

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Розроблення системи управління пристроями електричних мереж  
промислового підприємства  
(тема)

Виконав:  
здобувач 2 року навчання,  
групи КІПВМ-23-2

Губарь А.Ю.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки  
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Сезонова І.К.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Невлюдов І.Ш.  
(прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

«25» листопада 2024 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Губарю Артему Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи управління пристроями електричних мереж промислового підприємства

затверджена наказом університету від 22 листопада 2024 р. № 1231 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 22 січня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

3.1 Розробка архітектури системи управління пристроями електромереж \_\_\_\_\_

3.2 Розробка прототипу електромережі промислового підприємства \_\_\_\_\_

3.3 Комп'ютерне моделювання роботи системи управління електромережею \_\_\_\_\_

3.4 Програмний засіб управління електромережею \_\_\_\_\_

3.5 Охорона праці \_\_\_\_\_

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

4.1 Вступ; \_\_\_\_\_

4.2 Аналіз готових рішень автоматизації управління елементами електромереж; \_\_\_\_\_

4.3 Розробка системи управління елементами електромереж промислового підприємства; \_\_\_\_\_

4.4 Архітектура і модель системи автоматичного управління електромережею; \_\_\_\_\_

4.5 Вибір мови програмування та фреймворків; \_\_\_\_\_

4.6 Моделювання роботи системи управління електромережею та керівництво користувача; \_\_\_\_\_

4.7 Висновки та перелік джерел посилань. \_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації Power Point (\*.pptx). 12с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	25.11.2024	Виконано
2	Аналіз готових рішень розумних мереж	30.11.2024	Виконано
3	Обґрунтування вибору програмного забезпечення	01.12.2024	Виконано
4	Розроблення системи керування пристроями	07.12.2024	Виконано
5	Планування та проведення експериментів	12.12.2024	Виконано
6	Аналіз результатів проведеної роботи	16.12.2024	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	23.12.2024	Виконано
8	Оформлення графічної частини	26.12.2024	Виконано
9	Підготовка презентації	09.01.2024	Виконано
10	Подання роботи на рецензування	14.01.2024	Виконано
11	Попередній захист	17.01.2025	Виконано
12	Подання роботи до екзаменаційної комісії	22.01.2025	Виконано

Дата видачі завдання 25.11.2024 р.

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

Я, як здобувач ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

«20» січня 2024 р.



Губарь А.Ю.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 66 с., 7 табл., 20 рис., 6 дод., 25 джерел.

### АВТОМАТИЗАЦІЯ, ЕЛЕКТРОЕЛЕМЕНТИ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, МОНІТОРИНГ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ

Об'єкт дослідження – архітектура та пристрої електромереж.

Предмет дослідження – процес управління елементами електромереж.

Мета кваліфікаційної роботи – автоматизація управління роботою елементів електромереж з метою підвищення їх енергоефективності.

Методи дослідження – аналіз та синтез, моделювання, математичні методи, програмне моделювання.

У кваліфікаційній роботі розробляється програмне забезпечення для автоматизації управління роботою елементів електромереж з метою підвищення їх енергоефективності. Для цього проведено аналіз існуючих систем автоматизації електромереж та обґрунтовано вибір найбільш ефективних рішень. Використано методи системного аналізу та математичного моделювання для розробки алгоритмів автоматичного контролю і управління.

На основі отриманих результатів розроблено математичні моделі для управління енергоефективністю електромережі та проведено серію експериментів для оцінки впливу різних параметрів на функціонування автоматизованих елементів електромереж.

Робота відноситься до цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», а саме пункту 9.4 «Сприяти прискореному розвитку високо- та середньотехнологічних секторів переробної промисловості, які формуються на основі використання ланцюгів «освіта – наука – виробництво» та кластерного підходу за напрямками: розвиток інноваційної екосистеми; розвиток інформаційно-телекомунікаційних технологій (ІКТ); застосування ІКТ в АПК, енергетиці,

транспорті та промисловості; високотехнологічне машинобудування; створення нових матеріалів; розвиток фармацевтичної та біоінженерної галузей».

## ABSTRACT

Explanatory note: 66p., 7 tables, 20 figures, 6 appendices, 20 sources.

AUTOMATION, ELECTRICAL ELEMENTS, ENERGY EFFICIENCY,  
POWER GRID MONITORING, IMPROVING ENERGY EFFICIENCY.

The object of the research – the architecture and devices of electrical networks.

The subject of the research – the process of managing electrical network elements.

The aim of the qualification work – the automation of controlling the operation of electrical network elements to improve their energy efficiency.

Research methods – analysis and synthesis, modeling, mathematical methods, and software modeling.

In the qualification work, software is developed for automating the management of electrical network elements to enhance their energy efficiency. For this purpose, an analysis of existing electrical network automation systems was conducted, and the most effective solutions were justified. Methods of system analysis and mathematical modeling were used to develop algorithms for automatic control and management.

Based on the obtained results, mathematical models for managing the energy efficiency of electrical networks were developed, and a series of experiments were conducted to assess the impact of various parameters on the functioning of automated elements of electrical networks.

The work relates to Sustainable Development Goal 9: "Industry, Innovation, and Infrastructure," specifically point 9.4: "Promote accelerated development of high- and medium-technology sectors of the processing industry, formed on the basis of the 'education – science – production' chains and a cluster approach in the following areas: development of an innovative ecosystem; development of information and communication technologies (ICT); application of ICT in agriculture, energy, transport, and industry; high-tech engineering; creation of new materials; development of the pharmaceutical and bioengineering sectors."

## ЗМІСТ

Вступ.....	11
1 Аналіз готових рішень автоматизації управління елементами електромереж....	13
1.1 Основні напрями автоматизації управління роботою електромереж.....	13
1.2 Розумні мережі .....	14
1.2.1 Історія розвитку розумних мереж .....	14
1.2.2 Основні проблеми традиційних електромереж .....	15
1.2.3 Ключові технології розумних мереж .....	17
1.2.4 Електроніка для управління потоками енергії.....	19
1.3 Огляд інтелектуальних лічильників.....	20
1.3.1 Функціональні можливості інтелектуальних лічильників .....	20
1.3.2 Види інтелектуальних лічильників .....	22
1.3.3 Аналіз популярних інтелектуальних електролічильників.....	24
1.4 Огляд готових рішень SCADA систем .....	27
1.4.1 SIMATIC WinCC .....	27
1.4.2 Schneider Electric EcoStruxure .....	29
1.4.3 GE Digital iFIX.....	31
1.5 Постановка мети та задач дослідження .....	35
1.6 Висновки до розділу 1 .....	36
2 Розробка системи управління елементами електромереж промислового підприємства .....	37
2.1 Розробка прототипу електромережі підприємства.....	37
2.1.1 Опис технології прототипування .....	37
2.1.2 Діаграма готового прототипу .....	38
2.2 Опис архітектури системи.....	39

	9
2.2.1 Обґрунтування вибору програмного забезпечення та технологій.....	40
2.2.1.1 Використані мови програмування та фреймворки .....	41
2.2.1.2 Вибір бази даних та інструментів для інтеграції з SCADA.....	42
2.2.2 Організація іменування тем повідомлень у MQTT-брокері.....	42
2.2.3 Модуль моніторингу.....	43
2.2.4 Модуль керування.....	44
2.2.5 Інтерфейс оператора .....	45
2.3 Висновки до розділу 2 .....	50
3 Комп'ютерне моделювання системи автоматичного управління .....	51
3.1 Опис основних елементів дослідження .....	51
3.2 Висновки до розділу 3 .....	57
4 Охорона праці .....	58
4.1 Загальні вимоги .....	58
4.2 Висновки до розділу 4 .....	60
Висновки .....	61
Перелік джерел посилання .....	63
Додаток А Апробація результатів наукових досліджень.....	66
Додаток Б Демонстраційний матеріал .....	145
Додаток В Лістинг програми .....	153

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ**

ЗР – захисне реле;

ПЗ – програмне забезпечення;

РЩ – розподільний щит;

MQTT – Message Queue Telemetry Transport;

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition;

HVDC – High-voltage direct current;

FACTS – Flexible AC Transmission Systems;

UPFC – Unified power flow controller;

STATCOM – Static synchronous compensator;

PLC – Power Line Communication.

## ВСТУП

Важливим етапом у розвитку сучасних енергосистем стала автоматизація управління електричними елементами. У зв'язку з постійними відключеннями впровадження технологій автоматизації підвищує актуальність. Крім того електромережі у сучасному світі потребують інтеграції автоматизованих рішень для управління та контролю енергетичних ресурсів.

Автоматизація призводить до значного покращення стабільності роботи, що є вкрай важливим в умовах віялових відключень. Автоматизація електросистеми включає в себе такі модулі як модуль моніторингу, керування та інтерфейс оператора. Ця система дозволяє покращити користувацький досвід, поліпшити управління навантаженням, створювати більш стабільну систему під час кризи та нестачі електричних ресурсів.

Одним із завдань є розробка математичної моделі, що дозволить на основі вхідних параметрів автоматично керувати електросистемою. Тому важливим аспектом цього дослідження є вивчення основних параметрів, на основі яких буде працювати автоматична система для досягнення більшої стабільності.

Таким чином, метою роботи є автоматизація управління роботою елементів електромереж з метою підвищення їх енергоефективності, за рахунок створення системи управління, яка враховує зміни параметрів навантаження та особливості застосування нових цифрових пристроїв управління.

Об'єкт дослідження – це архітектура та пристрої електромереж.

Предметом дослідження є процес управління елементами електромереж.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасних технологій автоматизації елементів електромереж;

- розробити математичні моделі, що описують вплив параметрів автоматизації на енергоефективність електромереж;

– виконати моделювання системи автоматизації, яка керує показниками роботи електромережі промислового підприємства, включаючи надійність, стабільність та мінімізацію енергетичних витрат.

Робота відноситься до цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», а саме пункту 9.4 «Сприяти прискореному розвитку високо- та середньотехнологічних секторів переробної промисловості, які формуються на основі використання ланцюгів «освіта – наука – виробництво» та кластерного підходу за напрямками: розвиток інноваційної екосистеми; розвиток інформаційно-телекомунікаційних технологій (ІКТ); застосування ІКТ в АПК, енергетиці, транспорті та промисловості; високотехнологічне машинобудування; створення нових матеріалів; розвиток фармацевтичної та біоінженерної галузей».

Робота виконана згідно з [1-3].

# 1 АНАЛІЗ ГОТОВИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ

## 1.1 Основні напрями автоматизації управління роботою електромереж

Автоматизація елементів електромереж це важливий етап у розвитку автоматичних систем енергозбереження. Вона збільшить ефективність, надійність та безпеку для роботи мереж. Сучасні електромережі повинні забезпечувати стабільне постачання електроенергії, навіть з підвищенням попиту та появи нових джерел енергії, важливий фактор при цьому забезпечення стабільної роботи. На допомогу приходить автоматизація та розвиток розумних електромереж (Smart Grids). Розумні мережі – основний напрямок для розвитку в цій галузі.

Smart Grids дозволяють підвищити гнучкість електричних мереж до змін. Вони роблять їх більш адаптивними та надійними. Це інноваційна система управління електричною мережею, яка збирає та аналізує данні, оптимізацією передачі та розподіляє енергію в режимі реального часу. Ці системи мають можливість автоматично регулювати потоки енергії в залежності від попиту і пропозиції. А саме головне – швидко виявляти і реагувати на аварії або несправності. Тож однією з основних напрямів автоматизації є розвиток Smart Grids.

Розумні мережі надають операторам можливість ефективніше керувати ресурсами, зменшити витрати на обслуговування та модернізацію мереж, а крім того покращити стабільність електричної мережі. Також ці системи дозволяють більш гнучку інтеграцію відновлювальних джерел енергії, наприклад сонячних або вітрових електростанцій. Інтеграція відновлювальних джерел енергії є важливою частиною розвитку екологічно-стійкої енергетики. Отже Smart Grids знижує ризики перевантаження мережі або збоїв, що пов'язані з нестабільністю постачання енергії.

Перед проведенням аналізу даних виконується збір даних, а саме завдяки електронним пристроям таким як Smart Meters забезпечується автоматичний збір

даних. Інтелектуальні лічильники (Smart Meters) дозволяють користувачам мережі отримувати точні дані про стан електромережі у реальному часі, а також керувати ними. Завдяки отриманим даним стає можливим аналіз та оптимізація споживання, що дозволяє створити більш стабільну систему. Ці інструменти значно спрощують роботу операторам та користувачам мереж. Що робить його одним із важливих напрямів автоматизації управління електромережами[4].

Енергія передається через велику кількість споживачів, вона часто втрачається або використовується нераціонально. Інтелектуальні лічильники допомагають виявляти такі проблеми. Вони дозволяють швидко їх вирішувати, зменшуючи втрати. Споживачі отримують більше контролю над витратами. Це дає змогу вибирати відповідні тарифи, залежно від періодів активності мережі.

Технології, такі як Smart Grids, інтелектуальні лічильники і «розумні будинки», дозволяють створити ефективне управління енергосистемами. Вони допомагають знижувати навантаження на мережу. Це робить енергоспоживання більш збалансованим. Такі технології підтримують розвиток відновлюваних джерел енергії.

## 1.2 Розумні мережі

### 1.2.1 Історія розвитку розумних мереж

Задумка розумних мереж з'явилася відносно нещодавно. Але основи цієї думки почали з'являтися в середині минулого століття. Тоді в енергетиці виникла потреба удосконалити старі системи. Важливо було підвищити безпомилкову подачу електроенергії. Стандартні мережі працювали за централізованими схемами. Вони визначали відокремлення виробництва та розподілу від кінцевих споживачів. Ця модель не могла пристосовуватися до змін потреб в реальному часі.

У 50-70-х роках почали з'являтися перші автоматизовані системи. Вони в основному займалися моніторингом великих станцій. Ці технології важливі, але не надавали необхідної гнучкості. Потреба в цьому збільшувалася через зміни в енергетичних процесах.

У 1980-х, коли інфраструктура ускладнилася, а споживання збільшилося, з'явилися нові підходи до управління. За допомогою розвитку інформаційних технологій утворилась можливість автоматизувати процеси. Поява SCADA дозволила збирати дані з віддалених точок. Це стало основою для нових технологій у енергетичному секторі.

У 2000-х комп'ютери й комунікації стали важливими для розвитку мереж. Інтерес до екологічних рішень став підґрунтям для розвитку Smart Grids. Високий рівень урбанізації в країнах США, Японії та ЄС призвів до першочергового впровадження розумних мереж. У цей час почалась інтеграція поновлюваних джерел енергії, як от сонячні та вітрові станції. Це змушувало розробляти нові методи управління енергією.

У США у 2007 році було прийнято важливий закон. Він ухвалив розробку технологій для Smart Grids. Відповідно, енергетичні компанії отримали фінансування на інтеграцію поновлюваних джерел і автоматизацію управління[5].

Сучасне представлення «розумних мереж» поєднує інформаційні технології та засоби автоматизації. Це дає змогу робити саморегульовані системи, які швидко реагують на зміни в попиті. Інтеграція віддаленого контролю та аналізу даних у реальному часі дозволяє ефективно управляти як централізованим, так і локальним виробництвом.

Більше того, розумні мережі мають змогу обслуговувати нові типи споживачів, як електромобілі чи інтелектуальні будинки. Це допускає покращення ефективності використання енергії.

### 1.2.2 Основні проблеми традиційних електромереж

Електричні мережі бувають різні. Одні з них працюють за принципом централізації. Вони виготовляють енергію в одному місці і передають її далі. Це важливий елемент сучасної інфраструктури. Однак є й недоліки це їхня ефективність не завжди висока, технічні проблеми теж виникають. Тому такі мережі не можуть задовольнити всі сучасні вимоги.

Старі енергетичні мережі вже стали значною проблемою. Багато з них були збудовані понад 50 років тому. Їхній ресурс близький до завершення. Часті поломки викликають серйозні витрати. З'являється все більше необхідності в ремонті та відновленні. Витрати на технічне обслуговування теж зростають. Крім того, зростає ймовірність перебоїв у постачанні енергії. Оновлення таких мереж потребує великих коштів, що важко дається підприємствам та державним органам. Такі мережі не можуть швидко реагувати на зміни. Вони забезпечують енергію лише в одному напрямку – від виробників до споживачів. Це ускладнює адаптацію до нових умов. Наприклад, відновлювані джерела енергії не можна легко інтегрувати в ці системи. Вони працюють нестабільно, що потребує спеціальних механізмів для стабілізації потоку енергії. Великі втрати енергії під час передачі знижують ефективність роботи мереж. Традиційні методи не дозволяють значно зменшити ці втрати. Вартість енергоресурсів через це зростає, а для природи це завдає шкоди. Мережі старого типу також не можуть швидко адаптуватися до змін у способах виробництва енергії.

Інтеграція відновлювальних джерел також зіштовхується з численними труднощами. Це ускладнює підключення нових електростанцій. Без оновлення ці системи не можуть максимально використати можливості нових джерел енергії. Теперішня ситуація вимагає швидкого контролю в реальному часі. Але старі системи не мають можливості надавати таку інформацію. Через це поломки відбувається зненацька. Нестача нових даних також ускладнює управління мережею і знижує її надійність. Вся структура централізована, і це стає джерелом великих проблем. Якщо станцій або ліній стає забагато, вони регулярно ламаються, і в результаті стають джерелом масштабних відключень. Додаткових механізмів для підтримки працездатності такої мережі важко назвати. За рахунок нового підходу до технологій енергія стає дуже популярним продуктом. Електрифікація транспорту та збільшення лише кількості клієнтів робить старі мережі неспроможними в ситуації з навантаженням. Це призводить до перевантаження та відключення мережі. Існуючі мережі з часом стають дорогим задоволенням для експлуатації. Погіршення їхньої якості роботи потребує значних сум для

підтримання роботи. Технічні проблеми стають локальними аваріями або перешкоджанням, які важко ліквідувати, що робить ремонт дорожче[6].

### 1.2.3 Ключові технології розумних мереж

Сучасні розумні мережі, або Smart Grids, відрізняються від традиційних електромереж тим, що мають в собі цілий комплекс передових технологій для покращення управління енергетичною системою. А саме її гнучкості, надійності та можливості забезпечити енергоефективність на всіх рівнях. Ці технології не тільки оновлюють існуючу інфраструктуру, але й додають нові можливості для використання, що враховує розвиток поновлюваних джерел енергії та динаміки потреби на електроенергію.

Одна з основних технологій для Smart Grids є інтелектуальні вимірювальні прилади. Ці «розумні лічильники» дозволяють бачити точні дані про споживання енергії в режимі реального часу. Через зв'язок між споживачами та постачальниками, можна швидко стежити за енергоспоживанням. Тим самим знижуючи пікові навантаження та зменшуючи витрати як для споживачів, так і для енергетичних компаній. Це важливо для більшої взаємодовіри у відносинах між енергетичними компаніями та їх клієнтами.

Системи контролю й управління є важливими, адже вони автоматизують процеси та спрощують спостереження. Мережа може працювати цілодобово, саме через це зміни які відбуваються у навантаженні видно одразу. Наприклад, аварії виявляються швидше бо реакція оперативна, збоїв на багато менше та можна уникнути великих проблем. Ця система автоматизованого контролю відома як SCADA.

Сучасні комунікаційні технології – як дротові канали зв'язку, так і оптоволоконні мережі – є важливими для роботи Smart Grids. Ці канали створюють основу для безперервного обміну даними між усіма елементами мережі, від електростанцій до кінцевих споживачів. Шляхом високошвидкісного зв'язку можна тримати під контролем роботу всієї системи, адаптувати її до змін і швидко реагувати на вимоги як щодо обсягу, так і щодо розподілу енергії.

Системи керування енергією поліпшують оптимізацію всієї енергосистеми, адже дозволяють зменшувати навантаження. Це призводить до виникнення надлишків енергії, що можуть бути використані у майбутньому. Тим саме формує попит на інтеграцію альтернативних джерела енергії. Це все створює баланс між попитом і пропозицією, регулюючи витрати та покращуючи стабільність.

У побудові Smart Grids значну роль відіграють пристрої (FACTS), які керують потоком. Вони потрібні в мережі змінного струму для стабілізації. Робота компенсаторів, тиристорних пристроїв, які регулюють потік, допомагає в передачі енергії, що покращує розподіл електрики[7].

Технології (HVDC), які зменшують втрати енергії, відіграють не менш важливу роль. Високовольтні лінії постійного струму ефективні для передачі на великі відстані, що особливо корисно для міжрегіональних мереж. Такі рішення підходять для подачі енергії від поновлюваних джерел. Наприклад, для вітряних станцій[8].

Щоб мережа працювала стабільно технології Smart Grids використовують накопичення енергії. Різні види батарей, суперконденсаторів та інші види технологій накопичення дозволяють створювати резерви для покриття пікових навантажень і підтримувати безперебійну поставку.

Системи Smart Grids вимагають інформаційні технологій для роботи, тому можна сказати, що важливі не тільки прилади. Інформаційні технології допомагають збирати та аналізувати дані. Аналітика даних з допомогою машинного навчання допомагають прогнозувати споживання, а це дозволяє зрозуміти, що може привести до поломок. Також вони дають рекомендації щодо оптимізації роботи мережі, що дозволяє значно підвищити точність рішень і зробити систему гнучкішою.

Діджиталізація зростає і з нею виникають кіберзагрози. Щоб захиститися від них, використовують спеціальні методи, впроваджують технології кібербезпеки, які допомагають від атак. Вони роблять дані більш захищеними і система працює стабільно. Нові методи відкривають безліч можливостей і завдяки їм технології Smart Grids стають більш надійними, безпечними і готовими до екстрених ситуацій.

### 1.2.4 Електроніка для управління потоками енергії

Інтеграція поновлювальних джерел має вагомe значення для вибору систем Smart Grids. Це могло б стати значним викликом якби не існували технології керування енергії. Електроніка для управління потоками спрощує інтеграцію поновлювальних джерел енергії, зменшує втрати, знижує навантаження на мережу, а також забезпечує гнучкість масштабування.

Системи керування змінним струмом(FACTS) регулюють різні параметри електричних систем, такі як напруга і потоки потужності. Це зменшує енергетичні втрати і стабілізує мережу. До таких пристроїв належать STATCOM, TCRT, UPFC[9].

Тиристорний фазо-повертаючий трансформатор(TCRT) змінює фазовий кут струму, що дозволяє ефективніше розподіляти потоки потужності. Це сприяє оптимізації використання ресурсів і підвищенню ефективності роботи мережі.

Для керування потоками активної та реактивної потужності використовують об'єднаний контролер потоків потужності(UPFC). Використання цього контролера підвищує стабільність мережі. За для контролю напруги та частоти мережі використовують статичні компенсатори реактивної потужності(STATCOM). Що дозволяє стабілізувати систему навіть під час змін навантаження, підтримуючи рівновагу в електромережі.

За для перетворення змінного струму у постійний, а потім назад, використовують High Voltage Direct Current(HVDC). Ці системи передачі високовольтного постійного струму є важливою технологією для транспортування енергії на великі відстані. В загальному плані ці системи використовуються для з'єднання міжрегіональних джерел. Іншими позитивними ключами є зниження витрат енергії що позитивно впливає на економічні втрати [5].

Для підключення природніх джерел енергії, таких як сонячні панелі, вітрові генератори та інші, використовуються інвертори енергії. Вони беруть до уваги параметри загальної мережі та перетворюють постійний струм у змінний з узгодженими параметрами.

При використанні природних джерел ми зіштовхуємося з втратами надлишкової електроенергії, для запобігання втрати у систему інтегруються розподілені накопичувачі енергії. Ці акумулятори під час пікових навантажень розряджаються, а в періоди низького навантаження, накопичують надлишкову енергію.

При роботі з гілками мережі, оператори часто зіштовхуються з тим що на різних гілках з'являється потреба у різній напрузі, тому у пригоду приходять інтелектуальні перетворювачі напруги.

Силова електроніка робить енергосистему гнучкою і надійною. Контроль параметрів, таких як напруга і частота, дозволяє підтримувати стабільну роботу мережі.

### 1.3 Огляд інтелектуальних лічильників

#### 1.3.1 Функціональні можливості інтелектуальних лічильників

Інтелектуальні лічильники (смарт-лічильники) зустрічаються зараз всюди. Ці пристрої займаються обліком і моніторингом ресурсів. Наприклад, світло, вода і газ. Їх функціональні можливості набагато перевершують традиційні методи обліку. Вони забезпечують точність, зручність і ефективність управління споживанням [6].

Дистанційний моніторинг є однією з основних функцій інтелектуальних лічильників. Він допомагає збирати дані автоматично, що сильно економить час і забезпечує більш оперативний доступ до інформації для постачальників послуг. А це, в свою чергу, допомагає швидше реагувати на зміни в споживанні.

Точний облік споживання – ще одна ключова перевага інтелектуальних лічильників. За допомогою нього відбувається менше помилок, ніж при звичайному знятті показань. Споживачі бачать детальні рахунки і це сприяє більш прозорому відношенню до фінансових витрат на споживані ресурси. Важливо зазначити, що час використання впливає на ціну. А це означає, що споживач може знизити витрати за рахунок вибору часу для використання енергії.

Моніторинг в реальному часі теж вкрай важливий. Споживач може стежити за витратами, що допомагає помітити аномалії в споживанні. Наприклад, витік або зловживання ресурсами. Споживачеві майже відразу приходить повідомлення про подібні відхилення, що допомагає уникнути великих витрат.

Аналіз даних відіграє не менш важливу роль у функціональності інтелектуальних лічильників, він допомагає споживачам приймати обґрунтовані рішення щодо оптимізації споживання. Завдяки аналізу люди можуть побачити, як витрачаються ресурси і отримувати звіти за різні терміни. Такі звіти дають шанс виявити тенденції використання ресурсів .

Інтелектуальні лічильники можуть працювати з іншими пристроями, це відбувається через інтегрування в інтелектуальні системи (Smart Grids). Наприклад, вони можуть працювати з термостатами, освітленням і технікою. Це дозволяє автоматизувати управління витратами.

Величезною перевагою є те, що постачальники пропонують додатки зі зручним доступом до даних. Ці програми дозволяють стежити за витратами, перевіряти рахунки. А про особливо важливі події приходять повідомлення, що сильно спрощує управління своїм споживанням.

Ще інтелектуальні лічильники сприяють енергетичній ефективності. Вони показують, скільки витрачається енергії і іноді дають поради щодо економії, що сильно знижує витрати на ресурси. Таким чином споживачі отримують можливість оптимізувати свої витрати на ресурси, що в свою чергу сприяє зменшенню навантаження на енергетичні мережі.

У підсумку, інтелектуальні лічильники надають широкі можливості. Вони допомагають контролювати витрати, дають можливість оптимізувати споживання. Ці пристрої вкрай важливі для роботи енергомереж, вони ілюструють дані і можуть давати хороші поради, спираючись на отриману інформацію. Такі пристрої відіграють велику роль у розвитку розумних мереж.

### 1.3.2 Види інтелектуальних лічильників

Розумні лічильники допомагають нам краще зрозуміти, скільки енергії ми витрачаємо. Ці пристрої можуть бути різними, але всі вони забезпечують точність вимірювань і можуть працювати з розумними мережами, що допомагає ефективніше управляти споживанням електроенергії.

Однофазні інтелектуальні електролічильники – це пристрої, які використовуються для обліку споживаної електроенергії в будинках або квартирах, де підключення однофазне (тобто, використовується тільки одна фаза для споживання).

Трифазні інтелектуальні електролічильники використовуються для великих об'єктів. Вони можуть враховувати споживання електроенергії в трифазних системах, зазвичай це потрібно для великих фірм. Такі прилади є дуже точними, вони здатні передавати дані, що допомагає контролювати витрати. Завдяки чому підприємства можуть управляти навантаженням і оптимізувати свої витрати.

Смарт-лічильники з функцією зворотного зв'язку – цей вид електролічильників надає можливість зворотного зв'язку. Ці лічильники допомагають отримувати актуальну інформацію про витрати. Система надсилає повідомлення про аномалії або надмірне споживання. У свою чергу, це допомагає знизити витрати, що особливо корисно, коли тарифи змінюються в різний час.

Інтелектуальні лічильники з функцією підтримки енергетичних мереж (Smart Grids) дуже важливі для мереж, вони допомагають управляти енергією. Ці лічильники здатні взаємодіяти з іншими пристроями в мережі, що знижує навантаження і ризик перевантажень. Вони також можуть взаємодіяти з сонячними панелями, а це дозволяє ефективніше використовувати ресурси.

Комерційні та промислові електролічильники з аналітичною функцією вважаються важливими для підприємств. Вони можуть контролювати витрати на електроенергію, що дозволяє підприємствам виявляти неефективності та знаходити можливості для економії. Також споживачі отримують доступ до детальних звітів, які допомагають приймати обґрунтовані рішення щодо управління споживанням.

Таким чином, можна сказати, що лічильники для обліку електроенергії бувають дуже різні, вони допомагають точно вимірювати споживання електроенергії. Ці пристрої можна контролювати віддалено, а ще вони можуть працювати з розумними мережами. Все це покращує ефективність роботи енергетичних систем, такі прилади допомагають знизити витрати і підвищують енергоефективність. В результаті, все це допомагає зробити енергоспоживання більш стійким в майбутньому.

### 1.3.2 Технології та протоколи інтелектуальних лічильників електроенергії

Сучасні інтелектуальні лічильники електроенергії оснащені різноманітними технологіями та протоколами.

За для передачі даних через електричні мережі використовують технологію Power Line Communication (PLC). Лічильники, що використовують цю технологію, можуть обмінюватися інформацією з центром обліку без необхідності прокладання додаткових комунікаційних ліній.

Інтелектуальні лічильники використовують бездротові технології, такі як Zigbee або LoRaWAN. Вони працюють на радіозв'язку та дозволяють лічильникам взаємодіяти з центральними системами в режимі реального часу.

Для передачі даних через стільникові мережі використовують лічильники, що оснащуються модулями GSM/GPRS. Це стає необхідно для збору інформації в віддалених або важкодоступних місцях.

Стандартом, що визначає правила передачі даних між лічильниками й системами обліку є Device Language Message Specification/Companion Specification for Energy Metering (DLMS/COSEM). Завдяки ньому можливо структурувати інформацію про споживання, тарифи та інші параметри.

Modbus є промисловим протоколом для обміну даними між пристроями. Лічильники, які підтримують Modbus, надзвичайно ефективні та легко інтегруються в існуючі системи автоматизації та управління.

Стандарт IEC 61850 розроблений для забезпечення комунікацій між електричними підстанціями та енергетичними системами. Він забезпечує швидкий

обмін даними і є важливим для включення інтелектуальних лічильників у розумні електромережі.

Інтелектуальні лічильники можуть бути інтегровані з різними платформами, щоб вони могли обробляти та аналізувати дані використовують хостинг і програмне забезпечення. Програмне забезпечення для управління даними дозволяє користувачам переглядати споживання в режимі реального часу, отримувати звіти та отримувати поради щодо зниження використання енергії. Оскільки дозволяє легко отримати доступ до даних з будь-якої точки світу, впровадження рішень на базі хмари також набуває популярності.

Безпека даних повідомлень, що передаються між лічильниками та системами обліку, є важливою складовою цієї системи. Для забезпечення високого рівня безпеки використовуються різні технології шифрування та дешифрування даних, наприклад Advanced Encryption Standard (AES). Ці технології шифрування запобігають несанкціонованому доступу до інформації. Для забезпечення надійності та конфіденційності даних, технологій безпеки впроваджують на рівні протоколів зв'язку. Таке підхід є одним з найбільш важливих складових кібербезпеки підприємства.

Таким чином, можна з упевненістю стверджувати, що інтелектуальні лічильники електроенергії використовують широкий спектр технологій і протоколів для ефективного збору, передачі та обробки даних. Застосування таких стандартів зв'язку, як Modbus і DLMS/COSEM, полегшує впровадження цих пристроїв у складні системи обліку та управління. Сучасні технології передачі даних і заходи безпеки роблять інтелектуальні лічильники життєво важливими для створення енергетичних систем, які працюють ефективно та безпечно.

### 1.3.3 Аналіз популярних інтелектуальних електролічильників

Існують різного роду інтелектуальні лічильники і з кожним роком використання цих пристроїв стає дедалі популярнішим.

Підприємствам, які шукають точний облік і гнучке впровадження, варто звернути увагу на Siemens Sicam Q300. Висока сумісність із сучасними системами

керування, а завдяки підтримці DLMS/COSEM дозволяє інтегрувати лічильник у мережі з мінімальними труднощами. Такий пристрій найкраще підходить для енергетичних компаній і великих об'єктів з високими вимогами до моніторингу.

Для промислових підприємств та установ із великими енергетичними витратами ця серія стане в пригоді Schneider Electric IEM 3000. Можливості контролю витрат, управління навантаженнями та аналізу якості роблять ці лічильники незамінними для автоматизації процесів. Завдяки простій інтеграції, вони підходять і для комунальних систем.

Підприємства, які потребують швидкого доступу до актуальної інформації, цінують General Electric (GE) Smart Meter. Лічильник із бездротовою передачею даних забезпечує моніторинг у реальному часі. Він чудово підходить для компаній, що працюють із системами Smart Grids та прагнуть ефективно керувати енергетичними ресурсами.

На рисунку 1.1 представлено лічильник V200H від компанії Honeywell.



Рисунок 1.1 – Honeywell Smart Meters V200H

Honeywell Smart Meters стануть у пригоді для компаній, що потребують гнучкість доступу. Мобільні додатки й веб-портали надають зручний доступ до інформації, а функції аналізу якості енергії оптимізують роботу мереж. Такі рішення корисні для комунальних підприємств.

Itron OpenWay Riva ця модель підходить для тих, хто прагне зменшити витрати на обслуговування. Лічильники забезпечують точний збір даних завдяки сучасним мережам зв'язку. Вони є ідеальним вибором для підприємств, що автоматизують свої енергетичні процеси.

Landis+Gyr E450 універсальний вибір для комунальних компаній. Цей пристрій забезпечує контроль споживання на відстані, передає дані про якість енергії. Він стане корисним інструментом для підприємств різного масштабу, що працюють із сучасними енергетичними системами.

На рисунку 1.2 представлено лічильник Elster A1700.



Рисунок 1.2 – Elster A1700

Elster A1700 стане оптимальним рішенням для підприємств, які прагнуть надійності. Він забезпечує точний облік і підтримує популярні протоколи зв'язку. Підходить для систем, які потребують підвищення продуктивності та ефективності.

Ці моделі забезпечують індивідуальний підхід до різних потреб. Обираючи відповідний пристрій, підприємства зможуть досягти більш ефективного управління енергетичними ресурсами.

## 1.4 Огляд готових рішень SCADA систем

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) системи – це програмні комплекси, які використовуються для моніторингу та управління технологічними процесами на промислових об'єктах. Вони збирають дані з сенсорів, виконують обробку інформації та передають команди для керування обладнанням.

Вибір SCADA системи залежить від конкретних потреб підприємства, типу виробництва та вимог до інтеграції з іншими системами. Важливими факторами є підтримка необхідних протоколів, гнучкість у масштабуванні, аналітичні інструменти, а також вимоги до безпеки.

Існує багато SCADA-рішень, кожне з яких має свої особливості і підходить для різних завдань та певної індустрії.

### 1.4.1 SIMATIC WinCC

На підприємствах за для моніторингу та управління технологічними процесами використовують спеціалізоване програмне забезпечення SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) системи. Ці системи керують зібраними даними з датчиків. Вони їх обробляють та автоматично виконують команди для керування обладнанням [10]. На рисунку 1.3 представлено приклад керування системою.

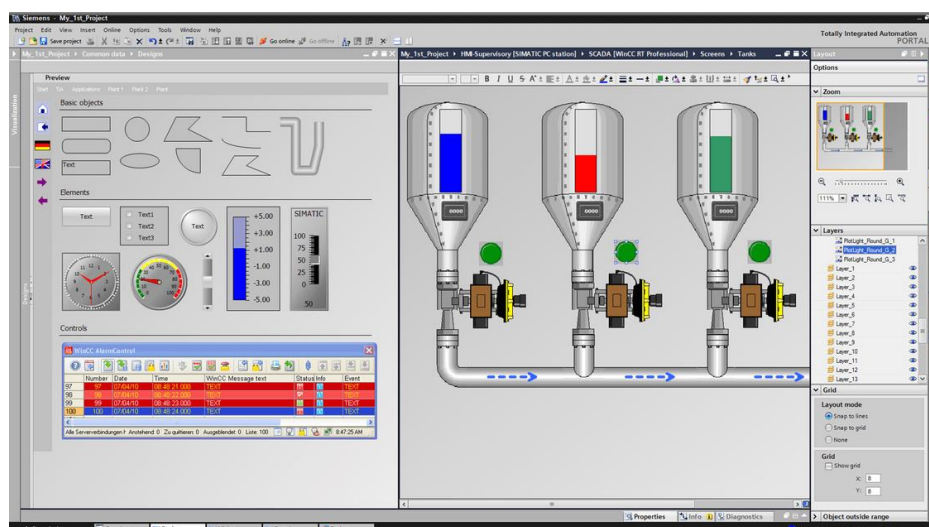


Рисунок 1.3 – Інтерфейс SIMATIC WinCC

На підприємстві використовуються різні SCADA системи, як для керування виробництвом так і для логістики ресурсів. Саме для електричних систем також існують спеціалізовані рішення, що допомагають керувати їх ресурсами. У цьому напрямку вони допомагають керувати електричними потоками, а вибір технології залежить від різних факторів.

Наприклад Siemens SIMATIC WinCC відома за рахунок широкої екосистеми. Це рішення використовують у таких сферах як енергетика, транспорт, хімічні технології та промисловість.

Вона допомагає тримати контроль над операціями. Дані стають доступними для операторів, а реагування виконується без затримки. Головна задача полягає у збереженні безперебійної роботи.

WinCC демонструє інформацію миттєво. Архів зберігає попередні записи. Аналіз дозволяє знаходити рішення для удосконалення. Програма підтримує синхронізацію з багатьма елементами автоматизації. Вона працює з логічними контролерами, сенсорами, пристроями введення-виведення та іншими SCADA-системами.

Програма пропонує функції для створення графіки. Дані для графіків збирають сенсори. Налаштування дає можливість керувати процесами через інтерфейс оператора. Система реєструє показники в реальному часі, а оператори отримують інформацію без затримки та збоїв.

Завдяки єдиній відповідальності оператор має змогу збирати відомості й формувати звіти автоматично. Аналіз допомагає оцінювати роботу обладнання що впливає як на ефективність, так і на працездатність. Історія процесів дозволяє переглядати зміни у будь-який час. Інтеграція з ERP або MES дає змогу поєднати керування різними сферами. Це робить цю систему легко адаптивною до масштабів виробництва.

Безпека передбачена для уникнення ризиків. Вона включає резервування даних і обмежений доступ. Ці заходи необхідні для важливих галузей. Програма охоплює різноманітні задачі: моніторинг, створення звітів і аналіз.

Архітектура системи дозволяє додавати або вилучати модулі, що допомагає підлаштовувати рішення під різні задачі. Інтерфейс розроблений для зручності користування операторами, це підвищує інтуїтивність керування важкими системами. Стандарти протоколів, як-от OPC UA, Modbus чи Ethernet/IP, підтримуються, це надає можливість підключення різного обладнання. Нові версії мають функції для хмарних платформ, це дозволяє слідкувати за операціями звідки завгодно.

Ця програма підходить для великих компаній. Для малих компаній основною проблемою стане велика собівартість програми. Витрати на інтеграцію й підтримку значні, налаштування потребує спеціалістів, велика складність впроваджувати її на масштабних об'єктах. Також програма має залежність від продуктів Siemens, що може бути обмеженням. Тож це рішення ускладнює перехід на альтернативи.

#### 1.4.2 Schneider Electric EcoStruxure

EcoStruxure – ключова платформа розроблена компанією Schneider Electric для пристроїв, підключених до інтернету або ж інтернет речей (IoT). Платформа забезпечую розумне управління енергією, автоматизацією та ефективністю підприємства. Вона поєднує у собі найсучасніші технології контролю та збору даних для аналізу. Застосовується у таких галузях як: енергетика, будівництво, транспортування, інфраструктура, IT та інше.

EcoStruxure відкрита та зручна у впровадженні інших різноманітних компонентів. Базується платформа на інтернет речах та має можливості вирішення енергоефективності, зниження витрат та покращення екології довкілля.

EcoStruxure підтримує різноманітні інновації у сфері діджиталізації виробництва та виробничих процесів у сфері бізнесу, та складається з трьох рівнів:

- пристрої, підключені до інтернету (IoT);
- локальне керування (Edge Control);
- аналітика та сервіси на основі хмарних технологій.

Платформа забезпечує інтеграцію не тільки технологій власної компанії, але й інших для створення гнучкої та централізованої системи керування

енергоспоживанням, автоматизацією виробничих процесів та обслуговування будівель. На рисунку 1.4 представлено усю екосистему.

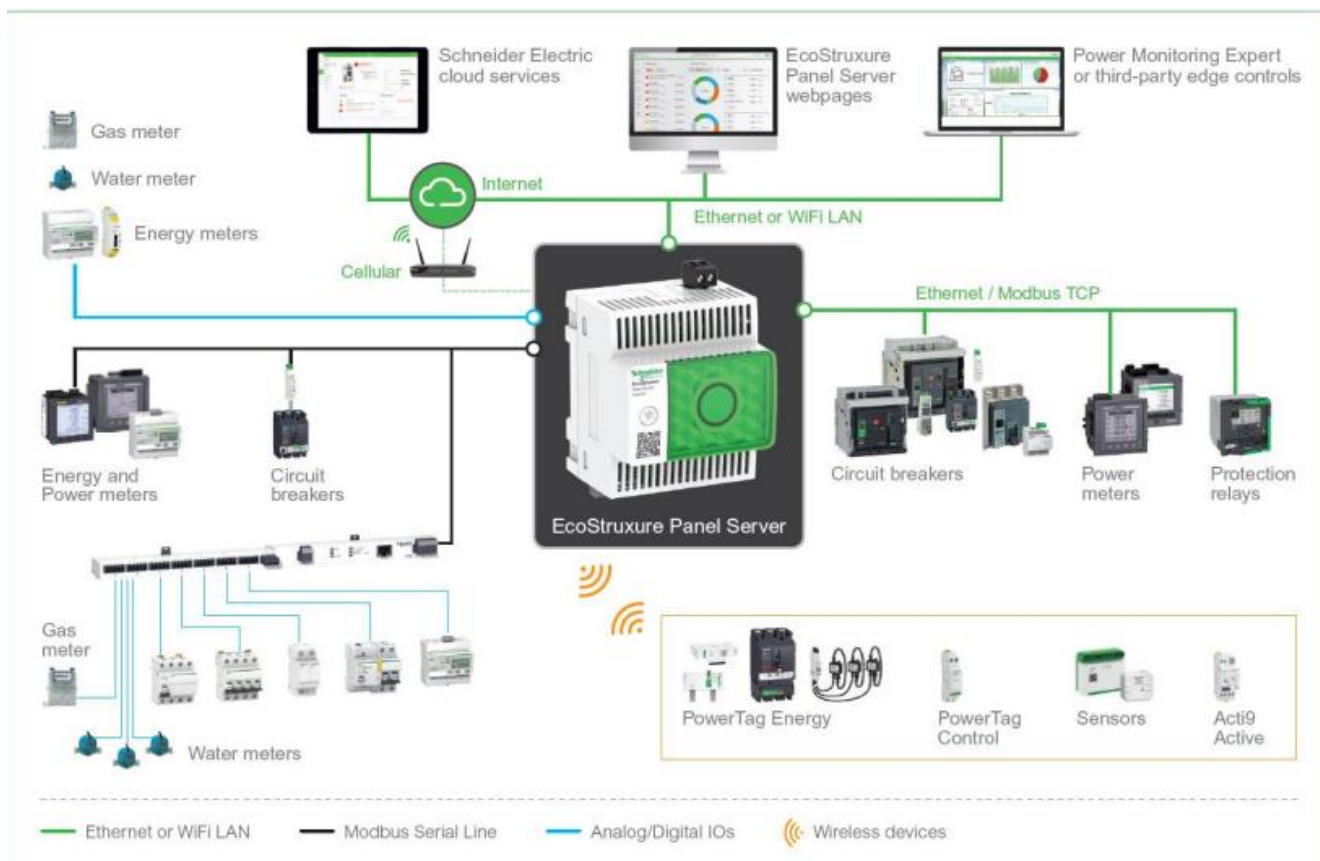


Рисунок 1.4 – Екосистема EcoStruxure

Як можна побачити з зображення EcoStruxure має централізований сервер, що об'єднує логіку керування усіма елементами системи.

Відкритість і інтероперабельність платформи забезпечує сумісність не тільки з обладнанням від власних виробників, але й з обладнанням інших виробників. Це дозволяє системі бути гнучкою та без проблем адаптуватися під різні задачі.

Масштабованість платформи дозволяє зібрати обладнання для різного по розмірах підприємствах, як для маленьких так і для великих. Також це перевага тому що при розвитку та розростанню підприємства можна легко розширити функціонал обладнання та впроваджувати новітні технології.

Підвищена енергоефективність та оптимізація дозволяє знизити витрати на електричну енергію та ресурси, у цьому добре допомагають автоматизація та аналіз спожитих ресурсів у реальному часі.

Безпека та стійкість платформи має додаткові функції захисту. На сам перед це кібербезпека, що надзвичайно важлива у будь-якому підприємстві. Також є підтримка оновлення роботи після збою, що забезпечує стійкість до і після аварій.

Віддалений моніторинг та управління дозволяє здійснювати спостереження та управління на відстані за допомогою інтернету. Це підвищує гнучкість у керуванні обладнанням та скорочує час обслуговування, оскільки керувати можна з будь-якої точки світу.

Щодо вартості як і багато інших технологій впровадження EcoStruxure може бути дорогим для маленьких або нових підприємств. Незважаючи на це технологія принесе велику вигоду в довгостроковій перспективі, навіть якщо початкові витрати можуть бути досить затратними.

Платформа має складність інтеграції з існуючими системами та обладнанням. Вона може бути складною якщо на підприємстві не використовуються технології віддаленої взаємодії. І може потребувати додаткових витрат від підприємства.

Schneider Electric EcoStruxure є сучасною технологією, яка об'єднує в собі технології інтернету речей, хмарних обчислень та аналізу для підвищення ефективності промислових та комерційних процесів. EcoStruxure є одним з лідерів на ринку інтелектуальних систем, завдяки відкритій та гнучкій архітектурі, що дозволяє поєднувати багато технологій.

Якщо не враховувати початкові витрати EcoStruxure є кращим рішенням для підприємств, що прагнуть підвищити енергоефективність, зменшити вплив на довкілля та підвищити ефективність.

#### 1.4.3 GE Digital iFIX

GE Digital iFIX – це особлива система розроблена компанією General Electric, призначена для полегшення керування обладнання, збирання найсвіжіших даних для аналізу роботи та можливості удосконалювати технологію під окрему

задачу[12]. Найкраще підходить для промислових підприємств у різних галузях. На рисунку 1.5 представлено інтерфейс.

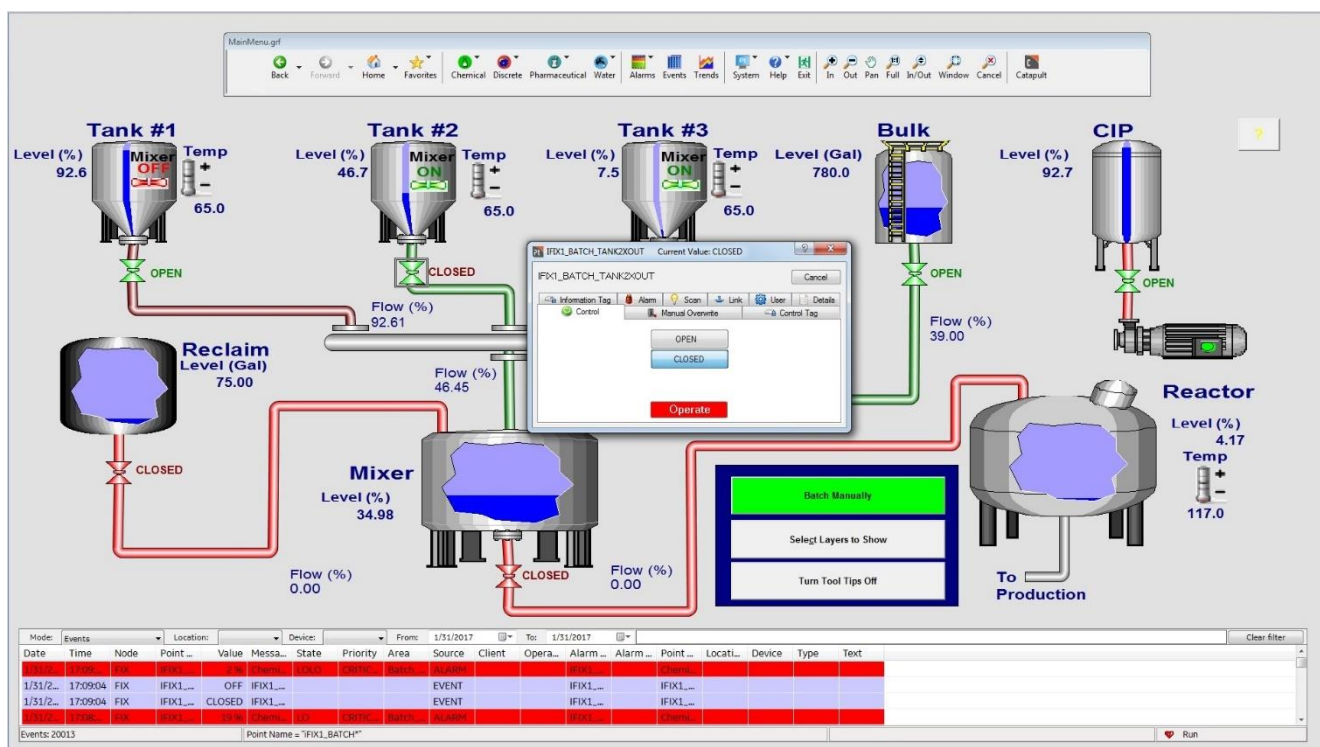


Рисунок 1.5 – Інтерфейс GE Digital iFIX

Ця система являється надзвичайно гнучкою і корисною на будь-якому підприємстві. Така технологія дозволяє без особливих проблем покращувати обладнання та підлаштовувати під окремі задачі. Окрім цього iFIX дає можливість під'єднувати окремі модулі розроблені іншими компаніями. Це дозволяє обрати найкращі варіанти для побудови зручного та ефективного обладнання.

GE Digital iFIX підходить для широкого спектру галузей таких як: енергетика, нафтохімія, виробництво, водопостачання, фармацевтика, харчова промисловість та інше.

Особливу цінність iFIX представляє при управлінні електричними системами. Ця система дозволяє ефективно слідкувати за різного роду процесами, що включає в себе багато важливих елементів. Наприклад, генератори, трансформатори, розподільні пристрої. Такий функціонал дозволяє швидко та

ефективно реагувати на будь-які зміни у роботі електричних елементів, особливо коли електричний прилад може вийти зі строю і необхідно негайно втрутитись.

Система здатна самостійно виявляти відхилення від нормальної роботи, наприклад, при перевантаженні або нестабільної роботи. Це являється необхідною функцією для зменшення ризику виходу зі строю обладнання, адже це може спричинити аварійні ситуації, та необхідне буде додаткове фінансування для ремонту та заміни деталей. iFIX попереджає заздалегідь операторів про це, що дозволяє прийняти необхідні рішення ще до аварії.

Система iFIX має інструменти які дозволяють користувачам отримувати візуальні дані. Це можуть бути різні графіки та звіти. Така функція дозволяє глибше та простіше аналізувати роботу обладнання, щоб зрозуміти наскільки ефективна та продуктивна робота, і чи потрібно якісь деталі змінити чи покращити.

Ключовою функцією є спостереження та керування у реальному часі. Вона дозволяє бачити миттєві зміни у роботі обладнання та зібрати дані про них. Це дозволяє стежити за безперебійною роботою обладнання і якщо буде необхідно швидко реагувати на зміни, особливо ті що можуть призвести до поломки.

Ця система має зручний інтерфейс з графіками та формуванням звітів, що гарно впливає на продуктивність та реагування надзвичайних ситуацій. Це технологія підтримує велику кількість датчиків для спостереження за змінами у системі.

Оператор має можливість улюбий момент провести аналіз даних та архівувати її, це можливо за рахунок зберігання історії роботи обладнання. Що позитивно впливає на аналіз обладнання для рішень по покращенню деталей або їх заміну.

Система підтримує різні промислові стандарти та протоколи, що дозволяє впроваджувати нові технології і компоненти, навіть від інших виробників. Підтримуються стандарти і протоколи OPC UA, Modbus, Ethernet/IP та інші.

Гнучкість системи дозволяє масштабувати електросистему, а крім того працювати з підприємствами різного масштабу. Тож система не має обмежень по розміру і доступна як для малих так і для великих підприємств.

Модульність дозволяє інтегруватись з різними системами управління, такими як ERP (системи планування ресурсів підприємства) та MES (системи управління виробництвом). Це дозволяє централізувати керування.

Кібербезпека та управління доступом – технологія має багаторівневий захист, сюди входить шифрування даних, аутентифікація користувачів, контроль доступу до системи. Це важливо для захисту даних від сторонніх загроз.

Аналіз та звітність – як вже було сказано раніше технологія дозволяє створювати різні графіки та звіти для полегшення аналізу роботи обладнання та окремих його деталей. Допомагає підвищити ефективність та продуктивність підприємства, включаючи виявлення слабких місць та оптимізацію ресурсів;

Недоліки:

- вартість – для маленьких або нових підприємств рішення використовувати цю технологію буде бюджетно затратною. Особливо це стосується додаткових витрат на конструкторів(що сконструюють систему згідно з потребою виробництва) та оплати ліцензії на використання;

- складність налаштування – маленькі системи не мають проблем з засвоєнням функцій системи iFIX, на відміну від великих систем, де може бути присутня велика кількість функцій та систем спостереження за процесами, що може потребувати присутності більш кваліфікованих спеціалістів і це неодмінно впливатиме на час та вартість впровадження;

- залежність від оновлень – для забезпечення стабільної та безпечної роботи система повинно регулярно оновлюватись. Це може створити додаткове навантаження на технічний відділ підприємства.

GE Digital iFIX є потужною, гнучкою та корисною системою. Вона може використовуватись на підприємствах будь-якого розміру, та для різних цілей і процесів. Ця система дозволяє постійно слідкувати за виробничими процесами, а також дозволяє у будь-який момент вдосконалювати обладнання оскільки вона є модульною системою.

Якщо не враховувати на високу вартість при купівлі, побудові системи, та її оновлення, iFIX дає велику кількість вибору інструментів та їх застосування. Але

саме це дозволяє знизити подальші витрати підприємства та підвищити його ефективність. Не слід забувати що ця система є сумісною з багатьма іншими технологіями, навіть від інших виробників, та дає можливість легко та просто аналізувати процес роботи обладнання. Саме це робить технологію iFIX однією з провідних рішень на ринку.

### 1.5 Постановка мети та задач дослідження

Мета роботи полягає у зниженні втрат електроенергії в системі електропостачання промислового підприємства шляхом розробки та впровадження системи управління, яка враховує зміни параметрів навантаження та ефективно використовує можливості нових цифрових пристроїв керування. Виконання цієї мети сприятиме підвищенню енергоефективності, забезпеченню стабільності та надійності роботи елементів системи.

Об'єктом дослідження є це архітектура та пристрої електромереж.

Предмет дослідження – процес управління елементами електропостачання промислового підприємства, що забезпечує оптимізацію споживання електроенергії, підвищення надійності та стабільності функціонування.

Завдання дослідження для досягнення поставленої мети включають:

- проведення аналізу сучасних технологій автоматизації електромереж з фокусом на їхній вплив на енергоефективність;
- розробка математичних моделей, що описують вплив параметрів автоматизації на показники енергоефективності системи електропостачання;
- моделювання автоматизованої системи управління, що контролює роботу електромереж промислового підприємства, орієнтуючись на забезпечення надійності, стабільності та мінімізацію енергетичних витрат;
- проведення експериментальних досліджень на основі розроблених моделей для перевірки ефективності запропонованої системи управління.

## 1.6 Висновки до розділу 1

У цьому розділі було проведено аналіз готових рішень автоматизації управління електроелементами, а саме було описано основні напрями автоматизації управління, у підрозділі про розумні мережі, було розглянуто історію розвитку цієї розумних мереж, основні проблеми традиційних електромереж, крім того оглянуто технології Smart Grids та електроніку для управління потоками. Підрозділ огляд інтелектуальних лічильників описував функціональні можливості, види та аналіз популярних інтелектуальних лічильників. Передостанній підрозділ описує огляд готових рішень SCADA систем.

Результатом аналізу готових рішень, стала постановка мети та задач дослідження.

## 2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

### 2.1 Розробка прототипу електромережі підприємства

Для розроблення системи управління електромережі потрібно мати її модель з датчиками здатними підключатися до інформаційної мережі, тож було вирішено створити прототип/модель електромережі.

Для створення прототипу електромережі використовується інструмент у сфері блочного програмування Node-RED.

#### 2.1.1 Опис технології прототипування

Node-RED – блочна мова програмування, для швидкої підготовки та тестувати сценаріїв взаємодії, між пристроями, та сервером/сервісами. Він використовується бо, має зручний графічний інтерфейс для побудови блоків, також він надає можливості інтеграції завдяки використанню API.

Node-RED надає зрозумілий графічний інтерфейс, який дозволяє швидко будувати структуру проекту без необхідності писати код. Основою є так звані ноди, які можна перетягувати та з'єднувати формуючи умови та потоки інформації.

Node-RED підтримує протоколи для передачі даних, як приклад MQTT, Modbus. Їх використовують для симуляції роботи пристроїв електромережі.

Однією з основних переваг те що Node-RED дозволяє використовувати традиційні мови програмування, прикладом такої мови є JavaScript бо Node-RED заснован на Node.js.

Node-RED дозволяє імітувати різні ситуації, імітація збільшення надлишкового навантаження, відмова обладнання, та виходу з ладу ділянки мережі, перехід між різними режимами.

## 2.1.2 Діаграма готового прототипу

На рисунку 4.1 представлено діаграму блоків прототипу електричної системи підприємства побудованого у Node-RED.

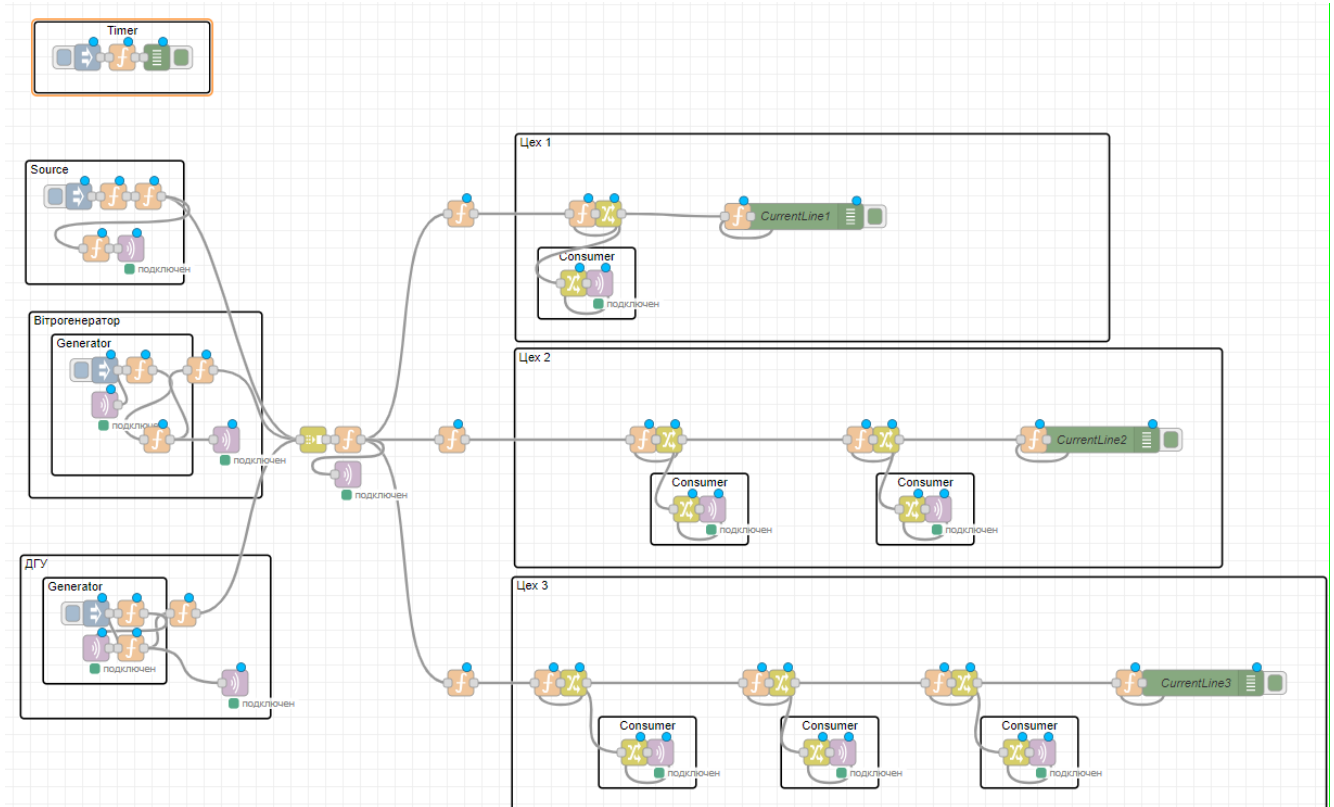


Рисунок 2.1 – Діаграма прототипу електричної системи підприємства

- source (Джерело струму) – ця група вузлів моделює джерело струму.
- вузол датчика струму, який надсилає дані про стан основної електролінії до центральної системи моніторингу. Джерело струму може моделювати перебої в електропостачанні, наприклад, зниження напруги. У цьому випадку сервер отримує сигнали про проблему і активує резервні джерела.

Система розподілена на кілька гілок, кожна з яких постачає електроенергію до окремого цеху. Гілки включають такі ключові елементи:

а) ЗР (Захисне реле) – моделює механізми захисту системи від перевантажень. Якщо одна з гілок вийшла з ладу через коротке замикання, ЗР автоматично розриває коло. Одночасно сервер отримує сигнал про аварію, і система активує генератор. Основні функції:

- відключення лінії у разі перевищення допустимого навантаження;
- надсилання інформації про стан струму до сервера.

а) Generator (Генератор) – моделює додаткове джерело струму, яке забезпечує електропостачання в разі збоїв основної лінії. У разі аварійного відключення основного джерела генератор автоматично запускається для підтримки роботи критично важливих споживачів;

б) Consumers – імітують електроспоживання в різних цехах. Якщо сервер отримує сигнал про аномально високе споживання енергії в одному з цехів, можна локалізувати проблему (наприклад, несправність обладнання) та оптимізувати енергоспоживання. Основні функції:

- надсилання інформації про обсяг споживання енергії на сервер.

Така система моделює достатній рівень поведінки електросистеми для проведення досліджень.

## 2.2 Опис архітектури системи

Для побудови програмного забезпечення використовується SCADA архітектура.

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерське управління та збір даних) – програмний пакет, призначений для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління. SCADA системи використовують у всіх галузях господарства, де потрібно забезпечувати операторський контроль над технологічними процесами у часі. Це програмне забезпечення встановлюється на комп'ютери, для зв'язку з об'єктом використовує драйвери вводу-виводу або сервери (рисунок 2.2). Програмний код може бути як записаний однією з мов програмування, так і згенерований у середовищі проектування.

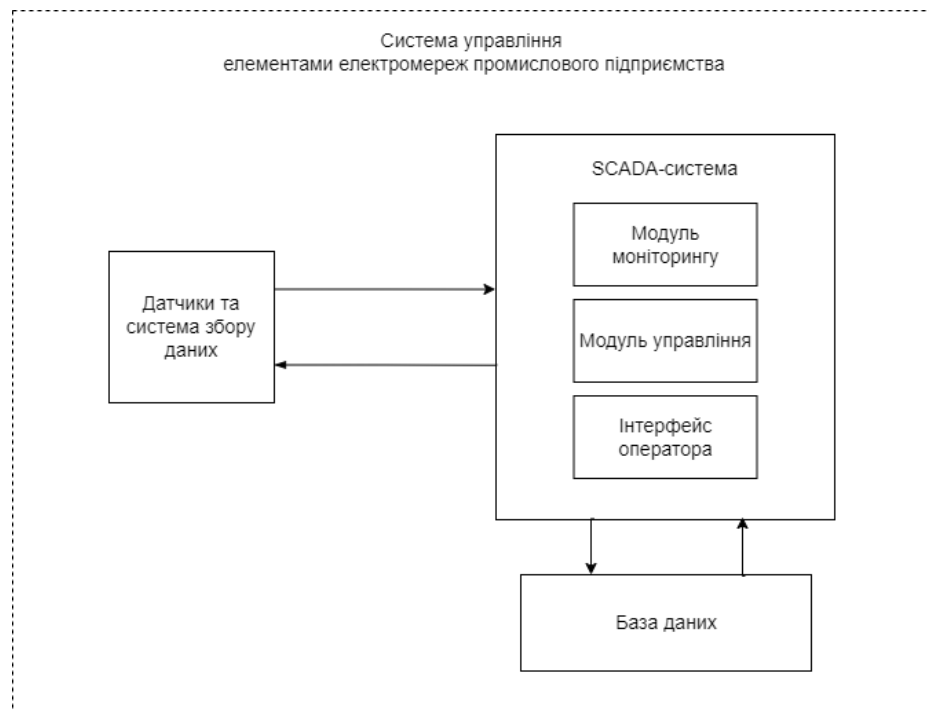


Рисунок 2.2 – Структурна схема архітектури SCADA

Архітектура системи складається з декількох рівнів:

- датчики та система збору даних – інструменти та прилади які використовують для збору інформації з зовнішнього світу;
- SCADA-система – виконує реалізацію моніторингу, управління та надає інтерфейс оператору;
- база даних – містить схеми, таблиці, подання, збережені процедури та інші об'єкти. Дані у базі організовують відповідно до моделі організації даних.

### 2.2.1 Обґрунтування вибору програмного забезпечення та технологій

Використовуються програмні рішення для повної реалізації проекту у архітектурі SCADA системи. Для написання програмного коду використано IntelliJ IDEA Community Edition, Docker для серверної частини, Scene Builder для побудування графічного інтерфейсу який використовується у JavaFX. Без цих програмних рішень, неможливо побудувати цей проект.

### 2.2.1.1 Використані мови програмування та фреймворки

У процесі розробки було використано мови Java, JavaScript, CSS. Фреймворки Node-RED, Node.js, JavaFX, EMQX, FXML . Було обрано серверну інфраструктуру MQTT. Та архітектура побудови проекту SCADA.

Java була обрана як основна мова програмування з наступних причин:

- кросплатформеність – Java є кросплатформенною мовою, завдяки цьому Java спроможна працювати у будь-якій операційній системі, що підтримується Java Virtual Machine (JVM). Це дає змогу використовувати систему, та розгортати її на будь-якому обладнанні. Резюмуючи ми маємо можливість реалізувати архітектуру SCADA-системи;

- масштабованість та продуктивність – Java є компільованою мовою що надає високі переваги у продуктивності. Такі інструменти як ООП, що є основою мови Java, дають можливості масштабування;

- безпека – Java має вбудовані механізми безпеки, що не дасть зловмисникам дістатися до коду програми.

Для створення системи було вибрано декілька основних інструментів. Вони надають функції для автоматизації, обробки інформації та захисту:

- JavaFX – це фреймворк для побудування GUI. Технологія проста у використанні, дозволяє створювати привабливі додатки. Вони зручні для розробників. JavaFX працює на різних операційних системах. Завдяки цьому можна впроваджувати систему без змін у коді. Візуальний дизайн легко налаштувати під потреби. Вбудовані анімації дозволяють зробити його сучасним. Програма добре працює з графікою та великими обсягами даних. Це важливо для систем у реальному часі.

- EMQX – цей брокер використовується для обміну даними між частинами системи. EMQX підтримує MQTT, що дозволяє ефективно управляти з'єднаннями. API дає змогу змінювати налаштування системи, керувати клієнтами. Брокер справляється з великим числом підключень, що важливо для промислових систем. Він забезпечує високу доступність та стійкість. Дані захищені завдяки автентифікації та шифруванню. Брокер інтегрується з іншими пристроями через

API, що полегшує роботу з інфраструктурою. Передача інформації відбувається майже миттєво, що критично для управління.

#### 2.2.1.2 Вибір бази даних та інструментів для інтеграції з SCADA

Вибір бази даних та інструментів для об'єднання системи SCADA та автоматизованої системи керування елементами електричних мереж є важливим етапом проектування програмного забезпечення. Для ефективного зберігання, обробки, аналізу даних, що надходять від датчиків, а також для забезпечення їх передачі в SCADA-систему, було використано кілька програмних рішень для роботи з даними.

Бази даних є ключовим місцем для системи моніторингу та управління даними. InfluxDB вибрано через можливість обробляти великі обсяги даних з високою швидкістю і підтримувати часові ряди, часові ряди дозволяють підтримувати збереження даних у базі з позначкою на час, що дозволяє отримувати дані як у реальному часі, так і за якийсь важливий проміжок, що особливо важливо для обробки інформації, що надходить від датчиків.

Для зберігання більш статичних даних і для зручності роботи з ними буде використовуватися PostgreSQL, що дозволить зберігати налаштування системи, наприклад, зберігати різні конфігурації для обробки даних зі лічильників, а також проводити довгостроковий моніторинг та аналіз.

#### 2.2.2 Організація іменування тем повідомлень у MQTT-брокері

Для опису взаємодії з пристроїв, які керуватимуться системою, була обрана наступна структура, а саме «client/{device\_type}/{device\_name}/data».

Таблиця 2.1 – опис структури тем повідомлень до MQTT-брокера

Компонент	Опис
client	Ім'я яке служить для об'єднання всіх повідомлень користувача, відокремлюючи їх від системних

## Продовження таблиці 2.1

Компонент	Опис
device_type	Тип пристрою (наприклад, сенсор). Дозволяє розділяти пристрої за логікою
device_name	Унікальне ім'я пристрою. Визначає пристрій серед решти того самого типу
data	Набір даних, містить повідомлення з пристроїв, повідомлення мають різну структуру залежно від типу пристрою

Така структура дозволяє мати систему, що розширюється і масштабується.

## 2.2.3 Модуль моніторингу

Модуль моніторингу є ключовим компонентом системи керування електричними елементами, він отримує дані із сервера MQTT, обробляє та зберігає його в базі даних. Модуль забезпечує надійне збирання інформації з датчиків та інших пристроїв, що дозволяє аналізувати стан мережі в реальному часі.

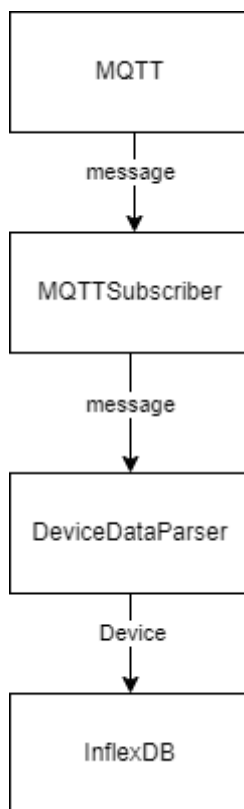


Рисунок 2.3 – Життєвий шлях повідомлень

MQTT-брокер посилає повідомлення в MQTTSubscriber(можливо будь-яка кількість підписників). Після повідомлення передається компонент DeviceDataParser, який аналізує дані з повідомлення для створення об'єкта Device, створений об'єкт зберігається в базі даних для подальшого аналізу.

#### 2.2.4 Модуль керування

Модуль керування відповідає за постійний моніторинг подій(падіння напруги, тощо), та реагування на них. На рисунку 2.4 представлено структурну схему модуля керування.

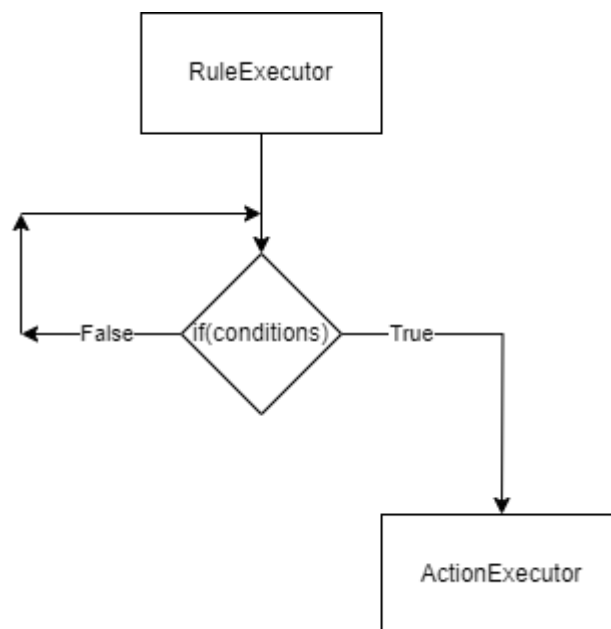


Рисунок 2.4 – Структурна схема модуля керування

- правило передається до компонента RuleExecutor;
- правила містять умови (наприклад, перевірка значення окремого датчика у визначеному діапазоні) та дії, які необхідно виконати;
- RuleExecutor постійно отримує з бази даних актуальні дані з датчиків, після чого здійснює перевірку умов, зазначених у правилах;
- у разі виконання умов, компонент ActionExecutor виконує дії, визначені у правилах.

## 2.2.5 Інтерфейс оператора

Інтерфейс оператора EECSystem (Electronic Elements Control System) містить декілька основних вікон, а саме:

**Device map** – Містить список пристроїв, які можна розмістити в розширюваний контейнер. Це дозволяє створити інтерактивну карту електронних елементів, що спрощує розуміння структури електросистеми;

**Rule Builder** – Містить конструктор правил. Після створення правила спочатку потрапляють у базу даних, а згодом у модуль керування

На рисунку 2.4 представлено device map.

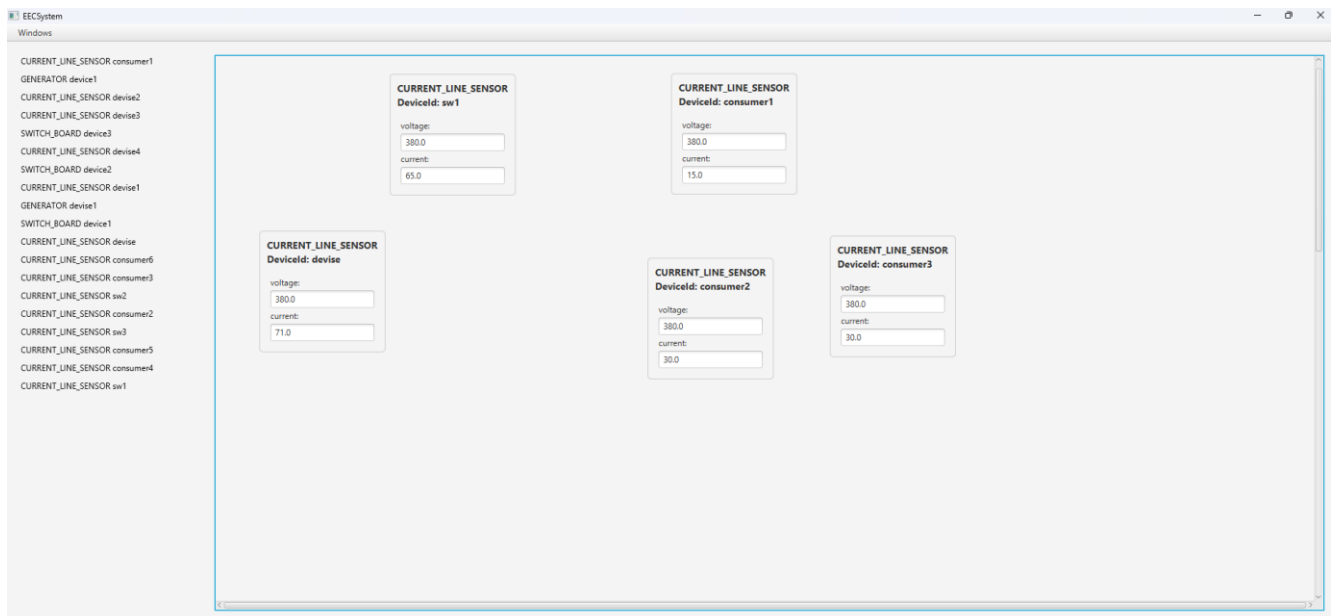


Рисунок 2.5 – Вікно device map

Зліва знаходиться список пристроїв, а справа – контейнер самої мапи. На рисунках 2.6 – 2.9 представлено можливості RuleBuilder.

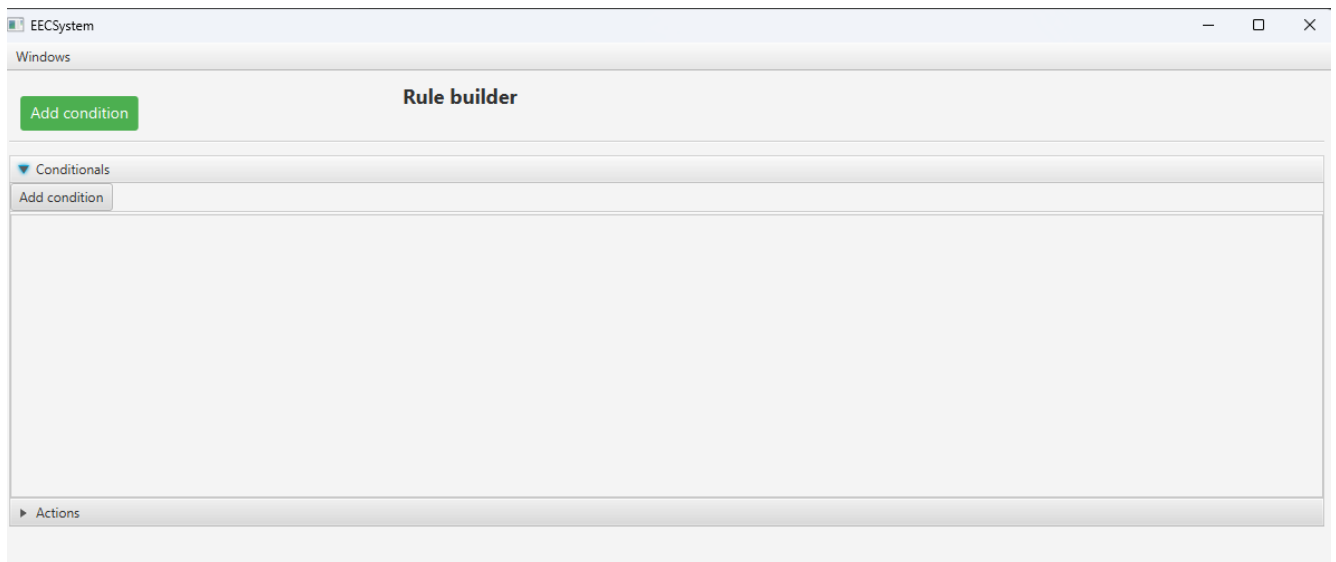


Рисунок 2.6 – Rule builder контейнер умов.

Контейнер умов містить кнопку додавання умов. На рисунку 2.7 показано доданий контейнер умови, а на рисунку 2.8 – селектор вибору пристрою для додавання у вираз



Рисунок 2.7 – Доданий контейнер умов

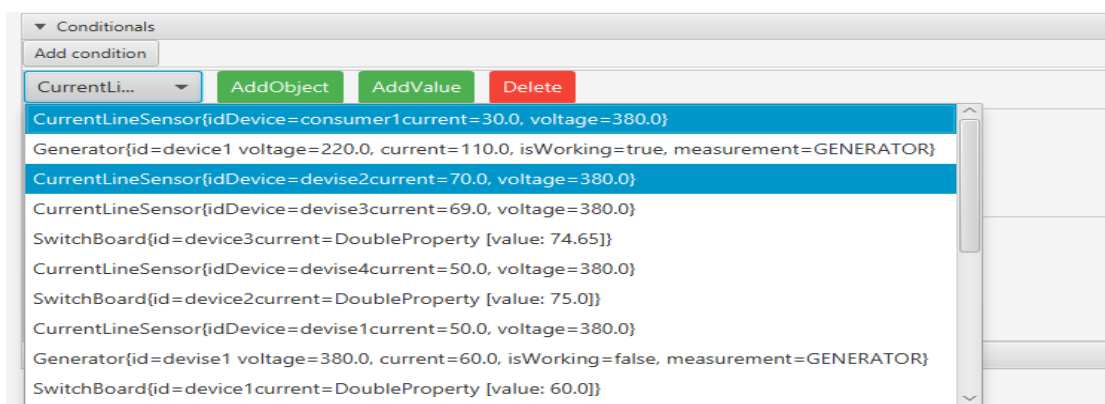


Рисунок 2.8 – Вибір девайсу для виразу

На рисунку 2.9 представлено доданий пристрій.



Рисунок 2.9 – Доданий девайс до виразу умови

Кожен пристрій має тип, унікальну назву та селектор вибору поведінки пристрою в межах виразу.

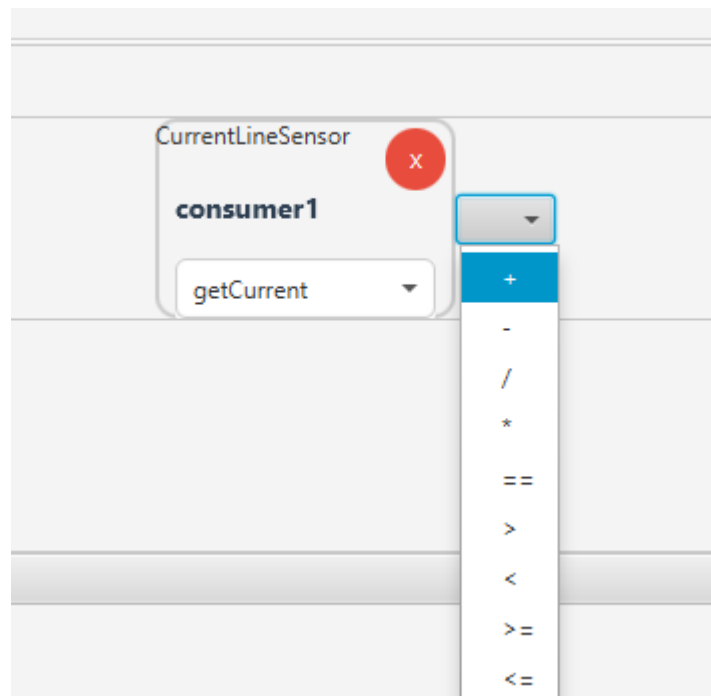


Рисунок 2.10 – Вибір оператора

Поруч із пристроєм знаходиться селектор оператора.

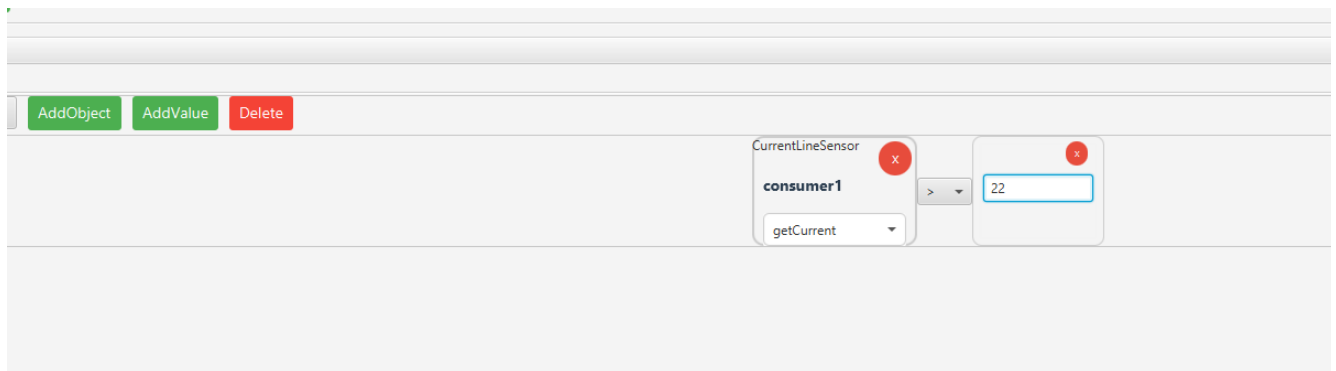


Рисунок 2.11 – Вираз з девайсом та значенням

Кожен вираз має можливість додавання як девайсу з вибором поведінки застосованої перед обчисленням, так і звичайне значення

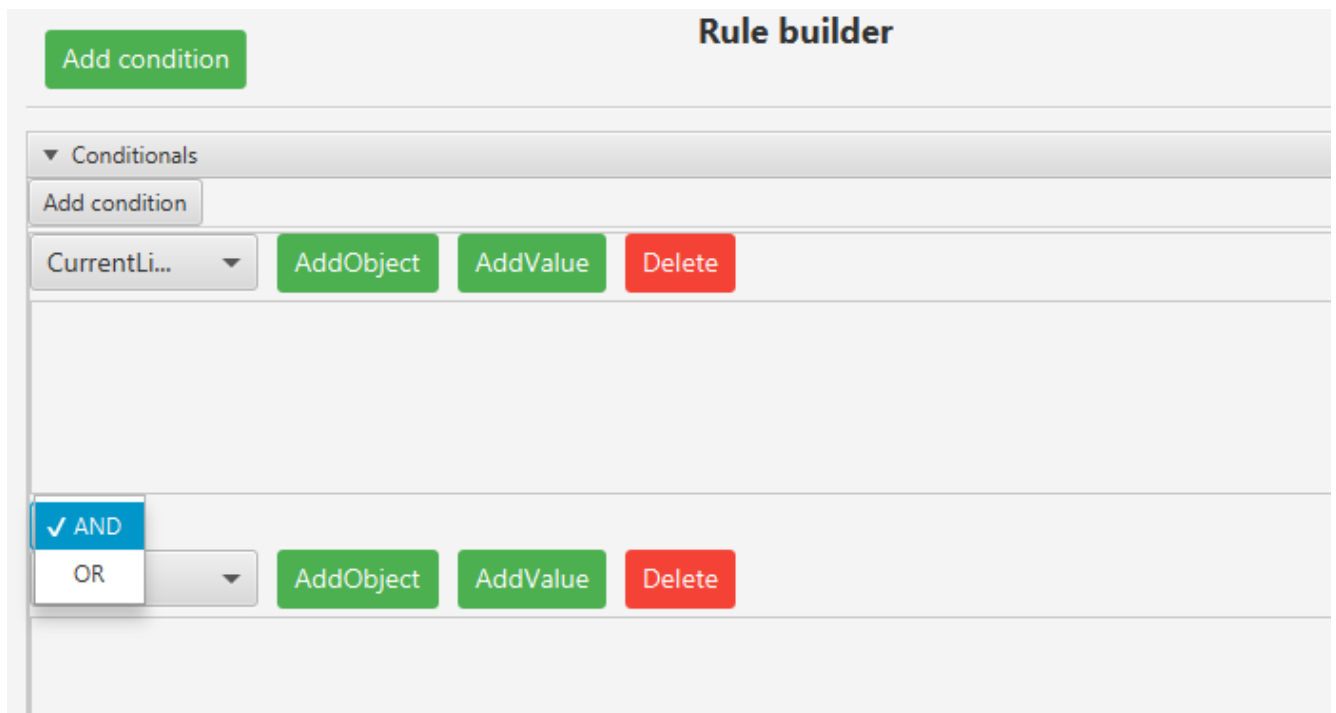


Рисунок 2.12 – Декілька умов

Правило містить список умов, кожна з яких має логічне поєднання AND або OR.



Рисунок 2.13 – Rule builder контейнер дій

Крім умов, правила містять дії котрі виконуються при виконанні умов. Під час додавання нової дії необхідно вказати пристрій або сервіс, а також його поведінку. У цю поведінку буде передано вираз, що задається у контейнері праворуч.

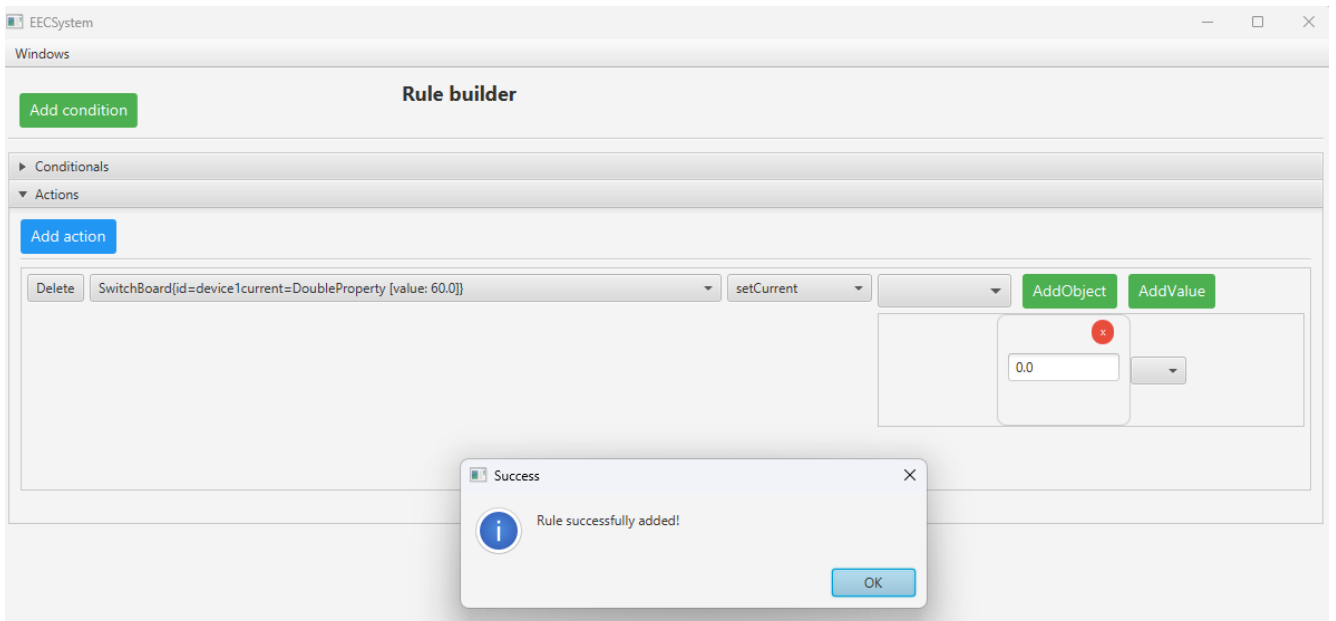


Рисунок 2.14 – Повідомлення про створення правила

Після заповнення значень для правила необхідно натиснути кнопку створення. Після цього з'явиться вікно підтвердження.

### 2.3 Висновки до розділу 2

Результатом роботи над цим розділом є опис розробки прототипу електромережі підприємства, а саме опис технології прототипування, а також діаграма готового прототипу електромережі.

Після чого було описано архітектуру створеної системи. Було обґрунтовано вибір програмного забезпечення, мови програмування, описано вибір бази даних. Після чого була описана організація області імен тем для MQTT брокера, а крім того описано структуру модулів моніторингу та керування, а також представлено інтерфейс оператора.

### 3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

#### 3.1 Опис основних елементів дослідження

Головною задачею цього експерименту є розрахунок ефективності використання системи управління для скорочення витрат на електроенергію. Областю експерименту є електромережа підприємства з трьома джерелами струму, а саме:

- електромережа – основне джерело;
- природне джерело струму – вітрогенератор;
- штучне джерело струму – дизельний генератор.

Для розрахунків потрібно визначити вартість використанні джерел струму. Використання електромережі коштує 4,32 грн/кВт\*год. Щодо використання вітрогенератора будемо вважати безкоштовно. Розраховуючи вартість використання дизельного генератора будемо вважати 0.35літру/кВт\*год, за літру будемо вважати 40 грн, тож  $40 * 0.35 = 14$  грн/кВт\*год.

Під час дослідження буде розглянуто два сценарії, а саме включення штучного джерела струму при відключенні основного, та з автоматизацією, включення природнього джерела струму до вичерпання ресурсів після чого підключення штучного.

Опишемо математичні моделі тригерів що були створені для даного сценарію. А саме було створено чотири тригера:

– при відсутності електроенергії у основному джерелі, та при наявності електроенергії в батареї вітрогенератора, підключити природне джерело струму, нижче представлено псевдокод:

```
IF (Д_о < 0 AND Д_п > 0) THEN
```

```
    Turn On Д_п
```

```
    Turn Off Д_other
```

```
END IF
```

де IF – якщо;

Д\_о – основне джерело;

Д\_п – природне джерело;

Д\_ш – штучне джерело;

Turn Off – включення;

Д\_other – інші джерела (наприклад: якщо виконується основне джерело, то інші це природне та штучне джерело);

– при відсутності електроенергії у основному джерелі, та при відсутності електроенергії в батареї вітрогенератора, підключити дизельний генератор, нижче представлено псевдокод:

```
IF (Д_о < 0 AND Д_п < 0) THEN
```

```
    Turn On Д_ш
```

```
    Turn Off Д_other
```

```
END IF
```

– якщо з'являється електроенергія у основному джерелі, вимкнути інші, нижче представлено псевдокод:

```
IF (Д_о > 0) THEN
```

```
    Turn Off Д_other
```

```
END IF
```

Далі для проведення розрахунків проведемо експеримент з застосуванням нашої системи управління електричними елементами на попередньо створеному прототипі електромережі, що представлено на рисунку 3.1.

Для проведення тестів будемо розраховувати електричні витрати у одному періоду, а саме проміжок з включення основного джерела, виключення його, включення інших джерел постачання струму, та аж до відновлення основного джерела струму, будемо вважати цей проміжок одним циклом.

На рисунку представлено графік включення джерел, що зібрано з датчиків струму з відповідних ліній, графік взято з веб інтерфейсу бази даних InfluxDB.

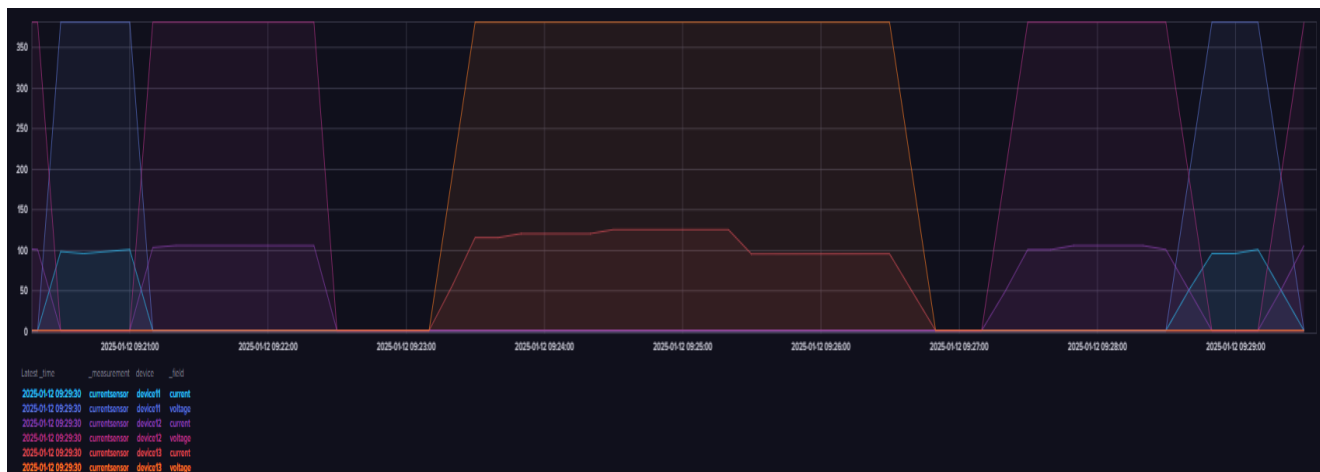


Рисунок 3.1 – Графік включення джерел за період одного циклу

Як по графіку можна побачити, кожне джерело працює окремий період, тож для визначення електричних витрат потрібно отримати часові інтервали, та енерговитрати для кожного з інтервалів.

Спочатку потрібно виділити інтервали та перевести амperi з вольтажем у потужність на кіловат часу, за формулою

$$P(\text{кВт}) = \frac{U(\text{В}) * I(\text{А})}{1000} \quad (3.1)$$

де  $P$  (кВт) – потужність;

$U$  – напруга в вольтах,

$I$  – сила струму в амперах.

Таблиця 3.1 – Виділені проміжки часу з відповідною потужністю для основного джерела

device11	
$\Delta t$	$P(\text{кВт})$
0:00:16	36,062
0:00:11	37,943

Таблиця 3.2 – Виділені проміжки часу з відповідною потужністю для відновлювального джерела

device12	
$\Delta t$	P(кВт)
0:00:04	37,943
0:00:15	39,824
0:00:35	39,805
0:00:10	39,786
0:00:04	35,929
0:00:16	37,886
0:00:35	39,805
0:00:10	37,924

Таблиця 3.3 – Виділені проміжки часу з відповідною потужністю для дизельного генератора

device13	
$\Delta t$	P(кВт)
0:00:06	41,667
0:00:14	43,529
0:00:15	45,41
0:00:55	47,272
0:00:15	35,872
0:00:15	35,891
0:00:14	35,91
0:00:09	35,929

Після виділення проміжків використаної потужності, розрахуємо витрати електроенергії для кожного з них за формулою:

$$E = P(\text{кВт}) \times \Delta t(\text{ч}) \quad (3.2)$$

де  $E$  – енерговитрати;

$\Delta t$  – проміжок часу.

Таблиця 3.4 – Розрахунок електричних витрат для кожного інтервалу для основного джерела

device11		
$\Delta t$	P(кВт)	E(кВт)
0:00:16	36,062	0,16
0:00:11	37,943	0,12

Таблиця 3.5 – Розрахунок електричних витрат для кожного інтервалу для відновлювального джерела

device12		
$\Delta t$	P(кВт)	E(кВт)
0:00:04	37,943	0,04
0:00:15	39,824	0,17
0:00:35	39,805	0,39
0:00:10	39,786	0,11
0:00:04	35,929	0,04
0:00:16	37,886	0,17
0:00:35	39,805	0,39
0:00:10	37,924	0,11

Таблиця 3.6 – Розрахунок електричних витрат для кожного інтервалу для дизельного генератора

device13		
$\Delta t$	P(кВт)	E(кВт)
0:00:06	41,667	0,07

0:00:14	43,529	0,17
0:00:15	45,41	0,19

Продовження таблиці 3.6.

device13		
$\Delta t$	P(кВт)	E(кВт)
0:00:55	47,272	0,72
0:00:15	35,872	0,15
0:00:15	35,891	0,15
0:00:14	35,91	0,14
0:00:09	35,929	0,09

Підведемо результати розрахунків, основне джерело використовувалось 27 секунд, та було використано  $0,16 + 0,12 = 0,28$  кВт, природне джерело використовувалось 129 секунд, та було використано 1,41 кВт, штучне джерело використовувалось 143 секунди, та було використано 1,68 кВт, тож один цикл становить 5 хвилин, упускаючи час запуску джерел.

Розрахуємо вартість основного джерела  $0,28$  кВт · год, а враховуючи що використання електромережі коштує 4,32 грн/кВт\*год то 1,2096 грн. Природне джерело має енергоспоживання в 1,41 кВт\*год., але ми вважаємо що воно безкоштовне, тому 0 грн, вартість обладнання не враховується. Вартість споживання штучного джерела буде 1,68 кВт\*год, якщо 1 кВт\*год при використанні дизельного генератора коштує 14 грн, то нам обійдеться в 23 грн за цикл.

Тому загальна вартість становить  $1,2096$  грн + 23 грн = 24,2096 грн.

Так як вхідні данні не змінюються, для розрахунку вартості розрахунку енерговитрат з системою основне джерело – дизельний генератор, вартість енергоспоживання котрі були отримані при розрахунку природного джерела, можна долучити до вартості використанні дизельного генератора, а саме  $1,41 + 1,68 = 3,09$  кВт\*год то використання дизельного генератора нам обійдеться 43,26 грн за цикл, що на 78% більше чим при використанні сценарію з природним джерелом.

### 3.2 Висновки до розділу 3

За час проведення експерименту, було описано мету дослідження, а саме розрахунок ефективності використання системи управління елементами електромережі з метою зменшення витрат. Описано основні елементи що використовуються для дослідження. Придумано сценарії дослідження, на основі яких було отримано данні стану електромережі у різні часові інтервали. Провівши розрахунки електричних витрат ми встановили вартість електроенергії для кожного джерела. По результатам розрахунків ми провели порівняння вартості сценарію з автоматичною системою, та без, ми встановили що використання автоматичної системи управління елементами електромережі зменшило вартість використання за цикл на 78%, що означає що використання цієї системи дозволило значно зменшити кошти на електроенергію, а гнучкість системи автоматизації дозволяє успішно створювати складні сценарії автоматизації керування елементами електромережі.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Загальні вимоги

Щодо безпечного використання системи управління елементами електромережі, робоче місце повинно відповідати ДНАОП 0.00-1.31-99, а саме правилам охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин[26].

Облаштування робочих місць, повинно надавати відповідні умови освітлення як приміщення так і робочого місця, не повинно містити відблисків.

Мікроклімат повинен бути на оптимальному рівні.

Робоче місце повинно мати належні ергономічні характеристики основних елементів, а також враховувати шкідливі та небезпечні фактори такі як: наявність шуму, вібрації, м'яке рентгенівське випромінювання

Площа приміщення у якому розташовуються відео термінали повинна мати площу не менше 6 м<sup>2</sup> та 20 м<sup>3</sup> об'єму, у нашому випадку це 7 м<sup>2</sup> площі на одного працівника та 22м<sup>3</sup> об'єм приміщення.

Робочий стіл має висоту поверхні столу- 750мм, ширина столу 1200мм, глибина 900мм. На основі цього можна зробити висновок що робочий стіл відповідає вимогам, а саме висота повинна бути у межах 680-800мм, ширина столу 600-1400мм, глибина 800-1000мм.

Відстань від екрану до очей повинна бути для монітору 17 дюймового монітору 700-800мм, а для 21 дюймового 900-1000мм, у нашому випадку використовується 15 дюймовий монітор на відстані в 750мм, що відповідає вимогам.

Щодо сидіння та ергономіки, по вимогам ширина та глибина сидіння повинна бути  $\geq 400$ мм, у нашому випадку це 450мм, що відповідає вимогам.

Прохід між робочими рядами робочих місць має становити більше 1м, у нашому випадку це 1.2м.

Для освітлення використовується лампа місцевого освітлення ЕВРОСВІТЛО Ridy-09 9 Вт, та має діапазон до 1300лм, лампа розташована на відстані 0.5м, тож для отримання люксів виконаємо розрахунки за формулою:

$$E = \frac{\Phi}{4\pi r^2} \quad (4.1)$$

де  $r$  – відстань від джерела світла до поверхні в метрах;

$\Phi$  – люмени.

$$E = \frac{1300}{4 * 3.14 * 0.5^2} = 414\text{лк} \quad (4.2)$$

За вимогами рівень освітлення на робочому столі має бути в межах 300-500 лк, що відповідає вимогам.

Відбивна властивість екрану ПК повинна бути менше 1%, у нашому випадку використовується екран з матовим покриттям що зменшує кількість відблисків. Розмір мінімального елемента зображення (пікселя) повинен бути менше 0,3 мм для монохромних зображень, у нашому варіанті при екрані з розширенням 1920x1080 пікселів на 15.6 дюймів, розмір пікселя складає приблизно 0.18мм.

Що до вимог мікроклімату слід означити що робота за комп'ютером відноситься до категорії «легка – 1 а», роботи котрі виконуються у сидячому положенні без потреб фізичного напруження. За цією категорією робіт при виконанні робіт у приміщенні повинні виконуватися наступні вимоги до метрологічних параметрів:

У холодну пору року температура повітря повинна бути 22-24°C, відносна вологість повітря у межах 40-60%, оптимальна швидкість повітря 0,1 м/с.

У теплу пору року температура повітря повинна бути 23-25°C, вологість та швидкість повітря не мають відмінностей.

## 4.2 Висновки до розділу 4

У цьому розділі було розглянуто основні вимоги до робочого місця, були описані вимоги до приміщення, та освітлення, на основі проведених розрахунків, можна сказати що робоче місце повністю відповідає вимогам безпеки.

## ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було розглянуто створення системи управління елементами електромережі.

Під час виконання кваліфікаційної роботи було проведено аналіз готових рішень, а саме було оглянуто основні напрями автоматизації управління роботою електромережі, оглянуто розумні мережі, де висвітлили історію розвитку, основні проблеми традиційних електромереж, та оглянуто ключові технології розумних мереж.

Розумні мережі тісно зв'язані з інтелектуальними лічильниками, тож було описано функціональні можливості цих пристроїв, описано основні технології та протоколи з якими вони працюють, а також приведено популярні інтелектуальні лічильники.

Smart Grids це комплексна задача, не від'ємним компонентом якої є SCADA системи, було оглянуто готові рішення для електромереж.

На основі зібраних даних була поставлена мета та задачі дослідження.

У розробці, було описано створений прототип електромережі, він потрібен для тестування системи управління елементами електромережі.

Було описано архітектуру системи, а саме головні модулі: модуль моніторингу, управління та інтерфейс оператора. Було обґрунтовано вибір програмного забезпечення та застосованих технологій. За для роботи модуля моніторингу було описано організацію іменування тем повідомлень у MQTT брокері. А далі більш детально розглянуто модулі моніторингу та керування.

Було проведено комп'ютерне моделювання системи управління, результатом якої було виявлено, що у двох сценаріях, де перший без автоматизації, а другий з автоматизацією, другий дозволив зменшити витрати на електроенергію на 78%, а гнучкість системи автоматизації успішно дозволяє створювати складні сценарії автоматизації керування елементами електромережі.

Робота відноситься до цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», а саме пункту 9.4 «Сприяти прискореному розвитку високо- та

середньотехнологічних секторів переробної промисловості, які формуються на основі використання ланцюгів «освіта – наука – виробництво» та кластерного підходу за напрямками: розвиток інноваційної екосистеми; розвиток інформаційно-телекомунікаційних технологій (ІКТ); застосування ІКТ в АПК, енергетиці, транспорті та промисловості; високотехнологічне машинобудування; створення нових матеріалів; розвиток фармацевтичної та біоінженерної галузей».

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Положення про академічну доброчесність [Електронний ресурс] : Наказ ХНУРЕ від 02 лютого 2021 р. № 50. – Режим доступу : [https://nure.ua/wp-content/uploads/Main\\_Docs\\_NURE/polozhennja-pro-akademichnu-dobrochesnist.pdf](https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-akademichnu-dobrochesnist.pdf)
2. Методичні вказівки з «Підготовки та захисту кваліфікаційної роботи» здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка освітньо-професійних програм: «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва»; «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Невлюдов І.Ш. та ін., Р. В. Харків: ХНУРЕ, 2023, 55 с.
3. ДСТУ 3008: 2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.
4. Smart Grids. International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/energy-system/electricity/smart-grids> (дата звернення: 30.10.2024).
5. A Brief History of Electric Utility Automation Systems. Electric Energy Online. URL: <https://www.electricenergyonline.com/energy/magazine/491/article/A-Brief-History-of-Electric-Utility-Automation-Systems.html> (дата звернення: 30.10.2024).
6. Grid Modernization and Smart Grid. U.S. Department of Energy. URL: <https://www.energy.gov/oe/grid-modernization-and-smart-grid> (дата звернення: 30.10.2024).
7. Гнучкі системи передачі змінного струму. Wikipedia. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Гнучкі\\_системи\\_передачі\\_змінного\\_струму](https://uk.wikipedia.org/wiki/Гнучкі_системи_передачі_змінного_струму) (дата звернення: 30.10.2024).
8. Високовольтна лінія постійного струму. Wikipedia. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Високовольтна\\_лінія\\_постійного\\_струму](https://uk.wikipedia.org/wiki/Високовольтна_лінія_постійного_струму) (дата звернення: 30.10.2024).
9. Smart Meter. Wikipedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_meter](https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_meter) (дата звернення: 30.10.2024).

10. SIMATIC WinCC V8. Siemens. URL: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/scada/simatic-wincc-v8.html> (дата звернення: 30.10.2024).
11. Wonderware. AVEVA. URL: <https://www.aveva.com/en/solutions/operations/wonderware/> (дата звернення: 30.10.2024).
12. iFIX. GE Digital. URL: <https://www.ge.com/digital/applications/hmi-scada/ifix> (дата звернення: 30.10.2024).
13. Ignition. Inductive Automation. URL: <https://inductiveautomation.com/ignition/> (дата звернення: 30.10.2024).
14. Innovation Platform. Schneider Electric. URL: <https://www.se.com/ww/en/work/campaign/innovation/platform.jsp> (дата звернення: 30.10.2024).
15. Ethereum. Wikipedia. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ethereum> (дата звернення: 30.10.2024).
16. Hyperledger Fabric Documentation. Hyperledger. URL: <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.5/> (дата звернення: 30.10.2024).
17. Сезонова, І., Хорошайло, Ю. (2020). Планування якості і менеджмент проектів роботизованого приладобудівного виробництва. Технологія приборостроєння, (1), 74-77.  
[http://journal.nitip.com.ua/media/uploads/documents/16\\_1\\_20.pdf](http://journal.nitip.com.ua/media/uploads/documents/16_1_20.pdf)
18. Цифрові обчислювальні пристрої : навч. посібник / Ю. Е. Хорошайло, І. Ш. Невлюдов, І. К. Сезонова, В. С. Романчук ; М-во освіти і науки України ; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Prague : OKTAN PRINT, 2024. – 268 с. – ISBN 978-80-88618-71-3 ; DOI: 10.46489/COPNP-24-13.
19. Hubar A., Sezonova I.K. (2024). Automation of power grid element management to enhance energy efficiency. Виробництво & Мехатронні Системи 2024: матеріали VIII-ої Міжнародної конференції, Харків, 25-26 жовтня 2024 р.: тези доповідей / [редкол. І.Ш. Невлюдов (відповідальний редактор)]. Харків: [електронний друк], 2024. С. 19–21.

20. Sotnik S.V., Hubar A.Y. Impact of automation and calcs technologies on human factory in production. Perspectives of contemporary science: theory and practice. Proceedings of the 5th International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua". Lviv, Ukraine. 2024. с. 243–249, – ISBN 978-966-8219-88-7.

21. Губарь А.Ю., Митцева О.С. Використання веб-додатків для моніторингу та управління. Abstracts of XXIV International Scientific and Practical Conference. Rome, Italy. 221-23 с.

22. Губарь А.Ю. Сезонова І.К. Веб-додаток для моніторингу та управління запасами. Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – Вип. 2. – 408с.

23. Технології Інтернету речей в управлінні пристроями на мікроконтролерах [Електронний ресурс] : навч. посібник / І. Ш. Невлюдов, В. А. Андрусевич, С. П. Новоселов, О. Г. Резніченко ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – електрон. вид. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – 214 с. – pdf / 3,2 Мб.

24. Невлюдов, І. Ш. Node-RED та технологія промислового Інтернету речей [Електронний ресурс] : навч. посібник / І. Ш. Невлюдов, С. П. Новоселов, О. В. Сичова ; М-во освіти і науки України ; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2024. – 207 с. – pdf / 4,3 Мб.

25. Цифрові обчислювальні пристрої [Електронний ресурс] : навч. посібник / Ю. Е. Хорошайло, І. Ш. Невлюдов, І. К. Сезонова, В. С. Романчук ; М-во освіти і науки України ; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Prague : OKTAN PRINT, 2024. – 268 с. – ISBN 978-80-88618-71-3 ; DOI: 10.46489/COPNP-24-13.

26. Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин (НПАОП 0.00-1.31-99). Законодавство України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0382-99#Text> (дата звернення: 20.01.2025).