

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Методи та засоби інтеграції сонячних
електростанцій в розумні електромережі Smart Grid**

Виконав: студент(ка) 6 курсу, групи СІм-61
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

	<u>Кухар І.О.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Осухівська Г.М.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Осухівська Г.М.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Осухівська Г.М.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>Гашин Н.Б.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«11» листопада 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня *магістр*
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю *123 «Комп'ютерна інженерія»*
(шифр і назва спеціальності)

студенту *Кухару Ілля Олександровичу*
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Методи та засоби інтеграції сонячних електростанцій в розумні електромережі Smart Grid*

Керівник роботи *Осухівська Галина Михайлівна, к.т.н., доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 29 » листопада 2024 року № 4/7-1144

2. Термін подання студентом завершеної роботи

3. Вихідні дані до роботи

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1

2

3

4 *Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях*

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. *Актуальність і мета дослідження.*

2. *Завдання, об'єкт і предмет, наукова новизна і практична цінність дослідження.*

3.

4.

5.

6.

7.

8. *Висновки*

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>Осухівська Г.М., зав.каф. КС</i>	<i>05.12.2024</i>	
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>			

7. Дата видачі завдання 11.11.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.		.	.
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			

Студент

(підпис)*Кухар І.О.*

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)*Осухівська Г.М.*

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кухар І.О. Методи та засоби інтеграції сонячних електростанцій в розумні електромережі Smart Grid: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія / наук.кер. Осухівська Г.М. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2024.

Ключові слова: Smart Grid, сонячні електростанції, інтеграція, відновлювана енергетика, цифрові технології, оптимізація.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню методів і засобів інтеграції сонячних електростанцій у розумні електромережі (Smart Grid). У роботі здійснено аналіз сучасних підходів до впровадження відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної енергетики, в контексті розвитку цифрових енергетичних систем.

У процесі дослідження розроблено концептуальну модель інтеграції сонячних електростанцій у Smart Grid із застосуванням інноваційних цифрових технологій, включаючи алгоритми прогнозування, оптимізацію енергетичних потоків та забезпечення стабільності системи. Зібрані дані про роботу сонячних електростанцій аналізуються та передаються на центральні вузли управління Smart Grid для підвищення ефективності енергетичної системи.

Результати роботи демонструють доцільність використання розроблених методів для підвищення стабільності та надійності електромереж, а також зменшення впливу на навколишнє середовище. Впровадження запропонованих рішень дозволить підвищити рівень енергоефективності, мінімізувати втрати енергії та сприяти подальшому розвитку відновлюваної енергетики.

ANNOTATION

Kukhar I.O. Methods and Tools for Integrating Solar Power Plants into Smart Grids: Master's Qualification Thesis: Specialty 123 — Computer Engineering / Academic Advisor: Osukhivska H.M. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2024.

Keywords: Smart Grid, solar power plants, integration, renewable energy, digital technologies, optimization.

The qualification thesis is dedicated to researching methods and tools for integrating solar power plants into Smart Grids. The study analyzes modern approaches to implementing renewable energy sources, particularly solar energy, in the context of digital energy system development.

During the research, a conceptual model for integrating solar power plants into Smart Grids was developed using innovative digital technologies, including forecasting algorithms, energy flow optimization, and ensuring system stability. The collected data on solar power plant operations are analyzed and transmitted to Smart Grid central control nodes to enhance energy system efficiency.

The results of the work demonstrate the feasibility of using the developed methods to improve the stability and reliability of power grids while reducing environmental impacts. The implementation of the proposed solutions will help increase energy efficiency, minimize energy losses, and contribute to the further development of renewable energy.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1	АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	10
1.1.	Сучасний стан розвитку сонячної енергії.....	10
1.1.	Основні технології розумних електромереж (Smart Grid).....	12
1.2.	Аналіз сучасних підходів до інтеграції сонячних електростанцій у Smart Grid	14
1.3.	Перспективи розвитку та виклики інтеграції сонячних станцій у смарт-мережі	18
РОЗДІЛ 2	Теоретичні основи та методи інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережі	22
2.1.	Визначення смарт-мережі та основні її складові.....	22
2.2.	Методи інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережу	25
2.3.	Системи моніторингу та управління для інтеграції сонячних станцій у смарт-мережу	29
2.4.	Використання методів оптимізації для покращення ефективності інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережу.....	32
2.5.	Аналіз економічної ефективності інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережу	36
РОЗДІЛ 3	ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	39
3.1.	Розробка інтегрованої системи.....	39
3.2.	Проектування та реалізація апаратної частини системи.....	42
3.3.	Розробка та реалізація програмної частини системи	48
3.4.	Тестування апаратної частини.....	51
3.5.	Висновки до розділу	55
РОЗДІЛ 4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	56

4.1. Охорона праці.....	56
4.2. Організація рятувальних робіт та евакуації	57
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61

ВСТУП

Актуальність. Сучасний розвиток енергетики все більше зосереджується на використанні відновлюваних джерел енергії, серед яких сонячні електростанції займають одне з провідних місць. В умовах глобальної зміни клімату, швидкого виснаження традиційних енергетичних ресурсів і необхідності забезпечення енергетичної безпеки інтеграція сонячних електростанцій у сучасні енергетичні системи є надзвичайно актуальним завданням. Сонячна енергетика має низку переваг, серед яких екологічність, невичерпність ресурсу та можливість розміщення установок у різних географічних регіонах. Однак її ефективне використання потребує вирішення проблем, пов'язаних із децентралізованою генерацією, залежністю від погодних умов, варіабельністю виробництва енергії та складністю інтеграції у вже існуючу енергетичну інфраструктуру.

Традиційні енергетичні мережі, що використовуються сьогодні, мають обмежені можливості для ефективного управління децентралізованими джерелами енергії, тому впровадження технологій "розумних" електромереж (Smart Grid) є необхідністю. Smart Grid забезпечують гнучкість, надійність та ефективність енергосистеми за рахунок інтеграції цифрових технологій, автоматизації процесів управління енергетикою, а також застосування сучасних методів прогнозування та оптимізації. Такі мережі дозволяють інтегрувати сонячні електростанції та вирішувати ряд ключових проблем, пов'язаних із нестабільністю генерації, оптимізацією енергоспоживання, мінімізацією втрат енергії та забезпеченням балансу між попитом і пропозицією.

Інтеграція сонячних електростанцій у розумні електромережі відкриває перспективи для створення більш стійкої та ефективної енергетичної системи, що відповідає сучасним викликам та вимогам. Ключовим є те, що ці процеси допомагають зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, знижують залежність від викопних енергетичних ресурсів та сприяють розвитку інновацій у енергетичному секторі. Крім того, впровадження таких систем дозволяє підвищити

енергетичну незалежність окремих регіонів, що є актуальним та важливим у контексті глобальних викликів та нестабільності енергетичного ринку.

Метою даної роботи є розробка методів та засобів інтеграції сонячних електростанцій у розумні електромережі Smart Grid, які сприятимуть забезпеченню їх ефективної, стабільної та надійної роботи.

Для досягнення мети дослідження були визначені такі завдання:

- провести аналіз існуючих підходів до інтеграції сонячних електростанцій у Smart Grid;

- оцінити проблеми та виклики, що виникають під час інтеграції децентралізованих джерел енергії;

- розробити модель інтеграції сонячних електростанцій у Smart Grid із застосуванням сучасних технологій;

- виконати аналіз ефективності запропонованих рішень та обґрунтувати доцільність їх впровадження.

Об'єктом дослідження є процес інтеграції сонячних електростанцій у енергетичну систему,

Предметом є – методи та засоби інтеграції сонячних електростанцій у Smart Grid.

Новизна дослідження:

Набули подальшого розвитку інноваційні підходи до інтеграції сонячних електростанцій у розумні енергетичні мережі, що дозволяє забезпечити надійну та стабільну роботу системи, навіть при суттєвих коливаннях енергетичної генерації.

Практичне значення: Результати дослідження можуть використовуватись для вдосконалення існуючих енергетичних систем, розробки нових рішень для інтеграції відновлюваних джерел енергії.

Публікації. За результатами дослідження опубліковано 2 тези.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Сучасний стан розвитку сонячної енергії

Сонячна енергетика за останнє десятиліття стала однією з провідних галузей відновлюваної енергетики. Згідно інформації Міжнародного агентства з відновлюваної енергетики (IRENA), у 2023 році загальна встановлена потужність сонячних електростанцій у світі перевищила 1ТВт, що є значним досягненням порівняно з попередніми роками. Основними лідерами у цій сфері є Китай, Сполучені Штати Америки, Індія та Європейський Союз. У багатьох країнах сонячна енергетика стала ключовим елементом національних стратегій розвитку відновлюваної енергетики.

Таблиця 1.1

**Світова статистика встановленої потужності сонячних електростанцій
(2023 рік)**

Регіон	Встановлена потужність (ГВт)	Частка у світі (%)
Китай	450	45
Європейський Союз	200	20
США	150	15
Індія	100	10
Інші країни	100	10
Усього	1000	100

Розвиток сонячної енергетики в Україні

В Україні розвиток сонячної енергетики також набирає обертів. На початок 2024р. встановлена потужність сонячних електростанцій перевищила 10ГВт. Основним драйвером розвитку є державна підтримка у вигляді "зеленого тарифу" та міжнародні інвестиції. Завдяки своєму географічному розташуванню Україна має

великий потенціал для розвитку сонячної енергетики, особливо в південних областях, де спостерігається найвищий рівень інсоляції.

Ключові переваги для України:

- Високий потенціал сонячного випромінювання в південних регіонах.
- Зниження залежності від імпортованих енергоносіїв.
- Створення нових робочих місць у галузі відновлюваної енергетики.
- Підвищення енергетичної безпеки країни.

Розвиток сонячної енергетики в Україні має також суттєве екологічне значення. Експерти оцінюють, що перехід на відновлювані джерела енергії допомагає знизити викиди парникових газів, сприяючи боротьбі з кліматичними змінами.

Сонячна енергетика не лише забезпечує енергетичну незалежність, але й створює нові економічні можливості. У всьому світі спостерігається зростання кількості робочих місць у секторі сонячної енергетики. Згідно з дослідженнями IRENA, 2022р., у цій галузі було зайнято понад 4 мільйони осіб. Розвиток сонячної енергетики стимулює місцеві економіки через створення робочих місць, залучення інвестицій та розвиток суміжних галузей, таких як виробництво обладнання та логістика.

Розвиток сонячної енергетики сприяє значному скороченню викидів парникових газів. За оцінками, тільки у 2023р. завдяки використанню сонячних електростанцій було зекономлено понад 1млрд.тон CO₂. Крім того, впровадження сонячних електростанцій дозволяє зменшити споживання води, необхідної для роботи традиційних електростанцій

Попри очевидні переваги, розвиток сонячної енергетики стикається з такими викликами:

- Залежність від погодних умов.
- Необхідність зберігання енергії.
- Модернізація інфраструктури.

Виробництво енергії залежить від рівня інсоляції, що може змінюватися протягом дня та року. Для забезпечення стабільного енергопостачання потрібні

ефективні системи зберігання енергії, такі як акумулятори. Енергетичні мережі потребують оновлення для інтеграції децентралізованих джерел енергії.

У майбутньому розвиток нових технологій, як розподілені системи управління, штучний інтелект та інноваційні акумулятори, може сприяти подоланню цих викликів. Інвестиції у дослідження та розвиток технологій є ключовим фактором для подальшого успішного впровадження сонячної енергетики.

1.1. Основні технології розумних електромереж (Smart Grid)

Розумні електромережі (Smart Grid) є ключовим елементом сучасної енергетики, забезпечуючи ефективну взаємодію між різними елементами енергосистеми та сприяючи інтеграції відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні електростанції. Їхнє впровадження дозволяє не тільки підвищити надійність та ефективність енергосистеми, а й забезпечити відповідність екологічним стандартам та вимогам.

Основою Smart Grid є поєднання традиційних технологій генерації, передачі та розподілу електроенергії з інноваційними цифровими технологіями. Сенсори та пристрої моніторингу, які використовуються у таких мережах, дозволяють здійснювати постійний контроль параметрів енергосистеми. Вони забезпечують збір даних про напругу, струм, частоту, температуру та інші показники, що дозволяє оперативно реагувати на зміну умов або виникнення аварійних ситуацій. Наприклад, температурні сенсори дозволяють запобігати перегріву обладнання, а вібраційні датчики – своєчасно виявляти механічні несправності.

Системи автоматизованого управління у Smart Grid включають сучасні програмно-апаратні комплекси, зокрема SCADA-системи (Supervisory Control and Data Acquisition). Вони забезпечують централізоване керування всіма елементами енергосистеми, включаючи моніторинг та автоматичну оптимізацію роботи. Така автоматизація дає змогу знизити час реагування на аварії, уникнути перевантажень і мінімізувати втрати електроенергії.

Для інтеграції сонячних електростанцій у розумні електромережі використовуються високотехнологічні інвертори, що забезпечують адаптацію постійного струму до змінних параметрів мережі. Для ефективного планування роботи сонячних станцій використовуються спеціальні модулі прогнозування, які враховують погодні умови. Це дозволяє знизити ризики, пов'язані з варіабельністю генерації.

Цифрові підстанції є важливою складовою Smart Grid. Вони оснащені сучасними системами релейного захисту, що базуються на використанні програмного забезпечення для діагностики стану обладнання та управління ним. Такі підстанції дозволяють зменшити час на виявлення та усунення аварій, забезпечуючи стабільну роботу мережі.

Значну роль у Smart Grid відіграють системи керування попитом (Demand Response), які дозволяють споживачам гнучко змінювати своє енергоспоживання залежно від тарифів або доступності електроенергії. Інтелектуальні лічильники, що входять до складу таких систем, дозволяють зчитувати дані про споживання в реальному часі, а також передавати цю інформацію на центральні вузли управління.

Одним із критично важливих аспектів функціонування Smart Grid є кібербезпека. У зв'язку з цифровізацією енергетичних систем зростає ризик кібератак, які можуть призводити до значних збитків. Для забезпечення захисту даних застосовуються методи шифрування, автентифікації користувачів, системи виявлення вторгнень, а також регулярний моніторинг можливих загроз.

Інтеграція відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні електростанції, у Smart Grid сприяє створенню стійкої енергетичної системи, що відповідає сучасним викликам.

Ключові технології Smart Grid та їхні основні характеристики

Технологія	Призначення	Приклади реалізації
Сенсори та моніторинг	Збір даних про параметри роботи енергосистеми у реальному часі	Вольтметри, амперметри, температурні та вібраційні датчики
SCADA-системи	Централізоване управління енергосистемою, діагностика та автоматизація	Honeywell, Siemens SCADA
Інтелектуальні інвертори	Адаптація постійного струму від сонячних панелей до змінних параметрів мережі	SMA, Fronius
Модулі прогнозування	Оцінка обсягів генерації на основі погодних умов	SolarEdge, PVsyst
Цифрові підстанції	Захист і управління обладнанням, діагностика та відновлення роботи мережі	ABB, Schneider Electric
Системи керування попитом	Регулювання споживання залежно від доступності енергії	Nest, Honeywell
Засоби кібербезпеки	Захист від кібератак, забезпечення безпеки передачі даних	Firewalls, SIEM-системи

Застосування таких технологій дає змогу суттєво підвищити енергоефективність, стабільність та надійність роботи електромереж, що є необхідною умовою для сталого розвитку енергетики.

1.2. Аналіз сучасних підходів до інтеграції сонячних електростанцій у Smart Grid

Інтеграція сонячних електростанцій у розумні електромережі (Smart Grid) є складним і багатогранним завданням, що потребує врахування широкого спектру технічних, економічних і екологічних чинників. Сучасні підходи до інтеграції базуються на використанні передових технологій, які сприяють підвищенню

ефективності роботи енергосистеми, забезпеченню її стабільності та максимальному використанню потенціалу відновлюваних джерел енергії. У цьому розділі розглянуто ключові аспекти інтеграції, які охоплюють різні етапи цього процесу: перетворення енергії, прогнозування генерації, зберігання енергії та управління розподілом ресурсів.

Одним із ключових аспектів інтеграції сонячних електростанцій є перетворення енергії, виробленої фотоелектричними панелями, у форму, що відповідає вимогам енергосистеми. Сонячні панелі генерують постійний струм, який необхідно перетворити у змінний для подальшої передачі в електромережу. Для цього застосовуються спеціалізовані пристрої – інвертори. Сучасні інвертори забезпечують високу ефективність перетворення, автоматичну адаптацію до умов роботи та мінімізацію втрат енергії.

Багаторівневі інвертори є одним із найперспективніших рішень у цій сфері. Вони дозволяють суттєво зменшити рівень гармонічних спотворень у мережі, підвищити якість енергії та знизити навантаження на обладнання. Використання таких інверторів особливо актуальне для великих сонячних електростанцій, які інтегруються в Smart Grid із високими вимогами до стабільності та надійності.

Прогнозування вироблення енергії є ще одним ключовим елементом інтеграції. Сонячна генерація залежить від змінних погодних умов, таких як інтенсивність сонячного випромінювання, хмарність, температура та інші фактори. Для забезпечення стабільності енергосистеми необхідно точно передбачати, скільки енергії буде вироблено в кожен конкретний момент часу.

Сучасні підходи до прогнозування ґрунтуються на застосуванні штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання. Нейронні мережі, регресійний аналіз та алгоритми обробки великих даних дозволяють створювати високоточні моделі прогнозування, що враховують як історичні дані, так і поточні метеорологічні умови. Результати прогнозування передаються до центральних вузлів управління Smart Grid, що дозволяє оптимізувати баланс між попитом і пропозицією в реальному часі.

Інтеграція систем зберігання енергії є важливим етапом у створенні стійких і гнучких енергосистем. Сонячні електростанції виробляють енергію лише в денний

час, що створює проблему невідповідності між періодами генерації та споживання. Системи зберігання енергії, такі як літій-іонні акумулятори, дозволяють зберігати надлишкову енергію, вироблену вдень, для її використання вночі або під час пікових навантажень.

Розробка ефективних систем зберігання є одним із пріоритетів сучасної енергетики. Новітні рішення включають використання гібридних акумуляторів, що поєднують переваги різних технологій, таких як швидка зарядка, висока енергоемність та тривалий термін служби. У Smart Grid такі системи інтегруються з іншими компонентами мережі, що забезпечує автоматичну оптимізацію використання ресурсів.

Smart Grid передбачає використання інтелектуальних систем управління, які забезпечують автоматизацію процесів розподілу та споживання енергії. Завдяки застосуванню Інтернету речей (IoT), сенсорів і розподілених обчислень, сучасні системи управління можуть в реальному часі збирати дані про стан мережі, виявляти аномалії та пропонувати оптимальні рішення для їх усунення.

Одним із перспективних напрямів є використання блокчейн-технологій для децентралізованого управління енергетичними потоками. Такий підхід дозволяє забезпечити прозорість операцій, підвищити безпеку даних і знизити ризики маніпуляцій.

На рис.1.1. показано інтеграцію сонячної електростанції в Smart Grid з усіма ключовими компонентами.

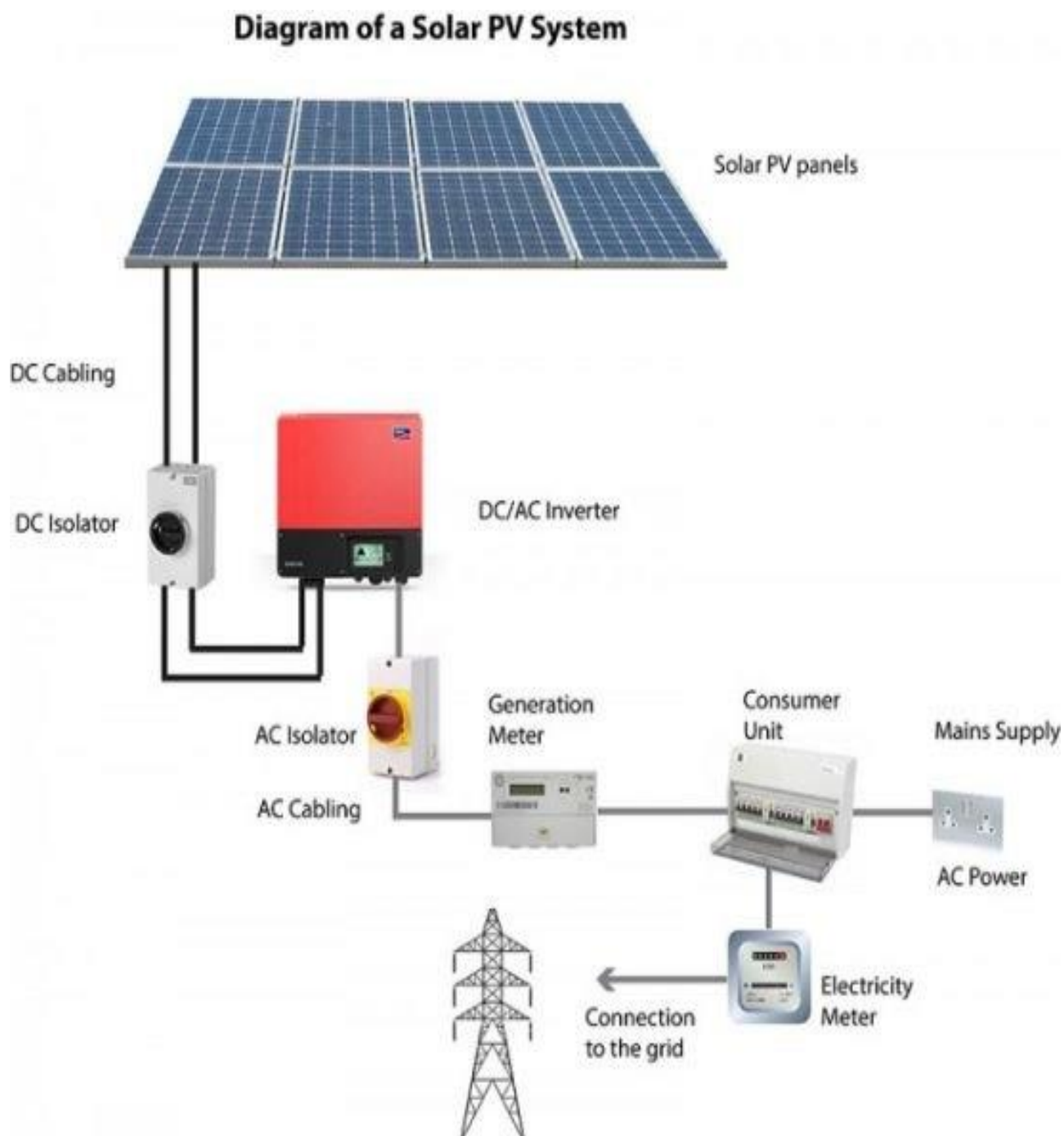


Рис. 1.1. Інтеграції сонячної електростанції в Smart Grid з усіма ключовими компонентами

1.3. Перспективи розвитку та виклики інтеграції сонячних станцій у смарт-мережі

Сонячна енергетика є однією з найбільш динамічно розвиваються галузей відновлювальної енергетики завдяки зниженню вартості виробництва сонячних панелей, а також постійному вдосконаленню технологій, що дозволяють підвищувати їх ефективність. За прогнозами Міжнародної агенції з відновлювальних джерел енергії (IRENA), до 2050р. сонячна енергетика може стати основним джерелом електричної енергії у світі, перевершивши традиційні джерела, такі як вугілля та газ. Одним з основних завдань для інтеграції сонячних станцій у енергосистеми є впровадження смарт-мереж, що забезпечують більш ефективне керування потоками енергії, балансування навантаження та оптимізацію використання відновлювальних джерел енергії.

Смарт-мережі дозволяють створювати адаптивні енергетичні системи, які здатні автоматично реагувати на зміну попиту, погодні умови та інші змінні фактори. Вони забезпечують інтеграцію різноманітних джерел енергії, включаючи сонячні станції, і забезпечують стабільну подачу енергії без перевантажень мережі. Завдяки технологіям, що дозволяють моніторити та управляти енергетичними потоками в реальному часі, смарт-мережі зменшують ризик збоїв у енергосистемі та дозволяють більш ефективно використовувати енергію.

Технологічний прогрес, зокрема, розвиток технологій зберігання енергії, є ключовим для подальшої інтеграції сонячних станцій у смарт-мережі. Нерівномірність виробництва енергії, яка залежить від часу доби та погодних умов, може бути компенсована за допомогою розподілених акумуляторних систем. Це дозволяє накопичувати надлишкову енергію в години високої інсоляції та використовувати її вночі або в похмурі дні. Технології зберігання енергії стають дедалі дешевшими, що робить сонячні електростанції більш доступними та ефективними у поєднанні з іншими відновлювальними джерелами енергії.

Крім того, активно розвиваються нові покоління сонячних панелей, такі як перовскітні та органічні фотоелектричні елементи. Ці технології мають великий потенціал для значного зниження вартості виробництва енергії, а також для

підвищення ефективності сонячних панелей. Їх використання дозволить зменшити витрати на встановлення сонячних станцій і зробити сонячну енергетику ще більш конкурентоспроможною на ринку.

Водночас, на шляху до широкомасштабної інтеграції сонячних станцій у смарт-мережі є ряд економічних та нормативних викликів. Висока вартість початкових інвестицій у встановлення необхідної інфраструктури для підключення сонячних станцій до енергомережі, а також у створення та обслуговування систем зберігання енергії, є серйозним бар'єром для багатьох країн і регіонів. Однак завдяки зниженню вартості технологій та інвестиційному потенціалу державних та приватних компаній ці бар'єри можуть бути подолані в найближчі роки. Важливо також зазначити, що підтримка таких ініціатив з боку урядів і міжнародних організацій може значно прискорити процес інтеграції сонячних станцій у смарт-мережі. Такі політичні інструменти, як субсидії, податкові пільги, стандартизація та національні програми розвитку відновлювальних джерел енергії можуть створити сприятливі умови для розвитку цієї технології.

Інтеграція сонячних станцій у смарт-мережі стає все більш перспективною, однак для комплексного розуміння важливості та потенціалу сонячної енергетики варто порівняти її з іншими відновлювальними джерелами енергії. У таблиці нижче наведено порівняння сонячної енергетики з іншими популярними джерелами відновлювальної енергії, такими як вітрова енергетика та біоенергетика, за кількома ключовими показниками, що впливають на вибір джерела енергії для інтеграції в енергосистеми. Порівняльний аналіз сонячних станцій з іншими відновлювальними джерелами енергії наведено в табл.1.3.

Таблиця порівняння сонячних станцій з іншими відновлювальними джерелами енергії

Джерело енергії	Вартість виробництва енергії (за кВт·год)	Ефективність використання простору (Вт/м ²)	Перспективи розвитку	Викиди CO ₂ (г/кВт·год)	Потреби у зберіганні енергії
Сонячна енергія	\$0.03-\$0.06	150-200	Високі	0	Помірні
Вітрова енергія	\$0.04-\$0.07	300-400	Середні	0	Високі
Біоенергетика	\$0.05-\$0.10	50-100	Низькі	10-20	Низькі

Нормативно-правова база також відіграє важливу роль у стимулюванні інтеграції сонячних електростанцій. Законодавчі ініціативи, які сприяють впровадженню смарт-мереж, мають включати чіткі правила для підключення до мережі, вимоги до безпеки та ефективності роботи енергетичних систем. Відсутність або слабка нормативна база може стримувати розвиток технології, оскільки компанії та споживачі не отримують необхідних гарантій та стимулів для інвестицій у сонячні електростанції.

Сонячна енергетика має значний соціальний та екологічний потенціал. Збільшення використання відновлювальних джерел енергії, зокрема сонячних електростанцій, допомагає зменшити залежність від традиційних енергоресурсів, таких як вугілля, нафта та природний газ. Це також сприяє зниженню викидів парникових газів, покращенню якості повітря та захисту природних ресурсів. У світлі посилення екологічних проблем, зокрема зміни клімату, перехід на чисті джерела енергії стає необхідним для досягнення сталого розвитку планети.

Інтеграція сонячних станцій у смарт-мережі може позитивно вплинути на соціальну стабільність, створюючи нові робочі місця, такі як виробництво та монтаж сонячних панелей, обслуговування акумуляторних систем, а також інженерні послуги. Це також сприятиме розвитку економічної стабільності в регіонах, де сонячні електростанції можуть забезпечити енергетичну незалежність і зменшити

залежність від імпортованих енергоносіїв. Встановлення таких станцій у віддалених або сільських районах дозволить забезпечити доступ до стабільного електричного живлення, що покращить якість життя та економічну ситуацію в цих регіонах.

Таким чином, хоча перед інтеграцією сонячних станцій у смарт-мережі стоять технологічні, економічні та нормативні бар'єри, перспективи цієї технології є надзвичайно обнадійливими. Підвищення ефективності сонячних панелей, розвиток систем зберігання енергії, підтримка з боку урядів та міжнародних організацій і зниження вартості технологій дозволять суттєво розширити масштаби інтеграції сонячних станцій у смарт-мережі в найближчі десятиліття. Розвиток таких систем матиме величезний вплив на економічну, екологічну та соціальну стабільність, забезпечуючи сталий розвиток енергетичних систем у всьому світі

1.4. Висновок до розділу

Проведено детальний аналіз функціонування сонячних електростанцій та їх інтеграції в інфраструктуру сучасних смарт-мереж. Результати досліджень підтвердили ключову роль відновлювальних джерел енергії у зменшенні навантаження на традиційні енергетичні системи, які часто стикаються з проблемами обмеженої пропускної здатності та високого рівня викидів парникових газів.

Використання сонячної енергії не лише сприяє підвищенню енергетичної ефективності, але й забезпечує стабільність та надійність енергопостачання, що є критично важливим для зміцнення енергетичної безпеки в умовах зростаючого попиту на електроенергію і є важливим напрямком досліджень.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА МЕТОДИ ІНТЕГРАЦІЇ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ У СМАРТ-МЕРЕЖІ

2.1. Визначення смарт-мережі та основні її складові

Smart Grid, або інтелектуальна енергетична мережа, є вдосконаленням традиційної енергетичної інфраструктури, що інтегрує сучасні технології для оптимізації управління енергетичними потоками з урахуванням змінного попиту, наявності відновлювальних джерел енергії та потреби у підвищенні енергоефективності. Смарт-мережі дають змогу автоматизувати управлінські процеси, моніторинг та контроль в реальному часі, що дозволяє здійснювати точні налаштування для поліпшення стабільності та ефективності енергопостачання. Вони є ключовим елементом інфраструктури для забезпечення сталого розвитку енергетичних систем, що використовують відновлювальні джерела енергії, зокрема сонячну та вітрову енергію.

Smart Grid відрізняється від традиційних енергомереж тим, що вона інтегрує цифрові технології для автоматизації, моніторингу та керування енергетичними потоками в реальному часі. Це дозволяє їй оперативно реагувати на зміни в попиті, наявності енергії та зовнішніх умовах. Замість того, щоб базуватись на централізованому контролі та статичних налаштуваннях, смарт-мережа забезпечує динамічну адаптацію та оптимізацію енергетичних потоків.

Основним завданням смарт-мереж є максимізація ефективності постачання енергії, зменшення витрат на її виробництво та розподіл, а також зниження ризиків перебоїв в енергозабезпеченні. Однією з ключових складових є інтеграція відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), які, хоча й забезпечують екологічно чисту енергію, однак мають непередбачуваність у виробництві через залежність від погодних умов. Смарт-мережа дає змогу вирішити це питання, ефективно управляючи потужностями від різних джерел і компенсуючи нестабільність ВДЕ за рахунок резервних систем.

Інтелектуальні лічильники збирають дані про споживання електричної енергії, а також про її якість та ефективність в режимі реального часу. Вони можуть вимірювати не лише кількість спожитої енергії, але й параметри напруги та струму, що дозволяє оцінювати ефективність роботи системи. Ці лічильники передають дані на центральний сервер, що дозволяє постійно контролювати стан мережі.

Смарт-мережа має автоматизовану систему, яка дозволяє оперативно реагувати на зміни в енергетичних потоках. Коли відновлювальні джерела енергії не можуть забезпечити достатню кількість енергії, система може автоматично включити резервні джерела або переключитися на інші частини мережі, де є надлишок енергії.

Прогнозування попиту на електричну енергію та її виробництва є важливим аспектом роботи смарт-мережі. Всі системи з'єднані з платформами для прогнозування, що використовують історичні дані, поточну ситуацію з погодою та інші фактори для забезпечення максимально ефективного планування енергетичних потоків.

Однією з важливих функцій смарт-мереж є аналіз даних в реальному часі. Завдяки цьому система може миттєво реагувати на зміни в споживанні енергії або її виробництві, визначаючи найефективніші шляхи забезпечення енергозбереження та мінімізації витрат.

Смарт-мережі активно інтегрують вітрові, сонячні та інші відновлювальні джерела енергії. Це дозволяє значно знизити викиди вуглекислого газу, підвищити екологічність енергетичної інфраструктури та зменшити залежність від викопних ресурсів. Проте, відновлювальні джерела мають непостійне виробництво енергії, тому смарт-мережі здатні вирішувати цю проблему за допомогою гнучкого управління та зберігання енергії.

Вони відповідають за доставку електричної енергії від виробника до споживача. В смарт-мережах ці мережі оснащуються датчиками та контролерами для управління енергетичними потоками, що дозволяє в разі необхідності змінювати маршрути постачання енергії або перемикає навантаження між різними джерелами.

Контролери та інтерфейси для управління енергією: В смарт-мережах встановлюються розумні контролери, які забезпечують автоматичне регулювання

потоків енергії на основі реального часу. Це включає перемикання між різними джерелами енергії, що дозволяє зберігати стабільний рівень енергопостачання та знижувати витрати.

Смарт-мережі мають інтегровані інтерфейси для споживачів, які дозволяють їм отримувати інформацію про рівень споживання енергії, її вартість, а також отримувати рекомендації щодо енергозбереження. Енергетичні компанії також мають доступ до цих даних для прийняття управлінських рішень.

Окрім традиційних джерел енергії, таких як вугільні та атомні станції, смарт-мережі активно інтегрують відновлювальні джерела енергії, зокрема сонячні панелі, вітрові турбіни та гідроелектростанції. Ці джерела можуть бути розташовані по всій мережі, а система автоматично регулює баланс між ними для досягнення найкращих результатів.

В смарт-мережах використовуються системи зберігання енергії, такі як акумулятори, для збереження надлишкової енергії, яка генерується в періоди високої генерації (наприклад, в сонячні дні). Це дає змогу використовувати збережену енергію в періоди пікових навантажень або коли відновлювальні джерела не можуть забезпечити достатньо енергії.

Підвищення енергетичної ефективності: Смарт-мережі допомагають знижувати енергетичні витрати за рахунок автоматизації та оптимізації процесів постачання та споживання енергії. Вони дозволяють значно зменшити втрати енергії через більш точне налаштування системи.

Зниження витрат на виробництво енергії: Завдяки інтеграції відновлювальних джерел та оптимізації енергетичних потоків смарт-мережі дозволяють зменшити витрати на виробництво енергії, а також знизити витрати на утримання та модернізацію традиційних енергетичних станцій.

Завдяки динамічному управлінню енергетичними потоками смарт-мережа здатна швидко реагувати на зміни в умовах постачання енергії та забезпечувати стабільне енергозабезпечення навіть у разі відмови окремих компонентів системи.

2.2. Методи інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережу

Інтеграція сонячних електростанцій у смарт-мережу є складним і багатогранним процесом, що вимагає глибокого узгодження різноманітних технологій, інфраструктурних рішень та управлінських стратегій. Враховуючи специфічні характеристики сонячних джерел енергії — зокрема їхню непередбачуваність, змінність та високу залежність від погодних умов, — важливо розробити комплексні методи інтеграції, що забезпечать максимально ефективного використання цієї енергії в умовах змінного попиту та різноманітних умов роботи мережі. Це потребує не лише розуміння технічних аспектів, а й врахування економічних, соціальних та екологічних чинників. Додатково необхідно забезпечити безперервний моніторинг та налаштування системи в реальному часі для ефективного управління енергетичними потоками. Цей підрозділ описує основні методи та підходи до інтеграції сонячної енергетики в смарт-мережу, а також розглядає переваги та проблеми, з якими стикаються енергетичні компанії під час реалізації таких проєктів.

Один з ключових елементів інтеграції сонячних електростанцій — це використання інверторів, які перетворюють постійний струм, що генерується сонячними панелями, на змінний струм, здатний використовуватися в електричних мережах. Ці пристрої повинні мати додаткові функції, такі як автоматичне налаштування на різні режими роботи мережі, взаємодія з іншими компонентами для оптимізації енергетичних потоків та підтримання стабільної роботи навіть у випадках коливань навантаження або несприятливих погодних умов. Інвертори не лише відповідають за перетворення енергії, але й мають інтегруватися з іншими технологіями для забезпечення стабільного балансу між виробництвом та споживанням енергії. Важливим аспектом є також здатність інверторів до автоматичного відключення при несправностях або в разі аварійних ситуацій, що є необхідним для захисту не тільки сонячної установки, але й усієї енергетичної інфраструктури.

Ще одним важливим елементом є система зберігання енергії, яка дозволяє акумулювати надлишкову енергію, що виробляється під час сонячної активності, для подальшого використання в періоди, коли сонячна енергія недоступна або її виробництво зменшується через погодні зміни. Літій-іонні акумулятори є найбільш популярним вибором для таких систем завдяки своїй високій енергетичній щільності, довговічності, можливості швидкого заряджання та здатності витримувати велику кількість циклів зарядки і розрядки. Ці системи є ключовими для зниження впливу нестабільності відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) на стабільність енергопостачання та забезпечення безперервного постачання електроенергії навіть уночі чи в моменти низької сонячної активності.

Смарт-метри, або розумні лічильники енергії, є пристроями, що дозволяють здійснювати моніторинг споживання та генерації енергії в режимі реального часу, що є важливим для ефективної інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережу. Вони дозволяють здійснювати точний контроль за енергетичними потоками, а також приймати оперативні рішення щодо їхнього розподілу в залежності від поточного рівня виробництва сонячної енергії та споживаного навантаження. Смарт-метри можуть вимірювати різні параметри, такі як потужність, напруга, струм, а також фіксувати баланс між виробництвом енергії сонячними панелями та її споживанням на об'єкті або в межах мережі.

Використання таких пристроїв дозволяє забезпечити високоточний контроль за виробництвом і споживанням енергії, що дозволяє оперативно коригувати енергетичні потоки та забезпечити оптимальне використання наявних ресурсів. Смарт-метри здатні передавати дані на централізовану платформу, де спеціалізоване програмне забезпечення може обробляти та аналізувати ці дані для створення аналітики, прогнозування попиту на енергію та прийняття рішень щодо перерозподілу енергетичних ресурсів.

Інтеграція сонячної енергетики в смарт-мережу вимагає застосування складних алгоритмів оптимізації, які дозволяють ефективно управляти енергетичними потоками між різними джерелами енергії, зокрема відновлювальними джерелами, акумуляторами та іншими енергетичними ресурсами. Прогнозування попиту та

виробництва енергії є важливим елементом у процесі інтеграції, оскільки дозволяє передбачити рівень сонячної активності та виявити можливі коливання в генерації енергії, що може бути викликано змінами погодних умов, сезоном чи часом доби. Завдяки прогнозам, система може здійснювати автоматичне балансування виробництва і споживання енергії, включаючи автоматичне використання резервних джерел енергії або зміни налаштувань збереження енергії в акумуляторах.

Програмні алгоритми можуть адаптуватися до різних сценаріїв, таких як зниження інтенсивності сонячної активності або надлишок енергії, що виробляється панелями в певні години дня. Вони дозволяють вирішувати завдання щодо балансування генерації і споживання енергії з урахуванням факторів, таких як погодні умови, час доби, сезонність, а також ймовірні коливання попиту на енергію з боку кінцевих споживачів.

Системи зберігання енергії є критично важливими для забезпечення стабільності мережі при інтеграції сонячних електростанцій, оскільки вироблена сонячними панелями енергія часто не збігається з моментом її споживання. Акумулятори дозволяють зберігати надлишкову енергію для подальшого використання в пікові навантаження або вночі, коли генерація з сонячних панелей неможлива. Завдяки таким системам можна знизити ризик перебоїв в електропостачанні, а також мінімізувати негативні ефекти від змінності відновлювальних джерел енергії на стабільність мережі.

Літій-іонні акумулятори є найбільш поширеним варіантом для таких систем завдяки своїй високій енергетичній щільності, довговічності та здатності витримувати велику кількість циклів зарядки і розрядки. Вони дозволяють зберігати значні обсяги енергії при компактних розмірах, що є важливим для розташування акумуляторів в обмежених просторах, а також для великих сонячних станцій. Водночас для великих промислових об'єктів можуть бути застосовані інші типи акумуляторів, наприклад, натрій-сірчаної технології або водневі акумулятори, що можуть бути більш підходящими в залежності від специфіки проекту та вимог до зберігання енергії.

Підключення сонячних електростанцій до розподілених енергетичних мереж є важливим етапом інтеграції, оскільки це дозволяє створювати енергоефективні та стійкі мережі, де виробництво енергії може здійснюватися локально, без необхідності транспортувати енергію на великі відстані. Такий підхід не лише зменшує втрати енергії, що виникають через трансмісію, а й забезпечує більшу автономність і стійкість енергосистеми, оскільки відключення від загальної мережі в окремих частинах не призводить до збоїв у всій системі.

Розподілені мережі дозволяють також забезпечити більш ефективну взаємодію з іншими джерелами енергії, такими як вітрові установки або гідроелектростанції, що дозволяє оптимізувати загальну роботу системи і мінімізувати енергетичні піки та коливання попиту. В такому підході кожен елемент мережі може виступати як автономне джерело або споживач енергії, що забезпечує більшу стійкість до можливих технічних несправностей.

Основними викликами, з якими стикаються енергетичні компанії при інтеграції СЕС у смарт-мережу, є непередбачуваність виробництва енергії, необхідність підтримки стабільності енергетичних потоків і високі вимоги до зберігання енергії. Ці проблеми потребують розробки складних алгоритмів прогнозування, а також ефективних рішень для балансування енергетичних потоків і збереження енергії. Одним з таких підходів є використання передових алгоритмів машинного навчання для вдосконалення процесу прогнозування та оптимізації енергетичних потоків у режимі реального часу.

Додатково важливою є забезпечення надійності та безпеки інфраструктури, оскільки інтеграція нових джерел енергії може призвести до виникнення небезпечних ситуацій в мережі, таких як короткі замикання або перевантаження. Розробка відповідних захисних механізмів є важливим кроком на шляху до безпечного та ефективного функціонування смарт-мереж.

2.3. Системи моніторингу та управління для інтеграції сонячних станцій у смарт-мережу

Одним із основних аспектів для успішної інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережу є створення та впровадження ефективних систем моніторингу та управління. Ці системи є необхідними для забезпечення стабільної та надійної роботи всієї енергетичної інфраструктури. Вони дозволяють в реальному часі відстежувати ключові параметри роботи енергетичних компонентів, оптимізувати їх взаємодію, а також забезпечити високу безпеку і надійність мережі. Ключовими завданнями таких систем є балансування змінного виробництва енергії з сонячних панелей, управління непередбачуваним попитом та ефективне використання доступних енергетичних ресурсів.

Система моніторингу сонячної електростанції повинна включати різноманітні датчики та пристрої, що дозволяють зібрати дані про основні параметри роботи. Серед основних параметрів, що вимірюються і контролюються, можна виділити:

- Потужність генерації енергії сонячними панелями, що визначає ефективність перетворення сонячного світла в електричну енергію.

- Рівень заряду акумуляторів, який дає змогу оцінити наявний запас енергії для подальшого використання.

- Струм і напругу на виході інверторів, що важливо для забезпечення стабільного перетворення енергії та її передачі в мережу.

- Температурні показники на різних етапах енергетичного процесу, зокрема температура панелей та інверторів, що впливає на ефективність та безпеку роботи обладнання.

- Параметри, що характеризують мережеву взаємодію, зокрема частота та напруга в розподіленій мережі, що важливо для забезпечення стабільності роботи всієї енергетичної системи.

Зібрані з різних сенсорів дані можуть бути передані в централізовану платформу для подальшого аналізу, оптимізації роботи та коригування процесів. Це

дозволяє своєчасно виявляти аномалії та реагувати на них, забезпечуючи ефективну роботу мережі в реальному часі.

Технологія Інтернету речей є ключовою для створення таких систем, оскільки вона дозволяє з'єднувати фізичні пристрої з цифровими інтерфейсами для зручного збору та обробки даних. Це забезпечує автоматизацію та підвищує ефективність моніторингу, дозволяючи отримувати дані в реальному часі без врахування відстані чи складності інфраструктури.

Програмне забезпечення є критично важливою складовою частиною системи моніторингу. Воно дозволяє не лише збирати та обробляти дані, але й здійснювати їхній аналіз та інтерпретацію, що дає змогу оператору приймати обґрунтовані рішення щодо оптимізації роботи енергетичної системи. Важливу роль в аналізі відіграють алгоритми, засновані на статистичних методах та методах машинного навчання, які дозволяють прогнозувати майбутні зміни в енергетичних потоках, виявляти приховані тенденції та оцінювати потенційні ризики.

Основні функції програмного забезпечення включають:

- Моніторинг в реальному часі.
- Створення звітів.
- Оповіщення операторів.
- Прогнозування попиту на енергію.
- Оптимізація споживання енергії.

Програмне забезпечення дозволяє автоматизувати процеси планування енергетичних стратегій та скорочує час реагування на зміни в умовах навколишнього середовища чи коливань попиту.

Для забезпечення високої ефективності та стійкості смарт-мережі необхідно інтегрувати сонячні електростанції з розподіленими енергетичними мережами (DER). Це дозволяє зменшити залежність від централізованих енергетичних джерел, підвищуючи автономію та стійкість енергетичних систем, що забезпечує більш гнучке і стабільне управління енергетичними потоками. Інтеграція різних джерел енергії, таких як вітрові турбіни, акумулятори та інші відновлювальні ресурси, додає гнучкості та зменшує енергетичні втрати при транспортуванні на великі відстані.

Система комунікації між компонентами DER використовує спеціалізовані протоколи, що дозволяють здійснювати зворотний зв'язок між джерелами енергії та мережевими компонентами. Це забезпечує можливість автоматичного регулювання потоків енергії, зберігаючи баланс між генерацією і споживанням на кожному етапі.

Ключовим елементом інтеграції сонячних електростанцій є здатність до автоматичного управління енергетичними потоками за допомогою алгоритмів та автоматизованих платформ. Таке управління включає:

- Автоматичне відключення або підключення елементів системи при несправностях або при досягненні критичних значень напруги або струму.
- Оптимізацію потужності для збереження енергії або передачі її в мережу, в залежності від попиту на енергію.
- Прогнозування енергетичних потреб з урахуванням змін на ринку енергії та погодних умов.

Впровадження автоматизованих систем дозволяє значно знизити людський фактор, зменшуючи ймовірність помилок і підвищуючи ефективність всієї системи. Крім того, автоматизація дозволяє знижувати операційні витрати, оскільки значну частину процесів можна виконати без безпосереднього втручання операторів.

Переваги систем моніторингу та управління включають:

- Підвищення ефективності та стабільності роботи енергетичної системи.
- Зниження витрат на обслуговування завдяки прогнозуванню несправностей та автоматичному виявленню проблем.
- Покращення безпеки за допомогою безперервного моніторингу стану системи та оперативного реагування на будь-які зміни.

Виклики, з якими стикаються енергетичні компанії, включають:

- Необхідність постійного вдосконалення програмного забезпечення для обробки великих обсягів даних та покращення точності прогнозів.
- Інтеграція різних типів енергетичних ресурсів та управлінських платформ може бути складною через відмінності в комунікаційних протоколах та стандартах.

- Високі вимоги до безпеки даних: оскільки системи управління енергетичними потоками можуть бути уразливими до кіберзагроз, важливо забезпечити високий рівень захисту інформації.

Загалом, успішна реалізація систем моніторингу та управління енергетичними потоками є необхідною для ефективної інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережі, сприяючи зниженню витрат, покращенню стабільності і безпеки, а також забезпеченню сталого розвитку енергетичних систем.

2.4. Використання методів оптимізації для покращення ефективності інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережу

Одним із найважливіших аспектів, що впливає на ефективність інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережу, є застосування різноманітних методів оптимізації для забезпечення найбільш ефективного використання ресурсів. Сонячна енергія, хоча і є відновлювальним джерелом енергії, має свої особливості, зокрема змінність і непередбачуваність виробництва енергії в залежності від погодних умов, часу доби та пори року. Враховуючи це, для досягнення високої ефективності у використанні сонячної енергії, необхідно розробляти методи, які дозволяють максимізувати її виробництво в певні моменти часу і оптимізувати споживання енергії в умовах змінного навантаження на мережу. Важливою складовою частиною цього процесу є оптимізація енергетичних потоків і управління попитом, що дозволяє максимально використати потенціал сонячної енергії та знизити залежність від традиційних джерел енергії.

Існує кілька основних підходів до оптимізації роботи сонячних електростанцій в умовах смарт-мереж, серед яких можна виділити такі як:

1. Оптимізація енергетичних потоків.
2. Оптимізація використання енергії з батареї зберігання.
3. Оптимізація інтеграції з іншими джерелами енергії.
4. Оптимізація управління попитом (Demand Response).

Оптимізація енергетичних потоків - це процес, який полягає в максимізації виробленої енергії в межах доступних ресурсів при збереженні стабільності роботи мережі. Завдяки цьому процесу можна досягти найбільш ефективного використання енергетичних ресурсів, регулюючи виробництво енергії на основі поточних умов навколишнього середовища та попиту на енергію. Важливим є врахування таких факторів, як погодні умови, зміни інтенсивності сонячного випромінювання і необхідність адаптації до змінного попиту.

Оптимізація використання енергії з батареї зберігання - Оскільки сонячні електростанції мають змінну потужність виробництва енергії, необхідно забезпечити ефективне збереження надлишків енергії, що виробляються в періоди високої генерації. Системи акумуляції енергії дають змогу зберігати енергію на момент пікового споживання, коли доступність енергії з сонячних панелей може бути обмежена через погодні умови або інші фактори. Оптимізація полягає в максимізації використання накопиченої енергії та зменшенні втрат при зберіганні та відновленні енергії.

Оптимізація інтеграції з іншими джерелами енергії - Одним із ключових моментів є інтеграція сонячних станцій з іншими відновлювальними джерелами енергії (вітровими електростанціями, гідроелектростанціями) та традиційними джерелами енергії. Це дозволяє зменшити вплив змінності сонячної енергії на загальну стабільність мережі, а також забезпечити більш ефективне управління енергетичними потоками в умовах змішаного джерела живлення. Таке комбінування джерел енергії допомагає зменшити ризики, пов'язані з неочікуваними змінами в доступності енергії, і дає змогу досягти більш високої стабільності системи.

Оптимізація управління попитом (Demand Response) - У контексті смарт-мереж важливою складовою частиною є здатність адаптуватися до коливань в попиті на енергію. Управління попитом дозволяє знижувати навантаження на мережу в пікові періоди, вмикаючи або вимикаючи споживчі навантаження в залежності від доступності енергії. Це дозволяє рівномірно розподіляти споживання енергії та зменшити навантаження на систему, що особливо важливо в умовах змінного виробництва сонячної енергії.

Для досягнення зазначених цілей використовуються різноманітні алгоритми оптимізації, серед яких можна виокремити:

1. Методи лінійного програмування.
2. Методи динамічного програмування.
3. Алгоритми на основі машинного навчання.
4. Методи мультиагентного моделювання.

Методи лінійного програмування - це один з основних підходів, що застосовується для оптимізації енергетичних потоків у смарт-мережах. Лінійне програмування дозволяє знаходити оптимальні значення для потужності виробництва та споживання енергії, враховуючи обмеження на потужність генерації та максимальні значення навантаження. Такий підхід дозволяє забезпечити баланс між виробництвом енергії та її споживанням в реальному часі.

Методи динамічного програмування - використовуються для оптимізації процесів зберігання та використання енергії з батарей. Завдяки динамічному програмуванню можна визначити найефективніший спосіб акумулювання енергії в періоди високої генерації та її використання в моменти, коли попит на енергію перевищує виробництво. Це дозволяє максимально знизити енергетичні втрати і підвищити ефективність використання ресурсів.

Алгоритми на основі машинного навчання - вони використовуються для аналізу великих обсягів даних та прогнозування змін в енергетичних потоках. Алгоритми машинного навчання здатні виявляти приховані закономірності в даних і робити більш точні прогнози про зміни попиту на енергію або про зниження ефективності роботи енергетичних компонентів. Це дозволяє більш точно планувати виробництво та споживання енергії, знижуючи ризики нестабільності в роботі системи.

Методи мультиагентного моделювання - це підхід, який дозволяє моделювати взаємодію різних компонентів смарт-мережі, таких як сонячні станції, акумулятори, інвертори та споживачі енергії. Мультиагентне моделювання дозволяє зімітувати різні сценарії та визначити оптимальні стратегії управління енергетичними потоками в умовах змінного попиту та виробництва.

Для реалізації методів оптимізації використовуються різноманітні програмні інструменти та платформи, які дозволяють моделювати і оптимізувати роботу сонячних станцій в умовах смарт-мереж:

1. MATLAB/Simulink.
2. Python (з використанням бібліотек, таких як NumPy, SciPy, TensorFlow).
3. HOMER Energy.

MATLAB/Simulink - ця платформа є однією з найпоширеніших для розробки моделі та оптимізації енергетичних потоків в смарт-мережах. Вона дозволяє створювати точні математичні моделі, а також реалізовувати алгоритми для управління та аналізу роботи сонячних станцій в реальному часі.

Python – це потужний інструмент для розробки алгоритмів оптимізації, зокрема для реалізації методів машинного навчання та прогнозування енергетичних потоків. Бібліотеки Python дозволяють ефективно працювати з великими даними та забезпечують можливість створення складних алгоритмів для оптимізації роботи сонячних електростанцій.

HOMER Energy - спеціалізований програмний пакет для моделювання та оптимізації мікромереж і гібридних енергетичних систем, який широко використовується для проектування сонячних електростанцій та їх інтеграції в смарт-мережі. Цей інструмент дозволяє здійснювати детальне планування енергетичних систем з різними типами джерел енергії.

Незважаючи на значний потенціал, який дають методи оптимізації для покращення ефективності роботи сонячних електростанцій у смарт-мережах, існують певні проблеми та виклики:

1. Невизначеність зовнішніх умов.
2. Значні вимоги до обчислювальних ресурсів.
3. Інтеграція різноманітних джерел енергії.

2.5. Аналіз економічної ефективності інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережу

Аналіз економічної ефективності інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережу є важливим етапом при розробці та впровадженні таких систем. Враховуючи високі початкові інвестиції у встановлення сонячних панелей, інверторів, акумуляторів та інших компонентів, необхідно точно оцінити, чи виправдовують ці витрати економічну вигоду в довгостроковій перспективі. Крім того, важливим аспектом є оптимізація витрат на обслуговування, інтеграцію та адаптацію до змінних умов енергетичного ринку. Оцінка економічної ефективності допомагає визначити рентабельність проекту, а також сприяє прийняттю правильних рішень щодо вибору методів та технологій для інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережу.

Початкові витрати на створення системи сонячної електростанції для інтеграції в смарт-мережу включають:

- Вартість сонячних панелей.
- Вартість інверторів.
- Вартість системи зберігання енергії.
- Моніторинг і управління.
- Монтаж і підключення до мережі

Вартість панелей залежить від їх типу (монокристалічні, полікристалічні тощо), потужності та виробника. В середньому ціна монокристалічної панелі потужністю 475Вт становить близько 100-150доларів США. Використовуються для перетворення постійного струму, що генерується сонячними панелями, на змінний струм для електричних мереж використовуються інвертори. Ціна інвертора потужністю 5 кВт коливається в межах 1500-2000 доларів США. Літій-іонні акумулятори є основним компонентом для зберігання надлишкової енергії. Вартість літій-іонного акумулятора з ємністю 10 кВт·год може коливатися в межах 5000-7000доларів США. Для забезпечення ефективного управління системою сонячної електростанції та її інтеграції в смарт-мережу необхідно використовувати систему моніторингу та управління. Вартість таких систем варіюється залежно від функціональності, але в

середньому становить від 1000 до 3000доларів США. Витрати на монтаж системи, включаючи роботи з підключення до електричної мережі, можуть становити значну частину початкових витрат, приблизно 15-20% від загальної вартості проекту.

Після встановлення системи сонячної електростанції для смарт-мережі необхідно враховувати регулярні операційні витрати, які включають:

- Обслуговування та ремонт.
- Експлуатація акумуляторів.
- Енергетичні витрати на підтримку системи.

Однією з основних економічних переваг інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережу є можливість зберігання надлишкової енергії для використання в майбутньому, що дозволяє знижувати залежність від зовнішніх джерел енергії. Завдяки використанню акумуляторних систем зберігання, енергія, вироблена в періоди високої генерації (наприклад, в сонячні дні), може бути збережена та використана вночі або в періоди пікових навантажень, коли ціна на електричну енергію може бути значно вищою.

Зниження споживання енергії з традиційних джерел дозволяє значно знизити витрати на енергетичні ресурси. Це особливо важливо в умовах нестабільних ринкових цін на енергію та високих витрат на електричну енергію в пікові години.

Інтеграція сонячних електростанцій у смарт-мережу дозволяє отримати низку додаткових вигод, серед яких:

- Зниження витрат на енергопостачання.
- Підвищення енергонезалежності.
- Інтелектуальне управління споживанням.

Оцінка повернення інвестицій (ROI) є ключовим показником економічної ефективності інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережу. Основні фактори, що впливають на повернення інвестицій, включають:

- Інвестиційні витрати.
- Економія на енергії.
- Термін окупності.

2.6. Висновки до розділу

Досліджено сучасні технології та передові методи інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережі, що охоплюють широкий спектр інноваційних рішень. Зокрема, проаналізовано алгоритми максимального відстеження точки потужності (MPPT), які забезпечують максимальну генерацію енергії в умовах змінної інсоляції, розроблено стратегії оптимізації зарядки акумуляторних систем, які дозволяють ефективно використовувати накопичену енергію, та розглянуто методи управління енергетичними потоками між різними компонентами системи. Застосування цих технологій сприяє досягненню високих показників енергоефективності, зниженню втрат енергії та забезпеченню стабільної роботи інтегрованих систем у динамічних умовах навантаження.

РОЗДІЛ 3

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1. Розробка інтегрованої системи

Інтеграція сонячних електростанцій (СЕС) у смарт-мережі є важливою складовою частиною розвитку сучасної енергетики. Сучасні методи інтеграції сонячної енергетики в електричні мережі забезпечують ефективне використання сонячної енергії та мінімізацію енергетичних втрат. Враховуючи характер сонячної енергії, яка є змінною та залежить від погодних умов, а також потребу в балансуванні навантаження, інтеграція сонячних станцій вимагає спеціалізованих технологій та методів управління енергетичними потоками. Серед основних методів інтеграції сонячних станцій у смарт-мережі можна виділити кілька ключових підходів.

Одним із основних методів інтеграції сонячних станцій є використання інверторів, які перетворюють постійну напругу, що генерується сонячними панелями, на змінну, яку можна подавати в мережу. Інвертори також мають функції управління потужністю, забезпечуючи стабільність роботи мережі. Сучасні інвертори можуть бути оснащені технологією, що дозволяє оптимізувати взаємодію між сонячною станцією та мережею, регулюючи вихідну потужність в залежності від потреб мережі. Інтеграція інверторів з системами зберігання енергії (акумуляторами) дозволяє зберігати надлишкову енергію, вироблену в періоди високої сонячної активності, і використовувати її в часи низької генерації. Це забезпечує стабільність енергопостачання навіть за умов зміни погодних умов або ночі, коли сонячна енергія не виробляється.

Іншим важливим аспектом інтеграції сонячних станцій є ефективне управління енергетичними потоками. Використання смарт-метрів та систем автоматичного управління дозволяє здійснювати моніторинг споживання енергії в реальному часі та балансувати навантаження між різними джерелами енергії. В умовах інтеграції сонячних станцій особливу роль відіграє необхідність коригування навантаження в залежності від рівня генерації енергії. Цей процес здійснюється завдяки

впровадженню алгоритмів прогнозування та управління потужністю, які можуть адаптувати навантаження і оптимізувати використання сонячної енергії залежно від погодних умов та часового циклу. Такі системи не лише підвищують ефективність інтеграції сонячних станцій у смарт-мережу, але й дозволяють знижувати витрати на енергію для кінцевих споживачів, що робить енергетичні мережі більш гнучкими та економічно ефективними.

Сучасні системи управління розподіленими енергетичними ресурсами (DERMS) використовуються для оптимізації інтеграції сонячних станцій у смарт-мережу. Ці платформи надають можливість ефективно управляти численними енергетичними ресурсами, включаючи сонячні станції, акумулятори, вітрові турбіни та інші відновлювальні джерела енергії. DERMS дозволяють здійснювати моніторинг і оптимізацію енергетичних потоків, балансувати навантаження та регулюючи використання різних джерел енергії в реальному часі. Вони забезпечують автоматичне управління процесами та знижують необхідність людського втручання, що підвищує надійність та ефективність енергетичних систем.

Прогнозування генерованої сонячної енергії є важливим компонентом у системах інтеграції сонячних станцій. Прогнозування сонячної генерації на основі погодних умов дозволяє точно передбачати рівень енергії, яку буде вироблено, та коригувати споживання або запаси енергії. Для цього використовуються алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту, які дозволяють точніше прогнозувати виробництво енергії на короткостроковий період (на кілька годин або діб уперед). Такий підхід дозволяє знизити рівень нестабільності в енергетичній мережі та підвищити ефективність використання енергії.

Інтеграція сонячних станцій у смарт-мережі має багато переваг, однак кожен метод інтеграції супроводжується певними недоліками, які можуть вплинути на ефективність та економічність роботи енергетичних систем. Оцінка переваг і недоліків існуючих методів дозволяє з'ясувати, які з підходів є найбільш оптимальними для конкретних умов та вимог.

Однією з основних переваг використання інверторів та систем зберігання енергії є здатність до ефективного управління енергетичними потоками. Завдяки

інверторам забезпечується стабільна передача енергії до мережі, а системи зберігання енергії дозволяють знижувати залежність від змінної сонячної генерації, забезпечуючи постійне енергопостачання навіть у нічний час або в умовах хмарності. Це дозволяє підвищити надійність енергомереж і зменшити потребу в традиційних джерелах енергії, таких як вугільні або газові станції. Однак до основних недоліків цього методу можна віднести високі початкові витрати на встановлення інверторів і акумуляторів, а також складність у технічному обслуговуванні цих систем.

Ще однією важливою перевагою методів інтеграції через смарт-метри та системи автоматичного управління є можливість знижувати енергетичні втрати та оптимізувати використання енергії в реальному часі. Такі системи забезпечують високий рівень адаптивності, що дозволяє ефективно регулювати навантаження і передавати енергію там, де вона найбільш потрібна. Завдяки цьому зменшується ймовірність перевантаження мережі або нестабільної роботи, що може призвести до аварій. Проте, ці методи вимагають розвиненої інфраструктури для моніторингу та управління енергетичними потоками, що може бути складним та дорогим для реалізації в умовах низького рівня технологічного розвитку.

Системи DERMS надають можливість централізовано управляти великою кількістю розподілених енергетичних ресурсів, що робить їх особливо ефективними для інтеграції сонячних станцій в межах великих енергомереж. Використання таких платформ дозволяє знизити навантаження на центральні електростанції і скоротити енергетичні втрати, а також сприяє розвитку більш сталих і стійких енергетичних систем. Однак, основним недоліком є висока вартість впровадження таких платформ, а також потреба в постійному оновленні та вдосконаленні програмного забезпечення для забезпечення сумісності з новими технологіями.

Прогнозування виробництва сонячної енергії є ключовим елементом інтеграції, оскільки воно дозволяє більш точно планувати споживання та генерацію енергії, що, в свою чергу, сприяє стабільності та ефективності роботи мережі. Використання штучного інтелекту і машинного навчання для прогнозування має великі перспективи, оскільки ці технології дозволяють знижувати рівень помилок в прогнозах і покращувати точність на кілька годин або навіть діб уперед. Однак, цей

метод потребує значних обчислювальних потужностей і точних даних про погодні умови, що може бути складним завданням для деяких регіонів, де немає достатньої інфраструктури для збору даних. На рис.3.1 показано основні компоненти системи

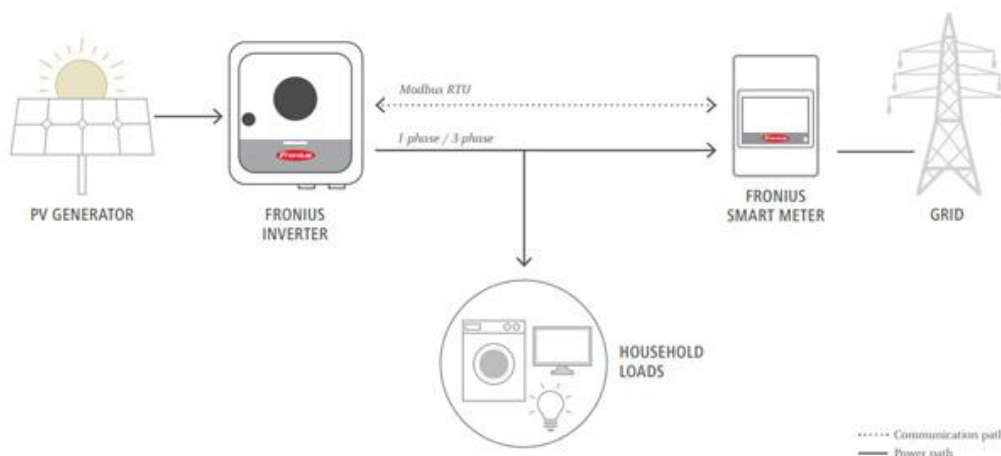


Рис. 3.1. Основні компоненти

Таким чином, методи інтеграції сонячних станцій у смарт-мережі мають як суттєві переваги, так і певні обмеження. Підвищення ефективності інтеграції можливо через комбінування різних технологій і методів, що дозволить максимізувати вигоди від використання сонячної енергії, одночасно мінімізуючи недоліки кожного з підходів. Важливо також враховувати специфіку регіону, рівень розвитку інфраструктури та наявність технічних ресурсів при виборі оптимальних методів для конкретного проекту.

3.2. Проектування та реалізація апаратної частини системи

Проектування апаратної частини інтегрованої системи для сонячної електростанції в контексті Smart Grid є вирішальним етапом, який визначає як ефективність, так і надійність роботи енергетичної системи в цілому. Цей процес включає вибір і налаштування основних компонентів, їх інтеграцію в єдину схему, а також створення надійної та безпечної інфраструктури, що гарантує стабільну роботу

системи протягом тривалого часу. На цьому етапі необхідно не тільки побудувати фізичну інфраструктуру, але й закласти основи для ефективного моніторингу та управління системою. Тому важливим є вибір основних компонентів.

Розробка апаратної частини базується на виборі високоефективних компонентів, що задовольняють вимоги до надійності та функціональності. Основні компоненти системи включають сонячні панелі, контролери заряду, інвертори, систему зберігання енергії та моніторингові пристрої, які взаємодіють між собою для досягнення високих показників ефективності. Ось докладний опис кожного з елементів:

Сонячні панелі:

Тип: монокристалічні.

Потужність: 475Вт кожна.

Ефективність: 20%.

Сонячні панелі є основним джерелом генерації енергії в системі. Монокристалічні панелі були обрані завдяки своїй високій ефективності та здатності працювати при різних умовах освітлення. Завдяки високій ефективності (близько 20%), ці панелі здатні забезпечити високу потужність при невеликій площі, що є важливим фактором для встановлення в умовах обмеженого простору.



Рис. 3.2. Сонячне поле

Крім того, монокристалічні панелі мають тривалий термін служби — понад 25 років, що робить їх економічно вигідними на довгострокову перспективу. Вони працюють навіть за низьких температур і при мінімальному рівні сонячного випромінювання, що підвищує їхню ефективність порівняно з іншими типами сонячних панелей.

Контролер заряду:

Тип: MPPT (Maximum Power Point Tracking).

Функції: оптимізація процесу заряджання акумуляторів, захист від перенапруги, максимізація продуктивності сонячних панелей.

Контролер заряду є ключовим елементом для забезпечення максимальної ефективності роботи сонячних панелей. Завдяки технології MPPT контролер може динамічно змінювати параметри роботи системи, підлаштовуючи її до змінних умов зовнішнього середовища, таких як рівень освітленості або температура.

Цей контролер не лише збільшує продуктивність сонячних панелей, але й захищає акумулятори від перенапруги та інших небезпечних ситуацій, що можуть призвести до їх пошкодження. Враховуючи, що в умовах змінного освітлення постійно змінюється оптимальна точка потужності для панелей, функція MPPT є незамінною для досягнення максимального виходу енергії при будь-яких умовах. На рис. 3.3. наведено основні характеристики інвертора ANERN SCI-EVO-10200.

Виробник	ANERN
Користувальницькі характеристики	
Тип акумулятора	AGM GEL Lifepo4
Потужність, кВт	10
Потужність, Вт	10000
Напруга, В	48
Струм заряду, А	120, 160
Функція заряду	Так
Синусоїда	Чиста

Рис. 3.3. Характеристики інвертора ANERN SCI-EVO-10200

Інвертор — це пристрій, який перетворює постійний струм, що надходить від сонячних панелей, на змінний струм, придатний для використання в побуті чи промисловості.



Рис. 3.4. Інвертор ANERN SCI-EVO-10200

Синусоїдальні інвертори мають найкращі характеристики для перетворення енергії, оскільки забезпечують на виході чистий синусоїдальний сигнал, який є безпечним для побутових пристроїв та іншого електронного обладнання.

Цей тип інверторів є найбільш ефективним і стабільним для довготривалої роботи в умовах змінного навантаження, оскільки забезпечує рівномірний розподіл енергії і виключає можливість пошкодження підключених пристроїв через спотворення в струмі.

Характеристики акумуляторної батареї LVFU показані на рис.3.5.

Model	LFR-4850/5150	LFR-48100/51100	LFR-48150/51150	FR-48200/51200
Standard Voltage	48VDC/51.2VDC			
Voltage	39.75-54.75VDC/42.4-58.4VDC			
Norminal Capacity	50Ah	100Ah	150Ah	200Ah
Rated Energy Capacity	2.4/2.56kWh	4.8/5.12kWh	7.2/7.68kWh	9.6/10.24kWh
Commumication Protocol	CAN/RS485/RS232/WIFI/4G/Blue Tooth			
Efficiency (at 0.5C)	98%			
Cell Self-Discharge	<5 %/ Month			

Рис. 3.5. Характеристики акумуляторної батареї LVFU

Система зберігання енергії складається з літій-іонних акумуляторів, які мають високу енергетичну щільність і здатні довготривало зберігати велику кількість енергії при компактних розмірах. Літій-іонні батареї здатні зберігати заряд протягом тривалого часу, що дозволяє використовувати збережену енергію в нічний час або під час пікових навантажень, коли сонячна генерація енергії недостатня.

Такі акумулятори мають також низький рівень саморозряду, що означає, що вони зберігають енергію навіть без активного використання протягом довгого часу. Крім того, їхній термін служби складає близько 10 років, що забезпечує надійність і знижує витрати на обслуговування системи.

Датчики та моніторингові пристрої:

Датчики струму та напруги — для відстеження енергетичних потоків у системі.

Температурні датчики — для запобігання перегріву компонентів, забезпечення безпеки та стабільної роботи системи.

Датчики, встановлені в різних частинах системи, забезпечують постійний моніторинг її стану. Вони дозволяють збирати дані про рівень заряду акумуляторів, потужність, що генерується панелями, напругу та струм на виході інвертора, а також температуру компонентів, щоб запобігти перегріву. Ці параметри передаються на

центральний контролер для подальшого аналізу та налаштування роботи системи в режимі реального часу.

Схема взаємодії компонентів

Всі компоненти інтегровані в єдину систему, що дозволяє оптимізувати енергетичні потоки та забезпечити безперебійну роботу сонячної електростанції в умовах Smart Grid. Основні етапи взаємодії компонентів включають:

- Сонячні панелі генерують електричну енергію та передають її в контролер заряду.
- Контролер заряду оптимізує параметри заряду акумуляторів та передає енергію до інвертора для перетворення в змінний струм.

Інвертор здійснює перетворення постійного струму в змінний та підключається до енергетичної мережі або використовує енергію для споживання в межах самого об'єкта.

- Система зберігання енергії акумулює надлишкову енергію для подальшого використання.
- Датчики забезпечують постійний моніторинг і передачу даних до хмарної платформи IoT для віддаленого управління та аналізу.

Забезпечення надійності роботи

- Для забезпечення стабільності роботи системи були впроваджені кілька важливих заходів, включаючи:
 - Встановлення захисних пристроїв для запобігання коротким замиканням і перевантаженням.
 - Використання резервних компонентів, зокрема дублювання акумуляторів, для забезпечення безперебійної роботи навіть у випадку відмови одного з елементів.
 - Постійний моніторинг параметрів роботи з оповіщеннями про будь-які несправності або аномалії в системі.
 - Ці заходи дозволяють забезпечити безпечну, стабільну та ефективну роботу системи протягом тривалого часу, мінімізуючи ризики і втрати енергії.

3.3. Розробка та реалізація програмної частини системи

Програмна частина системи інтеграції сонячних станцій у смарт-мережу є не менш важливою, ніж апаратна, оскільки саме вона забезпечує ефективне управління енергетичними потоками, взаємодію компонентів та оптимізацію роботи всього комплексу. Вона включає створення алгоритмів для автоматизації процесів, моніторингу стану системи, управління зарядом і розрядом акумуляторів, а також інтеграцію з зовнішніми мережами для забезпечення стабільності та ефективності роботи енергосистеми в реальному часі. Для цього використовуються сучасні технології, такі як машинне навчання, Інтернет речей (IoT), платформи для великих даних та інші, що дозволяють в реальному часі отримувати і обробляти інформацію про стан всієї системи.

Одним із ключових етапів розробки програмного забезпечення є створення алгоритмів управління енергетичними потоками. Вони дозволяють ефективно розподіляти енергію між сонячними панелями, акумуляторами, інверторами та підключеними енергетичними мережами. За допомогою цих алгоритмів система визначає, куди саме спрямувати вироблену енергію: до акумуляторів для зберігання, безпосередньо до навантаження (наприклад, будівлі або виробничого об'єкта), або в загальну мережу для продажу.

Алгоритми враховують безліч факторів, що впливають на роботу системи. Це може бути інтенсивність сонячного випромінювання, рівень заряду акумуляторів, поточне енергоспоживання в об'єкті, а також прогнози щодо зміни погодних умов та навантажень. Оскільки генерація енергії з сонячних панелей залежить від зовнішніх умов, алгоритми управління повинні бути гнучкими та здатними реагувати на зміни в режимі реального часу. Наприклад, якщо на небі з'являються хмари або підвищується споживання енергії, алгоритм може збільшити споживання енергії з акумуляторів або навіть тимчасово підключити енергетичну мережу для компенсації дефіциту.

Система також може автоматично визначати оптимальні параметри роботи для кожного компонента — наприклад, регулювати струм і напругу на виході від

сонячних панелей через інвертор, щоб забезпечити максимальну ефективність генерації. Алгоритм оптимізації також бере до уваги наявність або відсутність пікових навантажень, що дозволяє зменшити втрати енергії під час її розподілу.

Інтеграція сонячної станції з існуючою енергетичною мережею є важливою складовою частиною програмного забезпечення, оскільки це дозволяє системі не тільки працювати автономно, але й бути частиною більш широкої енергетичної інфраструктури. Завдяки такій інтеграції можна не тільки забезпечити ефективне споживання сонячної енергії, але й передавати надлишкову енергію в мережу, що знижує навантаження на основні енергетичні системи, особливо в пікові години.

Програмне забезпечення має функції для постійного моніторингу і управління енергетичними потоками, що передаються в енергетичну мережу або отримуються з неї. Це дозволяє підтримувати баланс між генерацією і споживанням енергії в системі в реальному часі. Важливою частиною цієї функції є можливість віддаленого управління параметрами енергетичних потоків через інтерфейс користувача, який може бути доступний як через веб-інтерфейс, так і через мобільні додатки. Це дає операторам системи можливість оперативно змінювати налаштування, реагуючи на зміну умов чи попиту на енергію, що в свою чергу дозволяє знижувати ризики перевантаження і поліпшувати загальну ефективність мережі.

Інтернет речей (IoT) є важливим елементом програмної частини, оскільки він забезпечує інтеграцію всіх компонентів системи в єдину мережу, яка дозволяє здійснювати дистанційне управління та моніторинг. Завдяки IoT всі елементи системи — сонячні панелі, акумулятори, інвертори, датчики температури та інші — можуть бути підключені до єдиного хмарного сервера, що забезпечує безперервний потік даних і дозволяє здійснювати реальний аналіз стану всіх компонентів.

Завдяки IoT всі дані про роботу системи (рівень заряду акумуляторів, температура панелей, напруга в мережі та інші параметри) передаються на хмарну платформу, де вони обробляються, зберігаються і аналізуються. Це дає змогу отримувати повну картину роботи системи в реальному часі та проводити ефективну діагностику в разі несправностей. У разі необхідності дані можуть бути використані для автоматичного оновлення алгоритмів управління, що дозволяє адаптувати

систему до змін умов. Крім того, використання IoT дає можливість прогнозувати потреби в енергії на основі історичних даних та адаптувати роботу системи до майбутніх змін.

Фрагмент коду для моніторингу рівня заряду акумулятора за допомогою Python наведено на рис.3.6.

```
import time
import random

class Battery:
    def __init__(self, capacity, charge_level=0):
        self.capacity = capacity # Максимальна ємність акумулятора
        self.charge_level = charge_level # Поточний рівень заряду

    def charge(self, amount):
        """Заряджає акумулятор на задану кількість енергії."""
        self.charge_level += amount
        if self.charge_level > self.capacity:
            self.charge_level = self.capacity
        print(f"Рівень заряду акумулятора: {self.charge_level} кВт·год")

    def discharge(self, amount):
        """Витрачає енергію з акумулятора."""
```

Рис. 3.6. Код для моніторингу рівня заряду акумулятора за допомогою Python

Для забезпечення максимальної ефективності системи, програмне забезпечення використовує методи аналізу великих даних, що дозволяє зібрані дані обробляти та використовувати для оптимізації роботи всієї системи. Це включає в себе як оптимізацію енергетичних потоків, так і управління ресурсами, такими як акумулятори та інвертори.

Алгоритми оптимізації працюють на основі прогнозів і математичних моделей, які враховують різні фактори, такі як погодні умови, рівень заряду акумуляторів, поточне навантаження в мережі та інші важливі аспекти. Система може прогнозувати, коли буде найбільший попит на енергію або коли очікується зміна в сонячному випромінюванні, і на основі цього автоматично коригувати роботу інверторів,

заряджати або розряджати акумулятори, а також вирішувати, скільки енергії передавати в мережу.

Враховуючи, що програмне забезпечення керує всіма аспектами роботи енергетичної системи, безпека є пріоритетним завданням. Програмне забезпечення має бути захищене від несанкціонованого доступу та зловмисних атак. Це досягається через використання передових технологій шифрування для забезпечення захисту даних, що передаються між компонентами системи.

Для підвищення безпеки в програмному забезпеченні впроваджені механізми моніторингу та оповіщення, які дозволяють своєчасно виявляти аномалії та підозрілі дії, що можуть свідчити про загрозу або несправності в системі. Це включає в себе застосування багаторівневих аутентифікаційних процедур для доступу до критичних компонентів програмного забезпечення.

Програмне забезпечення для інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережу має значний потенціал для подальшого розвитку завдяки новітнім технологіям, таким як штучний інтелект та машинне навчання. Впровадження цих технологій дозволить зробити алгоритми прогнозування та оптимізації ще точнішими й ефективнішими, що дозволить більш ефективно управляти енергетичними потоками, прогнозувати попит на енергію та адаптувати систему до змінюваних умов.

Крім того, інтеграція з іншими системами енергетичного управління, такими як розумні будинки або інші джерела відновлювальної енергії, може допомогти створити єдину енергетичну екосистему. Це дозволить покращити ефективність споживання енергії на локальному рівні, забезпечити більш якісне обслуговування споживачів і знизити навантаження на централізовану енергетичну мережу.

3.4. Тестування апаратної частини

Тестування апаратної частини є важливим етапом у процесі впровадження системи інтеграції сонячних станцій у смарт-мережу. Воно починається з перевірки кожного окремого елементу, оскільки кожен компонент системи відіграє свою ключову роль у забезпеченні її ефективності та надійності. Це включає сонячні

панелі, інвертори, акумуляторні системи та контролери заряду, які мають бути перевірені за різних умов роботи. Враховуючи, що ці елементи піддаються впливу зовнішнього середовища, тестування вимагає ретельного аналізу їх роботи при змінних параметрах, таких як рівень освітленості, температура, вологість та інші атмосферні фактори.

Початкове тестування сонячних панелей має на меті перевірити їх ефективність у процесі перетворення сонячної енергії на електричну. Для цього проводяться вимірювання потужності панелей в різних умовах освітлення та температури. Важливим аспектом є також стійкість панелей до погодних умов, таких як сильні вітри, сніг, дощ чи інші екстремальні явища. Тому тестування охоплює також механічну стійкість та довговічність матеріалів панелей у різних кліматичних умовах. Крім того, оцінюється їх здатність працювати при змінних умовах освітлення, що є важливим аспектом для досягнення високої ефективності.

Що стосується інверторів, то їх тестування полягає в перевірці стабільності роботи при різних навантаженнях. Інвертори виконують важливу функцію перетворення постійного струму в змінний, що необхідно для підключення до електричної мережі. Тому особлива увага приділяється перевірці їх здатності підтримувати стабільний вихідний сигнал при змінних навантаженнях. Паралельно перевіряється відповідність вихідної енергії інвертора вимогам стандартів якості електричної енергії, оскільки це безпосередньо впливає на стабільність і безпеку роботи всього енергетичного комплексу.

Акумуляторні системи тестуються з метою визначення їх ефективності при зарядці та розрядці. Важливо оцінити їх здатність зберігати енергію протягом тривалого часу, а також швидкість зарядки та розрядки. Крім того, перевіряються характеристики акумуляторів щодо витримки великої кількості циклів заряду та розряду, що дозволяє з'ясувати, наскільки ефективно вони працюватимуть у довгостроковій перспективі без значного зниження ємності.

Тестування програмного забезпечення є не менш важливим етапом, оскільки саме воно забезпечує ефективне управління та моніторинг роботи всієї системи інтеграції сонячних станцій. Програмне забезпечення має бути здатне управляти не

лише фізичними компонентами, але й забезпечувати реальний моніторинг та аналіз енергетичних потоків, що мають бути адаптовані до змінних умов. Один із основних аспектів програмного тестування полягає у перевірці алгоритмів, які відповідають за автоматичне управління енергетичними потоками та забезпечення безперебійної роботи системи.

Один з ключових етапів полягає у тестуванні алгоритмів MPPT (Maximum Power Point Tracking), які спрямовані на максимізацію ефективності збору енергії від сонячних панелей. Це тестування проводиться при різних рівнях освітленості та температури, щоб переконатися, що алгоритм здатен адаптуватися до змінних умов та ефективно налаштовувати параметри системи для досягнення максимального збору енергії. Крім того, особливу увагу приділяють перевірці алгоритмів зарядки та розрядки акумуляторних систем, адже неправильне управління цими процесами може призвести до перегріву або пошкодження батарей. Алгоритми повинні точно враховувати не лише поточний стан батарей, але й можливі зміни навантаження в майбутньому, що допомагає уникнути перевантажень і забезпечити тривалий термін служби акумуляторів.

Іншим важливим аспектом є тестування системи моніторингу, яка здійснює збір даних з усіх компонентів системи: сонячних панелей, інверторів, акумуляторів, а також різноманітних датчиків, що використовуються для збору інформації про температуру, вологість та інші параметри. Тестується точність вимірювань, а також наявність затримок у передачі даних, що є критичним для своєчасного реагування на зміни в енергетичних потоках. Особливо важливо забезпечити швидку обробку інформації, адже система має реагувати на зміни у реальному часі для збереження оптимальної роботи.

Після завершення тестування апаратної та програмної частини важливим етапом є оптимізація системи. Це включає збір даних з усіх проведених тестів і аналіз ефективності роботи кожного компонента системи. Метою оптимізації є налаштування алгоритмів та параметрів системи для досягнення максимальної продуктивності, зниження витрат енергії та забезпечення стабільності роботи.

Оптимізація роботи сонячних панелей вимагає налаштування алгоритмів MPPT, що дозволяє максимізувати вихідну потужність панелей в умовах змінного освітлення і температури. Крім того, важливим аспектом є налаштування кута нахилу панелей, що дає можливість значно підвищити їх ефективність при різних погодних умовах. У цьому процесі також враховуються дані про сонячну інсоляцію на конкретній території для точного налаштування системи.

Оптимізація акумуляторних систем вимагає ретельної настройки процесу зарядки для запобігання перевантаженням і забезпечення рівномірного розподілу енергії між акумуляторами та іншими компонентами системи. Оскільки акумулятори мають обмежений ресурс, їх оптимальне використання є ключовим фактором для забезпечення довговічності та ефективності всієї енергетичної системи.

Алгоритми управління енергетичними потоками також потребують вдосконалення, оскільки правильне прогнозування попиту на енергію та адаптація до змінних умов є критичними для стабільної роботи системи. Цей процес включає розробку алгоритмів для оптимального використання енергії в умовах змінного навантаження та генерації енергії, що дозволяє значно знизити витрати на обслуговування і зберігання енергії.

Оцінка результатів тестування та оптимізації є завершальним етапом цього процесу. Після виконання тестів та впровадження оптимізаційних змін, необхідно порівняти отримані результати з початковими даними, щоб визначити ефективність змін. Це дозволяє не лише оцінити покращення в роботі окремих компонентів, а й перевірити, чи вдалося досягти загальної стабільності та ефективності роботи системи.

Оцінка ефективності генерації енергії дозволяє визначити, наскільки ефективно сонячні панелі здатні генерувати електричну енергію в умовах різного освітлення і температури. Це допомагає виявити можливі слабкі місця та визначити оптимальні умови для їх роботи. Водночас оцінка ефективності зберігання енергії з'ясовує, як акумулятори справляються з віддачею збереженої енергії в пікові години попиту, а також їх здатність працювати протягом тривалого часу без значного зниження ємності.

Стабільність роботи системи є ще одним важливим аспектом, оскільки смарт-мережа повинна працювати безперебійно, навіть при змінних умовах навантаження або несподіваних аваріях. Визначення економічної ефективності включає аналіз витрат на обладнання, монтаж, обслуговування та порівняння їх з вигодами від зниження споживання традиційної електричної енергії. Це дозволяє визначити не лише технічну, а й економічну доцільність впровадження таких систем.

Таким чином, тестування, оптимізація та оцінка результатів є критично важливими етапами для забезпечення стабільної та ефективної роботи системи інтеграції сонячних станцій у смарт-мережу.

3.5. Висновки до розділу

Обґрунтовано вибір апаратного та програмного забезпечення для системи, зокрема використання інверторів Atern 10200w, акумуляторних систем LVFU та Raspberry Pi 4 для моніторингу й управління.

Розроблено методи інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережі, що включають проектування апаратної частини та створення програмного забезпечення для моніторингу, управління та аналізу даних.

Проведено тестування і оптимізацію системи, що дозволило досягти високої ефективності роботи, зокрема в оптимізації роботи сонячних панелей та акумуляторних систем, а також управлінні енергетичними потоками для стабільної роботи смарт-мережі.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці

У інтеграції СЕС на автономних підстанціях, коли спостерігається тривала перерва в електропостачанні, є складним і високоризиковим процесом, що вимагає особливої уваги до охорони праці. Враховуючи специфіку таких робіт, перш за все необхідно забезпечити безпеку персоналу, що проводить монтажні роботи. Роботи з підвищеним ризиком, до яких відноситься монтаж обладнання на підстанціях, повинні виконуватись згідно до вимог

Основними етапами мантажів є:

1.Оцінка небезпек і визначення рівня ризиків для персоналу.

2.Визначення безпечних зон для працівників, з урахуванням загрози електричного удару, вибуху чи пожежі.

3. Виконання робіт з підвищеними вимогами до захисту персоналу, включаючи використання засобів індивідуального захисту (ІЗЗ), таких як ізольовані рукавички, захисні каски, спецодяг та взуття, що забезпечують належну ізоляцію від електричного струму.

Персонал, що працює на аварійних ділянках, повинен бути забезпечений інструкціями щодо безпеки праці в екстремальних умовах. Також передбачено застосування спеціальних ізольованих інструментів і пристроїв, що мінімізують ризик ураження електричним струмом.

Безпека при роботі з електричним обладнанням під час монтажу, де можливе перебування електричних установок під високою напругою, дотримання норм електробезпеки є критичним. Роботи в електричних мережах повинні проводитися лише після повного відключення електропостачання та обов'язкової перевірки відсутності напруги за допомогою спеціальних електровимірювальних приладів.

До робіт на підстанціях можуть залучатися тільки фахівці, які мають відповідну кваліфікацію та пройшли відповідні. Всі роботи, пов'язані з електричним

обладнанням, необхідно виконувати тільки в спеціальному одязі, яке забезпечує належний рівень захисту від електричних пошкоджень.

У всіх зонах робіт має бути забезпечено належне освітлення для безпечного виконання робіт, особливо вночі або за умов недостатньої природної видимості.

4.2. Організація рятувальних робіт та евакуації

Організація рятувальних робіт та евакуації

У разі аварії на автономних підстанціях, що призводить до тривалої перерви в електропостачанні, необхідно організувати рятувальні роботи та евакуацію персоналу. Важливим аспектом у таких ситуаціях є швидкість та ефективність реагування. Згідно з ДНАОП 0.00-1.08-98 «Пожежна безпека при роботі на електричних підстанціях», евакуація персоналу повинна бути здійснена у найкоротший термін, з обов'язковим дотриманням протипожежних та безпечних умов.

Під час організації рятувальних робіт необхідно враховувати такі аспекти:

- Наявність спеціальних маршрутів евакуації та їх позначення.
- Використання спеціальних засобів для евакуації в разі небезпеки для здоров'я та життя персоналу (наприклад, використання пожежних сходів, спеціальних ліфтів).
- Забезпечення комунікацій між рятувальними бригадами для координації дій.

Для координації роботи рятувальних підрозділів і ефективного виконання евакуації слід використовувати сучасні засоби зв'язку, які мають бути доступні на кожному етапі ліквідації аварії.

Підготовка персоналу до аварійних ситуацій

Для запобігання нещасним випадкам і підвищення ефективності ліквідації наслідків аварій на автономних підстанціях необхідно постійно проводити навчання та тренування персоналу. Підготовка персоналу до аварійних ситуацій», навчання персоналу повинно охоплювати наступні етапи:

- Ознайомлення з правилами безпеки та вимогами до обладнання і засобів індивідуального захисту.
- Практичні заняття з ліквідації наслідків аварій в умовах, наближених до реальних.
- Навчання з надання першої медичної допомоги та правильного користування засобами порятунку.

Навчання повинні проводитись за відповідними програмами та під керівництвом кваліфікованих інструкторів, які мають досвід роботи в аварійних ситуаціях. Регулярні тренування допомагають підвищити рівень підготовленості персоналу та забезпечують їх швидке реагування в умовах аварії.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання цієї кваліфікаційної роботи було проведено ґрунтовне дослідження методів та інструментів для інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережі, що є важливою складовою розвитку сучасних енергетичних систем. Процес інтеграції сонячної енергії в смарт-мережі надає можливість не лише знизити навантаження на традиційні джерела енергії, але й досягти високих показників енергоефективності, зниження викидів парникових газів і забезпечення енергетичної безпеки.

У першому розділі роботи було розглянуто основи та принципи функціонування сонячних електростанцій, їхні переваги та недоліки в порівнянні з іншими відновлювальними джерелами енергії. Особливу увагу було приділено ключовим характеристикам сонячних панелей, інверторів, систем зберігання енергії та контролерів заряду, що є основними компонентами таких систем.

Другий розділ зосереджено на аналізі теоретичних аспектів інтеграції сонячних станцій у смарт-мережі. Вивчені технології і методи, що використовуються для забезпечення оптимального функціонування таких систем, та їхні впливи на стабільність та ефективність енергетичних мереж. Одним із ключових аспектів стало визначення економічної ефективності таких інвестицій, що дозволяє зробити обґрунтовані висновки щодо перспектив розвитку сонячної енергетики.

Третій розділ містить практичну частину, де було проведено розробку нових методів інтеграції сонячних станцій у смарт-мережі. Це включає проектування апаратної частини, створення програмного забезпечення для моніторингу та управління, а також проведення аналізу й тестування розроблених рішень. Показано, як використання сучасних технологій дозволяє підвищити ефективність і надійність роботи системи, що має велике значення для впровадження в реальних умовах.

Таким чином, проведена робота є значущим внеском у розвиток теорії та практики інтеграції сонячних станцій у смарт-мережі. Використання таких систем сприятиме зниженню залежності від традиційних джерел енергії, розвитку відновлювальної енергетики та реалізації концепції сталого розвитку. Розроблені

методи і технології можуть бути використані для подальших досліджень і практичних застосувань у сфері енергетичних систем нового покоління.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Луцик Н.С., Луцків А.М., Осухівська Г.М., Тиш Є.В. Програма та методичні рекомендації з проходження практики за тематикою кваліфікаційної роботи для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» другого (магістерського) рівня вищої освіти усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ. 2024. 45 с.
2. Луцик Н.С., Луцків А.М., Осухівська Г.М., Тиш Є.В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи магістра для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» другого (магістерського) рівня вищої освіти усіх форм навчання. Тернопіль. 2024. 44 с.
3. Варавін А.В., Лецишин Ю.З., Чайковський А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Дослідження і проєктування комп'ютерних систем та мереж» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 32 с.
4. Агєєв О.В., Рябов В.В., Буркальцев М.А. Основи енергетичних систем та відновлювальних джерел енергії: навчальний посібник. Київ: Академвидав, 2023. 300 с.
5. Коваленко І.П., Гнатюк М.О. Інтеграція відновлювальних джерел енергії в енергетичні системи. Київ: Вища школа, 2022. 235 с.
6. Болгар М.С., Гузь І.В. Смарт-мережі: концепції, технології, стандарти. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2023. 220 с.
7. Мельник О.І., Демченко О.А. Технології інтеграції сонячних електростанцій у смарт-мережі. Журнал "Енергетика та екологія", 2022. №4. С. 56–65.
8. Гордєєв С.М. Розробка моделей та алгоритмів для балансування енергії в смарт-мережах з використанням сонячних електростанцій. Журнал "Енергетичні технології", 2024. Т. 29. №1. С. 102–118.
9. REN21. Renewables 2023 Global Status Report. URL: <https://www.ren21.net/gsr-2023> (дата звернення: 10.12.2024).
10. Koussa A., Mohamed A., Zayen B. Integration of Solar Power Plants into Smart

Grids: A Comprehensive Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2023. Vol. 157. P. 110178.

11. ДСТУ 8604:2015. Системи електропостачання. Керівні положення щодо проектування та експлуатації. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71028 (дата звернення: 15.12.2024).

12. Технічний регламент щодо інтеграції відновлювальних джерел енергії в смарт-мережі. Міністерство енергетики України. Київ, 2024. URL: <https://www.mee.gov.ua> (дата звернення: 20.12.2024).

13. 1 Zhang, L., Li, Y., Tang, X. Smart Grid Technologies and Their Applications for Renewable Energy Integration. Springer, 2022. 288 p.

14. Zhao, Z., Yao, J., & Zhang, H. Smart Grids: Advanced Technologies and Applications for Renewable Energy Integration. Elsevier, 2023. 412 p.

15. Козачук О.А. Моделі управління енергетичними системами на основі відновлювальних джерел енергії. Харків: ХНУ, 2023. 180 с.

16. "A Guide to Smart Grid Technologies". IEEE Smart Grid, 2024. URL: <https://smartgrid.ieee.org> (дата звернення: 25.12.2024).

17. Гельман В.Г. Основи проектування і експлуатації систем збереження енергії для сонячних електростанцій. Київ: НТУУ "КПІ", 2023. 160 с.

18. Solar Energy Integration in Smart Grids: Review and Perspectives. Journal of Renewable Energy, 2024. Vol. 60. P. 45–59.

19. Прогнозування та оптимізація роботи смарт-мереж із сонячними електростанціями: сучасні методи та інструменти. URL: <https://www.researchgate.net/publication/340123456> (дата звернення: 12.12.2024).

20. Стручок В.С. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2022. 150 с.

21. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання. Тернопіль: ТНТУ. 2022. 155 с.

22. Кухар І. О., Осухівська Г.М. Інтеграція сонячних електростанцій у Smart Grid: сучасні рішення та глобальні тренди. Тернопіль: 2024

23. Кухар І. О., Осухівська Г.М. Інтеграція відновлювальних джерел енергії в розумні електричні мережі з використанням передових технологій. Тернопіль: 2024

24.

Додаток А. Тези конференцій

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ІВАНА ПУЛЮЯ
НАУКОВЕ ТОВАРИСТВО ім. ШЕВЧЕНКА

МАТЕРІАЛИ

ХІІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



18–19 грудня 2024 року

ТЕРНОПІЛЬ
2024

УДК 004.451:656.025.2

I. O. Kukhar

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В РОЗУМНІ ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРЕДОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

UDC 004.451:656.025.2

I. O. Kukhar

INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO SMART GRIDS USING ADVANCED TECHNOLOGIES

Інтеграція відновлювальних джерел енергії в розумні електричні мережі є критично важливою для зниження залежності від традиційних джерел енергії та сприяє розвитку сталих енергетичних систем, що знижує викиди вуглецю та підвищує енергетичну незалежність. Цей процес є ключовим для забезпечення сталого розвитку енергетичних систем в умовах глобальних змін клімату.

Новітні моделі планування і прогнозування, що використовують стохастичні підходи, допомагають ефективно враховувати коливання попиту та пропозиції енергії. Це особливо важливо для стабільної роботи мереж з високою часткою відновлювальних джерел енергії, таких як сонячні та вітрові станції, що мають значні коливання в залежності від погодних умов. Смарт-мережі сприяють ефективному управлінню енергоспоживанням, знижуючи ризики перевантаження та оптимізуючи використання енергії. Це дозволяє підтримувати баланс між попитом і пропозицією енергії, що є особливо важливим при інтеграції змінних відновлювальних джерел, таких як сонячні та вітрові електростанції. Створення гнучкої інформаційної архітектури для управління розподілом енергії дозволяє зменшити втрати енергії та підвищити надійність енергетичних систем. Це дає можливість інтегрувати різні джерела енергії в єдину мережу, що є необхідним для сталого розвитку енергетичних систем в умовах високої частки відновлювальних джерел. Уряди багатьох країн активно підтримують модернізацію енергетичних систем, інвестуючи в інфраструктуру для інтеграції відновлювальних джерел. Наприклад, в Таїланді до 2037 року планується отримувати третину енергії з відновлювальних джерел, а в Нью-Йорку активно оновлюються енергомережі для переходу на чисту енергію до 2040 року.

Література

1. McKinsey & Company. Innovation at Work.URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/innovation-at-work>.
2. Innovation at Work. Integration of Renewable Energy in Smart Grids.URL: <https://www.innovationatwork.com/articles/integrating-renewable-energy-in-smart-grids>.

УДК 004.451:656.025.2

I. О. Кухар

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В РОЗУМНІ ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРЕДОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

UDC 004.451:656.025.2

I. O. Kukhar

INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO SMART GRIDS USING ADVANCED TECHNOLOGIES

Інтеграція відновлювальних джерел енергії в розумні електричні мережі є критично важливою для зниження залежності від традиційних джерел енергії та сприяє розвитку сталих енергетичних систем, що знижує викиди вуглецю та підвищує енергетичну незалежність. Цей процес є ключовим для забезпечення сталого розвитку енергетичних систем в умовах глобальних змін клімату.

Новітні моделі планування і прогнозування, що використовують стохастичні підходи, допомагають ефективно враховувати коливання попиту та пропозиції енергії. Це особливо важливо для стабільної роботи мереж з високою часткою відновлювальних джерел енергії, таких як сонячні та вітрові станції, що мають значні коливання в залежності від погодних умов. Смарт-мережі сприяють ефективному управлінню енергоспоживанням, знижуючи ризики перевантаження та оптимізуючи використання енергії. Це дозволяє підтримувати баланс між попитом і пропозицією енергії, що є особливо важливим при інтеграції змінних відновлювальних джерел, таких як сонячні та вітрові електростанції. Створення гнучкої інформаційної архітектури для управління розподілом енергії дозволяє зменшити втрати енергії та підвищити надійність енергетичних систем. Це дає можливість інтегрувати різні джерела енергії в єдину мережу, що є необхідним для сталого розвитку енергетичних систем в умовах високої частки відновлювальних джерел. Уряди багатьох країн активно підтримують модернізацію енергетичних систем, інвестуючи в інфраструктуру для інтеграції відновлювальних джерел. Наприклад, в Таїланді до 2037 року планується отримувати третину енергії з відновлювальних джерел, а в Нью-Йорку активно оновлюються енергомережі для переходу на чисту енергію до 2040 року.

Література

1. McKinsey & Company. Innovation at Work.URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/innovation-at-work>.
2. Innovation at Work. Integration of Renewable Energy in Smart Grids.URL: <https://www.innovationatwork.com/articles/integrating-renewable-energy-in-smart-grids>.

Додаток Б.

Код програми

Лістинг коду 1 – моніторинг рівня заряду

```

import time
import random

class Battery:
    def __init__(self, capacity, charge_level=0):
        self.capacity = capacity # Максимальна ємність акумулятора
        self.charge_level = charge_level # Поточний рівень заряду

    def charge(self, amount):
        """Заряджає акумулятор на задану кількість енергії."""
        self.charge_level += amount
        if self.charge_level > self.capacity:
            self.charge_level = self.capacity
        print(f"Рівень заряду акумулятора: {self.charge_level}
кВт·год")

    def discharge(self, amount):
        """Витрачає енергію з акумулятора."""
        self.charge_level -= amount
        if self.charge_level < 0:
            self.charge_level = 0
        print(f"Рівень заряду акумулятора: {self.charge_level}
кВт·год")

    def status(self):
        """Показує поточний стан акумулятора."""
        return self.charge_level

# Імітація процесу заряджання та розряджання
battery = Battery(capacity=10) # Ємність акумулятора 10 кВт·год
while True:
    action = random.choice(['charge', 'discharge'])
    amount = random.randint(1, 3)
    if action == 'charge':
        battery.charge(amount)
    elif action == 'discharge':
        battery.discharge(amount)
    time.sleep(2) # Затримка між операціями

```