, нанести захисну маску.
9. Позиційні позначення елементів маркувати фарбою БМ білою, шрифтом ЗПр-3.
10. Друковані провідники і контактні площадки, незахищені маскою, покрити сплавом „РОЗЕ”.

Рисунок 16 – Топологія друкованої плати пристрою

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ
МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ КОНТРОЛЕР ПРИСТРОЮ ЗАРЯДЖУВАННЯ
ДЛЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРА

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Мікроелектронний контролер пристрою заряджування для вітрогенератора»

Тип роботи: БДР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichек

Оригінальність 85,0% Схожість 15,0%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібно):

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

Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Олександр ЗВЯГІН
(прізвище, ініціали)

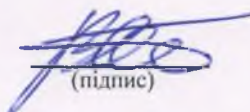
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichек щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Ярослав ЮРЧУК
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Володимир ОСАДЧУК
(прізвище, ініціали)