

**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: «Особливості побудови та використання мікромереж в умовах низької щільності навантаження»

Виконав: студент II курсу, групи ОЕ-21мп

_____ Бондарець Богдан Олегович _____
(прізвище, ім'я по батькові) (підпис)

Науковий керівник д.т.н., проф. Попов В.А. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Нормаконтроль 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 _____

Київ – 2024 рік

**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

Бондарець Богдан Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема дисертації:** «Особливості побудови та використання мікромереж в умовах низької щільності навантаження».

науковий керівник дисертації: д.т.н., проф. Попов В.А.

затверджені наказом по університету від «8» листопада 2023 р. №5198-с

2. **Термін подання студентом дисертації:** 10 січня 2024 року

3. **Об'єкт дослідження:** процеси організації електропостачання з застосуванням мікромереж в умовах низької щільності навантаження.

4. **Предмет дослідження:** Методи та алгоритми управління режимами та забезпечення надійності роботи мікромереж на територіях з низькою щільністю навантаження.

Перелік завдань, які потрібно розробити: Для досягнення зазначеної мети були поставлені та вирішені такі задачі:
- виконати огляд тенденцій розвитку світової електроенергетики.

- здійснити обґрунтування основних структурних компонентів мікромереж в умовах їх використання на територіях з низькою щільністю електроспоживання;
- розробити методи та алгоритми підвищення надійності використання мікромереж в умовах низької щільності навантаження;
- провести експериментальні розрахунки з визначення оптимальних умов роботи мікромереж.

5. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація – наочні матеріали за результатами дослідження (алгоритми розрахунків та діаграми).

6. Орієнтовний перелік публікацій: Участь у підготовці двох розділів навчального посібника “Гібридні системи малої енергетики”.

7. Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль:

Ярмолюк О.С.

8. Дата видачі завдання: « 30» _жовтня_ 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання завдання	30.10.23	Виконано
2	Аналіз предметної області та постановка задачі	30.10.23	Виконано
3	Загальний огляд структури побудови мікромереж	30.10.23-01.11.23	Виконано
4	Робота над першим розділом	01.11.23-10.11.23	Виконано
5	Робота над другим розділом	10.11.23-15.11.23	Виконано
6	Робота над третім розділом	15.11.23-23.11.23	Виконано
7	Розробка стартап проєкту	23.11.23-01.12.23	Виконано
8	Оформлення дисертації	01.12.23-12.12.23	Виконано
9	Оформлення реферату та презентації	12.12.23-18.12.23	Виконано
10	Попередній захист МД	19.12.23	Виконано
11	Захист МД	16.01.24	Виконано

Студент

(підпис)

Б.О. Бондарець

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

В.А.Попов

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Структура і обсяг роботи. Магістерська дисертація на тему: "Особливості побудови та використання мікромереж в умовах низької щільності навантаження" складається із вступу, чотирьох розділів та висновків, що викладені на 89 сторінках, містить 12 рисунків, 9 таблиць та список літератури з 6 бібліографічних джерел.

Актуальність теми. Часткова децентралізація електропостачання є актуальним і важливим напрямком розвитку сучасної електроенергетики. Це реалізується за рахунок широкого використання відновлюваних джерел енергії у вигляді розподіленої генерації та створення мікромереж.

В умовах низької щільності навантаження (коли споживання електроенергії в певній області або у певний час є невеликим) важливо зрозуміти, як оптимально побудувати та управляти мікромережами, щоб ефективно використовувати доступні ресурси енергії (наприклад, сонячні, вітрові джерела тощо) та забезпечити стабільність постачання електроенергії споживачам в цих умовах.

Це дослідження охоплює аспекти визначення архітектури мікромереж, розробки ефективних стратегій управління їх роботою, вивчення економічної доцільності об'єднаної роботи мікромереж у певних умовах для підвищення надійності електропостачання. Мета полягає у розробці оптимальних технологічних рішень, що враховують низьку щільність навантаження, при забезпеченні сталого та ефективного функціонування мікромереж у цих специфічних умовах.

Мета та завдання дослідження.

Метою дисертаційної роботи є: Мета дослідження полягає у розробці рекомендацій та конкретних алгоритмів щодо побудови та управління режимами мікромереж в умовах низької щільності навантаження, що включає:

- оптимізацію енергетичних ресурсів за рахунок ефективного використання доступних джерел генерації, таких як сонячні панелі, вітрові станції або малі ГЕС, в умовах низької щільності попиту на енергію.
- аналіз технічних аспектів побудови мікромереж та розробка стратегій управління їх роботою, які забезпечують надійність та стабільність постачання електроенергії.
- оцінка можливостей та визначення шляхів оптимального використання енергетичних ресурсів на територіях з низьким рівнем попиту на електричну енергію.
- розробка алгоритму енергоефективного керування режимами мікромереж з метою підвищення надійності електропостачання споживачів.

Об'єкт дослідження: процеси організації електропостачання з застосуванням мікромереж в умовах низької щільності навантаження.

Предмет дослідження: Методи та алгоритми управління режимами та забезпечення надійності роботи мікромереж на територіях з низькою щільністю навантаження.

Методи дослідження. Методи математичного моделювання, розрахунку сталих режимів електричних мереж, багатокритеріального прийняття рішень.

Практичне значення одержаних результатів. Стартап-проект пропонує використовувати потужності та обчислювальні можливості штучного інтелекту, для прогнозування пікових навантажень в мережі. Це дозволить максимально оптимізувати споживання електроенергії в пікові години.

Особистий внесок. Магістрант самостійно отримав наукові позиції, які включені до магістерської дисертації.

Апробація результатів роботи. Результати досліджень доповілись на методичних семінарах кафедри електропостачання НН ІЕЕ.

Публікації.

Участь у підготовці двох розділів навчального посібника “Гібридні системи малої енергетики : рекомендації до виконання розрахункової роботи [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освіт. програмою «Системи забезпечення споживачів електричною енергією» спец. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. А. Попов, О. С. Ярмолюк. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 64 с. Назва з екрану. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/62344>”.

Ключові слова:

мікромережі, щільність навантаження, архітектура мережі, енергоефективність, надійність електропостачання, багатокритеріальні методи прийняття рішень.

ABSTRACT

Structure and scope of the work. The master's thesis on the topic: "Features of the construction and use of microgrids in conditions of low load density" consists of an introduction, four chapters and conclusions, which are set out on 89 pages, contains 12 figures, 9 tables and a list of references from 6 bibliographic sources.

Relevance of the work. Partial decentralization of electricity supply is a relevant and important direction of development of the modern electric power industry. This is realized through the widespread use of renewable energy sources in the form of distributed generation and the creation of microgrids.

In conditions of low load density (when electricity consumption in a certain area or at a certain time is low), it is important to understand how to optimally build and manage microgrids in order to efficiently use available energy resources (e.g., solar, wind, etc.) and ensure the stability of electricity supply to consumers in these conditions.

This research covers aspects of defining the architecture of microgrids, developing effective strategies for managing their operation, and studying the economic feasibility of combined microgrid operation in certain conditions to improve the reliability of electricity supply. The goal is to develop optimal technological solutions that take into account low load shedding while ensuring sustainable and efficient operation of microgrids in these specific conditions.

Purpose and objectives of the study:

The purpose of the dissertation is to: The aim of the study is to develop recommendations and specific algorithms for the construction and management of microgrid modes in low load density conditions, including:

- optimization of energy resources through the efficient use of available generation sources, such as solar panels, wind farms or small hydroelectric power plants, in conditions of low energy demand density.

- Analyzing the technical aspects of building microgrids and developing strategies for managing their operation to ensure the reliability and stability of electricity supply.
- Assessment of opportunities and identification of ways to optimize the use of energy resources in areas with low demand for electricity.
- development of an algorithm for energy-efficient management of microgrid modes to improve the reliability of electricity supply to consumers.

Object of research: Processes of organizing power supply using microgrids in conditions of low load density.

The subject of research: Methods and algorithms for managing modes and ensuring the reliability of microgrids in areas with low load density.

Research methods.

Methods of mathematical modeling, calculation of steady-state modes of electric power networks, multi-criteria decision-making.

Practical significance of the results.

The startup project proposes to use the power and computing capabilities of artificial intelligence to predict peak loads in the network. This will maximize the optimization of electricity consumption during peak hours.

Personal contribution. The master's student independently obtained scientific positions that are included in the master's thesis.

Approbation of the work results. The results of the research were reported at the methodological seminars of the Department of Electricity Supply of the Institute of IEE.

Publications.

Participation in the preparation of two chapters of the textbook "Hybrid small energy systems".

Keywords:

microgrids, load density, network architecture, energy efficiency, power supply reliability, multi-criteria decision-making methods.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ ТА СКОРОЧЕНЬ	12
ВСТУП	13
1. МІКРОМЕРЕЖІ ЯК СКЛАДОВА КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID	14
1.1 Сучасні тенденції розвитку світової електроенергетики	14
1.2 Місце мікромереж в енергозабезпеченні споживачів	21
1.3 Загальні принципи побудови мікромереж та режими їх роботи	24
Висновки до розділу	30
2. ОСНОВНІ СТРУКТУРНІ КОМПОНЕНТИ МІКРОМЕРЕЖ	32
2.1 Неконтрольовані джерела енергії	32
2.2 Контрольовані джерела енергії	41
2.3 Засоби накопичення енергії	48
Висновки до розділу	53
3. ПОБУДОВА ТА КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ СИСТЕМ ОБ'ЄДНАНИХ МІКРОМЕРЕЖ В УМОВАХ НИЗЬКОЇ ЩІЛЬНОСТІ НАВАНТАЖЕННЯ	55
3.1 Забезпечення надійної та ефективної роботи Smart Grid на територіях з низькою щільністю навантаження	55
3.2 Централізоване керування	61
3.3 Децентралізоване керування	66
3.4 Практичні аспекти проектування системи об'єднаних мікромереж	68
Висновки до розділу	83
4. СТАРТАП-ПРОЄКТ	84
4.1 Ідея стартап-проєкту	84
Висновки до розділу	87

	11
ВИСНОВКИ	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

NG - природний газ;

АКБ - акумуляторна батарея;

ВЕС - вітрові електростанції;

ВНЕ - водневі накопичувачі енергії;

ГАЕС - гідроакумуючі електростанції;

ГТУ - Газотурбінні установки;

ДБЖ - забезпечення безперебійного живлення;

ДС - Децентралізовані системи виробництва;

ККД - коефіцієнт корисної дії;

КСЕ - Кінетичні системи накопичення енергії;

НДЕ - нерегульовані джерела енергії;

ПЗЕ - пристрої зберігання енергії;

РДЕ - регульовані джерела енергії;

СЕС - сонячна електростанція.

ВСТУП

Мета дослідження полягає в розробці рекомендацій та конкретних алгоритмів для побудови та управління режимами мікромереж в умовах низької щільності навантаження. Це включає в себе оптимізацію використання енергетичних ресурсів за рахунок ефективного використання доступних джерел генерації, таких як сонячні панелі, вітрові станції або малі гідроелектростанції, особливо в умовах низької щільності попиту на енергію.

Дослідження також включає аналіз технічних аспектів побудови мікромереж та розробку стратегій управління їх роботою, спрямованих на забезпечення надійності та стабільності постачання електроенергії. Оцінка можливостей та визначення шляхів оптимального використання енергетичних ресурсів на територіях з низьким рівнем попиту на електричну енергію є також важливим етапом дослідження.

Окремий аспект роботи полягає в розробці алгоритму енергоефективного керування режимами мікромереж з метою підвищення надійності електропостачання споживачів. Це включає в себе визначення оптимальних стратегій використання різних джерел енергії в залежності від умов, що враховують ефективність генерації та зберігання енергії.

Узагальнюючи, дослідження спрямоване на створення практичних інструментів та рекомендацій для ефективної побудови та управління мікромережами в умовах низької щільності навантаження з метою підвищення енергетичної ефективності та надійності постачання електроенергії.

1. МІКРОМЕРЕЖІ ЯК СКЛАДОВА КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID

1.1 Сучасні тенденції розвитку світової електроенергетики

Сучасні тенденції розвитку світової електроенергетики включають ряд важливих аспектів, які торкаються створення більш сталих, ефективних та екологічно чистих систем генерування, передачі, розподілу та перетворення енергії.

По-перше, спостерігається зростання використання відновлювальних джерел енергії, перш за все, таких як сонячна та вітрова. Це пов'язано з підвищеною увагою до енергетичної ефективності та зменшенням використання традиційних джерел енергії, які спричиняють шкідливий вплив на навколишнє середовище.

По-друге, впровадження енергоефективних технологій та зменшення втрат енергії є ще одним важливим аспектом розвитку електроенергетики. Це означає використання більш ефективних систем та устаткування, що дозволяє знизити споживання енергії та зменшити витрати на енергозабезпечення споживачів.

Третій аспект - розвиток Smart Grid та інтелектуальних систем керування електричною мережею. Це дозволяє забезпечити більш стабільний режим її функціонування, а також підвищити ефективність та гнучкість розподілу електроенергії.

Четвертим аспектом є зростання парку електромобілів та розширення мережі зарядних станцій. Враховуючи зростання популярності електромобілів, розвиток інфраструктури засобів зарядки є необхідним для забезпечення зручності та доступності їх використання.

Нарешті, однією з основних тенденцій є поступове заміщення вугільної енергетики більш екологічно чистими джерелами енергії. Вугільні технології генерування енергії відомі своїм шкідливим впливом на довкілля, тому заміна її на відновлювальні джерела енергії, такі як сонячна та вітрова, є

важливим кроком у забезпеченні більш сталого та екологічно безпечного енергетичного майбутнього.

Однак, варто зазначити, що ці тенденції мають на меті досягнення більш сталого та екологічно чистого розвитку електроенергетики, але їх впровадження потребує спільних зусиль та співпраці між різними країнами та секторами енергетики.

За останні роки спостерігається значне збільшення попиту на електроенергію у світі. Це викликано рядом факторів, таких як зростання населення, розвиток промисловості та технологій, а також зміни в звичках споживачів. Зміни в споживацьких звичках, такі як зростання використання побутової електроніки, підвищення рівня комфорту у житті та зростання інтересу до електромобілів, призводять до збільшення попиту на електроенергію. Зростання населення призводить до збільшення потреб у житлових приміщеннях, транспорті, освіті та розвитку інших сфер, що вимагають додаткової електроенергії.

Цей тренд вимагає подальшого розвитку і модернізації світової електроенергетики, щоб забезпечити стабільне енергопостачання для всіх країн. Для цього потрібно розробляти та впроваджувати нові технології, які дозволять збільшити енергоефективність та одночасно зменшити вплив на довкілля. Також важливо розширювати мережу електроенергетичної інфраструктури, забезпечуючи ефективну транспортовку електроенергії до споживачів. Крім того, розвиток відновлювальних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія, може допомогти забезпечити стабільне та екологічно чисте енергопостачання.

За останні десятиліття спостерігається значне зростання частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в енергоміксі країн світу. Це обумовлено зростанням свідомості про проблеми забруднення навколишнього середовища та змін клімату, а також прагненням до енергетичної незалежності та постійним зростанням витрат на традиційні джерела енергії.

Відновлювані джерела енергії, у загальному випадку, включають сонячну, вітрову, гідроелектричну, біомасову та геотермальну енергію. Наприклад, сонячна енергія отримується з використанням сонячних панелей, які перетворюють сонячне випромінювання в електричну енергію. Вітрова енергія використовується за допомогою вітрових турбін, які перетворюють кінетичну енергію вітру в електричну енергію. Гідроелектрична енергія отримується шляхом використання потенційної енергії води, яка приводить турбіни гідроелектростанцій. Біомасова енергія використовується шляхом згоряння органічних матеріалів, таких як деревина або сільськогосподарські відходи, для отримання тепла або електричної енергії. Геотермальна енергія використовує тепло, яке знаходиться в глибинах Землі, для виробництва електроенергії.

Завдяки розвитку технологій та підтримці державних програм, відновлювані джерела енергії стають все більш конкурентоспроможними і важливими складовими енергетичних систем країн світу. Вони не тільки зменшують залежність від вуглеводнів та інших традиційних джерел енергії, але й сприяють зниженню викидів парникових газів та забруднення навколишнього середовища. Крім того, відновлювані джерела енергії є безпечними і стійкими джерелами енергії, оскільки вони не вичерпуються та мають постійний потенціал для використання.

Сонячна та вітрова енергія є двома основними видами відновлюваної енергії, які швидко розвиваються. Технологічні інновації в цих галузях сприяють підвищенню ефективності, зниженню витрат і розширенню доступності.

Однією з найважливіших інновацій у галузі сонячної енергії є розвиток фотоелектричних модулів (ФЕМ). ФЕМ перетворюють сонячне світло в електричний струм. У останні роки ефективність ФЕМ значно зросла, що призвело до зниження витрат на використання сонячної енергії, у тому числі, на енергозабезпечення споживачів.

Важливими інноваціями в сфері використання сонячної енергії є розвиток наступних технологій.

- Систем зберігання енергії. Система зберігання енергії дозволяє накопичувати вироблену сонячними панелями енергію для використання в нічний час або в періоди низької сонячної активності.
- Smart Grid. Smart Grid можуть оптимізувати розподіл згенерованої енергії, щоб забезпечити надійне та ефективне електропостачання.
- Однією з найважливіших інновацій у галузі вітрової енергії є розвиток більш ефективних турбін. Вітряні турбіни з подвійним ротором мають більший діаметр, ніж традиційні турбіни, що дозволяє їм генерувати більше енергії з того ж обсягу вітру.

Важливими інноваціями в галузі вітрової енергії також є розвиток:

- нових матеріалів для лопастей турбін, наприклад, використання композитних матеріалів, які є більш легкими та міцними, ніж традиційні металевими.
- систем зберігання енергії, що дозволяє накопичувати вироблену вітроенергетичними установками енергію для використання в періоди низької вітрової активності.
- Smart Grid можуть оптимізувати розподіл виробленої енергії, щоб забезпечити надійне та ефективне електропостачання.

Технологічні інновації в галузі сонячної та вітрової енергії сприяють підвищенню ефективності, зниженню витрат і розширенню доступності. Це робить ці види енергії більш конкурентоспроможними по відношенню до традиційних джерел енергії, таких як вугілля, нафта та газ.

Зростаюча популярність сонячної та вітрової енергії має важливі наслідки для екології та економіки. Ці види енергії є відновлюваними, що означає, що вони не виробляють шкідливих викидів в атмосферу. Це сприяє збереженню навколишнього середовища та боротьбі зі зміною клімату.

Крім того, сонячна та вітрова енергія є більш доступними, ніж традиційні джерела енергії. Це може призвести до зниження вартості електроенергії для споживачів.

Технологічні інновації в галузі сонячної та вітрової енергії відіграють важливу роль у переході до чистої та відновлюваної енергетики. Ці інновації сприяють підвищенню ефективності, зниженню витрат і розширенню доступності, що робить ці види енергії більш конкурентоспроможними та привабливими для споживачів.

Децентралізовані системи виробництва (ДС) енергії - це системи, в яких енергія виробляється в безпосередній близькості від споживача. ДС включають в себе широкий спектр технологій, таких як сонячні панелі, вітряні турбіни, гідроелектростанції, а також невеликі газові і дизельні установки. ДС мають ряд переваг перед традиційними централізованими системами виробництва енергії. Вони є більш стійкими до збоїв, оскільки не залежать від однієї великої електростанції. Вони також є більш екологічно чистими, оскільки не виробляють шкідливих викидів в атмосферу.

Зростання популярності ДС має значний вплив на енергетичний ландшафт. Воно призводить до:

- Зменшення залежності від традиційних джерел енергії. ДС дозволяють споживачам виробляти власну енергію, що зменшує їхню залежність від великих електростанцій, які часто працюють на викопному паливі.
- Збільшення частки відновлюваної енергії. ДС часто використовують відновлювані джерела енергії, такі як сонячна і вітрова енергія. Це сприяє переходу до екологічно чистої енергетики.
- Покращення надійності енергопостачання. ДС можуть допомогти зменшити ризик збоїв у електропостачанні, оскільки вони не залежать виключно від систем централізованого електропостачання. Однак ДС також мають деякі недоліки. Вони можуть бути дорогими, ніж централізовані системи виробництва енергії. Крім того, вони можуть

створювати проблеми з балансуванням режимів мережі, оскільки їхня продуктивність залежить від погодних умов. Незважаючи на ці недоліки, ДС мають потенціал значно змінити енергетичний ландшафт. Вони можуть допомогти нам перейти до екологічно чистої енергетики, а також зробити енергопостачання більш надійним і стійким.

Ось деякі конкретні приклади впливу ДС на енергетичний ландшафт:

- У США кількість домогосподарств, які встановлюють сонячні панелі, зростає з кожним роком. Це призводить до зниження споживання електроенергії з централізованих електростанцій і збільшення частки використання відновлюваної енергії в загальному енергобалансі країни.
- У Європі все більше компаній встановлюють на своїх об'єктах сонячні панелі і вітряні турбіни. Це дозволяє їм зменшити свої витрати на електроенергію і стати більш екологічно відповідальними.
- У країнах, що розвиваються, ДС допомагають забезпечити доступ до електроенергії для людей, які живуть у віддалених районах. Це сприяє економічному розвитку і підвищенню якості життя.

Smart Grid - це електромережі, які використовують сучасні технології для підвищення ефективності, надійності та стійкості. Вони включають в себе широкий спектр технологій, таких як:

- інформаційні технології, такі як аналітика даних і машинне навчання, які використовуються для аналізу даних і прийняття рішень.
- системи зв'язку, які дозволяють обмінюватися інформацією між різними компонентами мережі.

Smart Grid мають ряд переваг перед традиційними електромережами. Вони можуть:

- покращити ефективність роботи мереж, шляхом оптимізації розподілу енергії і зменшення втрат.
- покращити надійність електропостачання, шляхом виявлення і усунення проблем до того, як вони призведуть до збоїв.

- покращити стійкість, шляхом підвищення здатності мережі долати екстремальні погодні умови і інші події.
- допомогти інтегрувати відновлювані джерела енергії, такі як сонячна і вітрова енергія, які є нерегулярними, і, таким чином, сбалансувати їхнє виробництво з попитом.
- дозволити споживачам контролювати своє споживання енергії і, за рахунок цього, знизити витрати на спожиту електроенергію і підвищити ефективність.
- допомогти операторам мережі виявляти і усунути проблеми до того, як вони призведуть до збоїв, що може призведе до підвищення надійності електропостачання.

Smart Grid все ще перебувають у стадії розробки, але вони мають потенціал значно змінити енергосистеми. Вони можуть допомогти нам перейти до чистої, надійної та стійкої енергетики.

Енергетична безпека - це здатність країни забезпечити свої потреби в енергії в достатній кількості, у потрібний час та за прийнятною ціною. Геополітичні ризики - це ризики, пов'язані з політичними та економічними відносинами між країнами.

Енергетична безпека та геополітичні ризики тісно пов'язані між собою. Геополітичні ризики можуть призвести до енергетичних криз, а енергетичні кризи можуть призвести до геополітичних конфліктів.

Основні геополітичні ризики, які можуть вплинути на енергетичну безпеку, включають:

- Війни і конфлікти. Війни і конфлікти можуть призвести до пошкодження енергетичної інфраструктури, наслідком чого можуть бути тривалі перерви у постачанні енергії.
- Санкції. Санкції можуть призвести до обмеження доступу до енергоресурсів, що може призвести до зростання цін на енергію.

- Зміни клімату. Зміни клімату можуть призвести до зміни доступності енергоресурсів, що, в свою чергу, спровокує зростання цін на енергію.

Для забезпечення енергетичної безпеки країни повинні розроблятися стратегії для управління геополітичними ризиками. Ці стратегії можуть включати в себе:

- Диверсифікацію енергопостачання. Диверсифікація енергопостачання означає, що країна отримує енергоресурси з різних джерел. Це допомагає зменшити залежність від одного джерела енергії, що може бути ризикованим.

- Розвиток відновлюваних джерел енергії. Відновлювані джерела енергії, такі як сонячна і вітрова енергія, не залежать від викопного палива, яке може бути об'єктом геополітичних ризиків.

- Інвестиції в енергоефективність. Енергоефективність допомагає зменшити споживання енергії, що може зменшити залежність від імпорту енергоресурсів.

У сучасному світі енергетична безпека є важливим аспектом національної безпеки. Геополітичні ризики можуть серйозно вплинути на енергетичну безпеку, тому країни повинні розробляти стратегії для управління цими ризиками.

1.2 Місце мікромереж в енергозабезпеченні споживачів

Системи моніторингу є одним з ключових елементів мікромереж та Smart Grid в цілому. Вони збирають і аналізують дані про роботу мережі, такі як споживання енергії, стан обладнання та умови навколишнього середовища. Ці дані використовуються для виявлення проблем і прийняття рішень про оптимізацію роботи мережі.

Системи дистанційного управління дозволяють операторам мережі керувати обладнанням і процесами в мережі дистанційно. Це може допомогти підвищити ефективність і надійність роботи мережі.

Інтелектуальні пристрої, такі як Smart Metering, можуть збирати і передавати інформацію про споживання енергії в реальному часі. Ця інформація може використовуватися споживачами для контролю свого споживання енергії, а операторами мережі для оптимізації режимів її роботи.

Системи зв'язку забезпечують зв'язок між різними компонентами мережі, такими як обладнання, пристрої та системи управління. Ці системи використовуються для обміну інформацією та передачі команд.

Впровадження Smart Metering може мати ряд позитивних наслідків для споживачів, зокрема:

- зниження витрат на енергію тому, що споживачі можуть заощадити гроші на електроенергії, використовуючи такі технології, як програмовані контролери навантаження.
- споживачі можуть підвищити комфорт і зручність свого життя, використовуючи такі технології, як розумні будинки і розумні міста.
- споживачі можуть отримувати більш якісні послуги від операторів мережі, використовуючи такі технології, як автоматичне відключення і розподіл навантаження.

Позитивні ефекти від впровадження технології Smart Grid в мікромережах можна розділити на кілька видів, залежно від того, який аспект роботи мікромережі вони покращують.

- Розумна дистрибуція - це застосування технологій Smart Grid для покращення ефективності та надійності електропостачання. Це включає в себе використання таких технологій, як програмовані контролери навантаження та системи автоматизації.
- Розумне виробництво - це застосування технологій Smart Grid для покращення ефективності та надійності виробництва електроенергії, збільшення обсягів застосування відновлюваних джерел енергії.

- Розумне споживання - це застосування технологій Smart Grid для покращення ефективності споживання електроенергії та підвищення комфорту споживачів, що передбачає розвиток таких технологій, як розумні будинки та розумні міста.

При цьому в технологіях, що застосовуються в мікромережах, програмовані контролери навантаження - це пристрої, які можуть автоматично керувати навантаженням на мережу, що допомагає операторам мережі збалансувати навантаження і зменшити ризик перевантаження мережі.

Інтелектуальні датчики можуть збирати інформацію про стан обладнання і параметри локальних джерел енергії, що використовується для виявлення й попередження потенційних проблем і прийняття рішень щодо оптимізації виробництва електроенергії.

Системи автоматизації та управління - це системи, які можуть автоматично керувати обладнанням і режимами, що дає змогу операторам мережі підвищити ефективність і надійність її роботи.

Розумні будинки - це будинки, в яких використовуються технології Smart Grid для підвищення ефективності споживання електроенергії та комфорту споживачів і використання таких технологій, як автоматичне керування освітленням і програмовані контролери навантаження та т.ін.

Розумні міста - це міста, в яких використовуються технології Smart Grid для підвищення ефективності і надійності енергопостачання. Це включає в себе використання таких технологій, як автоматизовані системи управління світлофорами і системи розподілу енергії на основі попиту.

Сучасні системи моніторингу можуть використовуватися для аналізу даних, отриманих від та інтелектуальних датчиків. Це допомагає операторам мережі виявити і усунути проблеми, які можуть бути важко помітити вручну. Автоматичне усунення неполадок реалізується за рахунок використання такого обладнання як програмовані контролери навантаження та розподілу енергії на основі попиту, щоб усунути проблеми в мережі, без впливу на

роботу споживачів. На підставі цього з'являється можливість пропонувати споживачам знижки на електроенергію за умови, що вони знизять споживання в пікові години. Це може допомогти операторам мережі балансувати навантаження в мережі і запобігти перевантаженням.

Автоматичне виявлення та усунення неполадок може допомогти операторам мережі зменшити витрати на ремонт і обслуговування, забезпечити більш якісне обслуговування споживачам.

Очікується, що в майбутньому технології Smart Grid та різноманітні інтелектуальні пристрої стануть більш доступними, що призведе до їхнього більш широкого впровадження при проектуванні і побудові мікромереж.

В свою чергу, це допоможе інтегрувати більш відновлюваних джерел енергії в мережу, що може призвести до зменшення залежності від традиційних енергетичних ресурсів.

1.3 Загальні принципи побудови мікромереж та режими їх роботи

Міністерство енергетики США (DOE) визначає мікромережу як «групу взаємопов'язаних навантажень та розподілених енергетичних ресурсів у межах чітко визначених електричних кордонів, яка діє як єдиний контрольований об'єкт по відношенню до мережі. Мікромережа може підключатися та відключатися від мережі, що дозволяють їй працювати як у мережевому, так і в автономному режимах». Крім цього мікромережі розглядаються як ключовий компонент Smart Grid для покращення надійності електропостачання та забезпечення належної якості електроенергії [1].

Таким чином, мікромережа, по суті, є мініатюрною енергосистемою, створеною для управління розподіленими енергетичними ресурсами і яка може включати відновлювані джерела енергії (які використовують сонячну, вітрову та/або гідроенергію) з іншими невідновлюваними джерелами (такими як бензинові або дизельні генератори, газові турбіни, і т.ін.). Мікромережі

зазвичай мають можливість керувати навантаженнями, джерелами генерації, і використовувати системи накопичення енергії. Мікромережі можуть бути налаштовані для роботи паралельно із системою централізованого електропостачання, а також для роботи в автономному режимі під час надзвичайних ситуацій або залежно від конкретних потреб.

Мікромережі призначені для ефективного електропостачання споживачів із максимальним використанням чистої енергії за низькою собівартістю. Вони здатні дуже динамічно реагувати на потребу у електроенергії, спрощують інтеграцію відновлюваних джерел енергії, не вимагаючи перепроєктування існуючої розподільної системи. Для підвищення ефективності, економічних показників та гнучкості мікромережі оснащені інтелектуальними системами контролю, моніторингу та управління енергоспоживанням. Основними компонентами мікромережі є: бензинові, дизельні або газові генераторні установки, вітрогенератори та сонячні панелі, енергоакумулюючі системи, система перетворення енергії, система енергоменеджменту, станції для заряджання електричних транспортних засобів.

До основних завдань та сфер застосування мікромереж при зазначеному їх складу можна віднести:

- регулювання напруги та частоти,
- black start (запуск обладнання зі знеструмленого стану),
- підтримка ліній електропередачі та розподілу,
- оптимізація вартості електроенергії,
- регулювання попиту на енергію,
- забезпечення безперебійного живлення (ДБЖ)
- оптимізація витрат на експлуатацію системи електропостачання,
- підвищення енергоефективності та безпеки електропостачання,
- забезпечення нормованої якості електроенергії,
- реалізація концепції Smart Grid,
- підтримка інфраструктури електричних транспортних засобів.

Для реалізації перерахованих завдань мають бути вирішені такі групи питань:

- запропоновані та обґрунтовані функціональні моделі всіх складових мікромережі,
- розроблено алгоритми моделювання структури та режимів мікромережі,
- створено загальну методику експлуатації мікромережі в нормальних та аварійних умовах, а також оптимізації їх режимів роботи.

У найбільш поширених рішеннях щодо побудови мікромереж у якості основного джерела живлення використовується електроенергія, що постачається місцевою енергетичною компанією. Мікромережі, розташовані у віддалених місцях, можуть використовувати малі гідроелектростанції як основне джерело енергії або орієнтуватися для цієї мети на електростанції, що працюють на викопному паливі.

Лікарні, державні установи, центри обробки даних - це лише деякі з об'єктів, для яких потрібні джерела безперебійного живлення. Багато хто з них має кілька будівель, в яких окремі електроприймачі вимагають гарантованого електропостачання.

В цьому випадку резервні генератори постачають електроенергію в мережу при відключенні централізованого електропостачання. При цьому двигуни, що приводять в роботу генератори і працюють на природному газі (NG), а також бензинові або дизельні двигуни, є стандартним рішенням. Двигуни, які використовують природний газ, можуть працювати необмежено довго, доки не буде припинено подачу побутового газу. Генератори на дизельному паливі можуть працювати при виході з ладу всієї інфраструктури, у тому числі газопостачання, але залежать від запасів палива. Автоматизовані системи можуть повідомляти оператора, коли рівень палива в баку досягає заданої точки, щоб виключити зупинку обладнання через брак палива [3].

Сонячна та вітрова енергія — відмінні способи компенсувати витрати на енергозабезпечення споживачів, але вони недостатні та непостійні, щоб

брати на себе функції резервного живлення, так як залежать від місцевих погодних умов та рівня заряду, акумуляторних батарей, що використовуються одночасно з ними. У похмурий день без вітру акумулятори можуть швидко розрядитись.

Інвертор є найважливішим елементом таких ДБЖ. У багатьох випадках при відключенні основного джерела живлення саме батареї, що підключаються через інвертор, що перетворює постійний струм на змінний, забезпечують електропостачання критичних електроприймачів, в той час як резервні генератори готуються взяти на себе відповідне навантаження.

Система управління надає оператору можливості як управління, і моніторингу. Вона може бути розділена на окремі підсистеми, кожна з яких пов'язані з певними одиницями устаткування. Зокрема, вони отримують інформацію про поточні параметри всіх джерел енергії і розподіляють між ними сумарне навантаження. Крім цього, система управління, відстежуючи режим, має можливість при необхідності підключити резервні генератори для подачі живлення на критичні електроприймачі.

Відповідним чином контролюються надходження електроенергії від поновлюваних джерел, акумуляторної батареї та її використання. Таким чином, по суті, система управління надає програмне рішення для обслуговування, моніторингу та управління всім обладнанням, пов'язаним із структурою мікромережі.

Надмірність є ключовим принципом при проектуванні мікромереж. Резервування – це наявність готової резервної одиниці устаткування взяти на себе виконання певних функцій у разі виходу з ладу основного устаткування. Генератори, вітряні турбіни та акумуляторні батареї — це елементи мікромережі, які можуть бути як резервним, так і основним або допоміжним обладнанням.

Деяке резервне обладнання автоматично бере на себе функції основного обладнання та повідомляє оператора про ситуацію, що виникла. Потім оператор з'ясовує причину та інформує оперативний персонал про проблему

з метою її усунення. Резервне устаткування відповідає тим самим вимогам, як і основне устаткування й у деяких випадках основне і резервне устаткування за рішенням оператора змінюються місцями, наприклад, у випадку виконання регламентних робіт.

Таким чином, мікромережа - це незалежна система енергозабезпечення, яка може працювати як частина більшої мережі або самостійно від неї. Вона зазвичай включає в себе відновлювані джерела енергії (такі як сонячні панелі, вітряні турбіни), пристрої зберігання енергії (такі як акумулятори), традиційні джерела (генератори на дизельному пальному, наприклад) та системи управління.

Мікромережа може працювати в кількох режимах:

1. Підключений до Централізованої Мережі (Рис.1.1):

- Під час нормальної роботи: Мікромережа може отримувати енергію з централізованої мережі та використовувати її для власних потреб.

- Під час відключення: у випадку відключення централізованої мережі, мікромережа може переключитися на власні джерела енергії, включаючи відновлювані джерела та батареї.

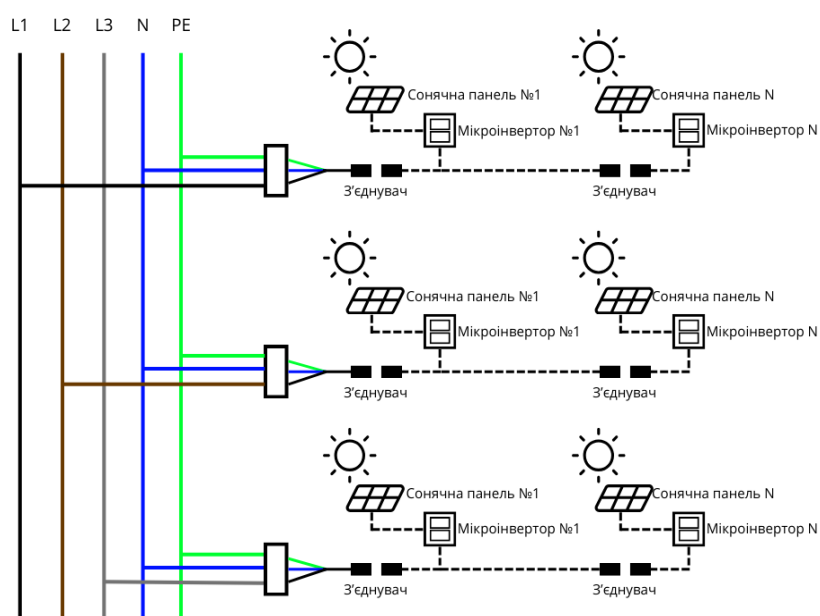


Рисунок 1.1 – Схема підключення пристрою моніторингу MicroGrid системи

2. Незалежний Режим (Рис.1.2):

- під час нормальної роботи мікромережа може забезпечувати енергією всі свої навантаження, використовуючи відновлювані джерела та заряджаючи батареї для подальшого використання в нічний час або в разі пікових навантажень;
- у випадку відключення від централізованої мережі мікромережа може продовжувати роботу, використовуючи власні резерви енергії.

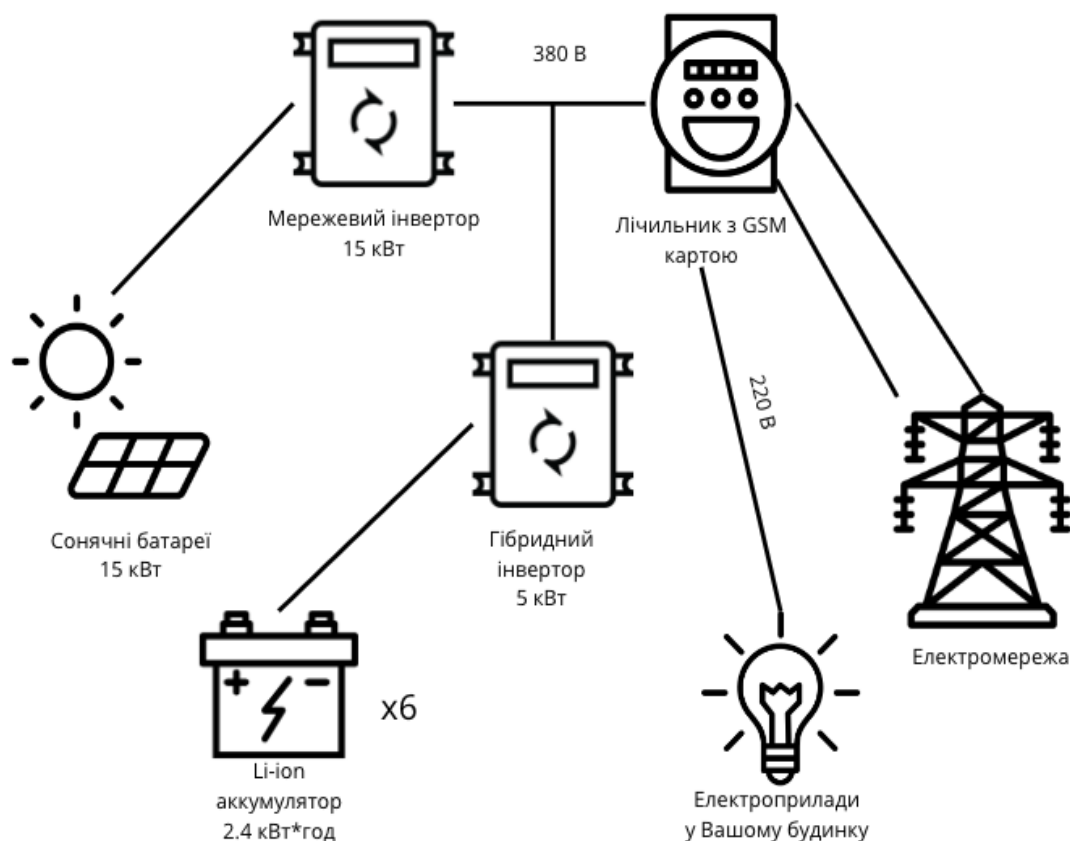


Рисунок 1.2 - Схема незалежного режиму роботи мікромережі

3. Режим надлишку генерації (Рис.1.3):

- під час нормальної роботи мікромережа може виробляти більше енергії, ніж йому потрібно, і використовувати надлишок для заряджання батарей або накопичення як запас;
- у разі відключення від централізованої мережі мікромережа може використовувати запас енергії з батарей або інших сховищ для продовження подачі енергії в обмеженому режимі.

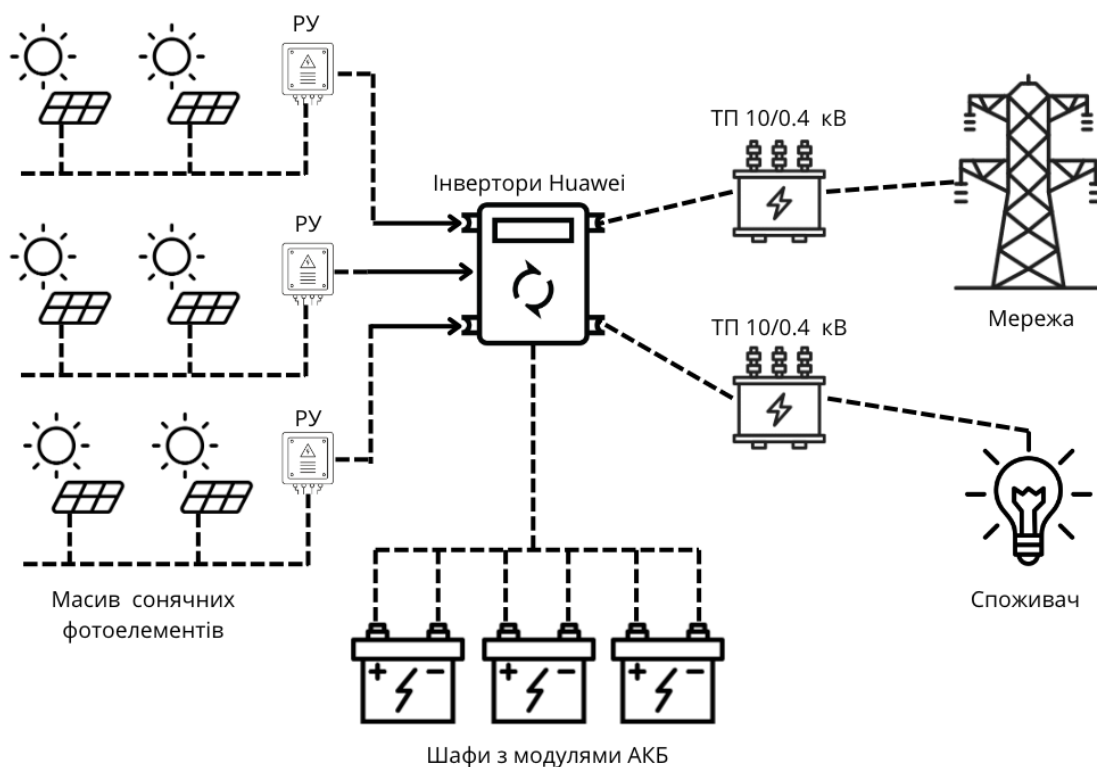


Рисунок 1.3 - Модульна схема накопичення на базі Huawei

4. Енергозберігаючий Режим:

- якщо навантаження в мікромережі дуже низьке, система може вимикати частину джерел енергії та заряджати батареї, щоб зберегти енергію для майбутніх потреб.

Режими роботи мікромережі можуть змінюватися в залежності від потреб споживачів, наявних джерел енергії та можливостей управління енергетичними потоками.

Висновки до розділу

Ключовими компонентами мікромережі є різноманітні локальні джерела енергії, системи її зберігання управління та контролю, а також станції для заряджання електричних транспортних засобів.

Мікромережі вважаються ефективними та економічно вигідними, оскільки вони можуть адаптуватись до змін у потребах в енергії, зменшують

залежність від традиційних джерел та сприяють стійкості електропостачання, оснащуючись інтелектуальними системами керування та моніторингу.

Узагальнюючи, мікромережі - це інноваційний підхід до організації використання енергетичних ресурсів, який сприяє стабільності, ефективності та сталому розвитку систем електропостачання.

2. ОСНОВНІ СТРУКТУРНІ КОМПОНЕНТИ МІКРОМЕРЕЖ

2.1 Неконтрольовані джерела енергії

Сонячні панелі є одним з найбільш характерних і поширених неконтрольованих джерел енергій, які присутні у структурі більшості мікромереж.

Існує кілька основних способів інтеграції сонячних панелей в електричні мережі:

- Одностороння інтеграція передбачає, що сонячні панелі просто підключаються до електромережі. Цей метод є найпростішим і найдешевшим, але він має ряд обмежень. Наприклад, він не дозволяє ефективно керувати виробництвом електроенергії, а також може призвести до перевантаження мережі в періоди з високим виробництвом сонячної енергії.
- Інтеграція з накопичувачами енергії передбачає використання накопичувачів енергії для зберігання надлишкової електроенергії, виробленої сонячними панелями. Це дозволяє використовувати сонячну енергію в періоди з низьким виробництвом, а також підвищує надійність електропостачання.

Інтеграція сонячних панелей в мікромережі вимагає використання певних технічних засобів і рішень. Серед них:

- Системи моніторингу, яка дозволяє відстежувати виробництво і споживання електроенергії з сонячних панелей.
- Системи управління, яка дозволяє ефективно керувати процесами виробництва і споживання електроенергії.
- Системи захисту, яка забезпечує безпеку електропостачання.

Існує безліч варіантів підключення сонячних панелей. Ось деякі з них:

- Схема паралельного підключення сонячних панелей (Рис.2.1):

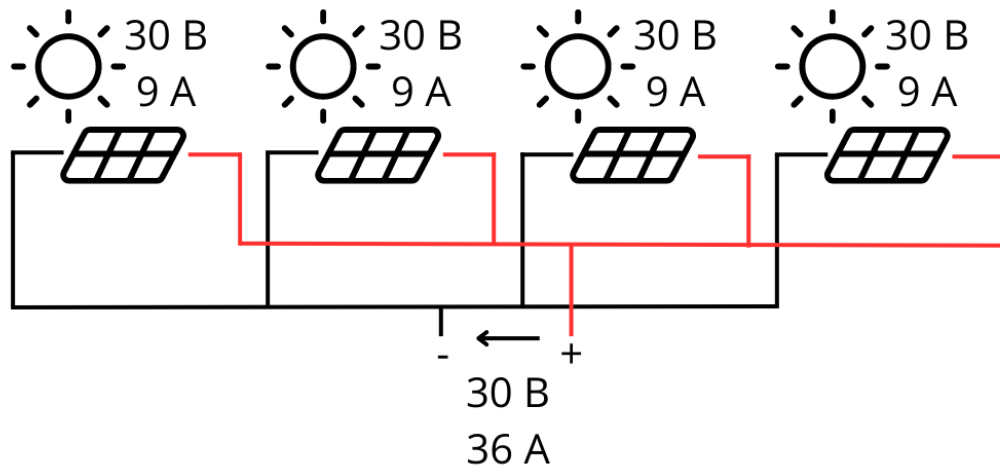


Рисунок 2.1 – Схема паралельного підключення

- Схема послідовного підключення сонячних панелей (Рис.2.2):

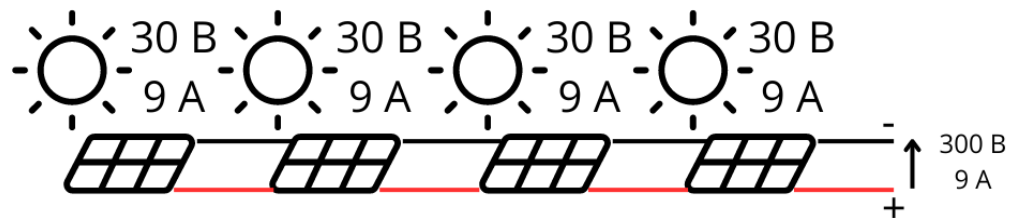


Рисунок 2.2 - Схема послідовного підключення сонячних панелей

- Схема різнобічного підключення сонячних панелей (Рис.2.3):

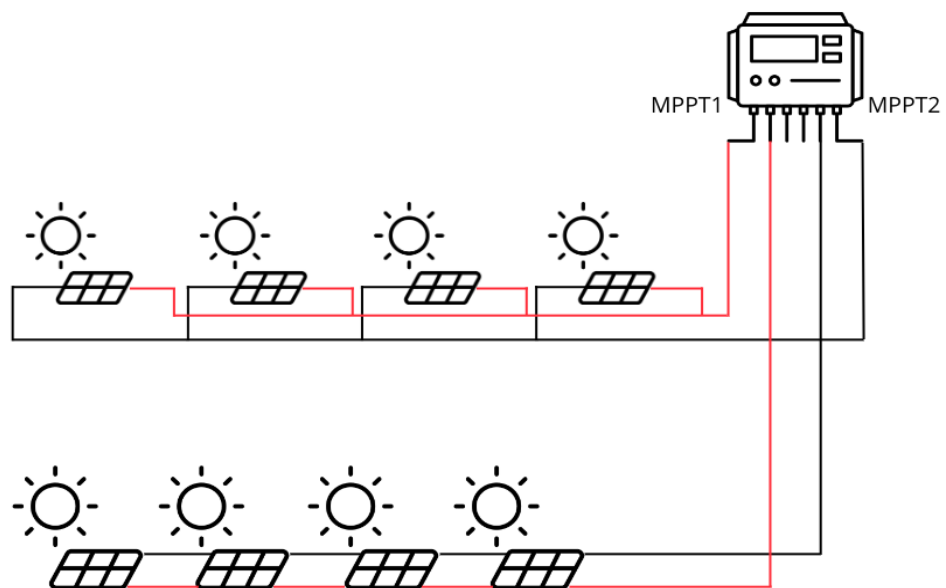


Рисунок 2.3 - Схема різнобічного підключення масивів сонячних панелей

При виборі сонячних панелей для Microgrid необхідно враховувати такі фактори:

- потужність - потужність сонячної панелі вимірюється в ватах (Вт) і визначає кількість енергії, яку вона може виробити в одиницю часу;
- ефективність - ефективність сонячної панелі вимірюється в процентах і визначає, скільки сонячного світла вона перетворює в електричну енергію;
- напруга - напруга сонячної панелі вимірюється в вольтах (В) і визначає, скільки вольт вона може забезпечити на своєму виході;
- струм - струм сонячної панелі вимірюється в амперах (А) і визначає, скільки ампер вона може забезпечити на виході;
- розмір - розмір сонячної панелі вимірюється в квадратних метрах (m^2) і визначає, скільки місця вона займає;
- вага - вага сонячної панелі вимірюється в кілограмах (кг) і визначає, скільки вона важить;
- ціна - ціна сонячної панелі залежить від її потужності, ефективності, розміру та інших факторів.

Сонячні панелі можна розділити на два основних типи:

- полікристалічні - полікристалічні сонячні панелі складаються з кристалів кремнію, які мають нерегулярний вигляд. Полікристалічні сонячні панелі є більш доступними, ніж монокристалічні сонячні панелі;
- монокристалічні - монокристалічні сонячні панелі складаються з одного кристала кремнію, який має регулярний вигляд. Монокристалічні сонячні панелі є більш ефективними, ніж полікристалічні сонячні панелі.

Крім основних, сонячні панелі можуть мати такі додаткові характеристики:

- температурний коефіцієнт - температурний коефіцієнт сонячної панелі визначає, наскільки її потужність та ефективність змінюються при зміні температури;

- гарантія - гарантія сонячної панелі визначає, як довго виробник гарантує, що панель буде працювати;
- водонепроникність - водонепроникність сонячної панелі визначає, наскільки вона стійка до води;
- міцність - міцність сонячної панелі визначає, наскільки вона стійка до механічних пошкоджень.

При виборі сонячних панелей для Microgrid необхідно враховувати такі фактори:

- потужність - потужність сонячних панелей повинна бути достатньою для забезпечення енергією споживачів;
- ефективність - ефективність сонячних панелей повинна бути високою, щоб забезпечити максимальну продуктивність;
- напруга та струм - напруга та струм сонячних панелей повинні відповідати характеристикам інвертора, який буде використовуватися для перетворення енергії сонячних панелей в змінний струм;
- розмір та вага - розмір та вага сонячних панелей повинні відповідати вимогам місця установки;
- ціна - ціна сонячних панелей повинна відповідати бюджету.

Однак сонячні панелі мають і деякі недоліки, зокрема:

- їх продуктивність залежать від погодних умов, тобто виробництво електроенергії змінюється в залежності від рівня сонячного освітлення;
- вони вимагають великих інвестицій у початковій фазі.

Взаємодія сонячних панелей з іншими джерелами відновлюваної енергії в мікромережах має ряд переваг. Наприклад, це дозволяє:

- збалансувати виробництво електроенергії в мережі, компенсуючи нестабільність сонячних і вітрових електростанцій;
- знизити вартість електроенергії для споживачів;
- Зменшити залежність від традиційних джерел енергії.

Системи управління енергією (energy management system) дозволяє автоматично регулювати виробництво електроенергії з різних джерел, щоб забезпечити баланс в мережі.

В Україні впровадження Smart Grid та мікромереж є одним із пріоритетів розвитку енергетики. У 2022 році Кабінет Міністрів України затвердив план заходів щодо реалізації державної політики у сфері розвитку Smart Grid. План заходів передбачає, зокрема, розвиток розподілених джерел енергії, таких як сонячні панелі.

Реалізація цієї програми дозволить Україні підвищити ефективність використання енергії, зменшити залежність від традиційних джерел енергії та сприяти переходу до чистої енергетики.

Фінансові аспекти використання сонячної енергії в контексті побудови Smart Grid є важливим фактором, який слід враховувати при прийнятті рішення про будівництво сонячних станцій.

Основні фінансові фактори, які слід враховувати, включають:

- вартість будівництва сонячної електростанції, яка залежить від її потужності, типу сонячних панелей, що використовуються, а також інших факторів, таких як вартість праці та матеріалів;
- вартість експлуатації сонячної електростанції, яка включає в себе витрати на технічне обслуговування, ремонт та заміну обладнання;
- дохід від продажу електроенергії, що залежить від ціни на електроенергію на ринку;
- податкові пільги, які існують у деяких країнах для інвесторів у сонячні електростанції.

В цілому, фінансові аспекти інвестицій в сонячні електростанції в контексті Smart Grid є складними та залежать від багатьох факторів. Інвестори повинні ретельно оцінити всі переваги та недоліки перед тим, як прийняти рішення про будівництво такої станції.

Важливо ретельно оцінити всі фінансові аспекти такого проекту. Зробивши це можна буде прийняти обґрунтоване рішення, яке принесе економічну вигоду.

Незважаючи на переваги, інтеграція сонячних панелей у електричні мережі також може створити деякі виклики, такі як:

- сонячні панелі виробляють електроенергію лише вдень, коли є сонячне світло. Це може призвести до нерівномірного навантаження на мережу, особливо в районах з великою кількістю сонячних панелей;
- сонячні панелі можуть відключатися внаслідок несприятливих погодних умов, таких як сильний вітер або сніг. Це може призвести до перевантаження мережі та відключення панелей.

В Україні інтеграція сонячних панелей у Smart Grid є одним із пріоритетних напрямків розвитку енергетики. Уряд України планує до 2030 року досягти встановленої потужності сонячних електростанцій у 10 ГВт. Це дозволить забезпечити експорт електроенергії з України, а також підвищити енергетичну безпеку самої країни.

Другим найбільш поширеним відновлюваним неконтрольованим джерелом енергії є вітрові станції.

Вітрові електроустановки (ВЕС) є важливим елементом Smart Grid, оскільки вони можуть забезпечити електроенергією локальні громади та допомагають збалансувати мережу.

Основні характеристики вітрової електроустановки включають:

- потужність: потужність ВЕС залежить від типу турбіни, висоти вежі та швидкості вітру;
- вихідні параметри: ВЕС виробляють електроенергію в залежності від швидкості вітру. При низькій швидкості вітру ВЕС виробляє менше електроенергії, а при високій швидкості вітру може виробляти більше електроенергії, ніж її можна продати;
- вартість: вартість ВЕС залежить від типу турбіни, висоти вежі та інших факторів;

- ефективність: ефективність ВЕС залежить від типу турбіни, висоти вежі та інших факторів.

Додаткові характеристики, які варто враховувати при плануванні використання ВЕС:

- гнучкість: ВЕС можуть бути швидко включені та виключені, що дозволяє балансувати мережу;
- висока надійність: ВЕС мають високу надійність і можуть працювати протягом багатьох років;
- здатність до зберігання енергії: ВЕС можуть бути поєднані з системами зберігання енергії, що дозволяє зберігати електроенергію для використання в пікові періоди навантаження.

Автоматизоване управління вітровими генераторами є важливою частиною забезпечення стабільності та ефективності роботи електричних мереж. Вітрові генератори є відновлюваними джерелами енергії, але вони також є непередбачуваними, оскільки їх потужність залежить від погодних умов.

Існує кілька різних методів автоматизованого управління вітровими генераторами. Одним із найпоширеніших методів є використання програмного забезпечення для прогнозування погоди. Це програмне забезпечення використовує дані про погоду, такі як швидкість вітру та напрямок вітру, щоб прогнозувати потужність вітрових генераторів у майбутньому. Диспетчери енергосистеми можуть використовувати ці прогнози для регулювання режимів заздалегідь, щоб уникнути перевантаження енергосистеми.

Іншим методом автоматизованого управління вітровими генераторами є використання систем управління навантаженням. Ці системи дозволяють диспетчерам енергосистеми відключати деякі вітрові генератори, коли це необхідно для підтримки стабільності енергосистеми.

Існує декілька варіантів підключення ВЕС. Ось основні з них:

- Схема без акумуляторної батареї з введенням основної мережі.
- (Рис.2.4):

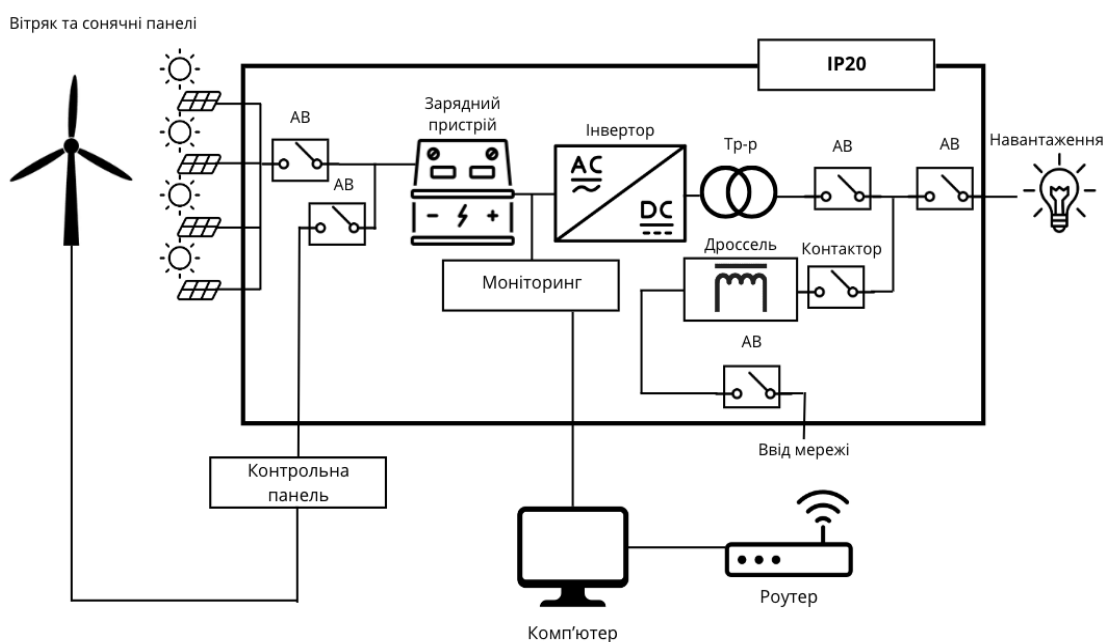


Рисунок 2.4 - Схема без акумуляторної батареї з введенням основної мережі

- Схема з акумуляторними батареями та введенням основної мережі. (Рис.2.5):

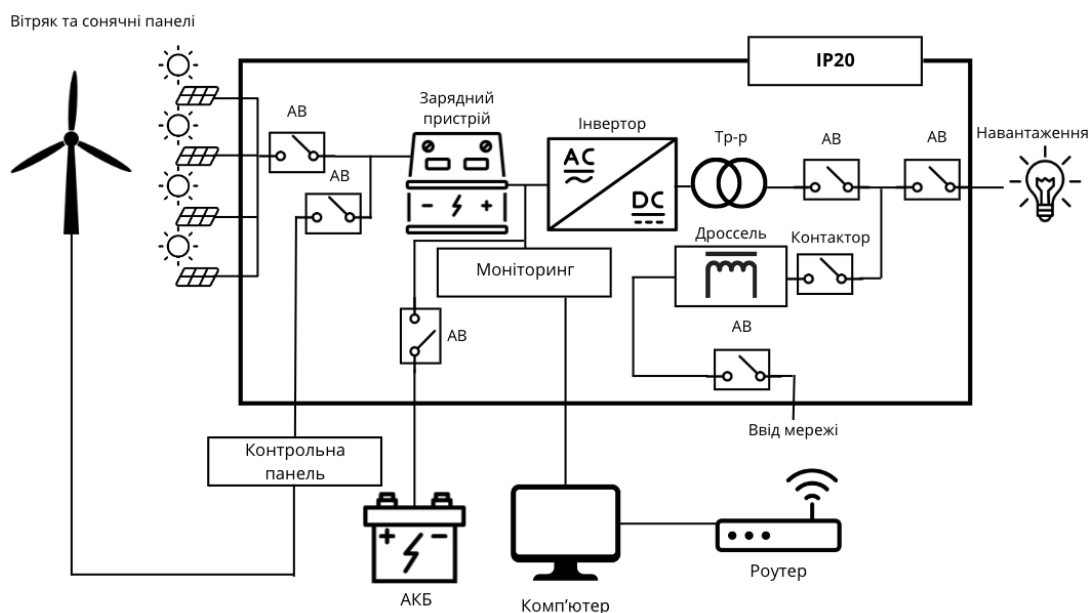


Рисунок 2.5 - Схема з акумуляторними батареями та введенням основної мережі

Вітрові станції є одним з основних джерел відновлюваної енергії, але вони мають ряд обмежень, пов'язаних з непередбачуваністю вітру. Прогнозування вітрових умов може допомогти в вирішенні цих обмежень, дозволяючи операторам енергосистем оптимізувати виробництво енергії та забезпечити надійність електропостачання.

Існує ряд алгоритмів прогнозування вітрових умов. Ці алгоритми використовують різні методи, включаючи машинне навчання, штучні нейронні мережі та стохастичний моделювання. Вони можуть прогнозувати вітрові умови на різні часові горизонти, від кількох годин до кількох днів.

Компанія Siemens розробила систему прогнозування вітрових умов, яка використовує штучні нейронні мережі. Ця система використовується в декількох країнах світу, включаючи Німеччину, США та Китай.

В Україні також ведеться робота над створенням алгоритмів прогнозування вітрових умов у Smart Grid. Наприклад, Національна академія наук України розробила систему прогнозування вітрових умов, яка використовує метод стохастичного моделювання. Ця система використовується на декількох вітрових електростанціях в Україні.

Вітрові генератори, як правило, розташовані в віддалених районах, де немає розвиненої інфраструктури. Для їхнього ефективного впровадження необхідно збільшити інвестиції в мережі електропередачі та розподілу енергії. Це може бути дорого і складно, особливо в країнах з обмеженими фінансовими ресурсами.

Вітряні генератори мають низку специфічних характеристик, які можуть ускладнити їхню інтеграцію в енергосистеми. Наприклад, вони можуть призвести до різких коливань напруги в мережі. Крім того, вони можуть створювати перешкоди для радіозв'язку та інших систем.

Вітряні генератори, як правило, дорожчі, ніж традиційні джерела енергії, такі як теплові електростанції. Це може ускладнити їхню конкуренцію на ринку електроенергії.

Незважаючи на ці проблеми та виклики, впровадження вітрових генераторів є важливою частиною переходу до чистої енергії.

Розробка нових стандартів та протоколів для інтеграції вітрових генераторів допоможе полегшити їх інтеграцію в енергогосистеми.

Запровадження економічних стимулів допоможе зробити вітряну енергію більш доступною та конкурентоспроможною.

2.2 Контрольовані джерела енергії

Найбільш поширеними джерелами енергії в цій категорії є бензинові та дизельні генератори.

Бензинові генератори мають важливе значення для систем електропостачання у таких випадках:

- бензинові генератори можуть використовуватися для забезпечення резервного живлення у разі відключення централізованого електропостачання, що особливо важливо для критичних об'єктів, таких як лікарні, банки та урядові установи;
- бензинові генератори можна використовувати для розширення пропускної здатності мережі в періоди пікового навантаження, що може допомогти уникнути перевантаження мережі та відключень електропостачання споживачів;
- бензинові генератори можна використовувати для збалансування мережі в разі зміни попиту на електроенергію.

Так, наприклад:

- У Києві бензинові генератори використовуються для забезпечення резервного живлення для лікарень, банків та інших критичних об'єктів.
- У США бензинові генератори використовуються для розширення пропускної здатності мережі в періоди пікового навантаження.

- У Німеччині бензинові генератори використовуються для збалансування мережі в разі зміни попиту на електроенергію.

Технічні характеристики бензинових генераторів включають в себе такі параметри:

- потужність - визначає максимальну кількість енергії, яку може виробити генератор. Потужність генератора вимірюється в кВт;
- напруга - визначає величину напруги, яку виробляє генератор. Напруга генератора вимірюється в вольтах;
- частота - визначає величину частоти, яку виробляє генератор. Частота генератора вимірюється в герцах;
- кількість фаз - визначає кількість фаз, на які розрахований генератор. Генератори можуть бути однофазними, трифазними або комбінованими;
- тип двигуна - визначає тип двигуна, який використовується для приводу генератора. Генератори можуть бути оснащені чотиритактними або двотактними двигунами;
- об'єм двигуна - визначає обсяг двигуна, який використовується для приводу генератора. Об'єм двигуна вимірюється в кубічних сантиметрах;
- обсяг паливного бака - визначає обсяг паливного бака, який використовується для зберігання палива. Об'єм паливного бака вимірюється в літрах;
- Тривалість роботи без дозаправки - визначає максимальну кількість часу, протягом якого генератор може працювати без дозаправки, що залежить від потужності генератора, об'єму паливного бака та навантаження;
- рівень шуму - визначає рівень шуму, який створює генератор під час роботи. Рівень шуму генератора вимірюється в децибелах;
- Вага - визначає вагу генератора. Вага генератора вимірюється в кілограмах;
- Розміри - визначають габаритні розміри генератора. Розміри генератора вимірюються в сантиметрах.

Крім цих основних параметрів, бензинові генератори можуть характеризуватися й інші, такими як:

- система захисту від перевантаження - запобігає перевантаженню генератора;
- система захисту від низького рівня масла - запобігає запуску генератора при низькому рівні масла;
- система захисту від перегрівання - запобігає перегріву генератора;
- система автоматичного запуску - дозволяє автоматично запускати генератор у разі відключення електропостачання;
- система глушника - знижує рівень шуму, який створює генератор під час роботи.

При виборі бензинового генератора необхідно враховувати такі фактори:

- потреби в електроенергії - необхідно визначити, яка кількість електроенергії необхідна для забезпечення роботи обладнання, яке буде підключено до генератора;
- напруга і частота - необхідно вибрати генератор, який відповідає напругі і частоті електромережі, до якої він буде підключатися;
- тип двигуна - необхідно вибрати генератор, який відповідає конкретним потребам і вимогам;

У майбутньому використання бензинових генераторів у мікромережах буде зростати. Це пов'язано з тим, що вони стають все більш складним і вимагатимуть більшої гнучкості та адаптивності. Бензинові генератори можуть забезпечити цю гнучкість і адаптивність, допомагаючи підтримувати безперебійне електропостачання.

Однак важливо зазначити, що бензинові генератори мають також деякі недоліки, такі як:

- бензинові генератори є дорогими пристроями;
- бензинові генератори викидають в атмосферу шкідливі речовини;

- Бензинові генератори можуть створювати шум, який може бути шкідливим для здоров'я.

Ці недоліки необхідно враховувати при проектуванні та експлуатації мікромереж.

Автоматичне управління бензиновими генераторами є ефективним способом оптимізації споживання пального та зниження викидів. Система керування може використовуватися для відстеження споживання електроенергії в мережі та відключення генераторів, коли енергія з мережі є достатньою. Це може призвести до значної економії пального та зниження викидів.

При цьому зазначено система може:

- використовуватися для визначення оптимального часу роботи генераторів. Це може призвести до значної економії пального, оскільки генератори будуть працювати лише тоді, коли це необхідно;
- використовуватися для відключення генераторів, коли енергія з мережі є достатньою. Це може призвести до зниження викидів шкідливих речовин, таких як оксиди азоту (NO_x), оксиди сірки (SO_x) та викиди парникових газів;
- використовуватися для забезпечення безперебійного електропостачання. Якщо мережа постраждає від відключення, генератори можуть бути включені для забезпечення резервного електропостачання.

Економічні вигоди від використання бензинових генераторів у мікромережах можна розділити на два основних типи:

- генератори можуть використовуватися для генерування електроенергії в періоди пікового навантаження, коли ціни на електроенергію на ринку найвищі. Це може призвести до значних заощаджень для споживачів, особливо для тих, хто має високий рівень споживання електроенергії;
- генератори можуть використовуватися для забезпечення резервного електропостачання в разі відключення споживача від основної

мережі. Це може захистити споживачів від фінансових втрат і неприємностей, пов'язаних з відключенням електроенергії.

Так, зокрема:

- готельні комплекси можуть використовувати генератори для забезпечення резервного електропостачання для своїх готельних номерів, ресторанів і інших об'єктів. Це може захистити їх від фінансових втрат, пов'язаних з відключенням електроенергії, наприклад, від втрати бронювань або скарг клієнтів.
- промислові підприємства можуть використовувати генератори для забезпечення резервного електропостачання для своїх виробничих процесів. Це може захистити їх від втрати продуктивності або зупинки виробництва в разі відключення електроенергії.
- міські житлові будинки можуть використовувати генератори для забезпечення резервного електропостачання для своїх холодильників, морозильників і інших побутових приладів. Це може захистити їх від втрати продуктів харчування та інших цінних товарів у разі відключення електроенергії.

Звичайно, використання бензинових генераторів також пов'язане з певними витратами, такими як витрати на придбання, обслуговування та експлуатацію. Однак для багатьох споживачів економічні вигоди від використання генераторів можуть перевершувати витрати.

Ось деякі фактори, які слід враховувати при оцінці економічної доцільності використання бензинових генераторів у мікромережах:

- вартість електроенергії на ринку в періоди пікового навантаження;
- вартість придбання, обслуговування та експлуатації генератора;
- вартість, пов'язана з фінансовими втратами або збитками у разі відключення електроенергії.

Для підвищення ефективності та екологічної безпеки використання бензинових генераторів слід вжити таких заходів:

- розробка більш ефективних і менш шкідливих генераторів;
- розробка систем управління, які можуть оптимізувати

використання бензинових генераторів.

Дизельні генератори - це машини, які перетворюють енергію, що виділяється при спалюванні дизельного палива, в електричну енергію. Вони є одними з найпоширеніших типів генераторів, завдяки своїй надійності й ефективності та можуть працювати в широкому діапазоні температур і умов навколишнього середовища.

Основні технічні характеристики дизельних генераторів включають:

- номінальна потужність - максимальна потужність, яку може виробляти генератор при номінальних умовах;
- робочий об'єм - об'єм циліндра двигуна;
- частота обертання - кількість обертів вала двигуна за хвилину;
- вихідна напруга - напруга, яку виробляє генератор;
- вихідний струм - струм, який виробляє генератор;
- вихідний коефіцієнт потужності - співвідношення між вихідною потужністю та номінальною потужністю;
- ККД - коефіцієнт корисної дії, який визначає кількість енергії, що перетворюється в електричну енергію;
- вага - маса генератора;
- розміри - габаритні розміри генератора.

Дизельні генератори використовуються в самих різних сферах, включаючи:

- резервне електропостачання - дизельні генератори часто використовуються як резервне джерело електропостачання для підприємств, житлових будинків та інших об'єктів;

- постійне електропостачання - дизельні генератори можуть використовуватися для постійного електропостачання у віддалених районах, де відсутня централізована електромережа;
- будівництво - дизельні генератори використовуються для забезпечення електроенергією будівельних майданчиків;
- сільське господарство - дизельні генератори використовуються для забезпечення електроенергією фермерських господарств;
- промислове виробництво - дизельні генератори використовуються для забезпечення електроенергією промислових об'єктів.

Переваги та недоліки дизельних генераторів включають.

Переваги:

- надійність - дизельні генератори мають високу надійність і можуть працювати в різних умовах;
- ефективність - дизельні генератори мають високий ККД, що дозволяє економити паливо;
- широкий діапазон потужностей - дизельні генератори доступні в широкому діапазоні потужностей, що дозволяє підібрати модель для будь-яких потреб.

Недоліки:

- висока вартість - дизельні генератори мають відносно високу питому вартість;
- шум - дизельні генератори є шумними;
- вихлопні гази - дизельні генератори виділяють вихлопні гази, які можуть бути шкідливими для навколишнього середовища.

Газотурбинні установки (ГТУ) - це тип теплових двигунів, які використовують газ для вироблення електроенергії. Вони складаються з газової турбіни, яка обертає генератор, який виробляє електроенергію. ГТУ є ефективним способом виробництва електроенергії, оскільки вони мають високу потужність і можуть швидко запускатися та зупинятися.

Технічні характеристики газотурбінних установок:

- **потужність.** Потужність ГТУ може становити від кількох кіловат до десятків мегаватт;
- **ефективність.** Ефективність ГТУ може сягати 40%;
- **вихідний газ.** Вихідний газ ГТУ може використовуватися для обігріву, охолодження або інших цілей;
- **вихлопні гази.** Вихлопні гази ГТУ містять шкідливі викиди, які необхідно очищати перед викидом в атмосферу.

ГТУ використовуються в різних галузях, включаючи:

- **електроенергетика** - ГТУ є основним джерелом електроенергії в багатьох країнах;
- **промисловість** - ГТУ використовуються для виробництва електроенергії для промислових підприємств;
- **збройні сили** - ГТУ використовуються для виробництва електроенергії та забезпечення руху військової техніки.

2.3 Засоби накопичення енергії

Акумулятори відіграють важливу роль в електроенергетиці, забезпечуючи ряд функцій, які допомагають зробити електромережу більш ефективною, надійною та стійкою.

Однією з основних функцій акумуляторів є згладжування піків навантаження. Це дозволяє зменшити необхідність у будівництві нових потужностей, що може бути дорогим і шкідливим для навколишнього середовища.

Вони також можуть допомогти покращити якість електроенергії, вирівнюючи коливання напруги та частоти. Це може бути особливо корисно для чутливих до електроенергії пристроїв, таких як медичне обладнання.

Акумуляторні батареї можуть допомогти стабілізувати та вирівняти вихідну потужність, що може бути важливо для забезпечення надійності електропостачання. Це може бути особливо корисно для відновлюваних

джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія, які мають нерегулярну вихідну потужність.

Акумулятори також можуть допомогти підвищити безпеку електромережі, забезпечуючи резервне живлення в разі відключення електроенергії. Це може бути особливо важливо для критичних об'єктів, таких як лікарні та телекомунікаційні центри.

Вони також можуть допомогти підвищити ефективність електромережі, дозволяючи споживачам переміщувати споживання електроенергії в часи низьких цін. Це може допомогти заощадити гроші споживачам та знизити навантаження на електромережу.

Акумулятори також можуть допомогти зменшити викиди вуглецю, дозволяючи споживачам використовувати більше відновлюваних джерел енергії. Це може сприяти переходу на чистішу та більш стійку енергетичну систему.

Також вони можуть використовуватися в різних місцях у енергосистемах, включаючи:

- розподільні мережі. Акумулятори можуть використовуватися у розподільних мережах для згладжування піків навантаження та покращення якості електроенергії;
- трансформаторні підстанції. Акумулятори можуть використовуватися на трансформаторних підстанціях для стабілізації та вирівнювання вихідної потужності;
- комерційні та промислові об'єкти. Акумулятори можуть використовуватися на комерційних та промислових об'єктах для підвищення ефективності електропостачання та забезпечення резервного живлення;
- будівлі. Акумулятори можуть використовуватися в будинках для зберігання енергії від сонячних батарей та інших відновлюваних джерел енергії.

Технології акумуляторів постійно розвиваються, що робить їх більш доступними, ефективними та довговічними. Це сприяє зростанню

застосування акумуляторів у електричних мережах. Існує декілька варіантів підключення акумуляторних батарей. Найчастіше обирають варіацію з паралельно-послідовним з'єднанням (Рис.2.7).

Кінетичні системи накопичення енергії (КСЕ) відіграють важливу роль у розвитку Smart Grid. Вони дозволяють вирішити ряд проблем, пов'язаних з традиційними системами електропостачання, таких як:

- Нестабільність генерації відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). КСЕ можуть використовуватися для накопичення енергії, виробленої ВДЕ, в години надлишкової генерації, і віддавати її в мережу з метою забезпечення якості електричної енергії;
- підвищення ефективності використання енергії. КСЕ можуть використовуватися для балансування навантаження в мережі, в умовах різкої зміни навантаження;
- збільшення надійності електропостачання. КСЕ можуть використовуватися для забезпечення резервної потужності в разі аварії на енергосистемі за умов короткочасних перерв в електропостачанні.

Основними типами КСЕ, що використовуються в електроенергетиці, є:

- Інерційні накопичувачі. Вони використовують обертовий масив для накопичення енергії. Інерційні накопичувачі мають високу швидкодію, що дозволяє їм швидко реагувати на зміни навантаження в мережі.
- Пневматичні накопичувачі. Вони використовують стислий газ для накопичення енергії. Пневматичні накопичувачі мають високу енергоємність, що дозволяє їм накопичувати великі обсяги енергії.
- Гідравлічні накопичувачі. Вони використовують стиснуту воду для накопичення енергії. Гідравлічні накопичувачі мають високу енергоємність і можуть використовуватися для накопичення енергії на великих відстанях від споживачів.

У Україні КСЕ все ще знаходяться на стадії розробки та впровадження. Однак, враховуючи зростаючу роль ВДЕ в енергосистемі країни, КСЕ мають потенціал стати її важливим елементом.

У системах Smart Grid та мікромережах широко використовуються різні типи акумуляторних батарей, кожен з яких має свої переваги та недоліки.

Літієві батареї є найпопулярнішим типом акумуляторів для застосування в електроенергетиці. Вони мають високу енергетичну щільність, що означає, що вони можуть зберігати більше енергії в одиницю об'єму або ваги. Літієві батареї також мають довгий термін служби та низький рівень саморозряду.

Свинцево-кислотні батареї є менш дорогими, ніж літієві батареї, але вони також мають меншу енергетичну щільність і коротший термін служби. Свинцево-кислотні батареї також мають більш високий рівень саморозряду, що означає, що вони повинні заряджатися частіше.

Нікель-кадмієві батареї мають високу потужність і довгий термін служби, але вони також мають токсичні компоненти, які можуть становити загрозу для навколишнього середовища.

Нікель-метал-гідридні батареї мають такі ж переваги, як і нікель-кадмієві батареї, але вони не містять токсичних компонентів.

Натрій-іонні батареї є відносно новим типом акумуляторів, який має потенціал стати більш доступним і екологічним варіантом для мікромереж. Вони мають більш високу енергетичну щільність, ніж свинцево-кислотні батареї, і нижчий рівень саморозряду, ніж літієві батареї.

Фосфорно-кислотні батареї є ще одним відносно новим типом акумуляторів, який має потенціал стати більш доступним і екологічним варіантом для електроенергетики. Вони також мають більш високу енергетичну щільність, ніж свинцево-кислотні батареї, і нижчий рівень саморозряду, ніж літієві батареї.

Вибір типу акумуляторної батареї для мікромереж залежить від кількох факторів, включаючи:

- Потужність. Потужність батареї визначає скільки енергії вона може зберігати;
- енергетична щільність. Енергетична щільність батареї визначає скільки енергії вона може зберігати в одиницю об'єму або ваги;
- термін служби. Термін служби батареї визначає скільки часу вона прослужить;
- вартість. Вартість батареї є важливим фактором, який слід враховувати при її виборі;
- екологічність. Екологічність батареї є важливим фактором, який слід враховувати при обґрунтуванні її застосування.

Основні застосування акумуляторних батарей у мікромережах включають:

- балансування режимів мережі. Акумуляторні батареї можна використовувати для балансування режимів мережі, що означає, що вони можуть використовуватися для зберігання надлишкової енергії, коли її виробляється більше, ніж споживається, і для віддачі енергії, коли її споживається більше, ніж виробляється;
- збереження відновлюваної енергії. Акумуляторні батареї можна використовувати для збереження відновлюваної енергії, наприклад, сонячної та вітрової енергії. Це дозволяє використовувати відновлювану енергію в той час, коли її не виробляється, наприклад, вночі або в безвітряні дні;
- покращення надійності мережі. Акумуляторні батареї можна використовувати для покращення надійності мережі, наприклад, для забезпечення резервного живлення в разі відключення електроенергії;
- зменшення споживання енергії: Акумуляторні батареї можна використовувати для зменшення споживання енергії, наприклад, для зберігання енергії для використання в пікові години споживання.

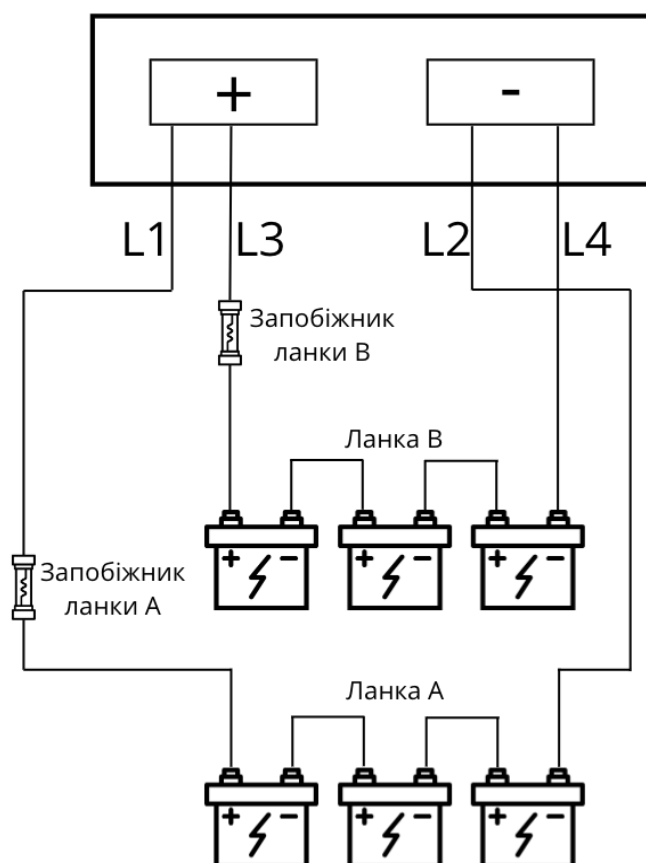


Рисунок 2.6 - Приклад послідовно-паралельного з'єднання АКБ з мережею

Висновки до розділу

Мікромережі у районах з низькою щільністю навантаження виявляються важливими для забезпечення стабільності енергопостачання споживачів. Контрольовані та неконтрольовані джерела енергії відіграють ключову роль у функціонуванні таких мереж.

Неконтрольовані джерела, такі як сонячні панелі чи вітряні турбіни, можуть мати менш передбачуваний характер та меншу можливість управління.

Контрольовані джерела, такі як дизельні генератори та газові турбіни, надають можливість прогнозування та управління виробництвом енергії, що є критичним для забезпечення сталого енергопостачання. Вони дозволяють підтримувати стабільність мережі та забезпечувати достатню кількість

енергії у відповідності з попитом. Вони можуть бути важливими доповненнями до енергетичної системи, особливо у випадках, коли неконтрольовані джерела недостатні для задоволення попиту.

У мікромережах з низькою щільністю навантаження інтеграція різних типів джерел енергії може забезпечити більшу незалежність від централізованих систем та зменшити втрати енергії через довгі лінії передачі. Оптимальне поєднання контрольованих та не контрольованих джерел може забезпечити надійне та ефективне енергопостачання в таких районах, знижуючи залежність від зовнішніх джерел енергії.

3. ПОБУДОВА ТА КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ СИСТЕМ ОБ'ЄДНАНИХ МІКРОМЕРЕЖ В УМОВАХ НИЗЬКОЇ ЩІЛЬНОСТІ НАВАНТАЖЕННЯ

3.1 Забезпечення надійної та ефективної роботи Smart Grid на територіях з низькою щільністю навантаження

Забезпечення надійної та ефективної роботи Smart Grid на територіях з низькою щільністю навантаження є складним завданням, яке потребує комплексного підходу. Ці території характеризуються невеликою кількістю споживачів, розташованих на значній відстані один від одного. Це призводить до підвищених витрат на будівництво та обслуговування мережі, а також до погіршення техніко-економічних показників їх роботи.

Для підвищення ефективності роботи мережі необхідно розробити нові моделі управління, які враховують особливості територій з низькою щільністю навантаження.

У цьому сенсі ефективним рішенням може бути використання мікромереж. У зазначеному випадку мікромережі формуються як для електропостачання окремих споживачів (учбові заклади, відділення лікарень та т. ін.), так і для груп споживачів (наприклад, житлові будинки).

При створенні мікромереж розподілені джерела електроенергії, такі як сонячні панелі та вітрові турбіни, можуть бути встановлені безпосередньо у споживачів. Це допоможе зменшити навантаження на мережу і підвищити її надійність.

У той же час, як вже зазначалося, використання виключно відновлюваних і не контрольованих джерел енергії не може забезпечити надійне та стабільне електропостачання споживачів. Для цього найкращим варіантом є гібридні мікромережі, які у якості джерел енергії поряд з відновлюваними джерелами використовують і контрольовані засоби генерування енергії або/та пристрої її зберігання.

Акумулятори можуть бути задіяні для зберігання енергії, виробленої відновлюваними джерелами енергії. Це допоможе стабілізувати роботу мережі і зменшити її залежність від зовнішнього електропостачання.

При цьому технології цифрового моніторингу режимів та управління можуть використовуватися для оптимізації роботи мережі. Це допоможе підвищити її ефективність і надійність.

Важливою умовою успішної реалізації зазначених проєктів є співпраця всіх зацікавлених сторін, включаючи операторів мережі, виробників електроенергії, споживачів та уряду. При цьому необхідно:

- враховувати особливості місцевих умов при розробці та впровадженні заходів та проводити дослідження для пошуку нових рішень, які можуть бути використані для забезпечення надійної та ефективної роботи мікромереж на територіях з низькою щільністю навантаження;
- здійснити більш детальний аналіз причин, які ускладнюють забезпечення надійної та ефективної роботи мікромереж у зазначених умовах;
- реалізувати поглиблений аналіз важливості співпраці всіх зацікавлених сторін та урахування місцевих умов при розробці та впровадженні відповідних проєктів та заходів.

У мікромережі можна реалізувати широку інтеграцію локальних відновлюваних джерел енергії, насамперед таких, які використовують сонячну та вітрову енергію. Коли мікромережі з'єднані з централізованою електромережею, великого впливу на роботу енергосистеми вони не мають, оскільки переважна більшість енергії виробляється і споживається в межах самої мікромережі. Тут є можливість встановити ціну на електроенергію нижче за ринкову, тому що в мікромережі немає широкої інфраструктури, численного персоналу та великих витрат на енергоносії.

З іншого боку, одним із стратегічних завдань сільської енергетики сьогодні є зниження енергоємності сільгоспвиробництва на основі широкого використання нових прогресивних технологій вироблення та споживання

енергетичних ресурсів. Перспективним шляхом вирішення проблеми є розширення масштабів використання поновлюваних джерел енергії. Крім економії традиційних енергоресурсів, використання ВДЕ відкриває можливості організації енергопостачання віддалених, не з'єднаних із центральними мережами, споживачів, насамперед сільськогосподарського призначення, а також об'єктів житлового сектору та комунально-побутового призначення.

За високого темпу зростання малоповерхового будівництва на селі, його частка у новозбудованому житлі досягає 70%. При цьому вже сьогодні складається тенденція будувати будинки та котеджі з чималими ділянками землі. Особливістю такого будівництва є зведення об'єктів, віддалених один від одного настільки, що будівництво зовнішніх інженерних мереж, насамперед енергетичних, стає економічно недоцільним. У цій ситуації актуальною стає організація автономного енергопостачання. Однак основні джерела відновлюваної енергії – сонце та вітер непостійні у своєму прояві, мають іноді створювати непрогнозовані перерви у надходженні енергії.

Це потребує створення потужних систем зберігання енергії та наявності резервних джерел енергопостачання, що суттєво підвищує вартість і системи, що створюються. Існує багато варіантів побудови мікромереж. Вони можуть працювати не лише автономно, а й паралельно з електромережею. Інновації в енергетиці та електроніці, в технологіях управління, інформатиці та зв'язку створюють сприятливі умови для розвитку та вдосконалення мікромереж, їх оптимального управління з підтриманням стандартних параметрів електроенергії, незважаючи на інтеграцію джерел нестабільної потужності, таких як вітряні (ВЕС) та сонячні електростанції (СЕС). У мікромережі легше здійснити балансування потужностей та отримати хороше співвідношення між генеруючими потужностями та обсягом виробленої енергії.

Тут можуть бути ефективно використані резервні джерела енергії та пристрої її накопичення, тоді як у великій енергосистемі треба мати дорогі та

громіздкі резервні потужності, які використовуються виключно в екстремальних ситуаціях.

Бути власниками мікромережі та експлуатувати її можуть власники житлових будинків, підприємства, ЗАТ, села, селища тощо. Тут споживачі енергії в той же час можуть бути її виробниками, що експлуатують свої мікроелектростанції або накопичувачі енергії. Інтеграція ВЕС, СЕС та інших електростанцій ВІЕ у мікромережу зустрічає значно менше бюрократичних перешкод, ніж приєднання до електромережі.

В даний час близько 90% існуючих електричних мікромереж займає площу до 1 км², а сумарна потужність джерел енергії в одній такій мікромережі не перевищує 1 МВт. Хороші перспективи для побудови мікромереж є у сільській місцевості, де доступ до місцевих первинних відновлюваних джерел енергії меншою мірою обмежений порівняно з урбанізованою місцевістю.

У мікромережі вироблена енергія в основному використовується місцевими споживачами, що забезпечує зниження втрат, пов'язаних із її передачею та розподілом електричними мережами.

Надійність електропостачання у різноманітних аварійних ситуаціях у межах мікромережі забезпечувати легше, ніж у великих енергетичних системах. Мережеві інвертори сонячних та вітряних електростанцій можуть виконувати функцію компенсації реактивної енергії та підтримувати коефіцієнт потужності мікромережі на високому рівні, що ще більше дозволяє знизити втрати, пов'язані з розподілом електроенергії.

Проблема вибору первинних джерел енергії мікромережі та визначення оптимального співвідношення їх потужностей вирішується на основі аналізу наступних технічних та економічних показників:

- добові, тижневі, місячні та річні графіки споживання енергії;
- ресурси місцевих поновлюваних та традиційних джерел енергії;

- вартість виробництва енергії відповідно до обраних технологій;

- необхідні ємності накопичувачів енергії;
- вартість накопичення та регенерування енергії;
- динамічні властивості генераторів енергії;
- динамічні властивості накопичувачів енергії та ін.

Функції накопичувачів електроенергії в мікромережах, як і в енергосистемі, полягають у наступному:

- резервування електростанцій з ВДЕ;
- інтегрування в мережу енергії електростанцій з ВДЕ;
- балансування потужності;
- вирівнювання навантаження;
- генерація енергії в умовах пікових навантажень;
- поліпшення якості енергії;
- стабільність безперебійної передачі електроенергії.

Застосовувані технології накопичення електроенергії:

- гідроакумуючі електростанції (ГАЕС);
- накопичувач енергії на стиснутому повітрі;
- накопичувачі енергії на маховиках;
- надпровідні індуктивні накопичувачі енергії;
- суперконденсатори;
- електрохімічні акумуляторні батареї (свинцево-кислотні,

нікель-кадмієві,

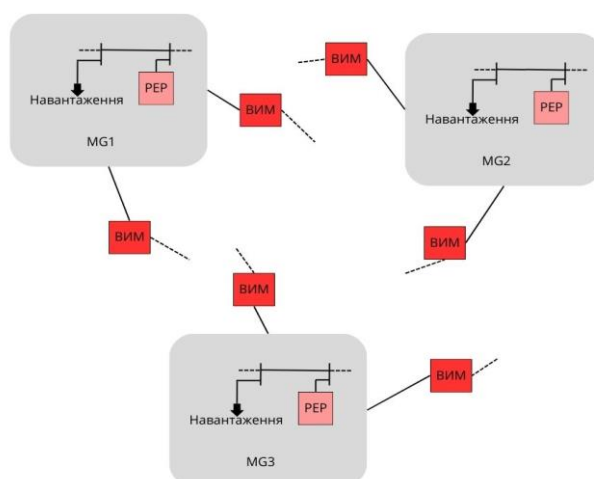
- нікель-метал-гідридні, літій-іонні;
- сірчано-натрієві батареї (NaS-батареї);
- проточні батареї;
- водневі накопичувачі енергії (ВНЕ).

Основні функції системи управління включають:

- підтримка балансу потужностей у мікромережі при її роботі в автономному режимі;
- комутація генераторів та накопичувачів енергії;
- керування потужністю регульованих джерел енергії;
- підтримка стабільності напруги в мікромережі;
- підтримка частоти в мікромережі;
- забезпечення збору інформації, яка потрібна споживачам для «розумного» управління навантаженнями.

Виключно автономну мікромережу доцільно створювати у регіонах із великим потенціалом ВДЕ. В цьому випадку необхідна ємність накопичувачів електричної енергії, повинна розраховуватися з урахуванням тривалості можливих інтервалів відсутності надходження енергії від відновлюваних джерел енергії.

Новим рішенням щодо підвищення ефективності та надійності електрорпостачання споживачів в умовах використання мікромереж є їх об'єднання з метою підвищення ефективності процесів балансування генерації та навантаження, запобігання перевантаження елементів мікромереж, підвищення надійності їх роботи. (Рис.3.1).



Де: ВИМ – вимикачі; PER – розподілені енергетичні ресурси, MG1, MG2, MG3 – автономні мікрогріди.

Рисунок 3.1 – Об'єднана робота мікромереж

3.2 Централізоване керування

Система керування у мікромережах є необхідною складовою для забезпечення ефективної та надійної їх роботи мережі. Зазначена система повинна дозволити:

- удосконалити управління навантаженням. Централізована система управління може відстежувати споживання енергії в режимі реального часу та регулювати виробництво та розподіл відповідно до попиту. Це дає змогу зменшити втрати енергії та підвищити ефективність мережі;
- забезпечити безпеку мережі. Централізована система управління може швидко виявляти та реагувати на проблеми в мережі, такі як аварії або відключення. Це допомагає запобігти поширенню проблем та захистити споживачів від перерв у електропостачанні;
- покращити якість електропостачання. Централізована система управління може забезпечувати стабільніше та якісніше електропостачання. Це важливо для критичної інфраструктури, наприклад, лікарень та аеропортів.

При цьому:

- функція управління навантаженням дозволяє централізованій системі управління відключати окремі електроприймачі від електромережі на короткий час, щоб запобігти її перевантаженню;
- функція балансування енергії дозволяє централізованій системі управління розподіляти навантаження між різними джерелами, щоб забезпечити надійне електропостачання;
- функція управління відновлюваними джерелами енергії дозволяє централізованій системі управління оптимізувати використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні та вітрові станції.

Централізоване керування в Smart Grid може реалізуватися за допомогою різних технологій, таких як:

- інтернет речей (IoT), де IoT-датчики можуть збирати дані про споживання енергії та стан мережі;
- машинне навчання може використовуватися для аналізу даних та прийняття рішень щодо управління мережею;
- блокчейн може використовуватися для зберігання даних про споживання енергії та управління мережею.

Основні функції централізованого керування мікромережею:

- забезпечує баланс між виробництвом та споживанням електроенергії, а також стабільність роботи енергосистеми;
- дозволяє регулювати споживання електроенергії на основі прогнозів попиту та пропозиції. Це може бути досягнуто за допомогою таких заходів, як управління піковим навантаженням, стимулювання споживання електроенергії в години низького попиту та використання відновлюваних джерел енергії;
- забезпечує ефективну роботу мережі та її захист від аварій. Це може бути досягнуто за допомогою таких заходів, як управління потоками електроенергії, оптимізація використання мережевих активів та управління аварійними ситуаціями;
- забезпечує безпеку та надійність роботи енергосистеми. Це може бути досягнуто за допомогою таких заходів, як моніторинг стану мережі, виявлення та усунення несправностей та реагування на надзвичайні ситуації.

Конкретні функції централізованого керування в мікромережах можуть відрізнятися в залежності від конкретного оператора системи розподілу. Однак, як правило, вони включають в себе наступне:

- збір та аналіз даних, що передбачає використання датчиків, системи SCADA та системи обліку. Отримані дані використовуються для аналізу стану мережі та прогнозування попиту на електроенергію;
- на основі зібраних даних використовуються алгоритми управління, які дозволяють ефективно керувати мережею;

- керування може бути реалізоване за допомогою таких заходів, як відключення споживачів, регулювання частоти та напруги та перерозподіл навантаження між окремими джерелами та т.ін.

Звичайно, централізоване управління має і деякі недоліки, наприклад, воно може бути менш гнучким, ніж децентралізоване управління, і воно може бути більш дорогим у реалізації.

Централізована система управління є простою мішенню для кібератак, які можуть призвести до відключення електроенергії або інших проблем.

Централізована система управління може бути не здатна адаптуватися до змін у потребах споживачів або в умовах електромережі.

Централізована система управління може бути дорогою для побудови та обслуговування. Це пов'язано з тим, що вона вимагає створення інфраструктури для передачі даних між централізованим центром управління і розподіленими пристроями.

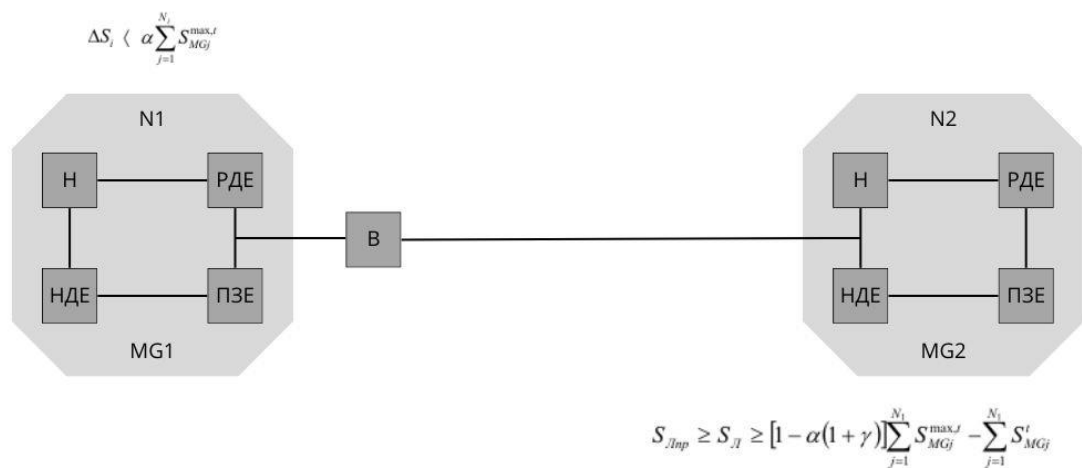
Складнощі, пов'язані із забезпеченням вимог до якості електричної енергії, стабільної і надійної роботи мікромережі в автономному режимі, добре відомі. Насамперед, вони пов'язані з недопущенням виникнення дисбалансу потужності. Складність забезпечення балансу генерація-навантаження багато в чому пов'язана з невизначеністю зміни як навантажень, так і вихідної потужності, що генерується відновлюваними джерелами енергії, що входять до структури мікромережі. Для вирішення питання підтримки балансу запропоновано декілька підходів.

У нормальних умовах координація роботи окремих розподілених енергетичних ресурсів здійснюється у межах кожної мікромережі незалежно. Можна розглянути сценарій, коли одна з мікромереж (i) перевантажена і в ній може виникнути проблема забезпечення балансу, а сусідня мікромережа має певний запас потужності (потенціал вихідної потужності локальних енергетичних ресурсів даної мікромережі на даний момент часу перевищує рівень навантаження). У цьому випадку передача потужності з другої

мікромережі в першу може вирішити проблему дисбалансу, що у ній виник [3].

Для реалізації такої процедури необхідно встановити факт перевантаження мікромережі (контрольованої), оцінити запас потужності джерел генерації другої мікромережі (а, в загальному випадку, декількох суміжних мікромереж), визначити умови об'єднання мікромереж на сумісну роботу і умови, коли їх доцільно роз'єднати. При цьому перед об'єднанням мікромереж на паралельну роботу необхідно перевірити умову стійкості роботи сформованої при цьому об'єднаної мікромережі та здійснити процедуру синхронізації мікромереж, що об'єднуються.

Розглянемо наступний сценарій. Припустимо, що у мікромережі MG1 є дефіцит потужності, що генерується а у мережі MG2 мається її надлишок (Рис.3.2).



(MG – мікромережа; N – загальна кількість джерел енергії; N_1, N_2 – кількість не контрольованих джерел енергії; H – навантаження; $РДЕ$ – регульовані джерела енергії; $НДЕ$ – не регульовані джерела енергії; $ПЗЕ$ – пристрої зберігання енергії; B – вимикач)

Рисунок 3.2 - Об'єднана робота двох мікромереж

У загальному випадку величину потужності що не використовується в i -ій мікромережі, для поточного режиму формально можна визначити так:

$$\Delta S_{MGi}^t = S_{MGi}^{\max,t} - S_{MGi}^t = \sum_{j=1}^{N_i} S_{MGj}^{\max,t} - \sum_{j=1}^{N_i} S_{MGj}^t ,$$

де $-S_{MGj}^{\max,t}$, S_{MGj}^t - відповідно максимально можлива і фактична потужності, що генеруються j - им пристроєм, що знаходиться в структурі i - ої мікромережі в момент часу t ; N_i - кількість джерел енергії в i -ій мікромережі.

Сформуємо умову доцільності підключення до контрольованої (i -ої) мікромережі іншої мікромережі в наступному вигляді:

$$\Delta S_i < \alpha \sum_{j=1}^{N_i} S_{MGj}^{\max,t} . \quad (3.1)$$

При цьому рекомендується на першому етапі приймати $\alpha = 0,1$, однак значення цього параметра може уточнюватися в процесі експлуатації мікромереж.

Таким чином, обмін потужністю між двома мікромережами можливий, якщо виконується умова:

$$\Delta S_{MG1}^t + \Delta S_{MG2}^t > \alpha \times \left(\sum_{j=1}^{N_1} S_{MGj}^{\max,t} + \sum_{j=1}^{N_2} S_{MGj}^{\max,t} \right) . \quad (3.2)$$

Звідки отримуємо:

$$\Delta S_{MG2}^t > -\alpha \gamma \sum_{j=1}^{N_1} S_{MGj}^{\max,t} + \alpha \sum_{j=1}^{N_1} S_{MGj}^{\max,t} + \alpha \sum_{j=1}^{N_2} S_{MGj}^{\max,t} , \quad (3.3)$$

$$\text{де } \gamma = \frac{\Delta S_{MG1}^t}{\alpha \sum_{j=1}^{N_1} S_{MGj}^{\max,t}} . \quad (3.4)$$

У цьому випадку остаточно маємо:

$$\Delta S_{MG2}^t > \alpha \left[(1-\gamma) \sum_{j=1}^{N_1} S_{MGj}^{\max,t} + \sum_{j=1}^{N_2} S_{MGj}^{\max,t} \right] . \quad (3.5)$$

Якщо умови (1) та (5) задовольняються, то після перевірки стабільності роботи об'єднаної мікромережі, наприклад згідно [6], система управління формує команду включення вимикача лінії, яка з'єднує мікромережі.

Даний режим роботи об'єднаних мікросистем триватиме доти, доки не виникне така умова:

$$\sum_{j=1}^{N_1} S_{MGj}^{\max,t} - \left| \sum_{j=1}^{N_1} S_{MGj}^t + S_{\mathcal{L}} \right| > \alpha(1+\beta) \sum_{j=1}^{N_1} S_{MGj}^{\max,t}. \quad (3.6)$$

Мікросистеми залишаються об'єднаними до тих пір, поки потужність, що протікає по лінії, що їх зв'язує ($S_{\mathcal{L}}$), буде перевищувати значення, яке визначається наступним чином:

$$|S_{\mathcal{L}}| > \left| [1 - \alpha(1+\gamma)] \sum_{j=1}^{N_1} S_{MGj}^{\max,t} - \sum_{j=1}^{N_1} S_{MGj}^t \right|. \quad (3.7)$$

Виконання цієї умови (за рахунок наявності відповідних коефіцієнтів) дозволяє уникнути постійного спрацьовування вимикача лінії, що зв'язує мікросистеми, при випадкових незначних змінах потоків потужності.

За відсутності необхідного інформаційного забезпечення для вирішення цього завдання може бути застосований децентралізований підхід.

3.3 Децентралізоване керування

Децентралізоване управління дозволяє підвищити надійність і ефективність енергопостачання, а також забезпечити більшу адаптивність системи до змін у споживанні та виробництві електроенергії.

У традиційних енергосистемах управління здійснюється централізовано з одного пункту. Це може призвести до проблем у разі виникнення аварії або відключення зв'язку між центром управління та розподільними мережами.

Децентралізоване управління дозволяє вирішити ці проблеми, оскільки дає змогу кожному елементу системи приймати рішення самостійно, виходячи з поточної ситуації.

Децентралізоване управління також може сприяти підвищенню ефективності енергопостачання. Наприклад, споживачі можуть за допомогою розумних лічильників і пристроїв управління навантаженням самостійно регулювати своє споживання електроенергії, що може призвести до зниження пікового навантаження на мережу.

Крім того, децентралізоване управління дозволяє більш ефективно використовувати відновлювані джерела енергії, які є нерегульованими джерелами енергії, і тому їх виробництво може не відповідати попиту. Децентралізоване управління дозволяє розподілити ВДЕ по всій мережі, що може допомогти врівноважити попит і виробництво.

Ось деякі конкретні переваги децентралізованого управління в системах типу Smart Grid:

- підвищення надійності енергопостачання - децентралізоване управління дозволяє забезпечити енергопостачання навіть у разі виникнення аварії або відключення зв'язку між центром управління та розподільними мережами.
- підвищення ефективності енергопостачання - децентралізоване управління дозволяє споживачам самостійно регулювати своє споживання електроенергії, що може призвести до зниження пікового навантаження на мережу.
- більш ефективне використання ВДЕ - децентралізоване управління дозволяє розподілити ресурси ВДЕ по всій мережі, що може допомогти врівноважити попит і виробництво.

Децентралізоване управління є важливою технологією, яка може допомогти вдосконалити сучасні енергетичні системи. Воно дозволяє підвищити надійність і ефективність енергопостачання, а також забезпечити

більшу адаптивність системи до змін у споживанні та виробництві електроенергії.

Поширення використання децентралізованої генерації в Smart Grid і мікромережах зокрема може допомогти зменшити втрати енергії за рахунок наступних факторів:

- близькість виробництва до центрів споживання - децентралізовані джерела енергії, такі як сонячні панелі та вітрові турбіни, розташовані ближче до споживачів, ніж традиційні централізовані електростанції. Це означає, що енергія не має проходити через великі відстані та мережі, що мінімізує втрати енергії внаслідок зменшення опору;
- зменшення використання ліній передачі та розподілу - децентралізована генерація зменшує потребу в лініях передачі та розподілу. Це також може допомогти зменшити втрати енергії, оскільки ці лінії є основним джерелом втрат у традиційних енергосистемах;
- ефективність розподілу - децентралізовані джерела енергії можуть бути більш ефективними в розподілі енергії, ніж традиційні централізовані електростанції. Це пов'язано з тим, що вони можуть використовувати більш сучасні технології розподілу, такі як розподільні мережі з двома напрямками потоку енергії.

За оцінками Міжнародного енергетичного агентства, децентралізована генерація може допомогти зменшити втрати енергії на 10-20%. Це може призвести до значних заощаджень для споживачів та електрогенеруючих компаній.

3.4 Практичні аспекти проектування системи об'єднаних мікромереж

Поєднання централізованих та децентралізованих джерел енергії в Smart Grid необхідні для забезпечення надійного, ефективного та стійкого електропостачання споживачів.

Централізовані джерела необхідні для забезпечення базової потужності та передачі електроенергії на великі відстані. Вони вимагають наявності високовольтних ліній передачі, трансформаторних підстанцій та генераторів, які виробляють електроенергію.

Децентралізовані системи електропостачання складаються з невеликих, локальних джерел енергії, таких як сонячні панелі, вітряні турбіни та малі гідроелектростанції. Вони можуть бути використані для забезпечення резервної потужності, зменшення навантаження на централізовані мережі та підвищення енергетичної безпеки.

Централізовані системи мають ряд переваг, включаючи:

- ефективність - можуть забезпечити більш ефективну передачу електроенергії на великі відстані, ніж децентралізовані;
- надійність - як правило, більш надійні, ніж децентралізовані системи, оскільки вони мають менше точок відмови;
- стійкість - можуть бути більш стійкими до природних катаклізмів, ніж децентралізовані системи.

Децентралізовані мережі мають ряд своїх переваг, включаючи:

- допомогти зменшити залежність від централізованих систем, що може зробити електроенергетичний сектор більш стійким;
- використовують відновлювані джерела енергії, що може допомогти зменшити викиди парникових газів;
- допомогти підвищити енергетичну безпеку, оскільки вони можуть забезпечити резервну потужність у разі збоїв у централізованих системах електропостачання.

Централізовані та децентралізовані системи можуть співіснувати та доповнювати одна одну. Централізовані системи забезпечують базову потужність і передачу електроенергії, тоді як децентралізовані - можуть забезпечити резервну потужність, зменшити навантаження на централізовані мережі та підвищити енергетичну безпеку.

У майбутньому очікується, що децентралізовані системи будуть відігравати все більш важливу роль у Smart Grid. Це пов'язано з тим, що відновлювані джерела енергії стають все більш доступними та економічно доцільними.

Децентралізовані системи стають все більш популярними, оскільки вони також пропонують ряд переваг, зокрема більшу стійкість, гнучкість та енергоефективність.

Таким чином, вибір найрашою структури електропостачання в умовах реалізації концепції Smart Grid залежить від конкретних потреб і вимог.

Централізована система побудови мікромереж передбачає наявність єдиного центру управління, який відповідає за всі аспекти роботи системи. Цей центр забезпечує збір даних з усіх елементів системи, їх обробку та прийняття рішень про управління системою.

Для практичної реалізації централізованої системи управління необхідно:

- встановити датчики та сенсори на всіх елементах системи, які будуть збирати дані такі як рівень напруги, струму, частоти, температури тощо;
- побудувати мережу зв'язку для передачі даних від датчиків та сенсорів до центру управління, яка може бути проводовою або бездротовою;
- розробити програмне забезпечення для центру управління, яке буде відповідати за збір даних, їх обробку та прийняття рішень щодо управління системою.

Децентралізована система управління передбачає, що елементи системи мають автономію та можуть самостійно приймати рішення відносно своєї роботи.

В Україні є ряд особливостей, які необхідно враховувати при практичній реалізації проєктів побудови мікромереж. До них відносяться:

- велика територія країни, що вимагає використання надійних мереж зв'язку для передачі даних між елементами системи;

- різноманітність кліматичних умов, що потребує використання пристроїв, які можуть працювати в різних умовах;
- нестабільність параметрів електропостачання, вимагає використання елементів системи, які можуть працювати в умовах перепадів напруги та частоти.

На практиці у багатьох випадках виникає ситуація, коли існує декілька варіантів об'єднання мікромереж з метою можливості часткового розвантаження однієї з них. У таких випадках, вибір найкращого варіанту - є достатньо складним завданням, оскільки його важко здійснити на підставі використання єдиного критерію оптимальності. Тому виникає задача визначення найкращого варіанту (альтернативи) з урахуванням низки критеріїв, що реалізується на підставі використання відповідної процедури прийняття рішень.

У якості найбільш важливих критеріїв при вирішенні даної задачі, можна визначити та використати наступні. При цьому значення відповідних критеріїв визначаються для кожного з N альтернативних варіантів використання лінії зв'язку між мікромережами.

1. Наявність достатньої потужності для часткової підтримки перевантаженої мікромережі (X_1). Зазначений критерій може бути визначений наступним чином:

$$X_1 = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 2 \leq \frac{P_j^+}{P_i^-} \leq K_p; \\ 0.5 * \left(\frac{P_j^+}{P_i^-} - 1 \right), & \text{якщо } 1 \leq \frac{P_j^+}{P_i^-} \leq 2; \\ 0, & \text{якщо } \frac{P_j^+}{P_i^-} \leq 1. \end{cases} \quad (3.8)$$

Де $K_p = \frac{P_{ijmax}}{P_i^-}$; $j = 1, \dots, N - 1$; $j \neq i$; N - загальна кількість мікромереж, що розглядається;

P_i^- - дефіцит потужності в i - й перевантаженій мікросистемі;

P_j^+ - профіцит потужності в j - й мікромережі, яка планується для підтримки i - ої перевантаженої мікромережі;

P_{ijmax} - максимальна потужність, на передавання якої розрахована лінія зв'язку між мікромережами.

Варто зазначити, що усі можливі значення даного критерію будуть лежати в діапазоні $0 \leq X_1 \leq 1$.

2. Довжина ліній зв'язку між мікромережами (X_2). Параметри ліній зв'язку визначаються на підставі тієї максимальної потужності, яка може бути передана. При цьому проектом не передбачається можливість стовідсоткового резервування електропостачання будь-якої з мікромереж. Зазвичай цей показник не перевищує 25 – 30 % від їх максимальної потужності.

Важливість даного показника пов'язана з тим, що за зазначених умов він буде опосередковано відображати капітальні і операційні витрати на спорудження й експлуатацію ліній зв'язку, рівень втрат електричної енергії.

У подальшому, з метою можливості співставлення, усі критерії варто надавати у нормалізованому (певним чином) вигляді, так, щоб усі їх значення знаходилися в діапазоні

$0 \leq X_m \leq 1$. При цьому $m = 1, \dots, M$, де M – загальна кількість критеріїв, що розглядаються при вирішенні задачі. Тоді, у даному випадку, маємо:

$$X_2 = 1 - \frac{L_{ij}}{\max(L_{ij})}, j = 1, \dots, N - 1; j \neq i. \quad (3.9)$$

Таким чином, X_2 буде дорівнювати 0, для альтернативного варіанту, в якому лінія зв'язку має максимальну довжину.

3. Вартість електричної енергії (X_3). Це може бути як договірна ціна, що визначається кожним оператором мікромереж незалежно, так і середньозважена вартість, яка розраховується, наприклад, на підставі урахування питомих витрат кожного з джерел енергії певної мікромережі, які безпосередньо приймають участь у підтримці потужністю перевантаженої

мікромережі (E_i). У будь-якому випадку нормалізовані значення зазначеного показника для i – ої мікромережі визначаються наступним чином:

$$X_3 = 1 - \frac{E_{ij}}{\max(E_{ij})}, j = 1, \dots, N - 1; j \neq i. \quad (3.10)$$

4, 5. Надійність електропостачання (X_4 , X_5). Для перевантаженої мікромережі більш привабливим є об'єднання з мікромережею, яка має вищий рівень надійності. Для характеристики надійності електропостачання будемо використовувати такі показники, як SAAIFI – system average interruption frequency index, MAIFI – momentary average interruption frequency index, SAIDI - system average interruption duration index. Тоді показники надійності для кожної з мікромереж будуть визначатися наступним чином:

$$RF_i = \lambda_1 * SAAIFI_i + \lambda_2 * MAIFI_i, \quad (3.11)$$

$$RD_i = SAIDI_i; \quad (3.12)$$

де λ_1 , λ_2 - вагові коефіцієнти, які визначаються особою, що приймає рішення й важливість кожного з зазначених показників оцінюється виходячи з того, що $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$.

Нормалізовані значення зазначених критеріїв надійності при цьому будуть розраховуватися так:

$$X_4 = 1 - \frac{RF_{ij}}{\max(RF_{ij})}, j = 1, \dots, N - 1; j \neq i. \quad (3.13)$$

$$X_5 = 1 - \frac{RD_{ij}}{\max(RD_{ij})}, j = 1, \dots, N - 1; j \neq i. \quad (3.14)$$

6. Стійкість електропостачання (X_6). Стійкість електропостачання мережі, яка має більший потенціал не регульованих відновлюваних джерел енергії відносно власного навантаження, буде, скоріш за все, також мати і більший потенціал недовикористаної потужності з боку регульованих джерел, який може бути використаний для підтримки перевантаженої мікросистеми. Але у

такому випадку ризик недоотримання від такої мікромережі потужності для підтримки перевантаженої мікромережі буде вище. Це пов'язане з можливими непередбаченими випадковими змінами (зменшенням) у генерації з боку не регульованих (відновлюваних) джерел енергії, що може порушити стабільність надання додаткової потужності перевантаженій мікросистемі і, таким чином, негативно вплинути на стійкість її роботи.

Зазначений критерій може бути визначений наступним чином:

$$S_j = \frac{\sum_{q=1}^{Q_j} P_{qn-регj}}{\sum_{f=1}^{F_j} P_{f-нав-j}}; \quad (3.15)$$

де $P_{qn-регj}$ - номінальна потужність q - го не регульованого джерела енергії у складі j - ої мікромережі; $P_{f-нав-j}$ - потужність f - го споживача в складі j - ої мікромережі.

Тоді нормалізовані значення зазначеного критерію будуть визначені наступним чином:

$$X_6 = 1 - \frac{S_j}{\max(S_j)}, j = 1, \dots, N - 1; j \neq i. \quad (3.16)$$

7. Викиди у навколишнє середовище (X_7). Перевага має надаватися альтернативному варіанту з мінімальним обсягом викидів, наприклад CO_2 , які можуть бути оцінені на підставі виразу:

$$CO_{2j} = \sum_{k=1}^{K_0} \beta_{Гkj} * P_{Гkj}; \quad (3.17)$$

де $\beta_{Гkj}$ - питомі викиди CO_2 , пов'язані з роботою k - го джерела енергії потужністю $P_{Гkj}$ в складі j - ої мікромережі.

Тоді нормоване значення даного фактору розраховується так:

$$X_7 = 1 - \frac{CO_{2j}}{\max(CO_{2j})}, j = 1, \dots, N - 1; j \neq i. \quad (3.18)$$

Використання різноманітних процедур прийняття рішень дозволяє визначити найбільш привабливе рішення з множини альтернативних на підставі використання низки критеріїв, кожний з яких може мати власну вагу з позиції пріоритетності його урахування з точки зору особи, що приймає рішення. Зазвичай зазначена процедура формується у вигляді матриці прийняття рішень, в якій рядки відповідають альтернативним рішенням, а стовпчики – оцінкам зазначених альтернатив по кожному з критеріїв, що при цьому використовуються. У загальному випадку зазначені оцінки критеріїв визначаються з урахуванням їхньої «ваги».

Одним з можливих підходів до вирішення завдань багатокритеріального прийняття рішень є формування і подальше використання єдиного узагальненого критерію. У даному випадку, враховуючи відносно невелику кількість можливих альтернативних рішень, у якості узагальненої (агрегованої) будемо розглядати наступні оцінки:

$$X_I = \frac{\sum_{r=1}^R \varpi_r * x_r}{R}, \quad (3.19)$$

$$X_{II} = \Pi \varpi_r * x_r, \quad (3.20)$$

$$X_{III} = \alpha * \min(\varpi_r * x_r) + (1 - \alpha) * \max(\varpi_r * x_r) \quad (3.21)$$

де ϖ_r - вага r – го критерію ($r = 1, \dots, R$), які можуть бути визначені, наприклад, на підставі експертного оцінювання за умови, що $\sum_{r=1}^R \varpi_r = 1$.

В нашому випадку альтернативне рішення, якому відповідає найбільше значення X , розглядається у якості найбільш прийняттого для особи, що приймає рішення.

У випадку, коли визначені на підставі наведених критеріїв рішення не співпадають, можливо використати ще один критерій, який характеризує ризик, пов'язаний з прийняттям не оптимального рішення. Для цього будується ще одна матриця (матриця ризиків) у відповідності з наступними правилами.

У комірці матриці ризиків заносяться дані, які відповідають різниці між максимальним значенням, яке має даний критерій (максимальне значення у

стовпчику матриці рішень) і поточним значенням критерію відповідним кожному з альтернативних рішень. Після цього у кожному з рядків визначаємо максимальне значення показнику ризику. У цьому випадку найбільш привабливим буде альтернативне рішення, якому відповідає мінімальне значення ризику.

З метою ілюстрації застосування наведеного підходу до визначення оптимального варіанту об'єднання мікромереж з метою запобігання їх перевантаженню, розглянемо наступний приклад.

Припустимо, що у електропостачанні певного району приймають участь п'ять незалежних, мікромереж (Рис.3.3), кожна з яких має у своїй структурі як не контрольовані джерела енергії, зокрема сонячні (PV) і вітрові (W) станції, так і контрольовані, наприклад дизель-генератори (G), потужність яких дозволяє забезпечити, принаймні частково, навантаження кожної з них. За певних обставин мікромережа MG1 з метою запобігання можливого перевантаження має змогу отримати додаткову потужність з однієї із сусідніх мікромереж MG2 – MG5.

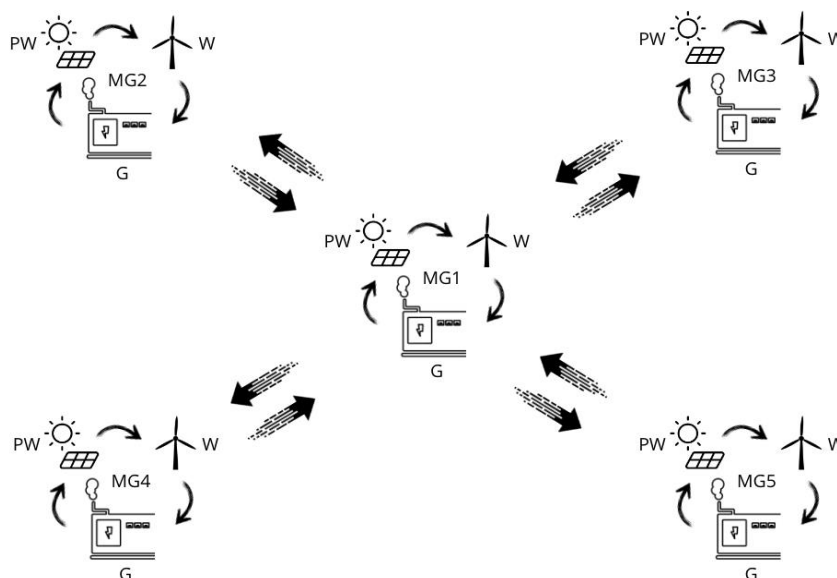


Рисунок 3.3 - Мікромережі на території з низькою щільністю навантаження

Завдання полягає у визначенні оптимального варіанту щодо створення та використання лінії зв'язку між мікромережею MG1 та однією з мікромереж MG2 – MG5 з урахування сукупності критеріїв, які були наведені вище.

Дані відносно характеристик мікромереж стосовно навантажень, структури та потужності джерел генерації, вартості електричної енергії наведені у (Таб. 3.1). У (Таб.3.2) відображені дані відносно показників надійності окремих мікромереж та стосовно рівня викидів CO₂.

Таблиця 3.1 - Характеристики навантаження та джерел генерації мікромереж

MG	$P_{\Sigma нав}$ (кВт)	$P_{\Sigma рег}^{max}$ (кВт)	P_w (кВт)	P_{pv} (кВт)	P_{Σ}^{+} (кВт)	P_{Σ}^{-} (кВт)	E (грн./кВт)	L (км)
MG-1	80	40	30	50	-	25	-	-
MG-2	65	30	40	40	40	-	2,0	1,2
MG-3	90	70	60	30	60	-	2,3	0,6
MG-4	70	40	60	30	30	-	2,5	9,8
MG-5	120	60	60	80	50	-	1,8	1,0

Таблиця 3.2 - Показники надійності мікромереж

MG	SAIFI	MAIFI	SAIDI	CO ₂
MG-2	6,2	2,2	8,2	50
MG-3	6,0	2,4	7,8	42
MG-4	7,1	3,1	7,6	38
MG-5	6,8	3,0	7,2	46

Розрахунки здійснюються у відповідності з розглянутим вище алгоритмом. На першому етапі визначаємо нормалізовані значення усіх критеріїв для кожного з альтернативних варіантів об'єднання мікромереж. Отримані значення заносимо в (Таб.3.3). При цьому у якості першого альтернативного варіанту (A1) розглядається з'єднання мікромережі MG-1 з мікромережею MG-2, а альтернативи A1, A2, A3 відповідають з'єднанню мікромережі MG-1 відповідно з мікромережами MG-3, MG-4, MG-5.

Попередньо розраховуємо показники S_j , виходячи з того, що $S_j = \frac{P_w + P_{fv}}{P_{наб}}$:

$$S_2 = \frac{40 + 40}{65} = 1.23;$$

$$S_3 = \frac{30 + 60}{90} = 1.0;$$

$$S_4 = \frac{60 + 30}{70} = 1.29;$$

$$S_5 = \frac{60 + 80}{120} = 1.17;$$

При розрахунку даних критеріїв приймаємо, що $\lambda_1 = \lambda_2 = 0.5$. Тобто, маємо:

$$RF_2 = 0.5 * 6.2 + 0.5 * 2.2 = 4.2;$$

$$RF_3 = 0.5 * 6.0 + 0.5 * 2.4 = 4.2;$$

$$RF_4 = 0.5 * 7.1 + 0.5 * 3.1 = 5.1;$$

$$RF_5 = 0.5 * 6.8 + 0.5 * 3.0 = 4.9;$$

Для першого альтернативного варіанту А1 нормалізовані значення критеріїв розраховуються наступним чином:

Оскільки $\frac{P_j^+}{P_i^-} = \frac{40}{25}$ і $1 \leq \frac{40}{25} \leq 2$, то наявність достатньої потужності для часткової підтримки перевантаженої мікромережі визначаємо за формолою (3.8):

$$x_{11} = 0.5 * \left(\frac{40}{25} - 1 \right) = 0.3;$$

Визначення нормованих значень критерію, який відображає довжину ліній зв'язку між мікромережами (3.9):

$$x_{21} = 1 - \frac{1.2}{9.8} = 0.88;$$

Визначення нормованих значень критерію, який характеризує вартість електричної енергії (3.10):

$$x_{31} = 1 - \frac{2.0}{2.5} = 0.2;$$

Визначення нормованих значень критерію, що відбиває рівень надійності електропостачання (3.13 та 3.14):

$$x_{41} = 1 - \frac{4.2}{5.1} = 0.18;$$

$$x_{51} = 1 - \frac{8.2}{8.2} = 0;$$

Визначення нормованих значень критерію, що відображає стійкість електропостачання (3.16):

$$x_{61} = 1 - \frac{1.23}{1.29} = 0.05;$$

Визначення нормованих значень критерію, що характеризує рівень викидів в навколишнє середовище (3.18):

$$x_{71} = 1 - \frac{50}{50} = 0;$$

Аналогічні розрахунки виконуємо для решти альтернативних варіантів.

Для другого альтернативного варіанту А2 нормалізовані значення критеріїв розраховуються наступним чином:

Оскільки $\frac{P_j^+}{P_i^-} = \frac{60}{25}$ і $1 \leq \frac{60}{25} \leq K_p$, де $K_p = \frac{70}{25} = 2.8$, то наявність достатньої потужності для часткової підтримки перевантаженої мікромережі визначаємо за формулою (3.8):

$$x_{12} = 1;$$

Довжина лінії зв'язку між мікромережами (3.9):

$$x_{22} = 1 - \frac{0.6}{9.8} = 0.94;$$

Вартість електричної енергії (3.10):

$$x_{32} = 1 - \frac{2.3}{2.5} = 0.08;$$

Надійність електропостачання (3.13 та 3.14):

$$x_{42} = 1 - \frac{4.2}{5.1} = 0.18;$$

$$x_{52} = 1 - \frac{7.8}{8.2} = 0.05;$$

Стійкість електропостачання (3.16):

$$x_{62} = 1 - \frac{1}{1.29} = 0.22;$$

Викиди в навколишнє середовище (3.18):

$$x_{72} = 1 - \frac{42}{50} = 0.16;$$

Для третього альтернативного варіанту А3 нормалізовані значення критеріїв розраховуються наступним чином:

Оскільки $\frac{P_j^+}{P_i^-} = \frac{40}{25}$ і $1 \leq \frac{40}{25} \leq 2$, то наявність достатньої потужності для часткової підтримки перевантаженої мікромережі визначаємо за формулою (3.8):

$$x_{13} = 0.5 * \left(\frac{30}{25} - 1 \right) = 0.1;$$

Довжина ліній зв'язку між мікромережами (3.9):

$$x_{23} = 1 - \frac{9.8}{9.8} = 0;$$

Вартість електричної енергії (3.10):

$$x_{33} = 1 - \frac{2.5}{2.5} = 0;$$

Надійність електропостачання (3.13 та 3.14):

$$x_{43} = 1 - \frac{5.1}{5.1} = 0;$$

$$x_{53} = 1 - \frac{7.6}{8.2} = 0.073;$$

Стійкість електропостачання (3.16):

$$x_{63} = 1 - \frac{1.29}{1.29} = 0;$$

Викіди в навколишнє середовище (3.18):

$$x_{73} = 1 - \frac{38}{50} = 0.24;$$

Для четвертого альтернативного варіанту А4 нормалізовані значення критеріїв розраховуються наступним чином:

Оскільки $\frac{P_j^+}{P_i^-} = \frac{40}{25}$ і $1 \leq \frac{40}{25} \leq 2$, то наявність достатньої потужності для часткової підтримки перевантаженої мікромережі визначаємо за формулою (3.8):

$$x_{14} = 0.5 * \left(\frac{50}{25} - 1 \right) = 0.5;$$

Довжина ліній зв'язку між мікромережами (3.9):

$$x_{24} = 1 - \frac{1}{9.8} = 0.9;$$

Вартість електричної енергії (3.10):

$$x_{34} = 1 - \frac{1.8}{2.5} = 0.28;$$

Надійність електропостачання (3.13 та 3.14):

$$x_{44} = 1 - \frac{4.9}{5.1} = 0.039;$$

$$x_{54} = 1 - \frac{7.2}{8.2} = 0.12;$$

Стійкість електропостачання (3.16):

$$x_{64} = 1 - \frac{1.17}{1.29} = 0.093;$$

Викіди в навколишнє середовище (3.18):

$$x_{74} = 1 - \frac{46}{50} = 0.08;$$

Результати усіх розрахунків для усіх альтернативних варіантів заносимо у (Таб.3.3).

Таблиця 3.3 - Матриця рішень

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
A1	0.3	0.88	0.2	0.18	0	0.05	0
A2	1	0.94	0.08	0.18	0.05	0.22	0.16
A3	0.1	0	0	0	0.073	0	0.24
A4	0.5	0.9	0.28	0.039	0.12	0.093	0.08

Згідно (3.14) розраховуємо агреговані оцінки для кожного з альтернативних варіантів. При цьому враховуємо вагові коефіцієнти окремих критеріїв, які були визначені експертним шляхом і наведені в (Таб.3.4).

Таблиця 3.4 - Вагові коефіцієнти критеріїв

Критерій	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
Ваговий коефіцієнт	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Результати розрахунку агрегованих оцінок альтернативних варіантів наведені в (Таб.3.5).

$$X_{I1} = \frac{0.2 * 0.3 + 0.3 * 0.88 + 0.1 * 0.2 + 0.1 * 0.18 + 0.1 * 0 + 0.1 * 0.05 + 0.1 * 0}{7} = 0.052,$$

$$X_{I2} = \frac{0.2 * 1 + 0.3 * 0.94 + 0.1 * 0.08 + 0.1 * 0.18 + 0.1 * 0.05 + 0.1 * 0.22 + 0.1 * 0.16}{7} = 0.079,$$

$$X_{I3} = \frac{0.2 * 0.1 + 0.3 * 0 + 0.1 * 0 + 0.1 * 0 + 0.1 * 0.73 + 0.1 * 0 + 0.1 * 0.24}{7} = 0.017,$$

$$X_{I4} = \frac{0.2 * 0.5 + 0.3 * 0.9 + 0.1 * 0.28 + 0.1 * 0.039 + 0.1 * 0.12 + 0.1 * 0.093 + 0.1 * 0.08}{7} = 0.062,$$

$$X_{II1} = 0.2 * 0.3 + 0.3 * 0.88 + 0.1 * 0.2 + 0.1 * 0.18 + 0.1 * 0 + 0.1 * 0.05 + 0.1 * 0 = 0.367,$$

$$X_{II2} = 0.2 * 1 + 0.3 * 0.94 + 0.1 * 0.08 + 0.1 * 0.18 + 0.1 * 0.05 + 0.1 * 0.22 + 0.1 * 0.16 = 0.551,$$

$$X_{II3} = 0.2 * 0.1 + 0.3 * 0 + 0.1 * 0 + 0.1 * 0 + 0.1 * 0.73 + 0.1 * 0 + 0.1 * 0.24 = 0.117,$$

$$X_{II4} = 0.2 * 0.5 + 0.3 * 0.9 + 0.1 * 0.28 + 0.1 * 0.039 + 0.1 * 0.12 + 0.1 * 0.093 + 0.1 * 0.08 = 0.4312;$$

$$X_{III1} = 0.5 * 0 + 0.5 * 0.88 = 0.44,$$

$$X_{III2} = 0.5 * 0.05 + 0.5 * 1 = 0.525,$$

$$X_{III3} = 0.5 * 0 + 0.5 * 0.24 = 0.12,$$

$$X_{III4} = 0.5 * 0.039 + 0.5 * 0.9 = 0.47;$$

Таблиця 3.5 - Агреговані оцінки альтернативних варіантів

Альтернативи	Агреговані оцінки		
	X_I	X_{II}	$X_{III} (\alpha_1 = \alpha_2 = 0,5)$
A1	0.052	0.367	0.44
A2	0.079	0.551	0.525
A3	0.017	0.117	0.12
A4	0.062	0.4312	0.47

На підставі виконаних розрахунків можливо зробити висновок, що згідно усіх критеріїв найкращим є другий альтернативний варіант побудови лінії зв'язку між мікромережами.

Якби між окремими критеріями викли б певні протиріччя, то варто було б побудувати та проаналізувати матрицю ризиків.

Розраховані ризики наведені у матриці ризиків (Таб.3.6).

Таблиця 3.6 - Матриця ризиків

Альтернатива	Ризики							max	min
	r_1	r_2	r_3		r_1	r_2	r_3		r_1
A1	0.6	0.264	0.02	A1	0.6	0.264	0.02	A1	0.6

Продовження таблиця 3.6

A2	0.2	0.282	0.008	A2	0.2	0.282	0.008	A2	0.2
A3	0.02	0	0	A3	0.02	0	0	A3	0.02
A4	0.1	0.27	0.028	A4	0.1	0.27	0.028	A4	0.1

Як можна побачити з отриманих результатів мінімальний рівень ризику відповідає третьому альтернативному варіанту. Таким чином, остаточний вибір оптимального варіанту створення лінії зв'язку між мікромережами залишається за особою, що приймає рішення.

Висновки до розділу

Структури, які створюються за рахунок об'єднання окремих мікромереж, можуть забезпечити значні переваги у районах з малою щільністю навантаження. Основний висновок полягає в тому, що такі системи можуть ефективно використовувати місцеві ресурси, забезпечуючи надійне енергопостачання та знижуючи втрати енергії. Спеціалізовані сенсори та системи керування дозволяють точно вимірювати споживання енергії та вчасно реагувати на її зміни у реальному часі.

Впровадження запропонованої методики у районах з малою щільністю навантаження може забезпечити більш ефективне та стабільне використання локальних енергетичних ресурсів, зменшуючи втрати електричної енергії на її розподіл, підвищити ефективність використання як нетрадиційних так і традиційних джерел енергії та сприяти переходу до більш сталого енергетичного майбутнього.

4. СТАРТАП-ПРОЄКТ

4.1 Ідея стартап-проєкту

Темою стартап-проєкту є “Використання штучного інтелекту (ШІ) для прогнозування пікових навантажень в електромережі”. Формування етапів аналізу даного стартап-проєкту, є важливим кроком в вирішенні проблеми використання алгоритмів аналізу пікових навантажень на основі штучного інтелекту.

Ключові моменти, на які варто звернути увагу:

1. Необхідність: Енергетичні компанії постійно шукають способи ефективнішого управління електромережами, особливо в умовах зростаючого попиту на електроенергію. Прогнозування пікових навантажень дозволить оптимізувати розподіл енергії та уникнути перевантажень системи.

2. Застосування ШІ: Використання штучного інтелекту для аналізу великих обсягів даних про споживання електроенергії та змін у виробництві дозволить точніше передбачати пікові навантаження, що в свою чергу сприятиме ефективнішому розподілу ресурсів та уникненню аварійних ситуацій.

3. Ефективність та економія: Точні прогнози пікових навантажень дозволять енергетичним компаніям оптимізувати роботу електромережі, що призведе до зменшення витрат на підтримку та ремонт системи, а також до економії електроенергії.

4. Інноваційний підхід: Застосування штучного інтелекту в енергетиці є відмінним прикладом інноваційного підходу до вирішення складних завдань у галузі. Це може привернути увагу інвесторів, зацікавлених у новітніх технологіях для підвищення ефективності сектора.

5. Важливість даних: Успішність проєкту значно залежатиме від якості та обсягу використовуваних даних. Накопичення та аналіз великих обсягів інформації є ключовим елементом для створення точних прогнозів.

4.2 Аналіз можливостей запуску стартап-проекту

Хоча стартап-проект має значний потенціал, є деякі мінуси або виклики, які варто врахувати:

Таблиця 4.1 – Фактори загроз

Фактори	Зміст загрози
Недостатність даних	Штучний інтелект потребує великої кількості якісних даних для точних прогнозів. Якщо немає достатньої кількості даних або якості їх суперечлива, це може призвести до неточних результатів.
Складність моделювання	Прогнозування пікових навантажень у електромережі може бути складним завданням через багатофакторність впливу різних чинників на пікові навантаження. Розробка точних моделей може вимагати значних зусиль та ресурсів.
Високі вимоги до обчислювальних ресурсів	Обробка великих обсягів даних та навчання моделей штучного інтелекту можуть потребувати потужних обчислювальних систем. Це може бути витратним за ресурсами та фінансами.
Відповідальність за точність прогнозів	Недоліки алгоритмів штучного інтелекту можуть призвести до неточних прогнозів, що може мати важливі наслідки для енергетичної системи.

Усі ці мінуси не є непереодними перешкодами, але потребують уважного управління та стратегічного планування для їх подолання.

Таблиця 4.2 – Фактори можливостей

Фактори	Зміст можливості
Ефективність та оптимізація	Прогнозування пікових навантажень за допомогою штучного інтелекту дозволяє енергетичним компаніям уникнути перевантажень мережі.

Продовження таблиці 4.2

Зменшення аварійних ситуацій	Прогнозування дозволяє вчасно виявляти можливі ризики перевантаження мережі, запобігаючи аварійним ситуаціям та зберігаючи стабільність системи.
Мінімізація витрат	Точне прогнозування допомагає уникнути зайвого завантаження системи, що може призвести до економії витрат.
Інноваційний підхід	Стартап використовує передові технології для вирішення актуальних проблем у сфері енергетики, що може привернути увагу інвесторів та партнерів.

На основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей, складений SWOT-аналіз даного проєкту:

Таблиця 4.3 – SWOT-аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони(Strengths)	Слабкі сторони(Weaknesses)
- Ефективність: Прогнозування пікових навантажень дозволяє оптимізувати роботу електромережі та мінімізувати витрати. - Екологічна спрямованість: Сприяння ефективному використанню електроенергії сприяє сталому розвитку та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.	- Залежність від даних: Висока точність прогнозів потребує великої кількості якісних даних, які можуть бути обмеженими або складнодоступними. - Складність моделювання: Розробка точних моделей для прогнозування пікових навантажень може бути складним завданням через багатofакторність впливу різних чинників.
Можливості(Opportunities)	Загрози(Threads)
- Ринковий потенціал: Швидке розширення ринку енергетики та підвищений попит на ефективне управління електромережами створює великі можливості для вашого проєкту. - Технологічні інновації: Постійний розвиток штучного інтелекту і технологій аналізу даних відкриває нові можливості для вдосконалення вашої системи прогнозування.	- Конкуренція: Інші компанії можуть також розробляти аналогічні технології, конкуруючи з вашим проєктом. - Регуляторні обмеження: Зміни у вимогах та стандартах енергетичної галузі можуть ускладнити адаптацію та впровадження вашого рішення.

Висновки до розділу

Цей проект є перспективним і важливим для енергетичної галузі, оскільки спрямований на зменшення витрат та оптимізацію управління електромережею через застосування передових технологій штучного інтелекту. Незважаючи на технологічні та даних обмеження, потенціал успіху великий завдяки ринковому попиту та можливостям для подальшого розвитку. Ефективне управління ризиками та постійне вдосконалення технологій допоможуть максимізувати успіх цього проекту у майбутньому.

ВИСНОВКИ

1. Впровадження мікромереж є перспективним напрямком подальшого розвитку систем розподілу електричної енергії, оскільки з їх допомогою створюються сприятливі умови для широкого використання ВДЕ, а виробникам і споживачам енергії забезпечується можливість впливати на процес оптимізації процесів електропостачання з метою підвищення його надійності та зменшення вартості спожитої енергії.

2. Ефективність роботи мікромереж, в основному, визначається обґрунтованим вибором первинних джерел та технологій генерації й накопичення енергії, оптимальною роботою системи управління.

3. Створення об'єднання мікромереж може бути ефективним засобом підвищення надійності та покращення техніко-економічних показників їх роботи, особливо за умов впровадження та використання в районах з низькою щільністю навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. C. Sharmeela, P. Sivaraman, J. Bo Holm-Nielsen. (2022). "Residential microgrids and rural electrifications".
2. Енергетична стратегія 2030. (2020). Державне агентство енергоефективності України.
URL: <https://saee.gov.ua/uk> (дата звернення 13.11.2023) (Ukr).
3. E. Holden, G. Smith. (2018). "Smart Grids and Renewable Energy Integration: A Sociotechnical Approach."
4. Інновації в енергетичній сфері: найкращі практики з реалізації Smart Grid. (2019). Міжнародна енергетична агенція.
URL: <https://www.iea.org/> (дата звернення 23.11.2023) (Ukr).
5. R. Brown, I. Devis. (2017). "Smart Grid Integration of Renewable Energy Sources."
6. P.C. Loh, D. Li, Y.K. Chai and F. Blaabjerg, "Autonomous operation of hybrid microgrid with AC and DC subgrids," IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 28, no. 5, pp. 2214-2223, May 2013.