

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ комп'ютерної інженерії та управління  
(повна назва)

Кафедра \_\_\_\_\_ електронних обчислювальних машин  
(повна назва)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**Пояснювальна записка**

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий(магістерський)

Метод керування системою генерації електроенергії  
з використанням бездротових технологій

(тема)

Виконав:

студент \_\_\_\_\_ II \_\_\_\_\_ курсу, групи \_\_\_\_\_ СПМ21-2  
Корнієнко Є.Д.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність \_\_\_\_\_  
123 «Комп'ютерна інженерія»  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма \_\_\_\_\_  
Системне програмування  
(повна назва освітньої програми)

Керівник: \_\_\_\_\_ проф. Горба А.А.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ

\_\_\_\_\_ Коваленко А.А.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

2023 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ комп'ютерної інженерії та управління \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ електронних обчислювальних машин \_\_\_\_\_

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 123 «Комп'ютерна інженерія» \_\_\_\_\_  
(код і повна назва)

Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма \_\_\_\_\_ Системне програмування \_\_\_\_\_  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту \_\_\_\_\_ Корнієнко Єгору Дмитровичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Метод керування системою генерації електроенергії з використанням бездротових технологій» \_\_\_\_\_

затверджена наказом по університету від “ 3 ” квітня 2023 р. № 318Ст \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 17 травня 2023 \_\_\_\_\_

3. Вхідні дані до роботи 1) Головні джерела енергії в системі генерації електроенергії: сонячні панелі, акумулятори, електрична мережа 220...230 В, бензиновий або дизельний електрогенератор; \_\_\_\_\_

2) Управління системою на основі мобільного додатку; \_\_\_\_\_

3) Керування та моніторинг параметрів системи за допомогою мікроконтролера; \_\_\_\_\_

4) Використання бездротових технологій для комунікації елементів системи. \_\_\_\_\_

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі \_\_\_\_\_

1) Аналіз предметної області. \_\_\_\_\_

2) Розробка структурних схем систем безперебійної генерації електроенергії. \_\_\_\_\_

3) Дослідження та розробка системи керування на основі мікроконтролерів. \_\_\_\_\_

4) Розробка додатка для моніторингу та керування системою генерації електроенергії. \_\_\_\_\_

5) Дослідження сонячних панелей, як джерел електроенергії систем безперебійного електроживлення. \_\_\_\_\_

6) Висновки. \_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Презентація доповіді – 19 слайдів

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області	03.04.23 – 30.04.23	
2	Розробка структурних схем та програмного забезпечення	03.04.23 – 30.04.23	
3	Проведення експериментів	06.04.23 – 10.05.23	
4	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	20.04.23 – 12.05.23	
5	Подання кваліфікаційної роботи керівникові та її попередній захист	13.05.23 – 14.05.23	
6	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	15.05.23 – 16.05.23	

Дата видачі завдання 03 квітень 2023 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

проф. Торба А.А.  
(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 82 с., 23 рис., 1 табл., 4 дод.,  
11 джерел.

**СИСТЕМА ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, БЕЗДРОТОВІ ТЕХНОЛОГІЇ,  
МІКРОКОНТРОЛЕР, МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК, ІНВЕРТОР, МРРТ.**

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та дослідження методу керування системою генерації електроенергії з використанням бездротових технологій. У процесі дослідження має бути розроблено систему сталого енергоживлення споживача, завдяки генеруванню електроенергії. Контроль системи має здійснюватися ресурсами мікроконтролеру. Моніторинг поточних параметрів генерації електроенергії виконується завдяки мобільному застосунку для операційної системи Android.

## ABSTRACT

Master's thesis: 82 pages, 23 figures, 1 tables, 4 appendices, 11 sources.

POWER GENERATION SYSTEM, WIRELESS TECHNOLOGIES,  
MICROCONTROLLER, MOBILE APPLICATION, INVERTER, MPPT.

The major goal of this thesis is the development and research of a method of controlling the power generation system using wireless technologies. In the process of research, a system of sustainable energy supply of the consumer should be developed, thanks to the generation of electricity. Control of the system should be carried out by the resources of the microcontroller. The reading of the current parameters of the electricity generation is carried out thanks to the mobile application for the Android operating system.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ 10 ТЕРМІНІВ .....	8
ВСТУП .....	9
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	10
1.1 Аналіз існуючих систем .....	10
1.2 Можливості застосування системи .....	13
1.3 Аналіз методів .....	14
1.3.1 PWM – метод.....	15
1.3.2 MPPT – метод .....	16
1.4 Аналіз елементів методу реалізації системи генерації електроенергії. ....	18
1.4.1 Дистанційне керування та моніторинг. Бездротові технології .....	18
1.4.2 Сонячні панелі .....	26
1.4.3 Інвертори.....	28
1.5 Постановка задачі.....	30
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНИХ СХЕМ МЕТОДУ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	31
2.1 Опис структурних схем методу керування.....	31
2.2 Опис автоматичного режиму роботи системи .....	35
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА МЕТОДУ КЕРУВАННЯ СИСТЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛERA.....	36
3.1 Дослідження методу .....	36
3.2 Розробка методу .....	41
4 РОЗРОБКА ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ .....	44
4.1 Опис структури та застосованих технологій застосунку .....	44
4.2 Реалізація застосунку.....	45
ВИСНОВКИ .....	51

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	53
ДОДАТОК А .....	55
ДОДАТОК Б .....	66
ДОДАТОК В .....	73
ДОДАТОК Г .....	80

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ  
10 ТЕРМІНІВ

ADC – Аналогово- цифровий перетворювач

CCP – Capture, Compare and Pulse Width Modulation

mDNS - Multicast Domain Name System

MPPT – Maximum Power Point Tracking

MVVM – Model - View -ViewModel

PFC – Коректор коефіцієнта напруги

PWM – Pulse Width Modulation

UI – User Interface

ABP – Автоматичне введення резерву

ШИМ – Широтно – імпульсна модуляція

## ВСТУП

В сучасних умовах питання енергоефективності та використання альтернативних джерел енергії є актуальними та важливими. Зокрема, сонячна енергетика є однією з найбільш перспективних галузей у вирішенні цих проблем. Для оптимального використання сонячної енергії потрібно мати можливість контролювати та керувати процесом її генерації.

Сучасний світ потребує постійного зростання генерації електроенергії, що обумовлено збільшенням населення та поширенням різноманітних електричних пристроїв. При цьому одним з найважливіших напрямів розвитку енергетики є використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної енергії. Однак для ефективного та стабільного функціонування систем генерації електроенергії на основі сонячних панелей необхідно розробити високоефективні та стабільні методи керування та моніторингу.

Дана кваліфікаційна робота має на меті дослідити можливості та переваги використання бездротових технологій у системах генерації електроенергії з використанням сонячних панелей, розробити та дослідити метод керування процесом генерації електроенергії, а також реалізувати мобільний застосунок для забезпечення зчитування поточних параметрів генерації електроенергії з використанням бездротових технологій. Отримані результати можуть бути використані для подальшого розвитку систем генерації електроенергії з використанням альтернативних джерел енергії, зокрема, сонячної енергетики.

У цій роботі буде запропонована стабільна система генерації електроенергії, яка має на меті забезпечити споживача стабільним доступом до електроенергії. При розв'язанні задачі була розроблена система з чотирма джерелами електроенергії: сонячні панелі, генератор, електромережа та акумулятори.

# 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

## 1.1 Аналіз існуючих систем

Дистанційне керування системою генерації електроенергії - це актуальна проблема, з якою зіткнулися багато людей. Попит у суспільства на віддалене управління, наприклад, сонячними панелями достатньо великий. Наприклад в ситуації, коли вона встановлена на віддаленій території або на даху будинку.

На сьогоднішній день існують різні рішення поставленої задачі (рисунок 1.1). Але основні елементи загалом однакові. Основними елементами є сонячні панелі, інвертор, акумулятори, зарядний контролер та система моніторингу роботи цієї системи [1,2].



Рисунок 1.1 – Приклад управління сонячною панеллю

Принцип роботи цих систем наступний: сонячні панелі збирають енергію від сонця та перетворюють її на електричну енергію, яка може бути використана для живлення будь-яких електричних пристроїв. Сонячні панелі складаються найчастіше зі сонячних клітин, які виготовляються з напівпровідникових матеріалів, таких як кремній [3]. Сонячні панелі зазвичай збираються в масиви, що забезпечує більшу ефективність збору сонячної енергії. Якщо збирання

енергії з сонячних панелей перевищує потреби будинку або споживача, надлишок енергії може бути збережений у батареї акумуляторів для використання в майбутньому. Під час періодів, коли сонячні панелі не збирають достатньо енергії, система може використовувати енергію, збережену в батареї. Деякі системи можуть бути підключені до мережі електропостачання, що дозволяє їм використовувати енергію з мережі, якщо збереженого електричного заряду недостатньо для забезпечення живлення.

Усі ці системи базуються на технології зберігання енергії в літій-іонних батареях, які забезпечують ефективне зберігання енергії в невеликих просторах та можуть бути заряджені та розряджені багато разів [4]. Батареї зазвичай мають контрольний блок, який керує зарядкою та розрядкою, щоб запобігти перевищенню чи недостатньому заряду батареї, що може вплинути на тривалість її експлуатації.

Акумуляуючі системи з сонячними панелями можуть бути використані для забезпечення енергією будинків, підприємств та інших об'єктів. Вони можуть бути корисні в місцях, де немає доступу до електричної мережі, або як додаткове джерело енергії для зменшення витрат на електрику. Важливою перевагою цих систем є їх екологічність та можливість зменшення викидів вуглецю в атмосферу.

Інвертор є пристроєм, який перетворює постійний струм, що генерується сонячними панелями, на змінний струм, який може використовуватися для електричних приладів. Інвертори можуть мати різну потужність, залежно від потреб споживача [5].

Зарядний контролер - це пристрій, який керує зарядом акумуляторів та забезпечує їх захист від перезарядки. Зарядний контролер зазвичай включає в себе різні функції, такі як відслідковування потужності.

Одним з найпоширеніших методів моніторингу вище описаної системи є використання веб-інтерфейсу, який дозволяє віддалено керувати сонячною панеллю через Інтернет. Також існують спеціальні програмні засоби, які дозволяють керувати сонячною панеллю за допомогою мобільного пристрою або

комп'ютера. Ці програмні засоби зазвичай містять в собі графічний інтерфейс користувача та можуть включати функції моніторингу потужності панелі, зміни параметрів заряду акумулятора тощо [6].

Також можна використовувати спеціальні датчики, які дозволяють віддалено вимірювати параметри роботи сонячної панелі, такі як потужність виробленої енергії, рівень заряду акумулятора та інші. Ці датчики можуть бути підключені до мережі Інтернет та надавати інформацію про роботу сонячної панелі в режимі реального часу.

Одним з найбільш поширених рішень моніторингу та керування є використання мобільних додатків. Зазвичай такі додатки підтримують роботу з панелями, які обладнані відповідними бездротовими модулями, що дозволяють здійснювати зчитування та запис поточних параметрів роботи панелі. Зазвичай такі додатки дозволяють налаштовувати параметри зарядки акумулятора, проводити аналіз поточної потужності та стан заряду акумулятора. Застосунок може також вести історію роботи панелі.

Одним із способів дистанційного управління системою генерації електроенергії є використання бездротових мереж зв'язку, таких як Bluetooth та Wi-Fi. Ці технології дозволяють здійснювати дистанційне зчитування та запис параметрів системи з будь-якого пристрою, який має відповідний модуль зв'язку [7]. Таким чином, користувач може знаходитися в будь-якій точці світу, але при цьому зможе отримувати доступ до поточних параметрів роботи системи та змінювати їх за необхідності.

Крім того, існують рішення, які використовуються в промисловості, де необхідне дистанційне керування сонячними панелями. Наприклад, система керування і слідкування за сонячними панелями від компанії PV Hardware, що базується на бездротових технологіях і передбачає використання контролера і зв'язку на радіочастоті. Інші виробники також пропонують системи дистанційного керування, такі як Sun Action Trackers, GameChange Solar, Qbotix і т.д [8].

Однак, дослідження у цій галузі продовжуються, і, мабуть, у майбутньому

можна очікувати нові рішення, які стануть ще більш ефективними та зручними для використання.

Отже, існують різноманітні рішення для дистанційного керування сонячною панеллю, які дозволяють забезпечувати оптимальну роботу панелі та проводити моніторинг її параметрів в режимі реального часу.

## 1.2 Можливості застосування системи

Системи генерації електроенергії за допомогою сонячних панелей застосовуються в різних галузях, включаючи:

- житлові будинки та квартири – сонячні панелі можуть бути встановлені на дахах будинків та квартир, що дозволяє виробляти електроенергію для власного споживання. Це дозволяє зменшити витрати на електрику та знизити вплив на довкілля;
- комерційні будівлі – сонячні панелі можуть бути встановлені на дахах торговельних центрів, офісів та інших комерційних будівель. Це дозволяє зменшити витрати на електрику та знизити вплив на довкілля;
- землевпорядні та сільськогосподарські землі – сонячні панелі можуть бути встановлені на земельній ділянці, що не використовується для вирощування рослин. Це дозволяє виробляти електроенергію на місці та зменшити витрати на електрику для поливання рослин та інших потреб в сільському господарстві;
- автомобільні застосування – сонячні панелі можуть бути встановлені на автобусах, автомобілях та інших транспортних засобах, що дозволяє забезпечити енергією різні електричні прилади та знизити витрати на паливо.

Загалом, системи генерації електроенергії за допомогою сонячних панелей мають широкі застосування в різних галузях та дозволяють знизити витрати на електрику та зменшити вплив на довкілля.

Щодо системи додаткової функції дистанційного управління сонячною панеллю, то вона має широкі можливості застосування, як в комерційних, так і в

побутових умовах. Наприклад:

- підтримка віддалених сонячних електростанцій – система дистанційного моніторингу може бути використана для контролю віддаленими сонячними електростанціями;
- побутове застосування – система може бути встановлена в будинках та квартирах, що дозволяє користувачам зменшити витрати на електроенергію та знизити негативний вплив на довкілля, система моніторингу дозволяє вчасно виявляти можливі проблеми та уникати їх наслідків;
- медичні центри – система може бути використана в медичних центрах для забезпечення надійного джерела енергії та уникнення можливих перерв у роботі обладнання.

Застосування системи дистанційного моніторингу сонячною панеллю може забезпечити значні економічні та екологічні переваги за рахунок підвищення ефективності використання сонячної енергії та зменшення витрат на її виробництво.

### 1.3 Аналіз методів

Сонячні батареї є джерелами постійного струму, характеристики яких значно залежать від зовнішніх умов (освітлення, температура). Отже, вихідна потужність сонячної батареї не є стабільною і змінюється протягом дня. В цьому контексті ефективність перетворення сонячної енергії може бути значно збільшена шляхом постійного тримання роботи фотоелектричного модуля в точці максимальної потужності.

Існують технології, які використовуються в контролерах заряду для оптимізації виробництва електроенергії від сонячних панелей. Сонячні панелі мають криву вихідної потужності, яка змінюється в залежності від освітленості та температури. В будь-який момент часу існує певна точка (напруга і струм), при якій панель виробляє максимальну потужність. Цю точку називають точкою максимальної потужності (MPP).

Аналіз існуючих рішень показав, що для роботи сонячної панелі при максимальній потужності в даних умовах застосовується PWM та MPPT методи.

### 1.3.1 PWM – метод

PWM (Pulse Width Modulation) - метод, згідно якого береться напруга в точці максимальної потужності для цієї сонячної панелі та система підтримує цю напругу протягом роботи генерації.

Розглянемо приклад сонячної панелі Jinko Solar 545. Виробник надав характеристики, згідно яких в точці максимальної потужності напруга дорівнює 38.25 В ( при опромінюванні 1000 Вт/ м<sup>2</sup>, температурі 25 °С) та 40.80 В ( при опромінюванні 800 Вт/ м<sup>2</sup>, температурі 20 °С) в залежності від умов (рисунок 1.2). Але при зміні погодних та інших умов напруга коливається, тож отримання максимальної потужності при існуючих умов не є оптимальним.

Недоліком такого підходу є зміна напруги в точці максимальної потужності в залежності від умов освітленості, температури та інших.

SPECIFICATIONS											
Module Type	JKM530M-72HL4		JKM535M-72HL4		JKM540M-72HL4		JKM545M-72HL4		JKM550M-72HL4		
	JKM530M-72HL4-V	JKM535M-72HL4-V	JKM535M-72HL4-V	JKM540M-72HL4-V	JKM540M-72HL4-V	JKM545M-72HL4-V	JKM545M-72HL4-V	JKM550M-72HL4-V	JKM550M-72HL4-V	JKM550M-72HL4-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	
Maximum Power (Pmax)	530Wp	394Wp	535Wp	398Wp	540Wp	402Wp	545Wp	405Wp	550Wp	409Wp	
Maximum Power Voltage (Vmp)	40.56V	37.84V	40.63V	37.91V	40.70V	38.08V	40.80V	38.25V	40.90V	38.42V	
Maximum Power Current (Imp)	13.07A	10.42A	13.17A	10.50A	13.27A	10.55A	13.36A	10.60A	13.45A	10.65A	
Open-circuit Voltage (Voc)	49.26V	46.50V	49.34V	46.57V	49.42V	46.65V	49.52V	46.74V	49.62V	46.84V	
Short-circuit Current (Isc)	13.71A	11.07A	13.79A	11.14A	13.85A	11.19A	13.94A	11.26A	14.03A	11.33A	
Module Efficiency STC (%)	20.55%		20.75%		20.94%		21.13%		21.33%		
Operating Temperature(°C)						-40°C~+85°C					
Maximum system voltage						1000/1500VDC (IEC)					
Maximum series fuse rating						25A					
Power tolerance						0~+3%					
Temperature coefficients of Pmax						-0.35%/°C					
Temperature coefficients of Voc						-0.28%/°C					
Temperature coefficients of Isc						0.048%/°C					
Nominal operating cell temperature (NOCT)						45±2°C					

\*STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup> Cell Temperature 25°C AM=1.5  
 NOCT: Irradiance 800W/m<sup>2</sup> Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s

Рисунок 1.2 – Технічні характеристики сонячної панелі Jinko Solar 545

### 1.3.2 MPPT - метод

MPPT (Maximum Power Point Tracking) – метод отримання максимально можливої потужності на виході фото-модулів, принцип якого полягає в постійному скануванні потужності в точці біля точки максимальної потужності.

Будь-які зміни довкілля накладають імперативи виробництва енергії зі стійкого джерела енергії. Зокрема, вплив серйозніший у системах сонячної та вітрової енергії. Крім того, вітряні та сонячні системи стикаються з проблемами, пов'язаними із зміною кліматичних умов та включенням до мережі. Сонячні фотоелектричні та вітрові системи перетворення енергії використовують метод MPPT для забезпечення вихідної потужності, що підтримується. Метод контролю MPP постійно переміщає своє положення, коли відбувається зміна навколишнього середовища. Тому контролери за методом MPPT призначені для продовження відстеження MPP та є невід'ємною частиною фотоелектричної системи. Наявність контролера за цим методом адекватно змінює опір, що спостерігається панеллю, і, отже, спонукає панель працювати ближче до MPP.

При прямому підключенні навантаження до комірки робоча точка панелі рідко буває при піковій потужності. Імпеданс, видимий панеллю, визначає її робочу точку. Правильне встановлення імпедансу дозволяє досягти пікової потужності. Оскільки панелі є пристроями постійного струму, перетворювачі постійного струму перетворюють повний опір одного ланцюга (джерела) на інший ланцюг (навантаження). Зміна коефіцієнта заповнення перетворювача постійного струму змінює імпеданс (коефіцієнт заповнення), що спостерігається осередком.

Алгоритми MPPT часто вимірюють напругу та струми панелі, а потім відповідним чином регулюють коефіцієнт заповнення. Мікроконтролери реалізують алгоритми. Сучасні реалізації часто використовують складніші комп'ютери для аналітики та прогнозування навантаження.

Фотоелектричні елементи мають складний взаємозв'язок між їх робочим середовищем та потужністю, яку вони виробляють. Коефіцієнт заповнення (FF) характеризує нелінійну електричну поведінку комірки. Коефіцієнт заповнення визначається як відношення максимальної потужності від елемента до напруги

холостого ходу. Табличні дані часто використовуються для оцінки максимальної потужності, яку може забезпечити осередок при оптимальному навантаженні в заданих умовах:

Для будь-якого заданого набору умов елементи мають єдину робочу точку, в якій значення струму ( $I$ ) та напруги ( $V$ ) елемента забезпечують максимальну вихідну потужність. Ці значення відповідають певному опорі навантаження, що дорівнює  $V / I$ , як зазначено в законі Ома. Потужність  $P$  визначається як:  $P = V * I$ .

Фотоелектричний елемент протягом більшої частини своєї корисної кривої діє як джерело постійного струму. Однак в області MPP фотоелектричного елемента його крива має приблизно зворотну експоненціальну залежність між струмом та напругою (рисунок 1.3).

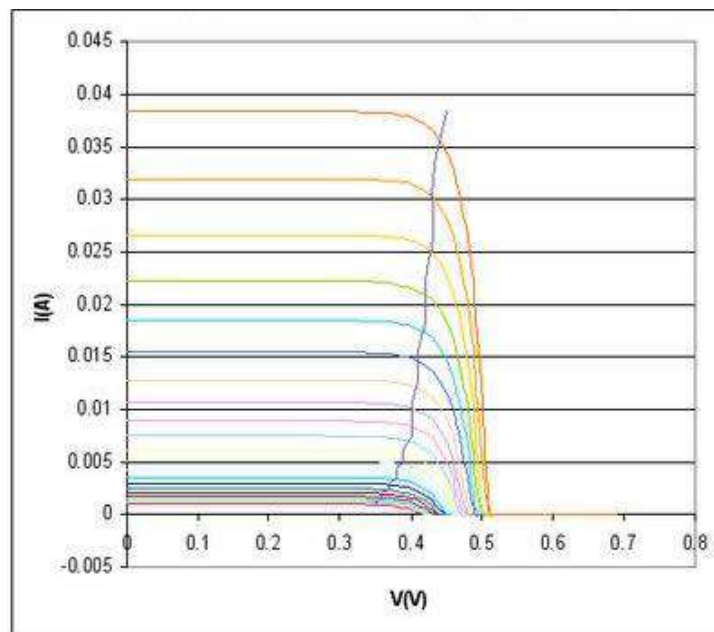


Рисунок 1.3 – Криві IV фотоелектричного сонячного елемента, де лінія перетинає коліно кривих, де розташована точка максимальної передачі потужності

Навантаження з опором  $R=V/I$ , що дорівнює зворотному значенню цього значення, споживає від пристрою максимальну потужність. Це іноді називають «характеристичним опором» осередку. Це динамічна величина, що змінюється в залежності від рівня освітленості, а також інших факторів, таких як температура

та стан клітини. Нижчий або вищий опір знижує вихідну потужність. Трекери точки максимальної потужності використовують схеми керування чи логіку для ідентифікації цієї точки.

Недоліком є коливання потужності під час сканування, що зменшує генерацію сумарної потужності.

Вище вказані підходи мають свої недоліки, тому метою є пошук та дослідження методу, який повинен мінімізувати вище зазначені проблеми та недоліки існуючих рішень [9].

## 1.4 Аналіз елементів методу реалізації системи генерації електроенергії

### 1.4.1 Дистанційне керування та моніторинг. Бездротові технології

Аналіз підходів в системі дистанційного управління сонячною панеллю заснований на вивченні існуючих рішень та визначенні їх ефективності в залежності від потреб користувачів.

Один з підходів до дистанційного моніторингу сонячною панеллю - використання бездротових технологій, таких як Bluetooth, Wi-Fi або ZigBee. Такі технології можуть бути використані для передачі даних з системи генерації електроенергії на мобільний телефон або комп'ютер, щоб забезпечити користувачеві інформацію про потужність генератора, ефективність збору енергії та стан зарядки батареї.

Дистанційний контроль та моніторинг системи генерації електроенергії може виконуватись с пульта управління, але цей підхід не є оптимальним та має наступні недоліки:

- встановлення, дротові системи вимагають більш складного та трудомісткого процесу встановлення, оскільки необхідно прокладати кабелі між різними компонентами системи. Це може збільшити вартість та час встановлення;
- обмеження в розміщенні. У деяких випадках дротові системи контролю та моніторингу можуть обмежувати можливості розміщення обладнання через

- необхідність прокладання кабелів. Це може вплинути на гнучкість та оптимальність розміщення компонентів системи;
- надійність. Дротові системи можуть бути схильні до пошкоджень або переривання зв'язку через пошкодження кабелів, корозію, “втому” матеріалів або поганий контакт між компонентами. Це може вплинути на надійність та стабільність системи;
  - естетика. Відкриті кабелі можуть створювати проблеми з естетикою та безпекою, особливо в приватних будинках або комерційних приміщеннях, де зовнішній вигляд є важливим;
  - масштабованість. Додавання або заміна компонентів в дротових системах може вимагати додаткових зусиль та витрат на прокладання нових кабелів або модифікацію існуючих. В порівнянні, бездротові системи контролю та моніторингу зазвичай пропонують кращу масштабованість та гнучкість;
  - вартість. Залежно від обсягу проекту та компонентів системи, дротові технології можуть мати вищу вартість, пов'язану з кабелями та встановленням.

Враховуючи недоліки дротових систем контролю та моніторингу, бездротові технології, такі як Wi-Fi та Bluetooth, стають дедалі більш привабливими в контексті контролю системи генерації електроенергії. Вони дозволяють забезпечити більш гнучке, надійне та легко масштабоване рішення для моніторингу та управління системами генерації електроенергії на основі сонячних панелей та інших відновлюваних джерел.

Крім того, бездротові технології забезпечують зручність та швидкість передачі даних в режимі реального часу, що дозволяє операторам системи миттєво відстежувати стан обладнання, вирішувати проблеми та здійснювати оптимальне керування.

Застосування бездротових технологій також відкриває нові можливості для інтеграції з іншими розумними пристроями та системами, що дозволяє створювати більш розумні та автоматизовані системи енергозабезпечення. Наприклад, можна інтегрувати контроль та моніторинг сонячної панелі з

системою розумного будинку або використовувати мобільні додатки для віддаленого управління та контролю.

Бездротові технології, такі як Wi-Fi та Bluetooth, мають ряд переваг перед дротовими технологіями в контексті контролю системи генерації електроенергії:

- гнучкість та мобільність – бездротові технології надають можливість контролювати систему з будь-якої точки з покриттям сигналом. Це дає змогу легко моніторити та управляти системою на відстані без потреби встановлення додаткових кабелів;
- більший радіус дії (для Wi-Fi) – Wi-Fi забезпечує більший радіус дії порівняно з Bluetooth та дротовими з'єднаннями, що дозволяє контролювати та моніторити систему на більшій відстані;
- зручність – бездротові технології дозволяють забезпечити простий та зручний доступ до системи контролю та моніторингу через мобільні пристрої, такі як смартфони та планшети;
- швидкість та ефективність – бездротові технології, такі як Wi-Fi, забезпечують високу швидкість передачі даних, що сприяє більш швидкому оновленню інформації та реагуванню на зміни в системі;
- віддалений доступ: завдяки інтеграції з Інтернетом, бездротові технології дозволяють користувачам контролювати та моніторити систему навіть на відстані, забезпечуючи зручність та своєчасність управління;
- зниження витрат на інфраструктуру – відсутність необхідності в прокладанні кабелів знижує витрати на встановлення та підтримку системи контролю та моніторингу.

Існує підхід по якому відбувається використання інтелектуальних систем управління, таких як системи прогнозування погоди та системи керування енергоефективністю. Ці системи можуть використовувати дані з сенсорів, встановлених на сонячній панелі, для передбачення погодних умов та ефективної роботи сонячної панелі в залежності від цих умов. Використання системи автоматичного відстеження сонця, яка може відстежувати рух сонця та налаштовувати панелі для максимальної ефективності. Це дозволяє збільшити

кількість виробленої енергії та знизити витрати на генерацію енергії.

Бездротові технології відіграють важливу роль у розвитку сучасних систем керування генерацією електроенергії. Вони дозволяють забезпечити зручне та надійне з'єднання між різними компонентами системи та користувачем без необхідності прокладання кабелів. Слід розглянути основні бездротові технології, що можуть бути застосовані.

Bluetooth є однією з найпоширеніших бездротових технологій, що використовуються для передачі даних на коротких відстанях. Вона забезпечує надійне з'єднання між пристроями та має низьке енергоспоживання, що робить її особливо актуальною для систем з автономним живленням, таких як сонячні панелі.

Bluetooth – це технологія зв'язку, яка дозволяє передавати дані між пристроями на коротких відстанях, зазвичай до 10 метрів, хоча деякі версії можуть мати більший радіус дії. Ця технологія використовує радіочастоти для створення надійних з'єднань між пристроями, такими як мобільні телефони, комп'ютери, навушники та інші пристрої.

Основні характеристики технології Bluetooth:

- низьке енергоспоживання – Bluetooth розроблено для оптимізації енергоспоживання, що робить його ідеальним для пристроїв, що працюють від батареї, таких як мобільні телефони, навушники та датчики;
- легке з'єднання пристроїв – Bluetooth дозволяє легко з'єднувати пристрої за допомогою процесу, так званого “спарювання”. Після успішного “спарювання”, пристрої можуть автоматично встановлювати з'єднання між собою, коли вони знаходяться в діапазоні один одного;
- відносно безпечна передача даних – Bluetooth використовує різні рівні шифрування та аутентифікації для захисту даних, переданих між пристроями. Хоча Bluetooth може бути підданий атакам хакерів, рівень безпеки зазвичай достатній для більшості побутових та комерційних застосувань;
- широке застосування – Bluetooth використовується в різноманітних пристроях та сферах, включаючи мобільні телефони, навушники, комп'ютери,

- автомобільні системи, датчики та пристрої Інтернет-речей (IoT);
- простота використання – Bluetooth відрізняється простотою налаштування та використання, що дозволяє користувачам без проблем підключати та взаємодіяти з пристроями. Завдяки інтуїтивним процесам парування та підключення, користувачі не зіштовхуються з складними налаштуваннями та конфігураціями;
  - сумісність – Bluetooth сумісний з великою кількістю пристроїв, незалежно від виробника та операційної системи. Це гарантує широку підтримку технології та сприяє її універсальності;
  - розвиток стандартів – Bluetooth постійно оновлюється, з розробкою нових версій стандарту, які покращують швидкість передачі даних, радіус дії, енергоефективність та функціональність. Наприклад, Bluetooth 5.0 пропонує збільшення швидкості передачі даних та дальності передачі порівняно з попередніми версіями стандарту;
  - ліцензування – Bluetooth має відкритий стандарт ліцензування, що дозволяє розробникам та виробникам пристроїв легко використовувати технологію в своїх продуктах без значних обмежень або обов'язкових платежів.

Враховуючи вищезазначені особливості, Bluetooth є універсальною технологією для бездротового зв'язку, яка може використовуватися в різних застосуваннях. В контексті кваліфікаційної роботи Bluetooth може стати надійним та енергоефективним способом передачі даних між сонячною панеллю та мобільним застосунком на Android, що дозволить забезпечити ефективний контроль та моніторинг процесу генерації електроенергії.

У такому випадку, Bluetooth може використовуватися для забезпечення двостороннього зв'язку між сонячною панеллю та смартфоном користувача. Це дозволить отримувати поточні параметри генерації електроенергії, такі як напруга, струм та потужність, а також відправляти команди для керування системою.

Wi-Fi є іншою популярною бездротовою технологією, яка зазвичай використовується для підключення до мережі Інтернет на відстанях до 100

метрів. Wi-Fi може бути застосована для передачі даних між процесором та мобільним застосунком через мережу Інтернет, що дозволяє користувачам керувати системою дистанційно.

Wi-Fi - це бездротова технологія зв'язку, яка дозволяє передавати дані між пристроями на більших відстанях, ніж Bluetooth, і зазвичай працює на відстані до 100 метрів. Wi-Fi використовує радіочастоти для передачі даних та створення бездротових локальних мереж (WLAN). Ця технологія поширена в різних сферах, таких як домашні мережі, офіси, громадські місця, ресторани та інше.

Основні характеристики технології Wi-Fi:

- швидкість передачі даних – Wi-Fi пропонує високу швидкість передачі даних, порівняно з Bluetooth, завдяки чому може передавати великі об'єми даних або підтримувати високоякісне відео та аудіо;
- дальність дії – Wi-Fi має більший радіус дії, ніж Bluetooth, що дозволяє забезпечувати з'єднання на відстані до 100 метрів, хоча це може зменшуватися в залежності від перешкод та інших факторів;
- сумісність – Wi-Fi сумісний з великою кількістю пристроїв, включаючи смартфони, комп'ютери, планшети та інші пристрої. Він також підтримує різні стандарти та версії, такі як Wi-Fi 4 (802.11n), Wi-Fi 5 (802.11ac) та Wi-Fi 6 (802.11ax);
- безпека – Wi-Fi пропонує різні рівні захисту для безпечної передачі даних, такі як WEP, WPA, WPA2 та WPA3. Ці протоколи захисту забезпечують шифрування даних та аутентифікацію користувачів, що допомагає зменшити ймовірність несанкціонованого доступу до мережі;
- підтримка мережі – Wi-Fi дозволяє створювати бездротові локальні мережі (WLAN), які можуть підключати декілька пристроїв одночасно. Це дозволяє користувачам підключатися до Інтернету, обмінюватися файлами та даними або спілкуватися між пристроями в мережі;
- гнучкість – Wi-Fi забезпечує гнучкість в налаштуванні мережі та підключенні пристроїв. Користувачі можуть легко змінювати налаштування мережі, додавати нові пристрої та розширювати покриття мережі за допомогою

додаткового обладнання, такого як маршрутизатори, точки доступу та мости; – широке застосування – Wi-Fi використовується в різних сферах, включаючи домашні мережі, офісні приміщення, громадські місця, ресторани, готелі, аеропорти та інше. Це робить Wi-Fi універсальною технологією для бездротового зв'язку.

У контексті кваліфікаційної роботи, Wi-Fi може бути використано для передачі даних між процесором та мобільним застосунком на Android. Wi-Fi може підтримувати високу швидкість передачі даних, що може бути корисним, якщо потрібно передавати великі об'єми даних або проводити реальний моніторинг з відеокамери або інших датчиків.

Тим не менш, варто врахувати, що Wi-Fi споживає більше енергії, ніж Bluetooth, що може бути важливим аспектом при використанні системи генерації електроенергії. В залежності від конкретних вимог, може бути доцільно провести аналіз споживання енергії, швидкості передачі даних та інших вимог, щоб визначити, яка технологія (Bluetooth чи Wi-Fi) буде найбільш кращою.

Крім того, Wi-Fi може мати певні вимоги щодо налаштування мережі, такі як налаштування маршрутизатора, конфігурація IP-адрес та інші параметри мережі. Це може вимагати додаткових знань та вмінь для коректної роботи системи. За допомогою Bluetooth такі налаштування можуть бути менш складними.

Zigbee - це бездротова технологія, розроблена спеціально для інтернет - речей (IoT) та систем автоматизації. Вона має низьке енергоспоживання, високу надійність з'єднання та можливість створення меш-мережі, в якій кожен вузол може передавати сигнал далі від джерела.

Zigbee - це бездротова технологія зв'язку, що спеціально розроблена для використання в системах "розумного будинку" та промислових автоматизованих системах. Вона використовує низькопотужні радіочастотні сигнали для передачі даних між пристроями на невеликих відстанях, зазвичай до 100 метрів. Основні переваги Zigbee полягають у низькому споживанні енергії, високій надійності, простоті розгортання та скальованості.

### Основні характеристики технології Zigbee:

- низьке споживання енергії – Zigbee розроблено для пристроїв, що працюють від батарей, і має дуже низьке споживання енергії порівняно з іншими бездротовими технологіями, такими як Wi-Fi або Bluetooth;
- самоорганізовані мережі – Zigbee може створювати самоорганізовані мережі з різними топологіями, такими як зірка, меш (сітка) або кільце. Це дозволяє пристроям автоматично знаходити найкращий маршрут для передачі даних та адаптуватися до змін у мережі;
- безпека – Zigbee пропонує різні рівні захисту для безпечної передачі даних, включаючи шифрування на рівні мережі та аплікаційному рівні;
- сумісність – Zigbee працює на основі стандарту IEEE 802.15.4 та сумісний з різноманітним обладнанням, включаючи розумні пристрої, сенсори, контролери та інше.

В контексті кваліфікаційної роботи, технологія Zigbee може бути альтернативою Bluetooth або Wi-Fi для передачі даних між сонячною панеллю та мобільним застосунком на Android.

За допомогою Zigbee можна створити бездротову мережу датчиків, контролерів та пристроїв управління, які збирають та передають дані про поточні параметри генерації електроенергії у мікроконтролеру (рисунок 1.4). Ці дані можуть бути використані для моніторингу, аналізу та оптимізації роботи сонячної панелі, що може покращити її ефективність та надійність.

Однак, потрібно врахувати, що Zigbee може мати меншу швидкість передачі даних порівняно з Wi-Fi або Bluetooth, що може обмежити його застосування в сценаріях, коли потрібна висока швидкість передачі даних або миттєва відгуковість. Також Zigbee може вимагати спеціального обладнання та додаткових налаштувань для підключення до мобільного застосунку на Android через інтернет.

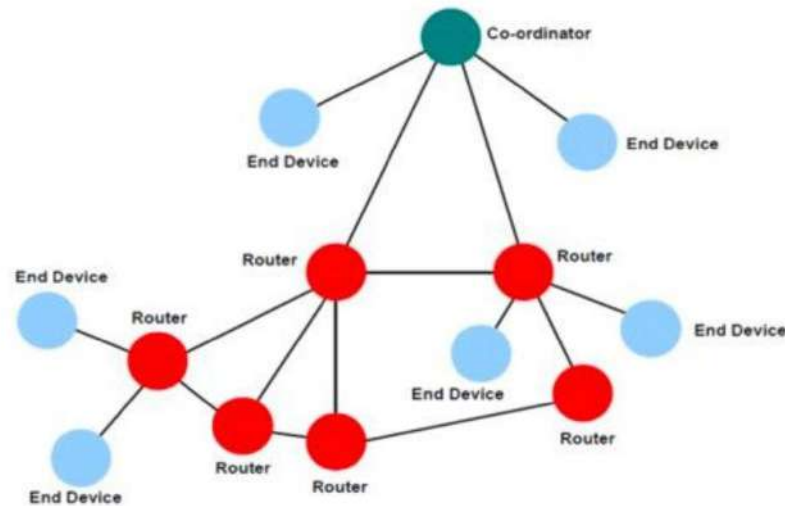


Рисунок 1.4 – Приклад Zigbee - мережі

#### 1.4.2 Сонячні панелі

Сонячні панелі є основним джерелом генерації електроенергії у системі. Вони перетворюють сонячне світло на електричну енергію за допомогою фотовольтаїчних елементів. При виборі сонячних панелей необхідно врахувати їх ефективність, потужність та довговічність.

Коли сонячні промені потрапляють на напівпровідник, то він починає нагріватися, частково поглинаючи виділену від променів енергію. Фотони світла «вибивають» електрони з загальної атомної структури напівпровідника, і вільні електрони формують заряд.

Загалом, кожна з комірок не є суцільним сегментом кремнію, а по суті складається з двох шарів. Проте навіть цього не буде достатньо для створення повноцінного електричного поля, оскільки в чистому вигляді кремній не є надто хорошим провідником. Тож для формування позитивного та негативного заряду кремнієвих шарів, додатково домішують сторонні речовини.

Верхній шар кремнію насичується фосфором, який додає йому зайві електрони з негативним зарядом. Тож цей шар отримав назву n-тип (negative). В той час нижній сегмент насичується бором, що зменшує кількість електронів і формує позитивний заряд. Такий кремній отримав назву p-типу. Внаслідок

цього, між кремнієвими шарами формується електричне поле. І як вже було сказано вище, коли фотон сонячного світла вибиває вільний електрон, електричне поле виштовхує його із з'єднання кремнію (рисунок 1.5). Так формується струм. Тип такого провідника отримав назву P-N.

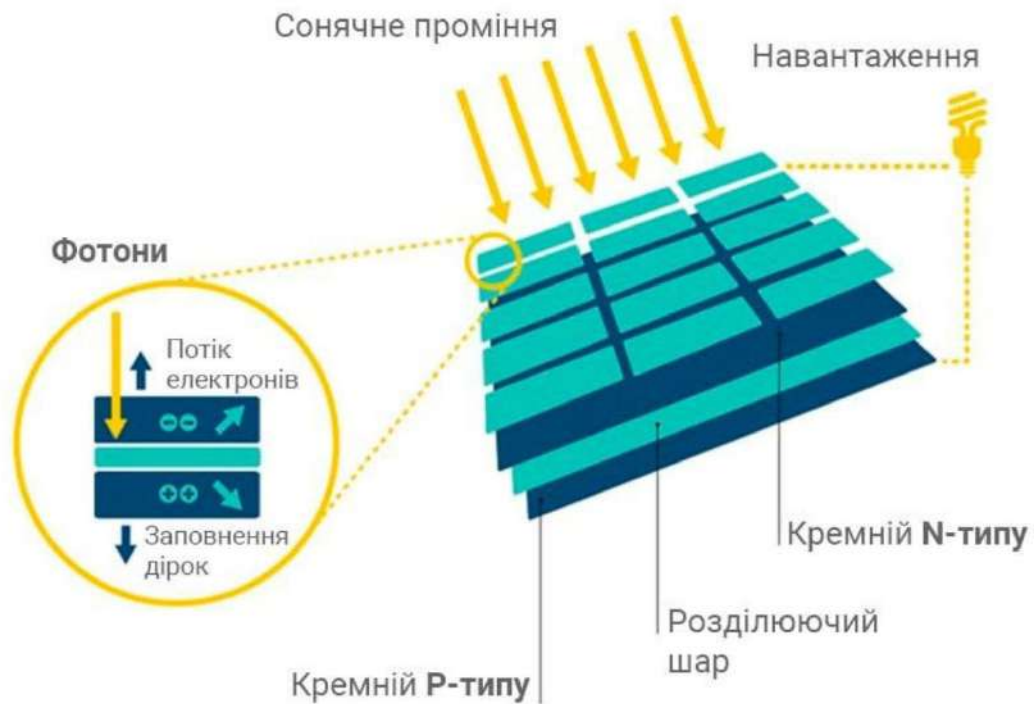


Рисунок 1.5 – Основні елементи сонячної панелі

Для максимального показника виробітку, інтенсивність сонячної інсоляції повинна бути високою. Але є одне «але». Надто сильне перегрівання панелі провокує втрати потужності. Як було виявлено в ході лабораторних досліджень, це значення становить приблизно 0.4 % при нагріванні панелі на 1 градус від номінальної температури (45 градусів Цельсію.) Тому зимою показники продуктивності фотомодулів падають, адже рівень інсоляції є суттєво нижчим.

Потужність панелі визначити доволі просто. Якщо сонячна батарея замкнута певне навантаження з опором  $R$ , то в колі з'являється струм  $I$ , значення якого формується у відповідності роботи фотомодуля. Потужність  $P_n$  визначається формулою  $P = I \cdot U$ , де  $U$  відповідатиме показнику напруги.

### 1.4.3 Інвертори

Інвертори для систем генерації електроенергії з сонячними панелями можуть бути різними, залежно від функцій та призначення. Основні технічні параметри інверторів, які важливі для вибору, включають потужність, ККД, напругу та частоту вхідного струму. Для ефективної роботи системи, потужність інвертора повинна відповідати потужності системи генерації електроенергії з сонячними панелями. ККД інвертора є важливим параметром, оскільки він впливає на ефективність системи та економію електроенергії.

Напруга та частота вхідного струму повинні відповідати напрузі та частоті мережі електропостачання, якщо система підключена до мережі. Окрім технічних параметрів, при виборі інвертора важливо враховувати його вартість та надійність.

Існує декілька типів інверторів для систем генерації електроенергії з сонячних панелей, які мають різні технічні характеристики та призначення. Для порівняння типів інверторів, розглянемо їх технічні параметри та функції.

Автономні інвертори призначені для використання в системах, які не підключені до мережі електропостачання. Основні технічні параметри автономних інверторів включають:

- потужність: від 300 Вт до 15 кВт;
- ККД: від 80% до 95%;
- напруга вхідного струму: від 12 В до 48 В;
- напруга вихідного струму: від 220 В до 240 В;
- частота вихідного струму: 50 Гц або 60 Гц.

Мережеві інвертори призначені для підключення систем генерації електроенергії до мережі електропостачання. Основні технічні параметри мережевих інверторів включають:

- потужність: від 300 Вт до 100 кВт;
- ККД: від 90% до 98%;
- напруга вхідного струму: від 220 В до 380 В;
- напруга вихідного струму: від 220 В до 240 В;

- частота вихідного струму: 50 Гц або 60 Гц.

Гібридні інвертори є комбінацією автономного та мережевого інверторів.

Основні технічні параметри гібридних інверторів включають:

- потужність: від 1 кВт до 25 кВт;
- ККД: від 80% до 98%;
- напруга вхідного струму: від 12 В до 48 В;
- напруга вихідного струму: від 220 В до 240 В;
- частота вихідного струму: 50 Гц або 60 Гц.

Гібридні інвертори мають додаткові функції, які дозволяють підключити систему до мережі електропостачання, якщо вона доступна, і використовувати батареї, якщо мережа електропостачання відключена або ненадійна. Це забезпечує більшу надійність та ефективність системи.

У порівнянні з автономними та мережевими інверторами, стандартні гібридні дозволяють забезпечувати систему електроенергією з батареї, що забезпечує більшу незалежність від мережі електропостачання.

Таким чином, вибір типу інвертора для системи генерації електроенергії залежить від вимог до системи, наприклад, від потужності та ефективності.

Але проаналізувавши роботу та можливості сучасних гібридних інверторів, треба визнати їх функціональну обмеженість. Також треба відмітити їх велику вартість.

## 1.5 Постановка задач

Постановка задач в даній кваліфікаційній роботі полягає в розробці методу керування системою генерації електроенергії, що використовує бездротові технології зв'язку, а також у розробці мобільного додатку для операційної системи Android, який дозволяє зчитувати поточні параметри генерації електроенергії з мікроконтролеру за допомогою Bluetooth зв'язку.

Задачі, які необхідно розв'язати в даній кваліфікаційній роботі:

- розробити метод керування системою генерації електроенергії з використанням бездротових технологій зв'язку;
- проаналізувати теоретичну базу та застосувати знання з генерації електроенергії за допомогою сонячних панелей;
- проаналізувати теоретичну базу та застосувати знання з схеми-будування та роботи усіх типів перетворювачів;
- розробити мобільний застосунок для операційної системи Android, який дозволяє проводити моніторинг системи генерації електроенергії за допомогою мікроконтролеру та Bluetooth зв'язку;
- протестувати розроблену систему та додаток.

## 2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНИХ СХЕМ МЕТОДУ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

### 2.1 Опис структурних схем методу керування

Згідно проаналізованої теоретичної бази, було розроблено власну систему генерації електроенергії з управлінням та моніторингом поточних показників.

Система має чотири джерела електроенергії: сонячна панель, дизельний або бензиновий генератор, електромережа, та акумулятор (який має можливість заряджатися с перших двох). Також для функціонування системи було обрано наступні елементи:

- перетворювач типу «постійний струм – постійний струм» (12-14В до 400В). Необхідний елемент для з'єднання акумуляторів з ланкою постійного струму (рисунок 2.1).
- зарядний пристрій, який живить акумулятор з ланки постійного струму (рисунок 2.1).

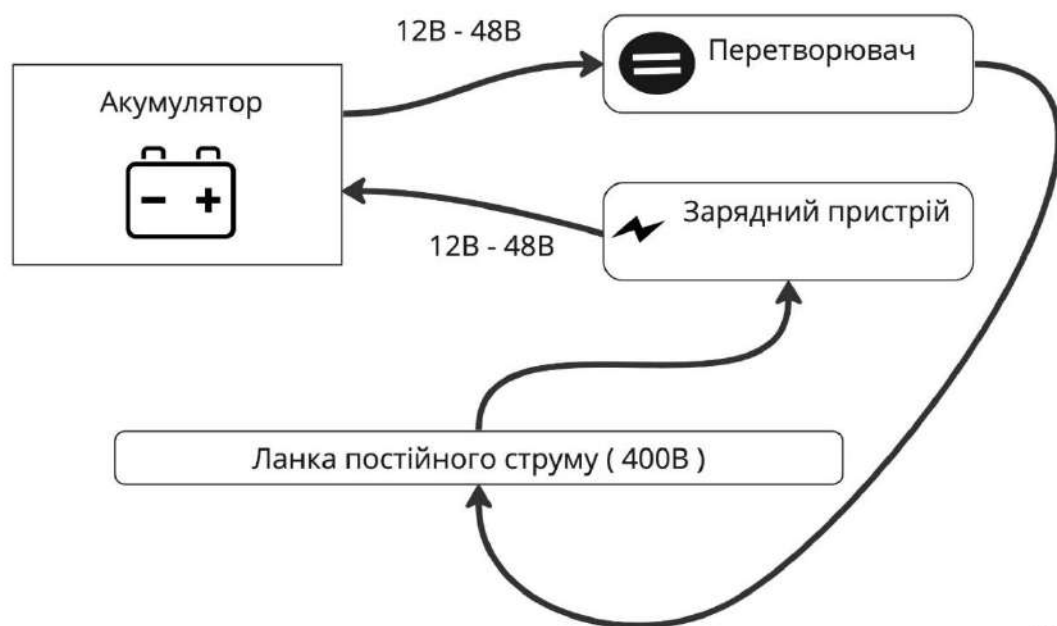


Рисунок 2.1 – Схема з'єднання акумулятору та ланки постійного струму

- MPPT – сонячний контролер заряду. Має функціонал моніторингу точки максимуму потужності, щоб сповістити контролер про надлишкову вироблену електроенергію (рисунок 2.2);

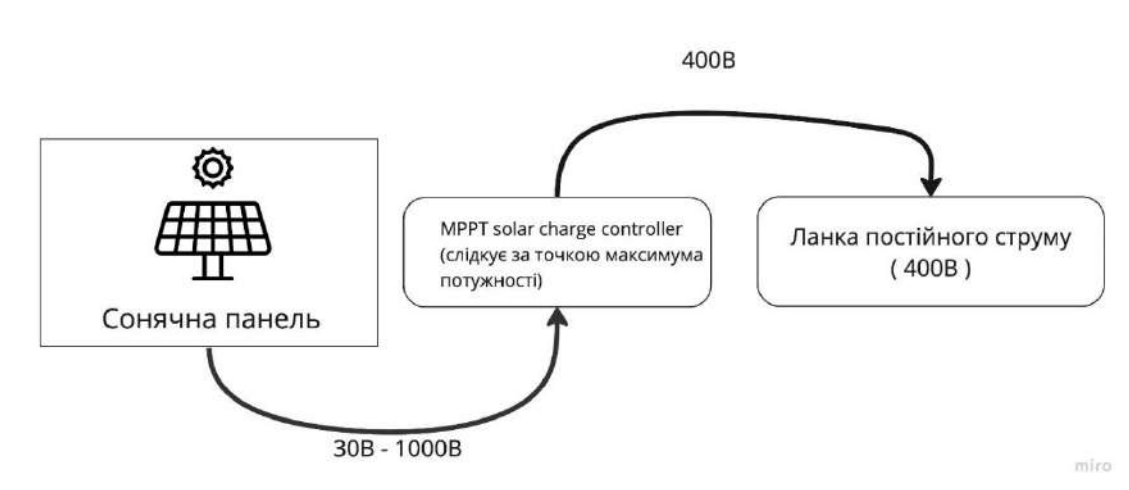


Рисунок 2.2 – Схема з'єднання сонячною панелі та ланки постійного струму

- коректор коефіцієнта потужності, з'єднаного до генератора, який переводить змінний струм на постійний. Також має містити функціонал АВР (автоматичного введення резерву), сигнал на який подається з мікроконтролеру, у випадку при критично малій напрузі на акумуляторах, при відсутності напруги в електромережі (рисунок 2.3);



Рисунок 2.3 – Схема з'єднання генератору та ланки постійного струму

- перетворювач – інвертор, який переводить постійний струм з ланки постійного струму у змінний, до споживачів (рисунок 2.4);



Рисунок 2.4 – Схема з'єднання ланки постійного струму та споживача

- перетворювач із постійного струму до змінного. Знаходиться між ланкою постійного струму на мережею. Живить мережу у разі надлишкової виробленої електроенергії ( рисунок 2.5).
- коректор коефіцієнта потужності ( PFC ). Розміщується між ланкою мережею та ланкою постійного струму. Переводить змінний струм з мережі до постійного струму ( 400В ). Аналізуючи подібні коректори, прийшов до висновку, що напруга не завжди буде 400В, можливі коливання 390 – 400В. Що треба мати на увазі при проектуванні робочої схеми (рисунок 2.5).

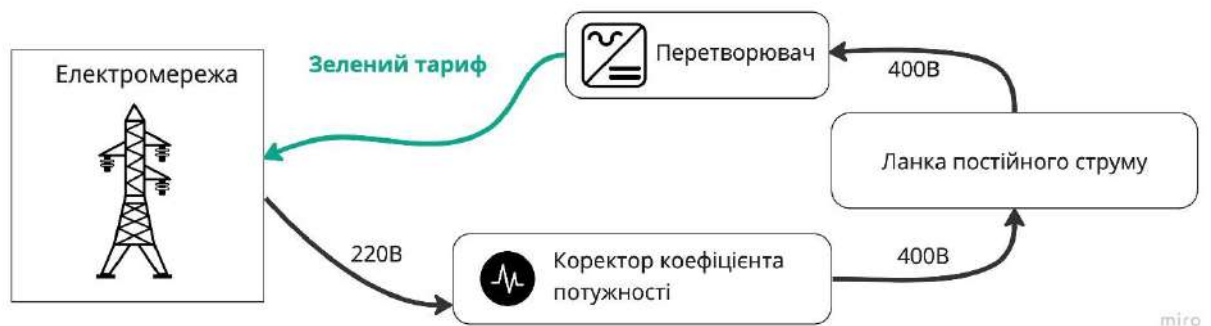


Рисунок 2.5 – Схема з'єднання мережі та ланки постійного струму

Робота розробленої системи базується на керуванні з мікроконтролеру окремих частин системи, а саме : перетворювачі, коректори коефіцієнта напруги, зарядний пристрій, Bluetooth- модуль та інші.

Центральним об'єктом системи є Ланка постійної напруга 400 В.

Комунікація між мікроконтролером та мобільним пристроєм виконується за допомогою Wi-Fi – модулю (рисунок 2.6).

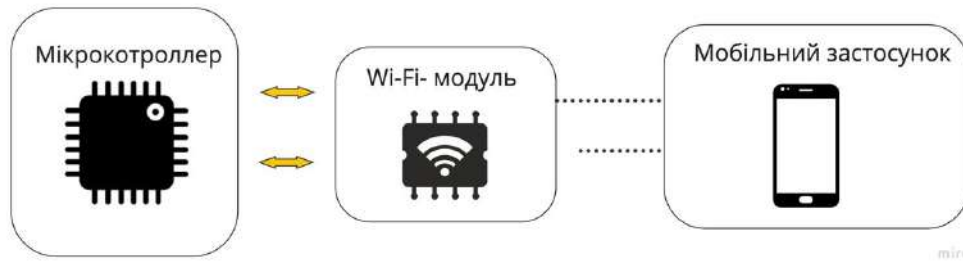


Рисунок 2.6 – Схема з'єднання мікроконтролера та мобільного застосунку

Комунікація здійснюється через програмну шину UART, який є одним із способів передачі даних. Ця шина передає дані в асинхронному режимі, що означає, що він не потребує окремого сигналу тактової частоти для синхронізації передачі та прийому даних. Для коректної передачі даних потрібно налаштувати параметри програмної шини.

Загальне поєднання елементів (рисунок 2.7) робить систему гнучкою, контрольованою та вирішує поставлену задачу.

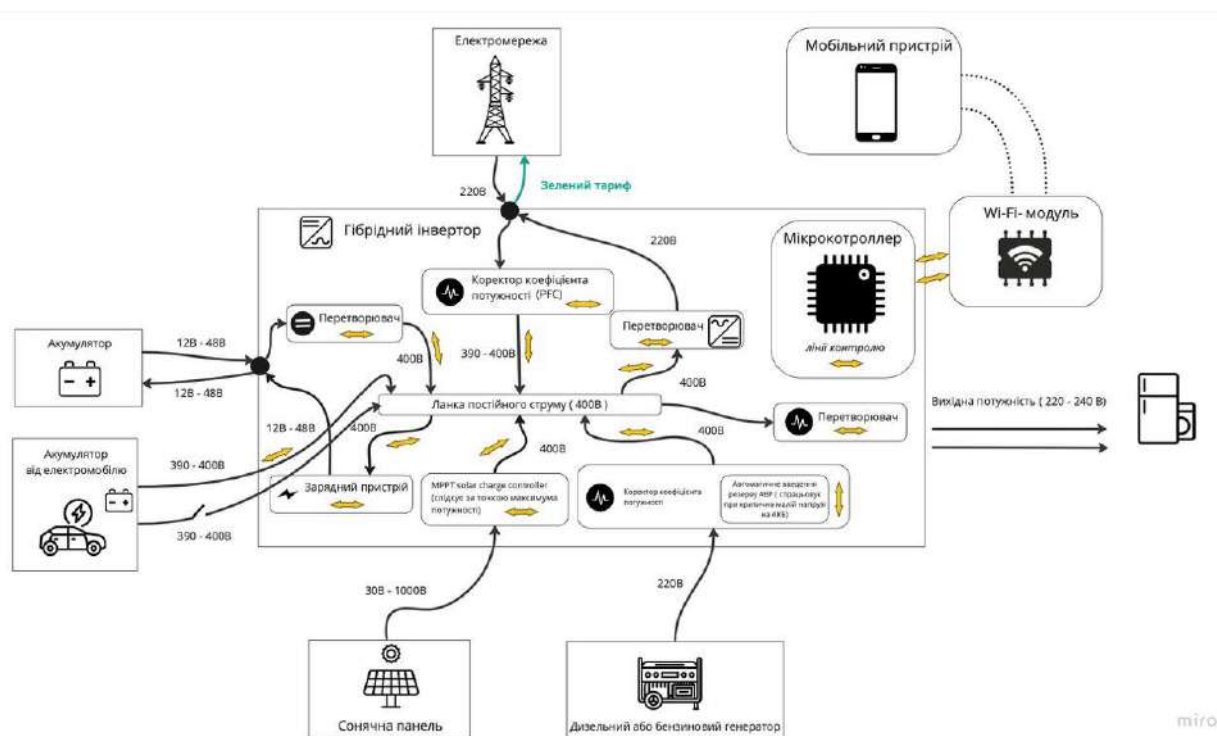


Рисунок 2.7 – Загальна схема методу функціонування системи

## 2.2 Опис автоматичного режиму роботи системи

Головне керування системою проводиться з мікроконтролеру, який має режими роботи та систему моніторингу усіх наявних в системі об'єктів та компонентів (рисунок 2.8). Якщо сонячні панелі знаходяться в активному стані та вистачає потужності на споживання об'єктів, то надмірна вироблена електроенергія йде до акумуляторів до повного зарядження, у разі заряджених акумуляторів надлишкова вироблена електроенергія йде до електромережі, за «Зеленим тарифом». Якщо виробленої електроенергії не вистачає на потреби споживача, то працюють акумулятори, у разі відсутності ємкості на них – додаткове живлення йде з електромережі, додатково заряджаючи акумулятори. У разі ситуації, коли не має напруги в електромережі – включаються дизельний або бензиновий генератор.

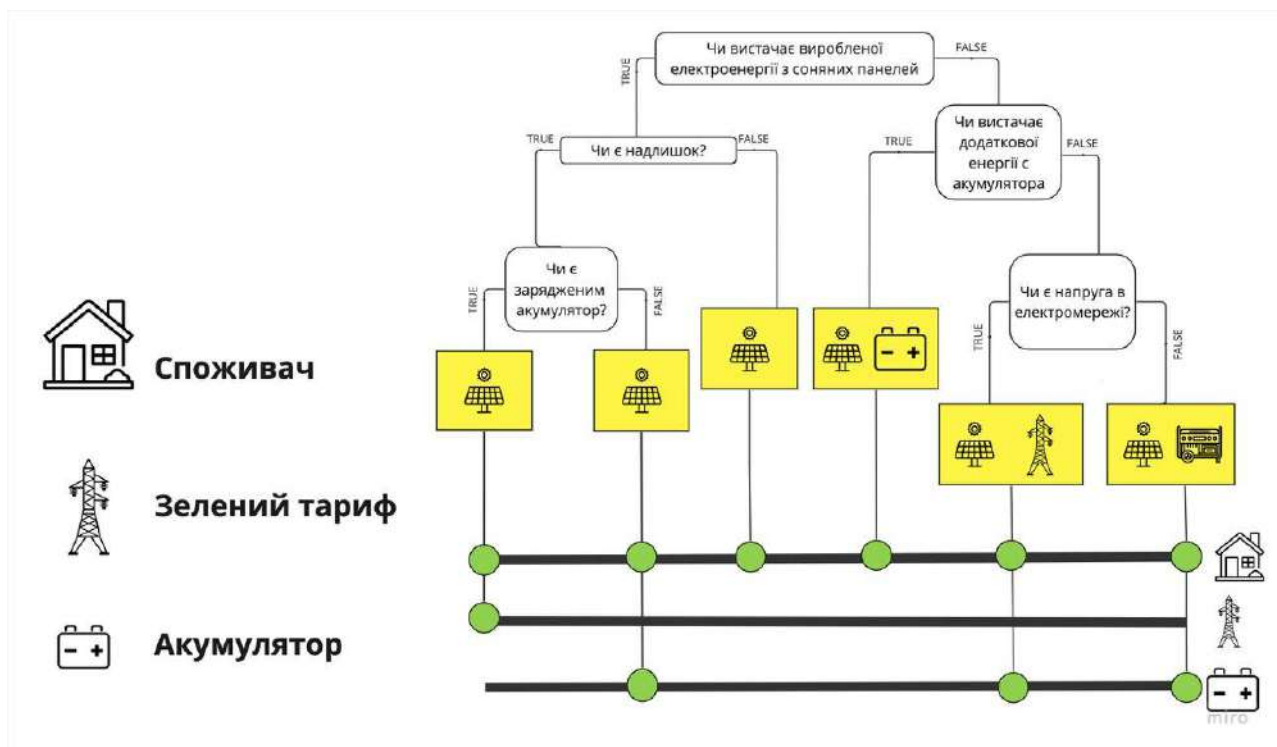


Рисунок 2.8 – Режимы работы системы

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА МЕТОДУ КЕРУВАННЯ СИСТЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА

#### 3.1 Дослідження методу

Проаналізовані підходи по отриманню максимальної потужності показали, що кожен із методів має свої недоліки. Вирішення задачі полягає у поєднанні двох методів для мінімізації недоліків кожного з них. Контролер, в якому реалізовано МРРТ – метод слідкує за точкою максимуму потужності в даних умовах. Пошук точки максимальної потужності на сонячній батареї необхідний для оптимальної роботи сонячної електростанції та забезпечення максимального коефіцієнта корисної дії.

Пошук точки максимальної потужності дозволяє:

- оптимізувати роботу сонячної батареї в різних погодних умовах та протягом усього дня;
- забезпечити найвищу енергетичну продуктивність сонячної батареї;
- зменшити втрати енергії внаслідок коливань умов освітлення та температури.

В рамках дослідження було проведено загальний експеримент, який має на меті знайти точку максимальної потужності за даними умовами (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Обладнання для проведення експерименту

Технічні характеристики сонячної панелі	
Номінальна потужність( $W$ ), Вт	10
Напруга холостого ходу( $V$ ), В	21.52
Струм короткого замикання( $I$ ), А	0.66
Макс. напруга при $W$ , В	17.5
Макс. ток при $W$ , А	0,6
КПД, %	21

Це досягається зміною супротиву навантаження. Для цього була побудована електрична схема (рисунок 3.2) , яка дозволяє мікроконтролеру зчитувати поточні данні напруги та струму, та миттєво рахувати потужність. Для керування системою було обрано мікроконтролер PIC 16f18877.

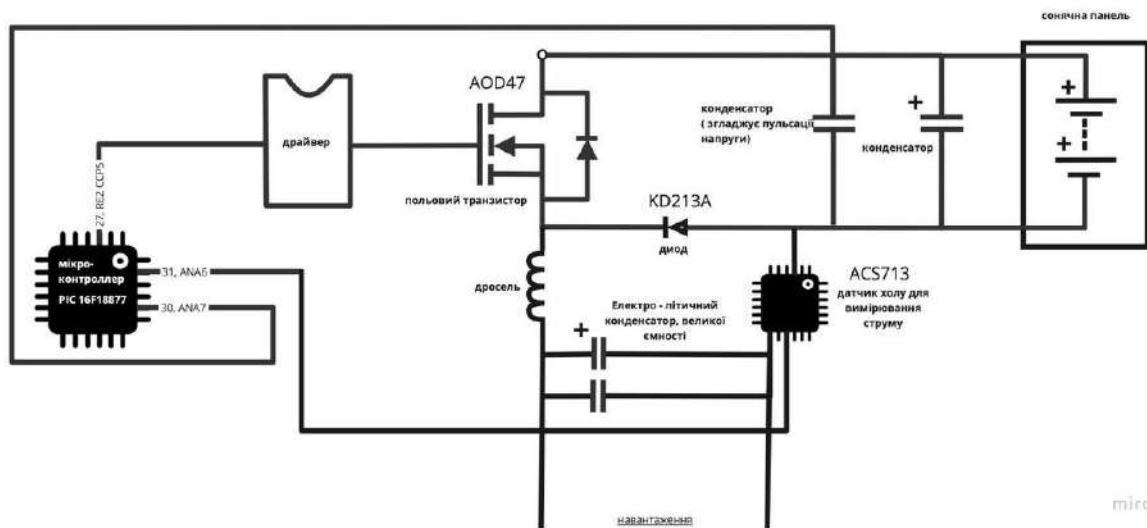


Рисунок 3.2 – Електрична схема для пошуку точки максимальної потужності

Обрана сонячна панель має наступні характеристики (таблиця 3.1):

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики сонячної панелі

Збільшення струму від нуля до струму короткого замикання відбувається завдяки керуванню з мікроконтролера роботою польового транзистору. Мікроконтролер регулює шпаруватість імпульсів на нуля, та транзисторі, що внаслідок зменшує напругу з напруги холостого ходу до збільшує струм з нуля до струму короткого замикання. Згідно до експерименту було побудовано залежність потужності від струму (рисунок 3.3).

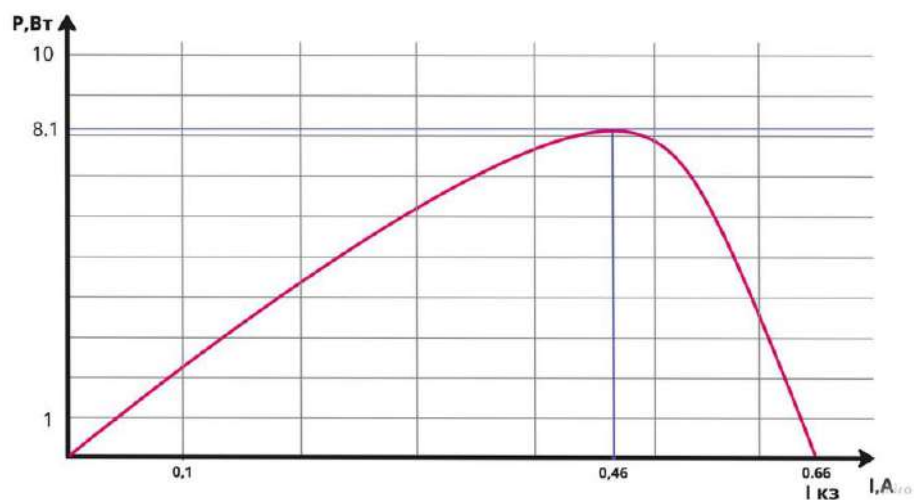


Рисунок 3.3 – Графік залежності потужності від струму

Експеримент показав найбільшу потужність в точці 8.1 Вт при струмі 0.46А що є на графіку точкою екстремуму. Точка екстремуму тільки одна. Якщо точка одна – то алгоритм пошук максимальної потужності відбувається шляхом найпростішого порівняння двох сусідніх вимірювань (рисунок 3.4).

Обрання частоти ШІМ (широко-імпульсної модуляції) відбувалося на

основі наступних чинників:

- частота не є меншою за 20 кГц (звукова частота);
- чим більше частота, тим більші динамічні втрати на польовому транзисторі;
- чим вища частота, тим необхідна менша індуктивність дроселя.

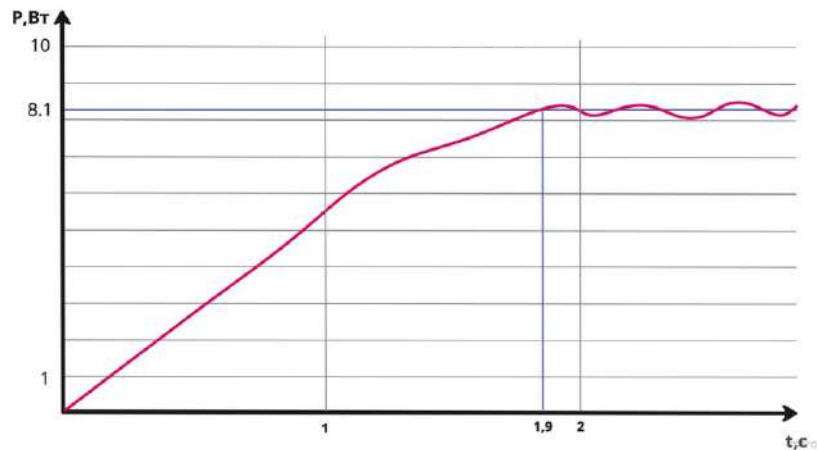


Рисунок 3.4 – Графік залежності потужності від часу при пошуку точки максимальної потужності

На підставі цих чинників була обрана частота 24 кГц. Період коливань є величиною, зворотною до частоти коливань. Тому період дорівнює  $1/24000 = 0,0000416 \text{ с} = 41,6 \text{ мкс}$ . Ширину імпульсу знаходиться за формулою  $\frac{T}{100} * n$ , де  $T$  – період,  $n$  – шпаруватість у процентах. За цими розрахунками була побудована таблиця широтно–імпульсної модуляції, при різній шпаруватість (рисунок 3.5).








Скважність імпульсів	Широтно-імпульсна модуляція	Ширина імпульсу, $\mu\text{s}$
15%		6,25
25%		10,4
40%		16,6
55%		22,9
65%		27
80%		33,3
90%		37,5

Рисунок 3.5 – Таблиця ШІМ при різній шпаруватості

Також в рамках роботи були проведені експерименти впливу освітлення на напругу і точку максимальної потужності. Згідно за результатами вимірювань було з'ясовано, що чим менше освітленість, тим менша точка максимальної потужності, а напруга коливається в незначному діапазоні, в порівнянні зі струмом (рисунок 3.6).

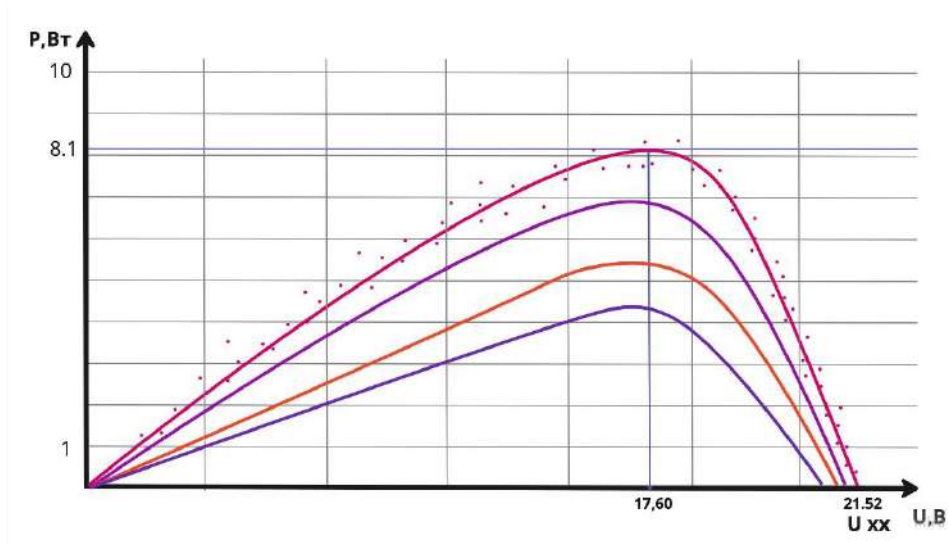


Рисунок 3.6 – Графік залежності потужності від напруги

За результатами експериментів було визначено:

- форма графіку залежності потужності від напруги незмінна, та має один екстремум функції на проміжку, тобто точка максимальної потужності одна;
- напруга в точках максимальної потужності за різних умов коливається в незначному діапазоні, на відміну від струму;
- сонячні батареї мають характеристики, які змінюються в залежності від умов освітлення та температури. Тому, щоб забезпечити найвищу ефективність перетворення сонячної енергії в електричну, необхідно встановити режим роботи сонячної батареї в точці максимальної потужності, використовуючи PWM принцип для переходу в область, де знаходиться точка максимальної потужності (визначається виробником), та MPPT – метод для коректування та уточнення точки максимальної потужності. Після уточнення положення цієї точки, знову використовуємо PWM до зміни вихідної потужності, тобто змін умов роботи сонячної панелі.

### 3.2 Розробка методу

Розробка методу системи генерації електроенергії на основі мікроконтролера базується на вище зазначеній структурній схемі з'єднання елементів системи. Для забезпечення контролю та моніторингу системи був обраний мікроконтролер PIC версії 16f18877, який має перевагу серед інших за рахунок ряду переваг: наявність великої кількості апаратних модулів необхідних для реалізації, таких як: ADC (аналого – цифровий перетворювач) для вимірювання напруги, струму та температури, CCP (Capture, Compare and Pulse Width Modulation) – для формування широтно – імпульсної модуляції, компаратор – для апаратного захисту перевищення струму та напруги. Також невелика ціна грає неостанню роль у виборі мікроконтролеру.

Метод управління генерацією електроенергії сонячної панеллю базується на поєднанні PWM та MPPT методів, та враховує вище зазначені висновки експерименту. Під час дослідження було розроблено алгоритмічні схеми

(рисунок 3.7, рисунок 3.8), які стали базовими для реалізації роботи мікроконтролеру по керуванню та моніторингу сонячної панелі (Додаток В).

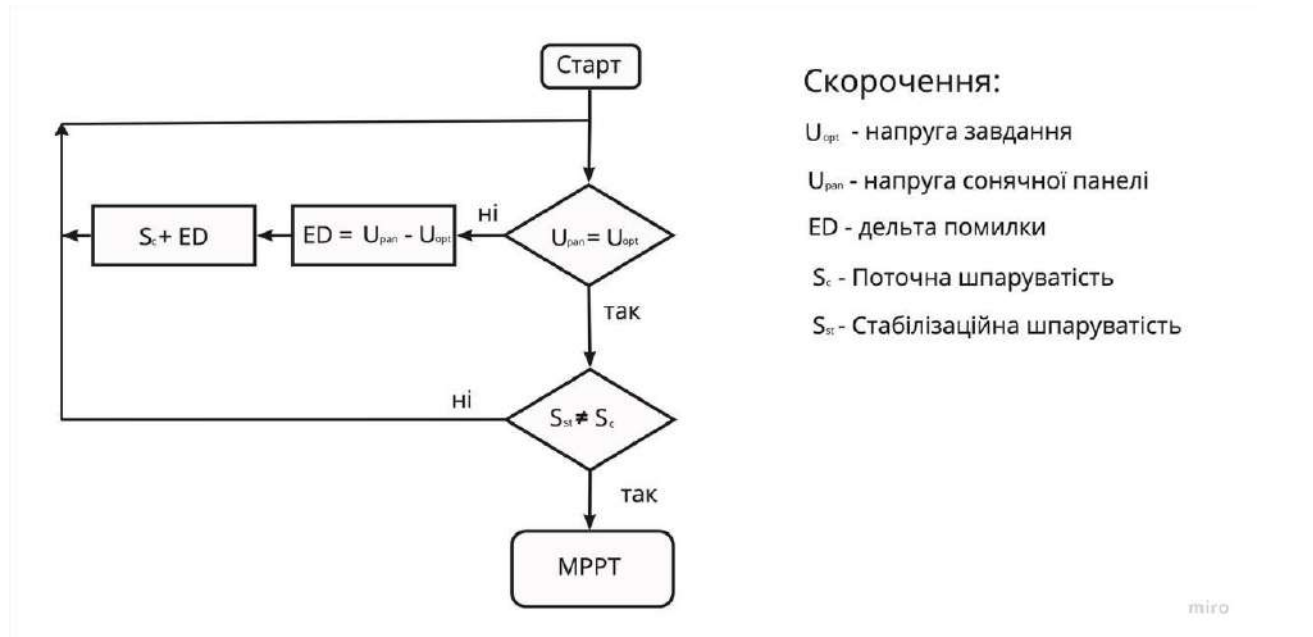


Рисунок 3.7 – Алгоритмічна схема реалізації PWM – частини методу

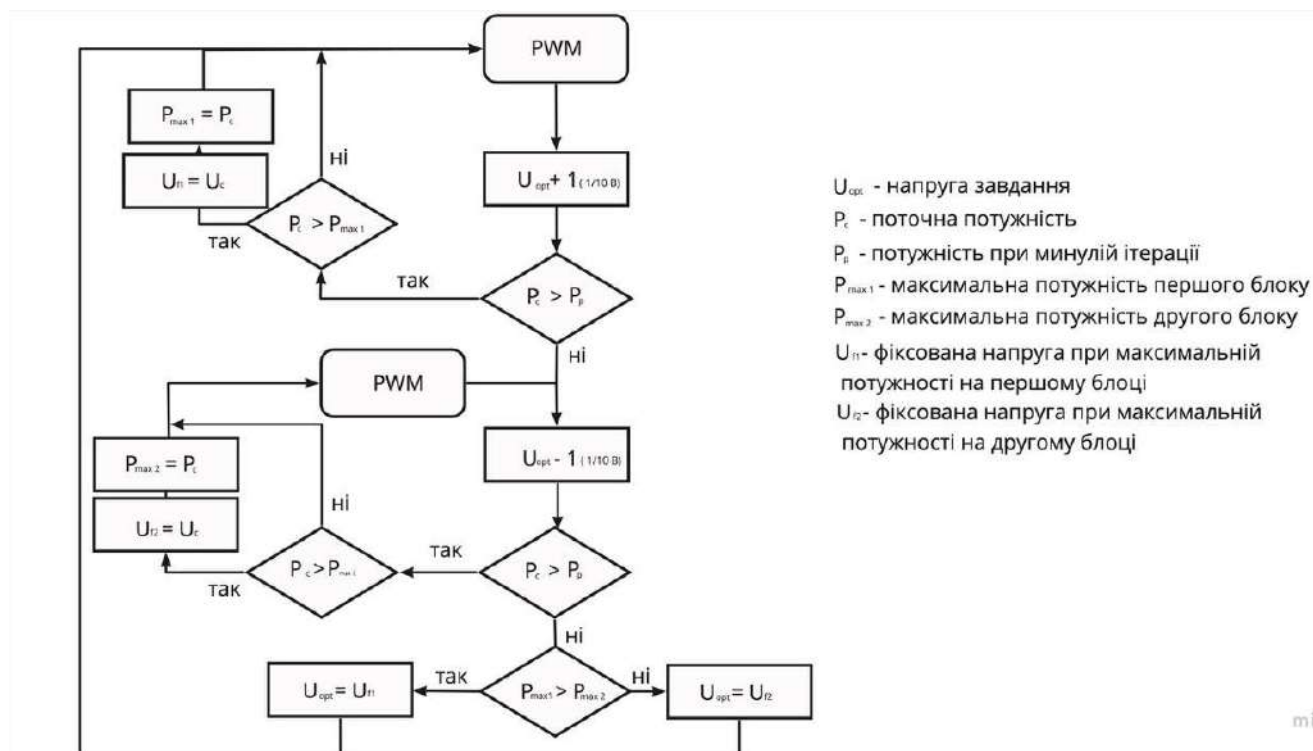


Рисунок 3.8 – Алгоритмічна схема реалізації MPPT – частини методу

Зміна позиціонування сонячних панелей та їх рух за Сонцем є важливим аспектом ефективного використання сонячної енергетики. Сонячні панелі

перетворюють сонячне випромінювання на електроенергію за допомогою фотovoltaїчних клітин. Чим більше сонячного випромінювання падає на панель, тим більше енергії вона може генерувати.

Оскільки положення Сонця на небі змінюється протягом дня, фіксовані панелі не можуть отримувати максимальне сонячне випромінювання протягом усього дня. Тому було вирішено, що система має відстежувати рух Сонця ( за допомогою так званих "сонячних трекерів"), змінювати положення панелей протягом дня, щоб максимізувати кількість падаючого сонячного випромінювання.

Це може значно збільшити кількість енергії, яку генерують панелі. Спостереження показали, що сонячні трекери можуть збільшити продуктивність сонячної панелі на 20 – 40% у порівнянні з фіксованими панелями. Та при хмарному небі домінують у генерації в порівнянні з режимом руху панелей за часом.

Тому, незважаючи на додаткові витрати та складність, сонячна панель може бути виправданими за рахунок збільшення кількості виробленої енергії.

Код функціоналу руху панелі «за Сонцем» представлено у Додатку Б.

Завдяки контролю та управління системою з мікроконтролеру маємо змогу контролювати не тільки поточний стан системи, але і оперативним шляхом втручатися у її роботу. Для комунікації між процесором та застосунком використовується модуль ESP8266.

В рамках реалізації системи слід налаштувати Wi-Fi – модуль, який повинен бути підключеним до мережі Wi-Fi. Це відбувається завдяки встановленню SSID та пароля Wi-Fi мережі в конфігураціях модулю. Після переконання, що модуль має достатній рівень сигналу, успішно має бути підключеним до мережі.

Для полегшення виявлення IP адреси мікропроцесору мобільним додатком може бути використана технологія mDNS.

## 4 РОЗРОБКА ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

### 4.1 Опис структури та застосованих технологій застосунку

Створення мобільного додатку відбувається на базі операційної системи Android. Розроблений застосунок включає передові технології побудови мобільних застосунків, такі як:

- `CallbackFlow` в `Kotlin Coroutines`. API, що дозволяє перетворити зворотній виклик (`callback`) в потік (`flow`). Це корисно, коли виконується робота з асинхронними API, які використовують зворотні виклики для повідомлення про результати або події. В даному випадку сканування доступних мереж [10];
- `Jetpack Compose`. Сучасний інструмент для створення графічного інтерфейсу в Android, який було розроблено Google. Це декларативна бібліотека для побудови інтерфейсів користувача, яка дозволяє розробникам писати більш зрозумілий та консолідований код за допомогою Kotlin. Замість класичного підходу, коли розробник описує інтерфейс користувача в XML та маніпулює ним за допомогою Kotlin або Java, `Jetpack Compose` дозволяє описувати весь інтерфейс користувача прямо в Kotlin;
- `MVVM (Model – View – ViewModel)`. Архітектурний шаблон проектування, що розділяє логіку додатку на три основні компоненти: модель, представлення та `ViewModel`. Основна перевага `MVVM` полягає в тому, що `ViewModel` не містить посилання на представлення, що дозволяє розробникам тестувати `ViewModel` незалежно від UI та платформи. Це також сприяє більш чистому коду, оскільки вся логіка представлення існує окремо від логіки обробки даних [11].

Для реалізації методу контролю генерації електроенергії слід реалізувати наступні функції:

- пошук та підключення до Wi-Fi мережі;

- виявлення IP – адреси мікропроцесора ( при використанні mDNS);
- надсилання запитів до мікроконтролеру для відображення поточних даних та керування системою.

## 4.2 Реалізація застосунку

Реалізація застосунку має на меті контролювати та виконувати управління системою генерації електроенергії. Таким чином, запропонований метод керування має на меті забезпечити стабільний зв'язок телефону та мікроконтролеру, а також гнучкі засоби управління та моніторингу.

Для підключення застосунку (мобільного телефону) до Wi-Fi мережі та для подальшого налаштування зв'язку для обміну між застосунком та локальною мережею було розроблено Wi-Fi – менеджер, який виконує наступні функції:

- сканування доступних мереж;
- підключення до обраної мережі;
- отримання інформації про мережу;
- отримання інформації про смартфон в локальній мережі;
- відправлення команд на мікропроцесор та подальшу обробку даних для відображення на UI – частину застосунку.

Сканування доступних мереж виконується методом `observeScanResults()` (Додаток Г), який повертає значення типу `Flow<List<ScanResult>>`. Технологія `Flow` застосовується для того, щоб при виявленні нових мереж користувач побачив їх та в нього були актуальні данні (рисунок 4.1).

З'єднання до мережі виконується завдяки методу `Wi-Fi – менеджера connectToNetwork (targetNetwork: ScanResult, networkPassword: String)` (Додаток Г), коли користувач обрав мережу, він має ввести пароль цієї мережі.

Після того, як з'єднання встановлено користувач отримує діалог з повідомленням «З'єднання встановлено» та інформацією про мережу та інформацію про власний пристрій в мережі (рисунок 4.2).

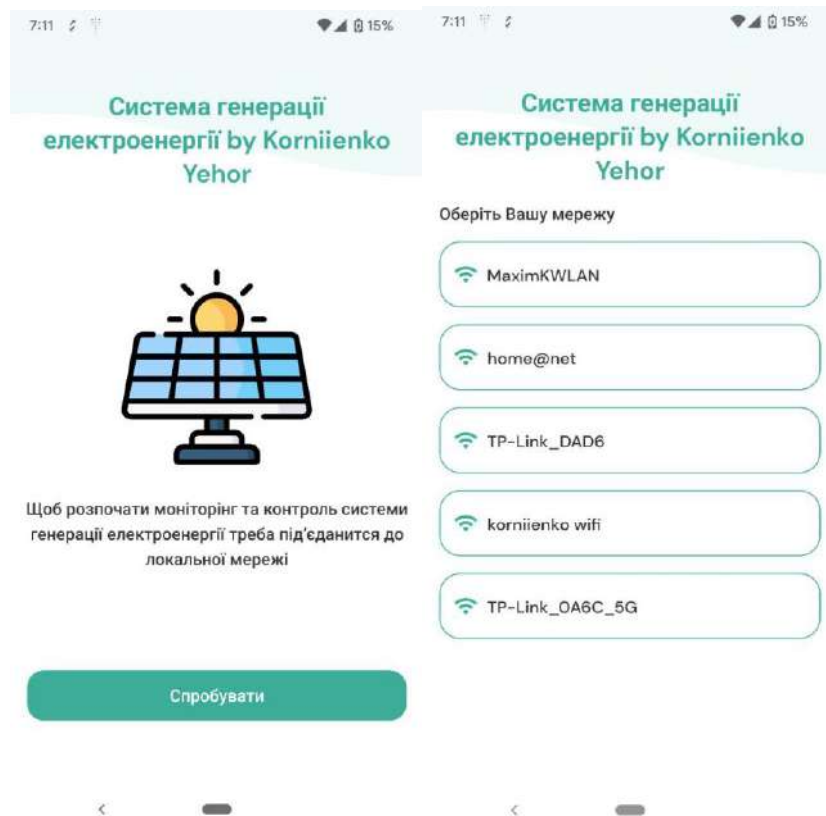


Рисунок 4.1 – Екран відображення існуючих мереж

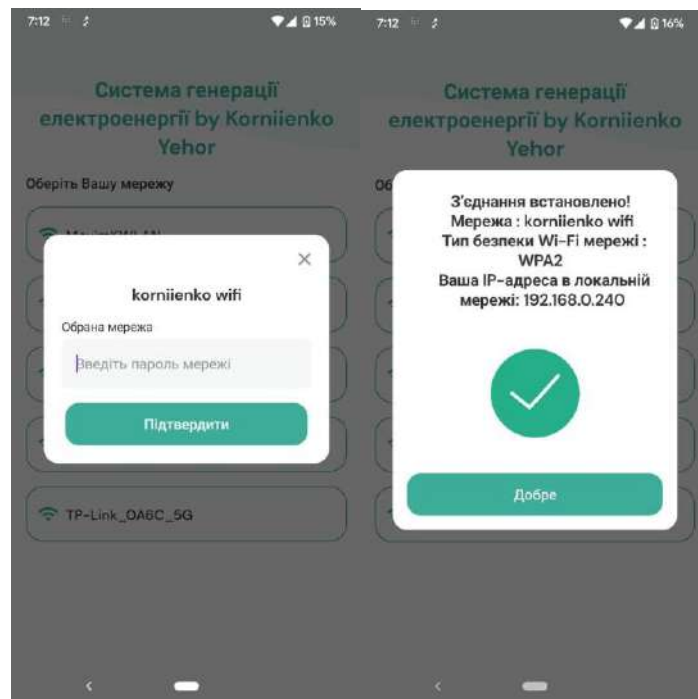


Рисунок 4.2 – Екрани діалогів введення паролю мережі та успішного з'єднання

Головний екран застосунку має пророблений, гнучкий та зрозумілий для користувача функціонал, на якому доступні наступні показники системи:

- поточна потужність споживання;
- наявність акумуляторів та їх показників;
- поточна генерація сонячних панелей;
- точка максимальної потужності на даний момент.

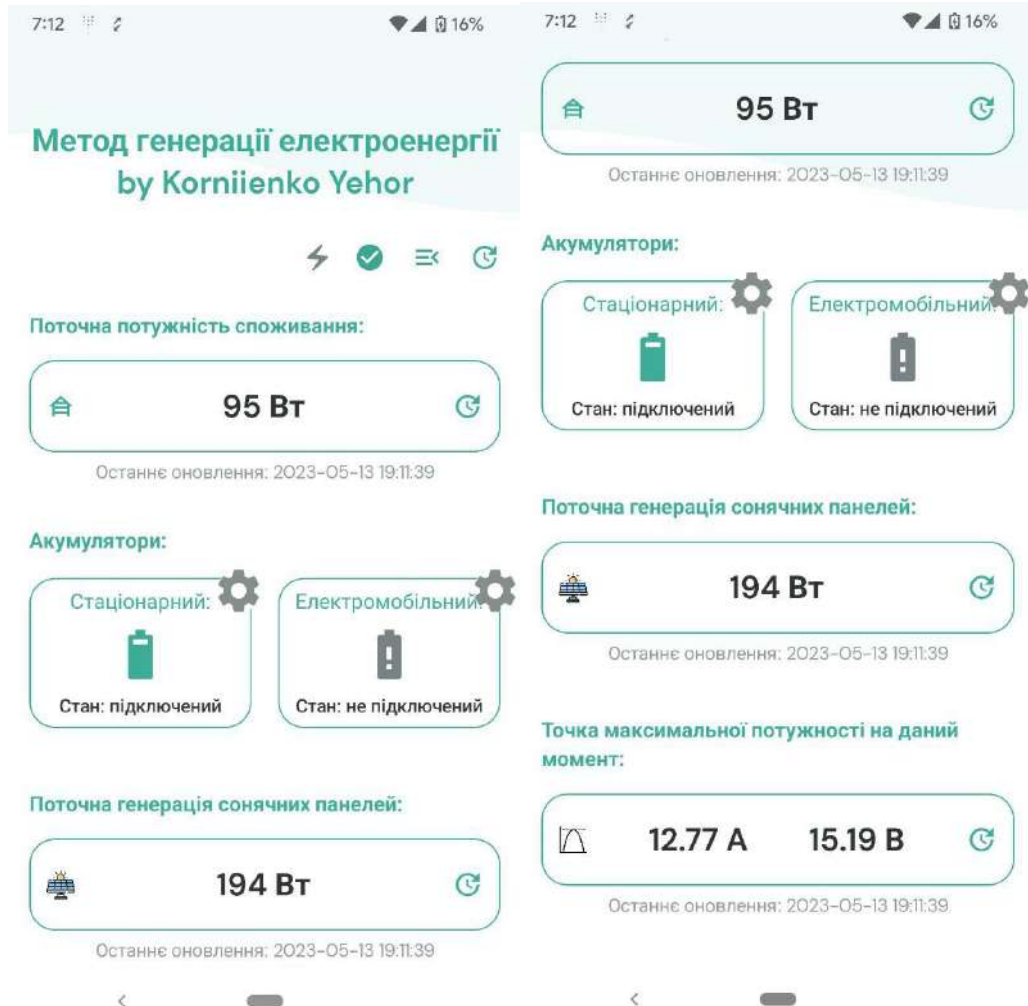


Рисунок 4.3 – Екран головного екрану застосунку

В кожній секції користувач має змогу оновити данні в терміновому порядку, або оновити їх всіх одночасно. Користувачу надана можливість змінити управляючі показники акумулятору: номінальну ємність та максимальну напругу, а також надана можливість вимкнути акумулятор (рисунок 4.4).

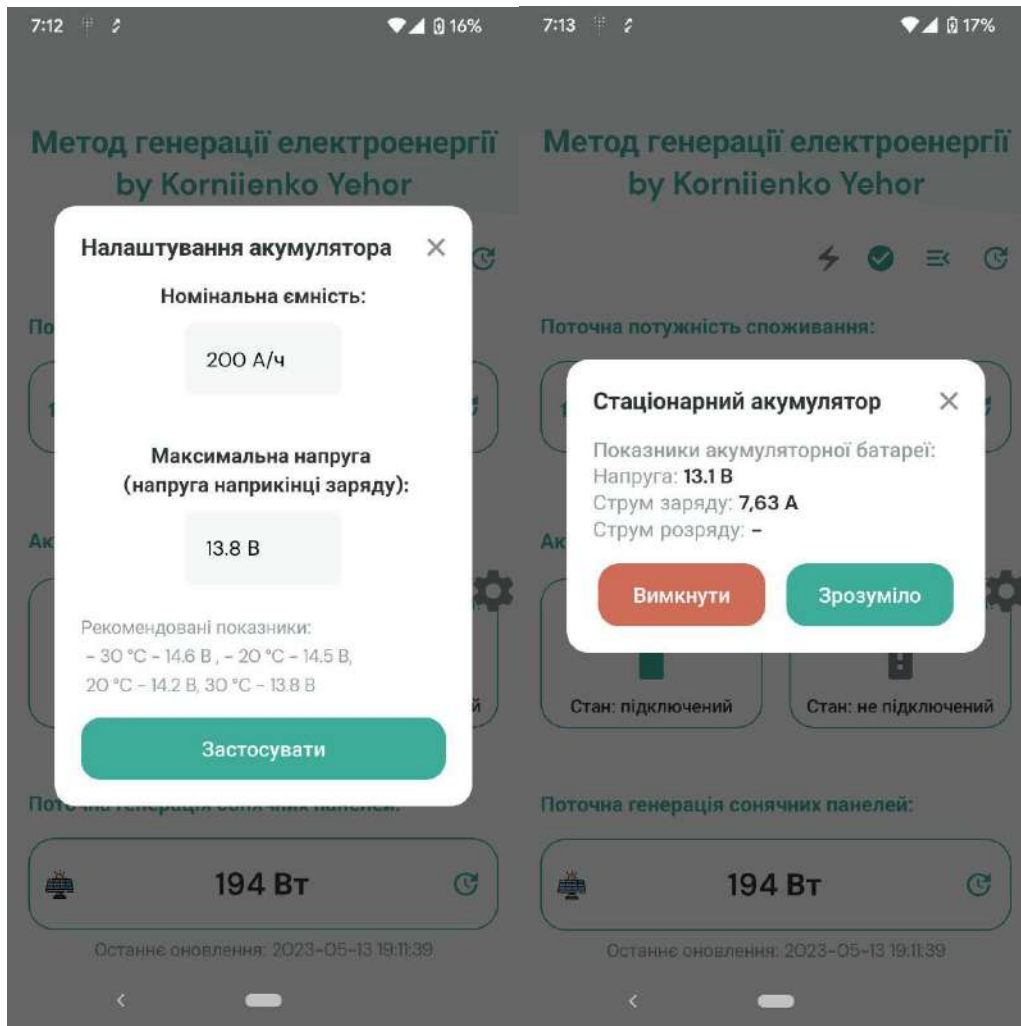


Рисунок 4.4 – Екран моніторингу та управління акумуляторів

Меню управління режимами дає змогу управляти та обирати поточне джерело електроенергії та елемент системи: куди надавати надлишок енергії від сонячних панелей (рисунок 4.5). За замовчуванням виставлені автоматичні режими, тобто управління та робота системи виконується згідно описаним вище стандартним режимам. Ті елементи системи які наразі не підключені до системи мають сірий колір.

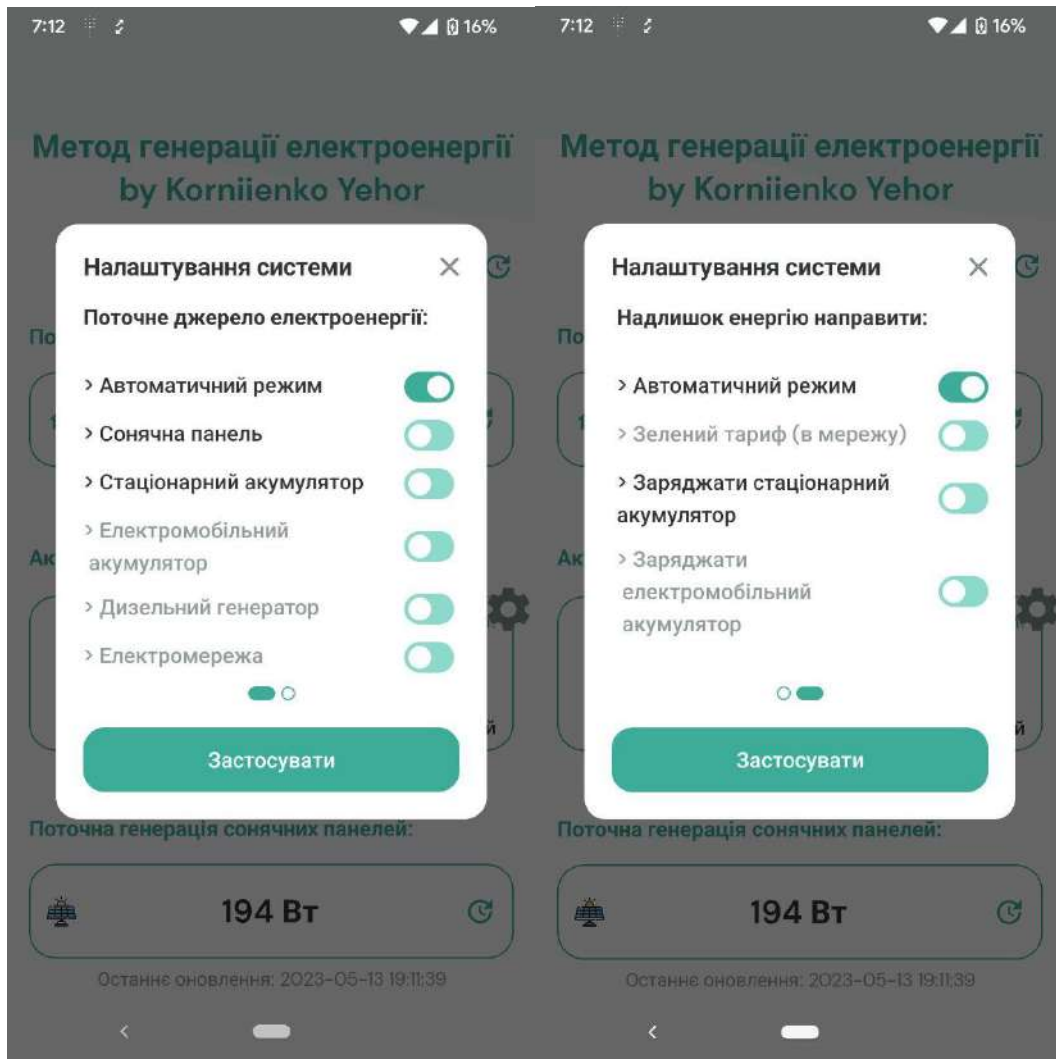


Рисунок 4.5 – Екран керуванням режимів функціонування системи

Індикатор «Статус підключення мікропроцесору» демонструє з'єднання з Wi-Fi модулем. Індикатор «Статус підключення до електромережі» демонструє чи підключена наразі система до електромережі.

Для відправлення HTTP – запитів була використана бібліотека Retrofit, яка використовує анотації для опису HTTP – запитів, параметрів запиту, тіла запиту та множину інших опцій. ApiService – файл, в котрому було описано список запитів, які мають на меті отримувати поточні дані роботи системи, та керувати нею.



Рисунок 4.5 – Пояснення індикаторів та кнопок головного екрану

Так наприклад, запит `@GET("data/powerConsumption") suspend fun getPowerConsumption(): Resource<PowerResponse>`, виконується для отримання поточних даних по поточній потужності споживання, а POST – метод `@POST("mode/currentSourceOfEnergy") suspend fun sendNewMode(@Body updateMode: UpdateModeRequest.): Resource<Any>`, має на меті відправити режим роботи, щодо поточного джерела електроенергії, який обрав користувач. Тож створивши екземпляр Retrofit клієнта ми маємо змогу відправляти запити моніторингу та контролю системи генерації електроенергії.

## ВИСНОВКИ

Після дослідження предметної області та проведення аналізу доступних технологій для вирішення поставленої задачі можна зробити висновок, що система генерації із застосування сонячних панелей є потенційно ефективним рішенням для забезпечення електроенергією. Однак, для оптимальної роботи таких систем необхідно забезпечити ефективний контроль та моніторинг. Для створення мобільного додатку, операційна система Android є підходящим вибором. Вона надає широкі можливості для розробки та підтримки мобільних додатків та дозволяє інтегрувати різні технології зв'язку. В результаті аналізу бездротових технологій з'ясовано, що Bluetooth, Wi-Fi та Zigbee мають свої переваги та недоліки. Вибір технології залежить від конкретних вимог та обмежень проекту, таких як дальність передачі даних, швидкість передачі, енергоспоживання та сумісність з пристроями. Для забезпечення бездротового зв'язку між мобільним додатком та системою генерації електроенергії було обрано технологію зв'язку, таку як Wi-Fi. З урахуванням аналізу технологій, для розробки мобільного додатку рекомендується використовувати Jetpack Compose для побудови UI – частини додатку. Це сучасний та гнучкий підхід, який полегшує створення адаптивних та зручних для користувача інтерфейсів.

Був розроблений метод керування системою генерації електроенергії. Який передбачає вирішення проблем вже існуючих систем, таких як: знеструмлення мережі вночі за умови розряджених акумуляторів; повний моніторинг процесів, завдяки розробленому механізму з'єднання мікроконтролеру з кожним елементом системи; заряджання акумуляторів при потребі, не тільки від сонячних панелей. Проведена розробка технології пошуку максимальної потужності на сонячній панелі на основі вже існуючих рішень, шляхом комбінування найпоширеніших із них, таких як PWM та MPPT, та мінімізування недоліків кожного з них.

У майбутньому слід розглянути можливість інтеграції системи з іншими розумними пристроями, такими як: розумний будинок. Це дозволить створити більш інтегровану та ефективну систему керування енергетичними ресурсами.

Також важливо розглянути аспект безпеки даних та захисту інформації, що передається між мікроконтролером та мобільним застосунком. Варто розробити відповідні механізми шифрування та аутентифікації для забезпечення конфіденційності та цілісності даних.

Враховуючи швидкий розвиток технологій та зміну вимог на ринку, важливо забезпечити адаптивність та гнучкість розробленої системи. Це дозволить легко вносити зміни, розширювати функціональність та адаптувати систему до нових вимог та стандартів. З урахуванням результатів аналізу предметної області та технологій, наступним кроком є розробка архітектури системи та прототипу мобільного додатку, який дозволить керувати роботою системи генерації електроенергії з сонячними панелями.

В результаті проведених досліджень розроблений метод керування системою генерації електроенергії з використанням бездротових технологій.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Принцип роботи сонячної електростанції. Green System. URL: <https://greensystem.com.ua/blog/princip-raboty-solnesnoi-elektrostantsii>(дата звернення: 05.04.2023).
2. ЯК ПРАЦЮЄ СОНЯЧНА БАТАРЕЯ – шлях енергії з космосу до розетки на 220 В. URL: [https://www.moyo.ua/ua/news/kak\\_rabotayut\\_solnechnye\\_batarei\\_ikh\\_aktualnost\\_v\\_ukraine\\_v\\_2022\\_godu.html](https://www.moyo.ua/ua/news/kak_rabotayut_solnechnye_batarei_ikh_aktualnost_v_ukraine_v_2022_godu.html)(дата звернення: 05.04.2023).
3. Принцип роботи сонячних колекторів і батарей. URL: <https://romstal.ua/uk/info/184-printsip-raboty-solnechnykh-kollektorov-i-batarey>(дата звернення: 05.04.2023).
4. Скільки потрібно сонячних батарей для дому? – SolarTeam Ukraine. SolarTeam Ukraine. URL: <https://solarteam.com.ua/uk/skolko-nuzhno-solnechnykh-batarey-68728/>(дата звернення: 05.04.2023).
5. Що таке інвертор для сонячної електростанції. SOLAR SPACE. URL: <https://solarspace.com.ua/articles/shho-take-invertor-dlya-sonyachnoyi-elektrostantsiyi/>(дата звернення: 05.04.2023).
6. Барало О. В., Гранат С. Є., Ковальов В. О., Самойленко П. Г. Автоматизація технологічних процесів і систем автоматичного керування, 2010. 557 с.
7. Що таке бездротові технології. URL: <http://ipkey.com.ua/uk/faq/965-wireless-technologies.html>(дата звернення: 05.04.2023).
8. Особливості вітчизняного виробництва електроенергії. URL: <https://www.ueex.com.ua/presscenter/news/osoblivosti-vitchiznyanogo-virobnitstva-elektroenergii/>(дата звернення: 05.04.2023).
9. Корнієнко Є., Ляшенко О. і Торба А. (2023) «МЕТОД КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ

БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ», СУЧАСНИЙ СТАН НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ТЕХНОЛОГІЙ В ПРОМИСЛОВОСТІ, (2 (23)).

10. Bill Phillips, Chris Stewart & Kristin Marsicano — Android Programming: The Big Nerd Ranch Guide [Електронний ресурс]. — 2015. — Режим доступу: <https://www.amazon.com/Android-Programming-Nerd-Ranch-Guide/dp/0134171454>
11. Murat Y. Expert Android Studio / Y. Murat, D. Onur., 2016. Dream(sheep++): A developer's introduction to Google Android [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://arstechnica.com/gadgets/2009/02/anintroduction-to-google-android-for-developers/>.