

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

SCADA-система моніторингу та керування резервним електроживленням


Назва теми

Рівень вищої освіти Перший (бакалаврський)
Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування
Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

КВРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ

Шифр

Виконав здобувач 4 курсу, група АКІТ-22-1
Шифр


Підпис

Юрій ПАВЛОВСЬКИЙ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник канд. техн. наук, доц.
Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Ірина ФОРКУН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер канд. техн. наук, доц.
Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Галина РАДЕЛЬЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки


Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

13.06.2026 р.
Дата

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Інформаційних технологій
 Кафедра Автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
 Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування
 Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКИТтаР

Людмила КОРЕЦЬКА 

07 лютого 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
 НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
 Павловському Юрію Михайловичу**

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи SCADA-система моніторингу та керування резервним електроживленням

Керівник роботи Форкун Ірина Валеріївна, канд. техн. наук, доц.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 20.01.2026 р. № 7

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.06.2026 р.

3 Вихідні дані до роботи Матеріали переддипломної практики

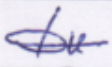
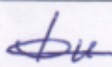
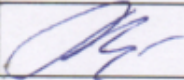
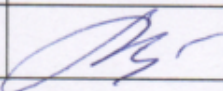
4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Дослідження предметної області та огляд джерел. Теоретичні основи побудови SCADA-систем для систем накопичення енергії. Застосування SCADA-систем у мікромережах та резервному електроживленні

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---------------|---|--|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Антиплагіат | Федула М. В., доцент кафедри АКИТтаР |  |  |
| Нормоконтроль | Радельчук Г. І., доцент кафедри АКИТтаР |  |  |

7 Дата видачі завдання 07 лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

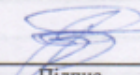
| Назва розділу кваліфікаційної роботи | Строк виконання | Примітка |
|--|-----------------|----------|
| 1 Вступ | 15.03.2026 | Виконано |
| 2 Дослідження предметної області та огляд джерел | 15.30.2026 | Виконано |
| 3 Теоретичні основи побудови scada-систем для систем накопичення енергії | 15.04.2026 | Виконано |
| 4 Застосування scada-систем у мікромережах та резервному електроживленні | 30.04.2026 | Виконано |
| 5 Оформлення пояснювальної записки до КРБ | 15.05.2026 | Виконано |
| 6 Оформлення пояснювальної записки до КвР | 25.05.2026 | Виконано |
| 7 Оформлення презентаційних матеріалів | 30.05.2026 | Виконано |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Студент


Підпис

Юрій ПАВЛОВСЬКИЙ
Ім'я, ПРИЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Ірина ФОРКУН
Ім'я, ПРИЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «SCADA-система моніторингу та керування резервним електроживленням».

Автор роботи: Юрій ПАВЛОВСЬКИЙ

Керівник роботи: Ірина ФОРКУН

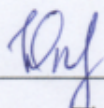
Пояснювальна записка: 67 с., 20 рис., 41 джерело.

Графічна частина: 9 презентаційних слайдів.

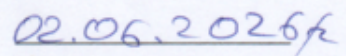
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, АКУМУЛЯТОРНІ БАТАРЕЇ, ДИСПЕТЧЕРСЬКЕ КЕРУВАННЯ, МІКРОМЕРЕЖА, РЕЗЕРВНЕ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ, СИСТЕМА НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ, SCADA-СИСТЕМА, SMART GRID.

Метою роботи є дослідження принципів побудови та функціонування SCADA-систем моніторингу і керування резервним електроживленням, а також аналіз можливостей їх використання для підвищення надійності та ефективності систем електропостачання.

Отримані результати підтверджують доцільність використання SCADA-технологій для побудови сучасних систем моніторингу та керування резервним електроживленням, які можуть бути інтегровані до мікромереж, систем накопичення енергії та інтелектуальних енергетичних мереж. Подальший розвиток таких систем сприятиме підвищенню енергоефективності, надійності електропостачання та рівня автоматизації енергетичної інфраструктури.



Підпис студента



Дата

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 6 |
| 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ | 9 |
| 1.1 Аналіз сучасного стану SCADA-систем моніторингу та керування електроживленням..... | 9 |
| 1.2 Аналіз ринку систем моніторингу та керування електроживленням | 16 |
| 1.3 Концепція Smart Grid та розвиток інтелектуальних енергомереж..... | 18 |
| 1.4 Висновки до першого розділу | 21 |
| 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ SCADA-СИСТЕМ ДЛЯ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ | 23 |
| 2.1 SCADA-системи у складі систем накопичення енергії | 23 |
| 2.2 Функції SCADA у системах накопичення енергії та їх взаємодія з електромережою | 24 |
| 2.3 Логіка керування системою накопичення енергії..... | 26 |
| 2.4 Алгоритм керування рівнем заряду акумуляторних батарей..... | 27 |
| 2.5 Висновки до другого розділу | 29 |
| 3 ЗАСТОСУВАННЯ SCADA-СИСТЕМ У МІКРОМЕРЕЖАХ ТА РЕЗЕРВНОМУ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННІ..... | 31 |
| 3.1 Керування системою накопичення енергії за допомогою SCADA..... | 31 |
| 3.2 Функціонування мікромереж під керуванням SCADA | 36 |

| | | | | | | | | |
|-----------|------|------------------|-----------------|----------|---|----------------|------|---------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | SCADA-система моніторингу та керування резервним електроживленням Пояснювальна записка | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Розроб. | | Павловський Ю.М. | <i>[Підпис]</i> | 02.06.16 | | | | |
| Перевір. | | Форкун І.В. | <i>[Підпис]</i> | 01.06.16 | | | 4 | 67 |
| Реценз. | | | <i>[Підпис]</i> | | | | | |
| Н. контр. | | Радельчук Г. І. | <i>[Підпис]</i> | 13.06.16 | | | | |
| Затверд. | | Корецька Л. О. | <i>[Підпис]</i> | 13.06.16 | | | | |
| | | | | | | ХНУ, АКІТ-22-1 | | |

| | |
|---|----|
| 3.3 SCADA для автономної системи резервного електроживлення на основі групи джерел живлення | 40 |
| 3.4 Логіка режимів роботи системи моніторингу та керування | 46 |
| 3.5 Управління та контроль енергоспоживанням | 49 |
| 3.6 Інтеграція системи в енергомережі та віртуальні електростанції | 54 |
| 3.7 Висновки до третього розділу | 58 |
| ВИСНОВКИ | 60 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ..... | 62 |

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 5 |

ВСТУП

Сучасні промислові підприємства, об'єкти критичної інфраструктури, заклади охорони здоров'я, серверні приміщення та інші споживачі електроенергії висувають підвищені вимоги до надійності електропостачання. Навіть короточасне зникнення напруги в електричній мережі може призвести до порушення технологічних процесів, втрати даних, виходу з ладу обладнання та значних економічних збитків, у зв'язку з цим особливої актуальності набуває використання систем резервного електроживлення, які забезпечують безперервне функціонування об'єктів під час аварійних або планових відключень основного джерела живлення.

Ефективність роботи систем резервного електроживлення значною мірою залежить від рівня автоматизації процесів контролю та керування. Для реалізації таких завдань широко використовуються SCADA-системи, які забезпечують централізований моніторинг обладнання, збір та архівування технологічних даних, візуалізацію параметрів роботи системи, формування аварійних повідомлень та дистанційне керування виконавчими пристроями.

Сучасні SCADA-системи дозволяють інтегрувати в єдине інформаційне середовище джерела безперебійного живлення, акумуляторні батареї, інвертори, дизельні генератори, автоматичні перемикачі навантаження та інше електротехнічне обладнання. Завдяки цьому забезпечується оперативне виявлення аварійних ситуацій, автоматичне перемикання між джерелами живлення та контроль технічного стану елементів системи в режимі реального часу. Додатковим фактором розвитку систем резервного електроживлення є впровадження концепцій Smart Grid, мікромереж та систем накопичення енергії. Використання акумуляторних батарей і відновлюваних джерел енергії дозволяє підвищити енергоефективність об'єктів та зменшити залежність від централізованих мереж електропостачання. У таких умовах SCADA-системи

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 6 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

виступають основним інструментом координації роботи всіх компонентів енергетичної системи.

Актуальність роботи полягає у необхідності підвищення надійності електропостачання шляхом розробки та впровадження SCADA-систем моніторингу та керування резервним електроживленням, які забезпечують автоматизацію процесів контролю, оперативне реагування на аварійні ситуації та ефективне використання енергетичних ресурсів.

Метою роботи є дослідження принципів побудови та функціонування SCADA-систем моніторингу і керування резервним електроживленням, а також аналіз можливостей їх використання для підвищення надійності та ефективності систем електропостачання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасного стану SCADA-систем моніторингу та керування електроживленням;
- виконати огляд існуючих рішень та тенденцій розвитку систем автоматизації електроенергетичних об'єктів;
- дослідити особливості застосування SCADA у системах накопичення енергії;
- розглянути принципи функціонування мікромереж та інтеграції резервних джерел живлення;
- проаналізувати алгоритми керування акумуляторними батареями та контролю рівня їх заряду;
- дослідити можливості використання SCADA для моніторингу та керування системами резервного електроживлення;
- розглянути інтеграцію систем резервного електроживлення до сучасних інтелектуальних енергетичних мереж.

Об'єктом дослідження є системи резервного електроживлення на базі акумуляторних батарей, сонячних панелей з інверторами, дизельних генераторів та інших джерел енергії.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 7 |

Предметом дослідження є методи моніторингу, диспетчерського керування та автоматизації систем резервного електроживлення із застосуванням SCADA-технологій.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів під час проєктування та впровадження систем моніторингу й керування резервним електроживленням на промислових підприємствах, об'єктах критичної інфраструктури та в локальних системах.

Структура роботи складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел. У першому розділі проведено аналіз предметної області та існуючих рішень. У другому розділі розглянуто теоретичні основи побудови SCADA-систем для систем накопичення енергії. Третій розділ присвячено практичним аспектам застосування SCADA у системах резервного електроживлення, мікромережах та віртуальних електростанціях.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 8 |

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ

1.1 Аналіз сучасного стану SCADA-систем моніторингу та керування електроживленням

SCADA-систем моніторингу та керування електроживленням також може називатися мікромережею, але подібний термін не враховує використання SCADA технології, тому розроблювана система буде мікромережею з використанням SCADA. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) - це програмно-апаратний комплекс для диспетчерського керування, моніторингу та збору даних із промислових або технічних систем у реальному часі, головна різниця порівняно зі звичайною програмою для контролю – SCADA системи не потребують комп'ютеру чи мікроконтролеру для роботи програми і прямують напряду з програмованим логічним контролером використовуючи дисплей та кнопки для виконання керування, з можливістю використання керування через комп'ютер або віддалений сервер.

Мікромережа визначається як локальна, потенційно автономна низьковольтна мережа. Міністерство енергетики США описує мікромережу як “групу взаємопов’язаних навантажень та розподілених енергетичних ресурсів з чітко визначеними електричними межами, яка діє як єдиний керований об’єкт відносно мережі та може підключатися та відключатися від мережі, щоб забезпечити її роботу як у мережевому, так і в ізольованому режимі”. Основні переваги мікромереж полягають у зменшенні викидів та забезпеченні електропостачанням територій, які раніше не мали доступу до електроенергії. Значна частина мікромереж базується на локальних, автономних і стійких джерелах енергії, що відіграють важливу роль у формуванні надійного та доступного електропостачання. Протягом останніх десятиліть актуальність мікромереж суттєво зросла, що зумовлено двома основними чинниками.

Перший чинник - суттєвий розвиток технологій розподілених джерел енергії (Distributed Energy Resources), зокрема сонячних панелей, а також

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

систем розподіленого накопичення енергії (Distributed Energy Storage), таких як літій-іонні акумуляторні батареї, створює нові можливості для розвитку енергетичного сектору в економічно розвинених регіонах.

Другий чинник - у світі активно триває процес електрифікації сільських та віддалених районів країн, що розвиваються, зокрема держав Африки на південь від Сахари та країн Азії, що розвиваються.

З точки зору підключення до загальної мережі мікромережі поділяються на два основні типи: мережеві та автономні.

Мережеві мікромережі (grid-tied microgrids) підключаються до загальної електромережі, однак у разі необхідності можуть від'єднуватися від неї та працювати в автономному режимі. Точка підключення мікромережі до основної мережі називається точкою спільного приєднання (Point of Common Coupling, PCC). Для оператора енергосистеми така мікромережа розглядається як єдиний керований елемент мережі. Якщо порівнювати з ситуацією в Україні, приватний будинок який має сонячні панелі та акумулятори з інвертором, під'єднаний до загальної мережі є мережевою мікромережею, без прив'язки до факту чи передає власник мережі надлишкову енергію в загальну мережу чи лише використовує її.

Автономні мікромережі (isolated microgrids) функціонують як окремі локальні системи електропостачання, для яких підключення до централізованої мережі є складним або економічно недоцільним. Очікується, що до 2030 року приблизно 50-60% нових потужностей, необхідних для забезпечення доступу до електроенергії, реалізовуватимуться саме на основі таких мікромереж [3]. Найпростішим прикладом є будиночки на берегах річок які використовують сонячні панелі або екофлоу для живлення усієї мережі, через що вони відносяться до автономних мікромереж.

Впровадження мікромереж має низку переваг для різних учасників енергетичної системи.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| | | | | | | 10 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

Для кінцевих споживачів мікромережі забезпечують підвищення надійності електропостачання завдяки можливості резервного живлення під час аварійних ситуацій або відключень електроенергії. Розміщення джерел генерації поблизу споживачів сприяє зниженню ціни електроенергії та підвищенню енергетичної незалежності. Крім того, мікромережі створюють умови для розвитку локальних енергетичних спільнот та дозволяють зменшити витрати на електроенергію у довгостроковій перспективі, зменшуючи втрати на транспортуванні.

Для підприємств відповідальних за електромережі основними перевагами є зменшення втрат під час передачі та розподілу електроенергії, а також підвищення загальної енергоефективності мережі. Використання мікромереж сприяє збільшенню частки відновлюваних джерел енергії без необхідності повної модернізації існуючої інфраструктури електромереж. Також мікромережі забезпечують підвищення гнучкості енергосистеми, зокрема покращення регулювання частоти та напруги, оскільки локальні мережі є простішими для керування. Оператори можуть використовувати окремі мікромережі як резервні або аварійні джерела живлення.

Для держави розвиток мікромереж сприяє підвищенню енергетичної незалежності та стійкості енергосистеми до аварійних ситуацій, обстрілів і кібератак завдяки розподіленій генерації електроенергії. Крім того, трансформація енергетичного сектору позитивно впливає на появу нових напрямів бізнесу та створення робочих місць.

Мікромережі відповідають сучасним тенденціям трансформації енергетичного сектору та зміни структури власності енергетичних ресурсів. Завдяки поширенню розподілених енергетичних систем електроенергетика стає ближчою до кінцевих споживачів. Такий процес децентралізації енергосистем стимулює місцеві громади самостійно керувати власним енергоспоживанням, зменшувати витрати на електроенергію та скорочувати вуглецевий слід.

Мікромережі, оснащені системами накопичення енергії, можуть

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| | | | | | | 11 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

ефективно використовувати зміну тарифів на електроенергію в нічний час, що дозволяє знижувати експлуатаційні витрати завдяки раціональному використанню відновлюваних джерел енергії, для прикладу в певних містах України та країнах світу приватні будинки ставлять два різних лічильники, або комбінований для розділення рахунку на денний та нічний, з різною ціною для них. Використання мікромереж із можливістю накопичування створює додаткові можливості для закупівлі електроенергії у періоди низьких тарифів та використання накопиченої енергії у години підвищеної вартості. Це ще більше посилює тенденцію до децентралізованого управління та ведення статистики для енергетичних ресурсів.

Підходи до керування мікромережами можна умовно поділити на два основні типи:

- централізовані системи керування з головним керуючим агентом;
- мультиагентні системи, у яких рішення приймаються кількома взаємодіючими підсистемами, наприклад SCADA та EMS (Energy Management System).

В обох випадках мікромережі зазвичай проектуються відповідно до концепції plug-and-play, під'єднай і запускай, що передбачає можливість заміни або додавання окремих компонентів без необхідності повного перепроєктування системи.

Одними з основних систем керування мікромережею є SCADA та EMS. Система SCADA, як правило, відповідає за обмін даними між пристроями, моніторинг параметрів системи, безпосереднє керування обладнанням та короткострокове зберігання даних з датчиків та створення логів [12]. Система EMS має вищий рівень керування та орієнтується на довгострокове планування роботи енергосистеми, враховуючи тенденції енергоспоживання, прогнози погоди, тарифи на електроенергію та результати енергетичного аналізу, якщо побудована система повинна контролювати вироблення енергії або виконувати створення запасів в нічний час для економії та використання в денний час

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| | | | | | | 12 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

наявність Energy Management System є критично важливою для точної роботи системи та забезпечення найкращої роботи системи[13].

Стандартна будова мікромережі зображена на рисунку 1.1, EMS виконує аналіз та керування системою передаючи додаткові зміни в логіку роботи в SCADA, яка виконує передачу даних на рівень нижче, до PLC, до якого уже підключені усі модулі.

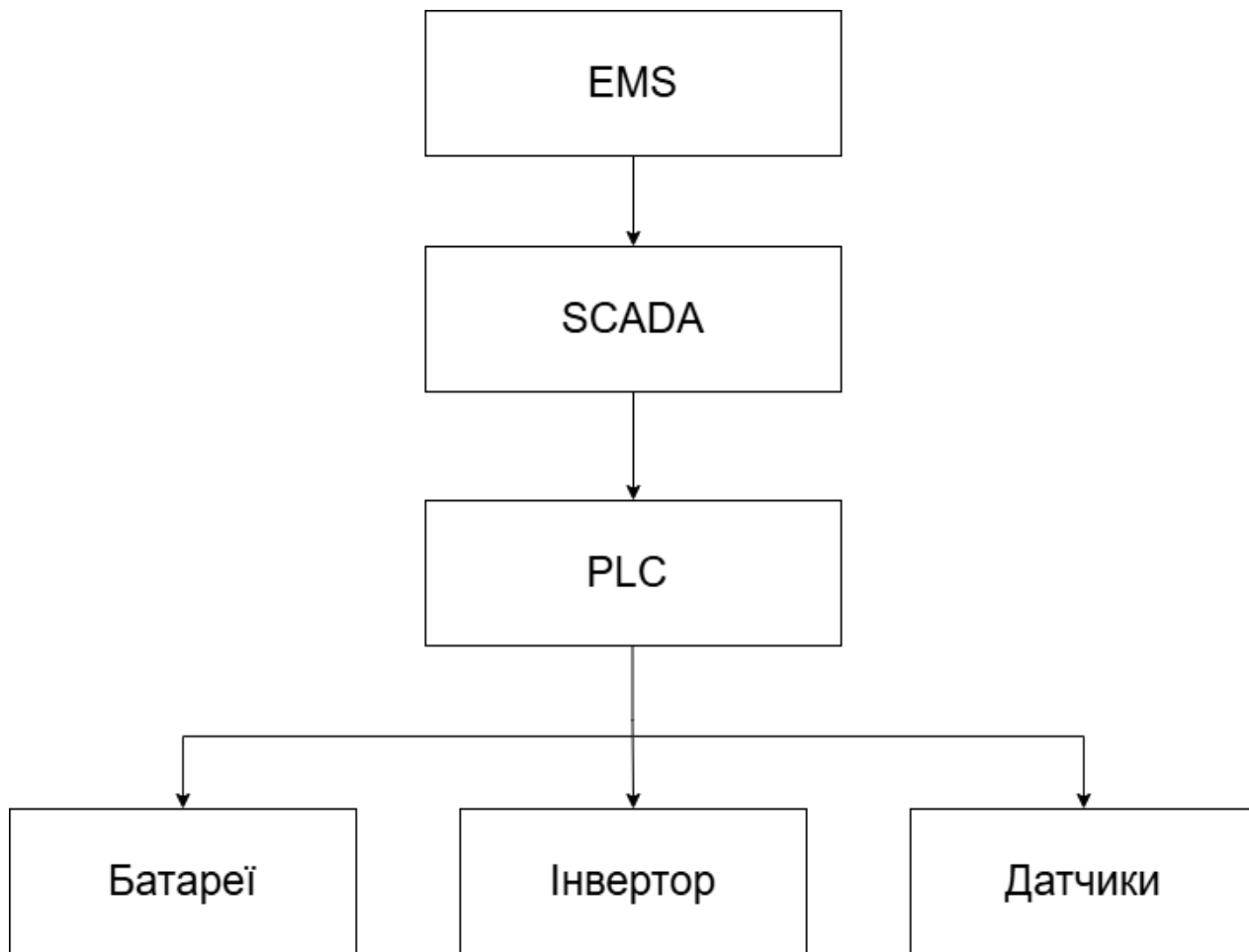


Рисунок 1.1 – Стандартна будова мікромережі

На сучасному ринку представлені як промислові SCADA-платформи, так і спеціалізовані системи керування енергоспоживанням.

Найбільш поширеними рішеннями є:

- Siemens WinCC;
- Ignition SCADA;

- Schneider Electric EcoStruxure;
- AVEVA System Platform;
- OpenSCADA;
- Citect SCADA.

Система Siemens WinCC широко використовується у промисловій автоматизації та енергетичних системах завдяки високій надійності, підтримці PLC Siemens та інтеграції з протоколами Modbus TCP, OPC UA та Profinet. Дане рішення часто застосовується для реалізації систем резервного електроживлення, диспетчеризації та автоматичного введення резерву, найбільшим її недоліком є її ціна, але контролери компанії Siemens не будуть стабільно працювати з неліцензійним програмним забезпеченням.

Платформа Ignition SCADA характеризується гнучкістю, підтримкою web-інтерфейсів та можливістю інтеграції з великою кількістю промислових протоколів. Завдяки модульній архітектурі Ignition активно використовується у сучасних системах моніторингу мікромереж та систем накопичення енергії.

Рішення Schneider Electric EcoStruxure орієнтоване на енергоменеджмент та автоматизацію енергетичних систем, частково маючи в собі функціонал SCADA та EMS. Платформа забезпечує моніторинг параметрів електромережі, контроль якості електроенергії, керування резервними джерелами живлення та аналіз енергоспоживання.

Окрему категорію складають open-source SCADA-системи, серед яких найбільш відомою є OpenSCADA. Такі рішення мають нижчу вартість впровадження та можуть використовуватись у навчальних або експериментальних проектах, однак часто поступаються комерційним платформам за рівнем технічної підтримки та функціональними можливостями, а також швидкістю обробки параметрів та потенційними затримками при довгій роботі системи, що не підходить до постійно працюючої системи контролю мережі.

Сучасні системи моніторингу електроживлення зазвичай включають елементи зображені на рисунку 1.2.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 14 |



Рисунок 1.2 – Компоненти систем моніторингу електроживлення

Важливим напрямом розвитку ринку є використання систем накопичення енергії Battery Energy Storage System, які дозволяють забезпечувати резервне електроживлення та оптимізувати енергоспоживання. Такі системи активно інтегруються із SCADA та EMS для реалізації інтелектуального керування енергоресурсами.

Поширення технологій Internet of Things (IoT), хмарних сервісів та web-SCADA також сприяє розвитку сучасних систем моніторингу електроживлення. Використання віддаленого доступу дозволяє здійснювати диспетчеризацію та контроль енергетичних систем у реальному часі незалежно від місця розташування оператора.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 15 |

Розвиток мікромереж зумовлює зростання ролі комунікаційних технологій в енергетичному секторі та посилення тенденції до децентралізації енергосистем. Для ефективного керування, широкого впровадження та подальшого переходу до децентралізованих технологій необхідним є використання уніфікованих стандартів і процедур, зокрема стандарту ІЕС 61850, а також сумісних універсальних компонентів. Це сприятиме більш ефективному обміну знаннями, спрощенню інтеграції обладнання та підвищенню ефективності досліджень у сфері мікромереж.

1.2 Аналіз ринку систем моніторингу та керування електроживленням

Протягом останніх років потужність мікромереж стрімко зростала та перевищила 2 ГВт. Світовий ринок мікромереж оцінюється приблизно у 12-17 млрд доларів США та, за прогнозами, мав збільшитися майже вдвічі до 2023 року. Такі показники свідчать про те, що ринок мікромереж перебуває на етапі активного розвитку та ще не досяг піку й максимального потенціалу.

Найбільше поширення технології мікромереж отримали у Північній Америці та країнах Азійсько-Тихоокеанського регіону, як видно з рисунку 1.3. Однією з головних причин подібного поширення є значна кількість ізольованих та неелектрифікованих територій у цих регіонах. Аналіз даних отриманих з досліджень різних журналів та організацій показують, що для забезпечення універсального доступу до електроенергії у країнах Азії, Африки та Латинської Америки понад 35% споживаної електроенергії до 2030 року має забезпечуватися саме автономними мікромережами. Подібна ситуація виникла в Україні через війну та постійні терористичні атаки на електромережі, як результат цілі міста залишаються без світла через централізовану систему електроживлення, доки окремі приватні будинки та невеличкі міста чи села мають світло завдяки наявності мікромереж та сонячних ферм яких вистачає для забезпечення усіх потреб невеликих спільнот.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| | | | | | | 16 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

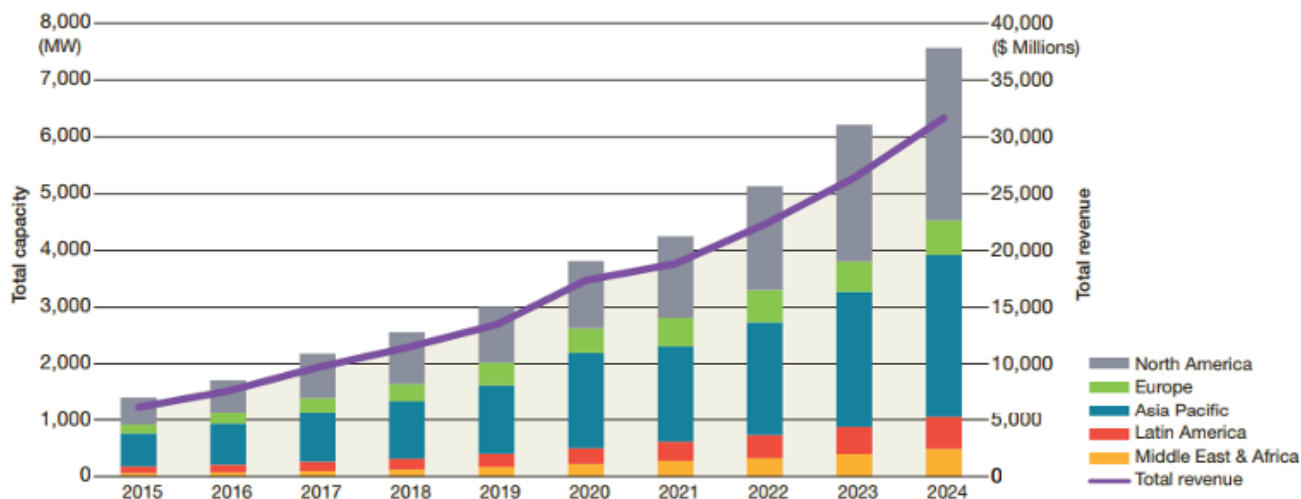


Рисунок. 1.3 – Загальна потужність мікромереж та доходи за регіонами, 2015–2024 рр.

Подібні причини свідчать про те, що основне зростання ринку мікромереж очікується саме у зазначених регіонах та сегментах енергетичного ринку. В ізолюваних або складних умовах експлуатації, наприклад у гірничодобувній промисловості, головними конкурентами мікромереж залишаються дизельні та інші паливні системи електропостачання. Саме тому коливання цін на нафту та паливо безпосередньо впливають на темпи поширення мікромереж, що ускладнює довгострокове прогнозування розвитку цього ринку.

У наукових дослідженнях значна увага приділяється аналізу чинників розвитку мікромереж, визначенню основних передумов їх поширення та класифікації споживачів. Відповідно до досліджень аналітичних компанії IMARC Group, основними факторами зростання ринку мікромереж є активне впровадження відновлюваних джерел енергії, розвиток програм електрифікації, підтримка екологічних ініціатив щодо зменшення впливу на клімат, а також підвищений попит на більш ефективні та сучасні системи електропостачання порівняно із застарілою енергетичною інфраструктурою. Разом із цим розвиток мікромереж стримується рядом проблем, серед яких основними є висока

вартість впровадження обладнання та недостатній рівень технічної підготовки фахівців у сфері проектування й експлуатації таких систем.

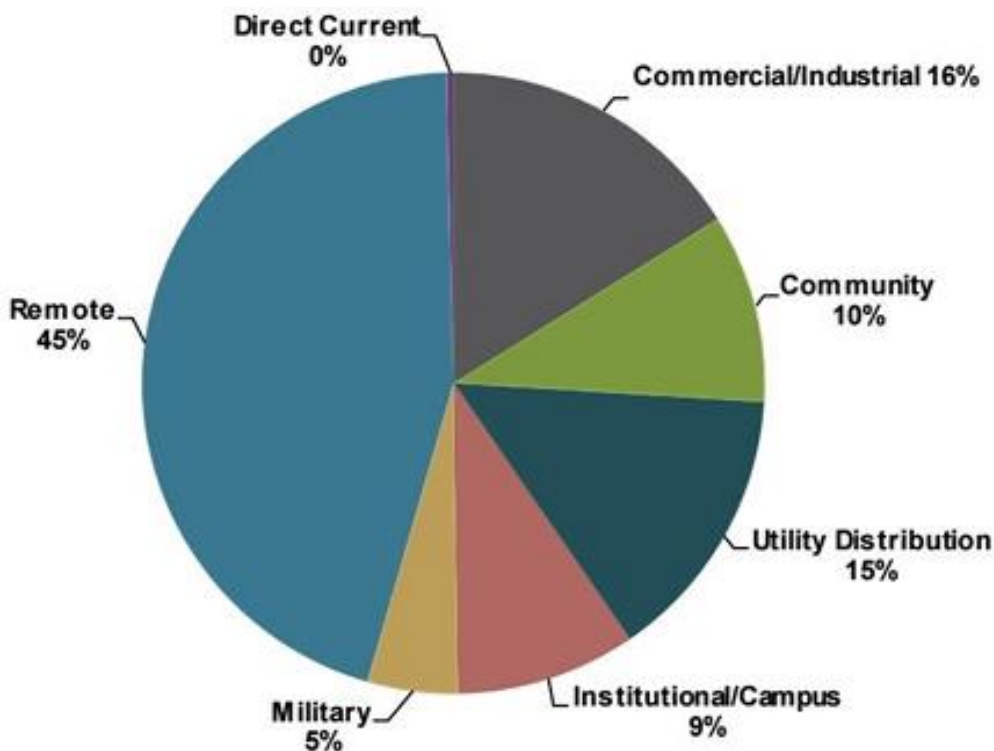


Рисунок 1.4 – Сегменти ринку мікромереж

1.3 Концепція Smart Grid та розвиток інтелектуальних енергомереж

Концепція Smart Grid (розумної/інтелектуальної електромережі) повинна базуватися на новій інтелектуальній інфраструктурі ліній електропередач та модулів генерації електрики (сонячні панелі, гідро модулі та ін.), а також на інтелектуальних мережах передачі даних, що включають захищений віддалений доступ, дистанційне керування, хмарне зберігання даних і систему архівування.

Такі мережі повинні ґрунтуватися на сучасних технологіях Ethernet. Мережа розподілу електроенергії також потребує модернізації для забезпечення інтелектуального задоволення енергетичних потреб споживачів. Щодо системи передачі електроенергії, можливими є численні зміни в способах навантаження ліній електропередачі, керування потужністю в точці спільного

приєднання (Point of Common Coupling), а також у використанні інтелектуальних лічильників і пристроїв релейного захисту, встановлених у критично важливих вузлах мережі.

Схема інфраструктури розумної енергосистеми, концепції Smart Grid наведена нижче на рисунку 1.5.

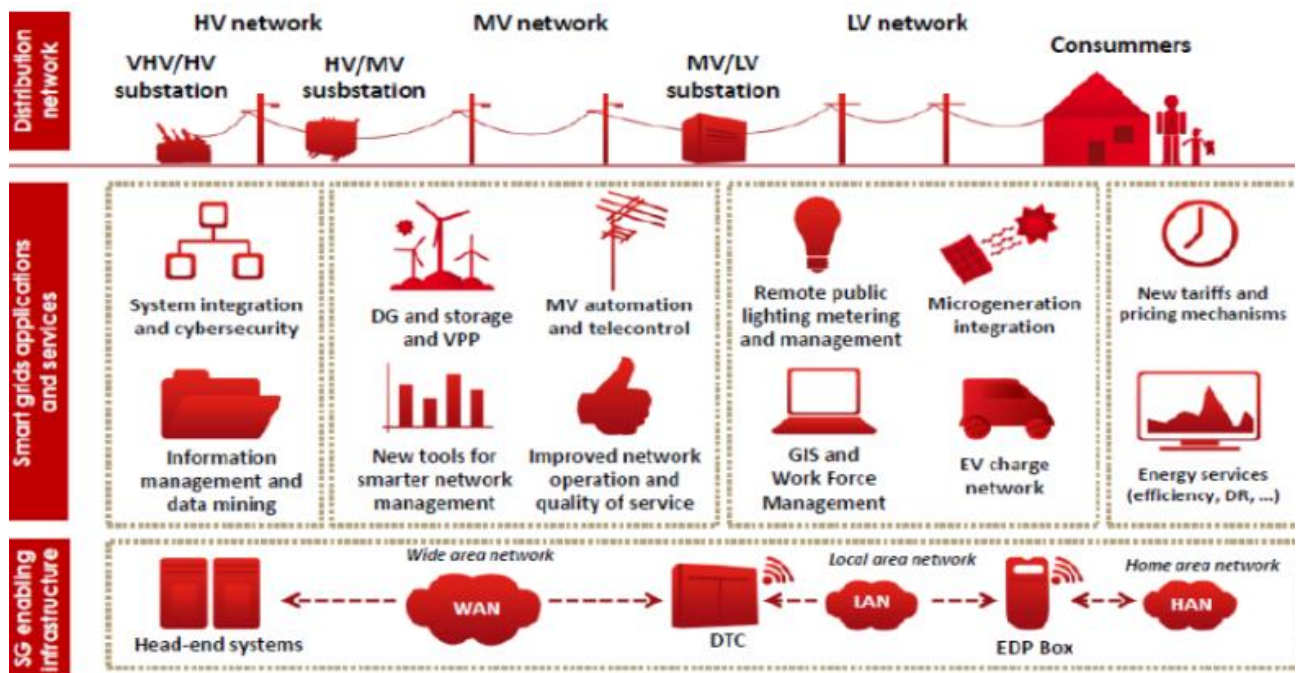


Рисунок 1.5 – Схема інфраструктури розумної енергосистеми

Це повна інфраструктура інтелектуальної електромережі від джерела генерації до кінцевого споживача; вона складається з таких сегментів:

- лінії електропередачі високої напруги;
- лінії розподілу середньої напруги;
- лінії розподілу середньої напруги;
- лінії підключення споживачів низької напруги;
- виробництво електроенергії (включно з відновлюваними та невідновлюваними джерелами);
- енергетичний ринок;

- інтелектуальні лічильники та захисні реле (лічильники електроенергії та аналізатори потужності);
- інфраструктура ICT (хмарні обчислення, отримання даних, архів даних, ір-безпека)
- технології інтернету речей (iot).

У мережах передачі електроенергії високої напруги (High Voltage Transmission Network) для реалізації концепції Smart Grid можуть бути впроваджені такі удосконалення:

- швидкодіючі релейні пристрої захисту за струмом і напругою з функцією автоматичного повторного вмикання;
- інтелектуальні трансформатори з розширеними можливостями керування та системою критичних аварійних сповіщень;
- інтелектуальні лічильники в ключових вузлах мережі з використанням технологій Інтернету речей (ІоТ) або прямого волоконно-оптичного зв'язку;
- гнучкі системи передачі змінного струму (FACTS), які забезпечують компенсацію ліній, а також регулювання активної та реактивної потужності;
- системи автоматичного регулювання напруги (Automatic Voltage Regulation, AVR), інтегровані із SCADA-системою;
- системи керування активною та реактивною потужністю, реалізовані через SCADA-систему електростанції;
- сучасні автоматизовані підстанції зі SCADA-системами для захисту силових трансформаторів та комірок високої напруги.

SCADA-система може функціонувати як надбудова над усіма зазначеними компонентами та забезпечувати централізоване керування мережею передачі електроенергії високої напруги. У такій архітектурі система координує роботу численних контролерів, розташованих безпосередньо на об'єктах енергетичної інфраструктури, а також взаємодіє з інтелектуальними

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 20 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

пристроями, підключеними до єдиної локальної (LAN) або глобальної (WAN) мережі передачі даних. Це забезпечує комплексний моніторинг, оперативне керування та підвищення надійності функціонування всієї енергосистеми.

1.4 Висновки до першого розділу

У результаті проведеного аналізу предметної області встановлено, що сучасні системи моніторингу та керування електроживленням все частіше реалізуються у вигляді мікромереж, які поєднують розподілені джерела генерації електроенергії, системи накопичення енергії, засоби автоматизації та інтелектуальні системи керування. Використання SCADA-систем у складі таких мікромереж забезпечує централізований моніторинг технологічних параметрів, оперативне керування обладнанням, збір та архівування даних, а також підвищення надійності електропостачання.

Проведений аналіз показав, що розвиток технологій відновлюваної енергетики, систем накопичення енергії та концепції Smart Grid сприяє активному впровадженню мікромереж як у промисловому секторі, так і серед побутових споживачів. Особливої актуальності такі рішення набувають в умовах необхідності забезпечення резервного електроживлення та підвищення енергетичної незалежності об'єктів.

Дослідження сучасного ринку SCADA-платформ показало, що найбільш поширеними рішеннями є Siemens WinCC, Ignition SCADA, Schneider Electric EcoStruxure, AVEVA System Platform та Citect SCADA. Кожна з платформ має власні переваги щодо функціональності, масштабованості та інтеграції з промисловим обладнанням. Для систем резервного електроживлення особливого значення набувають можливості інтеграції з програмованими логічними контролерами, підтримка промислових протоколів обміну даними та засоби віддаленого моніторингу.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| | | | | | | 21 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

Аналіз концепції Smart Grid дозволив встановити, що подальший розвиток енергетичних систем безпосередньо пов'язаний із впровадженням інтелектуальних комунікаційних технологій, цифрових засобів керування та автоматизованих систем прийняття рішень. Важливу роль у цьому процесі відіграють стандартизовані протоколи обміну даними, інтелектуальні лічильники, системи накопичення енергії та технології Інтернету речей.

Окрему роль у розвитку інтелектуальних енергетичних мереж відіграє автоматизація систем передачі та розподілу електроенергії високої напруги. Використання швидкодіючих релейних захистів, інтелектуальних трансформаторів, автоматичного регулювання напруги, систем керування активною та реактивною потужністю, а також сучасних автоматизованих підстанцій дозволяє підвищити надійність і стійкість енергосистеми. При цьому SCADA-системи забезпечують централізований моніторинг і керування зазначеними компонентами через єдину інформаційно-комунікаційну інфраструктуру, що є одним із ключових елементів концепції Smart Grid.

Отримані результати підтверджують доцільність розробки SCADA-системи моніторингу та керування резервним електроживленням, яка забезпечуватиме автоматичний контроль параметрів електромережі, стану акумуляторних батарей та джерел генерації, а також реалізовуватиме алгоритми перемикання між основним і резервними джерелами живлення. Така система дозволить підвищити надійність електропостачання, забезпечити безперервність роботи споживачів та створити основу для подальшої інтеграції в інтелектуальні енергетичні мережі.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| | | | | | | 22 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ SCADA-СИСТЕМ ДЛЯ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ

2.1 SCADA-системи у складі систем накопичення енергії

Системи накопичення енергії (Battery Energy Storage System) є одним із ключових компонентів сучасних інтелектуальних електромереж. За принципом роботи вони мають багато спільного з сонячними електростанціями, оскільки в обох випадках джерело постійного струму підключається до інвертора, який здійснює перетворення електроенергії у змінний струм для подальшого використання або передачі в мережу.

На відміну від сонячних електростанцій, де джерелом постійного струму виступають фотоелектричні модулі, у акумуляторних системах накопичення енергії таку роль виконують акумуляторні батареї, які об'єднуються у батарейні модулі та стійки, формуючи єдину систему накопичення енергії. Залежно від вимог проекту можуть використовуватися літій-іонні, свинцево-кислотні або інші типи акумуляторів. Батарейні модулі підключаються до системи перетворення потужності через захисні комутаційні пристрої постійного струму, забезпечуючи безпечну та надійну роботу будинку чи комплексу.

Важливим елементом систем накопичення енергії є система керування акумуляторами BMS (Battery Management System). Її основним призначенням є контроль технічного стану батарей, запобігання аварійним режимам роботи та збір експлуатаційних параметрів. Система контролю акумуляторів здійснює моніторинг температури акумуляторних комірок, рівня заряду, струмів заряду та розряду, вологості приміщення, а також інших параметрів, що впливають на довговічність і безпечність експлуатації батарей, на сьогоднішній день використання система контролю акумуляторів є стандартним та обов'язковим для усіх систем накопичення електроенергії, вони використовуються в павербанках, акумуляторах для іграшок, автомобільних коміркових акумуляторах, ноутбуках і телефонах.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 23 |

У багатьох сучасних пристроях система контролю акумуляторів виконує функції локальної системи контролю та захисту, але не всі системи накопичення енергії обладнуються повноцінними засобами диспетчерського керування. У таких випадках функції моніторингу та керування покладаються на зовнішню SCADA-систему, яка забезпечує централізований збір даних, контроль стану обладнання та виконання алгоритмів керування енергетичними процесами.

Під час розробки SCADA-системи для акумуляторних систем накопичення енергії необхідно враховувати вимоги виробника обладнання щодо аварійних режимів роботи та реалізовувати механізми захисту від критичних ситуацій. До таких ситуацій належать перегрів акумуляторних елементів, перевищення допустимих струмів заряду або розряду, а також нерівномірний розподіл заряду між окремими батарейними модулями, також, система повинна підтримувати балансування рівня заряду між акумуляторними секціями, що дозволяє підвищити ефективність використання батарей та продовжити термін їх експлуатації.

2.2 Функції SCADA у системах накопичення енергії та їх взаємодія з електромережою

Зростання частки відновлюваних джерел енергії вимагає використання систем накопичення енергії як інструменту балансування навантаження та стабілізації параметрів мережі, саме тому SCADA-системи стають важливим компонентом інтеграції акумуляторних системах накопичення енергії до інтелектуальних електромереж.

Сучасна SCADA-платформа може забезпечувати широкий спектр функцій, серед яких:

- підтримка частоти електромережі;
- автоматичне керування процесами заряду та розряду акумуляторів;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 24 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- контроль рівня заряду батарей;
- запобігання виходу параметрів за допустимі межі;
- реалізація контурів автоматичного регулювання;
- централізоване керування інверторами;
- планування режимів роботи системи;
- виконання допоміжних мережевих сервісів;
- взаємодія із зовнішніми системами керування.

Одним із найважливіших завдань є забезпечення стабільності частоти мережі, для цього SCADA-система може автоматично змінювати активну потужність батарейної системи залежно від поточних параметрів електромережі, крім того, система здатна регулювати реактивну потужність для підтримання необхідного коефіцієнта потужності та покращення якості отриманої електроенергії.

Окрему увагу приділяють контролю рівня заряду акумуляторів, система повинна не лише підтримувати необхідний рівень заряду, а й запобігати надмірному заряджанню або глибокому розряду батарей, для цього використовуються спеціальні алгоритми керування, які коригують режими роботи інверторів залежно від поточного стану акумуляторів.

Додатково SCADA може реалізовувати механізми балансування заряду між окремими батарейними модулями та здійснювати рівномірний розподіл навантаження між кількома інверторами, це дозволяє підвищити ефективність використання обладнання та уникнути прискореного зношування окремих елементів системи.

Важливою перевагою сучасних систем є можливість планування роботи акумуляторної системи накопичення енергії, оператор може заздалегідь задавати графіки зарядки та розрядки, враховуючи тарифи на електроенергію, прогнозоване навантаження або очікувану на генерацію від відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі враховуючи показники погоди.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 25 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2.3 Логіка керування системою накопичення енергії

Логіка керування системою накопичення енергії зазвичай реалізується на базі програмованого логічного контролера (PLC), який виступає центральною ланкою між обладнанням та SCADA-рівнем, зображено на рисунку 2.1.

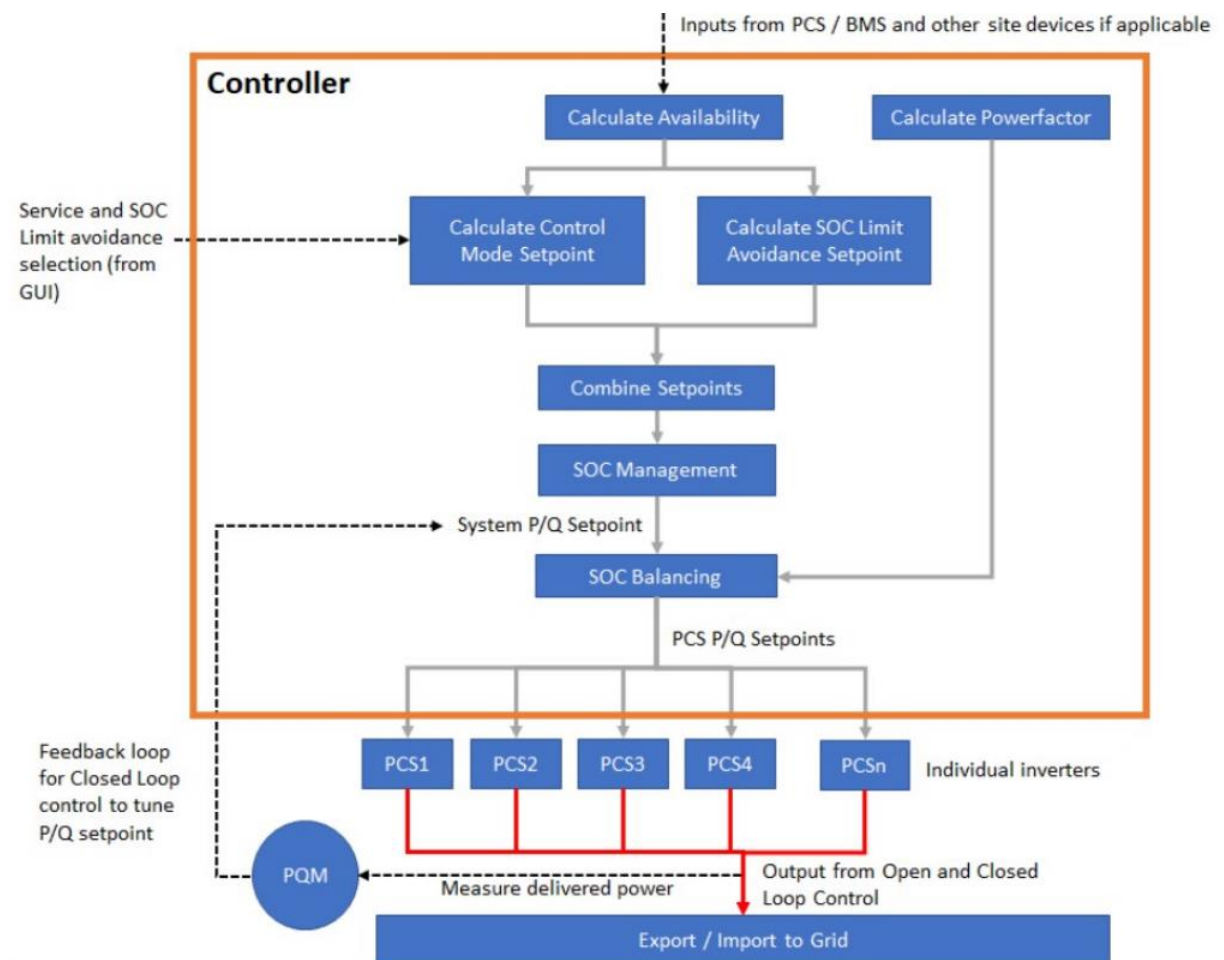


Рисунок 2.1 – Діаграма логіки керування

Контролер отримує інформацію від акумуляторних батарей, системи BMS, інверторів та вимірювальних пристроїв, на основі отриманих даних виконуються розрахунки необхідних значень активної та реактивної потужності, які повинна забезпечити система накопичення енергії в конкретний момент часу.

У класичній архітектурі підтримуються декілька режимів роботи, серед яких автоматичний заряд батарей, автоматичний розряд, підтримка частоти мережі та підтримка заданого рівня заряду акумуляторів. Вибір активного режиму здійснюється за командами оператора або відповідно до алгоритмів автоматичного керування.

Особливе значення має функція контролю рівня заряду акумуляторів. У випадку наближення до критичних меж система автоматично змінює параметри роботи інверторів для запобігання аварійним режимам, такий підхід дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію обладнання та продовжити ресурс акумуляторних батарей.

Для підвищення точності регулювання використовуються контури зворотного зв'язку, які отримують інформацію від аналізаторів якості електроенергії. На основі вимірних значень потужності PLC постійно коригує завдання для інверторів, забезпечуючи відповідність фактичних параметрів роботи заданим значенням.

Завдяки поєднанню PLC, системи контролю акумуляторів, інверторів та SCADA-платформи формується комплексна система керування накопиченням енергії, здатна ефективно працювати як у складі мікромережі, так і в інтеграції з централізованою електроенергетичною системою.

2.4 Алгоритм керування рівнем заряду акумуляторних батарей

Ефективна робота системи накопичення енергії значною мірою залежить від правильного керування рівнем заряду акумуляторних батарей. Одним із найважливіших завдань є рівномірний розподіл навантаження між окремими перетворювачами електроенергії для забезпечення однакового рівня заряду всіх акумуляторних модулів, такий підхід дозволяє підвищити ресурс батарей, уникнути перевантаження окремих елементів та забезпечити стабільну роботу всієї системи.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 27 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

У системах накопичення енергії кожен перетворювач електроенергії може бути підключений до однієї або декількох груп акумуляторних батарей. Контроль рівномірності заряду всередині окремої групи батарей зазвичай здійснюється локально системою керування акумуляторами. Водночас на рівні всієї енергетичної системи необхідно координувати роботу всіх перетворювачів таким чином, щоб забезпечити оптимальний розподіл потужності залежно від поточного рівня заряду акумуляторів.

Основна ідея алгоритму полягає у тому, що під час розряду системи більша частка навантаження передається тим батарейним модулям, які мають вищий рівень заряду, натомість акумулятори з нижчим рівнем заряду розряджаються повільніше.

Під час заряджання ситуація змінюється навпаки: акумуляторні модулі з найменшим рівнем заряду отримують більший зарядний струм, тоді як більш заряджені батареї заряджаються повільніше. Завдяки подібній логіці забезпечується поступове вирівнювання рівня заряду між усіма накопичувачами енергії без необхідності ручного втручання.

Алгоритм керування виконується у декілька етапів. Спочатку визначається доступність кожного перетворювача для виконання операцій заряду або розряду, для прикладу, якщо рівень заряду певної групи акумуляторів досяг мінімального значення, такий модуль тимчасово не використовується в процесі розряду і перебуває в режимі сну або очікування.

Після цього здійснюється аналіз середнього рівня заряду акумуляторів та визначаються мінімальні й максимальні значення серед усіх доступних модулів. Отримані дані використовуються для розрахунку діапазону розподілу потужності між окремими перетворювачами.

На наступному етапі визначається величина коригування потужності залежно від відхилення рівня заряду від середнього значення. Чим більшим є відхилення, тим сильніше змінюється величина потужності, що подається на відповідний акумуляторний модуль. У результаті для кожного перетворювача

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 28 |

формується індивідуальне завдання активної потужності, яке враховує поточний стан батарей та загальний режим роботи системи.

Розподіл навантаження між перетворювачами може здійснюватися декількома способами, найпростішим варіантом є рівномірний розподіл потужності між усіма доступними пристроями, у більш складних алгоритмах розподіл виконується відповідно номінальній ємності акумуляторів або доступному запасу енергії кожного блоку чи групи.

Особливо ефективним є підхід, за якого враховується фактичний рівень заряду батарей, у режимі заряджання більша потужність спрямовується до менш заряджених акумуляторів, що дозволяє швидше вирівняти їхній стан. У режимі розряду більша частка навантаження передається батареям із найбільшим запасом енергії, подібна стратегія забезпечує збалансовану експлуатацію обладнання та сприяє збільшенню терміну служби акумуляторних систем.

Під час розрахунку завдань для окремих перетворювачів також враховуються їхні технічні обмеження, максимально допустима активна потужність визначається з урахуванням режиму роботи, поточного навантаження та необхідності підтримання заданих параметрів реактивної потужності або коефіцієнта потужності. Подібний алгоритм дозволяє забезпечити безпечну роботу обладнання навіть за умов значних змін навантаження або режимів роботи електромережі.

2.5 Висновки до другого розділу

У другому розділі розглянуто теоретичні основи застосування SCADA-систем у системах накопичення енергії. Проведений аналіз показав, що використання сучасних засобів диспетчерського керування та збору даних дозволяє забезпечити ефективний контроль роботи акумуляторних батарей, перетворювачів електроенергії та допоміжного обладнання в режимі реального часу.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 29 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Досліджено основні функції SCADA-систем у складі систем накопичення енергії, зокрема моніторинг параметрів електричної мережі, контроль режимів заряду та розряду акумуляторних батарей, керування активною та реактивною потужністю, а також взаємодію з іншими елементами електроенергетичної інфраструктури. Встановлено, що інтеграція SCADA забезпечує підвищення надійності роботи енергетичних систем та створює умови для автоматизованого прийняття керуючих рішень.

Окрему увагу приділено логіці керування системою накопичення енергії та алгоритмам контролю рівня заряду акумуляторних батарей. Розглянуті принципи балансування рівня заряду дозволяють рівномірно розподіляти навантаження між акумуляторними модулями, підвищувати ефективність використання накопиченої енергії та збільшувати термін експлуатації батарей.

Отримані результати свідчать про важливу роль SCADA-систем у забезпеченні стабільної та безпечної роботи систем накопичення енергії.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 30 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

3 ЗАСТОСУВАННЯ SCADA-СИСТЕМ У МІКРОМЕРЕЖАХ ТА РЕЗЕРВНОМУ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННІ

3.1 Керування системою накопичення енергії за допомогою SCADA

Сучасні системи накопичення енергії потребують централізованого моніторингу та координації роботи всіх компонентів для забезпечення стабільної взаємодії з електричною мережею. Саме тому важливу роль відіграють SCADA-системи, які здійснюють контроль процесів заряду та розряду акумуляторних батарей, регулювання активної і реактивної потужності та забезпечують виконання допоміжних мережевих функцій.

Основним завданням системи керування є контроль потоків електричної енергії між накопичувачем та електромережею. При цьому SCADA забезпечує керування як активною потужністю, що безпосередньо впливає на баланс виробництва та споживання електроенергії, так і реактивною потужністю, яка необхідна для підтримання стабільної роботи мережі.

До функцій керування активною потужністю належать:

- безпосереднє задання необхідного значення потужності;
- автоматичне керування зарядом акумуляторних батарей;
- участь у підтримці частоти електричної мережі.
- Функції керування реактивною потужністю включають:
- регулювання величини реактивної потужності;
- підтримання заданого коефіцієнта потужності.

Для забезпечення максимальної гнучкості експлуатації система підтримує декілька режимів роботи:

- ручний режим;
- автоматичний безперервний режим;
- режим роботи за розкладом.

У ручному режимі всі параметри задаються оператором через інтерфейс SCADA. Автоматичний режим передбачає використання наперед визначених

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 31 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

алгоритмів керування, тоді як режим роботи за розкладом дозволяє виконувати заздалегідь налаштовані сценарії роботи залежно від часу доби, навантаження або вимог оператора мережі.

На рисунку 3.1 наведено приклад інтеграції системи накопичення енергії зі SCADA-системою. У такій архітектурі диспетчерський рівень отримує інформацію від усіх елементів енергетичного комплексу та формує керуючі сигнали для обладнання.

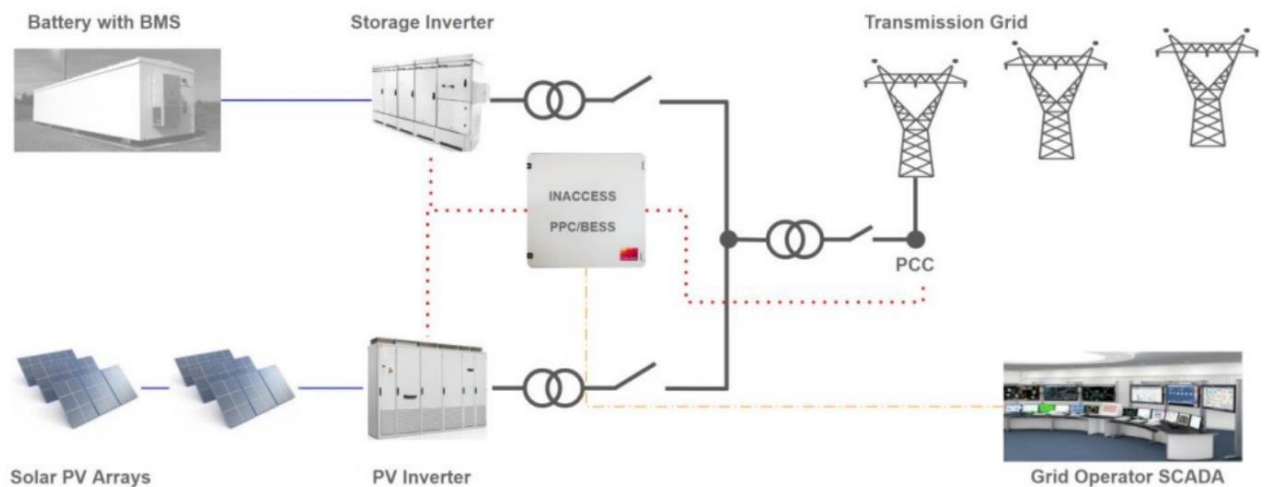


Рисунок 3.1 – Система накопичення енергії під керуванням SCADA

Для реалізації повноцінного керування об'єктом використовується комплекс апаратних засобів, центральне місце займає контролер керування потужністю, який виконує обробку даних та формує команди для інверторів. З метою підвищення надійності зазвичай передбачають резервний контролер, здатний автоматично перебрати функції керування у разі відмови основного обладнання.

Крім контролерів, до складу системи входять:

- пристрої збору та архівування технологічних даних;
- модулі цифрового та аналогового введення-виведення;
- мережеві комутатори;
- маршрутизатори;

- міжмержеві екрани;
- сервери локального керування;
- джерела безперебійного живлення;
- засоби синхронізації часу.

Особливу увагу приділяють інформаційній безпеці, оскільки сучасні системи накопичення енергії часто мають віддалений доступ через мережу Інтернет. Для цього використовуються спеціалізовані маршрутизатори, міжмержеві екрани та окремі канали зв'язку для критично важливих сервісів.

Типова архітектура інтеграції центральної системи керування з обладнанням об'єкта наведена на рисунку 3.2; вона передбачає використання локального сервера керування, підстанційного обладнання, мережевої інфраструктури та хмарних сервісів для централізованого зберігання інформації.

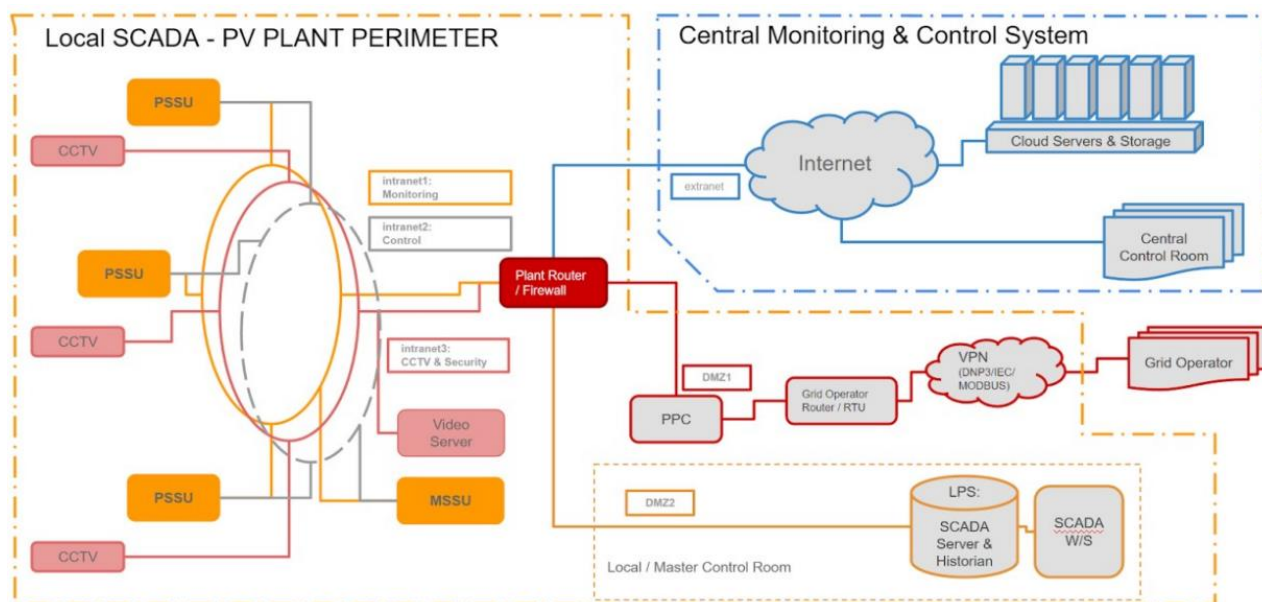


Рисунок 3.2 – Класична архітектура інтеграції центральної системи керування з обладнанням об'єкта

У верхньому рівні архітектури розташовуються хмарні сервери та центральний диспетчерський центр, які забезпечують довготривале зберігання даних та віддалений доступ операторів. Нижній рівень представлений

обладнанням підстанцій, інверторами, акумуляторними акумуляторами та вимірювальними пристроями.

Однією з найважливіших функцій сучасних систем накопичення енергії є підтримка частоти електромережі. Для реалізації цього завдання оператор може налаштувати розклад роботи системи безпосередньо через інтерфейс SCADA. Приклад інтерфейсу керування наведено на рисунку 3.3.

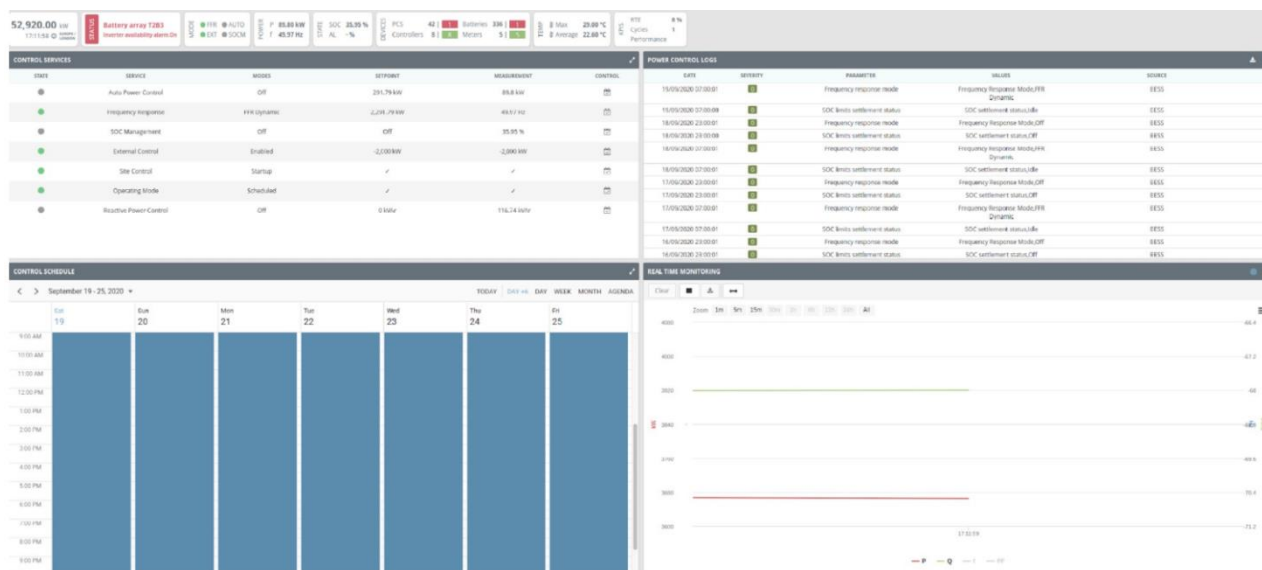


Рисунок 3.3 – Інтерфейс SCADA для керування системою

У режимі автоматичного регулювання частоти система постійно аналізує поточну частоту електромережі та визначає необхідний режим роботи накопичувача. Якщо частота мережі знаходиться в допустимому діапазоні, система не виконує жодних дій і перебуває у режимі очікування. У разі виникнення відхилення частоти накопичувач автоматично переходить у режим заряду або розряду.

Принцип роботи базується на балансуванні енергетичної системи. При зниженні частоти мережі нижче номінального значення система накопичення починає віддавати енергію до мережі, компенсуючи дефіцит потужності. Якщо ж частота перевищує номінальне значення, система переходить у режим споживання електроенергії та заряджає акумуляторні батареї.

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ

Арк.

34

Ефективність такого підходу була підтверджена на моделюванні реального об'єкту із загальною ємністю накопичення 60 мегават-годин. Результати роботи змодельованої системи показані на рисунку 3.4. З графіків видно, що величина активної потужності автоматично змінюється залежно від коливань частоти електромережі.



Рисунок 3.4 – Залежність режиму заряду та розряду системи накопичення енергії від змін частоти мережі

Під час роботи система автоматично формує завдання для кожного інвертора, забезпечуючи необхідний рівень потужності. Одночасно контролюється рівень заряду акумуляторних батарей усіх перетворювачів, що дозволяє підтримувати збалансований стан накопичувача та запобігати нерівномірному навантаженню окремих модулів.

На рисунку 3.5 наведено зміну рівня заряду акумуляторних батарей усіх інверторів під час роботи системи в режимі автоматичного регулювання частоти.



Рисунок 3.5 – Зміна рівня заряду акумуляторних батарей під час роботи системи підтримки частоти електромережі

Отримані результати демонструють високу ефективність використання SCADA для керування системами накопичення енергії великої потужності. Поєднання автоматизованих алгоритмів керування, моніторингу в режимі реального часу та інтеграції з електричною мережею дозволяє забезпечити стабільну роботу накопичувача, підвищити якість електропостачання та збільшити надійність функціонування сучасних систем резервного електроживлення.

3.2 Функціонування мікромереж під керуванням SCADA

Сучасні мікромережі проєктуються з урахуванням високої частки відновлюваних джерел енергії, насамперед сонячних електростанцій. Постійне зниження вартості фотоелектричних панелей та зростання цін на традиційне

паливо сприяють збільшенню частки сонячної генерації в загальному енергетичному балансі локальних енергосистем. У результаті все більше нових мікромереж орієнтуються на максимальне використання відновлюваних джерел енергії та мінімізацію споживання дизельного палива.

Типова мікромережа може поєднувати сонячні електростанції, системи накопичення енергії, дизельні генератори та інші джерела генерації, які працюють спільно для забезпечення електроенергією локальних споживачів. Такі системи можуть функціонувати як автономно, так і паралельно із централізованою електромережею. Приклад взаємодії основних компонентів мікромережі наведено на відповідному рисунку розділу.

Для забезпечення стабільної роботи всієї системи необхідне використання SCADA разом із системою керування енергоспоживанням. Таке поєднання дозволяє реалізувати автоматичне керування генерацією, накопиченням та розподілом енергії в режимі реального часу. Особливу увагу приділяють швидкому реагуванню на короточасні зміни навантаження, коливання сонячної генерації та зміни режимів роботи накопичувачів енергії.

Основною метою керування є забезпечення максимально ефективного використання сонячної енергії, мінімізація роботи дизельних генераторів та підтримання оптимального режиму експлуатації акумуляторних батарей. При цьому споживачі повинні безперервно отримувати електроенергію з необхідними параметрами напруги та частоти незалежно від часу доби чи погодних умов.

Функції керування в мікромережі можна умовно поділити на дві категорії. До першої належать високошвидкісні алгоритми, які реагують на аварійні або швидкоплинні зміни режимів роботи. До другої - алгоритми довгострокового планування, які визначають порядок роботи обладнання протягом кількох годин або навіть діб.

Особливі вимоги висуваються до апаратної частини системи керування. Контролери повинні надійно працювати в умовах підвищеної температури,

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 37 |

вологості та забруднення навколишнього середовища. Крім того, важливо забезпечити безперервність роботи без програмних збоїв та небажаних перезапусків.

Для підтримання стабільності енергосистеми SCADA повинна забезпечувати:

- керування активною потужністю;
- керування реактивною потужністю;
- регулювання коефіцієнта потужності;
- контроль напруги;
- контроль струму;
- керування накопиченням енергії;
- автоматичний запуск резервних джерел живлення.

Якщо рівень заряду акумуляторних батарей знижується нижче допустимого значення або навантаження перевищує можливості системи накопичення енергії, контролер автоматично формує команду на запуск дизельного генератора. Після запуску генератор синхронізується із джерелом, яке формує параметри локальної мережі. Одночасно інформація про частоту мережі передається до сонячних інверторів через промислову мережу обміну даними, що дозволяє координувати роботу всіх джерел генерації.

У разі потреби система може обмежувати потужність сонячних електростанцій або накопичувачів енергії шляхом передачі відповідних команд через промислові протоколи зв'язку. Це необхідно для підтримання балансу між виробництвом та споживанням електроенергії, а також для забезпечення необхідних показників якості електроенергії.

Важливе місце в роботі мікромереж займають системи накопичення енергії. На основі поточного рівня заряду, доступності обладнання та стану електромережі SCADA визначає необхідний режим роботи накопичувача. Система може автоматично переводити батареї в режим заряду або розряду залежно від потреб енергосистеми та поточної генерації сонячної електростанції.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 38 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Крім контролю рівня заряду, особлива увага приділяється температурному режиму роботи акумуляторних батарей. Перегрів акумуляторів може призвести до прискореного старіння або аварійних ситуацій, тому система постійно контролює температуру батарейних модулів та за необхідності коригує режими роботи обладнання.

Щодо дизельних генераторів, їхня робота також повністю контролюється SCADA. Після досягнення встановленого мінімального часу роботи та виконання умов навантаження генератор може бути автоматично виведений із роботи. Після охолодження установка зупиняється, а живлення споживачів знову забезпечується сонячною генерацією та акумуляторними батареями.

Окрему категорію становлять мікромережі з високою часткою сонячної енергії, де в денний час дизельні генератори практично не використовуються. У таких системах основне навантаження забезпечується сонячними панелями та накопичувачами енергії, тоді як генератори запускаються лише у ранкові або вечірні години, а також у випадках недостатньої сонячної генерації.

За тривалої хмарності або різкого збільшення навантаження система накопичення енергії може не забезпечити необхідний рівень потужності. У таких випадках SCADA автоматично активує резервний генератор відповідно до попередньо налаштованого алгоритму.

Однією з головних проблем мікромереж із високою часткою сонячної генерації є швидкі зміни виробництва електроенергії через проходження хмар або різкі зміни погодних умов. Такі події викликають коливання потужності та можуть негативно впливати на якість електроенергії.

Особливо чутливими до таких процесів є дизельні генератори, оскільки їхня робота залежить від механічних систем регулювання швидкості обертання двигуна. Через інерційність механічних компонентів генератор не здатний миттєво реагувати на різкі зміни навантаження. У результаті можуть виникати відхилення частоти та напруги.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 39 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

Для усунення цих недоліків у складі мікромереж використовуються системи накопичення енергії, які виконують дві основні функції:

- накопичення надлишкової сонячної енергії для подальшого використання в нічний час;
- компенсація швидких змін навантаження та генерації.

Завдяки високій швидкодії накопичувачі енергії здатні практично миттєво компенсувати коливання потужності, забезпечуючи стабільність параметрів електромережі навіть за різких змін погодних умов.

Основними параметрами, які використовуються для керування мікромережею, є напруга та частота електричної мережі. На основі їх аналізу SCADA визначає необхідну потужність системи накопичення енергії та формує відповідні команди для обладнання.

Для підвищення точності керування SCADA безпосередньо взаємодіє з аналізаторами якості електроенергії, встановленими на об'єкті. Такі пристрої забезпечують отримання високоточних вимірювань із дуже малим інтервалом оновлення даних, що дозволяє реалізувати швидкодіючі алгоритми керування та підтримувати стабільну роботу всієї мікромережі навіть за складних режимів експлуатації.

3.3 SCADA для автономної системи резервного електроживлення на основі групи джерел живлення

У попередніх підрозділах було розглянуто основні можливості використання SCADA та системи керування енергоспоживанням у складі сучасних мікромереж, для кращого розуміння принципів роботи таких систем доцільно розглянути практичний приклад автономної мікромережі документацію якого було знайдено в відкритому доступі.

Дана мікромережа складається з декількох незалежних джерел генерації та накопичення енергії, що працюють як єдина інтегрована система, до її

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 40 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

складу входять елементи, зображені на рисунку 3.6.

Розглянута мікромережа використовує сонячні електростанції як основне джерелом електроенергії в денний час, вироблена ними електроенергія використовується для живлення навантаження та заряджання акумуляторних батарей. Система накопичення енергії забезпечує покриття навантаження в періоди недостатньої генерації або в нічний час.

Електрична однолінійна схема системи наведена на рисунку 3.7.

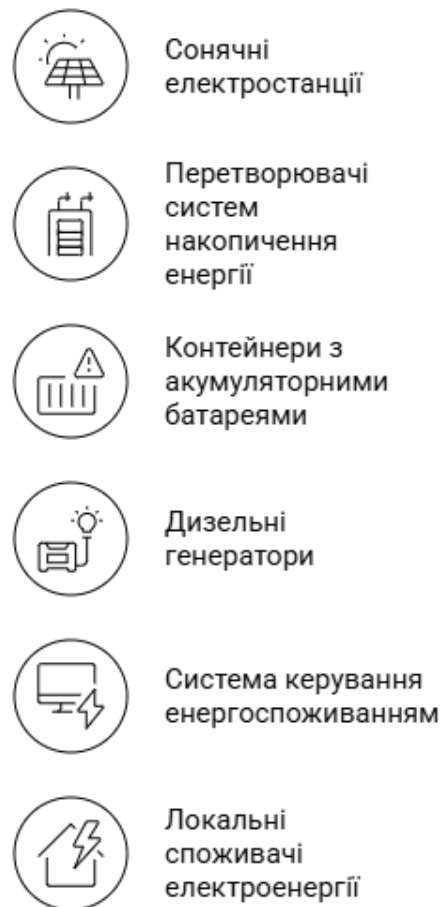


Рисунок 3.6 – Елементи розглянутої мікромережі

Дизельні генератори використовуються як резервне джерело живлення та автоматично підключаються у випадках дефіциту енергії. Загальна логіка функціонування мікромережі представлена на рисунку 3.8.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 41 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

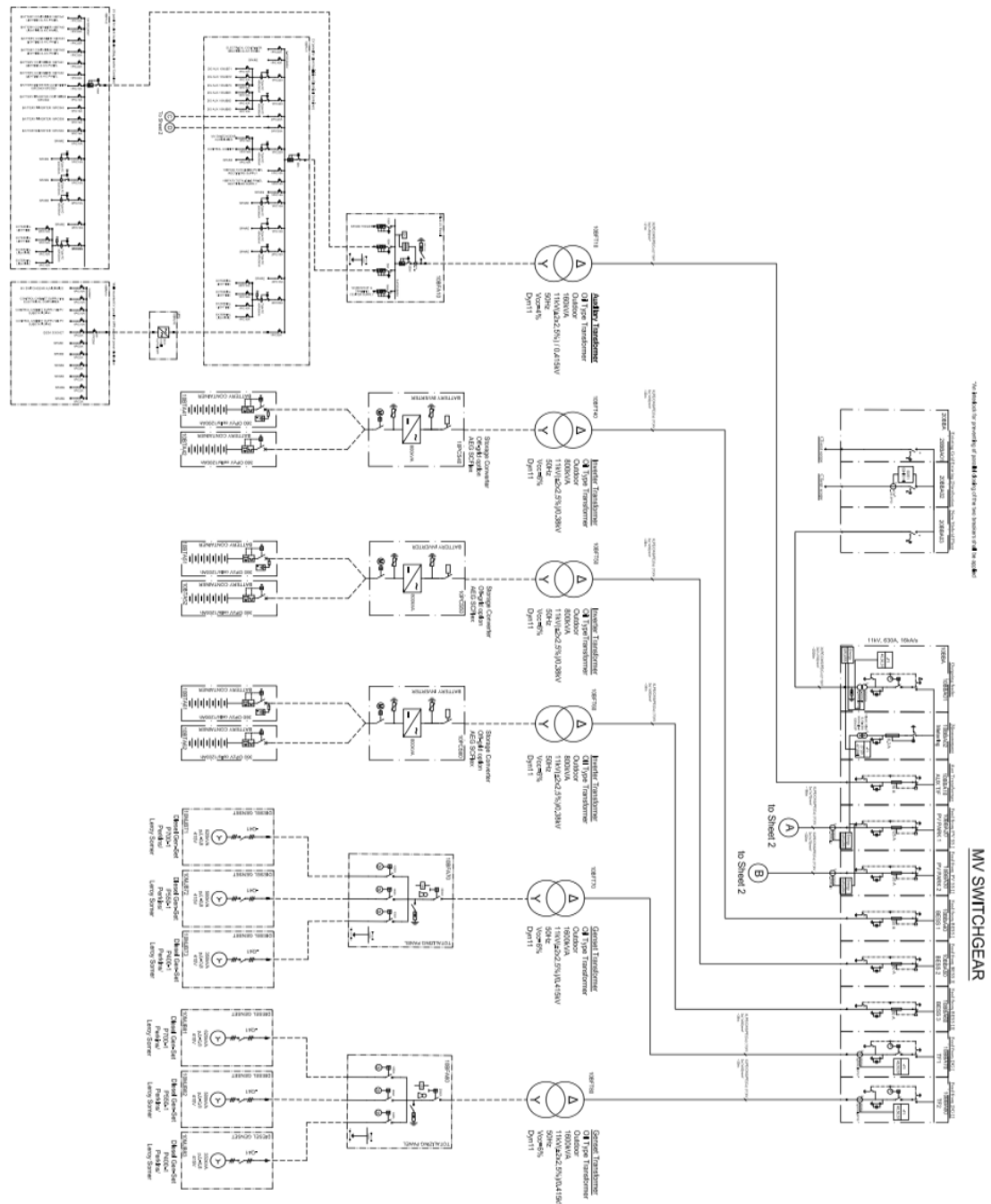


Рисунок 3.7 – Електрична однолінійна схема автономної мікромережі

У денний час сонячні електростанції забезпечують електроенергією споживачів та одночасно заряджають акумуляторні батареї через відповідні перетворювачі. У випадках, коли виробництво сонячної енергії перевищує поточне споживання, надлишок електроенергії накопичується для подальшого використання. Одночасно система керування визначає оптимальні моменти

запуску та зупинки дизельних генераторів залежно від стану мережі та рівня заряду акумуляторів.

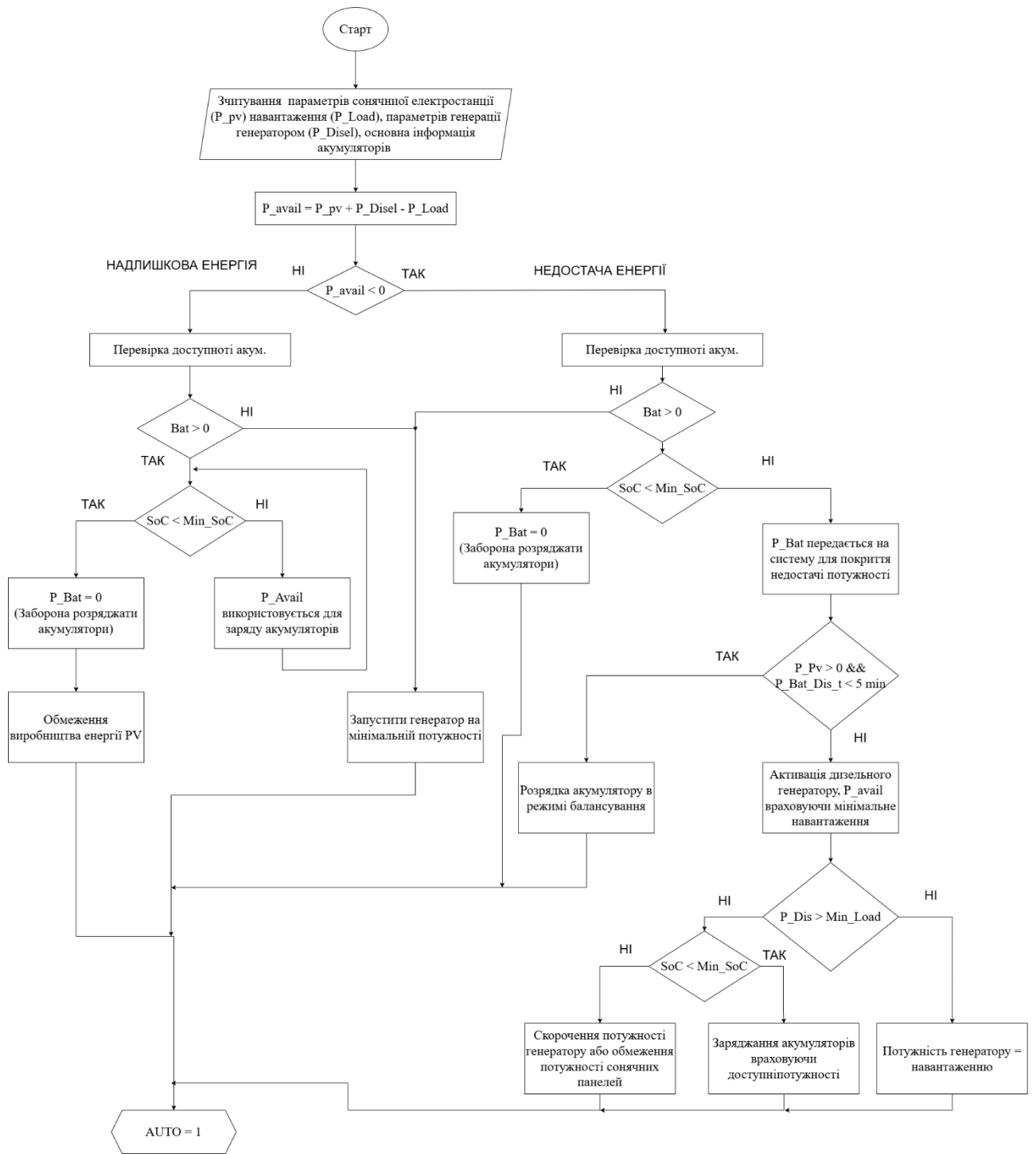


Рисунок 3.8 – Алгоритм функціонування автономної мікромережі

Для забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів система підтримує декілька режимів роботи.

Режим балансування навантаження. У цьому режимі акумуляторні батареї використовуються для компенсації миттєвих розбалансувань між генерацією та споживанням електроенергії. Якщо виробництво сонячної електроенергії перевищує поточне навантаження, акумулятори переходять у режим заряджання. Якщо ж навантаження перевищує генерацію, батареї віддають накопичену енергію в мережу.

Такий підхід дозволяє згладжувати короточасні зміни навантаження та забезпечувати стабільність роботи всієї мікромережі.

Режим накопичення сонячної енергії. Основною метою цього режиму є накопичення надлишкової сонячної енергії для подальшого використання в періоди відсутності генерації.

Під час роботи системи особливу увагу приділяють температурному режиму акумуляторних батарей. Підвищення температури є одним із найважливіших факторів, що впливають на термін служби накопичувачів енергії а також на безпеку експлуатації та своєчасне реагування на пошкодження або браковану/несправну батарею, тому система постійно контролює температуру батарей та за необхідності обмежує глибину розряду або швидкість заряджання.

Для забезпечення безпечної роботи рекомендується підтримувати:

- середню температуру батарей протягом доби не вище 30 °С;
- максимальну температуру наприкінці заряджання не вище 35 °С.

Фаза робочого розряду. У другій половині дня або вночі акумуляторні батареї використовуються для покриття навантаження замість дизельних генераторів або спільно з ними. Процес контрольованого розряду триває до досягнення заданого рівня залишкового заряду.

З технічної точки зору більш сприятливим режимом роботи акумуляторних батарей є їх повільний та рівномірний розряд протягом тривалого проміжку часу, аніж короточасне забезпечення значних навантажень високими струмами. Під час роботи в режимі помірною

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 44 |

навантаження електрохімічні процеси всередині батареї відбуваються більш стабільно, що сприяє ефективнішому використанню накопиченої енергії та зменшує внутрішні втрати. Натомість високі струми розряду призводять до збільшення тепловиділення, зростання втрат на внутрішньому опорі та прискорення деградації активних матеріалів елементів живлення.

Крім того, експлуатація батареї в режимах пікових навантажень може викликати значні просадки напруги, що негативно впливає як на ефективність самої системи накопичення енергії, так і на стабільність роботи підключених споживачів, у довгостроковій перспективі часте виникнення режимів з високими струмами сприяє скороченню ресурсу акумуляторної батареї та зменшенню її фактичної ємності. Тому при проектуванні та експлуатації систем накопичення енергії доцільно прагнути до такого режиму роботи, за якого енергія віддається поступово та рівномірно, забезпечуючи оптимальне поєднання ефективності, надійності та довговічності акумуляторної системи.

Після завершення циклу розряду система автоматично переводить навантаження на дизельні генератори, а акумуляторні батареї переходять у режим очікування.

Фаза заряджання від сонячної електростанції. Під час максимального рівня сонячної генерації, в залежності від вимог об'єкту та напрямку сонячних панелей, система накопичення енергії поглинає надлишкову електроенергію та накопичує її для подальшого використання.

З економічної точки зору найбільш ефективним режимом є такий, за якого вся надлишкова сонячна енергія використовується для заряджання акумуляторних батарей, при цьому система контролює величину зарядного струму для запобігання пошкодженню обладнання, отже в очікуванні пікового сонячного випромінювання система повинна розрядити акумулятори для максимального використання генерації панелей в пікові моменти сонячного випромінювання, тим самим економлячи гроші використовуючи запас акумуляторів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 45 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3.4 Логіка режимів роботи системи моніторингу та керування

Режим 1 - повне забезпечення навантаження сонячною енергією, у цьому режимі виробництво сонячної електроенергії перевищує потреби споживачів.

Сонячні електростанції забезпечують повне живлення навантаження, а надлишок енергії використовується для заряджання акумуляторних батарей. Дизельні генератори перебувають у вимкненому стані.

Для компенсації короточасних коливань виробітку, спричинених зміною погодних умов або проходженням хмар, одна з груп акумуляторних батарей працює в режимі балансування навантаження, забезпечуючи стабільність параметрів електромережі.

SCADA повинна постійно контролювати технічний стан кожної групи акумуляторних батарей. У випадку виходу з ладу одного з батарейних контейнерів система автоматично перераховує доступну ємність накопичувача та коригує допустимі режими роботи.

Наприклад, якщо батарейна група втрачає один із двох контейнерів, її максимальна потужність заряджання та розряджання автоматично зменшується удвічі. Це дозволяє уникнути перевантаження обладнання та забезпечити безпечну експлуатацію системи.

Захисні обмеження, для запобігання аварійним ситуаціям система контролює:

- напругу батарей;
- струми заряджання та розряджання;
- температуру акумуляторів;
- технічний стан обладнання.

У разі перевищення допустимої температури акумуляторна система автоматично відключається від мережі та може бути повторно введена в роботу лише після втручання оператора.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 46 |

Режим 2 – спільна робота сонячних електростанцій і дизельних генераторів, такий режим використовується в умовах недостатньої сонячної генерації або низького рівня заряду акумуляторів.

У цьому випадку частину навантаження покривають сонячні електростанції, а решту – дизельні генератори. Система керування аналізує поточні умови та визначає найбільш економічний режим роботи.

У певних випадках може бути доцільним заряджання акумуляторів від дизельних генераторів, особливо якщо генератори працюють поблизу свого оптимального режиму навантаження.

Режим 3 – живлення виключно від дизельних генераторів, даний режим використовується за відсутності сонячної генерації та недоступності системи накопичення енергії.

У такому випадку електроживлення забезпечується виключно дизельними генераторами. Система автоматично визначає необхідну кількість працюючих генераторів залежно від поточного навантаження.

Під час малих навантажень використовуються генератори меншої потужності, що дозволяє зменшити витрати палива, за високого навантаження автоматично підключаються додаткові генератори більшої потужності.

Моніторинг роботи мікромережі, практичний приклад роботи дослідженої мікромережі наведено на рисунку 3.9.

На графіку відображено добовий цикл роботи системи. У нічний час основне навантаження забезпечується дизельними генераторами та системою накопичення енергії, у денний час основним джерелом електроенергії виступають сонячні електростанції, а надлишок енергії використовується для заряджання акумуляторних батарей.

Крім графічного відображення режимів роботи, оператор має доступ до електричної мнемосхеми мікромережі, приклад якої наведено на рисунку 3.10.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 47 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 3.9 – Робота мікромережі під керуванням SCADA

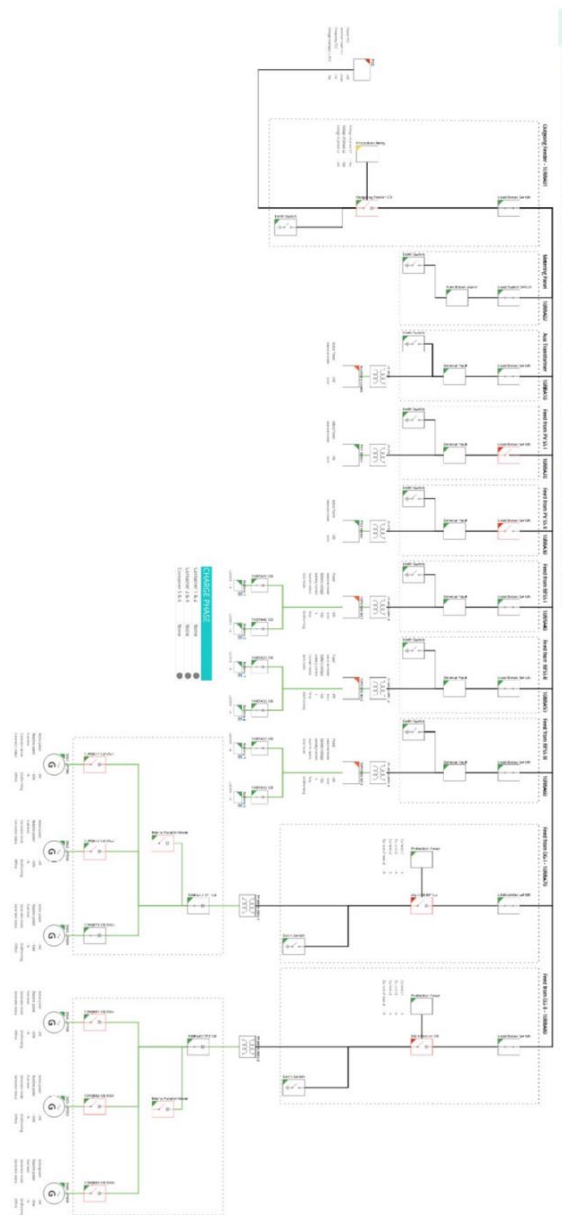


Рисунок 3.10 – Загальна електрична мнемосхема мікромережі в SCADA

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ

Арк.

48

3.5 Управління та контроль енергоспоживанням

Сучасний розвиток інтелектуальних електромереж неможливий без використання систем керування енергетичними ресурсами та диспетчерських центрів. Саме ці системи забезпечують централізоване керування процесами генерації, передачі, накопичення та розподілу електроенергії, об'єднуючи інформацію від великої кількості енергетичних об'єктів в єдиному інформаційному середовищі.

У сучасних енергосистемах електроенергія виробляється на різних типах електростанцій та передається споживачам на значні відстані. Для ефективного контролю таких процесів використовується SCADA, яка забезпечує збір, обробку та візуалізацію технологічних даних через операторський інтерфейс. Завдяки цьому оператори отримують можливість здійснювати дистанційний контроль обладнання та оперативно реагувати на зміни режимів роботи енергосистеми.

Розвиток засобів автоматизації привів до появи систем керування енергетичними ресурсами, які виконують не лише моніторинг, а й комплексне керування генерацією, накопиченням та споживанням електроенергії. Першими прикладами таких рішень стали системи інтеграції електростанцій із централізованими диспетчерськими центрами, що дозволило здійснювати віддалене керування генерувальними об'єктами та підвищити ефективність використання енергетичних ресурсів.

У процесі розвитку енергетичних систем з'явилися такі концепції, як розподілена автоматизація та розподілені системи керування, які забезпечують координацію роботи великої кількості об'єктів генерації та розподілу електроенергії. Для централізованого управління сукупністю енергетичних ресурсів почала використовуватися концепція віртуальної електростанції. Передача інформації між усіма компонентами системи здійснюється за допомогою сучасної інформаційно-комунікаційної інфраструктури із

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 49 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

застосуванням захищених мережових технологій та спеціалізованих промислових протоколів зв'язку. Загальну структуру взаємодії системи керування енергетичними ресурсами, диспетчерського центру та SCADA наведено на рисунку 3.11.



Рисунок 3.11 – Структура взаємодії системи керування енергетичними ресурсами та диспетчерського центру

Диспетчерський центр є основним елементом централізованого керування енергетичною інфраструктурою. Його головним завданням є координація роботи електростанцій, підстанцій, систем накопичення енергії та інших елементів електроенергетичної системи.

Функціональні можливості сучасних диспетчерських центрів охоплюють широкий спектр завдань, серед яких:

- прогнозування виробництва електроенергії;
- диспетчеризація генерувальних потужностей;
- моніторинг роботи електростанцій;
- розрахунок показників ефективності;
- автоматизація підстанцій;
- керування потоками активної та реактивної потужності;

- контроль параметрів електроенергії;
- збір інформації від комерційних та технічних засобів обліку.

Крім цього, диспетчерські центри забезпечують моніторинг силових трансформаторів та дистанційне керування перемиканням відгалужень регулювання напруги під навантаженням.

Типовий диспетчерський центр складається з серверного обладнання, операторських станцій та віддалених пристроїв збору інформації, які встановлюються безпосередньо на енергетичних об'єктах. Такі пристрої забезпечують отримання даних від вимірювального обладнання, релейного захисту, комутаційних апаратів та інших елементів електроенергетичної системи.

Для забезпечення надійної роботи використовується сучасна інформаційно-комунікаційна інфраструктура, що включає сервери, локальні мережі, захищені канали зв'язку та віртуальні приватні мережі. Через ці канали диспетчерський центр здійснює збір інформації та передає команди керування на віддалені об'єкти. Загальну архітектуру диспетчерського центру наведено на рисунку 3.12.

Система керування енергетичними ресурсами являє собою програмно-апаратний комплекс, призначений для оптимізації виробництва, накопичення та використання електроенергії. Особливістю таких систем є можливість роботи з різними типами генерувальних об'єктів незалежно від виробника обладнання.

Об'єктами керування можуть бути:

- сонячні електростанції;
- вітрові електростанції;
- гідроелектростанції;
- системи накопичення енергії;
- гібридні енергетичні комплекси.

Одним із ключових завдань системи є підвищення ефективності використання відновлюваних джерел енергії. Для цього застосовуються

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| | | | | | | 51 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

алгоритми прогнозування генерації та накопичення енергії, які дозволяють мінімізувати втрати електроенергії та підвищити економічну ефективність роботи енергетичних об'єктів.

Особливу роль відіграють системи накопичення енергії. За допомогою акумуляторних батарей можна накопичувати надлишкову електроенергію в періоди високої генерації та використовувати її під час зростання навантаження або підвищення вартості електроенергії на ринку.

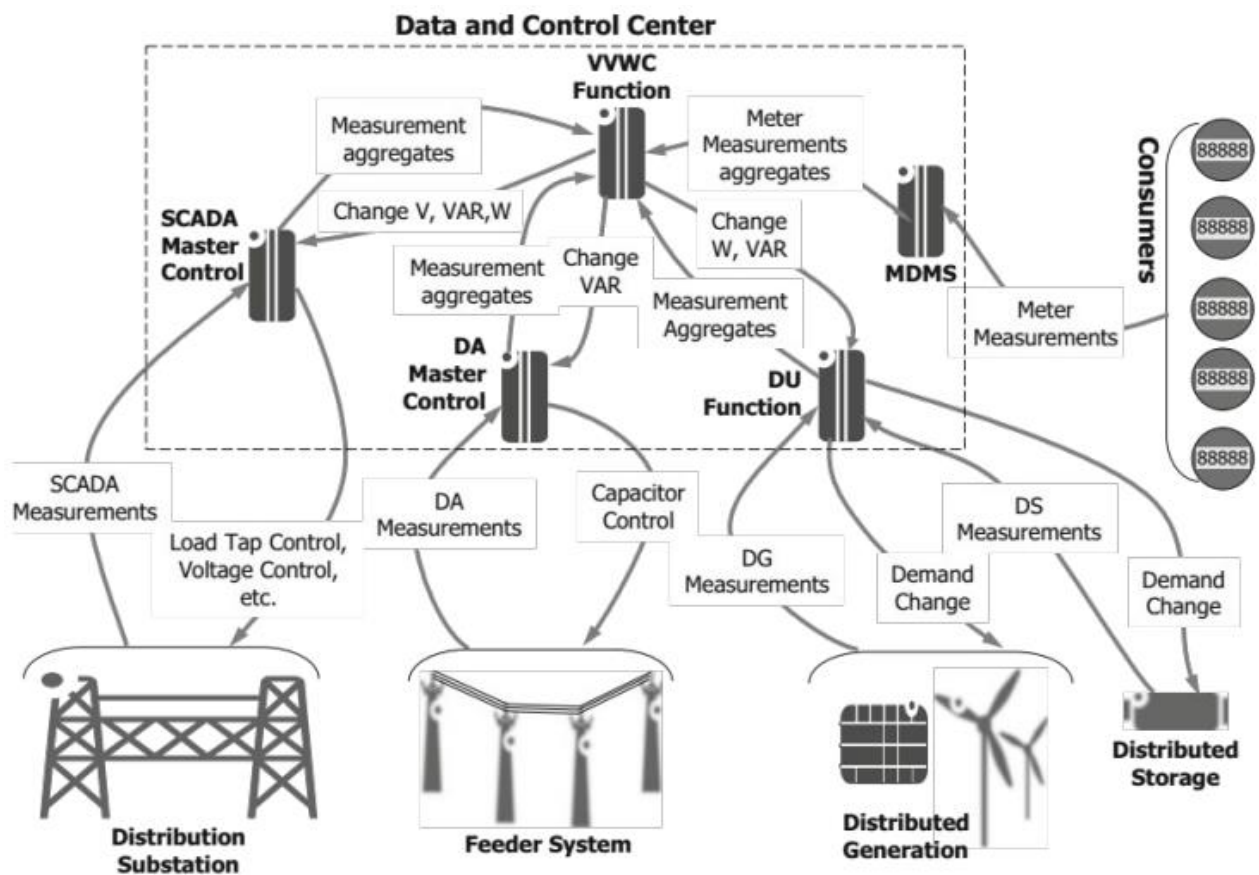


Рисунок 3.12 – Загальна архітектура диспетчерського центру

Для прийняття рішень система аналізує:

- прогноз генерації;
- прогноз споживання;
- технічний стан обладнання;
- доступність накопичувачів енергії;

- ринкові ціни на електроенергію;
- обмеження електричної мережі.

На основі цих даних формується оптимальний графік роботи генерувальних установок та накопичувачів енергії.

Архітектура системи керування енергетичними ресурсами наведена на рисунку 3.13.

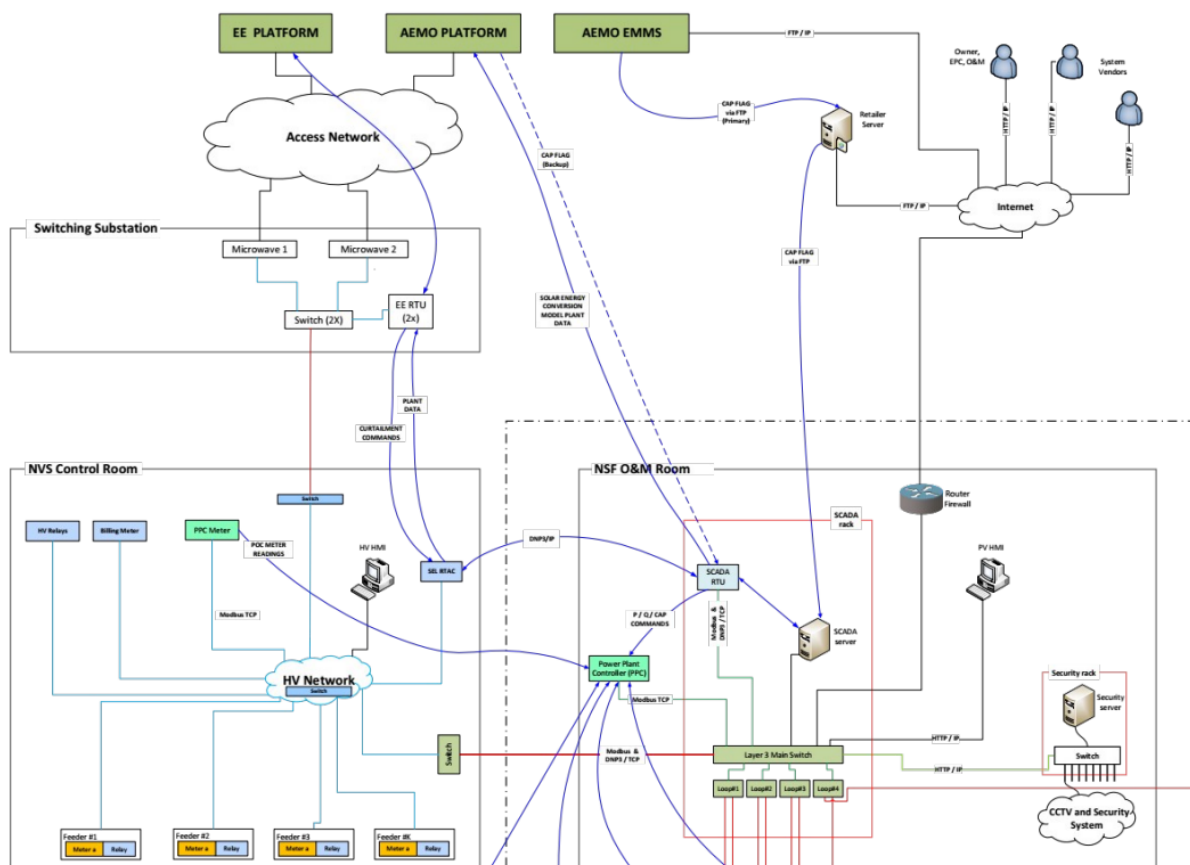


Рисунок 3.13 – Архітектура системи керування енергетичними ресурсами

Обмін даними між енергетичними об'єктами, SCADA, диспетчерським центром та зовнішніми сервісами прогнозування здійснюється через стандартні промислові протоколи зв'язку та мережеві інтерфейси.

Основною метою системи є забезпечення надійного, економічно ефективного та безпечного електропостачання споживачів.

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Функціональні можливості систем керування енергетичними ресурсами можна поділити на декілька напрямів. Керування генерацією:

- економічний розподіл навантаження між джерелами генерації;
 - контроль резервів потужності;
 - автоматичне регулювання генерації.
- Керування передачею електроенергії:
- оптимізація потоків потужності;
 - аналіз стійкості режимів роботи;
 - керування ізольованими ділянками мережі.

Розрахункові та аналітичні функції:

- моделювання режимів роботи електромереж;
- аналіз коротких замикань;
- математичне моделювання мережевої інфраструктури.

Сервіси аналізу та планування:

- аналіз аварійних подій;
- планування використання енергетичних ресурсів;
- розрахунок енергетичних балансів.

3.6 Інтеграція системи в енергомережі та віртуальні електростанції

Сучасні SCADA-системи можуть виконувати значно ширші функції, ніж традиційний моніторинг та диспетчерське керування окремими енергетичними об'єктами. Одним із перспективних напрямів їх застосування є реалізація концепції віртуальної електростанції, у межах якої різноманітні джерела генерації та накопичення енергії об'єднуються в єдину керовану систему.

У такій архітектурі SCADA виступає центральною платформою збору інформації, аналізу стану обладнання та координації роботи розподілених енергетичних ресурсів, до складу віртуальної електростанції можуть входити сонячні електростанції, вітрові електростанції, системи накопичення енергії,

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 54 |

локальні мікромережі, газотурбінні установки та інші джерела генерації. Приклад інтеграції різних типів енергетичних об'єктів у межах віртуальної електростанції наведено на рисунку 3.14.

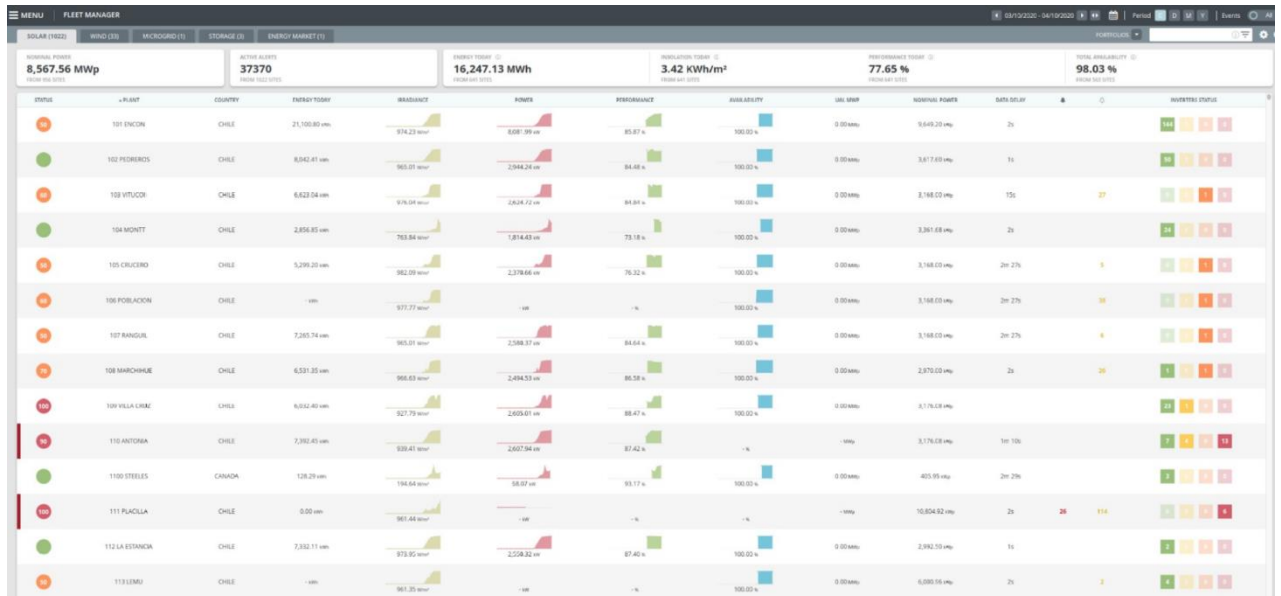


Рисунок 3.14 – Реалізація функцій віртуальної електростанції на базі SCADA

Однією з головних переваг такого підходу є можливість централізованого відображення інформації про всі енергетичні активи в єдиному операторському інтерфейсі, це дозволяє диспетчеру в режимі реального часу отримувати дані про поточний стан кожного об'єкта, рівень доступної потужності, залишковий енергетичний ресурс накопичувачів, технічний стан обладнання та прогноз виробництва електроенергії.

Крім функцій моніторингу, система забезпечує централізоване керування потужностями генерації відповідно до вимог енергетичного ринку, завдяки цьому оператор має можливість оперативного змінювати режими роботи окремих електростанцій, коригувати графіки генерації та забезпечувати виконання договірних зобов'язань перед оператором електромережі.

Важливим елементом функціонування віртуальної електростанції є визначення пріоритетів керуючих сигналів. Усі команди, що надходять до

системи, повинні оброблятися відповідно до встановленої ієрархії. Найвищий пріоритет мають сигнали, пов'язані з безпекою персоналу та обладнання. Далі розташовуються команди оператора електромережі, служб технічного обслуговування, власника енергетичного об'єкта та лише після цього команди, сформовані системою оптимізації віртуальної електростанції.

Рекомендована послідовність пріоритетів має такий вигляд:

- аварійний захист та безпека;
- оператор електричної мережі;
- служба експлуатації та технічного обслуговування;
- власник енергетичного об'єкта;
- система керування віртуальною електростанцією.

Для забезпечення стабільної роботи необхідна надійна інформаційно-комунікаційна інфраструктура, зв'язок між енергетичними об'єктами та центральною SCADA здійснюється через захищені мережеві канали з використанням віртуальних приватних мереж. Бажаним є застосування резервованих каналів зв'язку та широкосмугових мереж із високим рівнем доступності.

Однією з ключових функцій віртуальної електростанції є автоматичне формування графіків роботи енергетичних об'єктів, для цього використовуються алгоритми оптимізації, які враховують:

- прогноз виробництва електроенергії;
- прогноз споживання;
- поточну вартість електроенергії;
- доступність обладнання;
- технічні обмеження об'єктів;
- результати торгів на енергетичному ринку.

На основі цих даних формується графік роботи кожного енергетичного активу. Через високу динамічність енергетичних ринків такі графіки регулярно оновлюються та передаються на відповідні об'єкти.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 56 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Особливе значення має забезпечення працездатності системи у випадку втрати зв'язку з центральним сервером. Для цього останній актуальний графік роботи зберігається безпосередньо на об'єкті. Якщо зв'язок із центром керування переривається, електростанція продовжує працювати відповідно до останнього отриманого плану за умови, що це не суперечить вимогам безпеки.

Для інтеграції окремих енергетичних об'єктів до складу віртуальної електростанції використовуються віддалені термінали збору та передачі даних, подібні пристрої встановлюються безпосередньо на електростанціях і забезпечують обмін інформацією між локальною системою керування та центральною SCADA. Вони можуть працювати паралельно з основною SCADA електростанції та використовувати спільну мережеву інфраструктуру для передачі даних.

Важливим компонентом системи є механізм диспетчеризації установок генерації, для кожного енергетичного об'єкта можуть задаватися команди двох типів:

- команда запуску або зупинки обладнання;
- команда встановлення необхідного рівня потужності.

У випадку електростанцій, що складаються з декількох видів генерації, система може здійснювати керування як окремими агрегатами, так і всім об'єктом у цілому, при цьому обов'язково враховуються технічні обмеження обладнання, зокрема мінімально допустимі навантаження генераторів та допустимі режими експлуатації.

Для підвищення надійності роботи реалізуються механізми контролю зв'язку між центральною системою та віддаленими об'єктами, якщо протягом визначеного часу не надходить підтвердження зв'язку, система формує попереджувальні сигнали та може автоматично перевести обладнання в безпечний режим роботи.

Класичний перелік параметрів, що передаються між енергетичним об'єктом та SCADA віртуальної електростанції, включає:

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| | | | | | | 57 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

- стан доступності обладнання;
- поточну активну потужність;
- допустиму потужність генерації;
- задане значення потужності;
- сигнали контролю зв'язку;
- аварійні повідомлення;
- службову інформацію про стан обладнання.

Таким чином, використання SCADA у складі віртуальної електростанції забезпечує централізоване керування великою кількістю розподілених енергетичних ресурсів, підвищує ефективність використання потужностей генерації та створює передумови для подальшого розвитку інтелектуальних енергетичних мереж. Для систем резервного електроживлення подібні підходи також є актуальними, оскільки дозволяють об'єднувати декілька джерел енергії, системи накопичення та споживачів у єдине інформаційно-кероване середовище.

3.7 Висновки до третього розділу

У третьому розділі було розглянуто практичні аспекти застосування SCADA-систем у сучасних енергетичних комплексах, що використовують системи накопичення енергії, відновлювані джерела енергії та резервні джерела електроживлення. Проведений аналіз показав, що впровадження SCADA дозволяє забезпечити централізований моніторинг, керування та координацію роботи всіх компонентів енергетичної системи.

Розглянуто особливості керування системами накопичення енергії за допомогою SCADA, а також принципи функціонування мікромереж, у яких поєднуються сонячні електростанції, акумуляторні батареї та дизельні генератори. Встановлено, що використання автоматизованих алгоритмів керування дозволяє забезпечити безперервність електропостачання споживачів,

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 58 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

підвищити енергоефективність системи та оптимізувати використання наявних енергетичних ресурсів.

Досліджено логіку роботи систем моніторингу та керування резервним електроживленням у різних режимах експлуатації. Визначено, що автоматичне перемикання між основними та резервними джерелами живлення, контроль рівня заряду акумуляторних батарей, а також керування процесами заряджання і розряджання є ключовими функціями для забезпечення надійності електропостачання.

Окрему увагу приділено питанням управління енергоспоживанням та інтеграції систем резервного електроживлення до сучасних інтелектуальних енергетичних мереж. Розглянуто можливості використання SCADA у складі віртуальних електростанцій, що дозволяє об'єднувати різні джерела генерації та накопичення енергії в єдину керовану систему.

Отримані результати підтверджують, що застосування SCADA-систем є ефективним інструментом для побудови сучасних систем моніторингу та керування резервним електроживленням. Використання таких рішень забезпечує підвищення надійності, покращення контролю стану обладнання.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 59 |

ВИСНОВКИ

У роботі було проведено дослідження сучасних підходів до побудови SCADA-систем моніторингу та керування резервним електроживленням, а також розглянуто можливості їх використання у складі систем накопичення енергії, мікромереж та інтелектуальних енергетичних систем.

У першому розділі виконано аналіз предметної області та сучасного стану розвитку SCADA-технологій в енергетичній галузі. Розглянуто основні принципи функціонування систем диспетчерського керування та збору даних, проаналізовано сучасні рішення для моніторингу та керування електроживленням, а також досліджено концепцію Smart Grid як основу розвитку інтелектуальних енергетичних мереж. Встановлено, що використання SCADA є одним із ключових факторів підвищення надійності, безпеки та ефективності функціонування сучасних електроенергетичних систем.

У другому розділі досліджено особливості застосування SCADA-систем у системах накопичення енергії. Розглянуто основні функції моніторингу та керування акумуляторними батареями, принципи взаємодії з електричною мережею, а також алгоритми контролю рівня заряду акумуляторних батарей. Визначено, що ефективне керування процесами заряджання та розряджання дозволяє підвищити ефективність використання накопичувачів енергії, забезпечити рівномірний розподіл навантаження та збільшити термін експлуатації акумуляторних систем.

У третьому розділі розглянуто практичні аспекти використання SCADA у системах накопичення енергії, автономних мікромережах та системах резервного електроживлення. Досліджено логіку роботи енергетичних комплексів, що поєднують сонячні електростанції, акумуляторні батареї та дизельні генератори. Проаналізовано режими роботи таких систем, принципи управління енергоспоживанням та можливості інтеграції до віртуальних електростанцій. Встановлено, що використання SCADA дозволяє реалізувати

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| | | | | | | 60 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

централізоване керування енергетичними ресурсами, забезпечити безперервність електропостачання та підвищити ефективність експлуатації обладнання.

За результатами проведеного дослідження встановлено, що впровадження SCADA-систем у системах резервного електроживлення забезпечує безперервний контроль стану обладнання, оперативне виявлення аварійних ситуацій, автоматизацію процесів керування та підвищення надійності електропостачання споживачів. Особливої актуальності такі рішення набувають в умовах зростання вимог до енергетичної безпеки, розвитку систем накопичення енергії та впровадження відновлюваних джерел.

Отримані результати підтверджують доцільність використання SCADA-технологій для побудови сучасних систем моніторингу та керування резервним електроживленням, які можуть бути інтегровані до мікромереж, систем накопичення енергії та інтелектуальних енергетичних мереж. Подальший розвиток таких систем сприятиме підвищенню енергоефективності, надійності електропостачання та рівня автоматизації енергетичної інфраструктури.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 61 |

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Microgrid Conceptual Design Coursebook | December 2021. / B. Garcia та ін. Office of Scientific and Technical Information (OSTI), 2022. URL: <https://doi.org/10.2172/1863659> (дата звернення: 12.06.2026).
2. Modi S., Usha P. Microgrid Protection Challenges and Solution. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2023. Т. 1295, № 1. С. 012014. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1295/1/012014> (дата звернення: 12.06.2026).
3. Hart O., Garcia B., Mammoli A. Microgrid Conceptual Design Methodology. *Proposed for presentation at the Resilience Week 2022 held September 27-29, 2022 in Washington, DC*. 2022. URL: <https://doi.org/10.2172/2006117> (дата звернення: 12.06.2026).
4. Dr. Michael Robinson. Advanced Control Algorithms for Microgrids. *American Journal of Instrumentation and Control Engineering*. 2023. Т. 4, № 1. С. 8–13. URL: <https://doi.org/10.71465/ajice2808> (дата звернення: 12.06.2026).
5. On the Secondary Control Architectures of AC Microgrids: An Overview / Y. Khayat та ін. *IEEE Transactions on Power Electronics*. 2020. Т. 35, № 6. С. 6482–6500. URL: <https://doi.org/10.1109/tpel.2019.2951694> (дата звернення: 12.06.2026).
6. Eswar K., Hrishikesh P., Madhumathy P. Advanced Data-Driven Intelligent Control and Security Architectures in Next-Generation Wireless Communication Networks. *Research and Applications: Emerging Technologies*. 2025. Т. 7, № 1. С. 46–49. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14747968> (дата звернення: 12.06.2026).
7. Virtual Automation Networks. *Industrial Communication Systems*. 2018. С. 235–250. URL: <https://doi.org/10.1201/9781315218434-23> (дата звернення: 12.06.2026).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 62 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

8. Chaturvedi P., Daniel A. K. Evolutionary Optimization Approach for Network Lifetime in Wireless Sensor Networks. *Intelligent Communication and Automation Systems*. 2021. С. 11–28. URL: <https://doi.org/10.1201/9781003104599-2> (дата звернення: 12.06.2026).

9. Jayasankar M., Giridharan A. Specification of REST API Services for Modbus Protocol using Formal technique. *EAI Endorsed Transactions on Cloud Systems*. 2017. Т. 3, № 10. С. 153492. URL: <https://doi.org/10.4108/eai.20-12-2017.153492> (дата звернення: 12.06.2026).

10. Belliardi R., Neubert R. Modbus Protocol*. *Industrial Communication Technology Handbook*. 2017. С. 10–1–10–34. URL: <https://doi.org/10.1201/b17365-11> (дата звернення: 12.06.2026).

11. Kekre A. M., Kothari A. MODBUS-TR: Advanced MODBUS-RTU Protocol for IoT with Auto-discovery and Triggers. *Wireless Personal Communications*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/s11277-022-09684-0> (дата звернення: 12.06.2026).

12. Pribiš R., Beňo L., Drahoš P. Asset Administration Shell Design Methodology Using Embedded OPC Unified Architecture Server. *Electronics*. 2021. Т. 10, № 20. С. 2520. URL: <https://doi.org/10.3390/electronics10202520> (дата звернення: 12.06.2026).

13. Designing microgrid energy markets / E. Mengelkamp та ін. *Applied Energy*. 2018. Т. 210. С. 870–880. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.054> (дата звернення: 12.06.2026).

14. Bhavana G. B., Anand R., Ramprabhakar J. Designing Microgrid Energy Markets Using Smart Information System and Blockchain Technology. 2022 *International Interdisciplinary Humanitarian Conference for Sustainability (IIHC)*, м. Bengaluru, India, 18–19 листоп. 2022 р. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/iihc55949.2022.10060599> (дата звернення: 12.06.2026).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 63 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

15. Microgrid Energy Management. MDPI, 2021.
URL: <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-0389-9> (дата звернення: 12.06.2026).

16. Energy storage technologies / F. Hussain та ін. *Energy for Sustainable Development*. 2020. С. 125–165. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814645-3.00006-7> (дата звернення: 12.06.2026).

17. Ghazavidozein M., Gomis-Bellmunt O., Mancarella P. Simultaneous Provision of Dynamic Active and Reactive Power Response from Utility-scale Battery Energy Storage Systems in Weak Grids. *IEEE Transactions on Power Systems*. 2021. С. 1. URL: <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2021.3076218> (дата звернення: 12.06.2026).

18. On the Solution of Equilibrium Points of Power Systems With Penetration of Power Electronics Considering Converter Limitation / J. Song та ін. *IEEE Access*. 2021. Т. 9. С. 67143–67153. URL: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3077087> (дата звернення: 12.06.2026).

19. Smart Grids / C. Wietfeld та ін. *IEEE Wireless Communications*. 2017. Т. 24, № 2. С. 8–9. URL: <https://doi.org/10.1109/mwc.2017.7909091> (дата звернення: 12.06.2026).

20. Buchholz B. M., Styczynski Z. A. Design of Distribution Networks and the Impact of New Network Users. *Smart Grids*. Berlin, Heidelberg, 2020. С. 121–165. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-662-60930-9_4 (дата звернення: 12.06.2026).

21. Prenata G. D., Baihaqi A. Flow Pump Motor Speed Controller System Using PLC Simatic PCS-7 and PID in PT Sun Paper Source. *BEST : Journal of Applied Electrical, Science, & Technology*. 2025. Т. 7, № 1. С. 51–54. URL: <https://doi.org/10.36456/best.vol7.no1.9278> (дата звернення: 12.06.2026).

22. Technical Program Overview. *IEEE Power and Energy Magazine*. 2022. Т. 20, № 2. С. 22. URL: <https://doi.org/10.1109/mpe.2022.3153783> (дата звернення: 12.06.2026).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | КвРАКИТ. 026124.01.16.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 64 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

23. Handbook on Battery Energy Storage System. Asian Development Bank Institute, 2018.
24. Walker A., Desai J. Battery Energy Storage System Evaluation Method. Office of Scientific and Technical Information (OSTI), 2024. URL: <https://doi.org/10.2172/2279165> (дата звернення: 12.06.2026).
25. Smart Grid: Sensorização, Monitorização e Telecomando Porto Santo : Anúncio de procedimento № 6508/2017. *Diário da República II Série*. 2017. 27 лип. URL: <https://dre.pt/application/conteudo/107776656> (дата звернення: 12.06.2026).
26. Smart Grid Madeira: Sensorização, Monitorização e Telecomando de Instalações Manobráveis Públicas : Anúncio de procedimento № 794/2023. *Diário da República II Série*. 2023. 19 січ. URL: https://files.dre.pt/cp_hora/2023/01/014/416076413.pdf (дата звернення: 12.06.2026).
27. Evers G., Chappin M. M. H. Knowledge sharing in smart grid pilot projects. *Energy Policy*. 2020. Т. 143. С. 111577. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111577> (дата звернення: 12.06.2026).
28. Ustun T. S. Cybersecurity in Smart Grids. *Energies*. 2022. Т. 15, № 15. С. 5458. URL: <https://doi.org/10.3390/en15155458> (дата звернення: 12.06.2026).
29. Conovalu S., Park J. S. Cybersecurity Strategies for Smart Grids. *Journal of Computers*. 2016. С. 300–309. URL: <https://doi.org/10.17706/jcp.11.4.300-309> (дата звернення: 12.06.2026).
30. Adaptive Active Power Sharing Techniques for DC and AC Voltage Control in a Hybrid DC/AC Microgrid / A. Navarro-Rodriguez та ін. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2019. Т. 55, № 2. С. 1106–1116. URL: <https://doi.org/10.1109/tia.2018.2873543> (дата звернення: 13.06.2026).
31. Manabe Y. Application of DERs in electricity market. *Integration of Distributed Energy Resources in Power Systems*. 2016. С. 295–302. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803212-1.00013-1> (дата звернення: 13.06.2026).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 65 |

32. Komarnicki P., Lombardi P., Styczynski Z. Reliability in Smart Grids with Energy Storage Systems. *Electric Energy Storage Systems*. Berlin, Heidelberg, 2017. С. 195–211. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-662-53275-1_8 (дата звернення: 13.06.2026).

33. Applications of battery energy storage systems for distribution systems / V. C. Cunha та ін. *Distributed Energy Storage in Urban Smart Grids*. 2023. С. 197–221. URL: https://doi.org/10.1049/pbpo214e_ch9 (дата звернення: 13.06.2026).

34. Tabar V. S., Tohidi S., Ghassemzadeh S. Energy storage systems. *Handbook of Power Electronics in Smart Grids and Intelligent Energy*. 2026. С. 329–374. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-95045-9.00019-6> (дата звернення: 13.06.2026).

35. Around the Around the World. 2020: Weekly and Monthly Planner/Calendar Jan 2020 - Dec 2020 Alaska Snow-Capped Mountains. Independently Published, 2019.

36. Beyond Testbeds: Real-World IoT Deployments / F. Michahelles та ін. *IEEE Pervasive Computing*. 2018. Т. 17, № 4. С. 13–14. URL: <https://doi.org/10.1109/mprv.2018.2877789> (дата звернення: 13.06.2026).

37. Committee on Energy and Natura (senate), Senate U. S., United States United States Congress. Grid-Scale Energy Storage. Independently Published, 2019.

38. Roushenas R., Gholamyankarkon E., Arabkoohsar A. Gravity energy storage. *Future Grid-Scale Energy Storage Solutions*. 2023. С. 543–571. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-90786-6.00005-4> (дата звернення: 13.06.2026).

39. Ruchika R. Unlocking the Potential of Distributed Renewables: A Battery Energy Storage Approach to Voltage and Frequency Stability. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*. 2024. Т. 1, № 11. С. 74–78. URL: <https://doi.org/10.15199/48.2024.11.13> (дата звернення: 13.06.2026).

40. Fractional order controllers in microgrid management: systematic review / D. Nkolokosa та ін. *Multiscale and Multidisciplinary Modeling*,

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 66 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Experiments and Design. 2025. Т. 8, № 10. URL: <https://doi.org/10.1007/s41939-025-01018-4> (дата звернення: 13.06.2026).

41. Tiwari R., Singh R. K., Choudhary N. K. Protection Coordination Issues for AC Microgrid System. *Microgrid*. Boca Raton, 2024. С. 219–243. URL: <https://doi.org/10.1201/9781003481836-14> (дата звернення: 13.06.2026).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
| | | | | | <i>КвРАКІТ. 026124.01.16.ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 67 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Павловський Юрій Михайлович

Тема: SCADA-система моніторингу та керування резервним електроживленням

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 67

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є дослідження принципів побудови та функціонування SCADA-систем моніторингу і керування резервним електроживленням, а також аналіз можливостей їх використання для підвищення надійності та ефективності систем електропостачання.....

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: у першому розділі виконано дослідження предметної області та огляд джерел. У другому розділі досліджено та виконано теоретичні основи побудови scada-систем для систем накопичення енергії. У третьому розділі застосування scada-систем у мікромережах та резервному електроживленні.

4. Позитивні сторони роботи: робота характеризується актуальністю тематики та комплексним підходом до дослідження сучасних SCADA-систем моніторингу і керування резервним електроживленням, у роботі виконано аналіз сучасних систем накопичення енергії, принципів функціонування мікромереж та можливостей інтеграції в концепцію Smart Grid.

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється дослідженню моделі на фізичному об'єкті

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

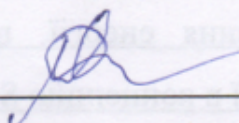
7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно 70 (D)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Яшина Оксана Миколаївна, доцент, кафедри інженерії програмного забезпечення

“ 13 ” червня 2026 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки Людмилі КОРЕЦЬКІЙ
здобувача вищої освіти
Павловського Юрія Михайловича
факультет ІТ, курс ІV, група АКІТ-22-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений. Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.06.2026

дата



підпис

Anti-Plagiarism v-15.258 (global version)

The maximum coincidence with one document 1.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. **Errors in the documents: 11%**

| | | | | |
|---|----------|---------|---------------------------|---------|
| ID: 275076 Title: БКР SCADA-система моніторингу та керування резервним електроживленням Added in a DB: 2026-06-13 Authors: Юрій ПАВЛОВСЬКИЙ Heads: Ірина ФОРКУН Consultants: Opponents: | Document | | Sum coincidence on the DB | |
| | Symbols | Lexemes | Symbols | Lexemes |
| | 79155 | 574 | 1108 (1%) | 15 (3%) |

Plagiarism sources

| ID | Description | Plagiarism presence in the document | |
|----|-------------|-------------------------------------|---------|
| | | Symbols | Lexemes |
| | | | |

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Юрій ПАВЛОВСЬКИЙ

Співавтор:

Назва: ПАВЛОВСЬКИЙ_без_рамок

Експерт: Ірина ФОРКУН

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1:0.71%

Коефіцієнт подібності 2:0%

Мікропробіли: 282

Заміна букв: 9

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-06-13 20:04:08.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

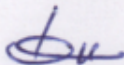
Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2026-06-13



Доцент Микола Федула

Дата

експерт

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи: «SCADA-система моніторингу та керування резервним електроживленням»

Автор: Павловський Юрій Михайлович

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Науковий керівник: Форкун Ірина Валеріївна, кандидат технічних наук, доцент

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т. ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

| № | Висновок | Позначка про відповідність |
|-----|---|----------------------------|
| 1 | Ознаки академічного плагіату | |
| 1.1 | Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є академічним плагіатом. Робота приймається до захисту. | відповідає |
| 1.2 | Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. | |
| 1.3 | Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат. | |
| 1.4 | Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту. | |
| 2 | Інші види порушень академічної доброчесності | |

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках, у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 0,71% і адресується до 8 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Дата 15.06.2026

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи




Людмила КОРЕЦЬКА

Юрій ФОРКУН

Ірина ФОРКУН