

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Чорноморський національний університет

імені Петра Могили

Факультет комп'ютерних наук

Кафедра комп'ютерної інженерії

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри,
д-р техн. наук, проф.

_____ І. М. Журавська

« __ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

**Світлодіодна система студійного освітлення
з управлінням через WiFi-мережу на базі ESP32**

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

123 – КБР.01 – 405.22010506

Студент

_____ А. Ю. Гріднєв

підпис

« __ » _____ 202__ р.

Керівник ст. викладач

_____ Є. С. Дарнапук

підпис

« __ » _____ 202__ р.

Миколаїв – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра комп'ютерної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри _____ І. М. Журавська

« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи

Видано студенту групи 405 факультету комп'ютерних наук
Гріднєв Антон Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Світлодіодна система студійного освітлення з управлінням через WiFi-мережу на базі ESP32

Затверджена наказом по ЧНУ ім. Петра Могили від 30.01.2024 № 17.

2. Строк представлення кваліфікаційної роботи « _____ » _____ 20__ р.

3. Очікуваний результат роботи та початкові дані, якщо такі потрібні

Розробка ефективної системи студійного освітлення на базі світлодіодних RGB-стрічок з можливістю бездротового керування. Підвищення продуктивності та якості освітлення за рахунок оптимізації використання світлодіодів та інтеграції сучасних методів керування

4. Перелік питань, що підлягають розробці

Аналіз технічних характеристик світлодіодних RGB-стрічок та мікроконтролерів. Вибір оптимальних компонентів для створення системи студійного освітлення. Розробка схемотехнічних рішень для підключення світлодіодних стрічок до мікроконтролера. Розробка програмного забезпечення для керування освітленням. Інтеграція та тестування бездротових комунікаційних протоколів. Оцінка ефективності розробленої системи освітлення

5. Перелік графічних матеріалів

Макетна схема програмно-апаратного комплексу

Блок-схема алгоритму роботи ПЗ програмно-апаратного комплексу

Діаграма послідовності взаємодії програмно-апаратного комплексу

6. Завдання до спеціальної частини

Опис методів бездротового керування освітленням, зокрема використання Wi-Fi та Bluetooth. Розробка алгоритму шифрування команд для підвищення безпеки системи. Вибір та налаштування мікроконтролера ESP8266 для задачі керування освітленням. Порівняльний аналіз ефективності розробленої системи з існуючими комерційними рішеннями

7. Консультанти:

Консультант	Кафедра (організація)	Частина роботи
Макарова О. В.	Кафедра екології Медичного інституту ЧНУ ім. Петра Могили	Спеціальна частина з охорони праці

Керівник роботи

ст. викладач Дарнапук Євгеній Сергійович

(посада, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Завдання прийнято до виконання

Гріднєв Антон Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

(підпис)

Дата видачі завдання « ____ » _____ 20 ____ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН
виконання кваліфікаційної роботи

Тема: світлодіодна система студійного освітлення з управлінням через WiFi-мережу на базі ESP32

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1	Розробка та затвердження завдання на виконання КР	11.12.23	12.12.23	Виконав
2	Огляд літератури за темою роботи	15.01.24	18.02.24	Виконав
3	Складання календарного плану БКР	19.02.24	06.03.24	Виконав
4	Аналіз предметної області	19.02.24	04.03.24	Виконав
5	Розробка проєктних рішень	23.02.24	09.03.24	Виконав
6	Моделювання та конструювання АПЗ	20.02.24	27.02.24	Виконав
7	Перевірка працездатності, тестування та апробація розробленого АПЗ, аналіз результатів тестування	01.03.24	04.03.24	Виконав
8	Відгук керівника КР	09.03.24	07.04.24	Виконав
9	Оформлення БКР та презентації	15.03.24	21.04.24	Виконав
10	Попередній захист	13.06.24	13.06.24	Виконав
11	Рецензування	12.05.24	20.05.24	Виконав
12	Завершення оформлення КР та презентації	30.05.24	30.05.24	Виконав
13	Захист бакалаврської кваліфікаційної роботи			

Розробив здобувач ВО Гріднєв Антон Юрійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) _____ (підпис)
« ____ » _____ 20__ р.

Керівник роботи ст. викладач Дарнапук Євгеній Сергійович _____
(посада, прізвище, ім'я, по батькові) _____ (підпис)
« ____ » _____ 20__ р.

АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної бакалаврської роботи
«Світлодіодна система студійного освітлення з управлінням через WiFi-мережу на базі ESP32»

Студент 405 гр.: Гріднєв Антон Юрійович
Керівник: ст. викладач Дарнапук Євген Сергійович

Актуальність теми роботи. У фотографії світло є одним із найважливіших факторів, які впливають на результати зйомки. Тенденція, яка спостерігається останнім часом, – фотосесії, де використовуються не лише денне світло, але також світильники з можливістю зміни кольорів. Для цього використовуються RGB-світлодіоди у різних варіантах виконання освітлювального приладу.

Об'єктом дослідження є методи та засоби реалізації студійного освітлення.

Предмет дослідження – особливості розгортання світлодіодної системи освітлення з можливістю управління через Wi-Fi-мережу.

У даній бакалаврській кваліфікаційній роботі проводиться розробка системи студійного освітлення на основі мікроконтролера ESP32. Система підтримує функції управління засобами Wi-Fi. У якості освітлювальних приладів прийнято світлодіодну RGB-стрічку, що у поєднанні з функціоналом відповідного вебзастосунку, дає можливість забезпечити повний спектр колірної температури студійного освітлення.

Структура дослідження: робота складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, додатків.

Пояснювальна записка містить 90 сторінок, 17 рисунків, 3 таблиці, 57 джерел посилань, 2 додатки.

Ключові слова: студійне освітлення, колірна температура, бездротове керування, світлодіод, Wi-Fi, LED, RGB, ESP32.

ABSTRACT

of the Bachelor's Thesis

"LED system of studio lighting with control
via the WiFi network based on ESP32"

Student: Hridniev Anton

Supervisor: senior teacher Darnapuk Yevhen

Relevance of the Topic. In photography, lighting is one of the most important factors affecting the outcome of a shoot. A recent trend involves photo sessions that use not only natural light but also lamps capable of changing colors. For this, RGB LEDs are used in various lighting device implementations.

Object of Study: Methods and means of implementing studio lighting.

Subject of Study: The features of deploying an LED lighting system with Wi-Fi control capabilities.

In this bachelor's thesis, a studio lighting system based on the ESP32 microcontroller is developed. The system supports control functions via Wi-Fi. An RGB LED strip is used as the lighting device, which, combined with the functionality of a corresponding web application, allows for providing a full spectrum of studio lighting color temperatures.

Structure of the Study: The work consists of an introduction, three chapters, general conclusions, a list of references, and appendices.

The explanatory note contains 90 pages, 17 figures, 3 tables, 57 reference sources, and 2 appendices.

Keywords: studio lighting, color temperature, wireless control, LED, Wi-Fi, RGB, ESP32.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	3
ВСТУП	4
1 ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	6
1.1 Принципи реалізації освітлення поверхонь	6
1.2 Сучасні технології бездротового керування освітленням та Інтернет-речей	11
1.3 Формування концепції розроблюваної системи	24
Висновок до розділу	37
2 МЕТОДИКА РОЗРОБКИ ТА ВИБІР СКЛАДОВИХ СИСТЕМИ СТУДІЙНОГО ОСВІТЛЕННЯ	39
2.1 Керуючий мікроконтролер	39
2.2 Блок керування	46
2.3 Підключення елементів системи	49
Висновок до розділу	53
3 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗРОБЛЮВАНОЇ СВІТЛОДІОДНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ	55
3.1 Особливості реалізації електричного живлення	55
3.2 Функціональність системи керування.....	59
3.3 Узагальнення результатів розробки	67
Висновок до розділу	68
ВИСНОВКИ.....	70
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	71
ДОДАТОК А Назва	76
ДОДАТОК А Довідка про перевірку на унікальність пояснювальної записки	75

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

AES	– Advanced Encryption Standard
ALU	– Arithmetic Logic Unit
CCT	– Color Correlated Temperature
CPU	– Central Processing Unit
CRI	– Color Rendering Index
EAP	– Extensible Authentication Protocol
EEPROM	– Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
GPIO	– General Purpose Input/Output
IoT	– Internet of Things
LED	– Light Emitting Diode
MCU	– Microcontroller Unit
MQTT	– Message Queuing Telemetry Transport
NFC	– Near Field Communication
PSK	– Pre-Shared Key
RAM	– Random Access Memory
RFID	– Radio Frequency Identification
ROM	– Read-Only Memory
RSA	– Rivest-Shamir-Adleman algorithm
RTC	– Real-Time Clock
SDK	– Software Development Kit
SPI	– Serial Peripheral Interface
SRAM	– Static Random Access Memory
UART	– Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UDP	– User Datagram Protocol
WPA	– Wi-Fi Protected Access
WPAN	– Wireless Personal Area Network
WPS	– Wi-Fi Protected Setup

ВСТУП

Актуальність теми роботи зумовлена тим, що у фотографії світло є одним із найважливіших факторів, які впливають на результати зйомки. Тенденція, яка спостерігається останнім часом, – фотосесії, де використовуються не лише денне світло, але також світильники з можливістю зміни кольорів. Для цього використовуються RGB-світлодіоди у різних варіантах виконання освітлювального приладу. У свою чергу, сучасна електроніка все більше інтегрується у людський побут. Щоб відповідні пристрої більш органічно вписувались у життєвий простір, виконується орієнтація на мініатюризацію обладнання, що полегшує автоматизацію роботи необхідних приладів та систем, з можливістю керування останніми із однієї центральної точки. Важливий внесок у даний процес може внести Інтернет речей, що рухає всю сферу електроніки та інформаційних технологій і кожен відповідний виробник намагається певним чином зробити внесок у цю сферу своїми інноваційними рішеннями.

Об'єктом дослідження є методи та засоби реалізації студійного освітлення.

Предмет дослідження – особливості розгортання світлодіодної системи освітлення з можливістю управління через Wi-Fi-мережу.

Метою роботи є розробка системи студійного освітлення з управлінням через Wi-Fi-мережу на базі ESP32.

З урахуванням поставленої мети, **задачі** роботи є наступними:

- провести огляд принципів реалізації освітлення та відповідних світлодіодних пристроїв;
- розглянути сучасні технології бездротового керування освітленням та концепції Інтернету речей;
- сформулювати методику розробки системи студійного освітлення;
- навести особливості реалізації розроблюваної системи;
- скласти висновки за результатами роботи.

Таким чином, потрібно виконати розробку блоку керування з модулем ESP32. Виконувати цієї мети супроводжується побудовою блок-схем функціонування і підключення, схематичного та підбору відповідних компонентів. Також слід передбачити надійне джерело живлення для апаратної частини системи.

Іншим важливим напрямком роботи є реалізація необхідних функцій за допомогою програмування модуля ESP32 засобами середовища розробки IDE. У якості мови програмування функцій модуля слід розглянути C++, що характеризується розширеними можливостями у контексті програмування мікроконтролера.

Практичне значення результатів роботи. Отримані результати роботи можуть бути корисними у якості додаткових матеріалів при проектуванні систем нових систем студійного освітлення, або переобладнання вже існуючих рішень, з урахуванням нових вимог щодо актуальних показників температури світла та індексу передачі кольору.

1 ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Принципи реалізації освітлення поверхонь

Світлодіоди, або світловипромінюючі діоди (англ. LED) в даний час є найпоширенішим джерелом світла і поступово витісняють інші джерела, до яких відносяться лампи розжарювання, люмінесцентні або газорозрядні лампи. Так, це напівпровідниковий компонент, який працює за принципом PN-переходу, через який проходить електричний струм і таким чином відбувається рекомбінація носіїв заряду, завдяки чому випромінюється тепло та електромагнітне випромінювання певної довжини хвилі. Найбільшою перевагою світлодіодів є висока ефективність перетворення електричної енергії у світло. Інші переваги включають довгий термін служби, невеликі фізичні розміри і низьку вартість.

1.1.1 Колірна температура світла

Від англійської назви (англ. CCT). Це колір абсолютно чорного тіла при нагріванні до температури абсолютного нуля ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$). Під час наступного нагрівання тіло поступово змінює кольори в порядку: чорний, червоний, жовтий, білий і синій. Зазвичай цей показник вказують у Кельвінах (K).

На практиці біле світло ділиться на три категорії. Теплий білий – до 3500K, нейтральний – між 3500-4500K і холодний білий – вище 4500K (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Приклади колірної температури в природі [3]

Джерело освітлення	Температура світла, K
Полум'я свічки	2000
Галогенна лампа	3000
Літній полудень	5500
Денне світло	6500-7500
Чисте небо	8000-8500

Для штучного освітлення значення коливаються в межах 2700-6500 К [4]

(рис. 1.1).

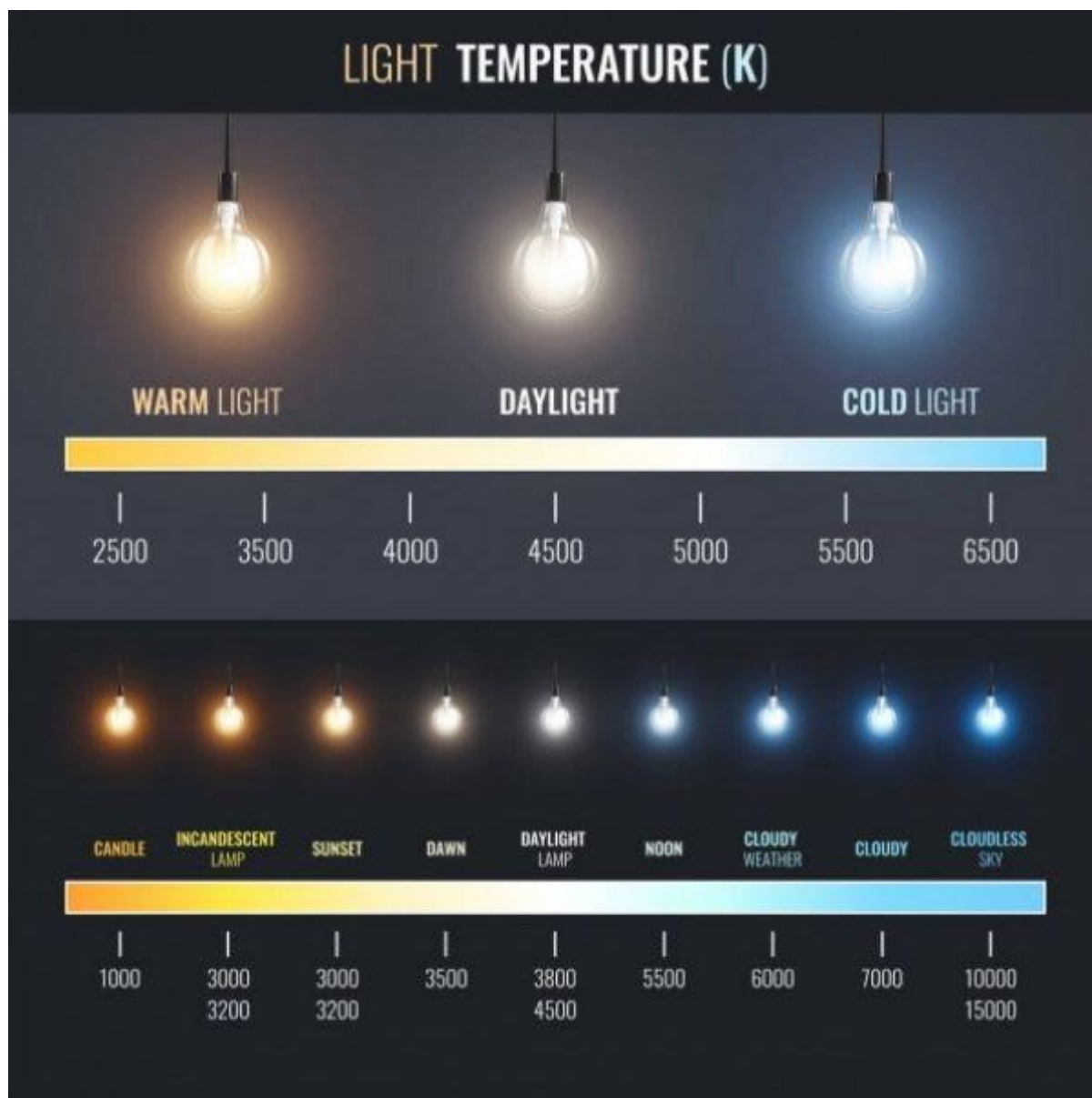


Рисунок 1.1 – Колірна температура світла [4]

Корельована колірна температура (ССТ) визначає колір світла абсолютно чорного тіла при різних температурах, вимірюваних у Кельвінах (К). Біле світло поділяється на тепле (до 3500К), нейтральне (3500-4500К) та холодне (вище 4500К). У природі приклади колірної температури включають полум'я свічки (2000К), літній полудень (5500К), і чисте небо (8000-8500К).

1.1.2 Індекс передачі кольору

Індекс передачі кольору, скорочено (англ. CRI), також відомий як Ra, вказує на точність кольору об'єктів, що сприймаються людським оком. Параметр CRI може приймати значення від «0» до «100» і не має одиниць вимірювання. Значення «0» означає, що неможливо розпізнати кольори, а значення «100» передбачає, що перевірене джерело світла відтворює кольори точно так само, як еталонне світло (сонце). Якщо світлодіод має CRI 80, він відображає лише 80% видимих кольорів [5].

Для штучного освітлення значення CRI нижче 80 вважається поганим джерелом світла, і об'єкти виглядають ненасиченими або навіть невизначеними. CRI в діапазоні 80-90 є хорошою передачею кольору, яка зазвичай використовується для освітлення не перевантажених сцен.

CRI 90-95 – чудова передача кольору, кольори правдоподібні та насичені. CRI 95-100 – точна передача кольору, всі відтінки легко розрізнити, а відтінки шкіри виглядають природно. Такі високі значення використовуються у вимогливих додатках, наприклад, у художніх галереях, друкарнях або кіностудіях [5].



Рисунок 1.2 – Індекс передачі кольору

Така властивість LED-елементів є особливо важливою для студійного освітлення, але оператори інколи нехтують нею. Якщо використовується

джерело світла з низьким CRI, на датчик камери потраплятиме лише частина інформації.

1.1.3 Дифузія світла

Дифузія, або розсіювання світла, є дуже важливим фактором у зйомці. При використанні джерела світла (штучного або сонячного) промені світла паралельні один одному і при потраплянні створюють жорсткі тіні, які не є небажаними. Для цього використовуються відбиваючі пластини, дифузійні плівки або фільтри, завдяки яким падаюче або проходить світло розсіюється в декількох напрямках і пом'якшуються тіні, що утворюються (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Студійний розсіювач світла [6]

Дифузія світла є важливим фактором у зйомці, оскільки вона пом'якшує жорсткі тіні від паралельних променів світла. Для цього використовуються

відбиваючі пластини, дифузійні плівки або фільтри, які розсіюють світло в декількох напрямках, що допомагає створювати більш м'які тіні.

1.1.4 Види світлодіодних стрічок RGB

Світлодіодні стрічки діляться на дві категорії. Одним з них є аналогові стрічки, які знаходять своє застосування в менш вимогливих додатках, де немає потреби у швидкій зміні кольорів або світловій анімації, наприклад, при декоруванні помешкання, освітленні в барах, або торгових центрах. Їх можна підключити за допомогою чотирьох контактів, де перші три призначені для живлення основних кольорів (відповідно до абревіатури «RGB» червоний (R), зелений (G) і синій (B)), а четвертий контакт – GND (рис. 1.4). Завдяки такій конструкції неможливо контролювати кожен світлодіод окремо, а тільки разом. Ще одним недоліком є те, що стрічку можна вкоротити лише після трьох або шести діодів з міркувань конструкції (комутація елементів на стрічці) [5].

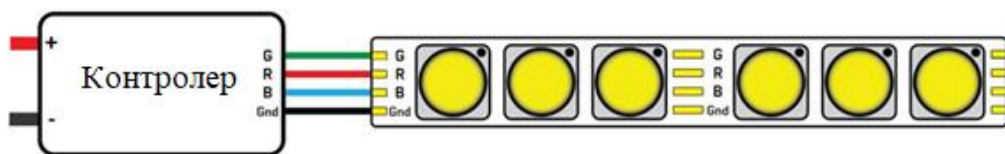


Рисунок 1.4 – Аналогова світлодіодна стрічка

Другий тип LED – це цифрові стрічки, більш відомі як адресні стрічки. Їх найбільшою перевагою є можливість керування окремими діодами незалежно від діодів обв'язки, використовуючи лише три контакти (рис. 1.5).

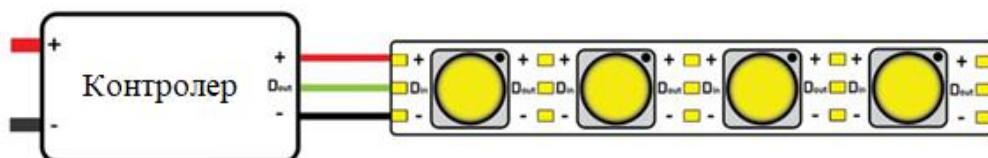


Рисунок 1.5 – Цифрова світлодіодна стрічка

У цьому варіанті два виводи призначені для живлення (VDD і VSS), а третій вивід слугує сигналом керування – DATA. Ця функція вмикається інтегральною схемою, яка розташована безпосередньо в світлодіодному чіпі або біля нього. Такий чіп обробляє інформацію від контролера за допомогою інтерфейса послідовного протоколу (англ. SPI). Однак існує кілька стандартів передачі інформації. Серед найпоширеніших WS2811, WS2812, TM1809, SK6812 або APA104 [7].

1.2 Сучасні технології бездротового керування освітленням та Інтернет-речей

1.2.1 Опис мікроконтролера та інших компонентів

Мікроконтролер або блок мікроконтролера (англ. MCU) – це вдосконалена інтегральна схема, що реалізує функцію простого комп'ютера. Порівняно з класичним персональним комп'ютером, тут акцент виконується на мініатюризації, низькому споживанні та легкій інтеграції в електронні схеми [8]. Він в основному використовується як частина вбудованих систем, спілкується за допомогою електричних сигналів. Тут немає необхідності проектувати підключення, замість цього достатньо описати поведінку пристрою за допомогою мови програмування, а потім завантажити відповідну програму в MCU. У випадку, якщо пізніше буде виявлено помилку або потрібно буде змінити функцію, все, що потрібно зробити, це завантажити виправлену програму.

Загалом, мікроконтролер містить ті самі компоненти, що і комп'ютер, хоча і об'єднані в одному корпусі. Ядро – це процесор, який виконує програму, збережену в енергонезалежній пам'яті. Крім нього, є також тимчасова пам'ять для запуску програми. Ключовою особливістю MCU є модулі, які є компонентами, що розширюють його можливості. В основному це порти введення/виведення, аналогові перетворювачі, таймери або різні комунікаційні інтерфейси [9].

Центральний процесор

Центральний процесор (англ. CPU) відповідає за фактичне виконання програми, що зберігається в пам'яті. Програма складається з послідовності інструкцій, які виконуються одна за одною. Набір підтримуваних інструкцій називається набором інструкцій. Центральний процесор складається з кількох структурних елементів, що наведені нижче [9].

1) Арифметико-логічний блок (англ. ALU), який виконує математичні та логічні операції. Тобто різні складання та множення, а також, наприклад, оцінка умов, які служать для розгалуження програми.

2) Реєстри, які являють собою дуже швидку пам'ять безпосередньо в ядрі CPU. Їх кількість і розмір залежить від конкретної архітектури і спрямованості MCU. Оскільки ALU зазвичай не може отримати прямий доступ до програми або тимчасової пам'яті, необхідно спочатку завантажити дані в реєстр, потім обробити їх за допомогою ALU, а потім знову зберегти в пам'яті.

Реєстри виконують ще одну важливу функцію в MCU, вони використовуються для конфігурації та зв'язку з модулями. Наприклад зміна значення на вихідному виводі виконується шляхом зміни значення реєстра [10]. Подібним чином дані, отримані від інтерфейсу зв'язку, також записуються у відповідний реєстр. Ці контрольні реєстри можуть бути внутрішньо зіставлені з певною частиною пам'яті.

3) Контролер, який опрацьовує потік даних між реєстрами, ALU та пам'яттю, водночас також відповідає за виконання програми, тобто завантаження окремих інструкцій з пам'яті, їх поступове декодування та подальше виконання.

Пам'ять

Як правило, у MCU є кілька різних типів пам'яті. Вони відрізняються швидкістю або довговічністю даних і ціною. Для збереження програми в основному використовується пам'ять на основі технології FLASH, яка є енергонезалежною. Також можна зустріти пам'ять постійного запам'ятовуючого пристрою (англ. ROM), де програма вже завантажена під час

виробництва [8]. Пам'ять запам'ятовуючого пристрою з довільним доступом (англ. RAM) присутня для програмних змінних, який є непостійними, тобто видаляються після відключення напруги [11].

Деякі мікроконтролери містять додаткову пам'ять для зберігання даних користувача навіть після вимкнення, інші або імітують її за допомогою виділеного блоку в програмній пам'яті, або не містять її взагалі, і потрібно використовувати зовнішню схему.

Порти введення/виведення загального призначення (англ. GPIO) дозволяють MCU легко спілкуватися з навколишнім середовищем за допомогою електричних сигналів. Так, порти складаються з контактів, які підключаються до окремих електричних контактів корпусу. Ці контакти можуть бути вхідними, вихідними або комбінованими [10]. Кожен порт доповнюється декількома регістрами, які визначають напрямок виводу, записують значення, відображають зчитане значення тощо. Сигнали тут є двійковими і приймають два значення. Логічна одиниця представлена напругою, близькою до напруги живлення, і навпаки, логічний нуль підключений до так званої опорної землі, тобто 0 В.

Модулі розширення мікроконтролера

Як зазначалося вище, модулі є важливою частиною MCU і надають йому додаткові функції. Водночас вони дають змогу виконувати різні прості операції поза CPU (наприклад, підрахунок імпульсів), завдяки чому можна або перевести CPU у режим сну та зменшити споживання, або обчислити щось інше на CPU і, таким чином, прискорити відповідь. Нижче наведено декілька найпоширеніших модулів.

До модулів розширення також відносяться підтягуючий та стягуючий резистори. У першому випадку резистор підключається до напруги живлення і таким чином утримує вивід постійно на логічній одиниці. У другому випадку резистор підключений до землі та підтримує значення логічного нуля. Значення цього резистора становить близько кОм, тому через нього протікає дуже низький струм. У деяких випадках відповідний штифт

повинен бути в роз'єднаному стані. Це досягається встановленням його як входу, що переводить його в стан так званого високого імпедансу [10].

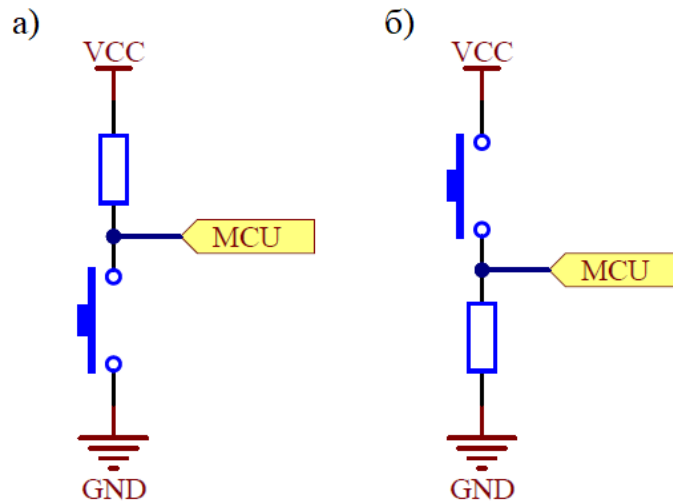


Рисунок 1.6 – Підключення підтягуючого (а) і стягуючого (б) резисторів

Аналогово-цифровий (АЦП) та цифро-аналоговий (ЦАП) перетворювачі є поширеними модулями сучасних мікроконтролерів. Ці пристрої перетворюють цифровий (дискретний) сигнал в аналоговий (безперервний) або навпаки. Як правило, більшість додатків вимагає оцифровки аналогових сигналів, тому мікроконтролери часто оснащуються декількома аналого-цифровими перетворювачами, тоді як цифро-аналоговий перетворювач не зустрічається в більш простих мікроконтролерах. Так, перетворення завжди відбувається проти так званої еталонної напруги, яка зазвичай використовується так само, як і напруга живлення, але також можуть використовуватися інші напруги, які повинні бути подані на відповідний контакт. Результатом аналого-цифрового перетворення є не точне значення напруги, а вказівник [10]. Серед іншого це означає, що без використання зовнішніх компонентів неможливо виміряти напругу, більшу за еталонну. Потім це відображення відбувається з різною роздільною здатністю, де його зменшення призводить до меншого споживання, але за рахунок меншої точності. Перетворення у зворотному напрямку, тобто створення аналогового сигналу, відбувається подібним чином.

Слід зазначити, що таймер є дуже важливим і розширеним модулем. Це дозволяє процесору залишити простий підрахунок імпульсів зовнішньому модулю та присвятити себе іншим обчисленням або зменшити споживання шляхом сну [11]. MCU зазвичай містить кілька різних таймерів, що використовують різні технології, які впливають на енергоспоживання, точність і вартість [18].

Принцип роботи таймера полягає в підрахунку імпульсів. Їх можна зчитувати або з самого початку (це значення можна використовувати для визначення часу в програмі), або лише до певного значення, а потім ініціювати переривання чи певну дію [11]. Це можна використовувати, наприклад, для генерації сигналу широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), а також для переведення програми в режим сну на певний час.

Електронні компоненти та їх можливі з'єднання

Інтеграція мікроконтролера в схему вимагає використання додаткових компонентів. Нижче наведено основні з них, включаючи можливості використання та типове підключення.

Резистор є основним електронним компонентом. Його функція в ланцюзі – забезпечувати електричний опір. Це використовується для обмеження струму, що протікає, створюючи падіння напруги [12] (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Схематичне позначення резисторів

Діод є простим, але важливим електронним компонентом. Це найпростіший напівпровідниковий елемент з одним PN-переходом [13]. Серед більш складних – транзистор, який сприяв розвитку електроніки.

Діод має два виводи які називаються анодом і катодом (рис. 1.8). Його можна підключити в прямому або зворотньому напрямку, залежно від того, на який вивід подається більш напруга вищого потенціалу [13]. Діод поводить

майже як ізолятор (він пропускає одиниці мікроампер) незалежно від зростання напруги. Якщо робоча межа (максимальна напруга замикання) перевищена, PN-перехід розривається, і діод знову стає провідником. Це проникнення зазвичай незворотне, і частина елемента руйнується [13].



Рисунок 1.8 – Схематичне позначення діода

Світлодіод є досить схожим на класичний діод (рис. 1.9). Світлодіоди також мають максимальне струмове навантаження, якого необхідно дотримуватися, інакше PN-перехід буде незворотно пошкоджений. Тому завжди потрібно використовувати захисний резистор. Інша загальна властивість – порогова напруга, тобто напруга, при якій світлодіод відкривається і починає одночасно пропускати струм і випромінювати світло. Значення цієї порогової напруги являє собою падіння напруги на діоді. Це значення залежить від кольору, потужності та виробника елемента і коливається в межах від 1,5 В до 4 В [14].

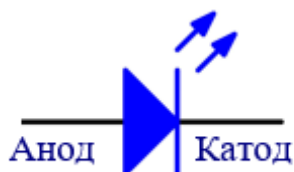


Рисунок 1.9 – Схематичне позначення світлодіода

У поєднанні з бездротовим керуванням, на даний момент, світлодіодні системи є типом освітлення, що найбільш динамічно розвивається [15].

Саме світлодіодне джерело світла складається з двох частин – електричного джерела та світлодіодних модулів. Готові рішення зазвичай

продаються за формою, що нагадує класичну лампочку, включаючи такий же цоколь. Це робить заміну дуже зручною для користувача. Інші поширені конструкції включають так звані світлодіодні стрічки (рис. 1.10).

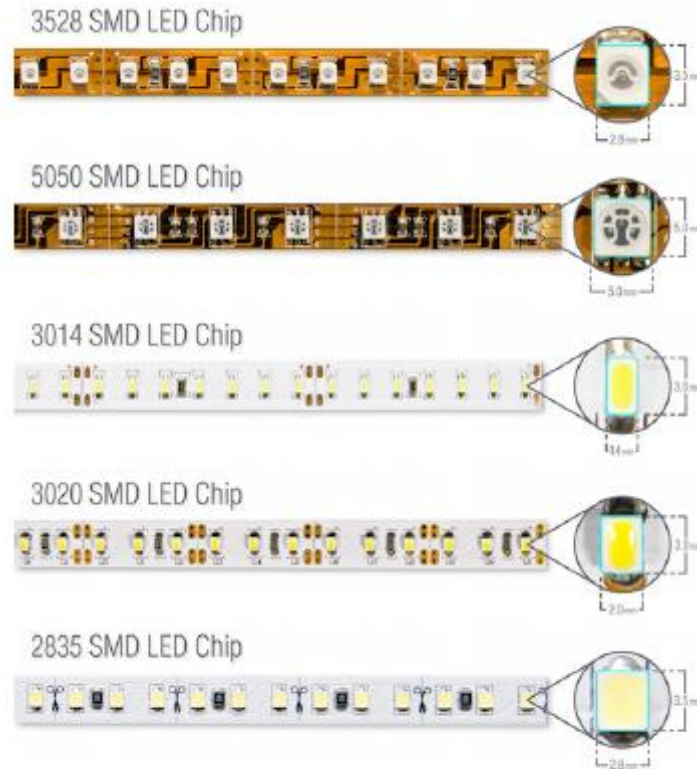


Рисунок 1.10 – Різні конструкції світлодіодних стрічок [15]

Світлодіодні стрічки часто мають клейку поверхню з одного боку та слабкий мідний шар з іншого, до якого в послідовно-паралельному з'єднанні припаяні світлодіоди, включаючи відповідні резистори [15]. Ці стрічки випускаються в різних кольорах і номіналах потужності, з різною кількістю світлодіодів на один метр стрічки. Необхідно доповнити їх схемою живлення і, можливо, ще й керуючою електронікою. Нарешті, варто згадати різні готові світлодіодні відбивачі, які інтегрують все необхідне в своєму корпусі і зазвичай підключаються до домашньої електромережі за допомогою клемної колодки [15].

Транзистор є найважливішим компонентом, серед описаних тут. Він замінив менш надійні, громіздкі та дорогі вакуумні лампи, тим самим

сприяючи розвитку та мініатюризації електроніки. Найпростішим видом є біполярні транзистори, які керуються струмом. Друга група – однополярні, вони управляються електричним полем (напругою), що дозволяє ще більше знизити споживання. Крім того, існують також транзистори комбіновані [13]. Далі будуть розглянуті тільки біполярні транзистори. Принцип роботи інших аналогічний, за винятком невеликих відхилень.

Транзистор складається з двох PN-переходів, і відповідним чином їх поділяють на NPN і PNP. Їх спільною рисою є здатність посилювати струм, тобто невелика зміна струму на вході викликає велику зміну струму на виході. На рис 1.11 схематичне позначення для обох зазначених варіантів. Так, транзистор має три виводи: база (Б), емітер (Е) і колектор (К).

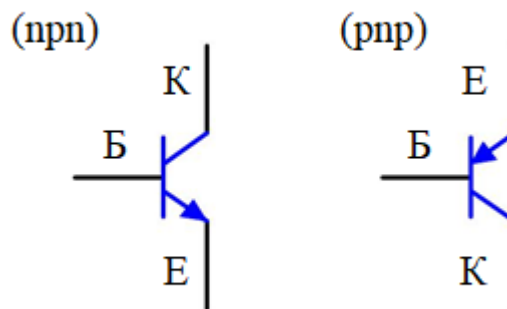


Рисунок 1.11 – Схематичне позначення транзисторів

Відповідно до рис. 1.11, вхідний струм на базі, або струм бази, контролює струм між емітером і колектором, тобто струм колектора [14]. Варіант транзистора (NPN/PNP) тоді визначає напрямок протікання струму.

1.2.2 Технологія регулювання яскравості освітлення

Існує кілька різних підходів до керування яскравістю приладів освітлення. Так, необхідно враховувати не лише фізичний принцип генерації світла, але і продуктивність самого освітлювального прилада та якісні показники освітлення поверхні.

Джерело живлення постійного струму

Наступна процедура базується на законі Ома, або на принципах обчислення потужності. Їх поєднання може призвести до залежності потужності від напруги, або струму. Якщо для живлення використовується постійне джерело, необхідно використовувати змінний резистор, наприклад, потенціометр. Найпростіше підключення за допомогою потенціометра наведено на рис. 1.12 а). Весь струм, що проходить через навантаження (лампочка), також проходить через потенціометр. Це рішення було б застосовним лише до навантаження з потужністю у Ватах, інакше (значне навантаження) потенціометр було б пошкоджено.

Схема за рис. 1.12 б) доповнена транзистором NPN, який тут виконує роль підсилювача. Невеликий струм, що проходить через потенціометр до бази транзистора, використовується для контролю струму, що протікає через лампочку. Кожна його зміна посилюється в кілька сотень разів, тому таким чином можна керувати навіть потужним навантаженням. У такому варіанті межею є вже не максимальне навантаження потенціометра, а максимальне струмове навантаження транзистора. Потенціометр у цьому прикладі можна замінити цифро-аналоговим перетворювачем мікроконтролера.

На жаль, цей підхід не може бути застосований для управління світлодіодами. Тут є дві основні перешкоди. Перша проблема – порогова напруга. Це залежить не лише від виробника, а й від окремих деталей у певній серії (особливо для дешевших модулів). Тому було б необхідно калібрувати номінал резистора окремо для кожного виготовленого діода, що було б дуже непрактично.

Другою перешкодою є вольт-амперна характеристика (ВАХ) самого діода, коли він дуже швидко досягає повної яскравості після перевищення порогової напруги. Це поставило б високі вимоги до точності компонентів. Таке підключення було б дуже чутливим до навколишніх впливів, а також дорогим. Для управління світлодіодом необхідно або використовувати

джерело струму, або застосувати зовсім інший підхід, а саме ШІМ-регулювання яскравості.

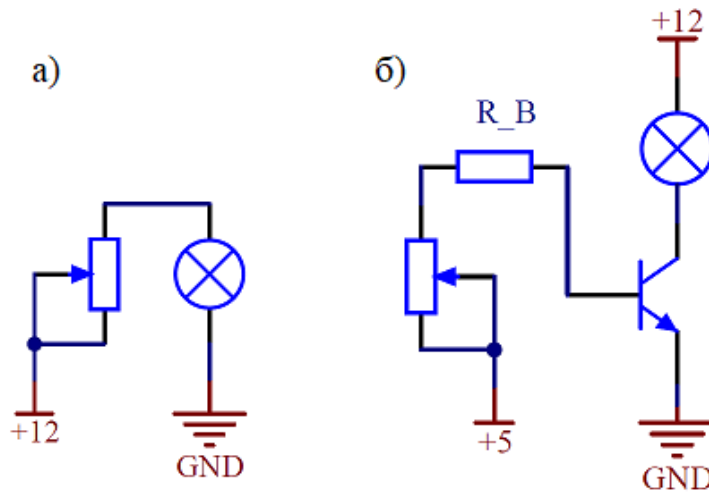


Рисунок 1.12 – Найпростіше можливе підключення змінного резистора для регулювання яскравості освітлення: а) базове з'єднання з потенціометром;

б) розширене підключення за допомогою NPN-транзистора

Технологія ШІМ

Широтно-імпульсна модуляція, є абсолютно протилежним підходом, від описаного вище. Напруга живлення та струм жодним чином не обмежені, але замість цього обмежений час, протягом якого ця енергія надходить до споживача, в даному випадку світлодіодного модуля [16]. Таким чином, джерело живлення забезпечується імпульсами, а ширина цих імпульсів, точніше співвідношення між увімкненим і вимкненим станом впливає на загальну продуктивність (рис. 1.13). Тут використовується інерція людського ока, якщо частота імпульсів досить висока, людина не зможе сприйняти мерехтіння. Натомість виникає ілюзія, що світлодіод змінив яскравість.

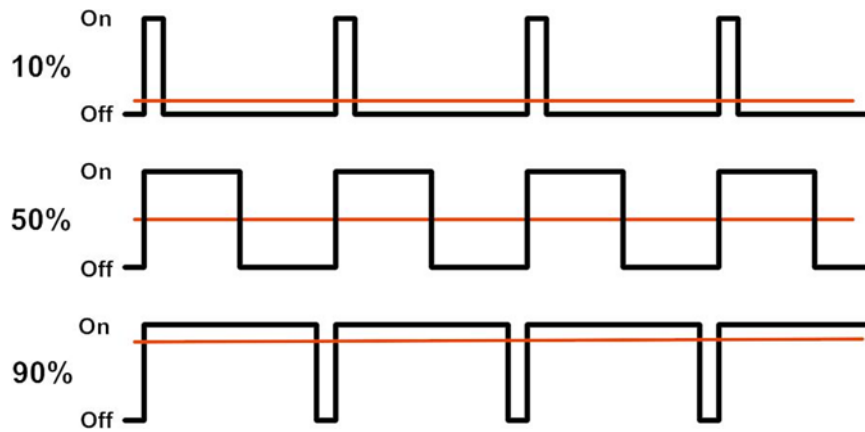


Рисунок 1.13 – Сигнал ШІМ з різним значенням шпаруватості

У порівнянні зі згаданим методом для лампочки, ШІМ має незаперечну перевагу в підтримці MCU, коли, як правило, навіть більш дешеві і прості моделі оснащені таймерами, здатними генерувати цей сигнал [17]. Другою перевагою може бути можливість економії електроенергії, адже надлишок енергії не перетворюється в тепло за допомогою резистора, а завдяки відключенню джерела не витрачається.

1.2.3 Інтернет речей та протоколи зв'язку

Загальна характеристика Інтернету речей

Інтернет речей (англ. IoT) – це позначення взаємозв'язку багатьох об'єктів в одну мережу. Однак все частіше цією мережею вважають Інтернет, тобто отже Інтернет речей. Відповідними об'єктами прийнято вважати звичайні речі з повсякденного життя, які були вдосконалені і підключено до мережі. Приклади включають розумні лампочки, пральні машини, чайник та тощо. Ці нові розумні пристрої дозволяють збирати дані з лічильників датчиками або надають змогу дистанційно керуватися іншими пристроями з мережі.

Потенціал

Враховуючи кількість об'єктів у людському побуті, потенціал IoT величезний. За прогнозом, у 2025 році в компаніях Cisco буде в середньому більше 6 пристроїв, підключених до мережі, на одну людину. Питання

адресації такої кількості пристроїв вирішується запровадженням технології IPv6. Це дає величезний адресний простір [18].

Зараз найпопулярнішим використанням Інтернету речей є збір даних побутової техніки. Однак на цьому його використання не закінчується. Інше застосування можна знайти в містах (система розумного міста), у промисловості (концепція Industry 4.0), у сільському господарстві (наприклад, системи зрошення), в охороні здоров'я (системи E-Health), у спорті (смарт-браслети) тощо [18].

Доступність

Популярність IoT зростає завдяки дедалі простішій доступності датчиків і зручності їх контролю. Так, люди використовують інші пристрої в мережі як елементи управління. У першу чергу, це смартфон або комп'ютер. На ці пристрої встановлюють відповідний контрольний додаток. У свою чергу, програми надають комунікаційний інтерфейс для керування мережею IoT. Перевага з цих програм полягає у простому і централізованому керуванні іншими підмережами, які працюють і на інших протоколах зв'язку.

Комунікаційні протоколи

Пристрої в IoT переважно використовують бездротовий зв'язок через місцезнаходження у часто недоступних локаціях або їх вірогідності їх перенесення.

Нижче розглянуто розширені протоколи для мереж бездротового зв'язку [19].

Wi-Fi

Це група стандартів IEEE 802.11. Один із найпоширеніших протоколів у більшості домашніх господарств. В основному використовується версія 802.11n і її стандартні 2 діапазони – 2,4 і 5 ГГц. Часто технологію використовують для зв'язку елементів, що керують іншими підмережами, з блоком керування інтерфейсу [20].

Bluetooth LE

Удосконалений протокол бездротового з'єднання в діапазоні 2,4 ГГц також простий та доступний. Модуль Bluetooth є в кожному смартфоні. В IoT він почав використовуватись лише з появою версії 4.0 LE (Low Energy) у 2010 році. Це зменшило споживання та підвищило попит на використання у сфері IoT. Відмінністю від класичного Bluetooth є опція переходу у глибокий сон і надсилання даних лише на встановлені проміжки часу [21].

Z-Wave

Відповідний протокол розроблено компанією Zen-Sys для застосування в системах розумного будинку. Виробник приєднується до Z-Wave Alliance відповідно до стандарту ITU-T G.9959. Перевага протоколу полягає у тому, що це зв'язок у маловикористовуваному діапазоні близько 900 МГц, придатний для створення сітчастої мережі високої надійності, оскільки він передає лише невеликі повідомлення про статус пристрою. За специфікацією можливо підключити до 232 пристроїв [22].

ZigBee

Це протокол із використанням стандарту IEEE 802.15.4. Комунікація здійснюється у смузі 2,4 ГГц. Він використовує нижчу швидкість передачі, приблизно 250 кбіт/с. Відноситься до низькоенергетичних протоколів, тому більше підходить для домашньої або промислової автоматизації [23].

ANT

Це ще один протокол, який обмінюється даними в діапазоні 2,4 ГГц. Його принцип функціонування схожий на Bluetooth LE. Тобто низькі вимоги до споживання енергії та передачі даних за короткі проміжки часу, низькі інтервали бітрейту. У випадку ANT, відповідний діапазон становить 12,8–60,0 кбіт/с.

Більш поширеним наступником став ANT+, розроблений у співпраці з американською компанією Garmin. Цей протокол сьогодні в основному використовується у фітнес-датчиках за технологією SigFox. Це протокол для віддаленого зв'язку в енергоефективних мережах дальнього радіусу дії (англ.

LPWAN). Це альтернатива до класичних стільникових мереж, але безпосередньо розроблених для IoT. Перевагою мережі є охоплення в межах десятків кілометрів, а використовуваний діапазон «промисловий, науковий і медичний (англ. ISM) Діапазон 868 МГц. Він використовує дуже вузький канал зв'язку, що дозволяє надсилати обмежену кількість невеликих повідомлень до 12 біт. Недоліком, порівняно з попередніми персональними бездротовими мережами зв'язку (англ. WPAN), є необхідність вже розгорнутої інфраструктури [24].

LoRaWAN

Це ще один із протоколів для мереж LPWAN. Він побудований на протоколі LoRa, який працює до 2-го рівня еталонної моделі взаємозв'язку відкритих систем (англ. OSI) та додає до нього деякі функції з 3-го рівня такі як пакетування та багатоадресна передача. Знову ж таки, перевагою є великий радіус дії в межах десятків кілометрів, а недоліком обмежений розмір повідомлення до 256 біт. Порівняно з SigFox, він більше підходить для двостороннього зв'язку, оскільки пропонує напівдуплексний режим, коли приймач стає передавачем і навпаки, за допомогою того ж радіомодуля [25].

1.3 Формування концепції розроблюваної системи

З попереднього аналізу стає зрозуміло, що існує достатня кількість технологій для проектування та реалізації бездротових систем освітлення. Про це знають і виробники, які на даний момент пропонують різні рішення цієї проблеми. Вони відрізняються один від одного як основними параметрами (наприклад, кольором випромінюваного світла, світловіддача, термін служби тощо), так і використовуваними технологіями та можливостями. Звичайно, важливо не забувати про кінцеву вартість на дане рішення. Це не тільки сума цінників окремих елементів, але також необхідно включити витрати, пов'язані із заміною існуючої електроустановки, або інфраструктури мережі. Також слід враховувати час, витрачений на монтаж та налаштування системи освітлення. Звичайно, необхідно також оцінити загальний комфорт користування.

1.3.1 Існуючі рішення для бездротового керування освітленням

В даний час на ринку представлена велика кількість джерел світла з бездротовим керуванням від різних виробників, що пропонують різні функції та взаємну сумісність або, навпаки, несумісність [26].

Нижче описано кілька конкретних продуктів, їхні властивості, спосіб зв'язку та функціональність засобів керування.

Philips Hue LightStrip Plus

Це двометровий RGB світлодіодна стрічка з блоком управління та блоком живлення (рис. 1.14).



Рисунок 1.14 – Philips Hue LightStrip Plus v4 – 2 метри [27]

Довжину стрічки у зазначеному комплекті можна подовжити до десяти метрів за допомогою додаткових модулів. Прилад комунікує з навколишнім середовищем через Bluetooth. Користувач має вибір: керувати безпосередньо з мобільного телефону без можливості більшої інтеграції з іншими елементами або придбати центральний блок під назвою Philips Hue Bridge, який надасть йому розширені можливості керування [27]. Для прямого зв'язку Bluetooth

необхідно використовувати мобільний додаток Philips Hue Bluetooth. Він має відносно високий рейтинг у Google Play (4,5 зірки) та App Store (4,7 зірки) [27].

Слід зазначити, що існує кілька обмежень даного рішення. Насамперед це менший радіус дії, виробник спеціально вказує дев'ять метрів. Цього може бути недостатньо для великого приміщення в поєднанні з кількома стінами. Друге обмеження – максимальна кількість пристроїв, яка обмежена показником 10. Додаток дозволяє змінювати колір і яскравість навіть для кількох стрічок одночасно, або використовуючи одну із попередньо встановлених сцен.

У випадку додаткової комплектації засобами Hue Bridge, зв'язок буде виконуватись а допомогою ZigBee, що усуває обмеження малої дальності, хоча в описі виробника ця інформація викладена обмежено. Так, Hue Bridge забезпечує можливість інтеграції з домашніми помічниками та сторонніми службами, такими як Samsung SmartThings [28]. Bridge підключається до мережі за допомогою мережевого кабелю, що для деяких реалізацій може бути недоліком. Для керування використовується додаток Philips Hue, який доступний для iOS та Android із хорошою оцінкою 4,6 зірки. Освітлення можна організувати для окремої робочої зони, щоб полегшити контроль. Загалом до системи можна підключити до 50 світильників і 12 елементів керування [28].

Sonoff MINI

Це не безпосередньо джерело світла, а комутатор Wi-Fi. Він призначений для встановлення разом із вимикачем та лампою (рис. 1.15). З одного боку, це дає можливість легко модифікувати поточне освітлення для бездротового керування, з іншого боку, це рішення пропонує лише обмежені можливості. Наприклад, користувачі не можуть змінити яскравість або колір. Для керування використовується додаток eWelink, який є спільним для кількох пристроїв, що використовують цю платформу. Оцінка програми нижча, але все ще прийнятні 4,1 зірки для Android, але лише 2,7 для iOS. Загалом, архітектура REST API доступна для досвідчених користувачів, що полегшує

можливу інтеграцію в інші систем. Перемикачі Sonoff внутрішньо використовують мікроконтролери сімейства ESP [29]. Так, дещо модифікувавши пристрій, послідовний порт можна зробити доступним і завантажити альтернативну прошивку.



Рисунок 1.15 – Комутатор Sonoff MINI Wi-Fi [30]

IKEA TRADFRI

Розумне освітлення ІКЕА під загальною назвою TRADFRI слугує демонстрацією рішення з використанням технології ZigBee (рис. 1.16). ІКЕА пропонує прилади для повністю бездротового керування освітленням. Тобто, лампочки, комплектні освітлювальні прилади, а також елементи керування та датчики (наразі пропонується лише датчик руху). Бездротові вимикачі та датчики живляться від батарейок.



Рисунок 1.16 – Лампочка ІКЕА TRADFRI і контролер

У випадку з IKEA TRADFRI, зовсім не обов'язково купувати центральний блок (шлюз), який би керував зв'язком. Шлюз служить мостом між технологією ZigBee і Wi-Fi, таким чином надаючи можливість керувати освітленням з мобільного телефону або інтеграцію з іншими пристроями в мережі. IKEA спеціально дозволяє змінювати колір і яскравість за допомогою програми. А із розширених функцій пропонуються лише таймери. Ці обмежені можливості слід вирішити за допомогою іншого шлюзу. Сертифікація ZigBee повинна забезпечувати взаємну сумісність, тому має бути можливість комбінувати шлюзи, лампи та контролери різних виробників.

TP-Link Tapo L530E, MiPow Playbulb Smart

Ці дві лампи є більш простим рішенням у поточному огляді. Перша комунікує через Wi-Fi, друга через Bluetooth (рис .1.17).



Рисунок 1.17 – TP-LINK Tapo L530E (зліва)

бі MiPow Playbulb Smart (праворуч)

Обидва варіанти потребують мобільних додатків для контролю та не дозволяють більш просунуту інтеграцію з іншими елементами. Лампочка від TP-Link також дозволяє керувати голосом через домашнього асистента. Відповідний додаток TP-Link Tapo має хороші оцінки (4,6 і 4,7 зірки в

магазинах додатків) і об'єднує інші пристрої того ж бренду. Навпаки, продукт MiPow із додатком PLAYBULB X, а саме його додаток має дуже низький рейтинг – 2,2 зірки в Google Play і 2,8 зірки в App Store. Хоча опис програми також обіцяє керувати декількома пристроями, існує обмеження на радіус дії сигналу Bluetooth. Крім того, користувачі повідомляють про проблеми з підключенням.

ESPHome

Це не готове рішення, як у попередніх прикладах, а прошивка з відкритим кодом для мікроконтролера ESP32 (і його попередника ESP8266). Частиною цього продукту є generator, в якому користувач може створити власний елемент розумного дому без необхідності складного програмування. Отримані модулі комунікують з центральним блоком Home Assistant за допомогою спрощеного мережевого протоколу (англ. MQTT). Це рішення орієнтоване на досвідчених користувачів, яким потрібно контролювати всі елементи приміщення та не задоволені функціями загальнодоступних рішень.

Світлодіодний блок RGB 5m

На рис. 1.18 наведено набір – світлодіодна стрічка, адаптер живлення та пульта дистанційного керування.



Рисунок 1.18 – Повна збірка RGB 5m з пультом керування і адаптером живлення

Відповідний пульт керування зазвичай використовує технологію інфрачервоного променя або передачу 433 МГц. Цей контролер або прив'язаний до певної стрічки, тому одним контролером неможливо керувати кольором і яскравістю різних стрічок, або, навпаки, кількома стрічками можна керувати за допомогою одного контролера. Інтеграція з іншими елементами або управління зі смартфона неможливі. Тут використовує передачу зі зв'язком 433 МГц, тому пряма видимість між контролером і приймачем не потрібна.

Оцінка ефективності доступних засобів освітлення

Користувач може вибрати кілька різних підходів для досягнення бездротового керування освітленням. Далі все залежить від того, чи потрібно керувати бездротовим способом усім приміщенням чи лише кількома освітлювальними приладами. Так, можливо придбати готове рішення в одній коробці або, навпаки, поєднати елементи від різних виробників, або сконструювати і виготовити їх повністю самостійно.

До таблиці 1.2 зведено узагальнену характеристику розглянутих засобів керування освітленням

Таблиця 1.2 – Характеристика досліджуваних засобів керування освітленням

Назва пристрою	Колір LED	Комунікаційний протокол	Оцінка додатку
Philips Hue	RGBW	ZigBee	4,5/4,7
IKEA TRADFRI	Білий	ZigBee	3,8/4,4
Стрічка RF LED	RGB	-	-
TP-LINK Tapo L530E	RGB	Не ліцензовано	4,6/4,7
PLAYBULB Smart Bulb	RGBW	-	2,2/2,8
Sonoff MINI	-	HTTP	4,1/2,7
ESPHome	-	MQTT	-

Нижче більш детально порівнюються відповідні показники з урахуванням різноманітних можливостей і продуктивності, більш того, деякі рішення вимагають придбання так званого шлюзу, щоб повністю використовувати свій потенціал. Тим не менш, цікаво, що найдорожча лампочка Smart Bulb відноситься до гірших рішень. Прошивка ESPHome взагалі не має зазначеної вартості, оскільки вона залежить від використовуваного обладнання.

Philips Hue – це комплексне рішення від одного виробника, що призначене насамперед для користувачів, які не хочуть мати справу зі складною технічною інформацією. Так, скоріше за все, це переважна більшість користувачів даного продукту. Хоча Philips ніде чітко цього не вказує, він використовує технологію ZigBee. Комбінація з продуктами інших виробників, очевидно, повинна бути можливою, але виробник не згадує про це. Серія Hue пропонує велику кількість ламп і джерел світла в різних дизайнах. Вони доповнені дистанційним керуванням або бездротовим вимикачем, що полегшить перехід до цієї системи консервативним користувачам.

IKEA TRADFRI певним чином нагадує Philips Hue. Хоча і не пропонує такої широкої екосистеми продуктів або складного застосування, навпаки, пропонує низьку ціну та перевірену користувачами сумісність з іншими системами на основі ZigBee. Також рішення надає більше можливостей для більш досвідчених користувачів, таких як бездротове керування будь-якою світлодіодною стрічкою або універсальну кнопку з набором позначок, які можна встановити для виконання певної дії.

Стрічка RF LED – це одне з більш простих і дешевих рішень. Через необхідність використовувати спеціальний пульт дистанційного керування та низькі можливості інтеграції з іншими елементами, він більше підходить, коли користувач не має необхідності у бездротовому керуванні освітленням всього приміщення, а лише певним освітлювальним приладом. У цьому випадку цього рішення може бути цілком достатньо.

TP-LINK Taro L530E – це автономна Wi-Fi-лампа, з якою користувача має налаштувати управління через мобільний додаток або голосовий помічник. Протокол зв'язку виробник не опублікував, але можна знайти його неофіційний реліз. Судячи з усього, лампочки прослуховують порт 9999, а повідомлення передаються за протоколом датаграми користувача (англ. UDP). Крім RGB лампочки, також можна придбати білий цоколь, інших варіантів виробник на даний момент не пропонує. Неможливість легкої інтеграції з оточенням і відсутність настінних вимикачів є великою перешкодою для використання в усьому приміщенні. Але якщо виробник почне пропонувати і комутатори, або користувач створює свій власний, це може бути цікавою та простою альтернативою.

Рішення PLAYBULB Smart Bulby цього списку представляє лампочки, керовані лише через Bluetooth. Варто додати, що цей тип освітлення поступово зникає, враховуючи варіанти, які пропонує конкурент. Попередня лампочка TP-LINK Taro також проста, але завдяки Wi-Fi забезпечує керування в межах домашньої мережі. З іншого боку, лампочка PLAYBULB обмежена радіусом дії Bluetooth, тому нею можна практично керувати лише в межах даної кімнати або навіть із сусідніх кімнат, залежно від товщини стін. Крім того, можуть виникнути проблеми зі з'єднанням Bluetooth, і зазвичай користувачі висловлюють незадоволення функціональністю програми.

Хоча Sonoff Mini не є саме джерелом світла, навпаки, пропонує просту можливість замінити звичайні вимикачі на дистанційні. Хоча реле не дозволяє контролювати яскравість, з іншого боку, користувачам не потрібно міняти наявні вимикачі чи прилади освітлення. Таким чином, деякі користувачі можуть мати неглибокі монтажні коробки в стіні, що ускладнить переобладнання. Досвідчені користувачі можуть завантажувати альтернативне мікропрограмне забезпечення і, таким чином, використовувати лише апаратне забезпечення, надане виробником, у поєднанні з власним програмним рішенням.

ESPHome, на відміну від інших згаданих вище рішень, це не комерційний продукт, а лише прошивка для мікроконтролерів Espressif. Деякі виробники також використовують їх у своїх продуктах, і користувач має змогу поєднати професійний продукт із власним програмним рішенням (наприклад, вищезгадані реле Sonoff). Крім освітлення тут реалізовані й інші елементи розумного будинку. Таким чином, досвідченим користувачам надається багато можливостей для створення розумного дому та бездротового керування освітленням відповідно до їхніх можливостей. У проекті відсутній центральний блок, що дає користувачеві свободу у його виборі, але з іншого боку це ускладнює реалізацію.

1.3.2 Аналіз наявних реалізацій засобів студійного освітлення з бездротовим керуванням

NANLITE PavoTube 30C

Одним із продуктів NanLite є світлодіодна трубка RGB, яка використовується для студійного освітлення (рис. 1.19).



Рисунок 1.19 – Світлодіодна трубка NanLite PavoTube 30C

Лампа може живитися від мережевого адаптера або внутрішнього літій-іонного акумулятора. Батарея забезпечує до 2 годин роботи на повній потужності, яку можна безперервно регулювати в межах 0-100% і має максимальний показник 16 Вт (1337 лм). Трубка пропонує діапазон колірних температур від 2700-6500 К. Для зручного управління світлом використовуються 6 кнопок і два поворотних елемента для налаштування індивідуальних параметрів світла. Для наочності налаштувань трубка також оснащена дисплеєм, на якому відображаються обрані налаштування. Інші функції включають регульовані світлові ефекти, коли трубка імітує маячки поліцейської машини, блискавку під час шторму, полум'я свічки або просто мерехтіння. Світлом також можна керувати дистанційно за допомогою програми для мобільного телефону. Для утримання труби використовується напівпрозорий затиск із різьбленням для штатива на тильній стороні, який кріпиться до трубки, а потім закріплюється на штативі [40].

Yongnuo YN360 покоління III

Лампа Yongnuo RGB також відноситься до світильників, які використовуються для освітлення зйомкових сцен (рис. 1.20).



Рисунок 1.20 – Лампа Yongnuo YN360 покоління III

Відповідна лампа не має вбудованого акумулятора, тому необхідно підключити зовнішнє джерело живлення або акумулятор типу NP-F, наприклад NP-F550, NP-F750, NP-F970. Прилад реалізує 3 типи освітлення, які мають колірну температуру від 3200 до 5500K і діоди RGB. Трубка має загальну яскравість 2790 лм при потужності 21,6 Вт і куті променя 55-110°. Основним елементом управління є знімний контролер з простим дисплеєм, кнопками для базового керування освітленням і сенсорною поверхнею для налаштування кольору. Ще одним способом управління світлом є можливість управління за допомогою мобільного додатку. У нижній частині світильника є різьба $\frac{1}{4}$ дюйма, яка використовується для кріплення світлової трубки до фотоштатива.

Fomei LED MINI RGB 12

Ще один продукт на ринку – це Fomei LED MINI, що є невеликим RGB-світильником потужністю 12 Вт (1500 Лм) (рис. 1.21).



Рисунок 1.21 – Світильник Fomei LED MINI

Діапазон колірних температур цього освітлювального пристрою становить 2500-9000 К. Вбудований акумулятор ємністю 3000 мАг забезпечує 90 хв автономної роботи при 100 % заряді. Для зарядки акумулятора світильника використовується кабель USB-C. Два поворотних елемента управління збоку від світильника використовуються для зручного керування

всіма режимами роботи. Так, можливою є зміна колірної температури, спектру RGB або активація заздалегідь підготовлених фільм-ефектів, такі як поліцейські вогні, машини швидкої допомоги чи мерехтіння телевізора. Іншим варіантом контролю може бути використання мобільного додатку. Прилад розміщується на поворотному штативі. Завдяки своєму розміру, світильник також можна прикріпити безпосередньо до камери за допомогою відповідного адаптера.

Основні характеристики аналізованих засобів студійного освітлення зведено до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічна характеристика засобів студійного освітлення

Пристрій	NanLite Pavotube 30C	Yongnuo YN360	Fomei MINI RGB
Світловий потік, лм	2850	2790	1500
Температура кольору, К	2700-6500	3200К – 5500	2500К – 9000
Час автономної роботи	2 год	50-90 хв	90 хв
Розміри (ДШГ), мм	1200x48	583 x 48 x 24	156x80x15
Маса, г	1180	805	300
Готужність, Вт	32	21,6	12

За таблицею 1.3 можна зробити висновок, що найкращими параметрами характеризується пристрій освітлення NanLite Pavotube 30C. Цей бренд займається цілим рядом приладів студійного світла і є одним з популярних пристроїв, які використовуються професіоналами, але це також відображається на його вартості.

1.3.3 Вимоги до розроблюваної системи студійного освітлення

За результатами проведеного аналізу визначено, що основним параметром систем студійного освітлення є їх продуктивність у поєднанні зі світловим потоком і колірною температурою. З більшою потужністю відповідні сцени можуть бути краще освітлені навіть в умовах поганого природного освітлення.

На основі аналізу вищезгаданих пристроїв, які є на ринку, сформовано наступні вимоги до розроблюваної системи студійного освітлення:

- RGB-стрічка у якості освітлювального модуля;
- робоча напруга 12 В для уніфікації джерел живлення;
- бездротове управління;
- алгоритми шифрування команд керування;
- Wi-Fi як основна комунікаційна технологія.

Основні вимоги до розроблюваної системи студійного освітлення включають використання RGB-стрічки, робочу напругу 12 В, бездротове управління з Wi-Fi, та алгоритми шифрування команд керування.

Висновок до розділу

Сучасні технології освітлення, особливо ті, що базуються на світлодіодах (LED), розвиваються швидкими темпами, пропонуючи високу ефективність, довговічність та різноманітність варіантів керування. Принципи роботи LED та їхні особливості, такі як колірна температура, індекс передачі кольору (CRI) та можливості дифузії світла, є ключовими для забезпечення якісного освітлення в різних умовах використання, включаючи студійне освітлення і декоративне освітлення в житлових та комерційних просторах.

Сучасні технології бездротового керування, які включають Wi-Fi, Bluetooth та інші протоколи, такі як ZigBee або Z-Wave, дозволяють інтегрувати освітлювальні системи в більш широкі екосистеми Інтернету речей (IoT), забезпечуючи зручність і підвищений контроль за освітленням.

Аналіз ринку показав, що існують різні рішення для студійного освітлення, від простих світлодіодних стрічок до складних систем з можливістю точного регулювання параметрів світла. Важливість вибору правильного обладнання не може бути недооцінена, оскільки воно безпосередньо впливає на якість освітлення, що є критичним для професійного візуального контенту.

На основі проведеного аналізу, ключовими критеріями для розробки нових систем освітлення є енергоефективність, можливість дистанційного керування, висока якість світла (включаючи CRI та колірну температуру) та інтеграція з сучасними технологіями IoT. Ці критерії дозволять створити гнучкі та ефективні освітлювальні системи, які можуть бути адаптовані до різних потреб користувачів і різноманітних умов експлуатації.

2 МЕТОДИКА РОЗРОБКИ ТА ВИБІР СКЛАДОВИХ СИСТЕМИ СТУДІЙНОГО ОСВІТЛЕННЯ

2.1 Керуючий мікроконтролер

Мікроконтролер ESP8266 є продуктом компанії Espressif Systems з Китаю. Перевагою подібного рішення є можливість програмувати безпосередньо на процесорі і доступ до контактів інтерфейсу введення/виведення загального призначення (англ. GPIO). Він є досить ефективним модулем для IoT-застосувань. Поступово з розширенням з'явилися обмеження, які наступники намагаються усунути. Наприклад, невелика оперативна пам'ять, кілька доступних пінів (10 із 16), закритий набір інструментів із засобів розробки (англ. SDK).

2.1.1 Технічні характеристики

Мікроконтролер розроблений для автономної роботи та має виправлення багатьох обмежуючих властивостей попередників. З самого початку він розроблявся як проект з відкритим кодом. Його випустили на ринок офіційно 1 вересня 2016 року. Модуль оснащений двоядерним мікропроцесором Xtensa LX6, де кожне ядро працює на частоті в діапазоні 80-140 МГц. Спочатку доступний лише для розробників одне ядро, а інше призначене для WiFi. Другий був випущений пізніше для розробників і він навіть підтримує симетричну багатопроцесорність. Він також оснащений 480 КБ пам'яті ROM і 520 КБ статичної оперативної пам'яті з довільним доступом (англ. SRAM), включаючи 8 КБ пам'яті годинника реального часу (англ. RTC), яка доступна під час пробудження з режиму глибокого сну. У розробника є в наявності достатньо 270 кБ пам'яті. Плата також підтримує до 4x4 МБ (16 МБ) флеш-пам'ять, також містить співпроцесор ультра-малої потужності (англ. ULP) для режиму глибокого сну, який залишається заживленим разом із уже згаданою пам'яттю RTC. На платі присутні 34 програмованих контакти GPIO, однак у різних версіях ця кількість може різнитися. Крім того, модуль

оснащений як аналого-цифровими перетворювачами, так і двома 8-розрядними цифро-аналоговими перетворювачами. Модуль також має датчик температури, шину I2C, шину Ethernet та ін. [8].

Послідовний зв'язок

SPI

Це послідовна шина, призначена для периферійних пристроїв. Відповідний протокол базується на принципі «Master/Slave» і вимагає щонайменше чотирьох проводів. У реалізації задач можуть допомогти шини зв'язку, постійна програмована пам'ять, що стирається електрично (англ. EEPROM), A/D, D/A перетворювачі тощо.

I2C

Інша послідовна шина типу Master/Slave призначена для периферійних пристроїв переважно на модулі. Однак, на відміну від SPI, її також можна підключити як мульти-майстер, де є більше мікросхем головного типу. Однак SPI має лише 2 дроти – провід даних SDA і тактовий сигнал SCL. З допомогою одного дроту даних, немає можливості повного дуплексу, як із SPI, і можливе лише використання напівдуплексного зв'язку. Також тут відсутня можливість використовувати кілька проводів для підлеглого вузла. Адресація відбувається з використанням заданої 7-бітної адреси даного веденого вузла. Шину I2C доцільно використовувати його для зв'язку з периферійними пристроями, такими як монітори, LCD-дисплеї, аудіотехніка тощо.

UART

UART – це універсальний асинхронний приймач/передавач, що використовується для зв'язку між двома пристроями, де останні мають підтримувати цей протокол. Це асинхронний повнодуплексний зв'язок. Таким чином, пристрій функціонує одночасно як передавач і приймач. Оскільки це асинхронний режим зв'язку, сторони знову повинні мати однакову встановлену швидкість зв'язку, або швидкість передачі даних. Основне використання можна знайти в спілкуванні між комп'ютером і мікроконтролером.

Бездротовий зв'язок

WiFi

Відповідний модуль оснащений засобами WiFi. Він підтримує стандарти 802.11b/g/n. За стандартом 802.11n вказана максимальна швидкість до 150 Мбіт/с у діапазоні 2,4 ГГц. WiFi підтримує інструкцію TCP/IP, тому йому призначається IP-адреса під час підключення до мережі. Wifi є стандартно захищений через захищений доступ Wi-Fi (англ. WPA)/WPA2 і захищене налаштування Wi-Fi (англ. WPS).

Bluetooth

На платі також присутній модуль Bluetooth. Починаючи з версії 4.2 вже підтримується Bluetooth LE, тобто забезпечується можливість низького енергоспоживання. Також включено протокол 6LoPAN, який використовує повні адреси IPv6 у мережі Bluetooth.

2.1.2 Безпека

У порівнянні з попередником ESP8266, де безпека зв'язку забезпечувалася лише стандартом WPA та IEEE 802.11i, наступник приходить із прискоренням апаратного шифрування. Це реалізовано за допомогою бібліотек AES, HASH (SHA-2), RSA, ECC і RNG.

Безпека Wi-Fi

У зв'язку з розширенням бездротового з'єднання за стандартом IEEE 802.11, виникла необхідність створення форми захисту від атак ззовні. Перший великий і сьогодні вже зламаний стандартом був WEP. Дані в WEP мали бути захищені на тому ж рівні, що й класичне шифрування для локальної мережі. Його збій стався через використання статичного ключа і передбачуваність вмісту завдяки заголовкам пакетів, коли було достатньо лише кілька хвилин, щоб перехопити пакети даних.

WPA

Оскільки WEP було зламано протягом 4 років, пошуки заміни почалися ще до заснування стандарту 802.11 і була випущена перша версія WPA, яка у

результаті стала частиною цього стандарту. Так, WPA вирішив основні проблеми стандарту WEP. Автентифікація в WPA відбувається двома способами. Перший – використання попереднього спільного ключа доступу (англ. PSK), коли на точці доступу та клієнтах є 256-бітний ключ. Така система підходить для невеликих домашніх мереж. Другий спосіб – використання загальної структури безпеки за стандартом 802.1x і розширеним протоколом автентифікації (англ. EAP). У другому способі автентифікація визначається відповідним сервером за допомогою протоколу RADIUS, який спілкується лише з точкою доступу.

Проблему статичного ключа від WEP було вирішено за допомогою протоколу TKIP. Він генерує новий 128-бітний ключ кожні 10 000 пакетів. Цей ключ змішаний з MAC-адресою та порядковим номером IV у 2 фази. Порядковий номер IV збільшується з кожним надісланим пакетом, тому його TKIP буде використовуватися як лічильник послідовності. Цей лічильник допоможе запобігти так званим відповідям атак, до яких протокол WEP також був сприйнятливий.

Великою перевагою протоколу WPA була легкість розширення на пристрої. Протокол не потребує змін апаратного забезпечення. Виробнику достатньо було просто випустити нову прошивку для відповідного пристрою.

WPA2

Оскільки протокол WPA в основному вирішував найбільші недоліки протоколу WEP, він все ж мав свої проблеми. Це переважно сприйнятливість до словникових атак при використанні слабкого пароля. Крім того – це використання старого алгоритму шифрування RC4. Тож, відповідний наступник – WPA2 вже був визначений як стандарт IEEE 802.11i. Порівняно з попередником він уже не міг реалізуватись лише через оновлення мікропрограми, а потрібно було використовувати нове обладнання. Тут найбільшою зміною стало використання симетричного розширеного стандарту шифрування (англ. AES). Це шифрування безпечніше та навіть ефективніше, ніж попередник RC4. Прискорення було викликано видаленням

алгоритму MIC і використанням режиму CCMP в AESpro замість нього виведення ключів. Як і перша версія WAP, цей протокол все ще вразливий при виборі слабкого пароля.

WPS

Це додатковий стандарт сертифікації, виданий Wifi Alliance, який підходить для домашні мережі та мережі малого масштабу. Його перевагою є легке налаштування безпеки навіть для людей з мінімальними знаннями про бездротові мережі. Існує багато способів налаштувати WPS застосувавши PIN-код, який використовується для підключення до точки доступу та зазначається на етикетці пристрою. Другий спосіб використовує конфігурацію кнопки (PBC). Третій спосіб – через USB пристрій, на який дані для підключення передаються через USB-накопичувач. Останній спосіб через зв'язок ближнього поля (англ. NFC), коли дані підключення передаються за допомогою радіочастотної ідентифікації (англ. RFID). Останні два способи це позасмугові методи, де не використовується канал Wi-Fi. Ці 2 способи діють одночасно та не є обов'язковими для виробників, тоді як PIN-код є обов'язковим для WPS.

Апаратне шифрування

Апаратне шифрування є ще одним удосконаленням модуля ESP8266, що реалізується за рахунок вивільнення обчислювальної потужності процесора. У той же час, шифрування також має бути швидким.

Нижче більш детально описано 2 методи шифрування, зокрема симетричний розширений стандарт шифрування (англ. AES) і асиметричний алгоритм Рівест-Шамір-Адлемана (англ. RSA).

AES

Це симетричний блоковий шифр із довжиною одного блоку 128 біт. Він є заміною шифрування DES. Симетричне шифрування використовує один спільний ключ для обох процедур – шифрування та дешифрування. У шифруванні AES ключі можуть мати 3 довжини – 128, 192 і 256 біт. Перевагою довших блоків є стійкість проти вже відомих атак, таких як атака грубою

силою. Шифрування одного блоку виконується кількома ітераціями в залежності від довжини ключа. Одна ітерація складається з 4 кроків – «SubBytes», «ShiftRows», «MixColumns», «AddRoundKey». AES вважається безпечним, а також швидким шифруванням, яке не має бути зламане доступними засобами в осяжному майбутньому.

RSA

У порівнянні з попереднім шифруванням AES, алгоритм шифрування RSA використовує два ключі. Так, це асиметричне шифрування, оскільки воно шифрує дані одним ключем, а для розшифрування потрібен інший. В алгоритмі RSA ключі називаються закритими та відкритими. Перший ключ є доступним для всіх сторін і використовується для шифрування даних. Другий, закритий ключ, має охоронятися, оскільки дані розшифровуються з його допомогою.

Обговорювані ключі базуються на двох досить великих простих числах, які множаться між собою. Рекомендована довжина сьогодні становить 1024 біти і більше. Та слід зазначити, що даний спосіб шифрування не є найбільш підходящим для задач поточної роботи. Це зумовлено необхідністю передачі великих блоків даних. Доцільним варіантом є застосування цифрового підпису або шифрування ключем для швидшого симетричного шифру, як AES. Найбільшою слабкістю цього шифрування є не дуже надійне зберігання закритого ключа.

2.1.3 Програмування мікроконтролера

Мікроконтролер ESP8266 використовує можливості розповсюджені та функціональної платформи Arduino. Так, його можна запрограмувати у відповідному середовищі розробки Arduino IDE. Безпосередньо Espressif реалізували цю можливість, отже не має бути ускладнень при використанні відповідного програмного середовища. Ще однією перевагою такого підходу є сумісність з бібліотеками Arduino, які підтримують величезну кількість різноманітних датчиків. Тож, достатньо буде знайти відповідну бібліотеку,

завантажити її та додати до середовища розробки. Необхідне програмування також можливо виконати в альтернативному середовищі, наприклад Atom із PlatformIO, у Visual Studio з PlatformIO або Eclipse IDE із відповідним плагіном.

Wiring

Середовище Wiring розроблено для програмування мікроконтролерів силами користувачів з мінімальними знання обладнання. Тим не менш, не слід називати це мовою програмування. Так, Wiring – це більше бібліотека для існуючої широко використовуваної мови C++. Перевагою цього рішення є спрощення процедур, так що мікроконтролер може запрограмувати навіть новачок без особливого знання мови C++. Але знання базового синтаксису є важливим. У деяких випадках, для більш складного програмування, Wiring може бути недостатньо та може виникнути необхідність повернутися до програмування C++.

Поширеність

Модуль ESP32 користується великою популярністю з моменту свого випуску. Доступність, що зумовлена помірною ціною зробили його одним із основних інструментів у системах інтернету речей. Першочергово важливим фактором є наявність модулів Bluetooth та Wi-Fi. Для більших сучасних плат мікроконтролерів таких як Arduino або BigClown, необхідно окремо придбати модуль Wi-Fi, і це вимагає додаткових витрат. Також ESP32 має достатню кількість можливостей програмування для смарт-систем. Тож, простота програмування засобами Arduino, наявна документація, підтримка виробника та широка спільнота – це основні фактори, що позиціонують плату ESP32, як один із основних інструментів IoT [43].

2.2 Блок керування

2.2.1 Особливості

Одним із головних завдань поточної роботи є розробка засобу керування освітлювальними приладами, з керуванням через Wi-Fi. Так, відповідний блок керування має контролювати роботу світлодіодної стрічки. Тут також слід передбачити 2 цифрові входи та 2 силові виходи під навантаження. Зв'язок через Wi-Fi буде доповнюватись відповідним програмним рішенням засобами Blynk. Для послідовного зв'язку передбачено шину UART, з можливістю підключення USB від персонального комп'ютера та введення визначених команди.

Блок-схема комунікацій в межах блоку керування розроблюваної системи освітлення наведена на рис. 2.1.

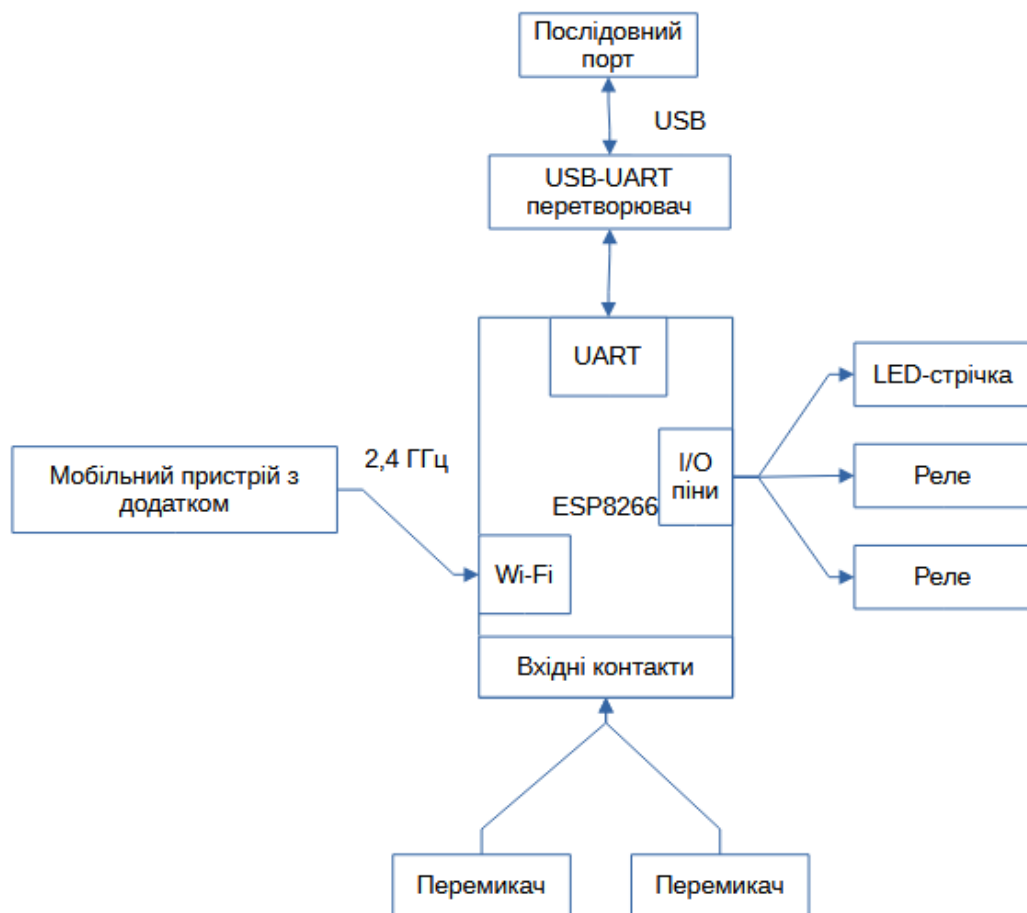


Рисунок 2.1 – Блок-схема комунікації блоку керування системи освітлення

Одним із головних завдань поточної роботи є розробка засобу керування освітлювальними приладами через Wi-Fi. Блок керування має контролювати роботу світлодіодної стрічки, мати 2 цифрові входи та 2 силові виходи, підтримувати зв'язок через Wi-Fi з програмним забезпеченням Blynk, і мати UART шину для послідовного зв'язку та підключення USB від персонального комп'ютера.

2.2.2 Програма зв'язку Wi-Fi

Для спілкування по Wi-Fi вибрано мобільний додаток Blynk. Додаток Blynk є досить популярним програмним рішенням у задачах керування пристроями IoT. Його можна завантажити його на мобільний пристрій з операційною системою Android версії 4.0.3 і вище або на пристрої з операційною системою з iOS версії 8.0 і вище. Додаток має широку підтримку пристроїв IoT. Завдяки йому можливим є керування платами Arduino, Raspberry Pi, ESP8266 та ESP32. Звичайно, можна контролювати та мати кілька підключених пристроїв у програмі додатку.

Підключення плати

Підключення плати є досить простим та не потребує спеціальних навичок. Достатньо мінімального рівня знань. Таким чином, після початкового підключення необхідно створити обліковий запис користувача у Blynk (рис.). Далі створюється новий проект. Цьому проекту присвоюється необхідна назва і водночас, з широкого переліку, вибирається модуль для підключення.

Для безпеки авторизації, також генерується маркер автентифікації для пристрою, який будемо використовуватись при програмуванні. Підключення відбувається до встановленого Wifi і через нього до сервера Blynk. Так створюється з'єднання між використовуваним мобільним пристроєм і засобами Інтернету речей.



Рисунок 2.2 – Blynk 2.0

Інтерфейс користувача

Додаток Blynk використовує сучасний графічний інтерфейс. Після створення проекту та підключення модуля, буде відображено вільну область. Далі слід перейти до робочого столу і додати так звані віджети. Вони являють собою різні елементи управління та інформації. При встановленні необхідних елементів, слід звернути увагу апаратний вивід, який контролює або збирає інформацію з елемента. Крім того, слід налаштувати віртуальний PIN-код, за допомогою якого надсилається інформація до контрольованого модуля.

Послідовний зв'язок

Засобами роз'єму micro USB можливим є підключення модуля до персонального комп'ютера для вводу попередньо визначених команд. Це можуть бути демонстраційні програми або налаштування роботи окремих кольорів світлодіодної стрічки. У той же час доступним є запис певної інформації за допомогою інших команд про пристрою. Наприклад, статус окремих реле.

Контроль силового навантаження

У поточному проекті релейне управління передбачено реалізувати ще одним способом. Так, окрім бездротового зв'язку через Wi-Fi та дротового через послідовну лінію, до схеми включено 2 апаратних перемикача. Кожен перемикач керуватиме лише одним призначеним реле. Якщо замкнути перемикач, то на вході буде логічна 1 і реле також перейде у відкритий стан.

2.3 Підключення елементів системи

2.3.1 Джерело живлення

Вибираючи джерело живлення для блоку керування системою, слід звернути увагу на його енергоефективність. Зрештою, головним фактором у виборі стають відповідні характеристики для комутації силового навантаження. Так, вибрано реле, яке перемикається при напрузі 12 В, тому блок живлення обрано з параметрами 12 В/2 А. З відповідного блоку буде заживлено дане реле і через стабілізатори напруги – модуль управління, світлодіодну стрічку та оптрони.

Схема підключення елементів системи освітлення наведена на рис. 2.3.

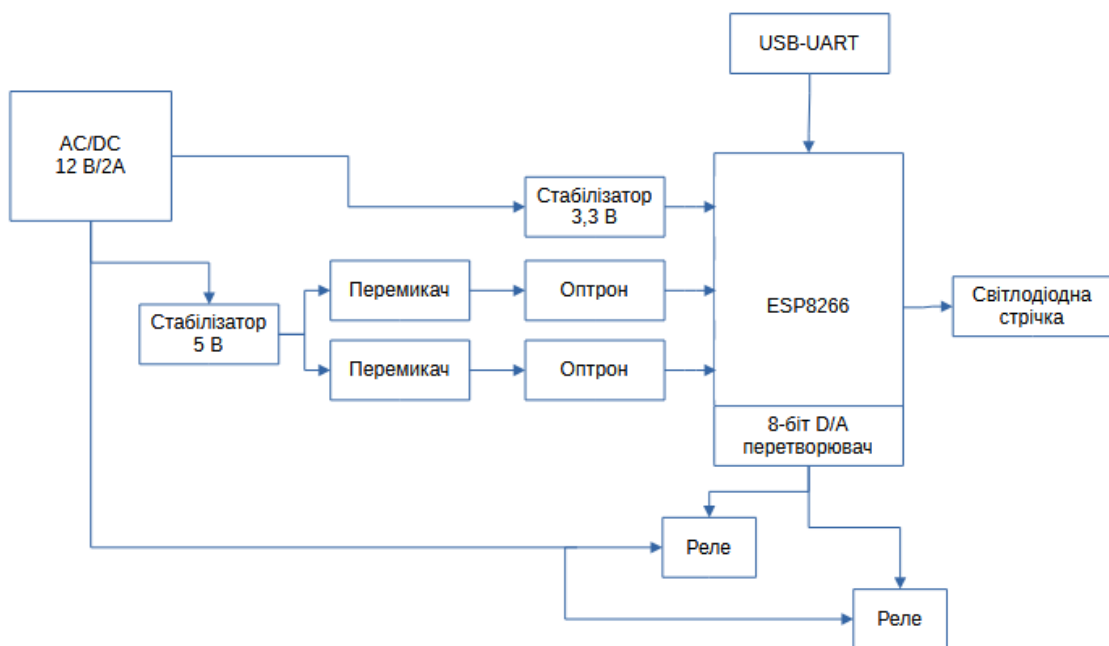


Рисунок 2.3 – Структурна схема підключення елементів системи освітлення

Стабілізатори

Оскільки для інших компонентів потрібна нижча напруга живлення, у пристрої необхідно мати 2 лінійні стабілізатори напруги. Для самого модуля ESP32 це зазначено в технічній документації, де напруга живлення вказана в діапазоні 2,7-3,6 В. Тому обрано стабілізатор LM2937ET-3.3 (рис. 2.4), за допомогою якого можна досягти необхідної вихідної напруги 3,3 В і вихідного струму 0,5 А, якого достатньо для живлення модуля.

Для стабілізатора максимально допустима вхідна напруга вказана до 26 В, що відповідає використаному джерелу живлення 12 В. При безпосередньому підключенні цього стабілізатора він необхідний до і після нього, до проводу заземлення, підключіть блокувальні конденсатори, які працюють для згладжування напруги. У рекомендованому з'єднанні наведено значення для цих двох конденсаторів – 10 і 0,1 мкФ.

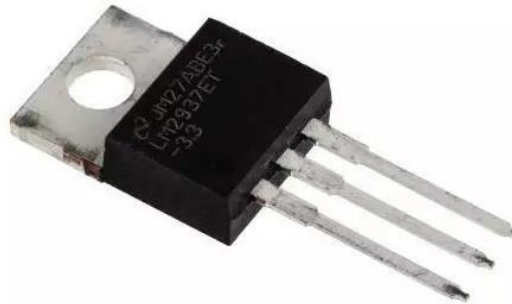


Рисунок 2.4 – Стабілізатор напруги LM2937ET-3.3

Другий стабілізатор передбачено використовувати для вибраних оптронів і світлодіодної стрічки. За параметрами специфікації, оптрон має працювати з напругою 0-5 В. Світлодіодна стрічка, у свою чергу, потребує джерела живлення 5 В. Так, необхідно відрегулювати напругу живлення до 5 В. Для схеми обрано стандартний лінійний стабілізатор 7805 (рис. 2.5).

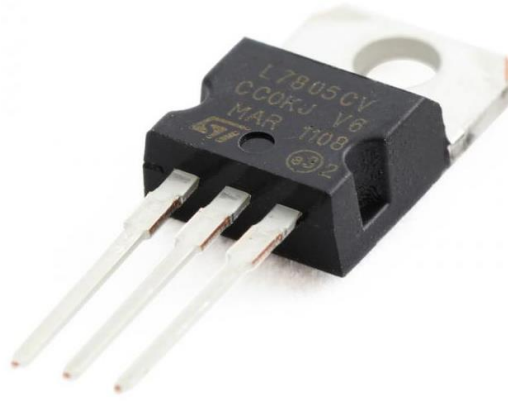


Рисунок 2.5 – Стабілізатор напруги 7805

Для цього стабілізатора, як і у попередньому випадку, слід підключати 2 блокуючих конденсатора. У рекомендованому з'єднанні, відповідно до технічної документації, потрібні конденсатори мають номінали 330 нФ і 100 нФ.

Світлодіодна стрічка

Відповідно до початкових характеристик системи освітлення, є необхідність керування щонайменше однією світлодіодною стрічкою. Так, вибрано RGB-стрічку моделі WS2812b. Це LED типу 5050. Слід зазначити, що під час проектування довелося вирішити проблему з блоком живлення, тому що дана вихідна напруга від контакту 3,3 В не є достатньою. А для світлодіодної стрічки потрібне джерело живлення 5 В. Тому і виконувався раніше описаний вибір стабілізатора 7805.

Для розроблюваної схеми обрано стрічку з 10 діодами. Кожен з цих діодів має струм споживання 20 мА на один канал RGB, тобто 60 мА на один діод при повному світловому навантаженні. Світлодіодна стрічка, розроблена таким чином, споживатиме максимум 0,6 А. Між блоком живлення і заземленням також потрібно додати захисний конденсатор, що розрахований на 10 світлодіодів. Для цих потреб буде достатньо конденсатора з номіналом 220 мкФ. Перед світлодіодною стрічкою на дроті даних слід встановити резистор 220 Ом (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Захисний резистор для світлодіодної стрічки 220 Ом

Використання даного резистора зумовлене необхідністю захисту контактів даних від стрибків напруги. Так, дані до світлодіодної стрічки передаються через клему DI (рис. 2.7). З'єднання з наступним діодом виконується шляхом підключення клеми DO попереднього діода з клемою DI наступного діода.



Рисунок 2.7 – Світлодіодна стрічка RGB WS2812b

Для забезпечення енергоефективного та стабільного живлення системи студійного освітлення використано блок живлення 12 В/2 А, а також лінійні стабілізатори напруги LM2937ET-3.3 та 7805. Вибрано RGB-стрічку WS2812b для освітлення, яка потребує живлення 5 В і забезпечує керування кожним діодом окремо. Компоненти підключено з урахуванням захисних елементів для стабільної роботи.

2.3.2 Розробка схеми

За структурною схемою та підбором компонентів реалізовано принципове підключення блоку управління з модулем ESP32 (рис. 2.8).

Відповідну схему розроблено у середовищі Eagle. При складанні схеми також наведено виводи для конвертерів USB/UART. Далі клемна колодка джерела, що забезпечує живлення 12 В, для підключення світлодіодної стрічки та реле. Далі йдуть сигнальні діоди для відображення статусу підключення Wi-Fi та реле увімкнення/вимкнення з резисторами для кожного з них.

Для реалізації принципового підключення блоку управління з модулем ESP32 було розроблено схему у середовищі Eagle. Схема включає виводи для конвертерів USB/UART, клемну колодку для живлення 12 В, підключення світлодіодної стрічки та реле, а також сигнальні діоди для відображення статусу підключення Wi-Fi і реле увімкнення/вимкнення з резисторами.

Висновок до розділу

У даному розділі було розглянуто методику розробки та вибір компонентів для системи студійного освітлення з керуванням через Wi-Fi. Основна увага приділялася вибору і налаштуванню керуючого мікроконтролера ESP8266 та його наступника ESP32, які відзначаються високою продуктивністю, наявністю необхідних інтерфейсів для зв'язку та сучасних засобів захисту даних. Було описано їх технічні характеристики, можливості програмування та інтеграцію з іншими компонентами системи через стандартні протоколи зв'язку, такі як UART, I2C, та SPI.

Також було розглянуто блок керування з особливостями його зв'язку через Wi-Fi за допомогою мобільного додатка Blynk, що забезпечує ефективне та зручне управління системою освітлення. Особлива увага приділялася аспектам безпеки зв'язку, зокрема використанню сучасних стандартів шифрування для захисту даних.

Розглянуто і вибір елементів живлення та схему підключення всіх компонентів системи, забезпечуючи їх надійність і стабільність роботи. Завдяки добре продуманій схемі підключення та вибору якісних компонентів, система освітлення має високу енергоефективність та можливість легкого масштабування.

Таким чином, вибір та налаштування керуючих мікроконтролерів, засобів зв'язку та блоку живлення забезпечують створення ефективної та надійної системи студійного освітлення, що відповідає сучасним вимогам до функціональності та безпеки.

3 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗРОБЛЮВАНОЇ СВІТЛОДІОДНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ

3.1 Особливості реалізації електричного живлення

Джерело живлення

Відповідно до визначених характеристик елементів системи, у якості стабілізованого джерела живлення, вибрано VSJ2A12SX. Це блок з інтегральною схемою L4960 з вихідним струмом до 2 А, чого цілком достатньо для живлення всього пристрою, включаючи світлодіодну стрічку RGB.

Далі виконується підключення джерела до друкованої плати з подальшою його перевіркою щодо значень вихідної напруги та струм за допомогою мультиметра.

На рис. 3.1 показано схематичне підключення використовуваного джерела.

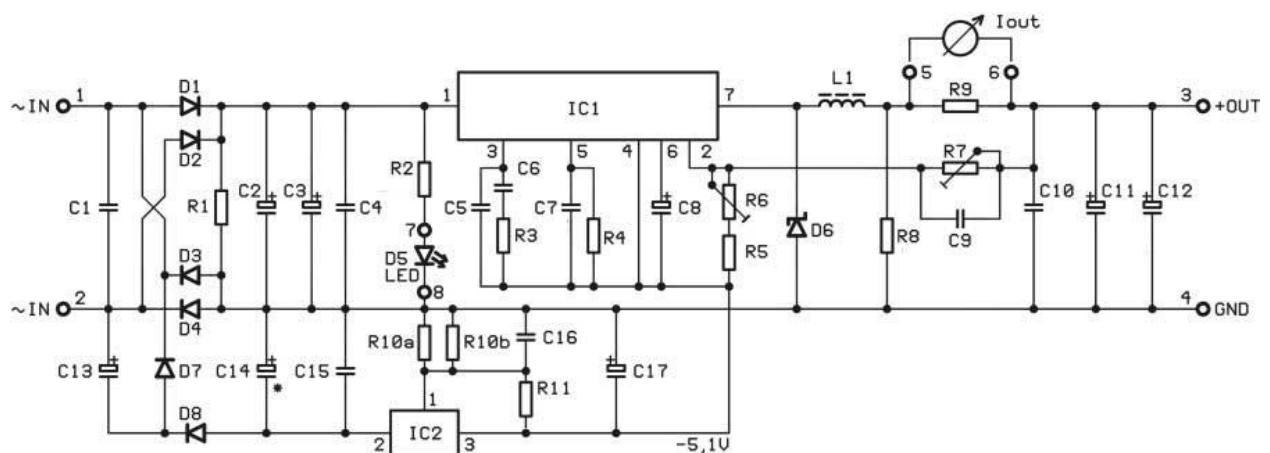


Рисунок 3.1 – Схема блока живлення VSJ2A12SX

Рекомендації щодо підготовки друкованої плати пристрою

Опис друкованої плати

Для проектування друкованої плати доцільно взяти за основу схему підключення за рис. 2.8. Доцільно знову застосувати програмне середовище Eagle, що полегшить розробку друкованої плати за допомогою визначених розмірів компонентів з бібліотек.

Для з'єднання деталей слід обрати доріжки шириною 1,25 мм. Винятком є лише доріжки для підключення контактів модуля ESP32, де їх необхідно вибрати більш вузькими, щоб уникнути з'єднання між штифтами. Так, відповідну ширину вибрано у 0,8 мм.

Іншим винятком є доріжки, що з'єднують реле з вихідним клемником. Через очікувано великі струми, відповідну ширину доріжок вибрано у 3,8 мм.

Може виникнути ситуація, неможливо буде зобразити всю схему на одній стороні друкованої плати через перетин доріжок. Тоді слід буде створити дротове з'єднання поза платою. А отже, передбачити відповідні отвори на платі для даних з'єднувальних проводів. У даному випадку, всього потрібно підключити 6 необхідних з'єднувальні дротів, що виходять за межі плати. Іншою варіантом може бути підключення за допомогою конвертерів UART/USB. Для з'єднання конвертерів з модулем на платі також виконуються відповідні доріжки.

Клемна коробка

На додаток до компонентів, прийнятих у попередньому розділі, вибрано відповідні клемні блоки під час проектування друкованої плати для підключення реле. Так, для цієї мети обрано клемну колодку M500, що призначена для друкованої плати. Для подачі живлення достатньо лише 2 клем, тобто типу M500/2. Та 3 клеми для кожного реле, тобто типу M500/3.

Конвертер UART/USB

Під час проектування вибрано 2 конвертери UART/USB. Два типи конвертерів вибрано з огляду на те, що тип FTDI використовується з роз'ємом miniUSB, як конвертер для програмування самого модуля. Другий – з роз'ємом microUSB і це тип CP2102. Цей конвертер має більш широке поширення, тому його прийнято для реалізації послідовного зв'язку з ПК.

На модулі вже визначені контакти для підключення конвертерів програмування TXD0 і RXD0, які я підключаю до контактів TX і RX.

Таким чином, для тестування розроблювальної системи студійного освітлення використано потужних (1Вт) LED-діоди на підкладці (струм 300

мА) в кількості 3шт з'єднаних паралельно. Тобто моделюється результуючий струм $\sim 900\text{mA}$, коли один канал кольору світла відповідає 7000-8500К. Відповідна збірка розміщена на радіаторі та додано датчик струму DS18B20 для контролю теплового процесу навантаження в динаміці (рис. 3.2).

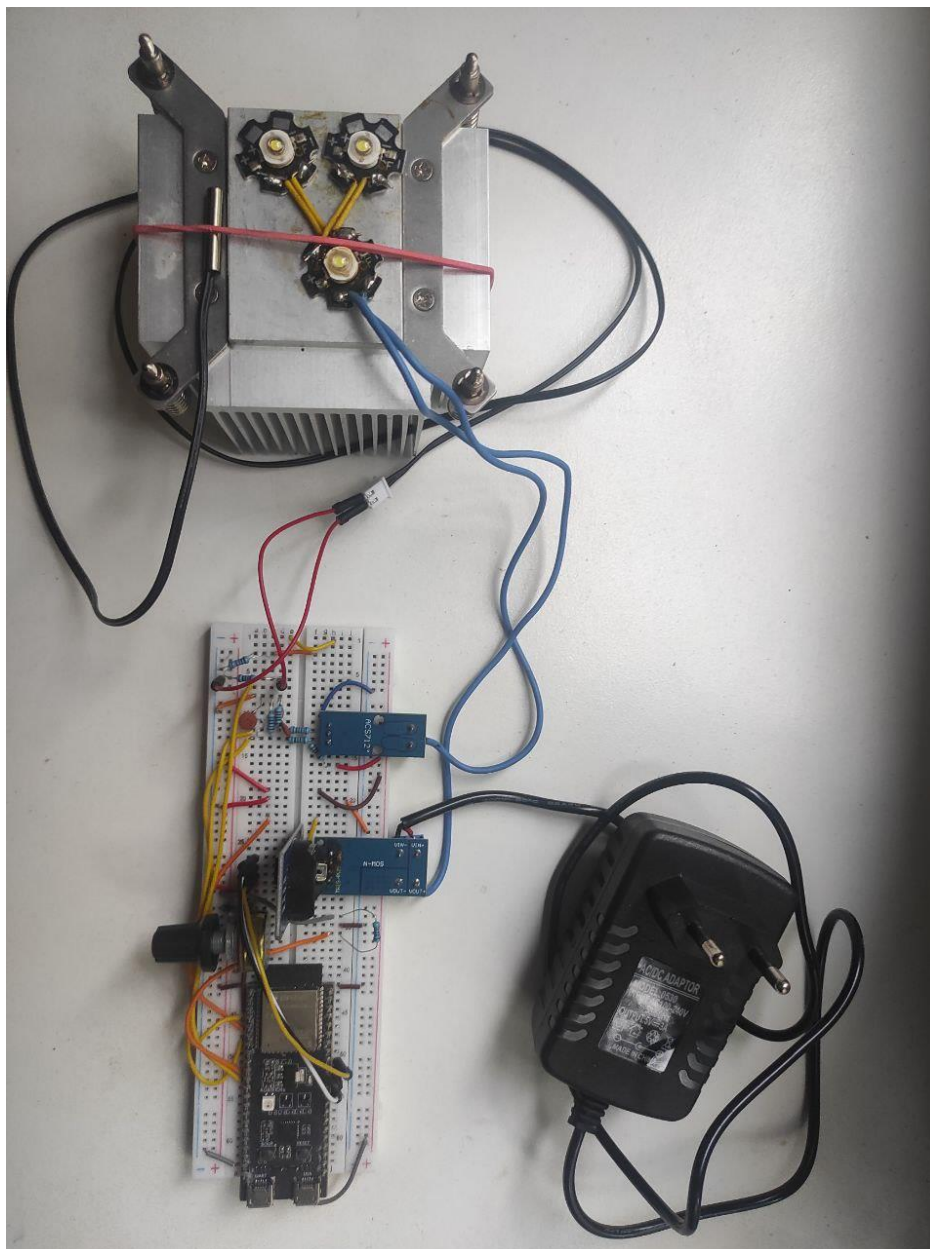


Рисунок 3.2 – Компоненти прототипу світлодіодної системи освітлення

Як зазначалося раніше, у якості контролера використано ESP32. Вимірювання струму виконується засобами мікросхеми ACS712 5A, побудованій на відповідному модулі. Вимірювання здійснюється за ефектом

Холла. Подібна реалізація дозволяє уникнути використання потужних високотемпературних резисторів-шунтів у силовому колі LED-діодів. Датчик струму на базі ACS712 підключено послідовно з навантаженням, вихідний сигнал надходить до АЦП контролера (рис. 3.3).

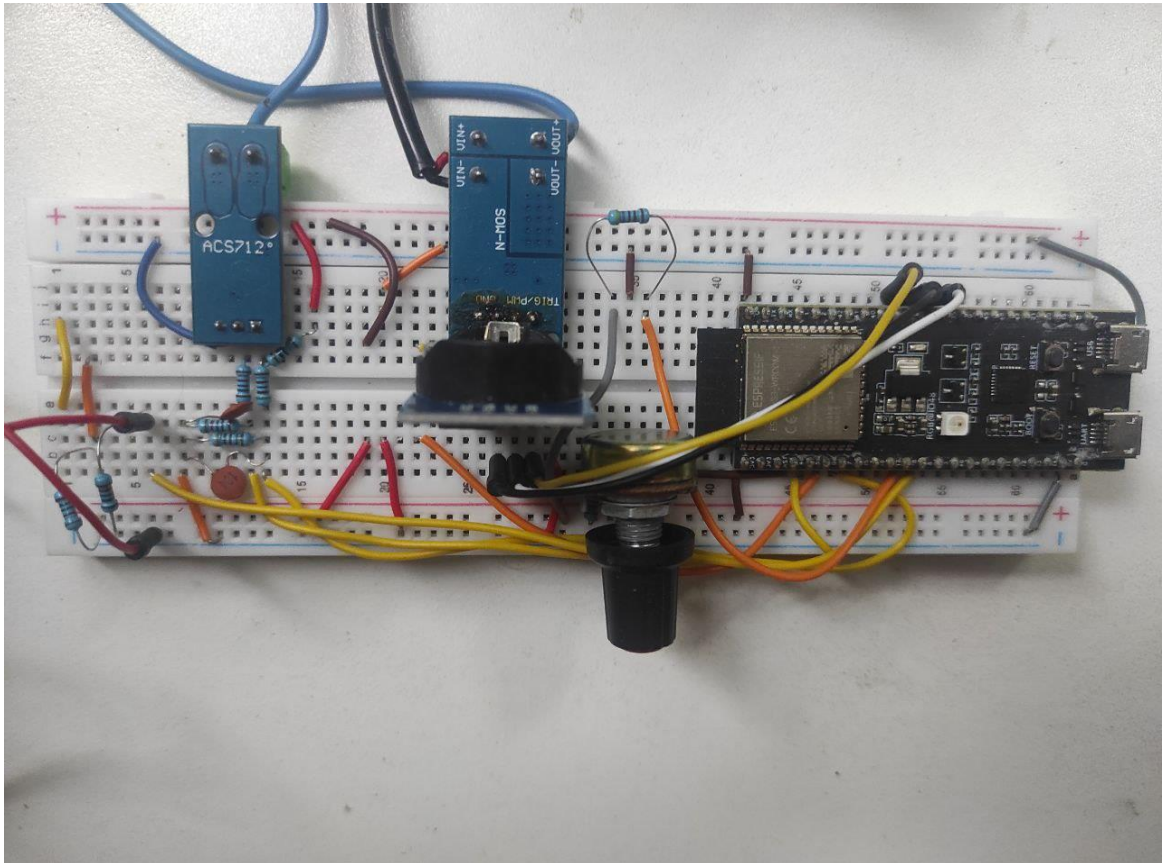


Рисунок 3.3 – Підключення компонентів схеми при вимірюванні струму навантаження

Живлення прототипу відбувається через стандартний блок 5В, 3А від мережі 220В. Мікроконтролер ESP32 керує силовим мосфетом AOD4184 (керування TTL з підтримкою 3.3В) на базі відповідного додаткового модуля. Схема також містить резистивні дільники для узгодження рівнів $5\text{В} \Rightarrow 3.3\text{В}$, статичну фільтрацію сигналу ємність-резистор і тестовий потенціометр для симулювання аналогового сигналу до ESP32. Тепловідведення реалізовано шляхом кріплення світлодіодних модулів до алюмінієвого радіатора з ребрами охолодження (рис. 3.4).

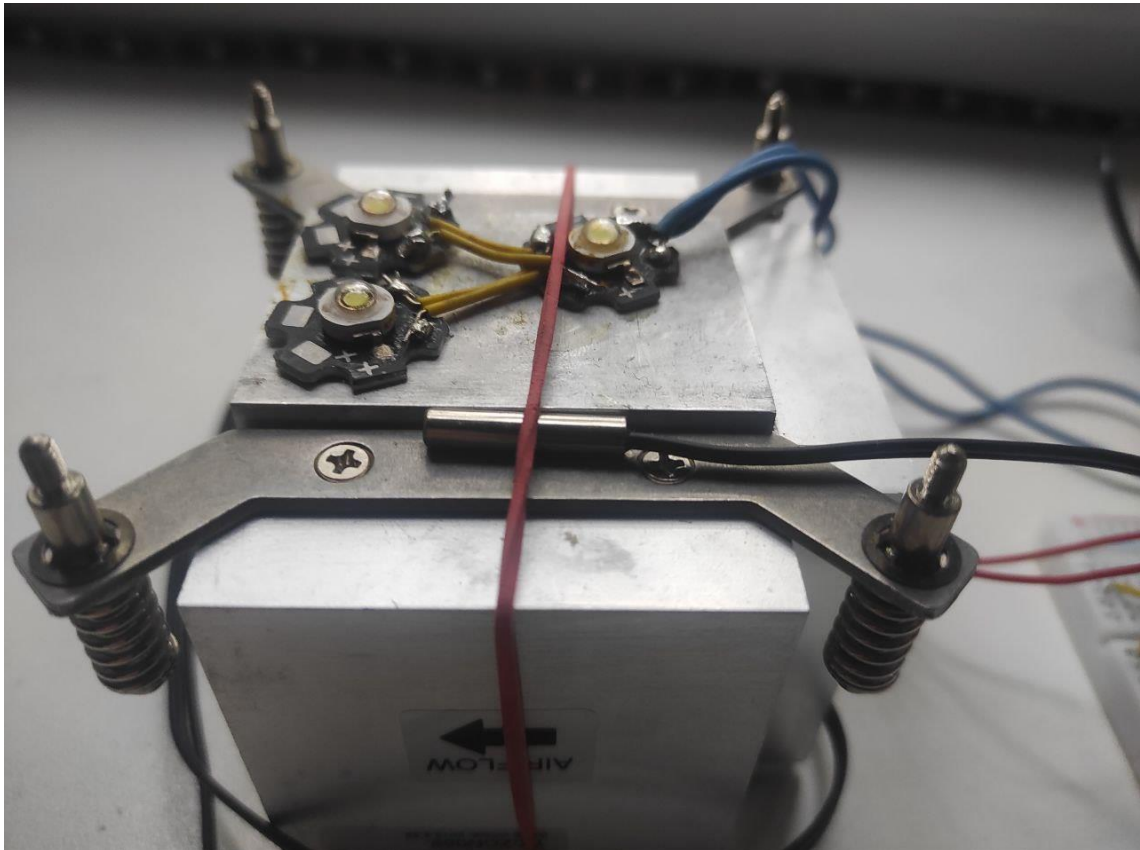


Рисунок 3.4 – Реалізація блоку охолодження світлодіодного модуля

Для розробки системи студійного освітлення використано стабілізоване джерело живлення VSJ2A12SX, контролер ESP32, світлодіодну стрічку RGB та інші компоненти, зібрані на друкованій платі, спроектованій у середовищі Eagle. Система забезпечує бездротове керування освітленням через Wi-Fi із застосуванням алгоритмів шифрування команд.

3.2 Функціональність системи керування

Середовище розробки

В якості середовища розробки обрано Visual Studio Code від американської компанії Microsoft. Цей редактор вебзастосунків можна використовувати для програмування різними мовами. Для поточних задач необхідно встановити PlatformIO IDE, для програмування пристроїв IoT (рис. 3.5). Його можливості включають платформи програмування від різних

Світлодіодна система студійного освітлення з управлінням через WiFi-мережу на базі ESP32 виробників IoT наприклад Arduino, IntelARC32, ATMEL AVR та тощо. Серед підтримуваних пристроїв звичайно є і ESP32.

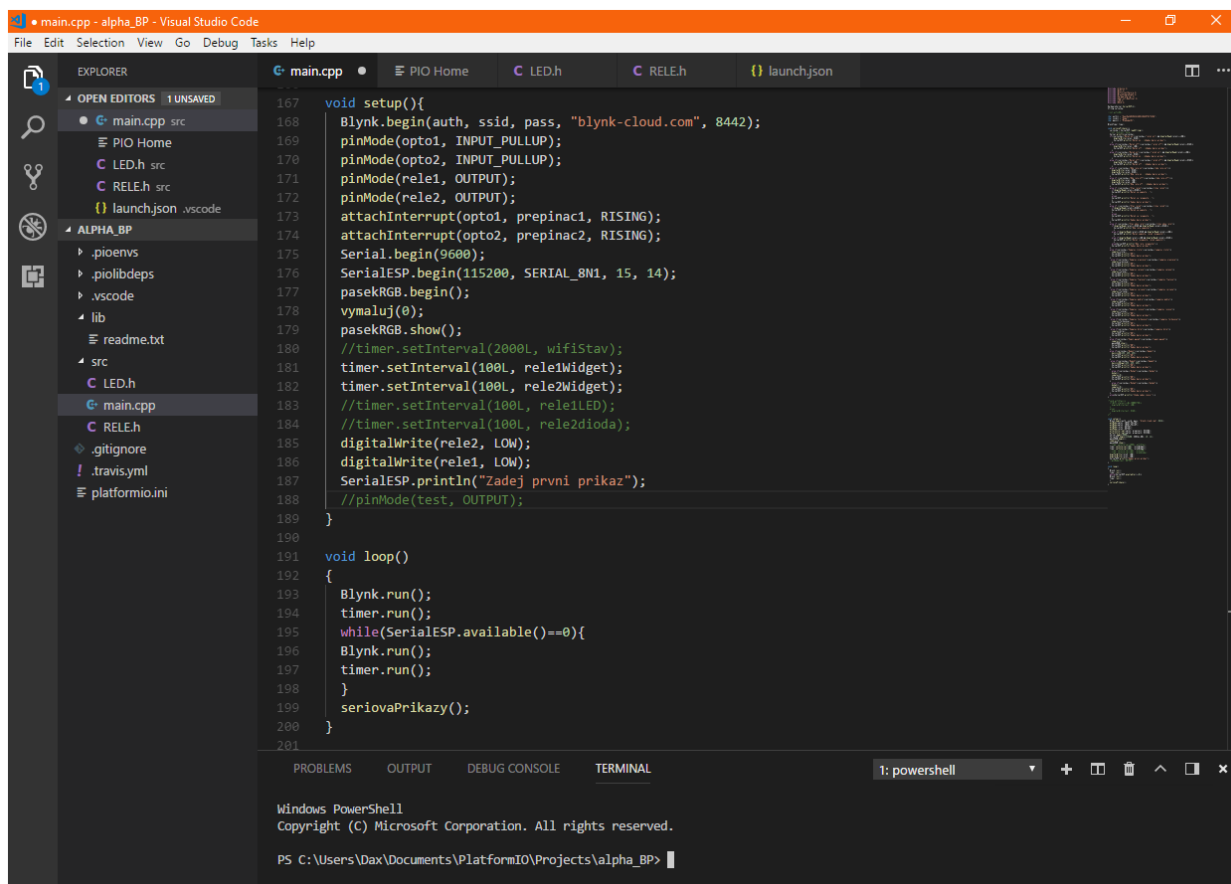


Рисунок 3.5 – Вікно середовища розробки Microsoft Visual Studio Code

Перевагою цього середовища розробки є власна екосистема, яка дозволяє легко здійснювати пошук і встановити бібліотеки, необхідні для реалізації потрібних функцій.

Додаток Blynk

Для можливості керування системою освітлення засобами смартфона, обрано додаток Blynk. У поточній реалізації необхідно використовувати бібліотеку «BlynkSimpleEsp32.h» для підключення до неї бібліотек для Wi-Fi, а саме «Wifi.h» і «WifiClientSecure.h». Крім того, у змінних «auth», «ssid», «pass», які мають тип «char», слід вводити маркер авторизації з програми Blynk (auth), SSID Wifi для підключення (ssid) і пароль цього Wi-Fi (pass).

Щоб можна було з першого погляду визначити, чи підключений модуль до Wi-Fi взагалі, додається світлодіод для відповідної індикації. А для визначення стану Wi-Fi, використовується функція «Wifi.status()». Так, якщо модуль підключений, діод світиться і оновлює свій статус кожні 2 секунди за допомогою таймера. Щодо функції «WifiStatus()», для ініціалізації підключення, необхідно ввести команду у функції «automatic setup()» – «Blynk.begin(auth, ssid, pass, domain, port)». Якщо використовувати «blynkcloud.com», то в якості порту слід обрати один із запропонованих можливих номерів порту, наприклад 8442.

Останнім кроком є запуск підключення Blynk у циклі «loop()» за допомогою функції «Blynk.run()». Ця функція підтримує зв'язок із програмою.

Віджети

У безкоштовній версії програми доступною є обмежена кількість віджетів, які можна використовувати для одного проекту. Кожен віджет на панелі виражається енергетичною цінністю (рис. 3.6). Якщо досягнуто максимальні значення енергетичного балансу для проекту, то для подальшого розширення функціоналу необхідно придбати цю «енергію». Однак для вбудованого обладнання достатньо функціоналу безкоштовної версії.

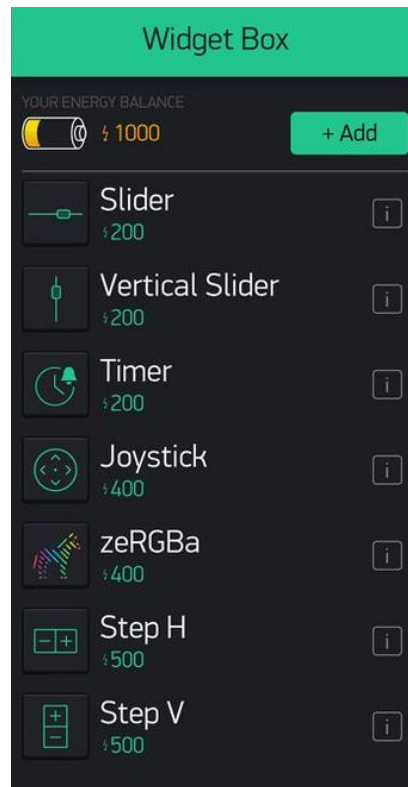


Рисунок 3.6 – Меню Widget Box у додатку Blynk

Таким чином, у безкоштовній версії додатку для керування RGB-системою освітлення доступно 4 кнопки та 1 індикатор стану. Відповідні налаштування виконуються у віджеті zeRGBa.

Розташування віджетів у додатку Blynk можна побачити на рис. 3.7. Тут перші три кнопки відповідають за поточну колірну схему освітлення. Один світлодіодний сигналізатор показує статус увімкнення реле, тобто вказує, чи увімкнене освітлення. Четверта кнопка використовується для запуску попередньо встановленої демонстраційної програми світлодіодної стрічки RGB.

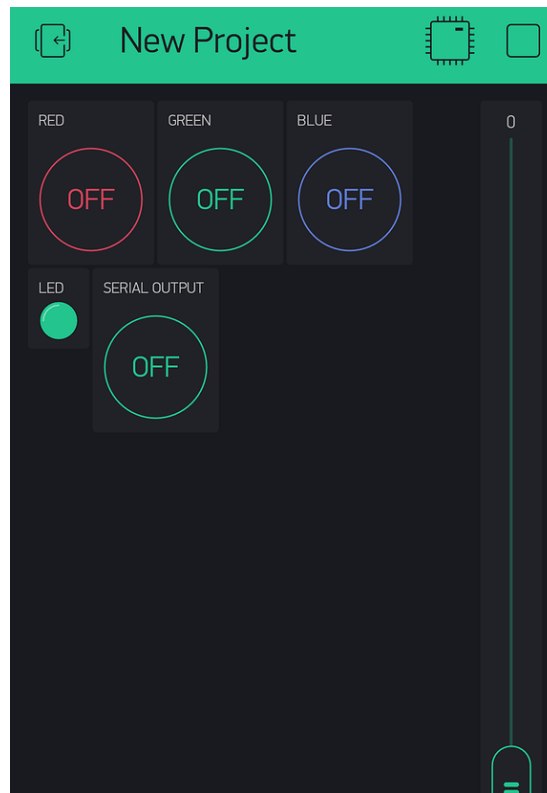


Рисунок 3.7 – Вікно налаштувань додатку Blynk

Підключення віджетів

Доступним є підключення всіх віджетів, які використовуються в програмі, до будь-якого використовуваного у системі апаратного компонента, з можливістю подальшого налаштування.

Зазначена раніше бібліотека від Blynk дозволяє підтримувати віртуальні піни для комунікації. Коли віртуальний пін діє як вхід, використовується визначена функція «`BLYNK_WRITE(Vx){}`» з параметром Vx , де V позначає віртуальний контакт, а x вибраний PIN-код. Ця функція запитує дані віртуального PIN-коду, якщо такий встановлено. Так, у даному випадку, світлодіодна стрічка призначена для всіх віртуальних кнопок і контролера.

Налаштування для інформаційного віртуального світлодіода виконуються у класі «`WidgetLED`». Тут задається світлодіод із параметром обраного віртуального контакту. Вмикання та вимикання світлодіодного віджета виконується за допомогою функцій «`LED.on()`» і «`LED.off()`».

Керування реле

Для керування реле формується бібліотека «RELE.h». Тут зберігаються усі створені функції керування засобами віртуальних та фізичних кнопок. Далі налаштовуються функції для сигналізації стану віртуального і фізичного світлодіода. Для фізичних кнопок в основній частині коду у функції «`setup()`» встановлюються переривання, щоб мати можливість перемикає реле незалежно від функції «`loop()`». Далі для кнопок створюються функції «`void switch1()`» і «`void switch2()`», які виконуються при натисканні. Тож, застосовується «`void attachInterrupt(uint8_t pin, void (*)(), int mode)`» з параметрами пін-кнопки.

Функції «`switch1()`» та «`switch2()`» реалізовано за допомогою умови «`if`» і умов з логічним оператором «`I`». Одночасним натисканням кнопок також скасовується переривання за допомогою функції «`void attachInterrupt(uint8_t pin, void (*)(), int mode)`», щоб уникнути втрати зв'язку з програмою Blynk.

Для віртуальних кнопок обрано аналогічну процедуру, лише з заданою умовою, якщо вставити у створену функцію «`BLYNK_WRITE(Vx)`» і створити допоміжну змінну для читання стану кнопки – «`digitalRead(uint8_t pin)`». Після цього стає наглядною світлодіодна сигналізація, у чому допомагає зчитування значень вихідного контакту для реле зі встановленням відповідного значення світлодіода.

Зазначена вище процедура є практичною однаковою як для фізичного, так і для віртуального світлодіода. Для оновлення стану останнього, ще потрібно створити таймер з класу «`BlynkTimer`». Потім встановлюється інтервал для таймера за допомогою «`timer.setInterval(100L, void functionWidget)`», що оновлює стан вибраного віджета кожні 100 мс.

Також налаштовується таймер для оновлення стану фізичного світлодіода, шляхом створення функції для запису відповідно до стану вихідного виводу реле. Це виконується за допомогою функцій «`digitalWrite(int pin, int value)`» і «`digitalRead(int pin)`». Щоб запустити таймер для світлодіода індикації, необхідно в «`loop()`» застосувати функцію «`timer.run()`».

Управління освітлювальними світлодіодами

Для керування світлодіодною стрічкою використовуються бібліотеки «LED.h» та «Adafruit_NeoPixel.h». Остання дозволяє нам керувати кожним світлодіодом окремо за допомогою мікросхеми WS2812b. Потрібною буде ініціалізація визначення кількості світлодіодів, контактів, порядку кольорів та частоти імпульсів. Отже, для використовуваної світлодіодної стрічки запис матиме вигляд «Adafruit_NeoPixel stripRGB = Adafruit_NeoPixel(countLED, ledDin, NEO_GRB + NEO_KHZ800)».

Загалом, один світлодіод контролюється 3 байтами інформації, коли кожні 8 бітів визначають інтенсивність колірної складової моделі RGB. Для встановлення кольору на одному діоді використовується функція «stripRGB.setPixelColor(uint16_t n, uint32_t c)», де «n» представляє порядок набору діодів, починаючи з «0», а «c» представляє інформацію про колір. Щоб полегшити налаштування кольору, доцільно створити змінну типу «uint32_t» для збереження за допомогою функції «stripRGB.Color(byte b r, byte b g, byte b b)» для повного регулювання кольорів.

Таким чином, функція «ledRGB(byte r, byte g, byte b, int led)» перемикає заданий світлодіод на колір із введених змінних «r», «g» та «b». При цьому, у функції зберігаються 3 байти про колір у змінній «color», а потім використовується «stripRGB.setPixelColor(left, color)» для введення параметрів обраного світлодіода. Також виконується функція «stripRGB.show()», що потрібна для увімкнення світлодіода після введення параметрів.

Ще однією важливою функцією є «void paint(uint32_t color)». Її призначення – переводити всі діоди на стрічці в один загальний колір. Щоб це реалізувати, використовується цикл «for», який вводить однаковий колір у інформацію про всі світлодіоди. Після введення зазначених даних, налаштування виконується лише за допомогою «stripRGB.show()».

Віджет zeRGBa

Для керування за допомогою віджета zeRGBa слід встановити повернення в налаштуваннях віджета – значення на одному віртуальному піні. У функції «BLYNK_WRITE(V5)» зберігаються значення кожного байта в

змінній для кожного кольору. Після цього виконується перевірка зазначених змінних щодо одного кольору з використанням вищеописаної функції «`paint(uint32_t color)`», для подальшого переведення всієї стрічки в заданий колір. Останні оновлюються з інтервалом у 100 мс, що є найкоротшим можливим проміжком часу.

Програми освітлення

Перший зразок програми для системи освітлення буде працювати з білим світлом вздовж всієї стрічки. Так, виконується 10 циклів з інтервалом між сусідніми світлодіодами у 80 мс. Для цього використовується функція «`runLED(byte r, byte g, byte b)`», де змінні «`r`», «`g`» та «`b`» представляють компоненти кольору. Це застосовується у функції циклу «`for`», коли послідовно виконується один прогін стрічки за допомогою ввімкнення живлення одного світлодіода з використанням попередньо визначеної функції «`ledRGB(byte r, byte g, byte b, int water)`». Далі необхідно створити умову для перевірки кількості запусків – `r` так, щоб $r_0 = 10$. Після, лічильник `r` скидається.

Другий приклад програми освітлення базується на першому, але тут світлодіод запускатиметься з іншого кінця стрічки. Так, програма знову виконує 10 циклів з інтервалом перемикання діодів 80 мс. Для цього використовується функція «`waterLEDback (byte r, byte g, byte b)`» з параметрами, як у першій програмі.

Послідовний зв'язок

Для послідовного зв'язку через конвертер UART/USB – HardwareSerial, використовується об'єкт класу який має назву «`SerialESP`». Потім виконується ініціалізація у функції налаштування послідовної лінії, з подальшим призначенням необхідної швидкості передачі даних. Далі визначаються відповідні контакти RX та TX.

Таким чином, функцією для виконання команд, введених за допомогою послідовного зв'язку є «`seriesCommands()`». Спочатку ця функція читає вказаний рядок типу «`String`», який зберігає серійний номер у змінній. Потім

він порівнюється з настроюваними командами і відповідно виконує певні завдання та відповідає користувачеві. У разі неправильного введення команди, повертається повідомлення про помилку та запитується новий запис.

3.3 Узагальнення результатів розробки

Апаратна складова системи

Для комплектування апаратних складових розроблюваної системи доцільно обрати діелектричний пластиковий бокс розміром 235×215×90 мм. Зазначені розміри обираються таким чином, щоб у цьому об'ємі можна було зберігати блок живлення VSJ2A12SX та інші компоненти системи, до переліку яких потрібно додати 2 роз'єми для світлодіодної стрічки та один роз'єм підведення кабелю живлення від мережі 230 В.

На боксі розташовуються елементи управління для включення і виключення блоку управління. Крім того, на корпусі присутні два перемикачі для реле, індикаторні світлодіоди для підключення до Wi-Fi і перемикач стану реле.

Таким чином, можна відкрити бокс і підключити модуль до ПК за допомогою кабелю USB.

Програмна складова системи

Відповідно до вищенаведеної методики, система передбачає виконання програм студійного освітлення, приклади яких наведено нижче.

1) Постійне освітлення – це приклад створеної програми, де вся стрічка рівномірно проходить по всьому спектру кольорів. Ця функція має назву «rainbow1()». Раніше з самою функцією необхідно було створити допоміжну функцію «Wheel» для послідовного проходу одного світлодіода через колірний спектр. Ця функція повертатиме інформацію про колір, тобто 3 байти, тому вона має бути типу «uint32_t». При зміні функція проходить параметр положення від «0» до «255» колірному спектру від зеленого, знову до зеленого. Так, створюються 3 умови для 3 різних комбінацій, в яких повернене значення буде поєднанням 2 кольорів, а 3-й колір буде нульовим. Один колір

з цих 2 кольорів буде реалізовано множенням параметра позиції на три, а другий колір буде виражено шляхом віднімання позицій від «255». Тоді необхідно локально підтримувати кожну умову позиціонування від «0» до «85», щоб уникнути від'ємних або занадто високих значень для одного світлодіода.

Також можливо реалізувати описану програму, використовуючи цикли «for» і «for do». Перший цикл виконує колір для окремого світлодіода, а другий цикл встановлює заданий колір для всіх світлодіодів на стрічці.

2) Циклічне освітлення, коли вся стрічка буде проходити кольоровий спектр за десять циклів. Для реалізації цього варіанту також використовується функція «Wheel» і 2 цикли типу «for». Знову ж таки, використовується цикл «for do». За ним стрічка проводить весь спектр кольорів, але вже з десятикратним числом циклів. Так, кожен наступний цикл виконується з певним зсувом, та світлодіоди забарвлюються в певному порядку за допомогою функції «Wheel». У даному випадку швидкість перемикання кольорів буде обумовлена кількістю обраних циклів відтворення спектру кольорів, та щоб програма не була надто довгою.

Апаратна складова системи включає діелектричний пластиковий бокс для компонентів, таких як блок живлення, роз'єми для світлодіодної стрічки та елементи управління. Програмна складова передбачає реалізацію програм студійного освітлення, зокрема постійне освітлення за допомогою функції «rainbow1()» та циклічне освітлення з використанням функції «Wheel».

Висновок до розділу

У даному розділі було здійснено аналіз особливостей функціонування розробленої світлодіодної системи освітлення. Значну увагу приділено вибору та налаштуванню джерела живлення, розробці та оптимізації друкованої плати, забезпечуючи необхідні параметри для ефективної роботи системи. Важливим аспектом є використання мікроконтролера ESP32, що

дозволяє забезпечити високий рівень інтеграції та управління різними елементами системи освітлення.

Додатково, система освітлення включає просунуті можливості керування через додаток Blynk, що забезпечує доступність та зручність управління за допомогою мобільного пристрою. Інтеграція з програмним забезпеченням дає можливість реалізувати різноманітні сценарії освітлення, від простого керування кольором та інтенсивністю світла до складних динамічних ефектів.

Розроблена система освітлення з використанням світлодіодів WS2812b демонструє високу гнучкість та можливості кастомізації, зокрема завдяки програмній інтеграції та зручним налаштуванням через додаток. Таке рішення може бути використане не лише у студійному освітленні, але й у багатьох інших додатках, де потрібне ефективне та налаштоване освітлення.

ВИСНОВКИ

Було виконано поставлену мету проектування системи студійного освітлення з можливістю бездротового керування. Було виконано поставлені завдання, зокрема: проведено огляд принципів реалізації освітлення поверхонь та сучасних технологій бездротового керування освітленням із застосуванням засобів Інтернету речей.

Прийнята концепція розроблюваної системи включає використання модуля ESP32, як сучасного і легкодоступного IoT-рішення. Наведено його апаратні можливості щодо зв'язку і продуктивності; проведено детальний опис деяких шин, які використовує цей модуль, а також параметрів зв'язку Wi-Fi і Bluetooth; розглянуто особливості реалізації послідовного та бездротового зв'язку, алгоритмів шифрування WPA/WPA2, WPS і AES та RSA.

У якості освітлювального елемента прийнято RGB-світлодіодну стрічку WS2812b з можливістю адресного керування кольором кожного світлодіода.

Наступним етапом роботи було складання блок-схеми розроблюваної системи. Наведено функції та можливості щодо принципів керування студійним освітленням.

Слід зазначити, що живлення блоку керування світлодіодною стрічкою передбачено від 12 В і регулювання за допомогою стабілізаторів з вентиляторами охолодження. Прийнято оптичне розділення вхідних цифрових каналів за допомогою оптронів PC817. А комутація реле живлення стрічки виконується засобами біполярного транзистора.

Відповідну електричну схему системи складено у програмному середовищі Eagle.

Таким чином, у ході виконання роботи опрацьовано всі раніше сформовані задачі дослідження.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Петренко Т., Павлусенко К. Концептуальна модель людино-орієнтованої розумної системи освітлення. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2023. Вип. 28. С. 11–18. DOI: 10.18664/iksz.v28i3.290100.
2. Putera R., Dewi O., Dugar A. The Role of Lighting in Creating Photogenic Spaces. *International Journal of Visual Design*. 2022. Vol. 16. DOI: 10.18848/2325-1581/CGP/v16i01/83-94.
3. Kamal Zoubi M. The Influence of Light Colour Temperatures on Interior Design Student Performance in Classroom Studios. *Civil Engineering and Architecture*. 2024. Vol. 12. P. 61–69. DOI: 10.13189/cea.2024.120105.
4. Zhang D., Chen J., Cai A., Yu C. Effect of the correlated color temperature of a phosphor-converted LED on indoor visible light communication. *Optics Express*. 2024. Vol. 32. DOI: 10.1364/OE.523571.
5. Liu Z., Li Z., Seto T., Wang Y. Eu for White Light-Emitting Diodes with High Color Rendering Index. *Advanced Optical Materials*. 2023. Vol. 11. DOI: 10.1002/adom.202300845.
6. Zainudin N., Idris N., Rahman R.A. Improving Film Quality Using Software Solutions in Photography Studios. *International Journal of Industrial Management*. 2024. Vol. 18. P. 22-31. DOI: 10.15282/ijim.18.1.2024.10423.
7. Machora L. A Survey of Transmission Control Protocol Variants. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 2024. Vol. 21. P. 1828–1853. DOI: 10.30574/wjarr.2024.21.3.0886.
8. Ouyang L., Song K., Zhang W., Wei S. Microcontroller design based on dynamic heterogeneous redundancy architecture. *China Communications*. 2023. Vol. 20. P. 144–159. DOI: 10.23919/JCC.fa.2022-0374.202309.
9. Otsubo Y., Otsuka A., Mimura M. Compiler Provenance Recovery for Multi-CPU Architectures Using a Centrifuge Mechanism. *IEEE Access*. 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3371499.

10. Reverter F. Towards non-CPU activity in low-power MCU-based measurement systems. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2019. DOI: 10.1109/TIM.2019.2953374.
11. Wulnye F., Arthur E., Gookyi D., Asiedu D., Wilson M., Owusu Agyemang J. TinyML Implementation on Microcontrollers: The Case of Maize Leaf Disease Identification. 2024. P. 180–185. DOI: 10.1109/ICTAS59620.2024.10507115.
12. Цапко Р., Цапко І. Критерії оцінки процесів проектування бортового радіоелектронного обладнання космічних апаратів. *Програмна Інженерія*. 2024. Т. 15. Р. 12–25. DOI: 10.17587/прин.15.12-25.
13. Ko T., Torihara R., Sakoda T., Hayashi N. Voltage and Current Characteristics of Schottky Barrier Diodes. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*. 2024. Vol. 19. P. 1105–1112. DOI: 10.1002/tee.24064.
14. Бондаренко Д. Моделювання оптоелектронного навантаження, яке живиться від фотоелемента та акумулятора. *Відновлювана енергетика*. 2020. Р. 28-33. DOI: 10.36296/1819-8058.2020.2(61).28-33.
15. SAROJINI V.S. IoT Controlled LED Notice Board. *International Scientific Journal of Engineering and Management*. 2024. Vol. 03. P. 1–9. DOI: 10.55041/ISJEM01588.
16. Плахтій О., Нерубацький В., Гордієнко Д., Цибульник В. Аналіз енергоефективності тривірневих автономних інверторів напруги в режимі перемодуляції. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2019. Р. 3–12. DOI: 10.18664/iksz.v0i4.177089.
17. Zemmouri A., Elgouri R., Alareqi M., Hamad D., Benbrahim M., Hlou L. A comparison analysis of PWM circuit with Arduino and FPGA. *Journal of Engineering and Applied Science*. 2020. Vol. 12.
18. Gururani H., Kumar A., Waghmode D., Jain E., Garg A. Smart City using IoT simulation design in Cisco Packet Tracer. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2022. Vol. 10. P. 2544–2551. DOI: 10.22214/ijraset.2022.42904.

19. Бунке О., Новіков Р. Тенденції розвитку інтернету речей в енергетиці. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2024. Т. 54. Р. 53-59. DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2024-54-07.
20. Adekar R.H., Kureshi A. Performance Analysis of Heterogeneous Systems IEEE 802.11 and IEEE 802.16 Using Spectrum Sharing Mechanism. *Advanced Engineering Forum*. 2022. Vol. 44. P. 127–135. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AEF.44.127.
21. Bhalla H., Haggai O. Unraveling Bluetooth LE Audio: Stretching the Limits of Interoperable Wireless Audio with Bluetooth Next-Generation Low Energy Audio Standards. 2021. DOI: 10.1007/978-1-4842-6658-8.
22. Du J.-Z., Du J.-W., Liu T., Feng Z.-T. Formal Analysis and Improvement of Z-Wave Protocol. 2023. Vol. 34. P. 25–39. DOI: 10.53106/199115992023083404003.
23. Coboi A., Nguyen M., Van Nam P., Chien T., Nguyen M., Nguyen D. Zigbee Based Mobile Sensing for Wireless Sensor Networks. 2023. Vol. 1. P. 325–342. DOI: 10.37256/1220233923.
24. Wu Q. A Review of Recent Patents on LoRaWAN. *Recent Patents on Engineering*. 2024. Vol. 18. DOI: 10.2174/1872212118666230509164929.
25. Böhm M., Gebauer O., Wermser D. LoRaWAN Range Extension for Environments with High Attenuation. 2023. DOI: 10.25673/111646.
26. Attachie J., Owusu G., Ohene Adu S. Enhancement of Wireless Lighting Control System. *Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2021. P. 1-7. DOI: 10.1155/2021/9287891.
27. Knopp M., Binzel K., Wright C., Zhang J., Knopp M. Enhancing the Patient Experience with IP Addressable Digital LED Lighting in Imaging Environments: A Phase I Feasibility study (Preprint). 2020. DOI: 10.2196/preprints.11839.
28. Swamy S.N., Shivanarayanamurthy P., Purohit G., Kota S.R. An Edge Computing-Assisted Internet of Things-Based Secure Smart Home. 2022. DOI: 10.1007/978-981-16-7182-1_14.

29. Nugraha S., Atiq M. Miniature SmartHome з Sonoff. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*. 2023. Т. 2. Р. 41-55. DOI: 10.55606/jurritek.v2i1.885.
30. Agussationo Y., Sepdian S., Rajanudin A. Rancang Bangun Water Level Control Berbasis Sonoff Smart Switch. *Jurnal Elektronika Listrik dan Teknologi Informasi Terapan*. 2022. Т. 4. Р. 16. DOI: 10.37338/e.v4i1.234.

ДОДАТОК А

Довідка

про перевірку на унікальність пояснювальної записки

бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему:
«Світлодіодна система студійного освітлення
з управлінням через WiFi-мережу на базі ESP32»

студента спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія», 405 групи

Гріднєв Антон Юрійович
прізвище, ім'я, по-батькові

Перевірку тексту здійснено сервісом: eTXT антиплагіат

Результат перевірки тексту бакалаврської кваліфікаційної роботи: схожість
складає 3,99%.

[11:27:39] Go **Найдено 1% совпадений** по адресу: <https://uk.itpedia.nl/2018/07/12/wifi-en-bluetooth-wat-is-het-verschil/>

[11:27:41] Go **Найдено 1% совпадений** по адресу: <http://lic.com.ua/article20.htm>

[11:27:46] Go **Найдено 1% совпадений** по адресу: <https://www.dusuniot.com/uk/blog/how-esp32-iot-is-changing-the-game-for-connected-devices/>

[11:27:48] Go **Найдено 1% совпадений** по адресу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Транзистор>

[11:28:09] Тип перевірки: *Стандартная* (Поисковики = Go,Vi)

[11:28:09] ВНИМАНИЕ! Уникальность может быть определена некорректно! (Обнаружено ошибок: 30%)

[11:28:09] **Уникальность текста 96%**® (Проигнорировано подстановок: 0%)

Здобувач: А. Ю. Гріднєв

Керівник: Є. С. Дарнапук
старший викладач

_____ ПІБ
підпис ініціали, прізвище

_____ ПІБ
підпис ініціали, прізвище

Дата: «___» _____ 2024 р.

ДОДАТОК А

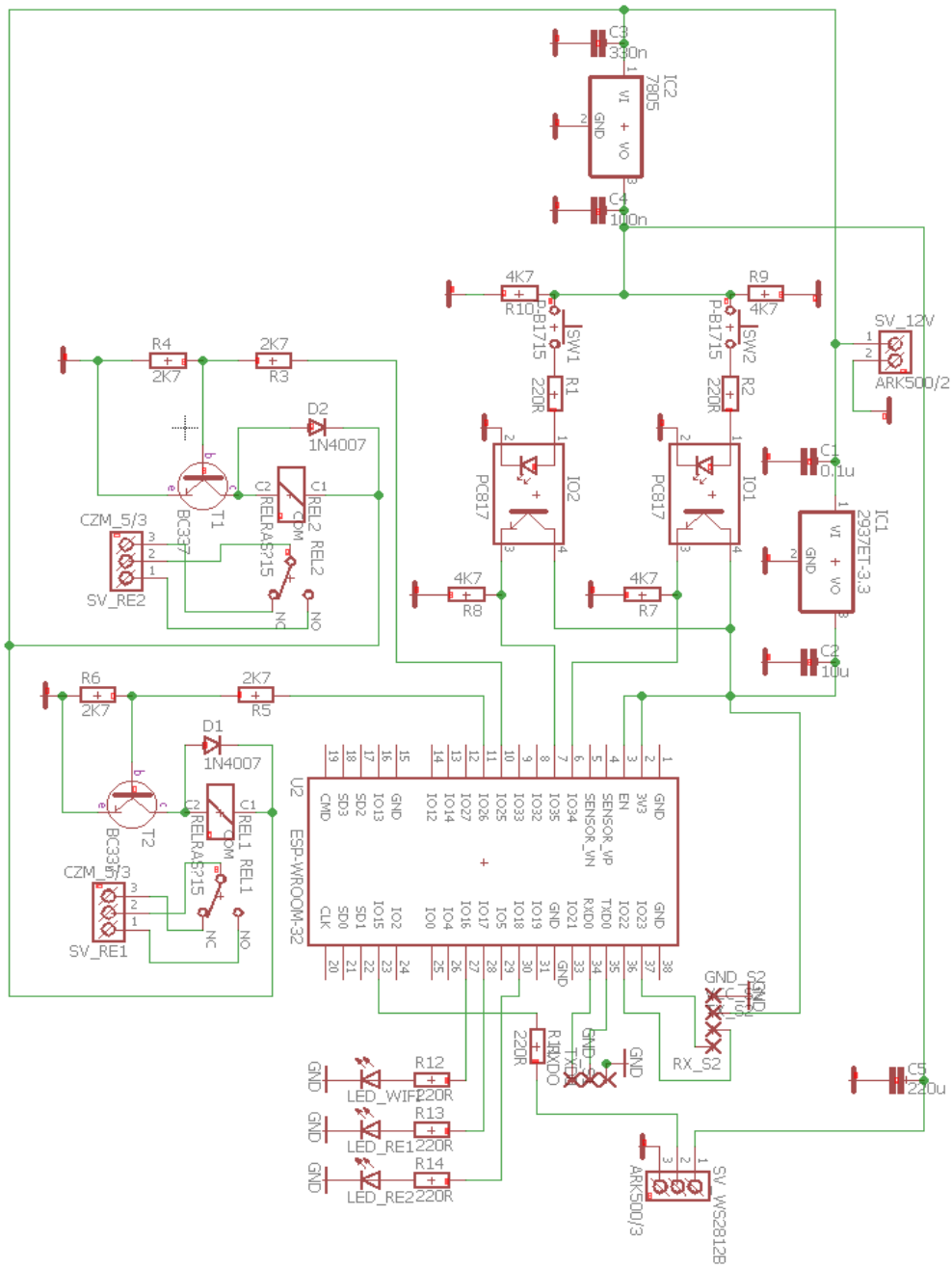


Рисунок 2.8 – Схема підключення блоку керування