

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра комп'ютерної інженерії та кібербезпеки

(повне найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ЛІЧИЛЬНИК ЕНЕРГІЇ НА БАЗІ
МІКРОКОНТРОЛЕРА NODEMCU ESP8266

INTELLIGENT ENERGY METER BASED ON THE NODEMCU
ESP8266 MICROCONTROLLER

спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Комп'ютерна інженерія

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти

групи КІ-42

Гаківник Іван Миколайович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Гринюк Сергій Васильович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

« 19 » червня 2024 р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Лавренчук Світлана Василівна

(підпис)

Луцьк – 2024 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та кібербезпеки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 12 Інформаційні технології

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

проф. Н.Черняшук

« 10 » 01 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Гаківнику Івану Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи *Інтелектуальний лічильник енергії на базі мікроконтролера NodeMCU ESP8266*

Керівник роботи *к.т.н., доцент Гринюк Сергій Васильович*

затвержені наказом закладу вищої освіти від «30» грудня 2023 року № 459/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи 11.06.2024р.

3. Вихідні дані до роботи *Джерелом розробки є науково-технічна література та публікації в періодичних виданнях з даного питання, опубліковані зарубіжні та вітчизняні роботи в даній області та різні інтернет-ресурси технічного спрямування*

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

Вступ

Аналіз проблеми за темою роботи та постановка завдань, дослідження існуючих методів та засоби проведення дослідження, розробка розумного лічильника

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Аналіз проблеми за темою роботи та постановка завдань дослідження</i>	<i>Гринюк С.В., доцент</i>		
<i>Теоретичне дослідження та практична реалізація</i>	<i>Гринюк С.В., доцент</i>		
<i>Практична реалізація об'єкта проектування</i>	<i>Гринюк С.В., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Багнюк Н.В., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Лавренчук С.В., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>	_____ %		
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Міскевич О.І., асистент</i>		

7. Дата видачі завдання 10.01.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Проведення огляду літератури із досліджуваної проблеми</i>	до 15.02.2024 р.	Виконано
2.	<i>Проведення аналізу ринку розумних лічильників</i>	до 15.03.2024 р.	Виконано
3.	<i>Розробка інтелектуального лічильника для моніторингу енергоспоживання</i>	до 04.05.2024 р.	Виконано
4.	<i>Висновки та пропозиції</i>	до 07.05.2025 р.	Виконано
5.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	до 10.05.2024 р.	Виконано
6.	<i>Формування додатків</i>	до 15.05.2024 р.	Виконано
7.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	до 20.05.2024 р.	Виконано
8.	<i>Нормоконтроль</i>	до 01.06.2024 р.	Виконано
9.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	до 04.06.2024 р.	Виконано
10.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	до 11.06.2024 р.	Виконано

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Гаківник І.М..

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Гринюк С.В.

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Гаківник І. М. Інтелектуальний лічильник енергії на базі мікроконтролера NodeMCU ESP8266. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Комп'ютерна інженерія» спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2024. 49 с.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел.

Перший розділ присвячено огляду предметної області, тут проведено аналіз ринку наявних рішень, таких як розумні лічильники.

В другому розділі здійснено вибір та обґрунтування апаратних компонентів лічильника, а саме плати NodeMCU ESP8266 та датчика струму ACS712.

Третій розділ присвячено опису розробки інтелектуального лічильника для вимірювання та моніторингу споживання електроенергії за допомогою хмарних платформ IoT.

Ключові слова: мікроконтролер, датчик, лічильник, IoT.

ANNOTATION

Gakivnyk I. M. Intelligent energy meter based on the NodeMCU ESP8266 microcontroller. Manuscript.

Bachelor's qualifying thesis of the OP «Computer Engineering» specialty 123 Computer Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2024. 49 p.

The qualification work consists of an introduction, three sections, conclusions, and a list of used sources.

The first section is dedicated to the overview of the subject area, here the market analysis of existing solutions, such as smart meters, is carried out.

In the second section, the selection and justification of the hardware components of the meter, namely the NodeMCU ESP8266 board and the ACS712 current sensor, were made.

The third chapter is devoted to the description of the development of a smart meter for measuring and monitoring electricity consumption using IoT cloud platforms.

Keywords: microcontroller, sensor, counter, IoT.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ	6
1.1 Концепція розумної енергії	6
1.2 Аналіз розумних лічильників	9
РОЗДІЛ 2 ВИБІР АПАРАТНОЇ ПЛАТФОРМИ ТА СЕРЕДОВИЩА ПРОГРАМУВАННЯ	18
2.1 Вибір мікроконтролера	18
2.2 Датчик струму ACS712	27
2.3 Програмування ESP8266 через Arduino IDE	29
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	32
3.1 Принципова схема лічильника енергії на базі NodeMCU.....	32
3.2 Хмарна пплтформа Adafruit IO для моніторингу енергії.....	33
3.3 Програмування NodeMCU ESP8266	39
3.4 Тестування системи.....	43
ВИСНОВКИ	44
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Протягом багатьох років «розумна» енергетика розвивалася, охоплюючи різні сфери, інтегруючись у різні технології, такі як електроенергетика, «розумні» мережі та логістика, взаємопов'язуючись з комунікаційними технологіями та цілісно обробляючись у хмарі для вирішення глобальних проблем.

Досягнення в галузі сенсорних, комунікаційних та обчислювальних технологій дозволяють краще впроваджувати «розумні» системи. В інтелектуальних енергетичних системах технологія зондування охоплює багато сфер, а нові методи є більш точними, мають ширший динамічний діапазон і є більш надійними. Аналогічно, комунікаційні технології розвиваються в напрямку дуже швидких, гнучких і динамічних систем.

Системна інтеграція переросла в парадигми контролю, автоматизації та аналізу. Таким чином, інтелектуальні енергетичні системи зазнають революційних змін.

У випадку «розумних» лічильників, компоненти обліку повинні розширюватися на основі досягнень, що пропонуються для задоволення потреб енергетичної екосистеми, що розвивається. Інтернет речей (IoT) є ключовим технологічним інструментом у цьому сценарії, а «розумні» лічильники – ключовим компонентом. За останні роки технологія лічильників зросла як з точки зору складності, так і з точки зору функціональності. Тому для виконання своєї нової ролі вони повинні використовувати досягнення, запропоновані Інтернетом, щоб виконувати свою нову роль.

Таким чином, «розумні» лічильники – це комбінація датчиків, обчислювальних і комунікаційних вузлів для гнучкої та складної парадигми проектування.

Метою роботи є розробка інтелектуального лічильника енергії на базі ESP8266.

Об'єкт дослідження – системи вимірювання та моніторингу споживання електроенергії на базі мікроконтролера.

Предмет дослідження – програмно-апаратні методи та засоби побудови «розумних» лічильників.

Завдання, які необхідно виконати :

– Здійснити аналіз відомих рішень «розумних» лічильників електроенергії.

– Провести вибір апаратних компонентів та платформ, необхідних для реалізації даного проекту.

– Створення інтелектуального лічильника енергії на базі ESP8266.

РОЗДІЛ 1

АНАЛАЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Концепція розумної енергії

Енергетика є важливим компонентом у сучасному світі. Для підвищення ефективності та функціональності енергетичних, інформаційних та комунікаційних технологій, інтеграція стала ключовим фактором. Енергетика є складною, багаторівневою і багатовимірною галуззю, аналогічно інтеграції ІКТ, що призвела до розвитку «розумної» енергетики [1].

Парадигма «розумної» енергетики формувалася протягом багатьох років і включає різноманітні технології, такі як «розумна» мережа, автоматизована інфраструктура обліку, управління активами, енергетичний мікс, відновлювані джерела енергії, міжгалузевий контроль та інтеграція, наприклад, у плануванні логістики палива та інше. Термін «розумна енергетика» має різні значення, але він відображає зміну парадигми від секторного підходу. У дослідженні зазначено декілька варіантів використання терміну «розумна енергетика» і класифіковано їх у два напрямки, де перший акцентується на «розумних» мережах, а потім на їх розширеннях [2].

«Розумна» енергетика зараз являє собою міжгалузеву інтеграцію, контроль та оптимізацію [3], які в кінцевому підсумку підвищують ефективність і забезпечують безпрецедентну функціональність, таку як забезпечення більш розумного життя [4], розвиток, орієнтований на людину [5] тощо. У такій розвиненій і різноманітній системі систем компоненти, які забезпечують функціональність, також розвиваються і потребують більшої функціональності, є більш інтегрованими в сенсі зв'язку і більш інтелектуальними [6]. Ці характеристики впливають з того факту, що інтегроване ціле є більшим, ніж сума частин. Більша функціональність необхідна, оскільки кожен вузол або компонент тепер повинен збирати більше інформації; більша інтеграція необхідна через більший попит на інформаційний потік, як з точки зору змісту, так і з точки зору призначення; і, нарешті, інтелект необхідний для управління

складністю і для забезпечення нових функціональних можливостей. Таким чином, кожен компонент складної системи, такої як «розумна» енергетика, також повинен розвиватися. Компоненти «розумної» енергетики включають генерацію, розподіл, облік, обчислення, зв'язок тощо. Сценарій представлений на рисунку 1.1, який представляє «розумну» енергетику та її семантику в центрі, пов'язану з різними областями та функціями в енергетичній парадигмі.

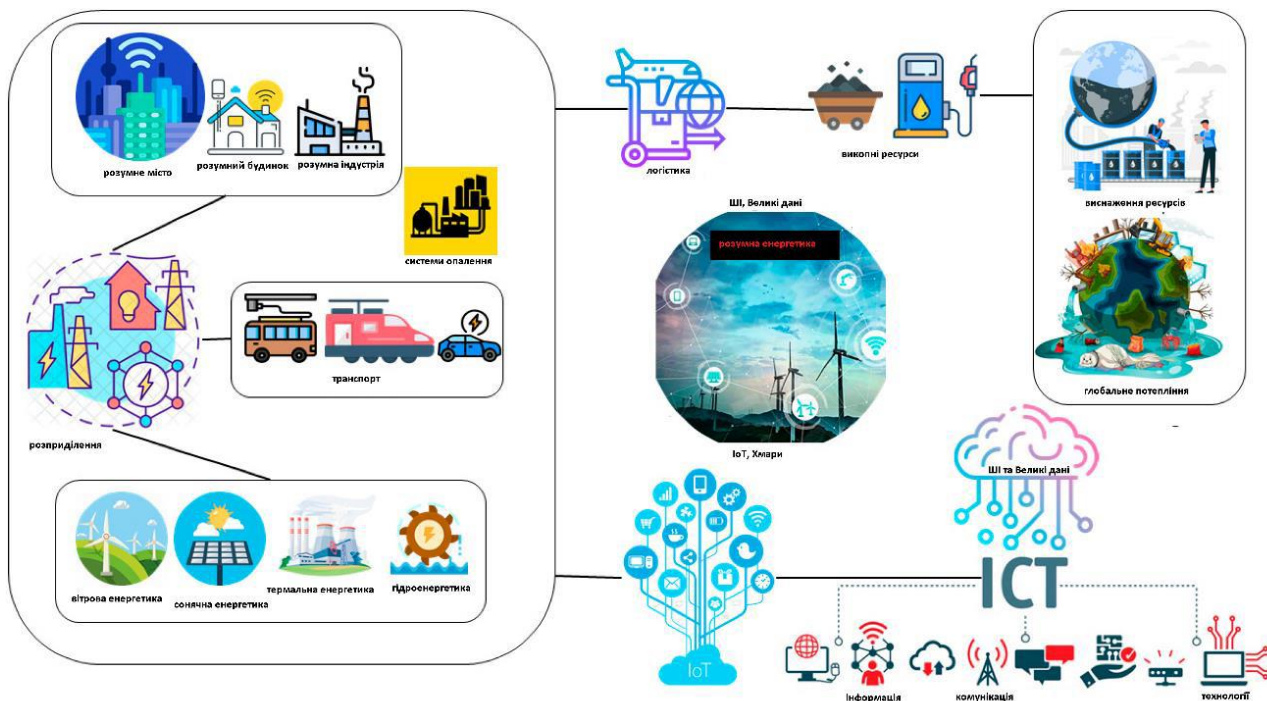


Рисунок 1.1 – Концепція розумної енергетики

Сценарії генерації, розподілу та споживання укладені в рамки. ІоТ використовується для визначення та контролю різних компонентів системи. ІКТ та ШІ використовуються для управління загальною системою для вирішення великих завдань.

Облік є важливою функцією інтелектуальних енергетичних систем і дозволяє точно оцінити стан системи [7]. Інтелектуальний лічильник є одним з основних компонентів сучасних енергетичних систем і забезпечує функціональність обліку.

Як правило, інтелектуальний лічильник складається з підсистем зондування, обчислення та зв'язку. Кожен з компонентів зазвичай визначається

для енергетичного сектору, в якому лічильник буде експлуатуватися. Однак для сценарію «розумної» енергетики потрібен все більш високий рівень інтеграції.

Обчислювальні та комунікаційні технології розвивалися блискавично протягом багатьох років, керуючись законом Мура [8]. Це призвело до мініатюризації обчислювального простору, розширення функціональності та збільшення швидкості зв'язку, що призвело до складних конструкцій та множинності завдань для обчислювальних платформ, які в наш час еволюціонували від простих мікроконтролерів до складних одноплатних комп'ютерів для вбудованої області, в якій відбувається розробка інтелектуального лічильника.

Відповідно, можливості операційної системи також розширилися, і прості вимірювання та звітність поступилися місцем просунутим розробкам на основі штучного інтелекту для різних розширених функцій, таких як виявлення несанкціонованого втручання, неінтрузивний моніторинг навантаження, зняття пікових навантажень, оцінка роботи мережі тощо.

Таким чином, архітектура та дизайн «розумного» лічильника стали різноманітними через потреби додатків, які варіюються в різних функціональних областях.

Аналогічно, еволюція обчислювального обладнання приносить з собою гнучкість і, як наслідок, складність у конфігурації та програмному забезпеченні. Для огляду обчислювальної інфраструктури в інтелектуальному лічильнику знову доречно порівняти її з еволюцією обчислювальних пристроїв, що дозволить вказати на очевидні прогалини і втрачені можливості.

Системи зв'язку еволюціонували до рівня зміни парадигми. З впровадженням 4G в стільниковий зв'язок проникли досі недосліджені концепції, відкривши нові парадигми, особливо в конфігурованості і програмованості, які можна оптимізувати на льоту відповідно до основної ситуації і застосування. Інтеграція таких засобів зв'язку в «розумні» лічильники може відкрити нові перспективи в застосуванні.

Нарешті, складність базового обладнання призвела до впровадження програмних стеків для спрощення розробки та експлуатації сенсорного вузла. До них відносяться операційні системи, середовища розробки, налаштування крос-ланцюгової розробки, мови програмування і середовища виконання, бібліотеки спеціального призначення і стеки для комунікаційних протоколів, які спрощують все більш складні завдання розробки вузла на основі IoT.

Огляд таких інструментів в області розумних лічильників є виправданим через зростаючу складність і широкий спектр застосування.

1.2 Аналіз розумних лічильників

На ринку існує кілька різних типів систем обліку показань лічильників, які пропонуються споживачам. Деякі з них використовують технології «розумного» виміру, що дозволяють збирати дані про споживання електроенергії в більш автоматизований спосіб.

Розумні лічильники, також відомі як інтелектуальні лічильники або «розумні» лічильники, складаються з електронних компонентів і не мають рухомих механічних частин.

На відміну від звичайних лічильників, він має розширені функції. Окрім вимірювання споживання електроенергії, ви також можете виконувати наступні функції [4]:

- Надсилати індикатори потужності безпосередньо своєму постачальнику.
- Розрахувати споживання електроенергії в різних добових зонах.
- Вимірювання параметрів мережі, наприклад напруги.
- Захист від значних коливань напруги.
- Повідомити енергокомпанії про аварійні ситуації на мережі.
- Відображає інформацію про борг та інші дані.
- Зберігає інформацію в пам'яті лічильника протягом тривалого часу для подальшої обробки та аналізу.

Розумний лічильник Smart-МАС D105-10 (рис. 1.2) є не тільки технологічною новинкою, але й важливим кроком у напрямку енергоефективності та оптимізації споживання ресурсів. Цей лічильник забезпечує економію електроенергії, зручність у користуванні та зменшення негативного впливу на довкілля.



Рисунок 1.2 – Лічильник Smart-Мас D105-10 [8]

Завдяки передаванню показників безпосередньо до постачальників, лічильник дозволяє уникнути проблеми з несвоєчасним надходженням показників та забезпечує точність обліку споживання електроенергії. Це сприяє уникненню спорів та непорозумінь між споживачами та постачальниками.

Розумний лічильник також забезпечує безпеку та надійність електричних мереж. Він може виявляти критичні коливання напруги та аварійні ситуації, що сприяє запобіганню можливим пошкодженням обладнання та забезпечує безпеку споживачів. Також він може аналізувати температуру, вологість, тиск, CO₂, TDS, рН та інші ресурси та події.

Для аналізу та візуалізації даних доступний хмарний веб-застосунок smart-MAIC Dashboard (рис. 1.3), який можна використовувати з будь-якого пристрою,

такого як смартфон, планшет або комп'ютер, незалежно від операційної системи (Windows, Android або iOS).



Рисунок 1.3 – Застосунок Smart-Mac D105-10 [5]

Користувач може налаштувати віджети, індикатори та графіки за своїми потребами, а також використовувати різноманітні інформаційні панелі та підключати пристрої до одного облікового запису. Усі зібрані дані зберігаються на хмарному сервері з докладним рівнем деталізації. Показники з лічильників оновлюються в режимі реального часу з інтервалом 5 секунд, що дозволяє оперативно отримувати актуальну інформацію. Використання цього хмарного WEB-додатка smart-MAIC Dashboard надає зручність та широкі можливості для аналізу та контролю даних, забезпечуючи гнучкість налаштувань та швидке оновлення показників. Завдяки цим функціям користувачі можуть легко керувати своїм споживанням і розуміти наскільки ефективно використовуються їхні ресурси. Ціна на розумний лічильник «Smart-Mac» залежить від моделі та функціоналу та може варіюватись від 1450 до 12950 грн [8].

Розумний лічильник E-Link SMT2 Smart (рис 1.4) – це пристрій, який дозволяє контролювати споживання електроенергії та дистанційно керувати її подачею. Він поєднує в собі функції лічильника електроенергії, автоматичного

вимикача, стабілізатора напруги та диференціального вимикача струму [9].



Рисунок 1.4 – Застосунок E-Link SMT2 Smart [9]

Пристрій має захист від перевантаження, перенапруги та надмірного струму. Завдяки додатку APP TUYA (рис 1.5) та підтримці Amazon Alexa і Google Assistant, пристроєм можна керувати як за допомогою мобільного пристрою, так і за допомогою голосу [9].

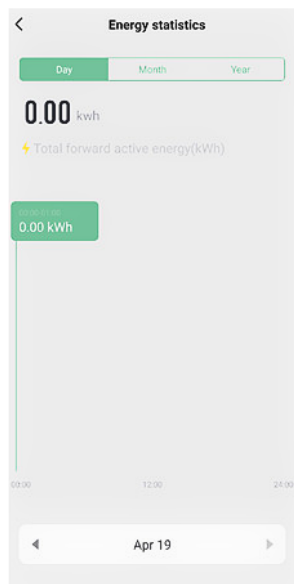


Рисунок 1.5 – Застосунок APP TUYA [6]

Підключення до мережі WI-FI є обов'язковим, оскільки дані передаються через Інтернет. Прилад може бачити всі підключені пристрої та взаємодіяти з ними через застосунок для створення сценаріїв автоматичного керування. Лічильник електроенергії компактний і монтується на DIN-рейку. На передній панелі є дисплей, кнопки керування та індикатори стану. Максимальний струм - 63 А, напруга - 220 В. Він підходить для використання в різних установах, таких як квартири, котеджі, офіси та склади. Серед інших функцій - захист від витоку струму, функція таймера, який автоматично вмикає та вимикає електрообладнання, а також автоматичне вимкнення при досягненні заданих параметрів потужності, струму та напруги. Загалом, розумний лічильник E-Link SMT2 – це простий у використанні пристрій, який забезпечує контроль за споживанням електроенергії та дозволяє дистанційно керувати електрообладнанням у домі. Ціна розумного лічильника на момент написання диплому складає 3150 грн. [9].

EM-129 – це WI-FI лічильник (рис 1.6), призначений для некомерційного обліку електроенергії. Він має такі функції, як можливість вмикати та вимикати електрообладнання (наприклад, холодильники, кондиціонери, пральні машини, телевізори тощо) програмно або вручну [10].



Рисунок 1.6 – Лічильник EM-129 [10]

Він також забезпечує захист від перевантажень живлення та різних подій, пов'язаних з напругою та частотою. Лічильник також має захист від перегріву і може комутувати навантаження до 14 кВт. EM-129 зберігає у внутрішній пам'яті журнал роботи і дані про енергоспоживання за останній місяць. Тижневий таймер можна використовувати для того, щоб заздалегідь планувати використання опалювальних і вентиляційних приладів з метою зниження енергоспоживання і економії коштів. Основні функції EM-129 включають в себе вимірювання енергоспоживання, напруги, частоти, струму і потужності, а також аварійної напруги, перевантаження по струму, перевантаження по потужності і перегріву внутрішніх елементів. EM-129 також оснащений захистом навантаження від аварійної напруги, перевантаження по струму, перевантаження по потужності і перегріву внутрішніх елементів. Крім того, він оснащений годинником реального часу з запасом живлення до п'яти днів на випадок відключення електроенергії та автоматичною синхронізацією часу з сервером точного часу (NTP).

В додатку «Oversis» (рис. 1.7) користувачі можуть налаштувати автоматичне керування навантаженням за попередньо визначеною програмою, обмежити час роботи навантаження або використовувати ручне керування навантаженням з передньої панелі. Деякі функції, такі як ручне керування, можуть бути заблоковані через певний проміжок часу [10].

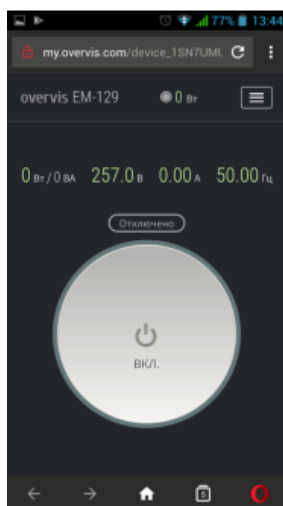


Рисунок 1.7 –Застосунок Oversis [10]

104UA SMART (рис. 1.8) є надійним та універсальним пристроєм для дистанційного передавання даних. Він забезпечує ефективну передачу і збереження інформації на віддалені сервери або системи збереження даних. Продукт пропонує надійний зв'язок через різні комунікаційні канали, такі як Ethernet, WI-FI або GSM/GPRS [11].



Рисунок 1.8 – Пристрій 104UA SMART [11]

Пристрій здатний збирати дані з різних джерел, таких як лічильники, датчики або прилади, та передавати їх на віддалений сервер. Цей пристрій має вбудований мікропроцесор та оптимізоване програмне забезпечення для оптимальної обробки та передачі даних. Також пристрій забезпечує захист переданих даних, використовуючи протоколи шифрування, такі як SSL або AES, що забезпечують конфіденційність та цілісність інформації під час передачі. Крім передачі даних, 104UA SMART надає функції контролю та керування. Він може відстежувати роботу підключених пристроїв, надсилати сповіщення про події та забезпечувати

дистанційне керування за допомогою спеціального програмного забезпечення або мобільного застосунку. 104UA SMART отримує імпульсні сигнали від лічильника та зберігає дані про об'єм спожитого газу. Він також реєструє аварійні ситуації та спроби впливу магнітного поля, які можуть спотворити покази лічильника. Зібрані дані передаються на сервер диспетчерської по каналу GPRS-зв'язку. Крім того, існує можливість дистанційного налаштування графіку виходу на зв'язок та обсягу інформації, що передається на сервер диспетчерської. Ціна пристрою на момент написання диплому складає буде 2800 грн [11].

Загалом, 104UA SMART є надійним та універсальним пристроєм, який забезпечує ефективну, безпечну та зручну передачу та збереження даних на віддалені сервери або системи збереження даних.

Модуль розширення Neptun Smart (рис 1.9) для лічильників води призначений для зчитування показань лічильників води. Модуль дозволяє зручно і точно збирати та зберігати дані про споживання води у внутрішній пам'яті.



Рисунок 1.9 – Модуль розширення 104UA SMART [11]

Модуль підтримує підключення до двох лічильників води, забезпечуючи більш гнучкі можливості вимірювання споживання води. Також він сумісний з лічильниками води стандарту NAMUR і налаштовується за допомогою спеціального програмного додатку; модуль розширення Neptun Smart можна

налаштовувати і контролювати за допомогою SST. Він налаштовується і контролюється за допомогою хмарного застосунку. Застосунок дозволяє користувачам легко налаштовувати параметри модуля та отримувати оновлені дані з лічильника води кожні 10 хвилин. З модулем розширення лічильника води Neptun Smart користувачі можуть отримувати точні та автоматизовані вимірювання споживання води. Модуль спрощує процес збору та моніторингу даних про споживання води, роблячи його більш ефективним та зручним [11].

РОЗДІЛ 2

ВИБІР АПАРАТНОЇ ПЛАТФОРМИ ТА СЕРЕДОВИЩА ПРОГРАМУВАННЯ

2.1 Вибір мікроконтролера

Мікроконтролер – це електронний пристрій, спеціально розроблений для використання у системах керування, передачі даних та управління технологічними процесами. Він має програмований характер і виконує функції керування та обробки даних, дозволяючи забезпечити оптимальну роботу різних пристроїв і систем [12].

Важливим компонентом системи є мікроконтролер, який відіграє важливу роль у забезпеченні функціональності та зв'язку. Вибір мікроконтролера залежить від конкретних потреб і вимог системи. Було проаналізовано декілька мікроконтролерів, а саме Arduino, ESP8266.

Arduino відкриває широкі можливості автоматизації різних девайсів і процесів, також він ідеальний для всіх тих, хто захоплений робототехнікою, електронікою. При цьому користувачеві не обов'язково бути програмістом і мати спеціальні знання, достатньо мати бажання, творчу ідею. З допомогою цієї апаратної платформи можна автоматизувати як елементарні процеси, і створити складні системи управління.

Існує велика кількість різних оригінальних плат Arduino, і ще більше Arduino-сумісних, створюваних великою кількістю сторонніх компаній. Вони відрізняються характеристиками встановлених мікроконтролерів, розмірами, кількістю портів введення-виведення і іншими параметрами, завдяки чому є можливість вибрати плату, максимально відповідну поставленим вимогам. Нижче представлені найбільш розповсюджені плати Arduino.

Arduino Uno R3 – пристрій, виконаний на основі мікроконтролера ATmega 16U2. До складу 14 цифрових портів IN/OUT (серед них 6 можуть використовуватися у якості ШІМ-виходів), 6 аналогових портів IN, кварцевий резонатор 16 МГц .

У складі плати Arduino наявний інтерфейс USB, який виконує роль роз'єму живлення та роз'єму для внутрішньо-схемного програмування [13].

Живлення плати можливе через спеціальний роз'єм за допомогою AC/DC-адаптера чи акумуляторної батареї. В Arduino Uno також є запобіжники для захисту USB-порту комп'ютера від коротких замикань та перевантажень.

Максимальна довжина та ширина друкованої плати Uno R3 становить 6,9 см і 54 см відповідно, з урахуванням роз'єму USB та роз'єму живлення, що виступають за межі плати. Чотири отвори для кріплення дозволяють прикріплювати плату до поверхні або корпусу. (рис. 3.1).



Рисунок 2.1 — Плата Arduino Uno R3 [13]

Arduino UNO легко програмується за допомогою Arduino IDE, де ви можете писати код мовою C/C++ для взаємодії з різними сенсорами, актуаторами та іншими електронними компонентами.

Піни Arduino використовуються для підключення зовнішніх пристроїв і можуть працювати як в режимі входу (INPUT), так і в режимі виходу (OUTPUT). До кожного входу може бути підключений вбудований резистор 20-50 кОм за допомогою виконання команди `pinMode ()` в режимі `INPUT_PULLUP`. Допустимий струм на кожному з виходів - 20 мА, не більше 40 мА в піці. Для зручності роботи деякі Піни поєднують в собі кілька функцій:

Arduino Leonardo – це плата, яка побудована на базі мікроконтролера ATmega32U4. Дана плата має роз'єм мікро-USB, роз'єм живлення, роз'єм для внутрішньосхемного програмування ICSP (In-Circuit Serial Programming) і кнопка скидання. Кількість цифрових входів і виходів 20, а аналогових - 12. Вбудована flash-пам'ять має об'єм 32 КБ, з яких чотири виділяються для завантажувача. ОЗУ пристрою 2,5 КБ, а тактова частота дорівнює 16 МГц. Відмінність Leonardo від всіх попередніх плат полягає в тому, що його USB-контролер вбудований безпосередньо в мікроконтролер ATmega32U4, що виключає необхідність в додатковому процесорі. Завдяки цьому при приєднанні до комп'ютера Leonardo може визначатися не тільки як віртуальний COM-порт, але і як звичайна миша або клавіатура (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Розпіновка Arduino UNO R3 [14]

Arduino Mega 2560 (рис. 2.4) – це пристрій на основі мікроконтролера ATmega2560.

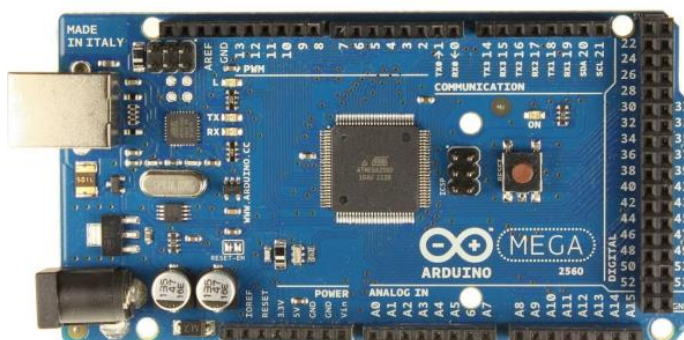


Рисунок 2.4 – Arduino Mega 2560 [15]

У його склад входить все необхідне для зручної роботи з мікроконтролером: 54 цифрових входу/виходу (з яких 15 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів), 16 аналогових входів, 4 UART (апаратних приймача для реалізації послідовних інтерфейсів), кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм ICSP для внутрішньосхемного програмування і кнопка скидання. Робоча напруга даної плати складає 5 В, об'єм флеш-пам'яті – 256 Кб, об'єм оперативної пам'яті – 8 Кб. Плати Arduino Mega використовуються там, де необхідна велика кількість входів і виходів. Мною була обрана саме ця плата для проектування системи безпеки.

Розповсюджене поширення і широка доступність Wi-Fi мереж роблять цікавим для розробника можливість реалізації у своїх проектах функції безпроводного доступу як в локальну, так і глобальну мережу. Наявність на ринку великого числа недорогих рішень, що дозволяють інтегрувати Wi-Fi робить концепцію IoT (Internet of thing, Інтернету речей) такою, що легко реалізовується навіть для початківців. Одним з «проривів» останніх років в області безпроводних рішень стала поява мікроконтролера HYPERLINK ESP8266EX від компанії Espressif Systems. Недорогий чіп з мінімумом зовнішніх компонентів дозволяє отримати повноцінне Wi-Fi рішення і має наступні характеристики:

- підтримка Wi-Fi протоколів 802.11 b/g/n з WEP, WPA, WPA2;
- підтримка режимів роботи : клієнт (STA), точка доступу (AP), клієнт+точка доступу (STA+AP);
- напруга живлення 1.7.3.6 В;
- споживаний струм: до 300 мА залежно від режиму роботи [9].

Модуль Wi-Fi ESP-12 розроблений командою Ai-thinker. Основний процесор ESP8266 в менших розмірах модуля інкапсулює Tensilica L106 об'єднує провідний у промисловості 32-розрядний мікроконтролер з наднизьким енергоспоживанням, з 16-бітовим коротким режимом, підтримкою швидкості тактової частоти 80 МГц, 160 МГц, підтримує RTOS, вбудований Wi-Fi MAC/BB/RF/PA/LNA, бортова антена. Модуль підтримує стандартну угоду

IEEE802.11 b/g/n, повний пакет протоколів TCP/IP. Користувачі можуть використовувати модулі додавання існуючої мережі пристроїв або створювати окремий контролер мережі. ESP8266 – це високотехнологічні бездротові SoC, призначені для дизайнерів мобільних платформ, що мають обмежений простір та потужність.

ESP8266 пропонує повний і автономний Wi-Fi мережеве рішення; він може бути використаний для розміщення програми або для зняття функцій мережі Wi-Fi з іншого процесора програми. Коли ESP8266EX розміщує пристрій, він завантажується безпосередньо з зовнішнього спалаху. Ін має інтегрований кеш для підвищення продуктивності системи в таких програмах. З іншого боку, виступаючи в якості адаптера Wi-Fi, бездротовий доступ в Інтернет можна додати до будь-якого дизайну на основі мікроконтролера з простим підключенням (інтерфейс SPI/SDIO або I2C/UART). Технічні характеристики ESP8266 (рис.2.5).

Categories	Items	Values
WiFi Parameters	WiFi Protocols	802.11 b/g/n
	Frequency Range	2.4GHz-2.5GHz (2400M-2483.5M)
Hardware Parameters	Peripheral Bus	UART/HSPI/I2C/I2S/Ir Remote Control GPIO/PWM
	Operating Voltage	3.0~3.6V
	Operating Current	Average value: 80mA
	Operating Temperature Range	-40°~125°
	Ambient Temperature Range	Normal temperature
	Package Size	16mm*24mm*3mm
	External Interface	N/A
	Software Parameters	Wi-Fi mode
Security	WPA/WPA2	
Encryption	WEP/TKIP/AES	
Firmware Upgrade	UART Download / OTA (via network) / download and write firmware via host	
Ssoftware Development	Supports Cloud Server Development / SDK for custom firmware development	
Network Protocols	IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP	
User Configuration	AT Instruction Set, Cloud Server, Android/iOS App	

Рисунок 2.5 – Технічні характеристики ESP8266 [16]

На рисунку 2.6 наведена структурна схема ESP8266 (ESP-12), а на рисунку 2.7 – електрична схема його підключення.

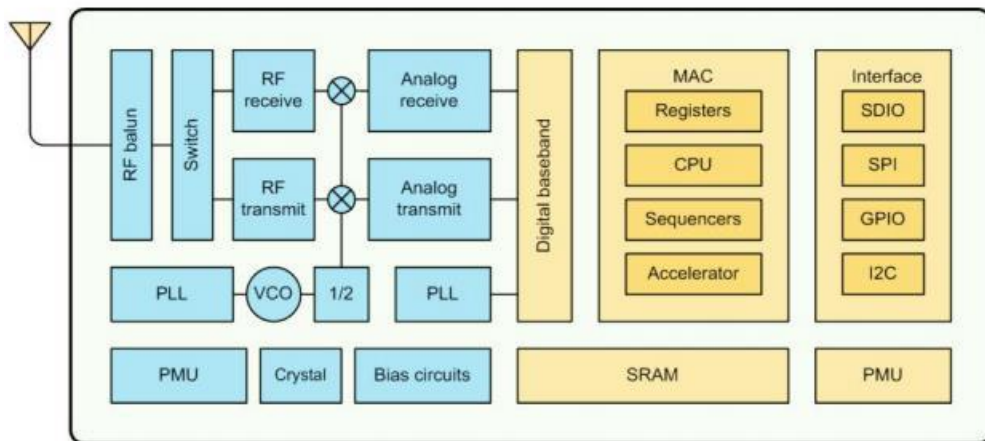


Рисунок 2.6 – Структурна схема ESP8266 (ESP-12) [16]

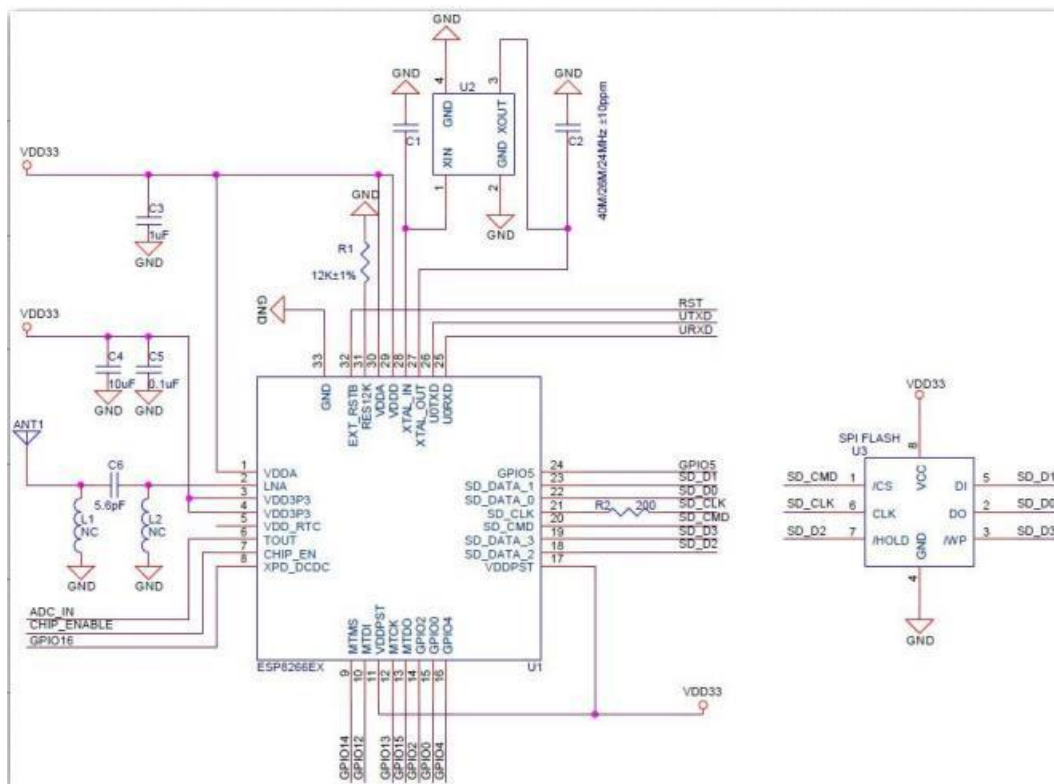


Рисунок 2.7 – Структурна електрична схема підключення ESP8266 [16]

NodeMCU – платформа на основі ESP8266 для створення різних пристроїв інтернету речей (IoT). Модуль вмiє відправляти і отримувати інформацію в локальну мережу або в інтернет за допомогою Wi-Fi. Недорогий модуль часто

використовується для створення систем розумного будинку або роботів Arduino, керованих на відстані [17].

Існує кілька поколінь плат NodeMCU – V1 (версія 0.9), V2 (версія 1.0) і V3 (версія 1.0). Позначення V1, V2, V3 використовуються при продажу в інтернет-магазинах. Нерідко відбувається плутанина в платах. Наприклад, V3 зовні ідентична V2. Також всі плати працюють за принципом open-source, тому їх можуть виробляти будь-які фірми. Але в даний час виробництвом плат NodeMCU займаються Amica, DOIT і LoLin / Wemos. На рисунку 2.8 відображено сучасну платформу NodeMCU V2.

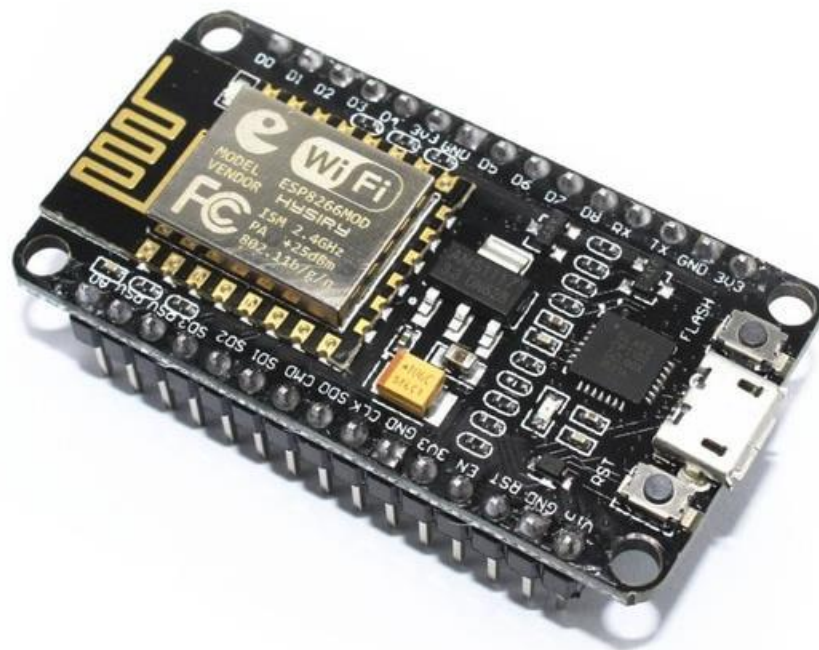


Рисунок 2.8 – Модуль NodeMCU V2 (ESP12-E) [17]

Модуль оснащений мікроконтролером ESP12-E. Всі його функціональні та технічні можливості збережені та використовуються з додатково апаратною реалізацією платформи (наприклад, з контролем перепаду напруги або збільшення максимально допустимого току).

Переваги:

- наявність інтерфейсу UART-USB з роз'ємом micro USB дозволяє легко підключити плату до комп'ютера;

- наявність флеш-пам'яті на 4 Мбайт;
- можливість оновлювати прошивку через USB;
- можливість створювати скрипти на LUA і зберігати їх в файлової системі.

Основним недоліком є можливість виконувати тільки скрипти, розташовані в оперативній пам'яті. Цього типу пам'яті мало, обсяг складає всього 20 Кбайт, тому написання великих скриптів викликає ряд труднощів. В першу чергу, весь алгоритм доведеться розділяти на лінійні блоки. Ці блоки необхідно записати в окремі файли системи [17].

Подавати живлення на модуль можна декількома способами:

- подавати 5-18 В через контакт Vin;
- 5В через USB-роз'єм або контакт VUSB. Для підключення модуля до ПК використовується USB-microUSB. Для налаштування і встановлення зв'язку модуля та ПК використовується драйвер CP2102, який вбудовано у мікросхему (рис. 2.9);
- 3,3В через пін 3В.



Рисунок .2.9 – Розташування драйверу для зв'язку з ПК та шнур, необхідний для підключення [17]

Модуль має 11 контактів введення/виведення загального призначення. Крім цього деякі з контактів мають додаткові функції:

- D1-D10 – контакти з широтно-імпульсною модуляцією (ШИМ);

- D1, D2 – контакти для інтерфейсу I²C / TWI;
- D5-D8 – контакти для інтерфейсу SPI;
- D9, D10 – протокол асинхронної передачі даних (UART);
- A0 - вхід з аналого-цифрового перетворювача (АЦП).

Опис контактів модуля NodeMCU V2 компанії Amica (рис. 2.10).

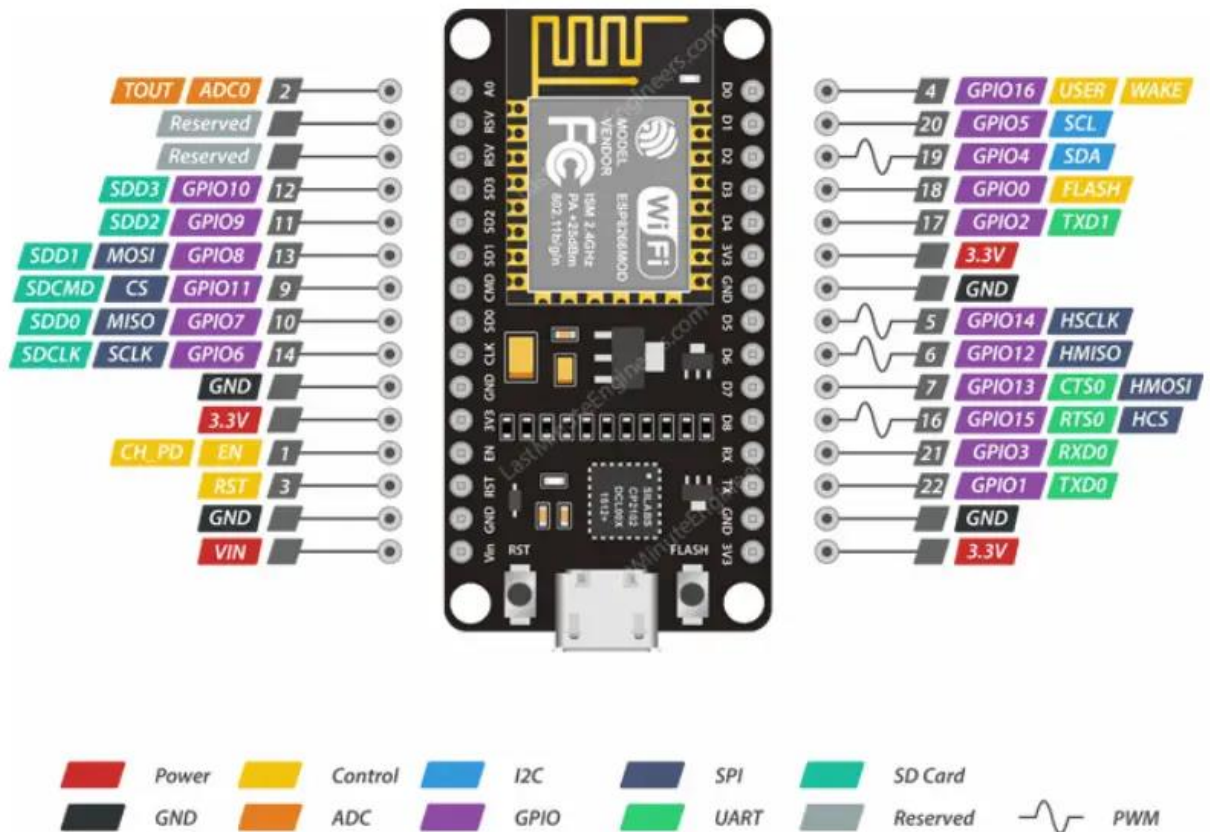


Рисунок 2.10 – Опис контактів модуля NodeMCU V2 компанії Amica

2.2 Датчик струму ACS712

ACS712 – універсальний модуль датчика струму, який дозволяє з високою точністю вимірювати як змінний, так і постійний струм. Завдяки використанню технології ефекту Холла, цей датчик забезпечує надійний та стабільний вимір струму в різних діапазонах, таких як 5А, 20А та 30А.

Ключові особливості датчика струму ACS712:

- Вимірювання струму в діапазонах 5А, 20А та 30А.

- Можливість вимірювання змінного та постійного струму.
- Висока точність та низька залежність від температури та шуму.
- Аналоговий вихід для зручного підключення до мікроконтролерів, таких як Arduino та ESP32.
- Вбудований захист від перенапруги та перевантаження.
- Компактні розміри: 31,5×13×10 мм [17].

Модуль ACS712 (рис. 2.11) легко інтегрується з популярними платформами, такими як Arduino, ESP32 та Wemos D1 Mini. Завдяки наявності бібліотек та прикладів коду, розробники можуть швидко налаштувати вимірювання струму у своїх проектах.

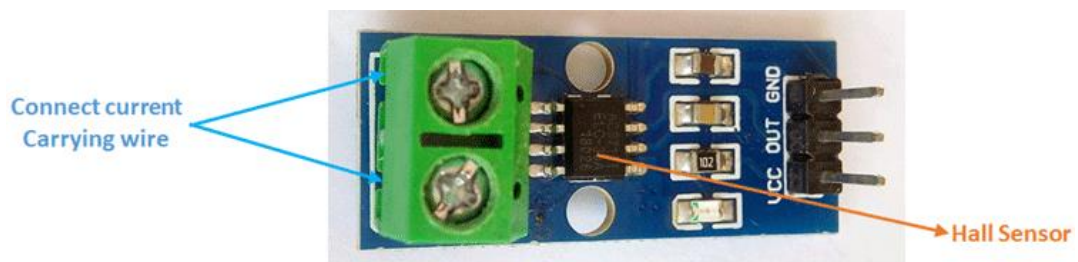


Рисунок 2.11 – Датчик струму ACS712 [18]

Для отримання детальної інформації про характеристики, підключення та налаштування ACS712 зверніться до офіційного datasheet (PDF) від Allegro MicroSystems. Також можна знайти схеми підключення (schematic) і pinout для цього датчика.

Застосування датчика струму ACS712:

- Системи контролю споживання енергії.
- Робототехніка та автоматизація.
- Моніторинг сонячних панелей та вітрогенераторів.
- Зарядні пристрої для акумуляторів.
- Вимірювання струму в побутових та промислових електричних мережах.

2.3 Програмування ESP8266 через Arduino IDE

Мова програмування пристроїв через Arduino IDE заснований на C/C++ і скомпонований з бібліотекою AVR Libc і дозволяє використовувати будь-які її функції. Разом з тим мова є досить простою в освоєнні, і на даний момент Arduino IDE – це, мабуть, найзручніший спосіб програмування пристроїв на мікроконтролерах.

Інтегроване середовище розробки Arduino IDE (рис. 2.12) це багатоплатформовий додаток на Java, що включає в себе редактор коду, компілятор і модуль передачі прошивки в плату. Середовище розробки засноване на мові програмування Processing та спроектоване для програмування новачками, не знайомими близько з розробкою програмного забезпечення.

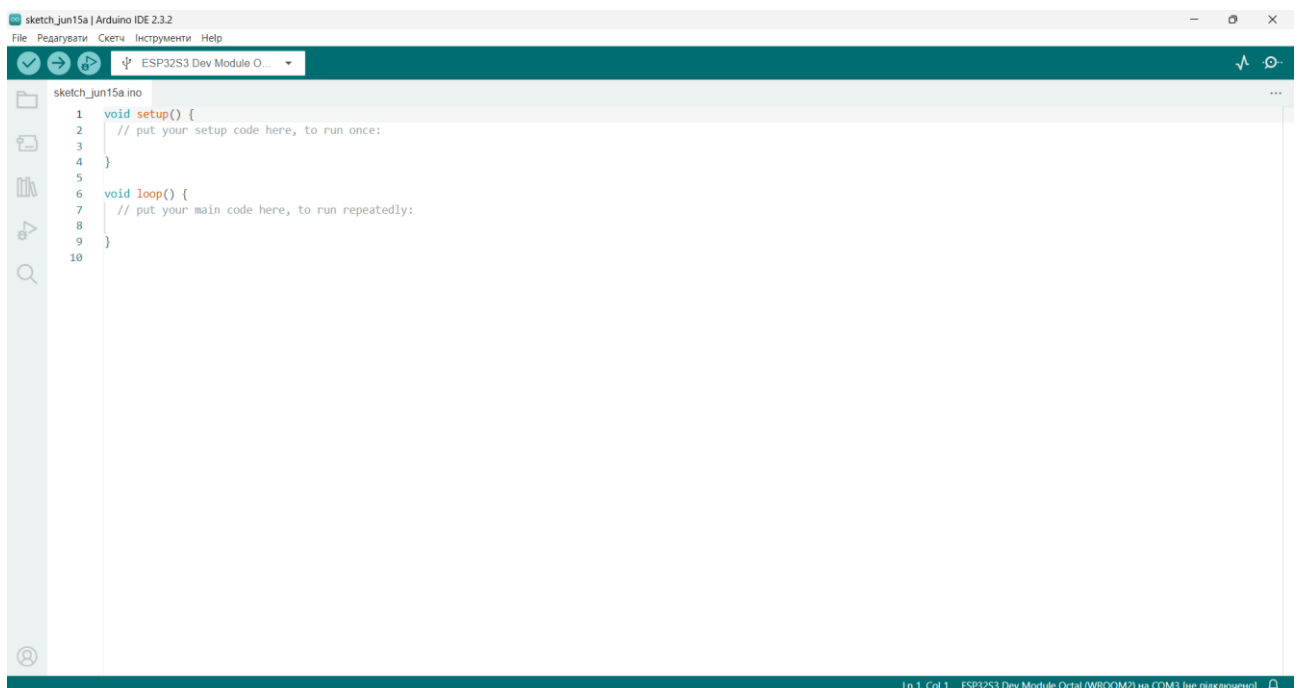


Рисунок 2.12 – Середовище Arduino IDE [19]

Мова програмування аналогічна мові Wiring. Загалом, це C++, доповнений деякими бібліотеками. Програми обробляються за допомогою препроцесора, а потім компілюються за допомогою AVR-GCC. Програма, яка написана у середовищі Arduino, називається скетч. Скетч пишеться в текстовому редакторі,

що має інструменти вирізки/вставки, пошуку/заміни тексту. Під час збереження і експорту проекту в області повідомлень з'являються пояснення, також можуть відображатися виниклі помилки, які виникають. Вікно виведення тексту (консоль) показує повідомлення Arduino, що включають повні звіти про помилки і іншу інформацію. Кнопки панелі інструментів дозволяють перевірити і записати програму, створити, відкрити і зберегти скетч, відкрити моніторинг послідовної шини.

Програми через Arduino IDE пишуться на мові програмування C або C++. Середовище розробки Arduino поставляється разом із бібліотекою програм «Wiring» (бере початок від проекту Wiring, який дозволяє робити багато стандартних операцій вводу/виводу набагато простіше). Користувачам необхідно визначити лише дві функції для того, щоб створити програму, яка буде працювати за принципом циклічного виконання:

- `setup()`: функція виконується лише раз при старті програми і дозволяє задати початкові параметри;
- `loop()`: функція виконується періодично, доки плата не буде вимкнена.

Прошивка (програмування) для мікроконтролера ESP8266 здійснюється за допомогою програми на мові програмування, яка містить в собі всі характеристики мов програмування C/C++, Wiring у середовищі Arduino IDE.

Arduino IDE для ESP8266 дозволяє створювати прошивки і прошивати їх в ESP8266 точно так же, як ви це робите з Arduino. При цьому ніяких плат Arduino не потрібно, це не той випадок, коли ESP8266 використовується в якості WiFi ШІлд для Arduino. Крім того, ви можете використовувати практично всі Arduino бібліотеки з ESP8266 після нескладного доопрацювання. В даний час вже досить багато бібліотек адаптовано для використання з ESP8266, але про них трохи нижче.

Arduino IDE для ESP8266 підтримує всі існуючі на сьогоднішній день модулі ESP8266 (бо вони особливо і не відрізняються), включаючи флеш модулі

більшого, ніж 512к обсягу. Підтримуються модулі NodeMCU (всіх версій), Olimex-MOD-WiFi-ESP8266.

Підтримується режим «авторестарта» і прошивки по RTS + DTR, як у звичайній Arduino, для цього буде потрібно USB-TTL адаптер з розведеними пінами DTR і RTS. Якщо у вас тільки RX, TX і GND на USB-TTL, то доведеться по-старому вручну притягувати до землі GPIO0 і переключати живлення модуля для прошивки.

РОЗДІЛ 3

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Принципова схема лічильника енергії на базі NodeMCU

На рисунку 3.1 наведено електричну схему лічильника енергії на основі NodeMCU ESP8266.

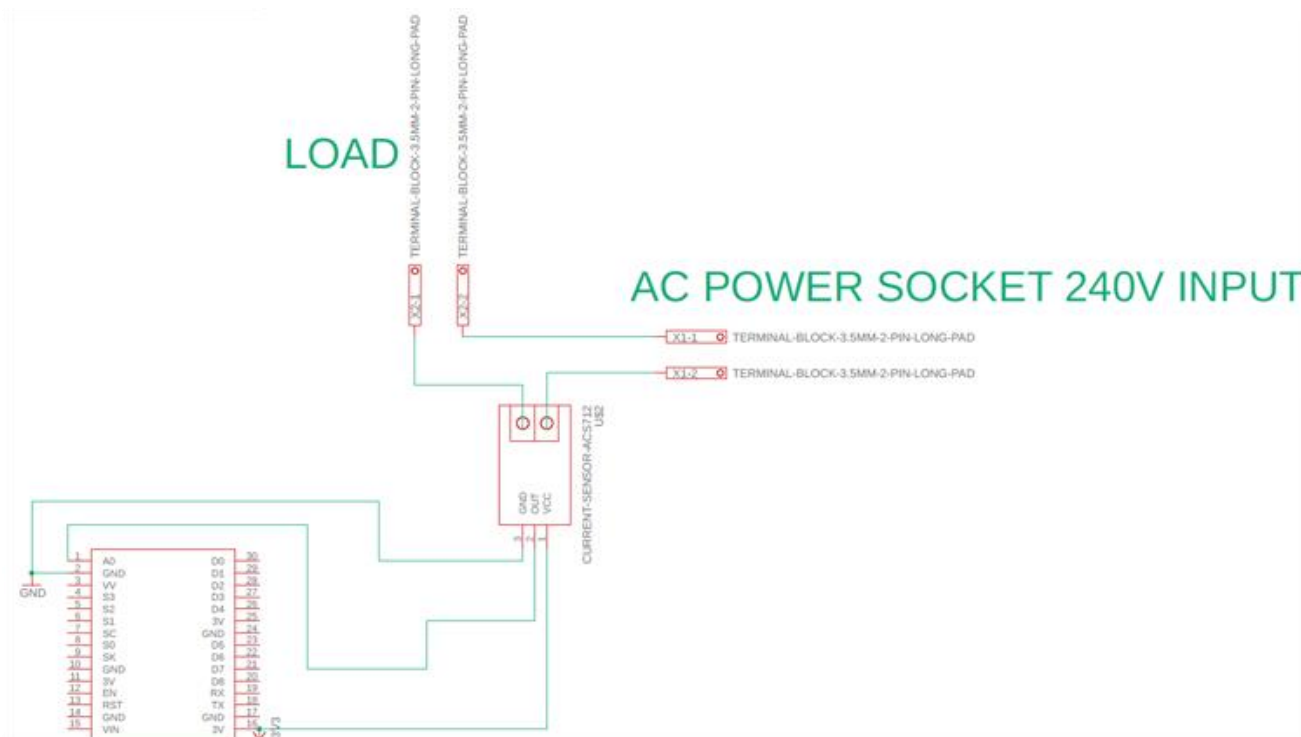


Рисунок 3.1 – Принципова схема лічильника енергії на базі NodeMCU

В схемі використовували плату NodeMCU з датчиком струму ACS712. Датчик струму вимірюватиме струм, який споживає наше навантаження змінного струму, а NodeMCU вимірюватиме цей струм, обчислюватиме потужність (припускаючи, що напруга постійна) і надсилатиме значення потужності на хмарну платформу.

На рисунку 3.2 наведена макетна схема лічильника енергії.

Як ви можете бачити, NodeMCU буде житися через USB-порт за допомогою мобільного зарядного пристрою 5 В, а навантаження змінного

струму буде підключено до мережі змінного струму 220В через наш датчик струму ACS712.

Датчик має максимальну вхідну напругу на VCC 5 В, але він також добре працює при нижчій напрузі. Зверніть увагу, що вихідна напруга зсуву ACS712 залежить від робочої напруги (зазвичай половини робочої напруги). Оскільки ми живимо модуль від вихідного контакту ESP 3V, вихідна напруга зсуву модуля ACS712 становить 1,5 вольт (1500 мВ), коли струм не тече. ESP має внутрішню схему дільника напруги, тому ми надаємо прямий вхід з виходу ACS712 на вхідний контакт A0.

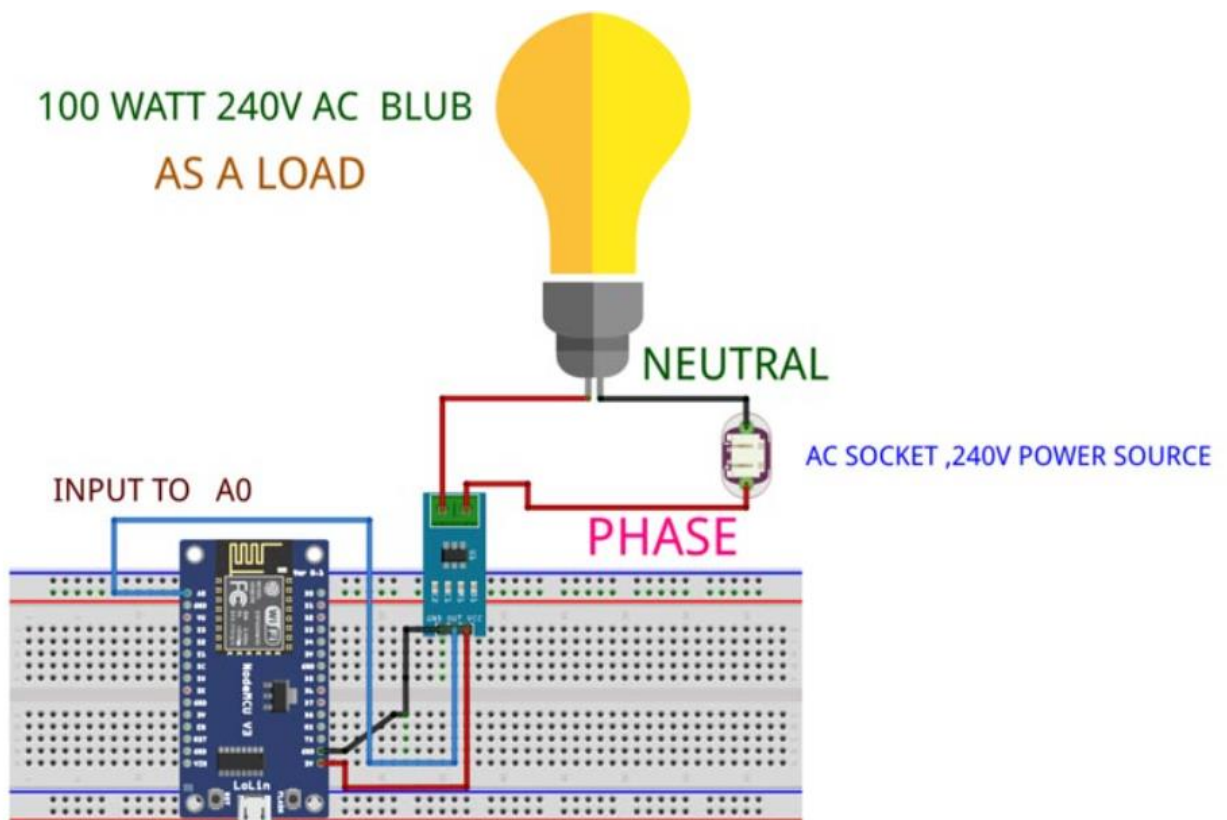


Рисунок 3.2 – Інформаційно-графічна електрична схема

3.2 Хмарна платформа Adafruit IO для моніторингу енергії

Adafruit.io – це хмарний сервіс, це просто означає, що ми запускаємо його для вас і вам не потрібно ним керувати. Ви можете підключитися до нього через

Інтернет. Він призначений насамперед для зберігання та отримання даних, але він може робити набагато більше.

Тепер настав час відкрити обліковий запис на платформі IoT «Adafruit IO» і підключити нашу схему до сервера Adafruit для моніторингу показань лічильника енергії в реальному часі. Дотримуйтеся наведеної нижче покрокової процедури для цього:

1. Для налаштування Adafruit IO перше, що вам потрібно зробити, це зареєструватися в Adafruit IO. Щоб зареєструватися, перейдіть на сайт Adafruit IO <https://io.adafruit.com> і натисніть «Почати безкоштовно» у верхньому правому куті екрана (рис. 3.3).

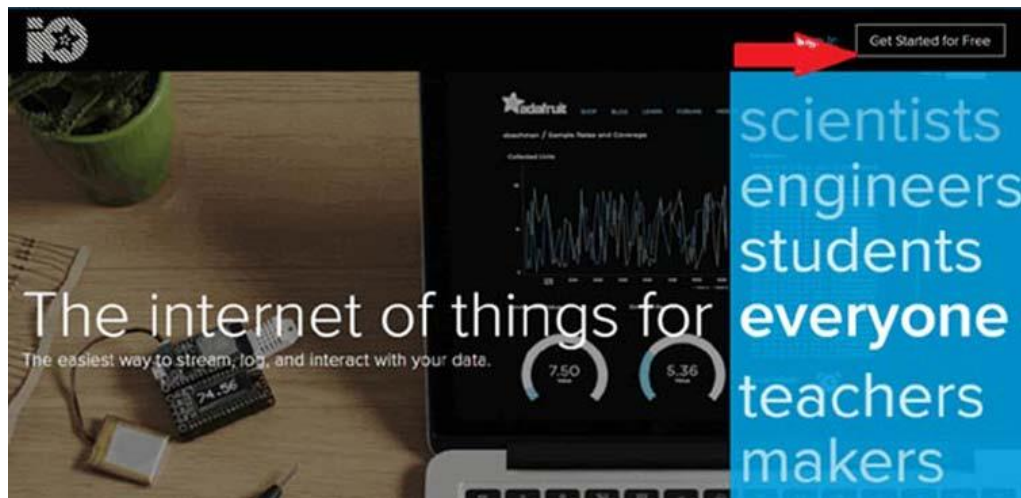


Рисунок 3.3 – Початок роботи на Adafruit IO

2. Після цього з'явиться вікно, де потрібно заповнити свої дані (рис. 3.4).

SIGN UP

The best way to shop with Adafruit is to create an account which allows you to shop faster, track the status of your current orders, review your previous orders and take advantage of our other member benefits.

FIRST NAME

LAST NAME

EMAIL

USERNAME

Рисунок 3.4 – Вікно реєстрації в Adafruit IO

У вікні реєстрації введіть свої дані, як-от ваше ім'я, ідентифікатор електронної пошти, ім'я користувача тощо. Потім натисніть «Зберегти налаштування», і ваш обліковий запис буде створено. Щоб отримати ключ АІО, натисніть «Переглянути ключ АІО» (рис. 3.5).

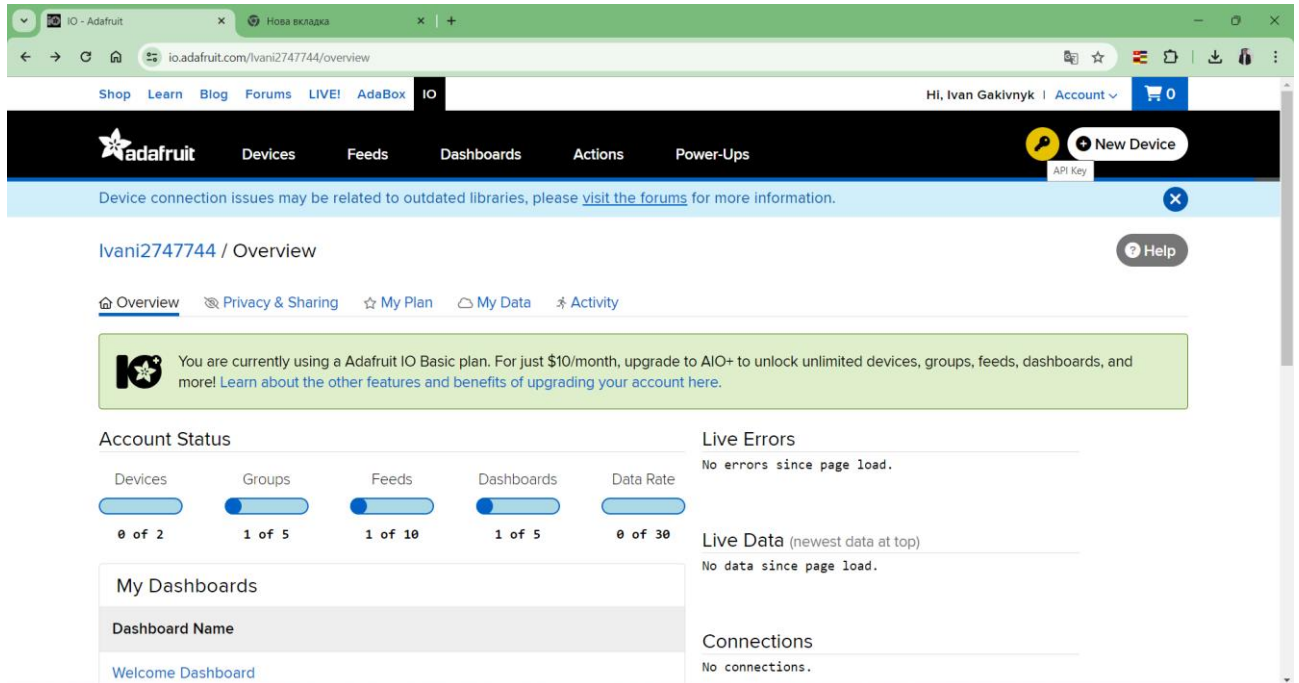


Рисунок 3.5 – Переглянути ключ АІО

З'явиться вікно з вашим ключем Adafruit IO АІО (рис. 3.6). Скопіюйте цей ключ, який вам знадобиться пізніше у вашому коді Python.

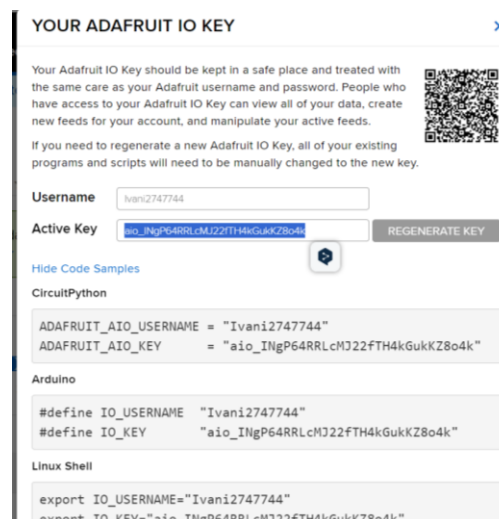


Рисунок 3.6 – Вікно з ключем ключ АІО

4. Тепер після цього вам потрібно створити канал. Щоб створити канал, натисніть «Канал». Потім натисніть «Дії», ви побачите деякі параметри з них, натисніть «Створити новий канал» (рис. 3.7).

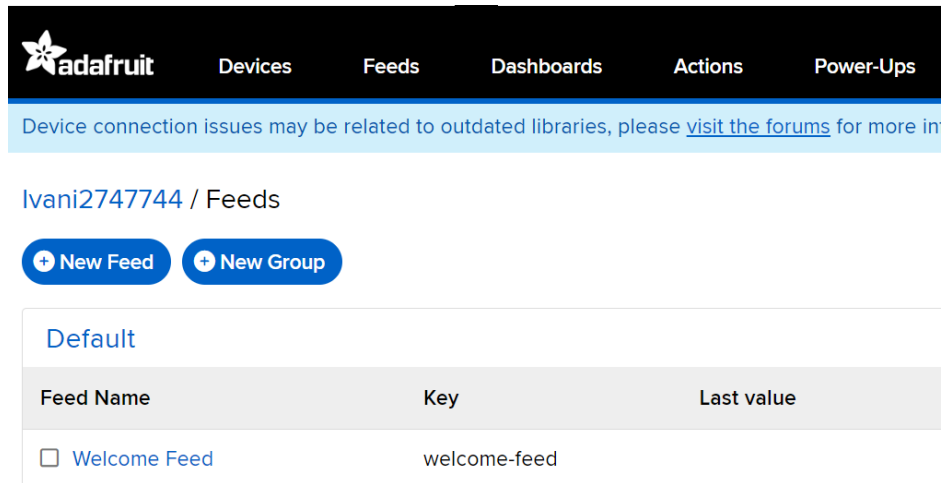


Рисунок 3.7 – Перехід до створення каналу

5. Після цього відкриється нове вікно, де потрібно ввести (рис. 3.8):

- Назва – у параметрі назви напишіть коротку описову назву каналу. Ви можете використовувати літери, цифри та пробіли.
- Опис – розгорнутий опис ваших даних. Це поле не обов'язкове, але ви можете написати опис своїх даних.

6. Натисніть «Створити», після чого ви будете перенаправлені до нової стрічки.

Рисунок 3.8 – Вікно «Створення каналу»

7. Далі, щоб додати новий блок перемикаання, потрібно створити інформаційну панель. Створення інформаційної панелі відбувається так само, як і канал. Тепер, щоб додати блок, натисніть «Плюс» у верхньому правому куті екрана та виберемо перший параметр (рис. 3.9).

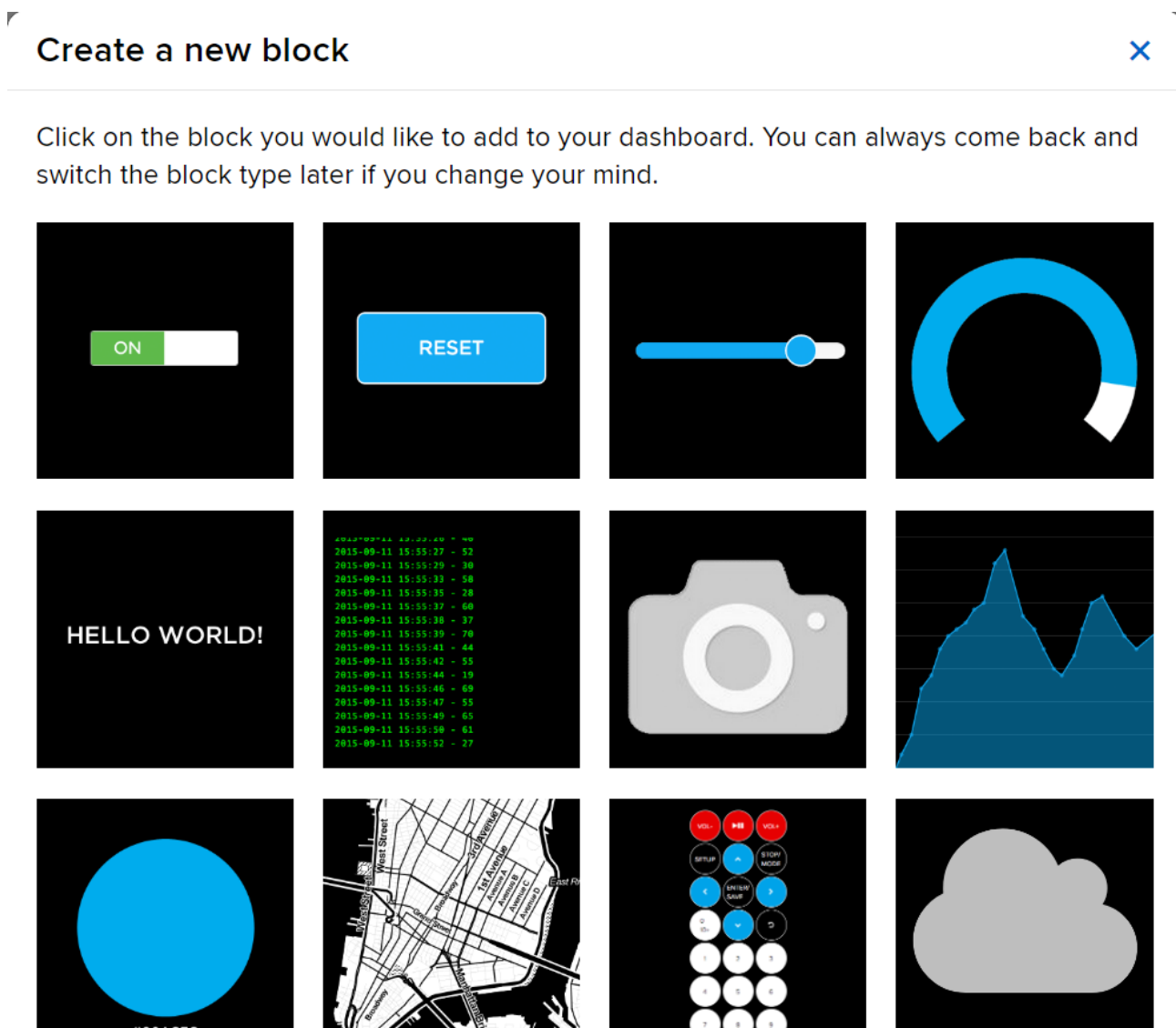


Рисунок 3.9 – Вікно «Створення блоку»

8. Тепер виберемо канали, які ми створили раніше, і натиснемо «Наступний крок» (рис. 3.10).

Connect a Feed ✕

A toggle button is useful if you have an ON or OFF type of state. You can configure what values are sent on press and release.

Choose a single feed you would like to connect to this toggle. You can also create a new feed within a group.

🔍

Default ▼		
Feed Name	Last value	Recorded
<input type="checkbox"/> Welcome Feed		26 minutes 🔒
<input checked="" type="checkbox"/> Лічильник енергії		6 minutes 🔒
<input type="text" value="Enter new feed name"/>		

1 of 1 feeds selected

← Previous step
Next step →

Рисунок 3.10 – Додати канал до блоку

9. Змінимо параметри блоку, якщо потрібно, і натиснемо «Створити блок» (рис. 3.11).

Block settings ✕

In this final step, you can give your block a title and see a preview of how it will look. Customize the look and feel of your block with the remaining settings. When you are ready, click the "Create Block" button to send it to your dashboard.

Block Title (optional)

Show History

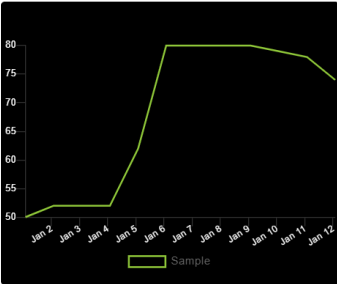
X-Axis Label

Y-Axis Label

Y-Axis Minimum

Leave blank to automatically detect.

Block Preview



Line Chart The line chart is used to graph one or more feeds.

Рисунок 3.11 – Задання параметрів блоку

На рисунку 3.12 зображено створений блок.

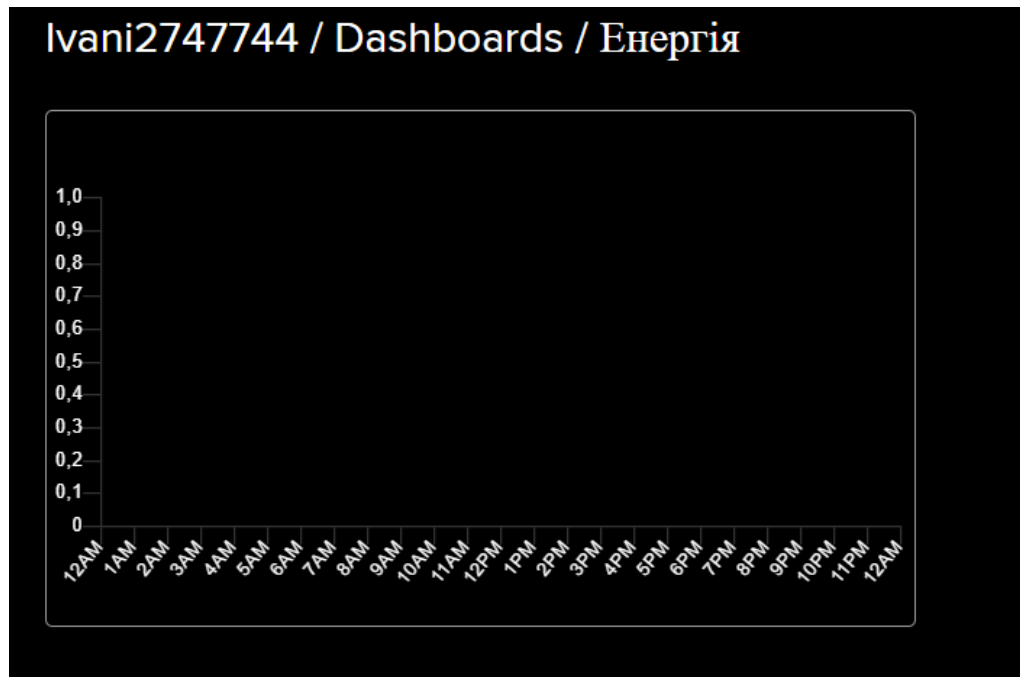


Рисунок 3.12 – Створений блок

3.3 Програмування NodeMCU ESP8266

Спочатку необхідно завантажити його через менеджер бібліотек та додати за допомогою опції «Імпорт бібліотеки» в Arduino IDE:

- ESP8266WIFI.
- Adafruit MQTT.
- Клієнт Adafruit MQTT.

По-перше, ми включимо всю бібліотеку для ESP8266 і Adafruit MQTT (лістинг 3.1).

Лістинг 3.1– Бібліотеки

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include "Adafruit_MQTT.h"
#include "Adafruit_MQTT_Client.h"
```

Кінець лістингу 3.1

Після цього ми визначаємо ssid і пароль вашої мережі Wi-Fi (лістинг 3.2).

Лістинг 3.2 – Параметри мережі

```
#define WLAN_SSID "...ваш WiFi... SSID..."  
#define WLAN_PASS "...ваш...WiFi...пароль..."
```

Кінець лістингу 3.2

Ця частина кодування визначає «сервер Adafruit», який є посиланням на сам веб-сайт, а також «порт» сервера Adafruit, «ім'я користувача» вашого облікового запису та ваш «Ключ AIO» (лістинг 3.3).

Лістинг 3.3 – Ключ AIO

```
#define AIO_SERVER "io.adafruit.com"  
#define AIO_SERVERPORT 1883 // використовувати 8883 для SSL  
#define AIO_USERNAME "...ваше ім'я користувача облікового запису Adafruit..."  
#define AIO_KEY "...ваш ключ AIO автентифікації..."
```

Кінець лістингу 3.3

Далі ми просто підключаємося до Wi-Fi (лістинг 3.4)..

Лістинг 3.4 – Підключення до мережі

```
void setup()  
{  
  Serial.begin(9600);  
  WiFi.begin(WLAN_SSID, WLAN_PASS);  
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)  
    Serial.println("підключення...");  
  затримка (1000);  
  Serial.println("Підключено");  
}
```

Кінець лістингу 3.4

У функції loop спочатку ми з'єднуємося з MQTT і отримуємо значення напруги від датчика (лістинг 3.5).

Лістинг 3.5 – З'єднання з MQTT

```
void loop()
{
    MQTT_connect();
    Напруга = getVPP();
}
```

Кінець лістингу 3.5

У лістинг 3.6 ми беремо значення протягом 1 секунди, протягом цієї 1 секунди ми збираємося прочитати значення з датчика, а потім обчислимо максимальне та мінімальне значення. Отже, фактично протягом цієї 1 секунди ми збираємося зберегти мінімальне значення напруги та максимальне значення напруги, а результатом буде різниця між максимальним значенням напруги та мінімальним значенням напруги, і помножене на 5 і поділене на 1024, все використовується для перетворення в струм і пов'язане з коефіцієнтом калібрування.

Лістинг 3.6 – Збереження результатів

```
{
    float результат;
    int readValue; //значення, зчитане з датчика
    int maxValue = 0; // зберігати тут максимальне значення
    int minValue = 1024; // зберігати тут мінімальне значення
    uint32_t start_time = millis();
    while ((millis() - start_time) < 1000) //вибірка за 1 секунду
    {
        readValue = analogRead(sensorIn);
        // перевірте, чи є у вас нове maxValue
        if (readValue > maxValue)
            повернути результат;
    }
}
```

Кінець лістингу 3.6

Після цього ми перетворюємо напругу в струм, для цього ми ділимо значення V_{rms} на значення мілівольт на ампер датчика струму (я використовую модуль на 30 А, тому це 66 мВ на ампер) і множимо на 1000, щоб отримати це в підсилювач, а не в міліамперах (лістинг 3.7).

Лістинг 3.7 – Перетворення напруги

```
Vrms = (Напруга / 2,0) * 0,707; // sq root
  Irms = ((Vrms * 1000) / mVperAmp) ;
  Serial.print(Irms);
  Serial.println("Амperi");
```

Кінець лістингу 3.7

Потім ми будемо друкувати це поточне значення на послідовному моніторі Arduino IDE, а також на платформі MQTT IoT (лістинг 3.8).

Лістинг 3.8 – Запис поточного значення в MQTT

```
Serial.print(Irms);
  Serial.println("Амperi");
  if (! photocell.publish(Irms))
  {
    Serial.println("Помилка");
  }
  else
  {
    Serial.println("OK!");
  }
  затримка (2000);
}
("Амperi");
```

Кінець лістингу 3.8

3.4 Тестування системи

Лічильник протестували в різних умовах навантаження, наприклад, з лампою на 100 Вт, з лампою Вlub на 200 Вт, з галогеном на 500 Вт тощо. Ось знімок екрана з умовами навантаження від нуля до 100 Вт на платформі MQTT ІюТ.

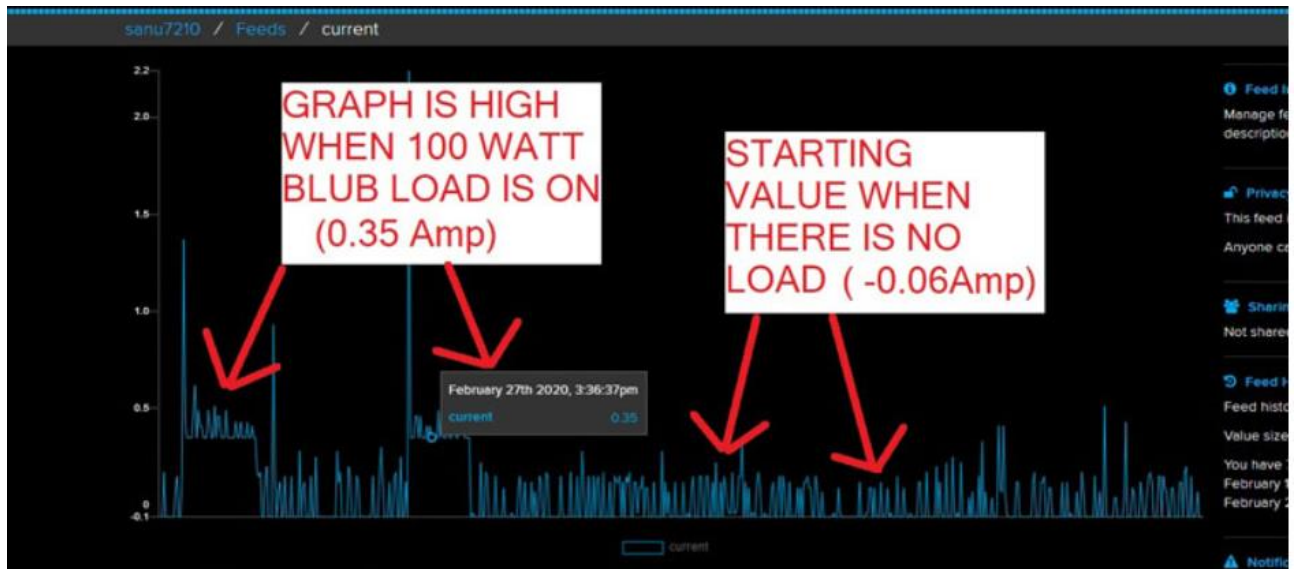


Рисунок 3.13 – Тестування системи

Разом із графіком значення також друкується на MQTT і порівнюється з серійним монітором, як показано нижче (рис. 3.14).

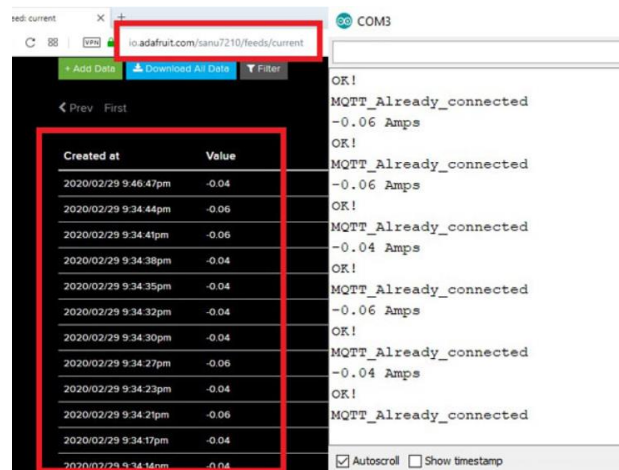


Рисунок 3.14 – Результати роботи

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було проаналізовано концепцію розумної енергетики, проведено аналіз відомих рішень розумних лічильників електроенергії.

У рамках огляду предметної галузі та аналізу існуючих рішень було проведено аналіз ринку, який показав наявність таких рішень, як розумні лічильники та лічильники з уже реалізованою автоматизацією процесу зчитування.

Також було проаналізовано пристрій віддаленої передачі даних 104UA SMART, який дозволяє передавати дані від лічильника до віддаленого сервера. Це важливо, щоб переконатися, що ви можете контролювати свою систему з віддаленого місця. Досліджувані технології, особливо Інтернет речей (IoT) та комунікаційні мережі, надають сучасні інструменти та рішення для ефективної автоматизації системи. Детальний опис дозволив створити зручну та оптимальну архітектуру системи.

Після опису системи ми вибрали відповідні компоненти для створення макета системи. Далі була створена електрична схема, яка детально показує, як з'єднані компоненти та як взаємодіють усі компоненти системи. Потім була створена архітектура та розроблені алгоритми системи для забезпечення ефективності та точності виявлення індикаторів.

Здійснено вибір програмного середовища та мови програмування, визначено основні принципи роботи системи.

Прототип системи демонструє досить успішну реалізацію вимог, які були поставлені, що може сприяти зручності та ефективності моніторингу споживання електроенергії, але для повноцінного впровадження ще необхідно провести подальші тестування в реальних умовах експлуатації.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Advanced analysis of smart energy systems. Smart Energy. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666955221000071> (дата звернення: 20.02.2024).
2. Urban entrepreneurialism and sustainable development: A comparative analysis of Chinese eco-developments. URL: https://research.nottingham.edu.cn/files/31449188/Urban_entrepreneurialism_and_sustainable.pdf (дата звернення: 20.02.2024).
3. Different flexibility options for better system integration of wind power. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X19300550> (дата звернення: 24.02.2024).
4. Smart Energy Systems: A Critical Review on Design and Operation Optimization. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670720305916> (дата звернення: 24.02.2024).
5. Smart Energy Cities in a 100% Renewable Energy Context. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120302136> (дата звернення: 26.02.2024).
6. A Consistent and Detailed Strategy for a Fully Decarbonized Society. URL: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/lmB1y3n9/> (дата звернення: 26.02.2024).
7. Розумні лічильники Smart-maic. URL: <https://smart-maic.com/uk/> (дата звернення: 01.03.2024).
8. Розумний WiFi лічильник E-Link SMT2. URL: <https://ua.all.biz/uk/rozumnyj-wifi-lichylnyk-elektroenergiyi-avtomatg25710337> (дата звернення: 01.03.2024).
9. Лічильник EM-129. URL: https://ecshop.com.ua/ua/p127875-schetchik_elektroenergiy_odnofazniy_wi-fi_em-129_s_funktsiye_zashchiti_i_upravleniya (дата звернення: 01.03.2024).

10. Пристрій дистанційного передавання даних 104UA SMART. URL: <https://prom.ua/ua/p1307992833-pristrijdistantijnogo-peredavannya.html> (дата звернення: 01.03.2024).
11. Що таке мікроконтролер? URL: https://elprivod.nmu.org.ua/ua/interesting/what_is_mp_mc_plc.php (дата звернення: 01.04.2024).
12. Arduino. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino> (дата звернення: 01.04.2024).
13. Arduino Leonardo. URL: <https://doc.arduino.ua/> (дата звернення: 01.04.2024).
14. Arduino Mega. URL: <https://www.mini-tech.com.ua/arduino-mega-2560> (дата звернення: 11.04.2024).
15. ESP-07S WiFi Module User Manual. URL: <https://manuals.plus/rfsolutions/esp-07s-wifi-module-manual> (дата звернення: 10.04.2024).
16. Плата NodeMCU V2 ESP8266. URL: <https://arduino.ua/prod1495-wifi-plata-nodemcu-v2-esp8266-cr2102> (дата звернення: 11.04.2024).
17. Датчик струму ACS712. URL: <https://myproject.com.ua/ru/acs712-modul-datchika-toka-20a-ru.html> (дата звернення: 18.04.2024).
18. Arduino. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino> (дата звернення: 25.04.2024).