

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

**Підвищення ефективності сучасної оселі
за рахунок застосування розумних систем керування
енергоспоживанням**

Виконав: студент 6 курсу, групи ЕТм-61

напряму підготовки (спеціальності)

**141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Керівник

Нормоконтроль

Завідувач кафедри

Рецензент

Кричко П.І.

(прізвище та ініціали)

Тарасенко М.Г.

(прізвище та ініціали)

Мовчан Л.Т.

(прізвище та ініціали)

Коваль В.П.

(прізвище та ініціали)

Трембач Р.Б.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Факультет *прикладних інформаційних технологій та електроінженерії*
(повна назва факультету)

Кафедра *електричної інженерії*
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри *Коваль В.П.*

«» 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня *магістр*
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю *141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*
(шифр і назва)

студенту *Кричку Петру Івановичу*
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Підвищення ефективності сучасної оселі за рахунок застосування розумних систем керування енергоспоживанням*

Керівник роботи *Тарасенко Микола Григорович, д.т.н., професор*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від *10 листопада 2023 року № 4/7–1040*

2. Термін подання студентом роботи

3. Вихідні дані до роботи *Технічні параметри обладнання та апаратно програмного забезпечення розумних систем керування енергоспоживанням в системах електропостачання*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ.

2. Розрахунково-дослідницький розділ.

3. Проектно-конструкторський розділ.

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

Презентація з наведеними результатами роботи, порівняльні таблиці, рисунки з елементами системи керування енергоспоживанням.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>к.т.н., доц. Гурик О.Я.</i>		
	<i>ст. викл. Клепчик В.М.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>к.т.н., доц. Мовчан Л.Т.</i>		

01 вересня 2023 р.

[illegible]

Кричко П.І.

(прізвище та ініціали)

Тарасенко М.Г.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 87 сторінок. В роботі міститься 34 рисунка, 5 формул і 4 таблиці.

До сьогоднішнього часу практично не досліджено надійність бездротових комутаторів електричного навантаження для осель, які б мали підвищений термін служби (прирівняний до терміну експлуатації оселі), а також надійний канал бездротового зв'язку для передачі управляючих команд і електротехнічної інформації від об'єкта управління (без необхідності встановлення додаткового обладнання – ретрансляторів, перетворювачів сигналу тощо), що в кінцевому підсумку забезпечувало б безпечну та ефективну експлуатацію систем електро-постачання приватної оселі.

Таким чином, активний розвиток і впровадження систем «Розумний будинок» свідчить про виникнення гострої необхідності у створенні та дослідженні надійності адаптивних систем управління енергозберігаючими процесами приватної оселі.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка адаптивної системи управління енергозберігаючими процесами приватної оселі, яка має підвищений ресурс, надійний бездротовий канал управління та малі габаритні розміри.

Об'єктом дослідження є система управління енергозберігаючими процесами приватної оселі.

Предметом дослідження є спосіб підвищення надійності та збільшення терміну служби системи управління енергозберігаючими процесами приватної оселі.

Перелік ключових слів :

АДАПТИВНА СИСТЕМА, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, РОЗУМНИЙ БУДИНОК, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМИ, ПРИВАТНА ОСЕЛЯ.

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП	6
 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	 9
1.1 Оцінка передумов впровадження систем за концепцією «розумний» будинок	9
1.2 Історія появи «розумних» будинків	9
1.3 Особливості роботи системи «розумний» будинок	11
1.4 Класифікація системи «розумного» будинку	15
1.5 Порівняння бездротових технологій.....	18
1.6 Аналіз різних моделей організації автоматизації житлових приміщень з допомогою системи «розумний» будинок	22
1.7 Висновки до розділу 1	25
 2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	 26
2.1 Опис об'єкта дослідження	26
2.2 Створення адаптивної системи управління.....	27
2.2.1 Розробка алгоритмів для адаптивного управління енергоспоживанням....	27
2.2.2 Створення бездротової мережі на базі MESH-технології.....	30
2.2.3 Вибір і інтеграція бездротового комутатора навантаження.....	32
2.2.4 Вбудоване програмне забезпечення бездротового комутатора	37
2.2.5 Розробка програмного забезпечення для керування системою електропостачання.....	40
2.3 Архітектура та компоненти адаптивної системи управління	43
2.3.1 Вибір мікроконтролера	43

	5
2.3.2 Схеми живлення	44
2.3.3 Основні датчики адаптивної системи управління	44
2.4 Забезпечення автономної роботи системи управління	49
2.5 Висновки до розділу 2	53
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	54
3.1 Порівняльний аналіз способів комутації електричного навантаження	54
3.2 Напівпровідникові елементи комутації	56
3.3 Електромеханічні комутаційні реле	59
3.4 Ефективний спосіб комутації	66
3.5 Схемотехнічна реалізація комутатора електричного навантаження	69
3.6 Оцінка ефективності впровадження адаптивної системи керування	71
3.2 Висновки до розділу 3	73
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	75
4.1 Правила техніки безпеки при експлуатації обладнання, що проектується	75
4.2 Заходи безпечних умов праці	77
4.3 Оцінка можливості виникнення пожеж при експлуатації автоматизованих систем «розумний» будинок	81
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	83
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	85
ДОДАТКИ.....	88

ВСТУП

Актуальність теми. Системи автоматизації будівель, які часто називають системами «Розумний будинок», набирають популярності та демонструють активний ріст світового ринку. При цьому ця тенденція спостерігається і на території України, в той час як для європейського ринку та ринку США «Розумні будинки» вже стали повсякденною реальністю і «правилом хорошего тону» для забудовників.

Системи автоматизації будівель покликані забезпечувати економію енергетичних та, як наслідок, фінансових ресурсів, безпеку експлуатації інженерних систем та мереж будівлі, при цьому створюючи комфортні умови для людини (користувача системи «Розумного будинку»).

Історія створення систем «Розумний будинок» почалася в 1950 році, коли з'явилися перші одиничні впровадження кнопкової проводової системи управління «Розумним будинком» (Push-Button Manor). Пізніше, в 1966 році, американський інженер Джеймс Сазерленд розробив комп'ютер Echo IV, який управляв роботою кліматичної техніки в будинку та комутацією деяких електроприладів. При цьому перший спеціалізований стандарт для «Розумного будинку» був створений тільки в 1975 році шотландською компанією Pico Electronics. Оновлена система «Розумного будинку» вже мала функціональні можливості моніторингу та управління електрообладнанням, зокрема включення та вимкнення освітлення, а також управління яскравістю. Тоді ж вперше було застосовано безпроводне управління (на частоті 310 МГц), що значно спростило монтаж системи та сприяло її широкому поширенню. Стандарт отримав назву «X10», Android та iOS;

У 1980 році відбулося сегментування ринку «Розумних будинків». Стандарт «X10» домінував у США, але був непридатним для європейських країн через існуючі обмеження. При цьому ряд європейських електротехнічних компаній, об'єднуючись в асоціації, створили свої стандарти: EIB, BatiBus, EHS, що призвело до несумісності пристроїв різних виробників. Термін «Розумний

будинок» у сучасному його розумінні з'явився лише в 1984 році завдяки американській Асоціації житлово-будівельних компаній (National Association of Home Builders), але на той момент у рядових споживачів ще не було розуміння концепції «Розумного будинку». І тоді, у 1999 році, студія Disney випустила в прокат фільм «Smart Home», у якому наочно демонструвались можливості системи і абсолютно новий для того часу спосіб життя.

У 1988 році концепція «Розумного будинку» почала активно набирати популярність у Японії. А в 1989 році за участі 15 японських компаній був реалізований проект «TRON Intelligent House» (створення «Розумного будинку» майбутнього). У 1999 році розробники систем «Розумного будинку» дійшли висновку про необхідність забезпечення сумісності між пристроями різних виробників і стандартів у рамках єдиної екосистеми. І в 2002 році сегментовані стандарти європейських компаній були об'єднані в відкритий протокол, який отримав назву «KNX». Це один з важливих етапів розвитку «Розумних будинків» у світі.

Таким чином аналіз показує три суттєвих тренди, які визначають подальший розвиток систем автоматизації будівель: бездротова система управління, відкрита платформа та можливість голосового управління з використанням існуючого асистента.

Одним з найбільш затребуваних пристроїв у сегменті «Розумних будинків» є бездротові комутатори електричного навантаження, оскільки управління саме електричними приладами дає можливість контролювати більшу частину техніки, що знаходиться в будинку.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка адаптивної системи управлін – ня енергозберігаючими процесами приватної оселі, яка має підвищений ресурс, надійний бездротовий канал управління та малі габаритні розміри.

Об'єктом дослідження є система управління енергозберігаючими проце – сами приватної оселі.

Предметом дослідження є спосіб підвищення надійності та збільшення

терміну служби системи управління енергозберігаючими процесами приватної оселі.

Апробація роботи. Кричко П.І. Інтелектуальна система електропостачання. // С.Ю. Марценюк, С.О. Рудянин, П.І. Кричко // Збірник тез доповідей. Матеріали XII міжнародної науково - технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 6 - 7 грудня 2023р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2023.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, переліку посилань (28 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини — 87 сторінок, 5 формул, 4 таблиці.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Оцінка передумов впровадження систем за концепцією «розумний» будинок

За останні 40 років системи автоматизованого керування перестали бути модною екзотою. Незалежно від галузей застосування, оселя, цех на підприємстві чи поїзд у метро, основним завданням запровадження таких систем є зниження експлуатаційних витрат, отримання важливої інформації, підвищення безпеки та комфорту. І незважаючи на те, що світ більше цікавлять досягнення традиційних ІТ-компаній, прогрес у галузі автоматики і керування може у найближчому майбутньому перевершити вплив від появи мобільних телефонів та Internet мережі. На рисунку 1.1 показано складові елементи «розумного» будинку.



Рисунок 1.1 – Концепція побудови «розумного» будинку

Для того щоб зрозуміти, як сильно змінилися можливості керування енергоспоживанням за останні роки і як вони можуть змінитися у майбутньому, важливо усвідомити значення деяких технологічних проривів, які сталися за останні декілька років.

1.2 Історія появи «розумних» будинків

У південній частині Англії знаходиться невеликий житловий будинок,

який вважається першим «розумним» будинком. Для автоматизації цього будинку вперше було використано широкосмугову KNX-систему для керування системами освітленням, опалення, закриванням-відкриванням дверей та ролетів, роботою сигналізації.

Крім того, у LED-системі освітлення басейну була передбачена можливість керування кольором, для створення оригінальних світлових ефектів.

Одну з перших систем за концепцією «розумний» будинок було створено у 1961 році, в цьому році також було спроектовано димер – це пристрій з допомогою якого можна було регулювати яскравість лампи, його розробниками були Джоель і Рут Спир які в подальшому створили компанію Lutorn Electronics Company, яка стала відомою на весь світ і в основному займалася впровадженням «розумних» технологій.

За угодою 1987 року між компанією ASHRAE та відомими світовими виробниками обладнання Siemens, Gira, Berker та ін., було запропоновано нову європейську модель домашньої автоматизації, а вже у 1999 році було розроблено нове покоління польової шини KNX, яка досі вважається найкращим стандартом у європейських системах домашньої автоматизації.

Якщо брати до уваги сучасні системи керування на базі шини KNX, то за останні роки вони значно розширивши свої технічні можливості. Завдяки новим програмним засобам керування існуючі сьогодні на ринку системи навчилися повністю інтегруватись у інженерні системи оселі.

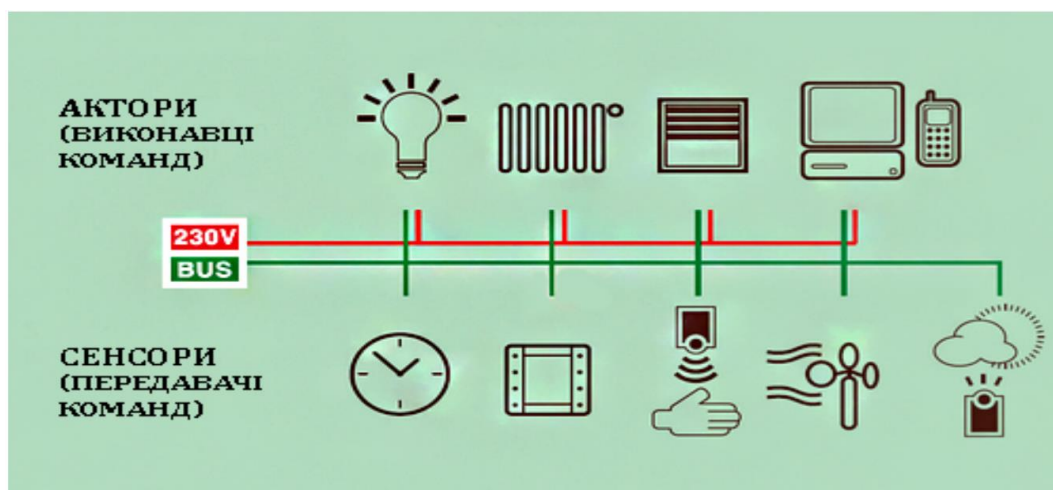


Рисунок 1.2 – Основні сценарії «розумного» будинку

Завдяки модульності систем, користувачі мають можливість самостійно вибирати функціональність «розумного» будинку.

Використання найсучаснішого обладнання при створенні «розумних» систем керування оселею дозволить суттєво підвищити енергоефективність, комфортність будинку та безпечність сучасної оселі. Навіть за відсутності власника (протягом тривалого часу) обладнання в автономному режимі підтримуватиме мікроклімат оселі та забезпечить надійну роботу всіх систем.

1.3 Особливості роботи системи «розумний» будинок

В інтелектуальних системах керування «розумним» будинком можна використовувати декілька типів давачів та детекторів, а саме:

- давачі руху;
- детектор чадного газу;
- детектор розбиття скла;
- давачі відчинення дверей та вікон;
- детектор диму.

Слід звернути увагу на спосіб і місце встановлення цих давачів і детекторів в будинку. Наприклад, чи розташовувати детектори диму на кожному поверсі, чи встановлювати детектори руху біля кожних дверей, чи достатньо використо-вувати детектори відчинених дверей.

Потім необхідно вибрати спосіб сигналізації при спрацьовуванні будь-якого давача чи детектора. Чи достатньо тільки сигналу тривоги або повідомлення компанії, під контролем якої знаходиться будинок.

При плануванні системи освітлення «розумного» будинку слід враховувати, що існує два способи встановлення та налаштування освітлювальних пристроїв. Перший полягає в монтажі нової спеціальної проводки для системи керування освітленням, а другий - у використанні вже існуючої проводки.

Давачі та детектори «розумного» будинку дозволяють контролювати та

забезпечувати роботу таких функцій:

- а) автоматичне вмикання- вимикання побутової техніки (телевізори, чайники, мікрохвильові печі і т.п);
- б) контроль за протипожежною сигналізацією в будинку.
- в) контроль за погодою. Система відстежує та попереджає про зміну зовнішніх погодних умов;
- г) контроль за температурою та вологістю в приміщенні. Система працює спільно з опалювальним, вентиляційним та іншим кліматичним обладнанням. та
- д) контроль за безпекою оселі. Система побудована на базі датчиків руху чи пристроїв присутності і може автоматично блокувати замок дверей, щоб визначити точну кількість людей в оселі;
- е) контроль за освітленням. Автоматичне вмикання чи вимикання освітлення в оселі.

Система «розумний» будинок може забезпечити наступні схеми роботи:

- а) безпеку в оселі;
- б) підтримування мікроклімату в оселі;
- в) безперервний зв'язок з інженерними системами оселі;
- г) автоматичну роботу системи вентиляції.

Безпека в оселі

Така схема автоматизації через давачі та детектори дозволяє реагувати на різні події (особливо вологість, рух, температуру, концентрацію газу чи диму). У випадку пожежі система негайно вимкне систему вентиляції, подачу природного газу та електрики. Своєчасна реакція системи «розумний» будинок дозволить мінімізувати ризик наслідків. На рисунку 1.3 наведено електричну схему безпеки.

При спробі несанкціонованого проникнення в оселю входні двері будуть заблоковані і ввімкнеться сирена, а система безпеки яка обладнана камерами може навіть сфотографувати зловмисників, які мають намір проникнути в

будинку.

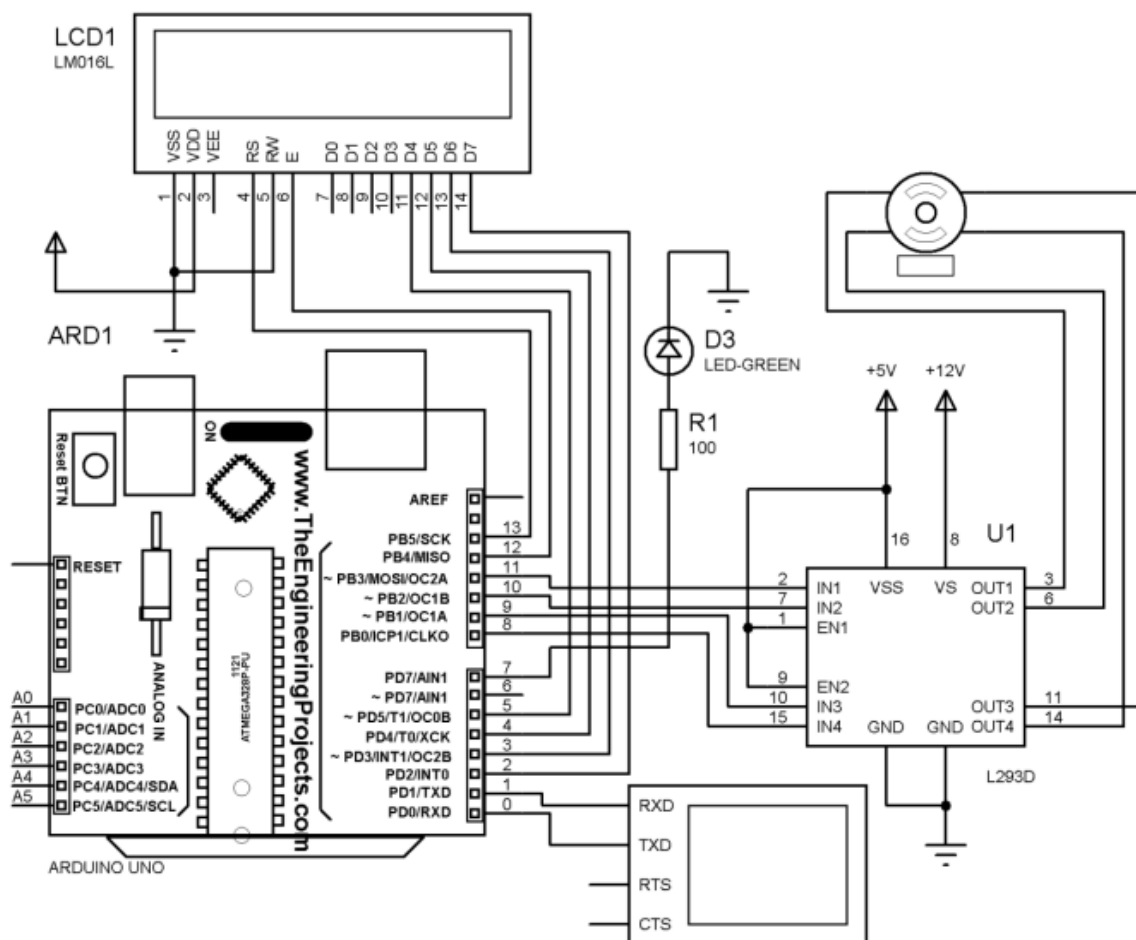


Рисунок 1.3 – Електрична схема безпеки в системі «розумного» будинку

При виникненні надзвичайної ситуації власник будинку отримає повідомлення, а при потребі система може надіслати автоматичне повідомлення до служби охорони.

Забезпечення мікроклімату в оселі

Така схема роботи дозволяє підтримувати задану вологість та температуру для кожної кімнати окремо. Такий підхід дозволяє регулювати необхідні рівні температури та вологості повітря (наприклад для гаража чи спальні) вони сильно відрізняються. На рисунку 1.4 показано різницю температур у приміщеннях будинку.



Рисунок 1.4 – Керування мікрокліматом в системі «розумного» будинку

Більше того, немає необхідності провітрювати нежитлові приміщення так часто, як жилі. Сенсорна панель керування отримує сигнали від внутрішніх і зовнішніх датчиків. Вони сигналізують про поточну вологість та температуру повітря.

Система «розумного» будинку може контролювати роботу всього кліматичного обладнання в оселі. При необхідності системи опалення та підігріву підлоги. Система контролює роботу зволожувачів, повітряних фільтрів, кондиціонерів та вентиляторів. Систему можна налаштувати таким чином, що вона в окремих випадках буде автономною і прийматиме рішення про конкретні операції самостійно (створення сценаріїв роботи).

Безперервний зв'язок з інженерними системами оселі

Така схема роботи системи «розумний» будинок дуже зручна і корисна у багатьох нестандартних обставинах. Наприклад, сім'я вирішує продовжити відпустку або орендодавець відкладає поїздку, різко змінюються погодні умови (потепліло чи похолодало) потрібно тимчасово ввімкнути чи вимкнути систему опалення чи кондиціонування.

Також в такому режимі роботи система може відлякувати злодіїв

імітуючи присутність господарів в оселі (вмикається світло чи музика, чути розмови чи гавкіт тварин).

Автоматична робота системи вентиляції

Робота системи «розумного» будинку в такому режимі передбачає контроль за параметрами повітря в кімнатах оселі. Однак в цьому випадку необхідно враховувати значні витрати на енергоспоживання. Активна функція центральної системи вентиляції не завжди потрібна (не для всіх приміщень). Якщо родина в ночі в знаходиться в спальні то немає необхідності активно провітрювати весь будинок.

1.4 Класифікація системи «розумного» будинку

Неправильно називати систему домашньої автоматизації «розумним» будинком. Найчастіше це проста система домашньої автоматизації - така система допомагає заощадити час на керування всіма іншими інженерними та розважальними системами. Чим більше систем, тим вищою є необхідність використання автоматизованої системи у вашій квартирі або заміському будинку. Однак, є деякі головні характеристики, які можуть зробити «розумні» будинки дійсно розумними.

Перелік систем керування по головним характеристикам:

- а) проводові;
- б) бездротові;
- в) централізовані;
- г) децентралізовані;
- д) з розкритим протоколом;
- е) з зашифрованим протоколом.

Проводові системи автоматизації

Суть проводової системи «розумний» будинок полягає в тому, що всі керуючі пристрої-давачі, перемикачі, кліматичне обладнання та різні панелі керування з'єднані між собою через проводову інформаційну шину через яку сигнал передається на привід. Окремий кабель використовується як провідна інформаційна шина в деяких випадках можна використовувати виту пару. Проводова система автоматизації має свої особливості:

- а) панель керування має бути обрана заздалегідь;
- б) має бути забезпечений якісний монтаж;
- в) як правило потрібен проект монтажу системи;
- г) для дерев'яного будинку необхідно заздалегідь розробити та погодити проект.

Бездротові системи автоматизації

У бездротових системах автоматизації сигнал передається по радіоканалу, а не проводом, як у проводових. Це суттєво зменшує кількість проводів та час на встановлення системи. Також такі системи можна монтувати на існуючу провідну мережу в будинках де не було запроектовано систем автоматизації. В таких системах кожен бездротовий перемикач виступає радіопередавачем який зв'язується з усіма іншими «перемикачами» і тим самим розширює радіус роботи системи. Така схема роботи дозволяє перепрограмувати функції кнопок і дозволяє створювати різні сценарії.

Централізовані системи

У централізованих «розумних» будинках програмування багатовиходового центрального контролера є основою роботи логічного модуля. Інже-нерні системи будинку керуються спеціально створеною програмою яка вводиться в контролер, така архітектура побудови дозволяє створювати склад-

ніші підсистеми керування інженерними системами в будинку. Керування централізованими системами відбувається як через провідні так і безпроводні мережі.

Централізовані системи автоматизації мають свої особливості:

а) людський чинник. Можна втратити зв'язок із розробником програмної складової будинку, і при необхідності перепрограмування центрального контролера доведеться переписувати всю програму.

б) надійність. Якщо контролер виходить з ладу, вся система повністю зупиниться. Зазвичай контролери є дуже надійними, але при такому типі централізації це є основним недоліком.

в) вартість. Великі централізовані системи вимагають суттєвих витрат.

Автоматизовані системи з дистрибуцією функцій

У автоматизованих системах «розумного» будинку кожен привід оснащений власним мікропроцесором і енергонезалежною пам'яттю. Це забезпечує більшу надійність системи: навіть у випадку відмови окремого компонента, решта частини системи продовжує функціонувати нормально, за винятком зони з несправним елементом. Яскравим прикладом такої децентралізованої системи є «розумний» будинок, що використовує протокол KNX, який є найпоширенішим у Європі.

Особливістю децентралізованих систем автоматизації є те, що кількість пристроїв які комунують між собою є дуже великою і тому ставляться великі вимоги до виробників по надійності окремих елементів «розумного» будинку.

Системи автоматизації, що використовують відкриті протоколи

Системи автоматизації, що використовують відкриті протоколи, забезпечують сумісність між різними виробниками обладнання та програмного забезпечення. Це дозволяє знизити залежність від конкретного постачальника та забезпечує більшу гнучкість при розширенні та модернізації системи.

Використання відкритих протоколів дозволяє інтегрувати різні пристрої в єдину автоматизовану систему, що забезпечує високий рівень ефективності та масштабованості.

Системи автоматизації, що працюють на закритих протоколах

Системи автоматизації, що працюють на закритих протоколах, зазвичай обмежують можливість інтеграції з пристроями інших виробників. Це забезпечує більш контрольоване середовище, оскільки всі компоненти системи є частинами одного виробника. Проте, такі системи часто мають обмежену гнучкість і масштабованість, оскільки розширення або модернізація можливі тільки за рахунок додаткових продуктів від того ж самого постачальника.

1.5 Порівняння бездротових технологій

Сьогодні на ринку існує безліч пристроїв, які для з'єднання та передачі даних використовують різні типи бездротових протоколів (TCP/IP) такі пристрої можуть бути використані в апаратних продуктах для зв'язку через глобальну мережу інтернет, що дозволяє створювати з їх допомогою інтелектуальні системи керування.

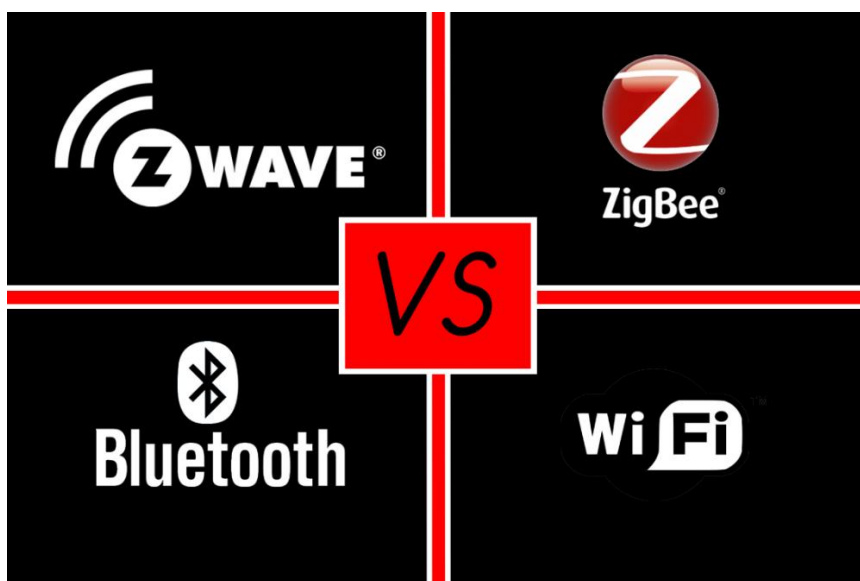


Рисунок 1.5 – Популярні технології передачі даних

На рисунку 1.5 наведено найбільш застосовувані технології передачі даних в інтелектуальних системах керування «розумним» будинком.

Протокол Z-Wave (рисунок 1.6) сучасний бездротовий протокол керуван-

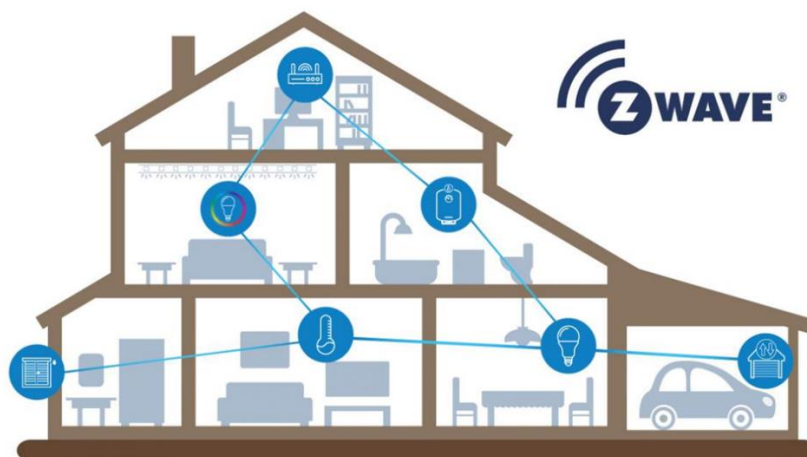


Рисунок 1.6 – Схема передачі даних за протоколом Z-Wave

ня інженерними системами, на відміну від інших протоколів був спеціально розроблений компанією Zensys для роботи у системах «розумного» будинку.

Wi-Fi (IEEE 802.11) є дуже популярним протоколом для створення бездротових мереж (WLAN), рисунок 1.7.



Рисунок 1.7 – Схема передачі даних по мережі Wi-Fi

Слід звернути увагу Wi-Fi дозволяє моніторити за системами будинку та керувати ними з будь якої точки світу. Висока пропускна Wi-Fi здатність дозволяє максимально швидко передати потрібний об'єм інформації. Враховуючи, що у кожний будинок вже підведена стільникова мережа, хоча б початкового рівня, все це свідчить, що Wi-Fi є ідеальним протоколом при побудові інтелектуальних систем керування будинком.

Протокол Bluetooth – є дуже популярним протоколом зв'язку, для обміну даними на невеликі відстані, який вже використовується більше 25 років, рисунок 1.8.

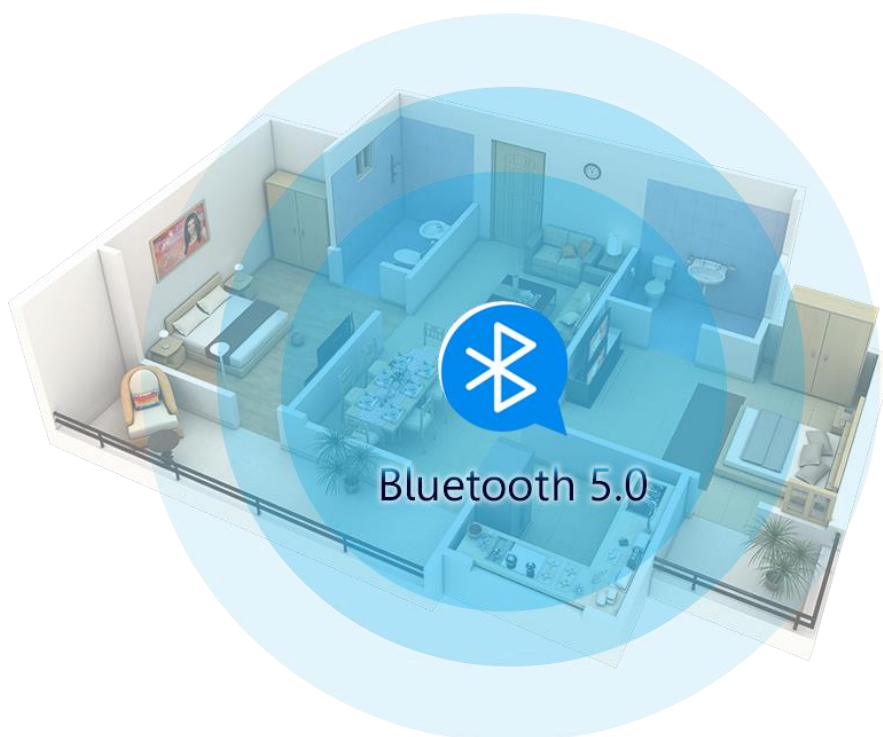


Рисунок 1.8 – Схема передачі даних по Bluetooth

Bluetooth використовує короткі хвилі радіо діапазону 2400-2480 МГц і займає всю смугу ISM, використовуючи 79 каналів із кожним каналом на частоті 1 МГц. Відстань передачі залежить від потужності передачі, наприклад, пристрій 1 класу з вихідною потужністю 100 мВт може передавати сигнал на відстань до 100 метрів, а пристрій з потужністю 25 мВт – до десяти метрів.

Беручи до уваги, що Bluetooth є у кожному мобільному телефоні, телевізорі, ноутбукі можна стверджувати що цей протокол є хорошим вибором у проектуванні інтелектуальних систем керування будинком. Протокол Bluetooth працює локально і не потребує підключення до Інтернет.

Протокол ZigBee це стабільний протокол з великою кількістю пристроїв, рисунок 1.9.



Рисунок 1.9 – Схема передачі даних по ZigBee

Протокол ZigBee як Wi-Fi чи Bluetooth також працює в радіодіапазоні ISM. Швидкість передачі становить 250 Кбіт/с. Технологія ZigBee (IEEE 802.15.4) визначає рівні керування фізичним та середнім доступом для низькошвидкісних персональних мереж PAN та передає дані на відстань до 10 метрів. В смузі сигналу 2,4 ГГц розташовується шістнадцять каналів, таким чином одночасно можуть працювати до шістнадцяти мереж ZigBee. Остання версія

ZigBee підтримує стрибкоподібну перебудову частоти у стандарті ZigBee Pro, що дозволяє мережам ZigBee переміщатися від одного каналу до іншого в разі навантаження на попередньому каналі.

Zigbee як і попередній протокол Bluetooth є локальною мережею, яка не залежить від з'єднання з інтернетом.

Дуже суттєвою перевагою протоколу Zigbee є те, що на ринку існує велика кількість пристроїв які підтримують даний протокол, тому при створенні інтелектуальних автоматизованих систем кожен зможе знайти для себе відповідний пристрій.

Варто звернути увагу що, для 65 000 пристроїв IoT, Zigbee є найзатребуванішим протоколом зв'язку.

Всі розглянуті протоколи забезпечують стабільний зв'язок та допомагають віддалено керування інженерними системами «розумного» будинку. В процесі зростаючої популярності інтелектуальних систем керування «розумним» будинком, на ринку все частіше з'являються сучасні розробки, які при їх інтеграції в інтелектуальну систему керування дозволяють суттєво підвищити енергоефективність та комфортність проживання в будинку.

1.6 Аналіз різних моделей організації автоматизації житлових приміщень з допомогою системи «розумний» будинок

Використання вже існуючих на ринку систем керування «розумним» будинком є одним із найпоширеніших підходів до створення систем домашньої автоматизації. Розглянемо декілька з них:

1. **Node-Red** – система із відкритим вихідним кодом, розроблена компанією IBM, дозволяє з'єднувати готові елементи в єдину систему. Має багато переваг але великим недоліком є відсутність візуальної підтримки, рисунок 1.10.

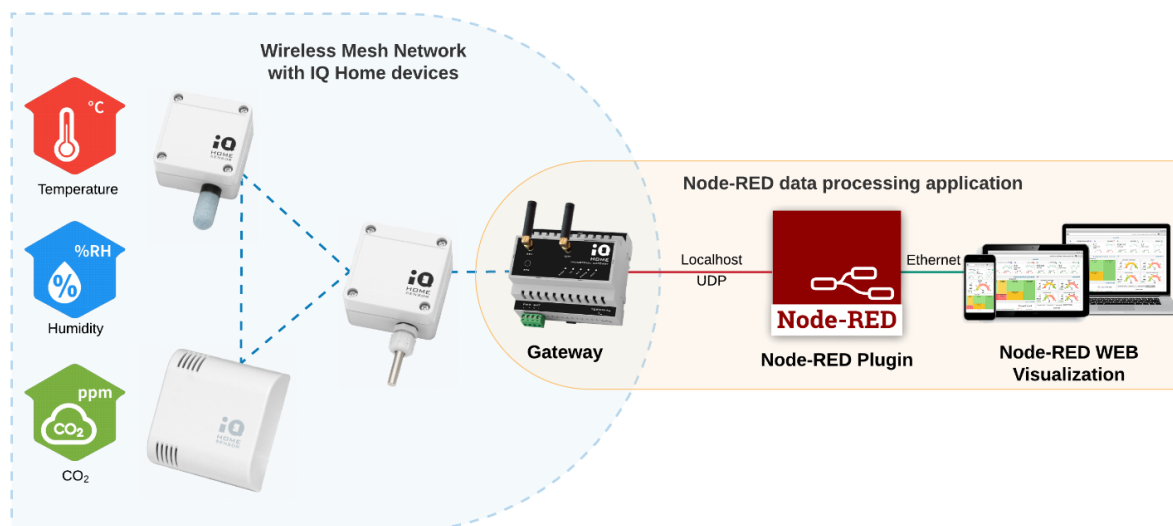


Рисунок 1.10 – Архітектура системи Node-Red

2. **SmartVISU** – можна вважати оптимальним рішенням для побудови системи на базі KNX. Компонування/конфігурація віджетів відбувається з допомогою текстового файлу, що можна вважати недоліком такої системи керування, наявність інтуїтивно-зрозумілої візуалізації є перевагою, рисунок 1.11.

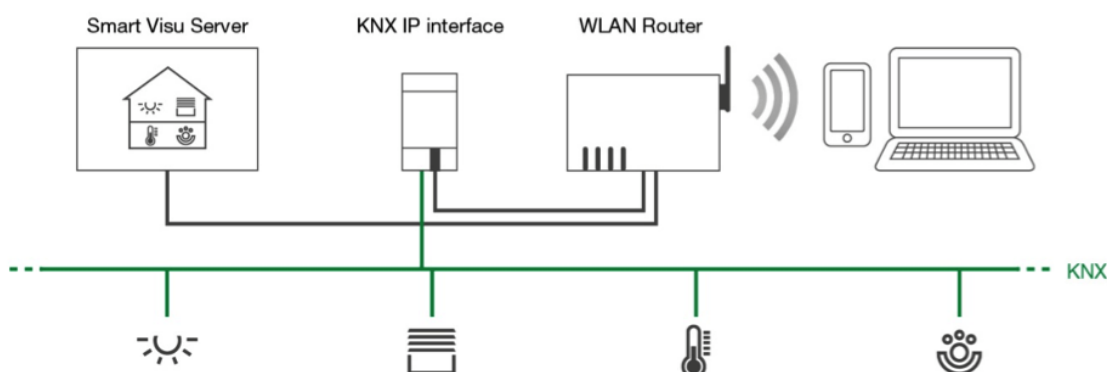


Рисунок 1.11 – Архітектура системи SmartVISU

3. **MajorDoMo** – платформа з відкритим програмним кодом для автоматизованих домашніх систем. Є кросплатформовою, підтримує обмежену кількість розв'язуваних завдань, що є її недоліком. Підтримує лише пристрої відповідної технології відомих виробників (підтримує лише контролер RaZZbery з усього різноманіття контролерів цієї технології).

4. **NetPing** – система з допомогою якої можна слідкувати за навколишнім середовищем. Таку систему можна застосовувати у якості – віддаленого контролю та моніторингом за оселею. Дозволяє підключати на один пристрій невелику кількість датчиків (до 16 датчиків). Має незручний і незрозумілий Web-інтерфейс, рисунок 1.12.



Рисунок 1.12 – Складові елементи системи NetPing

Для роботи виробник рекомендує скористатись такими програмними засобами, як: Zabbix, Nagios, PRTG Network.

5. **OpenRemote** – з допомогою цієї системи-конструктора можна створити свій унікальний інтерфейс мобільного додатку для керування «розумним будинком». Система працює з технологіями KNX, AMX, Z-Wave, рисунок 1.13.

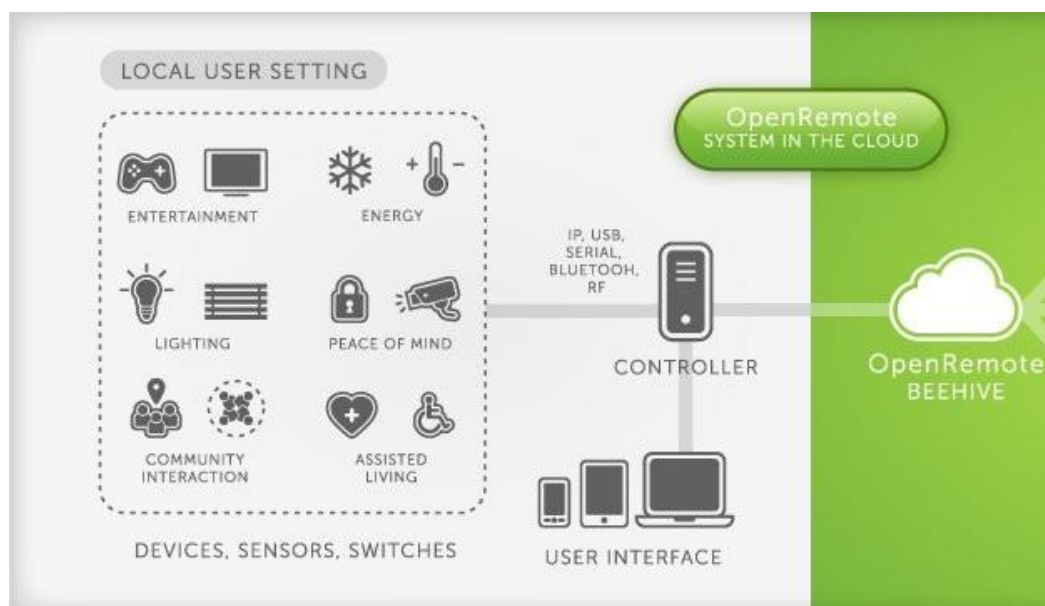


Рисунок 1.13 – Складові елементи системи OpenRemote

6. **Freedomotic** – ця система є кросплатформовою і має відкритий код для програмування її завданням є наданням початківцям і усім бажаючим самос-тійного створення програмного коду для керування «розумним» будинком, вікно програми наведено на рисунку 1.14.



Рисунок 1.14 – Скріншот вікна програми Freedomotic

7. **HomeSapiens** – система схожа з попередньою OpenRemote, але має голосове керуванням. Працює з технологіями: C-Bus , Z-wave, x10, ZigBee, Gira. Перевагою є голосове керування та зручний інтерфейс.

1.7 Висновки до розділу 1

Отже, на початку розвитку програмні продукти та модулі зв'язку окремих компаній суттєво відрізнялись між собою, що заважало їх інтеграції між собою. Тому цими компаніями було прийнято рішення про уніфікацію свого програмного забезпечення, що мало суттєво змінити топологію побудови мережі спростивши її побудову, а також зменшити витрати на закупівлю додаткових компонентів. Що в свою чергу створило передумови для подальшого впровад-ження систем автоматизованого керування «розумним» будинком.

2 ПРОЕКТНО - КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Опис об'єкта дослідження

Будівлею для якої буде побудована адаптивна система управління енергозберігаючими процесами електропостачання буде котеджний будинок загальною площею 150 м². Загальний вигляд будинку наведено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Загальний план приміщень котеджного будинку

В таблиці 2.1 наведено експлікацію приміщень будинку.

Таблиця 2.1.

Назва і опис приміщень котеджу

Назва приміщення	Номер на плані
Хол	1,12
Передпокій	2,4
Санвузол	5,8
Спальня	3,6,7
Кухня	9
Вітальня	10
Гараж	11

2.2 Створення адаптивної системи управління

2.2.1 Розробка алгоритмів для адаптивного управління енергоспоживанням

1. Алгоритм автоматичного вмикання/вимикання на основі присутності

Використання датчиків руху для виявлення присутності людей у кімнатах.

Алгоритм автоматично вмикає або вимикає освітлення та побутові прилади в залежності від того, чи є люди в приміщенні. Якщо в кімнаті не виявлено руху протягом заданого часу (наприклад, 15 хвилин), система вимикає електричні пристрої, що дозволяє зекономити енергію.

2. Алгоритм енергозбереження на основі часового графіка

Алгоритм використовує часові інтервали для вмикання або вимикання пристроїв у залежності від часу доби (наприклад, вимикання кондиціонера або опалення, коли температура зовні є оптимальною).

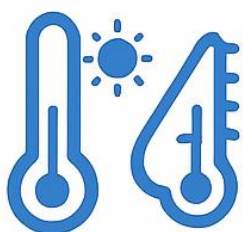
Можливість налаштування індивідуальних графіків для кожного пристрою, що дозволяє знизити споживання енергії в непотрібні моменти.



**Алгоритм автоматичного
вмикання / вимикання
на основі присутності**



**Алгоритм енергобереження
на осові часового графіка**



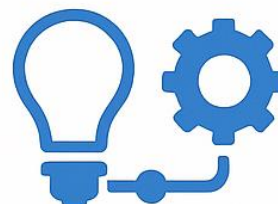
**Алгоритм адаптивного
регулювання температур**



**Алгоритм моніторингу
нанатаження та оптимізації
енергоспоживання**



**Алгоритм прогнозування
енергоспоживання
на основі історичних даних**



**Алгоритм інтеграції
з системою управління
освітленням**



**Алгоритм енергозбереження
при пикових навантаженнях**

Рисунок 2.2 – алгоритми адаптивного управління енергоспоживанням

3. Алгоритм адаптивного регулювання температури

Алгоритм працює з термостатами та кондиціонерами для підтримання комфортної температури в приміщенні при мінімальному енергоспоживанні.

Використовуються дані про температуру в кімнатах та зовнішні температурні умови для коригування роботи опалення/кондиціонування.

У разі виявлення зміни температури або присутності в кімнаті більше осіб, система автоматично регулює роботу пристроїв.

4. Алгоритм моніторингу навантаження та оптимізації енергоспоживання

Використання датчиків для вимірювання споживаної потужності на кожному етапі (освітлення, побутові прилади, системи кондиціонування).

Алгоритм аналізує поточне навантаження на систему та виявляє можливість для зниження енергоспоживання без втрати комфорту.

В разі перевищення заданого порогу споживання, система автоматично вимикає найменш важливі прилади або оптимізує роботу інших пристроїв для економії енергії.

5. Алгоритм прогнозування енергоспоживання на основі історичних даних

Використання історичних даних про енергоспоживання для прогнозування майбутніх потреб.

Алгоритм визначає, коли будуть пікові навантаження та автоматично оптимізує енергоспоживання (наприклад, зменшення роботи енергомістких приладів в періоди високого навантаження).

Дозволяє знизити витрати на електроенергію, налаштовуючи роботу приладів в періоди низької вартості енергії (наприклад, вночі).

6. Алгоритм інтеграції з системою управління освітленням

Використання датчиків освітленості для автоматичного регулювання яскравості освітлення в залежності від природного освітлення.

Алгоритм підтримує оптимальний рівень освітленості при мінімальних витратах енергії, автоматично коригуючи інтенсивність світла в залежності від часу доби та зовнішнього освітлення.

7. Алгоритм енергозбереження при пікових навантаженнях

Алгоритм відстежує пікові навантаження в енергомережі та автоматично вимикає або знижує роботу певних пристроїв в моменти високого енергоспоживання.

Використання бездротових комутаторів навантаження для керування роботою побутових приладів та освітлення в періоди пікових навантажень, щоб уникнути перевантаження мережі.

2.2.2 Створення бездротової мережі на базі MESH-технології

Підвищення надійності зв'язку та збільшення радіусу дії бездротових комутаторів електричного навантаження в рамках адаптивної системи управління енергозберігаючими процесами будівлі досягається шляхом інтеграції в пристрої MESH-модуля на основі технології Wi-Fi для побудови MESH-мережі. Наявність MESH-модуля в комутаторі дозволяє створити бездротову мережу між подібними пристроями (рис. 2.3), таким чином зона покриття мережі Wi-Fi (від роутера) збільшується на площу сформованої бездротової мережі за допомогою комутаторів з MESH-модулями.

При цьому мікроконтролер з вбудованим MESH-модулем здійснює не тільки процес обміну даними між пристроями мережі, але й управління процесом комутації електричного навантаження.

MESH-мережа дозволяє з'єднувати численні пристрої, розташовані на великій площі (як всередині, так і поза приміщеннями), в рамках однієї бездротової локальної мережі. Така мережа є самоорганізуюча та

самовідновлювальна. Це означає, що мережа може будуватися та підтримуватися автономно. Традиційні інфраструктури мережі Wi-Fi відрізняються тим, що мають обмежену зону покриття. Крім того, традиційні мережі Wi-Fi схильні до перевантаження, оскільки максимальна кількість підключених пристроїв обмежена можливостями роутера.

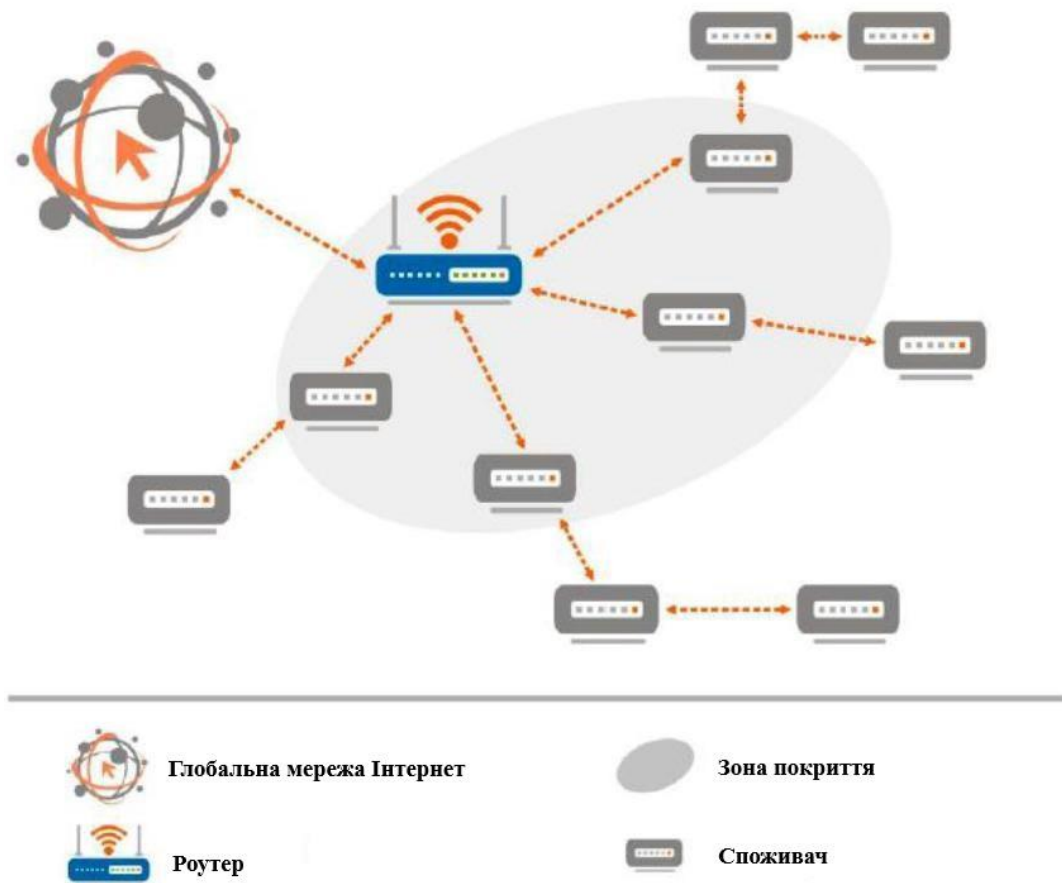


Рисунок 2.3 – Структурна схема MESH-мережі

Завдяки використанню MESH-технології підключеним пристроям не потрібно з'єднуватися з центральним роутером. Замість цього їм можна з'єднуватися із сусідніми пристроями. Пристрої несуть взаємну відповідальність за ретрансляцію інформації один одному. Це дозволяє мережі MESH мати більшу зону покриття, оскільки пристрої можуть зв'язуватися між собою без необхідності перебувати в зоні покриття центрального вузла або роутера. Аналогічним чином, мережа MESH також менш вразлива до перевантаження, оскільки кількість вузлів, дозволених у мережі, більше не обмежена єдиним центральним роутером.

Таким чином, поєднання в одному пристрої удосконаленого способу комутації електричного навантаження та технології обміну даними в рамках адаптивної мережі з самоорганізуючою топологією дозволяє вирішити завдання підвищення надійності роботи системи управління в цілому!

Подальше скорочення габаритів пристроїв може досягатися шляхом каскадного об'єднання електромеханічних реле без індивідуальних модулів бездротової MESH-мережі, при цьому до всієї групи підключається лише один модуль бездротової MESH-мережі, за допомогою якого можливе управління кожним комутатором окремо. Структурна схема каскадного об'єднання комутаторів представлена нижче на рисунку 2.4.

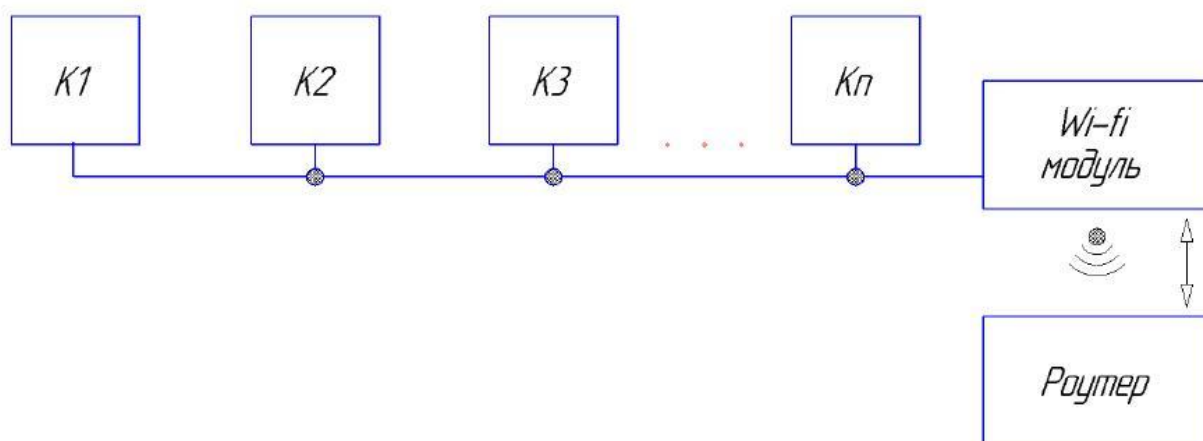


Рисунок 2.4 – Структурна схема каскадного об'єднання комутаторів

Відсутність індивідуальних модулів дозволяє зменшити габарити групи пристроїв. При використанні групи подібних пристроїв комутації (каскадне з'єднання) до них додається лише один модуль бездротової MESH-мережі, який з'єднується з ними за допомогою проводової лінії зв'язку. При цьому бездротові пристрої комутації електричного навантаження більше не містять вбудованих модулів бездротової MESH-мережі, що дозволяє зменшити їх вартість і габаритні розміри.

2.2.3 Вибір і інтеграція бездротового комутатора навантаження

Після завершення вибору інтерфейсу та протоколу передачі даних виникає необхідність визначити елементну базу для реалізації проекту.

На сьогоднішній день на ринку електронних компонентів представлені такі виробники, як Texas Instruments, STMicroelectronics і Philips. Одним з небагато-тьох доступних рішень для розробників в Україні є компанія Espressif Systems, яка виробляє модулі з підтримкою MESH-мереж.

На рисунку 2.5 наведено загальний вигляд модуля.

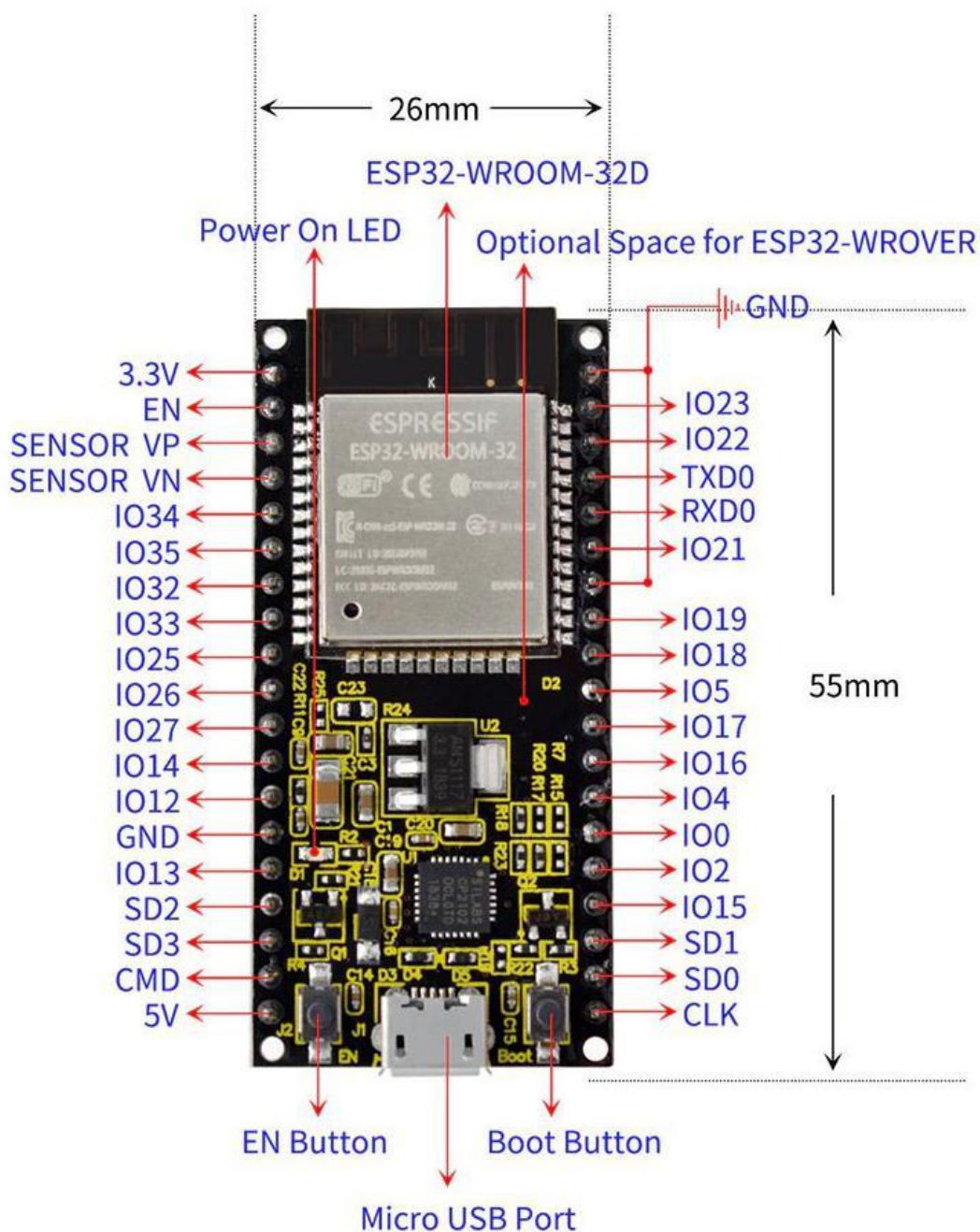


Рисунок 2.5 – Загальний вигляд модуля ESP32 - WROOM - 32D

Базуючись на 40-нм технології, ESP32 є надійною платформою, яка допомагає задовольнити потреби в ефективному енергоспоживанні, компакт – ному дизайні, безпеці, високій продуктивності та надійності.

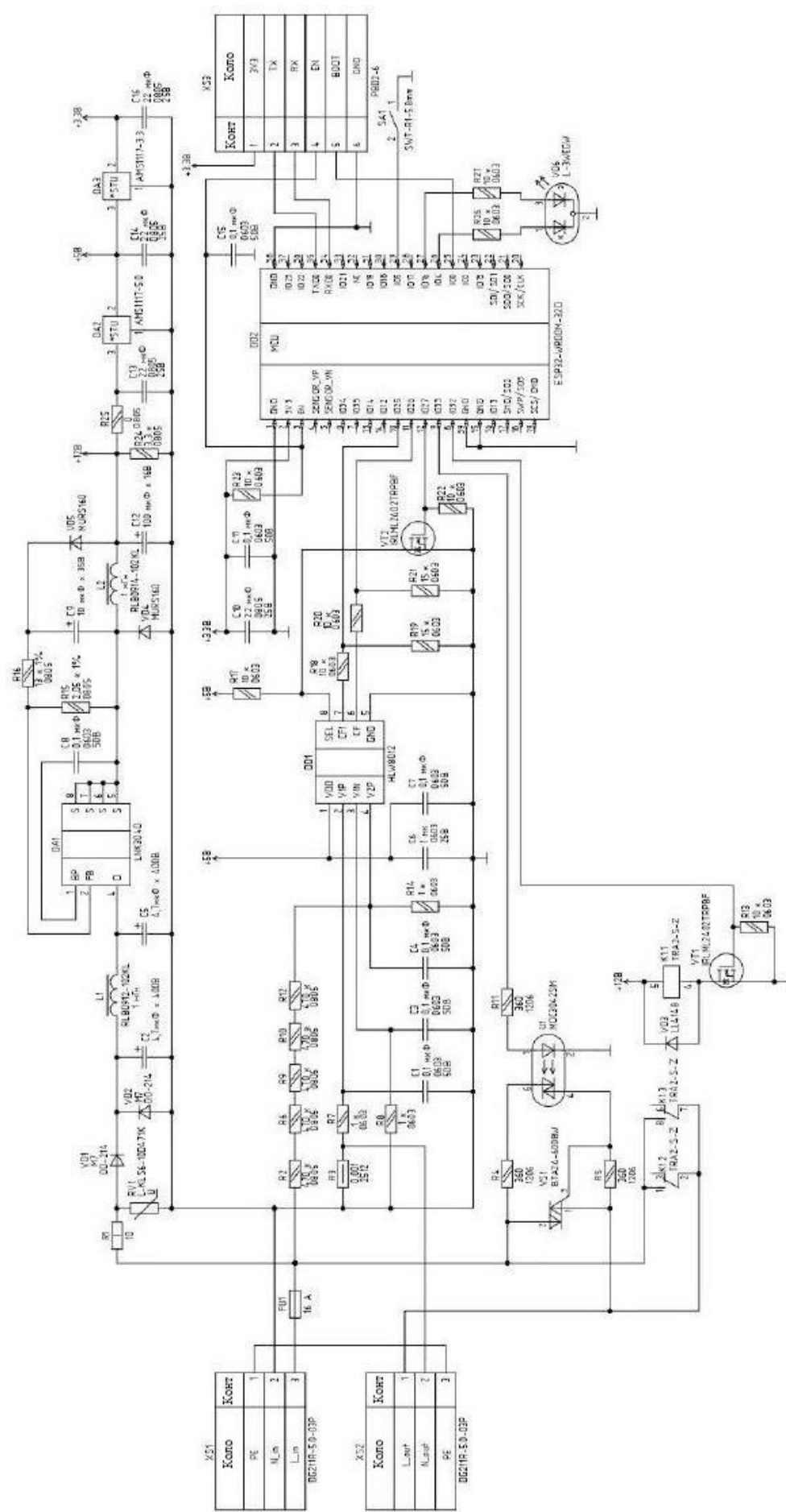
Компанія Espressif Systems надає базові апаратні та програмні ресурси, щоб допомогти розробникам додатків реалізувати проекти з використанням обладнання серії ESP32. Програмне середовище розробки від Espressif призначене для розробки додатків технології «Інтернету речей» (IoT) з Wi-Fi, Bluetooth, управлінням енергоспоживанням та деякими іншими функціями системи.

Як інформація, що передається між керуючим сервером і бездротовим пристроєм комутації електричного навантаження в рамках алгоритму ефективного управління, використовуються команди включення та виключення каналу комутації, запит поточного статусу каналу комутації та запит поточних параметрів мережі. При цьому як система вимірювання параметрів мережі (напруга, споживана потужність) використовується мікросхема HLW8012 з частотним виходом.

З метою реалізації зазначеного алгоритму ефективного управління було розроблено програмне забезпечення для модуля ESP32-WROOM (Додаток А).

Основою схеми електричної принципової бездротового комутатора електричного навантаження є модуль ESP32-WROOM (рис. 2.6). При цьому модуль має класичну обв'язку фільтруючих конденсаторів по лінії живлення, підключений до нього роз'єм програмування (XS3), світлодіодну індикацію (VD6) та тактову кнопку (SA1) для переведення пристрою в режим налаштування параметрів бездротової мережі.

Мікросхема HLW8012 має частотний вихід, її внутрішня структура представлена на рисунку 2.7. В залежності від наявності сигналів на керуючих входах CF та CF1 – на виході HLW8012 частота послідовності імпульсів буде пропорційна або напрузі мережі, або споживаній потужності навантаження (з урахуванням коефіцієнтів, які вказані в описі виробника).



35

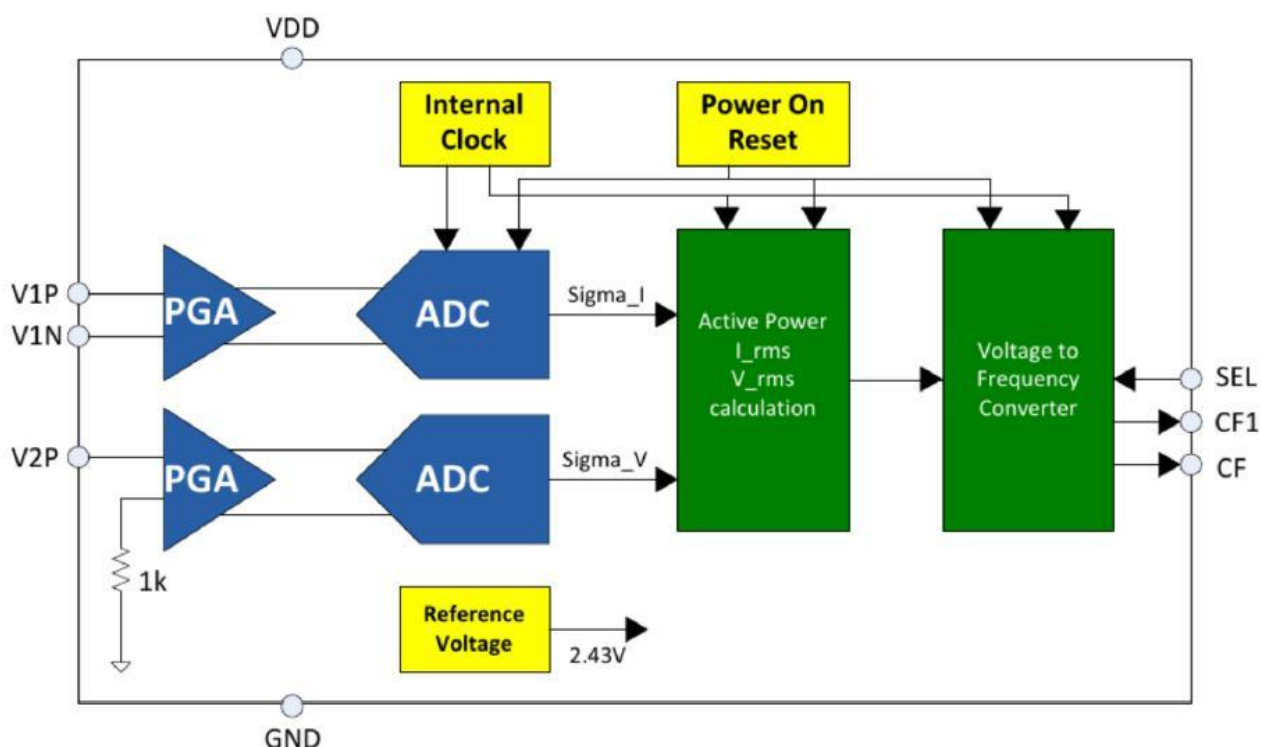


Рисунок 2.7 – Внутрішня структура мікросхеми HLW8012

Вимірювання проводиться на резисторі R3 номіналом 0,001 Ом, а резистори R2, R6, R9, R10 і R12, встановлені послідовно, служать для розсіювання потужності (рис. 2.6).

Схема комутації, що реалізує запропонований спосіб, представлена на схемі рис. 2.6 симістором (VS1) з керуючим драйвером (U1) та електро-механічним реле (K1) з керуючим транзистором (VT1). Розрахункові номінали елементів вказані на схемі.

У верхній частині схеми, представленої на рис. 2.6, зображена схема джерела живлення, що здійснює живлення постійним струмом елементів схеми. При цьому генеруються наступні номінали напруги: 12 В – для живлення котушки комутуючого електро-механічного реле, 5 В – для живлення вимірювальної мікросхеми HLW8012 та 3,3 В – для живлення безпосередньо керуючого мікроконтролера модуля.

На рис. 2.8 представлена 3D-модель корпусу з встановленою друкованою платою бездротового комутатора електричного навантаження.

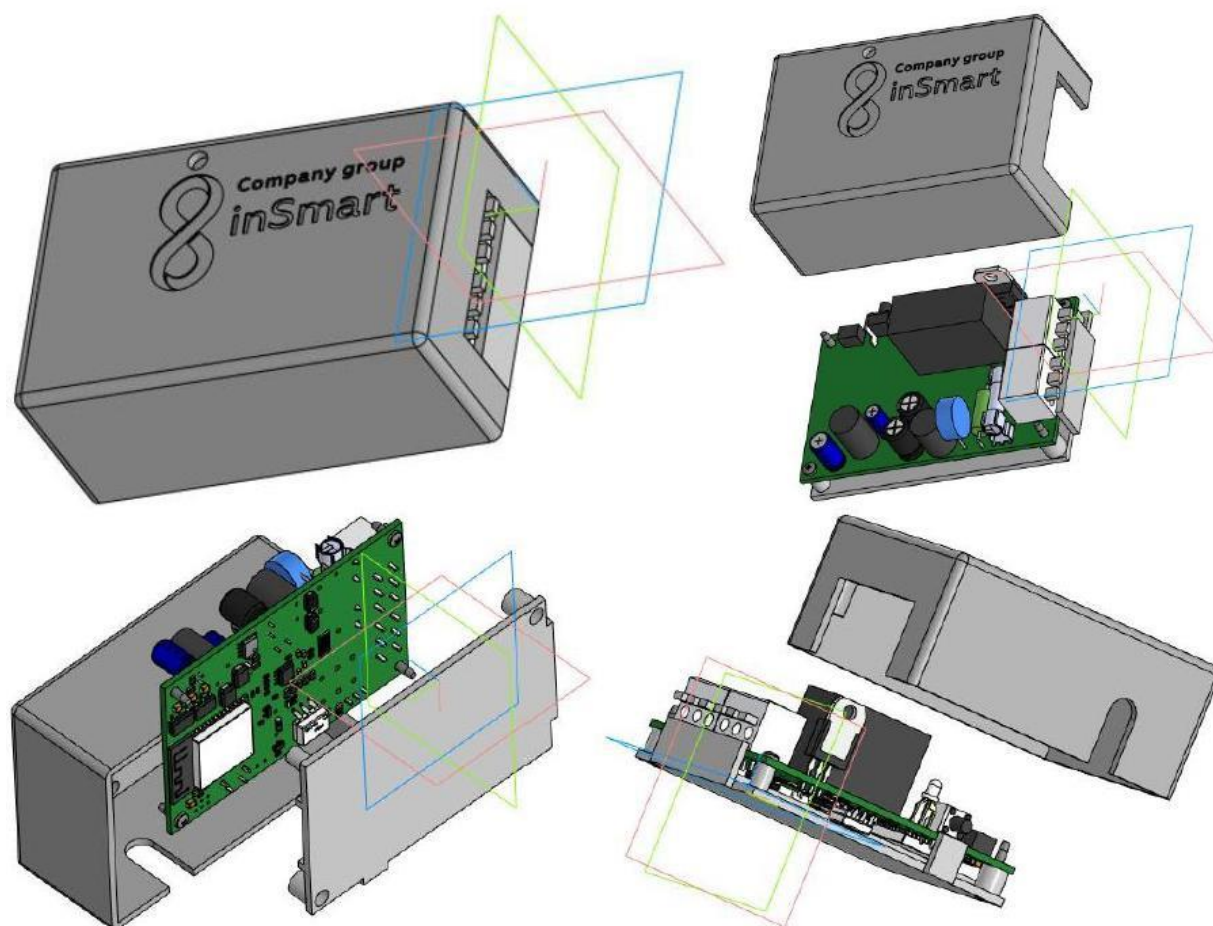


Рисунок 2.8 – 3D - модель корпусу бездротового комутатора навантаження

Корпус складається з двох частин – основи та кришки. Частини корпусу скріплюються між собою шурупами. Також на основу корпусу кріпиться друкована плата пристрою. Корпус має вирізи під контактні клеми на друкованій платі, а також, місце для кнопки. Клеми для підключення мережі та навантаження є швидкозажимними, що спрощує монтаж пристрою на об'єкті.

2.2.4 Вбудоване програмне забезпечення бездротового комутатора

Вбудоване програмне забезпечення бездротового комутатора електричного навантаження дозволяє приймати керуючі команди від сервера та виконувати їх на пристрої комутації електричного навантаження. Зокрема, програма дозволяє: підключати та відключати навантаження; зчитувати та

передавати на сервер поточні параметри електричної мережі, до якої підключено пристрій; зчитувати та передавати на сервер поточні параметри споживаної електричної потужності; зчитувати та передавати на сервер рівень Wi-Fi сигналу; визначати вибір пристрою-ретранслятора з найвищим рівнем Wi-Fi сигналу; створювати MESH-мережу з кількох пристроїв; розподіляти по шарах кілька пристроїв у рамках MESH-мережі та передавати інформацію про кожен шар на сервер.



Рисунок 2.9 – Функції програмного забезпечення комутатора

Мова програмування: Cі.

Середовище розробки: Espressif mesh development framework.

Обсяг програми: 1,5 КБ.

Основний вихідний код програмного забезпечення бездротового комутатора електричного навантаження представлений в Додатку А.

Алгоритм ефективного управління пристроями комутації електричного навантаження полягає в автоматичному виконанні в рамках бездротової Wi-Fi MESH-мережі наступних дій (рис. 2.10):

- визначення кореневого вузла за максимальним рівнем сигналу від роутера шляхом порівняння даних від усіх пристроїв, що знаходяться в мережі;
- визначення дочірніх вузлів за максимальним рівнем сигналу від кореневого вузла шляхом порівняння даних від усіх пристроїв, що знаходяться в мережі;
- визначення кінцевих вузлів і їх узгодження з дочірніми вузлами за максимальними рівнями сигналу від дочірніх вузлів;
- побудова карти мережі та передача даних про топологію мережі по висхідній ієрархії.

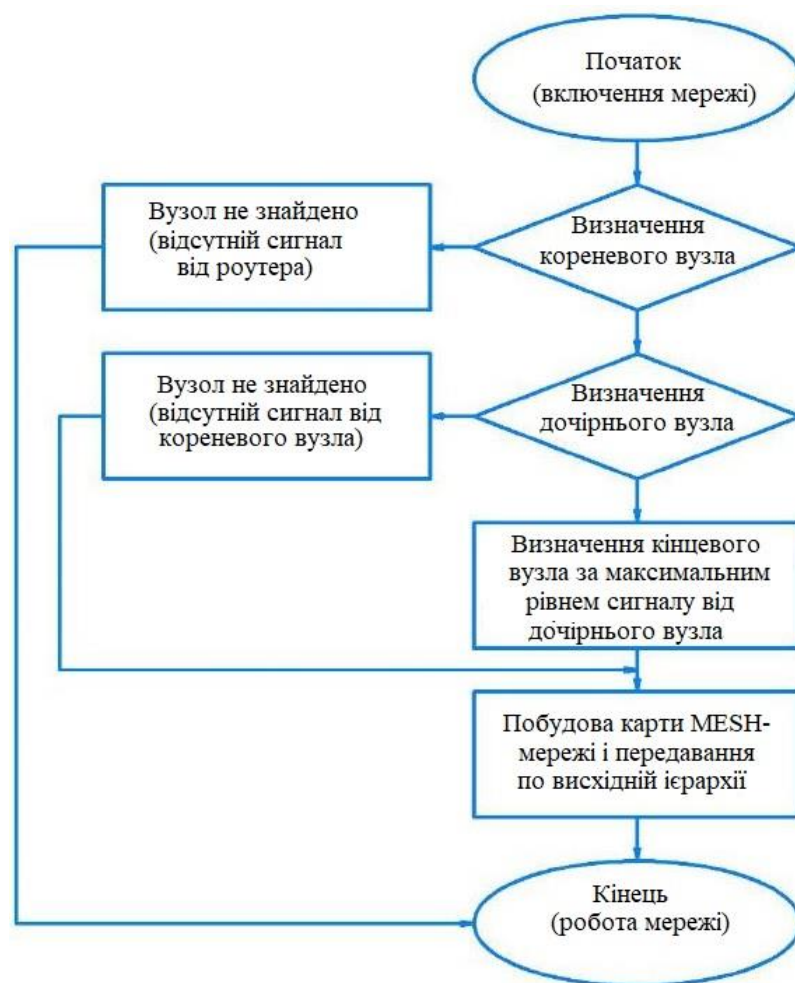


Рисунок 2.10 – Блок – схема роботи MESH – мережі

2.2.5 Розробка програмного забезпечення для керування системою електропостачання

Під час аналізу інтернет-ресурсів у пошуках програмного забезпечення для керування системою електропостачання з допомогою смартфона розглядалось декілька варіантів в першу чергу перевага надавалась безкоштовним програмам. З-поміж таких безкоштовних варіантів, як Promotic SCADA та Zenon ми обрали саме Promotic SCADA.

Програма дозволяє здійснювати віддалений моніторинг стану бездротових комутаторів електричного навантаження, обробку та збереження отримуваних параметрів електричної мережі, до якої підключено пристрій: напруга, споживаний струм, потужність, а також параметри мережі обміну даними: номер шару, на якому розташовано пристрій, та всю структуру топології мережі в цілому:

1. Вікно авторизації та реєстрації:

- Призначення: це перше вікно, з яким стикається користувач при запуску додатку. Воно дозволяє зареєструвати новий обліковий запис або увійти в існуючий.

- Елементи: поля для введення електронної пошти або номера телефону, пароля, кнопки для входу через соціальні мережі або електронну пошту.

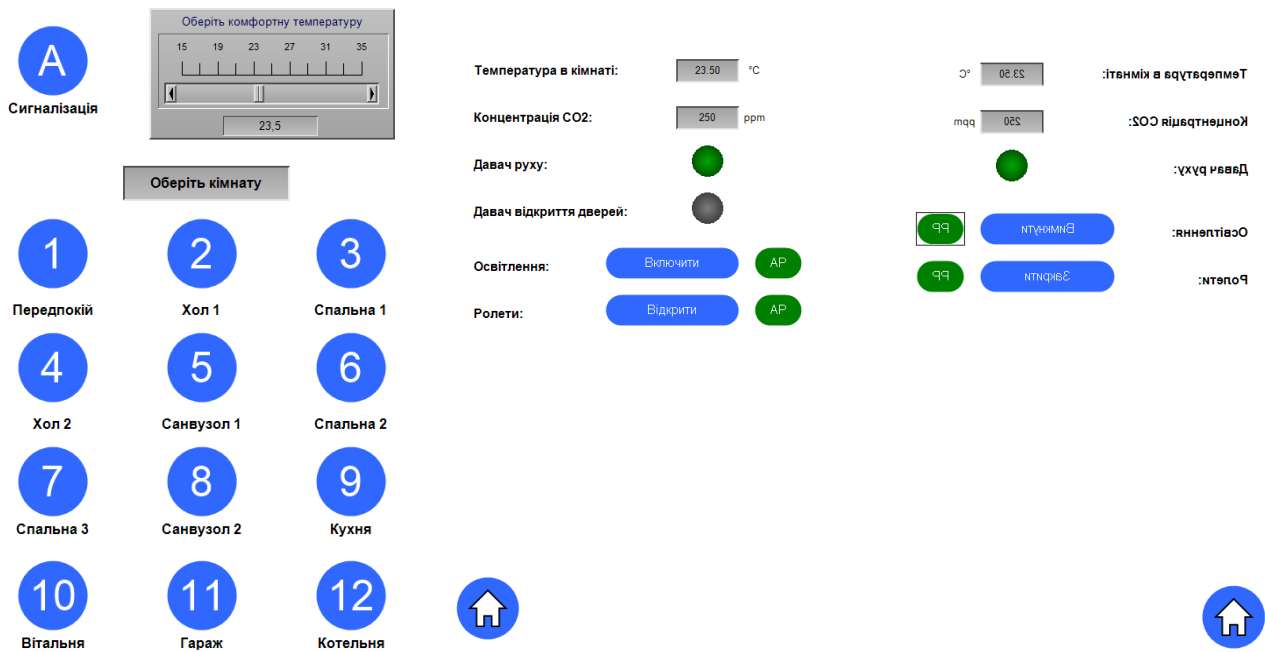
2. Діалогове вікно додавання пристроїв:

- Призначення: використовується для додавання нових пристроїв у систему розумного дому.

- Елементи:

- Кнопка «Додати пристрій».
- Вибір типу пристрою (освітлення, датчики, розетки тощо).
- Інструкції по підключенню пристрою до Wi-Fi.
- Вибір мережі та введення пароля.
- Кнопка для автоматичного виявлення пристроїв або введення вручну.

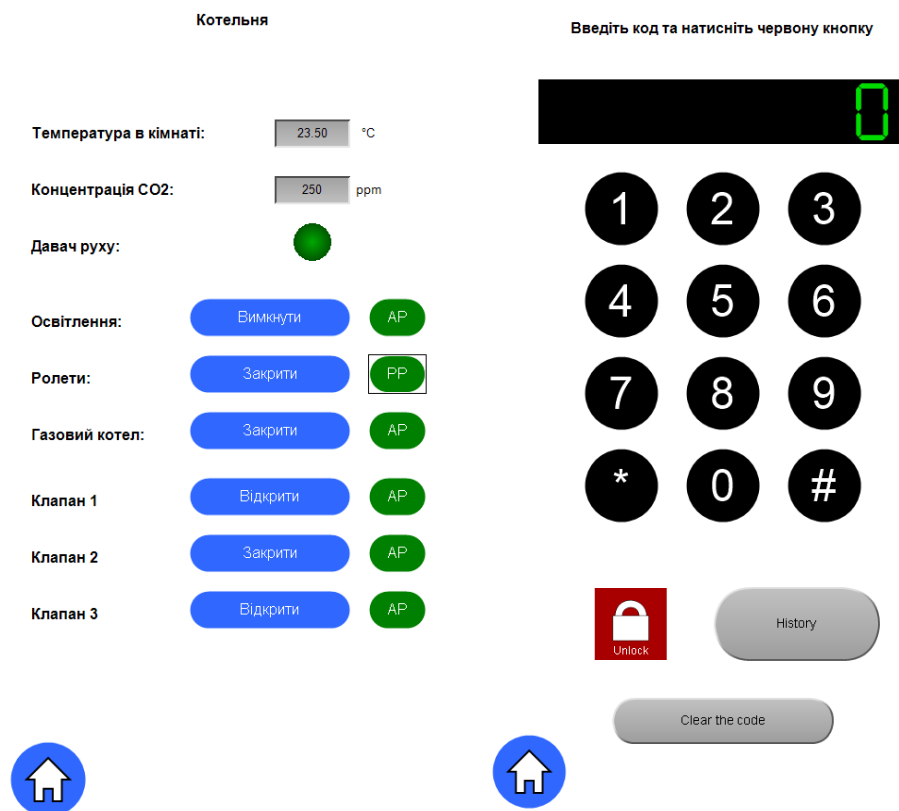
Автоматизована система керування "Розумний будинок"
для одноповерхового котеджу



а)

б)

в)



г)

д)

а – основне вікно додатку; б – вікно керування передпокоюм; в – вікно керування спальнею 1; г – вікно параметрів котельні; д – вікно пульта охорони.

Рисунок 2.11 – Діалогові вікна додатка

3. Діалогове вікно налаштування пристрою:

- Призначення: дозволяє налаштувати параметри конкретного пристрою після його підключення.

- Елементи:

- Перемикач для включення/вимкнення пристрою.
- Регулятори яскравості, температури або інших налаштувань залежно від типу пристрою.
- Кнопки для зміни імені пристрою або вибору кімнати.
- Кнопка для налаштування автоматизацій (наприклад, включення світла при руху).

4. Вікно створення автоматизацій:

- Призначення: дозволяє налаштувати автоматичні сценарії для пристроїв.

- Елементи:

- Вибір умов активації (наприклад, час, датчик руху, температура).
- Вибір дій, які потрібно виконати при спрацьовуванні умов (включення/вимкнення пристроїв).
- Вибір часу або періоду виконання дій.
- Кнопка для активації або деактивації автоматизації.

5. Діалогове вікно сповіщень:

- Призначення: відображає повідомлення про події в системі, такі як виявлені проблеми з підключенням, активація сенсорів або зміни стану пристроїв.

- Елементи:

- Випливаючі повідомлення з короткими деталями.
- Кнопка для перегляду більш детальної інформації або налаштувань сповіщень.

6. Вікно управління живленням:

- Призначення: відображає інформацію про споживану енергію пристроями, підключеними до системи.

- Елементи:

➤ Графік або таблиця, що показує використання енергії по дням, тижням, місяцям.

➤ Оцінка споживаної енергії для оптимізації витрат.

7. *Діалогове вікно налаштування профілю користувача:*

- Призначення: використовується для редагування особистих налаштувань, таких як ім'я, електронна пошта, номер телефону та інші дані профілю.

- *Елементи:*

➤ Поля для редагування особистої інформації.

➤ Кнопки для зміни пароля або налаштувань безпеки.

2.3 Архітектура та компоненти адаптивної системи управління

2.3.1 Вибір мікроконтролера

Наш вибір припав на модуль ESP32-WROOM-32D з розширеною вбудованою пам'яттю, що підтримує протоколи Wi-Fi та Bluetooth Low Energy. На основі цього модуля нами планується побудувати адаптивну систему управління, загальний вигляд плати модуля ESP32-WROOM-32D наведено на рис. 2.5.

ESP32-WROOM є відмінним вибором для системи управління будинком через свою універсальність, доступність і можливість інтеграції з різними пристроями.

Ось основні переваги:

Безпека і зручність: цей мікроконтролер дозволяє безпечно з'єднувати всі пристрої через Wi-Fi та Bluetooth, забезпечуючи зручне управління через смартфони або інші гаджети.

Економічність: відносно низька вартість дозволяє створювати масштабовані системи, які можуть включати багато пристроїв без значних витрат.

Енергозбереження: завдяки можливості економії енергії, пристрої на ESP32 можуть працювати довгий час без підзарядки або збереження енергії, що є важливим для автономних пристроїв у розумному будинку.

Простота інтеграції: ESP32 підтримує популярні платформи розробки, що полегшує налаштування та інтеграцію з іншими елементами розумного будинку.

2.3.2 Схема живлення

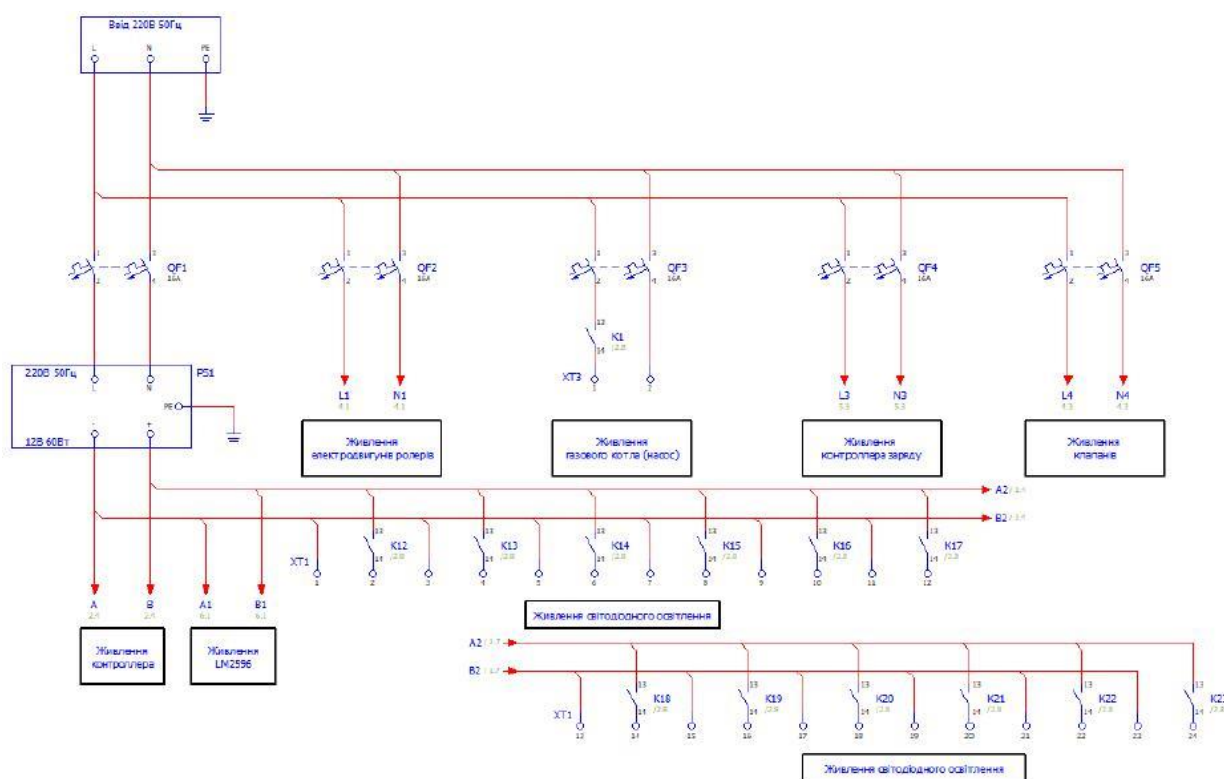


Рисунок 2.12 – Схема живлення системи автоматизації

На рис. 2.12 наведено схему живлення системи автоматизації яка складається з шістнадцяти амперних автоматичних вимикачів, понижуючого блоку живлення 220В/12В, а також зазначено основні лінії живлення.

2.3.3 Основні датчики адаптивної системи управління

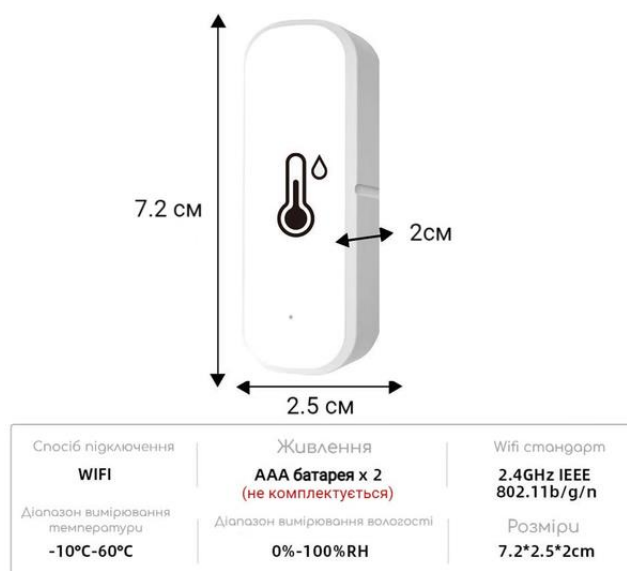


Рисунок 2.13 – Загальний вигляд та характеристика датчика температури

Датчик температури дозволяє автоматично регулювати температуру в приміщенні на основі даних, що він передає. Це допомагає підтримувати комфортну температуру, а також знижує енергоспоживання, оскільки обігрівачі та кондиціонери працюють тільки тоді, коли це необхідно.

Датчики температури використовуються для інтеграції з термостатами (рис.2.14). Вони передають інформацію про поточну температуру в кімнаті або будинку, що дозволяє термостату точно налаштувати роботу системи опалення або охолодження для підтримки бажаної температури.



Рисунок 2.14 – WiFi термоголовка 4HEAT TR – 01 (термостат)



Рисунок 2.15 – WiFi датчики присутності та руху

Датчик присутності або радар — це важливий компонент у системах розумного будинку, що забезпечує виявлення руху або наявності людей у приміщенні.

Датчики присутності можуть взаємодіяти з іншими системами будинку для створення складних сценаріїв. Наприклад, датчик руху може запускати сценарії, які налаштовують температуру, освітлення, або відкривають штори, коли людина входить у кімнату або повертається додому.



Рисунок 2.16 – WiFi датчик газу + система захисту від витоків газу

Основна функція системи витоку газу — це своєчасне виявлення витоків газу (наприклад, метану або пропану), що може стати причиною пожежі або вибуху. Датчики витоку газу можуть виявити навіть мале збільшення концентрації газу в повітрі та сповістити про небезпеку.

Система витоку газу може бути інтегрована з основною системою газопостачання будинку та автоматично перекривати подачу газу, якщо виявлений витік. Це допомагає запобігти подальшим витокам та знизити ризик вибуху чи пожежі.



Рисунок 2.17 – WiFi датчик протікання води

WiFi датчики протікання води можуть взаємодіяти з іншими системами будинку, такими як системи безпеки або автоматизації.

Наприклад, при виявленні витоку води система може автоматично перекрити подачу води або викликати аварійну службу.

За допомогою спеціальних електричних клапанів, система може автоматично вимикати подачу води в разі виявлення протікання. Це дозволяє уникнути великих затоплень і значних збитків.



Рисунок 2.18 – Електрокарниз з керуванням поWiFi

Wi-Fi карниз дозволяє керувати шторами з будь-якої точки світу за допомогою смартфона. Ви можете відкривати або закривати штори, не будучи вдома, що додає зручності та комфорту.

Автоматичне закриття штор в жарку погоду або вночі може допомогти зберігати тепло в будинку в холодну пору року, або навпаки, знижувати температуру влітку, коли штори закриті від сонця. Це дозволяє знижувати витрати на опалення та кондиціонування.

2.4 Забезпечення автономної роботи системи управління

Створення автономного енергозабезпечення системи спрямовано на роботу у безперебійному режимі та підтримання живлення у разі відключення основної мережі.

В якості джерела автономного енергозабезпечення ми пропонуємо встановити сонячні панелі, що дозволить нам генерувати електричну енергію за допомогою сонячного випромінювання. Сонячні панелі є екологічно чистим джерелом енергії і здатні значно знизити витрати на електроенергію.

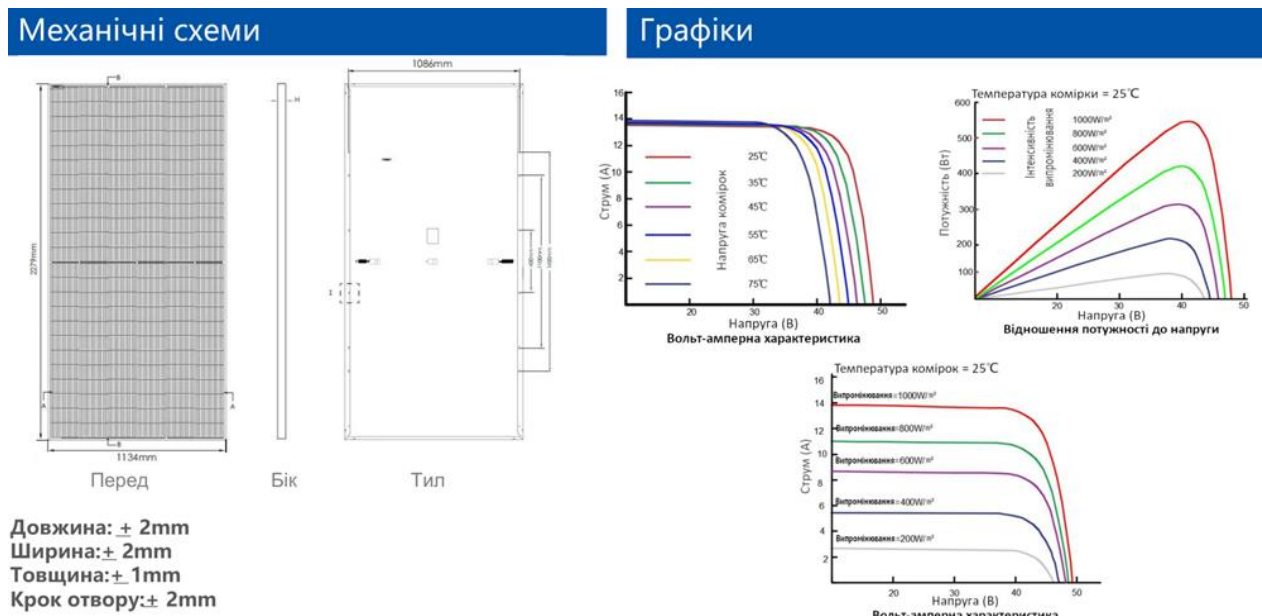


Рисунок 2.19 – Сонячна панель Inter Energy 600 Вт.

Вибір інвертора є ключовим етапом при створенні системи автономного енергозабезпечення будинку на основі сонячних панелей. Тому пропозиція обрати інвертор Easun Power ISolar SMH-II-4,2KW-24V є цілком обґрунтованою, оскільки цей пристрій поєднує в собі необхідні характеристики для ефективної роботи сонячної електростанції.

Основні характеристики Easun Power ISolar SMH-II-4.2KW-24V:

- Тип інвертора: Гібридний, однофазний (230 В) ;
- Номінальна потужність: 3800 Вт;
- Пікова потужність: 8000 Вт;
- Максимальна потужність сонячних панелей (PV): 6 кВт;
- Робоча напруга PV: 55–450 В;
- Напруга акумулятора: 24 В;
- Максимальний струм заряду: 110 А;
- ККД: 98%;

- Розміри: 423 x 290 x 100 мм;
- Вага: 6.8 кг.

Функції та можливості:

1. Функція безперебійного живлення (UPS) з часом перемикання до 10 мс;
2. Підключення генератора;
3. Інтерфейси управління: Wi-Fi, RS232, RS485.



Рисунок 2.20 – Загальний вигляд інвертора Easun Power ISolar.

Для забезпечення ефективної роботи інвертора Easun Power ISolar SMH-II-4.2KW-24V, рекомендується обрати акумулятор, сумісний за параметрами напруги та ємності. На офіційному сайті Easun Power представлено кілька варіантів акумуляторів, які можуть відповідати вашим потребам.

Виберемо акумулятор LiFePO₄ акумулятор IBattery-EA-24V-100AH загаль-ний вигляд і характеристики якого наведено на рисунку 2.21.

25.6V deep LiFePO4 Battery



Model: IBattery-TP-2450AH	Size: 330*173*212 mm
Capacity: 50Ah	Weight: 11.5kg
Voltage: 25.6V	Number of cycles: >2000
Charge current: 10A	Peak current: 150A, 10Sec
Protect: IP65	Load power: ≤1280W
Authentication: UN38.3/MSDS	Internal Resistance: ≤80mΩ

Рисунок 2.21 – Загальний вигляд і характеристика LiFePO₄ акумулятора.

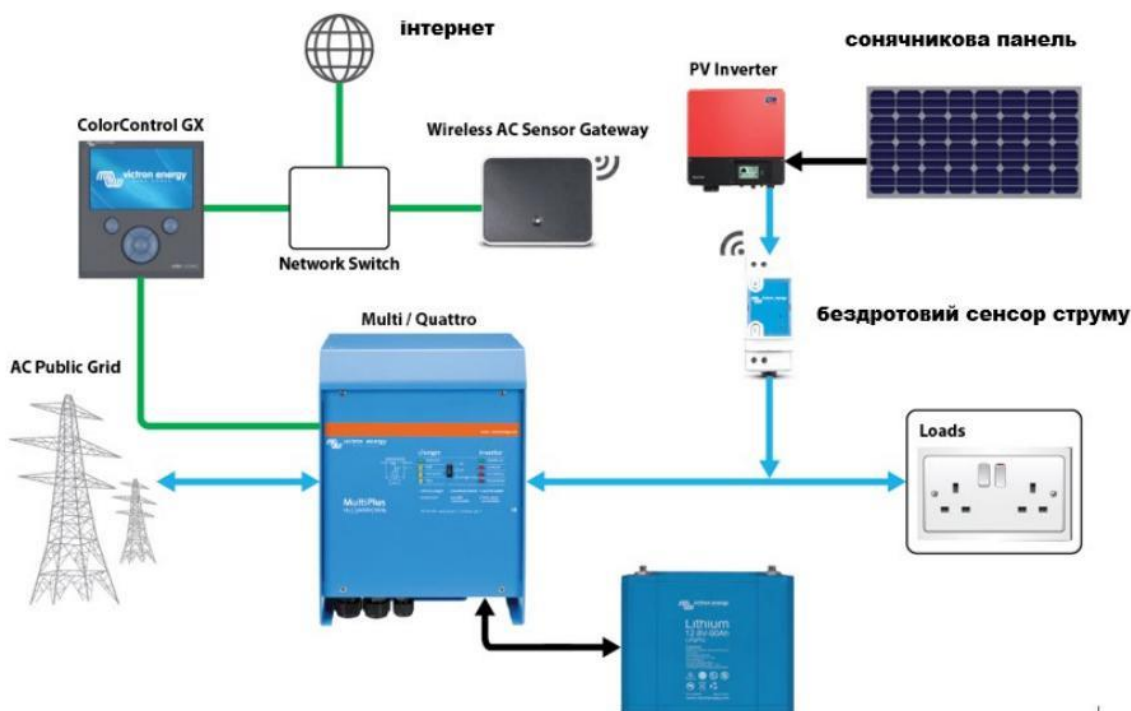


Рисунок 2.22 – Схема автономної системи енергозабезпечення

2.5 Висновки до розділу 2

У цьому розділі було розглянуто створення адаптивної системи управління енергоспоживанням основною метою якої є забезпечення ефективного використання енергії, зниження витрат на електроенергію та підвищення комфорту.

1. Алгоритми управління енергоспоживанням: розроблено кілька алгоритмів, які дозволяють автоматично регулювати освітлення, роботу побутових приладів, температуру та інші елементи системи в залежності від присутності людей, часу доби, температури та інших факторів. Це дозволяє значно знизити енергоспоживання без втрати комфорту.

2. Інтеграція з MESH-технологією: встановлення бездротової мережі на основі MESH-технології дозволяє значно розширити зону покриття Wi-Fi, забезпечуючи стабільну комунікацію між всіма пристроями у будинку та підвищуючи надійність системи управління.

3. Розроблені алгоритми для моніторингу енергоспоживання, зокрема відстеження пікових навантажень та адаптивне зниження споживання енергії, дозволяють запобігати перевантаженню системи та знижувати витрати на електроенергію.

4. Використання сонячних панелей таких як інвертор Easun Power ISolar SMH-II-4.2KW-24V та акумулятор LiFePO₄ IBattery-EA-24V-100AH, є сумісними і забезпечують надійну роботу системи. Вони відповідають вимогам щодо потужності, ефективності та безпеки.

Таким чином, запропонована адаптивна система управління енергоспоживанням дозволяє створити ефективну, економічну та екологічно безпечну систему для енергозабезпечення будинку.

3 РОЗРАХУНКОВО - ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Порівняльний аналіз способів комутації електричного навантаження

Створення адаптивної системи управління енергоощадними процесами будівлі слугує основою для підвищення енергетичної ефективності загалом і є одним із пріоритетних напрямів під час проектування житлових будинків. Активний розвиток і повсюдне впровадження систем автоматизації призвело до того, що технічні рішення, які раніше використовували переважно тільки в промисловості, стали доступні сферам будівництва та обслуговування будівель.

Наразі на етапі проектування об'єкта в документацію закладаються системи управління будівлею, які здійснюють управління освітленням, мікрокліматом у приміщеннях, моніторинг параметрів стану інженерних систем і мереж будівлі та передають дані аналітики керуючим компаніям і безпосередньо власникам приміщень у режимі реального часу. При цьому забезпечується і режим віддаленого ручного управління.

На сьогодні з'явилася можливість віддаленого керування практично усіма інженерними системами будівлі загалом і окремо взятого приміщення зокрема. Наприклад, теплові режими роботи системи опалення, сценарії освітлення, телекомунікаційні мережі та системи, водопостачання і водовідведення, вентиляція та багато інших.

Найважливішим елементом адаптивних систем управління енергоощадними процесами будівлі є пристрої комутації електричного навантаження, які призначені для управління процесом комутації силових кіл і моніторингу поточного стану параметрів мережі.

Сучасні системи «Розумний дім» містять у своєму складі пристрої комутації побутових електричних навантажень ($U_C = \sim 220 \text{ В}$, $F = 50 \text{ Гц}$, $I_{\text{MAX}} = 16 \text{ А}$). Цей клас пристроїв призначено для реалізації можливості віддаленого керування електричними навантаженнями (увімкнення та вимкнення),

здійснення автономної роботи системи за заданим сценарієм, а також для моніторингу поточного стану мережевої напруги та потужності, яку споживає навантаження.

У цьому розділі розглядається питання розроблення способу комутації електричного навантаження в будівлях, що підвищує термін служби комутуючого елемента (зокрема, електромеханічного реле), який має бути порівнянний з терміном експлуатації будівлі в цілому. Основними споживачами електроенергії в будівлях є побутові електроприлади, що живляться від мережі змінного струму напругою ~ 220 В і струмом споживання до 16 А.

Найширше як виконавчі механізми в умовах обмеженого простору, а також великої комутованої потужності застосовують електромеханічні комутаційні реле. Електромеханічні реле (ЕР) мають менші габарити, ніж напівпровідник у поєднанні з радіатором. Але при цьому ЕР схильні до механічного зносу через наявність рухомих елементів у конструкції, а також ерозії контактів у процесі комутації.

Під час розмикання контактів ЕР між ними утворюється електрична дуга, а під час замикання спостерігається виникнення іскрового ефекту, що призводить до ерозії контактів ЕР і до подальшого їхнього «залипання», а це вже своєю чергою до неправильної роботи пристрою комутації загалом і, як наслідок, можливості виникнення аварійної ситуації.

У цьому розділі представлено сучасні напівпровідникові елементи для комутації навантажень у мережах змінного струму, а також способи зниження електромагнітних завад у мережі під час їх використання. Також запропоновано спосіб комутації електричних навантажень житлових приміщень, що ґрунтується на об'єднанні переваг ЕР і напівпровідникових елементів. Дане рішення дозволяє при збереженні малого габариту кінцевого пристрою істотно збільшити електричний ресурс комутуючого пристрою за рахунок виключення явища іскроутворення на контактах у процесі комутації навантаження.

Пріоритет у виборі виконавчого механізму системи комутації віддають

кільком рішенням. Основними комутаційними пристроями в колах змінного струму є: електромеханічні або твердотільні реле, симістори, тиристори, схеми на біполярних, лівосторонніх або IGBT транзисторах.

Під час комутації навантаження зі струмом до 0,1 А і напругою до 10 В проблем із вибором виконавчого механізму не виникає з огляду на відсутність іскріння контактів реле або порівняно невисоку розсіювальну потужність на напівпровідниковому ключовому елементі, яка додатково не вимагає забезпечення його примусового охолодження.

У рамках адаптивної системи управління енергозберігаючими процесами будівлі розглядається питання комутації побутових електричних навантажень, живлення яких здійснюється від мережі змінного струму напругою ~220 В і струмом споживання до 16 А. При цьому необхідно забезпечити такий ресурс роботи комутувального пристрою, який давав би змогу використовувати його без обслуговування протягом кількох десятків років. Вибір того чи іншого рішення залежатиме від переваг і недоліків виконавчого механізму за поточних умов експлуатації та видів навантаження.

3.2 Напівпровідникові елементи комутації

Використання симістора як комутатора навантаження тягне за собою проблему відведення тепла при протіканні через нього струмів понад 0,5 А (симістор у цьому разі розсіюватиме на своєму корпусі потужність приблизно 0,8 Вт, за середнього падіння напруги на симісторі 1,6 В), що згодом призведе до його руйнування. Цей факт приводить до необхідності встановлення радіатора охолодження в пристрої комутації і, як наслідок, істотного збільшення масогабаритних і вартісних характеристик усієї системи керування, що не завжди допустимо.

Симістор є найпоширенішим напівпровідниковим елементом, який використовують нині для комутації змінного струму. Вольтамперну характеристику симістора наведено на рис. 3.1.

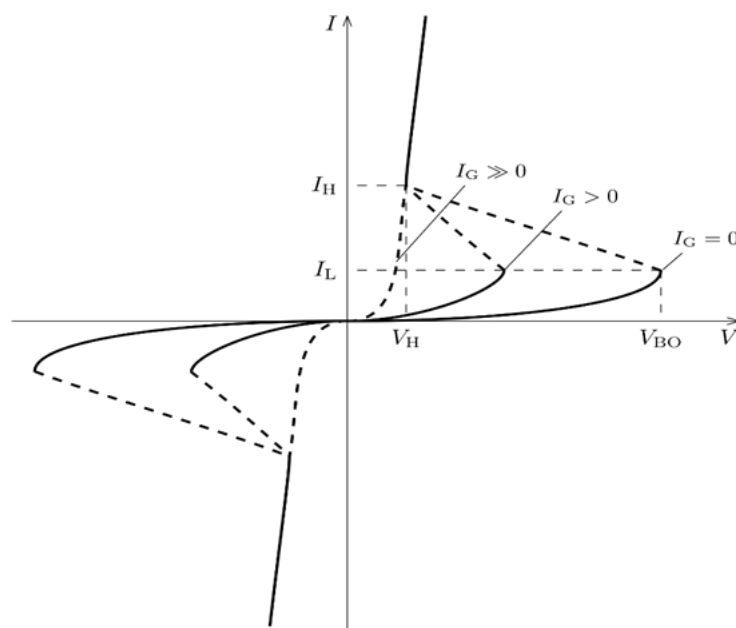


Рисунок 3.1 – Вольтамперна характеристика симістора

Під час керування процесом комутації електричного навантаження основні виводи симістора включаються послідовно в коло навантаження в розрив лінії фази. Поки симістор закритий, провідність між основними виводами відсутня і, отже, електричне навантаження відключене від кола живлення. Під час подавання потенціалу на керівний вивід симістора відбувається його відкриття, і між основними виводами починає протікати електричний струм, який подається в комутоване навантаження, яке зі свого боку вмикається. Симістор залишається у ввімкненому стані доти, доки на керуючому виводі присутній потенціал і доки значення струму, що протікає в навантаженні, не стане нижчим за порогове значення струму утримання симістора. Таким чином, навіть за відсутності потенціалу на керівному виводі симістора, закриття провідності між основними виводами відбудеться тільки в той момент, коли струм у навантаженні знизиться до «безпечного» для процесу комутації значення.

Аналізуючи процес комутації того чи іншого елемента, необхідно розглядати його роботу на найнесприятливіших видах навантажень. Електричні навантаження можна умовно розділити на п'ять основних груп: резистивні, індуктивні, ємнісні, електродвигуни, лампи освітлення.

Так, наприклад, під час керування індуктивним навантаженням, таким як електродвигун, або за наявності перешкод у мережі, напруга може сягнути величини, за якої симістор зможе мимовільно відкритися. Щоб уникнути негативного впливу подібних викидів напруги, паралельно основним виводам симістора під'єднують варистор.

Для захисту симістора від перевищення швидкості зміни напруги – dU/dt – застосовують коло захисту (RC-коло), який під'єднують паралельно основним виводам симістора. Подібний RC-коло у зарубіжній літературі отримав найменування «снаберного» кола. На сьогодні з'явилися симістори, які вже мають вбудоване захисне коло, наприклад ВТА 16-600BW.

Також необхідно враховувати параметр dI/dt – максимальна швидкість зміни струму під час відкриття симістора. При перевищенні цього значення симістор не встигає повністю відкритися, що може привести до руйнування його кристала. Так, наприклад, для вищенаведеного симістора ВТА 16-600BW значення dI/dt становить 50 А/мкс.

Для збільшення ресурсу роботи симістора, а також зниження потужності, що розсіюється на ньому в моменти комутації та зменшення рівня перешкод у мережі, для керування симістором рекомендується використовувати спеціалізовані драйвери з детектором нуля на основі оптопар, наприклад, МОС3063. У цьому разі забезпечується також гальванічна розв'язка між керувальними та високовольтними колами, що є просто необхідним.

Симістори використовують для комутації в колах змінного струму, величина струму кожен період знижується до нуля, у ці моменти, у разі відсутності потенціалу на керувальному виведенні симістора, відбувається вимкнення навантаження, а отже, відсутня потреба в додаткових колах, що забезпечували б надійне замикання симістора.

Розглянемо застосування схем на IGBT транзисторах, перевагою яких є вища частота комутації, ніж у симістора. Як приклад наведено залежність струму колектора IGBT транзистора K50H603 від частоти комутації за напруги колектор-емітер 400 В (рис. 3.2).

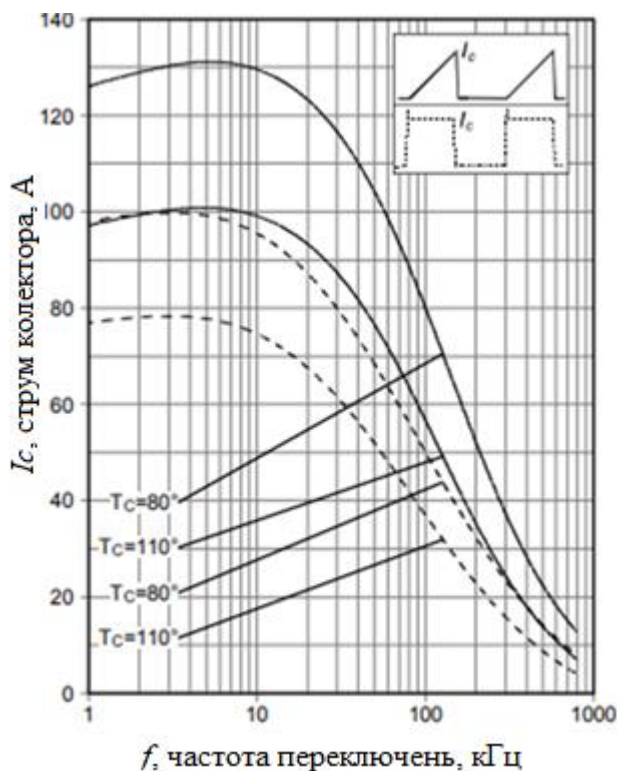


Рисунок 3.2 – Залежність струму колектора IGBT транзистора K50H603 від частоти комутації

Але під час роботи з побутовими електричними навантаженнями висока частота комутації не потрібна, і відмова від застосування схем на біполярних і польових транзисторах також пов'язана з проблемами відведення теплової енергії та великими габаритними розмірами. Тому IGBT транзистори знаходять широке застосування в колах напругою понад 1000 В, тому що втрати у відкритому стані IGBT транзистора обернено пропорційні до струму, що протікає, і напруги.

З огляду на необхідні характеристики, найбільш підходящим комутувальним елементом (КЕ) є симістор, оскільки має можливість комутації навантажень без іскроутворення у зв'язку з відсутністю механічно рухомих частин, що гарантує за умови необхідного тепловідводу та дотримання рекомендацій щодо його захисту практично необмежений ресурс роботи КЕ.

3.3 Електромеханічні комутаційні реле

Правильний вибір реле для конкретного проекту є найважливішим завданням, оскільки безпосередньо пов'язаний з терміном служби пристрою комутації загалом. Існує чотири основні типи реле, кожен з яких має свої переваги та недоліки:

1. Ртутні реле – пристрої, що використовують ртуть як перемикальний елемент. Переваги: тривалий термін служби, не схильні до ерозії та брязкоту контактів, низький опір контактів. Недоліки: чутливі до положення під час встановлення, не відповідають вимогам з екологічної безпеки.

2. Електромеханічні реле – пристрої, які реагують на величину електричного струму за допомогою тяжіння якоря або сердечника під час проходження струму через обмотку. Переваги: призначені для роботи з високими напругами і струмами, низький опір контактів. Недоліки: низька швидкість перемикання, схильні до ерозії контактів.

3. Твердотільні реле – пристрої, що є окремим видом реле, у яких відсутні механічні рухомі частини, що слугують для вмикання і вимикання кола високої потужності за допомогою низьких напруг, які подають на клеми керування. Переваги: призначені для роботи з високими напругами і струмами, не схильні до ерозії і брязкоту контактів. Недоліки: більш високий прохідний опір, збільшені габаритні розміри, висока вартість.

Найбільш підходящим типом КЕ для вирішення поставлених завдань є ЕР, але вони мають виражений недолік, а саме – схильні до ерозії контактів, що істотно скорочує ресурс, заявлений виробником.

Дійсний термін служби ЕР залежатиме від величини комутованої потужності і типу навантаження. Наприклад, для резистивних навантажень специфікації виробників досить точні, але для комутації навантажень інших типів потрібне введення в розрахунки поправочних коефіцієнтів, які знижують номінальні значення технічних характеристик реле і, як наслідок, скорочують розрахунковий термін їхньої служби.

Міжнародна приладобудівна компанія Keysight Technologies, що здійснює

розробку, виробництво та впровадження високотехнологічного контрольно-вимірювального обладнання, провела дослідження параметрів, від яких залежить термін служби електромеханічного реле. Фахівці Keysight Technologies дійшли висновку, що найбільш значущим параметром, який безпосередньо впливає на ресурс КЕ, є тип комутованого навантаження.

Резистивні навантаження

Резистивне навантаження являє собою резистивний елемент, струм через який не буде змінюватися стрибкоподібно. Незначні кидки струму можуть статися тільки в момент комутації через іскріння контактів. Саме на резистивне навантаження орієнтуються виробники електромеханічних реле під час розрахунку їхнього терміну служби. Загалом розрахунки ресурсу КЕ для цього типу навантаження є досить точними, але промислова практика експлуатації показує, що для досягнення зазначеного виробником ресурсу, необхідно знизити номінальну комутовану потужність до 75 % від заявленої.

Індуктивні навантаження

Індуктивне навантаження є досить складним під час комутації, оскільки струм через контакти КЕ продовжує протікати в процесі їхнього розмикання (згідно із законом Лоренца), що спричиняє утворення електричної дуги. Під час комутації індуктивних навантажень рекомендується використовувати схеми гасіння дуги, а також для збереження розрахункового ресурсу знизити номінальну комутовану потужність до 40 % від заявленої.

Ємнісні навантаження

Ємнісне навантаження характерне дуже високими значеннями струму в момент комутації, оскільки конденсатор у момент увімкнення являє собою короткозамкнену ділянку електричного кола. Для обмеження пускового струму з метою захисту КЕ від явища «залипання» контактів, рекомендується послідовно встановлювати струмообмежувальні резистори. Під час комутації ємнісних навантажень для збереження розрахункового ресурсу необхідно знизити номінальну комутовану потужність до 75 % від заявленої.

Електродвигуни

Під час комутації електродвигун має низький імпеданс і для його запуску потрібне велике значення сили струму, щоб створити магнітне поле. При цьому під час роботи електродвигун генерує зворотну електрорушійну силу (ЕРС), яка в момент вимкнення створює ефект індуктивного навантаження і утворення електричної дуги між контактами КЕ. Під час комутації електродвигунів для збереження розрахункового ресурсу необхідно знизити номінальну комутовану потужність до 20 % від заявленої.

Лампи освітлення

Лампу освітлення часто вважають резистивним навантаженням, але опір нитки, що складається з вольфраму (W^{74}) у момент увімкнення в 10-15 разів нижчий, ніж у гарячому стані. Тому під час комутації виникає кидок струму в холодну нитку розжарення. Для зниження величини пускового струму під час комутації ламп освітлення також використовуються струмообмежувальні резистори, а для збереження розрахункового ресурсу необхідно знизити номінальну комутовану потужність до 10 % від заявленої.

У табл. 3.1 наведено усереднені значення коефіцієнта зниження номінальних характеристик сучасних малогабаритних реле у відсотках залежно від типу навантаження.

Таблиця 3.1.

Зниження номінальних характеристик реле від типу навантаження

Тип навантаження	Відсоток від номінального значення, %
Резистивна	75
Індуктивна	40
Ємнісна	75
Електродвигун	20
Лампа освітлення	10

Використання електромеханічних реле тягне за собою необхідність забезпечення необхідного ресурсу роботи (терміну служби виробу в цілому).

Електричний ресурс реле виражається в кількості спрацьовувань реле під навантаженням і залежить від типу навантаження і величини струму навантаження. Наприклад, залежність електричного ресурсу від виду навантаження реле RT314005 виробництва компанії SCHRACK наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

Залежність ресурсу від виду навантаження реле RT314005

Тип навантаження	Кількість циклів
16А, 250VAC, NO контакт, 85° С, DF 10%, UL508	50×10^3
16А, 250В змінного струму, NO контакт, 70° С, 30хв-1	53×10^3
20А, 250VAC, NO контакт, 85° С, UL508	6×10^3
1000 Вт лампа, 250 В змінного струму	$1,2 \times 10^3$
10А, 250В змінного струму, $\cos\varphi=0,6$, CO контакт, 70 С°	200×10^3
5А, 250В змінного струму, $\cos\varphi=1$, двигун, NO-контакт, 10хв-1	$1,1 \times 10^6$
0.26А, 230VAC, $\cos\varphi=0.38$, вентиль, NO, 25min-1	$7,6 \times 10^6$

Згідно з даними виробника, електричний ресурс реле RT314005 під час роботи на резистивне навантаження з комутованим струмом до 16 А становить 50×10^3 циклів спрацьовування. Водночас для аналогічного навантаження з комутованим струмом до 20 А ресурс становить 6×10^3 спрацьовувань. За частоти спрацьовувань 1 раз на 10 хвилин, у разі роботи на номінальне навантаження, термін служби зазначеного реле буде менше десяти років. Але при збільшенні струму до 20 А термін служби зменшується до одного року.

Розглянемо детально причини утворення електричної дуги на контактах КЕ під час комутації електричного навантаження індуктивного типу.

Електрична дуга під час розмикання контактів реле виникає внаслідок безперервності струму. Це пояснюється законом Лоренца – в колі виникає ЕРС, що перешкоджає зміні струму (формула 3.1):

$$E_L = -L \frac{d_i}{d_t} \quad (3.1)$$

Тому струм протікає через повітряний зазор між контактами реле, що віддаляються, і з'являється електрична дуга.

На рис. 3.3 показано графіки залежностей напруги і струму на дузі між контактами електро механічного реле за змінного струму в процесі комутації електричного навантаження.

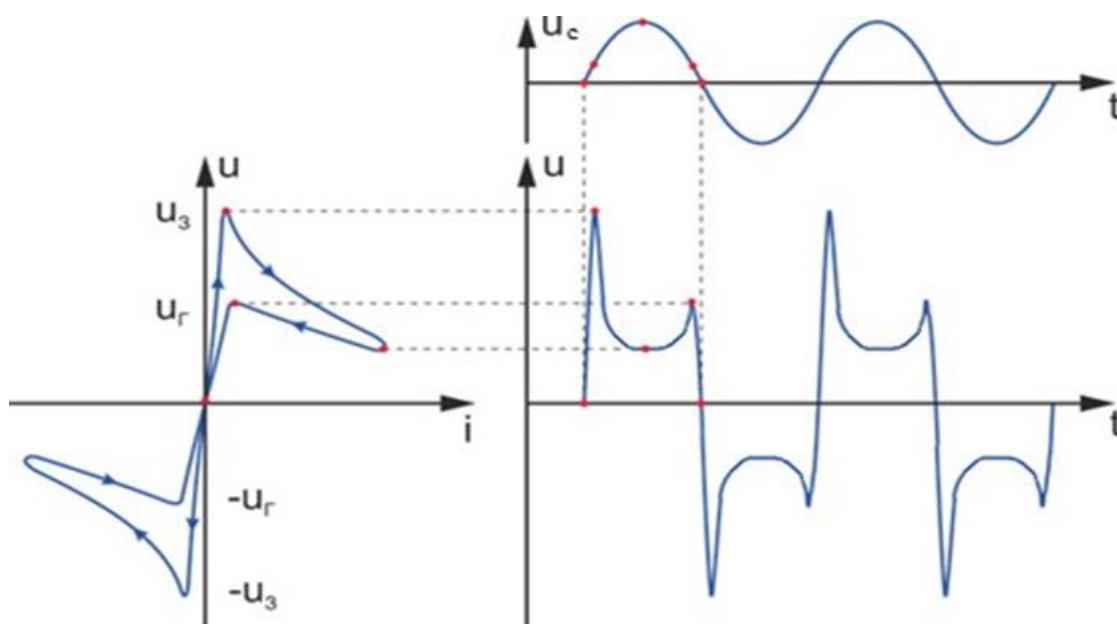


Рисунок 3.3 – Графіки залежностей напруги і струму на дузі між контактами реле при змінному струмі

Електрична дуга виникає між контактами реле за напруги U_3 і згасає за напруги U_Γ (рис. 3.3). Таким чином, вимкнення реле в моменти, коли напруга фази (U_C) дорівнює нулю і нижча за напругу U_3 , не спричиняє утворення електричної дуги на контактах реле.

У разі ємнісного навантаження розряджена ємність у початковий момент часу є короткозамкненою ділянкою кола. При цьому значення струму зменшується в міру заряду ємності. На рис. 3.4 показано спрощену схему комутації навантаження, що має ємнісний характер.

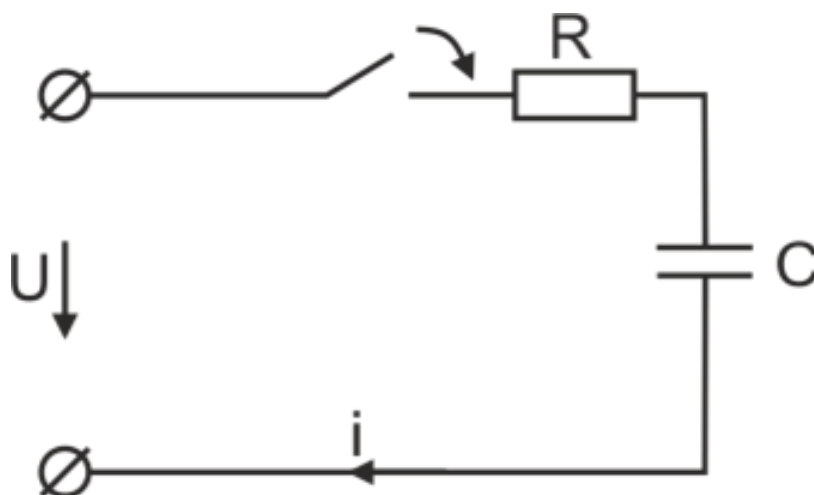


Рисунок 3.4 – Спрощена схема комутації ємнісного навантаження

Перехідний процес при цьому може бути описаний формулою 3.2:

$$i(t) = \frac{U_m}{R} \left[\cos \varphi \cdot \sin(\omega t + \psi - \varphi) + \sin \varphi \cdot \cos(\psi - \varphi) e^{-\frac{t}{\tau}} \right], \quad (3.2)$$

де U_m – максимальна напруга в мережі змінного струму, R – активний опір навантаження, φ – кут між струмом і напругою в мережі, ω – кутова частота синусоїдального струму, ψ – початкова фаза синусоїдального струму, τ – постійна часу.

У момент комутації кола формула 3.2 перетворюється на формулу 3.3, з якої видно, що максимальний струм протікатиме через контакти реле у випадку ввімкнення в момент, коли початкова фаза дорівнює $\pi/2$.

$$i(0) = \frac{U_m}{R} \sin(\psi) \quad (3.3)$$

При цьому в момент виникнення перехідного процесу відбувається сплеск струму i , як наслідок, іскроутворення на контактах реле (рис. 3.5). У подальшому з плином часу значення струму знижується.

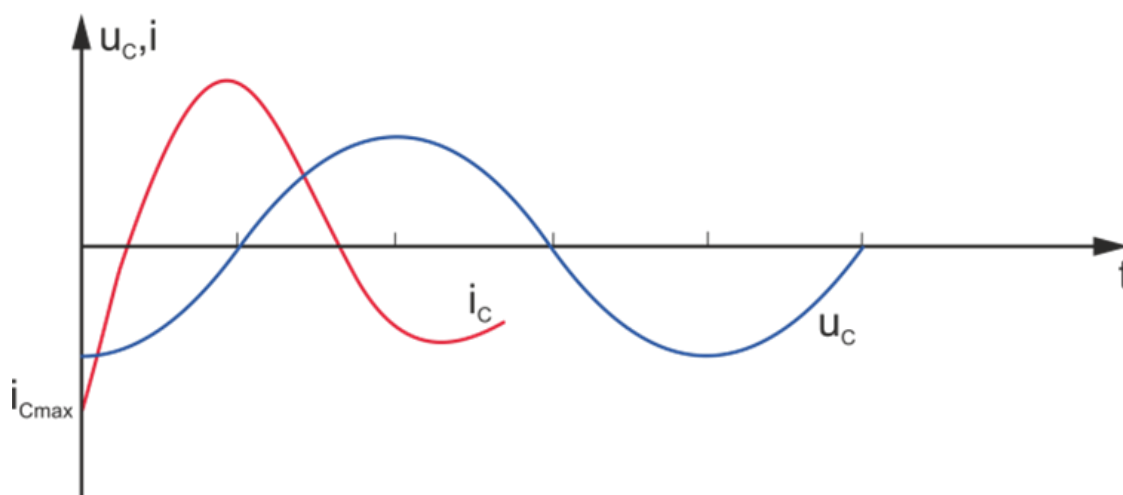


Рисунок 3.5 – Графік перехідного процесу

Збільшувати ресурс роботи реле можна шляхом використання різних способів іскрогасіння. Одним із розв'язань проблеми могло б стати додавання в схему пристрою комутації елемента, що здійснює контроль і перемикання контактів реле саме в моменти переходу фази через нуль. Але це рішення фізично неможливо реалізувати через розкид характеристик ЕР та інерційність самого механізму.

За відсутності обмежень за габаритами пристрою збільшення ресурсу роботи можливе в разі застосування реле зі збільшеною відстанню між контактними групами, які мають у своєму складі постійні магніти, що, зі свого боку, витісняють електричну дугу із зазору між контактами (магнітне обдування). Але таке рішення не відповідає вимогам, що висуваються до адаптивної системи управління енергозберігаючими процесами будівлі.

3.4 Ефективний спосіб комутації

Ефективний спосіб комутації повинен забезпечувати зменшення струму порівняно з номінальним значенням у момент комутації. Існує два можливі варіанти реалізації цього способу.

Перший варіант — застосування реле з багаторазовим запасом за комутованим струмом (актуально під час керування об'єктами, що мають порівняно невелике енергоспоживання).

Другий варіант – об'єднання переваг напівпровідникових елементів і електро механічних реле в одному схемотехнічному рішенні, а саме реагування на лізацію безпечного перемикавання контактів шляхом паралельного увімкнення до контактів електро механічного реле напівпровідникового комутаційного елемента, зокрема симістора. Розглянемо цей варіант докладніше.

Збільшення ресурсу досягається наявністю в комутаторі, крім електро механічного реле, ще й симістора з паралельним увімкненням, як це показано на структурній схемі комутатора (рис.3.6).

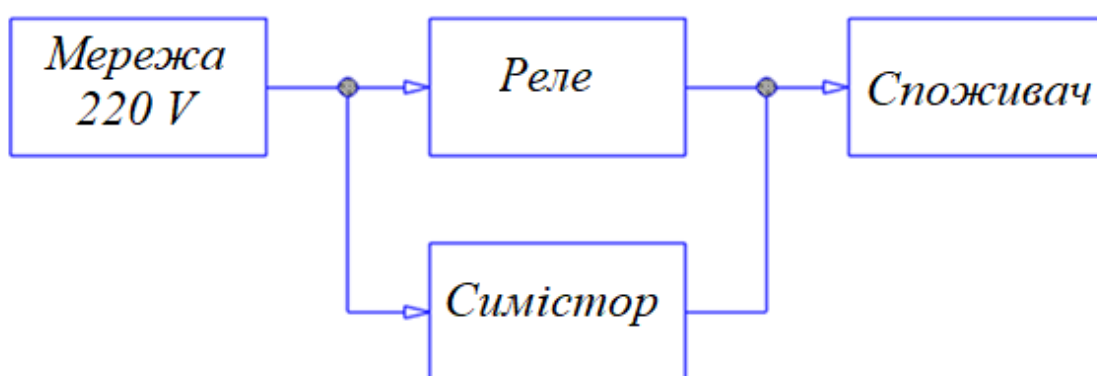


Рисунок 3.6 – Структурна схема комутатора

Пристрій комутації містить контактне реле з паралельно під'єднаним напівпровідниковим симістором, керованим оптичним драйвером із детектором нуля. У пропонуваному рішенні спочатку замикається симістор (під час проходження фази через нульову позначку) і тільки потім замикається реле для запобігання перегріву симістора (рис 3.7).

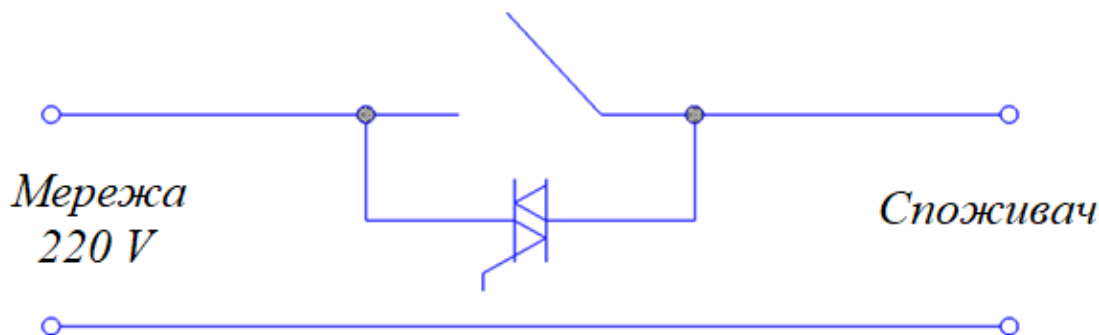


Рисунок 3.7 – Принципова схема увімкнення реле

Цей принцип дає змогу уникнути появи електричної дуги під час розмикання та іскріння під час замикання контактів (оскільки в момент переходу фази через нульову позначку напруга дорівнює нулю, а розмикання відбувається при зниженому струмі в навантаженні), тобто не буде відбуватися ерозії контактів. Як наслідок, істотно збільшується ресурс пристрою комутації електричного навантаження загалом.

Підвищення ресурсу пристрою комутації електричного навантаження досягається завдяки використанню схеми паралельного ввімкнення електромеханічного контактного реле і напівпровідникового симістора. Для збільшення ресурсу роботи симістора, а також зниження потужності, що розсіюється на ньому в момент комутації, і зменшення рівня перешкод у мережі, для керування симістором використовують драйвер із детектором нуля (наприклад, на основі оптопар).

Управління симістором здійснюється за допомогою оптичного драйвера з детектуванням перетину нуля. У початковий момент часу виконувати комутацію електричного навантаження буде симістор. Це зумовлено тим, що електромеханічне реле має рухомі елементи та відповідний коефіцієнт інерційності, причому коефіцієнт інерційності змінюється як упродовж експлуатації реле, так і розрізняється в різних моделях реле. Крім того, під час замикання або розмикання контактів реле, виникає іскріння або електрична дуга, відповідно, які скорочують термін служби виробу і зрештою можуть привести до «залипання» контактів.

Симістор, керований драйвером із детектуванням перетину нуля, дає змогу здійснювати практично миттєве замикання кола без утворення іскрового ефекту. Однак під час тривалої роботи симістор буде значною мірою нагріватися, що потребуватиме додаткового тепловідведення. Але в нашому випадку для тривалого утримання кола в замкненому стані використовуватиметься вже саме електромеханічне реле, яке замикатиметься після відкриття симістора по паралельному колу і шунтуватиме його. У

результаті чого між контактами електромеханічного реле не відбуватиметься ерозія.

У момент вимкнення електричного навантаження спершу розмикатимуться контакти реле, потім остаточно коло розмикатиме симістор у разі зниження рівня струму в навантаженні нижче значення струму утримання симістора. Основною перевагою симістора є його можливість комутації навантажень без випромінювання і відсутність механічно рухомих частин, а також можливість вимкнення електричного навантаження в разі зниження значення сили струму нижче за поріг утримання. Це гарантує практично необмежений ресурс роботи пристрою комутації в цілому.

3.5 Схемотехнічна реалізація комутатора електричного навантаження

Для розроблення схемотехнічної реалізації комутатора електричного навантаження використовуємо симістор із драйвером керування, що має вбудований детектор нульової фази на основі оптопари, що дасть змогу забезпечити гальванічну розв'язку кіл керування від силових кіл комутації. Капелюшок реле конструктивно і так має гальванічну розв'язку від контактів, що перемикають. При цьому детектор переходу фази через нуль дасть змогу знизити перешкоди в мережі в моменти комутації, а також подовжить ресурс роботи самого симістора. Спрощену схему електричну принципову спільного використання малогабаритного електромеханічного реле і симістора наведено на рис. 3.8.

Системи керування енергоощадними процесами будівлі в переважній більшості передбачають наявність керуючого МК, тому застосування драйвера з входом сумісним із виходами МК значно полегшує завдання керування симістором і виключає наявність деяких елементів обв'язки. На схемі, наведеній на рис. 3.8, зліва розташовані входи керування симістором.

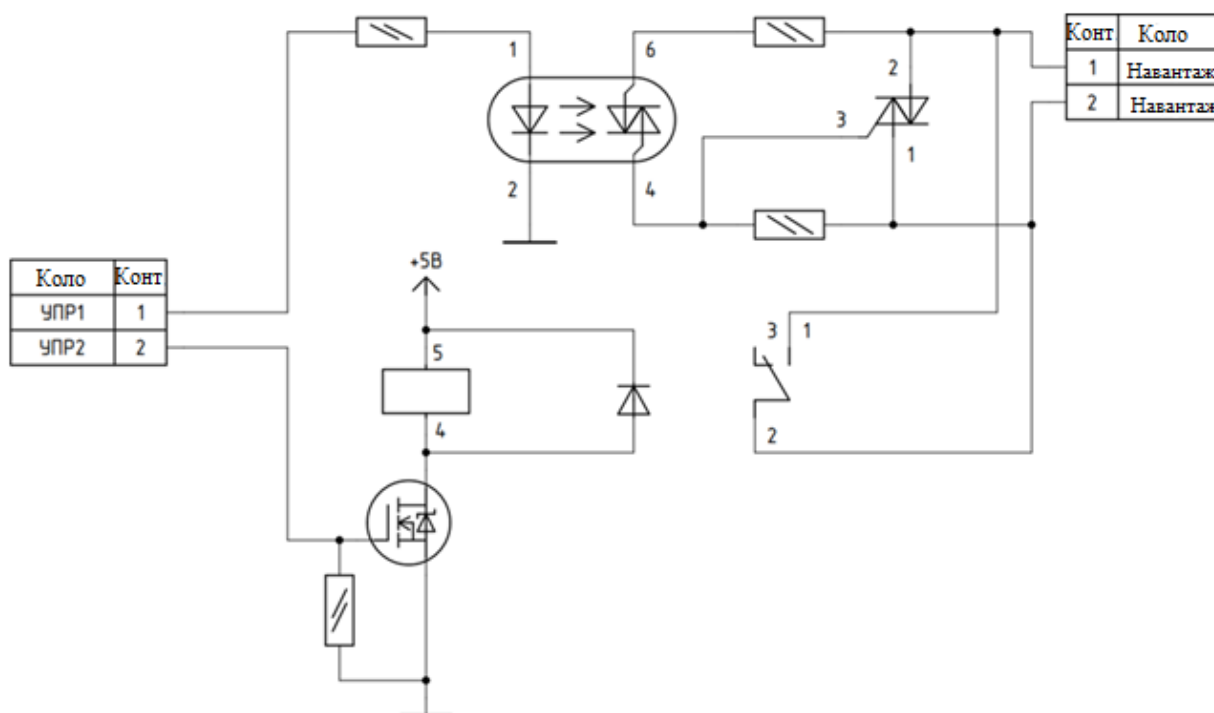


Рисунок 3.8 – Спрощена схема електрична принципова спільного використання малогабаритного реле і симістора

Навантаження (рис 3.8) під'єднано до силового кола (комутатор у розриві провідника фази). Мікроконтролер програмними засобами реалізує часовий інтервал. Потім МК подачею логічної одиниці на другий вхід керування вмикає реле. Керування малогабаритним електромеханічним реле найлегше здійснювати за допомогою цифрового MOSFET транзистора.

Електромеханічне реле замикається після замикання симістора по паралельному колу, внаслідок чого не виникає електрична дуга на його контактах. За попередніми розрахунками час роботи симістора (у момент увімкнення або вимкнення) не перевищуватиме 100 мс – за такий короткий проміжок часу його конструкція не встигатиме нагріватися до критичної температури. У результаті, з одного боку, забезпечується гарантоване підведення навантаження в момент переходу фази через нуль, з іншого боку – забезпечується відсутність перегріву і перевантаження електронних компонентів.

Контакти реле шунтують симістор до самого вимкнення навантаження, а МК його вимикає, тому струм через симістор не протікає і падіння напруги на

ньому не відбувається, що, своєю чергою, не веде до його саморозігрівання, а потреба у відведенні від нього теплової енергії повністю відсутня, тобто встановлення радіатора не потрібне, що скорочує габарит пристрою загалом.

Вимкнення навантаження відбувається у зворотному порядку. Спершу МК здійснить комутацію симістора, подачею сигналу на його керівний вивід, а потім вимкне котушку реле і програмними засобами реалізує тимчасову затримку в 100 мс (ця затримка потрібна, щоб дочекатися наступного спаду струму навантаження в напівперіоді, нижчому за струм утримання симістора). Потім МК буде подано сигнал на замикання самого симістора. І в момент, коли струм у навантаженні буде нижчим за значення сили струму утримання симістора, останній відключить навантаження від кола живлення. Такий спосіб комутації, а саме – під'єднання і вимкнення навантаження, є найбезпечнішим для комутувального елемента.

3.6 Оцінка ефективності впровадження адаптивної системи керування

Для оцінки економічного ефекту від впровадження розробленої адаптивної системи управління енергоощадними процесами котеджу було проведено порівняння щомісячних витрат енергоресурсу в рамках двох ідентичних об'єктів – до впровадження системи і після впровадження. Тривалість експерименту становила 5 місяців. Отримані дані наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Витрати на оплату електричної енергії

Статус впровадження системи	Тариф, грн./кВт·год	Середнє споживання електричної енергії, кВт·год на міс.	Вартість грн. на міс.
До впровадження	4,18	500,00	2090
Після впровадження		300,00	1254

Скорочення витрат на оплату електричної енергії після впровадження системи управління становить на місяць 836 грн або у відносній величині – 40 % (таблиця 3.3).

З огляду на те, що проєкт в майбутньому передбачає будівництво 7500 м² житла, то шляхом екстраполяції визначимо економічний ефект від впровадження в рамках котеджного містечка (формули 3.4...3.5):

$$\Delta VC_{M^2} = \frac{\Delta VC_1}{S_1} = \frac{836 \text{ грн.}}{150 \text{ м}^2} = 5,6 \text{ грн. / м}^2 \quad (3.4)$$

$$\Delta VC_{\text{заг}} = \Delta VC_{M^2} \cdot S_{\text{заг}} = 5,6 \frac{\text{грн.}}{\text{м}^2} \cdot 7500 \text{ м}^2 = 42000 \text{ грн.} \quad (3.5)$$

де ΔVC_{M^2} – розмір економічного ефекту на 1 м² житлової площі, ΔVC_1 – розмір економічного ефекту, S_1 – житлова площа будинку, $\Delta VC_{\text{заг}}$ – розмір економічного ефекту в межах містечка, $S_{\text{заг}}$ – загальна житлова площа в межах містечка.

Таким чином, розмір економічного ефекту від впровадження адаптивної системи управління енергоощадними процесами в межах котеджного містечка приблизно становитиме 42 тис. грн. на місяць або 504 тис. грн. на рік.

У розділі 2 було здійснено вибір сонячного модуля на основі монокристалічного кремнію, сумарне значення вироблення електроенергії одним сонячним модулем складає 580 кВт·год на рік, що становить 18 % від середнього навантаження одного житлового приміщення в будівлі з адаптивною системою управління енергозберігаючими процесами (1350 кВт·год на рік).

Таким чином, застосування ВДЕ дасть змогу додатково на 18 % підвищити економічний ефект.

Використання навіть одного модуля у розрахунку на житлове приміщення будинку дасть змогу повністю забезпечити його електричною енергією, необхідною для роботи систем світлодіодного освітлення (58 % виробленої

електричної енергії). При цьому решту 42 % генерованої електричної енергії можна витратити на живлення побутових електричних приладів у моменти пікового навантаження на центральні мережі електропостачання (інтервали часу з 23:00 до 07:00).

Таким чином, застосування бездротових комутаторів електричного навантаження дає змогу істотно скоротити енергетичні та фінансові витрати завдяки забезпеченню можливості віддаленого моніторингу, управління, роботи за сценаріями і, як наслідок, зниженню людського чинника в процесі управління енергозберігаючими процесами будівлі (на 40 %). А застосування ВДЕ (зокрема, сонячних енергоустановок) у складі розробленої адаптивної системи управління

енергоощадними процесами будівлі дає змогу суттєво підвищити ефективність роботи всієї системи загалом (додатково на 18 %).

3.7 Висновки до розділу 3

1. Адаптивні системи управління енергоощадними процесами в будівлях сприяють підвищенню енергетичної ефективності та забезпечують можливість віддаленого контролю різних інженерних систем, таких як освітлення, опалення та вентиляція. Важливими елементами цих систем є пристрої комутації, зокрема реле, які повинні забезпечувати надійне і довготривале управління навантаженнями.

2. Порівняння електромеханічних і напівпровідникових реле показало, що для досягнення високого ресурсу роботи комутаторів необхідно використовувати напівпровідникові елементи, які забезпечують відсутність механічного зносу і зменшують іскріння. Синтез цих елементів дозволяє збільшити термін служби системи.

3. Симістори, які часто використовуються для комутації навантажень, мають обмеження через необхідність тепловідведення при великих струмах.

Однак їх поєднання з електромеханічними реле забезпечує збереження компактності пристрою та значне збільшення ресурсу.

4. Сучасні рішення для управління комутацією навантажень включають використання драйверів з детектором нуля, що дозволяє знижувати електричні завади і підвищувати надійність роботи системи. Пропонована схема комутатора дозволяє максимально збільшити ресурс роботи пристрою за рахунок оптимального керування комутацією без утворення електричних дуг.

5. Вибір комутаційних елементів для систем енергозбереження повинен ґрунтуватися на специфічних вимогах до навантаження і тривалості експлуатації, що визначатиме тип реле або симістора, а також конструкцію системи захисту від електричних перешкод.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Правила техніки безпеки при експлуатації обладнання, що проектується

Робота щодо забезпечення безпечної експлуатації ЕУ здійснюється згідно з обов'язковими, для всіх споживачів електроенергії, незалежно від їх відомчої приналежності, правилами технічної експлуатації ЕУ споживачів та правилами техніки безпеки при експлуатації ЕУ споживачів. Обслуговування діючих ЕУ, проведення в них оперативних переключень, організація та виконання ремонтних, монтажних, налагоджувальних робіт і випробувань здійснюються спеціально підготовленим електротехнічним персоналом.

Роботи в діючих ЕУ з врахуванням заходів безпеки поділяються на виконувані: зі зняттям напруги, без зняття напруги на струмоведучих частинах і поблизу них, без зняття напруги на віддалі від струмоведучих частин, котрі знаходяться під напругою. До робіт, виконуваних зі зняттям напруги, відносяться роботи, котрі виконуються в ЕУ, в котрій зі всіх струмоведучих частин знята напруга. До робіт, виконуваних без зняття напруги на струмоведучих частинах та поблизу них, відносяться роботи, котрі проводяться безпосередньо на цих частинах.

Роботою без зняття напруги на віддалі від струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, вважається робота, при котрій виключається випадкове наближення працюючих людей та використовуваного ними ремонтного обладнання і інструменту до струмоведучих частин на віддаль менше встановленої і не вимагається вживання технічних або організаційних заходів (безперервного нагляду) для запобігання такому наближенню. При виконанні робіт зі зняттям напруги та без зняття напруги на струмоведучих частинах та поблизу них повинні виконуватись організаційні та технічні заходи.

До організаційних заходів відносяться:

- 1) оформлення роботи по наряду-допуску, розпорядженню або за переліком робіт, виконуваних в порядку поточної експлуатації;

- 2) допуск до роботи;
- 3) нагляд під час роботи;
- 4) оформлення перерви під час роботи;
- 5) переводи на інше робоче місце.

Наряд-допуск - це завдання на безпечне виконання роботи, оформлене на спеціальному бланку встановленої форми. Він визначає зміст, місце виконання роботи, час її початку та закінчення, умови її безпечного виконання, склад бригади та осіб, відповідальних за безпечне виконання роботи. Відповідальними за безпечне виконання робіт є: особа, що видала наряд; котра дає розпорядження; особа, що допускає до роботи; керівник роботи; виконавець роботи; спостережник; член бригади.

Всі роботи, котрі виконуються в ЕУ без наряду, виконуються:

- 1) за розпорядженням осіб, уповноважених на це, з оформленням в оперативному журналі;
- 2) в порядку поточної експлуатації з подальшим записом в оперативному журналі.

Розпорядження - це завдання на виконання роботи, що визначає її зміст, місце, час, заходи безпеки. Воно має разовий характер, видається на один вид роботи і діє протягом однієї зміни.

За розпорядженням можуть виконуватись:

- а) позапланові роботи, викликані виробничою необхідністю, тривалістю до 1 год.;
- б) роботи без зняття напруги на віддалі від струмоведучих частин, котрі знаходяться під напругою, тривалістю не більше однієї зміни;
- в) роботи зі зняттям напруги з електроустановок напругою до 1000 В тривалістю не більше однієї зміни.

Поточна експлуатація - це проведення оперативним персоналом самостійно на закріпленій за ним ділянці протягом однієї зміни робіт за спеціальним переліком.

До організаційних заходів в цьому випадку відноситься складання, відповідальним за електрогосподарство, переліку робіт стосовно конкретних

умов.

До технічних заходів, що забезпечують безпеку робіт, виконуваних зі зняттям напруги, відносяться:

- 1) необхідні вимкнення та вжиття заходів, котрі запобігають подачі напруги до місця роботи внаслідок помилкового або довільного ввімкнення комутаційної апаратури;
- 2) вивішування на приводах ручного та на ключах дистанційного керування комунікаційної апаратури (автомати, рубильники, вимикачі) забороняючих плакатів;
- 3) перевірка відсутності напруги на струмоведучих частинах;
- 4) накладання заземлення;
- 5) вивішування попереджувальних та припису вальних плакатів, огороження, при необхідності, робочих місць та струмоведучих частин, які залишилися під напругою.

4.2 Заходи безпечних умов праці

Заходи безпечних умов праці на робочому місці інженера-проектувальника систем «розумний» будинок.

В наш час технології безперервно і стрімко розвиваються і професії пов'язані з ІТ стали дуже поширеними. Серед них багато сидячої роботи за комп'ютером. Тому важливо забезпечити безпечні умови праці для робітників, що працюють увесь, або майже увесь час сидячи. Безпечні та комфортні умови праці забезпечують продуктивну роботу та якісне виконання працівниками конкретної задачі. Безпека на робочому місці потрібна для того щоб запобігти травмам та хворобам працівників на робочих місцях, що в свою чергу також дає змогу підприємству працювати якісно. У цьому процесі важливим елементом є ергономіка робочого місця, що являє собою науку про зручність та організацію робочого простору для ефективної та комфортної праці, опираючись на психофізичні особливості організму людини. Вона знижує втомленість працівника, збільшує ефективність бізнес-процесу та зберігає здоров'я людей.

Ергономіка забезпечує зниження навантаження на тіло людини, а нам відомо, що чим більше людина втомлюється, тим гіршою буде її продуктивність, що не вигідно ні працівнику, ні компанії в якій вона працює.

Робоче місце повинно бути організоване відповідно стандартів, методичних вказівок та технічних вимог. Не дивлячись на те, що робота за комп'ютером може здатися цілком безпечною, на відміну від підприємств з більш підвищеною небезпекою, в ній теж є свої нюанси, яких потрібно дотримуватись. Стандарт висоти письмового та комп'ютерного стола 72-75 см, при такій висоті у людини є достатньо міста для ніг. Монітор розміщується на відстані 45- 60 см, клавіатура на 10-15 см і вона повинна дозволяти повністю розмістити лікті на столі. Відстань від підлоги до верхнього краю клавіатури 0,7-0,8 м. Відстань від підлоги до центру екрана 0,8-1,9 м. Якщо недостатньо простору для розміщення усіх необхідних для роботи інструментів, це можна компенсувати розміщенням поряд тумб, стелажу та/або полиць. Усе це повинно бути розташовано по принципу «усе під рукою», що дозволить витратити менше енергії та направити її на виконання робочого плану. Якщо людина проводить за ПК більш ніж 6 годин на добу, є ризик розвитку захворювання опорної системи.

Для того щоб мінімізувати ризики потрібно обладнати робоче місце спеціальним ортопедичним кріслом для роботи за комп'ютером. Воно оснащено спеціальним валиком у нижній частині спинки, який забезпечує підтримку попереку та повторює анатомічну будову тіла. Спинка крісла у робочому положенні фіксується під прямим кутом 90-95°. Кут між спиною та спинкою крісла 10°-30°. Відстань від підлоги до сидіння крісла 0,375- 0,5 м. Кут зору 15°-25°. Інформація про ергономіку описана у ГОСТі 12.2.032-78. Для приміщення з ПК існують певні вимоги до вологості, температури та рівню пилу. Температура повинна бути 21-25 °С, відносна вологість – 40-60%, рівень аероіонів – от 400-600 до 50 000 (оптимальний – 1500-5000). Це є оптимальними умовами для комфортного теплового балансу температури тіла людини. На терморегуляцію організму людини також впливає вологість

повітря. Занадто низька вологість, яка менша 20%, викликає пересихання слизових оболонок, а саме дихальних шляхів та очей, а вища 85% ускладнює терморегуляцію.

Також дуже важливою є оптимальна вологість, якщо вона вища за норму, то слабкішим стає електростатичне та електромагнітне поле, рівень випромінювання яких в приміщеннях з комп'ютером завжди високий. Що стосується пилу в приміщеннях з ПК, він є не менш важливим, тому що організм людини погано реагує на велику запиленість. Пил в офісі відрізняється від природнього, він містить частки шкіри людини, будівельних матеріалів, клею, тканин меблів, а також бактерії та віруси. Такий пил може визвати як алергічну реакцію, так і захворювання дихальних шляхів. Проблемою офісів з комп'ютерами полягає в тому, що через електромагнітне випромінювання пил не осідає на поверхні, він електризується від монітору та висить у повітрі, тому потрапляє на слизові оболонки людини та в легені. Через це вологе прибирання в офісі з ПК повинно проводитися від 3х разів на тиждень.

Також приміщення повинно провітрюватися. Усі заходи безпеки стосовно робочих місць з ПК описані у обов'язкових санітарно-епідеміологічних правилах та нормах – СанПіН 2.2.2/2.4.1340-30 «Гігієнічні вимоги до персональних електронно-обчислювальних машин та організації роботи».

Чи не найбільш важливим є освітлення приміщення та безпосередньо робочого місця, бо більшу частину інформації людина отримує через органи зору, від ступеня втоми очей залежить настрій та самопочуття людини. Насамперед в приміщенні повинно бути штучне та природне освітлення. Для працівника робоче місце за комп'ютером повинно бути не менше 6 м², а об'єм – більше 20 м³. Має значення й обробка приміщення, а саме її коефіцієнт відображення. Нормою для стін є 0,5-0,6, для стелі 0,7-0,8, для підлоги 0,3-0,5. Для цього застосовують дифузно-відбивні комплектуючі. Орієнтуватися тільки на природне освітлення забороняється, але воно є оптимальним, бо більш сприятливе для зору людини. Робоче місце необхідно розмішувати біля вікна. Штучне освітлення використовують, коли природнього недостатньо. Воно

поділяється на загальне, яке використовує систему освітлення стелі, робоче – освітлення на робочому місці здійснюється за допомогою настінних, настільних світильників, та тих, що ставляться на підлогу. Існує документація ДБН В.2.5-28:20018 , в якій прописані норми та нормативи, які враховуються при організації 41 освітлення при роботі з ПК. Для офісів спільного призначення з використанням комп'ютеру норма освітленості згідно з ДБН 300-500 лк. Щоб отримати оптимальне освітлення робочого місця, а саме коефіцієнта освітленості потрібно потужність потоку світла розділити на площу. Яскравість освітлення поверхонь, які знаходяться у полі зору повинна бути до 200 кд/м². Яскравість відблисків на екрані монітора не повинна перевищувати 40 кд/м².

Рівень шуму на робочому місці з комп'ютером не повинен перевищувати норм зазначених у СанПіН 2.2.4/2.1.8.562-96. Він складає не більше ніж 50 дБА. Знизити рівень шуму в приміщенні можна за допомогою звукопоглинаючих матеріалів з максимальним коефіцієнтом поглинання звуку в області частот 63-8000 Гц для обробки стін та стелі робочого приміщення. Джерелами шуму виступають: – звуки, які доносяться з сусідніх приміщень або вулиці; – технічні звуки, виникають у процесі функціонування обладнання, щоб мінімізувати шум від нього потрібно використовувати більш якісні пристрої. – шум джерелом якого є людина. для зменшення шуму в приміщенні існують правила, які встановлює підприємство, порушуючи їх співробітник отримує попередження чи штраф.

На робочому місці працівника розміщуються монітор, клавіатура та системний блок. Коли дисплей включений створюється висока напруга на електронно-променевій трубці в декілька кіловат. Забороняється працювати за комп'ютером, якщо одяг або руки вологі, а також протирати його увімкненому стані. Потрібно завжди слідкувати за цілісністю проводки, відсутності пошкоджень та наявності заземлення приєкранного фільтра. В процесі роботи ПК на корпусах моніторів наведені токи статичної електрики, які при доторканні можуть призвести до розрядів. Вони хоч і не становлять небезпеки для людини, але можуть призвести до поломки комп'ютера.

4.3 Оцінка можливості виникнення пожеж при експлуатації автоматизованих систем «розумний» будинок

В процесі експлуатації автоматизованих систем «розумний» будинок в приміщенні можуть загорітись: вироби з дерева, пластмас, тканини і паперу, ламінат. Горючі рідини, пил та волокна у приміщенні не використовуються і не виділяються, тому приміщення відноситься до зони П-Па і до категорії пожежної небезпеки В. Ймовірними причинами виникнення пожежі можуть бути несправна робота електрообладнання (кабелів, розеток), короткі замикання внаслідок виходу з ладу чи експлуатації несправного електроустаткування (ПЕОМ, периферійних пристроїв), порушення правил протипожежної безпеки тощо.

Система «розумний» будинок - це інтелектуальна система керування, яка забезпечує узгоджену і автоматичну роботу всіх інженерних мереж будинку. Така система забезпечить мешканцям необхідний комфорт, а будинку - додатковий захист від пожежі. При цьому важливо, щоб пристрої пожежної сигналізації, інстальовані в «розумний» будинок, були максимально взаємопов'язані з усіма паралельними системами автоматизації, адже тільки в цьому випадку можна побудувати якісну систему оповіщення при пожежі.

На даному етапі технічного розвитку складових пожежної безпеки впроваджують більш динамічну систему оповіщення про пожежу. Тим більше, що при зміні інтер'єрів пожежна сигналізація, як правило, встановлюється заново, це відбувається в рамках косметичного ремонту.

Серед технічних новинок в області протипожежного захисту пожежний датчик оптичний і тепловий. Такий датчик фіксує ознаки тління (горіння) на самій початковій стадії, коли ще не росте температура і практично немає диму.

Звичайні теплові та димові датчики в цьому випадку не спрацюють. Даний сигнал може бути також використаний для зміни режиму систем, що відповідають за якість повітря.

Експлуатація ліній електромережі практично повністю унеможливорює виникнення електричного джерела загоряння в наслідок короткого замикання та перевантаження проводів, а автоматичні вимикачі миттєво відключають ділянку мережі у разі перевантаження чи замикання.

Забезпечення пожежної безпеки базується на сукупності правових, економічних, технічних та інших заходів, які здійснюються державними та громадськими органами (організаціями), а також окремими особами під час виконання чи забезпечення виконання правил пожежної безпеки, згідно «Правил пожежної безпеки в Україні» (від 30.12.2014 р. №1417).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У відповідності з метою роботи були вирішені задачі дослідження та одержані наступні результати:

1. В роботі проведено аналіз сучасних систем автоматизації енергоспоживання в оселях, зокрема концепції «Розумний будинок», та їх потенціалу для підвищення енергоефективності.

2. Досліджено історію розвитку таких систем, їх принципи роботи, а також переваги й недоліки різних технологій комутації навантажень та бездротових мереж..

3. Запропоновано нову адаптивну систему управління енергоспоживанням, яка включає алгоритми для автоматичного регулювання освітлення, температури, роботи побутових приладів і моніторингу споживання енергії. Особлива увага приділена інтеграції MESH-мережі для забезпечення надійного зв'язку між пристроями та створенню бездротових комутаторів навантаження для ефективного управління енергоспоживанням.

4. Розроблено програмне забезпечення для управління системою, яке забезпечує віддалений доступ до моніторингу та налаштувань енергоспоживання через мобільний додаток.

5. Запропоновано використання сонячних панелей, для підвищення ефективності енергозабезпечення.

Загалом, робота пропонує інноваційний підхід до управління енергоспоживанням у приватних оселях, який дозволяє значно знизити витрати на електроенергію та підвищити комфорт і безпеку проживання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 51 с.
2. Кричко П.І. Інтелектуальна система електропостачання. // С.Ю. Марце-нюк, С.О. Рудянин, П.І. Кричко // Збірник тез доповідей. Матеріали XII міжна-родної науково - технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 6 - 7 грудня 2023р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2023.
3. Бондарев О. Хто в домі господар. Розумні будинки через кілька років набудуть широкої популярності / Олексій Бондарев. // Корреспондент. – 2012. – №30. – С. 42–46.
4. Верховна Рада України. Законодавство України. Про енергетичну ефективність будівель. Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII [Чинний, поточна редакція — Прийняття від 22.06.2017]. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>. – 2.07.2023 р.
5. Верховна Рада України. Законодавство України. Про енергозбереження. Закон України [Документ 74/94-ВР, чинний, поточна редакція – Редакція від 23.07.2017, підстава - 2095-VIII]. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#Text>. – 2.07.2023 р.
6. Дужак І. О. Розумний будинок / І. О. Дужак. // Автоматизація техноло-гічних і бізнес-процесів. Одеська національна академія харчових технологій. – 2013. – №13. – С. 31.
7. Енергоефективність будівель – Вплив автоматизації, моніторингу та управління будівлями (EN 15232:2007, IDT) : ДСТУ BEN 15232:2011. – [Чинний з 2012-04-01]. – К.: Мінрегіон України, 2012. – 115 с. –(Національний стандарт України).

8. Сафронова О.О. Альтернативні методи освітлення в контекст і вирішення питання підвищення енергоефективності інтер'єрного простору ВНЗ / Сафронова О.О. // Н.-техн. зб.: Вісник КНУТД – К.:КНУТД, 2013, – Вип. №6 (74) – С. 166-174 (ф).
9. Національна енергетична компанія «Укренерго». Аналіз законодавства провідних зарубіжних країн та України щодо ефективного використання енергетичних ресурсів – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/1.-Efektyvnevykorystannya-energoresursiv.pdf>. – 2.07.2023 р.
10. Amazon Echo article // Wikipedia URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Amazon_Echo (дата звернення: 20.04.2024).
11. Fritz, R.; Dermody, G. A Conceptual framework for clinicians working with artificial intelligence and health-assistive smart homes. Nurs. Inq. 2019, 25, 2–9.
12. Google Home main page // Google Home URL: https://store.google.com/us/product/google_home?hl=en-US (дата звернення: 20.04.2024).
13. Guangyi Xiao, Member, IEEE, Jingzhi Guo, “User Interoperability With Heterogeneous IoT Devices Through Transformation” // IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS, VOL. 10, NO. 2, MAY 2014 URL: http://www.cis.umac.mo/~jzguo/pages/pub/14_TII.pdf (дата звернення: 25.04.2024).
14. Harper, Richard. Inside the Smart House. – London: Springer. – 2003.
15. Hoan-Suk Choi, Jun-Young Lee, Na-Ri Yang, Woo-Seop Rhee, “User-centric Service Environment for Context Aware Service Mash-up” // 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT) URL: https://www.researchgate.net/profile/Hoan_Suk_Choi/publication/269309102_User-centric_service_environment_for_context_aware_service_mashup/links/5718ed4208ae986b8b7b2bde.pdf (дата звернення: 26.04.2024).
16. Jithish, J.; Sankaran, S. A Hybrid adaptive rule based system for smart home energy prediction. CEUR Workshop Proc. 2018.

17. Kumar, S.; Abdul Qadeer, M. Application of AI in home automation. *Int. J. Eng. Technol.* 2013, 4, 913–917. М МС
18. Leandro Marin, Marcin Piotr Pawlowski, and Antonio Jaram “Optimized ECC Implementation for Secure Communication between Heterogeneous IoT Devices” // *Sensors* 2015 URL: <http://www.mdpi.com/1424-8220/15/9/21478> дата звернення: 28.03.2024).
- rivodaliev, K.V.; Risteska Stojkoska, B.L. A Review of internet of things for smart home: Challenges and solutions. *J. Clean. Prod.* 2016, 127, 454–464.
19. Li, Y.; Su, H.; Liu, L. *Gesture Recognition Based on Accelerometer and Gyroscope and Its Application in Medical and Smart Homes*; Springer International Publishing: New York, NY, USA, 2019; Volume 9983, pp. 61–71.
20. Liouane, Z.; Roose, P.; Lemlouma, T.; Weis, F.; Messaoud, H. A Genetic Neural Network Approach for Unusual Behavior Prediction in Smart Home; Abraham, A., Franke, K., Köppen, M., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany 2018; Volume 2, pp. 942–969.
21. Mann William C. *The state of the science // Smart technology for aging, disability and independence.* – John Wiley and Sons, 7 July 2005. – ISBN 0-471-69694-3.
22. Min, G.; Rho, S.; Chen, W. Advanced issues in artificial intelligence and pattern recognition for intelligent surveillance system in smart home environment. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 2011, 23, 1287–1290.
23. Mouftah, H.T.; Qela, B.; Observe, learn, and adapt (OLA)—An algorithm for energy management in smart homes using wireless sensors and artificial intelligence. *IEEE Trans. Smart Grid* 2014, 3, 1788–1802
24. Norvig, P.; Russell, S. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 2nd ed.; Prentice Hall Press: Upper Saddle River, NJ, USA, 2007.
25. Park, M.H.; Ju, Y.W.; Jang, Y.H.; Park, S.C. Design of tensorflow-based proactive smart home managers. *Lect. Notes Electr. Eng.* 2019, 503, 94–105.
26. Wardana, I.N.K.; Crisnapati, P.N.; Aryanto, I.K.A.A. Rudas: Energy and sensor devices management system in home automation. In *Proceedings of the 2016*

IEEE Region 10 Symposium (TENSYP), Bali, Indonesia, 9–11 May 2016; pp. 184–187.

27. Welcome page Jeedom // Jeedom URL: <https://www.jeedom.com/site/en/index.html> (дата звернення: 20.04.2024).

28. Welcome page OpenHUB // OpenHUB URL: <https://www.openhab.org/> (дата звернення: 20.04.2024).

ДОДАТКИ

Вихідний код програми для управління системою енергозабезпечення

```

/* Includes -----*/
#include "main.h"
#include "stm32f4xx_hal.h"
#include "usb_device.h"
#include "usbd_cdc_if.h"
/* Private variables -----*/
I2C_HandleTypeDef hi2c1;
I2S_HandleTypeDef hi2s3;
SPI_HandleTypeDef hspi1;
/* Private variables -----*/
uint8_t flag = 0;
uint16_t delay_ms = 0;
/* Private function prototypes -----*/
void SystemClock_Config(void);
static void MX_GPIO_Init(void);
static void MX_I2C1_Init(void);
static void MX_I2S3_Init(void);
static void MX_SPI1_Init(void);
int main(void)
{
/* MCU Configuration-----*/
/* Reset of all peripherals, Initializes the Flash interface and the Systick. */
HAL_Init();
/* Configure the system clock */
SystemClock_Config();
/* Initialize all configured peripherals */
MX_GPIO_Init();
MX_I2C1_Init();
MX_I2S3_Init();
MX_SPI1_Init();
MX_USB_DEVICE_Init();
/* Infinite loop */
while (1)
{
if(flag == 1)
{
HAL_Delay(1000);
HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_SET); // вкл. реле
flag = 0;
}
if(flag == 2)
{

```

```

HAL_Delay(1000);
HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_7, GPIO_PIN_RESET); // викл. семі-
стор
HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_15, GPIO_PIN_RESET); // викл. син.
світлодіод
flag = 0;
}
*/
if(flag == 1)
{
HAL_Delay(delay_ms);
HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_SET); // вкл. реле 1
flag = 0;
}
if(flag == 2)
{
HAL_Delay(delay_ms);
HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_13, GPIO_PIN_RESET); // викл. оранж.
світлодіод і семістор 1
flag = 0;
}
if(flag == 3)
{
HAL_Delay(delay_ms);
HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_7, GPIO_PIN_SET); // вкл. реле 2
flag = 0;
}
if(flag == 4)
{
HAL_Delay(delay_ms);
HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_RESET); // викл. кр.
світлодіод і семістор 2 flag = 0;
}
}
}
}
void SystemClock_Config(void)
{
RCC_OscInitTypeDef RCC_OscInitStruct;
RCC_ClkInitTypeDef RCC_ClkInitStruct;
RCC_PeriphCLKInitTypeDef PeriphClkInitStruct;
/**Configure the main internal regulator output voltage */
__HAL_RCC_PWR_CLK_ENABLE();
__HAL_PWR_VOLTAGESCALING_CONFIG(PWR_REGULATOR_VOLTAGE_
SCALE1);

```

```

/**Initializes the CPU, AHB and APB busses clocks */
RCC_OscInitStruct.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_HSE;
RCC_OscInitStruct.HSEState = RCC_HSE_ON;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_ON;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLSource = RCC_PLLSOURCE_HSE;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLM = 8;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLN = 336;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLP = RCC_PLLP_DIV2;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLQ = 7;
if (HAL_RCC_OscConfig(&RCC_OscInitStruct) != HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
/**Initializes the CPU, AHB and APB busses clocks */
RCC_ClkInitStruct.ClockType =
RCC_CLOCKTYPE_HCLK|RCC_CLOCKTYPE_SYSCLK
|RCC_CLOCKTYPE_PCLK1|RCC_CLOCKTYPE_PCLK2;
RCC_ClkInitStruct.SYSCLKSource = RCC_SYSCLKSOURCE_PLLCLK;
RCC_ClkInitStruct.AHBCLKDivider = RCC_SYSCLK_DIV1;
RCC_ClkInitStruct.APB1CLKDivider = RCC_HCLK_DIV4;
RCC_ClkInitStruct.APB2CLKDivider = RCC_HCLK_DIV2;
if (HAL_RCC_ClockConfig(&RCC_ClkInitStruct, FLASH_LATENCY_5) !=
HAL_OK) {
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
PeriphClkInitStruct.PeriphClockSelection = RCC_PERIPHCLK_I2S;
PeriphClkInitStruct.PLLI2S.PLLI2SN = 192;
PeriphClkInitStruct.PLLI2S.PLLI2SR = 2;
if (HAL_RCCEx_PeriphCLKConfig(&PeriphClkInitStruct) != HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
/**Configure the SysTick interrupt time */
HAL_SYSTICK_Config(HAL_RCC_GetHCLKFreq()/1000);
/**Configure the SysTick */
HAL_SYSTICK_CLKSourceConfig(SYSTICK_CLKSOURCE_HCLK);
/* SysTick_IRQn interrupt configuration */
HAL_NVIC_SetPriority(SysTick_IRQn, 0, 0);
}
/* I2C1 init function */
static void MX_I2C1_Init(void)
{
    hi2c1.Instance = I2C1;
    hi2c1.Init.ClockSpeed = 100000;

```

```

hi2c1.Init.DutyCycle = I2C_DUTYCYCLE_2;
hi2c1.Init.OwnAddress1 = 0;
hi2c1.Init.AddressingMode = I2C_ADDRESSINGMODE_7BIT;
hi2c1.Init.DualAddressMode = I2C_DUALADDRESS_DISABLE;
hi2c1.Init.OwnAddress2 = 0;
hi2c1.Init.GeneralCallMode = I2C_GENERALCALL_DISABLE;
hi2c1.Init.NoStretchMode = I2C_NOSTRETCH_DISABLE;
if (HAL_I2C_Init(&hi2c1) != HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
}
/* I2S3 init function */
static void MX_I2S3_Init(void)
{
    hi2s3.Instance = SPI3;
    hi2s3.Init.Mode = I2S_MODE_MASTER_TX;
    hi2s3.Init.Standard = I2S_STANDARD_PHILIPS;
    hi2s3.Init.DataFormat = I2S_DATAFORMAT_16B;
    hi2s3.Init.MCLKOutput = I2S_MCLKOUTPUT_ENABLE;
    hi2s3.Init.AudioFreq = I2S_AUDIOFREQ_96K;
    hi2s3.Init.CPOL = I2S_CPOL_LOW;
    hi2s3.Init.ClockSource = I2S_CLOCK_PLL;
    hi2s3.Init.FullDuplexMode = I2S_FULLDUPLEXMODE_DISABLE;
    if (HAL_I2S_Init(&hi2s3) != HAL_OK)
    {
        _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
    }
}
/* SPI1 init function */
static void MX_SPI1_Init(void)
{
    /* SPI1 parameter configuration*/
    hspi1.Instance = SPI1;
    hspi1.Init.Mode = SPI_MODE_MASTER;
    hspi1.Init.Direction = SPI_DIRECTION_2LINES;
    hspi1.Init.DataSize = SPI_DATASIZE_8BIT;
    hspi1.Init.CLKPolarity = SPI_POLARITY_LOW;
    hspi1.Init.CLKPhase = SPI_PHASE_1EDGE;
    hspi1.Init.NSS = SPI_NSS_SOFT;
    hspi1.Init.BaudRatePrescaler = SPI_BAUDRATEPRESCALER_2;
    hspi1.Init.FirstBit = SPI_FIRSTBIT_MSB;
    hspi1.Init.TIMode = SPI_TIMODE_DISABLE;
    hspi1.Init.CRCCalculation = SPI_CRCCALCULATION_DISABLE;

```

```

hspi1.Init.CRCPolynomial = 10;
if (HAL_SPI_Init(&hspi1) != HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
}

static void MX_GPIO_Init(void)
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
    /* GPIO Ports Clock Enable */
    __HAL_RCC_GPIOE_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOC_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOH_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOA_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOB_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOD_CLK_ENABLE();
    /*Configure GPIO pin Output Level */
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, CS_I2C_SPI_Pin|GPIO_PIN_7|GPIO_PIN_8,
    GPIO_PIN_RESET);
    /*Configure GPIO pin Output Level */
    HAL_GPIO_WritePin(OTG_FS_PowerSwitchOn_GPIO_Port,
    OTG_FS_PowerSwitchOn_Pin, GPIO_PIN_SET);
    /*Configure GPIO pin Output Level */
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, LD4_Pin|LD3_Pin|LD5_Pin|LD6_Pin
    |Audio_RST_Pin, GPIO_PIN_RESET);
    /*Configure GPIO pins : CS_I2C_SPI_Pin PE7 PE8 */
    GPIO_InitStructure.Pin = CS_I2C_SPI_Pin|GPIO_PIN_7|GPIO_PIN_8;
    GPIO_InitStructure.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
    GPIO_InitStructure.Pull = GPIO_NOPULL;
    GPIO_InitStructure.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
    HAL_GPIO_Init(GPIOE, &GPIO_InitStructure);
    /*Configure GPIO pin : OTG_FS_PowerSwitchOn_Pin */
    GPIO_InitStructure.Pin = OTG_FS_PowerSwitchOn_Pin;
    GPIO_InitStructure.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
    GPIO_InitStructure.Pull = GPIO_NOPULL;
    GPIO_InitStructure.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
    HAL_GPIO_Init(OTG_FS_PowerSwitchOn_GPIO_Port, &GPIO_InitStructure);
    /*Configure GPIO pin : PDM_OUT_Pin */
    GPIO_InitStructure.Pin = PDM_OUT_Pin;
    GPIO_InitStructure.Mode = GPIO_MODE_AF_PP;
    GPIO_InitStructure.Pull = GPIO_NOPULL;
    GPIO_InitStructure.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
    GPIO_InitStructure.Alternate = GPIO_AF5_SPI2;
    HAL_GPIO_Init(PDM_OUT_GPIO_Port, &GPIO_InitStructure);

```

```

/*Configure GPIO pin : B1_Pin */
GPIO_InitStruct.Pin = B1_Pin;
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_EVT_RISING;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
HAL_GPIO_Init(B1_GPIO_Port, &GPIO_InitStruct);
/*Configure GPIO pin : BOOT1_Pin */
GPIO_InitStruct.Pin = BOOT1_Pin;
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_INPUT;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
HAL_GPIO_Init(BOOT1_GPIO_Port, &GPIO_InitStruct);
/*Configure GPIO pin : CLK_IN_Pin */
GPIO_InitStruct.Pin = CLK_IN_Pin;
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_AF_PP;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
GPIO_InitStruct.Alternate = GPIO_AF5_SPI2;
HAL_GPIO_Init(CLK_IN_GPIO_Port, &GPIO_InitStruct);
/*Configure GPIO pins : LD4_Pin LD3_Pin LD5_Pin LD6_Pin
Audio_RST_Pin */
GPIO_InitStruct.Pin = LD4_Pin|LD3_Pin|LD5_Pin|LD6_Pin
|Audio_RST_Pin;
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
HAL_GPIO_Init(GPIOD, &GPIO_InitStruct);
/*Configure GPIO pin : OTG_FS_OverCurrent_Pin */
GPIO_InitStruct.Pin = OTG_FS_OverCurrent_Pin;
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_INPUT;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
HAL_GPIO_Init(OTG_FS_OverCurrent_GPIO_Port, &GPIO_InitStruct);
/*Configure GPIO pin : MEMS_INT2_Pin */
GPIO_InitStruct.Pin = MEMS_INT2_Pin;
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_EVT_RISING;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
HAL_GPIO_Init(MEMS_INT2_GPIO_Port, &GPIO_InitStruct);
} void _Error_Handler(char *file, int line)
{ while(1) }
#ifdef USE_FULL_ASSERT
void assert_failed(uint8_t* file, uint32_t line)
{ }
#endif

```