

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення SCADA-системи для дистанційного керування та моніторингу мережевих інверторів

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи КТ-41

спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-

інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

Козуб М.В.

Керівник

Тотосько О.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Чихіра І.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Микитишин А.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

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

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Микитишин А.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)
Студенту Козубу Максиму Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)
1. Тема роботи Розроблення SCADA-системи для дистанційного керування та моніторингу мережевих інверторів

Керівник роботи Тотосько Олег Васильович, канд. техн. наук, доц каф. КТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «31» березня 2025 року № 4/7-239

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21 червня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи Технічні вимоги щодо діагностики мережевих інверторів

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

Вступ

Аналітична частина

Проектна частина

Спеціальна частина

Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Висновки

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

Титульний слайд

Актуальність роботи

Завдання роботи

Основна частина

Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності,			
основи охорони праці			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	20.05.2025	Виконано
2.	Підбір джерел по темі роботи	22.05.2025-24.05.2025	Виконано
3.	Опрацювання публікацій та збір даних по темі роботи	24.05.2025-27.05.2025	Виконано
4.	Виконання роботи згідно мети	27.05.2025-29.05.2025	Виконано
5.	Оформлення першого та другого розділів	29.05.2025-31.05.2025	Виконано
6.	Оформлення третього розділу	31.05.2025-11.06.2025	Виконано
7.	Оформлення четвертого розділу	11.06.2025-13.06.2025	Виконано
8.	Підготовка презентації	14.06.2025-15.06.2025	Виконано
9.	Підготовка доповіді	16.06.2025-17.06.2025	Виконано
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	18.06.2025-19.06.2025	Виконано
11.	Нормоконтроль	19.06.2025-20.06.2025	Виконано
12.	Перевірка на плагіат	21.06.2025	Виконано
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	21.06.2025	Виконано
14.	Захист кваліфікаційної роботи		

Студент

(підпис)

Козуб М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Тотосько О.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини дипломної роботи становить _____.

Об'єм пояснювальної записки складає ____ друкованих сторінок формату А4.

В роботі використано ____ літературних джерел.

У роботі представлено розробку системи диспетчерського керування та збору даних (SCADA) для дистанційного керування та моніторингу підключених до мережі інверторів. Оскільки кількість акумуляторних накопичувачів енергії, підключених до мережі, зростає, кількість інверторів, підключених до енергосистеми, також швидко зростає. На основі доступних варіантів для виконання вимог вибрані системи SCADA, які були протестовані. На основі результатів тестування сервер на базі Інтернету речей (IoT) був збережений як ядро розробленої системи SCADA та була проведена розробка самої SCADA для вдосконалення системи для забезпечення визначених функцій. Було визнано потребу вбудувати в систему SCADA алгоритм автоматичного керування для оптимального керування інвертором, щоб максимізувати економічні вигоди від нього, враховуючи зміну цін на енергію та зміну відновлюваної енергії протягом певного періоду. Результати показують, що розроблена система SCADA змогла забезпечити характеристики, визначені під час дослідження, а алгоритм прогнозування вітру зміг максимізувати економічні вигоди.

Ключові слова: КОНТРОЛЕР, КЕРУВАННЯ, ІНВЕРТОР, СКАДА, АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ.

ЗМІСТ	
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	5
ВСТУП	6
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1. Огляд основних тенденцій використання накопичувальних інверторів	8
1.2. Системи SCADA на базі Інтернету речей для реалізації керування	14
1.3. Планування роботи для накопичення енергії в акумуляторах	17
1.4 Постановка завдань досліджень	19
2. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	22
2.1. Система СКАДА, як базовий варіант керування	22
2.2. Системи SCADA на базі апаратного забезпечення Інтернету речей з низьким рівнем ресурсів та обмеженим сховищем	30
2.3. Розробка системи SCADA на базі Private Thingspeak Sever	39
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	51
3.1 Стратегії дистанційного керування мережевим інвертором та їх реалізація за допомогою недорогої системи SCADA	51
3.2. Оптимальний алгоритм керування	59
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ	61
4.1 Вимоги охорони праці під час роботи з електроустаткуванням	61
4.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт	65
4.3 Вимоги безпеки після закінчення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування	68
4.4 Розрахунок захисного заземлення	69
ВИСНОВКИ	76
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	77

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

BESS (англ. Battery Energy Storage System) - система накопичення енергії в акумуляторах.

SCADA (англ. Supervisory Control and Data Acquisition) - система контролю та збору даних

ES (англ. Energy Storage) -Накопичення енергії

WEICAN (англ. Wind Energy Institute Canada) - Канадський інститут вітроенергетики

DC (англ. Direct Current) - Постійний струм

GSM (англ. Global System for Mobile communication) - Глобальна система мобільного зв'язку

RTC (англ. Real Time Clock) -Годинник реального часу

PIC (англ. Peripheral Interface Controller) - Контролер периферійного інтерфейсу

RTU (англ. Remote Terminal Unit) - Блок дистанційного термінала

PLC (англ. Programmable Logic Controller) - Програмований логічний контролер

ВСТУП

Електроенергію можна визначити як найважливіший товар після переходу людства в індустріальну епоху. Традиційна енергосистема була побудована для постачання електроенергії від центрального джерела живлення до розподілених споживачів. Після додавання двонаправлених джерел потоку енергії, таких як накопичувачі енергії та концепції міні- та мікромереж, енергосистема стала дедалі більш вразливою. Щоб знизити вартість постачаної енергії та покращити її якість, встановлюються системи накопичення енергії. Це дозволяє комунальним компаніям знизити вартість електроенергії, використовуючи, головним чином, відновлювані джерела енергії. Використання більшої кількості відновлюваних джерел енергії для заміни електростанцій з високим рівнем викидів вуглецю допомагає уповільнити зміну клімату, яка стала загрозою для всіх у світі [1].

Згідно з Глобальною базою даних про накопичення енергії, 98% систем накопичення енергії – це гідронасосні системи, тоді як BESS стають дедалі популярнішими завдяки вбудованим функціям, пов'язані з BESS [1]. Окрім BESS та насосної гідроенергетики, у сфері накопичення енергії використовуються різні технології. Маховики можна визначити як одну з провідних технік, що використовувалися, а системи стисненого повітря також можна розглядати як ще одну нову тенденцію [2]. Коли йдеться про сферу накопичення енергії в акумуляторах Електроенергію можна визначити як найважливіший товар після переходу людства в індустріальну епоху. Традиційна енергосистема була побудована для постачання електроенергії від центрального джерела живлення до розподілених споживачів. Після додавання двонаправлених джерел потоку енергії, таких як накопичувачі енергії та концепції міні- та мікромереж, енергосистема стала дедалі більш вразливою. Щоб знизити вартість постачаної енергії та покращити її якість, встановлюються системи накопичення енергії. Це дозволяє комунальним

компаніям знизити вартість електроенергії, використовуючи, головним чином, відновлювані джерела енергії. Використання більшої кількості відновлюваних джерел енергії для заміни електростанцій з високим рівнем викидів вуглецю допомагає уповільнити зміну клімату, яка стала загрозою для всіх у світі [1].

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Огляд основних тенденцій використання накопичувальних інверторів

Згідно з Глобальною базою даних про накопичення енергії, 98% систем накопичення енергії – це гідронасосні системи, тоді як BESS стають дедалі популярнішими завдяки вбудованим функціям, пов'язані з BESS [1]. Окрім BESS та насосної гідроенергетики, у сфері накопичення енергії використовуються різні технології. Маховики можна визначити як одну з провідних технік, що використовувалися, а системи стисненого повітря також можна розглядати як ще одну нову тенденцію [2]. Коли йдеться про сферу накопичення енергії в акумуляторах системи (BESS), дослідно-конструкторська робота, яка проводиться для використання децентралізованих BESS у домогосподарствах, а також поблизу кожного розподільчого трансформатора [2]. Також важливо розробити відповідні перетворювачі потужності, спеціально призначені для використання з BESS та інші накопичувачі енергії.

Існує багато переваг інтеграції пристроїв накопичення енергії в енергосистеми. Це не тільки дозволяє зменшити викиди вуглецю, але й покращить якість електроенергії, що постачається, підвищуючи надійність постачання [2]. Це також знизить вартість енергії, що постачається, шляхом зменшення пікових навантажень та оптимізації виробництва електроенергії. Це деякі з переваг, які користувачі отримають від інтеграції систем накопичення енергії в енергосистему. З боку комунальних підприємств, накопичення енергії було визнано другою технологією з найбільшим потенціалом як майбутнє джерело доходу для комунальних підприємств [2].

Існує багато перешкод під час інтеграції накопичувачів енергії в існуючу енергосистему. Це включає визначення розміру накопичувача енергії, як вибрати оптимальний розмір накопичувача енергії, де встановити накопичувач енергії, як

експлуатувати енергосистему...зберігання для максимізації прибутку є кількома перешкодами серед них [2].

Взаємодія систем накопичення енергії з іншими елементами інтелектуальної мережі є ще однією проблемою [2]. Зокрема, під час інтеграції різних технологій до існуючої мережі виникатимуть проблеми з протоколами, невідповідністю обладнання тощо. Перед інтеграцією систем накопичення енергії до поточної мережі необхідно вирішити багато питань. Найголовніше, що просте додавання накопичувача енергії до системи не додасть жодної користі, і вона повинна бути оптимально керована, щоб отримати від неї максимальну користь. Оскільки робоча сила недешева, накопичувачі енергії повинні контролюватися та керуватися дистанційно [2].

У більшості випадків для інтеграції систем накопичення енергії в енергосистему використовуються перетворювачі потужності, а інвертори використовуються для введення інвертованого постійного струму до мережі. Постійний струм, що виробляється сонячною, вітровою або будь-яким іншим відновлюваним джерелом енергії, або зберігається в акумуляторі чи будь-якому іншому пристрої накопичення енергії, буде подаватися в мережу. У сучасному сценарії потужність, що виробляється малими виробниками електроенергії, не контролюється та не моніториться комунальним підприємством, але вона стане необхідною для комунального підприємства, коли потужність перевищить межі стабільності.

Оскільки існує ринок, що розвивається, для систем накопичення енергії BESS та інших систем накопичення енергії, відмінних від насосних гідроакумуляуючих систем, необхідні для керування та моніторингу перетворювачів енергії (інверторів), також стануть вимогами.

На ринку можна знайти багато типів перетворювачів потужності (інверторів), тоді як високоякісні та дорогі інвертори постачаються з вбудованими системами SCADA, а недорогі інвертори з такою ж ефективністю можуть не мати таких складних функцій [3]. Зазвичай більшість дорогих інверторів, таких як SMA, мають вбудовані системи SCADA. Але більшість

інверторів нижчого класу та малих інверторів не пропонують системи SCADA. Тому існує дефіцит недорогих SCADA з відкритим кодом для інверторів. Наприклад, інвертор SMA Sunny Boy потужністю 10 кВт коштує близько 4000,00 канадських доларів [4], а максимальний ККД становить 98%, а недорогий інвертор можна знайти на Alibaba за 1000,00 канадських доларів з такою ж ефективністю [5].

Після визначення критичних характеристик SCADA, це дослідження проводиться з метою визначення найкращої доступної системи з відкритим кодом, щоб вона була доступною для використання за ліцензією з відкритим кодом з найнижчою вартістю, яку можна використовувати для дистанційного моніторингу та керування. Зрештою, розробка SCADA-системи для моніторингу та керування інвертором, підключеним до мережі.

Для досягнення вищезазначеної мети використовується багато технологій, таких як системи на базі Labview, Системи на основі Simulink, системи на основі програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом та спеціалізоване програмне забезпечення SCADA [3]. Але кожна система має багато недоліків, які обговорюються в наступних частинах цього розділу. Тому в цій роботі для розробки SCADA було обрано найсучаснішу архітектуру на основі Інтернету речей (IoT). У дисертації розглядаються такі проблеми:

- Нестача зручних та безпечних систем SCADA, які можна легко інтегрувати з інверторами.
- Оптимальне керування акумуляторним накопичувачем енергії.

SCADA — це не нова галузь. До появи транзисторів старі телефонні апарати... У галузі систем SCADA з'являлися дротові системи. До кінця 1950-х років компанії Westinghouse та North Electric Company розробили першу SCADA під назвою Visicode [3]. Потім вона поступово розвивалася після винаходу транзистора, що призвело до появи потужних комп'ютерів, мінікомп'ютерів, мікропроцесорів тощо. SCADA має три основні частини: головний термінальний блок (MTU), віддалені термінальні блоки (RTU) та інтерфейс людини-машини (HMI).

У світі розроблено багато SCADA-систем для моніторингу та керування. Хоча ця тема охоплює широку область, у цьому огляді літератури низьковитратні та в основному обговорюються варіанти з відкритим кодом. Цей огляд літератури має чотири основні цілі. Перша — огляд недорогих традиційних технологій SCADA. По-друге, оцінка технологій на основі Інтернету речей. Третя мета — безпека систем, оцінених за допомогою SCADA, і, нарешті, для керування акумуляторним блоком розглядаються оптимальні методи планування роботи.

А.М. Гуріло та ін. [6] представляють SCADA для бездротових мереж датчиків та виконавчих механізмів для моніторингу критичної інфраструктури економічно ефективним способом, усуваючи проблеми, пов'язані з типовою SCADA. Проблеми, що виникають через відсутність гнучкості розгортання датчиків, які передають дані моніторингу. Автори запропонували рішення з використанням шлюзу та веб-сервісів для веб-орієнтованої SCADA, до якої можна отримати доступ через Інтернет. Вони також представили реальний сценарій з використанням SCADA з відкритим кодом під назвою MANGO, що фізично застосовується для моніторингу електричної мережі. Вони визначили кілька характеристик у SCADA:

- Динамізм: вузли гнучкі та мобільні, що дозволяє легко додавати та видаляти завдяки меншій кількості проводів.
- Модернізація: додавання нових технологій або функцій до старих систем
- Простота встановлення: датчик не повинен потребувати окремого джерела живлення.
- Резервування: надійність є однією з ключових функцій, яку необхідно додати до системи SCADA.

Крім того, вони визначили деякі проблеми, пов'язані з розробкою Система SCADA як:

- Зв'язок у режимі реального часу.
- Підтримка управління.

- Безпека.

Недорогі системи SCADA

Система на базі PIC-мікроконтролера: YP Zhang та ін. [7] представляють систему SCADA з недорогими елементами, такими як мікроконтролер PIC18F4620, GSM-модем, контролер Ethernet, плата RTC, цифровий термометр та РК-дисплей. У запропонованому рішенні дистанційне керування та моніторинг забезпечуються за допомогою двох рішень:

- 1) Послуга коротких повідомлень (SMS) GSM/3G / телефонний дзвінок.
- 2) веб-сторінка, розміщена на мікроконтролер PIC. AT-команди використовуються для керування GSM-модемом.

Хоча мікроконтролери PIC дешевші, керувати ними набагато складніше порівняно з Arduino. А також складніше підключати пристрої до PIC порівняно з Arduino.

Система на базі ESP8266.

Проектування дистанційного керування з використанням модуля ESP8266 представлено YP Zhang та ін. [8]. Оскільки концепція Інтернету речей полягає в підключенні кожного датчика та виконавчого механізму до Інтернету через IP-адресу, цей проект можна розглядати як початок.

Хоча дистанційне керування вилкою не є новою концепцією, Цей дизайн можна розглядати як життєво важливе рішення із застосуванням ESP8266 та побутової техніки, підключеної до розумної розетки, оскільки люди можуть керувати пристроями будь-коли та будь-де. Модуль Wi-Fi є важливим для всіх послуг Інтернету речей, оскільки існуючі підходи в основному стосуються аспектів та проблем, пов'язаних із підключенням та комунікацією.

ESP12E можна розглядати як одну з нових тенденцій завдяки архітектурі Інтернету речей (IoT) та низькій вартості ESP8266. Однак ця стаття звужує застосування ESP8266 для домашніх застосувань, де він має широкий охоплення області застосування. Цей пристрій може використовуватися як сам сервер, так і як клієнт.

Системи на базі ArduinoY [9] представлено систему SCADA для візуалізації та моніторингу стану критично важливої інфраструктури. Цей потенціал призвів до появи концепції веб-орієнтованого керування, що дозволяє кінцевим користувачам отримувати доступ до системи та використовувати розпізнавання кольорів. Запропонована в цій статті система розроблена з використанням плати мікроконтролера Arduino.

Хоча Arduino та веб-орієнтовані системи набагато перевершують системи на базі PIC, Нові системи на базі Arduino та Інтернету речей грають набагато кращу роль порівняно системами, що базуються на веб.

Недорогі сервери

Реалізації на основі Labview та Simulink С. Г. Хегде та ін. [10] представляють недорогу SCADA-систему, яка працює як віддалений термінал (RTU) та допомагає збирати дані з ПЛК. У своєму підході вони мають такі кроки:

- Віддалений термінальний блок збиратиме дані з серії ПЛК та створюватиме базу даних отриманих даних.
 - Потім ці дані надсилаються на сервер за допомогою Zigbee.
- Необхідні факторитакж передаються за допомогою модуля Bluetooth.
- Це робиться за допомогою Labview з використанням недорогих апаратних пристроїв, таких як ZigBee, Bluetooth, модуль GSM/GPRS та РК-дисплей.

А. Соетеджо та ін. [11] представляють технологічно просунуті системи збору даних для моніторингу швидкості вітру, сонячного опромінення та температури фотоелектричних систем на основі недорогого мікроконтролера AVR. Цей проект також є одним із прикладів недорогої системи SCADA, яка використовує недорогий фотоелектричний модуль, а не дорогий піранометр. Під час аналізу використаного програмного та апаратного забезпечення,

- Датчик температури на інтегральній схемі (IC) LM35 та анемомет чашкового типу-ter використовуються для вимірювання температури та швидкості вітру відповідно,
- Labview використовується для розробки алгоритму керування,

- Замість настільного комп'ютера вони використовували мікроконтролер для зберігання даних. послідовна EEPROM,
- Modbus використовується як протокол для зв'язку між DAQ та іншими пристроями.

Вони також представляють структуру Intranet-SCADA з використанням збору та управління даними на базі LabVIEW. Вона описує конфігурацію RTU для доступу та передачі даних у режимі реального часу через Intranet або Інтернет. Програма на базі Labview розроблена для контролю рівня води у водосховищі. У цій статті вартість LabView не враховується. Хоча системи на базі Labview прості у впровадженні, вони є дорогими порівняно з іншими недорогими підходами.

Використання програмного забезпечення SCADA з відкритим кодом Гріло А. М. та ін. [6] представляють використання веб-орієнтованого програмного забезпечення SCADA під назвою Mango. Було представлено систему SCADA, що використовує WSN для візуалізації та моніторингу стану системи СІ. Деякі поширені проблеми, що існують у цих системах: робота в режимі реального часу, управління та безпека, розглядаються в статті [6].

Основним недоліком використання стандартного програмного забезпечення SCADA є те, що воно взаємодіє лише за кількома протоколами, і важко налаштувати протокол без... спеціальне навчання роботи з системою [12].

1.2. Системи SCADA на базі Інтернету речей для реалізації керування

Розподілена SCADA-система на основі агентів представлена Б. Т. Серджи та ін. [13] і є пропозицією інтегрувати функціональні можливості інфраструктури відкритих ключів (PKI), що стосуються на розподілених функціях, у промисловій системі керування (ІКС).

Для реалізації визначено кілька агентів, таких як агент інтерфейсу, агент контролера, агент приладу, агент процесу та агент хоста. Оскільки він має агентно-орієнтовану архітектуру, його також можна розглядати як багатоагентну

SCADA, яка має багато функцій. Крім того, вони показали, як можна побудувати інфраструктуру відкритих ключів за допомогою розподілені елементи, що використовуються в розподіленій системі керування. Крім того, наприкінці коротко обговорюється обговорення загроз безпеці через багатоагентну систему для SCADA.

К. Феліпе та ін. [14] представляють концепцію датчиків бездротового зв'язку, яка має справу з коливаннями температури під час масштабованого промислового процесу. Доступ до цих датчиків можливий з будь-якого місця, оскільки вони використовуються за технологією Інтернету речей. ПЛК працює відповідно до заданих значень датчиків температури, і цей ПЛК може бути контактним або керованим через графічну програмну платформу, за допомогою якої дані датчиків збираються в хмару. Ця система використовує SCADA для моніторингу системи. Крім того, система взаємодіє, формуючи мережі Петрі, які діють відповідно до дискретних подій, а програмне забезпечення, яке використовується для моделювання цієї системи зв'язку - це програмне забезпечення WoPeD.

SCADA на базі Thingspeak

Через те, що сервер thingspeak має відкритий вихідний код, багато досліджень зараз проводиться з його використанням.

У своїй проектній роботі автор використовує веб-сервер IoT thingspeak, який є відкритим...API-сервіс, який можна використовувати з датчиками для моніторингу знятих даних на рівні хмари та їх об'єднання [15]. Унікальною особливістю є отримання знятих даних до MATLAB R2016a за допомогою ідентифікатора каналу та ключа API зчитування, який призначається сервісами та дозволяє відстежувати значення даних через певні проміжки часу. У цьому проекті використовується плата Arduino UNO, модуль Wi-Fi ESP8266, який допомагає обробляти та передавати зняті дані до хмари thingspeak. Основним недоліком використання сервера thingspeak.com є те, що він дозволяє користувачеві завантажувати дані лише з дуже низькою частотою, де користувач може надавати дані кожні 15 секунд. Але коли той самий сервер встановлено

локально, він дозволить користувачеві завантажувати дані з будь-якою частотою [15].

Безпека систем SCADA

З. Бонні та ін. [16] представляють відмінності між системами SCADA та стандартними ІТ-системами, а також обговорюють, як ідентифікувати небезпеку, пов'язану зі SCADA, та як захистити SCADA. У цій статті також представлено набір цілей безпеки майна.

Також у цій статті описано спосіб виявлення можливих кібератак, таких як кіберфізичні атаки на SCADA, спричинені кібератаками, та способи вимірювання та захисту системи SCADA від таких атак шляхом вимірювання впливу на SCADA. Крім того, наведено порівняння між SCADA та традиційними ІТ-мережами. Автори встановили кілька цілей безпеки або функцій, які слід включити до системи SCADA,

- Ціль безпеки майна
- Своєчасність – критичність часу для систем контролю
- Наявність- обладнання в системі повинно бути готове до використання, коли це необхідно
- Цілісність – дані в системі SCADA є справжніми та неушкодженими безнесанкціоноване втручання.
- Конфіденційність – неуповноважені особи не повинні мати доступу до інформації.
- Витончена деградація – ізоляція атакованих без їх поширення.
- Модель довіри – забезпечується базова фізична безпека. Зокрема, SCADAсервер або головний термінальний блок (MTU) фізично захищений, тобто ми припускаємо, що на сервері, де знаходяться центральні алгоритми керування та оцінки, немає прямого фізичного захищення [16].
- Модель загроз – загрози для сенсорних мереж та звичайних ІТ-системтакож загрози для системи SCADA.

Хасан та ін. [17] надають огляд систем довіри, що використовуються для SCADA-систем, які включає функції брандмауера та виявлення вторгнень у

мережу. Крім того, система TRUST може контролювати вхідний та вихідний трафік. Однак, щоб знизити як капітальні, так і експлуатаційні витрати, до системи підключено лише основні вузли, і ці вузли називаються вузлами TRUST. З точки зору топології мережі, у цій статті обговорюється формування мережі довіри, а також досягається створення методу захисту SCADA з підключенням мінімальної кількості вузлів. У цьому випадку для розподілу вузлів та вимірювання географічної дисперсії було використано підхід сегментації мережі та методи мінімального охоплюючого дерева (MST).

1.3. Планування роботи для накопичення енергії в акумуляторах

Багато видів досліджень були присвячені проблемі планування, і значні зусилля були спрямовані набуло присвячено.

Традиційні підходи

Д. К. Малі та ін. [18] представляють алгоритм динамічного програмування для оптимального планування заряду/розряду BESS. Алгоритм забезпечує мінімізацію рахунків за електроенергію для заданої ємності акумулятора, а також зменшує навантаження на акумулятор та продовжує термін його служби. Він показує, що оптимальна крива заряду суттєво відрізняється від кривої, яка зазвичай публікується для BESS.

Чін Х. Ло та ін. [19] показують алгоритм, що поєднує багатопрохідне динамічне програмування (MPDP) з методом зсуву часу, який був розроблений протягом двох років.

Цілі: економічне диспетчеризація BESS та пошук оптимальної потужності та енергетичних потужностей BESS в енергосистемі. Порівняння між підходами DYNASTORE та модифікованим MPDP було проведено з прийнятною розбіжністю.

Мохаммад С.Х. та ін. [20] використали релаксацію Лагранжа (LR) для вирішення тієї ж задачі оптимізації. Математична модель, що обговорюється, базується на кривій навантаження типової енергетичної компанії та показує, що

впровадження накопиченої енергії в систему зменшує потребу в надмірній генерації для задоволення пікового навантаження. Крім того, вона показує, що операція накопичення енергії забезпечує динамічну економію експлуатаційних витрат, дозволяючи повне резервування обертового резервного блоку, коли коливання навантаження між піковим та позапіковим рівнями становить менше 25 відсотків.

Підхід на основі штучного інтелекту

Нещодавно для вирішення цієї проблеми були використані алгоритми на основі штучного інтелекту, такі як генетичний алгоритм (GA), еволюційне програмування (EA) та оптимізація рою частинок (PSO).

Тай DHS та ін. [21] використовують еволюційне програмування (EP) для мінімізації витрат на експлуатацію енергетичної системи з кількома розподіленими ресурсами накопичення енергії. Еволюційний метод поєднує переваги як динамічного, так і еволюційного програмування шляхом розробки кусково-лінійних опуклих функцій витрат на використання (тобто, криві значення вмісту сховища). Показано, що еволюційне програмування підходить як для децентралізованих обчислень, так і для ринкових застосувань. Тематичні дослідження демонструють, що цей метод є надійним та ефективним для цього типу задачі планування.

Ленс CCF та ін. [22] пропонують комбінований підхід на основі нечітких та генетичних алгоритмів. Було розроблено два алгоритми. Один базувався на підході чистого генетичного алгоритму (PGA), а інший – на комбінованому підході нечіткої логіки та генетичного алгоритму (FGA). Щодо ефективності та циклів заряду-розряду, метод FGA здатний забезпечити покращені результати.

Цунг-Ін Л. та ін. [23] пропонують підхід на основі оптимізації рою частинок (PSO). Новий алгоритм отримав назву багатопрохідна ітераційна оптимізація рою частинок (MIPSO), під час підготовки алгоритму враховуються впливи невизначеності швидкості вітру та навантаження.

1.4 Постановка завдань досліджень

Диспетчерське керування та збір даних є життєво важливими для будь-яких пристроїв, пов'язаних з енергетичною системою. У сфері інтелектуальних мереж зростає попит на недорогі системи SCADA. На рис. 1.1 показано типову структуру SCADA; вона містить кілька віддалених станцій, підключених до головної станції, а взаємодія людини з машиною здійснюється через комунікаційну мережу, зазвичай через Інтернет.

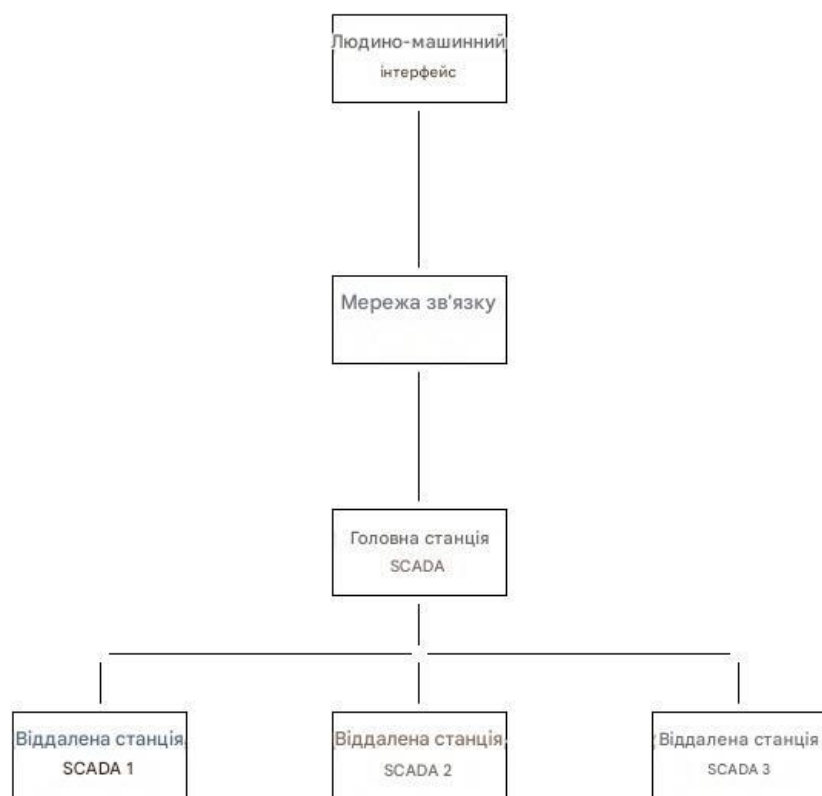


Рисунок 1.1 - Огляд SCADA

Проблема I: Особливості SCADA для накопичувача енергії (ES)

Хоча дослідницька спільнота приділяє ширшу увагу системам SCADA, очікувані від системи SCADA функції відрізняються залежно від системи. Хоча накопичення енергії не є новою галуззю, вимога моніторингу та управління ES не є необхідною, доки вона не зробить значний внесок у постачання та попит на електроенергію. Тому існує вимога визнавати та документувати очікувані функції від використання SCADA для моніторингу та управління ES.

Проблема II: Висока вартість SCADA

Існують деякі недорогі системи SCADA з відкритим кодом. Існує потреба в проведенні дослідження для визначення придатності цих систем для моніторингу та контролю надзвичайних ситуацій (ES).

Проблема III: Моніторинг накопичувача енергії

Системи накопичення енергії, по суті, потребують моніторингу для визначення потоку потужності через ES, а також для цілей технічного обслуговування. Тому на основі адаптованої системи необхідно розробити SCADA з наступними функціями для інвертора, розробленого в Університет Нью-Брансвіка [24],

- Зв'язок здійснюється за протоколом, описаним у Додатку А
- Завантаження даних щосекунди
- Низька вартість з верхньою межею 500,00 канадських доларів.

Проблема IV: Керування накопичувачем енергії

Контроль є важливою функцією, яку необхідно вбудувати в систему SCADA. З огляду літератури можна визначити, що існує прогалина в оптимальному контролі інвертора, підключеного до накопичувача енергії, для максимізації прибутку. Накопичувач енергії працює як навантаження, так і джерело живлення для енергосистеми, тому контроль необхідно здійснювати з урахуванням тенденцій цін, а також даних про навантаження.

Цілі та очікуваний внесок

Основною метою цього дослідження є розробка недорогої SCADA для моніторингу та керування інвертором, що підключається до мережі. На рис. 1.2 показано архітектуру розробленої системи.

Основна мета досягається шляхом досягнення чотирьох підцілей.

Мета 1 полягає у визначенні основних характеристик системи SCADA для дистанційного керування інвертором, підключеним до мережі.

Мета 2 полягає в порівнянні доступних недорогих варіантів SCADA.



Рисунок 1.2 - Огляд запропонованої системи

Мета 3 полягає у розробці недорогої SCADA з функціями, зазначеними на рисунку 1.2.

Мета 4 полягає в управлінні інвертором, підключеним до системи накопичення енергії, для максимізації прибутку.

2. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1. Система СКАДА, як базовий варіант керування

WEICAN – це некомерційна організація, заснована в 1981 році. WEICAN допомагає дослідникам тестувати свої вітрові турбіни на своєму об'єкті, і вони проводять стандартні тести для перевірки життєздатності конструкції. WEICAN – одне з найкращих місць для спостереження за різними типами вітрових турбін в одному місці. Крім того, дослідницький інститут також володіє вітровим парком потужністю 10 МВт з п'ятьма вітровими турбінами потужністю 2 МВт, інтегрованими з акумуляторним накопичувачем енергії. На рисунку 2.1 зображено однолінійну схему вітрового парку. Завдяки своїй конфігурації та розташування, WEICAN можна визначити як найкраще місце для спостереження за різними системами SCADA в одному місці. WEICAN використовує системи збору даних для збору даних для різних вітрових турбін, які вони тестують. Моніторинг та керування вітровим парком здійснюється за допомогою центральної SCADA. Для моніторингу стану лопатей вітрової турбіни, моніторингу та керування акумуляторним накопичувачем енергії, моніторингу стану генератора вітрової турбіни здійснюється через окремі системи SCADA. На рисунку 2.2 показано топологію даних для WEICAN. На рисунку 2.3 показано схему SCADA для вітрової електростанції.

Система управління системою управління системою управління системою (VTS)

VTS – це основна система SCADA, яка використовується WEICAN для моніторингу та керування своїм вітровим парком. Дані, отримані з інших систем SCADA, також надходять до VTS. Повністю інтегрована VTS забезпечує такі функції:

- Інтерфейс HMI, створений для операторів
- Процесдисплеї

— Керування тривогами та подіями

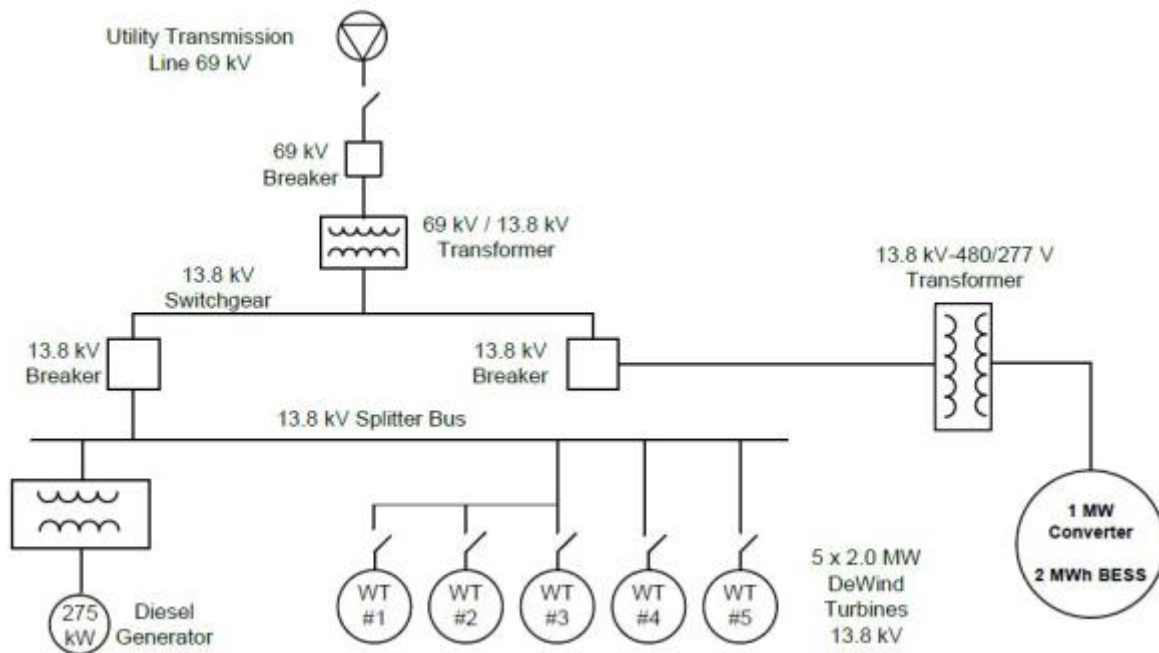


Рисунок 2.1 - Однолінійна схема вітрового парку

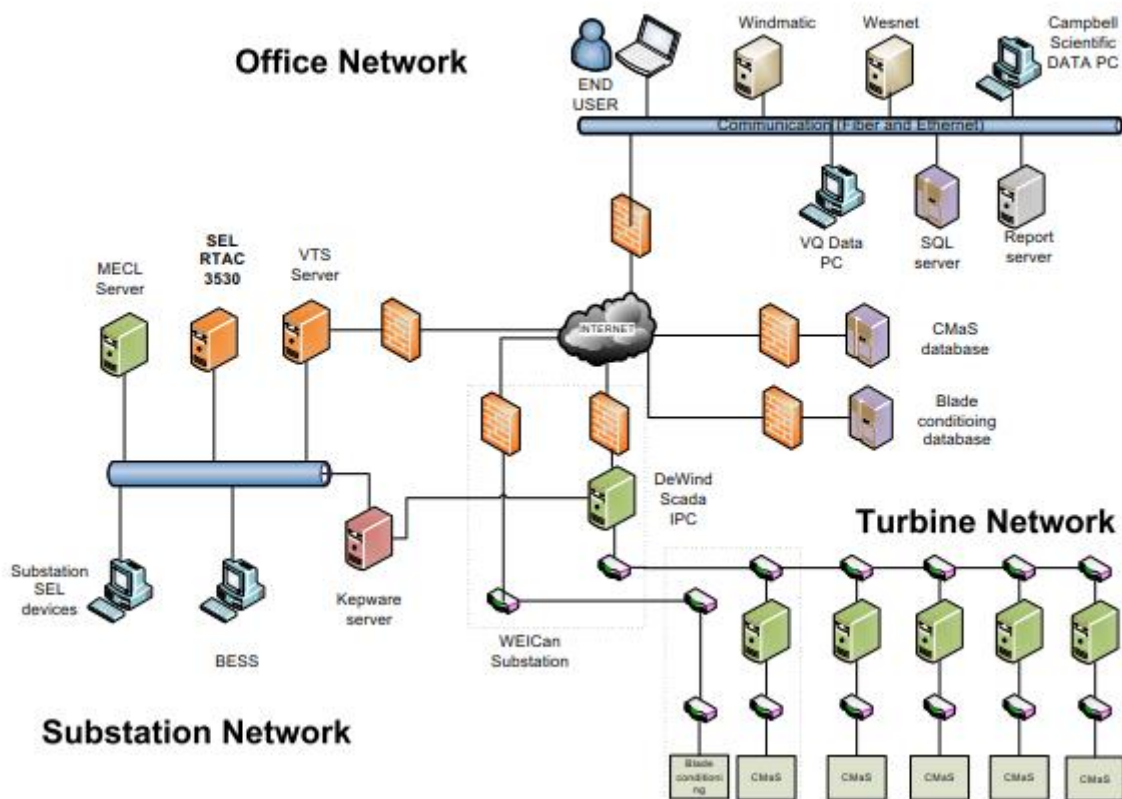


Рисунок 2.2 - Топологія даних

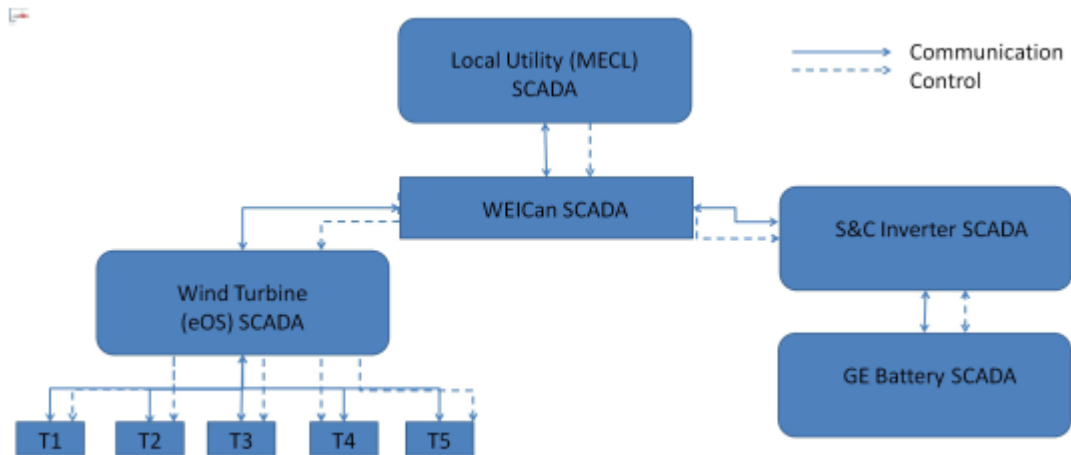


Рисунок 2.3 - Управління та моніторинг вітрової електростанції

- Історичний переглядач даних (HDV)
- Генератор звітів
- Функції, що забезпечують зручність використання
- Безпечний універсальний доступ до SCADA
- Тонкі клієнти VTScada
- Сповіщення про тривогу SCADA
- Висока надійність
- Резервування та автоматичне перемикавання на резервний режим
- Історія в режимі реального часу та резервне копіювання конфігурації
- Реєстрація історичних даних
- Розширений зв'язок
- ODBC-сервер
- OPC-клієнт/сервер
- Веб-сервіси
- Модем управління
- Управління опитуваннями

Інженерна операційна система (EOS)

EOS постачається з вітровими турбінами DeWind. У цьому інституті VTScada забезпечує можливості керування верхнім рівнем, а EOS керує

контролером нижчого рівня. Він також призначений для збору даних. EOS постачається з такими компонентами.

– Керування EOS: Програмне та апаратне забезпечення для управління та контролю вітрових електростанцій та каналів зв'язку, а також для обробки локальних резервних копій даних.

Кемпбелл Сайентифік

Campbell Scientific пропонує широкий асортимент продуктів для систем реєстрації даних та SCADA. В інституті використовують ці системи для процесу збору даних на вітровій турбіні, яка проходить випробування.

Збір даних ION

ION лічильник – це лічильник енергії, вироблений Schneider Electric, який зберігає дані про споживання електроенергії. Користувач може імпортувати дані з лічильника за допомогою програмного забезпечення ION.

Система збору даних IMC

Ця система збору даних має на меті отримувати дані з п'яти турбін, щогли метро та тензодатчиків. Вона надсилає дані до центральної системи SCADA.

Система управління станом CMAS

Ця система призначена для контролю стану коробки передач. Вона також контролює інші елементи трансмісії. компоненти у вітровій турбіні.

Особливості систем SCADA

Графічні інтерфейси користувача (GUI)

Зручні графічні інтерфейси користувача є однією з найважливіших частин HMI. На рисунках 2.4, 2.5 та 2.6 показано інтерфейси різних систем SCADA.

Триви

Якщо говорити конкретно про систему сигналізації, то більшість систем SCADA не мають системи сигналізації, оскільки більшість із них призначені лише для запису даних. Але в основній SCADA реалізована сигналізація VTScada з наступними функціями.

- Інтерфейс сигналізації має кілька вкладок.

- Надається кілька рівнів повноважень. Дії можуть виконуватися лише особою вищого рівня.
- Існує п'ять категорій сигналів тривоги,

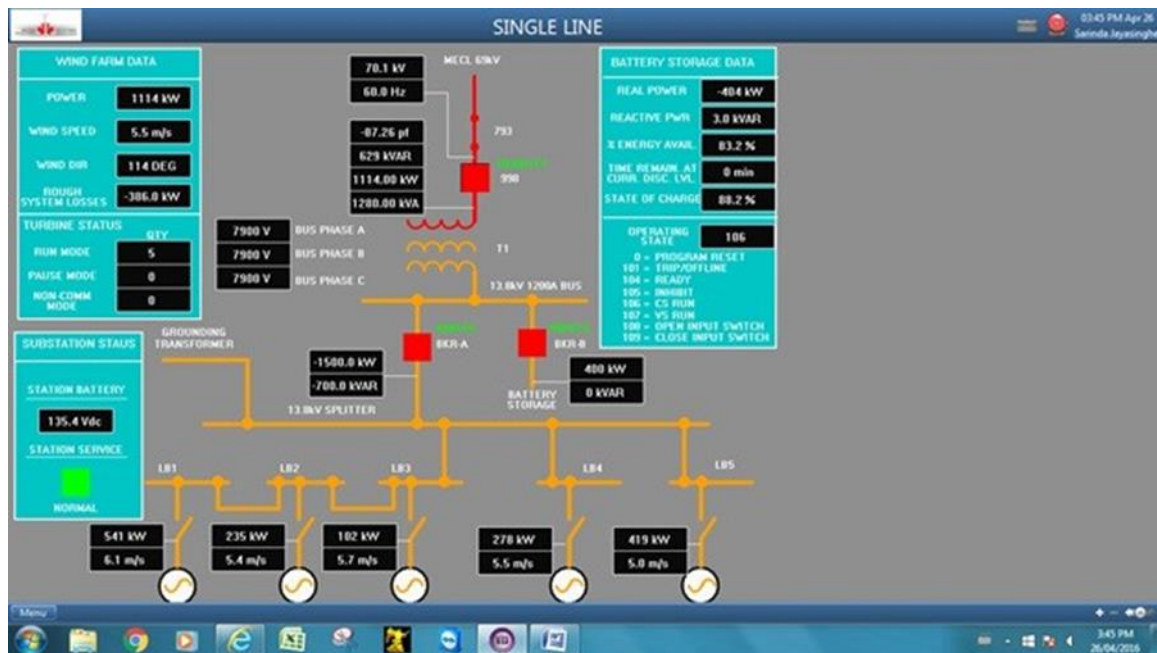


Рисунок 2.4 - Інтерфейс VTScada

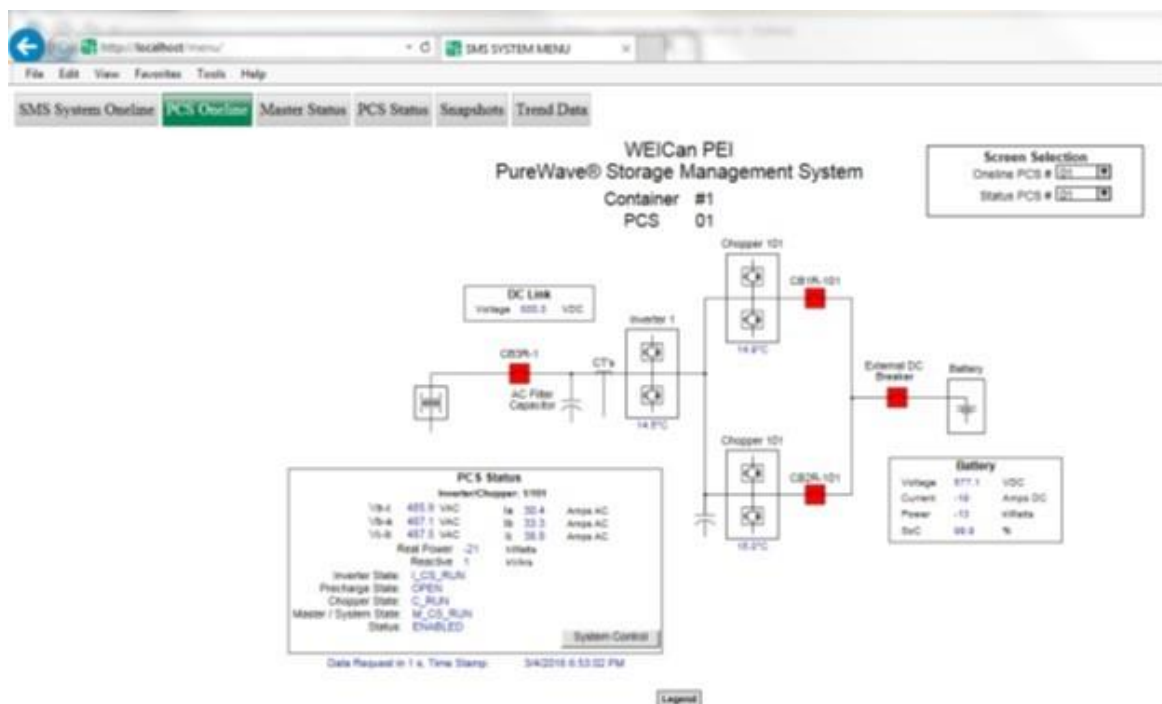


Рисунок 2.5 - Інтерфейс системи керування сховищем PureWave

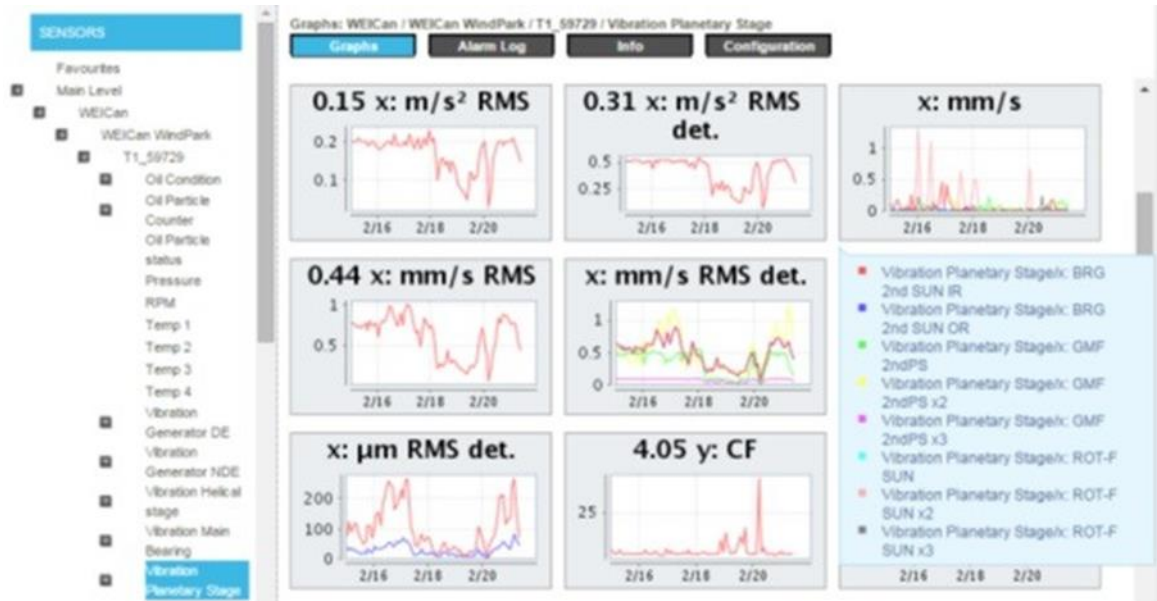


Рисунок 2.6 - Веб-інтерфейс моніторингу стану трансмісії Moventas

1. Подія
2. Критичний
3. Високий
4. УВАГА
5. Повідомлення

У критичному та вищому рівнях система автоматично надсилає текстові повідомлення або електронний лист відповідальній особі. Якщо хтось підтвердить тривогу, його чи її ім'я буде відображатися.бути записаними в системі.

Впровадження сигналізації

Тривожні події потрібно ввести до SCADA, виконавши такі кроки.

1. Тег (точку даних) необхідно створити
2. Тег тривоги пов'язується з тегом, створеним на першому кроці
3. Критерії стану тривоги в межах тегу тривоги
4. Потрібно ввести місце призначення сигналу тривоги (екран, електронна пошта, SMS тощо)

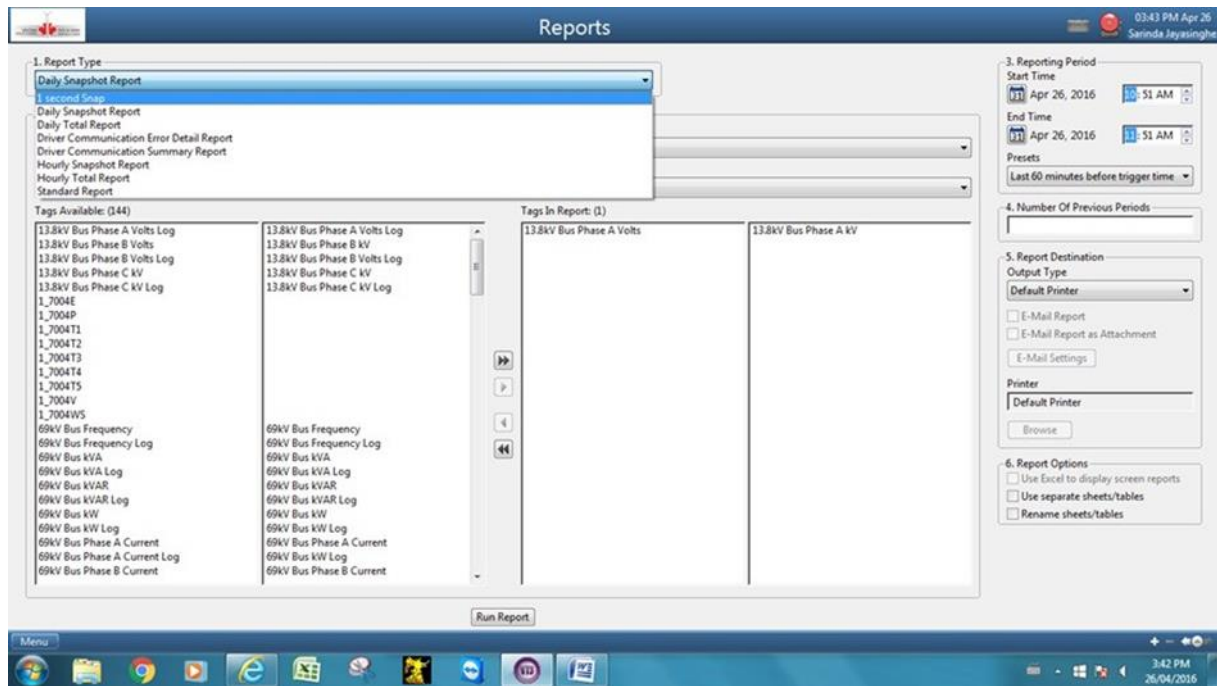


Рисунок 2.7: Впровадження звітів

Звітність

Звітність також є важливим аспектом системи SCADA. Звіти генеруються, коли період часу вибирається з графічного інтерфейсу. На рисунку 2.7 показано інтерфейс звітності VTS.

Реєстрація даних / Надмірність даних

Коли справа доходить до реєстрації даних, WEICAN використовує свої сервери для реєстрації даних. Крім того, в кожній точці генерації даних встановлені реєстратори даних із резервними джерелами живлення, що забезпечують надмірність даних для системи.

Усі SCADA-системи написані таким чином, що у разі збою мережі дані реєстрації зберігаються в їхній пам'яті, а після ремонту системи вони передаються іншим системам, таким як VTS. Те саме стосується і відключення живлення. У такому випадку, коли мережа виходить з ладу через збої живлення маршрутизаторів та іншого мережевого обладнання, дані реєструються реєстраторами даних поблизу точок виведення даних (ці пристрої оснащені резервною системою ДБЖ, яка може працювати 4-5 годин).

Операції з даними

Більшість аналізів виконується за допомогою Excel (наприклад, для створення кривої потужності ми розробили електронну таблицю з багатьма макросами для створення кривої потужності відповідно до ІЕС 61400-12-1 Вимірювання енергетичної ефективності вітрових турбін) [30]. Вони також імпортують дані в інше програмне забезпечення, таке як Windographer та WindPro, для проведення аналізу та створення звітів. Іноді студенти/відвідувачі використовують MATLAB та їхнє програмне забезпечення. В середньому можна оцінити, що на передачу даних з реєстраторів даних буде витрачено близько 1 години на тиждень. Щодо вибірки даних, репрезентативна вибірка даних становить 1 Гц, резервне копіювання сховища виконується щодня/щотижня, коли проект активний, резервне копіювання сховища створюється вручну щомісяця на зовнішній жорсткий диск.

Мережі/Протоколи

У WEICAN для мережевого підключення використовуються оптоволоконні з'єднання, Ethernet та Wi-Fi (лише в T5 для системи кондиціонування лопатей, між гондолою та концентратором).

TCP/IP

- Протокол керування передачею (TCP) та Інтернет-протокол (IP) – це мережеві протоколи.
- Протокол розподіленої мережі (DNP3), що використовується між компонентами в процесі системи автоматизації. Цей протокол використовують такі комунальні підприємства, як електро- та водопостачання.
- Використання для зв'язку між вітровою турбіною та SCADA, а також для зв'язку між Maritime Electric Company, Limited (MECL) та SCADA

Modbus

- Modbus – це протокол послідовного зв'язку [30].
- Зв'язок між системою накопичення енергії акумулятора та SCADA

IMC/Canbus

- (Щога T5 MET) Протокол міжмодульного зв'язку (IMC) – це протокол, орієнтований на повідомлення. Цей протокол використовується переважно для застосувань реального часу.

EtherCAT

- EtherCAT — це високопродуктивний мережевий протокол Ethernet.

Швидкий обмін повідомленнями SEL

- Протокол швидкого обміну повідомленнями SEL дозволяє RTAC SEL-3530 безпосередньо зв'язуватися з реле SEL та комунікаційними процесорами.

- Використання для зв'язку між пристроями підстанції та SCADA

2.2. Системи SCADA на базі апаратного забезпечення Інтернету речей з низьким рівнем ресурсів та обмеженим сховищем

Розроблено тестовий стенд з інвертором та датчиком напруги постійного струму, а також датчиком струму постійного струму з реле для відключення від сторони постійного струму. Цей розділ складається з двох основних частин. У першій частині автор обговорює доступні опції для клієнтської частини. У другій частині документовано опції для серверної частини, а в кінці розділу порівнюються як клієнтська, так і серверна частини.

З економічної точки зору вартість системи можна визначити як одну з найбільшкритичні фактори. В рамках дослідження в WEICAN було проведено опитування для отримання додаткової інформації про комерційно доступні системи SCADA [30].

У науково-дослідному інституті VTScada використовується для моніторингу та керування вітровими турбінами. Система накопичення енергії на базі батарей та акумуляторів. Початкова вартість системи для пакета розробки на 1000 тегів вводу/виводу становить близько 5595,00 канадських доларів [32]. За технічне обслуговування та екстрену підтримку стягується 20% річної плати від початкової ціни. У цьому розділі ця вартість береться за базову. А безпеку

можна визнати одним із найважливіших факторів, які слід враховувати в інтелектуальних мережах. ІЕС 62351 визначає кібербезпеку для протоколів зв'язку. Однак безпека розробленої системи не тестується відповідно до цього ІЕС 62351. Натомість враховується наявність чиєїсь роботи через чужий сервер та наявність відкритих портів [31].

У більшості літературних джерел використовуються методи моніторингу та управління на основі LabVIEW [33]. М. Н. Ашраф та ін. [33] представляють структуру Intranet-SCADA з використанням збору та управління даними на основі LabVIEW. Крім того, вони описують конфігурацію віддалених термінальних пристроїв для доступу та передачі даних у режимі реального часу через Intranet або Інтернет [33]. Основним недоліком цього методу є використання LabVIEW через його вартість. С. Анам та ін. [11] надають хороший огляд еволюції технологій SCADA, а також висвітлюють проблеми безпеки критичної інфраструктури (CI), а також надають існуючі передові практики та рекомендації щодо покращення та підтримки безпеки. Крім того, вони пропонують розумне пояснення системи SCADA на основі IoT. Огляд систем моніторингу та управління на основі IoT має набагато кращі якості, такі як природне обслуговування та легка інтеграція [34]. Підключення інвертора до SCADA можна визнати критичною частиною цього дослідження. Існує кілька способів підключення, де в більшості літератури для недорогих SCADA-систем використовуються системи збору даних на основі PIC [7]. Основний недолік Недоліком систем на базі PIC є те, що, на відміну від систем на базі Arduino, до них складніше підключатися до нової периферії.

Низькозатратні варіанти на стороні клієнта

Як показано на рисунку 3.1 у цьому розділі, розглянуто варіанти для віддалених станцій SCADA. Використовуються три основні клієнтські платформи, а саме: клієнт на базі ESP12E DEVKIT V2, клієнт на базі Arduino та Wi-Fi Shield та клієнт на базі Raspberry Pi (RPI).

Клієнт на базі 12E

ESP-12E – це модуль UART-Wi-Fi з дуже помірними цінами та технологією наднизького енергоспоживання, розроблений спеціально для мобільних пристроїв та програм Інтернету речей [8]. Фізичний пристрій користувача може бути підключений до бездротової мережі Wi-Fi, Інтернету або внутрішньомережевого зв'язку з мережевими можливостями. ESP12E можна запрограмувати за допомогою Arduino IDE. Він може безпосередньо працювати як сервер або підключатися до Wi-Fi та надсилати дані на віддалено розташований сервер з невеликими витратами та високою швидкістю обробки близько 80 МГц (максимум 160 МГц), тоді як Arduino Mega має лише (16 МГц). Цей модуль також має 4 МБ флеш-пам'яті. Але є кілька недоліків, таких як наявність лише одного аналогового входу, тому для подолання цієї проблеми використовується мультиплексор (SN 74LS151N). Основним недоліком є низький радіус дії Wi-Fi. Загальна вартість клієнтської частини становить 15,00 канадських доларів [35].

Клієнт на базі Arduino та Wi-Fi Shield

У цьому випадку використовується Arduino UNO разом з платою Arduino WiFi. Усі недоліки, згадані для ESP12E, цим усуваються. Однак надійність системи залежить від індивідуальних характеристик, оскільки надійність системи буде нижчою, ніж надійність окремих компонентів. Основним недоліком порівняно з ESP12E є вартість системи [35], де загальна вартість приблизно в десять разів (10X) вища, ніж у ESP12E.

Клієнт на базі Raspberry Pi

Raspberry Pi 3 також є чудовим варіантом, який є дешевшим та надійнішим. Але його вартість знову ж таки в п'ятнадцять разів вища, ніж у системи ESP, якщо врахувати клавіатуру, мишу, монітор та живлення. В рамках проекту RPI 2 тестується з адаптером WI-FI та Ethernet, де Arduino MEGA працює як основний аналоговий зчитувач, а дані передаються до RPI через SPI. У своїй статті А.Д. Дешмукх та ін. [36] використовують систему на основі RPI для цілей моніторингу.

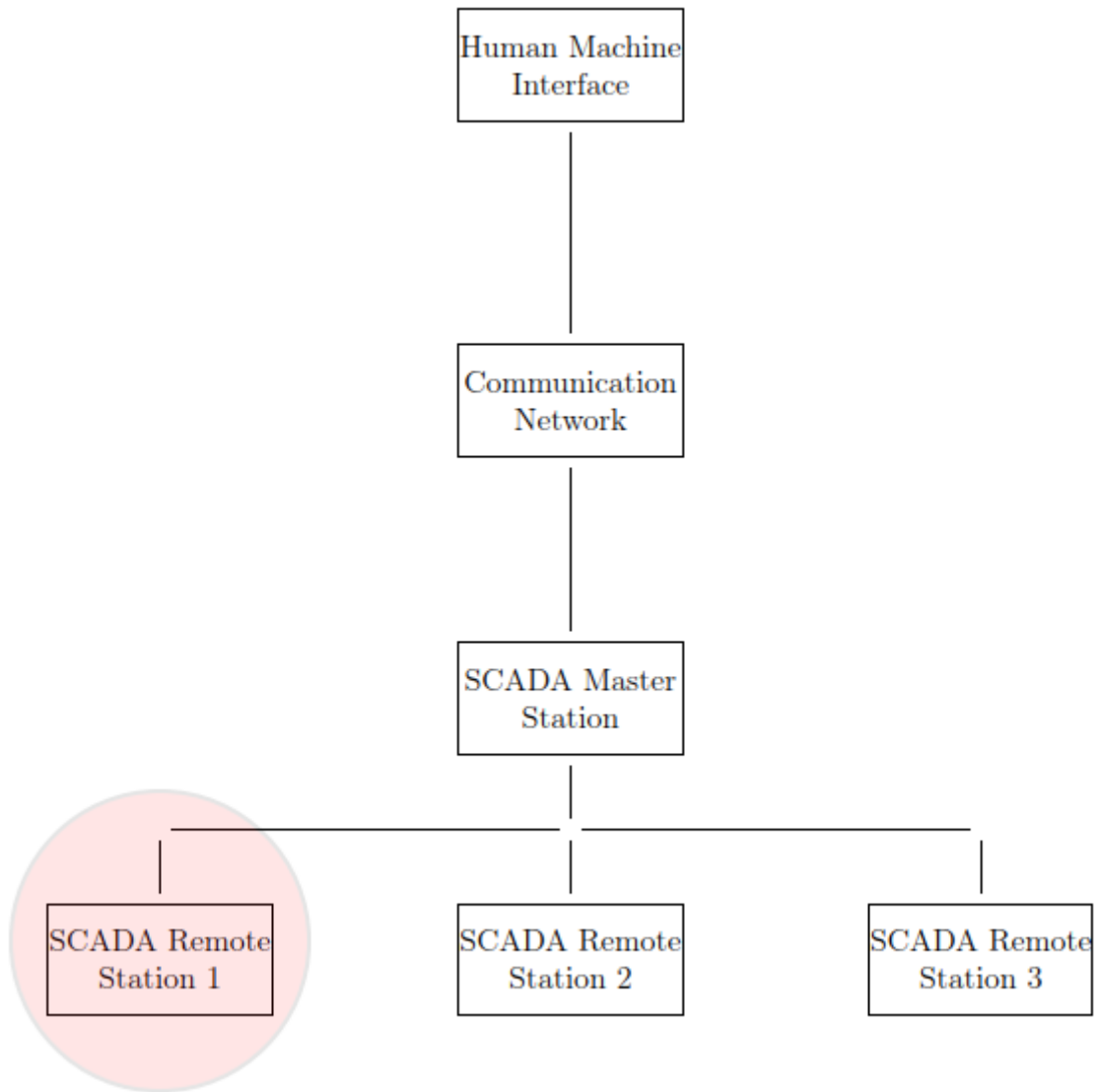


Рисунок 2.8 - Клієнтська сторона

Параметри SCADA-сервера

Головна станція SCADA, показана на рисунку 2.9, розглядається як сервер SCADA. Як згадувалося у вступі, у цьому дослідженні було протестовано чотири основні варіанти. Розглянуто підключення до віддаленого робочого столу з локальним сховищем даних, програмне забезпечення SCADA з відкритим кодом, постачальник послуг Інтернету речей та приватний сервер Інтернету речей.

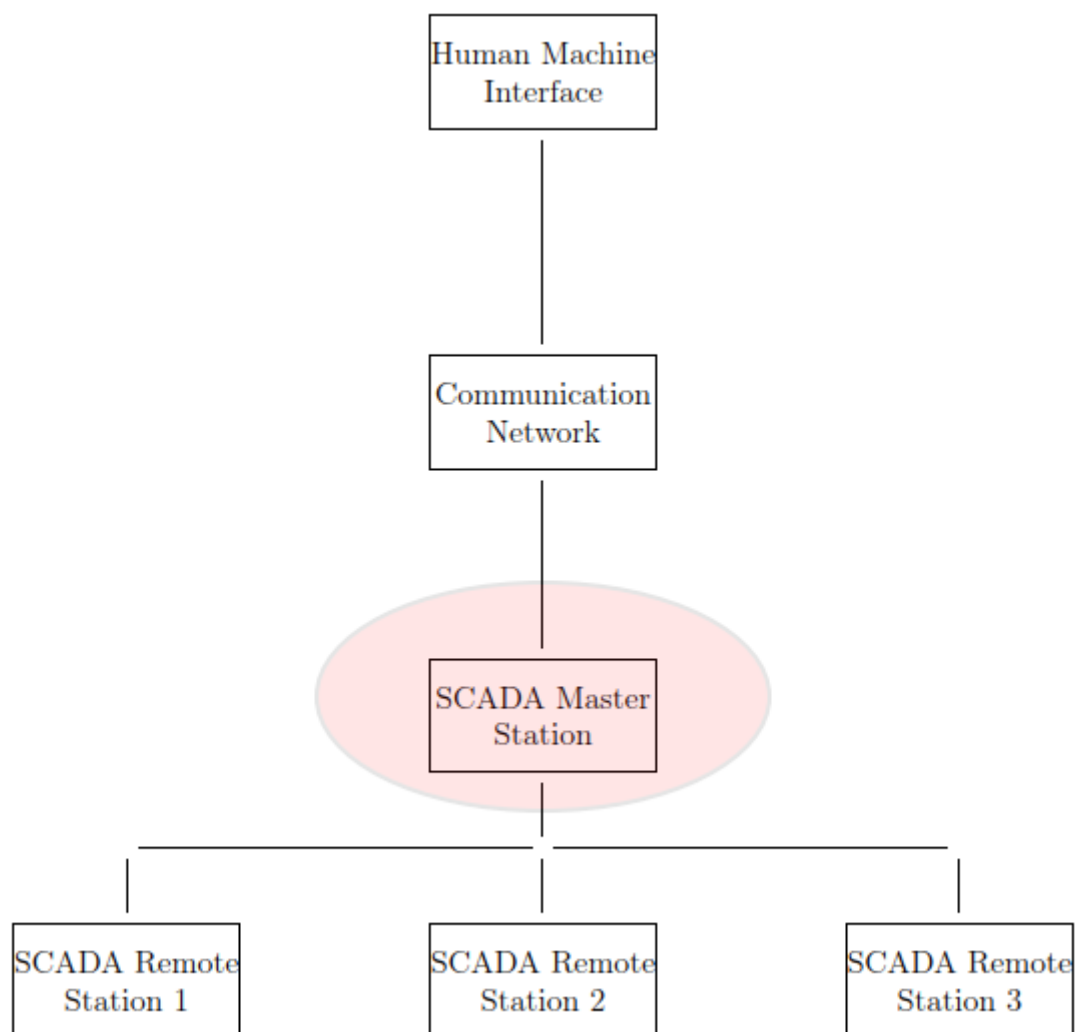


Рисунок 2.9 - Серверна частина

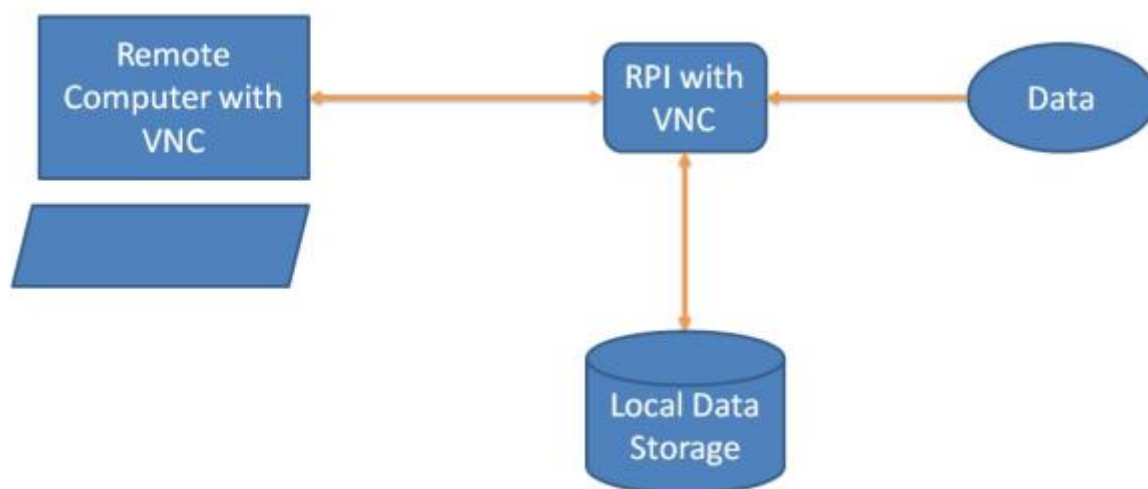


Рисунок 2.10 - Віддалений робочий стіл з локальним сховищем даних

RPI-сервер з локальним сховищем даних

Це перший і найпростіший варіант з чотирьох варіантів на стороні сервера, які обговорюються в цьому розділі. У цьому методі для доступу до клієнтського комп'ютера використовувалося програмне забезпечення для віддаленого робочого столу, таке як TeamViewer, VNC та Chrome Remote Desktop. Однак з точки зору безпеки цей варіант розглядається як останній з чотирьох основних. Ще одним недоліком є те, що цей підхід потребує високої пропускну здатності для зв'язку з віддаленим робочим столом. На рисунку 3.3 показано блок-схему цього методу.

Програмне забезпечення SCADA з відкритим кодом

Використання існуючої SCADA з відкритим кодом було використано для розробки відповідної SCADA з її використанням. RapidScada, PV browser, Mango – це кілька прикладів відкритих SCADA-систем.

М.С. Алмас та ін. [37] показують, як використовувати SCADA BR для моніторингу та обмеження, такі як те, що потрібно лише дві точки за секунду (максимальна роздільна здатність) під час побудови графіків даних.

Для цього дослідження було протестовано систему Rapid SCADA. Вона добре підходить для використання зі стандартними протоколами, такими як Modbus та OPC, але для цілей розробки вона не є гнучкий. Особливо, коли він використовується із запропонованими клієнтами, такими як Arduino, ESP12E та RPI, реалізація протоколів займає більше часу. Безпека цієї системи може бути швидко забезпечена покращено шляхом закриття всіх портів та використання всередині інтрамережі. На відміну від віддалених комп'ютерних систем, оскільки дані зберігаються всередині інтрамережі, у цьому методі немає потреби відкривати порти. Тому, з точки зору безпеки, цей варіант є дуже безпечним.

Постачальник послуг Інтернету речей

Протягом останніх кількох років інтернет-з'єднання часто називають інтернетом речей. У системах SCADA на основі Інтернету речей (IoT) з датчиками та виконавчими механізмами, зв'язок базується на окремій IP-адресі, кожен з яких підключений до хмари. Найголовніше, що цей децентралізований підхід дозволяє датчикам та виконавчим механізмам взаємодіяти один з одним

та приймати власні рішення, а також забезпечує автономію пристроїв. Якщо говорити про ширшу картину, IoT також дозволяє централізоване управління даними для великих мереж, де централізована обробка даних у традиційних системах SCADA є складною. Системи SCADA, які не здатні взаємодіяти між собою, вимагають значних людських зусиль для збору даних з однієї SCADA та передачі частини цих даних в інше місце. IoT допомагає повністю усунути цю проблему, оскільки всі датчики можуть передавати свої дані в хмару, а хмарна платформа виконує всі розрахунки, такі як машинне навчання, розрахунок трендів тощо. Пристрої, підключені до енергосистем, потребують таких складних SCADA, ніж будь-що інше, через свою складність. Традиційні SCADA використовуються для дистанційного керування та моніторингу інвертора з вищеписаними недоліками.

UBIdots

У світі існує багато постачальників хмарних послуг, таких як IBM Watson IoT [38], Artik Cloud [39], GE Predix [40] та Google Cloud IoT [41]. UBIDOTs є одним із постачальників хмарних послуг, що пропонують цю послугу. UBIDOTs надає безкоштовний план, який дозволяє підключити п'ять пристроїв, і він зберігає до 0,5 мільйона точок даних протягом трьох місяців за безкоштовним планом [42]. Тому було обрано UBIDOTs. UBIdotsAPI пропонує розробникам підключати свої пристрої до Інтернету. На рисунку 2.11 показано блок-схему підходу на основі UBIdots.

Річспік

Thingspeak також є платформою Інтернету речей, подібною до UBIdots, яка навіть дозволяє користувачеві надсилати дані кожні 15 секунд. Користувач зможе візуалізувати та аналізувати дані в реальному часі в хмарі миттєво. Головною перевагою є те, що вона дозволяє інтегрувати обліковий запис Mathworks (Matlab) та обліковий запис thingspeak, щоб користувач міг використовувати такі функції, як платформа машинного навчання від Matlab [43].

Блінк

Blynk — це платформа, яка дозволяє користувачеві керувати своїми платами Arduino, Raspberry Pi, ESP12E за допомогою мобільного додатку. Додаток Blynk можуть використовувати як користувачі Android, так і користувачі iPhone. Реалізація цього методу проста. Однак, це також відбувається через сторонній сервер. Тому безпека та конфіденційність даних стануть проблемою [44].

3.4.4 Приватний сервер Інтернету речей

Хоча вищезазначені методи легко реалізувати, використання чужої хмари чи сервера Інтернету речей буде небезпечним. Тому в цьому четвертому та останньому підході відкритий вихідний код...тестуються приватні сервери Інтернету речей.

Приватний сервер Blynk

У цьому методі сервер Blynk буде встановлено локально. Він також надає більшість функцій локального сервера. Найголовніше, що в цій техніці дані будуть безпечно зберігатися на локальному сервері, і дані не будуть проходити через сторонній сервер. Основним недоліком цього методу є те, що Blynk надає лише мобільні інтерфейси. Інша проблема полягає в тому, що з боку клієнта користувач не може вносити жодних змін до програми, оскільки пристрій можна запрограмувати лише за допомогою мобільного додатку Blynk. Реалізація проста. На рисунку 2.12 показано діаграму потоку даних для приватного сервера Blynk.

Приватний сервер інструментарію Netlab

Netlab toolkit або NTK також є платформою на основі HTML5. Користувач може локально встановити сервер. Якщо користувач використовує Arduino, він повинен використовувати Firmata Standard.

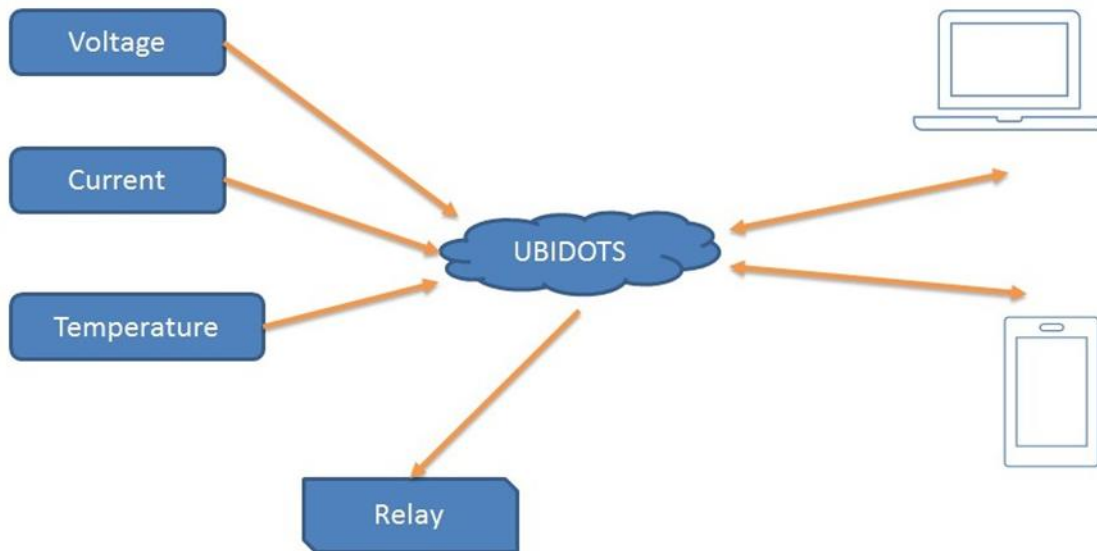


Рисунок 2.11 - Діаграма потоку даних для підходу на основі UBIDOTS

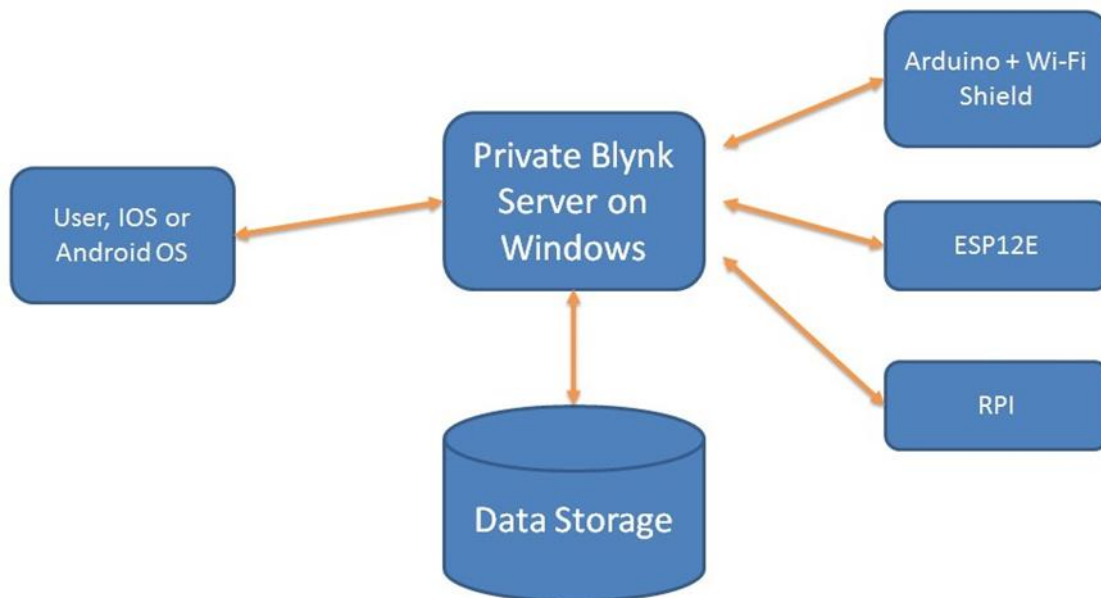


Рисунок 2.12 - Блок-схема приватного сервера Blynk

Але на відміну від Blynk, користувач може використовувати інші контакти після відповідного розподілу контактів вводу/виводу даних. Основним недоліком цієї системи є те, що вони не мають жодного методу для зберігання даних. Користувач повинен використовувати окрему базу даних (ця частина не була протестована як частина розділу, оскільки це виходить за рамки дослідження). Зв'язок здійснюється через послідовний протокол, і це можна визнати іншим головним недоліком цієї системи.

Приватний сервер Thingspeak

Це найскладніший та найбезпечніший метод з усіх практик, обговорених у цьому розділі, оскільки локально встановлений сервер thingspeak дозволяє користувачеві зберігати дані з будь-якою частотою. На відміну від сервера thingspeak.com, користувач може оновлювати дані менш ніж за 15 секунд. Хоча деякі функції, доступні на сервері thingspeak.com, недоступні на локальному сервері, цей сервер можна використовувати для моніторингу. Основним недоліком локального сервера thingspeak є те, що він не надає методу керувати обладнанням за допомогою локального сервера. Користувачеві потрібно розробити окрему програму для керування пристроями, наприклад, для ввімкнення/вимкнення інвертора. На рисунку 3.6 показано діаграму потоку даних для підходу на основі приватного сервера Thingspeak.

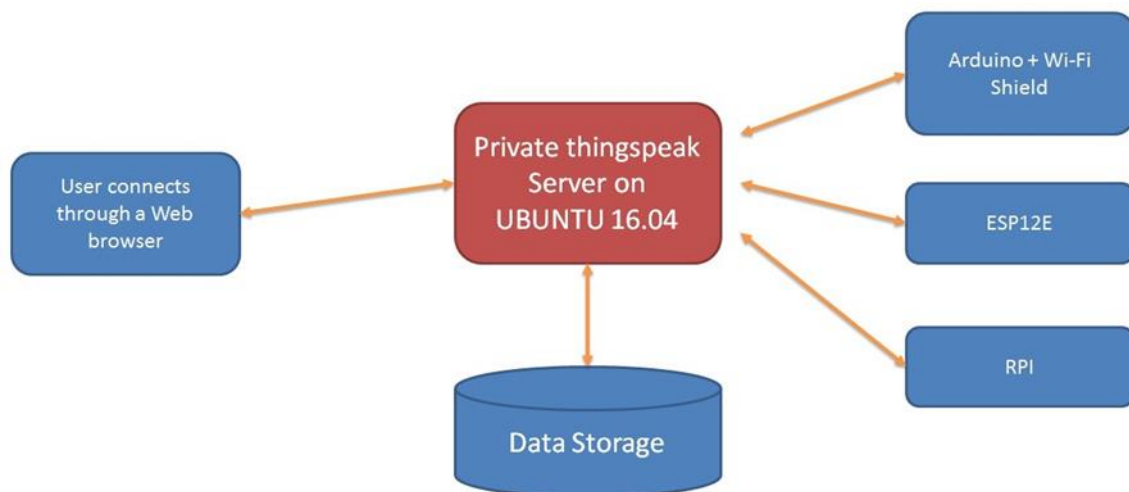


Рисунок 2.13 - Блок-схема для приватного сервера thingspeak

2.3. Розробка системи SCADA на базі Private Thingspeak Sever

В рамках дослідження було проведено опитування щодо програмного забезпечення SCADA, яке використовується в WEICAN, щоб дізнатися більше про комерційно доступне програмне забезпечення. Системи SCADA, які можна використовувати для моніторингу та керування інверторами. У дослідницькому інституті VTscada використовується для моніторингу та керування вітровими

турбінами та системами акумуляторного накопичення енергії. Враховуючи вартість системи, початкова вартість системи, що включає 1000 тегів вводу/виводу, становить близько 5 595,00 канадських доларів. А за технічне обслуговування та екстрену підтримку стягується 20% [32] річної плати від початкової ціни. Пропонуються такі функції:

- Це дозволить користувачам реєструвати дані для цілей моніторингу
- Надсилання сповіщення електронною поштою про визначені інциденти
- Перегляд даних в часових інтервалах
- Тренди
- Генерація звітів звіти
- контроль параметрів

У цьому розділі розглядається підхід на основі Інтернету речей (IoT) для досягнення основної мети звичайної системи SCADA, яка полягає у зв'язку з датчиками та виконавчими механізмами, а також з Інтернетом за допомогою окремої IP-адреси, порівняно з хмарою. Цей підхід розроблено на основі архітектури IoT як хмарно-асистовані системи SCADA.

Найголовніше, що децентралізований підхід в архітектурі Інтернету речей дозволяє використовувати датчики виконавчі механізми взаємодіяти один з одним та приймати власні рішення, а також це забезпечує автономію пристроїв. Що стосується макрозображення, Інтернет речей також дозволяє централізоване управління даними для великих мереж, де централізована обробка даних у традиційних системах SCADA є складною. У дослідницьких установах, таких як WEIcan [30], використовується кілька систем SCADA, які не можуть взаємодіяти між собою, і це вимагає значних людських зусиль для збору даних з однієї SCADA та передачі частини цих даних кудись ще. Інтернет речей допомагає повністю усунути цю проблему, коли всі датчики можуть передавати свої дані в хмару, а хмарна платформа виконує всі розрахунки, такі як машинне навчання, розрахунки трендів тощо. Або ж сервер thingspeak може виступати посередником для інших систем SCADA, використовуючи зв'язок між собою.

Як показано на рисунку 2.14, сервер встановлено на комп'ютері X86 з Ubuntu.

Розроблена SCADA містить в основному такі функції,

- Зв'язок з інвертором
- Реєстрація даних
- Представлення даних користувачеві
- Надсилати сповіщення електронною поштою за критичних умов

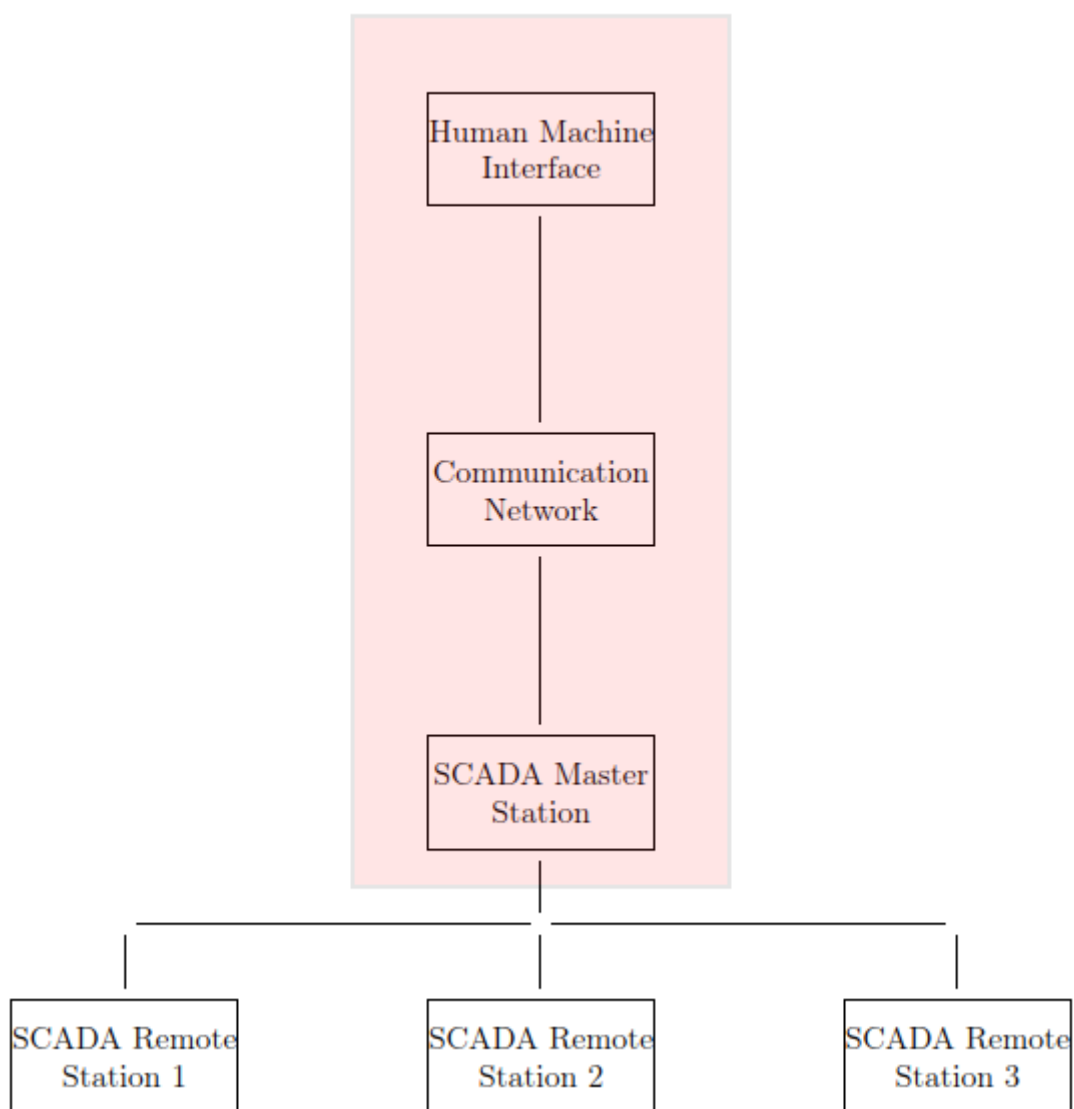


Рисунок 2.14 - Область застосування SCADA

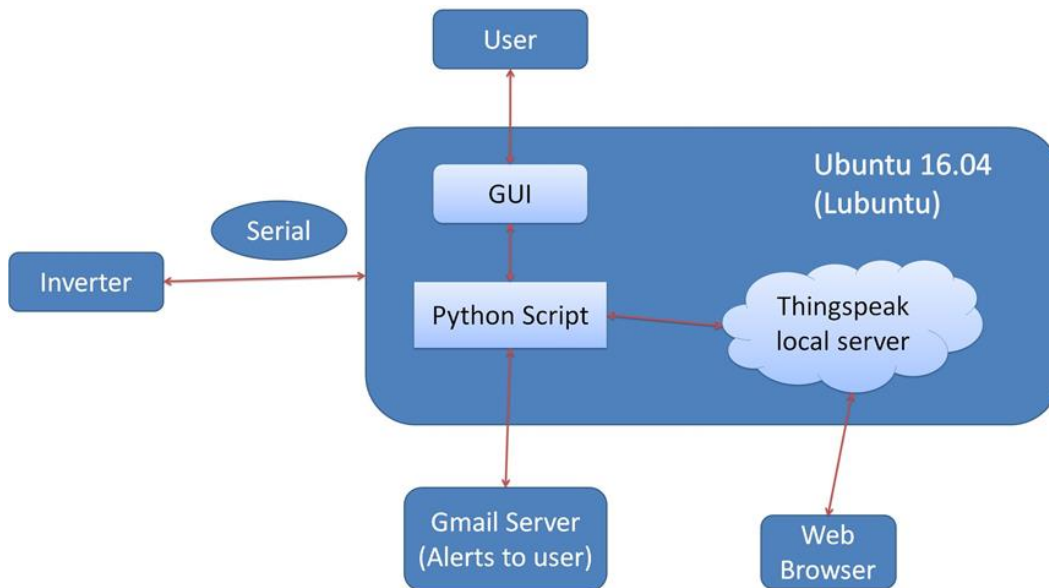


Рисунок 2.15 - Блок-схема SCADA інвертора

Для досягнення цих засуджених функціональних можливостей використовуються три основні компоненти.

Скрипт Python

Цей скрипт на основі Python, показаний у Додатку В, написаний для отримання даних із послідовного інтерфейсу, запису даних на локальному сервері та оновлення цих значень у графічному інтерфейсі. Для цієї програми було використано спеціально розроблений протокол, і той самий алгоритм можна використовувати з будь-яким іншим специфічним протоколом. На рисунку 2.15 показано блок-схему алгоритму, а алгоритм 1 показує основний алгоритм. У розробці використовуються наступні бібліотеки.

- серійний: Бібліотека використовувалася для послідовного зв'язку між інвертором та серверний комп'ютер.
- запити: Бібліотека використовувалася для зв'язку з локальним сервером thingspeak.
- нарізання нитки: надає гнучкість у роботі з графічним інтерфейсом.
- ткінтер: використовується для створення графічного інтерфейсу.
- smtplib: використовується для системи автоматичного оповіщення електронною поштою.

Лістинг 2.1 Основний алгоритм

```

1: import Libraries
2: ser ← serialPort
3: URL ← thingspeakURL
4: procedure SERIAL THREAD
5:   Read Serial data
6:   Put data to the queue
7: end procedure
8: procedure APP
9:   procedure INITIALIZE GUI
10:    Define labels , buttons and etc
11:    Position elements
12:   end procedure
13:   procedure UPDATE
14:     if Set reactive power then
15:       Read value from the label and update set value and write on serial
16:     end if
17:     if Set real power then
18:       Read value from the label and update set value and write on serial
19:     end if
20:   end procedure
21:   procedure UPDATE EMAIL
22:     Send email using SMTP
23:   end procedure
24:   procedure PROCESS SERIAL
25:     while True do
26:       Get data from the queue
27:       Split data
28:       Assign data to variables
29:       Convert hex to dec
30:       Show data on the GUI
31:       Upload data to local server every one second
32:       if voltage or current values exceeds limits then
33:         Send email alert and show on GUI
34:       end if
35:       Read control variables from the server
36:       Write control command on serial
37:       Upload data to the server in every 5 seconds, 1 min, 30 min and 1 hour
38:     end while
39:   end procedure
40: end procedure

```

Графічний інтерфейс користувача

На рисунку 2.16 показано графічний інтерфейс, розроблений для системи. Він має три основні сектори: моніторинг, керування та сповіщення.

Моніторинг: Під час моніторингу відображаються значення, що надсилаються інвертором. Інвертор надсилає напругу, струм потужності та стан. Коефіцієнт потужності та загальна енергія також відображаються на графічному інтерфейсі.

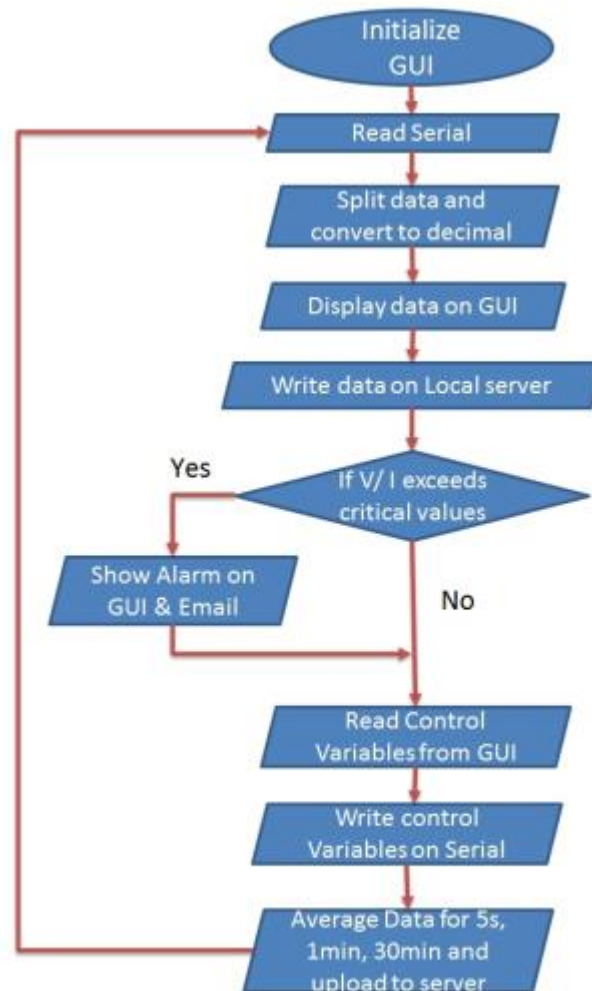


Рисунок 2.16 - Блок-схема скрипта Python

Контроль: Під час керування користувач може встановлювати активну та реактивну потужність. А також збільшувати значення потужності на 0,5.

Сповіщення: У сповіщеннях, якщо значення напруги та струму перевищують певне значення, це відображається як високе, а якщо вони знаходяться в межах діапазону, це відображається як нормальне. Сповіщення необхідно очистити вручну.

У нижній частині графічного інтерфейсу відображається версія інвертора та поточний час.

Локальний сервер Thingspeak

Thingspeak — це хмарна платформа Інтернету речей, яка дозволяє користувачам безкоштовно надсилати дані кожні 15 секунд. Користувач зможе візуалізувати та аналізувати дані в реальному часі в хмарі.



Рисунок 2.17 - Графічний інтерфейс для SCADA інвертора, розроблений на Python

Головна перевага полягає в тому, що це дозволяє інтегрувати обліковий запис Mathworks та обліковий запис thingspeak, щоб користувач міг використовувати такі функції, як платформа машинного навчання від Matlab.

За словами розробників, thingspeak — це IoT-додаток з відкритим кодом та API для зберігання даних з об'єктів за допомогою протоколу HTTP. У цій системі SCADA локальний сервер Thingspeak встановлено на комп'ютері на базі архітектури X86. У цьому випадку обмеження частоти немає, і локальний сервер

дозволяє користувачеві надсилати дані навіть з вищою частотою. На рисунку 4.5 показано дані, що надсилаються на сервер, протягом однієї секунди.

Ключові характеристики розробленої SCADA

Після завершення налаштування SCADA, вона надає користувачеві такі функції.

Моніторинг

Як згадувалося раніше, сервер дозволяє користувачеві завантажувати дані з будь-якою частотою та у цьому випадку дані завантажуються на сервер із частотою 1 Гц. Крім того, графічний інтерфейс відображає миттєві дані, поки користувач використовує веб-сервер для перегляду історичних даних за 1 с, 5 с, 1 хв, 5 хв, 30 хв та 1 год. Контролюються такі параметри.

Напруга (В): Напруга відображається у вольтах. Максимального значення немає.

Струм (А): Струм відображається в амперах, і для нього також немає максимального значення.

Потужність (кВт) Значення потужності відображаються в кВт. Усі три значення беруться з рядка даних, що надходить від інвертора, а наступні значення розраховуються на основі отриманих значень.

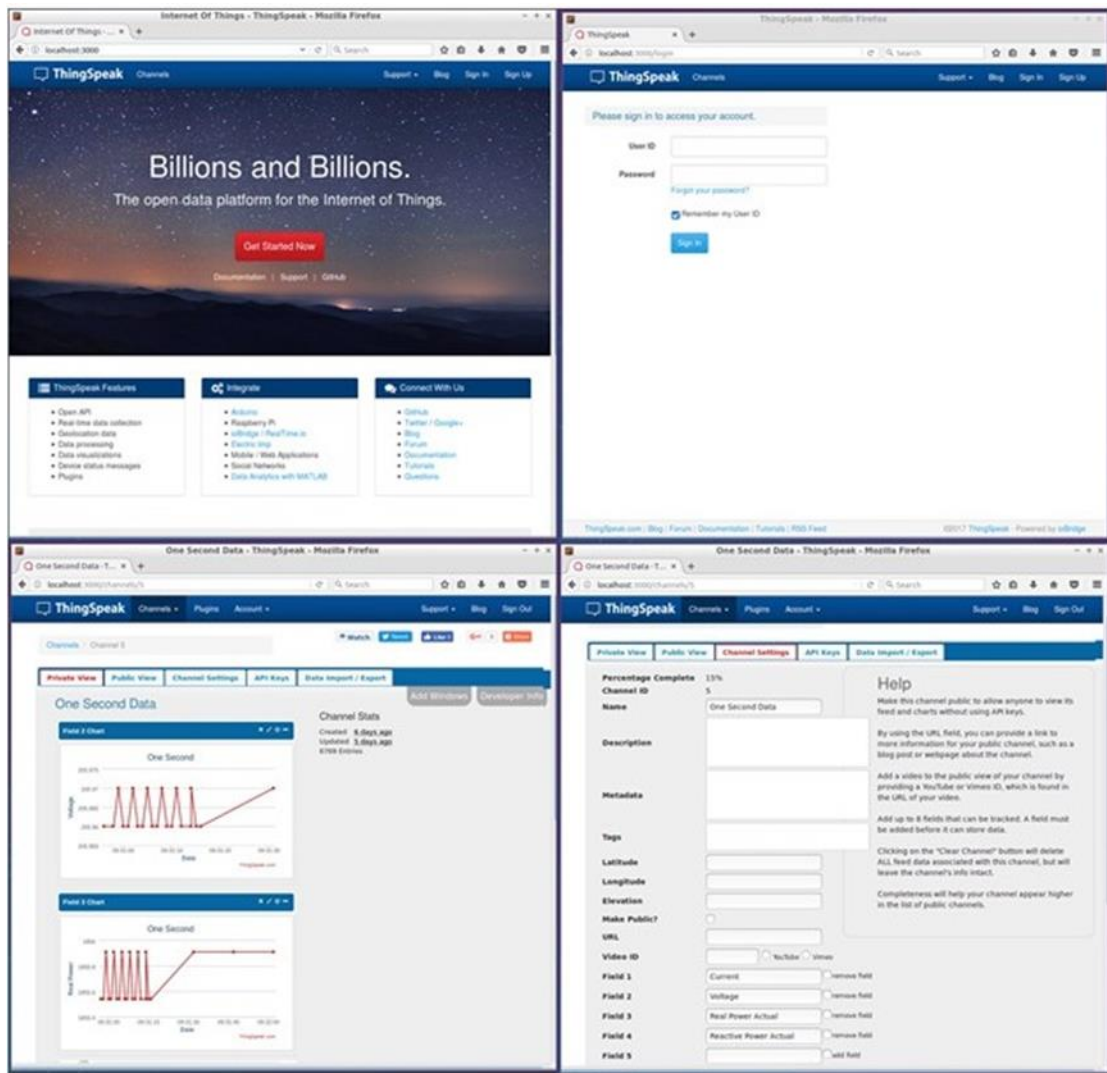


Рисунок 2.18 - Інтерфейс Thingspeak

Фактор Потужності: Коефіцієнт потужності розраховується за допомогою основних рівнянь коефіцієнта потужності 2.1 та 2.2.

$$PF = \frac{P_{real}}{P_{Apparent}} \quad (2.1)$$

$$P_{Apparent} = V \times I \quad (2.2)$$

PF : Коефіцієнт потужності

Pr : Справжня сила

Papp : Видима потужність

V: Напруга

I : Струм

Енергія відображається в кВт·год і розраховується за рівнянням 2.3. Відображена енергія – це накопичена енергія з моменту останнього перезапуску інвертор, а значення відображається в кВт·год.

$$E_n = E_{n-1} + P_t \Delta t \quad (2.3)$$

З міркувань безпеки доступ до керування надано лише через серверний комп'ютер. Особа, яка може увійти на серверний комп'ютер, використовуючи авторизоване ім'я користувача та пароль зможуть лише оновлювати параметри керування. Уповноважена особа зможе встановлювати значення активної та реактивної потужності, а також збільшувати або зменшувати встановлене значення на 0,5 для безперебійної роботи.

4.4.3 Звітність та оповіщення

Користувач зможе завантажувати дані з інтервалами 1 сек, 5 сек, 1 хв, 30 хв та 1 годину, тоді як звіти з даними з меншою частотою, такі як 1 година та 30 хв, рекомендується завантажувати через великий розмір файлів. У разі тривоги та змін основна програма відстежує значення даних, і якщо поточні значення перевищують певне значення, вона надсилає користувачеві сповіщення електронною поштою про те, що поточне значення високе. Така ж логіка застосовується і для напруги. Дані за одну годину зберігаються у відкритому доступі, щоб усі в локальній мережі могли переглядати дані за 1 годину. Однак, лише уповноважена особа зможе бачити інші рівні даних.

Тестування

Як зазначалося у вступі, це дослідження фінансується фондом NSERC Energy Storage Network. В рамках теми 2, метою якої є розробка перетворювачів потужності для систем накопичення енергії, проект 2.4, який проводиться в MUN, передбачає розробку недорогої системи SCADA для перетворювача потужності, розробленого в університеті Нью-Брансвіка (UNB).

Після завершення розробки системи її було протестовано з інвертором, розробленим у Лабораторії досліджень сталої енергетики Університету Нью-Брансвіка. Для зв'язку з інвертором використовується плата DSP2407A, яка має порт RS232 для зв'язку UART. Сторона інвертора розробленого каналу зв'язку підключена до послідовного порту. Рядок даних, що надсилається інвертором, відповідає протокол, був успішно декодований системою та передано іншій стороні через канал LoRa.



Рисунок 2.19 - Інвертор, розроблений UNB

Розшифровка:

Зразок рядка даних:

55AA0200000064BF07001B4A76001B3E1E00A6009C02400FF71C643B123

1

Перші два байти представляють синхронне слово, а наступні чотири байти представляють стан. Де наступні дванадцять байтів представляють дані, такі як струм, напруга та потужність відповідно, у чотирьох байтах. Потім кількість вибірок, максимальна напруга та максимальне значення струму, а також номер версії, що надсилаються відповідно у двох байтах кожен. Наступні рівняння реалізовані в скрипті Python.

$$Current = \frac{\sqrt{\frac{Current}{Samples}} \times currentmax}{4096} \quad (2.4)$$

$$Voltage = \frac{\sqrt{\frac{Voltage}{Samples}} \times currentmax}{4096} \quad (2.5)$$



Рисунок 2.20 - Тестування SCADA за допомогою інвертора

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Стратегії дистанційного керування мережевим інвертором та їх реалізація за допомогою недорогої системи SCADA

Основною метою цього розділу є розробка алгоритму для максимізації прибутку, що генерується акумуляторним накопичувачем енергії, підключеним до вітрової турбіни, та реалізація алгоритму на хмарному сервері Інтернету речей для автоматизації диспетчеризації акумуляторного накопичувача енергії. Для максимізації доходу розроблено алгоритм на основі лінійного програмування. Для реалізації алгоритму в програмі на Python використовується новий підхід на основі API Accuweather, а дані завантажено на локальний сервер thingpeak, щоб інвертор міг отримувати дані для керування, а також передавати їх до диспетчерського центру.

Прогнозна вітроенергетика є новою темою зі зростанням кількості вітрових електростанцій та енергосистеми. Покращити якість енергії, що експортується вітровою електростанцією, можна шляхом інтеграції системи накопичення енергії. Згідно з Глобальним звітом про вітроенергетику, встановлена потужність вітру у 2015 році становила 432,9 ГВт по всьому світу, і очікується, що до 2020 року вона досягне 792,1 ГВт [1]. Системи накопичення енергії стають все більш популярними завдяки зниженню витрат та вдосконаленню технологій. Наразі цей термін «накопичення енергії» використовується все частіше, і проводиться багато досліджень для розробки нових методологій. Багато технологій використовуються для накопичення енергії, де домінує гідронасосна енергія. Завдяки масовому виробництву та розвитку технологій акумуляторних елементів, BESS (системи накопичення енергії з низьким рівнем накопичення енергії) стають перспективною технологією з низкою переваг перед іншими методами накопичення. Під час

встановлення BESS на вітровій електростанції заряджання BESS буде дорогим, якщо вітрові турбіни не виробляють енергію. Дослідження було проведено Канадським інститутом вітроенергетики, розташованим на острові Принца Едуарда (WEICAN PEI), з використанням їхнього існуючого вітрового парку та акумуляторного накопичувача енергії. Дослідження показує, що за відсутності вітрової енергії вигідніше використовувати накопичену енергію в BESS для допоміжних потреб живлення. Тому, залежно від наявності вітрової енергії протягом наступних кількох годин, необхідно визначити стан заряду (SoC) BESS.

Отже, оптимальне планування роботи системи накопичення енергії є найважливішим з економічної точки зору, оскільки більшість накопичувачів енергії, таких як системи акумуляторного накопичення енергії, мають певну кількість циклів. Щоб отримати максимальний прибуток, накопичення енергії необхідно оптимально контролювати, використовуючи кожен цикл для максимізації прибутку.

Хоча можна знайти багато літератури щодо оптимального керування BESS з використанням різних підходів, у галузі керування BESS існує прогалина для оптимізації на основі вітру. доступність на майбутні години.

Для формулювання задачі розглядається розташування вітрових турбін у WEICAN. для WEICAN з 5 вітровими турбінами, а на рисунку 3.1 зображено конфігурацію вітрового парку, який має п'ять турбін потужністю 2 МВт та акумуляторну батарею потужністю 1 МВт/2 МВт·год. Метою розробленого алгоритму є досягнення мінімальної вартості виробництва та отримання максимального прибутку, коли швидкість вітру доступна протягом тижня.

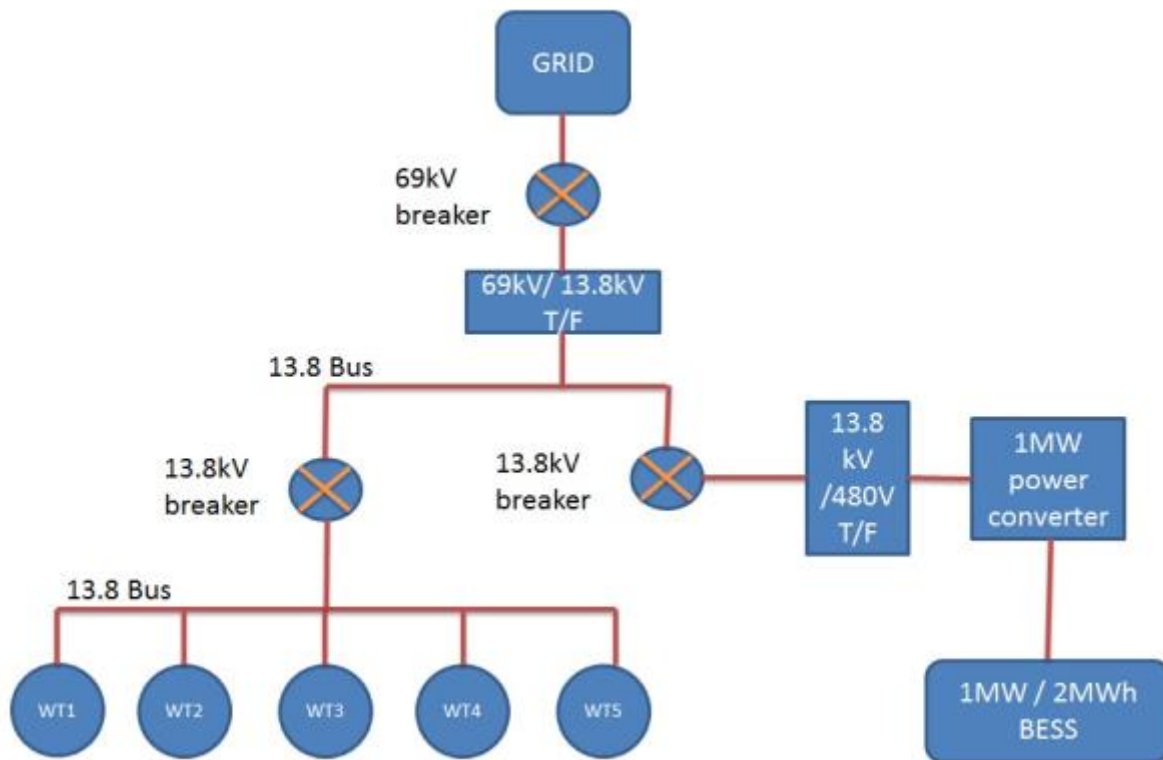


Рисунок 3.1 - Модель, що розглядається з вітровими турбінами та накопичувачем енергії

Для максимізації прибутку цільову функцію можна змодельовати наступним чином:

$$ObjectiveFunction = \sum_{n=1}^{72} B_t P_t \quad (3.1)$$

де,

B_t - ціна продажу або купівлі електроенергії в момент часу «t»;

P_t - потужність у точці спільного з'єднання в момент часу «t».

Потужність у точці спільного з'єднання (ССР) визначається як P_t , а рівняння 3.2 показує розрахунок потужності. Потужність, споживана для допоміжної діяльності, представлена від P_{Loads} .

$$P_t = P_{wt} + P_{dis} - P_{ch} - P_{Loads} \quad (3.2)$$

де,

P_{wt} - генерація енергії вітру за час «t»;

P_{dis} - розрядкапотужність BESS у момент часу «t»;

P_{ch} - зарядна потужність BESS у момент часу «t»;

P_{loads} - навантаження на систему в момент часу «t»;

P_{Et} - Користувальна потужність, що передається до BESS у момент часу

«t»

$$P_{Et} = P_{ch} - P_{dis} \quad (3.3)$$

$$LB_p \leq P_t \leq UB_p \quad (3.4)$$

$$LB_{EP} \leq P_{Et} \leq UB_{EP} \quad (3.5)$$

$$0 \leq P_{ch} \leq UB_{EP} \quad (3.6)$$

$$0 \leq P_{dis} \leq -LB_{EP} \quad (3.7)$$

де,

LB_p - нижня межа для потужності P_t ;

UB_p - верхня межа для потужності P_t ;

LB_{EP} - нижня межа для потужності P_{Et} ;

UB_{EP} - Верхня межа для потужності P_{Et}

P_{cutoff} - потужність відключення для вітрової турбіни;

P_{rated} - номінальна потужність вітрової турбіни.

Для розглянутої моделі мінімальне значення $LB_r = -1$ МВт є зарядною потужністю для BESS, а $UB_r = +10$ МВт – визначається номінальною потужністю лінії електропередачі та трансформатора. Для кожної години енергію накопичувача енергії E_t можна розрахувати за допомогою наступного рівняння 3.8.

$$E_t = \eta_e E_{t-1} + \eta_{ES} P_{ch} \Delta t - P_{dis} \Delta t \quad (3.8)$$

де,

E_t - енергія в момент часу «t»;

LB_E - нижня межа для енергії;

UP_E - верхня межа для енергії;

η_{ES} - ККД циклу для BESS;

η_e - ефективність саморозряду.

Так само, як і межі потужності, верхня та нижня межі E_t визначаються відповідно до меж накопичення енергії, де нижня межа E_t визначається енергією, що передається в мережу, а верхня - максимальною енергетичною потужністю системи.

$$LB_E \leq E_t \leq UB_E \quad (3.9)$$

Моделювання вітрових турбін

Використовуючи дані про вітер, взяті з прогнозованих даних про вітер на наступний тиждень, було використано модель вітрової турбіни для прогнозування енергії, що виробляється вітровими турбінами [46].

$$P_{wt} = 0.5 K V^3 \pi R^2 C_p(\lambda, \beta) \quad (3.10)$$

$$P_{Cutoff} \leq P_{wt} \leq P_{rated} \quad (3.11)$$

де,

K - константа;

V - швидкість вітру;

R - діаметр ротора;

C_p - межа Беца;

λ - співвідношення швидкості вітру нижче за течією до швидкості вітру вище за течією турбіни

Припущення

Щоб зробити процес оптимізації лінійний, зроблені такі припущення.

- Потужність, що виробляється вітровою турбіною, пропорційна кубу швидкості до номінального значення.
- $\eta_e = 2 - 5\%$ на місяць [47], значення η_{ch} та η_d є константами та дають зворотну подорожефективність 85% [48].
- Щоб зробити алгоритм оптимізації точнішим,

$$E_0 = E_{nt} \quad (3.12)$$

- BESS заряджається до 1 МВт·год ($E_0 = 1$ МВт·год) на початку моделювання.

Методологія

Блок-схема запропонованої системи показана на рисунку 3.2. Як показано на рисунку 5.3, алгоритм розраховує оптимальні рівні потужності та завантажує їх на локально встановлений сервер thingspeak, де інвертори отримують дані керування з сервера thingspeak.

Бібліотека Python Scipy

Для вбудовування керуючого методу `linprog` було використано бібліотеку `SCIPY (scipy.optimize.linprog())`.

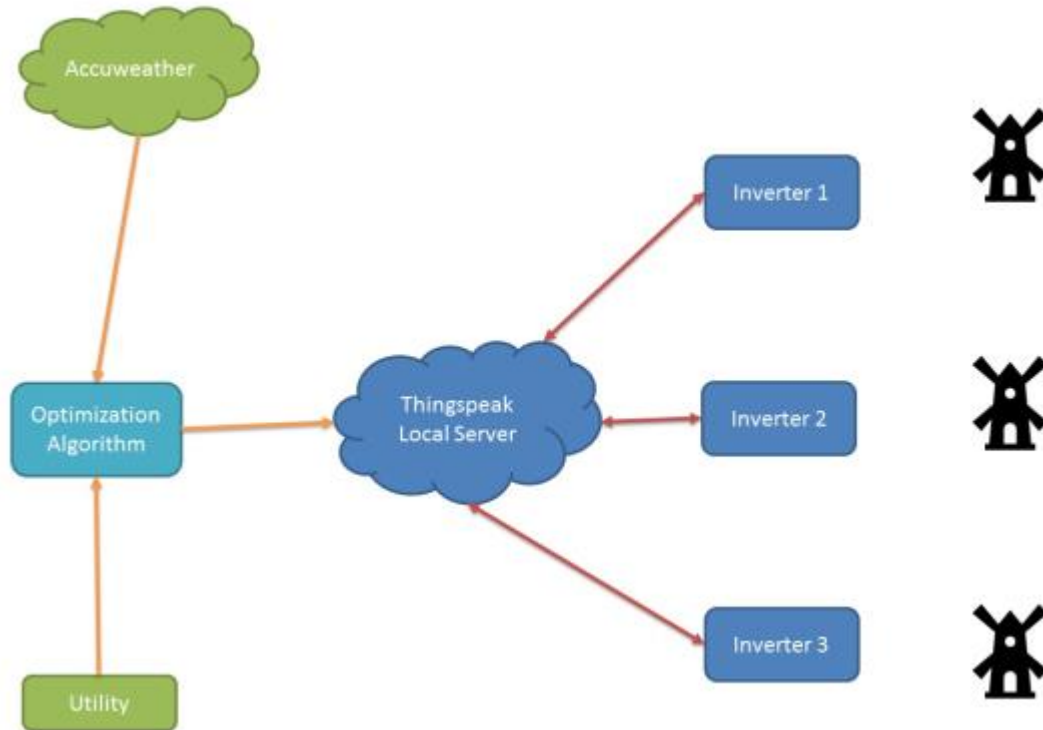


Рисунок 3.2 - Запропонована архітектура

Коли цільова функція задається рівнянням 3.13, а обмеження рівності задаються рівнянням 3.14, а обмеження нерівності задаються рівнянням 3.15, де всі змінні Можливості обмежені мінімальними та максимальними парами. Функцію `linprog()` можна використовувати, як показано в рівнянні 3.16.

$$\text{Objective} - \text{function} = C^T X \quad (3.13)$$

$$A_e X = B_e \quad (3.14)$$

$$A_{in} X = B_{in} \quad (3.15)$$

$$\text{linprog}(-c, A_{ub} = A_{in}, b_{ub} = B_{in}, A_{eq} = A_e, b_{eq} = B_e) \quad (3.16)$$

Наступні матриці використовуються як вхідні дані для рівняння 3.16, а послідовність така: P_t , P_{ch} , P_{dis} , E_t . Матриця A_{in} , створена за допомогою 3.2, є матрицею нерівностей, а A_e – матрицею рівнянь. Дані про вітер, отримані з ACCWEATHER, будуть використані в контейнері.

$$A_{in72,288} = \begin{pmatrix} 1 & .. & 1 & .. & -1 & .. & 0 & .. \\ .. & .. & .. & .. & .. & .. & .. & .. \\ .. & 1 & .. & 1 & .. & -1 & .. & 0 \end{pmatrix}$$

$$B_{in72,1} = \begin{pmatrix} P_{windpower} \\ .. \\ 0 \\ .. \\ .. \\ .. \\ 0 \end{pmatrix}$$

A_e виконується за допомогою рівняння 3.8 та значень η , прийнятих припущень.

$$A_{e72,288} = \begin{pmatrix} 0 & .. & 0 & 0 & .. & 0 & 0 & .. & 1 & 0 & .. \\ 0 & .. & -1 & 0 & .. & \eta_{ES} & 0 & .. & -\eta_e & 1 & .. \\ 0 & .. & 0 & -1 & .. & 0 & \eta_{ES} & .. & 0 & -\eta_e & 1 \\ 0 & .. & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & .. & 0 & .. & -1 \end{pmatrix}$$

$$B_{e72,1} = \begin{pmatrix} 1000 \\ 0 \\ .. \\ .. \\ .. \\ 0 \end{pmatrix}$$

3.2. Оптимальний алгоритм керування

Цей алгоритм розроблено для оптимального керування накопиченням енергії з урахуванням враховуючи всі змінні, що впливають на прибуток. Цільова функція проілюстрована в рівнянні 3.1, а межі для всіх змінних також визначені в рівняннях 3.4 та 3.9.

Крок 1: На початку кожного дня (о 00:00) отримуйте прогнозовані дані погоди від Accuweather за допомогою API-ключа на наступні 72 години. Користувачам потрібен платний обліковий запис для отримання даних, що дозволяє дослідникам використовувати шестимісячну пробну версію (ця пробна версія дозволяє користувачеві отримувати дані лише протягом 12 годин). Бібліотека запитів використовувалася для отримання даних та вилучення даних про швидкість вітру за допомогою бібліотеки JSON.

Крок 2: Використайте рівняння 3.10 та 3.11 для розрахунку генерованої енергії. Матриця B генерується з використанням даних про енергію вітру та зберігається у файлі `matrixb.csv`. Завантажте дані про енергію вітру та швидкість вітру на сервер для подальшого використання з прогнозованою годиною.

Крок 3: Використайте дані про ціни для створення матриці A та збережіть її у файлі `objectivefunction.csv` файл.

Крок 4: Використайте рівняння 5.16, щоб знайти оптимальний графік роботи на виході для BESS протягом наступних 72 годин.

Крок 5: У випадку, якщо користувач зобов'язався подати комунальному підприємству графік на добу вперед, він може подати згенерований графік. Нижні та верхні межі системи будуть автоматично оновлені протягом наступних 24 годин на основі графіка.

Крок 6: Щогодини основний алгоритм отримує дані робочого графіка за допомогою бібліотеки запитів із сервера `thingspeak`, і на основі підготовленого робочого графіка послідовність керування буде надсилатися до інвертора.

Для валідації алгоритму оптимізації використовуються реальні дані, отримані для моделі, зображеної на рисунку 3.1, з WEIcan. Окрім припущень,

вже зроблених під час розробки алгоритму, під час процесу валідації також були зроблені наступні припущення.

- Акумулятор може розряджатися до 0%, заряджатися до 100% (типово)(наприклад, BESS не розряджається до 0% і не заряджається до 100%).
- BESS спочатку заряджається до 50% (щоб забезпечити справедливі умови для заряджання або розряджання BESS)

З реального набору даних, отриманих для реальних вітрових турбін, та реальних BESS, які використовуються для перевірки алгоритму, і результати показують, що алгоритм максимізував дохід вітрової електростанції.

Дані вимірювання потужності на шині 69 кВ також беруться за той самий день. Через номінали шин та трансформаторів, вимірювання потужності шини 69 кВ

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Вимоги охорони праці під час роботи з електроустаткуванням

Загальні положення

Інструкція з охорони праці для електрика при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування розроблена відповідно до Закону України «Про охорону праці» (Постанова ВР України від 14.10.1992 № 2694-XII) в редакції від 20.01.2018 р, на основі «Положення про розробку інструкцій з охорони праці», затвердженого Наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 29 січня 1998 року № 9 в редакції від 01 вересня 2017 року, з урахуванням «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів», затвердженими наказом Міністерства палива та енергетики 25.07.2006 р. № 258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 13.02.2012 р. №91, «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів», затверджених наказом Держнаглядохоронпраці України 09.01.1998 р. № 4.

Всі положення даної інструкції з охорони праці поширюються на електриків освітньої установи, які виконують роботи з ремонту та обслуговування електроустаткування.

До самостійного виконання робіт з ремонту та обслуговування електричного обладнання допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання за фахом, а також:

- медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я до виконання даної роботи;

- вступний і первинний на робочому місці інструктажі з охорони праці;

- навчання безпечним методам і прийомам праці;

перевірку знань правил улаштування електроустановок, правил безпеки при експлуатації електроустановок, вимог охорони праці;

при ремонті і обслуговуванні електрообладнання напругою до 1000В мають групу з електробезпеки не нижче III, а понад 1000В - не нижче IV.

Електрику необхідно знати і виконувати вимоги інструкції з охорони праці при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування, інструкцій по роботі з ручним інструментом, електричним інструментом і драбинами.

Електрику при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування слід дотримуватися вимог Правил безпечної експлуатації електричних установок споживачів і Правил технічної експлуатації електричних установок споживачів, і мати відповідну групу з електробезпеки згідно з вимогами цих Правил.

Виконуючи роботи з ремонту та обслуговування електричного обладнання, може спостерігатися вплив нижчеперелічених шкідливих і небезпечних виробничих факторів:

- падіння з висоти;
- ураження електричним струмом;
- підвищена напруженість електричного поля;
- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- підвищений рівень вібрації;
- недостатня освітленість робочої зони;
- фізичні перевантаження;
- нервово-психічні перевантаження.

Електрику при виконанні ремонту і обслуговування електроустаткування необхідно використовувати наведені нижче ЗІЗ:

- напівкомбінезон бавовняний - на 12 місяців;
- рукавички на - 3 місяці;

черевики шкіряні на - 24 місяці;
калоші діелектричні - чергові;
рукавиці діелектричні - чергові;
килимки діелектричні - чергові.

Електрик при ремонті і обслуговуванні електрообладнання зобов'язаний:

тримати у чистоті і порядку своє робоче місце;
дотримуватися Правил внутрішнього трудового розпорядку;
вміти застосовувати засоби індивідуального, колективного захисту, засоби пожежогасіння;

вміти надавати першу допомогу потерпілим від нещасних випадків;

знати і виконувати всі вимоги нормативних актів з охорони праці, правил протипожежного захисту та виробничої санітарії.

негайно повідомляти своєму безпосередньому керівнику про будь-який нещасний випадок, що трапився на виробництві, про ознаки професійного захворювання, а також про ситуацію, яка створює загрозу життю і здоров'ю людей;

знати терміни випробування захисних засобів і пристосувань, правила експлуатації, догляду та користування ними. Не дозволяється використовувати захисні засоби і пристосування з простроченим терміном перевірки;

виконувати тільки доручену роботу;

дотримуватися вимог інструкцій з експлуатації обладнання;

знати, де знаходяться засоби надання допомоги, первинні засоби пожежогасіння, головний і запасні виходи, шляхи евакуації в разі аварії або пожежі;

знати номери телефонів медичної установи (103) і пожежної охорони (101).

Електрик може відмовитися від виконання дорученої йому роботи, якщо виникла виробнича ситуація, яка становить загрозу для його життя і здоров'я оточуючих, або для навколишнього середовища, і доповісти про це своєму прямому керівнику.

На робочому місці заборонено курити, вживати алкогольні напої та інші речовини, які надають наркотичну дію на організм людини.

З метою запобігання отримання травм і виникнення травмонебезпечних ситуацій слід дотримуватися нижчеперелічених вимог: не можна залучати до роботи сторонніх осіб;

не починати роботу в разі відсутності умов для її безпечного виконання;

виконувати роботу тільки на справному обладнанні, зі справними пристроями та інструментом;

виявивши несправність терміново доповісти безпосередньому керівнику або усунути їх власними силами, якщо це відноситься до посадових обов'язків;

не торкатися неізольованих або пошкоджених проводів;

не виконувати роботу, яка не входить до професійних обов'язків.

Вміти надавати першу допомогу при кровотечах, переломах, опіках, ураженнях електричним струмом, раптовому захворюванні або отруєнні.

Дотримуватися правил особистої гігієни:

верхній одяг, головний убір і інші особисті речі слід залишати в гардеробі;

працювати в чистому спецодязі;

приймати їжу в призначеному для цього місці.

Вміти правильно користуватися ЗІЗ та засобами колективного захисту, первинними засобами пожежогасіння, протипожежним інвентарем, знати, де вони знаходяться.

Особи, які порушили цю інструкцію з охорони праці для електрика при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування, несуть дисциплінарну, адміністративну, матеріальну і кримінальну відповідальність відповідно до чинного законодавства України.

Вимоги безпеки перед початком роботи

Одягти спецодяг, провести огляд і підготовку робочого місця, прибрати зайві предмети.

Видалити із зони проведення робіт сторонніх осіб і звільнити робоче місце від сторонніх матеріалів та інших предметів, обгородити робочу зону і встановити знаки безпеки.

Переконатися в достатньому освітленні робочого місця, відсутності електричної напруги на відремонтованому обладнанні.

Оглянути на справність вимикачі, розетки електричної мережі, електровілок, електричних проводів, з'єднувальних кабелів, переконатися в наявності і справності ЗІЗ (засобів індивідуального захисту) і попереджувальних пристроїв (рукавичок діелектричних, окулярів захисних, калош, килимків і т. п.).

Виконуючи роботи з інструментом необхідно упевнитися в його справності, в відсутності механічних пошкоджень ізоляційного покриття і в своєчасності проходження випробувань інструменту.

Провести перевірку робочого місця на відповідність вимогам пожежної безпеки, на достатність освітлення робочого місця.

Виявивши недоліки і порушення з питань електричної і пожежної безпеки, негайно доповісти своєму безпосередньому керівнику.

4.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт

Виконуючи посадові обов'язки, електрик зобов'язаний мати при собі посвідчення перевірки знань з питань охорони праці. За відсутності

посвідчення або наявності посвідчення з терміном перевірки, працівник не отримує допуск до роботи.

Роботи в електричних установках щодо заходів безпеки поділяються на 3 категорії:

- зі зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмопровідних частинах або біля них;
- без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

Працівники, які виконують спеціальні види робіт, до яких висуваються додаткові вимоги безпеки, повинні бути навчені безпечному проведенню таких робіт і мати про це відповідний запис в посвідченні про перевірку знань.

Працівникові, який обслуговує закріплені за ним електричні установки напругою до 1000 В одноосібно, необхідно мати III групу з електробезпеки.

Виконуючи роботи в електричних установках потрібно проводити організаційні заходи, що забезпечують безпеку робіт:

- оформляти роботи нарядом-допуском, розпорядженням відповідно до переліку робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації;

- проводити підготовку робочих місць;
- допуск до роботи;
- здійснювати контроль над виконанням робіт;
- переводити на інше робоче місце;
- установлювати перерви в роботі та її закінчення.

Для підготовки робочого місця до роботи, яка вимагає зняття напруги, необхідно застосувати, в певному порядку, наведені нижче технічні заходи:

- виконати необхідні відключення і вжити всіх заходів, що виключають помилкове або самовільне включення комутаційної апаратури;
- розвісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою;

провести перевірку на відсутність напруги на струмопровідних частинах, які повинні бути заземлені для захисту людей від ураження електричним струмом;

встановити заземлення (включити заземлюючі ножі, застосувати переносні заземлення);

встановити огорожі, якщо необхідно, близько робочих місць або струмоведучих частин, що залишилися під напругою, а також вивісити на даних огорожах плакати безпеки.

в залежності від місцевих умов, струмовідні частини обгородити до чи після їх заземлення.

Працювати без зняття напруги на струмопровідних частинах або поблизу них слід як мінімум двом працівникам, одному з них, керівнику робіт, необхідно мати групу IV; іншим групу III з обов'язковим оформленням роботи нарядом-допуском або розпорядженням.

При знятті і встановленні запобіжників під напругою в електроустановках напругою до 1000 В слід заздалегідь відключити всі навантаження, які підключені до зазначених запобіжників; використовувати при цьому ізолюючі кліщі або діелектричні рукавички, а якщо є відкриті плавкі вставки, то і захисні окуляри.

Роботу з використанням драбин потрібно проводити вдвох, один з працівників повинен перебувати знизу. Стояти на ящиках або інших предметах забороняється. При установці приставних драбин на балках, елементах металевих конструкцій і т. п. слід надійно закріпити верхню і нижню частину драбини на конструкціях.

Під час обслуговування та ремонту електричних установок користуватися металевими драбинами забороняється.

4.3 Вимоги безпеки після закінчення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування

Відключити (від'єднати) необхідне електрообладнання, електроінструмент від мережі.

Навести порядок на робочому місці, прибрати в спеціальні місця деталі, матеріал, сміття і відходи.

Прибрати у відведене місце весь інструмент і пристосування.

Зняти і прибрати спецодяг, ЗІЗ, ретельно помити руки.

Провести огляд робочого місця на відповідність його всім вимогам протипожежного захисту.

Повідомити своєму безпосередньому керівнику про недоліки і несправності, які були під час виконання роботи. Зафіксувати це в оперативному журналі.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пожежі:

вимкнути електричне обладнання, припливно-витяжну вентиляцію, якщо вона є;

повідомити в пожежну частину за телефоном 101 і доповісти про це своєму керівнику, а при його відсутності іншій посадовій особі;

приступити до ліквідації осередка загоряння, застосовуючи передбачені для цього засоби пожежогасіння. Виконувати гасіння електричного обладнання, що знаходиться під напругою, можна тільки вуглекислотними вогнегасниками типу ОУ або піском. Гасити їх водою або пінним вогнегасником забороняється.

Електрик повинен пам'ятати, що при раптовому відключенні напруги, вона може бути подана знову без попередження.

Слід швидко відключити механізми і пристрої:

в разі раптового відключення електроенергії;

якщо подальша їх робота загрожує безпеці працівників;
в разі відчуття дії електричного струму при торканні металевих частин пускової апаратури;
в разі іскріння;
при найменших ознаках загоряння, появи диму, запаху гару;
якщо з'явився незнайомий шум.

У разі короткого замикання в мережі електроживлення необхідно знеструмити обладнання і повідомити своєму прямому керівнику.

Якщо сталося ураження електричним струмом, слід звільнити потерпілого від дії електричного струму, для чого відключити електричну мережу або від'єднати потерпілого від струмопровідних частин за допомогою діелектричних захисних засобів та інших ізолюючих речей і предметів (сухий одяг, суха жердина, прогумований матеріал і т. п.), або перерізати (перерубати) провід будь-яким інструментом з ізолюючою рукояткою, обережно, без додаткового нанесення травм потерпілому. До прибуття медпрацівника необхідно надати потерпілому першу допомогу.

При нещасних випадках (травмуванні людини) негайно повідомити про це безпосереднього керівника.

4.4 Розрахунок захисного заземлення

Захисне заземлення забезпечує зниження напруги дотику при замиканні на корпус до відносно безпечних значень шляхом зменшення потенціалу заземленого обладнання, вирівнювання потенціалів підвищенням потенціалів місця, на якому стоїть людина, до значень, що близькі до потенціалу заземлених конструктивних частин обладнання.

Розрахунок захисного заземлення має на меті визначення основних параметрів заземлення – кількість, розміри та порядок розміщення одиночних заземлювачів та заземлюючих провідників, при яких напруга дотику та кроку

в період замикання фази на заземлений корпус не перевищує допустимих значень.

Розрахунок захисного заземлення здійснюється для випадку розташування заземлювача в однорідній землі. При цьому враховується опір верхнього шару землі (шар сезонних змін), який обумовлений замерзанням або засухою ґрунту. Розрахунок, який заснований на коефіцієнтах використання провідності заземлювача називається способом коефіцієнтів використання. Його виконують, як при простих, так і при складних конструкціях групових заземлювачів.

Загальні вимоги електробезпеки повинні відповідати ДСТУ 7237:2011. Для захисту від уражень електричним струмом використовують захисне заземлення. Воно повинно захищати людей від уражень електричним струмом у випадку дотику до металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитись під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, це досягається з'єднанням металевих частин електроустановок з землею, або її еквівалентом.

Згідно з класифікацією приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом (ПУЕ 1.1.6.), приміщення в якому проводяться всі роботи відноситься до першого класу (без підвищеної небезпеки). Під час роботи використовуються електроустановки з напругою живлення 36 В, 220 В, та 360 В. Опір контура заземлення повинен мати не більше 4 Ом.

Розрахунок проводять за допомогою методу коефіцієнта використання (екранування) електродів. Коефіцієнт використання групового заземлювача η – це відношення діючої провідності цього заземлювача до найбільш можливої його провідності за нескінченно великих відстаней між його електродами.

При розрахунку заземлювачів в однорідній землі способом коефіцієнтів використання значення опору R захисного заземлення визначаємо в наступному порядку:

обчислюємо опір пристрою заземлення R_3 . Згідно правил улаштування електроустановок (ПУЕ) найбільш припустимі значення R_3 , складають для установок до 1000 В:

10 Ом при сумарній потужності генераторів або трансформаторів, що живлять дану мережу, не більше 100 кВА;

4 Ом у всіх інших випадках.

- визначаємо необхідний опір штучного заземлювача $R_{ш}$:

$$R_{ш} = \frac{R_e \cdot R_3}{R_e - R_3}, \quad (4.1)$$

де R_e – опір розтікання природного заземлювача, Ом; R_3 – необхідний опір заземлюючого пристрою, Ом.

- обчислюємо кількість вертикальних і довжину горизонтальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{a'}, \quad (4.2)$$

де n – кількість вертикальних електродів, штук; S – площа цеху, m^2 ; a' – задана відстань між електродами, м.

$$l_r = 2a + 2b, \quad (4.3)$$

де l_e – сумарна довжина горизонтальних електродів, м; a – ширина сторони цеху, м; b – довжина сторони цеху, м.

- розраховуємо опори розтікання вертикального R_v та горизонтального R_r електродів:

$$R_v = \frac{\rho_{роз.в}}{2 \cdot \pi \cdot l_v} \left(\ln \frac{2l_v}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l_v}{4t - l_v} \right), \quad (4.4)$$

де $\rho_{роз.в}$ – розрахунковий питомий опір землі для вертикального електрода, Ом·м;

l_v – довжина вертикальних стрижневих електродів, м; d – діаметр електрода, мм;

t – глибина занурення в землю верхнього кінця електрода, м;

$$R_r = \frac{\rho_{роз.г}}{2 \cdot \pi \cdot l_r} \cdot \ln \frac{2l_r}{0,5 \cdot b' \cdot t}, \quad (4.5)$$

де $\rho_{роз.г}$ – розрахунковий питомий опір для горизонтального електрода, Ом·м;

$l_г$ – довжина горизонтальних електродів, м; b' – товщина горизонтального електрода, м.

- за даними таблиці 4.1 та таблиці 4.2 визначаємо коефіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів $\eta_в$ та $\eta_г$ та з їх врахуванням обчислюємо розрахунковий опір заземлювача за виразом:

$$R_г = \frac{R_в \cdot R_г}{R_в \cdot \eta_г + R_г \cdot \eta_в \cdot n}, \quad (4.6)$$

Для розрахунку заземлювача задаємось такими вихідними даними: виробничий цех площею $S=5000$ м² і з понижуючою підстанцією 10/0,4 кВ.

Таблиця 4.1 – Коефіцієнт використання горизонтального стрічкового електрода, що з'єднує вертикальні електроди (труби, кутики і ін.) групового заземлювача

Відношення відстані між вертикальними електродами до їх довжин	Число вертикальних електродів							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Вертикальні електроди розміщені в ряд								
1.	0,8 5	0,7 7	0,7 2	0,6 2	0,4 2	-	-	-
2.	0,9 4	0,8 0	0,8 4	0,7 5	0,5	-	-	-
3.	0,9 6	0,9 2	0,8 8	0,8 2	0,6 8	-	-	-
Вертикальні електроди розміщені по контуру								
1.	-	0,4 5	0,4 0	0,3 4	0,2 7	0,2 2	0,2 0	0,1 9
2.	-	0,5 5	0,4 8	0,4 0	0,3 2	0,2 9	0,2 7	0,2 3
3.	-	0,7 0	0,6 4	0,5 6	0,4 5	0,3 9	0,3 6	0,3 3

Заземлювач передбачається виконати з вертикальних стрижневих електродів довжиною $l_в=5$ м, діаметром $d=12$ мм і відстанню між ними $a'=5$ м

та горизонтальних електродів (сталева смуга перетином 440 мм) на глибині $t=0,8$ м. Розрахункова величина питомого опору ґрунту у місці спорудження захисного заземлення береться з таблиці 6.3 (для чорнозема $c=20$ Ом/м). Коефіцієнти вертикальної прокладки K_v і горизонтальної прокладки K_r приймаються з таблиці 6.4 (для третього кліматичного району $K_v=1,3$, $K_r=2,5$).

Таблиця 4.2 – Коефіцієнт використання вертикальних електродів групового заземлювача (труб, кутиків, і т. ін.) без урахування впливу стрічки зв'язку

Число заземлювачів	Число вертикальних електродів					
	1.	2.	3.	1.	2.	3.
	Електроди, розміщені в ряд			Електроди, розміщені по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	-	-	-	0,41	0,58	0,66
60	-	-	-	0,39	0,55	0,64
100	-	-	-	0,36	0,52	0,62

Таблиця 4.3 – Розрахункові значення питомих електричних опорів ґрунтів

Ґрунт	Значення, які рекомендуються для розрахунків, Ом/м
Пісок	700
Супісок	300
Суглинок	100
Глина	40
Чорнозем	20
Торф	20

Таблиця 4.4 – Значення підвищувальних коефіцієнтів K_r , K_v за кліматичними зонами

Кліматична зона	Тип заземлювачів	
	Горизонтально прокладені заземлювачі (смугові та ін.) при глибині від поверхні ґрунту $t=0,8$ м, K_r	Стрижневі вертикально встановлені заземлювачі при глибині від поверхні землі $t=0,5-0,8$ м, K_v
I	4,5–7	1,8–2
II	3,5–4,5	1,6–1,8
III	2,5–4	1,4–1,6
IV	1,5–2	1,2–1,4

Розрахункові питомі опори ґрунту для вертикальних і горизонтальних заземлювачів визначаються відповідно так:

$$\rho_{\text{роз.в}} = K_v \cdot \rho, \text{ Ом/м}, \quad (6.7)$$

$$\rho_{\text{роз.г}} = K_r \cdot \rho, \text{ Ом/м} \quad (6.8)$$

Таким чином за формулами (6.7), (6.8), для чорнозему:

$$\rho_{\text{роз.в}} = 1,3 \cdot 20 = 26, \text{ Ом/м};$$

$$\rho_{\text{роз.г}} = 2,5 \cdot 20 = 50, \text{ Ом/м}.$$

У якості природного заземлювача використовуємо металеву технологічну конструкцію з опором розтікання природного заземлювача

$$R_e = 15 \text{ Ом}.$$

Здійснюємо розрахунок у відповідності з зазначеною послідовністю:

- згідно ПУЕ необхідний опір заземлюючого пристрою складає:

$$R_3 = 4 \text{ Ом};$$

за формулою (6.1) визначимо необхідний опір штучного заземлювача $R_{\text{ш}}$:

$$R_{\text{ш}} = \frac{15 \cdot 4}{15 - 4} = 5,5 \text{ Ом};$$

за формулами (4.2), (4.3) обчислюємо кількість вертикальних та довжин горизонтальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{5000}}{5} = 5 \text{ штук},$$

$$l_r = 2 \cdot 50 + 2 \cdot 100 = 300 \text{ м};$$

за формулами (4.4), (4.5) розраховуємо опори розтікання вертикального R_v та горизонтального R_r електродів:

$$R_v = \frac{26}{2 \cdot \pi \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,012} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,3 + 5}{4 \cdot 3,3 - 5} \right) = 5,7 \text{ Ом},$$

$$R_r = \frac{50}{2 \cdot \pi \cdot 300} \cdot \ln \frac{2 \cdot 300}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 0,3 \text{ Ом};$$

за даними таблиць (4.10, (4.11) обираємо коефіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів $K_v=0,4$ та $K_r=0,21$;

обчислюємо розрахунковий опір заземлювача R за формулою (4.6):

$$R_r = \frac{5,7 \cdot 0,3}{5,7 \cdot 0,21 + 0,3 \cdot 0,4 \cdot 56} = 0,22 \text{ Ом}.$$

Таким чином, проєктований заземлювач є контурним, складається з 56 вертикальних стрижневих електродів довжиною 5 м і діаметром 12 мм та горизонтального електрода у вигляді сталевий смуги довжиною 300 м, перетином 440 мм², занурених у землю на 0,8.

ВИСНОВКИ

В роботі було представлено нову реалізацію алгоритму оптимального керування для системи накопичення енергії на батареях, підключеної до вітрової турбіни та до мережі. Програма на основі Python була розроблена з використанням API Accuweather для збору даних про вітер та оптимізації доходу, а для зберігання даних використовувався локально встановлений сервер thingspeak. Продуктивність алгоритму була перевірена з використанням реальних даних про вітер, отриманих від WEICAN. Результати показують, що алгоритм зміг збільшити прибуток, змінюючи графік роботи з урахуванням доступності вітру протягом наступних двадцяти чотирьох годин.

У майбутньому алгоритм керування буде вдосконалено для мінімізації рахунків за електроенергію для домогосподарств шляхом навчання нейронної мережі прогнозуванню схеми навантаження будинку та оптимальному керуванню системою накопичення енергії на батареях (BESS).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Chemali E., Preindl M., Malysz P., Emadi A. Electrochemical and Electrostatic Energy Storage and Management Systems for Electric Drive Vehicles: State-of-the-Art Review and Future Trends // IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. – 2016. – Vol. 4, No. 3. – P. 1117–1134.
2. NESTNet Themes [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ryerson.ca/nestnet/themes/>.
3. Ujvarosi A. Evolution of SCADA Systems // Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Engineering Sciences. Series I. – 2016. – Vol. 9, No. 1. – P. 63.
4. SMA Sunny Boy Grid-Tie Inverter [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gogreensolar.com/products/sma-sb-10000tlus-10-sunny-boy-grid-tie-inverter-10000w-with-dc-disconnect>.
5. SAJ 10kw 3-phase 380V [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.alibaba.com/product-detail/SAJ-10kw-3-phase-380V-on60643486889.html>.
6. Grilo A. M., Chen J., Díaz M., Garrido D., Casaca A. An Integrated WSN and SCADA System for Monitoring a Critical Infrastructure // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2014. – Vol. 10, No. 3. – P. XX–XX.
7. Andreescu E. H. Gurban G. D. SCADA element solutions using Ethernet and mobile phone network // 2011 IEEE 9th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics. – 2011. – C. 303–308.
8. Zhang P., Liu T., Yang Z. X., Mou Y., Wei Y. H., Chen D. Design of remote control plug // 2015 IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices (ASEMD). – 2015. – C. 29–30.
9. Sanap S., Nawale R., Kapse S., Kale A., Korade M. Exact virtualization of Industrial Environment on Web Using SCADA with Artificial Intelligence // Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT), 2015 International Conference on, Noida. – 2015. – C. 99–103.

10. Hegde S. G., Desai S. R., Gajanan D. R., Kowligi S. B., Sachin R. C. Implementation of SCADA in industries using wireless technologies // Industrial Instrumentation and Control (ICIC). – 2015. – Pune.
11. Soetedjo A., Nakhoda Y. I., Suryadi D. Development of data acquisition system for hybrid power plant // QiR (Quality in Research), 2013 International Conference on. – Yogyakarta, 2013. – C. 197–201.
12. Sarinda J. L., Iqbal T., Mann G. Low-cost and open-source SCADA options for remote control and monitoring of inverters // IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE). – 2017. – Windsor, ON. – C. 1–4.
13. Blanch-Torn S., Cores F., Moreno Chiral R. Agent-based PKI for Distributed Control System // World Congress on Industrial Control Systems Security (WCICSS-2015). – 2015. – C. 28–35.
14. Felipe C., Yeison C., Leonardo R. Wireless Sensor System According to the Concept of IoT - Internet of Things // 2014 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence. – 2014.
15. Pasha S. Thingspeak Based Sensing and Monitoring System for IoT with Matlab Analysis // International Journal of New Technology and Research (IJNTR). – 2016. – C. 19–23.
16. Zhu B., Joseph A., Sastry S. A Taxonomy of Cyber Attacks on SCADA Systems // IEEE International Conferences on Internet of Things, and Cyber, Physical and Social Computing. – 2011.
17. Hasan M., Mouftah H. T. Optimal Trust System Placement in Smart Grid SCADA Networks // IEEE Access. – 2016. – Vol. PP, No. 99.
18. Maly D. K., Kwan K. S. Optimal battery energy storage system (BESS) charge scheduling with dynamic programming // IEE Proceedings - Science, Measurement and Technology. – 1995.

19. Lo C. H., Anderson M. D. Economic dispatch and optimal sizing of battery energy storage systems in utility load-leveling operations // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 1999.
20. Habibi M. S. Model for impact of storage on spinning reserve requirements and distributed generation // Proceedings of the 33rd Southeastern Symposium on System Theory. – 2001. – C. 161–165.
21. Kaye T., ThaiDoanHoangCau R. J. Multiple distributed energy storage scheduling using constructive evolutionary programming // PICA 2001. Innovative Computing for Power - Electric Energy Meets the Market. 22nd IEEE Power Engineering Society. International Conference on Power Industry Computer Applications. – 2001. – Sydney. – C. 402–407.
22. Fung L. C. C. Combined fuzzy-logic and genetic algorithm technique for the scheduling of remote area power system // IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. – 2000. – C. 1069–1074.
23. Lee T. Y. Operating Schedule of Battery Energy Storage System in a Time-of-Use Rate Industrial User With Wind Turbine Generators: A Multipass Iteration Particle Swarm Optimization Approach // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2007. – C. 774–782.
24. Xu S., Shao R., Chang L. Single-phase voltage source inverter with voltage-boosting and power decoupling capabilities // 2017 IEEE 8th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG). – Florianopolis, 2017. – C. 1–8.
25. Jayasinghe S., Iqbal T., Mann G. IoT based low-cost SCADA system for an inverter // 25th IEEE NECEC conference. – 2016.
26. Jayasinghe S. L., Iqbal T., Mann G. Internet of Things (IoT) based open-source SCADA for Monitoring and Controlling of Inverters // NESTNet Technical Conference. 1st Annual conference. – 21–22 July, 2017. – Toronto, ON.
27. Jayasinghe S., Iqbal T., Mann G. An Internet of Things based open SCADA for Monitoring and Controlling of Inverters // IEEE Access. – 2017.

28. Jayasinghe S., Iqbal T., Mann G. Optimum Control of a Grid Connected Battery Energy Storage // 26th IEEE NECEC conference. – 2017.
29. Watson D., Hastie C., Rodgers M. Comparing Different Regulation Offerings from a Battery in a Wind RnD Park // IEEE Transactions on Power Systems. – 2017. – Vol. PP, No. 99. – C. 1–1. doi: 10.1109/TPWRS.2017.2747517.
30. Giroux G. Data Topology // Wind Energy Institute of Canada.
31. Core IEC Standards [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iec.ch/smartgrid/standards/>.
32. SCADA Software Pricing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.trihedral.com/scada-software-pricing>.
33. Ashraf M. N., Khalid S. A. B., Ahmed M. S., Munir A. Implementation of Intranet-SCADA Using LabVIEW Based Data Acquisition and Management // Computing, Engineering and Information, 2009. ICC '09. International Conference on. – Fullerton, CA. – IEEE. – C. 244–249.
34. Anam S., Haider A., Kashif S. Cloud-Assisted IoT-Based SCADA Systems Security: A Review of the State of the Art and Future Challenges // Special Section on the Plethora of Research in Internet of Things (IoT).
35. Adafruit Product 2491 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.adafruit.com/product/2491>.
36. Deshmukh A. D., Shinde U. B. A low-cost environment monitoring system using Raspberry Pi and Arduino with Zigbee // 2016 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT). – Coimbatore, India. – C. 1–6.
37. Almas M. S., Vanfretti L., Lövlund S., Gjerde J. O. Open-source SCADA implementation and PMU integration for power system monitoring and control applications // 2014 IEEE PES General Meeting | Conference and Exposition. – National Harbor, MD, 2014. – C. 1–5.
38. IBM Watson [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ibm.com/watson/>.
39. Artik Cloud [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://artik.cloud/>.

40. GE Digital Predix [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ge.com/digital/predix>.
41. Google Cloud IoT Core [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cloud.google.com/iot-core/>.
42. UBIDOTS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ubidots.com/>.
43. ThingSpeak [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://thingspeak.com/>.
44. Blynk [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.blynk.cc/>.
45. Sajid A., Abbas H., Saleem K. Cloud-Assisted IoT-Based SCADA Systems Security: A Review of the State of the Art and Future Challenges // IEEE Access. – 2016. – Vol. 4. – С. 1375–1384. doi: 10.1109/ACCESS.2016.2549047.
46. Wagner H. J. Introduction to wind energy systems // EPJ Web of Conferences. – 2013. – Vol. 54. – С. 01011.
47. Divya K. C., Østergaard J. Battery energy storage technology for power systems – An overview // Electric Power Systems Research. – 2009. – Vol. 79, No. 4. – С. 511–520.