

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Автоматизована система керування розподіленою генерацією енергії

Назва теми

КвРАКІТ. 2020034.01.02.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

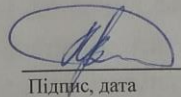

Підпис

Олександр БУРКОВСЬКИЙ

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

« 14 » 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

 В. Мартинюк
«01» 02 2023р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Бурковський Олександр Володимирович

1. Тема роботи: Автоматизована система керування розподіленою
генерацією енергії

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 програмного забезпечення автоматизованої системи керування
розподіленою генерацією енергії. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із визначенням обов'язкових креслень).

1. Основна панель SCADA автоматизованої системи керування розподіленою
генерацією енергії.

2. Панель 2 SCADA автоматизованої системи керування розподіленою
генерацією енергії.

3. Панель моніторингу сонячної електростанції.

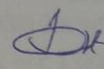



Завдання отримав



Науковий керівник



6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	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.

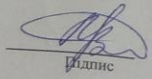
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
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 програмного забезпечення автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії	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

Керівник роботи


Ініціали, прізвище
О. Турмович
Ініціали, прізвище


Ініціали, прізвище
В. Мартинюк
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система керування розподіленою генерацією енергії».

Автор роботи: Бурковський Олександр Володимирович.

Керівник роботи: Мартинюк Валерій Володимирович

Пояснювальна записка: 60 с., 14 рис., 1 дод., 40 джерел.

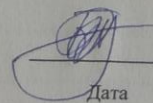
Графічна частина: 3 креслення.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, РОЗПОДІЛЕНА ГЕНЕРАЦІЯ ЕНЕРГІЇ, SCADA СИСТЕМА, МОНІТОРИНГ РОБОТИ ЕНЕРГОСИСТЕМИ.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії. У роботі наведено основні технічні характеристики автоматизованих систем керування розподіленою генерацією енергії, проаналізовано існуючі типи автоматизованих систем керування розподіленою генерацією енергії та встановлено їх основні переваги та недоліки. Спроектовано автоматизовану систему керування розподіленою генерацією енергії. Розроблено SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії. Враховано наявність аварійних ситуацій.

13.06.2023

Підпис студента


Дата

ЗМІСТ	
ВСТУП.....	3
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ .	6
1.1. Особливості автоматизованих систем керування розподіленою генерацією електроенергії.....	6
1.2. Керування відключенням електроенергії.....	10
1.3. Висновки до першого розділу.....	18
2. ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	19
2.1. Аналіз вимог технічного завдання на розробку автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії.....	19
2.2. Структура автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії.....	24
2.3. SCADA система PROMOTIC.....	27
2.4. Висновки до другого розділу.....	33
3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ ЕНЕРГІЇ.....	35
3.1. Принципи моніторингу роботи енергосистеми.....	35
3.2. Принципи керування розподіленою мережею.....	41
3.3. Розробка SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії.....	48
3.4. Висновки до третього розділу.....	54
ВИСНОВКИ.....	56
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	57
ДОДАТКИ.....	61

КРБАКІТ. 2020034.01.02.ПЗ				
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
Виконав		Бурковський О.В.		16.06.23
Перевір.		Мартинюк В.В.		14.06.23
Т.Контр.		Корецька Л.О.		14.06.23
Н.контр.		Мартинюк В.В.		14.06.23
Затвер.				

Автоматизована система керування розподіленою генерацією енергії		
Пояснювальна записка		
Літера	Аркуш	Аркушів
у	2	60
ХНУ, АКІТс-20-1		

ВСТУП

Актуальність теми. Зростаюче проникнення розподіленої генерації електроенергії у системи розподілу електроенергії створює технічні та економічні переваги, а також виклики інтеграції для інженерів комунальних підприємств.

Уряд України починає визнавати розподілену генерацію електроенергії як економічно життєздатну альтернативу відстроченню інвестицій на рівнях виробництва, передачі та розподілу електроенергії, задоволення зростання попиту та покращення ефективності розподільчої мережі.

Актуальність роботи обумовлена заохоченням економії електроенергії та впровадження відновлюваної генерації, особливо систем керування розподіленою генерацією енергії, що є двома ключовими підходами до зменшення залежності та майбутніх інвестицій у централізовані електростанції, системи передачі на великі відстані та модернізацію потужностей розподільних систем.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії.

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

- виконати огляд літератури;
- розробити структуру автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії;
- розробити програмне забезпечення автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії.

Об'єктом дослідження є процес керування системою розподіленої генерації електроенергії.

Предметом дослідження є автоматизована система керування розподіленою генерацією енергії.

Методи досліджень. При вирішенні поставлених завдань у роботі були використані методи статистики та методи алгоритмізації та програмування.

Практична значимість отриманих результатів:

Використання автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії дозволяє підвищити економічну ефективність електрозабезпечення виробників та споживачів електроенергії.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків до кожного розділу, висновків, списку використаних джерел, 1 додаток. Загальний обсяг роботи складає 60 сторінок комп'ютерного тексту, у тому числі: 14 рисунків, список використаних джерел вміщує 40 найменувань.

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

В першому розділі були розглянуті наступні питання: особливості автоматизованих систем керування розподіленою генерацією електроенергії, керування відключенням електроенергії.

У другому розділі проведено аналіз вимог технічного завдання на розробку автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії, розроблено структуру автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії, розглянуто особливості SCADA система PROMOTIC.

У третьому розділі було розроблено програмне забезпечення автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії, розглянуто принципи моніторингу роботи енергосистеми, розглянуто

принципи керування розподіленою мережею, розроблено SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії.

					КвРАКІТ. 2020034.01.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		5

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Особливості автоматизованих систем керування розподіленою генерацією електроенергії

Управління та автоматизація електричних мереж відіграють ключову роль у бізнес-середовищі електроенергетики для різних підприємств виробництва, постачання, масової передачі, постачання або розподілу та обліку.

Автоматизовані системи керування розподіленою генерацією електроенергії охоплюють функції безпеки та захисту, а також роботи та контролю. Компанії, які впроваджують автоматизовані системи керування розподіленою генерацією електроенергії, серед інших переваг досягають підвищення надійності, ефективності роботи та подовження терміну служби активів.

Автоматизація операцій у всій системі розподілу відноситься до концепції автоматизованої системи керування розподіленою генерацією електроенергії.

Концепція автоматизованої системи керування розподіленою генерацією електроенергії - це загальний термін, що охоплює повний спектр функцій від захисту до системи керування мережею (СКМ), яка зазвичай називається SCADA, і прикладних програм. Основними системами в автоматизованій системі керування розподіленою генерацією електроенергії є СКМ, автоматизація підстанцій (АП), автоматизація фідерів (АФ), що підтримується системою управління розподілом (СУР) [1].

Комунікація є ключовим фактором сучасної концепції автоматизованої системи керування розподіленою генерацією електроенергії. Різні пристрої, системи, обслуговуючий персонал і ділові партнери, з'єднані разом у режимі реального часу, вимагають відкритого спілкування та прозорості зміни даних на кожному рівні по горизонталі та вертикалі.

Експлуатація та контроль у розподільних мережах складаються з функцій у нормальному стані, заснованих на моніторингу або контролі важливих вузлів. Моніторинг мережі в основному пов'язаний з нормальною роботою мережі та функціями, які можна використовувати для планування та обслуговування. Стан мережі або умови мережі відстежується на важливих вузлах за допомогою таких функцій:

- розрахунок потоку навантаження;
- розрахунок несправностей;
- підтримка архітектури мережі;
- обслуговування комутацій;
- планування та розрахунок мережі (струми пошкодження, задані значення захисних реле);
- оцінка та прогнозування навантаження;
- якість електроенергії;
- стан компонентів мережі;
- управління технічною діяльністю.

Розрахунок потоку навантаження забезпечує стійкі рішення для конфігурацій кола та рівнів навантаження. Рівні навантаження оцінюються на основі «якомога більшої кількості даних у реальному часі», доступних від SCADA.

Процес калібрування навантаження для оцінки навантаження складається з трьох етапів:

- калібрування статичного навантаження;
- калібрування топологічного навантаження;
- представлення навантаження мережі.

Калібрування статичного навантаження використовує статичну інформацію, таку як профілі навантаження, кількість клієнтів і сезон, для розрахунку споживання активної та реактивної потужності.

Топологічне калібрування навантаження використовує статичні результати споживання електроенергії, останні значення вимірювань і поточну топологію мережі для визначення динамічних значень для споживання активної та реактивної потужності. Нарешті, стан завантаження мережі представлено з урахуванням втрат.

Розрахунок замикань виконується для збалансованих або симетричних - трифазних замикань та асиметричних замикань. Симетричний аналіз короткого замикання імітує несправність на кожній шині в системі електроенергії.

Аналіз незбалансованого або асиметричного короткого замикання розраховує коротке замикання лінія-лінія з заземленням і без нього, а також коротке замикання лінія-земля. За допомогою цього методу струми в кожній лінії знаходяться шляхом накладання струмів трьох симетричних компонент.

Розрахунок несправності використовується в автоматизованій системі керування розподіленою генерацією електроенергії для перевірки обмежень номіналів вимикача, які визначають, чи працює вимикач вище свого номінального значення, і, таким чином, оператору може бути надіслано сигнал тривоги про незадовільний робочий стан.

Операції керування мережею можна полегшити за допомогою автоматизації, оскільки контрольовані вузли забезпечують такі функції, як:

- дистанційне керування роз'єднувачами;
- контроль напруги;
- регулювання та компенсація реактивної потужності;
- оптимізація роботи системи;
- планування перемикань;
- перевірка та адаптація захисту;
- журнал контролю та збоїв у мережі.

Дистанційне керування роз'єднувачами прискорює стани перемикання, що має велику перевагу в ситуаціях несправності. У нормальній роботі мережі дистанційно керовані роз'єднувачі прискорюють нормальне обслуговування та ремонтні роботи [2].

Контроль напруги призначений для керування мережевими перемикачами (МП), пов'язаними з трансформаторами на первинних підстанціях і мережевими регуляторами напруги. Ця функція розраховує задані значення напруги або налаштування відводів на МП, щоб зменшити загальне навантаження на систему.

Стратегією керування може бути, наприклад, цільова напруга, що зменшує навантаження системи таким чином, щоб досягнуто найнижчого допустимого рівня напруги.

Контроль реактивної потужності або реактивний вольт-ампер (РВА) призначений для батарей конденсаторів, які розташовані на первинних підстанціях і на фідерах. Конфігурації для конденсаторів, які зменшують потоки реактивної потужності в систему середнього напруги, визначаються за граничних умов напруги та коефіцієнта потужності.

Робочий стан щодо компенсації РВА визначається шляхом порівняння фактичного коефіцієнта потужності загальної зони

обслуговування, який вимірюється SCADA, із цільовим коефіцієнтом потужності.

Програми мінімізації втрат надають можливість визначити можливі зміни комутації для зменшення втрат, обчислити необхідний перерозподіл навантаження між фідерами, перевірити запропонований оптимізований стан системи в межах робочих обмежень (ємність і напруга), працювати в межах певних характеристик і обмежити оптимізацію використанням лише дистанційно керовані перемикачі.

Усі представлені розширені функції повністю залежать від наявності та якості даних. Управління відключеннями та основні плани перемикачів значною мірою залежать від правильної топології мережі.

Просунуті програми можна розділити на дві категорії: програми на основі топології та програми на основі параметрів. Програми на основі топології задовільно працюють лише з даними топології, оскільки для програм на основі параметрів потрібні дані параметрів мережі на додаток до даних топології.

1.2 Керування відключенням електроенергії

Керування відключенням електроенергії призначене для повернення нормального стану розподільної електромережі з аварійного. Процес управління відключенням складається з трьох етапів:

- попередження про відключення;
- визначення місця несправності;
- усунення несправності та відновлення електропостачання.

Детальна модель розподільчої мережі - географічна інформаційна система (ГІС), є ядром системи керування відключеннями. Комунальні підприємства з обмеженим контролем у реальному часі використовують

підхід виклику несправності, тоді як комунальні підприємства з хорошими системами реального часу використовують вдосконалений підхід на основі додатків за допомогою прямих вимірювань з автоматизованих пристроїв.

Попередження про системну несправність на основі дзвінка про проблему позначається першим дзвінком про проблему від клієнта та підтверджується, коли надходять додаткові дзвінки. Визначення місця несправності відбувається шляхом висновку та перевірки.

Процес часто називають механізмом відключення і цей метод базується на моделі радіальної мережі. У мережах низького напруги різні гібридні методи призначення, наприклад, поштовий індекс на додаток до ГІС, використовувалися для перевірки перших записів електромережі.

Місце несправності визначається спрацьованим захисним пристроєм або розімкнутим провідником і знеструмленою мережею. Перевірка відключення підтверджується польовою бригадою вручну або дистанційно за допомогою SCADA.

Після перевірки механізм відключення аналізує події перемикання та інші зміни підключення (поетапне відновлення постачання). Відновлення постачання часто є частковим, коли для живлення здорових частин використовуються нормально відкриті точки або альтернативні канали.

Після завершення дій вручну з підтвердженням з поля оператор вносить зміни підключення до мережі. Механізм відключення відстежує зміни та події.

Розширене керування відключеннями на основі додатків може отримати вигоду від використання SCADA з введенням даних у режимі реального часу з пристроїв збору даних. Інформація від вимірювальних

пристроїв надходить до механізму топології в системі мережевої моделі реального часу і механізм визначає місце несправності.

Виклики про несправності додають додаткову інформацію після події для високоавтоматизованої мережі. Несправності, як правило, локалізуються автоматичними вимикачами (АВ), встановленими на первинних підстанціях.

Реалізація автоматизації фідерів за допомогою індикаторів проходження несправностей (ІПН), пов'язаних з дистанційно керованими комутаторами ліній, або за допомогою комунікаційних ІПН покращує роздільну здатність для вказівки місць несправності.

Алгоритми ізоляції несправностей визначає необхідну послідовність перемикачів для ізоляції та представляють пропоновані плани перемикачів для схвалення та виконання оператором. Доцільність подачі навантаження як альтернативного живлення перевіряється розрахунками потоку навантаження.

Ідентифікуються відкриті вимикачі, які можна закрити для відновлення живлення ізолюваної мережі. Більшість систем надають оператору рекомендовану послідовність для схвалення та впровадження, яке має бути підтверджено крок за кроком.

Більшість даних в енергосистемі отримується з підстанцій за допомогою системи SCADA. Традиційно система SCADA будується шляхом встановлення віддаленого терміналу (ВТ) на підстанцію, який підключається до реле захисту та допоміжних контактів вимикачів, а також до центральної системи керування як комунікаційний інтерфейс.

SCADA пропонує такі функції, як збір даних, обробка даних, дистанційне керування, обробка тривоги, історичні дані, графічний інтерфейс людина-машина (ІЛМ), перемикачів аварійного керування та планування навантаження для управління попитом (УП).

Дистанційне керування підстанціями за допомогою системи SCADA дозволяє дистанційно керувати вимикачами, роз'єднувачами та перемикачами, а також проводити різні типи вимірювань збірних шин і фідерів.

Підстанції та системи з дистанційним керуванням створюють інтерфейс у реальному часі для важливих вузлів розподілу електроенергії. На даний момент основною метою розвитку є інтеграція з іншими системами, а також розширення для використання даних з нових підсистем, наприклад, з місцевих метеорологічних станцій.

У майбутньому системи з дистанційним керуванням все більше підключатимуться до різних підсистем, таких як АФ, роз'єднувачі в мережі та локальне керування, а також система керування навантаженням.

Автоматизація підстанцій складається з дистанційного та локального моніторингу та керування підстанціями, а також зв'язку між локальною системою автоматизації та центром керування мережею. Місцева або дистанційна система керування може надсилати на пристрої такі команди, як команди керування, задані значення та дані параметрів, а також повідомлення для синхронізації часу.

Місьцеве керування та моніторинг включає такі функції, як:

- контроль напруги, управління подіями та тривогами;
- послідовності передачі шин, блокувань і централізованого відключення навантаження;
- моніторинг стану;
- релейний захист;
- автоматичне повторне вмикання фідера;
- синхронізація годинника підстанції із загальним системним часом.

Велика кількість даних доступна від підстанцій для використання в локальних і дистанційних системах керування, які забезпечуються захисними реле, пристроями керування та центрами сигналізації, а саме:

- події з міткою часу;
- виміряні електричні величини;
- індикація положення вимикачів і роз'єднувачів;
- сигналізація;
- цифрові вхідні значення;
- підрахунок операцій;
- записи збурень;
- установка значень та параметрів пристроїв.

Локальний моніторинг і управління підстанцією забезпечується ІЛМ. ІЛМ збирає дані з інтелектуальних електронних пристроїв (ІЕП) для розповсюдження та архівування.

Крім того, ІЛМ може діяти як комунікаційний шлюз, основними функціями якого є перетворення протоколів, фільтрація надто частих змін, об'єднання сигналів, а також передача файлів і записів збоїв.

Функції централізованого блокування фідерів забезпечують безперервне живлення, що досягається за допомогою автоматичного перемикачів функцій передачі від головного фідера до резервного якнайшвидшого, а також, крім того, відключення навантаження шляхом відключення несуттєвих навантажень [3].

Релейний захист в системі автоматизації ініціює коригувальні дії при збоях у роботі мережі. В даний час ІЕП забезпечують більшу функціональність, продуктивність і масштабованість, ніж традиційні реле захисту.

На додаток до великої кількості різних функцій захисту ІЕП забезпечують контроль, вимірювання, моніторинг якості електроенергії

та моніторинг стану розподільної мережі та її компонентів. Функції керування ІЕП включають індикацію положення та команди керування комутаційними пристроями, такими як автоматичні вимкнення та роз'єднувачі.

Інформація про місцезнаходження та сигнали керування передаються по станційній шині, і їх можна використовувати для схем централізації між пристроями. Вимірювання, що надаються ІЕП, це, наприклад, фазні струми, струм нейтралі, напруга фаза-фаза або фаза-земля, залишкова напруга, частота та коефіцієнт потужності.

Управління різними мережами в основному здійснюється за допомогою виділеної МСК, яка зазвичай називається системою SCADA. SCADA - це абревіатура від Supervisory Control and Data Acquisition, і загалом ці системи призначені для моніторингу та керування установкою або обладнанням, що застосовуються в таких галузях, як телекомунікації, контроль за водою та відходами, енергетика, нафтопереробка та транспортування.

Система SCADA збирає та передає інформацію, попереджає, виконує необхідний аналіз і контроль, визначає критичні функції та відображає інформацію в ілюстративному вигляді. Ці системи можуть бути відносно простими, як контроль умов навколишнього середовища в невеликій офісній будівлі, або система може бути дуже складною, наприклад контроль атомної електростанції.

У мережах розподілу електроенергії SCADA збирає інформацію з різних точок до центру керування мережею (ЦКМ) для дистанційного керування та моніторингу, а також для подальшого аналізу в DMS.

SCADA також надсилає команди керуючим пристроям у мережі, спілкується з ВТ, дистанційно керованими комутаторами та ІЕП. Архітектуру управління електричною мережею сьогодні можна зустріти

як кілька різних типів, оскільки застосовувана архітектура сильно залежить від віку та розміру мережі.

Деякими функціями в системі SCADA потрібно керувати централізовано, наприклад, управління попитом і планування послідовностей відключення навантаження.

Централізовані системи SCADA можливі при реалізації інтелектуальних операцій, таких як можливість послідовності, діаграма мережі, база даних активів, технічне обслуговування апаратного та програмного забезпечення та централізований контроль конфігурації.

Основною проблемою є впровадження відповідної та економічно ефективної комунікаційної інфраструктури, яка враховує фізичні відстані, ризик збою в одній точці, повільну реакцію (ризик несвоєчасних послідовних операцій) і труднощі тестування [4].

Пристрої ІЛМ надають оброблені дані людині-оператору для виконання керуючих дій. ІЛМ відстежує та керує ВТ, ПЛК та іншими пристроями керування стандартизованим способом. Система SCADA передає дані в ІЛМ після збору інформації з пристроїв керування через стандартну мережу.

ІЛМ пов'язані з базою даних для отримання діагностичних даних, процедур планового технічного обслуговування, логістичної інформації та схем для конкретного датчика чи машини, а також для усунення несправностей.

Основні виробники пропонують інтегровану систему ІЛМ/SCADA, яка використовує непатентовані відкриті протоколи зв'язку. ІЛМ повністю графічні, а програмне забезпечення підтримує резервування додатків або гаряче резервування. Додаток складається з баз даних, звітів і креслень серед іншого.

Система гарячого резервування оновлює всі змінні дані програми реального часу в програму затінення. Резервне копіювання та тестування нового програмного забезпечення можна зробити без порушення системи. У системі гарячого резервування сервер може переходити від відновлення до нормальної роботи, поки користувачі продовжують запускати програми.

Ієрархію керування мережею можна розділити на три рівні:

- контроль зони (централізований);
- система автоматичного керування (децентралізований);
- рівень захисту.

Рівень зонального управління використовується для координації функцій пристроїв, що включає координацію установок реле захисту та узгоджене керування напругою. Для координації пристроїв керування та захисту потрібні дані вимірювань від обраних вузлів розподільної мережі.

Рівень системи автоматичного керування включає контроль напруги в мережі НН, а також у мережі СН. У мережі середнього напруги рівень напруги контролюється за допомогою керування автоматичними регуляторами напруги (АРН) РНП первинних трансформаторів.

У мережі НН рівень напруги контролюється вручну на вторинних підстанціях шляхом керування перемикачами відводів вторинних трансформаторів. У майбутньому при підключенні більшої кількості ГР до розподільчої мережі низького напруги автоматизований контроль напруги дуже бажаний. Рівень захисту включає захист розподільного фідера та захист від втрати мережі (ЗВМ).

Розвиток мереж розподілу електроенергії в даний час в основному впроваджується через концепцію Smart Grids. Еволюція до

інтелектуальних мереж включає розвиток розподілених енергетичних ресурсів, місцевий інтелект і комунікацію.

Розподілена генерація електроенергії складається з дизель-генератора, системи накопичення електроенергії, сонячних панелей та контрольованих навантажень.

Кількість блоків генерації збільшуватиметься в розподільних мережах, зосереджуючись на збільшенні частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), тому розподілені мережі засновані на відновлюваній енергії. Відновлювана енергетика є головним рушієм розвитку активних розподільних мереж на даний момент.

1.3 Висновки до першого розділу

Концепція автоматизованої системи керування розподіленою генерацією електроенергії - це загальний термін, що охоплює повний спектр функцій від захисту до системи керування мережею (СКМ), яка зазвичай називається SCADA, і прикладних програм. Основними системами в автоматизованій системі керування розподіленою генерацією електроенергії є СКМ, автоматизація підстанцій (АП), автоматизація фідерів (АФ), що підтримується системою управління розподілом (СУР).

Розрахунок потоку навантаження забезпечує стійкі рішення для конфігурацій кола та рівнів навантаження. Рівні навантаження оцінюються на основі «якомога більшої кількості даних у реальному часі», доступних від SCADA.

Розподілена генерація електроенергії складається з дизель-генератора, системи накопичення електроенергії, сонячних панелей та контрольованих навантажень.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз вимог технічного завдання на розробку автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії

Лабораторія сонячної енергетики Хмельницького національного університету (Наказ ректора ХНУ №36 від 19.03.2018 р.) була створена з метою проведення науково-дослідних робіт з розроблення високоефективних методів та засобів відбору, накопичення та перетворення сонячної енергії в електричну для забезпечення роботи дахової сонячної електростанції Хмельницького національного університету в оптимальному режимі та покращення навчального процесу.

Розробка автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії для лабораторії сонячної енергетики Хмельницького національного університету призначена для розвитку операційних знань системи керування на основі SCADA.

Сфери, що охоплені автоматизованою системою керування розподіленою генерацією енергії лабораторії сонячної енергетики Хмельницького національного університету:

- підключення до електромережі фотоелектричних батарей;
- ПЛК системи та програмне забезпечення;
- інвертори, симулятор сонячної батареї та інше периферійне обладнання;
- джерела живлення, такі як дизель-генератор та акумуляторні батареї;
- трифазні постійно підключені монітори живлення;
- електричні системи змінного та постійного струму.

Окрім цього, ще однією вимогою є розробка системи, щоб лабораторію можна було використовувати як навчальний заклад для студентів. Була розроблена процедура, щоб електрична система, що складається з реальних компонентів, могла моделювати джерело, систему передачі та розподілу та навантаження.

Програмне забезпечення також було розроблено з використанням візуального та керуючого програмного забезпечення PROMOTIC для моніторингу та запису різних параметрів живлення системи чеської компанії MICROSYS.

PROMOTIC - це комплекс інструментів для розробки додатків для моніторингу, управління та візуалізації технологічних процесів у різних галузях промисловості.

Лабораторія сонячної енергетики Хмельницького національного університету зображена на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Лабораторія сонячної енергетики Хмельницького національного університету

В лабораторії сонячної енергетики Хмельницького національного університету розміщене наступне обладнання.

1. Система електроживлення, що містить мережу змінного струму 220 В та 3 фазну мережу змінного струму 380 В.

2. Акумуляторні батареї Ventura GPL 12-10, які зображені на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 - Акумуляторні батареї Ventura GPL 12-10

3. Суперконденсаторні батареї Ventura GPL 12-10, які зображені на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Суперконденсаторна батарея та суперконденсатор

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

4. Центральна система на базі ПК для управління та моніторингу з ПЛК.

5. Програмоване електронне навантаження, яке зображено на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 - Програмоване електронне навантаження

5. Імітатор джерела сонячної випромінювання, зображений на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 - Імітатор джерела сонячної випромінювання

6. Мережеві інвертори, які формують вихідну напругу $\sim 230\text{В}$, 50Гц, зображені на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 - Мережеві інвертори

7. Підключення до реальної сонячної батареї, яка зображена на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Сонячна батарея лабораторії сонячної енергетики
Хмельницького національного університету

2.2 Структура автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії

Структура автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії зображена на рисунку 2.8.

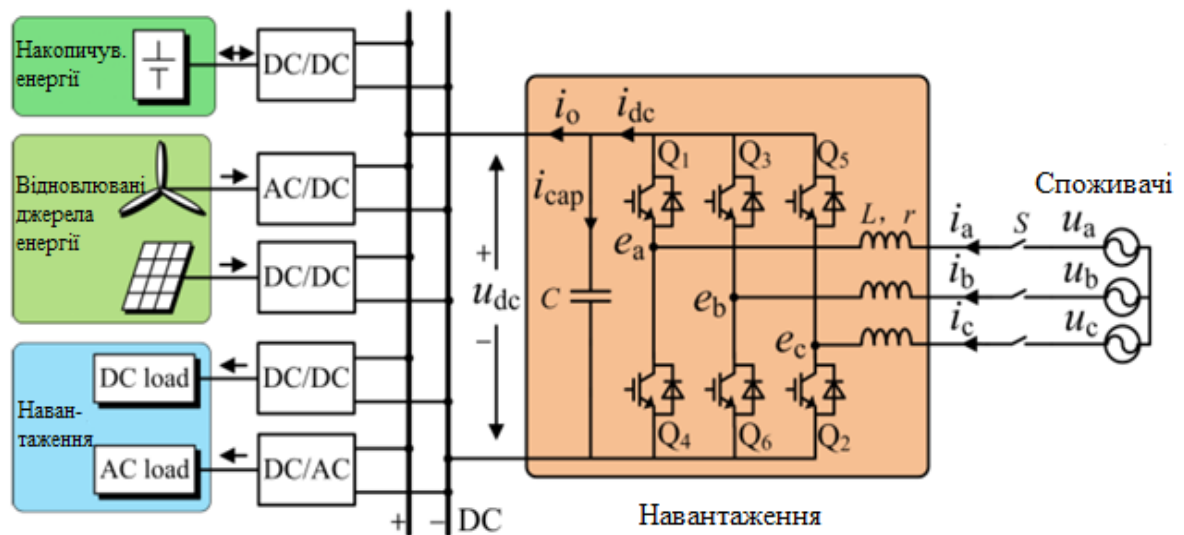


Рисунок 2.8 - Структура автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії

До складу структури автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії входять наступні складові:

- накопичувачі енергії;
- відновлювальні джерела енергії;
- навантаження;
- споживачі.

Системи диспетчерського контролю та збору даних (SCADA) були представлені в 1950-х роках разом із першими системами керування, що стосувалися проблеми візуалізації моніторингу та нагляду за промисловими підприємствами та електричними мережами.

Протягом десятиліть впроваджувалися новітні технології, такі як телеметрія та комп'ютерні рішення, але концепція SCADA сьогодні залишається незмінною.

Суспільство, у якому ми живемо, залежить від чистої та надійної електроенергії і енергетики, а постачання електроенергії ніколи не повинно бути під загрозою через неперевірені технології.

Тому необхідно провести ретельну перевірку та випробування, перш ніж рішення, засновані на нових методах, можна буде використовувати у великих масштабах. Цю перевірку можна здійснити кількома способами.

Було та буде проведено багато симуляційних досліджень, щоб дослідити переваги, які надають різні рішення. Тому здатність реалізувати вигаш за реалістичних умов експлуатації потрібно підтвердити в польових випробуваннях.

Інший спосіб перевірки - використання невеликих моделей в лабораторіях університетів. Такі дослідження часто виконуються на значно нижчих рівнях напруги та з впровадженням на гнучких процесорах або ПК, які забезпечують продуктивність, яка може бути нереальною для кінцевих комерційних каналів зв'язку та платформ обробки. Умови енергосистеми також можуть сильно відрізнятись від реальної мережі.

Основна увага була зосереджена на реалізації гнучкої мережі змінного-постійного струму, що дозволяє підключати всі компоненти до шини змінного або постійного струму. Оскільки більшість джерел розподіленої генерації - сонячні батареї, виробляють постійний струм, ідея полягала в тому, щоб побачити, чи можна реалізувати мікромережу як мережу постійного струму, щоб уникнути втрат, пов'язаних із перетворенням змінного струму.

Однак було важко знайти загальний рівень постійного струму для всіх компонентів і постійного струму від кількох пристроїв, де неможливо мати одночасно на шині постійного струму.

У зв'язку з впровадженням маломасштабної сонячної енергії в домогосподарствах проблема перенапруги стає проблемою для багатьох міських районів із великою кількістю фотоелектричних елементів.

Ці фотоелектричні пристрої можуть бути від'єднані від електромережі, коли виробляють максимальну потужність через параметри перевищення напруги, втрачаючи необхідну окупність інвестицій у фотоелектричні системи.

За допомогою локального накопичення в мережі низької напруги цього можна уникнути, а збережену енергію доставляти, як тільки мережа дозволить (що може бути лише через кілька хвилин у випадку частково хмарного неба).

Невеликі накопичувачі можуть також забезпечити кілька годин резервної потужності для всіх підключених навантажень або більш тривалу резервну роботу для деяких пріоритетних навантажень, що робить високі капітальні витрати прийнятними для деяких користувачів.

Хоча будь-яка система зберігання протягом повного циклу є чистим споживачем енергії через втрати, регулятори деяких країн класифікували пристрої як виробники, коли вони виділяють енергію. На дерегульованому ринку, де генераторам заборонено керувати мережами (а операторам мереж заборонено володіти генераторами), право власності на накопичувачі енергії суворо обмежене.

Рішення, досягнуте в деяких країнах, полягало в тому, щоб дозволити оператору електромережі володіти сховищем електроенергії для оптимізації власної роботи, якщо диспетчеризована енергія не перевищує втрати в мережі.

Повністю автоматизована система живлення дозволяє в режимі онлайн контролювати та контролювати первинне та вторинне обладнання та комунікаційну інфраструктуру. Додавання масиву датчиків, що контролюють елементи, лінії, кабелі та якість електроенергії, і четвертий прикладний рівень мережі з'являється над інформаційним рівнем. Цей прикладний рівень надає низку нових можливостей.

1. Зворотній зв'язок зі споживачами про споживання електроенергії з високою роздільною здатністю в часі.
2. Загальносистемний моніторинг для виявлення тенденцій, які вказують на зростання ризику каскадних відключень.
3. Оптимальне звільнення від навантаження як альтернатива захисту від перевантаження в мережах передачі та субмережах.

2.3 SCADA система PROMOTIC

Метою бакалаврської роботи є опис методології з'єднання системи SCADA/HMI PROMOTIC та Arduino відповідно до протоколу зв'язку Modbus, щоб кожен міг реалізувати це з'єднання. Ще одна мета - дослідити інший метод з'єднання цих двох об'єктів. Було розроблено метод зв'язування за допомогою символно-орієнтованого протоколу. У системі PROMOTIC цей протокол називається настроюваним користувачем протоколом ASCII/BIN.

Система PROMOTIC SCADA/HMI є програмним інструментом, який зазвичай використовується для більш ефективного огляду виробництва. Arduino - це, по суті, простий «комп'ютер». Це не комп'ютер у сенсі стаціонарного чи ноутбука, а комп'ютер у значенні

лічильника. Тобто пристрій, який має значення. До цього пристрою можна підключити датчики, реле, двигуни тощо.

До сьогодні система PROMOTIC в основному спілкувалася з ПЛК. Закупівельна ціна ПЛК дуже висока, і для їх роботи потрібні кваліфіковані працівники. Необхідно розгорнути ПЛК для менш вимогливих типів завдань, в яких неможливо використовувати всі придбані функції ПЛК. Тому все частіше починає використовуватися простіша платформа Arduino, яка має набагато дешевші витрати на придбання і з якою набагато легше працювати.

Для реалізації цього підключення обрано спосіб зв'язку через протоколи зв'язку. Протокол зв'язку визначає спосіб зв'язку. Для розуміння, протокол зв'язку може представляти собою «скринька», в якому дані передаються між різними об'єктами.

Для реалізації підключення було обрано два протоколи зв'язку. Ці два протоколи називаються Modbus, а символно-орієнтований протокол у системі PROMOTIC називається «Настроюваний користувачем протокол ASCII/BIN».

На основі аналізу завдання було обрано тип плати Arduino – Uno. Дана конкретна серія розробки містить в основному всі необхідні компоненти для підключення до системи PROMOTIC.

Система PROMOTIC характеризується складними функціями, виключно відкритою архітектурою та дуже вигідною ціною. На додаток до стандартних функцій, загальних для програмного забезпечення SCADA, система PROMOTIC також має складний веб-сервер, який дозволяє автоматично отримувати доступ до даних і образів додатків в Інтернеті. Ця система має повну бібліотеку комунікаційних драйверів для зв'язку з широким спектром обладнання автоматизації.

Система PROMOTIC використовує такі інструменти для створення додатків:

- зручний редактор технологічних зображень з великим набором елементарних і складних графічних елементів;
- містить мову VBScript, що відкриває широкі можливості для дизайнерів;
- використовує зв'язок Maatrix, щоб повідомляти про тривоги або будь-які інші повідомлення, які потрібно негайно пересилати відповідальному персоналу.

Основна структура системи PROMOTIC складається з двох частин. Перша частина - редактор додатків. Редактор додатків є основним інструментом для створення додатків системи PROMOTIC. Він використовується для визначення деревовидної структури об'єктів PROMOTIC, їх налаштувань, визначення алгоритмів тощо.

Друга частина - це редактор зображень. Редактор зображень використовується для створення графічних зображень додатку - груп будь-якої кількості графічних елементів, які дизайнер створює за своїми ідеями, вибираючи з палітри заздалегідь заданих елементів.

У ці елементи ви можете ввести їхні статичні властивості, або з'єднати ці властивості з посиланням на дані та оживити створену візуалізацію. Прив'язка даних може бути пов'язана з усіма важливими властивостями графічних елементів. Такі як колір, положення, розмір, вартість тощо.

Система PROMOTIC - це система візуалізації. Це означає, що необхідно створити не тільки частину даних, але і частину зображення програми. PROMOTIC вже містить попередньо налаштований інтерфейс для протоколу зв'язку Modbus. Необхідно встановити необхідні параметри для зв'язку з Arduino.

З точки зору зв'язку система PROMOTIC завжди є головною. Для такого однозначного позначення є кілька причин:

- з точки зору фізичного рівня розняття USB, розташоване в комп'ютері, механічно відрізняється від розняття, вбудованого в Arduino;

- з принципової точки зору для Arduino неможливо надсилати значення системи PROMOTIC, навіть коли система неактивна.

Частина даних є ядром усієї програми. Тут зберігаються дані, необхідні для завдання даного типу. Зображувальна частина служить для полегшення читання та аналізу даних даного завдання за допомогою графічних об'єктів. Ці об'єкти можуть відображати стан пристрою (ввімкнене світло, працює двигун і т.д.), відображати зміни значень за допомогою графіків, сповіщати про помилкові значення за допомогою сигналізації і т.д.

Створення SCADA в системі PROMOTIC здійснюється наступним чином.

1. Запуск системи PROMOTIC піктограмою програми.
2. У початковому вікні потрібно вибрати кнопку «Новий додаток».
3. Вибрати розташування та назву файлу програми.
4. Відкриється нова програма. На основі введеної інформації в порожньому додатку створюються попередньо налаштовані об'єкти.
5. Вибір макету робочого столу програми із запропонованих варіантів. Цей параметр можна змінити під час створення програми.

Створення нового об'єкта здійснюється клацанням правої кнопки миші в лівій частині вікна над об'єктом PmRoot.

Далі потрібно вибрати у меню пункт «Новий об'єкт» і підпункт «PmFolder – Папка».

Це створює новий об'єкт PROMOTIC типу PmFolder із назвою за замовчуванням «Folder0» в об'єкті PmRoot. Об'єкт можна перейменувати в будь-який момент під час розробки програми.

Для зв'язку через протокол Modbus система PROMOTIC повинна мати встановлений драйвер PmCommModbus. Цей драйвер вбудовано в об'єкт PmComm.

Драйвер PmComm забезпечує зв'язок із програмним забезпеченням та іншими підключеними пристроями, такими як ПЛК або сервери зв'язку, використовуючи послідовну лінію або Ethernet. Системні драйвери зв'язку PROMOTIC доступні не для всіх протоколів ПЛК.

Драйвер PmModbusMr забезпечує зв'язок із програмним забезпеченням та іншими підключеними пристроями, такими як ПЛК або сервери зв'язку, використовуючи послідовну лінію або мережу Ethernet. Дозволяє автоматично створювати образ отриманих даних у конфігурації протоколу Modbus у мережі.

Навіть після автоматичного створення зображення властивості цього зображення можна змінити, або є можливість вибрати автоматичне створення зображення та вимкнути або створити власний робочий стіл під час налаштування.

Значення параметрів драйвера для послідовної лінії такі, і їх можна знайти за замовчуванням у програмному забезпеченні PROMOTIC в об'єкті PmComm:

Останньою частиною проектування програми в системі PROMOTIC для зв'язку за протоколом Modbus є налаштування «Розширення шляхом підключення до об'єкта PmCommData».

Об'єкт PmCommData використовується для визначення групи даних, які будуть читатися або записуватися за допомогою даного зв'язку.

Це розширення можна додати до будь-якої змінної будь-якої програми в цьому програмному забезпеченні.

Процедура така. Під час додавання нової змінної кнопка «Додати» розташована в розділі «Розширення даних» -> натисніть і виберіть -> Comm - розширення для підключення до об'єкта PmCommData. Розширення даних – це компонент системи PROMOTIC, який розширює функціональні можливості спілкування.

Це розширення даних містить такі елементи даних.

1. Ідентифікатор розширення даних: служить для ідентифікації даного розширення. Значення за замовчуванням - "comm".

2. Цільовий об'єкт (PmCommData): визначається шляхом до цільового об'єкта, у якому має бути зареєстрована змінна даних. Цей вибір дуже важливий для безпомилкової роботи зв'язку, оскільки тут визначається тип зв'язку.

Об'єкт також можна вибрати за допомогою кнопки праворуч. Цей вибір визначає тип зв'язку, частоту оновлення та інший параметр, визначений вище.

1. Перерахунок значень: якщо позначено, отримане та передане значення буде перераховано відповідно до співвідношення:

$$PmValue = \frac{k}{d} \cdot CommValue + q, \quad (2.1)$$

де PmValue – це значення в системі PROMOTIC;

CommValue – це значення з комунікацій;

k,d,q – константи перетворення, вказані в конфігураторі.

Після запуску системи візуалізації SCADA PROMOTIC відкривається початкове вікно для створення нової програми, відкриття

вже збереженої програми, прикладів у програмі, демонстраційної програми, відкриття документації тощо.

Після створення нової програми необхідно вибрати тип новий об'єкт робочої області. Це робоча область, до якої додаються окремі об'єкти зображення. Створено новий додаток системи PROMOTIC. Щоб зв'язок працював належним чином, необхідно вибрати правильну конфігурацію зв'язку. Ця конфігурація розташована в об'єкті зв'язку.

Для більш чіткого додавання параметрів зв'язку тут наведено список зв'язків із даними та зображеннями для пристроїв, яких немає в списку. Залежно від вибору цього параметра стають доступними інші параметри, а саме послідовний порт, швидкість зв'язку, парність, період оновлення зв'язку, попередньо встановлена адреса ПЛК.

Для автоматичної генерації зображення необхідно поставити галочку в полі «Отримані дані».

Після підтвердження вибору кнопкою «ОК» буде створено папку CommModbus. Ця папка містить об'єкти типу PmData, PmComm і PmData. PmData - це об'єкт, в який вставляються графічні елементи. Тому він служить комунікаційним інтерфейсом. Об'єкт PmComm забезпечує зв'язок з іншим пристроєм через Ethernet або через послідовну лінію.

2.4 Висновки до другого розділу

1. Повністю автоматизована система живлення дозволяє в режимі онлайн контролювати та контролювати первинне та вторинне обладнання та комунікаційну інфраструктуру. Додавання масиву датчиків, що контролюють елементи, лінії, кабелі та якість

електроенергії, і четвертий прикладний рівень мережі з'являється над інформаційним рівнем.

2. Система PROMOTIC характеризується складними функціями, виключно відкритою архітектурою та дуже вигідною ціною. На додаток до стандартних функцій, загальних для програмного забезпечення SCADA, система PROMOTIC також має складний веб-сервер, який дозволяє автоматично отримувати доступ до даних і образів додатків в Інтернеті. Ця система має повну бібліотеку комунікаційних драйверів для зв'язку з широким спектром обладнання автоматизації.

3. Система PROMOTIC - це система візуалізації. Це означає, що необхідно створити не тільки частину даних, але і частину зображення програми. PROMOTIC вже містить попередньо налаштований інтерфейс для протоколу зв'язку Modbus. Необхідно встановити необхідні параметри для зв'язку з Arduino.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ ЕНЕРГІЇ

3.1 Принципи моніторингу роботи енергосистеми

Робота енергосистеми - це послідовність між різними станами системи. Стани систем характеризуються змінними стану, наприклад, величини напруги, кути напруги, потоки потужності, струми, навантаження, інжекції потужності тощо.

Під час роботи, тобто переходу з одного стану в інший, змінні стану змінюються. Моніторинг роботи енергосистеми - це спостереження за поведінкою системи протягом періоду, для якого знаходяться та аналізуються різні змінні стану.

Моніторинг складається з прогнозування та моделювання різних змінних стану та операцій, враховуючи різні непередбачені обставини та можливі майбутні сценарії. Аналіз роботи енергосистеми повертається до розрахунку різних стаціонарних режимів, оскільки різниця значень змінних стану для відносно тривалого інтервалу часу невелика.

Характер і кількість даних, необхідних для розрахунку усталеного режиму роботи енергосистеми, залежить від мети та періоду спостереження. Наприклад, для аналізу та планування роботи мережі в перспективі 4...10 років в якості вихідних даних розглядаються довгострокові прогнози навантаження та орієнтовні оцінки електричної мережі та підстанцій.

На основі проведених розрахунків можна порівняти різні підходи до проектування енергосистеми. У перспективі від кількох днів до року наперед мета полягає в тому, щоб спланувати технічне обслуговування

обладнання, вибрати адекватну конфігурацію мережі та відповідні налаштування для автоматичних регуляторів та для систем автоматизації та релейного захисту.

Для диспетчеризації мережі необхідні розрахунки, щоб зрозуміти вплив різних відхилень від нормальної роботи, напр. великі відхилення навантаження, збої обладнання тощо. Розрахунки виконуються заздалегідь або відразу після подій.

Наприклад, технічне обслуговування однієї повітряної лінії електропередачі може істотно змінити потоки електроенергії в мережі, або попередньо розраховані сценарії для різних непередбачених ситуацій для відновлення системи є цінними для диспетчерів, які контролюють роботу мережі.

Безпека постачання та якість електроенергії повинні бути забезпечені завжди. Однією з форм аналізу є ретроспективний аналіз, який вказує на те, що слід враховувати в майбутньому для успішного планування та диспетчеризації електричної мережі, а також на етапі проектування мережі.

Стаціонарний режим роботи енергосистеми складається з нормального, критичного, аварійно-відновного режимів. На рисунку 3.1 показані переходи між різними станами внаслідок керуючих дій і внаслідок збурень.

Контрольні дії, наприклад, попереджувальний контроль, коригуючий контроль, аварійний контроль і відновлювальні дії застосовуються для повернення системи до нормального режиму роботи.

Запобіжний контроль має місце в умовах незахищеної нормальної роботи, де його мета полягає в тому, щоб забезпечити продовження нормальної роботи мережі, тобто метою контролю є забезпечення виконання критерію $n-1$.

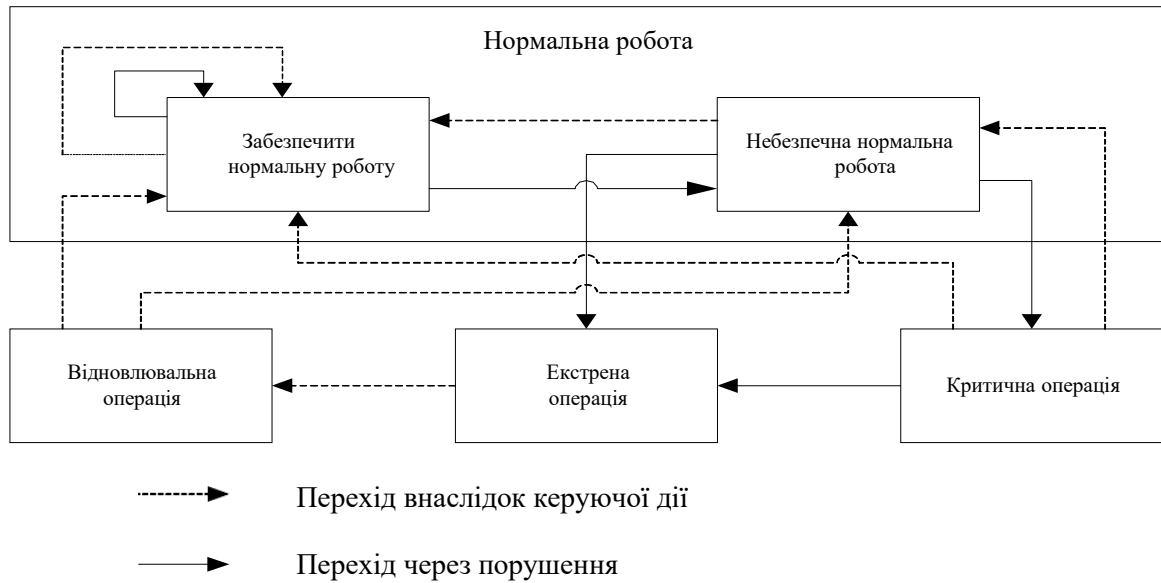


Рисунок 3.1 – Структура переходів між різними станами внаслідок керуючих дій і внаслідок збурень

Метою коригувального керування є застосування відповідних керуючих сигналів для переведення системи з критичного режиму роботи в нормальний режим роботи, напр. у разі перевантаження трансформатора його навантаження перемикається на інший трансформатор або на іншу підстанцію.

Основна мета аварійного контролю полягає в підтримці системи або її частини у випадку великої надзвичайної ситуації. Зазвичай ця функція контролю застосовується автоматично системною автоматизацією.

Наприклад, частина навантаження системи може бути скинута в разі надзвичайної ситуації. Функція відновного контролю полягає у відновленні нормальної роботи системи після аварійної ситуації. Елементи керування можуть застосовуватися мережевими диспетчерами або засобами автоматизації системи, напр. автоматичне перемикання навантаження або ліній після аварійної ситуації.

У нормальній роботі всі змінні стану повільно змінюються у відносно невеликому діапазоні. Усі навантаження системи задовольняються за вказаних рівнів напруги та частоти без порушення номінальних обмежень для будь-якого пристрою живлення. Метою контролю є моніторинг роботи та забезпечення безпеки постачання. Безпечні та незахищені нормальні операції означають характеристики поведінки системи до непередбачених ситуацій, тобто у разі непередбачених ситуацій нормальна робота системи зберігається чи ні відповідно.

Під час критичної роботи енергосистеми змінні стану також повільно змінюються у відносно невеликому діапазоні, але один або декілька робочих меж порушуються, тобто вони виходять за допустимі межі. Метою контролю роботи цієї системи є забезпечення повернення до нормального режиму роботи.

В аварійному режимі порушуються деякі робочі межі, напр. потоки потужності на повітряних лініях, неприйнятно низька частота, перенапруга тощо, а змінні стану швидко змінюються у великих межах.

У цій операції метою управління є виявлення несправності, запобігання каскаду подій і автоматичне відновлення прийнятної роботи. Систему в аварійному режимі можна примусово повернутися до нормального режиму після виконання певних коригувальних заходів.

Однак, залежно від тяжкості надзвичайної ситуації, деякі навантаження можуть бути звільнені, щоб полегшити більш катастрофічну ситуацію, що призведе до частково нормальної системи, тобто до відновної роботи.

Під час відновлювальної операції деякі навантаження не виконуються, тобто часткове або повне відключення електроенергії, але робоча частина системи знаходиться в нормальному стані. Метою

контролю в цій операції є відновлення безпечної роботи всієї енергосистеми.

Для розуміння роботи системи в різних непередбачених ситуаціях важлива реалізація інструментів аналізу, тобто потоку навантаження та відповідних методів аналізу. Наприклад, втрата лінії передачі може призвести до перевантаження лінії або перенапруги тощо.

Система може терпіти такі порушення обмежень протягом короткого періоду часу. Протягом цього періоду необхідно вжити коригувальних заходів. Рішення повинні ґрунтуватися на проведеному аналізі. У гіршому випадку для збереження системи необхідно застосувати розвантаження, вплив якого попередньо визначається.

Стаціонарний розрахунок енергосистеми є одним з найбільш часто виконуваних розрахунків для контролю та аналізу роботи системи. Він становить 50...60% усіх виконаних розрахунків як окреме завдання або як частина іншого, напр. оптимізація роботи, аналіз надзвичайних ситуацій, аналіз стабільності малого сигналу тощо.

Крім того, він відіграє важливу роль у плануванні та проектуванні розрахунків. При плануванні експлуатації визначається допустимість різних станів і визначення потреб у підсиленні мережі. В аналізі аварійних ситуацій аналізується вплив відключення трансформатора, лінії, генератора.

Для розуміння роботи мережі необхідна інформація про спостережувану мережу, особливо значення змінних стану. Найбільш цінними та цікавими вимірювальними значеннями є лінійні струми та напруги на шинах, коефіцієнти відводів трансформатора, значення навантаження тощо.

Ці значення вимірюються на підстанціях та передаються до центру керування різними інформаційними системами, наприклад SCADA,

система автоматичного зчитування показників лічильників (САЗПЛ) тощо. Система SCADA збирає вимірювання та іншу інформацію про стан з різних підстанцій і дозволяє диспетчерам та інженерам обробляти та зберігати їх у зручному форматі. Система САЗПЛ збирає вимірювання з лічильників електроенергії.

Для адекватного аналізу та контролю системи слід використовувати правильні вимірювання та інформацію. Використання різних вимірювальних пристроїв і мереж зв'язку для передачі даних може призвести до помилок у вихідних даних. Для вирішення цієї проблеми в центрах управління використовуються оцінювачі стану, які видають правильний стан системи.

Аналіз, прогнозування та моделювання роботи мережі, як правило, можна надійно спостерігати під час моніторингу спостережуваної системи. Він складається з моделювання різних компонентів мережі (ліній, трансформаторів, генераторів тощо), моделювання навантаження, складання та розв'язування рівнянь мережі тощо. Оцінку стану можна розглядати як окремий випадок, де, окрім знаходження змінних стану, дані вимірювань перевіряються та коригуються.

З точки зору системного аналізу можна вважати, що в мережах передачі надлишковість даних дуже протилежна мережам розподілу, де збір адекватних даних та інформації в системі дещо складний або навіть відсутній. У мережі електропередач майже кожна підстанція та лінія контролюються, а необхідна інформація для контролю та аналізу мережі передається в диспетчерський центр. На основі отриманої інформації приймаються рішення для оптимального керування мережею.

3.2 Принципи керування розподіленою мережею

Керування розподіленою мережею забезпечує роботу електричної мережі, яка гарантує споживачам постачання високої надійності та якості та є прийнятною з точки зору обслуговування мережі. У нормальній роботі це означає дотримання та коригування запланованої роботи та контролю перемикачів та інших операцій.

У разі виникнення непередбачених ситуацій релейний захист мережі та інша автоматика спрацьовує в залежності від своїх налаштувань. Після цього здійснюється диспетчерське управління мережею, метою якого є ліквідація наслідків аварій та відновлення нормальної роботи та забезпечення електропостачання всіх споживачів.

За роботою розподільчої мережі спостерігають диспетчери мережі 7 днів на тиждень 24 години на добу. Завдання мережевих диспетчерів наступні:

- забезпечення та контроль нормальної роботи розподіленої мережі;
- відновлення нормальної роботи після непередбачених ситуацій;
- підготувати та контролювати планове технічне обслуговування та ремонт;
- співпрацювати з іншими центрами управління.

Робота мережі повинна відповідати нормальній схемі мережі, яка забезпечує розподіл електроенергії з мінімальними втратами та гарантує безпеку та якість постачання. Оптимальна робота розподіленої мережі досягається відповідним вибором точок відключення та раціональним регулюванням напруги мережі.

Безпека постачання гарантується надійною конфігурацією мережі, де є відповідні пристрої автоматизації, напр. реле автоматичного повторного вмикання тощо, використовуються за необхідності. Крім того, можна використовувати мережеву конфігурацію mesh.

Рівень напруги в розподільній мережі регулюється на підстанціях ВН/СН і СН/НН за допомогою переважно трансформаторів і конденсаторних батарей. Мережевий диспетчер спостерігає за значенням напруги на стороні низької напруги трансформатора і при необхідності регулює напругу через системи диспетчерського контролю.

Мета полягає в утриманні рівня напруги на допустимих межах. Значення напруги є одним із важливих показників якості електроенергії. Іноді необхідно перевантажити мережеве обладнання.

Також можливі перенапруги. На короткий час допускається перевантаження з метою запуску резервів або відновлення роботи системи після непередбачених ситуацій. Наприклад, значення струму на повітряних лініях можуть перевищувати номінальні значення на 20% тривалістю не більше однієї доби, а перевищення допустимої межі струму при певній температурі навколишнього середовища не допускається.

Загалом заборонено перевантажувати кабелі. При необхідності межі перевантаження кабелю визначаються з урахуванням типу кабелю та умов його розміщення. Перевантаження трансформаторів визначається виробником трансформатора. Крім того, слід враховувати налаштування релейного захисту.

Одним із основних завдань керування розподільними мережами є усунення можливих аварійних ситуацій і збоїв. Під час надзвичайних ситуацій диспетчери повинні:

- запобігання розширенню НС;
- усунення загрози для людей і тварин і забезпечення безпеки обладнання;
- виявити та відключити пошкоджене обладнання або частину мережі;

- гарантувати нормальну роботу решти мережі;
- організувати ремонт або заміну пошкодженого обладнання
- відновлення нормальної схеми живлення та мережі після ремонту.

Інформація про непередбачені події, перш за все, отримується через SCADA, яка передає інформацію про положення комутаційних пристроїв, а також інформацію про роботу релейних пристроїв і пристроїв автоматики.

Також надається інформація про змінні робочого стану та про наявність допоміжного обладнання підстанції. Якщо значення змінних стану виходять за допустимі межі, SCADA генерує повідомлення тривоги. Додаткову інформацію можна отримати від споживачів.

Основними непередбаченими ситуаціями, які слід враховувати в розподільній мережі, є відключення повітряних ліній або кабелів, однофазне замикання на землю, несправність комутаційних пристроїв, відключення трансформатора тощо.

Відновлення постачання розпочинається після отримання та аналізу первинної інформації про надзвичайну ситуацію. На першому етапі відновлюється постачання до тих ліній або підстанцій, які постачають електроенергію великим групам споживачів або регіонам.

Необхідні перемикання виконуються через SCADA. Можливими перемиканнями є перемикання навантаження на резервний трансформатор або лінію, повторне замикання лінії тощо. У результаті перемикань подача повністю або частково відновиться. Якщо є підстанції без телекерованих вимикачів, то до процесу усунення несправності включається обслуговуючий персонал.

Крім контролю за нормальною роботою та відновленням системи від різних непередбачених ситуацій, диспетчери мережі повинні контролювати та керувати підготовкою до технічного обслуговування та

ремонту в мережі. Завдання диспетчерів – виконати необхідні перемикання, заповнити документацію та відновити нормальну схему мережі після завершення ремонтних робіт.

Управління розподіленою мережею значною мірою залежить від доступної інформації, яку пропонують інформаційні системи. Наприклад, можуть бути використані такі інформаційні системи:

- мережева інформаційна система (МІС);
- геоінформаційна система (ГІС);
- система диспетчеризації (SCADA);
- система управління розподілом (СУР);
- інформаційна система клієнтів (ІСК);
- показання лічильника електроенергії (ПЛЕ);
- якість електроенергії та навантаження (ЯЕН);
- моніторинг електричного навантаження (МЕН);
- управління розподілом енергії (УРЕ).

Мережна інформаційна система (автоматизована система картографування та управління об'єктами) керує інформацією про елементи мережі (лінії, трансформатори, комутатори тощо).

У геоінформаційній системі обробляється вся інформація, що стосується карт і графічного представлення мережі. Функції диспетчеризації електричної мережі виконує система SCADA.

Розрахунки мережі, управління несправностями та дефектами є частиною системи управління розподілом. Споживанням та інформацією про споживача керує система інформації про споживача.

Дистанційне зчитування лічильників енергії для визначення реального енергообміну здійснюється за допомогою системи зчитування лічильників енергії. Він також доповнюється системою якості

електроенергії та навантаження для визначення та вирішення проблем із якістю електроенергії.

Система моніторингу навантаження СМН, заснована на даних, отриманих від показань лічильників електроенергії та інформаційної системи споживачів, дозволяє моделювати навантаження розподільної мережі для прогнозування та аналізу.

Для підтримки енергетичного ринку використовується розподільча система енергоменеджменту, яка керує інформацією учасників ринку, надає звіти, оцінює втрати мережі тощо.

Систему диспетчеризації можна розглядати як основу сучасного управління розподільчою мережею. Система SCADA – це розподілена гетерогенна система, що складається з рівнів:

- локальні системи;
- системи передачі даних;
- центральні системи.

На рисунку 3.2 наведена структура системи диспетчеризації [5].

Дані збираються в локальних системах підстанції, звідки вони передаються за допомогою локальних ліній зв'язку на сервери зв'язку і далі на SCADA-сервер. У зворотному напрямку передаються команди управління вимикачами та іншими пристроями.

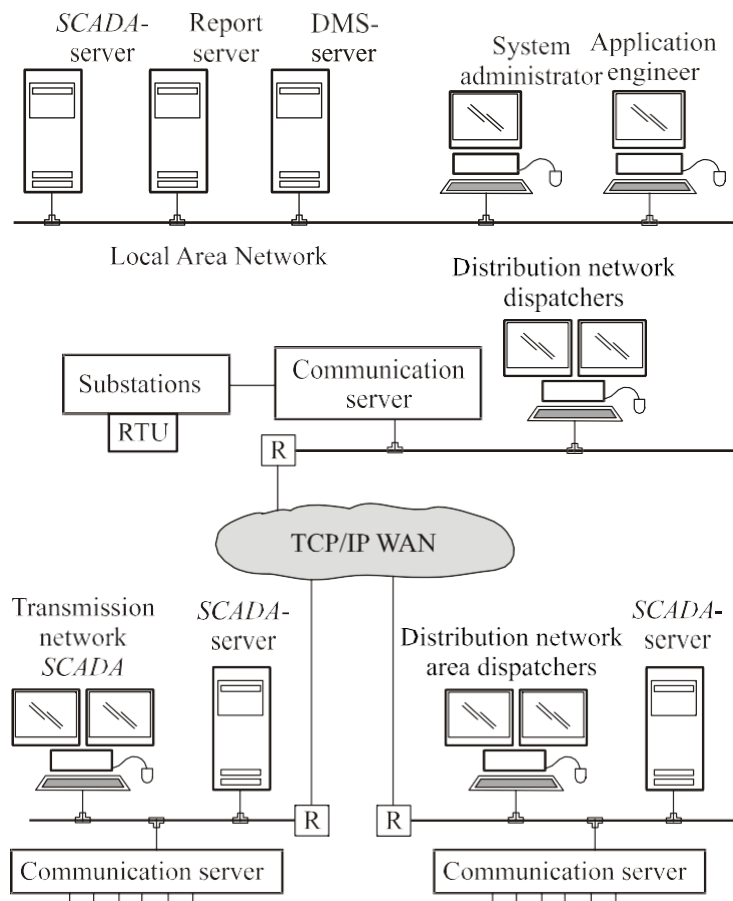


Рисунок 3.2 - Структура системи диспетчеризації

Тривале зберігання оброблених даних здійснюється на серверах звітів. За допомогою глобальної мережі (ГМ) різні регіональні центри, а також центри управління мережею передачі підключаються до центру управління розподільчою мережею. Локальні (ЛМ) і глобальні мережі підключаються через маршрутизатор R.

Локальні системи формуються системами автоматизації підстанції, на основі яких здійснюється збір даних і передача керуючих установок і команд. У локальних системах сигнали, отримані від перетворювачів, перетворюються у відповідну форму, обробляються та зберігаються. Необхідна інформація передається на вищий рівень з відповідним

обсягом і в потрібний момент. Пристрій, який готує інформацію, називається віддаленим терміналом (ВТ).

Для передачі даних потрібні системи зв'язку. Проблема тут полягає в тому, що площа мережі розподілу може бути досить великою, а обсяг даних може бути великим. Достатню швидкість передачі даних і високу надійність можна отримати за допомогою волоконно-оптичних кабелів.

Крім того, важливою проблемою є проблема зв'язку між пристроями різних виробників. Нещодавно для вирішення описаної проблеми була розпочата стандартизація протоколів передачі даних. Передача даних між підстанціями та центрами управління може бути реалізована через мережу TCP/IP або за допомогою прямих каналів у разі більш безпечної передачі даних, напр. релейний захист зв'язку.

Центральні системи є найвищим рівнем диспетчерської системи. Вони складаються з різних серверів і комунікаційних інтерфейсів для збору, аналізу та підготовки інформації для оперативного контролю та аналізу розподільчої мережі.

Робота енергосистеми визначається поведінкою навантаження. Метою системи генерації, передачі та розподілу є охоплення навантаження за будь-яких умов. Баланс між виробництвом і споживанням має існувати завжди. Неможливо споживати електроенергію, коли немає виробництва, і, з іншого боку, неможливо виробляти електроенергію, коли немає споживання. Якщо виникають дисбаланси, це може призвести до загрози безпеці енергосистеми. Тому, щоб підтримувати систему, необхідно застосовувати відповідні контрзаходи, враховуючи економічні критерії та критерії надійності, тобто адекватність генерації та балансування системи з наявними резервами в будь-який час.

3.3 Розробка SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії

SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії була розроблена для контролю та моніторингу системи розподілу електроенергії, призначена для відображення стану основних компонентів системи, керування навантаженням, а також для відображення та запису даних для деяких найважливіших і цікаві електричні параметри.

Розробка SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії лабораторії сонячної енергетики розроблена у системі PROMOTIC SCADA/HMI для моніторингу та контролю.

Система PROMOTIC SCADA/HMI у формі стандартних пакетів програмного забезпечення на ПК спілкується із Arduino, комутаторами, моніторами живлення, симулятором сонячного випромінювання та інвертором.

Початкове вікно SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії зображено на рисунку 3.3.

На початковому вікні SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії розміщено три кнопки:

- Main panel;
- Panel 2;
- Graph.

При натисканні на кнопку Main panel завантажується основна панель SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії, яка зображена на рисунку 3.4.

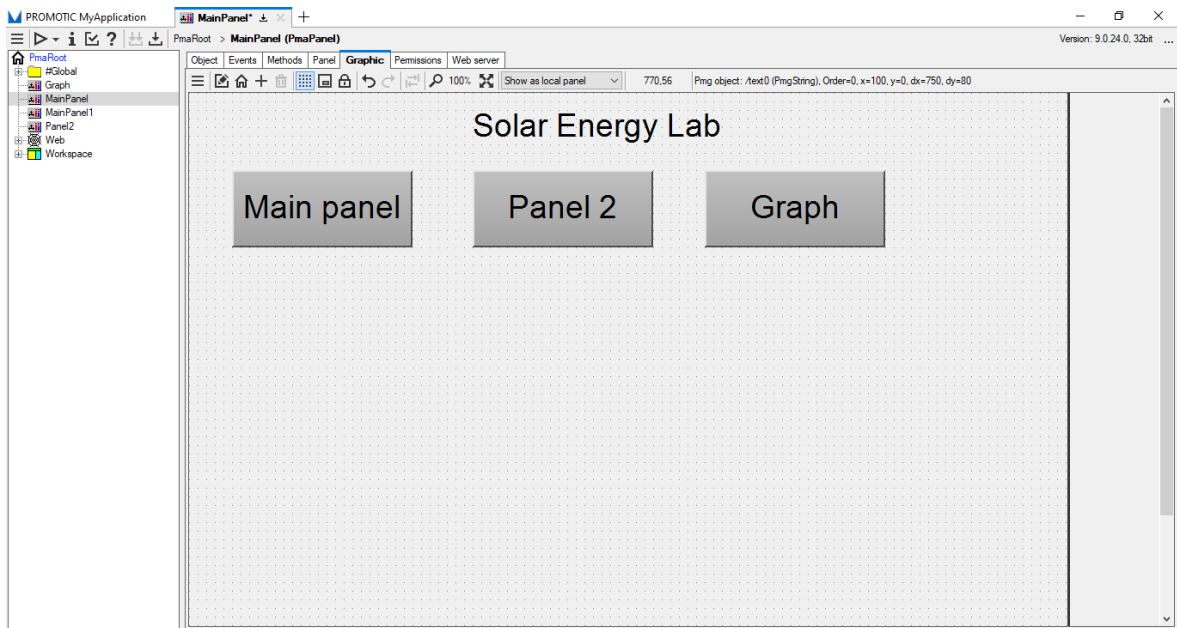


Рисунок 3.3 - Початкове вікно SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії

З основної панелі SCADA можна контролювати та записувати різні параметри. Він був розроблений таким чином, що оператор може спостерігати за параметрами в реальному часі та порівнювати ці значення з теоретичними розрахунками.

На основній панелі SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії можна спостерігати наступні параметри.

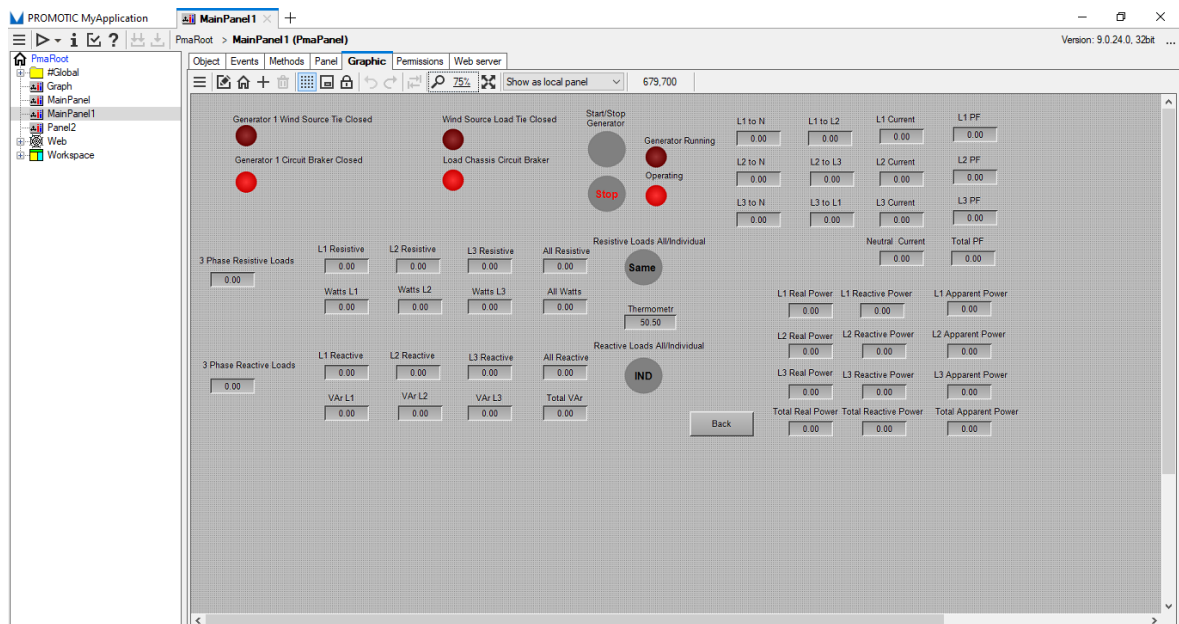


Рисунок 3.4 - Основна панель SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії

1. Напруги.

Напруги відображаються для всіх фаз лінія-лінія та лінія-нейтраль. У рамках моніторингу «базових» параметрів вимірюється кожна лінійна напруга та фазна напруга. Одне вимірювання напруги складається з 2 частин: цілого числа та експоненти.

2. Струми.

Вимірювання струму для всіх 3 фаз (струм лінії) і струму нейтралі відображаються поруч з дисплеями напруги. Подібно до вимірювань напруги, описаних вище, лінійний струм для кожної фази та нейтралі відображається на передній панелі як числове значення.

Також, що стосується даних про напругу, то вони складаються з цілої та експонентної частин. Нейтральний струм вимірюється, щоб оператор міг бачити, що відбувається, коли на генератор змінного струму подається незбалансоване навантаження.

3. Потужність.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Нижче напруги та струму відображається активну потужність, реактивна та повна потужності живлення. Числові дисплеї показують активну, реактивну та повну потужність для кожної фази. Загальні значення активної, реактивної та повної потужності також доступні на передній панелі. Застосування для кожного дисплея таке ж, як і для напруги.

4. Коефіцієнт потужності.

Коефіцієнт потужності дорівнює відношенню споживаної навантаженням активної потужності до повної потужності. Коефіцієнт потужності повинен підтримуватися на рівні або якомога ближче до одиниці.

Інформація про коефіцієнт потужності доступна для кожної фази та загального коефіцієнта потужності. Коефіцієнт потужності, що відображається на передній панелі, є «справжнім коефіцієнтом потужності» системи, де уявна потужність включає всі гармоніки системи.

SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії також вимірює та записує «коефіцієнт потужності зміщення», який є різницею фаз між струмом і напругою, але не використовується в цій програмі.

При натисканні кнопки Panel 2 завантажується основна панель 2 SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії, яка зображена на рисунку 3.5.

Панель 2 SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії розроблена спеціально для людей, які не знайомі з установкою, тому була розроблена простіша версія програми.

Програма спрощеної версії була адаптована з оригінальної програми, з якої видалено більшість функцій і використано легші для

перегляду індикатори типу «вимірювання». Основні відмінності від оригінальної програми.

1. Банк навантаження може працювати лише в режимі «Всі», тобто навантаження на кожній фазі буде однаковим. Це робиться для спрощення роботи системи.



Рисунок 3.5 - Панель 2 SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії

2. Середній струм усіх 3 фаз використовується замість струму в мережі. Нейтральний струм видалено.

3. Середня мережева напруга лише для всіх трьох фаз. Фазна напруга не входить

4. Вимірюється лише загальна активна, реактивна та повна потужність.

5. Вимірюється лише загальний коефіцієнт потужності.

При натисканні кнопки Graph завантажується панель моніторингу сонячної електростанції SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії, яка зображена на рисунку 3.6.

Панель моніторингу сонячної електростанції вимірює та записує напругу, струм, активну потужність у реальному часі та чисту активну потужність. Програма налаштована на моніторинг лише напруги та струму для фази L1, оскільки мережевий інвертор є однофазним інвертором і наразі налаштований для роботи на L1.

Активна потужність у реальному часі та чиста реальна потужність є загальними значеннями для всіх 3 фаз (хоча L2 і L3 не мають струму).

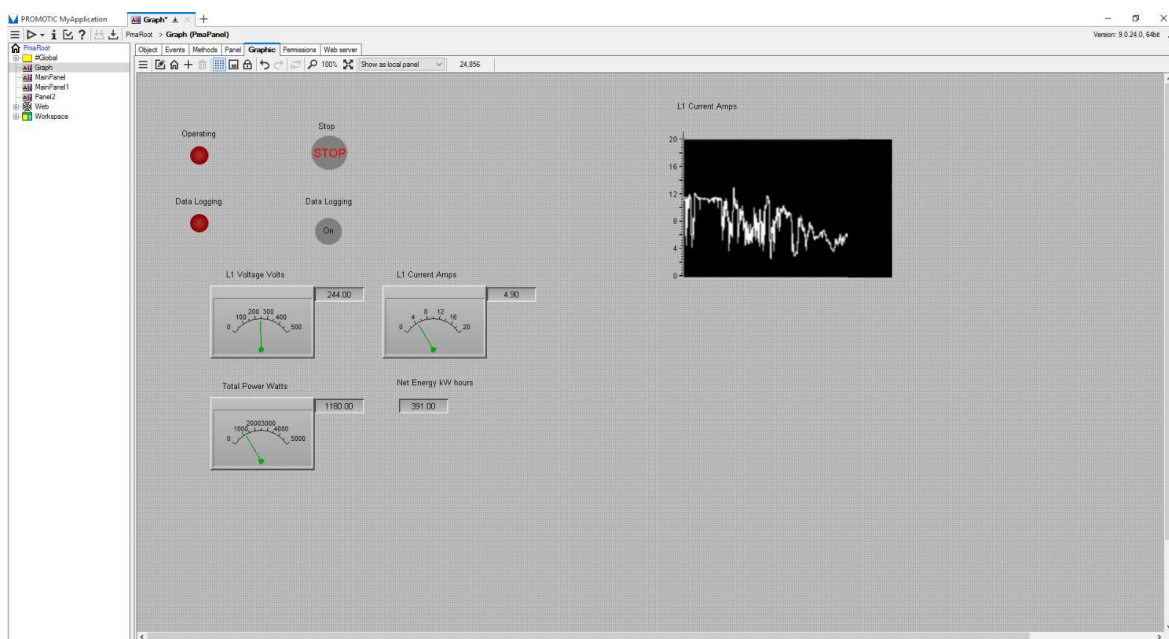


Рисунок 3.6 - Панель моніторингу сонячної електростанції

Панель моніторингу сонячної електростанції відображає напругу, струм і активну потужність у реальному часі як на аналоговому, так і на цифровому дисплеях. Струм у реальному часі також відображається на

графіку, щоб мати візуальне уявлення про те, як струм змінюється протягом певного періоду часу, наприклад, 12-годинного періоду. Чиста експортована енергія відображається лише на цифровому дисплеї.

3.4 Висновки до третього розділу

1. Моніторинг складається з прогнозування та моделювання різних змінних стану та операцій, враховуючи різні непередбачені обставини та можливі майбутні сценарії. Аналіз роботи енергосистеми повертається до розрахунку різних стаціонарних режимів, оскільки різниця значень змінних стану для відносно тривалого інтервалу часу невелика.

2. Метою коригувального керування є застосування відповідних керуючих сигналів для переведення системи з критичного режиму роботи в нормальний режим роботи, напр. у разі перевантаження трансформатора його навантаження перемикається на інший трансформатор або на іншу підстанцію.

3. SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії була розроблена для контролю та моніторингу системи розподілу електроенергії, призначена для відображення стану основних компонентів системи, керування навантаженням, а також для відображення та запису даних для деяких найважливіших і цікаві електричні параметри.

4. Робота енергосистеми визначається поведінкою навантаження. Метою системи генерації, передачі та розподілу є охоплення навантаження за будь-яких умов. Баланс між виробництвом і споживанням має існувати завжди. Неможливо споживати

електроенергію, коли немає виробництва, і, з іншого боку, неможливо виробляти електроенергію, коли немає споживання.

5. Якщо виникають дисбаланси, це може призвести до загрози безпеці енергосистеми. Тому, щоб підтримувати систему, необхідно застосовувати відповідні контрзаходи, враховуючи економічні критерії та критерії надійності, тобто адекватність генерації та балансування системи з наявними резервами в будь-який час.

					КвРАКІТ. 2020034.01.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		55

ВИСНОВКИ

1. Концепція автоматизованої системи керування розподіленою генерацією електроенергії - це загальний термін, що охоплює повний спектр функцій від захисту до системи керування мережею (СКМ), яка зазвичай називається SCADA, і прикладних програм. Основними системами в автоматизованій системі керування розподіленою генерацією електроенергії є СКМ, автоматизація підстанцій (АП), автоматизація фідерів (АФ), що підтримується системою управління розподілом (СУР).

2. Розрахунок потоку навантаження забезпечує стійкі рішення для конфігурацій кола та рівнів навантаження. Рівні навантаження оцінюються на основі «якомога більшої кількості даних у реальному часі», доступних від SCADA.

3. Повністю автоматизована система живлення дозволяє в режимі онлайн контролювати та контролювати первинне та вторинне обладнання та комунікаційну інфраструктуру. Додавання масиву датчиків, що контролюють елементи, лінії, кабелі та якість електроенергії, і четвертий прикладний рівень мережі з'являється над інформаційним рівнем.

4. SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії була розроблена для контролю та моніторингу системи розподілу електроенергії, призначена для відображення стану основних компонентів системи, керування навантаженням, а також для відображення та запису даних для деяких найважливіших і цікаві електричні параметри.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Northgote-Green, J., Wilson, R. (2007). Control and Automation of Electrical Power Distribution Systems. ISBN 978-0-8247-2631-7. 464 p.
2. ABB (2000). Technical Data and Tables. Handbook. 10th ed. Vaasa: ABB Oy. 626p. ISBN 951-99366-0-2.
3. Adine. Final Definition of ANM. Deliverable 63 of Adine Research Program. 73 p.
4. Chowdhury, S., Chowdhury, S.P., Crossley, P. (2009). Microgrids and Active Distribution Networks. London. The Institution of Engineering and Technology. ISBN 978-1-84919-014-5.
5. Jako Kilter Monitoring of Electrical Distribution Network Operation // Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з енергетики та геотехнології, Талліннський технологічний університет, 2009 р., 159 с.
6. Cheng, C. S., Shirmohammadi, D. A three-phase power flow method for real-time distribution system analysis. IEEE Transactions on Power System, 10 (2), May 1995, pp. 671-679.
7. Zhu, Y., Tomsovic, K. Adaptive power flow method for distribution systems with dispersed generation. IEEE Transactions on Power Delivery, 17 (3), July 2002, pp. 822-827.
8. Celik, M. K., Liu, W. H. E. A practical distribution state calculation algorithm. IEEE PES Winter Meeting, 1999, vol.1, pp. 442-447.
9. Xiao, P., Yu, D. C. A unified three-phase transformer model for distribution load flow calculations. IEEE Transactions on Power Systems, 21 (1), Feb 2006, pp. 153-159.
10. Thukaram, D., Wijekoon Banda, H. M., Jerome, J. A robust three phase power flow algorithm for radial distribution systems. Electric Power

Systems Research, 50 (1999), pp. 227-236.

11. Das, D., Nagi, H. S., Kothari, D. P. Novel method for solving radial distribution networks. IEE Proc. Gener. Transm. Distrib. 141 (4), July 1994, pp. 291-298.

12. Haque, M. H. A general load flow method for distribution systems. Electric Power Systems Research, 54 (1), Apr 2000, pp. 47-54.

13. Haque, M. H. Efficient load flow method for distribution systems with radial or mesh configuration. IEE Proc. Gener. Transm. Distrib. 143 (1), Jan 1996, pp. 33-38.

14. Wu, W. C., Zhang, B. M. A three-phase power flow algorithm for distribution system power flow based on loop-analysis method. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 30 (1), Jan 2008, pp. 8-15.

15. Chen, T. H., Chen, M. S., Hwang, K. J., Kotas, P., Chebli, E. A. Distribution system power flow analysis – a rigid approach. IEEE Transactions on Power Delivery, 6 (3), July 1991, pp. 1146-1152.

16. Fukuyama, Y., Nakanishi, Y., Chiang, H. D. Parallel power flow calculations in electric distribution networks. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, ISCAS, 1996, vol. 1, pp. 669-672.

17. Ferreira, L. A. F. M., de Jesus, C. M. S. C. Local network power flow analysis: an accuracy level comparison for two sets of equations. IEEE Transactions on Power Systems, 21 (4), Nov 2006, pp. 1624-1629.

18. Jabr, R. A. Radial distribution load flow using conic programming. IEEE Transactions on Power Systems, 21 (3), Aug 2006, pp. 1458-1459.

19. Losi, A., Russo, M. Dispersed generation modeling for object-oriented distribution load flow. IEEE Transactions on Power Delivery, 20 (2), Apr 2005, pp. 1532-1540.

20. Das, B. Consideration of input parameter uncertainties in load flow solution of three-phase unbalanced radial distribution system. IEEE

Transactions on Power Systems, 21 (3), Aug 2006, pp. 1088-1095.

21. Baran, M. E. Challenges in state estimation on distributed systems. In Proc. of IEEE PES Summer Meeting, vol. 1, 2001, pp. 429-433.

22. Sun, H. B., Zhang, B. M. Global state estimation for whole transmission and distribution networks. Electric Power System Research, 74 (2005), pp. 187- 195.

23. Meliopoulos, A. P. S., Zhang, F. Multiphase power flow and state estimation for power distribution systems. IEEE Trans. on Power System, vol. 11, May 1996, pp. 939-946.

24. Baran, M. E., Kelley, A. W. State estimation for real-time monitoring of distribution systems. IEEE Trans. Power. Syst. 9 (3) (1994), pp. 1601-1609.

25. Li, K. State estimation for power distribution system and measurement im- pacts. IEEE Trans. on Power Syst., vol. 11, May 1996, pp. 911-916.

26. Lu, C. N., Teng, J. H., Liu, W. H. E. Distribution system state estimation. IEEE Trans. on Power Systems, 10 (1), 1995, pp. 229-240.

27. Lin, W. M., Teng, J. H. Distribution fast decoupled state estimation by meas- urement pairing. IEE Gen. Transm. Dist., 143 (1), Jan 1996, pp. 43-48.

28. Baran, M. E., Kelley, A. W. A branch-current-based state estimation method for distribution systems. IEEE Trans. Power. Syst. 10 (1) (1995), pp. 483- 491.

29. Deng, Y., He, Y., Zhang, B. Branch-estimation-based state estimation for radial distribution systems. Proc. of IEEE PES Winter Meeting, 2000, vol. 4, pp. 2351-2356.

30. Lin, W. M., Teng, J. H., Chen, S. J. A highly efficient algorithm in treating current measurements for the branch-current-based distribution state

estima- tion. IEEE Trans. Power Delivery, 16 (3) (2001), pp. 433-439.

31. Wang, H., Schulz, N. N. A revised branch-current-based distribution state estimation algorithm and meter placement impact. IEEE Trans. on Power System, vol. 19, Feb 2004, pp. 207-213.

32. Lehtonen, M., Jalonen, M., Matsinen, A., Kuru, J., Haapamäki, V. A novel state estimation model for distribution systems. In Proc. 14th PSCC, Sevilla, 2002, 5 pp.

33. Handschin, E., Langer, M., Kliokys, E. An interior point method for state estimation with current magnitude measurements nad inequality constraints.

34. Ghosh, A. K., Lubkeman, D. L., Downey, M. J., Jones, R. H. Distribution circuit state estimation using probabilistic approach. IEEE Trans. Power Systems, vol.12, Feb, 1997, pp. 45-51.

35. Lubkeman, D. L., Zhang, J., Ghosh, A. K., Jones, R. H. Field results for a distribution circuit state estimator implementation. IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 12, Feb 1997, pp. 45-51.

36. Roytelman, I., Shahidehpour, S. M. State estimation for electric power distribution systems in quasi real-time conditions. IEEE Trans. on Power De- livery, 8 (4), 1993, pp. 2009-2015.

37. Lakervi, E., Holmes, E. Electricity Distribution Network Design, 2nd Edi- tion. IET, 2003, 325 pp.

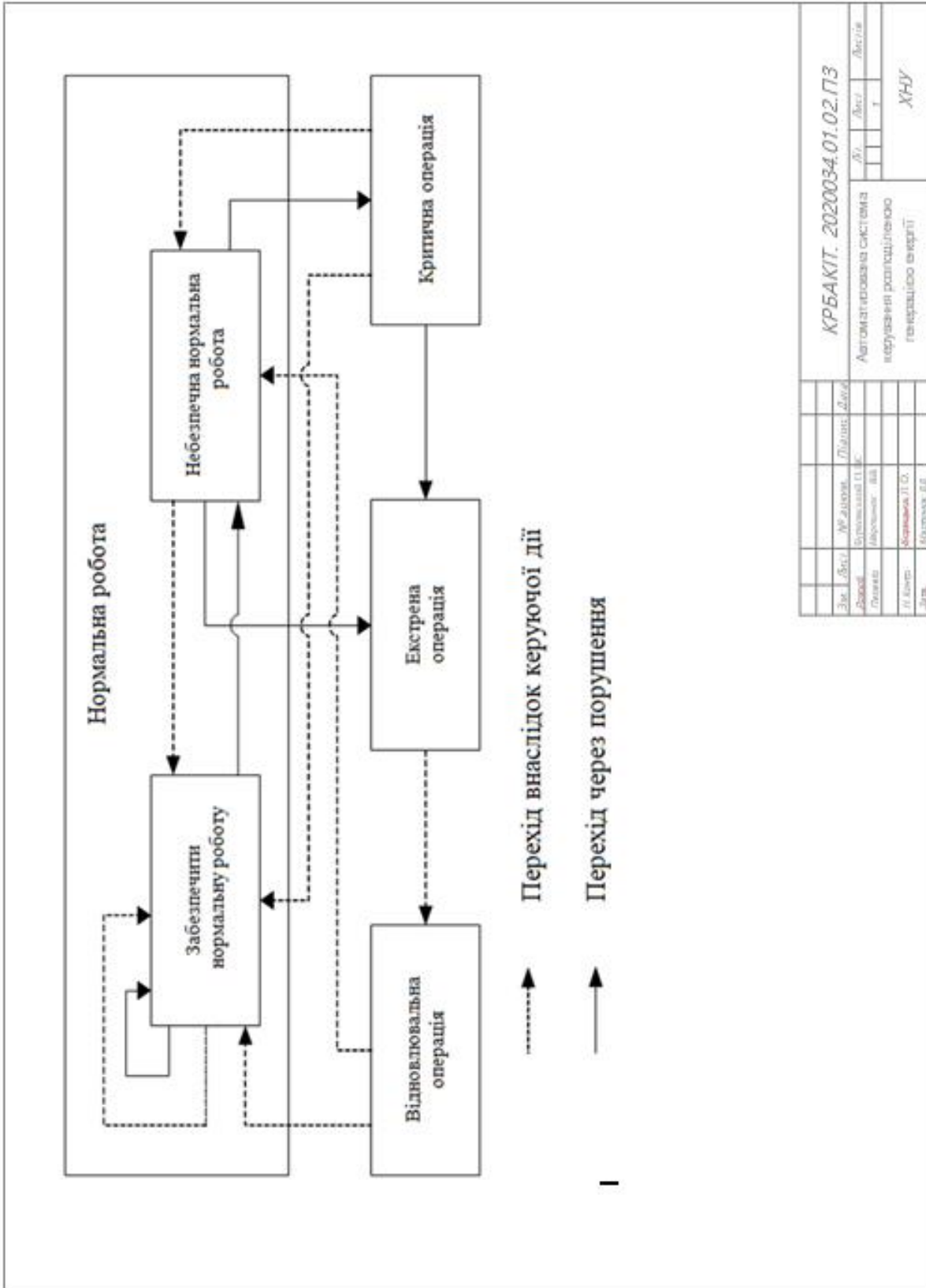
38. Hingorani, N. G., Gyugyi, L. Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems. Wiley-IEEE Press, 2000, 432 pp.

39. Benysek, G. Improvement in the Quality of Delivery of Electrical Energy using Power Electronics Systems. Springer, 2007, 191 pp.

40. Moreno-Munoz, A. Power Quality: Mitigation Technologies in a Distributed Environment. Springer, 2007, 423 pp.

ДОДАТКИ

Додаток А
Структура переходів між різними станами системи генерації



Зам. №		№ докум.	Підпис	Дата	Лист	Листів
Додаток		Бухгалтерський				
Листів		Місцева				
№		Відомості				
Датум		Місцева				
КРБАКІТ. 2020034.01.02.ПЗ						
Автоматизована система керування розподіленою генерацією енергії						
ХНУ						

Додаток Б

Основна панель SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії

The screenshot displays the main SCADA control panel. The interface includes a top menu bar with options like 'MainPanel1', 'MainPanel2', and 'MainPanel3'. Below the menu is a toolbar with icons for navigation and control. The main area is filled with numerous control elements, including status indicators (red and green circles), buttons, and numerical readouts for various system parameters. A 'Stop' button is prominently displayed in the center. The bottom of the screen shows a Windows taskbar with several open applications.

КРБАКТ. 2020034.01.02.ПЗ	
ДЛЯ	ДЛЯ
ДЛЯ	ДЛЯ
Автоматизована система керування розподіленою генерацією енергії	
КНД	

Ім'я користувача:
Кафедра АКІТІТК

ID перевірки:
1015585678

Дата перевірки:
13.06.2023 14:48:06 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
13.06.2023 22:04:57 EEST

ID користувача:
100005862

Назва документа: Burkovskiy v2

Кількість сторінок: 64 Кількість слів: 10551 Кількість символів: 87606 Розмір файлу: 6.02 MB ID файлу: 1015235446

1472 слова позначені як "вилучені" та не враховуються у підрахунку слів

1.37% Схожість

Найбільша схожість: 1.08% з Інтернет-джерелом (<http://elar.khmnu.edu.ua/bitstream/123456789/10422/1/%D0%93%D1%>)

1.12% Джерела з Інтернету

62

Сторінка 66

1.35% Джерела з Бібліотеки

4

Сторінка 66

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0.01% Вилучень

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

0% Вилучення з Інтернету

7

Сторінка 67

0.01% Вилученого тексту з Бібліотеки

7

Сторінка 67

Модифікації

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

Замінені символи

1

Anti-Plagiarism v-15.257**Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%****Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 9%**

ID: 116033 Назва: БКР Автоматизована система керування розподіленою генерацією енергії Додано в БД: 2023-06-13 Автора: Олександр БУРКОВСЬКИЙ Керівники: Валерій МАРТИНЮК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	71754	586	1826 (3%)	26 (4%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Бурковський Олександр Володимирович

Тема: Автоматизована система керування розподіленою генерацією енергії

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

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 60

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: розроблено автоматизовану систему керування розподіленою генерацією енергії, розроблено SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії

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 розподіленою генерацією енергії, проаналізовано існуючі типи автоматизованих систем керування розподіленою генерацією енергії та встановлено їх основні переваги та недоліки. У другому розділі проведено аналіз вимог технічного завдання на розробку автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії, розроблено структуру автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії, розглянуто особливості SCADA система PROMOTIC. У третьому розділі розроблено програмне забезпечення автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії, розглянуто принципи моніторингу роботи енергосистеми, розглянуто принципи керування розподіленою мережею, розроблено SCADA автоматизованої системи керування розподіленою генерацією енергії.

4. Позитивні сторони роботи: рівні навантаження електромережі оцінюються на основі «якомога більшої кількості даних у реальному часі», доступних від SCADA.

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.

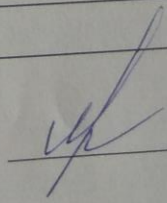
8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (3,75/С)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) К. Г. Ч.

доцент кафедри ТМІТ Ілліаш Віктор
Володимир робіт

"13" 06 2023 р.

 (підпис)

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

Бурковський О.В.

ІІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи АКІТс-20-1

ЗАЯВА

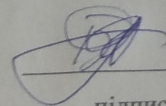
З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, 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.

09.06.2023

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 розподіленою генерацією енергії
 Автор: Бурковський Олександр Володимирович
 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:

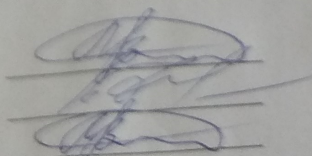
#	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий 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 загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних фразах (типушка, 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.
- Смарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 1,37% і адресується до 80 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Дата: 06.02.2024
 Завідуючий кафедрою
 Керівник освітньої програми



Валерій МАРТИНЮК
 Юрій ФОРКУН
 Валерій МАРТИНЮК