

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук

Кафедра Програмної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

Дослідження методів автоматизації управління резервним живленням
електроенергією для домогосподарств

Виконав:

Студент 2 курсу групи ПЗМ-21-1

Абрамян М. А.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність

 121 — Інженерія програмного
забезпечення

Тип програми Освітньо-наукова

Керівник доцент, к.т.н. Бабій А. С.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. Кафедри _____

З. В. Дудар

2023 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наукКафедра Програмної інженеріїРівень вищої освіти другий (магістерський)Спеціальність 121 — Інженерія програмного забезпеченняСпеціалізація Інженерія програмного забезпечення

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. Кафедри _____

«_____» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**студента Абрамяна Максима Артуровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження методів автоматизації управління резервним живленням електроенергією для домогосподарств»
затверджена наказом університету від «24» березня 2022 р.
2. Термін подання студенткою роботи до екзаменаційної комісії «15» травня 2023 р.
3. Вихідні дані до роботи методи автоматизації управління резервним живленням, мова програмування Node.JS, середовище розробки VSCode.
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі мета роботи, аналіз предметної галузі і постановка задачі, дослідження різних методів автоматизації управління резервним живленням, взаємодія автоматичної системи з домогосподарствами.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної галузі	24.01.2023	виконано
2	Огляд існуючих методів управління резервним живленням електроенергією для домогосподарств	03.02.2023	виконано
3	Постановка задачі	14.02.2023	виконано
4	Вибір методів та критеріїв оцінки автоматизації управління резервним живленням	16.02.2023	виконано
5	Дослідження автоматизації управління резервним живленням залежності від різних методів	26.03.2023	виконано
6	Підготовка пояснювальної записки	13.04.2023	виконано
7	Перевірка роботи на антиплагіат	09.05.2023	виконано
8	Нормоконтроль	10.05.2023	виконано
9	Рецензування	10.05.2023	виконано
10	Підготовка презентації та доповіді	11.05.2023	виконано
11	Попередній захист	12.05.2023	виконано
12	Занесення роботи в електронний архів	12.05.2023	виконано
13	Допуск до захисту у зав. кафедри	15.05.2023	виконано

Дата видачі завдання « 24 » січня 202__ р.

Студент _____

(підпис)

Керівник роботи _____

доцент, к.т.н. Бабій А. С.

(підпис)

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ / ABSTRACT

Кваліфікаційна робота магістра містить: 68 с., 19 рис., 4 табл., 10 джерел, 5 додатків.

ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, МЕТОДИ, СИСТЕМА, УПРАВЛІННЯ, ДОМОГОСПОДАРСТВО.

Об'єктом дослідження є оцінка методів автоматизації управління резервним живленням електроенергією для домогосподарств.

Метою роботи є дослідження методів автоматизації управління резервним живленням електроенергією для домогосподарств з ціллю їх популяризації та виявлення переваг та недоліків у забезпеченні якості систем на основі цієї технології.

У результаті виконання роботи було проведено аналіз подібних досліджень, був зроблений огляд методів автоматизації управління резервним живленням електроенергією та експериментальне порівняння автоматизованої системи управління резервним живленням.

ELECTRICITY, AUTOMATION, METHODS, SYSTEM, MANAGEMENT, HOUSEHOLD.

The object of research is to assess methods for automating the management of backup power for households.

The purpose of the work is to study methods for automating the management of backup power for households in order to popularize them and identify advantages and disadvantages in ensuring the quality of systems based on this technology.

As a result of the work, an analysis of similar studies was conducted, as a review of methods of automating the management of backup power supply and an experimental comparison of automated backup power management systems.

Я, Абрамян Максим Артурович, студент гр. ІПЗм-21-1, здобувач вищої освіти на другому (магістерському) рівні кафедри «Програмна інженерія», заявляю: моя кваліфікаційна робота на тему «Дослідження методів автоматизації управління резервним живленням електроенергією для домогосподарств», що буде представлена в екзаменаційну комісію для публічного захисту, виконана самостійно, в ній не містяться елементи плагіату і вона може бути опублікована в електронному архіві відкритого доступу EIAr KhNURE. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Я ознайомлений з діючим положенням «Про протидію академічному плагіату в ХНУРЕ», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування дисциплінарних заходів.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Аналіз предметної галузі та постановка задачі.....	10
1.1 Аналітичний огляд.....	10
1.2 Проблематика методів управління резервним живленням.....	13
1.3 Постановка задачі.....	18
2 Вибір методів автоматизації управління резервним живленням.....	20
2.1 Аналіз методів автоматизації управління резервним живленням.....	20
2.2.1 Огляд інструментів управління резервним живленням.....	23
2.2.2 Огляд методу управління резервним живленням SCADA.....	27
2.2.3 Огляд методу управління резервним живленням ATS.....	29
2.2 Визначення методики проведення дослідження.....	32
3 Опис програмної системи для дослідження.....	34
3.1 Опис прийнятих проектних рішень.....	34
1.2 Розробка презентаційної частини.....	35
3.3 Реалізація управління резервним живленням.....	37
3.3.1 Реалізація алгоритма для вимірювання показників системи управління резервним живленням.....	37
3.3.2 Реалізація управління резервним живленням SCADA.....	40
3.3.3 Реалізація управління резервним живленням ATS.....	42
4 Опис проведених досліджень.....	45
5 Аналіз результатів досліджень.....	48
Висновки.....	50
Перелік джерел посилання.....	51
Додаток А Перелік джерел посилання за науковими напрямками керівника та науковців кафедри програмної інженерії.....	53
Додаток Б Звіт результатів перевірки кваліфікаційної роботи на унікальність тексту.....	54

Додаток В Наукові публікації	55
Додаток Г Слайди презентації	56
Додаток Д Експертний висновок результатів перевірки кваліфікаційної роботи на відповідність оформлення вимогам ДСТУ 3008:2015	68

ВСТУП

У наш час жодна людина не може абсолютною мірою покластися на основне живлення електроенергії у своєму домі. Особливо, якщо в домі є багато електроприводів та це електричне опалення.

Для вирішення такої проблеми зазвичай використовують подачу резервного живлення. Такий підхід захищає від численних загроз, в тому числі від перебоїв у енергопостачанні, стрибків напруги та блискавок та інших непередбачених обставин, забезпечуючи безперебійність роботи та можливість використання будь-яких електроприводів та інтернету.

У цієї кваліфікаційної роботи будуть розглянуті різні методи автоматизації, такі як використання резервних джерел живлення, автоматичне перемикання на резервний джерело, використання системи ДБЖ (джерело безперебійного живлення), а також розробка програмного забезпечення для контролю та управління резервним живленням.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- зробити аналіз та порівняння існуючих методів управління резервним живленням;
- визначити метрики, за допомогою яких буде проведено оцінювання;
- скласти дискретно-імітаційну модель системи резервного живлення для домогосподарств;
- розробити застосунок для проведення експерименту за математичною моделлю;
- підрахувати зразкові значення метрик для кожного з методів управління станом;
- надати рекомендації щодо використання кожного з методів.

Об'єктом дослідження є системи автоматизації управління резервним живленням електроенергією для домогосподарств.

Предметом дослідження є методи автоматизації управління резервним живленням електроенергією для домогосподарств.

Метами дослідження є математичне моделювання: складання математичної моделі системи резервного живлення, щоб дослідити різні сценарії переходу на резервне живлення та розробити алгоритми автоматичного перемикання між основним та резервним джерелом живлення та експериментальні дослідження.

Результати цього дослідження можуть бути корисними для розробників систем резервного живлення, представників енергетичних компаній, а також будь-яких осіб, які зацікавлені у забезпеченні надійного живлення своєї оселі.

Результати даної кваліфікаційної роботи було представлено на науковій конференції 27-го Міжнародного молодіжного форуму «РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА МОЛОДЬ В ХХІ ст.»

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Аналітичний огляд

Питання забезпечення домогосподарств електроенергією зараз стоїть, як ніколи гостро. Це пов'язано з ураженням енергетичної інфраструктури України. Щоб забезпечити резервне живлення, рекомендується використовувати електричні установки, дизельні генератори. Але не всі такі установи можливо безпечно використовувати у домівках, вони потребують догляду та своєчасного запуску, що не завжди можливо.

Також система безперебійного резервного електропостачання для дому знадобиться в наступних випадках:

- на дачі або в квартирі часто вимикають електрику;
- на потужність, що підключається, встановлений ліміт, а виділеної не вистачає;
- в електромережі періодично виникає перенапруга;
- подається електроенергія низької якості;
- вдома наявна дорога електрозалежна система опалення, яка через відключення електрики може вийти з ладу;
- з метою економії електроенергії.

В типовий комплект безперебійного живлення входять інвертор (джерело безперебійного живлення — ДБЖ) і комплект акумуляторних батарей (АКБ) для безперебійного електропостачання [1].

В звичайному режимі навантаження в системі ДБЖ + АКБ за допомогою безперебійника здійснюється заряджання батареї з метою підтримання її номінальної ємності (див. рис. 1.1)

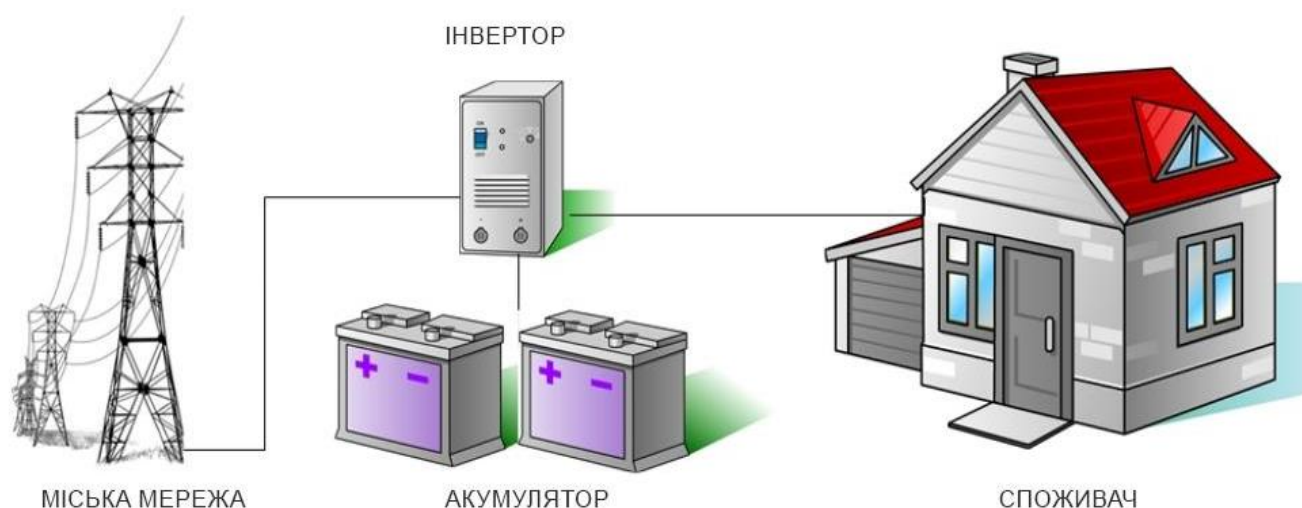


Рисунок 1.1 – Схема роботи безперебійного живлення

Резервування енергії в домашніх умовах можливо забезпечити шляхом використання спеціально призначеного для цього обладнання. А саме, якості джерел автономного живлення для дому можуть використовуватися: бензиновий, дизельний, газовий генератор, джерело безперебійного живлення, інверторне джерело живлення та сонячна електростанція.

Бензиновий генератор. Принцип роботи даного пристрою полягає у перетворенні механічної енергії від згоряння бензинового палива в електричну. Відносно невеликі розміри бензогенератора дозволяють розмістити його на балконі в квартирі. Таке обладнання легко заводиться як при кімнатних, так і при більш низьких температурах. Однак, при роботі бензинові генератори створюють шум в межах 70 дБ.

Дизельний генератор. За аналогією з бензиновим, дизельний генератор перетворює механічну енергію від згоряння дизпалива в електричну. Але на відміну від розглянутого вище пристрою цей здатен працювати цілодобово без перерви. Витрати дизельного палива при цьому в 1,2-1,5 рази менше бензину. Плюс дизельні генератори виробляють електроенергію, собівартість якої нижче, ніж у тієї, що виробляється на бензогенераторах. Але є й мінуси: від генераторів, що працюють на дизпаливі, більшу шуму, вони сильніше забруднюють навколишнє середовище, складніше заводяться на холоді і коштують дорожче за бензинові.

Газовий генератор. Генератори на газу працюють тихо і виділяють в десятки разів менше вуглекислого газу, ніж пристрої на бензині чи солярці. Із запуском газогенераторів не виникає проблем ні за якої погоди. Проте ціна такої мініелектростанції приблизно на 20% вище порівняно з бензиновими аналогами, а паливо менш доступне.

Джерело безперебійного живлення (ДБЖ). Такий пристрій забезпечує резервне електроживлення за допомогою акумуляторних батарей. Основні переваги джерела безперебійного живлення — повна автоматизація роботи, покращення якості електроживлення, екологічна чистота. Недоліки: час роботи моделей потужністю до 20 кВт обмежений десятками хвилин, а ємність акумуляторних батарей з часом знижується, що тягне за собою витрати на придбання нових комплектуючих. Ще один мінус джерела БП: через шум від вентилятора охолодження пристрій треба розміщувати в технічних (і обов'язково опалюваних) приміщеннях.

Інверторне джерело живлення (інвертор). Генератор інверторного типу представляє собою компактну установку, здатну за рахунок АКБ видавати струм з будь-якими параметрами незалежно від вхідної напруги. Інверторне джерело живлення екологічно чисте, працює безшумно і може бути розміщене в будь-якому опалюваному приміщенні. Однак, у інверторів той же недолік, що й у ДБЖ: через 3-5 років експлуатації акумулятор втрачає свою ємність, що призводить до скорочення часу автономної роботи пристрою приблизно вдвічі.

Сонячна електростанція. Встановлена в якості резервного джерела електропостачання сонячна електростанція дозволяє перетворити сонячну енергію в електричну. Час її автономної роботи не обмежений, “паливо” доступне та безкоштовне, а використання не несе негативного впливу на природу і дозволяє впливати на ціну електроенергії. Але, як і у випадку з газовим генератором, при малому споживанні електрики економія незначна.

На рисунку 1.2 представлено схему сонячної електростанції.

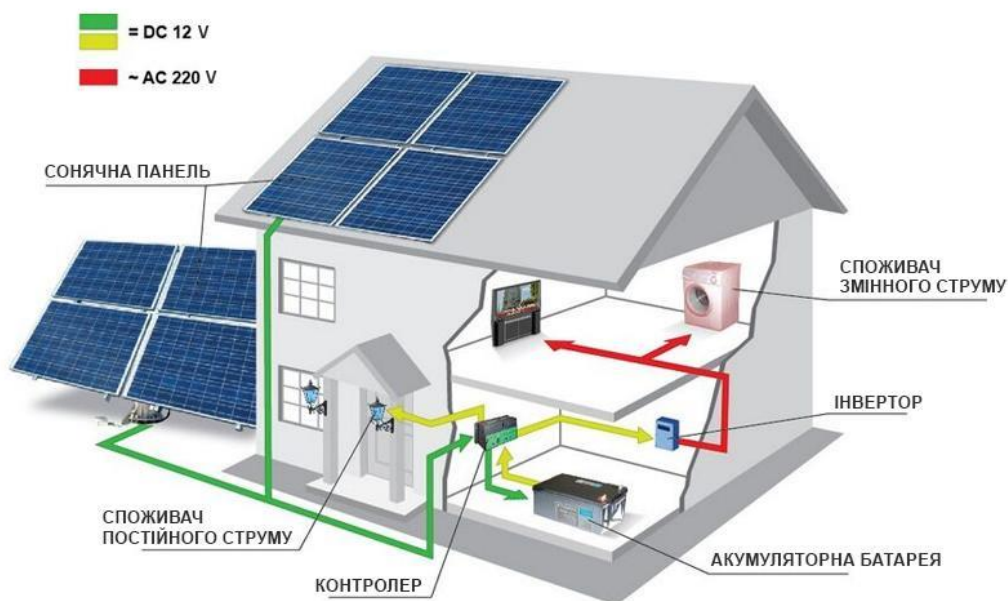


Рисунок 1.2 – Схема сонячної електростанції

Правильний вибір призначеного для цього обладнання буде впливати та можливість та методи автоматизації.

1.2 Проблематика методів управління резервним живленням

В наш час вже існують інструменти які вирішують проблему управління резервним живленням або інтеграції її у вже готову систему розумного домогосподарства.

У міру розвитку інформаційних технологій, сфери енергетики розумна мережа управління резервним живленням потрібна для надання високоякісних і надійних послуг. Розумна мережа – це система, яка поєднує фізичну систему живлення та інформаційно-комунікаційна система, яка з'єднує різні обладнання та активи разом для формування служби обслуговування. Підвищити надійність і міцність живлення мереж і для зниження витрат на енергію розумна мережа включає в себе нові технології в комунікації, відновлювані джерела енергії, розподілені системи, розширений облік, розподілене зберігання.

Використовуючи технології розумних мереж (див. рис. 1.3), користувачі можуть зменшити свої витрати споживання енергії шляхом моніторингу та контролю енергії витік.



Рисунок 1.3 – Технологія розумних мереж

Існує багато тем дослідження, пов'язаних із цією технологією. Наприклад, у «A Home Energy Management System for Energy-Efficient Smart Homes» було розглянуто метод планування для використання домашньої електроенергії з метою зменшення витрат на електроенергію і співвідношення пік-середнє і посилення стабільності всієї системи електроенергії. Щоб мінімізувати витрати електроенергії і зменшити співвідношення пік-середнє шляхом планування схеми електроенергії споживання на основі попередніх даних, щоб гарантувати, що система живлення стабільна та безпечна.

Вони проілюстрували результати їх підходу, щоб показати його ефективність і здійсненність роботи в системі енерго-менеджменту. Критерії по яким було здійснено це дослідження:

- ефективність: метод має забезпечувати ефективну роботу системи резервного живлення, що забезпечує надійне живлення під час відключення основної мережі.

- надійність: метод повинен бути надійним і не містити дефектів, які можуть призвести до відмови системи резервного живлення.

- автоматизація: метод має бути повністю автоматизованим для забезпечення швидкої реакції на відключення основної мережі та автоматичного переходу на резервне живлення.

- енергоефективність: метод повинен бути енергоефективним та економічним у використанні електроенергії, забезпечуючи оптимальну роботу системи резервного живлення.

- масштабованість: метод має бути масштабованим для застосування в різних масштабах від домашніх систем до промислових підприємств.

- сумісність: метод повинен бути сумісним з існуючою інфраструктурою та обладнанням системи резервного живлення, що забезпечить його ефективну роботу в комплексі з іншими елементами системи.

Однією з найбільших проблем залишилось те, що більшість систем резервного живлення для домогосподарств є досить складними та дорогими у встановленні та обслуговуванні. Багато власників житла не можуть собі дозволити такі системи або не мають достатньої кваліфікації для їх установки та ефективного використання.

Іншою проблемою є те, що більшість існуючих систем резервного живлення працюють на основі старих технологій та не забезпечують ефективного використання енергії. Нові системи резервного живлення повинні бути більш енергоефективними та забезпечувати максимальне використання доступних джерел енергії, включаючи сонячну та вітрову енергію.

Розглянуті в дослідженні критерії та методи не дають повної картини поточного стану методів для автоматизованого управління резервним живленням електроенергією.

Існує декілька способів підключення резервного живлення.

Автоматичний ввід резерву (АВР). Автоматичне підключення. При такому способі введення резерву живлення участь людини не потрібна. При відключенні централізованого енергозабезпечення енергія до споживачів підключених до резерву підключається автоматично а при появі енергії з централізованої мережі резервна лінія також відключається автоматично. При цьому джерело резервного живлення автоматично переводиться в режим дозарядки (якщо мова йде про безперебійники з використанням акумуляторних батарей чи сонячні панелі) або вимикається двигун внутрішнього згорання електростанції глушиться (якщо мова йде про використання бензинових та дизельних генераторів резервного живлення).

Напівавтоматичне введення резерву. Напівавтоматичне управління генератором. Відрізняється від автоматичного тим що функції частин процесу бере на себе людина. Або вводить резерв вручну або його зупиняє. В основному це стосується бензинових, газових та дизельних генераторів струму. Генератори з можливістю автоматичного запуску значно дорожчі від генераторів з ручним запуском, тому напівавтоматичне управління генератором в цьому контексті розглядається як оптимальний варіант. За ціною економніший в той же час зручний бо не потребує постійного відслідковування появи основного мережевого живлення, а відключення резерву та зупинку двигуна електрогенератора бере на себе електроніка.

Ручний ввід резерву. Ручне управління генератором. Економний в той же час найменш зручний, бо потребує постійної участі людини. Назва каже сама за себе, вводиться та виводиться резерв вручну. В більшості випадків це стосується експлуатації генераторів. При вимкненні мережевого енергопостачання вручну перемикаються мережева лінія на резервну, вручну запускається генератор. При появі основного енергопостачання потрібно діяти вручну у зворотному напрямку – переключити перемикач на основну мережу та зупинити роботу генератора.

Методи управління резервним живленням мають свої переваги та недоліки, які впливають на ефективність та надійність систем живлення. Деякі з цих проблем включають:

- недостатній час автономної роботи: деякі методи управління резервним живленням можуть мати обмежену автономну роботу. Це може бути особливо проблематичним для систем, які потребують безперебійного живлення;

- невідповідність потребам: деякі методи можуть не задовольняти конкретні потреби системи. Наприклад, метод автоматичного перемикавання може вимагати певного часу на перезавантаження системи, що може бути неприйнятним для деяких додатків;

- висока вартість: деякі методи управління резервним живленням можуть бути дорогими в реалізації та управлінні. Це може бути особливо проблематичним для менших підприємств або організацій з обмеженим бюджетом;

- складність управління: деякі методи можуть бути складними в управлінні, особливо якщо вони потребують використання спеціального обладнання або програмного забезпечення;

- ризики безпеки: недбале управління резервним живленням може призвести до збоїв в системі та порушення її безпеки. Наприклад, некоректне включення резервного живлення може призвести до виходу з ладу обладнання або втрати даних.

Деякі з ризиків, пов'язаних з методами управління резервним живленням, можуть включати:

- відмова резервного джерела живлення: якщо резервне джерело живлення не працює належним чином або не запусниться під час відмови головного джерела живлення, це може призвести до зупинки системи або обладнання. Це може мати серйозні наслідки для безпеки та продуктивності системи.

- несумісність резервного джерела живлення: якщо резервне джерело живлення не сумісне з системою або обладнанням, яке воно живить, може статися несправність в системі або обладнанні. Це може призвести до втрати даних або навіть до псування обладнання.

– неправильне планування живлення: якщо планування живлення не відповідає вимогам системи, це може призвести до втрати життя, травмування або втрати важливих даних.

– погана підтримка обладнання: якщо резервне обладнання не підтримується належним чином, це може призвести до несправності під час відмови головного джерела живлення.

– витрати: встановлення та підтримка резервного живлення може бути дуже дорогим процесом. Деякі компанії можуть бути не готові вкладати значні грошові кошти у такий процес.

– проблеми зі сумісністю програмного забезпечення: Якщо програмне забезпечення несумісне з резервним живленням, це може призвести до несправності або зупинки системи.

Враховуючи, всі проблеми перелічені вище та обсяг даних у складних системах управління енергією, використання неправильного підходу до автоматизації управління резервним живленням може призвести до серйозних проблем із продуктивністю та електропостачанням.

1.3 Постановка задачі

В наш час будь-якому місці може знадобитися автоматичне управління резервним живленням, задля продовження життєдіяльності та роботи.

Основним недоліком існуючих інструментів методів автоматизації управління резервним живленням електроенергією є обмежена функціональність інструментів, що не дозволяє врахувати всі можливі сценарії в разі виникнення аварійних ситуацій. Це може призвести до перерв у живленні, пошкодження обладнання та інших негативних наслідків. Недостатня функціональність може призвести до неефективного використання резервного живлення та збільшення витрат на електроенергію. Також можуть виникнути проблеми з регулюванням

напруги та частоти електроенергії, що може призвести до нестабільності в роботі обладнання та порушення режиму роботи електричних мереж.

В рамках дослідження необхідно вирішити наступні завдання:

- огляд і аналіз наявних методів автоматизації управління резервним живленням електроенергією для домогосподарств.;
- визначити критерії ефективності та надійності системи резервного живлення;
- дослідити можливості застосування сучасних інформаційних технологій для автоматизації управління;
- визначити оптимальної конфігурації системи резервного живлення;
- визначити метрики, які будуть використані для проведення експерименту та подальшого оцінювання;
- розробити математичну модель системи резервного живлення та алгоритму управління для визначених критеріїв ефективності та надійності;
- провести експериментальне дослідження для перевірки ефективності та надійності розробленої системи резервного живлення з використанням даних, приближених до реальних;
- порівняти та проаналізувати отримані дані;
- розробити рекомендації для практичної реалізації та використання кожного з методів.

В наступному розділі будуть оглянуті методи автоматизації управління резервним живленням.

2 ВИБІР МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ РЕЗЕРВНИМ ЖИВЛЕННЯМ

2.1 Аналіз методів автоматизації управління резервним живленням

Автоматизація процесів управління резервним живленням полягає у створенні системи розумних датчиків та програмного забезпечення для них. Вони повинні використовуватися задля моніторингу та контролю за показаннями лічильників та увімкнення або вимикання системи резервного живлення [2].

Система автоматизації домогосподарства автоматично виконує конкретні функціональні процеси в рамках техніки будівлі відповідно до встановлених параметрів. Рівень управління відповідає за контроль системи й оптимізацію її роботи за допомогою спеціального програмного забезпечення — системи управління домогосподарством. Програмне забезпечення візуалізує та зберігає інформацію та дані.

Рівень автоматизації відповідає за обробку та оцінку зібраної інформації. Команди перемикавання та позиціонування перенаправляються на польовий рівень. Однак вони також можуть бути передані на всі інші рівні рівня команд, як зображено на рисунку 2.1.

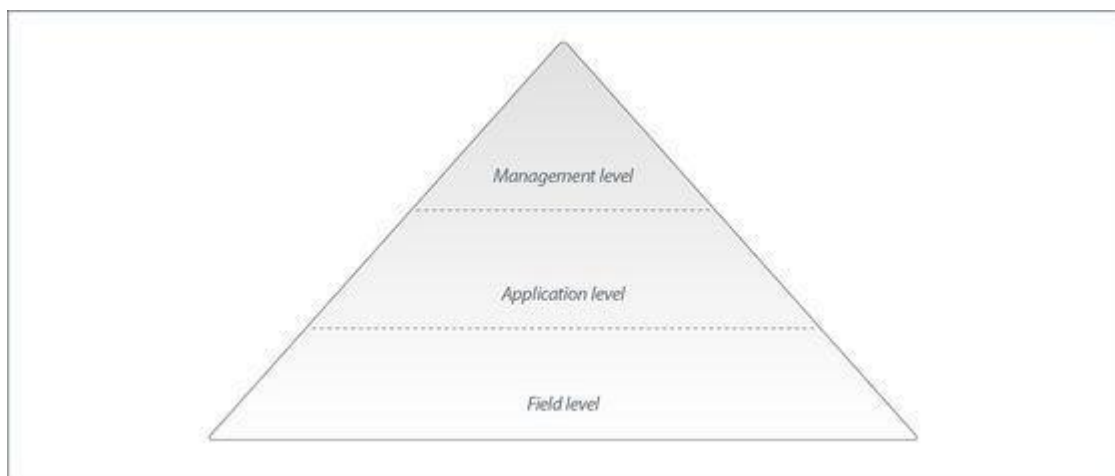


Рисунок 2.1 – Структура автоматизації

Польовий рівень передбачає виконання всіх функцій, вимірювання та передачу даних. Ці дані надходять від датчиків та сервомеханізмів. Для передачі інформації від датчиків чи команд керування позиціонуванням до сервомеханізмів пристрої необхідно підключити до спільної мережі.

Управління резервним живленням може бути складним завданням через різноманітність систем живлення, що використовуються в різних пристроях та устаткуванні, а також через різні методи їх управління. Деякі з цих методів можуть бути складнішими за інші через їх високу технічну складність, потребу висококваліфікованих фахівців для налагодження та обслуговування, або через складність взаємодії з іншими системами управління.

Наприклад, метод управління резервним живленням на основі дизель-генераторів може бути складним через необхідність підтримувати стабільну роботу генераторів, їх забезпечення паливом та регулювання напруги та частоти вихідного струму. Також важливо мати достатню кількість палива для генераторів та систему контролю за рівнем палива.

Також управління резервним живленням на основі акумуляторів може також бути складним через потребу встановлення відповідного електронного устаткування для забезпечення оптимальної зарядки та розрядки акумуляторів. Також важливо мати детальний план заміни акумуляторів та забезпечення їх правильного зберігання.

Таким чином, складність методів управління резервним живленням може бути залежна від типу системи живлення та її технічних характеристик, а також від складності управління самою системою. Розумна стратегія управління резервним живленням повинна бути добре обміркована та враховувати всі можливі ризики та складності.

Основою такого домогосподарства, є хаб, він же контролер (див. рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Хаб

Це мережевий пристрій, який пов'язує всі елементи в єдину систему. Принцип роботи заснований на виконанні команд, отриманих від людини або датчиків. У нашому випадку, у більшості випадків, контролер сам приймає рішення, яке залежить від запрограмованого сценарію, тобто від постачання електроенергії та показань датчиків на лічильниках. Поєднуючи різні відкриті рішення або розширюючи закриті за допомогою спеціальних мостів і шлюзів, можна домогтися синергетичного ефекту. Тож алгоритм дій з такою системою досить зрозумілий та її можливо буде, через хаб та контролери, інтегрувати у вже існуючі рішення розумного дому.

2.2.1 Огляд інструментів управління резервним живленням

В наш час вже існують інструменти які вирішують проблему управління резервним живленням або інтеграції її у вже готову систему розумного домогосподарства. Одні з них більш відомі та поширені, інші, навпаки майже менш відомі та популярні.

Сучасні автоматизовані системи обліку електроенергії – Smart Metering Systems є одною із складових Smart Grid. Smart Metering System передбачає впровадження інтелектуальних приладів обліку у виробника й споживача, автоматизацію системи збирання, оброблення даних і надання інформації щодо виробництва, передавання, розподілу і споживання енергоресурсів.

Використовується для віддаленого моніторингу та контролю показань лічильників електроенергії, водо- та газопостачання, обліку теплової енергії та для своєчасного виявлення аварійних ситуацій. Розумний лічильник допомагає правильно розрахувати витрати за комунальні послуги та уникнути зайвих витрат для споживача. У рішеннях для розумного міста використовується телеметрія — комплекс технологій, за допомогою яких можна контролювати різні об'єкти та процеси на відстані. Вона дозволяє дистанційно збирати та обробляти дані, спостерігати за станом мереж, наприклад, у багатоквартирних та приватних будинках. Зокрема, GSM-телеметрію використовують у промисловості: підприємства та заводи з її допомогою відстежують обсяг споживання ресурсів, а також стан власних транспортних магістралей. Розумні системи обліку мають широку сферу застосування, у чому полягає одна з їхніх переваг. Вони актуальні для будь-якого енергоносія:

- електроенергія;
- вода;
- тепло;
- газ;
- нафта.

Автоматизації підлягають системи водопостачання та енергетики як житлових будинків, так і системи на підприємствах. Таким чином, розумні лічильники не тільки допомагають економно споживати ресурси, а й дозволяють мінімізувати наслідки аварій [3].

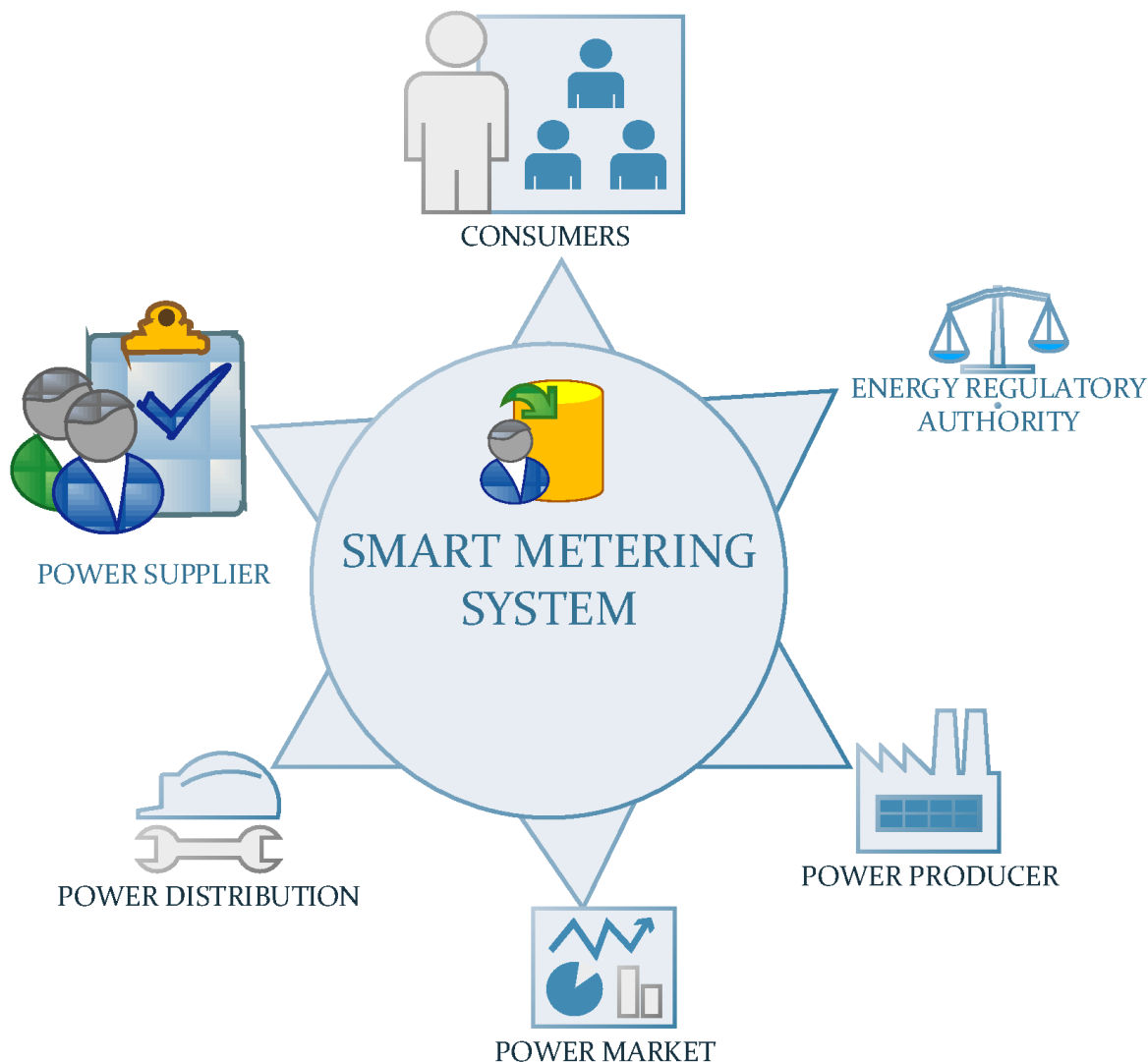


Рисунок 2.2 – Схема системи Smart metering

Один з найпопулярніших та відомих інструментів є Smart metering від Kyivstar. Smart metering від Kyivstar — це система розумних датчиків, один із сервісів Smart city (див. рис. 2.3).

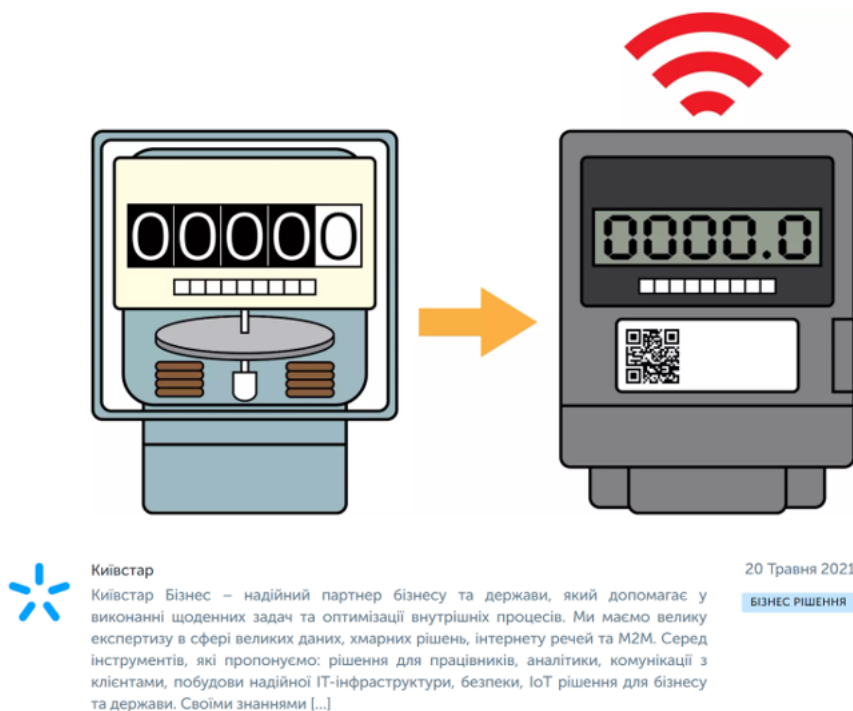


Рисунок 2.3 – Система Smart metering від Kyivstar

Ця система розумних датчиків працює на основі інформаційних та комунікаційних технологій у поєднанні з IoT-технологіями (Інтернетом речей). Також використовується спеціалізоване програмне забезпечення, яке розроблене для розумного міста та його складових. Для телеметрії використовується стандарт NB-IoT, який застосовується для пристроїв із низькими обсягами обміну даними. Його переваги полягають у гнучкому управлінні енергоспоживанням, великою ємністю мережі. Також варто зазначити, що сигнал може проникати навіть у підвальні приміщення з товстим залізобетонним фундаментом. NB-IoT-технології забезпечують надійне, захищене від перешкод з'єднання з мережею. Для передачі даних використовуються частоти, що ліцензуються — такі канали зв'язку контролюються державною службою від незаконного втручання.

Наступним засобом управління резервним живленням та моніторингом ресурсів від smart-maіc (див. рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Система Smart metering від smart-maic

Розумні лічильники smart-MAIC допоможуть у простій візуальній формі контролювати споживання електроенергії, води, газу, тепла, аналізувати температуру, вологість, тиск, CO₂, TDS, рН та любі інші ресурси та події.

Модельний ряд представлений енергомоніторами для постійного вимірювання параметрів електричної мережі й споживання електроенергії, універсальними імпульсними лічильниками для вимірювання споживання води, газу, тепла, датчиками температури, вологості, тиску, освітленості, сенсорами якості води, швидкості вітру та багато іншими.

Для аналізу і візуалізації даних використовуйте хмарний WEB-додаток smart-MAIC Dashboard з телефону, планшета або настільного комп'ютера, для усіх платформ Windows, Android та iOS. Користувачеві доступне гнучке налаштування віджетів індикаторів і графіків, велика кількість інформаційних панелей та підключених пристроїв до одного облікового запису. Всі зібрані дані зберігаються на хмарному сервері з хвилинною деталізацією. При роботі в режимі реального часу показання з лічильників оновлюються з інтервалом 5 секунд. Для інтеграції з іншими системами безкоштовного доступу MQTT клієнт і API інтерфейс. Після установки і початкового налаштування пристрій smart-MAIC почне перетворення

вимірних параметрів в інформацію, яка буде відправлена за допомогою бездротової технології Wi-Fi або GSM на хмарний сервер даних. Спеціальні налаштування для роботи не потрібні, лічильник самостійно підключається до хмарного сервера даних і забезпечує двонаправлений обмін інформацією.

2.2.2 Огляд методу управління резервним живленням SCADA

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – це система збору, моніторингу та управління даними, що використовується для контролю за великими фізичними процесами, наприклад, енергетичними мережами, водопроводами, газопроводами тощо та забезпечує контроль за процесами виробництва. Система SCADA може бути використана для автоматизації управління резервним живленням електроенергією[4]. Деякі з переваг SCADA включають наступне:

- моніторинг в режимі реального часу: SCADA дозволяє отримувати дані в режимі реального часу і забезпечує операторів інформацією про стан системи у режимі онлайн;
- управління з віддаленого доступу: SCADA дозволяє операторам здійснювати керування системою з віддаленого доступу з будь-якого місця, що робить цей процес більш зручним та ефективним;
- аналіз даних: SCADA забезпечує збір та аналіз даних з системи. Це дозволяє операторам визначати поточні та майбутні потреби системи та вживати заходів з покращення її ефективності;
- автоматизація процесів: SCADA дозволяє автоматизувати рутинні операції, що зменшує кількість помилок, пов'язаних з людським фактором;
- збільшення ефективності: Використання SCADA дозволяє збільшити ефективність системи та зменшити витрати, пов'язані з її управлінням;

– безпека: SCADA дозволяє забезпечувати безпеку системи шляхом контролю доступу та забезпечення захисту від вторгнень та кібератак.

У системі SCADA використовуються сенсори, що зчитують дані з електрообладнання та передають їх на сервер. На сервері обробляються ці дані та виводяться на монітори управління. Оператор може відстежувати різні параметри електроенергії, такі як напруга, струм, частота та інші.

У разі виникнення аварії оператор може віддалено керувати системою резервного живлення. SCADA забезпечує автоматичне ввімкнення системи резервного живлення при відключенні основного джерела живлення. Оператор може також вручну включити систему резервного живлення в разі потреби.

Однак, недоліком системи SCADA є те, що вона може бути вразлива до кібератак, що може призвести до втрати контролю над електроенергією. Тому, для забезпечення безпеки, необхідно використовувати заходи кібербезпеки, такі як шифрування даних та багаторівневе аутентифікування[5].

Математично цю систему можна описати за допомогою рівнянь.

Рівняння збору даних:

$$Y = HX + V, \quad (1)$$

де Y – вектор отриманих даних,

H – матриця спостереження,

X – вектор стану,

V – вектор шуму вимірювання.

Рівняння керування:

$$Y = HX + V, \quad (2)$$

де U – вектор керуючих сигналів,

K – матриця керування.

Рівняння стану:

$$X' = AX + BU + w, \quad (3)$$

де A – матриця стану,

B – матриця керування,

w – вектор шуму стану.

Крім цього, SCADA може включати такі математичні методи як фільтрація, передбачення, оптимізація, аналіз чутливості та інші. Взагалі, математичні моделі SCADA базуються на принципах теорії керування та оптимізації.

2.2.3 Огляд методу управління резервним живленням ATS

ATS (Automatic Transfer Switches) – це метод автоматизації управління резервним живленням, що використовується для швидкої переключення електроживлення від одного джерела до іншого. ATS може бути встановлений на основні та резервні лінії живлення для забезпечення неперервності живлення в разі відмови основного джерела електроживлення[6]. ATS складається з двох автоматичних перемикачів та контролера, які автоматично переключають живлення на резервний джерело в разі відмови основного джерела.

ATS – автоматичний перемикач для управління резервним живленням, має наступні переваги:

- автоматизація процесу: ATS автоматично вмикає резервний джерело живлення, коли стає недоступним основний джерело живлення. Це дозволяє забезпечити безперебійне живлення при виникненні аварійних ситуацій;

- швидкість переключення: ATS здатний перемикатись між джерелами живлення за декілька мілісекунд, що дозволяє уникнути відключення електроживлення в чутливих системах;

- висока надійність: ATS забезпечує надійну роботу резервного джерела живлення в автоматичному режимі, що зменшує ризик відключення електроживлення та знижує вартість ремонту та обслуговування обладнання;

- сумісність з різними джерелами живлення: ATS може бути використаний з різними типами джерел живлення, включаючи дизельні генератори, батареї, сонячні панелі та інші;

- простота у використанні: ATS дозволяє легко керувати процесом перемикання між джерелами живлення, не потребуючи від користувача особливих знань чи навичок;

- економія електроенергії: ATS дозволяє ефективно використовувати електроенергію, забезпечуючи перехід на резервне джерело живлення в разі необхідності, тим самим зменшуючи витрати на електроенергію.

І зразу деякі з недоліків методу управління резервним живленням ATS:

- витрати на установку та обслуговування: встановлення ATS потребує додаткових витрат на електричне та механічне з'єднання з електричною мережею та генератором, а також на обслуговування та перевірку стану системи.

- ризик відмови: ATS може стати джерелом недоліків у випадку, якщо компоненти ATS не відповідають вимогам безпеки, або якщо мережеві перерви відбуваються занадто часто. У таких випадках ATS може неправильно перемикати живлення між мережею та генератором, що може призвести до пошкодження обладнання та інших наслідків;

- обмежені можливості: ATS має обмежені можливості управління резервним живленням, і не завжди може забезпечити необхідний рівень енергопостачання, який потрібен у випадку аварії;

- залежність від стану мережі: ATS має можливість включення генератора тільки в разі перерви в електромережі, тому якщо в мережі відбувається збій, але мережа все ще працює, то ATS не буде активований. Це може призвести до втрати енергії або пошкодження обладнання, якщо це сталося в результаті аварії;

- недостатня масштабованість: ATS може бути недостатньо ефективним у випадку, якщо необхідно забезпечити резервне живлення для великої кількості

споживачів або при великому обсязі даних, що потребують надійного забезпечення енергією. У таких випадках можуть бути потрібні більш потужні та складні системи управління резервним живленням.

ATS працює на основі програмованих алгоритмів, які відслідковують параметри електромережі та контролюють стан основних та резервних джерел електроживлення. У разі відмови основного джерела, ATS автоматично переключає живлення на резервне джерело, забезпечуючи неперервне живлення.

Для моделювання електричної мережі можна використовувати систему рівнянь, що описують струми, напруги та активну та реактивну потужності. Така система рівнянь дозволяє врахувати електричні параметри мережі та їх залежності від вхідних параметрів.

Описуємо математичну модель ATS. Нехай є два джерела електроживлення А та В, які можуть працювати в режимі основного або резервного джерела. Тоді систему рівнянь можна описати наступним чином:

$$I_1 = I_A + I_B \quad (4)$$

$$I_2 = I_A + I_B \quad (5)$$

$$U_1 = U_A + U_B \quad (6)$$

$$U_2 = U_A + U_B \quad (7)$$

$$P_1 = U_1 I_1 \cos(\varphi_1) \quad (8)$$

$$Q_1 = U_1 I_1 \sin(\varphi_1) \quad (9)$$

$$P_2 = U_2 I_2 \cos(\varphi_2) \quad (10)$$

$$Q_2 = U_2 I_2 \sin(\varphi_2) \quad (11)$$

де I_1 та I_2 – струми, що протікають через ATS;

U_1 та U_2 – напруги на вході та виході ATS;

I_A та I_B – струми від основного та резервного джерела відповідно;

U_A та U_B – напруги від основного та резервного джерела відповідно;

P_1 та P_2 – активна потужність на вході та виході ATS;

Q_1 та Q_2 – реактивна потужність на вході та виході ATS;

φ_1 та φ_2 – кут між напругою та струмом на вході та виході ATS відповідно.

Окрім того, моделі ATS можуть бути інтегровані в системи управління енергопостачанням, що дозволяє забезпечувати більш високу автоматизацію та надійність електромережі.

2.2 Визначення методики проведення дослідження

Вплив обраного методу автоматизації управління резервним живленням можна спостерігати при достатній кількості електроприладів.

Важливо думати про продуктивність при розробці програми та проведенням дослідження. Перший етап полягає в обранні методу дослідження, який буде використовуватися для вивчення методів автоматизації управління резервним живленням електроенергією. Тут можна використовувати різні методи, такі як аналіз літератури, опитування експертів, математичне моделювання та інші. На другому етапі потрібно визначити цілі та завдання дослідження. Наприклад, цілями можуть бути вивчення існуючих методів автоматизації, виявлення їх переваг та недоліків, розробка нових методів, а також оцінка ефективності впровадження цих методів. Третій етап передбачає вибір джерел даних, які будуть використовуватися для дослідження. Це можуть бути наукові статті, публікації у фахових журналах, дані з експериментів, опитування фахівців та інші джерела. Четвертий етап передбачає збір та аналіз даних, що були зібрані на попередньому етапі. Для цього можуть використовуватися різноманітні методи аналізу даних, такі як статистичний аналіз, кореляційний аналіз, аналіз чутливості та інші. На п'ятому етапі проводиться розробка та тестування нових методів автоматизації управління резервним живленням електроенергією. Важливо забезпечити правильне тестування нових методів.

Для вимірювання продуктивності систем управління резервним живленням можуть використовуватися такі показники:

– технічна доступність: співвідношення часу, протягом якого система була доступна для використання, до загального часу спостереження. Цей показник визначає, наскільки ефективно система працює і наскільки часто вона не доступна для використання через відмову або інші проблеми;

– час відновлення: час, необхідний для відновлення системи після відмови або перебою в роботі. Чим менше час відновлення, тим швидше система може повернутися до роботи і тим менше часу вона буде відключена від живлення;

– продуктивність: співвідношення виробництва електроенергії до кількості витраченої енергії на виробництво. Цей показник визначає, як ефективно система використовує енергію для виробництва електроенергії;

– економічна ефективність: співвідношення вартості виробництва електроенергії до загальних витрат на утримання системи управління резервним живленням. Цей показник визначає, наскільки ефективно система працює з економічної точки зору;

– надійність: співвідношення часу безвідмовної роботи системи до загального часу спостереження. Цей показник визначає, наскільки надійна система.

Для вимірювання потужності системи резервного живлення можна використовувати вимірювальні прилади, такі як ватметри, амперметри, вольтметри тощо. Загалом, вимірювання продуктивності методів автоматизації управління резервним живленням електроенергією є складним та багатоаспектним процесом, який потребує врахування багатьох факторів та використання різних методів вимірювань. Тож в якості значень від вимірювань будуть використані дані, які є у відкритому доступі. Неправильно обраний метод для автоматизації управління резервним живленням може призвести до неправильного порядку включення електроприладів та подальшої проблеми з постачанням електроенергії.

3 ОПИС ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Опис прийнятих проектних рішень

Для розробки алгоритму показника економічної ефективності було обрано мову програмування Node.js.

Node.js – це відкрите середовище виконання JavaScript, що базується на двигуні V8, розробленому компанією Google для браузера Chrome. Node.js дозволяє виконувати JavaScript на сервері, що дозволяє створювати високоефективні та масштабовані веб-застосунки. Його можна використовувати для розробки різноманітних застосунків, таких як веб-сервери, API, мікросервіси, інструменти командного рядка та інші. Node.js можна встановити на різноманітні операційні системи, такі як Windows, macOS та Linux. Його можна встановити за допомогою виконання спеціальних команд в терміналі, або ж використовуючи спеціальні інсталятори для вашої операційної системи.

Node.js також має велику кількість пакетів та модулів, які можна використовувати для розробки. Найбільш популярним менеджером пакетів для Node.js є npm (Node Package Manager), який дозволяє встановлювати, оновлювати та видаляти пакети.

Окрім того, для розробки на Node.js часто використовують фреймворки, такі як Express.js, Nest.js, Koa.js та інші. Ці фреймворки надають розробникам інструменти для створення веб-серверів, API та інших застосунків на Node.js.

Node.js має безліч переваг, серед яких:

- швидкодія: використання двигуна V8 дозволяє Node.js виконувати JavaScript швидше, ніж інші середовища виконання, які використовують інтерпретатор JavaScript;

- асинхронність: Node.js дозволяє виконувати код асинхронно, що дозволяє створювати високоефективні та масштабовані веб-застосунки, які можуть обробляти багато запитів одночасно;

- розширюваність: Node.js має безліч модулів та бібліотек, що дозволяє розширювати його можливості та швидко створювати веб-застосунки;
- однаковий мовний стек: використання JavaScript на сервері та на клієнті дозволяє розробникам використовувати однаковий мовний стек на обох сторонах, що спрощує розробку та підтримку коду.

Node.js може бути легко масштабований для роботи з багатьма процесами, вузлами та кластерами, що дозволяє ефективно обробляти великі обсяги даних та запитів. А так як буде розроблений лише приклад алгоритму, в наступних реалізаціях масштабованість бути грати головну роль.

1.2 Розробка презентаційної частини

Було обрано бібліотеку React[7], для створення інтерактивного веб-інтерфейсу, на стороні клієнта з використанням JavaScript та Typescript. Ця бібліотека надає такі можливості:

- створення багатофункціональних призначених для користувача;
- спільне використання серверної та клієнтської логік додатків, написаних за допомогою JavaScript;
- відображення призначеного для користувача інтерфейсу у вигляді HTML-сторінки з CSS для широкої підтримки браузерів, в тому числі для мобільних пристроїв;

Основними будівельними блоками React є компоненти. Компонентом React називається будь-який елемент призначений для користувача інтерфейсу, наприклад сторінка, діалогове вікно або форма введення даних. Компоненти є класами, вбудованими в збірки JavaScript, які:

- визначають гнучку логіку візуалізації призначеного для користувача інтерфейсу;
- оброблюють дії користувача;

- можуть бути вкладені один в одного, та повторно використовуватися;
- можна спільно використовувати та поширювати у вигляді бібліотек класів.

Компонента зазвичай записується у вигляді сторінки розмітки React з розширенням файлу `.jsx`. Синтаксис React поєднує розмітку HTML з кодом JavaScript, дозволяючи підвищити продуктивність та зручність розробки.

Його мета полягає в тому, щоб бути швидким, простим, масштабованим. React обробляє тільки користувацький інтерфейс у застосунках. Це відповідає видові у шаблоні модель-вид-контролер (MVC), і може бути використане у поєднанні з іншими JavaScript бібліотеками або в великих фреймворках MVC. React працює у всіх сучасних веб-браузерах, включаючи браузери мобільних пристроїв.

Для розробки презентаційної частини було обрано React – відкриту JavaScript бібліотеку для створення інтерфейсів користувача, яка покликана вирішувати проблеми часткового оновлення вмісту веб-сторінки. React дозволяє розробникам створювати великі веб-застосунки, які використовують дані, котрі змінюються з часом, без перезавантаження сторінки. Його мета полягає в тому, щоб бути швидким, простим, масштабованим. React обробляє тільки користувацький інтерфейс у застосунках. Це відповідає видові у шаблоні модель-вид-контролер (MVC), і може бути використане у поєднанні з іншими JavaScript бібліотеками або в великих фреймворках MVC. React працює у всіх сучасних веб-браузерах, включаючи браузери мобільних пристроїв.

Компоненти можуть використовувати будь-яку бібліотеку або API, які може використовувати JavaScript.

Окрім `jsx` компонентів базова структура React застосування містить ряд файлів та директорій необхідних для коректної роботи системи. Передбачається, що я повинен мати мінімальну структуру проекту, наприклад створену за допомогою `create-react-app`:

- точка входу. Точка входу додатку React визначається у файлі `package.json`. При виконанні додаток створює і запускає екземпляр хост-сайту з використанням стандартних налаштувань, характерних для веб-додатків. Хост-сайт управляє

життєвим циклом додатка React і налаштовує служби на рівні вузла;

- статичні файли такі як `.gitignore`, `package.json`, `README.md`, `package-lock.json`;

- папки: `public` і `src`. У `src` я буду зберігати мій вихідний код.

React є гарним рішенням для реалізації клієнтської частини веб-орієнтованої системи для розвитку розумових здібностей і надання пластичності мозку у зрілому та дошкільному віці, через свою швидкодійність, у порівнянні з класичними клієнтськими застосування розробленими на JavaScript, та перевагами від використання бібліотек менеджер станів.

React підтримує віртуальний DOM, а не покладається виключно на DOM браузера. Це дозволяє бібліотеці визначити, які частини DOM змінилися, порівняно зі збереженою версією віртуального DOM, і таким чином визначити, як найефективніше оновити DOM браузера. Таким чином програміст працює зі сторінкою, вважаючи що вона оновлюється вся, але бібліотека самостійно вирішує які компоненти сторінки треба оновити.

3.3 Реалізація управління резервним живленням

3.3.1 Реалізація алгоритма для вимірювання показників системи управління резервним живленням

Для реалізації алгоритма для вимірювання показників технічної доступності, часу відновлення, продуктивності, економічної ефективності та надійності системи управління резервним живленням використаний Node.JS.

Спочатку був створений файл з розширенням `.js`, в якому буде об'явлений алгоритм, який пере використовується для розрахунку продуктивності для різних методів.

В першу чергу треба зробити вимірювання показника технічної доступності (див. рис. 3.1):

- задати початковий час спостереження (`start_time`) та час завершення спостереження (`end_time`);
- задати змінну для загального часу спостереження (`total_time`) та початкове значення 0;
- пройтися по всіх подіях відмови та відновлення системи та обчислити час між ними;
- додати цей час до загального часу спостереження (`total_time`).

```
// задаємо початковий та кінцевий час спостереження
const start_time = new Date("2022-05-05T00:00:00");
const end_time = new Date("2022-05-05T00:00:00");

// задаємо змінну для загального часу спостереження та початкове значення 0
let total_time = 0;

// список подій з часами відмов та відновлень
const events = [
  { start: new Date("2022-05-05T01:00:00"), end: new Date("2022-05-05T01:30:00") },
  { start: new Date("2022-05-05T02:00:00"), end: new Date("2022-05-05T02:30:00") },
  { start: new Date("2022-05-05T03:00:00"), end: new Date("2022-05-05T03:30:00") },
];

// проходимо по всіх подіях та обчислюємо час між ними
for (let i = 0; i < events.length; i++) {
  const event = events[i];
  const downtime = event.end - event.start;
  total_time += downtime;
}

// обчислюємо показник технічної доступності
const total_downtime = total_time / 1000; // переводимо мілісекунди в секунди
const availability = (end_time - start_time - total_downtime) / (end_time - start_time);
console.log(`Показник технічної доступності: ${availability}`);
```

Рисунок 3.1 – Вимірювання показника технічної доступності

Далі треба виміряти показника часу відновлення (див. рис. 3.2):

- пройтися по всіх подіях відмови та відновлення системи та обчислити час між ними;
- обчислити середнє значення часу відновлення.

```

let totalRecoveryTime = 0;
let numFailures = 0;

for (let i = 1; i < events.length; i += 2) {
  let recoveryTime = events[i] - events[i-1];
  totalRecoveryTime += recoveryTime;
  numFailures++;
}

const avgRecoveryTime = totalRecoveryTime / numFailures;

console.log(`Показник часу відновлення: ${avgRecoveryTime}`);

```

Рисунок 3.2 – Вимірювання показника часу відновлення

Після цього буде вимірювання показника продуктивності (див. рис. 3.3):

- задати змінну для загальної виробленої електроенергії (`total_energy`) та початкове значення 0;
- задати змінну для загальної витрати енергії на виробництво (`total_input_energy`) та початкове значення 0;
- пройтися по всіх виробничих циклах та обчислити кількість виробленої електроенергії та витрату енергії на виробництво;
- обчислити показник продуктивності.

```

let total_energy = 0;
let total_input_energy = 0;

for (let i = 0; i < production_cycles.length; i++) {
  let energy_produced = production_cycles[i].energy_produced;
  let energy_input = production_cycles[i].energy_input;

  total_energy += energy_produced;
  total_input_energy += energy_input;
}

const productivity = total_energy / total_input_energy;

console.log(`Показник продуктивності: ${productivity}`);

```

Рисунок 3.3 – Вимірювання показника продуктивності

Останнім буде вимірювання показника економічної ефективності, який буде залежить від використання електроенергії та ціни (див. рис. 3.4)

```
const energy_production = 1000; // кількість виробленої електроенергії, кВт
const energy_consumed = 800; // кількість витраченої енергії, кВт
const energy_cost = 0.1; // вартість електроенергії, у гривнях за кВт-год

// Вимірювання показників
const production_cost = energy_production * energy_cost; // вартість виробництва електроенергії
const total_cost = production_cost + energy_consumed * energy_cost; // загальна вартість витрат на утримання системи
const economic_efficiency = production_cost / total_cost; // економічна ефективність

// Виведення результатів
console.log(`Вартість виробництва електроенергії: ${production_cost} грн`);
console.log(`Загальна вартість витрат на утримання системи: ${total_cost} грн`);
console.log(`Економічна ефективність: ${economic_efficiency}`);
```

Рисунок 3.4 – Вимірювання показника економічної ефективності

Обчисливши співвідношення вартості виробленої електроенергії до загальних витрат на утримання системи були отримані потрібні дані.

3.3.2 Реалізація управління резервним живленням SCADA

Для реалізації управління резервним живленням SCADA в середі Node.JS було встановлений пакет node-scada-client (див. рис. 3.5).

```
const scada = require('node-scada-client');
```

Рисунок 3.5 – Пакет node-scada-client

В першу чергу створив новий файл, де виділив константу задля всіх опцій для SCADA клієнту (див. рис. 3.6):

- адрес IP_SCADA сервер;
- номер порту SCADA сервера;
- назва протоколу SCADA сервера;
- логін SCADA користувача;

– пароль SCADA користувача.

```
const scada = require('node-scada-client');

const options = {
  host: 'IP_SCADA',
  port: 'PORT_SCADA',
  protocol: 'PROTOCOL_SCADA',
  auth: {
    username: 'USERNAME_SCADA',
    password: 'PASSWORD_SCADA'
  }
};
```

Рисунок 3.6 – Опції для SCADA клієнту

Після цього була зроблена ініціалізацію клієнта з усіма валідними даними та відкритий MQTT (див. рис. 3.7).

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) – це легковажний, ефективний та надійний протокол передачі повідомлень, який розроблений для обміну даними між пристроями з низькою пропускнуою здатністю та низькою швидкістю передачі даних, таких як датчики та мікроконтролери, через мережі з обмеженими ресурсами, такі як мобільні мережі та IoT (Internet of Things) мережі[8]. Багато пристроїв можуть підключатись по ненадійних стільникових мережах з низькою пропускнуою здатністю та високою затримкою. У MQTT вбудовані функції, що скорочують час, який потрібно пристроям для відновлення підключення до хмари.

Протокол MQTT забезпечує можливість передачі повідомлень в певний топик (тему) та підписку на певні топіки. Клієнти, які підписалися на певний топик, отримують всі повідомлення, які надходять в цей топик.

MQTT є дуже популярним протоколом в області IoT та M2M (Machine-to-Machine) комунікації, оскільки він дозволяє зменшити використання мережевих

ресурсів та споживання енергії, а також забезпечує можливість швидкої та ефективної передачі повідомлень у режимі реального часу.

```
const client = new scada.Client(options);

client.connect(function (res, err) {
  if (err) {
    console.log('Помилка підключення до SCADA сервера:', err);
    return;
  }
  console.log('Підключення до SCADA сервера встановлено');

  // тут додавання результату до раніше створеного алгоритму
  measureSystem(res)

  client.disconnect(function (err) {
    if (err) {
      console.log('Помилка відключення від SCADA сервера:', err);
      return;
    }
    console.log('Підключення до SCADA сервера закрито');
  });
});
```

Рисунок 3.7 – Ініціалізація SCADA клієнта

Після отримання даних із SCADA клієнту додаю їх у вже створений алгоритм з вимірюваннями показників системи управління резервним живленням. Таким чином була реалізована система управління резервним живленням SCADA[9].

3.3.3 Реалізація управління резервним живленням ATS

Реалізація управління резервним живленням ATS в цілому схожа зі SCADA. Також, для реалізації управління резервним живленням ATS в середі Node.JS було встановлений сторонній пакет node-ats-lib (див. рис. 3.8). В першу чергу створив новий файл. Наступним кроком була ініціалізована зміна, яка підключає це модуль за допомогою передачу шляху до файлу.

```
const atsLib = require('node-ats-lib');
```

Рисунок 3.8 – Пакет node-ats-lib

Далі у цьому файлі були визначені дані, які потрібні для підключенню ATS клієнту (див. рис. 3.9). А саме, для підключення ATS клієнту потрібні такі дані: IP-адреса ATS-контролера, порт для підключення та таймаут з'єднання, який записується у мілісекундах.

```
const atsLib = require('node-ats-lib');

const ipAddress = '192.168.1.1'; // IP-адреса ATS-контролера
const port = 2000; // порт для підключення
const timeout = 10000; // таймаут з'єднання (у мілісекундах)
```

Рисунок 3.9 – Дані для підключення ATS клієнта

Після цього, за допомогою раніше ініціалізованої, для використання модуля, змінної підключився до ATS-контролера зі значеннями, описаними кроком вище (див. рис. 3.10).

```
// підключення до ATS-контролера
const client = new atsLib.AtsClient(ipAddress, port, timeout);
```

Рисунок 3.10 – Підключення до ATS-контролера

Останній крок – це взаємодія з ATS-контролером, та відправлення інформації для вже створеного алгоритму (див. рис. 3.11). В цьому кроці ми додаємо перевірки на отримання інформації про аварії. Якщо по якійсь причині новостворений контролер відправить помилку, вона буде залогована там будуть зрозумілі причини.

```

// взаємодія з ATS-контролером
client.getAlarms((err, alarms) => {
  if (err) {
    console.log(`Помилка при отриманні інформації про аварії: ${err}`);
    return;
  }

  measureSystem(alarms)

// закриття з'єднання з ATS-контролером
client.disconnect();
console.log('Відключено від ATS-контролера');
});

```

Рисунок 3.11 – Взаємодія з ATS-контролером

Тепер кожен раз, як буде сигнал, він буде проходити функцію алгоритму, зберігаючи дані та працюючи з ними потім. Також є функціональність закриття з'єднання з ATS-контролером, тому що в кінці рекомендується закривати з'єднання з контролером за допомогою, щоб звільнити ресурси та уникнути можливих проблем з підключенням до контролера в майбутньому. Тому, потім, коли з'єднання більше не потрібне, викликається метод `disconnect` об'єкта. Це призведе до закриття з'єднання з ATS-контролером. Після закриття з'єднання з клієнтом, ця дія записується в логер.

Таким чином була реалізована функція взаємодії з ATS-контролером та наступна взаємодія з раніше написаним алгоритмом.

4 ОПИС ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводились за допомогою емуляторів контролерів управління живлення та приблизних даних за використання електроенергії, без повноцінного розгортання системи через необхідність використання багатьох ресурсів для реальних embedded пристроїв[10].

У межах даної роботи було проведено типи вимірювань:

- вимірювання показника технічної доступності;
- вимірювання показника часу відновлення;
- вимірювання показника продуктивності;
- вимірювання показника економічної ефективності.

В якості дат спостереження були взяті три дні для кожного методу.

Формула (12) використовується для розрахунку показника технічної доступності:

$$A = \frac{E - S - T}{E - S}, \quad (12)$$

де A – показник технічної доступності,

E – це час завершення спостереження,

S – це початковий час спостереження,

T – загальний час недоступності системи між всіма відмовами та відновленнями.

Результати, що були отримані при вимірюванні показника технічної доступності, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вимірювання показника технічної доступності

	Метод SCADA	Метод ATS
Початковий час спостереження	01.05.2023	05.05.2023
Кінцевий час спостереження	03.05.2023	07.05.2023

Кінець таблиці 1.

	Метод SCADA	Метод ATS
Кількість подій	2	3
Загальний час між подіями	8.5 год	1.5 год
Показник технічної доступності	0.82	0.96

Наступна формула (13) використовується для розрахунку показника часу відновлення:

$$V = \frac{T}{F'} \quad (13)$$

де A – показник часу відновлення,

T – це загальний час відновлення,

F – це кількість невдалих подій

Результати розрахунків представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Вимірювання показника часу відновлення

	Метод SCADA	Метод ATS
Кількість невдалих подій	2	3
Загальний час відновлення	8.5 год	1.5 год
Показник часу відновлення	4.25 год	0.5 год

Наступним кроком було пораховано показник продуктивності використовуючи таку формула (14):

$$P = \frac{T_e}{T_l}, \quad (14)$$

де P – показник продуктивності,

T_e – це загальна вироблена енергія,

T_l – це загальна споживана енергія на виробництво.

Результати розрахунків представлені в таблиці 3

Таблиця 3 – Вимірювання показника продуктивності

	Метод SCADA	Метод ATS
Загальна вироблена енергія	20.475 кВт-год	19.4125 кВт-год
Загальна споживана енергія на виробництво	3.3 кВт-год	5.9 кВт-год
Показник продуктивності	6.20	3.29

Останнім кроком було пораховано показника економічної ефективності використовуючи формулу (15):

$$E = \frac{P}{T}, \quad (15)$$

де E – показник економічної ефективності,

P – це показник продуктивності,

T – це загальні витрати на електроенергію.

Результати розрахунків представлені в таблиці 4

Таблиця 4 – Вимірювання показника економічної ефективності

	Метод SCADA	Метод ATS
Загальні витрати на електроенергію	34,12 грн	36,42 грн
Показник продуктивності	6.20	3.29
Показник економічної ефективності	0.18	0.09

Було розраховано показник продуктивності, ділячи загальну кількість виробленої електроенергії на загальні витрати на виробництво, та показник економічної ефективності, ділячи показник продуктивності на загальні витрати на виробництво.

5 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Детальний аналіз даних, отриманих в результаті дослідження, дозволив встановити, що метод ATS більш технічно доступний та швидше відновлюється, але за це платиться продуктивністю та економічною ефективністю, так як в цьому випадку енергії споживається більше, але виробляється менше. Ці фактори прямо пов'язані між собою, тому що метод SCADA через більший час відновлення працював менше, а ніж ATS. То ж в результаті дослідження можна заявити, що обидва метода справляються із поставленими задачами, але роблять це в різні способи. Коли ATS більше надійний та швидший, SCADA більш економічний та енергоємний метод.

Також були розглянуті різні інструменти управління резервним живленням та їх методи управління резервним живленням.

Ще після аналізу дослідження можна розглянути можливі підходи до подальших досліджень. Зокрема, можна дослідити ефективність застосування різних технологій автоматизації управління резервним живленням електроенергією для домогосподарств, включаючи більш точні алгоритми розподілу навантаження, розробку нових сенсорних пристроїв, вивчення можливості застосування штучного інтелекту для покращення ефективності резервного живлення тощо.

Підбиваючи підсумки дослідження, можна з точністю заявити, що обидва метода автоматизації управління резервним живленням є досить складними, але ефективними рішеннями проблем з перебіжним постачанням електроенергії. Незважаючи на їх плюси та користь треба пам'ятати про такі недоліки як:

- вразливість до кібератак;
- відсутність стандартів;
- висока вартість;
- потреба в допоміжному обладнанні.

Тож треба обов'язково пам'ятати про це при застосуванні результатів цього дослідження в реальних умовах, зі справжніми приладами та отриманими даними. Додатково, потрібно враховувати, що різні типи домогосподарств можуть мати різні споживацькі звички та енергетичні потреби. Отже, знайдені результати можуть потребувати додаткової настройки та адаптації до конкретних умов та потреб користувачів.

Крім того, дослідження проводилось в певних умовах та з обмеженим набором даних. Це означає, що результати можуть не бути повністю репрезентативними для всіх можливих сценаріїв використання резервного живлення. Також можуть бути враховані не всі можливі фактори, які можуть впливати на ефективність системи управління резервним живленням.

Отже, при застосуванні результатів даного дослідження у практичних умовах потрібно бути обережним та враховувати можливі обмеження та недоліки методів автоматизації управління резервним живленням. Для отримання більш точних та репрезентативних результатів можуть бути необхідні додаткові дослідження та аналіз.

ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи були дослідженні методи автоматизації управління резервним живленням електроенергією для домогосподарств.

Для цього було:

- розроблена математична модель системи резервного живлення та алгоритму управління для визначених критеріїв ефективності та надійності;
- визначені критерії ефективності та надійності системи резервного живлення;
- визначено метрики, які були використані для проведення експерименту та оцінювання;
- проведено експериментальне дослідження;
- розроблені рекомендації для практичної реалізації та використання кожного з методів;
- порівняно та проаналізовано отримані дані з використанням таблиць та формул.

В якості аналізу результатів дослідження були описані рекомендації у реалізації підходів та методів, виявлених у даному дослідженні, з урахуванням їхніх переваг та недоліків та виборі оптимальної конфігурації системи резервного живлення для кожного конкретного випадку. Для підтвердження отриманих результатів і зроблених висновків або для їх спростування потрібні подальші дослідження. Для продовження дослідження слід розглянути реальні пристрої та їх можливість підключення до мереж дому, також зробити більшу вибірку. Ще слід порівняти інші методи управління резервним живленням, щоб отримати чіткіше уявлення про поточний стан електромереж та взаємодій з ними різними системами та методами.

Також були проаналізовані результати дослідження та визначено переваги та недоліки використаних методів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Embedded Systems Architecture Resources / URL: <https://embeddedartistry.com/blog/2019/07/12/embedded-systems-architecture-resources/> (дата звернення: 11.04.2023).
2. Automation of engineering systems of a private house / URL: <https://atep.kpi.ua/project/avtomatizacziya-inzhenernih-sistem-privatnogo-budinku/> (дата звернення: 12.04.2023).
3. Testing Smart meters for any kind of consumptions / URL: <https://smart-maic.com/uk/> (дата звернення: 14.04.2023).
4. K. I. Arshad, A. A. El-Imad and R. A. Jabbar, "SCADA systems: a review," 2013 9th International Conference on Innovations in Information Technology (IIT), Al Ain, 2013, pp. 277-282, doi: 10.1109/INNOVATIONS.2013.6510164.
5. Inductive Automation. What is SCADA? / URL: <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-scada> (дата звернення: 17.04.2023).
6. Inductive Automation Designates ATS as Enterprise Integrator / URL: <https://inductiveautomation.com/news/inductive-automation-designates-ats-enterprise-integrator> (дата звернення: 21.04.2023).
7. React Documentation / URL: <https://ru.reactjs.org/> (дата звернення: 23.04.2023).
8. MQTT Documentation / URL: <https://mqtt.org/documentation> (дата звернення: 24.04.2023).
9. Mohamed, M.M.; Elsayed, H.M. Security Issues of SCADA Systems in the Internet of Things: A Survey // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 47535-47549. – DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2908466.
10. Software Interaction Problem with the LDAP Directory Service: Description, Resolving, Analysis 2020 IEEE International Conference on Problems of

Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2020 – Proceedings, 2021, стр. 117–121, 9467983 DOI 10.1109/PICST51311.2020.9467983.