

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіоелектроніки**

«На правах рукопису»
УДК 621.31

До захисту допущено:

В.о. зав. кафедри


_____ Андрій МОВЧАНЮК

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»

за спеціальністю 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

на тему: «Методи реалізації системи моніторингу електричної мережі в приміщенні»

Виконав:

студент 2 курсу, групи РЕ-21мп
Сидоров Дмитро Вікторович

Керівник:

Навроцький Денис

сандрович

Рецензент:

Товкач Ігор

ГОВИЧ



Олек-



Оле-

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент



Київ – 2024 року
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіоелектроніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. зав. кафедри

_____ Андрій МОВЧАНЮК

« » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студента
Сидорова Дмитра Вікторовича

1. Тема дисертації «Методи реалізації системи моніторингу електричної мережі в приміщенні»
науковий керівник дисертації Навроцький Денис Олександрович
затверджені наказом по університету від «09» листопада 2023 р. № 5206-с
2. Термін подання студентом дисертації «11» січня 2024 року
3. Об'єкт дослідження: система моніторингу електричної мережі в приміщенні
4. Вихідні дані: система моніторингу електричної мережі, вимірювання основних параметрів електромережі, з подальшим аналізом.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Проаналізувати основні параметри електромереж, дослідити методи вимірювання цих параметрів, виявлення та обґрунтування способів реалізації системи моніторингу з вибором методів вимірювання, розробка та тестування системи моніторингу електромережі в приміщенні.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Презентація.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

1) Міжнародна наукова інтернет-конференція на тему: «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення» (випуск 83) з публікацією на тему: «МЕТОД РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ В ПРИМІЩЕННІ». (7-8 грудня 2023 р.)

9. Дата видачі завдання «01» вересня 2023 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання теми магістерської дисертації	05.09.2023р	Виконано
2	Пошук відповідних матеріалів за темою дисертації	06.09.2023р – 10.09.2023р	Виконано
3	Розробка плану дисертації та аналіз знайденої інформації	10.09.2023р – 30.09.2023р	Виконано
4	Огляд та аналіз сфери електромереж та систем моніторингу	01.10.2023р – 25.10.2023р	Виконано
5	Обґрунтування критеріїв та вибір методу моніторингу і вибір способу реалізації	25.10.2023р – 10.11.2023р	Виконано
6	Практична реалізація системи моніторингу	11.11.2023р – 03.12.2023р	Виконано
7	Аналіз результатів та структури системи моніторингу аналіз висновків роботи	03.12.2023р – 03.01.2024р	Виконано
8	Оформлення магістерської дисертації	03.01.2024р – 09.01.2024р	Виконано

Студент

СИДОРОВ ДМИТРО ВІКТОРОВИЧ

Науковий керівник

НАВРОЦЬКИЙ ДЕНИС ОЛЕКСАНДРОВИЧ

РЕФЕРАТ

Робота виконана на 83 сторінках, містить 50 ілюстрацій, 3 таблиці, 40 джерел посилань, 1 додаток.

Актуальність теми зумовлена необхідністю моніторингу та контролю за станом електричних мереж в приміщеннях з метою забезпечення надійності та безпеки енергопостачання та енергоспоживання для приміщень.

Метою роботи є огляд та вибір методів моніторингу та проектування системи моніторингу електричної мережі в приміщенні, яка буде, стабільною і забезпечуватиме своєчасний наглядний аналіз стану електромережі та контролю електроспоживання в приміщенні.

Об'єкт дослідження: система моніторингу електричної мережі в приміщенні.

Предмет дослідження: складові системи моніторингу та контролю електромережі, включаючи опис процесу налаштування та розміщення системи моніторингу електроспоживання в приміщенні.

Методи дослідження: здійснено аналіз електромереж, вимірювання параметрів електромереж, досліджено можливі шляхи реалізації системи моніторингу, на основі чого була запропонована апаратна та програмна частина системи моніторингу електромереж та приведено структурні схеми цієї системи.

Практичне значення одержаних результатів: сконструйовано пристрій для моніторингу електричної мережі в приміщенні, який є компонентом системи моніторингу. Розглянуто методи реалізації системи моніторингу та вимірювання параметрів електромереж. Сформована інструкція з використання системи, в якій зазначено, як впровадити обране рішення.

Ключові слова: система IoT, моніторинг, мікроконтролер, Home Assistant, датчик, електромережа.

ANNOTATION

The work is executed on 83 pages, contains 50 illustrations, 3 tables, 40 sources of references, 1 appendice.

The relevance of the topic is due to the need to monitor and control the condition of electrical networks in premises in order to ensure the reliability and safety of energy supply and energy consumption for premises.

The purpose of the work is to review and select methods of monitoring and design a system for monitoring the electrical network in the room, which will be stable and provide timely visual analysis of the state of the power grid and control of power consumption in the room.

Object of research: the system of monitoring the electrical network in the room.

Subject of research: components of the system of monitoring and control of the power grid, including a description of the process of setting up and placing the system of monitoring of electricity consumption in the room.

Research methods: analysis of power grids, measurement of power grid parameters, possible ways of implementing the monitoring system, based on which the hardware and software of the power grid monitoring system were proposed and the structural diagrams of this system were presented.

The practical significance of the results obtained: a device for monitoring the electrical network in the room, which is a component of the monitoring system, has been designed. The methods of implementing the monitoring system and measuring the parameters of power grids are considered. The instructions for using the system have been formed, which indicate how to implement the selected solution.

Keywords: IoT system, monitoring, microcontroller, Home Assistant, sensor, power grid.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до магістерської дисертації

на тему: Методи реалізації системи моніторингу електричної мережі в
приміщенні

Київ — 2024 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	9
Вступ.....	10
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ	12
1.1 Основні визначення та параметри систем електромереж.....	12
1.2 Методи вимірювання параметрів та моніторингу електромережі.	19
1.2.1 Методи моніторингу.....	23
1.2.2 Методи збирання даних.....	24
1.2.3 Методи передачі даних.....	30
1.2.4 Методи аналізу даних.....	31
1.3 Сучасні технології Інтернету речей в електромережах	32
2 СПОСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ	36
2.1 Ефективність мікроконтролерів для моніторингу електромереж .	36
2.2 Система моніторингу електромережі з використанням датчиків ..	39
2.3 Протоколи обміну даними між вузлами в системі моніторингу ...	48
2.4 Опис методів реалізацій системи моніторингу.....	52
2.4.1 Real-Time система моніторингу	53
2.4.2 Real-Time система з БД та платформою візуалізації.....	56
2.4.3 Real-Time система з використанням ОС Home assistant	61
2.5 Висновки	66
3 Апаратно програмна реалізація системи моніторингу з використанням ОС HOME ASSISTANT	68
3.1 Апаратна частина системи моніторингу.....	68
3.2 Програмна частина системи моніторингу	69

3.3 Аналіз параметрів із обраної системи моніторингу	81
3.4 Основні переваги обраної системи моніторингу	86
3.5 Перспективи розвитку обраної системи моніторингу	88
Висновки	89
Перелік джерел посилань	90
Додаток А.....	94

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЦП — Аналого-цифровий перетворювач

HTTP — Hypertext Transfer Protocol

HTTPS — Hypertext Transfer Protocol Secure

IoT — Internet of Things

IEEE — Institute of Electrical and Electronics Engineers

MQTT — Message Queuing Telemetry Transport

NALM — Non-intrusive appliance load monitoring

UART — Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

ВСТУП

В наш час технологій наше життя нестримно перетворюється, а система "Smart home" стає важливим аспектом у цьому цифровому перетворенні. Вона робить наші будинки не просто зручнішими, а справжніми помічниками в повсякденних справах. Частиною цієї системи є Internet of Things (IoT) - концепція, яка дозволяє різним пристроям обмінюватися інформацією через Інтернет. IoT представляє собою концепцію, в якій об'єкти навколишнього середовища, включаючи електроніку, прилади, датчики та інші речі, здатні спілкуватися між собою через мережу Інтернет. Це дозволяє збирати дані, аналізувати їх та вживати необхідні заходи на основі цієї інформації. Ця технологія має широкий спектр застосування, включаючи промисловість, транспорт, охорону здоров'я та житло. Одним із важливих аспектів IoT у житловому секторі є моніторинг електричної мережі.

Електрична мережа є одним з найважливіших елементів будь-якого приміщення. Вона забезпечує живлення електроприладів та обладнання, які необхідні для комфортного проживання та роботи. Однак, електрична мережа також є потенційною небезпекою. Несправності в електричній мережі можуть призвести до пожеж, травм та інших негативних наслідків.

Для запобігання несправностям в електричній мережі необхідна система моніторингу. Система моніторингу дозволяє відстежувати стан електричної мережі контролювати споживання та виявляти несправності. Це дозволяє запобігти серйозним проблемам, які можуть виникнути внаслідок непередбачуваних подій в електричній мережі.

Сьогодні існує кілька способів моніторингу електричної мережі. Одним із найпоширеніших способів є використання датчиків, які вимірюють різні параметри мережі, такі як напруга, струм і частота. Інші способи моніторингу включають використання камер відеоспостереження, які можуть бути використані для виявлення проблем з мережею, та використання штучного інтелекту для аналізу даних мережі.

Метою даної МД є розгляд пристроїв моніторингу електромереж, можливих реалізацій систем моніторингу в залежності від обраних критеріїв.

У цій роботі буде розглянуто методи реалізації системи моніторингу електричної мережі в приміщенні. Система буде спроектована як глобальне вдосконалення ідеї "Розумної розетки", яку я вивчав у рамках своєї бакалаврської роботи під назвою «*Розумна розетка з керуванням через Ethernet*». Тепер, засновуючи свою роботу на цьому пристрої, я планую створити систему, яка надає можливість моніторити параметри електричної мережі. Ця система буде не просто окремим пристроєм, а скоріше об'єднає всі підключені пристрої в єдину інтелектуальну систему моніторингу.

Система моніторингу електричної мережі може включати в себе такі функції та можливості:

Енергомоніторинг: система дозволить відстежувати витрати електроенергії, індивідуально або для всієї мережі. Це дозволяє користувачам ефективніше контролювати свій енергоспоживання, ідентифікувати енергозатрати та шукати способи зменшення витрат електроенергії, що призводить до підвищення енергозбереження.

Безпека об'єкта: система може слідкувати за станом електричної мережі, виявляти можливі перегріву, короткі замикання або інші потенційно небезпечні ситуації. В разі виявлення проблем, вона може сповістити користувача або навіть вимкнути живлення, забезпечуючи безпеку об'єкта.

Підвищення енергозбереження: система може допомогти зменшити споживання електроенергії шляхом автоматичного вимикання приладів у режимі очікування або визначенням оптимальних часів для їх роботи. Це сприяє підвищенню ефективності використання електроенергії та зменшенню витрат.

У результаті, розробка та впровадження системи моніторингу електричної мережі дозволить досягнути більшої безпеки, ефективності та зручності у керуванні електроживленням та допоможе користувачам здійснювати більш досконалий моніторинг та оптимізацію споживаної електроенергії.

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ

У цьому розділі магістерської роботи увага буде приділена вивченню того, як моніторинг може взаємодіяти з Інтернетом речей, технологією, яка надає можливість збирати, передавати та обробляти дані з різноманітних підключених пристроїв. Далі зосередимося на розгляді ключових параметрів електромережі, зосереджуючись на їхній суті та важливості їх моніторингу. Проаналізуємо як саме з'являються основні параметри електромережі, що лежить в їх основі. Поруч із цим, буде досліджено методи та принципи вимірювання цих параметрів, обговорення методів моніторингу параметрів електромереж та основні принципи функціонування IoT-систем у контексті електричного моніторингу. Також розглянемо методи передачі даних, що використовуються у контексті моніторингу електромереж.

На підставі проведеного огляду існуючих рішень у галузі моніторингу електричних мереж ми зможемо підкреслити ключові критерії, висновки та визначити прогалини, які вимагають подальших досліджень.

1.1 Основні визначення та параметри систем електромереж

Серед основних понять і параметрів систем електромереж можна виділити такі:

Електромережа (*Електросистема*): це система електропостачання, яка включає в себе електростанції, електропередавальні лінії, розподільчі мережі, трансформаторні підстанції та інші об'єкти, спрямовані на виробництво, передачу та розподіл електроенергії.

Напруга (*Voltage*): електричний потенціал, що визначає рівень енергії на одиничний заряд в електричному полі. Вимірюється в вольтах (В).

Струм (*Current*): рух заряду в електричному колі. Вимірюється в амперах (А).

Коефіцієнт потужності (*Power Factor*): співвідношення активної потужності до загальної потужності в електричному колі. Вимірюється від 0 до 1 або у відсотках.

Частота (*Frequency*): кількість повних коливань струму або напруги за одну секунду. Вимірюється в герцах (Гц).

Активна потужність (*Active Power*): енергія, яка витрачається або генерується у системі. Вимірюється в ватах (Вт).

Реактивна потужність (*Reactive Power*): потужність, яка періодично переміщує енергію між джерелами і споживачами, але не використовується для виконання роботи. Вимірюється в варах (ВАр).

Однофазна та трифазна системи: система, в якій напруга або струм забезпечуються однією фазою, вважається однофазною. Якщо вони забезпечуються трьома фазами, то це трифазна система.

Тут треба більш детально поглибитися в активну та реактивну потужності, і розглянути в якості однофазної системи. Однофазні системи, припускаючи, що напруга і струм є синусоїдальними хвилями, можна подати так:

$$\begin{cases} v(k) = V \sin(\omega k T_s) \\ i(k) = I \sin(\omega k T_s - \varphi) \end{cases}$$

Миттєва потужність $p(k)$ є добутком миттєвої напруги та миттєвого струму $p(k)$:

$$\begin{aligned} p(k) &= v(k) \cdot i(k) = V \cdot I \cdot \sin(\omega k T_s) \cdot \sin(\omega k T_s - \varphi) = \\ &= \frac{V \cdot I}{2} \cdot \cos(\varphi) - \frac{V \cdot I}{2} \cdot \cos(2\omega k T_s - \varphi) \end{aligned} \quad (1.1)$$

В

и

$$\frac{p}{a} = \frac{V \cdot I}{2} \cdot \cos(\varphi) - \frac{V \cdot I}{2} \cdot \cos(2\omega k T_s - \varphi) \quad (1.1), \text{ отримуємо:}$$

$$3 \quad p(k) = \frac{V \cdot I}{2} \cdot \cos(\varphi) (1 - \cos(2\omega k T_s - \varphi)) - \frac{V \cdot I}{2} \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(2\omega k T_s) \quad (1.2)$$

Вираз $(p(k) = \frac{V \cdot I}{2} \cdot \cos(\varphi) (1 - \cos(2\omega k T_s - \varphi)) - \frac{V \cdot I}{2} \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(2\omega k T_s))$ (1.2) також містить два компоненти. На основі $(p(k) = \frac{V \cdot I}{2} \cdot \cos(\varphi) (1 - \cos(2\omega k T_s - \varphi)) - \frac{V \cdot I}{2} \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(2\omega k T_s))$ (1.1) включає два компоненти: пер-

поняття активної, реактивної та повної потужності виводяться таким чином:

Активна потужність P є середнім значенням перших компонент виразу $p(k)$ при $p(k) = \frac{V \cdot I}{2} \cdot \cos(\varphi) (1 - \cos(2\omega k T_s - \varphi)) - \frac{V \cdot I}{2} \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(2\omega k T_s)$ (1.2).

$$P = \frac{V \cdot I}{2} \cdot \cos(\varphi) \quad (1.3)$$

Реактивна потужність Q є піковим значенням другого компонента в $p(k) = \frac{V \cdot I}{2} \cdot \cos(\varphi) (1 - \cos(2\omega k T_s - \varphi)) - \frac{V \cdot I}{2} \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(2\omega k T_s)$ (1.2):

$$Q = \frac{V \cdot I}{2} \cdot \sin(\varphi) \quad (1.4)$$

Повна потужність визначається як:

$$S = \frac{V \cdot I}{2} \quad (1.5)$$

Активна потужність - це фактична потужність, що розсіюється електричним ланцюгом. Реактивна потужність реактивною потужністю Q називають "частину потужності, яка не здійснює роботу" або "коливальну потужність". Вона являє собою складову потужності, яка має нульове середнє значення. Повна потужність являє собою максимально досяжну активну потужність при одиничному коефіцієнті потужності [1].

Електрична мережа в приміщенні зазвичай складається з таких елементів:

- Джерело живлення - це пристрій, який виробляє електричну енергію. У приміщенні джерелом живлення зазвичай є розетка, підключена до електричної мережі будівлі.
- Провідники - це елементи, які проводять електричний струм. Провідники в приміщенні зазвичай являють собою мідні або алюмінієві кабелі.
- Розподільні пристрої - це елементи, які розподіляють електричну енергію між споживачами. У приміщенні розподільними пристроями зазвичай є розетки та вимикачі.

Електрична енергія в приміщенні передається по дротах. Провідники в приміщенні зазвичай являють собою мідні або алюмінієві кабелі. Провідники мають певну довжину і опір.

Електрична енергія в провіднику передається у вигляді електромагнітних хвиль. Електромагнітні хвилі поширюються в електричній мережі у вигляді синусоїдальних коливань електричного і магнітного полів. Ці коливання поширюються вздовж провідника зі швидкістю світла у вакуумі, яка становить близько 300 тисяч кілометрів на секунду. Швидкість поширення електромагнітних хвиль у провіднику залежить від властивостей провідника. Що вища провідність провідника, то швидше поширюються електромагнітні хвилі.

В момент передачі електроенергії з'являються електричні та магнітні поля в електромагнітній хвилі, які пов'язані між собою співвідношенням Максвелла. Це співвідношення визначає, що електричне поле створює магнітне поле, а магнітне поле - електричне поле. Завдяки цьому співвідношенню електромагнітні хвилі можуть поширюватися в просторі.

Узагальнюючи, електромагнітні хвилі, що поширюються вздовж провідників, створюють коливання електричного і магнітного поля, які по черзі впливають одна на одну. Це створює електричний струм, який передається електричними проводами з певною частотою.

У розетках електричної мережі струм і напруга надаються в результаті цього процесу. Коли провідник під'єднується до розетки, електромагнітні хвилі, створені в генераторах і передані мережею, викликають рух електронів у провіднику. Цей рух електронів являє собою електричний струм, а різниця потенціалів між точками створює напругу.

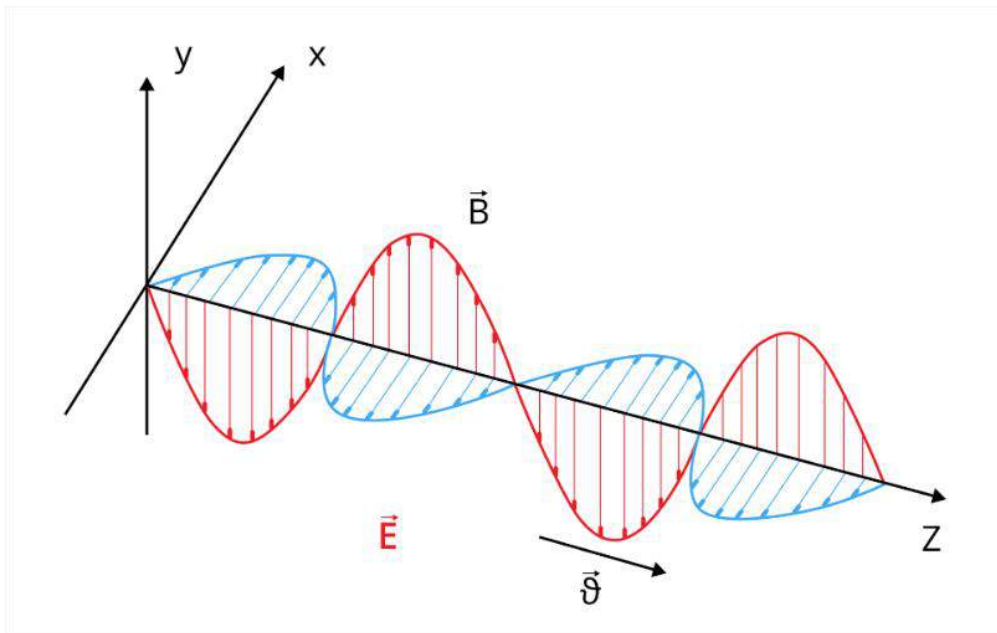


Рисунок 1.1 — Фізична модель електромагнітної хвилі [2]

У контексті передачі електричної енергії через електричну мережу, важливо розглянути, як електромагнітні хвилі, створені в провідниках, взаємодіють з електричними і магнітними полями. Ця взаємодія може бути проаналізована з використанням рівнянь Максвелла.

Швидкість поширення збурення електромагнітного поля кінцева і дорівнює швидкості світла у вакуумі. Цю гіпотезу було висунуто ще у ХХ столітті Джеймсом Клерком Максвеллом. Ним же була написана система рівнянь, за допомогою якої розв'язують задачі електростатики та електродинаміки. В найпростішому випадку (у вакуумі) цю систему можна записати у вигляді системи рівнянь Максвелла, що включає в себе:

- закон Гауса для електричного поля:

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \quad (1.6)$$

Потік електричного поля E через будь-яку замкнуту поверхню залежить від сумарного заряду всередині цієї поверхні. Це рівняння являє собою закон (теорему) Гауса свідчить, що електричні заряди створюють навколо себе електричне поле.

- закон Гауса для магнітного поля:

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad (1.7)$$

Потік магнітного поля через замкнуту поверхню дорівнює нулю. Якщо електричні заряди (позитивні й негативні) цілком можуть існувати окремо, породжуючи навколо себе електричне поле, то магнітних зарядів у природі просто не існує.

- теорема про циркуляцію електричного поля:

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1.8)$$

Ротор електричного поля (інтеграл через замкнуту поверхню) дорівнює швидкості зміни магнітного потоку, що пронизує цю поверхню. Це рівняння описує виникнення електричного поля (E) внаслідок зміни магнітного поля (B) з часом (магнітне поле, що змінюється, є джерелом вихрового електричного поля). В електромережі це пояснює виникнення електромагнітних хвиль при зміні току.

- теорема про циркуляцію магнітного поля

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{J} + \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \quad (1.9)$$

Електричне поле, що змінюється, є джерелом вихрового магнітного поля. Це рівняння зв'язує вихор магнітного поля (B) з током (J) і зміною електричного поля з часом. У контексті електромережі, це визначає вплив зміни електричного поля на магнітне поле і, відповідно, на струм в системі [3].

Ці рівняння допомагають розкрити природу електромагнітних хвиль, які використовуються для передачі електроенергії в електромережах, та вказати на важливі взаємозв'язки між електричними та магнітними полями.

Можемо зробити висновки, що електрична мережа являє собою систему, призначену для передавання електроенергії від джерела до споживача.

Для адекватного моніторингу електричної мережі необхідне розуміння основних параметрів, які характеризують її роботу:

Напруга (U): напруга являє собою силу електричного поля, яка рухає заряди (електрони) в провіднику. Напругу також можна інтерпретувати за допомогою струму та опору - різниці потенційної енергії між двома точками, що вимірюється у вольтах. Напруга необхідна для передачі заряду від однієї клеми до іншої. Електричну напругу можна сформулювати наступним рівнянням:

$$U = I \cdot R \quad (1.10)$$

Напруга є одним із найважливіших параметрів, що визначають якість електроенергії. Вона має бути стабільною і постійною, щоб забезпечити ефективну роботу електричних апаратів. Нестабільна напруга може призвести до пошкодження електроніки та електрообладнання. У системі електропостачання низької напруги номінальною напругою між фазою і нейтраллю є 220 В, а між фазою і фазою - 380 В. Нормальним позитивним або негативним відхиленням напруги є зміна в межах 10% від номінальної напруги протягом 100% тижневого інтервалу [4].

Струм (I): струм являє собою потік зарядів (електронів) у провіднику. Електричний струм генерується завдяки руху електричних зарядів, а одиниця, яка виражає контроль, називається Кулон. Струм - це швидкість зміни заряду за одиницю часу, що вимірюється в одиницях ампер (А). Електричний струм можна сформулювати наступним рівнянням:

$$I = \frac{U}{R} \text{ або } I = \frac{q}{t} \quad (1.11)$$

Потужність (P): електрична потужність - це кількість електричної енергії, яка протікає щосекунди, або джоуль за секунду, що вимірюється у ватах. Іншими словами, електрична потужність - це кількість роботи, яку виконує джерело напруги для виробництва електричного струму за одиницю часу. Динамічне рівняння потужності має такий вигляд:

$$P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi), \quad (1.12)$$

де $\cos(\varphi)$ - коефіцієнт потужності.

Енергія (E): енергія вимірює загальну кількість переданої електроенергії і залежить від потужності та часу. Енергія - це здатність виконувати роботу, тобто запасена робота. Енергія, що використовується в електрообладнанні - це швидкість використання енергії (потужність, помножена на час використання обладнання). Якщо потужність вимірюється у ват-годинах Wh, то ват-година - це енергія, що виділяється при використанні 1 вата протягом 1 години, за формулою:

$$W = P \cdot t \quad (1.13)$$

Частота (f): частота вказує на кількість циклів змінного струму за секунду. Нормальна частота електромережі становить 50 Гц або 60 Гц залежно від регіону.

Коефіцієнт потужності $\cos(\varphi)$: цей коефіцієнт відображає співвідношення між активною потужністю (реальною потужністю, що використовується для виконання роботи) і повною потужністю. Він важливий для оптимізації ефективності передачі енергії.

Для моніторингу електричної мережі необхідно стежити за параметрами напруги, струму, потужності, коефіцієнта потужності та частоти. Зміни в параметрах електричної мережі можуть призвести до різних наслідків. Наприклад, перевантаження може спричинити перегрівання обладнання, а зміна коефіцієнта потужності впливати на ефективність передавання енергії.

1.2 Методи вимірювання параметрів та моніторингу електромережі

Вимірювання напруги:

1. Вольтметри:

Вимірюють напругу в мережі і можуть бути як цифровими, так і аналоговими. Вольтметри підключаються паралельно до вимірюваної ділянки ланцюга. Під час під'єднання до ланцюга, вольтметр створює мінімальний опір для струму, щоб уникнути впливу на напругу. Вимірювана напруга відображається на цифровому або аналоговому дисплеї.

2. Трансформатори напруги:

Трансформатор напруги з'єднується з високовольтним кінцем електричної мережі. Він перетворює велику напругу на низьку, яку потім можна виміряти за допомогою вольтметра. Тобто перетворює високу напругу на нижчу для безпечного вимірювання.

3. Датчики напруги:

Датчики напруги використовують трансформатори напруги для заміру та контролю напруги в електричних мережах. Ці датчики надійно фіксують зміни в напрузі та перетворюють їх на сигнали, які можна використовувати для моніторингу, автоматизації та безпеки електричних систем.

Переваги використання датчиків напруги включають високу чутливість, широкий діапазон робочих напруги, і важливо, можливість безпечного вимірювання великої напруги за рахунок використання трансформаторів напруги. Ці датчики важливі для забезпечення стабільності та ефективності роботи електричних мереж, а також для реагування на можливі аномалії вчасно та надійно.

Вимірювання струму:

1. Амперметри шунтові:

Містять резистор із низьким опором (шунт), даючи змогу вимірювати струм за напругою на шунті. Шунтовий амперметр включається послідовно до вимірюваної ділянки ланцюга. Струм проходить через шунт, створюючи падіння напруги, яке вимірюється вольтметром. Струм розраховується за законом Ома.

2. Трансформатори струму:

Перетворюють струм у порівнянну напругу для вимірювання вольтметром. Трансформатор струму має два обмотки: первинну і вторинну. Первинна обмотка підключається до електричної мережі, а вторинна обмотка підключається до приладу вимірювання. Струм, який тече по первинній обмотці, створює магнітний потік в сердечнику трансформатора. Цей магнітний потік, у свою чергу, створює струм у вторинній обмотці.

Співвідношення між струмом у первинній і вторинній обмотках визначається коефіцієнтом трансформації. Коефіцієнт трансформації вказується на бирці трансформатора.

Струм у вторинній обмотці пропорційний струму, що протікає в первинній обмотці:

$$I = I_2 * k_T \quad (1.14)$$

де I – виміряний струм, А;

I_2 – струм у вторинній обмотці, А;

k_T – коефіцієнт трансформації .

3. Датчики на ефекті Холла (Рисунок 1.2):

Використовують ефект Холла для перетворення струму в напругу. Для вимірювання струму використовуються датчики Холла – це електронний компонент, робота якого заснована на технічному використанні так званого ефекту Холла.



Рисунок 1.2 — Датчик струму на ефекті Холла [5]

Магнітні датчики - це, як правило, напівпровідникові пристрої, які дуже популярні завдяки своїй великій точності та можливості працювати без контакту. Вони не потребують значного технічного обслуговування, мають компактний дизайн і відзначаються високою точністю. Точність вимірювання залежить від основного принципу: у датчиках Холла магнітне поле первинного струму групується в кільцевому сердечнику, що оточує провідник. Кільцевий сердечник має повітряний зазор, у якому розміщений датчик. Датчик Холла видає напругу, прямо пропорційну струму, що протікає. Таким чином первинний струм може бути визначений з точністю до $\pm 0,5\%$.



Рисунок 1.3 — Переносний датчик струму [5]

Датчики на ефекті Холла використовуються для вимірювання магнітних полів або інших параметрів (наприклад, великих струмів від 0,5 до 10 кА), які перетворюються на магнітні поля.

Окрім напруги та струму існують інші параметри, які також мають вплив на електромережу:

- Вимірювання потужності та коефіцієнта потужності;
- Ватметри: поєднують вимірювання напруги і струму, даючи змогу обчислити потужність;
- Фазометри: визначають коефіцієнт потужності, вимірюючи зсув фази між напругою і струмом;
- Вимірювання гармонік - виконується за допомогою аналізаторів гармонік.

Всі описані методи широко застосовуються в галузі електричних вимірювань для моніторингу та управління електроенергією в різних системах, включно з промисловими підприємствами, енергосистемами і домашніми електромережами.

Детальний аналіз різноманітних методів реалізації систем моніторингу електромережі відкриває широкий спектр можливостей для збору та аналізу даних. Основні методи, які слід розглядати - це *методи моніторингу*, які використовуються для систематичного спостереження, вимірювання та оцінювання різних процесів, явищ або об'єктів у реальному часі або періодично. Він складається з процесів та для кожного процесу моніторингу є свої *методи збору даних*, які забезпечують точний і достовірний збір інформації про споживану електроенергію, *методи передачі*, які використовують протоколи передачі, та *методи аналізу*, що включають в себе використання різноманітних алгоритмів та інструментів для обробки зібраних даних, та.

1.2.1 Методи моніторингу

Система моніторингу - це рутинний процес збору даних з різних джерел для досягнення цілей діяльності. Моніторинг використовується як інформаційний зворотний зв'язок для збалансування простих планів і цілей. Дані збираються в режимі реального часу. Етапи системи моніторингу поділяються на три процеси, а саме:

1. Процес збору даних моніторингу

На цьому етапі використовуються різні датчики, включаючи смарт-лічильники та інтелектуальні вимірювальні пристрої. Завдання полягає в систематичному та неперервному зборі інформації про споживану електроенергію, параметри напруги, струму та інші важливі дані.

2. Процес аналізу даних моніторингу

На цьому етапі проводиться статистичний та алгоритмічний аналіз отриманих даних для виявлення аномалій, прогнозування можливих проблем, та визначення шляхів оптимізації споживання електроенергії.

3. Процес відображення даних

Результати аналізу представляються візуально за допомогою спеціалізованих інтерфейсів, таких як веб-панелі або мобільні додатки. Це дозволяє ефективно сприймати та реагувати на поточний стан електричної мережі

Система моніторингу - це систематичний процес збору даних з різних джерел для досягнення визначених цілей. Основна мета – надавати інформаційний зворотний зв'язок для збалансування стратегічних планів та цілей [12].

Системи моніторингу електроенергії в приміщеннях призначені для збору та аналізу даних про споживання електроенергії в приміщеннях. Ці системи можуть використовуватися для різних цілей, таких як:

- Оптимізація споживання електроенергії
- Контроль за обладнанням
- Безпека
- Комфорт

Отже, для кожного процесу розглянемо свої методи, які використовуються для цього.

1.2.2 Методи збирання даних

Вимірювання напруги та струму на ключових точках електричної мережі дозволяє відстежувати споживану потужність, знаходити перенавантаження та ідентифікувати аномалії в мережі.

Для вимірювання напруги можемо використовувати трансформатори напруги або вольтметри. А для струму використовуємо трансформатори струму, що забезпечують безпечний та ефективний збір даних про струм.

Датчики:

Для реалізації методу вимірювання напруги та струму на ключових точках електричної мережі використання готових датчиків стає зручним та ефективним рішенням. Ці датчики, які вже розроблені та пройшли тестування, дозволяють нам отримувати точні та надійні дані про енергоспоживання без додаткових зусиль.

Датчик струму ACS712 (Рисунок 1.4) рішення для вимірювання змінного та постійного струму. Модуль побудований на базі чипа ALLEGRO ACS712T ELC-30A, що працює на ефекті Холла.



Рисунок 1.4 — Датчик струму ACS712 [6]

Характеристики:

Діапазон вимірювань: $-30\dots+30$ А

Точність: 1.5%

Вихідна напруга при $I = 0$ А: 2.5В

Робоча напруга: 5 В

ZMPT101B Module (Рисунок 1.5) ідеально підходить для вимірювання напруги змінного струму. Він має високу точність, хорошу стабільність при вимірюванні напруги та потужності і може вимірювати до 250 В змінного струму. Він простий у використанні і поставляється з багатооборотним потенціометром для регулювання виходу АЦП (Аналого-цифровий перетворювач).



Рисунок 1.5 — ZMPT101B Module [7]

Технічні характеристики:

Вихідний сигнал: аналоговий 0 – 5В.

Номинальний вхідний струм: 2 мА.

Розмір: 49.5 (мм) x 19.4 (мм)

Ці датчики можуть бути оснащені вбудованими системами збору та передачі даних. Використання таких готових рішень спрощує процес встановлення та гарантує надійність збору даних. Такий підхід до використання готових датчиків створює зручні умови для інтеграції та впровадження методу вимірювання напруги та струму в електричних мережах.

Смарт-лічильники:

Це сучасні електролічильники, обладнані функціональністю збору та передачі даних. Вони можуть вимірювати енергоспоживання основних параметрів електромережі та надсилати інформацію про споживану електроенергію в реальному часі до центральної системи. Смарт-лічильники – це інноваційні електролічильники, які відрізняються тим, що мають додаткові функції збору та передачі даних. Вони можуть вимірювати не лише напругу та струм, але й інші ключові параметри електромережі, що робить їх більш універсальними та корисними для систем моніторингу. Приведемо приклад:

Smart-MAIC D101 (Рисунок 1.6) від українського виробника smart-MAIC, який допоможе у простій та візуальній формі проконтролювати споживання електрики, води, газу, тепла, проаналізувати температуру, вологість, тиск, освітленість, радіацію, рівні CO₂, TDS, рН та будь-які інші ресурси, стани та події.



Рисунок 1.6 — Енергомонітор smart-MAIC D101 [8]

Вимірювані параметри:

- Напруга, V
- Струм, A
- активна потужність, Вт
- зворотна активна потужність, rW
- активна енергія , Wh
- зворотна активна енергія, rWh
- Реактивна потужність VAR і енергія VARh (розраховано)
- коефіцієнт потужності

Інтелектуальні вимірювальні пристрої.

Використання сучасних пристроїв типу смарт-ТТ або смарт-реле захисту з функціями збирання та передавання даних. Вони можуть вимірювати основні параметри електричної мережі. Їхні функціональності включають у себе інтегровані системи збору даних, які надсилають інформацію до центральної системи моніторингу. Приведемо приклад:

Wi-Fi реле лічильник електроенергії TuYa Wifi Smart Switch (Рисунок 1.7) виробляється компанією TuYa Smart.



Рисунок 1.7 — TuYa Wifi Smart Switch [9]

TuYa Wifi Smart Switch дозволяє вимірювати наступні параметри:

- Споживання електроенергії: у кіловат-годинах (кВт·год)
- Напруга мережі: у вольтах (В)
- Струм мережі: в амперах (А)

Моніторинг у реальному часі за допомогою SCADA/EMS систем.

Система SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), система збору та аналізу даних нагляду та керування та EMS (Energy Management System) енергетична система управління надає можливість диспетчерам цілодобово контролювати мережу з їхнього робочого місця. SCADA/EMS системи вміють моніторити та визначати різноманітні параметри електромережі, такі як напруга, струм, потужність, фазовий зсув, індекси якості енергії та інші важливі показники. Дані, зібрані цими системами, подаються на екрани диспетчерських робочих місць у режимі реального часу, дозволяючи оперативно реагувати на будь-які зміни або аварійні ситуації. Зазначимо, що система моніторингу у реальному часі за допомогою SCADA/EMS систем є особливо ефективною та

значущою для великих електричних мереж. У великих мережах, де розгалуженість та комплексність структури є великими факторами, SCADA/EMS надає високий рівень автоматизації та надійного контролю за усіма аспектами системи.

Використання системи "розумного будинку".

В домашніх умовах можна використовувати системи "розумного будинку", які дозволяють контролювати та моніторити споживання електроенергії та інших ресурсів. За допомогою цих систем можна відслідковувати та аналізувати енергетичні параметри, такі як споживання електроенергії, стан освітлення, робота побутових приладів тощо. Користувачі можуть отримувати доступ до цієї інформації у режимі реального часу через мобільні додатки або інші інтерфейси.

Крім того, системи "розумного будинку" часто об'єднують функції автоматизації, дозволяючи оптимізувати роботу систем опалення, кондиціонування повітря та інших пристроїв для максимальної енергоефективності.

Такий підхід дозволяє користувачам ефективно керувати та моніторити своє енергоспоживання в реальному часі, сприяючи не тільки зменшенню витрат, але й створенню комфортного та екологічно чистого середовища в домі.

Прикладами можуть бути Google Home або Amazon Echo: ці голосові асистенти, дозволяють користувачам керувати різними пристроями вдома, включаючи освітлення, термостат, музичні системи та інші, за допомогою голосових команд. Home Assistant — це приклад системи для розумного будинку, яка надає розширені можливості управління та моніторингу різних пристроїв. Home Assistant є відкритим програмним забезпеченням для автоматизації різних функцій вдома та інтеграції, створення, віддаленого керування, моніторинга різних смарт-пристроїв.

1.2.3 Методи передачі даних

Інтернет-зв'язок: Використання мережі Інтернет для передачі даних з смарт-лічильників та інших пристроїв. Цей метод надає можливість віддаленого моніторингу та керуванню електромережею. Прикладом можуть бути протоколи HTTP(Hypertext Transfer Protocol)/HTTPS(Hypertext Transfer Protocol Secure), які забезпечують передачу даних через веб-інтерфейс. Наприклад, веб-сервер для моніторингу стану електромережі.

Безпроводні технології: Використання бездротових протоколів, таких як Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave або LoRa, для передачі даних між пристроями в межах будинку чи офісу. Це забезпечує гнучкість та низьку вартість встановлення. Zigbee та Z-Wave: Протоколи для низько енергетичних, бездротових мереж, ідеальні для взаємодії із сенсорами та інтелектуальними вимірювальними пристроями. Bluetooth та Wi-Fi: Використання для бездротового підключення пристроїв у складі системи моніторингу.

Протоколи обміну даними: Використання стандартних протоколів, таких як MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) або CoAP (Constrained Application Protocol), для передачі даних між різними компонентами системи. MQTT: забезпечує асинхронний обмін повідомленнями між пристроями. CoAP: оптимізований протокол для обміну даними у ресурсозберігаючих мережах. Це сприяє стандартизації та сумісності між різними пристроями.

Головний критерій вибору методу передачі залежить від ефективності передачі даних:

$$\text{Ефективність} = \frac{\text{Кількість переданих біт}}{\text{Загальна кількість біт}} \cdot 100\% \quad (1.15)$$

Це дозволяє визначити, наскільки ефективно передаються дані в мережі, враховуючи можливі помилки та загальну пропускну здатність.

Такий детальний підхід до методів передачі даних може допомогти вибрати оптимальний спосіб збору інформації в залежності від конкретних вимог та обмежень системи моніторингу.

1.2.4 Методи аналізу даних

Після збору даних необхідно провести їхній аналіз для отримання цінної інформації та прийняття інформованих рішень. Основні методи аналізу даних включають:

1. Статистичний аналіз:

Використання методів статистики для виявлення закономірностей, визначення середніх значень, розподілів та інших ключових параметрів. Це дозволяє здійснювати базову оцінку електромережі.

2. Використання набору методів NALM:

Неінтрузивний моніторинг навантаження електроприладів (NALM) був запропонований як набір методів, які аналізують агреговані дані про енергоспоживання з метою виявлення та відстеження детальних моделей використання електроприладів у домогосподарстві. Методи NALM називають неінтрузивними, оскільки вони потребують лише збору агрегованих даних про енергоспоживання, на відміну від інтрузивних методів, які потребують інтрузивним методам, яким потрібно збирати дані про енергоспоживання окремих приладів шляхом підключення до них інтрузивних датчиків. Автор в [11] вивчає методи розпізнавання образів, за допомогою яких можна точно ідентифікувати моделі енергоспоживання побутових приладів на основі щоденного сукупного енергоспоживання, що знімається з лічильника домогосподарства кожні 15 хвилин (Рисунок 1.8).

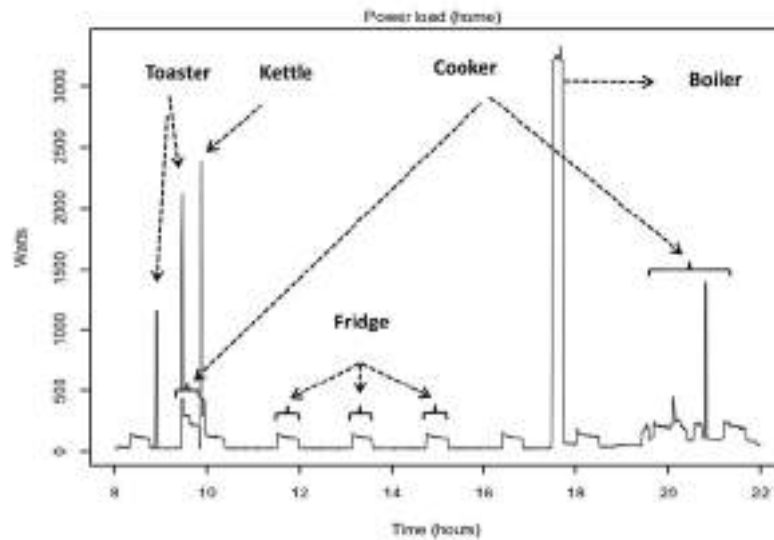


Рисунок 1.8 — Виявлення електроприладів з загального споживання [10]

Методи NALM можуть бути використані для різних цілей, таких як прогнозування навантаження, виявлення збоїв та управління навантаженням на стороні попиту з метою зменшення попиту на енергію. Ці потенційні переваги спонукають до подальших досліджень методів NALM для виокремлення сигнатур окремих приладів із сукупного енергоспоживання [10].

3. Машинне навчання:

Застосування алгоритмів машинного навчання для прогнозування змін у споживанні електроенергії, виявлення аномалій та оптимізації роботи системи. Цей метод дозволяє автоматизувати процеси аналізу та забезпечити більш точні результати.

4. Візуалізація даних:

Створення графіків, діаграм та інших візуальних засобів для легкого сприйняття результатів аналізу. Це допомагає оперативно реагувати на зміни та забезпечує зручний інтерфейс для користувачів системи моніторингу. Ці методи дозволяють створити ефективну систему моніторингу, яка забезпечить надійний збір та аналіз даних для досягнення цілей.

1.3 Сучасні технології Інтернету речей в електромережах

Інтернет речей - це технологія, яка дозволяє підключати до мережі Інтернет різні пристрої, що мають сенсори та здатні передавати та отримувати дані.

Обмін даними між пристроями IoT здійснюється за допомогою певних технологій. Мікроконтролери IoT мають інтегровані модулі бездротового зв'язку, такі як Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee або LoRa, які дозволяють їм підключатися до мережі Інтернет і обмінюватися даними з іншими пристроями. Це дозволяє створювати мережі розумних пристроїв, де кожен пристрій може збирати та передавати інформацію, а також отримувати команди від центрального контролера чи інших пристроїв.

Найпоширенішими є технології передачі даних, які визначають, як саме цей обмін реалізований. Ці технології дозволяють пристроям обмінюватися інформацією, аналогічно тому, як люди обмінюються інформацією між собою. Для цього існують певні правила обміну, які визначені в протоколах обміну даними. Ці протоколи допомагають забезпечити ефективність та надійність обміну даними між IoT-пристроями.

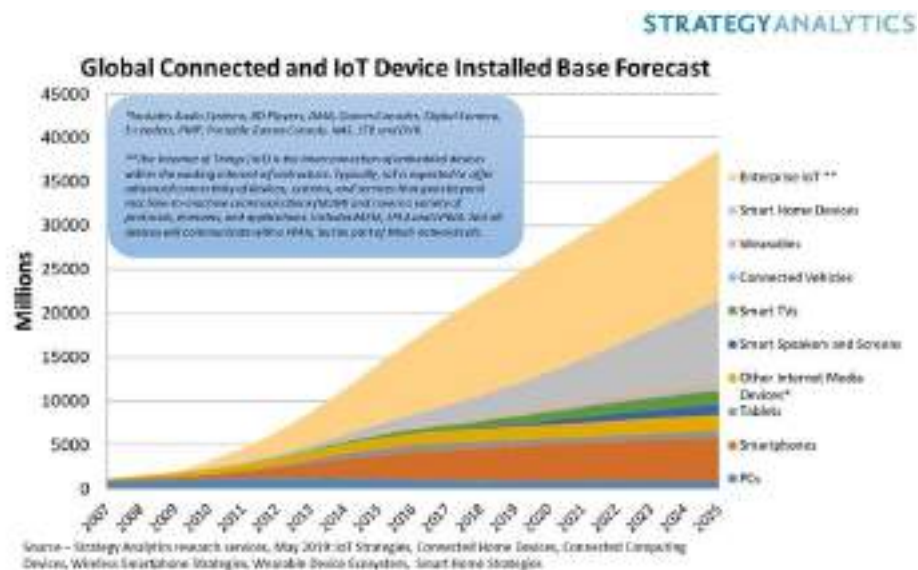


Рисунок 1.10 — Прогноз щодо кількості IoT-пристроїв у світі [15]

Тобто IoT технологія має величезний потенціал для автоматизації та оптимізації процесів у різних сферах, таких як виробництво, охорона здоров'я, транспорт, сільське господарство та багато інших. Мікроконтролери відіграють важливу роль у розвитку IoT, оскільки вони є незамінними компонентами

пристроїв, що використовуються для збирання та передачі даних у IoT. Ці маленькі пристрої мають високу обчислювальну потужність і низьке споживання енергії, що робить їх ідеальним вибором для створення пристроїв IoT.

2 СПОСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ

Після ретельного огляду основних визначень, параметрів, методів вимірювання у галузі моніторингу електроенергії, настав час перейти до аналізу та вибору способу реалізації системи моніторингу. Розглянемо використання мікроконтролерів, як можна використовувати їх в системах моніторингу, а також розглянемо саме з яких блоків складається система моніторингу, та обраний метод вимірювання параметрів електромережі. Будуть розглянуто детальніше які протоколи обміну можуть використовуватися в системі моніторингу. Зокрема, ми проаналізуємо протоколи, такі як WiFi, Zigbee та Bluetooth, які широко використовуються для забезпечення безпроводного обміну інформацією між підключеними пристроями. Також буде порівняно різні способи реалізації системи моніторингу електроенергії.

2.1 Ефективність мікроконтролерів для моніторингу електромереж

Проведемо докладний розгляд вищезгаданих методів вимірювання, з першого розділу, одного з основних параметрів, а саме напруги в електромережі, зосереджуючись на аналізі ефективності, точності для створення системи моніторингу. Для вимірювання напруги в електричних системах ефективно використовувати мікроконтролери, оскільки вони надають значний рівень контролю та можливостей обробки інформації. Мікроконтролери забезпечують можливість підключення до датчиків або використання вбудованих аналого-цифрових перетворювачів АЦП, які дозволяють точно вимірювати аналогові сигнали, такі як напруга. Детальний огляд включатиме розгляд аспектів використання дільників напруги та аналого-цифрових перетворювачів .

Додатково буде здійснено розрахунки, спрямовані на визначення оптимальних параметрів та методів для забезпечення високої точності та ефективності вимірювань.

Одним із найпоширеніших способів вимірювання напруги є використання дільника напруги. Дільник напруги складається з двох резисторів, під'єднаних послідовно до джерела напруги. Мікроконтролер під'єднується до точки між резисторами і заміряє напругу на цій точці. Знаючи значення резисторів, можна легко обчислити напругу джерела.

Ще одним способом вимірювання напруги є використання аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера. АЦП перетворює аналоговий сигнал (напругу) в цифровий формат, який можна легко обробити за допомогою програмного забезпечення. Під час вимірювання АЦП замикається на джерело напруги, і його значення вимірюється і перетворюється в цифровий формат. Мікроконтролер підключається до зовнішніх пристроїв, таких як сенсори, датчики, тощо. Входи та виходи мікроконтролера дають змогу обмінюватися даними із зовнішніми пристроями та отримувати інформацію [16].

При розгляді вибору методу вимірювання напруги мережі мікроконтролером, необхідно враховувати ряд факторів, щоб забезпечити оптимальні показники точності, надійності та ефективності вимірювань. Дані фактори включають:

Точність вимірювань напруги визначається залежно від методу вимірювань.

$$\text{Точність} = \frac{\text{Виміряна напруга} - \text{Ідентифікована напруга}}{\text{Ідентифікована напруга}} \cdot 100\% \quad (2.1)$$

Точність вимірювання напруги мережі мікроконтролером з використанням аналого-цифрового перетворювача визначається кількома чинниками, включно з:

- Роздільна здатність АЦП. Роздільна здатність АЦП визначає мінімальну зміну напруги, яка може бути виміряна. Що вища роздільна здатність АЦП, то точнішим буде вимірювання.
- Шум АЦП. Шум АЦП є випадковою помилкою, яка вносить похибку в вимірювання. Що нижчий шум АЦП, то точнішим буде вимірювання [17].

Приведемо приклад розрахунку точності АЦП. Для реалізації системи моніторингу електромережі в приміщенні необхідно забезпечити високу точність вимірювань напруги мережі. У цьому випадку оптимальним методом вимірювання є використання АЦП з високою роздільною здатністю та низьким шумом.

Точність вимірювання напруги мережі за допомогою АЦП визначається за формулою $\Delta U = U \cdot \frac{\Delta U}{U_{ref}}$ (2.2):

$$\Delta U = U \cdot \frac{\Delta U}{U_{ref}} \quad (2.2)$$

де ΔU — похибка вимірювання напруги ;

U — вимірювана напруга;

$\frac{\Delta U}{U_{ref}}$ — відносна похибка АЦП .

Наприклад, розрахуємо відносну похибку для забезпечення точності вимірювань напруги мережі в діапазоні від 220 до 240 В з похибкою не більше ніж 0,5 В.

Тобто, $\Delta U = 0.5 \text{ В}$, $U = 220 \text{ В}$.

$$0.5 = 220 \cdot \frac{\Delta U}{U_{ref}} \quad (2.3)$$

$$\frac{\Delta U}{U_{ref}} = \frac{0.5}{220} = 0.0022727 \quad (2.4)$$

У відсотках це значення становить:

$$\frac{\Delta U}{U_{ref}} \cdot 100\% = 0.22727\% \quad (2.5)$$

З

ф Якщо відносна похибка АЦП не перевищує 0,227272727272727 %, то абсолютна похибка вимірювання ΔU не перевищуватиме 0,5 В, якщо шум АЦП не перевищуватиме 10 мВ. Це пов'язано з формулою $(0.5 = 220 \cdot 0.0022727 + \text{ШУМ} = 0,499994 + 0.01$ (2.6)

$$у \quad 0.5 = 220 \cdot 0.0022727 + \text{ШУМ} = 0,499994 + 0.01 \quad (2.6)$$

л

и

Для забезпечення точності вимірювань напруги мережі в діапазоні від 220 до 240 В з похибкою не більше ніж 0,5 В необхідна роздільна здатність АЦП не менше 10 біт.

Це пов'язано з тим, що роздільна здатність АЦП вимірюється в частках опорної напруги. У нашому випадку опорна напруга АЦП має бути не менше 220В. Отже, роздільна здатність АЦП має бути не менше $220/2^{10} = 0,00244140625$ В.

2.2 Система моніторингу електромережі з використанням датчиків

Важливо враховувати, що саме система моніторингу електроенергії охоплює значно більше, ніж просто пристрої, датчики та інші, що вимірюють енергоспоживання. Вона охоплює різноманітні апаратні та програмні складові, що спільно забезпечують збір, аналіз та відображення даних про енергоспоживання. У неї можуть входити мікроконтролери, сенсори, бази даних, сервери, інтерфейси користувача, та інші компоненти, що допомагають відстежувати та аналізувати енергоспоживання.

Тобто підсумовуючі, система моніторингу електроенергії - це більш складне поняття, ніж пристрій для моніторингу електроенергії, яка складається з декількох компонентів, включаючи [18]:

- Пристрій для вимірювання електроенергії. Цей компонент відповідає за збір даних про споживання електроенергії.
- Система зберігання даних. Цей компонент відповідає за зберігання даних, зібраних пристроєм для вимірювання електроенергії.
- Система візуалізації. Цей компонент відповідає за відображення даних, зібраних системою моніторингу.
- Система керування. Цей компонент відповідає за управління споживанням електроенергії.

З метою кращого розуміння цієї системи, намалюємо структурно-логічну схему (Рисунок 2.1), яка надає уявлення про загальний вигляд та функціонал системи моніторингу електроенергії.

Моніторинг електричної енергії - це процес моніторингу та джерело інформації про електричну енергію, яку можна переглядати безпосередньо або віддалено з результатами виведення в режимі реального часу. Моніторинг електричної енергії являє собою рутинний процес збору або вимірювання вихідних даних, що визначає рівень досягнення споживання електроенергії в режимі реального часу. Завдяки використанню інформаційних технологій реального часу умови роботи апаратної системи та програм мають чіткі часові рамки.



Рисунок 2.1 — Структурно-логічна схема системи моніторингу

На підставі аналізу методів вимірювання параметрів електромережі в першому розділі, ми можемо зробити висновок, що найбільш підходящим методом вимірювання параметрів електромережі для системи моніторингу в приміщенні є використання готових датчиків.

Однак, використання окремого датчика для кожного параметра електромережі є складним і трудомістким процесом. Крім того, таке рішення може бути неекономічним, оскільки кожен датчик має свою вартість. Тому для вимірювання потрібних нам параметрів можна використовувати готовий модуль,

який має в собі всі необхідні елементи для вимірювання, включно з мікроконтролером, АЦП, конденсаторами тощо, який має назву PZEM-004T (Рисунок 2.2).

PZEM-004 базується на мікросхемі V9881D від китайської компанії SDIC Microelectronics, яка призначена для вимірювання електроенергії. Окрім того, на платі є мікросхема EEPROM Atmel 24C02C на 256 байт з мільйоном циклів запису і дві оптопари PC817, що забезпечують гальванічну розв'язку послідовного інтерфейсу UART(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), по якому передаються показники від модуля.



Рисунок 2.2 — Модуль PZEM-004T [19]

Напругу в мережі вимірюється контактним методом, струм - безконтактно через струмовий трансформатор (Рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 — Струмний трансформатор

Функціональна блок-схема мікросхеми V9881D представлена на Рисунок 2.4.

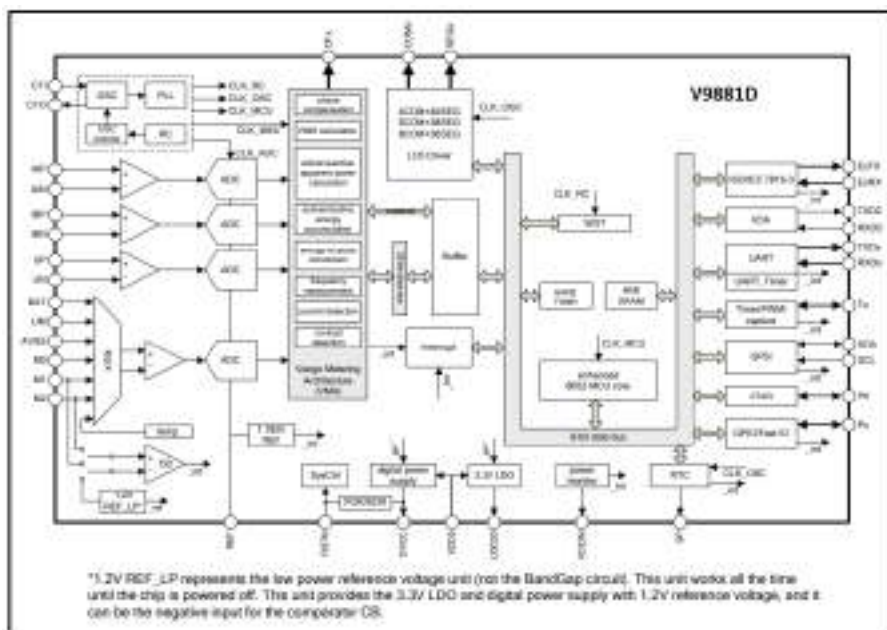


Рисунок 2.4 — Функціональна блок-схема мікросхеми V9881D [20]

Було представлено «мозок» модуля PZEM-004T. Тепер розглянемо детальніше як саме працює модуль, його функціональні, структурні, електричні схеми.

По-перше розглянемо електричну схему (Рисунок 2.5), на якій бачимо мікросхему V9881D, стабілізатор напруги, дві оптопари, та виведений інтерфейс UART.

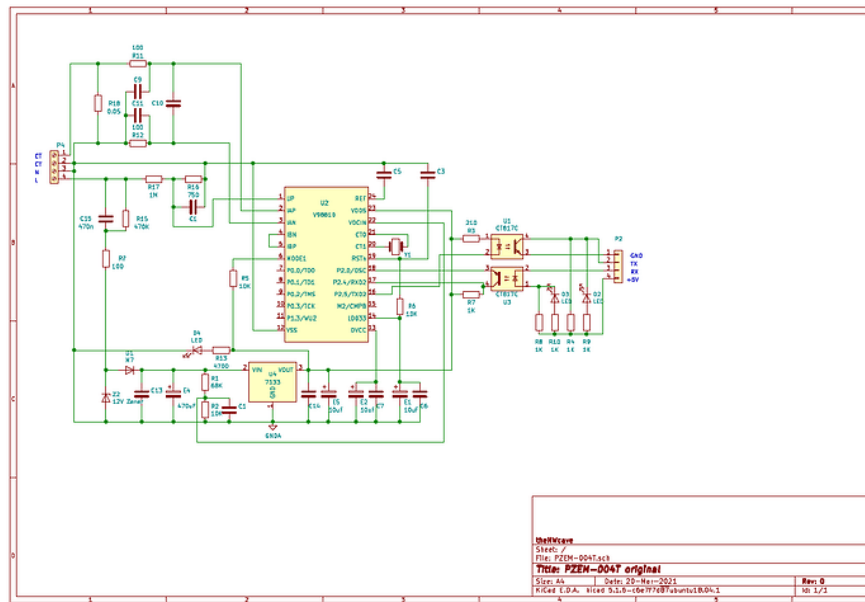


Рисунок 2.5 —Електрична схема PZEM-004T [21]

Далі на функціональній блок діаграмі (Рисунок 2.6), можна бачити відображення відносин між різними функціональними блоками у пристрої.

Ми бачимо що взаємодія з іншими електронними пристроями відбувається через інтерфейс UART – це стандарт, який використовується для передачі або приймання даних.

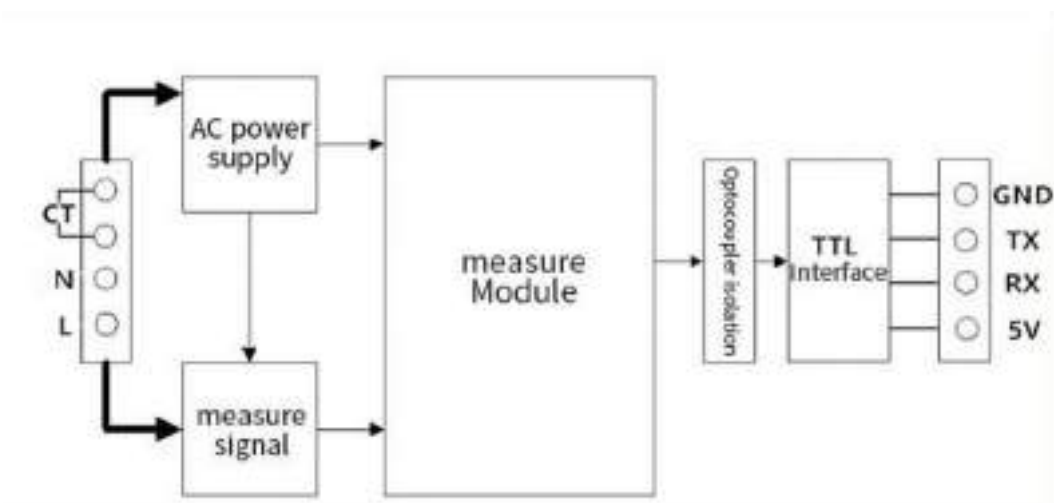


Рисунок 2.6 – Функціональна блок-схема PZEM-004T [22]

Цей модуль підключається безпосередньо до електромережі (Рисунок 2.7), два контакти до паралельно до мережі, на 2 інші підключається трансформатор струму. Схема підключення детально показана на Рисунок 2.7

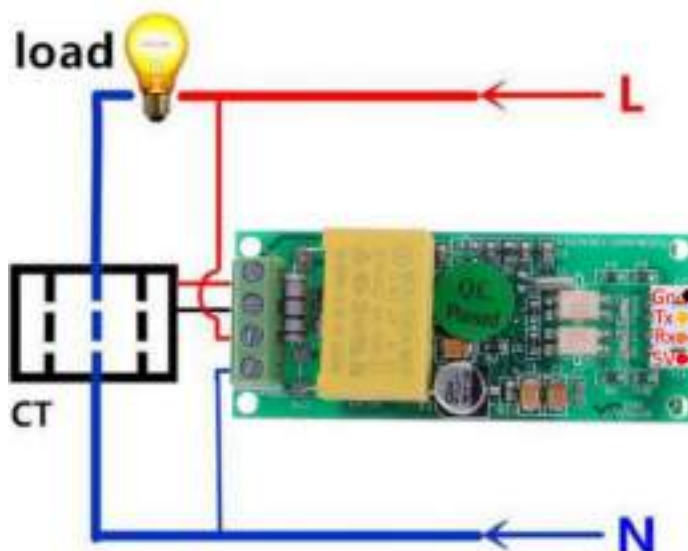


Рисунок 2.7 — Схема підключення [22]

PZEM-004T є недорогим і компактним модулем, який дає змогу вимірювати такі параметри електромережі з певною точністю, та відповідними відхиленнями які представлені в Таблиця 2.1:

Таблиця 2.1 — Параметри вимірювання

Величина	Діапазон вимірювання	Роздільна здатність	Точність вимірювання	Початкове значення вимірювання
Напруга	80 – 260 В	0,1 В	0,5 %	–
Струм	0 – 100 А	0,001 А	0,5 %	0,02А
Потужність	0 – 23 кВт	0,1 Вт	0,5 %	0.4 Вт
Спожита енергія	0 – 9999.99 кВт-год	1 Вт	0,5 %	–
Коефіцієнт потужності	0.00 – 1.00	0.01	1 %	–

Частота	45 Гц - 65 Гц	0.1 Гц	0,5 %	—
---------	---------------	--------	-------	---

Розглянемо як саме модуль вимірює параметри електромережі:

Напруга вимірюється за допомогою дільника напруги, які перетворюють високу напругу в низьку, доступну для АЦП. Отримане значення АЦП перетворює в цифрове, та передає на мікроконтролер. *Струм* вимірюється за допомогою трансформатора струму, який перетворює струм на напругу, яку може бути виміряно мікроконтролером. *Потужність* розраховується на основі вимірювань напруги та струму. Мікроконтролер множить значення напруги на значення струму, щоб отримати значення потужності. *Споживання* розраховується на основі вимірювань потужності. Мікроконтролер інтегрує значення потужності за певний період часу, щоб отримати значення споживання. *Частота* вимірюється шляхом підрахунку кількості перетинів нуля напруги за одиницю часу, яка визначається мікроконтролером. *Коефіцієнт потужності* розраховується на основі вимірювань напруги і струму.

Оскільки модуль PZEM-004T базується на мікросхемі, для отримання даних можна використовувати прямий підхід через UART/USB, підключивши його до комп'ютера, або за допомогою мікроконтролера, такого як NodeMCU чи Wemos. Використання мікроконтролера, такого як NodeMCU чи Wemos, дозволяє отримувати дані з PZEM-004T та обробляти їх на місці. Цей метод стає оптимальним для реалізації систем моніторингу електроенергії в реальному часі, оскільки дозволяє автоматизовано отримувати та передавати дані до віддалених серверів чи систем моніторингу.

NodeMCU (Рисунок 2.8) - це невелика плата на основі мікроконтролера ESP8266, яка має вбудований Wi-Fi модуль. Це дає змогу під'єднувати NodeMCU до інтернету та передавати дані на віддалені сервери або системи моніторингу.



Рисунок 2.8 — Плата NodeMCU [23]

NodeMCU має такі переваги для реалізації системи моніторингу електромережі:

- Низька вартість
- Простота використання
- Вбудований Wi-Fi модуль
- Підтримка різних протоколів зв'язку

На Рисунок 2.9 показано графічне представлення фізичного розміщення компонентів на поверхні інтегральної схеми.

2.3 Протоколи обміну даними між вузлами в системі моніторингу

Розглянемо протоколи обміну даними, які може використовувати система моніторингу для передачі інформації з пристроїв на частину системи, які відповідальна за збір даних.

Wi-Fi є однією з найпоширеніших технологій для забезпечення зв'язку між IoT-пристроями. Вона володіє високою швидкістю передачі даних на короткі відстані, що робить її ідеальним вибором для використання вдома або в офісі. Однак, важливо враховувати питання безпеки при використанні Wi-Fi зв'язку, оскільки незахищені мережі можуть бути схильні до зламу.

Стандарт IEEE 802.11 є базовим стандартом для побудови бездротових локальних мереж (Wireless Local Network — WLAN). Стандарти IEEE 802.11 [26]. Стандарти Wi-Fi мають позначення IEEE 802.11, доповнене літерами та номерами для визначення конкретних підвидів. Інститут інженерів по електроніці й електротехніці (IEEE) тільки розробляє й приймає специфікації, на перераховані вище стандарти. Ці стандарти відрізняються за різними параметрами:

Швидкість передачі даних: Цей параметр визначає, скільки даних може бути передано через мережу за одиницю часу. Швидкість вимірюється в мегабітах на секунду (Мбіт/с). Зазвичай, вищі номери стандартів вказують на більшу швидкість передачі даних.

Частотний діапазон: Wi-Fi може використовувати різні радіочастоти для комунікації. Найпоширеніші частотні діапазони - це 2,4 ГГц та 5 ГГц. Різні стандарти можуть працювати в різних діапазонах.

На сьогоднішній день Wi-Fi сумісним є устаткування, побудоване по стандарту IEEE 802.11a ,b, g та n. Крім того, наявність на устаткуванні логотипа Wi-Fi означає, що робота устаткування здійснюється в діапазоні 2,4 ГГц або 5 ГГц. Основні характеристики стандартів IEEE приведені в Таблиця 2.2.

Таблиця 2.2 — Основні характеристики стандартів IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n [26].

Стандарт	IEEE 802.11a	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g	IEEE 802.11n
Частотний діапазон, ГГц	5.15-5.25 5.67-5.85	2.4-2.483	2.4-2.483	2.4-2.483 5.15-5.25 5.67-5.85
Доступ до радіоканалу	CSMA-CA	CSMA-CA	CSMA-CA	CSMA-CA
Кількість абонентів на один канал	64	64	64	64
Максимальна швидкість обміну даними	54Мбіт/с	11 Мбіт/с	54 Мбіт/с	480 Мбіт/с
Метод модуляції	OFDM	BPSK, CCK	OFDM	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Дальність дії в приміщенні, м	10-20	20-100	20-50	10-20

Bluetooth незважаючи на низьку швидкість передачі даних на короткі відстані, також має свої переваги. Він ідеально підходить для з'єднання між смартфонами та різними датчиками або пристроями в приміщенні. Bluetooth також досить енергоефективний, що дозволяє використовувати його в батарейкових IoT-пристроях.

Технологія Bluetooth (стандарт IEEE 802.15) стала першою технологією, що дозволяє організувати бездротову персональну мережу передачі даних WPAN (Wireless Personal Network). Bluetooth була розроблена консорціумом компаній у 1994 році, з метою створення бездротового зв'язку між різними пристроями, такими як мобільні телефони, ноутбуки, гарнітури і інші. Перший офіційний стандарт Bluetooth (Bluetooth 1.0) був прийнятий в 1999 році. З того

часу технологія пройшла кілька ітерацій і покращень, оновлені стандарти включають Bluetooth 2.0, 3.0, 4.0, 4.2, 5.0, 5.1 і 5.2 [27].

ZigBee - це протокол, призначений для низько потужних пристроїв та використання в мережах з великою кількістю вузлів. Він забезпечує низьку швидкість передачі даних на великі відстані, що робить його ідеальним вибором для IoT-пристроїв, які працюють на батарейках та повинні передавати дані на великій площі.

ZigBee — стандарт для набору високорівневих протоколів зв'язку, що використовують невеликі, малопотужні цифрові приймачі, заснований на стандарті IEEE 802.15.4-2006 для бездротових персональних мереж, таких як, наприклад, бездротові навушники, що з'єднані з мобільними телефонами за допомогою радіохвиль короткохвильового діапазону. Технологія визначається специфікацією ZigBee, яка розроблена з метою бути простішою та дешевшою, ніж інші персональні мережі, такі як Bluetooth. ZigBee призначений для мобільних пристроїв, де необхідна тривала робота від батарей і безпечність передачі даних у мережі [29]

Цей стандарт визначає роботу на неліцензованій частоті 2.4 ГГц (у всьому світі), 915 МГц (Американський континент) і 868 МГц (Європа) у діапазоні ISM. На частоті 2.4 ГГц є 16 каналів ZigBee, кожен з яких вимагає ширину діапазону в 5 МГц. Основна частота для кожного каналу може бути розрахована як:

$$F_c = (2405 + 5 \cdot (ch - 11)) \text{ МГц}, \quad (2.7)$$

де $ch = 11, 12, \dots, 26$.

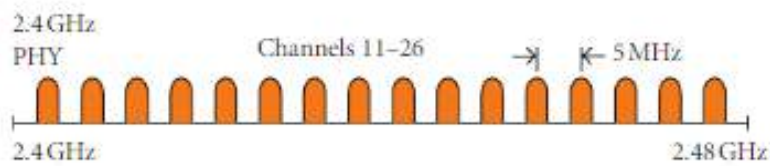


FIGURE 5: ZigBee 2.4 GHz band.

Рисунок 2.11 – Zigbee 2.4 Band

Zigbee підтримує такі топології мережі:

Зірка: у цій топології всі пристрої підключені до центрального пристрою. Центральний пристрій відповідає за управління мережею і передачу даних між пристроями.

Mesh: у цій топології пристрої можуть з'єднуватися один з одним безпосередньо або через інші пристрої. Це забезпечує більшу надійність мережі, ніж зірка.

Мережі з топологією Mesh (Рисунок 2.12) принципово орієнтовані на асинхронну передачу даних, приміром, команд включення і вимикання в мережах керування або даних від «прокинувшись» або «не сплячих» сенсорів у сенсорних мережах. Вся мережа повинна «не спати» і бути завжди готова передати ці дані адресатові, приміром, приладам або центру збору інформації [27].

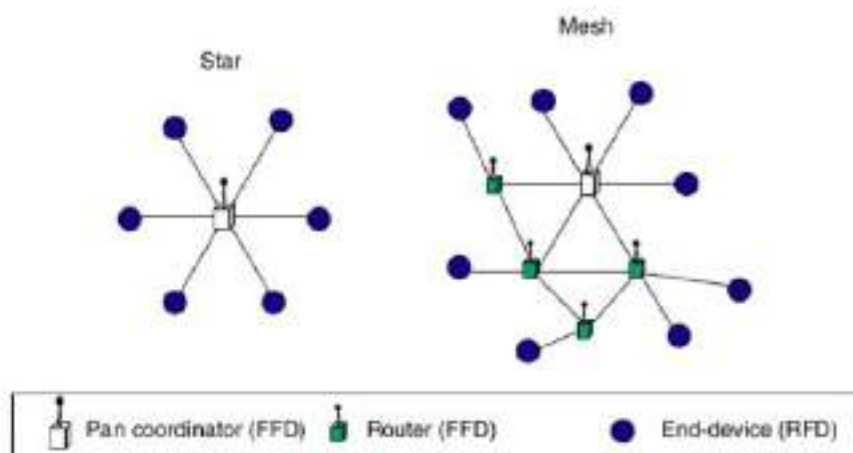


Рисунок 2.12 – Варіанти топології мережі ZigBee

2.4 Опис методів реалізацій системи моніторингу

Для опису методів реалізації систем моніторингу електросистем, ми будемо опиратися на комплекс аспектів, що включають:

1. Архітектурне проектування

На цьому етапі необхідно вибрати структуру і компоненти системи моніторингу, щоб вона відповідала вимогам і цілям моніторингу електромережі.

До основних компонентів системи моніторингу належать:

- Датчики, які вимірюють параметри електромережі, як напруга, струм, потужність, споживана енергія і коефіцієнт потужності.
- Засоби збору даних, які збирають дані з датчиків.
- Система обробки даних, яка обробляє зібрані дані і виявляє проблеми та аномалії в електромережі.
- Система візуалізації, яка надає користувачам доступ до даних системи моніторингу.

2. Технологічні рішення

Визначення технологій, обладнання та програмне забезпечення для реалізації системи моніторингу. До основних технологій, що використовуються в системах моніторингу електромережі, належать:

Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee які використовуються для зв'язку між засобами збору даних і системою обробки даних. Протоколи HTTP, HTTPS, UDP, TCP, які використовуються для передачі між пристроями.

3. Методи збору даних

Організація процесу збору інформації про стан електросистеми, включаючи вибір датчиків та засобів збору даних.

4. Аналіз та обробка даних

Методи обробки та аналізу зібраних даних для виявлення проблем та аномалій в електросистемі. До основних методів аналізу та обробки даних належать:

- Статистичний аналіз, який використовується для виявлення закономірностей у даних.
- Машинне навчання, яке використовується для виявлення аномалій у даних.

5. Інтеграція з існуючими системами

Способи інтеграції системи моніторингу в існуючу інфраструктуру та інформаційні системи.

6. Оцінка ефективності

Оцінювання та порівняння різних методів реалізації системи моніторингу з точки зору їхньої ефективності та впливу на моніторинг електросистеми. До основних критеріїв оцінки ефективності належать:

- Точність вимірювань
- Швидкість збору даних
- Якість аналізу даних
- Ефективність виявлення проблем
- Масштабованість
- Складність реалізації

Ці аспекти будуть в основі нашого вивчення та аналізу для розробки і впровадження ефективної системи моніторингу електросистем.

Перейдемо розгляду конкретних способів реалізації систем моніторингу. Для кожного способу розглянемо архітектуру, технологічні рішення, методи аналізу та обробки, та інтеграцію з іншими існуючими системами.

2.4.1 Real-Time система моніторингу

Оскільки NodeMCU – це плата на основі мікроконтролера ESP8266, яка має вбудований Wi-Fi модуль, це дозволяє використовувати його в якості веб-сервера для відображення даних.

Веб-сервер на NodeMCU – це програмне забезпечення, яке дозволяє NodeMCU виступати в ролі веб-сервера. Це означає, що NodeMCU може приймати запити HTTP від клієнтів і відповідати на них HTML (HyperText Markup Language) сторінками.

Для створення веб-сервера на ESP8266 необхідно використовувати бібліотеку для роботи з веб-серверами, наприклад ESP8266WiFi.h для підключення до локальної мережі та ESP8266WebServer або ESPAsyncWebServer. Після встановлення бібліотеки необхідно створити код, який оброблятиме HTTP-запити.

Блок-схема реалізації (Рисунок 2.13):

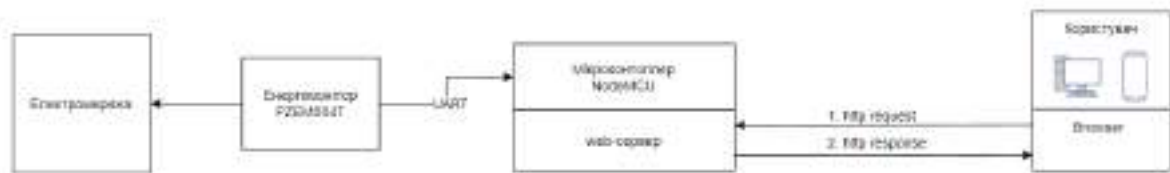


Рисунок 2.13 — Блок-схема реалізації

З'єднання та обмін даними:

NodeMCU та PZEM004T підключені один до одного за допомогою виводів для комунікації UART. Це дозволяє NodeMCU отримувати дані від PZEM004T та передавати їх для подальшої обробки. Взаємодія між цими пристроями базується на певних протоколах комунікації.

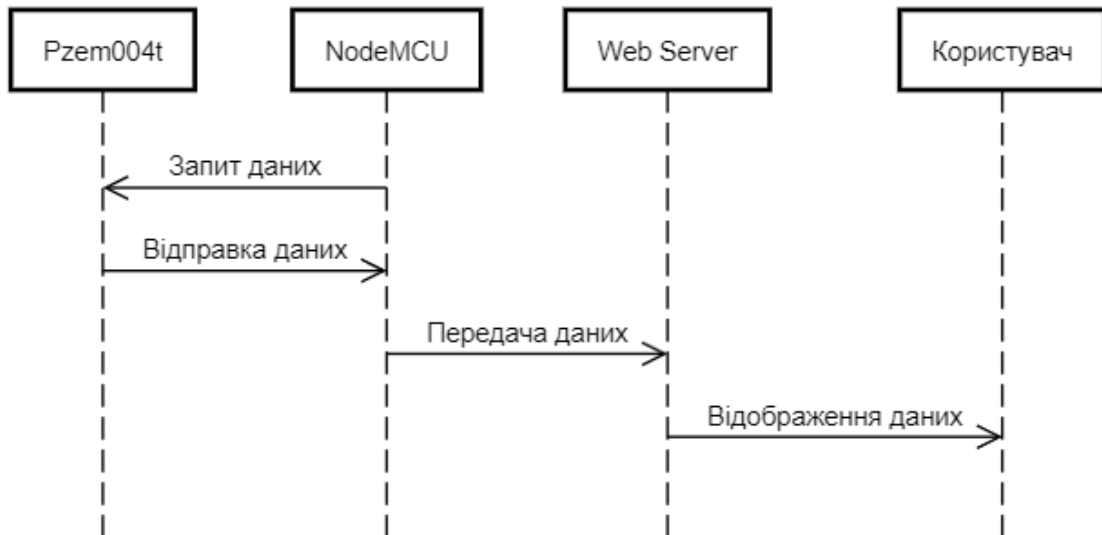


Рисунок 2.14 — Схема роботи реалізації

Як працює система та перегляд даних:

NodeMCU зчитує дані, які надходять від PZEM, і обробляє їх. Після обробки ці дані можуть бути відображені на веб-сторінці за допомогою вбудованого web-сервера мікроконтролера. Це дозволяє користувачам переглядати статистику споживання електроенергії через веб-інтерфейс з будь-якого пристрою, підключеного до локальної мережі. Для цього треба перейти за IP адресою виданою для пристрою при підключенні до локальної мережі.

Переваги та недоліки:

Основною перевагою цього підходу є низька вартість. Він також дозволяє отримувати дані в режимі реального часу і переглядати їх у веб-інтерфейсі. Також цей підхід є самим простим, та не потребує високих навичок з програмування або підключенні. Проте цей підхід може відображати дані тільки в реальному часі, оскільки NodeMCU не може зберігати дані, оскільки дані про споживання, які отримуються зберігаються в змінній, яка з кожним разом перезаписується.

Цей приклад реалізації надає основу для подальшого розгляду інших варіантів систем моніторингу електроенергії, які можуть зберігати дані, та відображати їх історично.

2.4.2 Real-Time система з БД та платформою візуалізації

Другий приклад реалізації системи моніторингу споживання електроенергії використовує також платформу NodeMCU разом із пристроєм PZEM для збору даних, а також використовує рішення InfluxDB та Grafana для зберігання, візуалізації та аналізу даних.

InfluxDB - це система керування базами даних часового ряду, яка використовується для зберігання та організації даних. Grafana Cloud - це онлайн-платформа для візуалізації даних. Що це таке, та як працює, буде описано далі.

Головна частина, яка виконує збір даних залишається. Мова йде про NodeMCU та PZEM004T.

Опис пристроїв та програмних забезпечень:

InfluxDB - це база даних, призначена для зберігання вимірюваних даних, яка має особливості оптимізації для роботи з часовими рядами. NodeMCU, використовуючи спеціальні бібліотеки, записує дані, вимірювані за допомогою PZEM, в базу даних InfluxDB. Grafana Cloud - це платформа для створення графіків, яка може підключатися до InfluxDB для візуалізації даних. Ви зможете створити різні графіки та панелі, щоб відобразити дані в зручному для вас вигляді.

InfluxDB Cloud (Рисунок 2.15) - це платформа, створена для збору, зберігання, обробки та візуалізації даних часових рядів. Дані часових рядів - це послідовність точок даних, індексованих в хронологічному порядку. Точки даних, як правило, складаються з послідовних вимірювань, здійснюваних з одного й того ж джерела, і використовуються для відстеження змін з часом. Приклади даних часових рядів включають:

- Дані промислових датчиків
- Метрики продуктивності серверів
- Пульси на хвилину
- Електрична активність в мозку
- Вимірювання опадів

- Ціни на акції

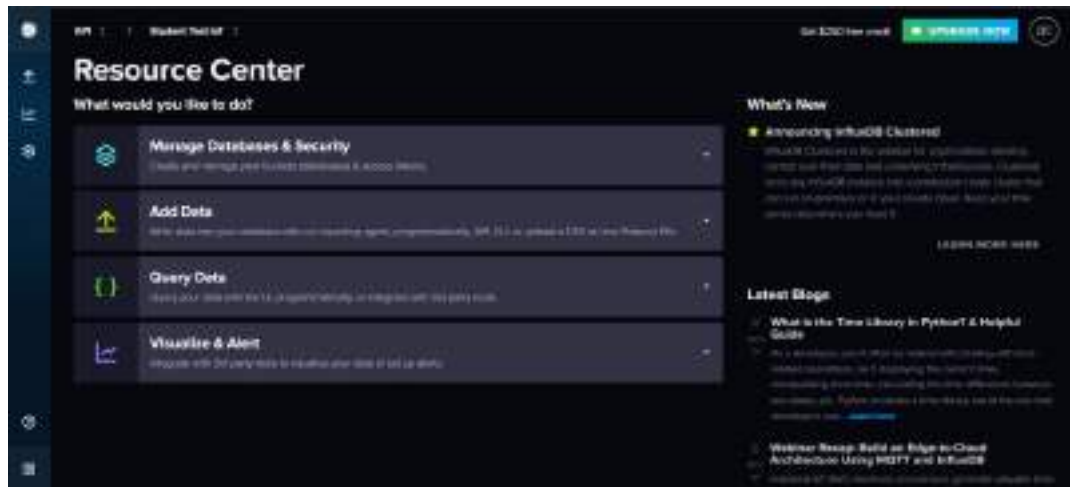


Рисунок 2.15 — Головна сторінка InfluxDB Cloud

Перш ніж розпочати використовувати InfluxDB, важливо зрозуміти, як організовані та зберігаються дані часових рядів в InfluxDB та деякі ключові визначення, які використовуються у цьому документі.

Організація даних:

Модель даних InfluxDB організовує дані часових рядів в бакети та вимірювання. У бакеті може бути декілька вимірювань. Вимірювання містять декілька тегів та полів.

Бакет (*Bucket*) : Назване місце, де зберігаються дані часових рядів. У бакеті може бути декілька вимірювань.

Вимірювання (*Measurement*): Логічна група для даних часових рядів. Усі точки в даному вимірюванні повинні мати однакові теги. Вимірювання містять декілька тегів та полів.

Теги (*Tags*): Ключ-значення зі значеннями, які відрізняються, але рідко змінюються. Теги призначені для зберігання метаданих для кожної точки - наприклад, щось, щоб ідентифікувати джерело даних, таке як хост, місцезнаходження, станція тощо.

Поля (*Fields*): Ключ-значення зі значеннями, які змінюються з часом - наприклад: температура, тиск, ціна акцій тощо.

Відмітка часу (*Timestamp*): Відмітка часу, пов'язана з даними. При збереженні на диску та запиті, всі дані впорядковані за часом [29].

Основні особливості InfluxDB включають:

Часовий ряд: В основі InfluxDB лежить концепція часового ряду. Це означає, що кожен запис даних пов'язаний з певним часовим моментом. Це дозволяє зберігати та організовувати дані так, щоб легко виконувати операції часового ряду, такі як агрегація та розрахунок середніх значень.

Природні мови запитів: InfluxDB має вбудовану мову запитів, яка дозволяє легко витягувати та аналізувати дані за допомогою запитів. Це робить роботу з базою даних більш інтуїтивною.

Висока продуктивність: InfluxDB оптимізована для роботи з великими обсягами даних та високою швидкістю запису та читання. Це важливо для систем моніторингу, оскільки дані надходять в реальному часі.

Grafana - це платформа для створення графіків, діаграм та панелей для візуалізації даних. Вона розроблена для відображення даних з різних джерел, включаючи бази даних, системи моніторингу та інші джерела. Також створювати оповіщення та досліджувати ваші метрики, логи та сліди, де б вони не зберігалися [30].

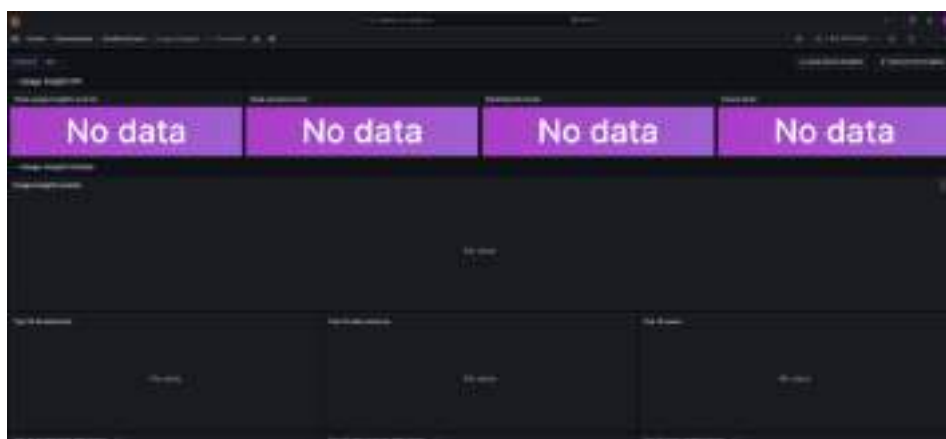


Рисунок 2.16 — Dashboard візуалізації Grafana

Основні особливості Grafana включають:

Гнучкість та розширюваність: Grafana дозволяє створювати різні види графіків та діаграм, а також налаштовувати їх з великою гнучкістю. Ви можете

створювати власні шаблони та додаткові плагіни для розширення можливостей.

Спільнота користувачів та розширення: Grafana має велику спільноту користувачів та активно розвивається. Існують різні розширення та плагіни, які дозволяють інтегрувати її з різними джерелами даних.

Підтримка для різних джерел даних: Grafana може візуалізувати дані з різних джерел, включаючи InfluxDB, Prometheus, Elasticsearch, MySQL та багато інших. Це робить її ідеальним інструментом для об'єднання даних з різних джерел у єдиний інтерфейс.

Автентичність та авторизація: Grafana має можливості для налаштування автентичності та авторизації користувачів, що робить її підходящою для застосувань, де потрібен обмежений доступ до даних.

Інтеграція InfluxDB та Grafana дозволяє створити потужну систему моніторингу та візуалізації даних про споживання електроенергії з можливістю збереження даних в безпеці та створення інтерактивних графіків для аналізу цих даних.

Блок-схема цієї реалізації представлена на Рисунок 2.17.

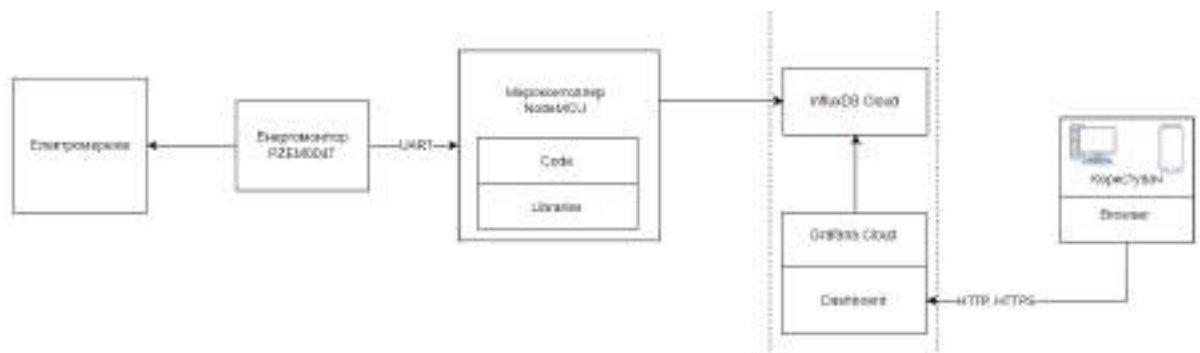


Рисунок 2.17 — Блок-схема реалізації

З'єднання та обмін даними:

NodeMCU підключається до PZEM004T за допомогою виводів для обміну даними UART, отримує вимірювані значення та записує їх в базу даних InfluxDB через відповідні бібліотеки такі як InfluxDbClient, InfluxDbCloud. Grafana підключається до бази даних InfluxDB, щоб відобразити та візуалізувати дані.

Виміряні дані про споживання електроенергії надсилаються NodeMCU в базу даних InfluxDB. Графіки для візуалізації цих даних створюються у Grafana Cloud. Користувач може переглядати статистику споживання електроенергії через онлайн-панель в Grafana з будь-якого пристрою, підключеного до Інтернету.

Система працює наступним чином (Рисунок 2.18):

1. NodeMCU відправляє запит на PZEM004T, щоб отримати дані про споживання електроенергії.
2. PZEM004T відповідає на запит, надаючи NodeMCU дані про споживання електроенергії.
3. NodeMCU передає дані в хмарну базу даних InfluxDB.
4. InfluxDB зберігає дані в базі даних в вигляді: дані - відмітка часу.
5. Grafana запрошує дані з InfluxDB.
6. Grafana відображає дані на веб-сторінці.
7. Користувач аутентифікується до Grafana, переходить на Dashboard, та бачить дані за період часу, який може обирати.

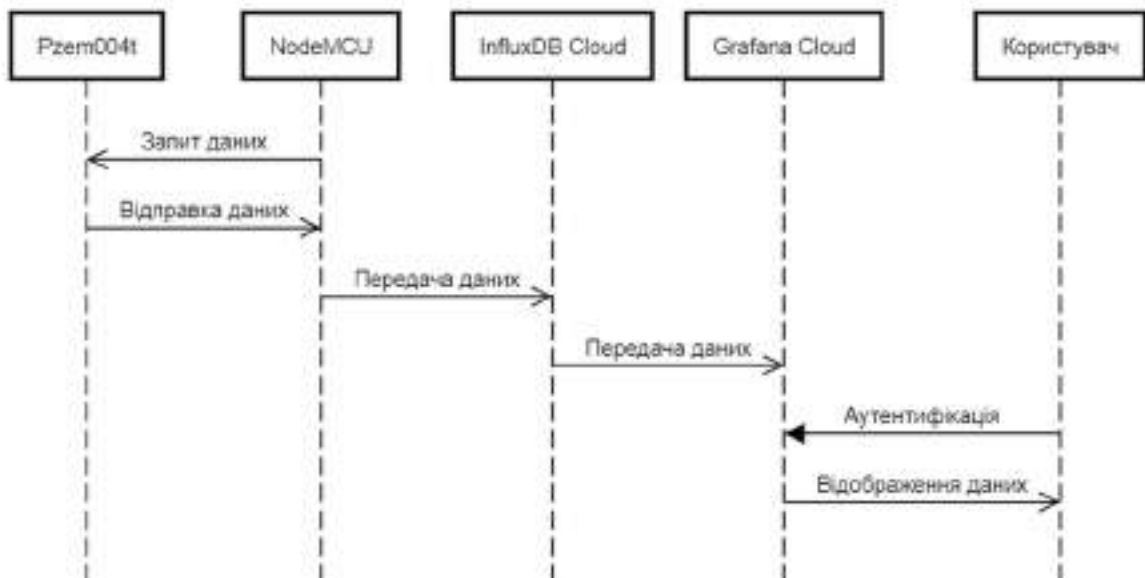


Рисунок 2.18 — Схема роботи реалізації

Переваги та недоліки:

Перевагами цього підходу є зручність відображення та аналізу даних завдяки інтерактивним графікам та можливість використання онлайн-платформи. Іншою важливою перевагою є можливість зберігати дані на хмарному сервері, що забезпечує їх безпеку.

Оскільки використовується база даних є можливість відображення даних за минулий час, можемо аналізувати історичні дані. Ці дані можемо дивитися не тільки від одного пристрою, тому в нас є можливість додавати інші пристрої до візуалізації. Це робиться за рахунок архітектури бази даних, яка дозволяє робити *Measurement* (про них було описано раніше), та запитів Grafana.

У зв'язку з тим, що дані в хмарі, перевагою є те, що ми можемо дивитися з різних пристроїв, просто аутентифікуючись на сайті.

Однак цей підхід може вимагати більше часу для налаштування та вивчення нових інструментів порівняно з попереднім прикладом. З огляду на те, що дані передаються в хмару, існує потенційна проблема з безпекою даних.

Одним із основних недоліків реалізації з використанням хмарних сервісів, таких як Grafana Cloud і InfluxDB Cloud, є висока вартість використання цих сервісів. Підписка на хмарні пакети може призвести до значних витрат. Для невеликих систем витрати на хмарні сервіси можуть бути незначними. Однак, для великих систем витрати можуть бути значними. Один із шляхів подолання високих витрат - це перехід до локальної системи моніторингу. Це передбачає налаштування та управління серверами InfluxDB і Grafana на власному обладнанні. Впровадження такої системи може значно знизити витрати, але вимагатиме більше знань та підтримки для налаштування та підтримки інфраструктури.

2.4.3 Real-Time система з використанням ОС Home assistant

В даній реалізації системи моніторингу електроенергії використовується підхід, що базується на популярних платформах Home Assistant та ESPHome. Цей метод дозволяє забезпечити моніторинг енергоспоживання за допомогою інтеграції із смарт-пристроями.

Home Assistant та ESPHome – це два інструменти для створення та налаштування системи розумного будинку.

Home Assistant – це платформа управління розумним будинком з відкритим вихідним кодом. Він інтегрує різні пристрої та послуги в єдину централізовану систему. Home Assistant надає великі можливості налаштування та дозволяє створювати складні автоматизовані правила.

ESPHome — це інструмент для створення практично будь-яких пристроїв або датчиків на основі недорогих Wi-Fi плат ESP8266/ESP32 без знань програмування. Він зчитує файл конфігурації YAML і створює спеціальне мікропрограмне забезпечення, яке встановлює на ESP. Пристрої або датчики, додані в конфігурації ESPHome, автоматично відображаються в інтерфейсі Home Assistant [31].

Блок-схема цієї реалізації представлена на Рисунок 2.19

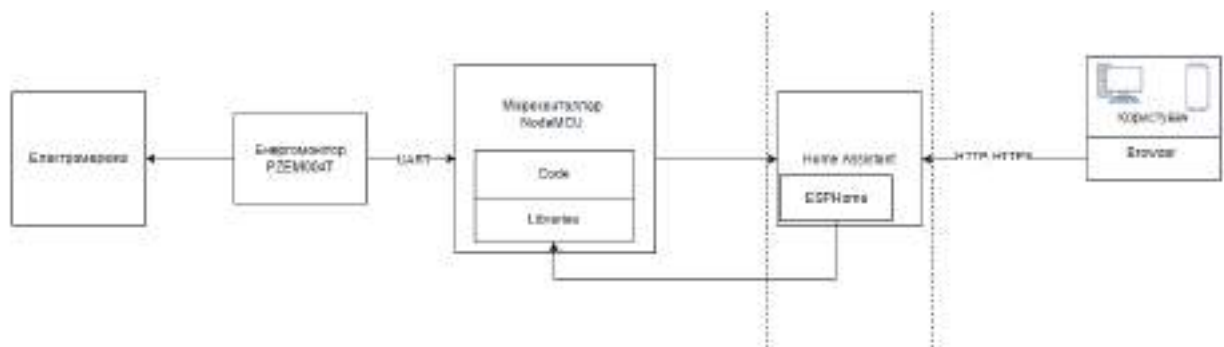


Рисунок 2.19 — Блок-схема реалізації

Home Assistant також пропонує широкі можливості налаштування та надбудови. Ви можете створювати автоматизації для керування пристроями на основі різних умов та подій. Ви також можете налаштувати сповіщення та інтегрувати різні послуги, такі як Google Assistant або Alexa.

Існує велика кількість сценаріїв його використання. До прикладу:

Керування безпекою: камери, сигналізації, датчики задимленості, відкриття, руху, вібрації; керування освітленням: регулювання яскравості, ко-

льору, теплоти, підсвітка; керування побутовою технікою: кондиціонер, пилосос, телевізор, чайник; керування електроживленням: розетки, вимикачі, реле, лічильники; моніторинг: температури, вологості, тиску, CO₂, протікання.

Конфігурація пристроїв в Home Assistant налаштовується за допомогою конфігураційного файлу. Цей файл містить інформацію про пристрої, які підключені до Home Assistant, та про те, як саме ці пристрої мають працювати. Home Assistant має багато налаштувань, які дозволяють розширити його функціонал. Налаштування можна змінити в інтерфейсі користувача Home Assistant.

Установка Home Assistant досить проста. Важливо дотримуватися офіційної інструкції щодо встановлення на сайті. Home Assistant можна встановити на різні платформи, такі як Raspberry Pi, Docker чи віртуальну машину.

Home Assistant пропонує чотири різні методи встановлення:

- *Home Assistant Operating System*: мінімальна операційна система, оптимізована для роботи Home Assistant. Він поставляється з Supervisor для керування основою та додатками Home Assistant. Рекомендований спосіб встановлення.

- *Home Assistant Container*: окрема інсталяція Home Assistant Core на основі контейнера (наприклад, Docker).

Для досвідчених користувачів доступні два альтернативних способи встановлення:

- *Home Assistant Supervised*: ручне встановлення наглядча.
- *Home Assistant Core*: встановлення вручну за допомогою віртуального середовища Python.

На Рисунок 2.20 показано доступні методи встановлення залежно від використовуваного пристрою та платформи.

	OS	Container	Core	Supervised
Automator	✓	✓	✓	✓
Calendar	✓	✓	✓	✓
Calendar	✓	✓	✓	✓
Calendar	✓	✓	✓	✓
Uses container	✓	✓	✗	✓
Calendar	✓	✗	✗	✓
API Int.	✓	✗	✗	✓
Calendar	✓	✓ ¹	✓ ¹	✓
Managed Resource	✓	✗ ²	✗ ²	✓
Managed OS	✓	✗	✗	✗

Рисунок 2.20 — Методи встановлення [32]

Головним аспектом використання Home Assistant є інтеграція різних пристроїв різноманітних виробників. Home Assistant підтримує безліч інтеграцій з різними виробниками та пристроями. Ви можете підключити смарт-лампи, термостат, камери відеоспостереження, датчики руху, розетки та багато інших пристроїв. Це дозволяє створити центральну систему управління для всіх ваших смарт-пристроїв.

Для інтеграції пристрою з Home Assistant необхідно, щоб пристрій підтримував відповідний протокол або API. Home Assistant підтримує безліч різних протоколів та API, включаючи:

- Zigbee
- Z-Wave
- Wi-Fi
- Bluetooth
- HTTP
- MQTT

Ось кілька прикладів інтеграції з різними пристроями в Home Assistant:

- Інтеграція з розумною лампочкою дозволяє вмикати, вимикати та регулювати яскравість лампочки за допомогою Home Assistant.
- Інтеграція з розумним датчиком руху дозволяє Home Assistant вмикати світло, коли хтось входить до кімнати.

- Інтеграція з розумною системою безпеки дозволяє Home Assistant відправляти вам повідомлення, якщо хтось порушить периметр безпеки вашого будинку.

- Інтеграція з розумною системою розваг дозволяє Home Assistant відтворювати музику або відео на вашому телевізорі.

- Інтеграція з різними пристроями Home Assistant дозволяє створювати складні системи автоматизації будинку.

Home Assistant та ESPHome – це потужні інструменти, які можна використовувати для створення різних систем автоматизації будинку. Home Assistant дозволяє контролювати та керувати різними пристроями в будинку, а ESPHome дозволяє легко створювати програмне забезпечення для мікроконтролерів ESP8266 та ESP32.

Ось деякі з переваг використання Home Assistant та ESPHome:

- Низька вартість. Home Assistant та ESPHome є безкоштовними для використання.

- Легка інтеграція: Завдяки Home Assistant та ESPHome, інтеграція із підключеними смарт-пристроями є досить простою. Ви зможете легко додавати нові пристрої для моніторингу без глибоких знань в програмуванні.

- Масштабованість. Системи, створені за допомогою Home Assistant та ESPHome, можна легко масштабувати, додаючи нові пристрої.

- Зручність використання. Home Assistant та ESPHome є простими у використанні.

Ось деякі з недоліків використання Home Assistant та ESPHome:

- Потрібний певний ступінь знань. Для використання Home Assistant та ESPHome необхідно мати певний ступінь знань у галузі програмування та автоматизації будинку.

В цілому, Home Assistant та ESPHome – це відмінні інструменти для створення систем автоматизації будинку. Вони є безкоштовними, масштабованими та зручними у використанні.

2.5 Висновки

Отже після детального розгляду можливих реалізацій систем, на підставі переваг та недоліків розглянутих методів можемо обрати оптимальний спосіб.

Як було написано основною перевагою Real-Time система моніторингу є низька вартість. Крім того, вона надає змогу отримувати дані в реальному часі та переглядати їх у зручному веб-інтерфейсі. Цей підхід дуже простий у використанні і не потребує високого рівня навичок у програмуванні або підключенні. Однак є певні обмеження. Ця система може відображати дані лише в реальному часі, оскільки NodeMCU не може зберігати дані. Інформація про споживання електроенергії отримується та перезаписується з часом.

Підхід з використанням Real-Time з базою даних та платформою візуалізації має декілька переваг. Він дозволяє зручно відображати та аналізувати історичні дані, додавати інші пристроїв та даних з різних датчиків робить цей підхід дуже гнучким. Один з головних недоліків є високі витрати на хмарні сервіси. Проте є можливість переходу до локальної системи моніторингу для зниження витрат, але це вимагає більше знань і підтримки для налаштування та управління інфраструктурою. Таким чином, вибір цього підходу має свої переваги та недоліки, і він може бути оптимальним для певних сценаріїв використання.

Після ретельного розгляду різних способів реалізації системи моніторингу електроенергії, їх позитивних та негативних аспектів, вибір був зроблений на використанням Real-time с використанням ОС Home assistant. Цей вибір обґрунтовується кількома ключовими перевагами, які роблять цей варіант найбільш оптимальним:

- загальна інтеграція IoT; Home Assistant здатний інтегрувати і керувати різними смарт-пристроями та платформами. Вибір цієї платформи дозволяє створити центральний вузол для всіх підключених пристроїв і датчиків та інших пристроїв IoT, а також контролювати їх з єдиного інтерфейсу;

- низька вартість; Home Assistant та ESPHome є безкоштовними для використання;
- масштабованість; системи, створені за допомогою Home Assistant та ESPHome, можна легко масштабувати, додаючи нові пристрої.

Отже, найголовнішим критерієм вибору є економічність та можливість масштабованості. Тому, на мою думку, рішення з Home Assistant є його здатність додавати нові смарт-розетки, реле, датчики, світильники та інші пристрої з легкістю. Це означає, що якщо у вас з'являться нові смарт-пристрої вдома, ви зможете легко їх інтегрувати в систему моніторингу без необхідності переходу на іншу платформу. Тому цей вибір є найбільш логічним та оптимальним рішенням для досягнення поставленої мети.

3 АППАРАТНО ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОС HOME ASSISTANT

У цьому розділі проводиться перевірка функціональності та працездатності обраного способу реалізації системи моніторингу електричної мережі в приміщенні. Описується послідовний план впровадження цієї системи.

3.1 Апаратна частина системи моніторингу

Як було сказано в другому розділі, за вимірювання параметрів відповідальний модуль PZEM004T в парі з мікроконтролером NodeMCU.

Для розуміння підключення приведемо схему (Рисунок 3.1) взаємодії між модулем та мікроконтролером.

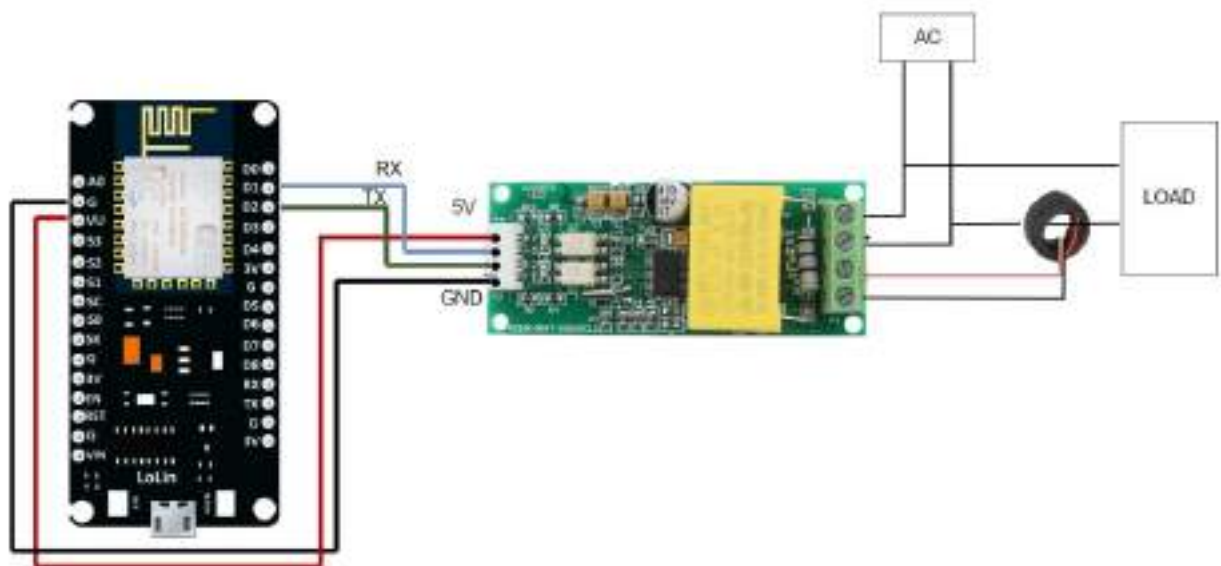


Рисунок 3.1 – Схема підключення

Модулі з'єднані по інтерфейсу UART. Інтерфейс UART використовує два проводи для забезпечення зв'язку між пристроями: один для передачі (TX) та один для прийому (RX). Цей інтерфейс є асинхронним, що означає, що він не потребує спільного тактового сигналу між передавачем і приймачем, а замість цього використовує стартові та стопові біти для синхронізації передачі даних. Стартовий біт - це перехід зі стану очікування високого рівня в стан низького рівня, за яким одразу ж слідують користувацькі біти даних [33].

Після того, як біти даних закінчилися, стоповий біт вказує на закінчення користувацьких даних. Стоповий біт - це або перехід назад у стан високого рівня або стан очікування, або збереження цього стану протягом додаткового бітового інтервалу. Другий (необов'язковий) стоповий біт може бути налаштований, як правило, на те, щоб дати приймачу час підготуватися до наступного кадру, але на практиці це використовується рідко.

Якщо ми хочемо передати велику літеру "S" у 7-бітному коді ASCII, бітова послідовність матиме вигляд [1 0 1 0 0 1 1]. Спочатку ми міняємо порядок бітів, щоб організувати перед передачею формат із першим молодшим значущим бітом, тобто [1 1 0 0 1 0 1]. Після передачі останнього біта даних для завершення кадру використовується стоповий біт, і лінія повертається в стан очікування.

7-бітний код ASCII 'S' (0x52) = [1 0 1 0 0 1 1]

Порядок LSB (Least Significant Bit) = [1 1 0 0 1 0 1]



Рисунок 3.2 — Стартові та стопові біти



Рисунок 3.3 — Біти даних [33]

3.2 Програмна частина системи моніторингу

Реалізація програмної частини системи моніторингу з використанням ОС Home Assistant ділиться на декілька етапів (рРисунок 3.4).



Рисунок 3.4 — Етапи реалізації програмної частини системи моніторингу

Перший етап – встановлення Home Assistant.

Розписувати докладно встановлення не має сенсу оскільки опис способів встановлення є в документації [34]. Я обрав спосіб з встановленням на VMware Workstation. Це програмне забезпечення віртуалізації, призначене для комп'ютерів x86-64 операційних систем Microsoft Windows та Linux. Дозволяє користувачеві встановити одну або більше віртуальних машин на один фізичний комп'ютер і запускати їх паралельно з ним [35]. Для цього потрібно завантажити відповідний диск .vmdk, та створити віртуальну машину в VMware Workstation.

Далі ми проаналізуємо конфігурації Home Assistant, включаючи необхідні параметри та налаштування для забезпечення відповідності вимогам системи моніторингу. Описується процес структурування та редагування конфігураційних файлів з точки зору їх впливу на весь процес моніторингу.

Більшість налаштувань Home Assistant доступно безпосередньо з інтерфейсу користувача в розділі «Параметри», деякі частини потребують редагування `configuration.yaml` (Рисунок 3.5). Цей файл містить інтеграції для завантаження разом із їхніми конфігураціями. У документації ви знайдете фрагменти, які можна додати до файлу конфігурації, щоб увімкнути певні функції. Найпростішим варіантом редагування `configuration.yaml` є використання над-

будови Studio Code Server. Це доповнення запускає код VS, який пропонує перевірку синтаксису в реальному часі та автоматичне заповнення різних об'єктів Home Assistant [36].

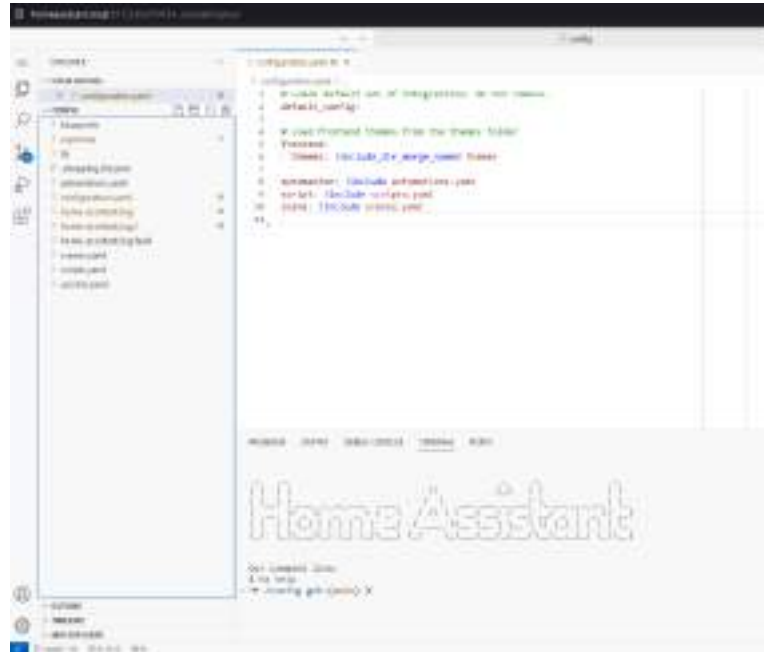


Рисунок 3.5 — Конфігурація Home Assistant

На *другому етапі* розглянемо процедуру встановлення та налаштування ESPHome, інтеграція якого є важливою частиною створення системи моніторингу.

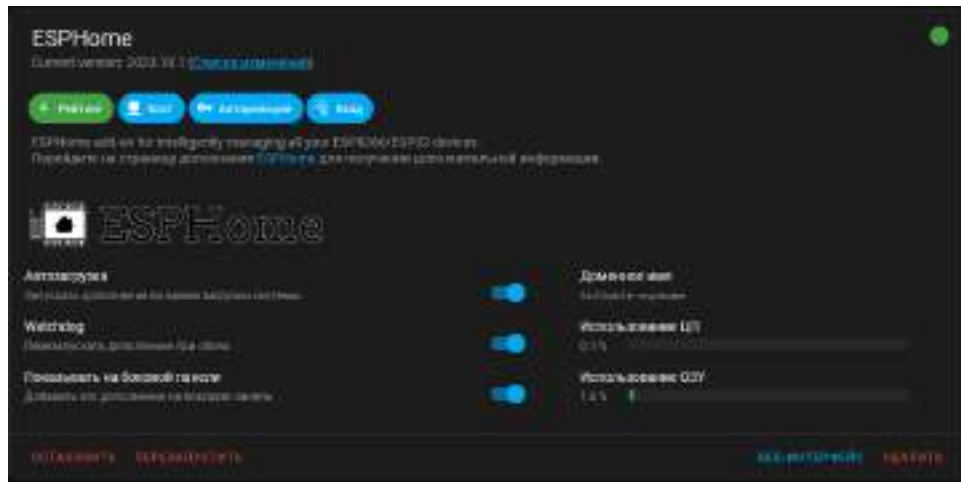


Рисунок 3.6 — ESPHome

Для цього в панелі Home Assistant перейти до «Налаштування» та «Доповнення», обрати ESPHome та натиснути «Встановити». Ось як виглядає встановлена надбудова (Рисунок 3.6).

Наступним *третьім етапом* будемо конфігурувати NodeMCU. Для цього треба створити конфігурацію `.yaml`. (Рисунок 3.8). Конфігурація ESPHome максимально схожа до Home Assistant `configuration.yaml`. Майстер налаштувань створює початкову конфігурацію. Цей код визначає, як пристрій буде взаємодіяти з іншими пристроями та які дані збирається передавати до ESPHome, Home Assistant. Після можна додавати блоки роботи з сенсорами чи пристроями. Тому наступним кроком треба написати код (Рисунок 3.8), який перетворює зрозумілий конфігураційний файл YAML (Yet Another Markup Language) на файл прошивки, тобто бінарний файл з кодом, який завантажується в flash-пам'ять NodeMCU.



Рисунок 3.7 – Інтерфейс для додавання пристроїв

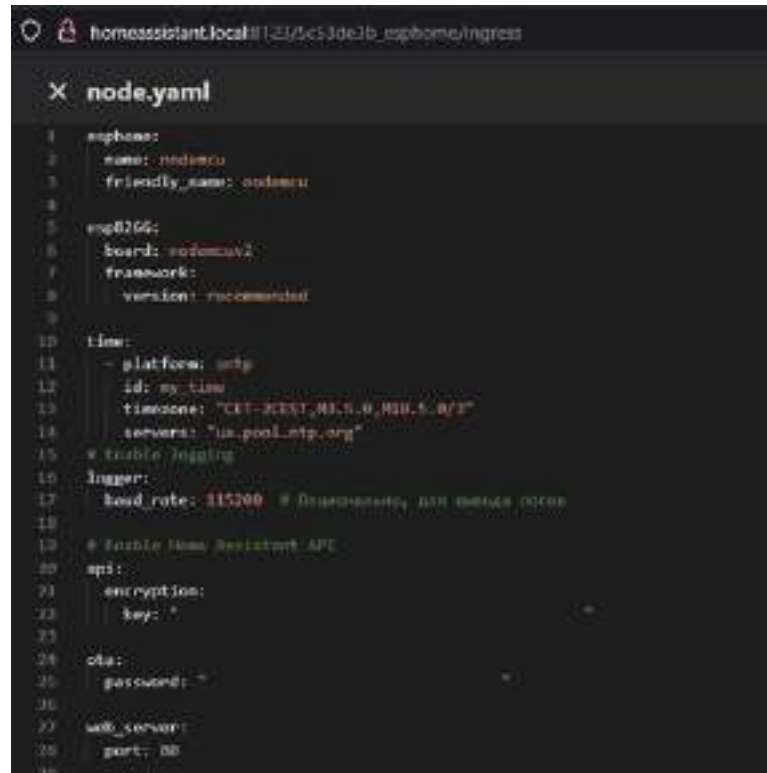


Рисунок 3.8 – Частина коду прошивки

Детальніше розглянемо код прошивки, повний код наведено в Додатку А: Спочатку ми задаємо метадані, такі, як ім'я, це впливає також на назву файлу та доменне ім'я пристрою.

```

esphome:
  name: nodemcu
  friendly_name: nodemcu
  
```

Далі обираємо платформу, яка визначає псевдоніми контактів, розмір флеш-пам'яті та деякі внутрішні налаштування контролера.

```

esp8266:
  board: nodemcu2
  
```

Для того щоб наша система моніторингу точно знала, коли події відбувалися, ми здійснюємо налаштування NTP [37]. Це протокол мережевого часу, що використовується для синхронізації годинників комп'ютерів у мережі Інтернет. Це дає нам змогу синхронізувати час у нашому пристрої з точними світовими часовими стандартами, забезпечуючи правильну інтерпретацію даних.

```
time:
  - platform: sntp
    id: my_time
    timezone: "CET-2CEST,M3.5.0,M10.5.0/3"
    servers: "ua.pool.ntp.org"
```

Далі ми активуємо ведення логів і вказуємо параметри, такі як `baud_rate`, що визначає швидкість передачі даних для логів. Ці логи будуть відображатися в панелі ESPHome.

```
logger:
  baud_rate: 115200
```

В наступному блоку ми активуємо API для взаємодії з Home Assistant задаємо ключ за допомогою якого будуть дані шифруватися під час передачі і встановлюємо пароль для функції оновлення через мережу OTA (Over-The-Air). API дозволяє взаємодіяти NodeMCU з ESPHome. API базується на власному протоколі TCP з використанням буферів протоколу.

```
api:
  encryption:
    key: "key"

ota:
  password: "password"
```

Цей блок включає вбудований веб-сервер на порті 80.

```
web_server:
  port: 80
```

Далі потрібно вказати мережеві параметри, де вказуємо параметри Wi-Fi мережі, для підключення пристрою. Вони є чутливі, тому самі значення містяться в іншому файлі, для безпеки. Також є налаштування резервної точки доступу (fallback hotspot) у випадку проблем з підключенням до Wi-Fi.

```
wifi:
  ssid: !secret wifi_ssid
  password: !secret wifi_password
  ap:
    ssid: "Node Fallback Hotspot"
    password: "WbAKfZXH93Ee"
```

Далі йде налаштування параметрів UART для взаємодії з модулем вимірювання, тут використовується Software Serial, щоб емулювати цифрові піни в якості UART.

```
uart:
  rx_pin: D1
  tx_pin: D2
  baud_rate: 9600
  stop_bits: 1
```

Далі в блоку *sensor* вказуємо сенсори, такі як температура і вологість (DHT) і параметри які нам потрібні від модуля PZEM004T, які потрібно передавати до Home Assistant.

```
sensor:
  - platform: dht
    pin: D5
```

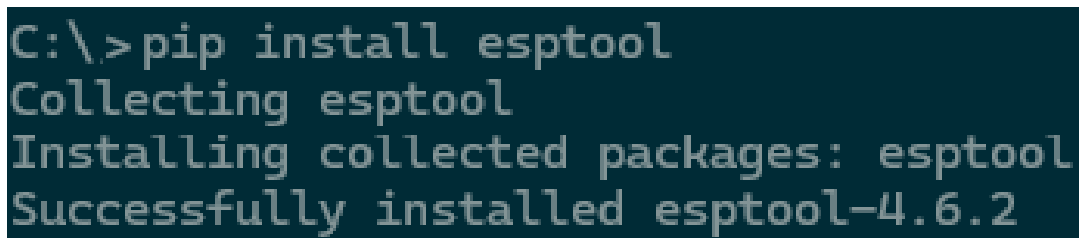
```
temperature:
  name: "Room Temperature"
humidity:
  name: "Room Humidity"
update_interval: 10s
- platform: pzemac
address: 1
current:
  name: "Current "
voltage:
  name: "Voltage"
energy:
  name: "Energy"
power:
  id: power
  name: "Power"
frequency:
  name: "Frequency"
power_factor:
  name: "Power Factor"
update_interval: 15s
```

Після написання коду, він перетворюється в прошивку, яку потрібно можливими способами завантажити на NodeMCU.

Четвертим етапом є процес завантаження скомпільованої прошивки. При прошивки перший раз, треба вручну підключити контролер до комп'ютера та за допомогою *esptool.py* [38]– незалежну від платформи утиліту

на основі Python із відкритим вихідним кодом для зв'язку із завантажувачем ПЗУ в SoC Espressif. Тобто це утиліта для прошивки мікроконтролерів ESP8266 та ESP32, які використовуються в різних проектах Інтернету речей та інших електронних пристроях. Ця утиліта дозволяє завантажувати бінарні файли програмного забезпечення на мікроконтролери, керуючи процесом прошивки. Послідовність кроків, які були виконані для прошивки контролера NodeMCU.

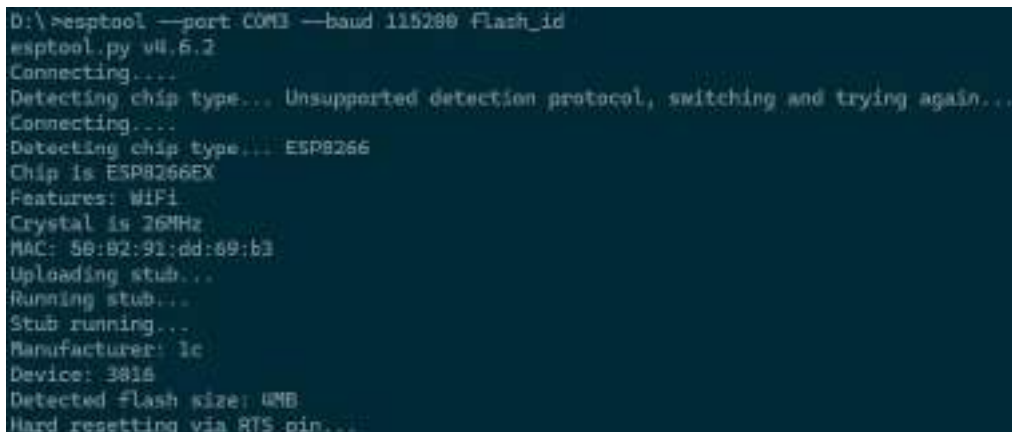
1. Підключити NodeMCU до комп'ютера через USB.
2. Завантажити утиліту *esptool.py*



```
C:\>pip install esptool
Collecting esptool
Installing collected packages: esptool
Successfully installed esptool-4.6.2
```

Рисунок 3.9 — Встановлення утиліти

3. Перевірити підключення COM порту



```
D:\>esptool --port COM3 --baud 115200 Flash_id
esptool.py v4.6.2
Connecting...
Detecting chip type... Unsupported detection protocol, switching and trying again...
Connecting...
Detecting chip type... ESP8266
Chip is ESP8266EX
Features: WiFi
Crystal is 26MHz
MAC: 58:82:91:dd:69:b3
Uploading stub...
Running stub...
Stub running...
Manufacturer: Ic
Device: 3816
Detected flash size: 4MB
Hard resetting via RTS pin...
```

Рисунок 3.10 — Перевірка підключення

4. Завантажити поточну прошивку

```

C:\Users\... \Documents\nodemcu>esptool --port COM3 read_flash 0x000000 0x400000 default.bin
esptool.py v4.6.2
Serial port COM3
Connecting...
Detecting chip type... Unsupported detection protocol, switching and trying again...
Connecting...
Detecting chip type... ESP8266
Chip is ESP8266EX
Features: WiFi
Crystal is 26MHz
Uploading stub...
Running stub...
Stub running...
0194384 (100 %)
0194384 (100 %)
Hard resetting via RTS pin...

```

Рисунок 3.11 — Бекап старої прошивки

5. Прошити контролер скопільованою прошивкою ESPHome

```

C:\Users\advs1\Documents\nodemcu>esptool --port COM3 --baud 115200 write_flash 0x000000 nodemcu.bin
esptool.py v4.6.2
Serial port COM3
Connecting...
Detecting chip type... Unsupported detection protocol, switching and trying again...
Connecting...
Detecting chip type... ESP8266
Chip is ESP8266EX
Features: WiFi
Crystal is 16MHz
MAC: 30:82:91:0d:69:b3
Uploading stub...
Running stub...
Stub running...
Configuring flash size...
Flash will be erased from 0x00000000 to 0x0007dfff...
Compressed 115904 bytes to 28148...
Wrote 315088 bytes (361882 compressed) at 0x00000000 in 32.1 seconds (effective 178.8 kbit/s)...
Hash of data verified.

Leaving...
Hard resetting via RTS pin...

```

Рисунок 3.12 — Прошивка NodeMCU

6. Перевірити працездатність пристрою в панелі ESPHome

Щоб подивитися, що пристрій працює треба перейти до панелі та переконатися, що написано «ONLINE» (Рисунок 3.13)

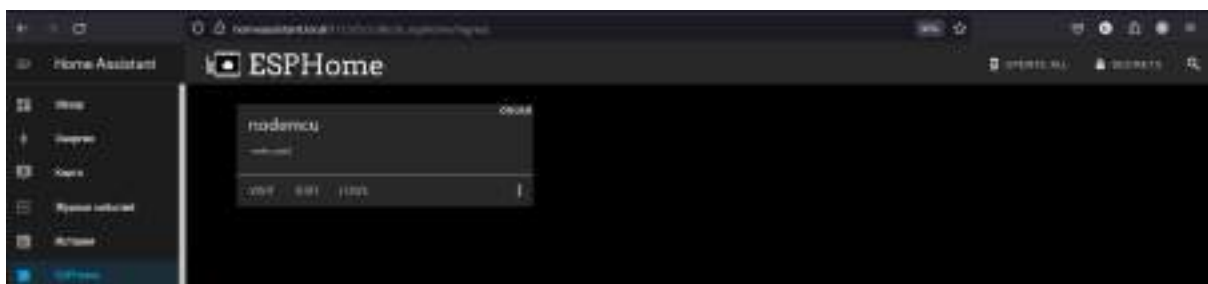


Рисунок 3.13 — Перевірка відображення пристрою

Далі при зміні конфігурації ми можемо прошивати контролер через ОТА. Прошивка через ОТА - це спосіб завантаження нової версії програмного забез-

печення на мікроконтролер безпосередньо через мережу Wi-Fi, без необхідності підключення пристрою до комп'ютера або використання проводів. Цей спосіб полегшує введення нових пристроїв та управління ними, дозволяючи змінювати їх конфігурацію та програмне забезпечення віддалено і без надмірних фізичних зусиль.

На *п'ятому етапі* можемо зайнятися конфігурацією Dashboard Home Assistant. Dashboard - це інтерактивний інтерфейс для контролю та візуалізації даних та пристроїв, підключених до вашої системи моніторингу та автоматизації Home Assistant. Dashboard дозволяє вам створювати зручні та налаштовані панелі, на яких ви можете відображати стан та керувати різними пристроями та системами. Усі пристрої та дані, які підключені до Home Assistant, відображаються як об'єкти на Dashboard. Також Home Assistant дозволяє створювати окремий Dashboard для кожної кімнати або зони у вашому приміщенні. Це робить систему ще більш зручною для вас, оскільки можна групувати пристрої та дані за функціональністю і розташовувати їх на окремих панелях.

Для створення та додавання віджетів треба перейти до вкладки «Обзор». Створити новий Dashboard або на поточному натиснути на кнопку «Змінити панель» і відкривається вікно з віджетами. Обираються потрібні об'єкти, та зберігається. Обрані об'єкти для системи показано Рисунок 3.14.

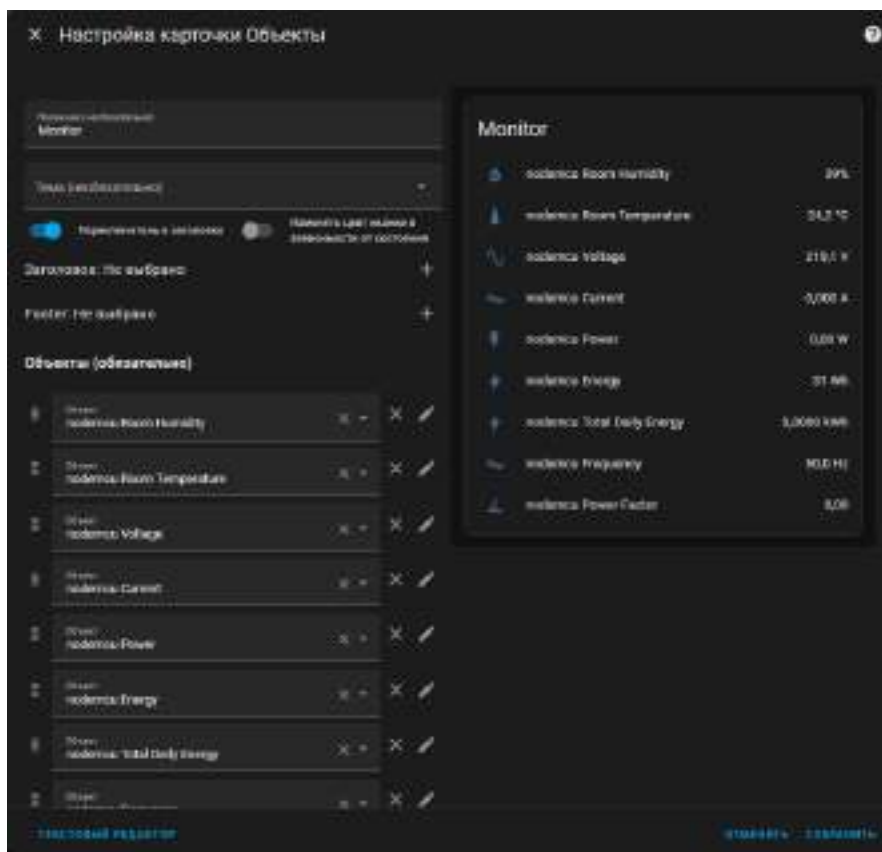


Рисунок 3.14 — Об’єкти пристрою моніторинга

На Рисунок 3.15 показано як виглядає Dashboard, на поточному етапі. Тепер ми можемо з тестового стенду підключити до електромережі. Тому на Рисунок 3.15 ми бачимо поточні параметри електромережі в квартирі.

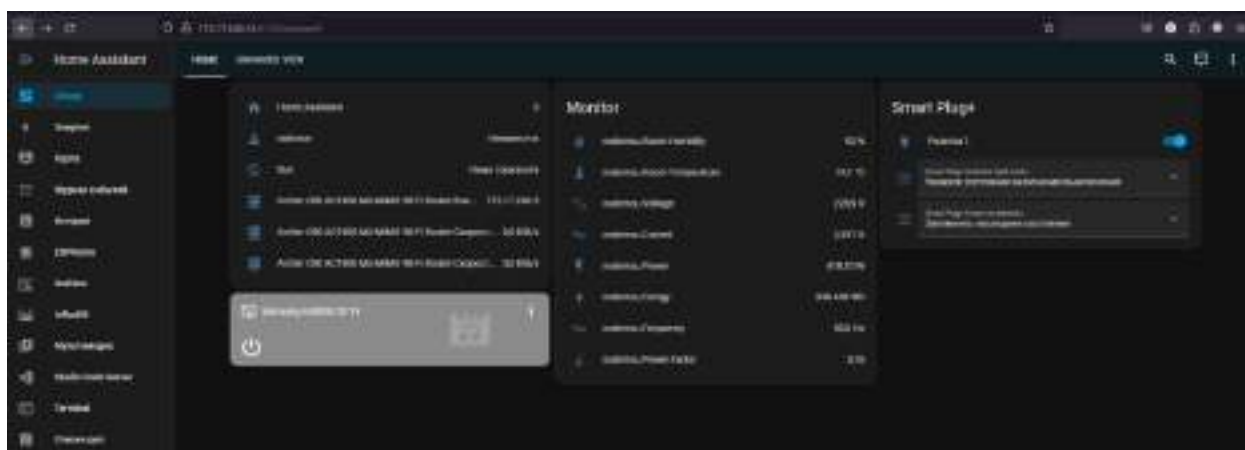


Рисунок 3.15 — Dashboard Home Assistant

На цьому етапі, реалізацію можна вважати закінченою. На Рисунок 3.15 ми можемо бачити основні параметри електромережі, де підключено модуль вимірювання.

3.3 Аналіз параметрів із обраної системи моніторингу

В першому розділі ми говорили про аналіз параметрів за допомогою методів NALM. Неінтрузивний моніторинг навантаження електроприладів представляє собою набір методів для аналізу загальних даних про енергоспоживання з метою визначення та відстеження зразків використання електроприладів у домогосподарствах. Методи NALM використовують лише загальні дані про споживання енергії, у відміну від інтрузивних методів, які потребують збору даних про окремі пристрої за допомогою інтрузивних сенсорів.

Оскільки ми маємо графіки споживання, для аналізу їх ми можемо використати цей підхід.

Спочатку вимкнемо всі можливі прилади та подивимось графіки струму, та потужності за останні 30 хвилин, без навантаження. На Рисунок 3.16 з 16:30 бачимо, що середнє базове споживання струму складає 2.5-2.6 Ампер, а потужності приблизно 450 Вт.

Далі для тесту почнемо вмикати прилади із Таблиця 3.1, зі своєю потужністю, це буде відображатися на графіках.

Таблиця 3.1 — Тестовані прилади

№	Назва приладу	Максимальна потужність	Середня напруга під час виміру	Реальна потужність з Рисунок 3.17
1	Чайник	2000-2400 Вт	223 В	≈ 1960 Вт
2	Бойлер	500-1500 Вт	225 В	≈ 940 Вт
3	Пилосос	750 Вт	227 В	≈ 950 Вт

На графіку Рисунок 3.16 ми бачимо струм увімкнених приладів з Таблиця 3.1. У кожного приладу свій струм, що відображається на графіку в різний час. Зауважимо, що графік струму для чайника має великий пік при включенні, що вказує на те, що чайник споживає значну кількість електроенергії при старті. Бойлер та пилосос мають схожий струм споживання, але паттерн споживання різний. Це можна детальніше подивитись на графіку потужності (Рисунок 3.17).

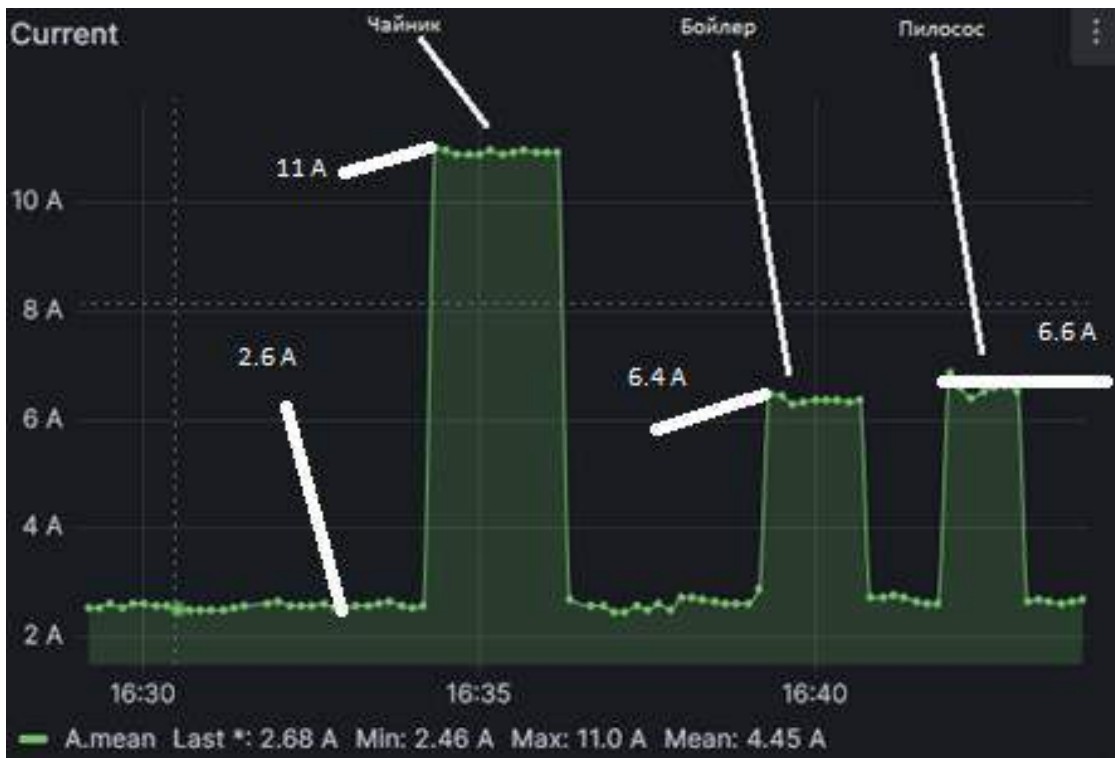


Рисунок 3.16 — Струм увімкнених приладів

На графіку потужності (Рисунок 3.17) видно, які саме прилади споживають енергію. Чайник, знову ж таки, виділяється своєю високою потужністю, яка складає 2 кВт та співпадає з графіком виміряної потужності системою моніторингу. Бойлер та пилосос, оскільки мають однаковий струм споживання, то потужність в них майже однакова. Але ми можемо розрізнити їх, на Рисунок 3.17 червоним відмічене, що при ввімкненні бойлер спочатку вмикає режим нагріву и ми бачимо мікровсплескі перед початку нагріву води. Графік потужності пилососу, нестабільний оскільки використовується індуктивний електродвигун, який при старті призводить до піку, який з часом спадає. Але це може залежати від багатьох факторів, стартовому струму, системи контролю, технічних характеристик.

Але можна помітити, що якщо середнє базове значення струму складає 2.6А, а напруги приблизно 220 – 230 В, тоді потужність складає:

$$P = U \cdot I = 225 \cdot 2.6 = 585 \text{ Ватт} \quad (3.1)$$

Але врахуємо важливий аспект, який впливає на обчислення потужності електричного пристрою - коефіцієнт потужності, який вказує на ефективність

використання електроенергії. Коефіцієнт потужності враховує фазовий зсув між струмом і напругою та може впливати на ефективність електрообладнання. З графіку на Рисунок 3.17, ми бачимо, що значення складає приблизно 447 Ватт. І це не співпадає з обчисленням з формули ($P = U \cdot I = 225 \cdot 2.6 = 585$ Ватт (3.1). Тобто можемо зробити висновок, що наш пристрій передає активну потужність, для наочності ми вирахуємо її $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 229 \cdot 2.56 \cdot 0.76 = 445,5$ Ватт (3.2). Візьмемо значення з графіків в один і той самий момент часу, я обрав час 16:33. Напруга дорівнює 229 В, струм 2.56А, коефіцієнт потужності з Рисунок 3.18 дорівнює приблизно 0.76, тому потужність буде:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 229 \cdot 2.56 \cdot 0.76 = 445,5 \text{ Ватт} \quad (3.2)$$

Активна потужність з Рисунок 3.17 дорівнює 447 Ватт, тобто бачимо, що система моніторингу показує нам активну потужність на графіку потужності, що приблизно ми і є значенням, що ми порахували в $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 229 \cdot 2.56 \cdot 0.76 = 445,5$ Ватт (3.2).

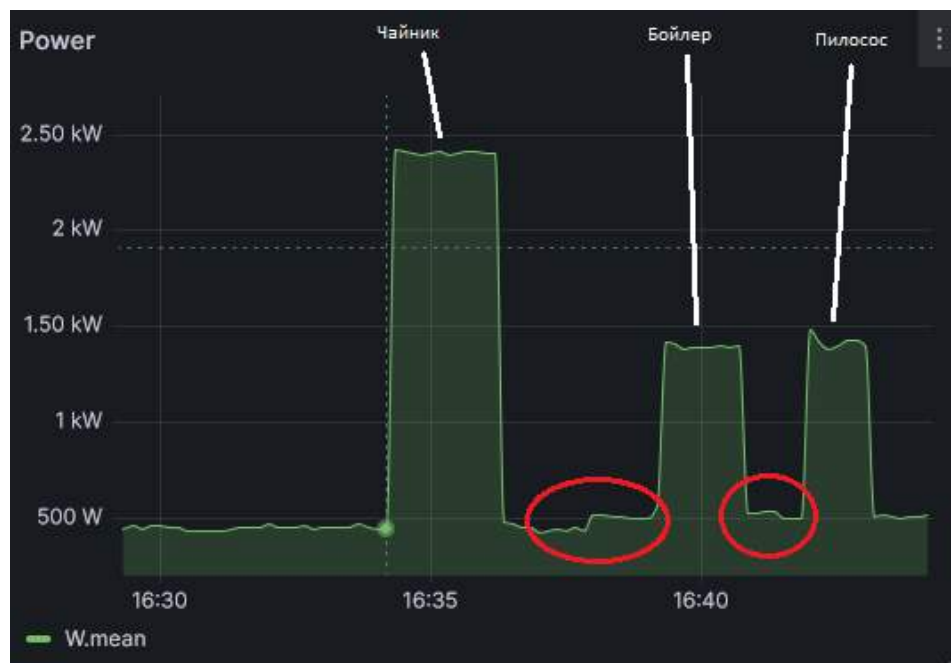


Рисунок 3.17 — Потужність увімкнених приладів

Графік коефіцієнта потужності (Рисунок 3.18) може допомогти визначити, наскільки ефективно використовується електроенергія. Для наочності

порівняння червоними лініями позначено часові рамки увімкнених приладів. Коефіцієнт потужності вказує на ступінь використання активної потужності в електричній мережі. Ідеально, коли коефіцієнт потужності рівний 1, що свідчить про повністю активне споживання енергії. Якщо коефіцієнт потужності нижче 1, це може свідчити про втрати енергії в системі.

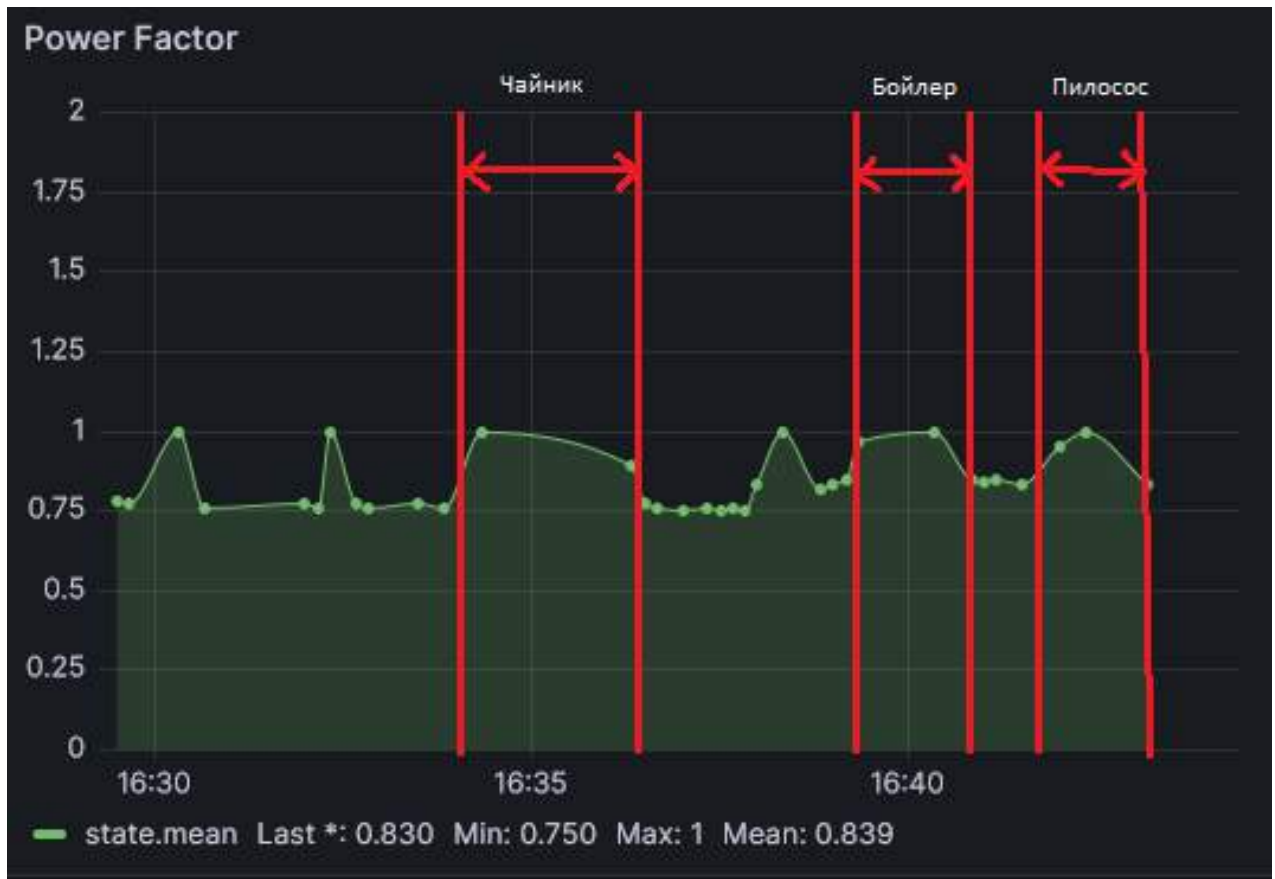


Рисунок 3.18 — Коефіцієнт потужності увімкнених приладів

На графіку напруги (Рисунок 3.19) видно, що в періоди увімкнення приладів напруга падає. Це може бути пояснено індуктивними та реактивними властивостями деяких електроприладів. Спад напруги під час увімкнення та роботи приладу відбувається через те, що прилад споживає струм, який створює додатковий опір у ланцюзі. Цей опір призводить до падіння напруги на приладі, а також на інших приладах, під'єднаних до того самого ланцюга. У випадку з чайником, потужність нагрівального елемента пропорційна силі струму, що протікає через нього. Це означає, що чим більша сила струму, що протікає через нагрівальний елемент, тим більша потужність нагрівального

елемента. Таким чином, можна сказати, що спад напруги на приладі відбувається через те, що прилад споживає більше потужності.



Рисунок 3.19 — Напруга увімкнених приладів

Отже, аналізуючи дані з графіків струму, потужності, коефіцієнта потужності, напруги, та часу роботи, ми можемо зробити висновки про енергоспоживання різних приладів. Це дозволяє ефективніше аналізувати використання електроприладів, зменшувати витрати енергії та сприяти створенню більш енергоефективного середовища.

3.4 Основні переваги обраної системи моніторингу

Одним із ключових елементів ефективності системи моніторингу є база даних, інтегрована в Home Assistant. Ця база даних за замовчуванням зберігає параметри, які передаються до Home Assistant., надаючи користувачам можливість проведення аналізу змін параметрів у часі. Використовуючи функціонал бази даних Home Assistant, користувачі можуть візуалізувати дані електроспоживання з метою виявлення довгострокових тенденцій і коливань параметрів електромережі в різні періоди часу. Це включає в себе аналіз сезонних змін, виділення пікових навантажень і виявлення аномалій у роботі електросистеми. Отримані результати аналізу ефективності системи моніторингу дають змогу виокремити ключові фактори, що впливають на оптимізацію енер-

госпоживання. Ця інформація має стратегічне значення для ухвалення обґрунтованих рішень з управління електроенергією, забезпечуючи більш ефективне функціонування електромережі.

На Рисунок 3.20 ми можемо бачити, як змінювалася напруга, під час тестування системи.



Рисунок 3.20 — Графік напруги

Система Home Assistant забезпечує просту інтеграцію датчиків, що вимірюють різні параметри електромережі. Наприклад, температурні датчики, датчики руху, і вологості можуть бути легко включені в систему для додаткового моніторингу та аналізу умов навколишнього середовища.

Інтеграція розумних розеток і керованих приладів також є ключовою особливістю системи Home Assistant. Це дає змогу не тільки відстежувати споживання енергії під'єднаних пристроїв, а й керувати ними віддалено. Такий функціонал сприяє ефективному управлінню електроспоживанням і підвищенню загальної енергоефективності.

Важливим аспектом системи Home Assistant є її висока гнучкість і розширюваність. Можливість інтегрувати нові датчики, розумні розетки та прилади робить систему адаптивною до зростання потреб користувача. Це важливо в умовах швидкого розвитку технологій і появи нових розумних пристроїв на ринку.

У підсумку, система моніторингу з використанням Home Assistant надає чудові можливості для моніторингу електроенергії та управління розумними пристроями, що робить її кращою і гнучкішою порівняно з іншими розглянутими системами.

3.5 Перспективи розвитку обраної системи моніторингу

Оскільки система Home Assistant має можливість зберігання історичних даних, що відкриває перспективи для застосування алгоритмів машинного навчання. Наприклад, автоматичне виявлення аномалій у роботі електричних мереж, оптимізація енергоспоживання залежно від часу доби або зовнішніх умов.

Однією з потенційних сфер застосування є аналіз споживання електроенергії пристроїв у будинку. З використанням неінтрузивних методів спостереження, таких як опрацювання даних з датчиків, можна розробляти алгоритми, що автоматично ідентифікують та аналізують роботу різних приладів.

Застосування алгоритмів машинного навчання також може бути спрямоване на створення системи передбачення споживання електроенергії. З урахуванням накопичених даних, система може навчатися передбачати майбутнє споживання, що корисно для оптимізації енергоспоживання та управління електричними пристроями.

Home Assistant надає можливості для налаштування алертів на основі параметрів електромережі. Користувач може встановити порогові значення у разі перевищення встановлених значень, система генерує попередження або сповіщення, що дає змогу оперативне реагувати на зміни в електричній мережі.

У перспективі реалізація системи моніторингу на базі Home Assistant може бути поліпшена впровадженням додаткових функцій, таких як:

- Інтеграція з ширшим спектром розумних пристроїв.
- Розвиток користувацького інтерфейсу для більш зручного моніторингу.
- Створення розширених звітів і графіків для аналізу енергоспоживання.
- Налаштування сповіщень, при перевищенні значень.
- Впровадження можливостей віддаленого управління електричними пристроями.

Ці поліпшення можуть зробити систему ефективнішою, зручнішою у використанні та адаптованою до різноманітних потреб користувачів.

ВИСНОВКИ

Система моніторингу є актуальним рішенням для впровадження в електроенергетичних системах різного призначення, включаючи промислові, житлові та комерційні об'єкти. Вона може бути успішно використана в сучасних смарт-грід та інших технологічно орієнтованих галузях. Впровадження системи моніторингу сприяє ефективному використанню ресурсів, зменшенню витрат енергії та підвищенню стійкості електромережі та контролю енергоспоживання, що має позитивний вплив на розвиток.

У ході дослідження було проаналізовано методи вимірювання основних параметрів електромережі, методи моніторингу, які будують основу аналізу електромереж. Розглянуто три способи реалізації системи моніторингу, які відрізняються між собою, але виконують потрібну функцію. І обґрунтовано обраний найкращий спосіб реалізації системи моніторингу для . І загалом розроблено систему моніторингу електричної мережі в приміщенні, яка відповідає актуальним потребам і вимогам. Мета роботи полягала не лише в розробці ефективної системи моніторингу, але й у створенні гнучкої та інтегрованої платформи. Застосування концепції Internet of Things надає системі можливість взаємодії з іншими "розумними" пристроями у приміщенні. Це розширює горизонти використання, дозволяючи впроваджувати розроблену систему моніторингу електричної мережі в умови сучасних концепціях Smart Home.

Враховуючи зазначені висновки, можна стверджувати, що впровадження системи моніторингу електромережі відповідає сучасним вимогам та сприяє оптимізації електроенергетичних процесів, маючи перспективи для подальшого розвитку та вдосконалення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Anh Tuan Phan. Power Systems Model Developments for Power Quality Monitoring : Application to Fundamental Frequency and Unbalance Estimation : дис. докт. / Anh Tuan Phan., 2017.
2. Електромагнітні хвилі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.yaklass.ru/p/fizika/11-klass/elektrodinamika-elektromagnitnye-kolebaniia-i-volny-6928995/fizicheskoe-opisanie-elektromagnitnykh-kolebanii-i-voln-6927513/re-a181d421-7808-45>.
3. Система рівнянь Максвелла [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://zaochnik.ru/blog/uravneniya-maksvella-bolshe-chem-prosto-uravneniya/>.
4. Параметры качества электроэнергии [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://electrozamer.ooo/vidi-rabot/zameri-parametrov-kachestva-electroenergii>.
5. Датчик тока Холла [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://aliexpress.ru/item/1005005561819912.html?sku_id=12000033551948778&spm=a2g2w.productlist.search_results.5.3fd326baPctrpn.
6. Как устроены и работают датчики тока на эффекте Холла [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://electricalschool.info/spravochnik/apparaty/2799-datchiki-toka-na-effekte-holla.html>.
7. Датчик тока ACS712 30A [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mini-tech.com.ua/datchik-toka-ac712-20a-modul>.
8. ZMPT101B SINGLE PHASE AC VOLTAGE SENSOR MODULE [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

<https://mikroelektron.com/Product/ZMPT101B-Single-Phase-AC-Voltage-Sensor-Module/>.

9. Smart-maic [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

<https://smart-maic.com/ru/>.

10. Wi-fi реле лічильник електроенергії TuYa Wifi Smart Switch під DIN рейку [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

<https://rozetka.com.ua/343443955/p343443955/>.

11. Onur Tan. Privacy-Preserving Energy Management Techniques and Delay-Sensitive Transmission Strategies for Smart Grids : дис. докт. / Onur Tan., 2016.

12. G. W. Hart, “Nonintrusive appliance load monitoring,” Proceedings of the IEEE, vol. 80, no. 12, pp. 1870–1891, Dec. 1992.

13. Electrical Energy Monitoring and Control System In Boarding Rooms Based On The Internet of Things. URL:

https://www.researchgate.net/publication/366388832_Electrical_Energy_Monitoring_and_Control_System_In_Boarding_Rooms_Based_On_The_Internet_of_Things.

14. Интернет вещей: как работает и где используют [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://lpgenerator.ru/blog/chto-takoe-internet-veshchej/>.

15. The Internet of things (IoT) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.linkedin.com/pulse/internet-things-iot-%C5%9Fahin-meri%C3%A7>.

16. Internet of Things, IoT, M2M Global Market [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://tadviser.com/index.php/Article:Internet_of_Things,_IoT,_M2M_\(Global_Market\)](https://tadviser.com/index.php/Article:Internet_of_Things,_IoT,_M2M_(Global_Market)).

17. Измерение напряжения сети с помощью микроконтроллера [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

<https://uralchip.ru/elektrika/izmerenie-napryazeniya-seti-s-pomoshhyu-mikrokontrollera>.

18. Основные погрешности АЦП [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://litvinov.ftf.kubsu.ru/Docs/4%20lab%20Metrology/L4-5.htm>.

19. Метод реалізації системи моніторингу електромережі в приміщенні [Електронний ресурс] / Сидоров Дмитро Вікторович. – 2023. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-1499/>.

20. Измеритель параметров потребляемой энергии PZEM-004T v3.0 100A [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.minitech.com.ua/izmeritel-potrebleniya>.

21. V98XX Datasheet [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://blog.danman.eu/wp-content/uploads/2020/12/v98xx.pdf>.

22. Peacefair-PZEM-004T [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://github.com/TheHWcave/Peacefair-PZEM-004T/blob/main/PZEM004T-orig.pdf>.

23. PZEM-004T V3.0 User Manual [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://innovatorsguru.com/wp-content/uploads/2019/06/PZEM-004T-V3.0-Datasheet-User-Manual.pdf>.

24. Wi-Fi модуль NodeMCU V3 ESP8266 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://arduino.ua/ru/prod1492-wi-fi-modyl-nodemcu-esp8266>.

25. ESP8266 Introduction. Gist. URL: <https://gist.github.com/jonathanbarton/cad49b9935ca7571461d>.

26. ESP8266 Pinout, Datasheet, Features & Applications [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.theengineeringprojects.com/2018/08/esp8266-pinout-datasheet-features-applications.html>.

27. IEEE 802.11 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11.

28. Бездротові технології передачі даних Wi-Fi, Bluetooth та ZigBee. Бездротові технології передачі даних wi-fi, bluetooth та zigbee. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bezdrotovi-tehnologiyi-peredachi-danih-wi-fi-bluetooth-ta-zigbee/viewer>.
29. Bluetooth. Википедия – свободная энциклопедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>.
30. ZigBee – Вікіпедія. Вікіпедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/ZigBee>.
31. Get started with InfluxDB Cloud. InfluxData Documentation. URL: <https://docs.influxdata.com/influxdb/cloud/get-started/>.
32. Grafana Cloud documentation. Grafana Labs. URL: <https://grafana.com/docs/grafana-cloud/>.
33. Home Assistant 101. Посібник для початківців. URL: <https://dou.ua/forums/topic/38947/>.
34. Installation. Home Assistant. URL: <https://www.home-assistant.io/installation/>.
35. Основные сведения о протоколе UART. URL: https://www.rohde-schwarz.com/cac/products/test-and-measurement/essentials-test-equipment/digital-oscilloscopes/understanding-uart_254524.html.
36. Windows. Home Assistant. URL: <https://www.home-assistant.io/installation/windows>.
37. VMware Workstation – Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/VMware_Workstation.
38. Configuration. Home Assistant. URL: <https://www.home-assistant.io/docs/configuration/>.
39. NTP – Вікіпедія. Вікіпедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/NTP>.
40. GitHub - espressif/esptool: Espressif SoC serial bootloader utility. URL: <https://github.com/espressif/esptool>.

ДОДАТОК А

esphome:

name: nodemcu

friendly_name: nodemcu

esp8266:

board: nodemcuV2

framework:

version: recommended

time:

- platform: sntp

id: my_time

timezone: "CET-2CEST,M3.5.0,M10.5.0/3"

servers: "ua.pool.ntp.org"

logger:

baud_rate: 115200

api:

encryption:

key: "key"

ota:

password: "password"

web_server:

port: 80

wifi:

ssid: !secret wifi_ssid

password: !secret wifi_password

ap:

ssid: "Node Fallback Hotspot"

password: "WbAKfZXH93Ee"

captive_portal:

uart:

rx_pin: D1 #GPIO4

tx_pin: D2 #GPIO5

baud_rate: 9600

stop_bits: 1

sensor:

- platform: dht

pin: D5

temperature:

name: "Room Temperature"

humidity:

name: "Room Humidity"

update_interval: 10s

- platform: pzemac

address: 1

current:

name: "Current"

voltage:

name: "Voltage"

energy:

name: "Energy"

power:

id: power

name: "Power"

frequency:

name: "Frequency"

power_factor:

name: "Power Factor"

update_interval: 20s