

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Автоматизована система керування інвертором

Назва теми

КвРАКІТ. 2020047.01.02.ПЗ

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

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

Шифр, назва

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

Назва

Виконав:

студент 3 курсу, група АКІТ_с-20-1


Підпис

Мирослав ЧЕРВОНИЙ

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник:

д-р техн. наук, проф.


Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер


Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:

зав. кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих
технологій та робототехніки


Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«23» червня 2023 р.

Хмельницький 2023

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня-професійна програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою АКІТ та Р

В. Мартинюк
«01» 02 2023р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ





Червоний Мирослав Владиславович

- 1 Тема роботи: Автоматизована система керування інвертором
керівник роботи Мартинюк В.В., д.т.н, професор
Затверджено наказом по університету від «01» березня 2023р. №5.
- 2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 03.06.2023р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування
- 4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. Огляд літературних джерел та патентних даних. Основна частина.
Розробка стратегії керування SCADA системи для автоматизованого керування інвертором. Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень).
 1. Структурна схема автоматизованої системи керування інвертором.
 2. Структурна схема розробленої SCADA системи для автоматизованого керування інвертором.
 3. Людино-машинний інтерфейс розробленої SCADA системи для автоматизованого керування інвертором.

Завдання отримав _____

Науковий керівник _____

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагиат	Федула М.В., к.т.н., доцент каф. АКІТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., к.т.н., доцент каф. АКІТтаР		

7. Дата видачі завдань « 01 » 02 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітки
1	Вступ	15.02.2023р.	Виконано
2	Огляд літературних джерел та патентних даних	15.03.2023р.	Виконано
3	Основна частина	10.04.2023р.	Виконано
4	Розробка стратегії керування SCADA системи для автоматизованого керування інвертором	10.05.2023р.	Виконано
5	Висновки	15.05.2023р.	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки до КРБ	25.05.2023р.	Виконано
7	Оформлення презентаційних матеріалів	1.06.2023р.	Виконано

Студент


Підпис

М.В. Федула
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

В.В. Державин
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система керування інвертором».

Автор роботи: Червоний Мирослав Владиславович.

Керівник роботи: Мартинюк Валерій Володимирович

Пояснювальна записка: 62 с., 8 рис., 1 дод., 40 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ІНВЕРТОР, SCADA СИСТЕМА, РОЗПОДІЛЕНІ ГЕНЕРУЮЧІ СИСТЕМИ.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка автоматизованої системи керування інвертором в реальному масштабі часу. Основною метою стратегії керування SCADA системи для автоматизованого керування інвертором є максимізації прибутку від накопичувача енергії батареї, підключеного до сонячних панелей, і впровадження алгоритму керування на Thingspeak сервері з підтримкою хмари для автоматизації диспетчеризації накопичувача енергії батареї.

SCADA система автоматизованої системи керування інвертором здійснює моніторинг (вимірювання) напруги, струму, потужності та накопиченої енергії акумуляторної батареї. В результаті обробки вимірних даних напруги, струму, потужності та накопиченої енергії акумуляторної батареї SCADA система здійснює керування активною та реактивною потужністю інвертора.



Підпис студента

23.06.2023

Дата

ЗМІСТ	
ВСТУП.....	3
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ .	6
1.1. Особливості автоматизованої системи керування інвертором.....	6
1.2. Особливості SCADA систем	9
1.3. Особливості керування інверторами в розподілених генеруючих системах.....	12
1.4. Висновки до першого розділу	19
2. ОСНОВНА ЧАСТИНА	20
2.1. Структурна схема автоматизованої системи керування інвертором	20
2.2. Обґрунтування та вибір серверу інтернету речей.....	23
2.3. Розробка людино-машинного інтерфейсу	28
2.4. Висновки до другого розділу	31
3. РОЗРОБКА СТРАТЕГІЇ КЕРУВАННЯ SCADA СИСТЕМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ІНВЕРТОРОМ.....	32
3.1. Розробка алгоритму автоматизованого керування інвертором.....	32
3.2. Розробка системи захисту від ненавмисного відключення мережі	40
3.3. Мультиагентна система для енергетичного Інтернету.....	44
3.4. Висновки до третього розділу.....	52
ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	54
Додатки.....	62

				КРБАКІТ. 2020047.01.02.ПЗ			
Виконав	№докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система керування інвертором Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір	Червоний М.В.	<i>[Signature]</i>	23.06.23		у	2	62
Т.Конт	Мартинюк В.В.	<i>[Signature]</i>	23.06.23	ХНУ, АКІТс-20-1			
Н.контр	Корецька Л.О.	<i>[Signature]</i>	23.06.23				
Затвер	Мартинюк В.В.	<i>[Signature]</i>	23.06.23				

ВСТУП

Актуальність теми. Враховуючи, що кількість акумуляторних накопичувачів енергії, підключених до мережі, зростає, кількість інверторів, підключених до енергосистеми, також швидко зростає.

Комунальні підприємства повинні мати можливість контролювати інвертори, підключені до мережі, щоб підтримувати стабільність мережі, покращувати якість електроенергії, що постачається, і стабілізувати ціни на енергію.

Вимога вбудувати алгоритм автоматичного керування в систему SCADA для оптимального керування інвертором, щоб максимізувати економічні вигоди від нього, враховуючи зміну цін на енергію та зміну відновлюваної енергії протягом певного періоду.

Тому використання розробка автоматизованої системи керування інвертором є дійсно актуальною задачею.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи керування інвертором в реальному масштабі часу.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

- розробити структурну схему автоматизованої системи керування інвертором у реальному масштабі часу;
- розробити алгоритм автоматизованого процесу контролю керування інвертором;
- розробити програму роботи автоматизованої системи керування інвертором.

Об'єктом дослідження є процес керування інвертором.

Предметом дослідження є автоматизована система керування інвертором.

Методи досліджень. При вирішенні поставлених завдань у роботі були використані методи теорії керування, теорії кіл та методи алгоритмізації та програмування.

Практична значимість отриманих результатів:

У роботі розроблена автоматизована системи керування інвертором та програмне забезпечення її роботи. Використання такої системи дозволяє підвищити ефективність процесу керування інвертором.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків до кожного розділу, висновків, списку використаних джерел, 3 додатків. Загальний обсяг роботи складає 62 сторінок комп'ютерного тексту, у тому числі: 8 рисунків, список використаних джерел вміщує 40 найменувань.

У вступі обґрунтована актуальність кваліфікаційної роботи, сформульовано мету та задачі кваліфікаційної роботи, відображено її практичне значення.

В процесі розробки SCADA системи для автоматизованого керування інвертором розроблена структурна схема автоматизованої системи керування інвертором та алгоритм керування цією системою.

В першому розділі були розглянуті наступні питання: будова і принцип роботи SCADA систем для автоматизованого керування інвертором, а також алгоритми керування інверторами.

У другому розділі розроблено структурну схему автоматизованої системи керування інвертором, обґрунтовано та вибрано сервер інтернету речей та розроблено людино-машинний інтерфейс.

У третьому розділі розроблено стратегію керування SCADA системою для автоматизованого керування інвертором, розроблено алгоритм автоматизованого керування інвертором, розроблено систему захисту від ненавмисного відключення мережі та мультиагентну систему для енергетичного Інтернету.

					КРБАКІТ. 2020047.01.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		5

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Особливості автоматизованої системи керування інвертором

Електроенергія може бути визначена як найнеобхідніший товар після того, як людина перейшла в індустріальну епоху. Традиційна енергосистема була побудована для постачання електроенергії від центрального джерела електроенергії до розподілених споживачів.

Після додавання двонаправлених джерел потоку енергії, таких як накопичувачі енергії та концепції міні- та мікромережі, енергосистема стає все більш уразливою. Для зниження вартості електроенергії, що постачається, і підвищення якості електроенергії, що надається, встановлюються системи накопичення енергії.

Це дозволяє комунальним підприємствам зменшувати витрати на електроенергію за рахунок використання переважно відновлюваних джерел енергії. Використання більшої кількості відновлюваних джерел енергії для заміни генеруючих установок з високим рівнем викидів вуглецю допомагає уповільнити зміну клімату[1].

Згідно з Глобальною базою даних зберігання енергії, 98% систем накопичення енергії є гідронасосними системами, тоді як акумуляторні системи накопичення енергії (АСН) стають все більш популярними завдяки вбудованим функціям, пов'язаним з АСН [1].

В процесі накопиченні енергії використовуються різні технології, крім АСН і гідронасосних систем. Махові колеса можна назвати однією з провідних технік, які використовувалися, а системи стисненого повітря також можна розглядати як іншу тенденцію, що розвивається [2].

систем зберігання енергії до поточної мережі необхідно вирішити багато проблем.

Найважливіше, що просте додавання накопичувача енергії в систему не додасть жодних переваг системі, і її потрібно оптимально контролювати, щоб отримати від неї максимальну користь. Оскільки робоча сила недешева, накопичення енергії необхідно контролювати та контролювати дистанційно [2].

У більшості випадків перетворювачі електроенергії використовуються для інтеграції систем накопичення енергії в енергосистему, а тут інвертори використовуються для введення інвертованої потужності постійного струму в мережу.

Постійний струм, вироблений сонячною енергією, вітром або будь-яким іншим відновлюваним джерелом енергії або збережений в акумуляторі чи будь-якому іншому накопичувачі енергії, буде подаватися в мережу.

У сучасному сценарії потужність, яка генерується дрібномасштабними виробниками електроенергії, не контролюється комунальним підприємством, але це стане вимогою для комунального підприємства, коли потужність перевищить межі стабільності.

Оскільки існує ринок, що розвивається, для АНС та інших систем накопичення енергії, крім насосних гідроакумуляуючих систем, необхідних для керування та моніторингу перетворювачів (інверторів), також стане вимогою.

Існує багато типів перетворювачів потужності (інверторів), які можна знайти на ринку, тоді як дорогі інвертори високого класу поставляються з вбудованими системами SCADA, а недорогі інвертори з такою ж ефективністю можуть не мати таких складних функцій [3].

У світі розроблено багато систем SCADA для моніторингу та управління. Незважаючи на те, що ця тема охоплює величезну сферу, у цьому огляді літератури в основному обговорюються недорогі варіанти з відкритим кодом. Є чотири основні цілі цього огляду літератури. Перший – перегляд недорогих звичайних технологій SCADA.

По-друге, оцінити технології, засновані на інтернеті речей. Безпека систем SCADA оцінюється як третя мета, і, нарешті, для контролю банку батарей переглядаються оптимальні методи планування роботи.

А. М. Гурило [6] представив SCADA для мереж бездротових датчиків і приводів для моніторингу критичної інфраструктури економічно ефективним способом з усуненням проблем, пов'язаних із типовим SCADA. Проблеми, які виникають через відсутність гнучкості розгортання датчиків, які передають дані моніторингу.

Автори запропонували рішення з використанням шлюзу та підходу веб-сервісів для веб-орієнтованої SCADA, до якої можна отримати доступ через Інтернет. Вони також представили реальний сценарій з використанням SCADA з відкритим вихідним кодом під назвою MANGO, фізично застосовуваного для моніторингу електричної мережі.

Автори визначили кілька характеристик SCADA.

1. Динамічність - вузли гнучкі та мобільні, і їх потрібно легко додавати та видаляти за допомогою меншої кількості проводів.
2. Модернізація - додавання нових технологій або функцій до старих систем.
3. Простота установки - датчик не потребує окремого джерела енергії.
4. Резервування - надійність є однією з ключових характеристик, які необхідно додати до системи SCADA.

Крім того, автори визначили деякі проблеми, пов'язані з розробкою системи SCADA.

1. Зв'язок у реальному часі.
2. Управлінська підтримка.
3. Безпека.

За останні кілька років підключення до Інтернету багато хто часто називав Інтернетом речей (IP). У системах SCADA на основі IP із датчиками та виконавчими механізмами зв'язок базується на окремій IP-адресі, кожна з яких підключена до хмари.

Найголовніше, що цей децентралізований підхід дозволяє датчикам і виконавчим механізмам спілкуватися один з одним і приймати власні рішення, а також забезпечує автономність пристроїв.

Коли справа доходить до ширшої картини, IP також дозволяє централізовано керувати даними для великих мереж, де централізована обробка даних звичайних систем SCADA є складною.

Системи SCADA, які не здатні спілкуватися між собою, потребують багато людських зусиль для збору даних з одного SCADA та передачі деяких із цих даних в інше місце. IP допомагає повністю усунути цю проблему, оскільки всі датчики можуть передавати свої дані в хмару, а хмарна платформа виконує всі обчислення, такі як машинне навчання, обчислення тенденцій тощо.

Пристроєм, підключеним до систем живлення, потрібна така складна SCADA, ніж будь-що інше через складність. Звичайний SCADA використовувався для дистанційного керування та моніторингу інвертора з вищеописаними недоліками.

Найголовніше це те, що децентралізований підхід в архітектурі IP дозволяє датчикам і виконавчим механізмам спілкуватися один з одним і приймати власні рішення, а також забезпечує автономність пристроїв.

Що стосується макросів, то IP також дозволяє централізовано керувати даними для великих мереж, де централізована обробка даних звичайних систем SCADA є складною. Коли існують кілька систем SCADA, які не можуть спілкуватися разом - це потребує залучення великої кількості людських зусиль для збору даних з одного SCADA та передачі деяких із цих даних десь в іншому місці.

IP допомагає повністю усунути цю проблему, коли всі датчики можуть передавати свої дані в хмару, а хмарна платформа виконує всі обчислення, такі як машинне навчання, обчислення тенденцій тощо. Або сервер THINGSPEAK може виступати в якості посередником для іншої системи SCADA за допомогою спілкування між собою.

Перетворювачі постійного/змінного струму, які використовуються в системах зберігання енергії, обов'язково потребують контролю та моніторингу. Хоча на ринку доступно багато систем SCADA, їх вартість досить висока.

Результати дослідження, проведеного для порівняння різних систем SCADA та недорогих варіантів SCADA з відкритим кодом, доступних для дистанційного керування та моніторингу інверторів, опубліковано в [12]. Встановлено, що локальний сервер на основі THINGPEAK, який інсталується в Ubuntu 16.04, є найкращим доступним вирішенням проблеми.

1.3 Особливості керування інверторами в розподілених генеруючих системах

В останні роки в усьому світі було оголошено про різноманітні привабливі стимули для заохочення споживачів до активної участі в

енергетичній галузі через розподілену генерацію відновлюваної енергії за допомогою мережевого вимірювання.

Інфраструктура Smart Grid гнучко дозволяє домашнім користувачам встановлювати відновлювані джерела енергії та інтегрувати їх у розподільчу мережу. Роблячи це, вони можуть отримувати дохід, торгуючи надлишковою виробленою електроенергією в енергосистему.

Це надає свободу розподіленої генерації близько до центрів навантаження, усуваючи широкі мережі передачі та супутні втрати електроенергії. З іншого боку, глобальний попит на електроенергію зростає з кожним днем, і з обмеженням розширення існуючої центральної генерації електроенергетичні компанії також переходять до розподіленої генерації, а також заохочують домогосподарства до адаптації розподіленої генерації.

Однак зростаюча інтеграція відновлюваних джерел енергії в системи розподілу електроенергії також викликає багато технічних та експлуатаційних проблем. Одним із найвидатніших ефектів є проблеми зростання напруги через розподілену систему живлення блоків у випадкових вузлах.

Звичайні методи регулювання напруги, що використовуються в енергосистемах, як правило, розроблені для роботи за попередньо визначеним підходом зверху вниз, який добре знає потоки електроенергії через елементи системи.

Однак сценарій змінюється, коли розподілені енергетичні ресурси інтегровані в мережі, оскільки електроенергія може надходити як у прямому, так і в зворотному напрямку залежно від робочого стану системи.

Таким чином, потрібне спеціальне вирішення для таких проблем, яке може добре забезпечувати стандарти якості електроенергії та напруги без суттєвого порушення роботи розподілених енергоблоків.

Проблему підвищення напруги можна вирішити різними способами, але топологія та залучення комунікаційної інфраструктури мають суттєве значення. Було розроблено багато централізованих, децентралізованих і автономних схем керування, щоб подолати проблему підвищення напруги через випадкові зміни потужності розподілених енергетичних ресурсів.

Схеми локального керування приймають лише статус точки підключення як параметр рішення, не потребуючи віддалених даних. Основною перевагою автономного або локального керування є його швидка реакція на будь-які зміни в системі, оскільки на нього не впливають затримки зв'язку та він не залежить від топології системи.

Незалежність від широкого спілкування робить цю категорію малоймовірною під впливом збоїв у спілкуванні. Однак обмеженням є його нездатність створити глобально оптимальне рішення, оскільки воно не включає ширший сценарій робочих параметрів по всьому фідеру, до якого підключені розподілені генеруючі системами, що робить його непридатним для роботи в системах «підключи та працюй».

Для покращення якості напруги в літературі запропоновано кілька методів і пристроїв, таких як ступінчасті регулятори напруги [4], статичні компенсатори реактивної потужності [5] і статичні синхронні компенсатори (STATCOM) [6], перемикачі трансформаторів (ТТС).

Ці пристрої потребують додаткових зборів за встановлення та витрат на технічне обслуговування разом із вдосконаленою скоординованою системою керування.

Однак інтелектуальні фотоелектричні інвертори, які використовуються для інтеграції фотоелектричної системи з розподільчою мережею, мають потенціал для контролю обміну активною та реактивною потужністю разом із коефіцієнтами потужності для покращення профілю напруги головної електромережі.

Вольт-ваттний контрольний метод призначений для обмеження реальної вихідної потужності інвертора у відповідь на напругу на його клеммах, тоді як вольт/варіонний метод керування призначений для обмеження вихідної реактивної потужності інвертора у відповідь на зростання напруги на його клеммах.

Вольт-ваттний метод контролю обмежений у застосуванні, оскільки він ставить під загрозу вигоду зацікавлених сторін, обмежуючи генерацію реальної потужності розподілених генеруючих систем. З іншого боку, вольт/варіонний метод не створює реальних втрат у виробництві електроенергії, але маніпулює обміном реактивною потужністю між електромережею та блоком розподілених генеруючих систем.

Ще одна перевага інверторного керування полягає в тому, що силовий електронний пристрій, якому потрібно дуже мало часу для реакції, має швидку та надійну реакцію на збурення порівняно зі звичайними пристроями. Таким чином, вольт/варіонний метод керування є найкращою технікою для покращення профілю напруги серед усіх інших методів у кожному аспекті.

Вольт/варіонний метод керування потужністю стосується процесу покращення профілю напруги шляхом керування обміном реактивною потужністю. Обидві величини пов'язані одна з одною, оскільки надходження реактивної потужності в мережу викликає підвищення

напруги, тоді як поглинання реактивної потужності з енергосистеми викликає падіння напруги.

Стандарт IEEE-1547 визначає, що відхилення напруги має бути в діапазоні $\pm 5\%$ у великих системах і $\pm 2,5\%$ для менших систем. Таким чином, щоб зберегти відхилення в підтримуваному діапазоні, додатна або від'ємна реактивна потужність може бути вивільненою або поглинена за допомогою інтелектуальних інверторів, керованих через головний контролер у розподільній мережі.

У [9] запропоновано гібридний підхід до управління реактивною потужністю на основі штучного інтелекту, такий як машинне навчання та моделі на основі багатоагентних систем.

Перевага використання гібридного підходу полягає в тому, що він може працювати як з централізованою, так і з децентралізованою інфраструктурою. Але цей підхід оптимально розраховує реактивну потужність, яка має бути введена в систему через фотоелектричний інвертор і потребують тому складні обчислення, тому не можуть бути реалізовані в онлайн-режимі.

Оптимальний вибір параметрів стратегії вольт/варіонного методу керування запропоновано в [10], який базується на деяких конкретних сценаріях, наприклад, якщо напруга точки загального зв'язку знаходиться в попередньо визначеному діапазоні, тоді яким має бути значення реактивної потужності який потрібно ввести в систему для покращення профілю напруги.

Цей метод не працює для великих систем, у яких різниця напруги між точкою загального зв'язку і дальнім вузлом системи велика. В [11] запропоновано метод визначення оптимальної кривої вольт/варіонного методу керування та кривих вольт/ватного керування.

Однак, ми вже знаємо, що використання методу вольт/ватного керування не є хорошим підходом, оскільки цей метод обмежує генерацію активної потужності.

У роботі [11] запропоновано еволюційний алгоритм, який базується на підході до оптимізації мурашиної колонії, для визначення найкращих можливих активних та реактивних конденсаторів і позицій відводів для покращення профілю напруги розподілу.

У роботах [12, 13] підхід на основі генетичного алгоритму використовується для визначення найкращої оптимальної реактивної потужності для покращення профілю напруги системи розподілу. Існують наступні недоліки генетичного алгоритму.

1. Він набагато більш чутливий до чисельності популяції колонії.
2. Його збіжність експоненційно зростає зі збільшенням чисельності популяції.
3. Він може застрягти в локальних мінімумах.

Недоліки методу оптимізація рою частинок наступні.

1. Метод оптимізації рою частинок чутливий до чисельності популяції, але менш чутливий, ніж генетичний алгоритм.
2. Метод оптимізації рою частинок не завжди збігається до глобальних мінімумів.

У роботі [14] запропоновано ієрархічну гібридну архітектуру для стратегії вольт/варіонного методу керування. Цей метод включає три рівні з визначеними операціями, а потім впроваджується відповідна координація між кожним рівнем для досягнення комбінованих цілей оптимізації та адаптації невизначеностей навантаження та генерації майже в реальному часі.

Питання підвищення напруги через сонячну генерацію вирішується шляхом зниження напруги первинної сторони в [15]. Однак

такий підхід призведе до низької напруги в деяких частинах розподільного фідера, оскільки інтеграція сонячної генерації не на всі шини впливає однаково.

У роботах [16, 17] ця проблема вирішується шляхом збільшення розміру діаметрів усіх ліній, оскільки це призведе до зменшення імпедансу ліній, але це не є економічним і практичним підходом.

Крім того, ці методи не є адаптивними, і, враховуючи мінливість природи сонячної генерації, ці методи не застосовуються. Регулятори напруги [18], конденсаторні батареї [19] і перемикач відводів під навантаженням [20] також використовуються для вирішення цієї проблеми, але основна проблема використання цих пристроїв полягає в тому, що вони працюють у цифровому вигляді, а сонячна генерація є аналоговою за поведінкою, тому через повільну реакцію ці пристрої не є оптимальним вирішенням цієї проблеми.

Найкращим оптимальним вирішенням проблеми підвищення напруги є використання інтелектуальних фотоелектричних інверторів для інтеграції фотоелектричних пристроїв.

Інтелектуальний фотоелектричний інвертор – це пристрій адаптивної силової електроніки, який використовується для інтерфейсу фотоелектричної системи з розподільчою мережею. Наведені нижче стратегії контролю та регулювання реалізуються за допомогою розумних фотоелектричних інверторів.

Коефіцієнт потужності відіграє важливу роль у стабільності напруги, і це завжди ідеальна умова для розподільчої мережі, щоб працювати на одиничному коефіцієнті потужності, але у випадку надмірної інтеграції сонячної генерації одиничний коефіцієнт потужності не є оптимальною умовою для розподільної мережі [21].

Таким чином, розраховуються нові оптимальні умови для всіх вузлів, а потім шляхом фіксації цих оптимальних коефіцієнтів потужності в інтелектуальному фотоелектричному інверторі профіль напруги покращується [22].

1.4 Висновки до першого розділу

1. Зазвичай більшість дорогих інверторів, таких як SMA, мають вбудовані системи SCADA. Але більшість інверторів нижчого рівня та малих інверторів не пропонують систему SCADA. Тому існує дефіцит недорогих SCADA з відкритим кодом для інверторів.

2. Перетворювачі постійного/змінного струму, які використовуються в системах зберігання енергії, обов'язково потребують контролю та моніторингу. Хоча на ринку доступно багато систем SCADA, їх вартість досить висока.

3. Перевага інверторного керування полягає в тому, що силовий електронний пристрій, якому потрібно дуже мало часу для реакції, має швидку та надійну реакцію на збурення порівняно зі звичайними пристроями. Таким чином, вольт/варіонний метод керування є найкращою технікою для покращення профілю напруги серед усіх інших методів у кожному аспекті.

4. Стандарт IEEE-1547 визначає, що відхилення напруги має бути в діапазоні $\pm 5\%$ у великих системах і $\pm 2,5\%$ для менших систем. Таким чином, щоб зберегти відхилення в підтримуваному діапазоні, додатна або від'ємна реактивна потужність може бути вивільненою або поглинена за допомогою інтелектуальних інверторів, керованих через головний контролер у розподільній мережі.

(вимірювання) напруги, струму, потужності та накопиченої енергії акумуляторної батареї.

В результаті обробки вимірних даних напруги, струму, потужності та накопиченої енергії акумуляторної батареї SCADA система здійснює керування активною та реактивною потужністю інвертора.

В загальному вигляді структурна схема SCADA системи зображена на рисунку 2.2.

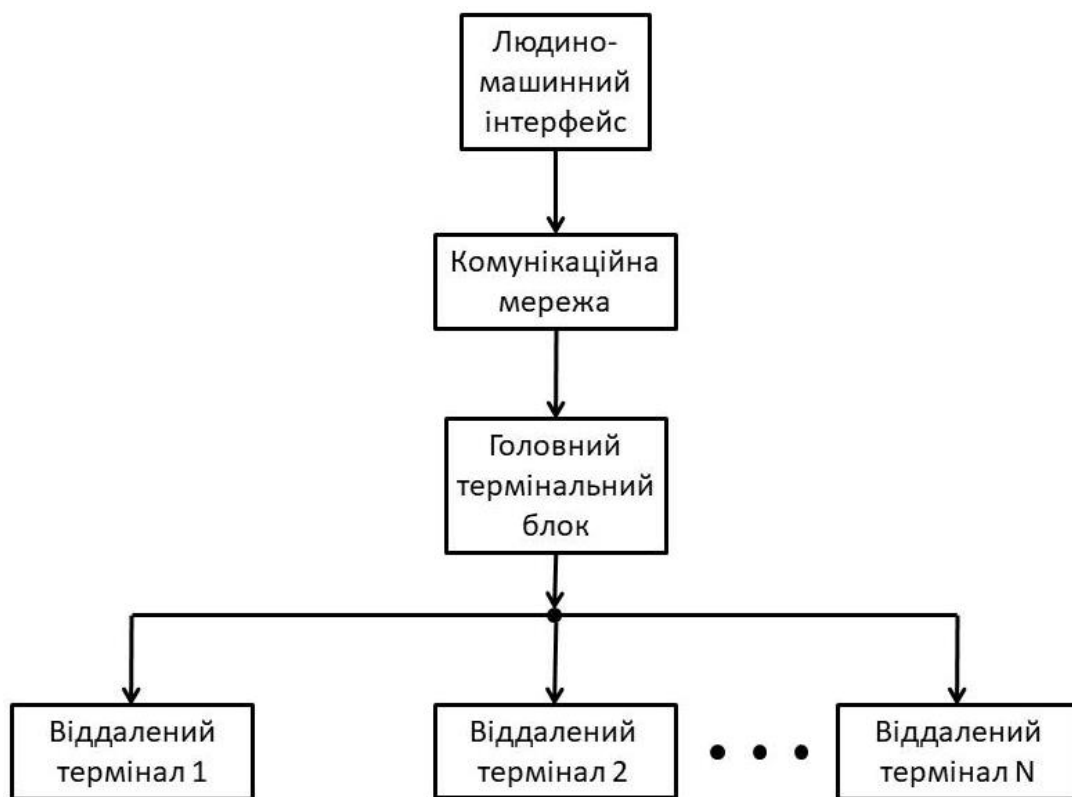


Рисунок 2.2 - Структурна схема SCADA системи

SCADA система складається з трьох основних частин: головного термінального блоку (ГТБ), віддалених терміналів (ВТ) та людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ).

SCADA система містить віддалені термінали 1, 2, ... N, які під'єднані до головного термінального блоку, а взаємодія між ними здійснюється за допомогою людино-машинного інтерфейсу через комунікаційну мережу зв'язку, зазвичай через Інтернет.

Людино-машинний інтерфейс взаємодії оператора із системою SCADA показує поточні значення даних і дозволяє оператору встановлювати керуючі змінні.

Головні функції людино-машинного інтерфейсу.

1. Відображення процесу керування.
2. Керування сигналізацією та подіями.
3. Перегляд попередніх даних.
4. Формування звітів про процес керування.

Під'єднання інвертора до головного термінального блоку може бути виконано за допомогою трьох різних модулів.

1. Модуль ESP12E.
2. Модуль Arduino та Wi-Fi плати розширення.
3. Модуль Raspberry Pi.

Враховуючи всі переваги та недоліки вище зазначених модулів, система на базі модуля ESP12E є найкращим варіантом для користувача, який буде здійснювати збір дані та подавати їх на сервер.

Модуль ESP-12E - це UART-Wi-Fi модуль з дуже привабливою ціною та технологією наднизького енергоспоживання, розроблений спеціально для мобільних пристроїв та додатків інтернету речей.

Фізичний пристрій користувача можна підключити до бездротової мережі Wi-Fi, Інтернету або внутрішньої мережі з мережевими можливостями. Модуль ESP12E можна програмувати за допомогою Arduino IDE. Фотографія модуля ESP12E зображена на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 - Фотографія модуля ESP12E

Модуль ESP12E може безпосередньо працювати як сам сервер або підключатися до Wi-Fi і надсилати дані на віддалений сервер з високою тактовою частотою роботи приблизно 80 МГц (160 МГц максимум). Тактова частотою роботи модуля Arduino Mega складає лише 16 МГц, тому модуль ESP12E має переваги.

Модуль ESP12E має 4 Мб флеш-пам'яті, але цей модуль має також і недоліки. Одним з недоліків є те, що модуль ESP12E має лише один аналоговий вхід.

2.2 Обґрунтування та вибір серверу інтернету речей

Системи SCADA, які базуються на основі інтернету речей, використовують датчики та виконавчі механізмами, а також з'єднання на основі окремої IP-адреси, кожна з яких підключена до хмари.

Найголовніше це те, що цей децентралізований підхід дозволяє датчикам і виконавчим механізмам спілкуватися один з одним і приймати власні рішення, а також забезпечує автономність пристроїв.

Коли справа доходить до ширшої картини, інтернет речей також дозволяє централізовано керувати даними для великих мереж, де централізована обробка даних звичайних систем SCADA є складною.

Системи SCADA, які не здатні спілкуватися між собою, потребують багато людських зусиль для збору даних з одного SCADA та передачі деяких із цих даних в інше місце. Інтернет речей допомагає повністю усунути цю проблему, оскільки всі датчики можуть передавати свої дані в хмару, а хмарна платформа виконує всі обчислення, такі як машинне навчання, обчислення тенденцій тощо.

В якості серверу інтернету речей оберемо Thingspeak платформу, яка дозволяє користувачеві надсилати дані кожні 15 секунд. Користувач зможе миттєво візуалізувати та аналізувати живі дані в хмарі.

Основна перевага Thingspeak серверу інтернету речей полягає в тому, що він дозволяє інтегрувати обліковий запис Mathworks (Matlab) і обліковий запис Thingspeak серверу інтернету речей, щоб користувач міг використовувати такі функції, як платформа машинного навчання від Matlab.

Локально встановлений Thingspeak сервер дозволяє користувачеві зберігати дані з будь-якою частотою. На відміну від сервера thingspeak.com, користувач може оновити дані швидше ніж за 15 секунд.

Хоча деякі функції, доступні на сервері thingspeak.com, недоступні на локальному сервері, цей сервер можна використовувати для моніторингу. Основний недолік локального сервера Thingspeak полягає в тому, що вони не забезпечують метод керування обладнанням за допомогою локального сервера.

Користувачеві необхідно розробити окрему програму для управління пристроями, наприклад для включення/вимикання інвертора.

Локальний Thingspeak сервер, який інсталується в операційній системі Ubuntu 16.04, використано для моніторингу та керування інвертором. Структурна схема розробленої SCADA системи для автоматизованого керування інвертором зображена на рисунку 2.4.

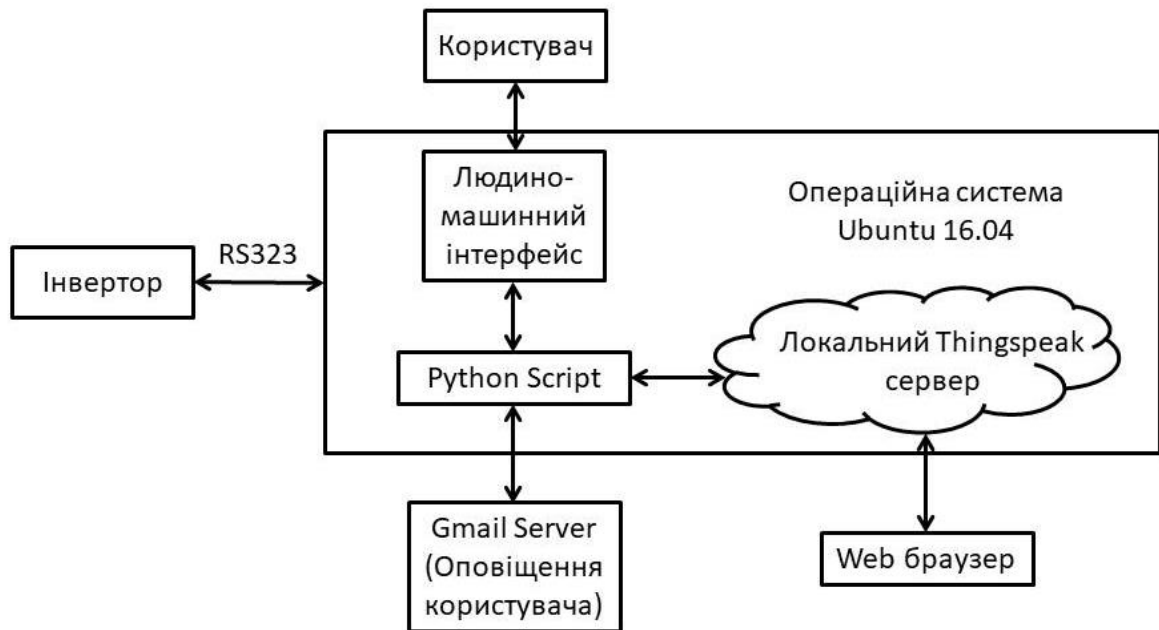


Рисунок 2.4 - Структурна схема розробленої SCADA системи для автоматизованого керування інвертором

Розроблена структурна схема SCADA системи для автоматизованого керування інвертором виконує наступні функції.

1. Зв'язок з інвертором.
2. Реєстрація даних.
3. Надання даних користувачеві
4. Надсилання сповіщення електронною поштою про критичні умови.

Python скрипт, наведений у Додатку А, використовується для отримання даних із послідовного інтерфейсу та запису даних на локальний сервер та оновлення цих значень у графічному інтерфейсі

користувача. Алгоритм роботи в словесній формі складається з наступних кроків:

- 1: Імпорт бібліотек
- 2: $ser \leftarrow serialPort$
- 3: $URL \leftarrow thingspeakURL$
- 4: **procedure** Serial Thread
- 5: Зчитування даних з послідовного порту
- 6: Помістити дані в чергу
- 7: **end procedure**
- 8: **procedure** APP
- 9: **procedure** Initialize GUI
- 10: Визначення міток, кнопок, тощо
- 11: Position elements
- 12: **end procedure**
- 13: **procedure** UPDATE
- 14: **if** Встановлена реактивна потужність **then**
- 15: Зчитати значення з мітки, оновити встановлене значення та записати у послідовний порт
- 16: **end if**
- 17: **if** Встановити активну потужність **then**
- 18: Зчитати значення з мітки, оновити встановлене значення та записати у послідовний порт
- 19: **end if**
- 20: **end procedure**
- 21: **procedure** update email
- 22: Надіслати електронну пошту за допомогою SMTP
- 23: **end procedure**
- 24: **procedure** Process Serial

25: **while** Істина **do**

26: Отримати дані з черги

27: Розділити дані

28: Присвоїти дані змінним

29: Перетворити шістнадцятковий формат даних у десятковий формат

30: Вивести дані в людино-машинний інтерфейс

31: Завантажуйте дані на локальний сервер кожну секунду

32: **if** значення напруги або струму перевищують обмеження
then

33: Надіслати сповіщення електронною поштою та вивести дані в людино-машинний інтерфейс

34: **end if**

35: Читання керуючих змінних із сервера

36: Записати команду керування у послідовний порт

37: Завантажувати дані на сервер кожні 5 секунд, 1 хвилину, 30 хвилин і 1 годину

38: **end while**

39: **end procedure**

40: **end procedure**

В алгоритмі використовуються наступні бібліотеки.

1. **Serial** - бібліотека використовується для послідовного зв'язку між інвертором і серверним комп'ютером.

2. **Requests** - бібліотека використовувалася для зв'язку з локальним сервером Thingspeak.

3. **Threading** - надає гнучкість у роботі з графічним інтерфейсом користувача.

4. **Tkinter** - використовується для створення людино-машинного інтерфейсу.

5. **Smtplib** - використовується для автоматичної системи оповіщення електронною поштою.

2.3 Розробка людино-машинного інтерфейсу

Людино-машинний інтерфейс має три основні сектори.

1. Моніторинг.
2. Контроль.
3. Оповіщення.

Під час моніторингу людино-машинний інтерфейс показує значення, надіслані інвертором. Напруга, поточна потужність і стан надсилаються інвертором. Коефіцієнт потужності та загальна енергія також відображаються в графічному інтерфейсі.

В процесі контролю людино-машинний інтерфейс дозволяє користувачеві встановити реальну та реактивну потужність. А також дозволяє користувачеві збільшити значення потужності на 0,5.

У сповіщеннях, якщо значення напруги та струму перевищують певне значення, то ці значення відображаються як високі. Якщо значення напруги та струму знаходяться в межах діапазону, то ці значення відображаються як нормальні.

Сповіщення потрібно очищати вручну. У нижній частині графічного інтерфейсу користувача відображається версія інвертора та поточний час.

Thingspeak сервер - це хмарна платформа інтернету речей, яка дозволяє користувачам безкоштовно надсилати дані кожні 15 секунд. Користувач зможе миттєво візуалізувати та аналізувати живі дані в

частотою 1 Гц. Крім того, людино-машинний інтерфейс показує миттєві дані, поки користувач використовує веб-сервер для перегляду даних за 1 с, 5 с, 1 хв, 5 хв, 30 хв і 1 год.

Людино-машинний інтерфейс моніторить такі параметри.

Напруга - напруга відображається у вольтах. Максимального значення немає.

Струм - струм відображається в амперах, і для цього також немає максимального значення.

Потужність - значення потужності відображаються в Вт.

Усі три значення беруться з рядка даних, що надходить від інвертора, а наступні значення обчислюються на основі отриманих значень.

Коефіцієнт потужності - розраховується за допомогою основних рівняння 2.1 і 2.2.

$$PF = \frac{P_{активна}}{P_{загальна}}. \quad (2.1)$$

З міркувань безпеки доступ керування надається лише через комп'ютер-сервер. Особа, яка може увійти на комп'ютер-сервер, використовуючи авторизоване ім'я користувача та пароль, зможе лише оновлювати керуючі параметри.

Уповноважена особа зможе встановлювати значення активної потужності та реактивної потужності, і ця особа також зможе збільшити або зменшити встановлене значення на 0,5 для безперебійної роботи.

Користувач може завантажувати дані з інтервалами в 1 секунду, 5 секунд, 1 хвилину, 30 хвилин і 1 годину, тоді як доцільно завантажувати звіти з меншою частотою даних, наприклад за 1 годину і 30 хвилин, через великі розміри файли.

Коли справа доходить до тривоги, основна програма відстежує значення даних і, якщо поточні значення вищі за конкретне значення, вона надсилає сповіщення електронною поштою користувачеві, згадуючи, що поточне значення високе.

Така ж логіка застосовується і до напруги. Дані за одну годину зберігаються у відкритому доступі, щоб кожен у локальній мережі міг переглядати дані за одну годину. Однак лише авторизована особа зможе побачити інші рівні даних.

2.4 Висновки до другого розділу

1. Керування є важливою функцією, яка має бути вбудована в систему SCADA. В процесі розробки автоматизованої системи оптимального керування інвертором, який під'єднаний до накопичувача енергії, потрібно максимізувати прибуток системи генерації електричної енергії.

2. SCADA система автоматизованої системи керування інвертором здійснює моніторинг (вимірювання) напруги, струму, потужності та накопиченої енергії акумуляторної батареї. В результаті обробки вимірних даних напруги, струму, потужності та накопиченої енергії акумуляторної батареї SCADA система здійснює керування активною та реактивною потужністю інвертора.

3. Людино-машинний інтерфейс взаємодії оператора із SCADA системою автоматизованої системи керування інвертором показує поточні значення даних і дозволяє оператору встановлювати керуючі змінні.

4. Людино-машинний інтерфейс дозволяє користувачеві встановити та регулювати реальну та реактивну потужність інвертора.

3 РОЗРОБКА СТРАТЕГІЇ КЕРУВАННЯ SCADA СИСТЕМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ІНВЕРТОРОМ

3.1 Розробка алгоритму автоматизованого керування інвертором

Основною метою стратегії керування SCADA системи для автоматизованого керування інвертором є максимізації прибутку від накопичувача енергії батареї, підключеного до сонячних панелей, і впровадження алгоритму керування на Thingspeak сервері з підтримкою хмари для автоматизації диспетчеризації накопичувача енергії батареї.

Алгоритм базується на основі лінійного програмування для максимізації доходу. Новий підхід на основі інтерфейсу прикладного програмування Accuweather сайту використовується для впровадження алгоритму в програму на основі Python і завантаження даних на локальний Thingspeak сервер, щоб інвертор міг отримувати дані для керування, а також для передачі в диспетчерський центр.

Прогностична сонячна електростанція є новою темою зі збільшенням кількості сонячних електростанцій та мережі. Можна покращити якість електроенергії, що експортується сонячною електростанцією, інтегрувавши систему зберігання енергії. Системи накопичення енергії стають все більш популярними в результаті зниження вартості та вдосконалення технологій.

Завдяки масовому виробництву та розвитку технологій батарейних елементів акумуляторна система накопичення електричної енергії (АСНЕС) стає перспективною технологією з рядом переваг перед

іншими методами зберігання. Якщо АСННН встановлено на сонячній електростанції, заряджати АСННН, коли сонячна електростанція не виробляють енергію, буде дорого. Дослідження показує, що коли сонячної енергії не вистачає, вигідніше використовувати накопичену в АСННН енергію для допоміжних енергетичних потреб. Таким чином, залежно від наявності сонця в найближчі кілька годин необхідно визначити стан заряду (СЗ) АСННН.

Таким чином, оптимальне планування роботи системи накопичення енергії є найважливішим з економічної точки зору, оскільки більшість накопичувачів енергії, таких як системи накопичення енергії в акумуляторах, мають певну кількість циклів. Щоб отримати від цього максимальний прибуток, зберігання енергії потрібно оптимально контролювати під час використання кожного циклу, щоб максимізувати прибуток.

Метою розробленого алгоритму є досягнення мінімальної вартості генерації та отримання максимального прибутку. Щоб максимізувати прибуток, цільову функцію можна змодельовати наступним чином.

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

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

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

Потужність у загальній точці з'єднання (ЗТЗ) P_t визначається виразом (3.2). Потужність, яка споживається для допоміжної діяльності, називається потужністю навантаження P_{Loads} .

P_{st} - вироблена сонячна енергія за час "t".

P_{dis} - потужність розряду АСННН у момент часу «t».

P_{ch} - зарядна потужність АСННН в момент часу «t».

P_{Loads} - потужність навантаження на систему в момент часу «t».

P_{Et} - Корисна потужність, що надходить до АСННН у момент часу «t».

$$P_t = P_{sol} + P_{dis} - P_{ch} - P_{loads}. \quad (3.2)$$

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

Нижня та верхня межі доданих обмежень накопичення енергії для потужності P_t визначаються відповідно до визначеної потужності для центру керування та обмежень компонентів.

L_{Vp} - нижня межа потужності P_t .

U_{Vp} - верхня межа потужності P_t .

L_{VEP} - нижня межа потужності P_{Et}

U_{VEP} - верхня межа потужності P_{Et}

P_{cutoff} - величина відключення потужності

P_{rated} - номінальна потужність для сонячної електростанції.

$$L_{Bp} \leq P_t \leq U_{Bp}. \quad (3.4)$$

$$L_{BEP} \leq P_{Et} \leq U_{BEP} \quad (3.5)$$

$$0 \leq P_{ch} \leq U_{BEP} \quad (3.6)$$

$$0 \leq P_{dis} \leq -L_{BEP} \quad (3.7)$$

Для кожної години енергію накопичувача енергії E_t можна розрахувати за допомогою виразу (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";

L_{BE} - нижня межа енергії;

U_{PE} - верхня межа для енергії;

η_{ES} - ефективність циклу для BESS;

η_e - ефективність саморозряду.

Верхня та нижня межі E_t визначаються відповідно до меж запасу енергії, де нижня межа E_t визначається виділеною енергією в мережу, а верхня обмежена максимальною енергетичною потужністю системи.

$$L_{BE} \leq E_t \leq U_{BE}. \quad (3.9)$$

Дані про сонячне випромінювання отримуємо із прогнозованих даних про сонячне випромінювання на наступний тиждень. Для прогнозування потужності, яка генерується сонячною електростанцією, використовуємо модель сонячної електростанції.

Прогноз сонячної фотоелектричної енергії залежить від кількох факторів, таких як сонячне опромінення, відбивна здатність, оцінка температури фотоелектричної комірки та ефективність інвертора. Максимальна вихідна потужність сонячної електростанції визначається виразом (3.10).

$$P_{sol} = \mu SI [1 - 0,05(t_0 - 25)], \quad (3.10)$$

де μ – ефективність перетворення (%) масиву сонячних елементів;

S – площа масиву сонячних елементів (m^2);

I – інтенсивність сонячного випромінювання ($Вт/m^2$);

t_0 – температура зовнішнього повітря ($^{\circ}C$).

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

В процесі розробки методу керування була використана бібліотека SCIPY (scipy.optimize.linprog()).

$$\text{Objective – function} = C^T X \quad (3.12)$$

$$A_e X = B_e \quad (3.13)$$

$$A_{in} X = B_{in} \quad (3.14)$$

$$\text{linprog}(-c, A_{ub}=A_{in}, b_{ub}=B_{in}, A_{eq}=A_e, b_{eq}=B_e) \quad (3.15)$$

Цільову функцію задано рівнянням (3.12), обмеження рівності задано рівнянням (3.11), а обмеження нерівності задано рівнянням (3.13), де всі змінні обмежені парами мінімуму та максимуму. Параметри функції `linprog()` задаються у відповідності до виразу (3.15).

Наступні матриці використовуються як вхідні дані для рівняння (3.15) та величин P_t , P_{ch} , P_{dis} , E_t . Матриця A_{in} складається з використанням виразу (3.2) – це матриця нерівностей, а A_e – матриця рівності. Дані про інтенсивність сонячного випромінювання, отримані із ACCWEATHER веб-сайту, використовуються у B_{in} .

$$A_{in} = \begin{pmatrix} 1 & \dots & 1 & \dots & -1 & \dots & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & 1 & \dots & 1 & \dots & -1 & \dots & 0 \end{pmatrix}. \quad (3.16)$$

$$B_{in} = \begin{pmatrix} P_{solarpower} \\ \dots \\ 0 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (3.17)$$

$$A_e = \begin{pmatrix} 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & \dots \\ 0 & \dots & -1 & 0 & \dots & \eta_{ES} & 0 & \dots & -\eta_e & 1 & \dots \\ 0 & \dots & 0 & -1 & \dots & 0 & \eta_{ES} & \dots & 0 & -\eta_e & 1 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (3.18)$$

$$B_e = \begin{pmatrix} 1000 \\ 0 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (3.19)$$

Цей алгоритм розроблено для оптимального керування накопиченням енергії з урахуванням усіх змінних, що впливають на прибуток. Цільова функція проілюстрована в рівнянні (3.1), а межі для всіх змінних також визначені в рівняннях (3.4) і (3.9).

Крок 1.

На початку кожного дня (о 00:00) отримуємо прогноз погоди від Accuweather за допомогою ключа API на наступні 72 години.

Користувачам потрібен платний обліковий запис для отримання даних, але є можливість використовувати шестимісячну пробну версію (ця пробна версія дозволяє користувачеві отримувати дані лише протягом 12 годин).

Бібліотека запитів була використана для отримання даних і вилучення даних про швидкість вітру за допомогою бібліотеки JSON.

Крок 2.

Використовуйте рівняння (3.10) і (3.11) для розрахунку генерованої потужності. Матриця B генерується з використанням даних сонячної енергії та зберігається в `matrixb.csv`. Дані про енергію сонця та інтенсивність сонячного випромінювання завантажуються на сервер для подальшого використання.

Крок 3. Використовують дані про ціни на електроенергію, щоб створити матрицю A та зберігають її у файл `objectfunction.csv`.

Крок 4: Використовують рівняння (3.16), щоб знайти оптимальний графік роботи BESS протягом наступних 72 годин.

Крок 5: якщо користувач подає комунальному підприємству розклад на день вперед, користувач може надіслати згенерований розклад. Нижні та верхні межі системи автоматично оновлюватимуться протягом наступних 24 годин відповідно до розкладу.

Крок 6: Кожної години основний алгоритм ОТРИМУЄ дані робочого розкладу за допомогою бібліотеки запитів із сервера `thingspeak` і на основі підготовленого робочого розкладу керуюча послідовність надсилається до інвертора.

3.2 Розробка системи захисту від ненавмисного відключення мережі

Ненавмисне відключення мережі – це явище, яке виникає, коли комунальна мережа вимикається через електричні несправності, отже розподільна генерація продовжує свою роботу, забезпечуючи підключене місцеве навантаження.

Генератори відновлюваної енергії під'єднуються до мережі в точці загального з'єднання через інвертори, які передають енергію в основну мережу у відповідності до рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Під'єднання генератори відновлюваної енергії до мережі

Генератори відновлюваної енергії мають власні системи управління, захисту, контролю та моніторингу. Оскільки потужність, що виробляється генераторами відновлюваної енергії, постійно коливається, потік електроенергії між мережею, генераторами відновлюваної енергії і

навантаженням постійно змінюється, навіть якщо місцеве навантаження постійне.

Тому, коли мережа вимикається, інвертор також повинен вимкнутися, щоб уникнути цієї ризикованої ситуації для стабільності параметрів системи.

Взаємозв'язок між генераторами відновлюваної енергії та комунальною мережею стає найбільш критичним, коли невідповідність потоку електроенергії стає великою.

За таких умов, коли мережа вимикається через будь-яку несправність або причину експлуатації, вироблена електроенергія від генераторами відновлюваної енергії не може відповідати вимогам до навантаження, це спричинить аномальні ситуації по напрузі та частоті в точці загального з'єднання, які не повинні тривати більше 2 секунд, відповідно до стандартів IEEE 1547.

Профіль напруги та частота напруги електричної мережі залежать головним чином від поведінки потоку активної та реактивної потужності між блоками енергосистеми, традиційними генеруючими станціями, генераторами відновлюваної енергії та навантаженнями, тому будь-яка зміна потоку електроенергії супроводжується відповідною зміною напруги та частоти системи.

Враховуючи, що потік потужності в точці загального з'єднання, є найефективнішим фактором стабільності системи, тому за допомогою прямого моніторингу напруги та частоти можна помітити ненавмисне відключення мережі.

У випадку великих значень ΔP і ΔQ легко виявити ненавмисне відключення мережі, що спричиняє значні зміни у V і f . З іншого боку, у випадку малих ΔP і ΔQ зміна V і f невелика і все ще знаходиться в межах нормальних допустимих коливань системи.

Ця сіра область вікна напруги та частоти називається зоною невиявлення (ЗВ), тому ненавмисне відключення мережі не може бути легко та точно виявлено або підтверджено за допомогою методів пасивного виявлення.

Процедура моделі P-Q призводить до найцікавіших рівнянь, наведених нижче, які обмежують вікно V і f у кадрі P-Q

$$P_{load} = P_{sol} + \Delta P, \quad (3.19)$$

$$Q_{load} = Q_{sol} + \Delta Q, \quad (3.20)$$

$$Q_f \left(1 - \left(\frac{f}{f_{max}} \right)^2 \right) \leq \frac{\Delta Q}{P_{sol}} \ll Q_f \left(1 - \left(\frac{f}{f_{min}} \right)^2 \right), \quad (3.21)$$

$$\left(\left(\frac{V}{V_{max}} \right)^2 - 1 \right) \leq \frac{\Delta P}{P_{sol}} \ll \left(\left(\frac{V}{V_{max}} \right)^2 - 1 \right), \quad (3.22)$$

де Q_f – коефіцієнт якості;

P_{sol} та Q_{sol} – активна та реактивна потужність інвертора відповідно;

V_{max} і V_{min} – порогові значення напруги для зони невиявлення;

f_{max} і f_{min} – порогові значення частоти для зони невиявлення, як показано на рисунку 3.2.

Пасивні та активні методи визначення зони невиявлення намагаються перевірити та використувувати системні параметри в точці загального з'єднання, такі як напруга, частота та потік потужності.

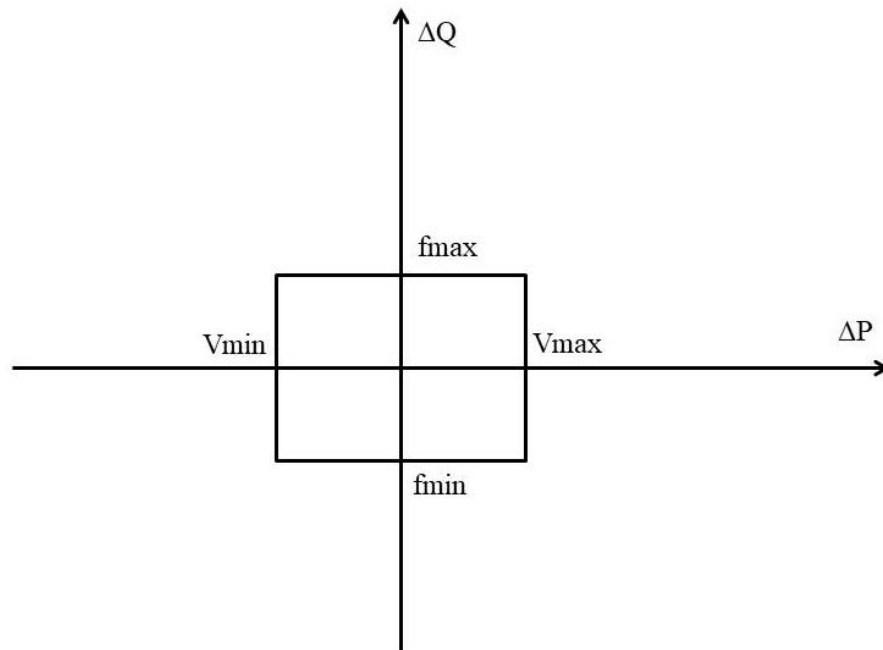


Рисунок 3.2 - Порогові значення напруги та частоти для зони невиявлення

Пасивні методи визначення зони невиявлення вимірюють варіації, коли будь-яка подія відбувається раптово, і приймають рішення залежно від порогових обмежень протягом місця події та періоду часу.

На жаль, зона невиявлення досить велика через проблему низького потоку потужності, яка може статися, коли потужність навантаження дуже близька до потужності, генерованої інвертором.

У цьому випадку відключення мережі не впливає на параметри в точці загального з'єднання достатньо для виявлення будь-якої події. На відміну від пасивних методів, активні методи визначення зони невиявлення покращують час відгуку.

З іншого боку, вони знижують якість електроенергії системи, оскільки ці методи засновані на введенні зовнішнього сигналу в електромережу. Таким чином, пасивні методи все ще мають перевагу, оскільки вони не впливають на якість електроенергії та параметри системи в точці загального з'єднання.

3.3 Мультиагентна система для енергетичного Інтернету

Компоненти енергетичного Інтернету складаються переважно з відновлюваних джерел енергії та систем накопичення електричної енергії. Енергетичний Інтернет має можливість працювати в режимі підключення до мережі або в автономному режимі. Високе проникнення відновлюваних джерел енергії неминуче змінить шлях потоків електроенергії, перехід від пасивної генерації до активної.

Критичними завданнями проектування та контролю енергетичного Інтернету в цьому режимі є.

1. Підтримка гнучкого та пропорційного розподілу електроенергії між відновлюваними джерелами енергії.
2. Підтримання постійної синхронізації системи з комунальним підприємством за наявності коливань навантаження.

3. Мінімізація циркулюючих струмів між відновлюваними джерелами енергії.

4. Досягнення плавних переходів енергії між енергетичним Інтернетом та комунальним підприємством, якщо це необхідно.

Традиційна енергетична система використовує систему диспетчерського керування та збору даних (SCADA) для обміну сигналами стану та керування компонентами.

Ця централізована система SCADA була спочатку розроблена для традиційних пасивних мереж, тому він може бути неадекватним для прийняття складних керуючих рішень, оскільки йому бракує гнучкості та можливості розширення.

Позначення структури контролера, що використовується в енергетичному Інтернеті, базується на структурі «багатоагентної системи» (БАС), де окремий агент керує кожним компонентом.

БАС допомагає контролювати нову складну енергосистему. У БАС один централізований контроль розділений на простіші одиничні об'єкти, які працюють у співпраці, виконуючи призначені завдання для досягнення загальної мети системи.

Це система, заснована на перевагах властивостей агентів: гнучкості, масштабованості, автономності, соціальності, реактивності, проактивності та зниженої складності. Під керуванням схеми БАС енергосистема виконує керування на стороні попиту для забезпечення критичних навантажень, відкидаючи навантаження з низьким пріоритетом у важких випадках.

Різноманітні блоки відновлюваних джерел енергії та інші компоненти мережі обмінюються даними з приватним об'єктом через модель локального керування на основі IP (Інтернет-протокол).

Існує три різні агенти, розроблені для розподіленого координованого контролера, включаючи стратегії координованого керування верхнього рівня, агента мережі (АМ) і агентів відновлюваних джерел енергії (АВДЕ).

АВДЕ включає первинний АВДЕ (ПАВДЕ), вторинний (ВАВДЕ) і агенти зберігання енергії (АЗЕ), які реалізують локальне децентралізоване безперервне керування.

АМ виконує свої функції відповідно до інформації, наданої всіма агентами, і завдання реалізуються шляхом надсилання команд логічного керування агентам керування блоком через режим зв'язку головний/підлеглий.

АМ також називається енергетичним маршрутизатором і використовується для регулювання потоку електроенергії між енергетичним Інтернетом і комунальним підприємством. АЗЕ та ВАВДЕ разом називаються комутатором енергії, який використовується для регулювання потоку електроенергії в мережі енергетичного Інтернету.

Крім того, щоб покращити управління енергетичним Інтернетом, слід також розглянути агенти навантаження (АН). Енергетичним Інтернетом працює в двох режимах:

1. Режим підключення до електромережі, в якому жорстка електромережа компенсує дисбаланс потужності в енергетичному Інтернеті.

2. Ізольований режим, у якому один із джерел енергії має бути обраний головним керуючим джерелом енергії.

Розширений контроль падіння напруги розподіляється для реалізації пропорційного розподілу керування між генеральними директоратами в енергетичному Інтернеті в якості основного засобу керування.

Потім додається вторинне керування за допомогою централізованого або розподіленого методу для відновлення напруги та частоти до номінальних значень.

Централізоване керування, яке потребує належних систем зв'язку для реалізації цілей управління, іноді представляє єдину точкову помилку. У такому сценарії МАС діє як свого роду розподілена керуюча структура для прийняття керуючих рішень для кожного розподіленого генератора енергії відповідно до інформації про сусідів, демонструючи свою гнучкість для швидшої та ефективної обчислень.

Структура агента показана на рисунку 3.3.

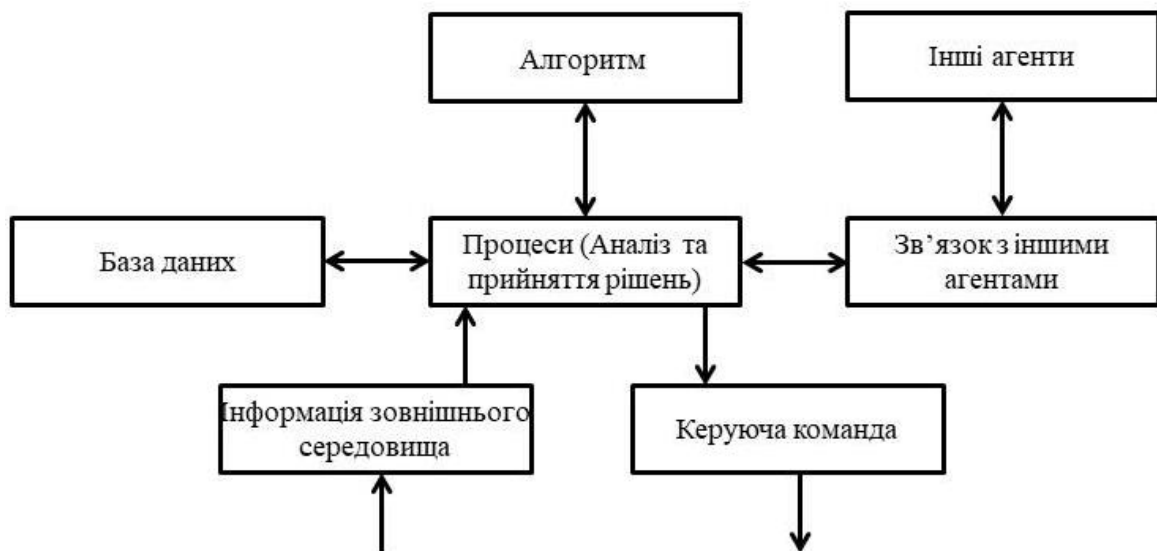


Рисунок 3.3 - Структура агента

Відповідно до інформації, яка є зовнішньою по відношенню до агента, керування агентом створює базу даних, обробляє ці дані, а потім виводить керуючий сигнал своїм компонентам щодо відповіді інших агентів.

Гібридна схема керування на основі МАС, яка запускається подіями, енергетичний Інтернет всебічно використовує відновлювані джерела енергії при зустрічі з попитом на навантаження з високим рівнем безпеки.

МАС можна використовувати для реалізації ієрархічного гібридного керування скоординованим способом на основі чотирьох типів стратегій керування, таких як ієрархічне розвантаження навантаження та ієрархічне керування перемиканням відновлюваними джерелами енергії, розроблених як функції, що запускаються подіями (ФЗП), або локальне керування перемиканням і розподілене динамічне керування, розроблене як функції порушення обмежень (ФПО), які

повністю залежать від логічного зв'язку ресурс-мережа-навантаження-накопичення енергії.

Блок розподіленої генерації може безперервно працювати в режимі підключення до мережі (за допомогою поточного контролю), відокремленого режиму під час перехідного режиму до відокремленого режиму (за допомогою накопичення енергії) та відокремленого режиму експлуатації (за допомогою контролю падіння напруги). Автономна робота після відокремленої роботи є дуже важливою в майбутніх мережах розподіленої генерації.

Інтерфейс керування розподіленою генерацією з характеристиками «вмикай і працюй» потрібно бути інтегрувати в системи розподілу.

В результаті вся енергосистема може надійно реагувати на будь-яку несправність, що виникає всередині, розділяючись на кілька ізольованих об'єктів, не припиняючи роботу розподіленої генерації.

Силове електронне обладнання реагує дуже швидко, що дозволяє подолати серйозні перехідні процеси. Таким чином, окрім взаємодії з комунальними мережами, інтерфейс керування розподіленою генерацією має потенціал для пом'якшення проблем з якістю електроенергії (таке пом'якшення включає активну фільтрацію, компенсацію дисбалансу напруги, підтримку мережі та наскрізне керування за умов провалів напруги, серед інших функцій) та виконання інших обов'язків, наприклад виявлення та запобігання потенційним тенденціям.

Останні підходи зосереджені на відокремлених об'єктах із кількома відокремленими системами генерації та безперервному повторному

підключенні цих систем генерації для безперервної подачі електроенергії високої якості.

Тоді енергосистема, що працює з джерелами розподіленої генерації електроенергії, розглядається як конвергенція електричної, інформаційної та технологічної системи. Розглянемо три режими роботи мережі розподіленої генерації електроенергії.

1. Режим підключення до мережі.

Значною мірою динаміка системи в режимі підключення до мережі фіксується комунальним підприємством через малий розмір блоків розподіленої генерації електроенергії. Мікромережі мають на меті задовольнити попит місцевих споживачів. Надлишок або дефіцит активної та реактивної потужності в мікромережі може бути поглинений або поглинутий енергосистемою.

2. Автономний/ізолюваний режим роботи.

Сценарії відключення включають навмисне (наприклад, технічне обслуговування або виявлення постійної несправності) та ненавмисне відключення (наприклад, знеструмлення через відключення від мережі).

У цьому режимі динаміка системи відображається власними джерелами розподіленої генерації електроенергії. Необхідно дотримуватися балансу потужності в межах ізолюваного об'єкта між генерацією та попитом, щоб підтримувати частоту й напругу системи в прийнятних межах і забезпечити стабільність.

Компенсація реактивної потужності та струм розподіляються в межах ізолюваного об'єкта шляхом застосування контролю падіння напруги в системі. Метод віртуального імпедансу як передовий метод

додатково використовується для зменшення помилок керування активною потужністю, покращення швидкого динамічного керування під час перехідного процесу та мінімізації циркуляції потужності між контролерами.

3. Перехідний режим - в ізольований режим та назад у режим підключення до мережі.

Баланс потужності має забезпечуватися системами накопичення енергії, такими як батареї, суперконденсатори або маховики. Інтелектуальний перемикач безперервно контролює підключення до мережі, а також автономний режим.

Коли інтелектуальний перемикач виявляє, що потрібне технічне обслуговування або виникає несправність на стороні комунального підприємства, відключений об'єкт необхідно від'єднати, а потім активувати процес відновлення для забезпечення високої надійності.

Інтелектуальний перемикач може визначити безвідмовну стабільність основної мережі та синхронізувати амплітуду, фазу та частоту напруги, які використовуються для процедури повторного підключення. У випадку, якщо автономний режим змушений працювати протягом тривалого часу, реалізується синхронізація напруги, частоти та фази між автономними об'єктами та утилітою для плавного повторного підключення після приблизного повторного вмикання нульової точки плавної та м'якої синхронізації.

Інтеграція блоків відновлюваної енергії в системи розподілу викликає підвищення напруги на обох вузлах інтеграції та деяких сусідніх вузлах. Ця ситуація з перевищенням напруги порушує стандарт IEEE щодо інтеграції відновлюваних джерел, і її необхідно вирішити.

Регулювання реактивної потужності розподільних пристроїв з інверторним інтерфейсом є дуже ефективним засобом вирішення зазначеної проблеми.

Запропонована схема оптимального регулювання реактивної потужності фотоелектричних установок відповідно до сценарію в реальному часі профілю напруги фідера доведена як надійна схема регулювання напруги.

Запропонована схема ефективно усуває проблеми підвищення напруги через введення потужності у випадкових вузлах. Завдяки моделюванню ми показали, що запропонована нами техніка оптимізації вольт/VAR за допомогою диференціальної еволюції може покращити профіль напруги та зробити мережу живлення більш стабільною.

Ефективність запропонованого підходу Volt/VAR розраховується для профілю напруги з точки зору того, наскільки вузлова напруга ближча до ідеальної напруги.

Результати доводять, що коригування реактивної потужності повернуло стандартні робочі напруги всіх вузлів системи та усунуло перешкоди напруги, спричинені потужністю введення блоків розподіленої генерації.

Усі розподілені блоки поступово переналаштовані до таких робочих точок, що їх інжекції потужності більше не створюють перенапруги в жодному вузлі, таким чином забезпечуючи стабільну інтегровану роботу з мережею. Отже, результати моделювання підтверджують ефективність запропонованої схеми регулювання вольт/вар.

Блоки розподіленої генерації моделюються шляхом застосування бета-розподілу за даними реального часу за кілька років. Для більш реалістичного моделювання враховуються сезонні коливання сонячного випромінювання та температури навколишнього середовища.

Увесь рік ділиться на чотири сезони, кожен з яких триває три місяці, тобто весняний сезон триває з березня по травень, літній сезон охоплює період з червня по серпень, осінній сезон становить вересень-листопад, а період з грудня по лютий відповідає зимовому сезону.

Тому дані в режимі реального часу сонячного опромінення та температури навколишнього середовища за сімнадцять років стохастично моделюються за допомогою бета-розподілу для отримання сезонних кривих диспетчеризації.

Підвищення напруги через надмірну фотоелектричну інжекцію викликає серйозне занепокоєння для споживача. Оскільки це може завдати серйозної шкоди приладам споживача, а також електромережі. З іншого боку, підвищення напруги в безпечному діапазоні є основним обмеженням для інтеграції фотоелектричної системи в розподільчу мережу. Вирішивши проблему підвищення напруги, можна збільшити можливості інтеграції фотоелектричних пристроїв у розподільчу мережу.

Розподілені генератори встановлюються на кінці розподілу незбалансовано. Оскільки концепція інтеграції розподіленої генерації доступна у вторинній розподільній мережі, і коли фотомодулі встановлені на різних фазах, виникає ситуація незбалансованої напруги. Порушення профілю напруги також є причиною встановлення надмірної

кількості фотоелектричних батарей на кількох фазах розподільної мережі.

Щоб задовольнити попит на електроенергію сучасної епохи, сонячна енергія є найбільш підходящим джерелом відновлюваної енергії з точки зору простоти встановлення, екологічності та дуже низьких експлуатаційних витрат.

Сонячну енергію можна отримувати з фотоелектричних пристроїв, включаючи інтеграцію в будівлі, наземний монтаж і інтеграцію на даху. Незважаючи на всі переваги, надмірне проникнення фотоелектричної енергії в розподільчу мережу має серйозний вплив на якість електроенергії, що призводить до порушення стандартів експлуатації енергосистем.

Інтелектуальний фотоелектричний інвертор – це пристрій адаптивної силової електроніки, який використовується для інтерфейсу фотоелектричної системи з розподільчою мережею. Наведені вище стратегії контролю та регулювання реалізуються за допомогою розумних фотоелектричних інверторів.

Коефіцієнт потужності відіграє важливу роль у стабільності напруги, і це завжди ідеальна умова для розподільчої мережі, щоб вона працювала на одиничному коефіцієнті потужності, але у випадку надмірної інтеграції PV одиничний коефіцієнт потужності не є оптимальною умовою для розподільної мережі.

Таким чином, розраховуються нові оптимальні умови для всіх вузлів, а потім шляхом фіксації цих оптимальних коефіцієнтів потужності в інтелектуальному PV інверторі профіль напруги покращується.

Місцеве керування враховує лише параметр точки з'єднання ДГ з мережею. Жодні віддалені дані не приймаються, і довготривалий зв'язок не задіяний. Раніше було запропоновано численні локальні схеми керування. Серед усіх локальних методів контролю Volt/Var, метод контролю спаду є найбільш використовуваним і найбільш оптимальним.

Метод Volt/Var, який базується на необмежених ресурсах Vars, тоді як у реальних сценаріях неможливо отримати необмежену Vars від інвертора.

Підхід, заснований на компенсації імпедансу лінії, який точно схожий на методи компенсації спаду лінії. Усі зазначені методи мають деякі серйозні недоліки, наприклад, вони не є адаптивними та не можуть забезпечити хороші результати зі змінним характером генерації PV, і ці методи керування працюють на основі припущень про потік потужності постійного струму, тому вони не можуть працювати в практичному/змінному/нелінійному потоці потужності.

Це відносно проста та надійна техніка контролю Volt/Var. Вона працює на кусково-лінійній цільовій функції, включаючи коригування VAR відповідно до рівнів напруги. Цей метод керування широко досліджувався багатьма дослідниками в недавньому минулому з деякими варіаціями критеріїв вибору параметрів.

Єдиним обмеженням є те, що метою оптимізації профілю напруги всієї мережі є те, що процес прийняття рішень базується виключно на нарузі в точці з'єднання. Метод базується на контролі падіння інверторів для оптимального вибору вихідного рівня VAR розподіленої генерації, щоб його робота не викликала значних відхилень напруги в розподільній мережі.

Оптимізовані VAR отримують за допомогою деяких методів, які можуть зменшити відхилення напруги та підтримувати всю напругу ближче до еталонного. Для вирішення таких проблем із кількома обмеженнями використовуються численні методи оптимізації.

3.4 Висновки до третього розділу

1. Основною метою стратегії керування SCADA системи для автоматизованого керування інвертором є максимізації прибутку від накопичувача енергії батареї, підключеного до сонячних панелей, і впровадження алгоритму керування на Thingspeak сервері з підтримкою хмари для автоматизації диспетчеризації накопичувача енергії батареї.

2. Генератори відновлюваної енергії мають власні системи управління, захисту, контролю та моніторингу. Оскільки потужність, що виробляється генераторами відновлюваної енергії, постійно коливається, потік електроенергії між мережею, генераторами відновлюваної енергії і навантаженням постійно змінюється, навіть якщо місцеве навантаження постійне.

ВИСНОВКИ

В процесі розробки SCADA системи для автоматизованого керування інвертором розроблена структурна схема автоматизованої системи керування інвертором та алгоритм керування цією системою.

В першому розділі були розглянуті наступні питання: будова і принцип роботи SCADA систем для автоматизованого керування інвертором, а також алгоритми керування інверторами.

У другому розділі розроблено структурну схему автоматизованої системи керування інвертором, обґрунтовано та вибрано сервер інтернету речей та розроблено людино-машинний інтерфейс.

У третьому розділі розроблено стратегію керування SCADA системою для автоматизованого керування інвертором, розроблено алгоритм автоматизованого керування інвертором, розроблено систему захисту від ненавмисного відключення мережі та мультиагентну систему для енергетичного Інтернету.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

- 1 E. Chemali, M. Preindl, P. Malysz and A. Emadi, "Electrochemical and Electrostatic Energy Storage and Management Systems for Electric Drive Vehicles: State-of-the-Art Review and Future Trends," in IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 4, no. 3, pp. 1117-1134, Sept. 2016.
- 2 <https://www.ryerson.ca/nestnet/themes/>
- 3 Ujvarosi, Alexandru. "EVOLUTION OF SCADA SYSTEMS." Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Engineering Sciences. Series I 9.1, 2016, p.63.
- 4 <https://www.gogreensolar.com/products/sma-sb-10000tlus-10-sunny-boy-gridtie-inverter-10000w-with-dc-disconnect>
- 5 [https://www.alibaba.com/product-detail/SAJ-10kw-3-phase-380V-on-0643486889.html?](https://www.alibaba.com/product-detail/SAJ-10kw-3-phase-380V-on-0643486889.html)
- 6 A. M. Grilo, J. Chen, M. DÃąaz, D. Garrido and A. Casaca., 2014. "An Integrated WSN and SCADA System for Monitoring a Critical Infrastructure.IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS 10 (3).
- 7 Andreescu, E. H. Gurban and G. D. 2011. "SCADA element solutions using Ethernet and mobile phone network." 2011 IEEE 9th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics. 303-308.
- 8 P. Zhang, T. Liu, Z. X. Yang, Y. Mou, Y. H. Wei and D. Chen., 2015. "Design of remote control plug." 2015 IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices (ASEMD). 29-30.

9 S. Sanap, R. Nawale, S. Kapse, A. Kale and M. Korade,. 2015. "Exact virtualization of Industrial Environment on Web Using SCADA with Artificial Intelligence." Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT), 2015 International Conference on, Noida. 99-103.

10 S. G. Hegde, S. R. Desai, D. R. Gajanan, S. B. Kowligi and Sachin RC. Industrial Instrumentation and Control (ICIC). "Implementation of SCADA in industries using wireless technologies." 2015. Pune.

11 A. Soetedjo, Y. I. Nakhoda and D. Suryadi,. 2013. "Development of data acquisition system for hybrid power plant." QiR (Quality in Research), 2013 International Conference on, Yogyakarta, 2013. 197-201.

12 J. L. Sarinda, T. Iqbal and G. Mann, "Low-cost and open source SCADA options for remote control and monitoring of inverters," 2017 IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), Windsor, ON, 2017, pp. 1-4.

13 Sergi Blanch-Torn, Fernando Cores, Ramiro Moreno Chiral. 2015. "Agent-based PKI for Distributed Control System." World Congress on Industrial Control Systems Security (WCICSS-2015). 28-35.

14 Felipe. C, Yeison. C, Leonardo. R.,. 2014. "Wireless Sensor System According to the Concept of IoT -Internet of Things." 2014 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence.

15 Pasha, Sharmad. 2016. "Thingspeak Based Sensing and Monitoring System for IoT with Matlab Analysis." International Journal of New Technology and Research (IJNTR) 19-23.

16 Bonnie Zhu, Anthony Joseph, Shankar Sastry. 2011. "A Taxonomy of Cyber Attacks on SCADA Systems." 2011 IEEE International Conferences on Internet of Things, and Cyber, Physical and Social Computing.

17 Hasan, M., and H. T. Mouftah. 2016. "Optimal Trust System Placement in Smart Grid SCADA Networks." (IEEE Access) PP (99).

18 D.K. Maly, K.S. Kwan. 1995. "Optimal battery energy storage system (BESS) charge scheduling with dynamic programming." IEE Proceedings - Science, Measurement and Technology.

19 Chin H. Lo, Max D. Anderson. 1999. "Economic dispatch and optimal sizing of battery energy storage systems in utility load-leveling operations." IEEE Transactions on Energy Conversion.

20 M. S. Habibi. 2001. "Model for impact of storage on spinning reserve requirements and distributed generation." Proceedings of the 33rd Southeastern Symposium on System Theory 161-165.

21 Kaye, Thai Doan Hoang Cau and R. J. 2001. "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. Sydney. 402-407.

22 Owens, B., The Rise of Distributed Power. tech. rep., GE, 2014.

23 Saad, M., and Wasi Shahid, Demand Site Management and Demand Response. Technology Operations Management and Production EJournal, Nov, 2014.

24 Hamza, A.K., Bonneya, M F, Step Voltage Regulator and Capacitor Placement to Improve the Performance of Rural Electrical Distribution Systems by CYME Program, in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. June 2019.

25 Lahaçani, N.A., D. Aouzellag, and B. Mendil, Static compensator for

maintaining voltage stability of wind farm integration to a distribution network. Renewable Energy, Nov 2010.

26 A. Ganesh, R.D.a.G.K.S., Development of simple technique for STATCOM for voltage regulation and power quality improvement, in IEEE International Conference on Power Electronics Drives and Energy Systems (PEDES). Dec 2016.

27 Kashani, M.G., Maziar Mobarrez, and Subhashish Bhattacharya, Smart inverter voltwatt control design in high PV-penetrated distribution systems. IEEE Transactions on Industry Applications, 2018.

28 Baran, M.E., and Ming-Yung Hsu, Volt/var control at distribution substations. IEEE Transactions on Power Systems, 1999.

29 Tomin N, K.V., Panasetsky D, Sidorov D, Zhukov A. , Voltage/VAR Control and Optimization: AI approach. IFAC-PapersOnLine, 2018.

30 Lee, H.-J., et al., Optimal parameters of volt–var function in smart inverters for improving system performance. Energies, 2020.

31 S. K. Sharma, A. Chandra, M. Saad, S. Lefebvre, D. Asber, and L. Lenoir, “Voltage flicker mitigation employing smart loads with high penetration of renewable energy in distribution Systems,” IEEE Trans. Sustain. Energy, vol. 8, no. 1, pp. 414–424, 2017.

32 Y. Wang, Q. Hu, D. Meng, and P. Zhu, “Deterministic and probabilistic wind power forecasting using a variational Bayesian-based adaptive robust multi-kernel regression model,” Appl. Energy, vol. 208, no. August, pp. 1097–1112, 2017.

33 A. Ahmed and M. Khalid, “A review on the selected applications of forecasting models in renewable power systems,” Renew. Sustain.

Energy Rev., vol. 100, pp. 9–21, 2019.

34 Z. Xu, Z. Hu, J. Zhao, Y. Song, J. Lin, and C. Wan, “Photovoltaic and solar power forecasting for smart grid energy management,” CSEE J. Power Energy Syst., vol. 1, no. 4, pp. 38–46, 2016.

35 M. K. Behera, I. Majumder, and N. Nayak, “Solar photovoltaic power forecasting using optimized modified extreme learning machine technique,” Eng. Sci. Technol. an Int. J., vol. 21, no. 3, pp. 428–438, 2018.

36 G. de Freitas Viscondi and S. N. Alves-Souza, “A Systematic Literature Review on big data for solar photovoltaic electricity generation forecasting,” Sustain. Energy Technol. Assessments, vol. 31, no. pp. 54–63, 2019.

37 L. Stoyanov, Z. Zarkov, I. Draganovska, and V. Lazarov, “Methods for energy production estimation from photovoltaic plants: Review and application,” Int. Conf. High Technol. Sustain. Dev. Proc., pp. 1–5, 2018.

38 Y. Ren, P. N. Suganthan, and N. Srikanth, “Ensemble methods for wind and solar power forecasting — A state-of-the-art review,” Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 50, pp. 82–91, 2015.

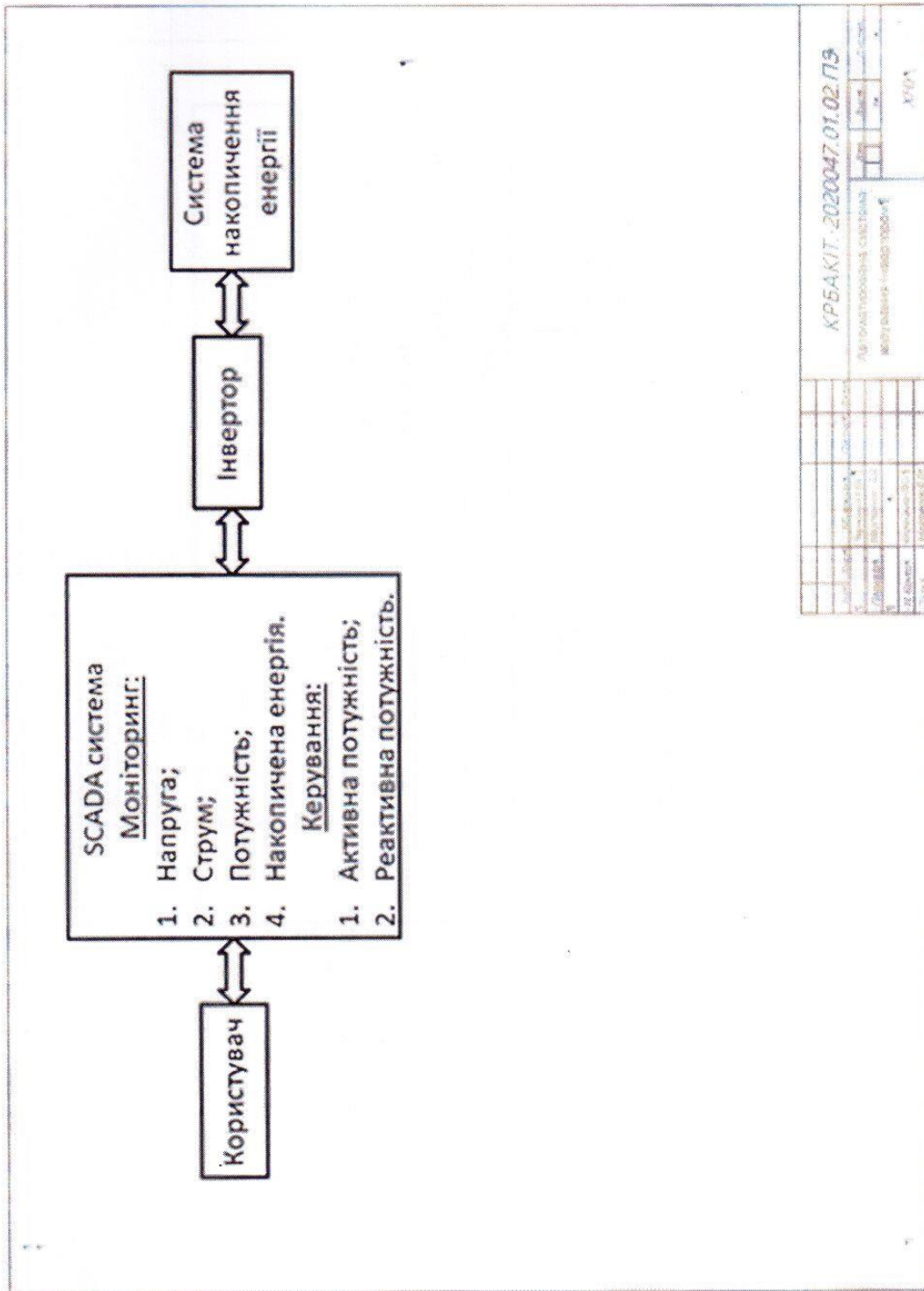
39 R. H. Inman, H. T. C. Pedro, and C. F. M. Coimbra, “Solar forecasting methods for renewable energy integration,” Prog. Energy Combust. Sci., vol. 39, no. 6, pp. 535–576, 2013.

40 R. Escobar, J. Antonanzas, F. Antonanzas-Torres, R. Urraca, N. Osorio, and F. J. Martinez-dePison, “Review of photovoltaic power forecasting,” Sol. Energy, vol. 136, pp. 78–111, 2016.

ДОДАТКИ

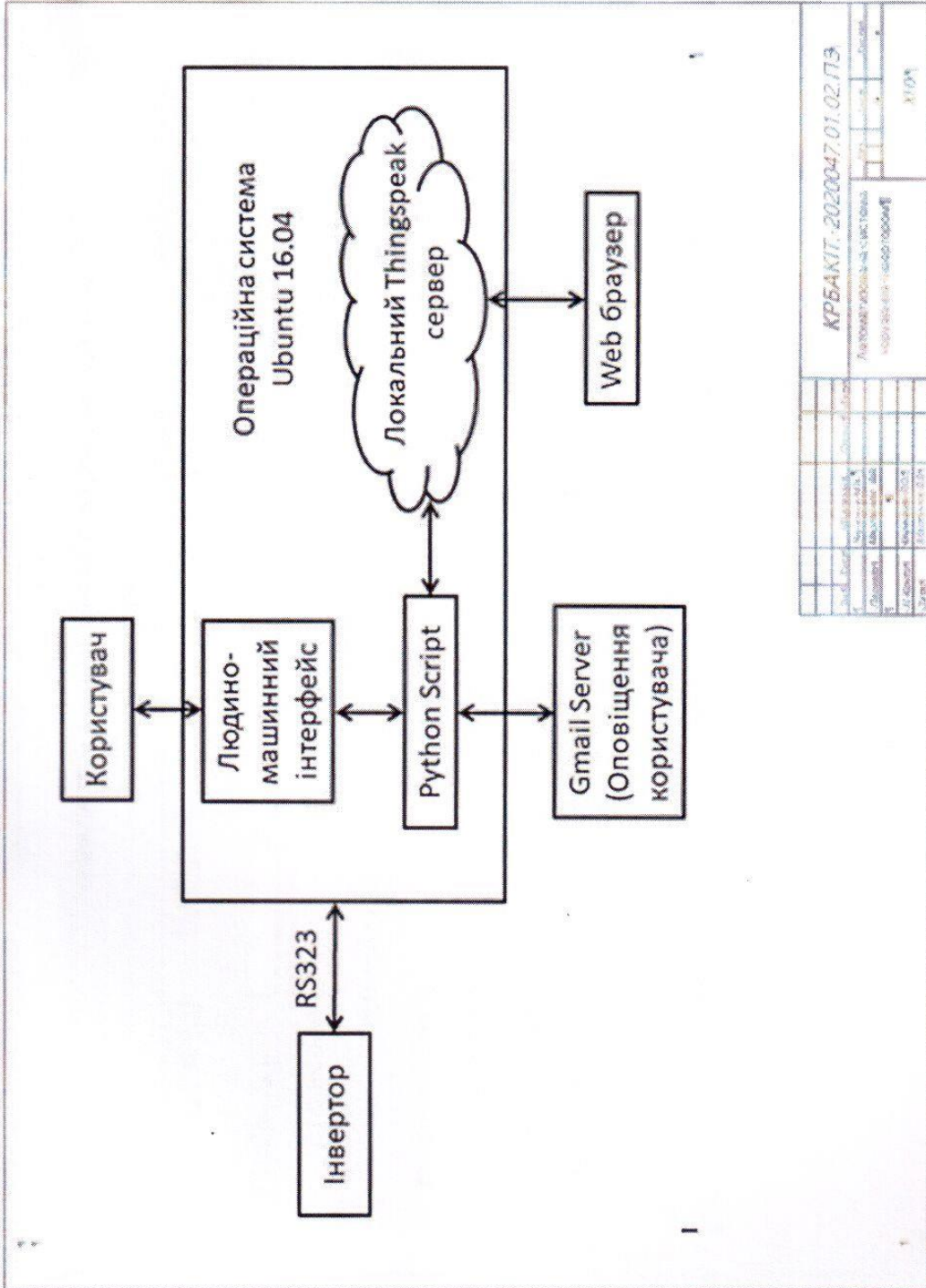
Додаток А

Структурна схема автоматизованої системи керування інвертором



Додаток Б

Структурна схема розробленої SCADA системи для автоматизованого керування інвертором



КРБАК17.2020047.01.02.ПЗ			
Локальний Thingspeak сервер			
№	Дата	Статус	Додаток
1	2020.04.07	Зроблено	Додаток
2	2020.04.07	Зроблено	Додаток
3	2020.04.07	Зроблено	Додаток
4	2020.04.07	Зроблено	Додаток
5	2020.04.07	Зроблено	Додаток
6	2020.04.07	Зроблено	Додаток
7	2020.04.07	Зроблено	Додаток
8	2020.04.07	Зроблено	Додаток
9	2020.04.07	Зроблено	Додаток
10	2020.04.07	Зроблено	Додаток
11	2020.04.07	Зроблено	Додаток
12	2020.04.07	Зроблено	Додаток
13	2020.04.07	Зроблено	Додаток
14	2020.04.07	Зроблено	Додаток
15	2020.04.07	Зроблено	Додаток
16	2020.04.07	Зроблено	Додаток
17	2020.04.07	Зроблено	Додаток
18	2020.04.07	Зроблено	Додаток
19	2020.04.07	Зроблено	Додаток
20	2020.04.07	Зроблено	Додаток
21	2020.04.07	Зроблено	Додаток
22	2020.04.07	Зроблено	Додаток
23	2020.04.07	Зроблено	Додаток
24	2020.04.07	Зроблено	Додаток
25	2020.04.07	Зроблено	Додаток
26	2020.04.07	Зроблено	Додаток
27	2020.04.07	Зроблено	Додаток
28	2020.04.07	Зроблено	Додаток
29	2020.04.07	Зроблено	Додаток
30	2020.04.07	Зроблено	Додаток
31	2020.04.07	Зроблено	Додаток
32	2020.04.07	Зроблено	Додаток
33	2020.04.07	Зроблено	Додаток
34	2020.04.07	Зроблено	Додаток
35	2020.04.07	Зроблено	Додаток
36	2020.04.07	Зроблено	Додаток
37	2020.04.07	Зроблено	Додаток
38	2020.04.07	Зроблено	Додаток
39	2020.04.07	Зроблено	Додаток
40	2020.04.07	Зроблено	Додаток
41	2020.04.07	Зроблено	Додаток
42	2020.04.07	Зроблено	Додаток
43	2020.04.07	Зроблено	Додаток
44	2020.04.07	Зроблено	Додаток
45	2020.04.07	Зроблено	Додаток
46	2020.04.07	Зроблено	Додаток
47	2020.04.07	Зроблено	Додаток
48	2020.04.07	Зроблено	Додаток
49	2020.04.07	Зроблено	Додаток
50	2020.04.07	Зроблено	Додаток
51	2020.04.07	Зроблено	Додаток
52	2020.04.07	Зроблено	Додаток
53	2020.04.07	Зроблено	Додаток
54	2020.04.07	Зроблено	Додаток
55	2020.04.07	Зроблено	Додаток
56	2020.04.07	Зроблено	Додаток
57	2020.04.07	Зроблено	Додаток
58	2020.04.07	Зроблено	Додаток
59	2020.04.07	Зроблено	Додаток
60	2020.04.07	Зроблено	Додаток
61	2020.04.07	Зроблено	Додаток
62	2020.04.07	Зроблено	Додаток
63	2020.04.07	Зроблено	Додаток
64	2020.04.07	Зроблено	Додаток
65	2020.04.07	Зроблено	Додаток
66	2020.04.07	Зроблено	Додаток
67	2020.04.07	Зроблено	Додаток
68	2020.04.07	Зроблено	Додаток
69	2020.04.07	Зроблено	Додаток
70	2020.04.07	Зроблено	Додаток
71	2020.04.07	Зроблено	Додаток
72	2020.04.07	Зроблено	Додаток
73	2020.04.07	Зроблено	Додаток
74	2020.04.07	Зроблено	Додаток
75	2020.04.07	Зроблено	Додаток
76	2020.04.07	Зроблено	Додаток
77	2020.04.07	Зроблено	Додаток
78	2020.04.07	Зроблено	Додаток
79	2020.04.07	Зроблено	Додаток
80	2020.04.07	Зроблено	Додаток
81	2020.04.07	Зроблено	Додаток
82	2020.04.07	Зроблено	Додаток
83	2020.04.07	Зроблено	Додаток
84	2020.04.07	Зроблено	Додаток
85	2020.04.07	Зроблено	Додаток
86	2020.04.07	Зроблено	Додаток
87	2020.04.07	Зроблено	Додаток
88	2020.04.07	Зроблено	Додаток
89	2020.04.07	Зроблено	Додаток
90	2020.04.07	Зроблено	Додаток
91	2020.04.07	Зроблено	Додаток
92	2020.04.07	Зроблено	Додаток
93	2020.04.07	Зроблено	Додаток
94	2020.04.07	Зроблено	Додаток
95	2020.04.07	Зроблено	Додаток
96	2020.04.07	Зроблено	Додаток
97	2020.04.07	Зроблено	Додаток
98	2020.04.07	Зроблено	Додаток
99	2020.04.07	Зроблено	Додаток
100	2020.04.07	Зроблено	Додаток

Ім'я користувача:
Кафедра АКІТІТК

Дата перевірки:
22.06.2023 16:25:14 EEST

Дата звіту:
22.06.2023 16:28:45 EEST

ID перевірки:
1015677695

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

ID користувача:
100005862

Назва документа: Chervonyi

Кількість сторінок: 62 Кількість слів: 10087 Кількість символів: 79211 Розмір файлу: 563.50 KB ID файлу: 1015322128

527 слів позначені як "вилучені" та не враховуються у підрахунку слів

4.88%

Схожість

Найбільша схожість: 2.82% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1015322124)

3.21% Джерела з Інтернету 73 Сторінка 64

3.79% Джерела з Бібліотеки 32 Сторінка 65

0% Цитат

Цитати 2 Сторінка 66

Посилання 1 Сторінка 66

0%

Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

0% Вилучення з Інтернету 5 Сторінка 67

0% Вилученого тексту з Бібліотеки 4 Сторінка 67

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 7

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 3.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 9%

ID: 117775 Назва: БКР Автоматизована система керування інвертором Додано в БД: 2023-06-22 Автора: Мирослав ЧЕРВОНИЙ Керівники: Валерій МАРТИНЮК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	64891	500	2344 (4%)	34 (7%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Червоний Мирослав Владиславович

Тема: Автоматизована система керування інвертором

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

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 62

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: розроблено автоматизовану систему керування інвертором, розроблено SCADA систему для автоматизованого керування інвертором

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

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі кваліфікаційної роботи наведено основні технічні характеристики автоматизованих систем керування інвертором, проаналізовано існуючі типи автоматизованих систем керування інвертором та встановлено їх основні переваги та недоліки. У другому розділі проведено аналіз вимог технічного завдання на розробку автоматизованої системи керування інвертором, розроблено структурну схему автоматизованої системи керування інвертором, обґрунтовано та вибрано сервер інтернету речей та розроблено людино-машинний інтерфейс. У третьому розділі розроблено стратегію керування SCADA системою для автоматизованого керування інвертором, розроблено алгоритм автоматизованого керування інвертором, розроблено систему захисту від ненавмисного відключення мережі та мультиагентну систему для енергетичного Інтернету.

4. Позитивні сторони роботи: захист від ненавмисного відключення мережі та мультиагентну систему для енергетичного Інтернету.

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється огляду існуючих технічних рішень

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

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

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (4,00/С)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Гейман Віталій Степанович, к.т.н., доцент кафедри
машин і енергій, електромеханічних та енергетичних
систем ХНУ

“ ” _____ 2023 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Червоний М.В.

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи АКІТс-20-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

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

06.06.2023

дата


підпис

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

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Автоматизована система керування інвертором

Автор: Червоний Мирослав Владиславович

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

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

Науковий керівник: Мартинюк Валерій Володимирович, доктор технічних наук, дпрофесор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

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

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

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

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 4,88% і адресується до 105 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Дата 22.06.2023.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи





Валерій МАРТИНЮК

Юрій ФОРКУН

Валерій МАРТИНЮК