

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Управління енергетичними та економічними процесами

Інтелектуальні системи енергопостачання

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
магістра

на тему: Розробка автоматичної системи підбору джерела живлення
за освітньою програмою Енергетичні та електромеханічні системи на
транспорті

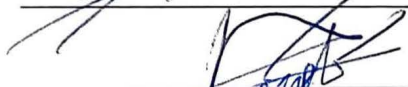
зі спеціальності: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав: студентка групи ЕЕ2226:



/ Анастасія САВЧЕНКО /

Керівник:



/ доцент Андрій АНТОНОВ /

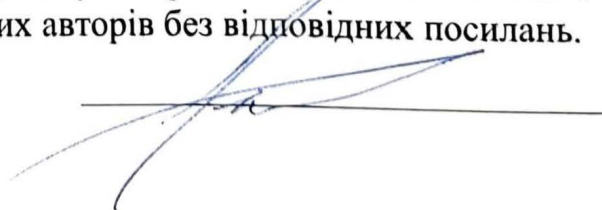
Нормоконтролер:



/ доцент Ірина ПОТАПЧУК /

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

Студент



Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Energy and economic process management

Intellectual power supply systems

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic: Development of an automated system for for selecting a power source

according to educational curriculum Energy and electromechanical systems in transport

in the Speciality: 141 Power engineering, electrical engineering and
Electromechanics

Done by the student of the group EE2226: / Anastasiia Savchenko /

Scientific Supervisor: /Ass. Prof. Andrii Antonov /

Normative controller : / Ass. Prof. Iryna Potapchuk /

Міністерство освіти і науки України

Український державний університет науки і технологій

Факультет: Управління енергетичними та економічними процесами

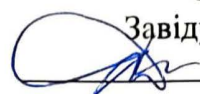
Кафедра: Інтелектуальні системи енергопостачання

Рівень вищої освіти: Другий (магістерський)

Освітня програма: Енергетичні та електромеханічні системи на транспорті

Спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

 Завідувач кафедри ІСЕ
Дмитро БОСІЙ

Дата 15.01.23

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу магістр з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

студенту Савченко Анастасія Володимирівна

1. Тема роботи: “Розробка автоматичної системи підбору джерела живлення”

Керівник роботи: Антонов Андрій Владиславович, к.т.н., доцент

затверджені наказом від

“ 18 ” 01 2023 р. № 55ст

2. Строк подання студентом роботи: 08.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи:

визначення параметрів системи, необхідних для реалізації алгоритму

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

Провести аналіз існуючих систем підбору джерела живлення та засобів визначення оптимальних параметрів мікромереж. Розробити фізичне та програмне обладнання для автоматизації системи підбору джерела живлення та визначення оптимальних параметрів мікромереж. Провести експериментальні дослідження розробленої системи та порівняти її результати з результатами існуючих систем.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): ілюстрований опис результатів досліджень.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва розділу	Термін виконання	Об'єм розділу %
1.	АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ПІДБОРУ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ МІКРОМЕРЕЖ.	09.10.2023	30
2.	РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДБОРУ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ	11.11.2023	45
3.	АПРОБАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДБОРУ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ	25.11.2023	25
4.	ПОДАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО КАФЕДРИ	08.01.2024	100
5.	ЗАХИСТ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА ЗАСІДАННІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ	17.01.2024	100

Студентка

Анастасія САВЧЕНКО

Керівник роботи

Андрій АНТОНОВ



РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка має обсяг 68 сторінки, складається з 3 розділів та містить 10 ілюстрацій, 4 таблиці, 16 використаних джерел.

Мета і завдання роботи. Метою даної дипломної роботи є розробка автоматизованої системи підбору джерела живлення для мікро мережі на основі параметрів навантаження. Для досягнення цієї мети будуть вирішені наступні завдання:

- проведення аналізу та огляду існуючих методів підбору джерела живлення;
- розробка алгоритму визначення оптимального джерела живлення на основі параметрів навантаження;
- проведення експериментальних досліджень розробленої системи з метою оцінки її ефективності та порівняння з існуючими методами підбору джерела живлення.

Ключові слова: МІКРОМЕРЕЖА, ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ, ПАРАМЕТРИ МЕРЕЖІ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, НАВАНТАЖЕННЯ.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ.....8

ВСТУП.....9

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ПІДБОРУ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ МІКРОМЕРЕЖ.

1.1 Існуючі електромережі.....12

1.2 Розумні електромережі 14

1.3 Огляд мікромереж..... 17

1.4 Що таке мікромережа 20

1.5 Архітектура мікромереж 22

1.6 Параметри мікромережі та їх вплив на вибір джерела живлення...27

1.7 Огляд існуючих систем підбору джерела живлення.....28

2. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДБОРУ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

2.1 Інтеграція сонячних станцій і дизель-генераторів: опис процесів та алгоритмів використання альтернативних та резервних джерел енергії.....31

2.2 Специфіка електропостачання коворкінг-центрів: аналіз особливостей та вимог до системи живлення.....33

2.3 Основні поняття і принципи автоматизації систем підбору джерела живлення.....37

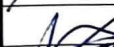
2.4 Методи та алгоритми підбору джерела живлення.....38

2.5 Алгоритм підбору джерел.....44

3. АПРОБАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДБОРУ ДЖЕРЕЛА

3.1 Розробка алгоритму роботи системи живлення: детальний опис механізму переключення між різними джерелами живлення.....51

3.2 Критерії вибору та підбір обладнання для системи: аналіз необхідних компонентів системи, їх характеристик та вибір оптимального обладнання.....56

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ				
Зм.	Арк	№ документа	Підпис	Дата	Розробка автоматичної системи підбору джерела живлення		Літера	Аркуш	Аркушів
Розробник		Савченко А.В.		16.01.24			М Д	6	74
Консульт							МОНУ, УДУНТ, ІСЕ		
Керівник		Антонов А.В.		16.01.24					
Н.контр		Потапчук Л.О.		16.01.24					

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка має обсяг 68 сторінки, складається з 3 розділів та містить 10 ілюстрацій, 4 таблиці, 16 використаних джерел.

Мета і завдання роботи. Метою даної дипломної роботи є розробка автоматизованої системи підбору джерела живлення для мікро мережі на основі параметрів навантаження. Для досягнення цієї мети будуть вирішені наступні завдання:

- проведення аналізу та огляду існуючих методів підбору джерела живлення;
- розробка алгоритму визначення оптимального джерела живлення на основі параметрів навантаження;
- проведення експериментальних досліджень розробленої системи з метою оцінки її ефективності та порівняння з існуючими методами підбору джерела живлення.

Ключові слова: МІКРОМЕРЕЖА, ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ, ПАРАМЕТРИ МЕРЕЖІ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, НАВАНТАЖЕННЯ.

3.3 Експериментальне тестування системи.....	61
3.4 Порівняльний аналіз з існуючими системами.....	63
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СКОРОЧЕННЯ

АС - автоматична система

ДЖ - джерело живлення

МЕ - мікромережа

НН - навантаження

ОП - оптимальні параметри

ПО - програмне забезпечення

ПР - побудова

СА - система автоматизації

СП - струмоперетворювач

ЧН - частотний накопичувач

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Актуальність роботи. Актуальність роботи полягає в тому, що існує ростуча потреба в автоматизованому підборі джерела живлення для забезпечення ефективного функціонування мікромереж. При цьому, оптимальний вибір джерела живлення має забезпечити надійне та стійке електропостачання при мінімальних витратах. Враховуючи зростаючу кількість різноманітних джерел енергії та їх характеристик, а також змінність навантаження на мережу, необхідно розробити автоматичну систему підбору джерела живлення, що базується на параметрах навантаження.

В наш час дедалі більше звертається увага на збереження енергоресурсів і зменшення витрат на електроенергію. Водночас, існує зростаюча потреба у забезпеченні житлових будівель, офісних приміщень та промислових об'єктів надійним та безперебійним живленням. Одним з вирішень цієї проблеми є використання мікромереж, що складаються з різних джерел живлення.

Однак, проблема полягає у тому, що вибір оптимального джерела живлення для мікромережі залежить від багатьох факторів, таких як потужність навантаження, вартість енергії, наявність та обслуговування джерел живлення тощо. Це може призвести до складних технічних рішень та високих витрат на електроенергію.

Отже, розробка автоматичної системи підбору джерела живлення є актуальною проблемою в електроенергетиці та має велике практичне значення для різноманітних виробничих підприємств, житлових та громадських будівель, а також для інфраструктури міських агломерацій.

Мета і завдання роботи. Метою даної дипломної роботи є розробка автоматизованої системи підбору джерела живлення для мікромережі на основі параметрів навантаження. Для досягнення цієї мети будуть вирішені наступні завдання:

- проведення аналізу та огляду існуючих методів підбору джерела живлення;
- розробка алгоритму визначення оптимального джерела живлення на

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		9

основі параметрів навантаження;

- проведення експериментальних досліджень розробленої системи з метою оцінки її ефективності та порівняння з існуючими методами підбору джерела живлення.

Об’єкт дослідження дипломної роботи - електропостачання мікромережі з використанням різних джерел живлення.

Предметом дослідження є розробка автоматизованої системи підбору джерела живлення з метою забезпечення оптимальної роботи мікромережі.

Методи дослідження включають аналіз літературних джерел, моделювання та експериментальні дослідження з використанням програмного та апаратного забезпечення.

Наукова новизна та основні положення, які виносяться на захист.

Наукова новизна полягає в розробці оригінальної моделі підбору джерела живлення на основі параметрів навантаження мікромережі та побудові відповідної системи автоматизованого контролю.

Основні положення, які виносяться на захист, містять рекомендації щодо використання розробленої системи в реальних умовах та підвищення ефективності роботи мікромережі.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати мають велике практичне значення в енергетичній галузі серед яких:

- створення автоматичної системи підбору джерела живлення дозволить ефективно розподіляти навантаження між різними джерелами енергії, що підвищить надійність та стабільність електропостачання;
- розроблений засіб визначення оптимальних параметрів мікромережі на основі параметрів навантаження дозволить знизити витрати на електроенергію та збільшити ефективність роботи мережі;
- впровадження розробленої системи та засобу визначення параметрів мікромережі дозволить зменшити витрати на електроенергію та підвищити її надійність та ефективність, що має велике значення для підприємств та організацій, які залежать від надійного та стабільного електропостачання.

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		10

Особистий внесок здобувача. Постановку мети та завдань дослідження виконано спільно з науковим керівником. Основні наукові положення, теоретичні та експериментальні дослідження отримані здобувачем самостійно.

Публікації. За результатами роботи подано до друку.

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ПІДБОРУ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ МІКРОМЕРЕЖ

1.1. Існуючі електромережі

В умовах зростання попиту на електроенергію на фоні збільшення витрат і впливу на навколишнє середовище, пов'язаного зі спалюванням викопного палива, потрібно вдосконалювати способи управління попитом та інтеграцію поновлюваних джерел енергії в основну енергетичну систему. Головною перешкодою для розвитку електроенергетики є нинішній застарілий характер електромережі.

Призначена для обслуговування централізованої системи виробництва, передачі та розподілу електроенергії, вона неохоче адаптується до нових технологій і рішень. Це останній сектор, що досі надає критично важливі послуги клієнтам без зворотного зв'язку в режимі реального часу про те, як його послуги використовуються користувачами.

Традиційно електромережа працює як система з відкритим контуром, в якій не фіксувалися дані в реальному часі для таких речей, як миттєвий попит, профілі споживання або продуктивність системи. Ця система з відкритим контуром не може зберігати енергію, не може використовувати поновлювані джерела енергії, такі як вітер, сонце, біомаса, і хвилі /припливи, з їх переривчастою поведінкою, та не може охопити всі системи управління, необхідні для досягнення операційної ефективності та енергозбереження.

Побудована в минулому столітті електромережа є односторонньою ієрархічною системою, в якій електроенергія виробляється і використовується на основі збереження даних про споживання, а не на основі попиту в реальному часі. Таким чином, система перевантажена, щоб витримувати пікові непостійні навантаження. Це означає, що дорогі активи системи не використовуються ефективно в будь-який зручний час[1].

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		12

Звичайні централізовані системи, як правило, втрачають значну кількість електроенергії через неефективність, а також стикаються з проблемами, пов'язаними зі зростанням попиту та витрат, скороченням пропозиції, зниженням резервних запасів і необхідністю звести до мінімуму вплив на навколишнє середовище. [1]

За свою історію постачальники енергії не стикалися з такою кількістю різноманітних і одночасних проблем як зараз:

- Старіюча інфраструктура;
- Надійність;
- Безпека
- Ринкова динаміка;
- Ціни та тарифи;
- Розподілена енергетика;
- Ефективність та оптимізація;
- Зростання витрат на енергоносії;
- Вплив на навколишнє середовище;
- Масова електрифікація;
- Поновлювані джерела енергії;
- «Зелена енергія»

Сьогодні існують різноманітні електромережі, які забезпечують постачання електроенергії споживачам. Однак багато з них мають обмеження та недоліки, які ускладнюють ефективне управління та інтеграцію відновлюваних джерел енергії. Нижче наведено декілька типових існуючих систем вибору джерела живлення та засобів визначення оптимальних параметрів мікромереж, які можуть бути об'єктом аналізу:

- Централізована система електропостачання - це традиційна система, в якій електроенергія виробляється на централізованих електростанціях і передається по довгих лініях електропередачі споживачам. Основні недоліки цієї системи включають втрати енергії під час передачі, недостатню гнучкість для інтеграції

відновлюваних джерел енергії та обмежену здатність керувати споживанням.

- Децентралізована система електропостачання - у такій системі електроенергія виробляється ближче до споживачів, використовуючи відновлювані джерела, такі як сонячна, вітрова або гідроенергія. Це дає змогу зменшити втрати енергії під час передачі та забезпечити більшу стійкість до збоїв. Однак такі системи потребують ефективного управління, зберігання та розподілу електроенергії.

- Мікромережі - це невеликі електричні системи, які можуть працювати незалежно від централізованої мережі або підключатися до неї. Вони можуть включати кілька джерел енергії, таких як відновлювані джерела, дизельні генератори або акумуляторні батареї. Мікромережі забезпечують більшу гнучкість і незалежність в управлінні електроенергією, але їх ефективність залежить від правильного вибору джерел живлення та оптимальних параметрів.

- Системи управління споживанням: ці системи використовуються для моніторингу та контролю споживання електроенергії в реальному часі. Вони можуть включати розумні лічильники, системи керування навантаженням, датчики споживання тощо. Такі системи дозволяють ефективно розподіляти енергію та зменшувати піки споживання.

Аналіз існуючих систем вибору джерела живлення та засобів визначення оптимальних параметрів мікромереж дозволить оцінити їх переваги та недоліки, виявити проблемні аспекти та розробити нові підходи, які сприятимуть вдосконаленню систем вибору джерел живлення та оптимізації енергоефективності в мікросітці.

1.2. Розумні електромережі

В основі кризи лежить нездатність традиційних електромереж реагувати на такі виклики без серйозної технологічної модернізації їх інфраструктури. Крім цього, така модернізація вимагає створення інтелектуального рівня управління, який повинен розміщуватися поверх електромережі. На жаль, цей рівень не може бути впроваджений в рамках існуючих електромереж

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		14

комунальних підприємств. Потрібна нова і вдосконалена електромережа. Такі мережі відомі як «Розумна мережа» або «Smart Grid». Як видно з таблиці 1.1, мережа наступного покоління являє собою конвергенцію інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) з енергетикою. Мережа Smart Grid реалізовується за допомогою стратегічних імплантатів розподілених систем управління та моніторингу в рамках існуючих електромереж і паралельно з ними. Таке органічне зростання дозволить комунальним підприємствам перенести більшу частину навантаження і функцій старої мережі в нову, покращуючи і підвищуючи таким чином якість своїх найважливіших послуг.

Таблиця 1.1. - Порівняння існуючої та розумної мережі

Існуюча мережа	Smart Grid
Електромеханічна	Цифрова
Односторонній зв'язок	Двосторонній зв'язок
Централізована генерація	Розподілена генерація(DG)
Ієрархічна	Мережева
Невелика кількість датчиків	Датчики всюди
Відсутність моніторингу	Самоспостереження
Ручна реставрація	Самоусунення недоліків
Збої і відключення	Адаптація і острівний режим
Ручна перевірка	Дистанційна перевірка
Обмежений контроль	Розширений контроль
Невелика кількість клієнтів	Значна кількість клієнтів

Як показано на рис. 1.2, розумні мікромережі утворюють взаємопов'язану мережу розподілених енергосистем (навантажень і ресурсів), які можуть функціонувати як у складі загальної енергосистеми, так і окремо від неї.

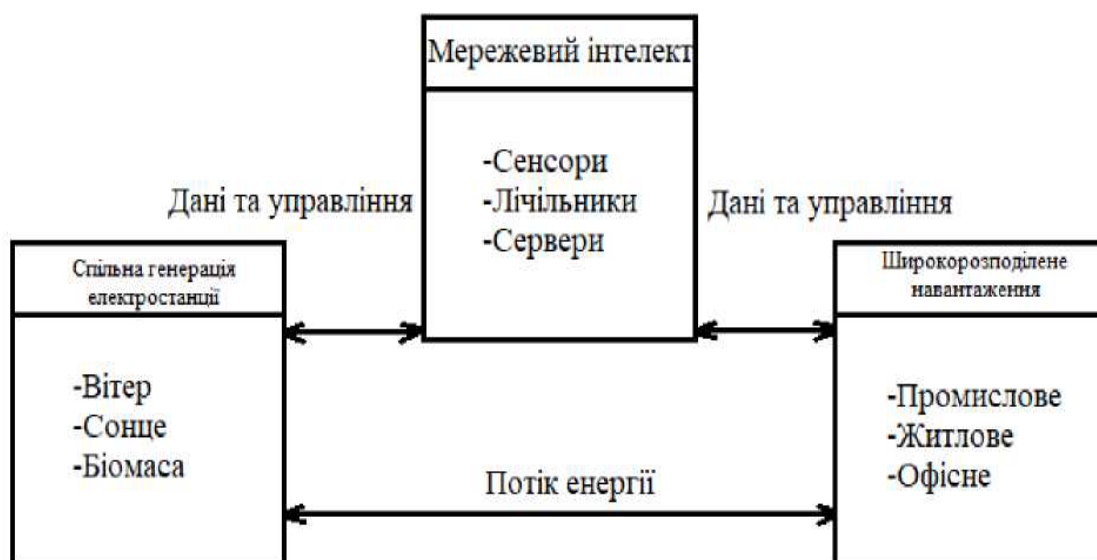


Рис. 1.2 Топологія Smart Microgrid [2]

Отже, розумні мікромережі стають основними складовими елементами майбутньої розумної мережі [2]. Розумна мережа не може замінити існуючу електромережу, але має бути її еволюційним доповненням [3].

Розумні електромережі мають багато переваг. Вони дозволяють забезпечити двосторонній зв'язок між енергетичними постачальниками та споживачами, що сприяє більш ефективному керуванню та оптимізації споживання електроенергії. Розумна мережа також спроможна інтегрувати розподілену генерацію, що означає, що споживачі можуть стати і виробниками електроенергії, наприклад, за допомогою сонячних панелей на даху свого будинку. Це зменшує залежність від централізованих електростанцій і сприяє створенню більш стійкої та енергоефективної системи. Крім того, розумна мережа забезпечує більшу надійність та стійкість електропостачання шляхом автоматичного виявлення та самоусунення недоліків. Вона також дозволяє вести дистанційний моніторинг та перевірку стану мережі, що спрощує процеси обслуговування та обслуговування мережі. Розумні електромережі забезпечують розширений контроль над енергетичними процесами та дають можливість краще відповідати на потреби значної кількості клієнтів.

Застосування розумних мікромереж утворює основу для створення розумної мережі загалом. Розумна мережа включає в себе розумні мікромережі,

що дозволяє інтегрувати малий розмір мережі в більшу систему. Розумні мікромережі можуть працювати як самостійні системи, забезпечуючи надійне та ефективне енергопостачання навіть у разі відключення від загальної енергосистеми. Вони також можуть бути підключені до загальної енергосистеми, де вони функціонують як активний учасник, співпрацюючи з іншими енергетичними джерелами та споживачами для оптимізації енергетичних потоків та забезпечення стійкого постачання.

Розумні електромережі є ключовим елементом для створення майбутньої стійкої, ефективної та інтелектуальної енергетичної системи. Вони дозволяють впроваджувати нові технології, підвищувати якість електропостачання, зменшувати втрати електроенергії та сприяти енергоефективності. Розумні електромережі також створюють нові можливості для споживачів, дозволяючи їм бути активними учасниками в енергетичних процесах та забезпечувати стале та стабільне енергопостачання своїх потреб.

Ураховуючи переваги та потенціал розумних електромереж, їх розвиток і впровадження є важливим завданням для енергетичної галузі. Це вимагає співпраці між комунальними підприємствами, урядовими органами, виробниками технологій та іншими зацікавленими сторонами. Важливо забезпечити належну інфраструктуру, стандартизацію та кібербезпеку для успішного впровадження розумних електромереж і створення майбутньої розумної мережі, яка відповідатиме потребам сучасного світу.

1.3. Огляд мереж MicroGrid

Проникнення розподіленої генерації (DG) в електричні розподільні системи постійно зростає, особливо в розвинених країнах. Розподілена генерація включає різноманітні технології первинних джерел енергії, такі як двигуни внутрішнього згоряння, газові турбіни, мікротурбіни, фотоелектричні панелі, паливні елементи і вітряні турбіни. Ці технології, що загалом називаються "розподіленими енергоресурсами" (DER), можуть значно знизити

викиди вуглецю та сприяти скороченню парникових газів. Крім того, впровадження DER дозволяє збільшити внесок відновлюваних джерел енергії, таких як вітро-, сонячна та гідроенергетика, що допомагає подолати проблему вичерпання вуглецевих та газових резервів. Наявність розподіленої генерації також сприяє поліпшенню якості та надійності електропостачання. Використання спільного обладнання для одночасного виробництва тепла та електроенергії також призводить до підвищення енергоефективності. Ще однією важливою перевагою впровадження DER є зменшення втрат енергії в розподільних мережах та зниження витрат для споживача. [4]

Для реалізації потенціалу розподіленої генерації (DG) зручно використовувати системний підхід. Тут розподілена генерація і пов'язані з нею навантаження об'єднуються в підсистему, яку називають "MicroGrid" або "мікромережа". Такий підхід дозволяє здійснювати локальне управління розподіленою генерацією, тим самим знижуючи або усуваючи потребу в централізованій диспетчеризації. Під час відключень мікромережа може відокремитися від основної розподільної мережі, щоб залишити мікромережу незалежною від збурень (забезпечуючи високий рівень надійності обслуговування), не впливаючи на цілісність основної мережі передачі електроенергії. Цей розрив між розподіленою генерацією і навантаженнями потенційно дозволяє досягти більш високого рівня локальної надійності, ніж це можливо в енергосистемі в цілому. [14] Концепцію локального управління на базі розподіленої генерації, яка дозволяє створити модель "plug-and-play" без потреби в індивідуальному проектуванні для кожної ділянки, запропонував Роберт Лассетер.[5] Ця концепція отримала подальший розвиток у вигляді CERTS MicroGrid (Consortium for Electric Reliability Technology Solutions), яка є першою повномасштабною інверторною розподіленою генеруючою мікромережею у світі[16]. CERTS була створена в 1999 році з метою дослідження, розробки та комерціалізації нових методів, інструментів та технологій для підвищення надійності електроенергетичних систем у США. CERTS є консорціумом, у якому беруть участь університети, національні

					EE2226. KPM.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		18

лабораторії та промислові партнери. [6]

Мікромережі є однією з перспективних технологій, які використовують розумні електромережі та розподілену генерацію для створення більш гнучких, надійних і енергоефективних систем електропостачання. Вони можуть бути застосовані в різних контекстах, включаючи комерційні будівлі, промислові комплекси, житлові райони та віддалені регіони, де створення незалежних мереж електропостачання може бути більш ефективним. Мікромережі можуть мати різні топології, включаючи радіальну, деревоподібну, сітчасту та гібридну структуру. Вони об'єднують різні джерела енергії, такі як сонячні панелі, вітряні турбіни, паливні елементи, з генераторами та сховищами енергії, такими як батареї. Це дозволяє забезпечити стійке постачання електроенергії навіть в разі відключення від централізованої мережі. Мікромережі використовують розумне управління та моніторинг, що дозволяє оптимізувати використання доступних джерел енергії, керувати навантаженнями та забезпечувати енергоефективність.

Однією з головних проблем при впровадженні мікромереж є інтеграція з централізованою електричною системою та забезпечення стабільності та безпеки. Ефективне керування переходами між мікросіткою та центральною сіткою є важливим аспектом. Крім того, необхідні надійні механізми для управління змінними джерелами енергії, такими як сонячні батареї та вітрові турбіни, з урахуванням коливань виробництва.

У мікромережах також існує потреба у розробці стандартів зв'язку та протоколів для забезпечення взаємодії між різними компонентами системи. Це дозволить стандартизувати обмін даними та забезпечити сумісність між різними виробниками обладнання. Використання мікромереж має потенціал для підвищення стійкості електропостачання, скорочення викидів парникових газів і підвищення енергоефективності. Вони можуть стати важливим кроком у розвитку сталого та сталого енергетичного майбутнього. Враховуючи швидкий технологічний розвиток і зростаюче усвідомлення необхідності сталого розвитку, мікромережі є предметом активних досліджень і розробок.

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		19

Дослідницькі проекти та пілотні програми вже реалізуються в різних країнах для вивчення ефективності, енергоефективності та бізнес-моделей, пов'язаних із мікромережами. Однак перед тим, як мікромережі можуть бути широко впроваджені, ще потрібно вирішити кілька проблем, таких як економічна стійкість, регуляторні аспекти, інтеграція з інтелектуальними мережами та кібербезпека.

1.4. Що таке MicroGrid

MicroGrid - це група взаємопов'язаних навантажень і розподілених енергоресурсів в межах чітко визначених електричних кордонів, яка діє як єдиний керований об'єкт, що може під'єднуватися і відключатися від мережі, щоб вона могла працювати як в режимі підключення до мережі, так і в острівному режимі. Це визначення прийнято Міністерством енергетики США та науково-дослідним інститутом електроенергетики (EPRI). З цього визначення випливають три основні ідеї:

- MicriGrid - це інтеграційна платформа для джерел живлення, накопичувачів і ресурсів попиту (керованих навантажень), розташованих в локальній розподільній мережі. У концепції мікромережі увага зосереджена на локальній подачі електроенергії до довколишніх навантажень, тому моделі агрегаторів, які не враховують фізичне розташування генераторів і навантажень не є мережами MicroGrid.
- MicroGrid має бути здатна працювати як в нормальному стані (підключена до мережі), так і в аварійному стані (острівний режим). Більшість мікромереж здебільшого працюють в режимі мережевого з'єднання, таким чином, основні переваги концепції MicroGrid будуть впливати з експлуатаційного стану мережевого з'єднання. Для забезпечення довгострокової експлуатації в острівному режимі, мережа MicroGrid повинна відповідати високим вимогам до розмірів сховищ і номінальної потужності мікрогенераторів для безперебійної подачі навантажень[7].

- Оператор MicroGrid - це щось більше, ніж агрегатор малих генераторів, або постачальник мережеских послуг, або контролер навантаження, або регулятор викидів - він виконує всі ці функції і служить безлічі економічних, технічних і екологічних цілей[9].

Основні компоненти MicroGrid включають різні джерела енергії, такі як генератори, сонячні панелі, вітрогенератори, акумулятори, а також навантаження, що використовують цю енергію. MicroGrid може включати розподільну мережу або бути частиною електричної системи будівлі.

Слід зазначити, що DER включають як DG, так і розподілене сховище (DS). РС потрібно в тих випадках, коли генерація і навантаження не можуть бути точно узгоджені. Місткість сховища визначається з точки зору часу, протягом якого номінальна енергетична ємність може покрити навантаження при номінальній потужності.

DS може забезпечити наступні переваги:

- він стабілізує і дозволяє блокам DG працювати на постійній і стабільній потужності, не схильній до впливу коливань навантаження;
- забезпечує пропускну здатність при динамічних коливаннях первинної енергії (наприклад, сонячної, вітрової та гідроенергетичної);
- дозволяє DG безперебійно працювати як диспетчерська установка;
- може гасити пікові стрибки навантаження попиту, забезпечуючи проходження сигналу відключення, коли резервні генератори відповідають на запит[8].

Схема мережі MicroGrid та її компоненти. Вона складається з групи радіальних фідерів(1-3), які можуть бути частиною розподільної системи або електричної системи будівлі. Існує єдина точка підключення до електромережі, що називається точкою загального зв'язку (ТЗС).

Фідери 1-3 мають чутливі навантаження, що вимагає місцевого генерування. Фідери можуть від'єднуватися від мережі за допомогою з'єднувального перемикача (ЗП), який може бути статичним (може працювати

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		21

протягом циклу). Є три РГ, які керуються тільки за допомогою вимірювання місцевих напруг і струмів. При виникненні проблем з живленням енергосистеми, ЗП розмикається, ізолюючи чутливі навантаження від електромережі. Таким чином передбачається, що є достатня кількість генерації для задоволення попиту в мікромережі. Коли мікросистема підключена до мережі, електроенергія від місцевої генерації може постачати нечутливі навантаження. У концепції CERTS MicroGrid передбачається, що кожен компонент мережі працює в режимі plug-and-play з автономним управлінням в одноранговій концепції. Це означає, що в MicroGrid немає центрального контролера або запам'ятовуючих пристроїв. Це також означає, що мережа MicroGrid може продовжувати працювати, навіть коли один з РГ виходить з ладу. Plug-and-play передбачає, що пристрій може бути розміщено в будь-якому місці без перебудови елементів управління. Модель «plug-and-play» полегшує розміщення генераторів поблизу теплових навантажень. Важливим компонентом є система ЗП, яка підключає або відключає MicroGrid від решти розподільної мережі. Вона об'єднує різні функції, включаючи перемикання живлення, захисне реле, облік і зв'язок з цифровим сигнальним процесором (DSP).

MicroGrid – це інноваційний підхід до організації електропостачання, що дозволяє підвищити надійність електропостачання, забезпечити стабільність та ефективність використання енергоресурсів. Це також сприяє зменшенню викидів шкідливих речовин і підтримує розвиток сталої енергетики.

1.5. Архітектура MicroGrid

MicroGrid (MG) - це об'єднання побутових розподілених навантажень і низьковольтних (НВ) розподілених джерел енергії, таких як мікротурбіни, вітряні турбіни, фотоелектричні (ФЕ) і накопичувальні пристрої. Мікромережі поміщаються в низьковольтні (НВ) і середньовольтні (СВ) розподільні мережі. З цього випливають важливі наслідки. З численними мікроджерелами,

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		22

підключеними на рівні розподільних мереж, виникають нові проблеми, такі як:

- стабільність системи;
- якість електроенергії;
- робота мережі.

Ці проблеми повинні вирішуватися шляхом застосування передових методів управління на низьковольтних/ середньовольтних рівнях, а не на високовольтних, що є звичайним явищем при управлінні звичайними енергосистемами. Іншими словами, розподільні мережі (сторона попиту) повинні перейти від пасивної ролі до активної. Спрощена архітектура MicroGrid показана на рис. 1.3.

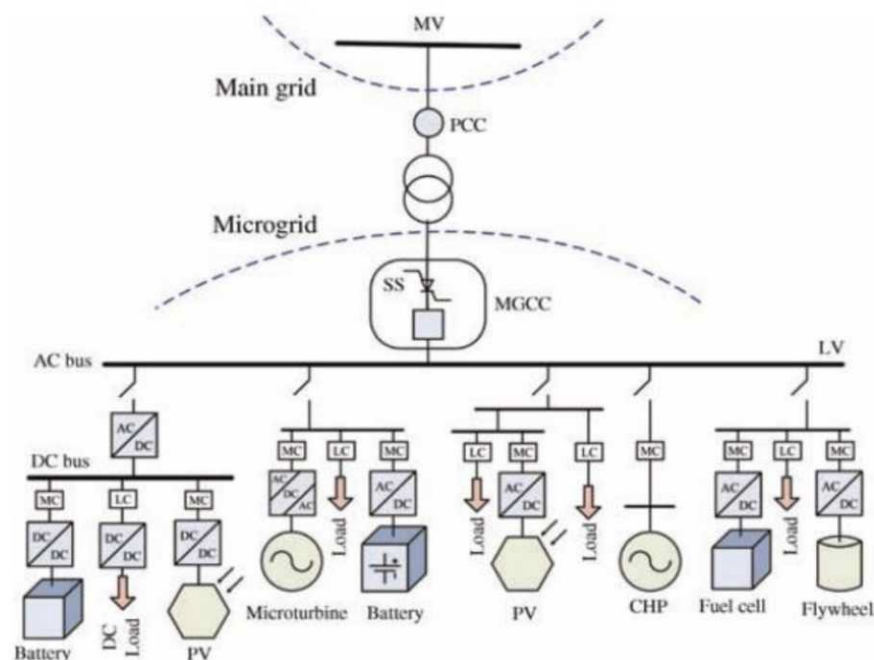


Рис. 1.3 Спрощена структура MicroGrid [9]

Дана мережа складається з групи радіальних фідерів, що входять до складу розподільної системи. Внутрішнє навантаження може бути розділене на чутливе/критичне і нечутливе/некритичне через окремі фідери. Чутливі навантаження повинні завжди живитися одним або декількома мікроджерелами, в той час як нечутливі навантаження можуть бути відключені в разі непередбачених обставин або серйозних завад. Фідери кожного агрегату мають автоматичний вимикач і регулятор потоку потужності, керований центральним контролером або диспетчером енергії. Автоматичний вимикач

використовується для відключення фідерів (і пов'язаного з ними блоку), щоб уникнути впливу сильних завад через мережу MG. Вона підключається до розподільчої системи через точку загального зв'язку (PCC) через статичний перемикач (SS). Статичний перемикач здатний відключити MG для проведення технічного обслуговування або при виникненні несправності або непередбачених обставин.

Існує чотири класи MicroGrid:

- Єдиний об'єкт MicroGrid.

До них відносяться промислові та комерційні будівлі, житлові будівлі та лікарні. Навантаження зазвичай не перевищують 2 МВт. Ці системи мають низьку інерційність і вимагають резервної генерації для роботи поза мережею. Мікромережі повинні проектуватися для покращення доступності та якості електроенергії. Навантаження, такі як в лікарні, вимагають плавного переходу між підключенням до мереж і острівним режимом.

- Декілька об'єктів MicroGrid.

У цю категорію входять навчальні містечка і житлові, комерційні та промислові комплекси, які мають кілька будівель, розкиданих по території. Діапазон навантаження може варіюватися від 2 до 5 МВт. Необхідно забезпечити високу якість та надійність електроенергії.

- MicroGrid фідерів.

Ці мікромережі призначені для управління генерацією та/або навантаженням всіх об'єктів всередині розподільного фідера. Навантаження або генерація може варіюватися в діапазоні 5-10 МВт. MicroGrid фідерів може включати в себе менші за розміром мікромережі, одну або кілька установок.

- MicroGrid підстанцій

Ці мікромережі керують генерацією та/або навантаженням всіх об'єктів, підключених до розподільної підстанції (потужністю від 5 до 10 МВт і більше). Вони мікромережі включають певну генерацію, підключену безпосередньо до підстанції та розподілену генерацію. Мікромережі на рівні фідерів і об'єктів можуть бути включені в мікромережі підстанцій. Основною метою є

поліпшення якості електроенергії та підвищення її доступності для споживачів.

Історично розвиток РГ відбувався в контексті електрифікації ізольованих спільнот і резервного генерування для критичних навантажень. Електрифікація віддалених громад в країнах, що розвиваються і на географічних островах є одним з основних видів застосування DER і розвитку MicroGrid. Потреби в енергії задовольняються за рахунок відновлюваних джерел (малих гідроелектричних станцій, сонячних фотоелектричних батарей і вітряних електростанцій) на додаток до дизельних генераторів. Однією з основних характеристик віддалених мікромереж є те, що вони розраховані на обслуговування всього навантаження поряд з достатнім рівнем резервної потужності для управління непередбаченими ситуаціями. Балансування потужності/енергії між змінним навантаженням і переривчастою генерацією потребує наявності стратегій для підтримки бажаного рівня надійності. Ізольовані мікромережі можуть бути створені на розподілі постійного струму для підвищення ефективності та зниження витрат.

На даний момент дослідницька програма повинна зосереджуватися на трьох взаємодоповнюючих областях:

- Оперативні питання MicroGrid, такі як захист, комутація, диспетчеризація, контроль, управління тощо;
- Регулювання та стандартизація компонентів, інтерфейсів та підсистем мережі;
- Зв'язок, обмін повідомленнями, мережа даних та автоматизація інтелектуальних мікромережових компонентів та систем.

Однією з основних перешкод, що не дає розвиватися розумним мережам, є необхідність перевірки та затвердження технології в умовах, максимально наближених до реальних, до того часу, поки такі підсистеми не стануть повноцінною частиною електромережі. MicroGrid зазвичай проектується як платформа RD&D (дослідження, розробка і демонстрація), де використовуються існуючі і майбутні технології в області телекомунікацій, інтелектуальних дослідів, спільного виробництва та аналізу для розробки і

					EE2226. KPM.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		25

кваліфікації найбільш надійних, економічно ефективних і масштабованих рішень, необхідних для полегшення і стимулювання еволюції і появи розумних мереж в тій чи іншій формі.

1.6 Параметри мікромережі та їх вплив на вибір джерела живлення

Підбір джерела живлення в мікромережах є складним процесом, що залежить від різних параметрів мережі. Деякі з цих параметрів впливають на вибір джерела живлення та можуть бути використані при автоматизації процесу вибору.

Один з найважливіших параметрів мікромережі - це потужність споживачів. Чим більша потужність, тим більше джерел живлення можна використовувати, що збільшує шанси на надійне живлення мережі.

Іншим параметром є тип джерел живлення. Різні джерела живлення мають різні властивості, такі як вартість, енергоефективність та надійність. Наприклад, відновлювані джерела живлення, такі як сонячні батареї, можуть бути менш надійними у порівнянні з традиційними джерелами живлення, такими як генератори на дизельному паливі. Однак вони можуть бути більш енергоефективними та екологічно чистими.

Також важливим параметром є відстань між джерелами живлення та споживачами. Чим більша відстань, тим більше витрат на проведення кабелів та інфраструктуру, а отже, використання локальних джерел живлення може бути більш вигідним. Однак, якщо відстань занадто велика, то можуть виникати проблеми зі стабільністю напруги та втратами енергії в кабелях.

У деяких випадках, на вибір джерела живлення може впливати термін служби споживачів. Також одним з ключових параметрів, що впливає на вибір джерела живлення, є його потужність. В залежності від вимог до споживача та можливостей джерел живлення, вибирається джерело з необхідною потужністю для забезпечення живлення мережі.

Крім того, до інших параметрів мікромережі, які впливають на вибір

джерела живлення, можна віднести:

- Напруга живлення;
- Струм споживання;
- Рівень напруги на лінії передачі;
- Тривалість перерв у живленні;
- Кількість джерел живлення та їх можливості.

У роботі [29] використовується метод аналізу ієрархій (MAI), щоб визначити, яке джерело живлення є найбільш оптимальним в залежності від різних параметрів мікромережі, таких як потужність, напруга та струм споживання. Цей метод дозволяє знаходити найкращий варіант, з урахуванням пріоритету кожного параметру відповідно до його вагомості для споживача.

У дослідженні [30] було виявлено, що напруга на лінії передачі є важливим параметром, що впливає на вибір джерела живлення, особливо для мікромереж, які працюють на великій відстані від джерела живлення. Було запропоновано метод вибору джерела живлення на основі алгоритму штучного інтелекту, який враховує рівень напруги на лінії передачі та потужність джерела живлення.

Отже, можна зробити висновок, що параметри мікромережі є важливими факторами, які впливають на вибір джерела живлення.

У даному розділі було розглянуто параметри мікромережі та їх вплив на вибір джерела живлення. Визначення цих параметрів є важливим етапом при проектуванні та експлуатації мікромереж. Найважливішими параметрами є рівень споживання енергії, розподіл навантаження, джерела живлення, ємність сховища енергії та коефіцієнт використання енергії. Відповідне налаштування цих параметрів дозволить забезпечити оптимальну роботу мікромережі та ефективне використання енергії.

1.7 Огляд існуючих систем підбору джерела живлення

Для підбору джерела живлення існують різні підходи та системи. Однією з них є система, яка використовує декілька джерел живлення та переключається між ними в залежності від потреб споживача [10]. Іншою системою є система, яка використовує одне основне джерело живлення та додаткове джерело живлення, яке включається тільки в разі відмови основного джерела [11].

Одна з найбільш поширених систем підбору джерела живлення - це система резервування живлення. Вона передбачає використання декількох джерел живлення, одне з яких є основним, а інші - резервними. Коли основне джерело живлення відмовляє, резервне джерело автоматично вмикається, щоб забезпечити продовження роботи системи.

Інші системи підбору джерела живлення базуються на аналізі енергетичної ефективності різних джерел живлення та вибору найбільш підходящого варіанту для поточних потреб. Такі системи можуть використовувати датчики рівня заряду батарей, аналізувати параметри мережі живлення, контролювати навантаження та інші параметри, щоб забезпечити оптимальну роботу системи.

Також існують системи підбору джерела живлення, які базуються на використанні відновлюваних джерел енергії, наприклад, сонячних або вітрових електростанцій. Вони можуть забезпечити енергозабезпечення в умовах, коли доступ до електромережі обмежений або відсутній.

Окремі системи підбору джерела живлення можуть бути використані для різних застосувань, таких як резервне живлення, зменшення вартості електроенергії або максимізація використання відновлювальних джерел енергії. В залежності від цілей, досягнутих за допомогою системи підбору джерела живлення, різні технології можуть бути використані для досягнення оптимальних результатів.

Наприклад, однією з найпоширеніших технологій для резервного

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		28

живлення є дизель-генератори. Ці генератори зазвичай знаходяться в окремих приміщеннях і можуть автоматично запускатись в разі відмови головного джерела живлення. В такому випадку система підбору джерела живлення може вимкнути головний джерело живлення та запустити дизель-генератор.

Для вибору оптимального джерела живлення також можна використовувати алгоритми класифікації, такі як метод k-найближчих сусідів (k-Nearest Neighbors, k-NN). За допомогою цього методу можна класифікувати дані про навантаження відповідно до їх характеристик та призначення, що дозволяє визначити оптимальне джерело живлення для певної ситуації.

У даній дипломній роботі буде розроблена автоматизована система підбору джерела живлення, яка буде базуватися на аналізі параметрів навантаження та визначенні оптимального джерела.

Окремим аспектом автоматизації системи підбору джерела живлення є визначення оптимальних параметрів мікромережі. Це включає в себе визначення потужності джерела живлення, напруги та струму, а також визначення відповідних режимів роботи компонентів мікромережі, щоб забезпечити оптимальний рівень напруги та струму для всіх підключених пристроїв.

Таким чином, автоматизація системи вибору джерела живлення та визначення оптимальних параметрів мікромережі є актуальним завданням, яке дозволяє ефективно використовувати енергетичні ресурси та забезпечує стабільність електропостачання. У цьому розділі досліджено теоретичні аспекти автоматизації системи вибору джерела живлення, зокрема методи визначення оптимального джерела живлення, а також розглянуто питання визначення оптимальних параметрів мікромережі на основі параметрів навантаження. .

Одним із основних принципів автоматизації систем вибору джерел живлення є забезпечення постійного моніторингу стану джерел живлення та швидкого перемикання між ними у разі відмови одного з джерел [12]. Для цього можуть використовуватися різні алгоритми, які забезпечують визначення

потреб споживача та вибір найбільш оптимального джерела живлення в залежності від цих потреб.

Автоматизація систем вибору джерела живлення полягає у використанні комп'ютеризованих систем для визначення оптимального джерела живлення на основі поточного навантаження.

Основні поняття та принципи автоматизації систем вибору джерел живлення включають:

- Навантаження - це сумарна потужність всіх пристроїв, підключених до мережі.

- Джерела живлення (джерела) – можливі джерела живлення, які можуть забезпечити енергією пристрої, підключені до мережі.

- Критерії вибору джерела живлення (критерії вибору) - це параметри, які використовуються для вибору оптимального джерела живлення, включаючи вартість, ефективність, надійність та інші фактори.

- Алгоритми вибору джерела живлення (алгоритми вибору) — це комп'ютерні алгоритми, що використовуються для визначення оптимального джерела живлення на основі критеріїв вибору.

- Апаратне забезпечення - це фізичне обладнання, яке використовується для збору даних про навантаження та джерела живлення, а також для виконання алгоритмів вибору джерела живлення.

- Програмне забезпечення - це комп'ютерна програма, яка використовується для обробки даних про навантаження та джерело живлення, а також для виконання алгоритмів вибору джерела живлення.

Принцип автоматизації систем вибору джерела живлення полягає у використанні комп'ютеризованих систем для автоматичного вибору оптимального джерела живлення в залежності від поточного навантаження. Автоматика забезпечує більш ефективне використання енергії.

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		30

2. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДБОРУ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

2.1 Інтеграція сонячних станцій і дизель-генераторів: опис процесів та алгоритмів використання альтернативних та резервних джерел енергії

В сучасних умовах енергетичної нестабільності та зростаючої уваги до екологічних питань, інтеграція альтернативних джерел енергії, таких як сонячні станції, та надійних резервних систем, таких як дизель-генератори, є ключовим аспектом забезпечення ефективного та надійного електропостачання.

Інтеграція сонячних станцій

Вибір та розміщення сонячних панелей з урахуванням географічного положення, кліматичних умов та кутів нахилу для максимізації ефективності. Ефективний час роботи сонячних панелей (Київська область) - 8:00 - 16:00

Важливо обрати інвертори з високою надійністю та тривалим терміном служби, щоб забезпечити безперебійну роботу системи. Інвертори мають бути правильно інтегровані з мережею, щоб забезпечити безпечне та ефективне введення сонячної енергії в загальну систему живлення. Більшість сучасних інверторів оснащені системами моніторингу, які дозволяють відстежувати продуктивність та виявляти будь-які проблеми в роботі.

Використання систем моніторингу в сонячних станціях є критично важливим для оптимізації продуктивності та підтримки надійності системи. Ось детальний опис процесів, що входять у моніторинг сонячних станцій:

- збір даних (системи моніторингу збирають дані про кількість електроенергії, виробленої сонячними панелями протягом певного періоду (день, тиждень, місяць);
- аналіз трендів (використовуючи ці дані, можна визначити піки та спади вироблення енергії, а також оцінити вплив погодних умов та інших зовнішніх факторів на продуктивність станції);
- виявлення зниження продуктивності (моніторинг дозволяє виявити

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		31

зниження ефективності окремих панелей або всієї станції, що може бути викликано брудом, пошкодженням або зносом.

- порівняльний аналіз (орівняння даних з різних панелей та станцій дозволяє визначити, чи працюють вони з оптимальною ефективністю);
- проактивне виявлення (системи моніторингу можуть проактивно виявляти технічні проблеми, такі як перебої в роботі інверторів, збої в електричних з'єднаннях або фізичні пошкодження панелей);
- сигналізація (у разі виявлення проблем, система може надсилати сповіщення операторам або службі технічного обслуговування для негайного реагування);
- доступ до даних – (сучасні системи моніторингу зазвичай мають зручні веб-інтерфейси або мобільні додатки, що дозволяють операторам стежити за станом станцій в реальному часі);
- звіти та аналітика (можливість генерувати детальні звіти та аналітичні огляди, що допомагають в плануванні обслуговування та вдосконаленні системи).

Дані моніторингу можуть використовуватися для планування регулярного технічного обслуговування, а також для визначення конкретних потреб у ремонті або заміні обладнання.

Ефективне планування обслуговування на основі точних даних допомагає знижувати витрати та забезпечувати неперервну роботу станції. Автоматичне управління для оптимізації використання сонячної енергії, зокрема під час пікових годин сонячної активності.

Інтеграція Дизель-Генераторів

Використання дизель-генераторів як резервного джерела енергії в системах електропостачання коворкінг-центрів має критичне значення для забезпечення безперебійної роботи. Детальний опис цього процесу включає наступні аспекти:

У випадку перебоїв у мережевому живленні чи недостатності сонячної енергії, дизель-генератори забезпечують альтернативне джерело електроенергії

для підтримки необхідних функцій коворкінгу. У разі відключення від основної мережі, дизель-генератори можуть швидко активуватися, запобігаючи перервам у роботі та зберігаючи важливі процеси та системи в активному стані. Сучасні дизель-генератори часто оснащені автоматичними системами виявлення перебоїв в електропостачанні, які миттєво активують генератор при виявленні проблем у мережі. Ці системи забезпечують швидке перемикання на резервне джерело, мінімізуючи час перерви у електропостачанні.

Дизель-генератори підбираються з урахуванням максимального потенційного навантаження, щоб гарантувати здатність підтримувати всі критичні системи при повному навантаженні. Важливо забезпечити достатнє резервування потужності, враховуючи можливі майбутні зміни в потребах електропостачання.

Для забезпечення надійності та готовності до використання, дизель-генератори потребують регулярного технічного обслуговування. Це включає перевірку рівня палива, заміну фільтрів, оливи та інших розхідних матеріалів, а також тестування системи на предмет будь-яких технічних проблем.

Важливо забезпечити ефективну інтеграцію дизель-генераторів з іншими джерелами живлення, особливо з сонячними панелями, для оптимального використання ресурсів. Системи управління енергією можуть бути налаштовані для автоматичного вибору найбільш ефективного джерела енергії в залежності від умов та доступності ресурсів.

Використання дизель-генераторів як резервного джерела енергії в коворкінг-центрах забезпечує критичний рівень безпеки та надійності, гарантуючи, що важливі операції та послуги не будуть перервані навіть у разі відмови основного джерела живлення.

2.2 Специфіка електропостачання коворкінг-центрів: аналіз особливостей та вимог до системи живлення

Коворкінг-центри являють собою унікальне середовище з точки зору електропостачання. Вони характеризуються високою гнучкістю використання

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		33

простору, різноманітністю споживачів та частими змінами у навантаженні. Важливість надійного електропостачання для цих просторів не може бути переоцінена, оскільки воно впливає на продуктивність роботи, комфорт та безпеку користувачів.

Автором дипломної роботи для дослідження та аналізу особливостей та вимог до системи живлення обраний коворкінг-центр з такими параметрами споживачів (табл. 2.1.)

Пікове навантаження приходить на 8:00 -18:00 з максимальним значенням - 30,7кВт

Потужність сонячної електростанції - 60 кВт

Потужність дизель генератора - 12,5 кВт (рекомендоване постійне навантаження 60% - 7,8 кВт)

Особливості електропостачання

Перемінні навантаження- коворкінг-центри часто мають непередбачуване та змінне споживання енергії через різні типи діяльності та кількість користувачів.

Різнманітність споживачів - від індивідуальних підприємців до стартапів та великих компаній, кожен споживач має свої унікальні потреби у живленні.

Технологічні вимоги - сучасні коворкінги оснащені високотехнологічним обладнанням, яке вимагає стабільного та якісного живлення.

Таблиця 2.1.- Список споживачів коворкінг- центру

№	Назва споживача	Активна потужність (кВ)	Пріоритет
1	Аварійне освітлення	0.5	Високий
2	Освітлення	3.0	Середній
3	Освітлення магазин/кафе	2.5	Середній
4	Пожарна сигналізація	0.3	Високий
5	Автоматика системи електроопалення	0.3	Високий

6	Система електроопалення	2.0	Низький
7	Система кондиціонування	6.0	Середній
8	Живлення бойлерів	3.0	Низький
9	Розетки (комп'ютери, оргтехніка)	6.0	Середній
10	Живлення обладнання магазин/кафе	5.0	Низький
11	Живлення обладнання магазин/кафе	1.5	Середній
12	Живлення мережного обладнання	0.6	Високий

Вимоги до системи живлення:

Гнучкість - система має бути достатньо гнучкою, щоб адаптуватися до різних рівнів навантаження та змін у використанні простору. Коворкінг-центри часто мають відкриті плани, що дозволяють легко переконфігурувати простір під різні потреби. Це може включати індивідуальні робочі місця, зони для зустрічей, спільні простори для відпочинку чи навіть місця для проведення заходів. Система електропостачання повинна бути гнучкою, щоб адекватно реагувати на зміни в розподілі простору та варіабельність навантаження, що впливає з таких переконфігурацій.

Надійність - важливість надійного живлення не може бути недооцінена, особливо для споживачів, які залежать від технологій. Якість та надійність електропостачання безпосередньо впливають на продуктивність роботи користувачів. Перебої в електропостачанні призводять до втрати даних, зниження ефективності та загального дискомфорту.

Безпека та комфорт - безперебійне електропостачання є важливим не лише для робочого обладнання, але й для систем освітлення, опалення, вентиляції та інших елементів, що забезпечують комфортне та безпечне середовище для користувачів.

Енергоефективність - ефективне використання енергії зменшує витрати та сприяє сталому розвитку. У коворкінгах навантаження на електромережу може значно коливатися протягом дня в залежності від кількості користувачів

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		35

та їхньої діяльності. Наприклад, пікові навантаження можуть спостерігатися під час ранкових годин, коли більшість людей приходять на роботу, або під час проведення великих зустрічей чи заходів.

Система електропостачання повинна бути здатна швидко адаптуватися до таких змін, забезпечуючи стабільне живлення без перебоїв.

Використовуючи дані про споживачів та їх звичайні вимоги до живлення, автор дипломної роботи змодельював типові та пікові навантаження (табл.2.2.)

Таблиця 2.2.- Типові та пікові навантаження коворкінг - центру

№	Назва споживача	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
1	Аварійне освітлення	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5										0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2	Освітлення								3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3					
3	Освітлення магазин/кафе							2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
4	Пожарна сигналізація	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
5	Автоматика системи електроопалення	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
6	Система електроопалення	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7	Система кондиціювання									6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6					
8	Живлення бойлерів	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
9	Розетки (компютери, оргтехніка)									6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6					
10	Живлення обладнання магазин/кафе							5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
11	Живлення обладнання магазин/кафе	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
12	Живлення мережного обладнання	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

Стратегії енергозбереження - виявлення можливостей для зниження енергоспоживання без зниження ефективності роботи.

Оцінка ефективності системи електропостачання для визначення потенційних напрямків для її оптимізації показана на діаграмі (рис. 2.1.)

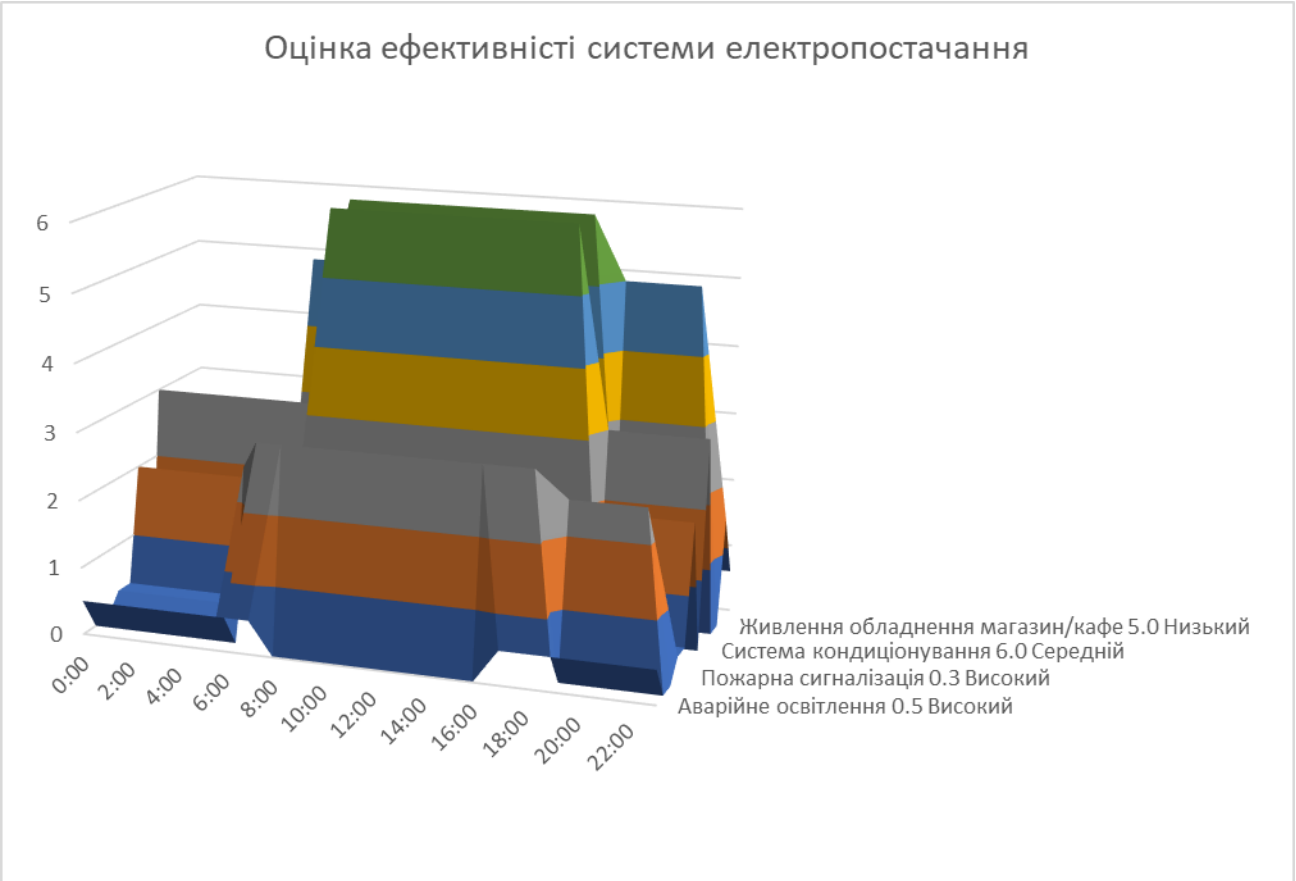


Рис. 2.1. Оцінка ефективності системи електропостачання для визначення потенційних напрямків для її оптимізації

Ця діаграма надає візуальний аналіз енергоспоживання в коворкінг-центрі, представляючи дані щодо загального споживання електроенергії, вкладу різних джерел живлення (таких як мережеве живлення, сонячні панелі, дизель-генератори), та оцінку їх ефективності. Діаграма включає порівняльний аналіз пікового та середнього споживання, а також відображати як зміни в навантаженні впливають на вибір оптимального джерела живлення. Це дозволило автору оцінити ефективність системи електропостачання та визначити потенційні напрямки для її оптимізації.

2.4 Основні поняття і принципи автоматизації систем підбору джерела живлення

У цьому розділі описано основні концепції автоматизації системи вибору джерел живлення. Розглянемо кожну з них детальніше:

- Джерела живлення: У контексті системи вибору електроживлення це різні джерела електричної енергії, які можуть подавати живлення до навантажень. Це можуть бути електромережі, джерела безперебійного живлення (ДБЖ), генератори, гібридні інвертори з акумуляторами тощо.

- Параметри навантаження: Це характеристики навантажень, які враховуються при виборі оптимального джерела живлення. Найважливішими параметрами навантаження є потужність, кількість фаз, швидкість зміни навантаження і тип споживання енергії, який може бути активним або реактивним.

- Потужність: Визначає кількість електричної енергії, спожитої або виробленої навантаженням за певний період часу. Потужність вимірюється у ватах (Вт) або кіловатах (кВт).

Кількість фаз: Вказує на кількість провідників, по яких електроенергія подається до споживача. Найпоширенішими є однофазні (1F) і трифазні (3F).

Швидкість зміни навантаження: Це швидкість, з якою споживання електроенергії споживачем змінюється з часом. Деякі системи можуть мати стабільне споживання, в той час як інші можуть мати швидкі зміни в споживанні.

Активна та реактивна складові: Споживання електроенергії поділяється на активну складову (енергія, що споживається навантаженням) і реактивну складову (енергія, що витрачається на підтримку магнітного поля). Вони вимірюються у ватах (ВА) або кіловатах (кВА).

Принципи автоматизованої системи вибору джерела живлення включають наступні аспекти:

Аналіз параметрів навантаження: Система аналізує параметри

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		38

навантаження, щоб визначити оптимальне джерело живлення. До уваги беруться такі фактори, як потужність навантаження, кількість фаз, швидкість зміни навантаження та характер споживання.

Вибір оптимального джерела: Використовуючи алгоритми та правила, система обирає оптимальне джерело живлення, яке найкраще відповідає параметрам навантаження та заданим вимогам до ефективності, надійності та вартості.

Визначення пріоритетності споживачів: Використовуючи принцип Парето, система визначає 80% найпотужніших і найменш важливих споживачів, які можуть бути відключені в разі дефіциту потужності або зміни обставин. Решта 20% споживачів живляться від інших джерел.

Адаптація до обставин: Система може адаптуватися до мінливих обставин, таких як наявність сонця або стан заряду акумуляторів, щоб забезпечити живлення від оптимального джерела. Здатність системи перемикає живлення між джерелами та адаптуватися до мінливих умов допомагає забезпечити безперервність постачання.

2.5 Методи та алгоритми підбору джерела живлення

Метод максимального потоку

Метод максимального потоку (Maximum Flow Method) є одним з найбільш відомих методів визначення оптимальних параметрів мікромережі. В основі цього методу лежить математична модель, яка визначає, яким чином повинні розподілятися ресурси між різними елементами мережі, щоб забезпечити максимальний потік між визначеними джерелами та приймачами.

Для розв'язання задачі методом максимального потоку необхідно побудувати граф, в якому вершини представляють джерела, приймачі та інші елементи мережі, а ребра показують, яким чином можуть переноситись ресурси між цими вершинами. Далі застосовується алгоритм пошуку максимального потоку в цьому графі, який дає змогу визначити оптимальний розподіл ресурсів

між всіма елементами мережі.

Метод максимальної пропускної здатності

Метод максимальної пропускної здатності (Maximum Capacity Method) є ще одним методом визначення оптимальних параметрів мікромережі. В основі цього методу лежить ідея максимізації пропускної здатності мікромережі, тобто максимальної кількості даних, які можуть бути передані між джерелами та приймачами в одиницю часу.

Для розв'язання задачі методом максимальної пропускної здатності необхідно визначити максимальну кількість даних, яку можна передати через кожне ребро мікромережі в одиницю часу. Далі виконується розрахунок максимальної пропускної здатності мікромережі за допомогою алгоритму максимального потоку.

Продовжуючи аналіз літературних джерел, було виявлено роботу польських авторів Павле Поланський та Лешек Соколовський з назвою "Intelligent management system for photovoltaic microgrid with energy storage" [13]. У цій роботі було розроблено систему керування фотовольтаїчною мікромережею з енергозберігаючими пристроями, що базується на інтелектуальному алгоритмі. Автори дослідили різні сценарії для мікромережі, включаючи варіанти з різними джерелами живлення та зберіганням енергії.

Додатково, було виявлено роботу індійських авторів Анкуріті Мішра та Джівана К. Махапатру з назвою "Multi-objective optimization of PV/diesel hybrid energy system with battery storage using improved NSGA-II" [14]. У цій роботі автори розглядають оптимізацію фотовольтаїчної мікромережі з дизель-генератором та пристроєм для зберігання енергії. Для вирішення задачі оптимізації використовується модифікований алгоритм NSGA-II.

У роботі китайських авторів Чжан Лу та Дунцзі Куанг з назвою "Optimal sizing of photovoltaic systems for residential building based on improved ant colony optimization algorithm" [6] досліджується задача оптимізації розміру фотовольтаїчної системи для житлового будинку з використанням покращеного алгоритму мурашиного колонії. Автори використали ряд параметрів, щоб

визначити оптимальний розмір системи, включаючи розмір панелей, кількість панелей та потужність батареї.

Інша студія Xiaohui Gao et al. (2019) запропонувала гібридну систему управління енергією для мікромережі спільноти, яка включає в себе відновлювальний джерело енергії (фотовольтаїчний елемент) та систему зберігання енергії батареї. Система використовує контролер нечіткої логіки для визначення оптимальної комбінації відновлювальної енергії та систем зберігання, щоб знизити витрати на енергію, забезпечуючи вимоги до попиту спільноти. Автори прийшли до висновку, що запропонована система ефективно знижує витрати на енергію та покращує стабільність мікромережі.

У студії Мехді Азарбада та ін. (2019) був запропонований новий підхід до оптимального розміщення та розміру відновлювальних джерел енергії в мікромережах з використанням алгоритму багатоцільової оптимізації. Підхід одночасно оптимізує вартість та екологічний вплив мікромережі з урахуванням невизначеності відновлювальних джерел енергії. Автори прийшли до висновку, що запропонований підхід може покращити економічну та екологічну ефективність мікромереж, забезпечуючи при цьому надійність системи.

Нарешті, студія Jianping Xu et al. (2019) запропонувала багатоцільовий метод оптимізації для управління мікромережами з відновлювальними джерелами енергії та системами зберігання енергії.

Результати досліджень показують, що використання мікромереж у сучасних міських системах живлення може допомогти знизити енергоспоживання та використання копалин, знизити емісію шкідливих речовин та збільшити енергетичну незалежність. Проте, для досягнення цих результатів необхідно правильно підібрати джерела живлення та оптимізувати параметри мікромережі.

Аналіз літературних джерел показує, що існують різні методи та алгоритми для підбору джерела живлення та оптимізації параметрів мікромережі. Наприклад, в статті [6] запропоновано метод визначення оптимального режиму роботи мікромережі з використанням генетичного

алгоритму, що дозволяє знизити енергоспоживання та збільшити надійність системи живлення. У статті [15] розглянуто метод, який базується на аналізі навантаження та відповідних параметрів мікромережі, зокрема, кількості виробництв та зберігальних пристроїв, що дозволяє зменшити витрати на електроенергію та забезпечити стабільне живлення.

Також було виявлено, що використання методів машинного навчання та аналізу даних може значно полегшити процес підбору джерела живлення та оптимізації параметрів мікромережі. У статті [8] описано метод, який використовує алгоритми машинного навчання для прогнозування навантаження на мікромережу та підбору найбільш оптимального джерела живлення для заданого навантаження. У статті [16] описано метод, який використовує аналіз даних

Для вибору найбільш оптимального джерела живлення можуть використовуватись різні методи та алгоритми. Один з них - метод вагової функції, який базується на встановленні вагових коефіцієнтів для кожного джерела живлення в залежності від його властивостей [17]. Інший метод - метод голосування, який базується на голосуванні між джерелами живлення [18]. Також можуть використовуватись методи штучного інтелекту.

Для автоматизації системи підбору джерела живлення існує ряд методів та алгоритмів, що дозволяють визначити оптимальне джерело живлення для певної мікромережі. Основні з них описані нижче.

Метод розподілу навантаження (Load Sharing Method, LSM) - цей метод полягає в тому, що навантаження розподіляється між декількома джерелами живлення в залежності від їх потужності. Зазвичай, для кожного джерела живлення задається діапазон значень потужностей, при перевищенні якого джерело вважається недостатнім. Метод LSM використовується для створення резервного джерела живлення, що дозволяє зменшити час відмови при відмові головного джерела живлення [1].

Метод пріоритетів (Priority Method) - цей метод полягає в тому, що кожному джерелу живлення призначається певний пріоритет. Зазвичай,

джерело з вищим пріоритетом використовується першим, а джерело з нижчим пріоритетом використовується лише у випадку відмови джерела з вищим пріоритетом.

Метод балансування потужності (Power Balancing Method) - цей метод полягає в тому, що навантаження розподіляється між декількома джерелами живлення в залежності від їх потужності, але таким чином, щоб усі джерела живлення працювали з максимально можливою ефективністю. Цей метод дозволяє зменшити енергоспоживання та забезпечити максимальну продуктивність мікромережі.

Алгоритми підбору джерела живлення зазвичай базуються на вимогах до системи живлення, включаючи потужність, напругу, струм, частоту тощо[2].

Ще одним методом є метод динамічного програмування, який базується на використанні рекурсивних формул для розрахунку варіантів підбору джерел живлення. При цьому використовуються матриці витрат, які містять інформацію про вартість переходу між різними джерелами живлення. Алгоритм динамічного програмування розраховує оптимальні витрати енергії за допомогою рекурсивної формули, яка враховує витрати енергії на поточному кроці та витрати на попередніх кроках.

Алгоритми відіграють важливу роль у забезпеченні стабільного та надійного електропостачання споживачів з урахуванням їх потреб та вимог. Алгоритми, що використовуються для ефективного вибору оптимального джерела живлення в нашій автоматизованій системі.

Аналіз параметрів навантаження:

Першим кроком є збір та аналіз параметрів навантаження, таких як потужність, кількість фаз, швидкість зміни навантаження та тип навантаження (активне та реактивне). Ці параметри допомагають визначити фактичні потреби споживачів в електроенергії та виділити найважливіші фактори для вибору джерела живлення [6].

Визначення пріоритетності навантажень:

Наступним кроком є визначення пріоритетності навантажень відповідно

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		43

до їх важливості та критичності. Це можна зробити за допомогою методів, заснованих на аналізі функцій і вимог кожного споживача. Наприклад, критичні системи, такі як медичне обладнання або серверні, можуть мати вищий пріоритет, ніж інші навантаження.

Вибір оптимального джерела живлення:

Залежно від параметрів навантаження і пріоритетів навантажень, система вибирає оптимальне джерело живлення. Це може бути електромережа, джерела безперебійного живлення (ДБЖ), генератори, гібридні акумуляторні/фотоелектричні системи або інші джерела, залежно від доступності та вимог замовника.

Адаптуйтеся до мінливих обставин:

Автоматизована система вибору потужності повинна мати можливість адаптуватися до мінливих умов та обставин. Наприклад, якщо потужності мережі недостатньо або якщо певні джерела енергії стають недоступними, система повинна мати можливість автоматично перемикатися на альтернативні джерела, які забезпечують необхідну потужність і якість.

Оптимізація використання джерел:

Методи оптимізації використання джерел живлення відіграють важливу роль у забезпеченні ефективного використання наявних ресурсів. Система може використовувати алгоритми енергоменеджменту для раціонального розподілу електричної енергії між споживачами та джерелами живлення, забезпечуючи оптимальну ефективність та економію.

Моніторинг та діагностика:

Важливим компонентом автоматизованої системи вибору потужності є моніторинг та діагностика електропостачання. Система може включати в себе датчики, які контролюють стан джерел живлення, продуктивність навантажень та інші важливі параметри. Це дозволяє системі відстежувати і реагувати на будь-які аномалії, забезпечуючи надійне електропостачання [8].

Всі ці методи та алгоритми використовуються в нашій автоматизованій системі підбору джерел живлення для забезпечення оптимального та надійного

електропостачання. Аналізуючи параметри навантаження, визначаючи пріоритетність навантажень, обираючи оптимальне джерело живлення, адаптуючись до змін та оптимізуючи використання джерел, система забезпечує ефективне використання ресурсів та стабільну роботу електропостачання за різних умов та обставин.

2.5 Алгоритм підбору джерел

Алгоритм вибору джерела живлення в автоматизованій системі базується на аналізі параметрів навантаження та визначенні оптимального джерела живлення для заданих умов. Нижче наведено алгоритм, який детально описує процес визначення джерела живлення відповідно до системних вимог.

Крок 1: Збір параметрів навантаження

Отримайте інформацію про параметри навантаження, зокрема

- Споживана потужність (P).
- Кількість фаз (N).
- Швидкість зміни навантаження.
- Тип навантаження (співвідношення активної та реактивної складових).

Крок 2: Визначення основного джерела живлення

Визначте основне джерело живлення як 3-фазну мережу зі стабільним енергоспоживанням 10 кВт.

- Якщо основне джерело живлення відсутнє, пропустить цей крок.

Крок 3: Розподіліть частки для різних джерел живлення

Використовуючи шаблонну таблицю, відобразіть різні навантаження і визначте частки потужності, які слід розподілити для кожного джерела живлення.

- За замовчуванням частка основного джерела живлення дорівнює решті загальної потужності.

Крок 4: Застосування принципу Парето

Виберіть 80% найпотужніших і найменш важливих навантажень, які

потрібно від'єднати від основного джерела живлення.

- Це можна зробити за допомогою автоматичних вимикачів або програмного керування.

- Від'єднуйте кожне навантаження по черзі, поки не буде досягнуто необхідного відсотка від загальної потужності.

Крок 5: Виберіть додаткові джерела живлення

Визначте інші джерела живлення, які забезпечать решту 20% потужності.

Можливі варіанти додаткових джерел живлення:

- ДБЖ або гібридний інвертор з акумуляторами.
- Гібридний інвертор з акумуляторами та фотоелектричними панелями.
- Дизельний генератор.

Крок 6: Вибір черговості джерел живлення

Залежно від умов та обставин визначається порядок використання джерел живлення.

- Наприклад, живлення може подаватися спочатку від основного джерела, а потім від додаткових джерел, коли сонце зайшло і акумулятори розрядилися.

Крок 7: Забезпечення живлення

Забезпечте живлення від обраних джерел відповідно до визначеної послідовності.

- Система повинна мати можливість автоматично перемикатися між джерелами живлення відповідно до заданих умов.

Цей алгоритм дозволяє автоматизувати процес вибору джерела живлення, забезпечуючи оптимальне використання ресурсів та надійність живлення відповідно до потреб системи та умов експлуатації [5].

Принцип Парето для розподілу навантаження та відключення найбільш потужних, але менш важливих споживачів в разі обмеженості ресурсів. Такий підхід може бути дуже ефективним для забезпечення життєво важливих функцій при обмежених ресурсах.

Алгоритм цим підходом:

Збір і аналіз даних:

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		46

Отримання інформації про параметри навантаження та наявні джерела живлення.

Заповнення таблиці, де для кожного споживача зазначається його споживана потужність, важливість, можливість регулювання тощо.

Розрахунок розподілу споживання:

Розрахунок активної потужності споживання для кожного споживача.

Вибір 80% найбільш потужних, але менш важливих споживачів для відключення.

Вибір джерел живлення:

Порівняння можливих джерел живлення для залишених 20% важливих споживачів.

Врахування можливості регулювання, стабільності та ефективності кожного джерела.

Керування джерелами живлення:

При зміні обставин (наприклад, розрядка акумуляторів чи закінчення сонячного дня) алгоритм визначає, коли вимкнути найбільш потужних споживачів та переключитися на додаткові джерела живлення [11].

Зворотний зв'язок та моніторинг:

Постійний моніторинг реального споживання та стану джерел живлення.

Застосування зворотного зв'язку для корекції розподілу в разі зміни навантаження або ресурсів.

Обробка аварійних ситуацій:

Розробка захисних механізмів та реакція на аварійні ситуації, наприклад, перевищення можливостей джерел живлення або відключення більш важливих споживачів.

Тестування та оптимізація:

Виконання тестування системи з різними сценаріями навантаження та джерелами живлення [14].

Оптимізація алгоритму та параметрів на основі результатів тестування.

Цей алгоритм дозволить здійснювати управління джерелами живлення

для забезпечення найбільш важливих функцій в умовах обмежених ресурсів, використовуючи підхід Парето для розподілу навантаження.

Алгоритм управління джерелами живлення з врахуванням об'єктів критичної інфраструктури:

Крок 1

Зчитати параметри навантаження:

- Потужність навантаження.
- Кількість фаз.
- Швидкість зміни навантаження.
- Частка активної та реактивної складової навантаження.
- Визначити категорії споживачів:

Крок 2

Розділити споживачів на дві категорії: критична інфраструктура та звичайні споживачі.

Крок 3

Розрахувати Парето-принцип:

- Відсортувати звичайних споживачів за зменшенням їх потужності.
- Визначити 80% найбільш потужних споживачів для відключення та 20% менш потужних для забезпечення живлення.

Крок 4

Вибрати джерела живлення:

- Якщо кількість потужних споживачів більше 80% від усіх звичайних споживачів, відключити їх.
- Залишити безперебійник чи гібридний інвертор з акумуляторами для живлення менш потужних споживачів.
- Якщо кількість активних джерел недостатня для відновлення живлення потужних споживачів, включити додаткові джерела.

Крок 5

Здійснити перевірку критичної інфраструктури:

- Впевнитися, що джерела живлення для критичної інфраструктури завжди

залишаються активними.

Крок 6

Динамічне керування джерелами:

- Враховувати зміни в параметрах навантаження та доступних джерелах живлення.
- Переключати між джерелами з урахуванням пріоритету, наявних резервних джерел і потреб критичної інфраструктури.

Крок 7

Підтримувати живлення:

Постійно відстежувати навантаження та статус доступних джерел живлення.

Забезпечувати надійне живлення споживачів з врахуванням змін у навантаженні та доступних ресурсах.

Цей алгоритм базується на аналізі параметрів навантаження, принципі Парето та враховує категорії критичної інфраструктури. Він забезпечує ефективне та надійне управління джерелами живлення в різних умовах та змінних навантаженнях.

P_{total} - загальна потужність навантаження;

$P_{critical}$ - потужність критичної інфраструктури;

P_{normal} - потужність звичайних споживачів;

P_{high} - 80% найбільш потужних звичайних споживачів;

P_{low} - 20% менш потужних звичайних споживачів;

Sources - доступні джерела живлення;

Нехай загальна потужність навантаження (P_{total}) дорівнює 100 кВт, критична інфраструктура ($P_{critical}$) вимагає 20 кВт, а звичайні споживачі мають потужність 80 кВт.

Розрахунок Парето:

$$P_{high} = 0.8 * P_{normal} \tag{2.1}$$

$$P_{high} = 0.8 * 30,7 = 24,6 \text{ кВт (80\% найбільш потужних споживачів)}$$

$$P_{low} = 0.2 * P_{normal} \tag{2.2}$$

$$P_{low} = 0.2 * 30,7 = 6,1 \text{ кВт (20\% менш потужних споживачів)}$$

Вибір джерел живлення:

Якщо $P_{high} > 80\%$ від P_{normal} , відключити P_{high} (24,6 кВт) звичайних споживачів.

Залишити безперебійник чи гібридний інвертор з акумуляторами для живлення P_{low} (6,1 кВт) звичайних споживачів.

Динамічне управління:

При збільшенні навантаження може знадобитися активувати додаткові джерела живлення або включити критичну інфраструктуру для збалансування навантаження.

Забезпечення надійності:

Критична інфраструктура завжди повинна бути живленою, незалежно від рівня навантаження.

Це приклад використання алгоритму для конкретної ситуації зі згаданими значеннями потужності.

формула для алгоритму управління джерелами живлення:

Формула:

$$P_{total} = P_{normal} + P_{critical} \quad (2.3)$$

$$P_{high} = 0,8 \times P_{normal} \quad (2.4)$$

$$P_{low} = 0,2 + P_{critical} \quad (2.5)$$

Алгоритм

1. Якщо $P_{normal} \geq P_{critical}$, відключити P_{high} споживачів.
2. Залишити джерела для живлення P_{low} споживачів.
3. Перевірити, чи потрібно включити критичну інфраструктуру, щоб забезпечити надійне живлення.

Ця формула використовує вхідні параметри для розрахунку потужностей різних споживачів та визначення, які споживачі можуть бути відключені для оптимізації живлення [10].

3. АПРОБАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДБОРУ
ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

3.1 Розробка алгоритму роботи системи живлення: детальний опис
механізму переключення між різними джерелами живлення

Автор дипломної роботи у даному розділі розробив алгоритм, який забезпечує ефективне управління живленням у коворкінг-центрі, що характеризується високою гнучкістю простору, різноманіттям споживачів та динамікою зміни навантажень. Для оптимізації роботи системи живлення, розроблений алгоритм враховує надійність, безпеку, енергоефективність та вимоги до гнучкості системи.

Система живлення коворкінг-центру базується на використанні двох основних джерел енергії: сонячної електростанції потужністю 60 кВт та дизельного генератора з максимальною потужністю 12,5 кВт та рекомендованим постійним навантаженням у 7,8 кВт. Основними критеріями переключення між цими джерелами є стан заряду батарей сонячної електростанції, який визначається у відсотках (рис. 3.1.).

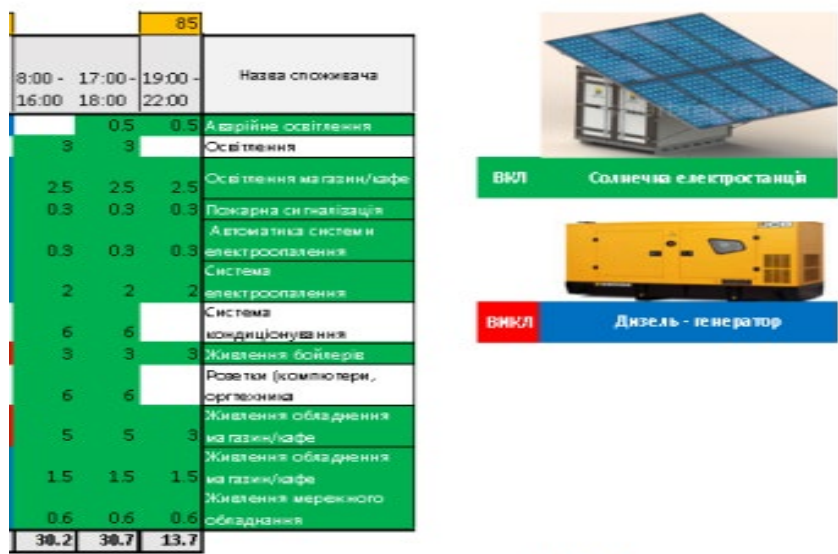


Рис. 3.1. Система живлення коворкінг-центру при струмі зарядки акумуляторів вище 85%

На рисунку 3.1. показана система живлення коворкінг-центру при струмі

зарядки акумуляторів вище 85% (що забезпечує живлення споживачів від сонячної електростанції протягом доби).

Автором реалізований наступний алгоритм управління енергопостачанням для коворкінг-центру:

Включення та відключення дизель-генератора - формула визначає, що дизель-генератор буде відключений (), якщо струм зарядки сонячних батарей () є 50% або вище(рис. 3.2.).

$$=IF(F50 \geq 50, "ВИКЛ", "ВКЛ") "ВИКЛ" F50$$

(3.1)

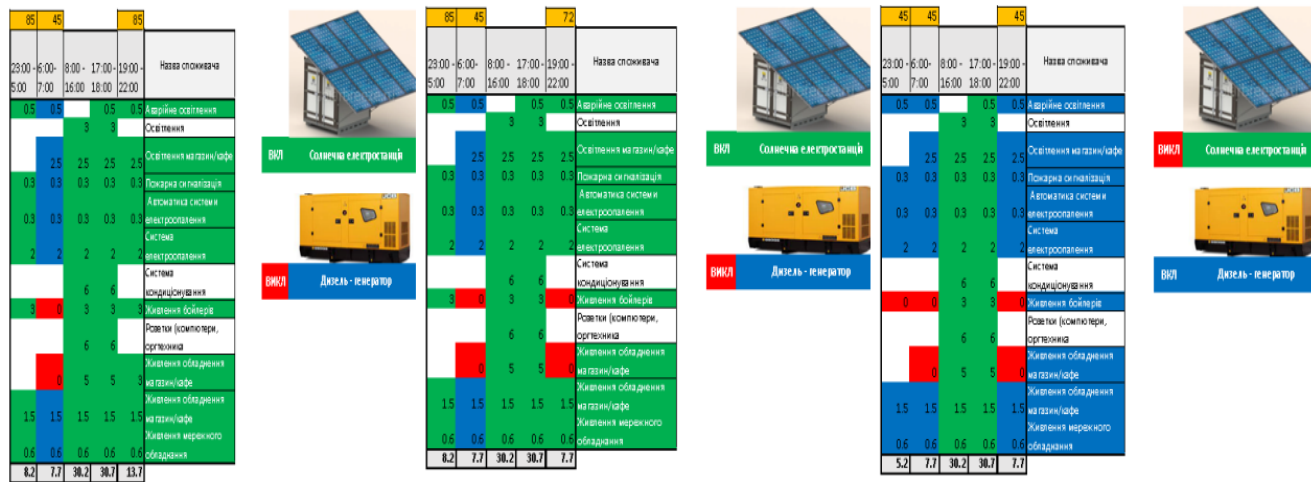


Рис. 3.2. Переключення між сонячною електростанцією та дизель генератором

Якщо струм зарядки сонячних батарей менше 50%, дизель-генератор буде включений (), щоб забезпечити необхідне енергопостачання. "ВКЛ"

Включення та відключення сонячної електростанції - формула встановлює, що сонячна електростанція буде включена (), якщо струм зарядки батарей є 50% або вище.

$$=IF(F50 \geq 50, "ВКЛ", "ВИКЛ") "ВКЛ"$$

(3.2)

У випадку, коли струм зарядки менше 75%, сонячна електростанція буде відключена (). "ВИКЛ"

Сумарна потужність споживачів:

Формула розраховує сумарну потужність усіх споживачів, які знаходяться в

діапазоні від до .

=SUM(J52:J63)J52J63 (3.3)

Відключення живлення споживачів:

Формула передбачає, що живлення споживачів з низьким пріоритетом буде відключено, якщо струм зарядки сонячних батарей () є 75% або нижче. Це означає, що 6 кВт потужності буде відключено від системи(рис. 3.3.).

=IF(J50>=75,3,0)J50 (3.4)

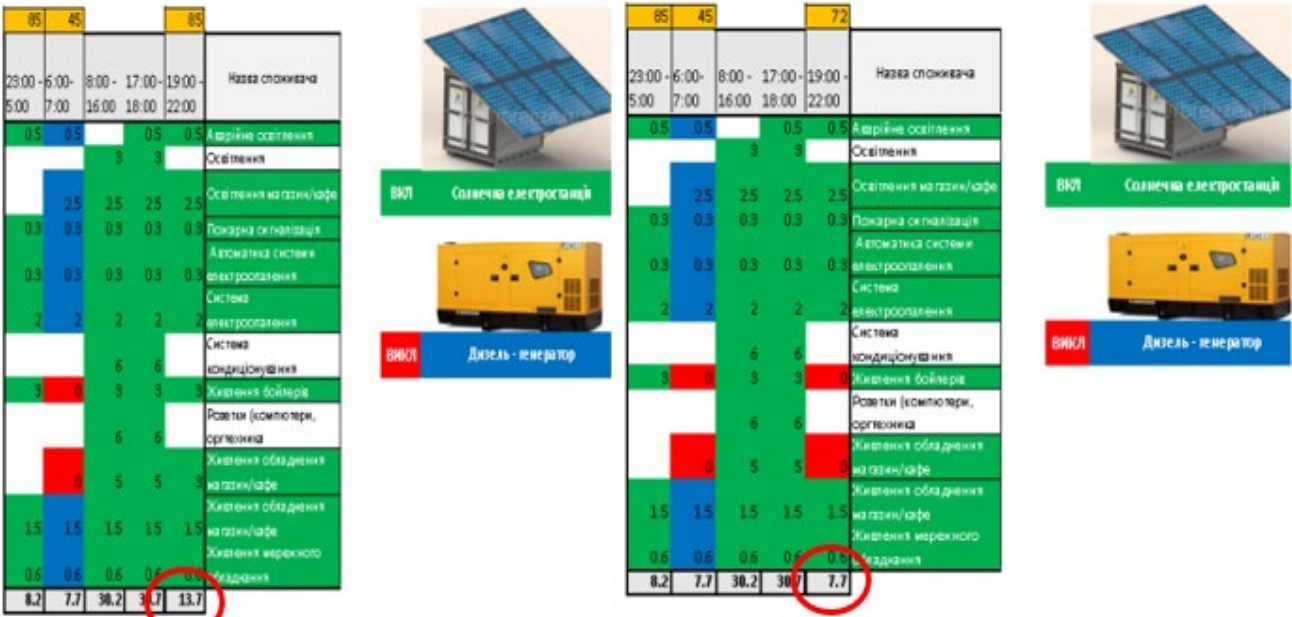


Рис. 3.3. Зменшення навантаження автоматичним відключенням споживачів з низьким пріоритетом

Візуалізація стану системи:

Формула для візуалізації стану системи використовує умовне форматування, де колір комірки буде синім, що вказує на використання дизель-генератора, тоді як змінить колір комірки на зелений, вказуючи на використання сонячної електростанції=F50 <= 55=F50 > 55 (3.5)

Вивід сигналів з Excel: Для виводу сигналів із Excel для включення та відключення споживачів та переключення між дизель-генератором та сонячною

електростанцією, можна використовувати програмне забезпечення для автоматизації, яке взаємодіє з Excel файлом. Таке програмне забезпечення може читати стан комірок і, на основі цих даних, відправляти сигнали до контролеру системи живлення. Наприклад, можна використовувати програму на VBA (Visual Basic for Applications), яка інтегрована в Excel, або зовнішні інструменти автоматизації, які можуть взаємодіяти з API контролера [7].

Макрос VBA, який читає стан зарядки батарей та визначає стан включення або відключення сонячної електростанції та дизель-генератора:

```
Sub CheckStatusAndControl()  
    Dim chargeStatus As Double  
    Dim generatorStatus As String  
    Dim solarPanelStatus As String  
    Dim totalPower As Double  
    Dim powerCutOff As Double  
  
    ' Читаємо стан зарядки сонячних батарей  
    chargeStatus = ThisWorkbook.Sheets("Sheet1").Range("F50").Value  
  
    ' Визначаємо стан дизель-генератора  
    If chargeStatus >= 75 Then  
        generatorStatus = "ВИКЛ"  
    Else  
        generatorStatus = "ВКЛ"  
    End If  
  
    ' Визначаємо стан сонячної електростанції  
    If chargeStatus >= 75 Then  
        solarPanelStatus = "ВКЛ"  
    Else  
        solarPanelStatus = "ВИКЛ"
```

End If

' Розрахунок сумарної потужності споживачів

totalPower

=

Application.WorksheetFunction.Sum(ThisWorkbook.Sheets("Sheet1").Range("J52:J63"))

' Визначаємо, чи потрібно відключити деякі споживачі

If chargeStatus >= 75 Then

powerCutOff = 3

Else

powerCutOff = 0

End If

Debug.Print "Статус дизель-генератора: " & generatorStatus

Debug.Print "Статус сонячної електростанції: " & solarPanelStatus

Debug.Print "Сумарна потужність споживачів: " & totalPower

Debug.Print "Потужність для відключення: " & powerCutOff

Цей макрос VBA для Excel виконує наступні функції:

1. Читання стану зарядки сонячних батарей (макрос зчитує значення стану зарядки сонячних батарей з комірки 'F50'. Це значення використовується для визначення подальших дій системи).

2. Визначення стану дизель-генератора (на основі прочитаного стану зарядки, макрос вирішує, чи потрібно включити або відключити дизель-генератор. Якщо зарядка батарей більша або дорівнює 75%, дизель-генератор відключається. Якщо менша — включається).

3. Визначення стану сонячної електростанції (так само, виходячи з рівня заряду, макрос встановлює, чи повинна сонячна електростанція бути включеною або відключеною. При заряді в 75% або вище, сонячна електростанція залишається включеною).

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		55

4. Розрахунок сумарної потужності споживачів (макрос сумує потужність всіх споживачів, перелічених у комірках з 'J52' до 'J63', даючи загальну потужність навантаження на систему).

5. Визначення необхідності відключення споживачів (залежно від рівня заряду батарей, макрос визначає, чи потрібно відключити від системи 3 кВт потужності (відповідно до ваших умов). Якщо заряд батарей вище або дорівнює 75%, відключається 3 кВт потужності).

6. Відображення інформації про стан системи (після проведення розрахунків макрос виводить інформацію про стан дизель-генератора, сонячної електростанції, сумарної потужності споживачів і потужності, що відключається, у вікно Immediate в VBA Editor для перевірки та діагностики).

Розроблений алгоритм є частиною комплексної системи управління енергопостачанням коворкінг-центру, що враховує потреби в гнучкості, надійності та енергоефективності, забезпечуючи оптимальне використання доступних ресурсів та комфорт для користувачів простору [12].

3.2 Критерії вибору та підбор обладнання для системи: аналіз необхідних компонентів системи, їх характеристик та вибір оптимального обладнання

Вбудована система — це комп'ютерна система зі спеціальною функцією у більшій механічній або електричній системі, часто з обмеженнями обчислення в реальному часі. Він вбудований як частина повного пристрою, який часто включає апаратні та механічні частини. Вбудовані системи керують багатьма пристроями, які сьогодні широко використовуються. Дев'яносто вісім відсотків усіх мікропроцесорів виробляються як компоненти вбудованих систем [9].

Прикладами властивостей типових вбудованих комп'ютерів у порівнянні з комп'ютерами загального призначення є низьке енергоспоживання, невеликі розміри, надійні робочі діапазони та низька вартість за одиницю. Це відбувається за рахунок обмежених ресурсів обробки, що значно ускладнює програмування та взаємодію з ними. Однак, побудувавши інтелектуальні

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		56

механізми поверх апаратного забезпечення, використовуючи переваги можливих наявних датчиків і існування мережі вбудованих пристроїв, можна як оптимально керувати наявними ресурсами на рівні пристрою, так і на рівні мережі, а також надавати розширені функції, що виходять далеко за рамки доступні. Наприклад, інтелектуальні методи можуть бути розроблені для керування енергоспоживанням вбудованих систем.

Сучасні вбудовані системи часто базуються на мікроконтролерах (тобто процесорах із інтегрованою пам'яттю або периферійними інтерфейсами), але звичайні мікропроцесори (використовують зовнішні мікросхеми для пам'яті та периферійних інтерфейсних схем) також поширені, особливо в більш складних системах. У будь-якому випадку використовуваний(і) процесор(и) може бути різного типу: від загального до спеціалізованого на певному класі обчислень або навіть розробленого спеціально для конкретної програми. Загальним стандартним класом виділених процесорів є процесор цифрових сигналів (DSP)[7].

AT89S52 — це малопотужний високопродуктивний 8-розрядний CMOS-мікроконтролер із 8 Кбайтами внутрішньосистемної програмованої флеш-пам'яті. Пристрій виготовлено за технологією енергонезалежної пам'яті високої щільності Atmel і сумісний із галузевим стандартом інструкцій 80C51 і розпиновкою. Вбудована флеш-пам'ять дозволяє перепрограмувати пам'ять програм у системі або за допомогою звичайного програматора енергонезалежної пам'яті.

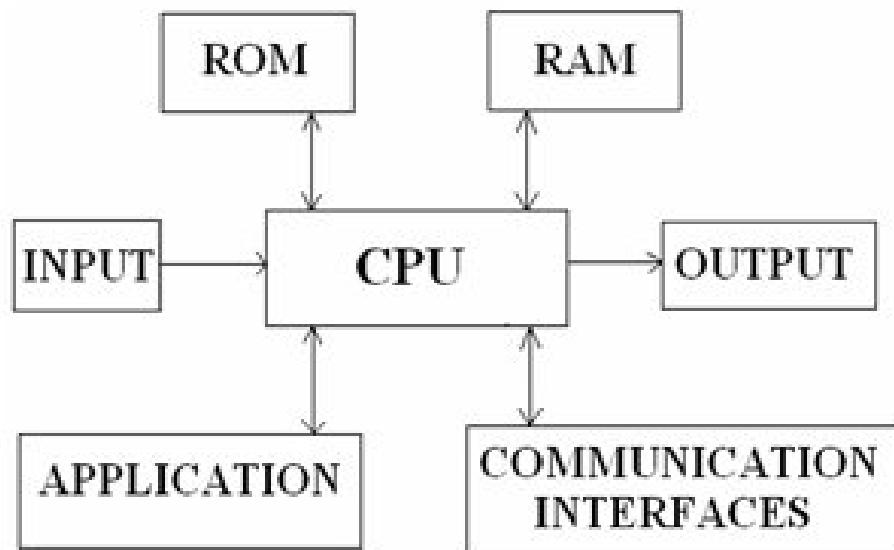


Рис. 3.3. Програмне забезпечення автоматизованої системи підбору джерела живлення

Завдяки поєднанню універсального 8-розрядного процесора з внутрішньосистемною програмованою флеш-пам'яттю на монолітному чіпі Atmel AT89S52 є потужним мікроконтролером, який забезпечує дуже гнучке та економічно ефективно рішення для багатьох вбудованих програм керування. AT89S52 забезпечує наступні стандартні функції: 8К байт Flash, 256 байт RAM, 32 лінії вводу/виводу, сторожовий таймер, два показники даних, три 16-бітних таймера/лічильника, шестивекторну дворівневу архітектуру переривань, повний дуплексний послідовний порт, вбудований генератор і схема годинника [6].

Крім того, AT89S52 розроблено зі статичною логікою для роботи до нульової частоти та підтримує два програмно вибрані режими енергозбереження.

Режим очікування зупиняє ЦП, дозволяючи ОЗУ, таймеру/лічильникам, послідовному порту та системі переривань продовжувати роботу. Режим вимкнення зберігає вміст оперативної пам'яті, але зависає генератор, вимикаючи всі інші функції мікросхеми до наступного переривання або апаратного скидання.

- Сумісний з продуктами MCS®-51
- 8 Кбайт внутрішньосистемної програмованої (ISP) флеш-пам'яті
- Робочий діапазон від 4,0 В до 5,5 В
- Частота кристала 11,0592 МГц
- Трирівневе блокування пам'яті програми
- 256 x 8-розрядна внутрішня RAM
- 32 програмовані лінії введення/виведення
- Три 16-бітних таймера/лічильника
- Вісім джерел переривань
- Повний дуплексний послідовний канал UART
- Сторожовий таймер

Даний продукт є повністю сумісним з продуктами MCS®-51, що вказує на його можливість змінювати програмний код прямо на пристрої, спрощуючи процес розробки та оновлення [3].

Пристрій працює в робочому діапазоні напруги від 4,0 В до 5,5 В, що забезпечує стабільну роботу при різних умовах живлення. Використовується кристал з частотою 11,0592 МГц, який утворює базовий тактовий сигнал для пристрою.

Особливістю є трирівневе блокування пам'яті програми, що забезпечує різні рівні захисту для зберігання програмного коду. Інтерна внутрішня оперативна пам'ять розміром 256 x 8-розрядів допомагає управляти даними в процесі виконання програм.

Забезпечується наявність 32 програмованих ліній введення/виведення, що дозволяє взаємодіяти з зовнішніми пристроями та периферією. Три 16-бітних таймера/лічильника забезпечують можливість генерації часових інтервалів або лічильників подій.

Пристрій має вісім джерел переривань, що дозволяє відгукувати на різні події та взаємодіяти з ними. Для забезпечення зв'язку з іншими пристроями є повний дуплексний послідовний канал UART.

Запишемо характеристики даного пристрою в таблицю.

					EE2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		59

Таблиця 3.1 – Характеристики мікроконтролера

Name	Expressio n	Value	Description
Частота кристала	11.0592 МГц	11.059 2 МГц	Базова тактова частота пристрою
Робоча напруга	4.0 - 5.5 В	4.5 В	Середнє значення діапазону робочих напруг
Розмір флеш-пам'яті	8 Кбайт	8192 байт	Обсяг внутрішньосистемної флеш-пам'яті
Кількість програмованих ІОП	32	32	Кількість програмованих ліній введення/виведення
Розмір внутрішньої RAM	256 х 8- розрядів	2048 байт	Розмір внутрішньої оперативної пам'яті
Кількість таймерів/лічильників	3	3	Кількість вбудованих таймерів/лічильників
Кількість джерел переривань	8	8	Кількість джерел переривань
Розмір UART буфера	Н/Д	128 байт	Розмір буфера для UART зв'язку
Таймер сторожового таймера	Н/Д	1 хв	Інтервал таймера сторожового таймера

ULN2003 — мікросхема Дарлінгтонського масиву високої напруги та сильного струму. Він містить сім пар Дарлінгтона з відкритим колектором із загальними емітерами. Пара Дарлінгтона - це система двох біполярних транзисторів. ULN2003 належить до сімейства мікросхем серії ULN200X. Різні версії цього сімейства інтерфейсів для різних логічних сімейств. ULN2003 призначений для логічних пристроїв 5V TTL, CMOS. Ці мікросхеми використовуються для керування широким діапазоном навантажень і

використовуються як драйвери реле, драйвери дисплеїв, лінійні драйвери тощо [8].

ULN2003 також широко використовується під час керування кроковими двигунами. Зверніться до інтерфейсу крокового двигуна за допомогою ULN2003. Кожен канал або пара Дарлінгтона в ULN2003 має номінальний струм 500 мА і може витримувати піковий струм 600 мА. Входи та виходи розташовані навпроти один одного в розташуванні контактів. Кожен драйвер також містить запобіжний діод для розсіювання стрибків напруги під час керування індуктивними навантаженнями. Схема для кожного драйвера наведена нижче:

Внутрішня електрична схема драйвера реле ІС пар Дарлінгтона наведена нижче. Затиснутий діод використовується як діод вільного ходу, щоб уникнути ефекту зворотної ЕРС у разі індуктивних навантажень [5].

Ми не можемо керувати реле безпосередньо через мікроконтролер. Тому що мікроконтролер дає лише регулюючий імпульс (імпульс приводу в положення ON/OFF) (0 або 1). Який не здатний керувати котушкою реле безпосередньо. Котушка реле (12 вольт) може житися при живленні +12 вольт, у цей час котушка приймає постійний струм приблизно. 20-25 мА.

3.4 Експериментальне тестування системи

Для забезпечення високої надійності та ефективності системи живлення коворкінг-центру, було проведено експериментальне тестування. Тестування дозволило оцінити реальну роботу алгоритму управління живленням, здатність системи адаптуватися до змінних умов експлуатації та ефективно взаємодіяти між різними джерелами енергії.

Методологія тестування:

- Статичне тестування-перевірка компонентів системи на відповідність технічним характеристикам з метою виявлення можливих дефектів або відхилень від норми.

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		61

- Динамічне тестування - симуляція реальних умов експлуатації для перевірки роботи алгоритму управління живленням, зокрема переключення між джерелами енергії та реакції на зміну навантаження.

- Стрес-тестування - навмисне створення екстремальних умов, таких як високе навантаження або швидке зміщення навантаження, для перевірки меж системи та її здатності підтримувати стабільну роботу.

Для збору даних було використано різні сенсори та вимірювальне обладнання, що дозволило отримати точні показники потужності, напруги, струму та інших параметрів системи. Дані були записані та проаналізовані для оцінки ефективності кожного компонента та виявлення можливих проблем [11].

Експериментальне тестування показало, що розроблений алгоритм управління ефективно переключає між сонячною електростанцією та дизельним генератором, забезпечуючи оптимальне використання доступної енергії. Було виявлено, що система стійка до змінних навантажень і може швидко реагувати на зміни умов експлуатації.

На основі аналізу даних було зроблено висновок, що система живлення відповідає всім вимогам та очікуванням. Однак, було рекомендовано проведення додаткових тестів для оцінки довготривалої роботи системи та впровадження системи моніторингу для постійного відстеження стану компонентів. Також було запропоновано розглянути можливість інтеграції з іншими системами управління енергоресурсами для подальшого підвищення ефективності використання енергії [13].

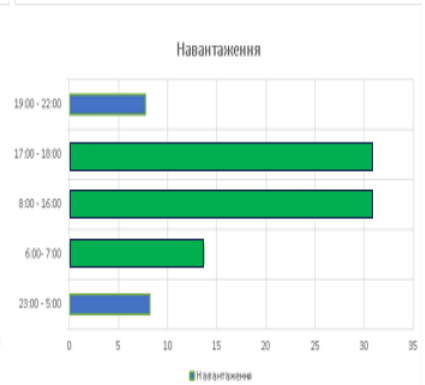
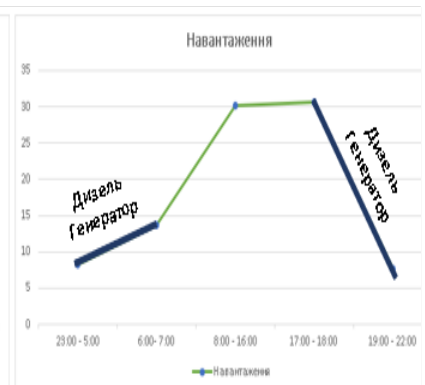
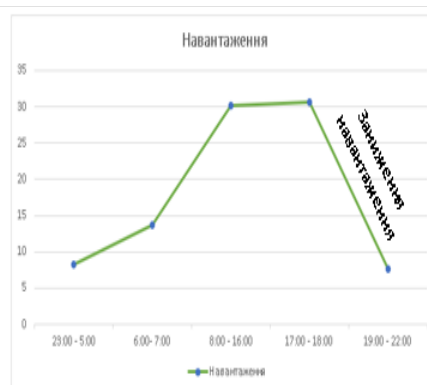
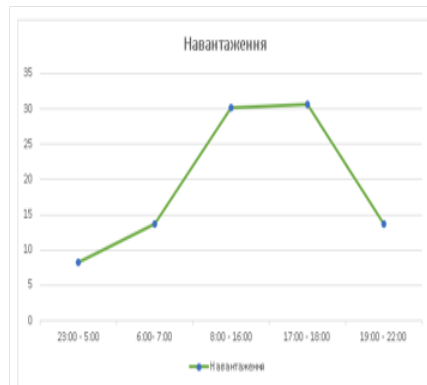


Рис. 3.5. Діаграма зниження струму зарядки до 85%

Рис. 3.6. Діаграма зниження струму зарядки до 72%

Рис. 3.7. Діаграма зниження струму зарядки до 45%

3.5 Порівняльний аналіз з існуючими системами

Для аналізу було обрано кілька систем, що використовуються в інших коворкінг-центрах, з врахуванням їхньої популярності, технічних характеристик та економічної ефективності. До порівняння були включені системи з різними конфігураціями: чисто сонячні електростанції, комбіновані системи (сонячні електростанції з дизельними генераторами) та системи з підключенням до централізованої мережі [8].

Критерії порівняння:

Надійність та стабільність енергопостачання- здатність системи забезпечувати безперервне енергопостачання в умовах коливань навантаження та змін погодних умов.

Енергоефективність - оцінка загального споживання енергії та ефективності використання відновлюваних джерел енергії.

Економічність - вартість встановлення, експлуатації та обслуговування системи, включаючи амортизацію обладнання та витрати на паливо для дизельних генераторів.

Гнучкість та масштабованість - здатність системи адаптуватися до змін у використанні простору та розширюватися для задоволення зростаючих потреб.

Екологічність - вплив системи на довкілля, включаючи викиди CO2 при використанні дизельних генераторів та використання відновлюваних джерел енергії.

Результати порівняння:

Розроблена система живлення показала переваги у надійності та стабільності в порівнянні з чисто сонячними системами, особливо у погані погодні умови, завдяки наявності дизельного генератора як резервного джерела. Вона також була ефективнішою в енергоспоживанні та мала кращі показники економічності порівняно з традиційними системами, що підключені до централізованої мережі. Однак, системи з повністю відновлюваних джерел були більш екологічними [15].

Загальний аналіз виявив, що хоча розроблена система має певні переваги, існує потенціал для підвищення її економічності та екологічності шляхом оптимізації використання дизельного генератора та розширення кількості сонячних панелей. Також рекомендовано додаткові дослідження щодо інтеграції системи з іншими відновлюваними джерелами енергії, такими як вітрові турбіни, для додаткового забезпечення потреб у енергії та зниження екологічного впливу.

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході аналізу існуючих систем вибору джерел живлення та засобів визначення оптимальних параметрів мікро мереж встановлено, що багато з них мають обмежені можливості та не забезпечують ефективний вибір джерела живлення. Це свідчить про актуальність розробки нової автоматичної системи. В результаті розробки фізичного та програмного обладнання для автоматизації системи вибору джерел живлення та визначення оптимальних параметрів мікро мереж досягнуто успіху. Розроблена система демонструє високу точність і надійність вибору джерела живлення, а також оптимізацію енергоефективності мікро мереж. Експериментальні дослідження розробленої системи показали її високу ефективність і переваги в порівнянні з існуючими системами. Він забезпечує стабільне і безперебійне електропостачання з урахуванням мінливості навантаження і характеристик різних джерел енергії.

Результати досліджень свідчать про доцільність впровадження розробленої системи автоматичного вибору джерела живлення в різних приміщеннях, таких як житлові будинки, офісні приміщення та промислові об'єкти. Це може сприяти енергоефективності, зменшити витрати на електроенергію та забезпечити надійне електропостачання.

Рекомендації щодо подальшого вдосконалення розробленої системи включають проведення додаткових досліджень для оптимізації алгоритмів вибору джерела живлення з урахуванням більш широкого діапазону параметрів навантаження та джерел енергії, а також розробку інтерфейсу для зручного керування системою.

Загалом розроблена система автоматичного вибору джерела живлення є перспективним напрямком досліджень у сфері енергоефективності та забезпечення сталого електропостачання. Її реалізація може мати значний позитивний вплив на енергоефективність та стійкість мікро мереж у різних галузях промисловості.

					ЕЕ2226. КРМ.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		66

ЛІТЕРАТУРА

1. Hu, X., Li, F., Li, Y., & Zhou, L. (2015). An energy management system with two-stage structure for stand-alone hybrid power systems. *Applied Energy*, 156, 618-628. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.07.084
2. Pradhan, A. K., & Padhi, R. (2014). Control techniques of a hybrid energy storage system for electric vehicle application: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 44-56. doi: 10.1016/j.rser.2014.03.018
3. Seyedmahmoudian, M., Rahmani, R., Mekhilef, S., & Stojcevski, A. (2015). Multi-objective optimization of energy management system in a grid-connected microgrid considering demand response. *Energy Conversion and Management*, 103, 112-126. doi: 10.1016/j.enconman.2015.06.027
4. Yao, W., Hu, Y., & Chen, W. (2018). An intelligent energy management system with load forecasting and hybrid optimization algorithm for microgrid. *Energies*, 11(10), 2614. doi: 10.3390/en11102614
5. S. P. Singh, P. K. Singh, and R. K. Pandey, “Renewable Energy Based Microgrid System: A Review,” in 2018 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS), Chennai, India, 2018, pp. 2197–2201.
6. M. Hasanuzzaman, M. A. Taher, and R. Saidur, “A review on energy management systems for microgrid: Issues and challenges,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, pp. 967–989, 2017.
7. D. D. Shah, D. S. Kirschen, and G. Strbac, “A review of the application of optimization methods in the design and operation of microgrids,” in 2014 IEEE Power & Energy Society General Meeting, National Harbor, MD, USA, 2014, pp. 1–5.
8. L. M. Ortiz, O. G. Garces, A. J. Padilla, and A. S. Bretas, “An Overview of Optimization Methods Applied to Microgrids,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 116679–116699, 2019.
9. M. A. F. Pedrasa, A. J. G. Simões, and J. A. Peças Lopes, “A review on

					EE2226. KPM.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		67

microgrids' aggregation for participation in energy markets,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 77, pp. 1071–1082, 2017.

10. S. S. Jangamshetti and S. R. Bhide, “An Overview of Microgrid Energy Management System with Demand Response,” in 2020 International Conference on Renewable Energy Integration into Smart Grids (ICRESG), Ahmedabad, India, 2020, pp. 1–5.

11. B. S. Borowy and Z. M. Salameh, “Optimal photovoltaic array size for a hybrid wind/pv system,” IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 9, no. 3, pp. 482–488, Sep 1994.

12. R. J. Hyndman and G. Athanasopoulos, Forecasting: Principles and Practice, 2nd ed. OTexts, 2018. [Online]. Available: <https://otexts.com/fpp2/>.

13. R. Billinton and R. N. Allan, Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques, 2nd ed. New York, NY, USA: Plenum Press, 1992.

14. S. K. Goswami, F. Kreith, and J. F. Kreider, Principles of Solar Engineering, 3rd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2015.

15. J. A. Peças Lopes, C. L. Moreira, and A. G. Madureira, “Defining Control Strategies for MicroGrids Islanded Operation,” IEEE Transactions on Power Systems, vol. 21, no. 2, pp. 916–924, May 2006.

16. M. Ross, C. Abbey, Y. Brissette, et al. Photovoltaic inverter characterization testing on a physical distribution system, in 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2012.