

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Денис ДЕРЕВ'ЯНКО

«___» _____ 2024 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

освітня програма

Системи забезпечення споживачів електричною енергією

на тему: «Система Smart-моніторингу в локальних системах
енергозабезпечення з вітрогенераторами»

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи ОЕ-21мп

_____ Разовський Владислав Володимирович

(прізвище, ім'я по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доц. Белоха Галина Сергіївна

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) _____ (підпис)

Нормоконтроль к.т.н., доц. Ярмолюк О.С.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) _____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Системи забезпечення споживачів електричною енергією»

В.о. завідувача кафедри

_____ Денис ДЕРЕВ'ЯНКО

« ____ » _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Разовський Владислав Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Система Smart-моніторингу в локальних системах енергозабезпечення з вітрогенераторами»
науковий керівник дисертації к.т.н., доц., Белоха Галина Сергіївна,
затверджені наказом по університету від 08 листопада 2023 р. №5198-с
2. Строк подання студентом дисертації 10 січня 2024 року
3. Об'єкт дослідження. Енергетичні процеси в локальних системах енергозабезпечення
4. Предмет дослідження. Система smart-моніторингу
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - Провести широкий огляд існуючої літератури про інтелектуальні системи моніторингу, технології вітрогенераторів та їх інтеграцію в місцеві системи енергопостачання.
 - Визначити прогалини, виклики та нові тенденції в поточному стані інтелектуального моніторингу для вітряних генераторів.

- Дослідити можливість використання вітрогенераторів в процесі регулювання напруги в системах розподілу електричної енергії.
- Розробити стартап-проект за темою магістерської роботи для практичного використання матеріалу представленого у роботі.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація – наочні матеріали за результатами дослідження, алгоритми розрахунків.

7. Орієнтовний перелік публікацій: публікації на наукових конференціях за темою дослідження.

8. Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль

Ярмолюк О.С.

9. Дата видачі завдання 30 жовтня 2023 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1	Опрацювання літературного матеріалу	Протягом виконання МД	
2	Виконання першого розділу	25.07.2023	
3	Виконання другого розділу	10.08.2023	
4	Виконання третього розділу	30.08.2023	
5	Розробка стартап проекту	20.09.2023	
6.	Оформлення дисертації	04.11.2023	
7.	Оформлення реферату та презентації, проходження перевірки на плагіат та рецензування	09-13.01.2024	
8.	Передзахист МД	19.12.2023	
9.	Захист дисертації	18.01.2024	

Студент

В.В.Разовський

Науковий керівник дисертації

Г.С.Белоха

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської дисертації за темою «Система Smart-моніторингу в локальних системах енергозабезпечення з вітрогенераторами.» складається з 4 розділів, 86 сторінки. Основний текст пояснювальної записки містить 17 рисунків, 7 таблиць та 36 джерел в переліку посилань.

Актуальність теми.

У сучасному світі, де постає питання про реалізацію сталих та відновлюваних джерел енергії, локальні системи енергозабезпечення з використанням вітрогенераторів набувають все більшої актуальності. Великий потенціал вітряної енергії, яка є чистою та безперервною, робить ці системи привабливими для вирішення проблем енергетичної стійкості та зменшення викидів парникових газів.

На фоні сучасних тенденцій в галузі енергетики в Україні відзначається позитивна динаміка щодо впровадження систем енергетичного моніторингу. Зокрема, спостерігається зростаючий зацікавленості міст та регіонів до використання цих систем для ефективного контролю за споживанням та оптимізації енергоресурсів.

Не дивлячись на певні досягнення в цій сфері, важливо відзначити, що національні стандарти та кращі практики для систем енергетичного моніторингу в Україні поки що не відпрацьовані належним чином. Це призводить до різноманітності підходів при впровадженні таких систем, ускладнює обмін досвідом та унеможлиблює створення єдиної стратегії розвитку. Відсутність стандартів призводить до ризику повторення помилок та уповільнює широкомасштабне впровадження енергетичного моніторингу в Україні.

Моніторинг є неодмінною складовою енергетичного менеджменту, спрямований на забезпечення дотримання норм, правил і режимів енерговикористання, виконання запланованих заходів і дій, а також дотримання встановлених значень енергетичних показників. Важливою передумовою для

ефективної реалізації цієї функції є побудова системи енергетичного моніторингу, яка повинна відповідати визначеним вимогам та стандартам.

Мета і задачі дослідження.

Мета – вдосконалення систем Smart-моніторингу локальних системах енергозабезпечення з вітрогенераторами у складі, дослідження особливостей побудови систем моніторингу.

Задачі дослідження:

- Огляд локальних систем енергозабезпечення, принципів їх побудови.
- Виявлення особливостей моніторингу джерел живлення та навантаження, які входять до складу локальних систем.
- Визначення поняття Smart-моніторингу для систем з вітрогенераторами у складі.
- Розробка програмного забезпечення з моніторингу вітрогенератора.
- Дослідження впливу інтервалу проведення моніторингу на динамічне ціноутворення.

Об'єкт дослідження. Енергетичні процеси в локальних системах енергозабезпечення.

Предмет дослідження. Система Smart-моніторингу.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених завдань використано методи математичного моделювання у програмному комплексі MATLAB/Simulink, та програмування на мові MATLAB.

Наукова новизна одержаних результатів:

- Запропонована система Smart-моніторингу та розроблено програмне забезпечення для її реалізації в локальних системах енергозабезпечення для підвищення енергоефективності, надійності цих систем.

Практичне значення отриманих результатів:

- Розроблений алгоритм може використовуватися при оцінці відбору потужності з генераторів та бути частиною алгоритму при ціноутворенні.

Публікації:

Динамічне ціноутворення у ВДЕ-спільнотах. Белоха Г.С., Рагімова Д., Романенко Т.О., Разовський В.В. Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку. Збірник наукових праць ІХ Міжнародної науково-технічної конференції у місті Києві 22-24 листопада 2023 р. – Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2023, С. 217-218

Моніторинг заряду акумуляторних батарей в microgrid. Белоха Г.С., Рагімова Д., Романенко Т.О., Разовський В.В. Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку. Збірник наукових праць ІХ Міжнародної науково-технічної конференції у місті Києві 22-24 листопада 2023 р. – Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2023, С. 219-220

Ключові слова.

SMART-МОНІТОРИНГ MICROGRID, ВІТРОГЕНЕРАТОРИ,
ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, РЕГУЛЮВАННЯ, СИСТЕМА
МОНІТОРИНГУ, МЕРЕЖА.

ABSTRACT

Explanatory note to the master's project on the topic "Smart-monitoring system in local energy supply systems with wind generators." consists of 4 sections, 86 pages. The main text of the explanatory note contains 17 figures, 7 tables and 36 sources in the list of references.

Actuality of theme.

In today's world, where the issue of the implementation of sustainable and renewable energy sources arises, local energy supply systems using wind generators are becoming more and more relevant. The large potential of wind energy, which is clean and continuous, makes these systems attractive for solving energy sustainability and reducing greenhouse gas emissions.

Against the background of modern trends in the field of energy in Ukraine, there is a positive trend in the implementation of energy monitoring systems. In particular, there is a growing interest of cities and regions in the use of these systems for effective control of consumption and optimization of energy resources.

Despite certain achievements in this area, it is important to note that national standards and best practices for energy monitoring systems in Ukraine have not yet been properly developed. This leads to a variety of approaches when implementing such systems, complicates the exchange of experience and makes it impossible to create a single development strategy. The lack of standards leads to the risk of repeating mistakes and slows down the large-scale implementation of energy monitoring in Ukraine.

Monitoring is an essential component of energy management, aimed at ensuring compliance with norms, rules and regimes of energy use, implementation of planned measures and actions, as well as compliance with established values of energy indicators. An important prerequisite for the effective implementation of this function is the construction of an energy monitoring system that must meet the specified requirements and standards.

The purpose and objectives of the study.

The goal is to improve Smart-monitoring systems for local energy supply systems with wind generators in the warehouse, to study the peculiarities of building monitoring systems.

Objectives of the study:

- Overview of local energy supply systems, principles of their construction
- Identifying the features of monitoring power sources and loads that are part of local systems
- Definition of the concept of Smart-monitoring for systems with wind generators in the warehouse
- Development of wind generator monitoring software
- Study of the influence of the monitoring interval on dynamic pricing.

Object of study.

Energy processes in local energy supply systems

Subject of study.

Smart monitoring system

Research methods:

Mathematical modeling methods in the MATLAB/Simulink software complex and programming in the MATLAB language were used to solve the tasks.

Scientific novelty of the obtained results:

- A Smart-monitoring system was proposed and software was developed for its implementation in local energy supply systems to increase energy efficiency and reliability of these systems

Practical significance of the obtained results:

- The developed algorithm can be used in the assessment of power consumption from generators and be part of the algorithm in pricing.

Publications:

Dynamic pricing in RES communities. Belokha G.S., Ragimova D., Romanenko T.O., Razovskyi V.V. Energy management: status and development prospects. Collection of scientific works of the IX International Scientific and Technical

Conference in the city of Kyiv, November 22-24, 2023 - Kyiv, NTUU "KPI named after Igor Sikorsky", 2023, pp. 217-218

Battery charge monitoring in the microgrid. Belokha G.S., Ragimova D., Romanenko T.O., Razovskyi V.V. Energy management: status and development prospects. Collection of scientific works of the IX International Scientific and Technical Conference in the city of Kyiv, November 22-24, 2023 - Kyiv, NTUU "KPI named after Igor Sikorsky", 2023, pp. 219-220

Keywords.

SMART-MONITORING MICROGRID, WIND GENERATORS, ENERGY EFFICIENCY, REGULATION, MONITORING SYSTEM, NETWORK.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	13
1. MICROGRID	15
1.1 Поняття системи Microgrid, її склад.....	16
1.2 Огляд режимів роботи	18
Висновки до розділу 1	26
2. МОНІТОРИНГ В СИСТЕМАХ MICROGRID.....	27
2.1 Структура систем моніторингу.....	27
2.2 Особливості систем моніторингу елементів Microgrid	31
2.2.1 Моніторинг сонячних джерел живлення	31
2.2.2 Моніторинг мікротурбін та дизель генераторів.....	35
2.2.3 Моніторинг вітрових джерел живлення	36
2.2.4 Моніторинг навантаження	40
2.3 Інформаційні системи моніторингу	42
2.3.1 Використання ІоТ.....	42
2.3.2 Використання хмарних технологій.....	43
2.4 Види моніторингу	46
2.4.1 Моніторинг балансу потужності.....	46
2.4.2 Моніторинг частоти	49
2.4.3 Моніторинг напруги	51
Висновки до розділу 2	52
3. SMART-МОНІТОРИНГ ВІТРОВИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ	54
3.1 Математичний опис системи.....	55
3.1.1 Вітрогенератор	55
3.1.2 Акумуляторна батарея	57
3.1.3 Сонячні панелі	58
3.2 Застосування Smart-моніторингу вітрогенератора при формуванні тарифу.....	61
3.3 Моніторинг силових електронних перетворювачів	63
Висновки до розділу 3	67
4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЄКТУ	68
4.3 Технологічний аудит проєкту	72
4.4 Аналіз ринкових можливостей проєкту.....	74

	11
4.5 Розробка ринкової стратегії проєкту	77
4.6 Розроблення маркетингової програми стартап проєкту	78
Висновки до розділу 4.....	80
ВИСНОВКИ	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	83

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ,
ТЕРМІНІВ**

DG – Розподілені Генератори

IGBT – Триелектродний Силовий Напівпровідниковий Прилад

IoT – Інтернет Речей

MGCC – Центр управління MicroGrid

PMU – Прилад Вимірювання Фазора

PV – Фотоелектричні Установки

ВДЕ – Відновлювані Джерела Енергії

ЗП – З'єднувальний Перемикач

РГ – Розосереджена Генерація

РЕР – Розподілені Енергетичні Ресурси

РС – Розподілені Сховища

СУЕ – Система Управління Енергією

ТЕ – Транзактивна Енергія

ВСТУП

У сучасному світі, де постає питання про реалізацію сталих та відновлюваних джерел енергії, локальні системи енергозабезпечення з використанням вітрогенераторів набувають все більшої актуальності. Великий потенціал вітряної енергії, яка є чистою та безперервною, робить ці системи привабливими для вирішення проблем енергетичної стійкості та зменшення викидів парникових газів.

На фоні сучасних тенденцій в галузі енергетики в Україні відзначається позитивна динаміка щодо впровадження систем енергетичного моніторингу. Зокрема, спостерігається зростаючий зацікавленості міст та регіонів до використання цих систем для ефективного контролю за споживанням та оптимізації енергоресурсів.

Не дивлячись на певні досягнення в цій сфері, важливо відзначити, що національні стандарти та кращі практики для систем енергетичного моніторингу в Україні поки що не відпрацьовані належним чином. Це призводить до різноманітності підходів при впровадженні таких систем, ускладнює обмін досвідом та унеможливорює створення єдиної стратегії розвитку. Відсутність стандартів призводить до ризику повторення помилок та уповільнює широкомасштабне впровадження енергетичного моніторингу в Україні.

Значимість проблеми:

Наукова проблема полягає в потребі в передових та інтелектуальних системах моніторингу, які могли б ефективно інтегруватися з місцевими системами енергопостачання. Існуюча література підкреслює важливість цієї проблеми, визнаючи зростаюче значення енергії вітру в децентралізованому виробництві енергії. Оскільки глобальний перехід до відновлюваних джерел енергії прискорюється, ефективний моніторинг і управління вітряними генераторами стають першочерговими для оптимальної продуктивності та надійності.

Розглядаючи внесок попередників у цій галузі, проливаючи світло на сильні та обмежені сторони їхніх починань можна віднайти прогалини. Хоча попередні

дослідження досягли вагомих успіхів у розумінні систем моніторингу, деякі питання залишаються без відповіді, створюючи можливість для подальших досліджень та інновацій.

Невирішені запитання:

Ключові питання, які залишаються в літературі, стосуються розробки інтелектуальних систем моніторингу, які можуть легко інтегруватися з динамічною природою вітрових генераторів у місцевих системах енергопостачання. Я намагатимусь допомогти у вирішенні цих питань, прагнучи внести нові ідеї та рішення для підвищення ефективності, надійності та інтелектуальних систем моніторингу в цьому конкретному енергетичному контексті. [1-37]

1. MICROGRID

Розосереджена генерація (РГ) стає все більш важливою складовою електроенергетичних систем, особливо у високорозвинених країнах. Широкий спектр технологій, таких як двигуни внутрішнього згоряння, газові турбіни, мікротурбіни, фотоелектричні панелі, паливні елементи і вітряні турбіни, об'єднані під загальною назвою "розподілені енергоресурси", забезпечують екологічно чисті та стійкі джерела енергії.

Головна мета впровадження РГ полягає в скороченні викидів вуглецю та подоланні проблем виснаження традиційних енергетичних ресурсів, таких як вугілля та газ. Додатковий фокус на відновлюваних джерелах енергії, таких як вітрова, сонячна та гідроенергетика, допомагає створити більш сталу енергетичну систему.

РГ також сприяє покращенню якості та надійності електропостачання. Застосування обладнання для комбінованого виробництва тепла та електроенергії дозволяє підвищити енергоефективність та зменшити втрати енергії в розподільних мережах.

Системний підхід до впровадження РГ, зокрема утворення MicroGrid, сприяє локальному управлінню генерацією та зменшує потребу в централізованій диспетчеризації. Під час негоди система може легко відділяти генерацію та навантаження від загальної мережі, щоб підтримувати високий рівень надійності обслуговування.

Розроблена у 1999 році CERTS MicroGrid, що є першою в світі інверторною, розподіленою генеруючою системою, є важливим кроком у дослідженні та впровадженні нових методів для підвищення надійності електроенергетичних систем. CERTS є прикладом успішного консорціуму, що об'єднує зусилля університетів, національних лабораторій та промисловості для створення інноваційних рішень у сфері електроенергетики.

1.1 Поняття системи Microgrid, її склад

MicroGrid: Інтегрована електроенергетична платформа для управління розподіленими ресурсами

MicroGrid - це група взаємопов'язаних навантажень і розподілених енергоресурсів в чітко визначених електричних межах, що діє як єдиний керований об'єкт. Його можна підключати і відключати від мережі, дозволяючи працювати як у звичайному режимі, так і у режимі острівного функціонування. Це визначення визнане Міністерством енергетики США та Науково-дослідним інститутом електроенергетики (EPRI).

З цього визначення випливають три ключові ідеї:

Інтеграційна платформа: MicroGrid є платформою для об'єднання джерел живлення, накопичувачів і ресурсів попиту (керованих навантажень) в локальній розподільній мережі.

Режими роботи: MicroGrid здатна працювати в звичайному режимі, підключаючись до мережі, і в режимі острівного функціонування. Переваги концепції MicroGrid проявляються як при нормальному підключенні до мережі, так і при аварійному відключенні.

Більше, ніж агрегатор: Оператор MicroGrid виконує комплексні функції, об'єднуючи ролі агрегатора, постачальника мережевих послуг, контролера навантаження і регулятора викидів. Він спрямований на досягнення різноманітних економічних, технічних і екологічних цілей.

Таким чином, концепція MicroGrid не тільки перевизначає енергетичний ландшафт, але і надає розширені можливості для управління та оптимізації розподіленою енергетикою.

Слід відзначити, що до Розподілених Енергетичних Ресурсів (PER) входять як Розподілені Генератори (DG), так і Розподілені Сховища (PS). Використання PS стає важливим у випадках, коли точне узгодження між генерацією та навантаженням не є можливим. Його місткість визначається часовими рамками, протягом яких номінальна енергетична ємність здатна

покрити навантаження при номінальній потужності.

Використання розподілених сховищ може забезпечити ряд переваг:

- Стабілізація та робота на стабільній потужності: РС стабілізує та дозволяє блокам DG працювати на постійній та стабільній потужності, незалежно від коливань навантаження.
- Пропускна здатність при динамічних коливаннях: РС забезпечує пропускну здатність під час динамічних коливань первинної енергії, таких як сонячна, вітрова та гідроенергетична.
- Безперебійна робота у якості диспетчерської установки: РС дозволяє DG працювати безперебійно як диспетчерська установка.
- Гасіння пікових стрибків навантаження: РС може ефективно гасити пікові стрибки в навантаженні, забезпечуючи проходження сигналу відключення, коли резервні генератори відповідають на запит.

Ці вдосконалення використання розподілених сховищ роблять PEP більш гнучкими та дозволяють ефективніше керувати енергією в розподіленій електроенергетичній системі.

Схема мережі MicroGrid та її складові елементи відображені на рис. 1.1. MicroGrid складається з групи радіальних фідерів (1-3), які можуть бути частиною розподільної системи або електричної системи будівлі. У системі існує єдина точка підключення до електромережі, відома як точка загального зв'язку (ТЗС).

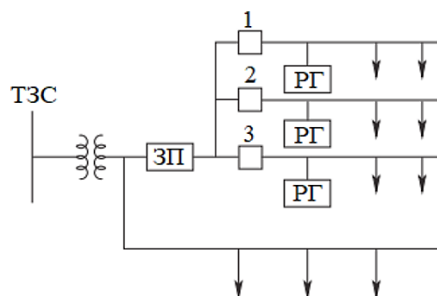


Рисунок. 1.1 – Схема MicroGrid

Фідери 1-3 оснащені чутливими навантаженнями, що вимагають місцевого генерування. Вони можуть від'єднуватися від мережі за допомогою З'єднувального Перемикача (ЗП), який може бути статичним та працювати в циклі. У мережі присутні три DG, керовані тільки за допомогою вимірювання місцевих напруг і струмів.

У випадку проблем з живленням, ЗП розмикається, ізолюючи чутливі навантаження від електромережі. Це передбачає наявність достатньої кількості генерації для задоволення потреб у MicroGrid. При підключенні MicroGrid до мережі, електроенергія від місцевої генерації може живити нечутливі навантаження.

Концепція CERTS MicroGrid враховує, що кожен компонент мережі діє в режимі plug-and-play з автономним управлінням в одноранговій структурі. Це означає відсутність центрального контролера чи запам'ятовуючого пристрою. Такий підхід дозволяє MicroGrid продовжувати роботу навіть у випадку відмови одного з DG. Модель "plug-and-play" спрощує розміщення генераторів навпроти теплових навантажень.

Ключовим елементом є система ЗП, яка підключає чи відключає MicroGrid від решти розподільної мережі. Вона виконує різноманітні функції, включаючи перемикання живлення, захисні реле, облік і зв'язок з цифровим сигнальним процесором (DSP).

1.2 Огляд режимів роботи

MicroGrid, універсальні та динамічні енергетичні системи, працюють у різних режимах, щоб задовольнити різноманітні потреби та адаптуватися до мінливих умов. Нижче наведено огляд основних режимів роботи MicroGrid:

Режим підключення до мережі:

Режим підключення до мережі служить основним робочим станом для MicroGrid, сприяючи бездоганній інтеграції з основною енергосистемою. Цей режим забезпечує двонаправлений потік електроенергії, пропонуючи

гнучкість для імпорту та експорту електроенергії. MicroGrid постійно контролюють і синхронізують з основною мережею, підвищуючи загальну надійність.

У цьому режимі MicroGrid отримують резервне живлення від основної мережі в періоди високого попиту або неочікуваних коливань, що сприяє підвищенню надійності. Гнучкість у закупівлях енергії дозволяє MicroGrid стратегічно купувати електроенергію, коли це економічно ефективно, оптимізуючи економічну диспетчеризацію.

Застосування режиму підключення до мережі включає балансування навантаження, коли MicroGrid споживають додаткову енергію під час пікового попиту, що сприяє економії коштів. Це також сприяє інтеграції відновлюваних джерел енергії, при цьому надлишок енергії експортується в мережу або компенсує нестачу електроенергії під час низької генерації відновлюваної енергії.

MicroGrid в режимі підключення до мережі можуть надавати послуги підтримки мережі, допомагаючи підтримувати частоту мережі. Однак серед проблем є потреба в ефективних заходах проти острівців, щоб запобігти ненавмисним острівцям під час збоїв у мережі. Дотримання нормативних актів мережевих кодексів має вирішальне значення для бездоганної інтеграції.

Режим підключення до мережі формує основу функціональності MicroGrid, забезпечуючи динамічну взаємодію з основною енергосистемою. Двонаправлений потік електроенергії, безперервний моніторинг і гнучкість у постачанні енергії сприяють стійкості, надійності та ефективності роботи MicroGrid, встановлюючи її як фундаментальний компонент у розподілених енергетичних системах.

Острівний режим у MicroGrid:

Островий режим у MicroGrid означає стан, коли ці розподілені енергетичні системи працюють автономно, відключені від основної комунальної мережі. Цей режим важливий для забезпечення енергетичної

стійкості та надійності під час збоїв у мережі, надзвичайних ситуацій або ситуацій, коли підключення до мережі порушується.

Під час острівного режиму MicroGrid функціонують незалежно, покладаючись виключно на свої внутрішні енергетичні ресурси. Ця операційна автономія дозволяє MicroGrid продовжувати забезпечувати енергією критичні навантаження, навіть якщо зовнішні з'єднання з мережею порушені. MicroGrid діє як самодостатній енергетичний суб'єкт, який підтримує свою роботу без залежності від зовнішніх джерел енергії.

Перехід до острівного режиму часто відбувається автоматично та швидко, ініціюється механізмом виявлення, який відчуває збої в мережі. Цей плавний перехід має вирішальне значення для запобігання перебоїв у критичних навантаженнях і підтримки стабільного електропостачання, особливо в сценаріях, коли надійність мережі стоїть під сумнівом.

В острівному режимі MicroGrid працюють повністю незалежно від основної електромережі. Ця характеристика є особливо вигідною у віддалених місцях або регіонах з ненадійним підключенням до мережі. MicroGrid в острівному режимі можуть продовжувати стабільно постачати електроенергію без впливу зовнішніх проблем мережі.

Одним із основних застосувань ізольованого режиму є сценарії реагування на надзвичайні ситуації. MicroGrid можуть швидко відключатися від основної мережі під час надзвичайних ситуацій, забезпечуючи безперервне електропостачання критичної інфраструктури, такої як лікарні, служби екстреної допомоги та інші важливі об'єкти. Ця можливість має вирішальне значення для підтримки основних послуг, коли надійність мережі скомпрометована.

Острівний режим у MicroGrid відіграє важливу роль у забезпеченні операційної незалежності та стійкості під час збоїв у мережі. Його застосування в сценаріях реагування на надзвичайні ситуації та у віддалених місцях демонструє його універсальність, що робить його невід'ємним компонентом функціональності MicroGrid. Здатність плавного переходу між

підключеним до мережі та острівним режимом підвищує загальну надійність і адаптивність MicroGrid у різноманітних робочих середовищах.

Автономний режим в MicroGrid:

Автономний режим у MicroGrid означає стан, коли ці децентралізовані енергетичні системи працюють незалежно, без прямого зовнішнього контролю. Цей режим надає MicroGrid можливість автономно керувати своїми ресурсами виробництва, споживання та зберігання. Сутність автономного режиму характеризують наступні ознаки:

В автономному режимі MicroGrid покладаються на децентралізовані механізми управління, що дозволяє приймати локальні рішення на основі таких факторів, як потреба в навантаженні, доступна генеруюча потужність і рівні зберігання енергії.

Енергетичні ресурси в MicroGrid динамічно управляються, оптимізуючи використання відновлюваних джерел енергії, систем зберігання енергії (ESS) та інших розподілених ресурсів для задоволення місцевого попиту, мінімізуючи при цьому залежність від зовнішніх мереж.

Пріоритезація навантажень визначається на основі критичності та попиту з постійним моніторингом, який гарантує, що основні послуги отримують енергію в першу чергу.

Стратегії управління пристосовуються до мінливих умов, реагуючи на коливання відновлюваної генерації, попит на навантаження та інші змінні.

Застосування автономного режиму:

– Покращена стійкість:

Автономний режим підвищує стійкість під час збоїв в електромережі, плавно переходить до автономного режиму та підтримує роботу, незважаючи на зовнішні збої в мережі.

– Оптимізоване місцеве використання енергії:

Місцеві енергетичні ресурси оптимізовані для ефективного споживання, мінімізуючи залежність від зовнішніх мереж і сприяючи енергетичному самозабезпеченню.

– Стратегії перенесення навантаження:

Методи переміщення навантаження використовуються для оптимізації енергоспоживання, реагуючи на зміни цін або доступності енергії.

Реалізація автономного режиму вимагає складних алгоритмів керування, які мають бути стійкими та адаптуватися до різних умов. Для успішного впровадження може знадобитися інтеграція передових датчиків, систем зв'язку та прогнозової аналітики для ефективного прийняття рішень.

Автономний режим у MicroGrid представляє складний робочий стан, де децентралізоване управління, динамічне керування енергією та адаптивні стратегії сприяють підвищенню стійкості та оптимізованому локальному використанню енергії. Ця автономія позиціонує MicroGrid як надійні та самодостатні енергетичні системи, здатні адаптуватися до мінливих умов і сприяти більш стійкому та сталому енергетичному майбутньому.

Режим підтримки мережі:

Режим підтримки мережі в MicroGrid представляє універсальний робочий стан, коли ці розподілені енергетичні системи активно сприяють підтримці та стабілізації основної комунальної мережі. Цей режим характеризується здатністю MicroGrid надавати допоміжні послуги, підвищувати надійність мережі та брати участь у збалансуванні мережі. Давайте заглибимося в ключові аспекти режиму підтримки сітки:

Однією з основних функцій MicroGrid у режимі підтримки мережі є надання допоміжних послуг для основної комунальної мережі. Ці послуги включають регулювання частоти, підтримку напруги та компенсацію реактивної потужності. Динамічно регулюючи свою роботу, мікросітки можуть допомогти підтримувати стабільність і якість більшої мережі.

MicroGrid і можуть відігравати вирішальну роль у регулюванні частоти шляхом модуляції їх генерації та споживання у відповідь на коливання частоти мережі. Ця підтримка допомагає стабілізувати мережу та гарантує, що частота залишається в прийнятних межах.

Режим підтримки мережі дозволяє MicroGrid забезпечувати підтримку напруги в основній мережі. Регулюючи вихідну реактивну потужність, MicroGrid можуть підтримувати рівні напруги в потрібному діапазоні, сприяючи стабільності мережі.

MicroGrid можуть активно брати участь у збалансуванні мережі, регулюючи вихідну потужність відповідно до умов мережі в режимі реального часу. Це включає в себе реагування на раптові зміни попиту, коливання відновлюваної енергії або непередбачені події в мережі.

Режим підтримки електромережі в MicroGrid представляє складний робочий стан, що забезпечує допоміжні послуги, стабільність і стійкість до основної комунальної мережі. Здатність динамічно налаштовувати роботу позиціонує MicroGrid як цінний актив у ширшому контексті управління мережею та підвищує загальну надійність електромережі.

Аварійний режим:

Аварійний режим у MicroGrid — це критичний робочий стан, призначений для усунення непередбачених обставин, збоїв або збоїв в енергосистемі. Цей режим забезпечує здатність MicroGrid визначати пріоритети основних функцій, підтримувати критично важливі служби та ефективно реагувати на надзвичайні ситуації.

Основні характеристики аварійного режиму:

- Аварійний режим передбачає встановлення пріоритетів основних навантажень, визначення та забезпечення безперервної роботи критично важливих послуг під час надзвичайних ситуацій.

- Аварійний режим дозволяє швидко реагувати на збої, дозволяючи MicroGrid ізолюватись від основної мережі або швидко відновлювати основні послуги.

- MicroGrid оптимізують використання доступних ресурсів виробництва, зберігання та реагування на попит під час надзвичайних ситуацій, щоб задовольнити попит, одночасно забезпечуючи довговічність ресурсів.

- MicroGrid можуть працювати в ізольованому режимі під час надзвичайних ситуацій, підвищуючи самозабезпеченість шляхом від'єднання від основної мережі.

- Ефективні механізми комунікації та координації забезпечують синхронізоване реагування на надзвичайні ситуації, мінімізуючи простої та збої.

Аварійний режим у MicroGrid є життєво важливим робочим станом, який підвищує стійкість цих децентралізованих енергетичних систем. Ефективно вирішуючи непередбачені обставини та визначаючи пріоритети критичних функцій, MicroGrid роблять значний внесок у забезпечення безперервного обслуговування під час надзвичайних ситуацій.

Режим «чорного старту»:

Режим «чорного старту» в MicroGrid — це спеціальний робочий стан, зосереджений на відновленні живлення після повного вимкнення системи, широко відомий як відключення. Цей режим має вирішальне значення для забезпечення самодостатності та стійкості MicroGrid, дозволяючи їм самостійно відновлюватися після знеструмлення без зовнішньої підтримки. Нижче наведено детальний опис ключових функцій, додатків, проблем і міркувань, пов'язаних із режимом чорного запуску:

Режим «чорного старту» дозволяє MicroGrid самостійно перезавантажувати свої енергосистеми після повного відключення. MicroGrid можуть працювати ізольовано, ініціюючи процес відновлення, не покладаючись на зовнішню підтримку мережі. Процедури «чорного» запуску включають послідовний запуск основних компонентів. MicroGrid дотримуються пріоритетної послідовності для перезапуску критичних систем, забезпечуючи систематичний і ефективний процес відновлення.

Системи накопичення енергії відіграють вирішальну роль у режимі «чорного» запуску. Енергія, що зберігається в батареях або інших накопичувачах, стратегічно вивільняється, щоб розпочати виробництво та розподіл електроенергії в MicroGrid.

MicroGrid синхронізуються з мережею контрольованим чином, щоб уникнути раптових стрибків навантаження та забезпечити стабільне повторне підключення.

Режим «чорного» запуску в MicroGrid є критичним робочим станом, розробленим для незалежного відновлення після повного знеструмлення. Використовуючи послідовні процедури запуску, використовуючи накопичувачі енергії та забезпечуючи контрольовану синхронізацію мережі, MicroGrid підвищують свою стійкість і сприяють безперебійній роботі в умовах збоїв в енергосистемі.

Режим усунення пікових навантажень:

Режим усунення пікових навантажень у MicroGrid — це робочий стан, стратегічно розроблений для керування та зменшення пікового споживання електроенергії, сприяючи більш ефективному та рентабельному споживанню енергії. Цей режим передбачає цілеспрямовані заходи для вирівнювання або зменшення пікових навантажень у періоди високого попиту на електроенергію.

У режимі пікового споживання використовується стратегія керування навантаженням для оптимізації споживання енергії в періоди пікового споживання. Такі методи, як реагування на попит, використання накопичень енергії та розподілених енергетичних ресурсів, допомагають зменшити загальне навантаження на MicroGrid. Інтеграція з моделями ціноутворення за часом використання. У режимі пікового зменшення ціни часто враховується чутлива до часу ціна, що дозволяє MicroGrid споживати енергію, коли тарифи нижчі, що сприяє економії коштів. Системи накопичення енергії відіграють вирішальну роль у зберіганні надлишку енергії в періоди непікової навантаження.

Інтеграція різних розподілених енергоресурсів. У режимі пікового зменшення потужності оптимально використовуються РЕР, такі як сонячні батареї, вітряні турбіни та інші розподілені джерела, щоб задовольнити попит, не покладаючись значною мірою на енергосистему.

Режим зменшення пікових навантажень у MicroGrid є стратегічним підходом до оптимізації споживання енергії, зниження витрат і сприяння стабільності мережі. Застосовуючи управління навантаженням, чутливі до часу міркування щодо ціноутворення та використання накопичувачів енергії та розподілених ресурсів, MicroGrid підвищують свою загальну ефективність і відіграють роль у формуванні більш стійкого та стійкого енергетичного ландшафту.

Висновки до розділу 1

Дослідження концепції MicroGrid та її складу підкреслює еволюцію енергетичних систем. MicroGrid з їхньою децентралізованою та самодостатньою структурою є багатообіцяючим рішенням для підвищення енергетичної стійкості та сталості. Композиція MicroGrid, що включає розподілені енергетичні ресурси, зберігання енергії та передові системи керування, демонструє цілісний підхід до управління енергією. Підсумовуючи цей розділ, можна стверджувати, що MicroGrid забезпечують надійну основу для вирішення проблем сучасного розподілу енергії та роблять значний внесок у досягнення енергетичної незалежності.

Повний огляд режимів роботи в MicroGrid пропонує цінну інформацію про гнучкість і адаптивність цих систем. Вивчення різних режимів роботи, включаючи режими підключення до мережі, острівні та перехідні режими, демонструє універсальність MicroGrid у відповіді на динамічні потреби в енергії та умови мережі. Висновки, зроблені з цього розділу, підкреслюють, що MicroGrid не тільки здатні забезпечувати безперебійне електропостачання під час відключень мережі, але також сприяють стабільності та ефективності мережі за умови інтеграції з більшою енергетичною інфраструктурою. Успішне впровадження різних режимів роботи підкреслює потенціал MicroGrid у сприянні енергетичній надійності, сталості та стійкості мережі.

2. МОНІТОРИНГ В СИСТЕМАХ MICROGRID

Система моніторингу та управління енергією MicroGrid забезпечує розширений моніторинг розподіленої генерації, накопичення енергії (НЕ) і навантажень у MicroGrid в реальному часі. У режимі підключення до мережі, автономному режимі та під час переходу між режимами роботи він контролює та оптимізує РГ, НЕ та навантаження, забезпечуючи тим самим безпечну та стабільну роботу MicroGrid з максимальною енергоефективністю.

2.1 Структура систем моніторингу

Система моніторингу відіграє вирішальну роль у забезпеченні безпечної та надійної роботи кожного обладнання в MicroGrid. Моніторинг у режимі реального часу є незамінним, а ефективність роботи системи MicroGrid гарантується завдяки поєднанню програмних і апаратних компонентів, як показано на рисунку 2.1.

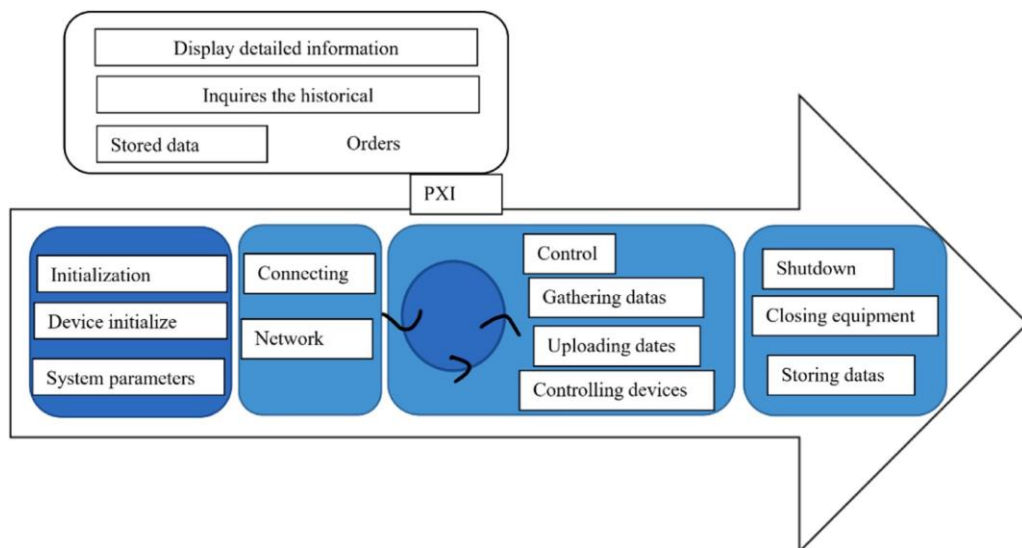


Рисунок 2.1 – Структура системи спостереження

Дедалі більша інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у MicroGrid, зумовлена такими факторами, як приваблива ціна та надійність, представляє як технологічні, так і фінансові переваги. Однак періодичний характер

відновлюваних джерел створює проблеми при проектуванні та управлінні. Щоб вирішити цю проблему, ефективна Система Управління Енергією (СУЕ) стає важливою для цілісного управління MicroGrid. Це дослідження представляє оновлену архітектуру СУЕ та аналіз даних для гібридної MicroGrid з використанням інтерфейсу моніторингу в реальному часі. Удосконалена модель СУЕ зосереджена на досягненні оптимальної роботи та управління, підтримці збалансованого джерела живлення, постійної частоти та стабільного профілю напруги.

Для ефективної роботи MicroGrid моніторинг і контроль є обов'язковими для підтримки такої ж якості електроенергії, що й комерційна мережа. У гру вступають різні системи, такі як система управління розподілом для контролю навантаження та допомоги в будівництві, система автоматизації розподілу для моніторингу заряду/знеструмлення, роботи системи, відновлення збоїв і контролю напруги, а також система управління попитом для заряду/знеструмлення моніторинг і контроль навантаження.

Інтеграція відновлюваних джерел енергії в існуючі електромережі вимагає нових підходів, причому телекомунікаційний сектор відіграє ключову роль у сприянні двостороннього зв'язку між пристроями та операторами енергосистем. Безпека забезпечується використанням протоколу Open VPN і надійного шифрування даних, що забезпечує безпечну платформу віддаленого доступу за допомогою служб динамічної системи доменних імен.

Інтеграція різноманітних відновлюваних джерел енергії та нелінійних інверторних пристроїв у MicroGrid ускладнює традиційну енергосистему. Інтелектуальніший моніторинг, контроль і управління енергією мають вирішальне значення для того, щоб MicroGrid працював економічно ефективно та стабільно. Для вирішення цієї складності в сучасних енергетичних системах використовуються передові технології, такі як прилад вимірювання Фазора (PMU). PMU сприяють виявленню дефектів, ідентифікації вторгнень, моніторингу фазового кута, моніторингу коливань

потужності, моніторингу стабільності напруги та оцінки стану за допомогою PMU.

Важливою є координація з місцевим диспетчерським управлінням, захистом та здійснення дистанційного розподілу. Розглянемо ключові завдання цієї системи:

- Реально-часний моніторинг диспетчерського контролю та розосереджена генерація. Система у реальному часі слідкує за диспетчерським контролем та координує роботу розподіленої генерації. Збір даних та взаємодія з розподіленою генерацією є важливими аспектами цього завдання.
- Управління послугами. Включає в себе прогнозування потоку потужності, контроль виходу розподіленої генерації та підтримку балансу потужності. Система ефективно регулює вихід розподіленої генерації та забезпечує баланс енергії в MicroGrid.
- Розумний аналіз та прийняття рішень. Використовується для оптимізації розподілу енергії та прийняття розумних стратегічних рішень, що сприяють ефективній роботі системи.

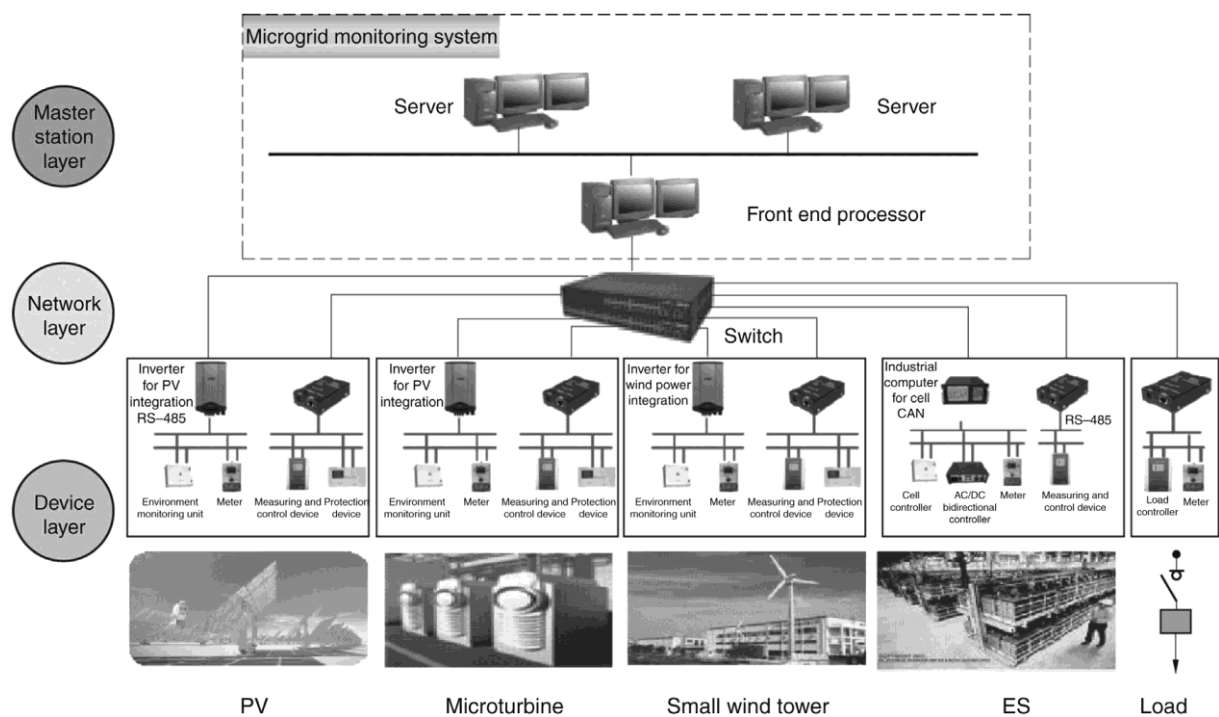


Рисунок 2.2 – Структура системи моніторингу

На рисунку 2.2 зображено структуру системи моніторингу, яка оперативно збирає інформацію в реальному часі про розподілену генерацію, лінії, розподільчу мережу та навантаження. Ця система відстежує потік електроенергії в MicroGrid та регулює його роботу, дотримуючись всіх робочих та енергетичних обмежень.

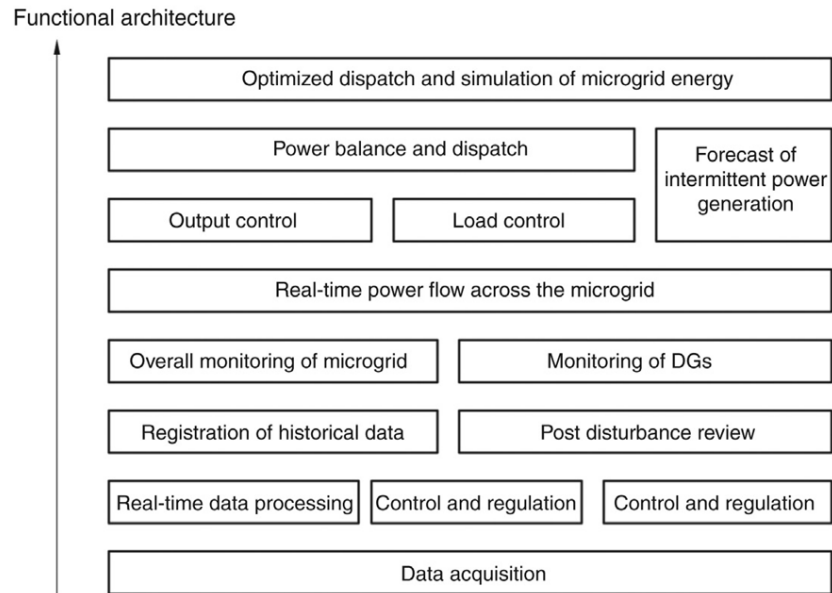


Рисунок 2.3 – Система управління енергією

Зображена на рисунку 2.3 система управління енергією виступає ядром системи моніторингу, об'єднуючи розподілену генерацію, навантаження, системи накопичення енергії та точку загального з'єднання. Її функціональна архітектура програмного забезпечення визначає ключові елементи, що забезпечують ефективне управління та моніторинг енергетичних процесів в MicroGrid. Ця система розроблена так, щоб гарантувати високий рівень автономності та надійності в управлінні MicroGrid.

2.2 Особливості систем моніторингу елементів Microgrid

2.2.1 Моніторинг сонячних джерел живлення

Моніторинг фотоелектричних установок (PV) у режимі реального часу, зображений на малюнку 2.4, є ключовим аспектом забезпечення ефективної та надійної роботи фотоелектричних систем електрифікації.

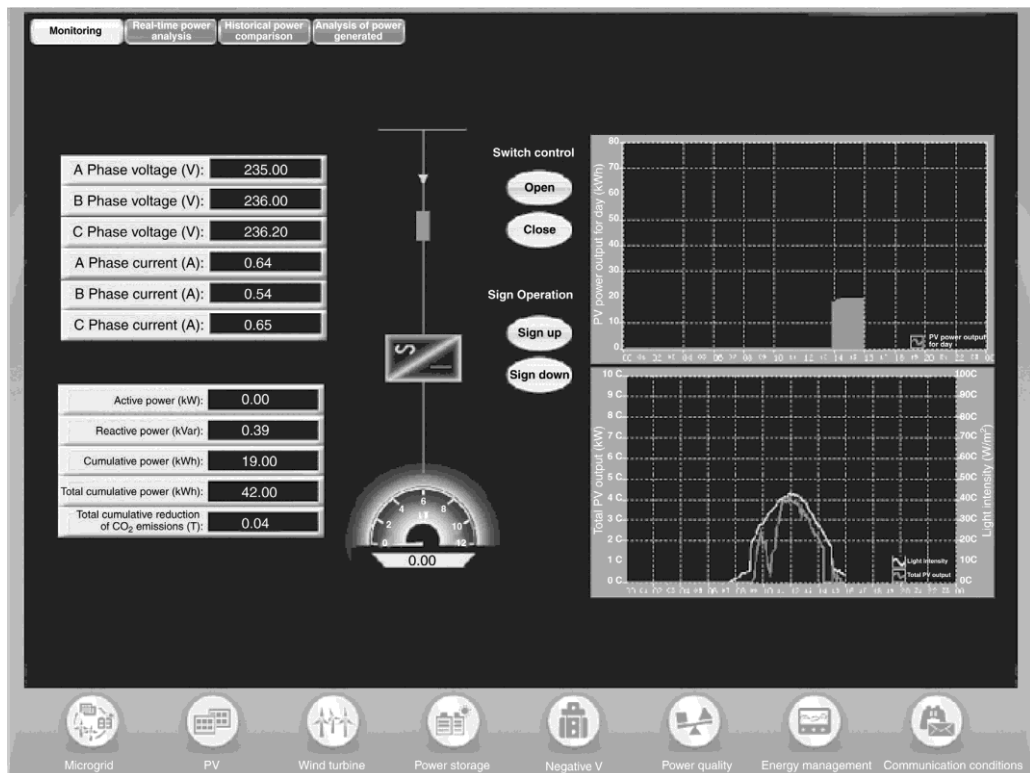


Рисунок 2.4 – Моніторинг фотоелектричної енергії та статистика.

Цей комплексний моніторинг служить основою для статистичного аналізу, контролю та обслуговування. Багатогранні функції моніторингу PV охоплюють такі ключові аспекти:

- Відображення потужності в реальному часі:

Системи моніторингу PV пропонують відображення в режимі реального часу основних показників потужності, включаючи загальну потужність, загальну добову вихідну потужність, сукупну вихідну потужність, сукупні викиди CO₂ та криву добової вихідної потужності. Ця миттєва візуалізація забезпечує цілісний знімок продуктивності фотоелектричної системи, полегшуючи швидку оцінку та прийняття обґрунтованих рішень.

- Параметри роботи інвертора:

Глибоке розуміння роботи інверторів забезпечує система моніторингу. Такі параметри, як напруга постійного струму, постійний струм, потужність постійного струму, напруга змінного струму, змінний струм, частота, поточна потужність, коефіцієнт потужності, добова вихідна потужність, сукупна вихідна потужність, сукупні викиди CO₂, внутрішня температура та 24-годинна крива вихідної потужності є доступні. Ця величезна кількість інформації допомагає налаштувати систему для оптимальної продуктивності та швидкого виявлення будь-яких аномалій.

- Контроль роботи інвертора та попередження про несправності:

Система моніторингу ретельно стежить за роботою інвертора, видаючи попередження за допомогою звукових і візуальних сигналів у разі несправності обладнання. Крім того, він чудово визначає причину та час несправності. Спектр інформації про несправності включає такі умови, як надмірно висока або низька напруга мережі, висока або низька частота мережі, висока або низька напруга постійного струму, перевантаження інвертора, перегрів інвертора або радіатора, коротке замикання інвертора, острівкування, а також збій зв'язку. Цей проактивний підхід до виявлення та аналізу несправностей сприяє мінімізації часу простою та оптимізації надійності системи.

- Прогнозування вихідної потужності:

Системи фотоелектричного моніторингу відіграють ключову роль у прогнозуванні короткострокового та над короткострокового виходу електроенергії. Ці прогнозовані дані служать важливою основою для оптимізації диспетчеризації енергії, що дозволяє стратегічно інтегрувати мережу та збалансувати енергетичні ресурси.

- Динамічне регулювання вихідної потужності та керування інвертором:

Система моніторингу полегшує регулювання вихідної потужності та забезпечує механізми керування для запуску та зупинки інверторів. Ця можливість особливо цінна для адаптації фотоелектричної системи до

мінливих умов попиту та вимог мережі. Динамічний контроль дозволяє ефективно використовувати ресурси сонячної енергії та сприяє стабільності мережі.

Виходячи з вище перерахованих пунктів, моніторинг фотоелектричних установок у режимі реального часу не тільки надає життєво важливу інформацію про поточний стан системи, але й надає операторам інструменти, необхідні для ефективного контролю, обслуговування та оптимізації фотоелектричної електрифікації. У міру розвитку технологій моніторингу очікується, що ці системи розвиватимуться, пропонуючи ще більш складні функції для постійно зростаючої сфери інтеграції відновлюваної енергії.

Оптимізація керування фотоелектричною потужністю передбачає нюансований підхід, який враховує як властиві характеристики фотоелектричних джерел, так і особливості обладнання для виробництва електроенергії. Ось ключові міркування та стратегії для досягнення оптимізованого контролю:

– Контроль максимального виходу:

Фотоелектрична енергія, яка характеризується відносною стабільністю, має найвищий пріоритет серед відновлюваних джерел енергії. Як правило, фотоелектричні установки працюють на максимальній вихідній потужності, забезпечуючи ефективне використання доступної сонячної енергії. Винятки трапляються, коли вироблена потужність перевищує попит, а системи зберігання енергії повністю заряджені. У таких випадках можуть бути реалізовані контрольовані коригування, щоб узгодити виробництво електроенергії з безпосередніми потребами.

– Контроль інверторної групи за ефективністю та якістю:

Фотоелектричні інвертори демонструють оптимальну ефективність і якість електроенергії при роботі в діапазоні 30–70% від їх номінального значення. Ефективність фотоелектричного інвертора тісно пов'язана з рівнем вхідної потужності. Робота при потужності, значно нижчій за номінальну, наприклад, нижче 20%, призводить до значного зниження ефективності та збільшення

сумарних гармонійних спотворень у вихідному струмі. І навпаки, коли вхідна потужність перевищує 80% від номінальної, ефективність може знизитися. Для вирішення цих міркувань ефективності в MicroGrid системах використовується групове керування фотоелектричними інверторами.

Керування групою фотоелектричних інверторів передбачає поділ фотоелектричних масивів на групи та розподіл постійного струму в фотоелектричній системі між кількома інверторами або централізованим інвертором через перемикач. Стратегія управління передбачає поступовий запуск інверторів вранці залежно від наявності сонячного світла. Коли один інвертор наближається до повного навантаження, активується інший, і цей процес продовжується. Увечері інвертори систематично вимикаються відповідно до зменшення потужності сонячних панелей. Ця стратегія контролю вимагає прогнозування в режимі реального часу змін сонячного світла, опадів і постійного моніторингу вхідної потужності протягом дня.

Крім того, коли вхідна потужність занадто низька, перемикач на стороні постійного струму використовується для консолідації всього постійного струму в один інвертор. Ця стратегічна консолідація допомагає запобігти значному зниженню ефективності інвертора через зниження споживаної потужності, підвищуючи загальну продуктивність фотоелектричної системи.

Підводячи підсумок, оптимізація контролю потужності PV передбачає баланс між максимізацією вихідної потужності та керуванням ефективністю інверторів. Розгортання розширених стратегій керування, таких як керування групою інверторів, не тільки забезпечує ефективне перетворення енергії, але й адаптується до змін сонячного світла та вимог до навантаження протягом дня. У міру розвитку технологій відновлюваної енергетики очікується, що ці механізми контролю розвиватимуться, надаючи все більш складні рішення для підвищення надійності та продуктивності фотоелектричних систем у MicroGrid.

2.2.2 Моніторинг мікротурбін та дизель генераторів

Моніторинг мікротурбін у режимі реального часу є важливим для забезпечення їх ефективної роботи та надійності в різних застосуваннях. Моніторинг мікротурбіни охоплює низку функцій, призначених для надання повної статистики, детального аналізу та ефективного контролю. Основні цілі моніторингу мікротурбіни викладені нижче:

– Моніторинг критичних робочих параметрів:

Мікротурбіни оснащені датчиками, які постійно збирають основні робочі параметри для оцінки їх продуктивності. Це включає моніторинг таких параметрів, як швидкість, приплив газу, тиск газу, тиск вихлопу, температура вихлопу, інтенсивність детонації та вміст кисню. Ці параметри служать життєво важливими індикаторами працездатності мікротурбіни, що дозволяє проводити оцінку в режимі реального часу та попереджувальні дії у відповідь на відхилення або потенційні проблеми.

– Моніторинг електричних параметрів:

Система моніторингу також зосереджується на електричних параметрах, включаючи напругу, струм, частоту, фазу та коефіцієнт потужності, як до, так і після підключення мікротурбіни до мережі. Ці параметри мають вирішальне значення для оцінки електричних характеристик мікротурбіни та забезпечення безперебійної інтеграції з мережею. Моніторинг електричних змінних у режимі реального часу дозволяє операторам швидко виявляти та усувати будь-які порушення, що сприяє стабільності та надійності мережі.

– Комплексний аналіз, управління та коригування:

Моніторинг мікротурбіни виходить за рамки збору даних, використовуючи складні інструменти аналізу. Це включає глибокий аналіз оперативних даних, що полегшує виявлення тенденцій, аномалій і потенційних областей для покращення. Крім того, система моніторингу забезпечує платформу для ефективного керування парком мікротурбін, дозволяючи операторам контролювати декілька установок одночасно. Можливість віддалено

регулювати робочий стан на основі аналізу в реальному часі додатково підвищує ефективність роботи та реагування на динамічні умови.

– Інтеграція з прогнозованим обслуговуванням:

Удосконалені системи моніторингу мікротурбіни часто включають можливості прогнозованого технічного обслуговування. Використовуючи алгоритми машинного навчання та історичні дані, ці системи можуть передбачати потенційні проблеми, перш ніж вони переростуть у критичні збої. Цей проактивний підхід до технічного обслуговування не тільки мінімізує час простою, але й оптимізує термін служби та надійність мікротурбін.

2.2.3 Моніторинг вітрових джерел живлення

Моніторинг енергії вітру відіграє ключову роль у забезпеченні ефективної та надійної роботи генераторів вітрових турбін. Моніторинг їх роботи та інформація про тривогу в режимі реального часу, зображена на рисунку 2.5, служить важливим елементом для комплексної статистики, аналізу та контролю вітроенергетичних систем.

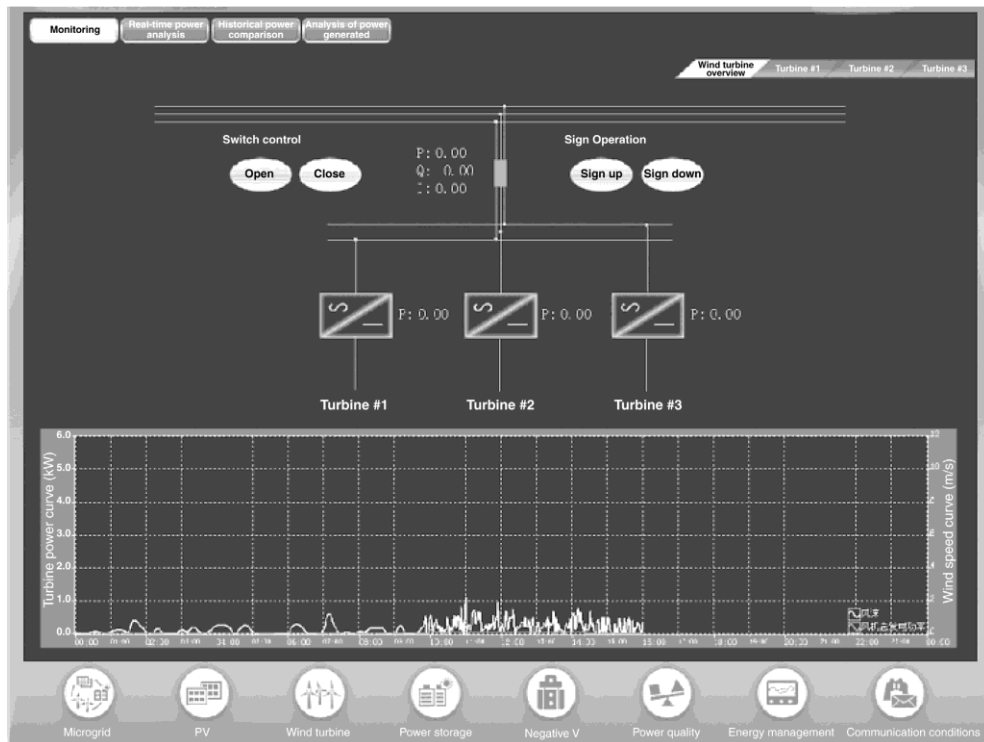


Рисунок 2.5 – Моніторинг і статистика вітрової енергії

Основні цілі моніторингу вітрової енергії охоплюють ряд критичних аспектів:

– Відображення показників потужності в реальному часі:

Системи моніторингу енергії вітру пропонують відображення в реальному часі основних показників потужності, включаючи загальну потужність, загальну добову вихідну потужність, сукупну вихідну потужність і 24-годинну криву вихідної потужності. Ця візуалізація в реальному часі надає операторам і аналітикам швидкий і вичерпний огляд продуктивності системи.

– Комплексний збір операційних даних:

Система моніторингу ретельно збирає безліч робочих даних від генераторів вітрових турбін. Це включає в себе трифазну напругу, трифазний струм, частоту мережі, коефіцієнт потужності, вихідну потужність, швидкість генератора, швидкість ротора, температуру обмоток генератора, температуру масла в коробці передач, температуру навколишнього середовища, температуру плати керування, знос і температуру механічних гальмівних накладок, скручування троса, вібрації гондоли, показань анемометра та положення флюгера. Цей обширний набір даних дає змогу проводити глибокий аналіз і проактивне планування технічного обслуговування.

– Прогнозування вихідної потужності:

Невід'ємною функцією моніторингу вітроенергетики є прогноз короткострокового та надкороткострокового вироблення електроенергії. Ці прогнозовані дані служать важливою основою для оптимізації диспетчеризації енергії, дозволяючи операторам мереж приймати обґрунтовані рішення щодо інтеграції енергії вітру в більшу енергетичну мережу.

– Керування інвертором і регулювання вихідної потужності:

Система моніторингу полегшує регулювання вихідної потужності та забезпечує механізми керування для запуску та зупинки інверторів. Ця можливість дозволяє точно налаштувати виробництво енергії вітру відповідно до коливань попиту та вимог мережі, сприяючи стабільності мережі та загальній ефективності.

Підсумовуючи, безперервний моніторинг вітряних турбінних генераторів у режимі реального часу не тільки забезпечує безперебійну роботу цих систем відновлюваної енергії, але й надає операторам та енергоменеджерам інформацію, необхідну для прийняття стратегічних рішень, планування технічного обслуговування та бездоганної інтеграції енергію вітру в ширший енергетичний ландшафт. У міру розвитку технологій ці системи моніторингу, ймовірно, розвиватимуться, щоб запропонувати ще більш складні можливості для підвищення продуктивності та надійності виробництва вітрової енергії.

Враховуючи притаманну мінливість вітрових ресурсів і робочі характеристики генераторів вітряних турбін, проблема управління коливанням потужності стає критично важливою мірою для забезпечення стабільності MicroGrid, що покладаються на енергію вітру. Щоб вирішити цю проблему, пропонується кілька інноваційних рішень:

- Центральний контролер MicroGrid для глобального моніторингу:

Центральний контролер MicroGrid відіграє ключову роль у пом'якшенні впливу коливань енергії вітру. Безперервно отримуючи глобальні дані вимірювань із системи MicroGrid, MGCC залишається пильним щодо значних коливань частоти або напруги. Після виявлення контролер негайно формулює та реалізує схеми керування для компенсації спостережуваних коливань, забезпечуючи тим самим постійну вихідну потужність. Цей механізм реагування в режимі реального часу має вирішальне значення для підтримки стабільності MicroGrid в умовах динамічного характеру виробництва вітрової енергії.

- Інтеграція НЕ для динамічного керування потужністю:

Система управління енергією MicroGrid обладнана для надсилання команд на вихідну потужність до вітрових інверторів у сценаріях, коли потужність систем НЕ обмежена, наприклад, коли стан заряду занадто малий або занадто великий. За допомогою цього механізму динамічного контролю вихідну потужність вітру можна тимчасово регулювати відповідно до енергетичних потреб MicroGrid. Контрольоване регулювання гарантує, що генератори

вітрових турбін підтримують постійну потужність, запобігаючи різким коливанням. Незважаючи на те, що ця стратегія накладає обмеження на максимальну потужність генераторів вітряних турбін протягом періоду налаштування, вона є важливою для стабілізації MicroGrid.

– Оптимізоване використання вітрових ресурсів:

Уточнений підхід передбачає відновлення максимальної потужності генераторів вітрових турбін після того, як вони стабілізуються на постійному рівні після контрольованих регулювань. Застосовуючи складні методи керування, генератори вітряних турбін можна поступово збільшувати до повної потужності, таким чином повністю використовуючи доступні вітрові ресурси. Крім того, у ситуаціях, коли виробництво енергії з відновлюваних джерел перевищує попит, використовується стратегічний підхід, який визначає пріоритет стабільності. Це передбачає тимчасове виведення з експлуатації генераторів вітряних турбін, гарантуючи підтримку максимальної фотоелектричної потужності для задоволення попиту, одночасно запобігаючи нестабільності мережі.

Ці запропоновані рішення підкреслюють важливість передових систем контролю та динамічних стратегій управління для пом'якшення проблем, пов'язаних із властивою мінливістю вітрової енергії в MicroGrid. Використовуючи моніторинг даних у режимі реального часу, механізми динамічного контролю потужності та оптимізоване використання ресурсів, ці стратегії сприяють загальній стабільності та надійності MicroGrid, які залежать від енергії вітру. Оскільки технологічний прогрес продовжується, очікується, що ці рішення розвиватимуться, пропонуючи ще більш витончені підходи до вирішення складнощів інтеграції відновлюваної енергії в MicroGrid.

2.2.4 Моніторинг навантаження

Комплексний моніторинг навантажень відіграє ключову роль в ефективному управлінні та контролі електричних систем.

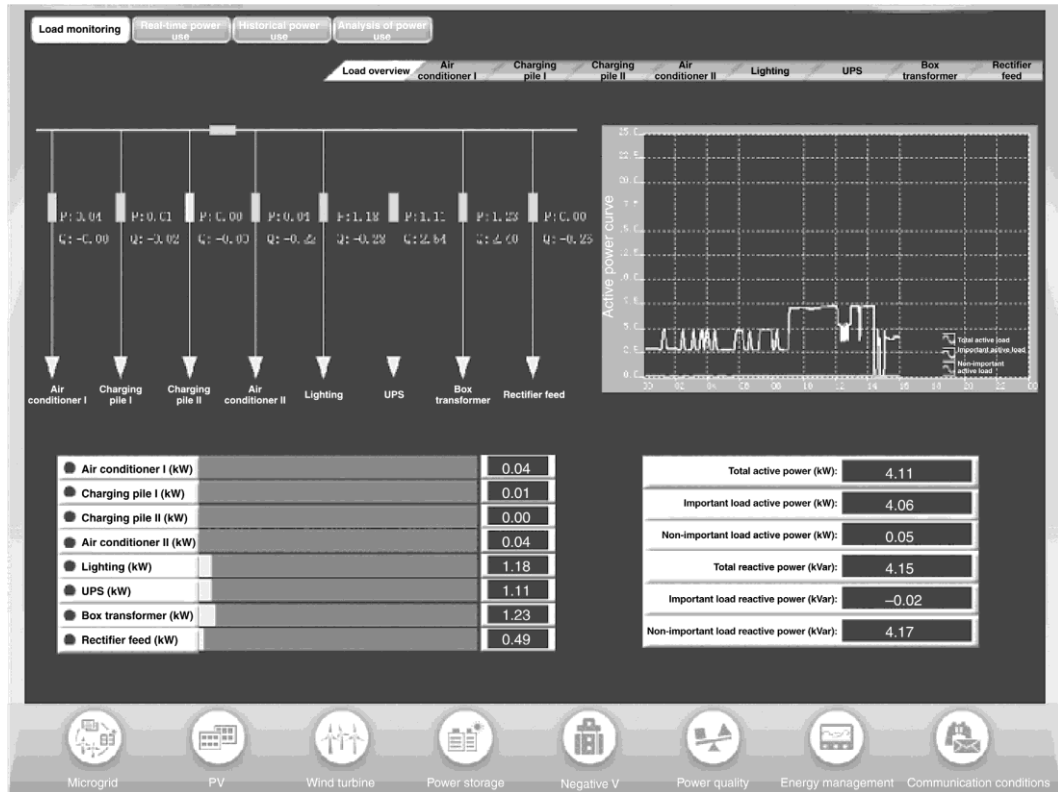


Рисунок 2.6 – Моніторинг навантаження

Системи моніторингу навантаження, як показано на малюнку 2.6, призначені для надання загальної статистики, детального аналізу та функцій контролю в реальному часі. Основні цілі моніторингу навантаження включають:

- Точне вимірювання параметрів навантаження:

Моніторинг навантаження передбачає постійне вимірювання критичних параметрів навантаження, включаючи напругу навантаження, струм, активну потужність, реактивну потужність і повну потужність. Ці вимірювання дають суттєве уявлення про електричні характеристики навантаження, полегшуючи розуміння умов його роботи в реальному часі.

- Запис і аналіз подій навантаження:

Системи моніторингу навантаження обладнані для реєстрації та аналізу значних подій навантаження. Це включає в себе фіксацію максимального навантаження та часу його появи, часу появи максимальної трифазної напруги та часу появи максимального трифазного коефіцієнта потужності. Крім того, системи моніторингу навантаження здатні надавати статистичні дані та безперервний моніторинг рівня прийнятності напруги та часу виникнення знеструмлення. Ці записані події служать цінними даними для аналізу тенденцій, дозволяючи ідентифікувати закономірності та потенційні області для вдосконалення управління навантаженням.

– Механізми попередження та сповіщення:

Системи моніторингу навантаження включають механізми попередження для виявлення та сповіщення операторів у разі перевантаження. Система надає сповіщення в режимі реального часу, дозволяючи операторам вживати швидких заходів, щоб запобігти пошкодженню обладнання або системним збоям. Крім того, система моніторингу навантаження дозволяє запитувати історичну криву, надаючи візуальне представлення змін навантаження з часом. Оператори також можуть створювати докладні звіти та отримувати доступ до історичних даних про події для поглибленого аналізу та прийняття рішень.

– Отримання історичних даних і звітування:

Системи моніторингу навантаження полегшують пошук історичних даних, дозволяючи операторам запитувати та аналізувати поведінку минулих навантажень. Ця історична перспектива допомагає у визначенні тенденцій і може бути важливою для прийняття обґрунтованих рішень щодо стратегій управління навантаженням. Створення вичерпних звітів дозволяє детально аналізувати продуктивність навантаження та допомагає оптимізувати загальну ефективність системи.

2.3 Інформаційні системи моніторингу

2.3.1 Використання IoT

Інтеграція збору й аналізу даних IoT у системи управління енергією Microgrid знаменує собою ключовий прогрес, який обіцяє суттєве підвищення ефективності роботи. Зокрема, комунальні підприємства отримають численні переваги, використовуючи технології IoT, що дозволить їм оптимізувати операційні завдання. Це включає в себе скорочення часу розслідування відключень, вдосконалення балансування навантаження, підвищення напруги в мережі, локалізацію дефектів, економію коштів і прискорення відновлення обслуговування.

Адаптивність і надійність Smart MicroGrid отримали додаткові покращення завдяки впровадженню технологій IoT у різних компонентах, таких як розумні будинки, системи накопичення енергії, електромобілі, зарядні станції та управління коливаннями навантажень. Ця конвергенція не тільки оптимізує продуктивність окремих компонентів, але й сприяє загальній стійкості та надійності MicroGrid.

Стратегічне використання технологій IoT сприяє управлінню попитом, збору даних, а також обміну та торгівлі енергією. Цей цілісний підхід має потенціал для значного підвищення енергоефективності. Щоб вирішити проблеми, пов'язані з управлінням енергією та збереженням, впровадження ідеальної системи управління попитом на основі IoT стає обов'язковим. Цей метод спрямований не тільки на запобігання стрибків напруги, але й на забезпечення стабільного та надійного енергопостачання.

У структурі MicroGrid інтегровано ряд датчиків, включаючи датчики струму, напруги, потужності та температури. Ці датчики відіграють вирішальну роль у зборі даних у реальному часі, надаючи важливу інформацію для визначення оптимальних стратегій керування на основі таких факторів, як зайнятість, споживання енергії та виробництво енергії та метеорологічні

умови. Крім того, ці дані зберігаються для подальших досліджень, зокрема для розробки методів прогнозного контролю.

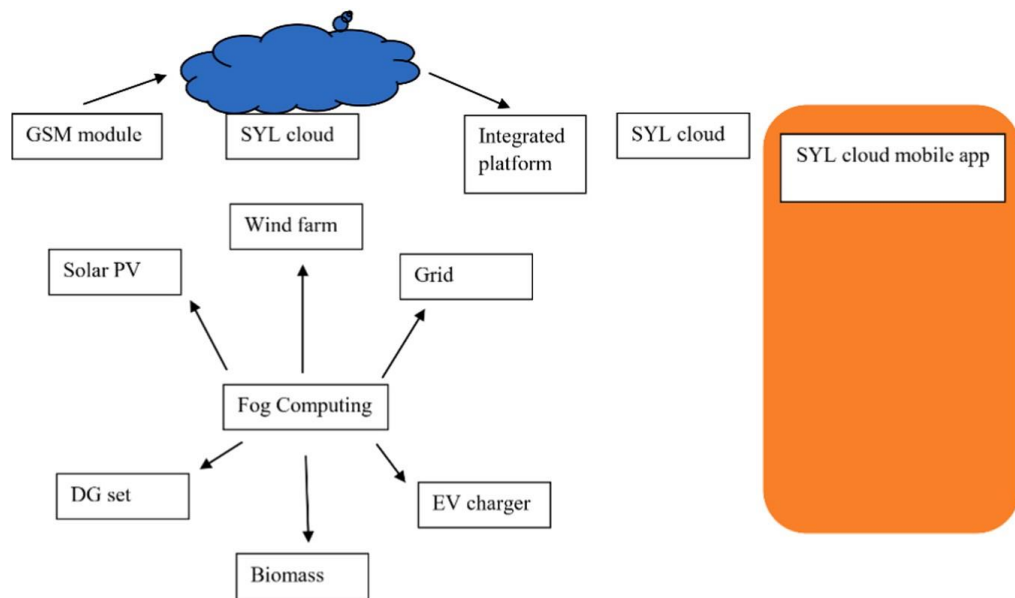
Кілька платформ, які включають технології IoT, полегшують збір, обробку та візуалізацію даних. Сучасна розумна MicroGrid включає електронну комунікаційну мережу, електронну систему виставлення рахунків і інтелектуальні лічильники. У міру просування до 5G інтелектуальна MicroGrid буде розвиватися, щоб включати автоматизований розподіл, безпечне адміністрування розподілених енергетичних ресурсів і балансування навантаження в реальному часі для генерації послуг.

Настання ери 5G означає зосередження уваги на автоматичному виробництві та розподілі електроенергії в розумній MicroGrid. Балансування навантаження в режимі реального часу та масово розосереджені генеруючі послуги стають ключовими пріоритетами, сприяючи більш динамічній та чутливій енергетичній екосистемі. Роль IoT у моніторингу та відстеженні важливих даних поширюється на різні програми, включаючи розумні мережі, MicroGrid, інтелектуальні будівлі та пристрої керування.

Оскільки технологічний прогрес продовжується, очікується, що інтеграція IoT у системи MicroGrid розвиватиметься далі, пропонуючи все більш складні можливості. Цей трансформаційний підхід не тільки підвищує ефективність і надійність управління енергією MicroGrid, але й закладає основу для більш стійкого та стійкого енергетичного майбутнього.

2.3.2 Використання хмарних технологій

Окремий метод моніторингу MicroGrid заснований на хмарному зв'язку між джерелами живлення та платформою моніторингу. Цей підхід, проілюстрований на рисунку 2.7, включає вимірювальне обладнання, яке надсилає вимірні дані безпосередньо в хмару.



Рисунку 2.7 – Хмарна система моніторингу MicroGrid

Інтеграція IoT і хмарних обчислень демонструє взаємні переваги, зокрема в управлінні послугами IoT і наданні програм для ефективного аналізу даних. Ця хмарна система моніторингу, яку цінують завдяки високоякісним можливостям передачі даних, працює в режимі реального часу, використовуючи віддалений хмарний сервер для покращення глобального механізму контролю мережевих енергосистем.

Інтеграція хмарних рішень у моніторинг MicroGrid започаткувала зміну парадигми в управлінні та оптимізації децентралізованих енергетичних систем, доповнивши операційну структуру безпрецедентною масштабованістю, гнучкістю та економічною ефективністю. Обробка даних у режимі реального часу, відмінна функція, надає MicroGrid можливості миттєвого прийняття рішень і адаптивної реакції на динамізм енергетичних умов. Зміцнення заходів безпеки забезпечує захист конфіденційної інформації мережі, тим самим зміцнюючи надійність і цілісність екосистем MicroGrid.

Однак ця інноваційна інтеграція не позбавлена проблем. Постійні занепокоєння щодо конфіденційності та безпеки даних вимагають впровадження суворих заходів для пом'якшення потенційної вразливості. Виникнення проблем із затримкою, пов'язаних із фізичним відокремленням

між хмарними центрами обробки даних і компонентами MicroGrid, вимагає стратегічних рішень. Інтеграція хмарних рішень із існуючими застарілими системами та протоколами зв'язку створює проблеми сумісності, що змушує операторів MicroGrid вивчати стратегії гармонізації.

Тематичні дослідження підкреслюють ефективність хмарних технологій у сприянні моніторингу в режимі реального часу, прогнозного обслуговуванні та безперебійній координації управління енергією в MicroGrid, що є прикладом практичної реалізації цих складних рішень у реальних сценаріях.

Дивлячись у майбутнє, об'єднання периферійних обчислень із хмарними технологіями постає як стратегічна ініціатива для розв'язання проблем затримки, сприяючи розподіленому обчислювальному підходу. Поєднання алгоритмів штучного інтелекту і машинного навчання розширює аналітичні можливості, забезпечуючи проактивне виявлення аномалій і прогнозоване обслуговування в інфраструктурах MicroGrid. Поява мереж 5G підіймати комунікаційні можливості на нові висоти, забезпечуючи оперативну передачу даних у реальному часі для додатків моніторингу та керування, тим самим культивуючи підвищену оперативність реагування в екосистемах MicroGrid.

Підсумовуючи, конвергенція хмарних технологій із моніторингом MicroGrid є передовим прогресом, що дає такі переваги, як масштабованість, обробка в реальному часі та підвищена безпека. Попри труднощі, емпіричні дані з тематичних досліджень підкреслюють доцільність цієї інтеграції, тоді як майбутні тенденції передбачають траєкторію до більш складних, керованих штучним інтелектом, та інтегрованих рішень. Оскільки MicroGrid розвиваються, стратегічне використання хмарних технологій залишається невід'ємним для створення стійкої, ефективної та сталої енергетичної інфраструктури меншого масштабу, пронизаної науковою точністю та інноваціями.

2.4 Види моніторингу

2.4.1 Моніторинг балансу потужності

У контексті роботи, підключеної до мережі, MicroGrid зазвичай відчуває необмежену генерацію та споживання. Макромережа втручається, надсилаючи замовлення на виробництво або споживання MicroGrid лише за необхідності, таким чином контролюючи динаміку обміну електроенергією між двома мережами. Зокрема, під час роботи в мережі макромережа, керуючись економічним аналізом, передає значення параметрів обміну електроенергією в MicroGrid для забезпечення оптимізованої роботи.

Потім система управління енергією в MicroGrid бере на себе управління, дотримуючись заданих значень налаштувань. Це передбачає точний контроль над потужністю джерел розподіленої генерації (DG) і циклами зарядки та розрядки систем зберігання енергії (ES). Такі ретельні механізми контролю розроблені для підтримки робочої цілісності MicroGrid при дотриманні економічно оптимізованого курсу обміну електроенергією.

Системі енергоменеджменту необхідно враховувати унікальні характеристики кожного джерела DG під час визначення потужності різних джерел DG на основі значень налаштування обміну потужністю. Крім того, міркування повинні поширюватися на характеристики відповіді керування, властиві системі енергоменеджменту. Цей комплексний підхід гарантує безперебійну роботу MicroGrid в межах встановленого курсу обміну електроенергією, встановлюючи гармонійний баланс між безпекою та економічною ефективністю.

У підключеному до мережі режимі MicroGrid зовнішня мережа бере на себе відповідальність за забезпечення постійної підтримки напруги та частоти. Як правило, мережа працює без застосування спеціальних заходів контролю мікросистеми.

У певних сценаріях мережа може передбачити певні вимоги до обміну електроенергією між собою та MicroGrid. Це вимагає безперервного

моніторингу потоку електроенергії через точку загального з'єднання (РСС). Якщо в будь-який момент фактичний обмін електроенергією значно відхиляється від попередньо визначених налаштувань, визначених мережею, Центр управління MicroGrid (MGCC) повинен вжити коригувальних заходів.

У відповідь на суттєві відхилення між фактичними та встановленими значеннями обміну електроенергією MGCC доручається приймати стратегічні рішення. Це може включати відключення певних навантажень або генераторів від MicroGrid або, навпаки, повторне підключення навантажень або генераторів, які раніше були ізольовані від MicroGrid. Основною метою є мінімізація відхилення та узгодження фактичного обміну електроенергією з попередньо визначеними налаштуваннями мережі.

Розрахунок відхилення фактичного обміну електроенергією від заданого значення відбувається за точною методологією. Цей комплексний підхід гарантує, що MicroGrid працює разом із специфікаціями мережі, сприяючи гармонійному та синхронізованому обміну енергією.

Відхилення фактичного обміну потужністю від заданого значення розраховується наступним чином:

$$\Delta P^{(t)} = P_{PCC}^{(t)} - P_{plan}^{(t)} \quad (2.1)$$

де $P_{plan}^{(t)}$ означає значення налаштування обміну активною потужністю, що надсилається з мережі до мікромережі в момент часу t , а $P_{PCC}^{(t)}$ – активну потужність, що протікає через РСС в момент часу t .

Якщо $\Delta P^{(t)} > -\varepsilon$, у мікромережі є дефіцит потужності, і MGCC потрібно повторно підключити генератори, які раніше були відключені до мікромережі, або відключити деякі менш важливі навантаження від MicroGrid; якщо $\Delta P^{(t)} < -\varepsilon$, у мікромережі є надлишок потужності, MGCC має повторно підключити навантаження, які раніше були відключені до MicroGrid, або відключити деякі джерела DG, які виробляють електроенергію з вищою ціною.

Під час переходу від мережевого режиму до автономного режиму настає критичний момент, коли електроенергія, що протікає через точку загального з'єднання (РСС), раптово припиняється. Залежно від напрямку цього потоку електроенергії безпосередньо перед переходом, MicroGrid може зіткнутися або зі значним дефіцитом електроенергії, або з надлишком відразу після переходу в острівний режим. Цей сценарій підкреслює потенційну вразливість MicroGrid, особливо коли вона стикається з раптовою втратою або притоком електроенергії під час процесу переходу.

Раптова втрата електроенергії з мережі, типова для цієї фази, часто призводить до вираженого дефіциту в MicroGrid. Якщо аварійні заходи контролю не будуть негайно реалізовані на початку автономної роботи, MicroGrid стикається з неминучим ризиком різкого зниження частоти. Це зниження запускає захисні заходи, що призводять до відключення певних джерел розподіленої генерації. Згодом MicroGrid відчуває загострення дефіциту електроенергії, подальше зниження частоти, захисне відключення додаткових джерел РГ і, зрештою, розпад MicroGrid.

Щоб забезпечити стійку острівну роботу MicroGrid протягом тривалого періоду, стає обов'язковим запровадити контрольні заходи саме в той момент, коли MicroGrid відокремлюється від мережі. Ці заходи контролю необхідні для підтримки делікатного балансу потужності в MicroGrid, запобігаючи каскаду подій, які можуть призвести до краху системи. Таким чином, стратегічне впровадження заходів контролю є критично важливим аспектом забезпечення стійкості та стабільності MicroGrid під час автономної роботи.

У разі дефіциту потужності на самому початку автономної роботи необхідно негайно відключити всі або деякі менш важливі навантаження (або навіть деякі важливі навантаження) і збільшити вихід накопичувача енергії; у разі надлишку електроенергії необхідно негайно зменшити вихід накопичувачів енергії або навіть відключити деякі з розподілених джерел генерації. Це швидко відновить MicroGrid до балансу потужності.

Миттєвий дефіцит (або надлишок, залежно від випадку) у MicroGrid дорівнює потужності, що протікає через P_{CC} перед розділенням.

$$P_{qe} = P_{PCC} \quad (2.2)$$

P_{PCC} виражається як позитивне число, якщо потужність перетікає з мережі в мікромережу і навпаки. P_{qe} більше 0 вказує на дефіцит електроенергії в MicroGrid в момент відокремлення; а P_{qe} менше 0 вказує на надлишок потужності.

Оскільки накопичувачі енергії призначені для забезпечення безперебійного живлення важливих навантажень протягом певного періоду в ізольованому режимі, застосовуються такі принципи балансу потужності в момент відокремлення, згідно з якими спочатку відключаються менш важливі навантаження за припущення, що вихід усіх зберігання енергії дорівнює 0, потім вихід накопичувача енергії регулюється, і, нарешті, деякі важливі навантаження скидаються, якщо необхідно.

2.4.2 Моніторинг частоти

Моніторинг частоти є життєво важливим компонентом у сфері енергосистем, що забезпечує стабільність і надійність. Частота електромережі відображає тонкий баланс між виробництвом і споживанням електроенергії, причому відхилення від стандартної частоти можуть призвести до серйозних наслідків. Я намагався заглибитись в суть моніторингу частоти, методики, що застосовуються для моніторингу, і ключову роль, яку він відіграє в підтримці безперебійної роботи електромереж.

У MicroGrid, яка часто об'єднує відновлювані джерела енергії та працює як більш локалізований і незалежний енергетичний суб'єкт, моніторинг частоти набуває додаткового значення. Динамічний характер розподілених

енергетичних ресурсів і переривчастих відновлюваних джерел вимагає ретельного нагляду за частотою, щоб запобігти дисбалансам та збоям.

MicroGrid можуть розгортати локалізовані одиниці вимірювання фазора для вимірювання векторів напруги та струму в системі.

Ці пристрої надають дані в реальному часі для точного моніторингу частоти, що дозволяє швидко реагувати на відхилення.

На відміну від великих мереж, MicroGrid часто використовують децентралізовані системи керування, які постійно відстежують і регулюють частоту в різних точках мережі.

Цей локалізований контроль дозволяє швидко реагувати на зміни у виробництві або споживанні електроенергії.

Розумні інвертори та системи накопичення енергії, звичайні компоненти MicroGrid, відіграють певну роль у регулюванні частоти.

Інтелектуальні інвертори можуть регулювати частоту, регулюючи вихідну потужність, тоді як системи накопичення енергії можуть забезпечувати або поглинати електроенергію для підтримки стабільності частоти.

MicroGrid можуть навмисно від'єднатися від основної мережі (острівне) або повторно підключитися на основі міркувань частоти.

Моніторинг частоти керує цими переходами, щоб забезпечити безперебійний і контрольований процес.

Оскільки MicroGrid часто інтегрують відновлювані джерела, моніторинг частоти стає критичним для управління мінливістю цих джерел.

Це допомагає підтримувати стабільну частоту, незважаючи на коливання виробництва енергії з відновлюваних джерел.

У контексті MicroGrid моніторинг частоти стає основою стабільності та адаптивності. Інтеграція локалізованих технологій моніторингу в поєднанні з інноваційними стратегіями управління гарантує, що MicroGrid зможуть ефективно долати виклики, пов'язані з різноманітними джерелами енергії та змінними навантаженнями. Оскільки технології MicroGrid продовжують

розвиватися, роль моніторингу частоти залишається першорядною в організації гармонійної та стійкої енергетичної екосистеми.

2.4.3 Моніторинг напруги

Моніторинг напруги є важливим аспектом управління електричною стабільністю в системах MicroGrid. У MicroGrid, які часто включають різні розподілені енергетичні ресурси і різноманітні навантаження, підтримка стабільних рівнів напруги є важливою для належного функціонування підключених пристроїв і обладнання.

Методи моніторингу в MicroGrid зазвичай включають використання датчиків напруги, стратегічно розміщених у системі, що забезпечують безперервні вимірювання. PMU пропонують синхронізовані вимірювання векторів напруги, що забезпечує точний моніторинг у реальному часі. Системи диспетчерського контролю та збору даних також використовуються для централізованого контролю, збору та обробки даних з різних датчиків.

Роль моніторингу напруги в стабільності MicroGrid багатогранна. Він забезпечує роботу підключених пристроїв у визначених межах напруги, активуючи захисні заходи у разі різких відхилень. У MicroGrid із декількома DER підтримка синхронних рівнів напруги має вирішальне значення для стабільності мережі, а моніторинг напруги допомагає відповідно регулювати виходи DER.

Проблеми моніторингу напруги включають коливання, викликані відновлюваними джерелами, і потребу в стійкості мережі під час збоїв. Інновації зосереджені на пом'якшенні коливань за допомогою розширених алгоритмів керування та підвищення швидкості виявлення несправностей.

Майбутні тенденції моніторингу напруги передбачають інтеграцію пристроїв IoT для децентралізованого збору даних, підвищення деталізації даних про напругу. Алгоритми машинного навчання все частіше

використовуються для виявлення аномалій, аналізу історичних даних про напругу для виявлення потенційних порушень до їх ескалації.

Таким чином, ключова роль моніторингу напруги в MicroGrid стає фундаментальною опорою, що підкреслює його беззаперечну важливість у сфері стабільності роботи, захисту пристроїв і всеосяжної стійкості мережевої інфраструктури. Оскільки ми спостерігаємо постійну еволюцію технологій MicroGrid, яка характеризується засвоєнням найсучасніших датчиків, складних комунікаційних технологій і розгортанням прогнозної аналітики, моніторинг напруги стверджує себе як невід’ємна та важлива частина.

Висновки до розділу 2

- Дослідження структури систем моніторингу в MicroGrid з’ясовує складність і взаємозв’язок різних компонентів. Підсумовуючи розділ, стає очевидним, що ефективна система моніторингу має вирішальне значення для забезпечення оптимальної продуктивності та надійності елементів MicroGrid. Багаторівнева структура, що охоплює різноманітні компоненти моніторингу, створює основу для комплексного нагляду та контролю.

- Детальний аналіз функцій моніторингу, характерних для елементів MicroGrid, таких як джерела сонячної енергії, мікротурбіни, дизель-генератори, вітрові джерела та навантаження, показує важливість збору та аналізу даних у реальному часі.

- Вивчення використання IoT і хмарних технологій у моніторингу інформаційних систем підкреслює роль передових технологій у покращенні збору, зберігання та аналізу даних. Підсумовуючи цей розділ, інтеграція IoT і хмарних технологій оптимізує доступність даних, масштабованість і швидкість реакції системи. Технології IoT забезпечують безперебійний зв’язок між елементами MicroGrid, сприяючи розширеному контролю та ухваленню рішень.

- Класифікація моніторингу за балансом потужності, частотою та моніторингом напруги забезпечує структурований підхід до контролю за продуктивністю MicroGrid. Можемо зробити висновки, що свідчать про те, що багатогранна стратегія моніторингу є важливою для підтримки стабільності мережі, оптимізації розподілу електроенергії та запобігання потенційним проблемам.

3. SMART-МОНІТОРИНГ ВІТРОВИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Для моніторингу обрана система Microgrid, яка працює в острівному показана на рисунку 3.1 (PV – сонячна панель, W – вітрогенератор, AC/DC – випрямляч, DC/DC – перетворювач, DC/AC – інвертор, В – акумулятор).

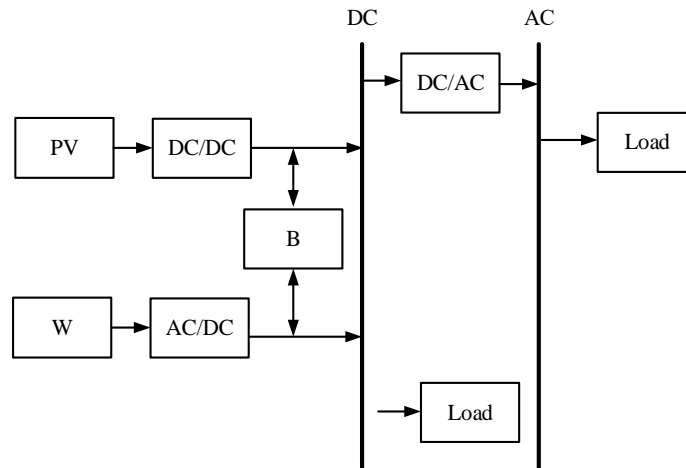


Рисунок 3.1 – Архітектура Microgrids

Споживачі можуть під'єднуватися як до шин постійного струму та і до шин змінного струму.

Для працездатності системи, в ній повинен виконуватися баланс потужності

$$P_n + P_b = P_w + P_{pv} \quad (3.1)$$

Система керування відбором енергії працює наступним чином: Вся сонячна енергія P_{pv} передається в навантаження, якщо її недостатньо використовується енергія вітру P_w . Надлишок енергії вітру віддається до акумуляторної батареї:

$$\Delta P_w = P_w - (P_n - P_{pv}) \quad (3.2)$$

Якщо енергії від відновлювальних джерел недостатньо для покриття

потреб навантажень, то використовується енергія з акумуляторної батареї.

Ситуація коли навантаження перевищує можливі сумарні потужності генераторів та акумулятора є аварійним. При ньому частина навантажень відмикається.

Датчики становлять основну систему, яка може контролювати та обчислювати різні параметри для оптимального представлення стану споживання на різних рівнях, від окремого домогосподарства до складних об'єднаних мереж. Сучасний рівень вимірювання енергії розвивається з новими параметрами та парадигмами, а методи продовжують розвиватися, вимагаючи вдосконалення обчислень і зв'язку, які, як правило, не відстають від цього прогресу. Це являє собою наступний компонент сенсорного вузла на фізичному рівні, обчислювальну та комунікаційну інфраструктуру.[4]

3.1 Математичний опис системи

3.1.1 Вітрогенератор

Вітрова енергія в реальному часі має стохастичний характер через зміну швидкість вітру та може бути змодельована і представлена різними функціями.

Потужність вітроустановки у будь-який час $P_w(t)$ протягом року розраховується виходячи з місцевих погодних умов і залежить від швидкості вітру:

$$P_w(t) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & v_w(t) < v_{wmin} \\ P_{Rw} \left(\frac{(v_w(t) - v_{ci})}{v_r - v_{ci}} \right) & v_{ci} \leq v_w(t) < v_r \\ P_{Rw} & v_r \leq v_w(t) < v_{co} \\ 0 & v_w(t) \geq v_{co} \end{array} \right\} \quad (3.3)$$

де P_{Rw} – номінальна потужність вітрової турбіни, кВт;

$v_w(t)$ – поточне значення швидкості вітру, м/с,

v_{wmin} – мінімальне значення вітру, м/с;

v_{ci} – швидкість включення вітрової турбіни, м/с;

v_r – номінальна швидкість вітрогенератора, м/с;

v_{co} – швидкість відсікання вітрової турбіни, м/с.

Миттєва потужність вітрогенератора з горизонтальною віссю обертання (на прикладі ідеального вітроколеса) може бути визначена за виразом

$$P_{Rw} = \frac{\eta K \rho^3 \pi v_w(t) D^2}{8} \quad (3.4)$$

де η – ККД генератора,

K – коефіцієнт використання енергії вітру,

ρ – щільність повітря, кг/м³,

D – діаметр вітроколеса, м.

Для отримання максимальної потужності із вітру, швидкість ротора турбіни повинна бути змінена пропорційно швидкості вітру. Це вимагає роботи зі змінною швидкістю. Вітрові турбіни з регульованою швидкістю мають багато переваг у порівнянні з тими які працюють з фіксованою, такі як підвищене захоплення енергії, робота на максимальній потужності, підвищена ефективність і якість електроенергії. Застосування вітряних трибун з фіксованою швидкістю зазвичай не є кращим рішенням через їх низькі характеристики .

Сучасні ВЕУ можуть мати два основних робочих режиму це робота з постійною або змінною швидкістю обертання ротора вітроколеса, при цьому принципи управління ВЕУ залежать від того, в якій зоні вони працюють. Виділяють три основні зони роботи ВЕУ. Ці зони відзначені на енергетичній характеристиці (рис.3.2).

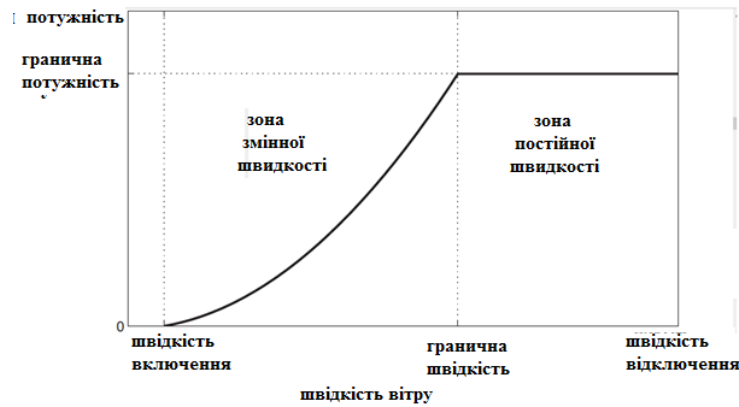


Рисунок 3.2 – Енергетична характеристика ВЕУ

ВЕУ працюють від швидкості включення до швидкості відключення, як показано на рисунку. Уловлювання енергії збільшується в області змінної швидкості до тих пір, поки не буде досягнута робоча межа, потім кривизна згладжується під дією приводу кроку лопатей, і система працює з постійною швидкістю. Така система управління дозволяє виробляти максимально можливу потужність ВЕУ в режимі робочих вітрів і номінальну – в режимі обмежень, захищаючи генератор від перевантаження.

3.1.2 Акумуляторна батарея

З точки зору ефективності заряду акумуляторних батарей за час At_3 , оптимальним буде діапазон від 0 до 65-68% від ємності батареї. Далі здатність АБ акумулювати електричну енергію знижується і, відповідно, знижується ефективність використання акумуляторної батареї. Сучасні свинцеві акумуляторні батареї досить стійкі до циклів з глибоким розрядом і розряд до 10% від номінальної місткості не істотно впливає на термін служби та характеристики роботи акумуляторних батарей. Більш глибокий розряд хоч і зменшує термін служби АБ: з одного боку, але дозволяє більш повно та ефективно використовувати доступну місткість АБ, з іншого боку, що загалом дає позитивний економічний ефект. Хронічний недозаряд акумуляторної батареї сприяє прискореному зношуванню пластин і, відповідно, скорочення

терміну експлуатації АБ, але здатність приймати енергію різко знижується після 68% заряду акумуляторної батареї. У звичайному режимі АБ не повинно заряджатися понад 70-80% і має відключатися для економії палива.

Вихідна потужність від DG і вимога навантаження на будь-якому даному інтервалі вибірки визначають, заряджається чи розряджається акумулятор. Динаміка SOC батареї (стан заряду) може бути виражена в області дискретного часу за допомогою різницевого рівняння першого порядку наступним чином:

$$SOC_{(j+1)} = SOC_{(j)} - t_S \frac{\eta_{Bat}}{E_{nom}} \times P_{Bat(j)} \quad (3.5)$$

де: SOC – рівень заряду батареї; η_{Bat} – ефективність зарядки або розрядки акумулятора; E_{nom} — це номінальна енергія акумуляторної системи, P_{Bat} — потужність, що надходить від акумуляторної системи.

За допомогою індукційних міркувань динаміку стану заряду батареї на j -му інтервалі вибірки можна виразити через її початкове значення $SOC_{(0)}$ таким чином:

$$SOC_{(j)} = SOC_{(0)} - t_S \frac{\eta_{Bat}}{E_{nom}} \sum_{i=1}^j P_{Bat(i)} \quad (3.6)$$

3.1.3 Сонячні панелі

Коли світло потрапляє на елемент з кремнію, арсеніду галію або сульфіду кадмію, через фотоелектричний ефект генерується електричний струм. Номінальна потужність фотоелектричної панелі виражається у Вт (пікові Вт) і вказується в «стандартних умовах випробування», проведених при температурі 25 °C і опроміненні 1000 Вт/м². Вихідна потужність сонячної фотоелектричної системи може бути виражена таким чином:

$$P_{PV} = A_{PV} \times \eta_{PV} \times \int_{t_0}^t I(t) \times f(t) \times dt \quad (3.7)$$

де: A_{PV} – загальна площа фотоелектричного генератора (m^2); η_{PV} – ККД модуля; I — погодинна інтенсивність випромінювання ($кВт \cdot год / m^2$), а $f(t)$ — щільність випромінювання.

Розроблено програмне забезпечення, яке розподіляє потужності по генератором згідно системи керування відбором енергії та проводить моніторинг стану вітрогенератора.

Результати розрахунків наведені нижче. На рисунку представлені добові графіки сонячної та вітрової енергії(рис.3.3):

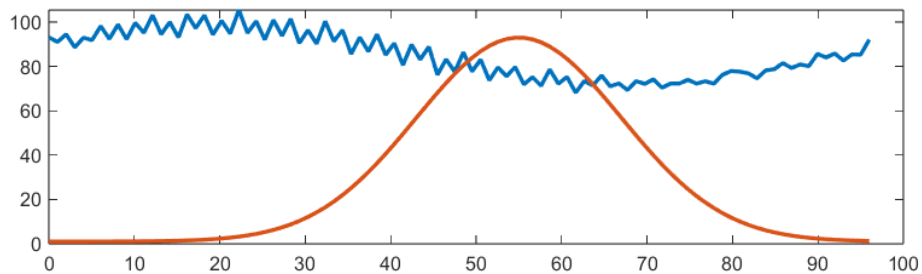


Рисунок 3.3 – Добові графіки відновлювальних джерел

Добовий графік навантаження задано у вигляді ступінчатої функції на 96 інтервалах по 15 хвилин кожний(рис.3.4):

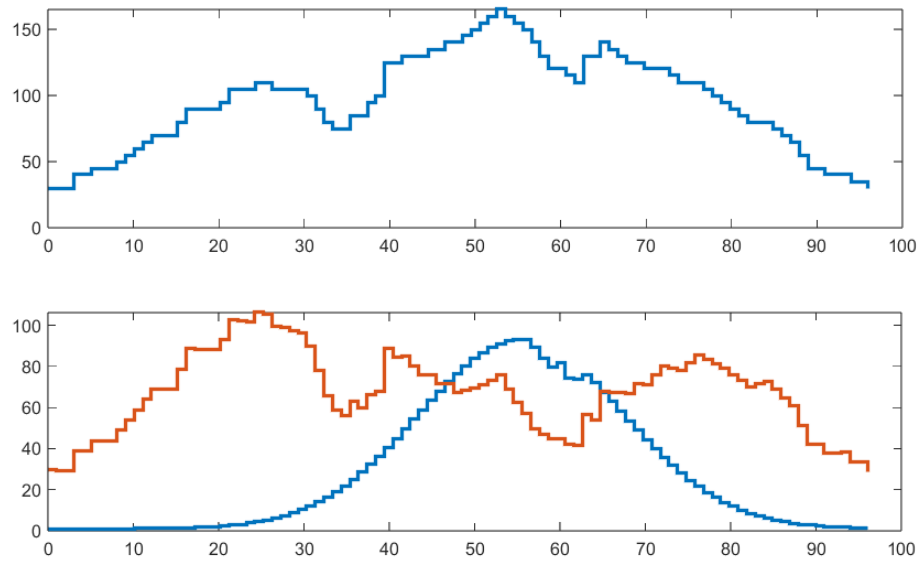


Рисунок 3.4 – Добовий графік (а) навантаження та розподіл потужності по генераторам (б)

Для іншого виду добового графіка навантаження побудовані криві розподілу потужностей(рис.3.5):

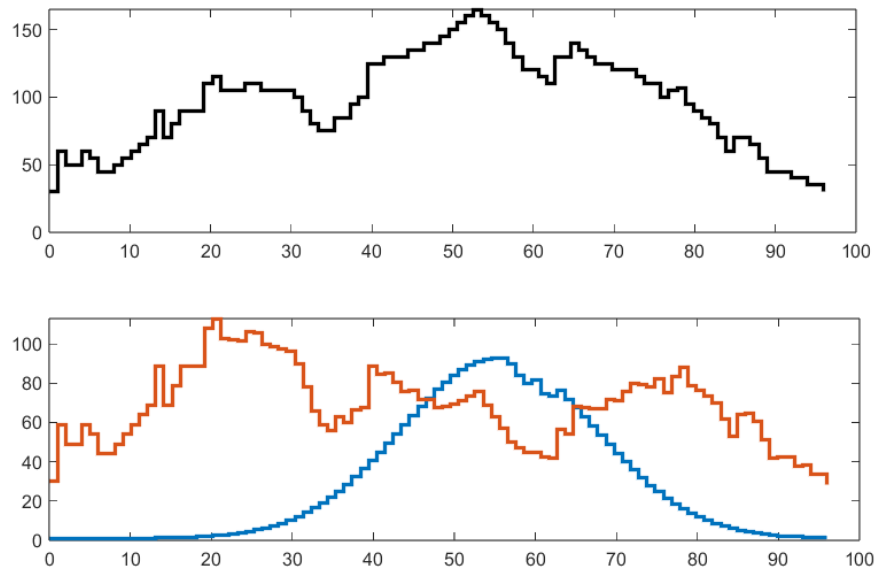


Рисунок 3.5 – Добовий графік (а) навантаження та розподіл потужності по генераторам (б)

3.2 Застосування Smart-моніторингу вітрогенератора при формуванні тарифу

Економічні сигнали подаються умовами попиту та пропозиції на ринках електроенергії. Зокрема, умови попиту та пропозиції забезпечують орієнтацію економічних сигналів на різні часові масштаби, наприклад, у режимі реального часу для мікрогенерації та в середньостроковій та довгостроковій перспективі для оптових ринків енергії.

Стимули надаються елементами, які надаються урядом та/або державними компаніями через схеми зниження ставок згідно з державною політикою, наприклад, субсидії в сезони сильної спеки чи холоду, підтримка маргінальних секторів економіки, ефективне використання енергії, сприяння використанню відновлюваних джерел енергії, реагування на попит.

Системи Smart-моніторингу вимірює та реєструє споживання пристроїв/навантажень, а також енергію, вироблену розосередженими джерелами. Це генерує енергетичні операції двох типів: споживання і виробництво.

У разі відсутності виробництва електроенергії або перебоїв у генерації можна використовувати генерацію електроенергетичної компанії. Навпаки, коли є надлишок, створений споживачами, вони можуть продавати надлишок енергії, якщо він відповідає критеріям якості енергії та механізмам контролю, отриманим з економічних сигналів. У випадку, коли існують системи зберігання, енергію можна зберігати; інакше його доведеться вводити в електричну мережу або викидати на узгоджені специфікації смарт-контракту.

Тарифи за часом використання представлені як високоефективні програми реагування на попит для Microgrid з джерелами розосередженої генерації. Тарифи, що змінюються з часом, дозволяють реагувати на попит на ринку. Такі тарифи стимулюють регулювання навантаження як в ручному, так і в автоматичному режимі, що дозволяє споживачам заощаджувати витрати на електроенергію, користуючись при цьому перевагами системи.

Вимірювання, обробка та розрахунок тарифів здійснюється за допомогою спеціального алгоритму системи моніторингу, розробленого в транзактивних енергосистемах.

Добовий графік навантаження для 15-хвилинних інтервалів та розподіл потужностей між паралельно з'єднаними генераторами наведено на рис. 3.6 Також представлено розподіл потужності за генераторами.

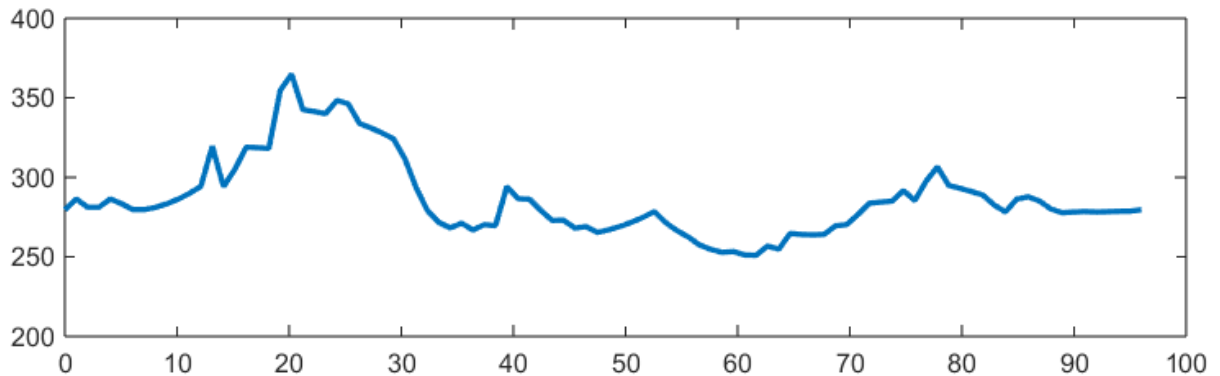


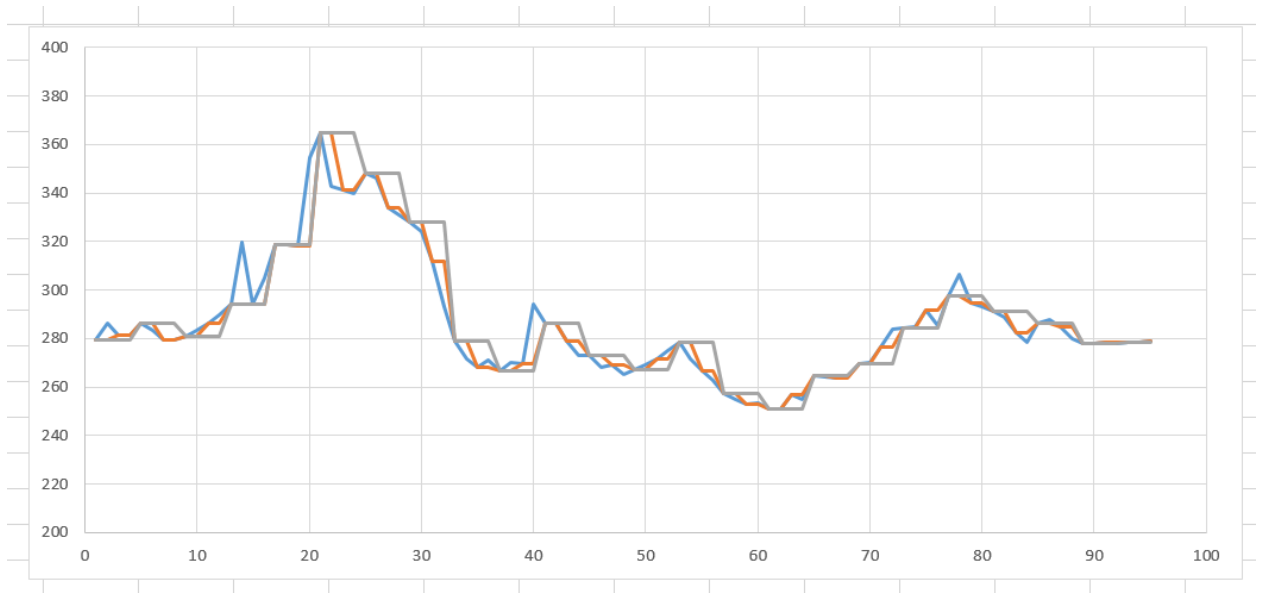
Рисунок 3.6 – 15 хвилинний інтервал

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що витрати на 1 кВт під час інтервалів з низькою генерацією сонячної енергії є вищими, оскільки енергія береться від вітрогенератора та в деяких випадках і від акумуляторної батареї, енергія якої є дорожчою. Найменші витрати припадають на період максимального відбору сонячної та вітрової енергії.

Оцінка вартості електроенергії для локальної системи з ціноутворенням кожні 15, 30, 60 хвилин (рис.3.7).

Збільшення інтервалу моніторингу потужності призводить до того що інтервали з різким та значним зміненням потужності можуть не врахуватися до розрахунку при формуванні тарифів.

В середньому відхилення значень для представлених розрахунків для різних значень 2-3%. Але миттєве відхилення може складатися до 6%.



«блакитна лінія» – Графік витрат, виміряних кожні 15 хвилин.

«помаранчева лінія» – Графік витрат, виміряних кожні 30 хвилин

«сіра лінія» – Графік витрат, виміряних кожен час

Рисунок 3.7 – Графіки витрат

3.3 Моніторинг силових електронних перетворювачів

З розвитком вітроенергетики технологія передачі змінного струму буде обмежена відстанню передачі. Технологія передачі постійного струму стане напрямком розвитку морської вітрової електропередачі на великі відстані, особливо гнучкої високовольної передачі постійного струму, яка може автоматично регулювати напругу, частоту, потужність тощо. Наприклад, технологія передачі постійного струму була використана в морській вітроелектростанції BorWin1 у Німеччині та проєкті Nan'ao VSC-MTDC у Китаї.

Хоча існують різні засоби для підвищення надійності системи силового електронного перетворювача, несправності все одно важко уникнути. У 2007 році на морській вітроелектростанції Egmond aan Zee у Нідерландах була висока частота несправностей або відключень, спричинена електричною системою (перетворювачами, системою керування тощо), що призвело до

величезних економічних втрат. Несправності силових електронних перетворювачів викликані в основному несправностями силових напівпровідникових пристроїв, які в основному включають несправності короткого замикання та розриву ланцюга. Оскільки несправність короткого замикання є дуже руйнівною, важко реалізувати діагностику та захист від короткого замикання IGBT на основі програмного алгоритму, а несправності короткого замикання захищені стандартною апаратною схемою; Несправності розімкнутого ланцюга IGBT не призведуть до серйозного перевантаження по струму або перенапруги протягом короткого часу, можуть тривати протягом певного періоду часу та не запусити апаратну систему захисту.

Несправність короткого замикання в основному спричинена перегрівом, перенапругою, неправильним керуючим сигналом тощо. Крім того, це руйнівню та легко спалити інші компоненти силових електронних пристроїв. Методи апаратного захисту від несправностей короткого замикання IGBT в основному включають метод виявлення десатурації, метод виявлення індуктивності, виявлення струму колектора тощо. Оскільки швидкий запобіжник має характеристики малої теплоємності, його можна переплавити до того, як струм пошкодження досягне заданого значення струму короткого замикання. Щоб зменшити шкоду від короткого замикання, використовуйте два швидкодіючі запобіжники, щоб перетворити коротке замикання на розрив (як показано на рисунку 3.8). У цьому випадку більш суттєвим є покращення діагностики обривів ланцюга силових електронних перетворювачів.

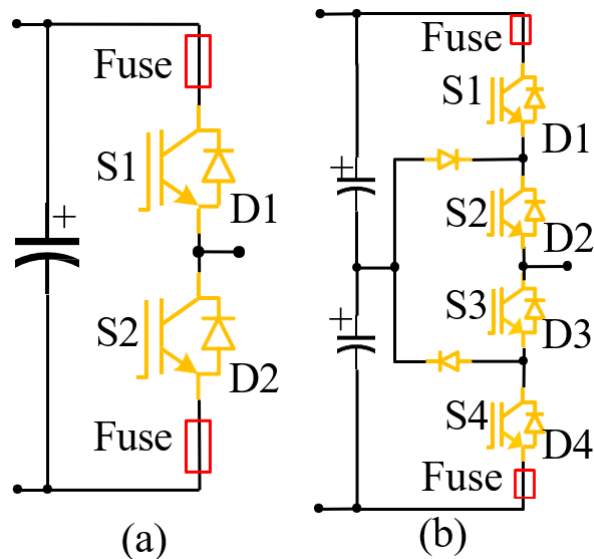


Рисунок 3.8 – Технологія ізоляції короткого замикання за допомогою швидких запобіжників: (a) дворівневий; (b) NPC

Як правило, основними причинами несправностей розімкнутого ланцюга IGBT є розрив пристрою, обрив зв'язувального дроту або зварювання, погана проводка, несправності в ланцюзі тощо. Відповідно до цього, коли в IGBT виникають розриви ланцюга, байпасний діод все ще може працювати нормально, а перетворювачі силової електроніки не вимкнуться негайно, що призведе до збільшення вмісту гармонік струму та напруги та погіршить якість електропостачання. Однак несправність розриву ланцюга IGBT може не бути знайдена протягом тривалого часу, що призведе до вторинного пошкодження або катастрофічних несправностей іншого обладнання. Силкові електронні перетворювачі в основному складаються з силових напівпровідникових пристроїв, а системи не є лінійними, що обмежує застосування методу діагностики несправності розімкнутого ланцюга на основі математичної моделі несправності. Метод діагностики несправностей на основі даних не потребує створення точної математичної моделі силових електронних перетворювачів, де типові методи включають: ANN, прогнозування часових рядів, SVM, випадкові ліси (RF), PCA або іншу діагностику несправностей на основі штучного інтелекту. Технологія штучного інтелекту має здатність до самоадаптивного навчання на основі зразків несправностей, яка може

реалізувати відображення між даними про несправності та станом несправностей і отримати зрілий класифікатор діагностики несправностей (як показано на рисунку 3.9). Потім класифікатор діагностики зрілих несправностей може виявити несправності в силових електронних перетворювачах.

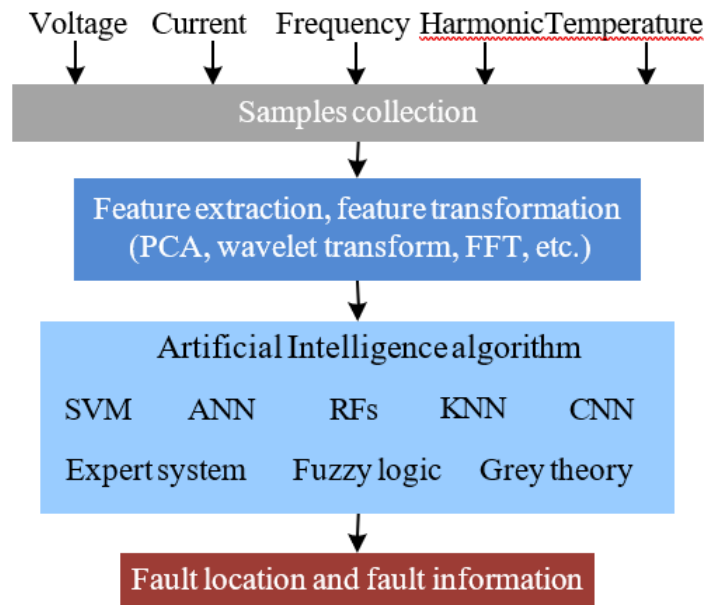


Рисунок 3.9 – Методи діагностики несправностей відкритого контуру на основі AI (штучного інтелекту) (ANN: штучна нейронна мережа; CNN: згорткова нейронна мережа)

З розвитком Smart мережі технологія діагностики несправностей силових електронних перетворювачів на основі даних стала гарячою точкою досліджень у галузі. Метод діагностики несправностей на основі даних на основі знань для трифазних силових електронних систем перетворення енергії, у якому метод на основі знань використовувався для виділення ознак несправності, а метод на основі даних використовувався для навчання класифікатора діагностики несправностей. Метод діагностики несправності, керований даними, для трифазних ШІМ-перетворювачів, у якому трифазні сигнали змінного струму, FFT і алгоритм ReliefF були прийняті для виділення ознак, а також ковзне вікно рамки класифікації були використані для покращення ефективності діагностики.

Висновки до розділу 3

Розглянуто систему Microgrid, що складається з двох типів генераторів: сонячного генератора, вітрового генератора та акумуляторної батареї.

Розроблено програму розподілу потужностей по генераторам, і моніторингу потужності яка споживається з генератора.

На прикладі продемонстровано використання моніторингу при динамічному ціноутворення, при якому ціни встановлюються близько до споживання електроенергії в реальному часі для системи. Отримані графіки витрат є основою для формування динамічного ціноутворення.

Важливим є моніторинг систем силової електроніки для стабільної роботи системи, розглянути основні проблеми та шляхи її з вирішення.

4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЄКТУ

4.1 Визначення поняття стартап

Стартап (від англ. «startup» – запускати) – це новітній проєкт, який розвивається в умовах невизначеності, пошуку оптимальних бізнес ідей та їх фінансування та спрямований на розроблення інноваційних товарів або послуг, а також технологій їх виробництва

Стартап це відносно молода компанія, яка знаходиться на ранніх стадіях свого розвитку, зазвичай характеризується фокусом на інноваціях, масштабованості та швидкому зростанні. Стартапи часто засновують підприємці, які знаходять унікальну бізнес-можливість або проблему, яку потрібно вирішити, і керуються баченням вивести на ринок новий продукт або послугу. Шлях стартапу зазвичай починається з концепції ідеї, після чого йде розробка бізнес-плану та формування команди засновників. На відміну від відомих компаній, стартапи працюють в середовищі невизначеності та ризику, оскільки вони намагаються принести щось нове або руйнівне на ринок. Цей невід’ємний ризик врівноважується потенціалом високої винагороди як з точки зору фінансового успіху, так і впливу, який стартап може мати на галузі та суспільства.

Ключові характеристики стартапів включають гнучкість, здатність до адаптації та сильну увагу до технологій та інновацій. Стартапи часто використовують передові технології для створення нових рішень або підриву існуючих ринків. Здатність швидко змінюватись відповідно до відгуків ринку є важливою рисою для стартапів, що дозволяє їм коригувати свої стратегії відповідно до обставин, що змінюються. Екосистема стартапів є динамічною та різноманітною, охоплюючи широкий спектр галузей, таких як технології, охорона здоров’я, фінанси тощо. Стартапи можуть мати різні форми, включаючи компанії програмного забезпечення як послуги (SaaS), біотехнологічні стартапи, фінтех стартапи та соціальні підприємства тощо.

Фінансування є критично важливим аспектом розвитку стартапу. Багато стартапів шукають фінансової підтримки від інвесторів-ангелів, венчурних капіталістів або краудфандингових платформ, щоб стимулювати свій розвиток. В обмін на фінансування інвестори зазвичай отримують частку в компанії, що дозволяє їм брати участь у потенційному успіху стартапу.

Стартапи також відіграють значну роль у стимулюванні економічного зростання та сприянні інноваціям. Уряди, установи та корпоративні організації активно підтримують екосистему стартапів через ініціативи, інкубатори та акселератори. Культура стартапів наголошує на креативності, співпраці та готовності йти на ризик як основних складових успіху.

4.2 Опис ідеї стартап-проєкту

У динамічному ландшафті відновлюваної енергетики, де використання сили вітру є маяком сталого розвитку, WindOptiTech постає як новаторська сила. Наш стартап спрямований на трансформацію способу задумування, планування та виконання вітроенергетичних проєктів шляхом розробки передового програмного забезпечення, зосередженого на точному виборі та оптимізації вітрогенераторів. У міру зростання глобального попиту на чисту енергію зростає потреба в ефективних і економічно вигідних рішеннях у сфері вітрової енергії. WindOptiTech визнає критичну прогалину в галузі – відсутність комплексної, зручної програмної платформи, яка оптимізує складні процеси вибору та оптимізації вітрових генераторів. Це усвідомлення є рушійною силою нашого стартап проєкту.

Стартап прагне надати інженерам, розробникам проєктів і зацікавленим сторонам потужний інструмент, який спрощує прийняття рішень. Наше програмне забезпечення буде розроблено для врахування різноманітних параметрів, використання розширеної аналітики та включення машинного навчання, щоб надавати користувачам практичну інформацію, що дозволяє їм

приймати обґрунтовані та ефективні рішення протягом життєвого циклу проєкту.

Наше програмне забезпечення – це не просто інструмент; це змінює правила гри. Від настроюваних параметрів проєкту до інтуїтивно зрозумілих візуалізацій і звітів, функції WindOptiTech ретельно розроблені для підвищення ефективності та успіху вітроенергетичних проєктів. Інтеграція розширеної аналітики та машинного навчання забезпечує динамічний розвиток нашого програмного забезпечення, адаптацію до даних у реальному часі та оптимізацію результатів проєкту.

WindOptiTech виходить на зростаючий ринок розробників відновлюваної енергетики та інжинірингових фірм, які прагнуть максимізувати потенціал вітроенергетичних проєктів. Наша бізнес-модель на основі передплати забезпечує гнучкість і масштабованість, а додаткові джерела доходу, такі як консультаційні послуги та розробка спеціальних функцій, забезпечують стійкі та взаємовигідні відносини з нашими клієнтами. Крім успіху в бізнесі, стартап прагне зробити позитивний вплив на нашу планету. Оптимізуючи вибір вітряних генераторів, наше програмне забезпечення сприяє підвищенню ефективності вітроенергетичних проєктів, бездоганно узгоджуючись із глобальними зусиллями щодо зменшення вуглецевого сліду та переходу до стійких джерел енергії.

WindOptiTech передбачає майбутнє, у якому наше програмне забезпечення стане синонімом досконалості в управлінні вітроенергетичними проєктами. Ми не просто створюємо стартап; ми є піонерами руху до більш стійкого, ефективного та чистішого енергетичного майбутнього. Приєднуйтеся до нас у цій трансформаційній подорожі, коли ми переосмислюємо можливості вітрової енергії за допомогою WindOptiTech.

В таблиці 4.1 наведено опис ідеї запропонованого проєкту.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрями застосування	Вигоди для користувача
Створення та реалізація програмного забезпечення для оптимального вибору вітрогенераторів від заданих параметрів користувачем	Приватні та державні енергокомпанії	<ul style="list-style-type: none"> - Створення більш ефективної, стабільної та надійної енергетичної мережі. - Зменшення пікових навантажень завдяки оптимізованій інтеграції енергії вітру. - Балансування енергетичної мережі для покращення загальної продуктивності.
	Сектор приватних підприємств	<ul style="list-style-type: none"> - Зменшення споживання енергії завдяки оптимізованому використанню вітрогенератора. - Залучення нових клієнтів шляхом демонстрації прихильності екологічним практикам.
	Компанії з продажу продуктів ВДЕ	<ul style="list-style-type: none"> - Збільшення обсягів послуг та продажів продуктів відновлюваної енергетики. - Підвищення інтересу споживачів до продукції за рахунок оптимального вибору вітрогенератора. - Розкриття нових можливостей для впровадження систем відновлюваної енергії (ВДЕ).

4.3 Технологічний аудит проєкту

Технологічний аудит, також відомий як технічний аудит або технічна перевірка, передбачає комплексну оцінку технологічної інфраструктури, систем і процесів стартапу. Для стартап-проєкту, спрямованого на створення та впровадження програмного забезпечення для оптимального вибору вітрогенератора, можна представити такий технологічний аудит:

- Місія та бачення:

Наша місія в WindOptiTech полягає в революції у вітроенергетичному секторі, надаючи передове програмне забезпечення для оптимального вибору вітряних генераторів, підвищення ефективності та просування рішень для сталої енергетики.

- Потоки доходів:

Ми отримуємо дохід переважно від підписок на програмне забезпечення, додатковий дохід від консультаційних послуг і розробки спеціальних функцій.

- Структура витрат:

Витрати розподіляються на розробку програмного забезпечення, технічне обслуговування та спеціальну підтримку клієнтів, щоб забезпечити безперебійну роботу користувача.

- Цільова аудиторія:

WindOptiTech обслуговує розробників відновлюваної енергетики, інжинірингові фірми та державні установи, які шукають ефективні рішення для використання енергії вітру.

- Аналіз конкурентів:

Конкуренти регулярно оцінюються, щоб уточнити наше позиціонування відповідно до галузевих тенденцій.

- Особливості та функціональність:

Наше програмне забезпечення містить розширені алгоритми вибору вітрогенератора зі зручним інтерфейсом, створеним для оптимальної взаємодії з користувачем.

- Унікальна торгова пропозиція (УТП):

УТП WindOptiTech полягає в його здатності точно прогнозувати оптимальні рішення для вітряних генераторів, що виділяє нас на ринку.

- Відгуки користувачів:

Регулярно аналізуватимемо відгуки користувачів, щоб визначити сфери для постійного вдосконалення.

- Інфраструктура програмного забезпечення:

Наша архітектура програмного забезпечення розроблятиметься для масштабованості, що забезпечує ефективну роботу в міру розширення бази користувачів. Заходи безпеки впроваджуються для захисту даних користувача з найвищим пріоритетом.

- Прогноз доходу:

Постійно порівнюйте прогнозований дохід із фактичним, щоб приймати фінансові рішення на основі даних.

- Розподіл бюджету:

Стратегічно розподіляйте бюджети на розвиток, маркетинг і операції, забезпечуючи оптимальне використання ресурсів.

- Юридичні зобов'язання:

Забезпечуватимуться суворе дотримання правил захисту даних і галузевих стандартів.

- Інтелектуальна власність:

Захист інтелектуальної власності WindOptiTech відбуватиметься за допомогою правових заходів.

Аудит включає аналіз документів, коду та тестів. Аналіз дозволяє оцінити якість технічних компонентів, виявити недоліки та ризики, розробити рекомендації щодо технічних стратегій, поліпшити вибір інструментів, удосконалити архітектуру і забезпечити доступність технологій.

Результати технологічної реалізації ідеї проєкту наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Технологічна реалізація ідеї проєкту

Ідея проєкту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Розробка архітектури програмної системи	Визначення основних модулів моніторингу, оптимізації та управління. Розробка інтерфейсу та використання баз даних	Наявна	Доступна
Розробка алгоритмів оптимізації роботи джерел електроенергії	Математичне моделювання роботи елементів Microgrid за допомогою оптимізаційних методів	Наявна	Доступна
Реалізація програмної системи	Кодування функціональності окремих модулів, їх інтеграція	Наявна	Доступна

4.4 Аналіз ринкових можливостей проєкту

WindOptiTech з'являється в умовах відновлюваної енергетики, що постійно розвивається, на тлі значного зростання глобального попиту на стійкі рішення. Екологічна свідомість і повсюдний перехід до екологічно чистих методів спонукають до цього попиту, створюючи унікальну можливість для стартапів відіграти ключову роль.

WindOptiTech з'являється в умовах відновлюваної енергетики, що постійно розвивається, на тлі значного зростання глобального попиту на стійкі рішення. Екологічна свідомість і повсюдний перехід до екологічно чистих методів спонукають до цього попиту, створюючи унікальну можливість для стартапів відіграти ключову роль.

Сектор відновлюваної енергетики переживає швидкий технологічний прогрес, що вимагає від стартапів тісного приєднання до переважаючих тенденцій. WindOptiTech, використовуючи передові алгоритми та масштабовану архітектуру, позиціонує себе як лідер у розумних та оптимізованих рішеннях для відновлюваної енергії. Інтеграція новітніх технологій, зокрема штучного інтелекту та аналізу даних, ще більше виділяє стартап на ринку, демонструючи прагнення до інновацій та ефективності у виборі вітрогенераторів.

Уряди в усьому світі дедалі більше інвестують у відновлювані джерела енергії, пропонуючи стимули та підтримку для проєктів чистої енергії. WindOptiTech виграє від цих ініціатив, надаючи додатковий шлях для отримання прибутку та розширення ринку.

Змінний ландшафт споживчих уподобань із дедалі більшим акцентом на екологічно чистий вибір відкриває можливість для WindOptiTech. Прагнення стартапу до сталого розвитку ідеально узгоджується з мінливою споживчою динамікою, позиціонуючи його як привабливий вибір для екологічно свідомих клієнтів.

Інвестори, які бажають як фінансових прибутків, так і позитивного впливу на навколишнє середовище, виявляють зростаючий інтерес до стартапів з чистих технологій. WindOptiTech має потенціал для залучення інвестицій від венчурних капіталістів і впливу на інвесторів, сприяючи подальшому розвитку та розширенню ринку.

Для уникнення ризиків необхідно заздалегідь проаналізувати можливі загрози представлені у таблиці 4.3

Таблиця 4.3 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція
Недостатність фінансування	Брак коштів на розробку та тестування продукту	Пошук додаткових інвесторів, скорочення витрат
Технічні ризики	Складність алгоритмів може призвести до затримок	Аутсорсинг тестування, найм додаткових фахівців
Юридичні ризики	Проблеми з ліцензуванням	Забезпечити контроль та дотримання ліцензійних умов
Зміни на енергетичному ринку	Нові технології можуть зробити продукт застарілим	Постійний моніторинг трендів та гнучкість до модернізації

Поряд із загрозами, що чатують на будь-який новий комерційний проєкт, зовнішнє середовище також може містити в собі значні можливості для його успішної реалізації. Детальний аналіз чинників, що формують попит і створюють сприятливі передумови на ринку представлено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливостей	Можлива реакція
Ринковий попит	Зростаючий світовий попит на рішення з відновлюваної енергії	Можливість WindOptiTech для задоволення потреб ринку
Тенденції відновлюваної енергетики	Досягнення технологій сектору відновлюваної енергетики	Впровадження інновацій та узгодження WindOptiTech з новими галузевими тенденціями
Новітні технології	Інтеграція ШІ та аналітики даних в енергетичному секторі	Розширення технологічних можливостей WindOptiTech
Урядові ініціативи	Стимули та підтримка проєктів чистої енергії	Можливість брати участь в державних програмах для збільшення присутності на ринку

Продовження таблиці 4.4

Інтерес інвесторів до чистих технологій	Зростання інтересу до стартапів з чистих технологій	Залучення інвестицій від венчурних капіталістів і вплив на інвесторів
---	---	---

4.5 Розробка ринкової стратегії проєкту

Розробка ринкової стратегії забезпечить просування нового продукту на ринку з залученням цільової аудиторії.

Вибір потенційних клієнтів визначає дослідження ринкового потенціалу з формуванням маркетингової стратегії. На визначені цільові аудиторії має бути спрямований маркетинговий вплив для досягнення поставлених цілей просування товару. Визначення конкретних сегментів клієнтів на основі демографічних, географічних і галузевих потреб є важливим кроком. Пристосування пропозиції WindOptiTech до унікальних вимог цих визначених цільових ринків забезпечує більш персоналізований підхід.

Вибір цільових груп потенційних споживачів для впровадження пропонованого рішення представлено в таблиці 4.5

Таблиця 4.5 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність прийняти продукт	Орієнтовний попит	Інтенсивність конкуренції	Простота входу
Компанії, що продають продукцію ВДЕ	Висока	Високий	Середня	Середня
Сектор приватних підприємств	Середня	Середній	Середня	Висока,
Оператори мікромереж	Висока	Високий	Середня,	Висока,

Продовження таблиці 4.5

Приватні та державні енергетичні компанії	Висока	Високий	Висока	Середня
---	--------	---------	--------	---------

4.6 Розроблення маркетингової програми стартап проєкту

Ефективна реалізація будь-якого проєкту потребує ґрунтовної розробки маркетингової програми, яка досягається на основі аналізу ринкового середовища та характеристик цільової аудиторії. Така програма дозволяє послідовно планувати заходи з просування продукту серед споживачів.

Метою є утвердити WindOptiTech як провідного постачальника інноваційного програмного забезпечення для вибору вітрових генераторів. Для цього Розроблятиметься привабливий стиль і логотип бренду. Буде створено чітку та лаконічну ціннісну пропозицію. WindOptiTech позиціонуватиметься як рішення для потреб сталої енергії.

В таблиці 4.6 представлені переваги потенціального товару.

Таблиця 4.6 – Ключові переваги концепції потенційного товару

Потреби	Вигода від товару	Ключові переваги перед конкурентами
Ефективний вибір вітрогенератора	Використовує вдосконалені алгоритми для оптимального вибору турбіни	Висока точність підбору турбін до заданих користувачем параметрів
Зручний інтерфейс	Інтуїтивно зрозуміла та проста у використанні платформа	Забезпечує бездоганну та зручну роботу
Масштабована архітектура	Можливість адаптації до проєктів різного масштабу та складності	Забезпечує гнучкість і масштабованість для різноманітних програм
Економічні рішення	Пропонує рентабельні варіанти вітряних генераторів	Надає бюджетний вибір без шкоди для якості

Продовження таблиці 4.6

Надійність	Постійний контроль технічного стану устаткування та автоматизоване реагування на несправності	Функція прогнозування несправностей дозволить уникнути збоїв в роботі устаткування, забезпечуючи надійну роботу системи
Інтеграція з системами відновлюваної енергетики	Сумісний з різними системами відновлюваної енергії	Підвищує універсальність завдяки плавній інтеграції з різними налаштуваннями

Концепція маркетингових комунікацій (таблиця - 4.7) охоплює стратегічні та скоординовані зусилля організації щодо передачі послідовних і переконливих повідомлень своїй цільовій аудиторії. Це включає в себе інтеграцію різних каналів зв'язку та інструментів для підвищення впізнаваності бренду, впливу на сприйняття та, зрештою, стимулювання бажаних дій. За своєю суттю, маркетингові комунікації спрямовані на створення чіткого та зв'язного оповідання, яке резонує з цільовою аудиторією, сприяючи міцному та позитивному зв'язку між брендом і споживачами. Цей цілісний підхід включає не лише рекламу, але й зв'язки з громадськістю, прямий маркетинг, соціальні медіа та інші форми комунікації для створення комплексного та єдиного іміджу бренду. Ефективні маркетингові комунікації узгоджують повідомлення з цінностями бренду, залучають клієнтів через різноманітні точки дотику та адаптують стратегії до постійно змінюваного ландшафту поведінки споживачів і технологічного прогресу.

Таблиця 4.7 – Концепція маркетингових комунікацій

Цільові групи	Канали комунікацій	Ключові позиції	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Клієнти B2B	Галузеві події	Лідер ринку інноваційних вітрогенераторів	ефективність і економічну ефективність стартапу	Звернення до ділового сенсу, підкреслюючи повернення інвестицій
	Кампанії електронною поштою	Постачальник рішень, що налаштовуються та адаптуються	Повідомити про простоту інтеграції з існуючими системами	акцент на надійності та налаштуваннях, відповідаючи унікальним потребам
Інвестори та зацікавлені сторони	Платформи фінансових новин	Новий лідер у секторі програмного забезпечення для відновлюваної енергетики	акцент на зростанні ринку та потенційній прибутковості	Звернення до потенціалу фінансового успіху, демонстрація ринкових перспектив
Енергосервісні компанії	ІТ-портали, соцмережі	Додаткові послуги для бізнесу	Допомогти розширити сферу послуг	Пропонування клієнтам нові послуги з оптимізації

Висновки до розділу 4

У розділі було виявлено нішу на ринку, створивши основу для релевантності та ціннісної пропозиції стартапу. Завдяки обширному дослідженню та аналізу ринку було визначено ключових зацікавлених сторін і потенційних користувачів, що дало детальне розуміння їхніх потреб і вподобань. Ітеративний характер процесу розробки дозволив включити цінний зворотний зв'язок, забезпечивши узгодження з вимогами ринку.

Стратегічне партнерство стало ключовим компонентом на етапі розробки проєкту. Співпраця з галузевими експертами, постачальниками та потенційними клієнтами була ретельно культивована, підвищуючи довіру до

проєкту та сприяючи створенню мережі, яка мала б важливу роль у майбутньому зростанні.

Впровадження передових технологій та інноваційних рішень підкреслило прагнення стартапу залишатися в авангарді галузевих тенденцій. Було проведено техніко-економічне обґрунтування, щоб переконатися, що запропоновані рішення були не тільки новими, але й практичними та масштабованими.

ВИСНОВКИ

1. У магістерській роботі було проведено поглиблене дослідження систем Smart-моніторингу, що включає комплексний аналіз їх структури, режимів роботи та систем моніторингу. Дослідження систематично вивчає найбільш перспективні технології в мережах розподілу microgrid, з особливим акцентом на оптимізації використання вітрових турбін. Кожна технологія має унікальний набір переваг і недоліків, розроблених для вирішення конкретних завдань, пов'язаних з використанням енергії вітру.

2. У дисертації розглядається стратегічне використання систем microgrid для планування та управління режимами роботи в розподільчих мережах. Аналіз призвів до розробки підходу, спрямованого на мінімізацію втрат електроенергії шляхом оцінки доцільності зміни топології схеми розподільної мережі з використанням індикативного показника. Крім того, була запропонована методика визначення мінімальних і оптимальних значень нагнітання струму, особливо зосереджуючись на джерелах енергії вітру. Комплексний аналіз дослідив потенціал джерел енергії вітру у вирішенні питань регулювання напруги, підтвердивши практичність використання індикативного показника для обґрунтування змін у схемі розподільної мережі.

3. Розглянуто систему Microgrid, що складається з двох типів генераторів: сонячного генератора, вітрового генератора та акумуляторної батареї.

Розроблено програму розподілу потужностей по генераторам, і моніторингу потужності яка споживається з генератора.

На прикладі продемонстровано використання моніторингу при динамічному ціноутворення, при якому ціни встановлюються близько до споживання електроенергії в реальному часі для системи. Отримані графіки витрат є основою для формування динамічного ціноутворення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Microgrids 1: Engineering, Economics & Experience – Capabilities, Benefits, Business Opportunities and Examples – Microgrids Evolution Roadmap, Electra, WG C6.22
2. International Microgrid Assessment: Governance, INcentives, and Experience (IMAGINE), Lawrence Berkeley National Laboratory Report
3. Syed Abid Ali Shah Bukhari, Wen-Ping Cao, Toufique Ahmed Soomro and Du Guan hao, 2017. Future of Microgrids with Distributed Generation and Electric Vehicles.(с. 55-71)
4. Динамічне ціноутворення у ВДЕ-спільнотах. Белоха Г.С., Рагімова Д., Романенко Т.О., Разовський В.В. Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку. Збірник наукових праць ІХ Міжнародної науково-технічної конференції у місті Києві 22-24 листопада 2023 р. – Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2023, С. 217-218
5. Моніторинг заряду акумуляторних батарей в microgrid. Белоха Г.С., Рагімова Д., Романенко Т.О., Разовський В.В. Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку. Збірник наукових праць ІХ Міжнародної науково-технічної конференції у місті Києві 22-24 листопада 2023 р. – Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2023, С. 219-220
6. Albarakati, A.J., et al., 2022. Microgrid energy management and monitoring systems: a comprehensive review. Front. Energy Res. 10 (December) <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.1097858>.
7. Microgrid Technology and Engineering Application Copyright © 2016 China Electric Power Press. Published by Elsevier Inc. (с. 91-113)
8. [Al-Saadi, M., Al-Greer, M., Short, M., 2021. Strategies for controlling microgrid networks with energy storage systems: a review. Energies 14 \(21\), 7234.](#)
9. Ahmad, T., Zhang, D., 2021. Renewable energy integration/techno-economic feasibility analysis, cost/benefit impact on islanded and grid-connected operations:

- a case study. *Renew. Energy* 180, 83–108.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.08.041>.
10. [Zamora, R., Srivastava, A.K., 2010. Controls for microgrids with storage: review, challenges, and research needs. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14 \(7\), 2009–2018.](#)
 11. [Shimizu, T., Wada, K., Nakamura, N., 2006. Flyback-type single phase utility interactive inverter with power pulsation decoupling on the dc input for an ac photovoltaic module system \(Sept\). *IEEE Trans. PEs.* 21, 12641272 \(Sept\).](#)
 12. [Sahoo, S.K., Sinha, A.K., Kishore, N., 2017. Control techniques in AC, DC, and hybrid AC–DC microgrid: a review. *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.* 6 \(2\), 738–759.](#)
 13. [Rokrok, E., Golshan, M.E.H., 2010. Adaptive voltage droop scheme for voltage source converters in an islanded multibus microgrid. *IET Gener., Transm. Distrib.* 4 \(5\), 562–578.](#)
 14. Жаркін А.Ф., Новський В.А., Ярмолюк О.С., Хавкар Ахмед Нурі Огляд технологій керування режимами електричних мереж напругою 6...20 кВ з розосередженими джерелами енергії, Електронне моделювання. 2021. Т. 43. № 1. С. 46-66.
 15. Fan J.Y. A real-time implementation of short – term load forecasting for distribution power systems / J.Y. Fan, J.D. McDonald // *IEEE Transactions on Power Systems*, 1994, 9, pp. 988 – 994.], [Sobri, S.; Koohi-Kamali, S.; Rahim, N.A. Solar photovoltaic generation forecasting methods: A review. *Energy Convers. Manag.* 2018, 156, 459–497.
 16. Hasheminamin, M., Agelidis, V. G., Ahmadi, A., Siano, P., and Teodorescu, R. (2018). Single-point reactive power control method on voltage rise mitigation in residential networks with high PV penetration. *Renew. Energy* 119, 504–512.
 17. [Impact of solar photovoltaics on the low-voltage distribution network in New Zealand Jeremy D. Watson, Neville R. Watson, David Santos-Martin, Alan R. Wood, Scott Lemon, Allan J.V. Miller](#)

18. [A. Banerji et al., "Microgrid: A review," 2013 IEEE Global Humanitarian Technology Conference: South Asia Satellite \(GHTC-SAS\), Trivandrum, India, 2013, pp. 27–35.](#)
19. [H. Bašić, T. Dragičević, H. Pandžić and F. Blaabjerg, "DC microgrids providing frequency regulation in electrical power system - imperfect communication issues," 2017 IEEE Second International Conference on DC Microgrids \(ICDCM\), Nuremburg, Germany, 2017, pp. 434–439.](#)
20. [Basu, A.K., Chowdhury, S.P., Chowdhury, S., Paul, S., 2011. Microgrids: energy management by strategic deployment of DERs—a comprehensive survey. Renew. Sustain. Energy Rev. 15, 4348–4356 \[CrossRef\] 41.](#)
21. [Bidram, A., Davoudi, A., 2012. Hierarchical structure of microgrids control system. IEEE Trans. Smart Grid 3 \(4\), 1963–1976.](#)
22. [Birnie, D.P., 2009. Solar-to-vehicle \(S2V\) systems for powering commuters of the future. J. Power Sources 186 \(2\), 539–542.](#)
23. Biswal, C., Sahu, B.K., Mishra, M., Rout, P.K., 2023. Real-time grid monitoring and protection: a comprehensive survey on the advantages of phasor measurement units. *Energies* 16 (10). <https://doi.org/10.3390/en16104054>.
24. Dey, B., Misra, S., Garcia Marquez, F.P., 2023. Microgrid system energy management with demand response program for clean and economical operation. *Appl. Energy* 334 (January), 120717. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120717>.
25. [Design and Implementation of a smart monitoring system of a modern renewable energy micro-grid system using a low-cost data acquisition system and LabVIEW™ program](#)
26. [Ekanayake, U.N., Navaratne, U.S., 2020. A survey on microgrid control techniques in islanded mode. J. Electr. Comput. Eng. 1–8, 2020.](#)
27. [Erenturk, K., Draou, A., AlKassem, A., 2022. Design and comparison of different types of synergetic controllers for islanded DC microgrids. Sustainability 14, 8792.](#)

28. [Espina, E., Llanos, J., Burgos-Mellado, C., Cardenas-Dobson, R., Martinez-Gomez, M., Saez, D., 2020. Distributed control strategies for microgrids: an overview. IEEE Access 8, 193412–193448.](#)
29. [Gao, D.W., 2015. Basic concepts and control architecture of microgrids. Energy Storage Sustain. Micro 1–34.](#)
30. Gholami, M., Muyeen, S.M., Mousavi, S.A., 2023. Development of new reliability metrics for microgrids: integrating renewable energy sources and battery energy storage system. Energy Rep. 10, 2251–2259. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.09.047>.
31. Harrold, D.J.B., Cao, J., Fan, Z., 2022. Renewable energy integration and microgrid energy trading using multi-agent deep reinforcement learning. Appl. Energy 318 (December 2021), 119151. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119151>.
32. Li, L., Sun, Y., Liu, Z., Hou, X., Shi, G., Su, M., 2019. A decentralized control with unique equilibrium point for cascaded-type microgrid. IEEE Trans. Sustain. Energy 10 (1), 324–326. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2018.2871641>.
33. Li, L., Sun, Y., Liu, Z., Hou, X., Shi, G., Su, M., 2019. A decentralized control with unique equilibrium point for cascaded-type microgrid. IEEE Trans. Sustain. Energy 10 (1), 324–326. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2018.2871641>.
34. [Kumar, G.B., Sarojini, R.K., Palanisamy, K., Padmanaban, S., Holm-Nielsen, J.B., 2019. Large scale renewable energy integration: Issues and solutions. Energies 12 \(10\), 1996.](#)
35. Kong, L., Nian, H., 2021. Parameters selection method of circuit breaker and fault current limiter in mesh-type DC microgrid. IEEE Access 9, 35514–35523. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3061117>.
36. [Justo, J.J., Mwasilu, F., Lee, J., Jung, J.-W., 2013. AC-microgrids versus DC-microgrids with distributed energy resources: a review. Renew. Sustain. Energy Rev. 24, 387–405](#)