

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інформаційних електронних систем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«РОЗРОБКА МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО ПРИСТРОЮ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ RGB СВІТИЛЬНИКОМ»

Виконав: студент 2(4)-го курсу, групи РТ-23мс
спеціальності 172 – Електронні комунікації та
радіотехніка, ОП - Радіотехніка

(цифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Налепов О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., доц., доцент каф. ІРТС

Воловик А.Ю.

(прізвище та ініціали)

« 11 » 06 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доц., доцент каф. ІКСТ

Семенова О.О.

(прізвище та ініціали)

« 12 » 06 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н. проф. Осалчук О.В.

(прізвище та ініціали)

« 13 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ - 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Інформаційних електронних систем
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність – 172 – Електронні комунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІРТС
Олександр ОСАДЧУК
22.03. 2025 року

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Налепову Олександр Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником»

керівник роботи Воловик Андрій Юрійович, д.т.н., доц., каф. ІРТС

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “20”03 2025 року № 97

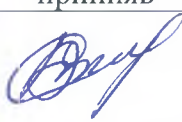
2. Строк подання студентом роботи 10 06 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: живлення літій-іонного акумулятора типо-розміру 18650 з номінальною напругою 3.7 В та ємністю 2000–3500 мА·год, інтерфейс для зарядки пристрою Micro-USB, номінальна потужність 5 Вт., можливість керування роботою пристрою через Wi-Fi стандарту 802.11 b/g/n шляхом підключення до точки доступу.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Аналіз сучасних систем дистанційного керування освітленням. Вибір компонентів пристрою, обґрунтування вибору мікроконтролера, огляд його архітектури . Розробка програмного забезпечення. Електричні розрахунки параметрів друкованої плати, розрахунок надійності пристрою, розробка технологічного процесу регулювання та настройки пристрою, визначення основних несправностей та методів їх усунення. Експериментальні дослідження.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Функціональна схема пристрою, схема електрична принципова, схема керування роботою пристрою, друкована плата та складальний кресленик, графік ймовірності безвідмовної роботи пристрою, результати експериментальних досліджень.

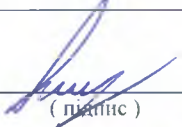
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	д.т.н., доц., доцент каф. ІРТС Воловик А.Ю.		
Охорона праці	професор кафедри БЖДПБ, професор, д.п.н., Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 25.03.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми БКР	14.02.2025-28.02.2025	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2025-19.03.2025	
3.	Розробка завдання на БКР. Затвердження теми	20.03.2025-25.03.2025	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	26.03.2025-06.05.2025	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки . Експериментальне дослідження.	07.05.2025-18.05.2025	
6.	Розробка графічної частини БКР	19.05.2025-22.05.2025	
7.	Охорона праці (ОП)	23.05.2025-25.05.2025	
8.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини.	26.05.2025-05.06.2025	
9.	Нормоконтроль	07.06.2025-10.06.2025	
10.	Попередній захист БКР, доопрацювання, рецензування БКР	11.06.2025-15.06.2025	
11.	Захист БКР ЕК	16.06.2025-17.06.2025	

Студент  (підпис) Налепов О.В.

Керівник роботи  (підпис) Воловик А.Ю.

АНОТАЦІЯ

УДК 681.386.3

Налепов О.В. Розробка мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником – бакалаврська кваліфікаційна робота студента спеціальності 172 – Електронні комунікації та радіотехніка – Вінниця: ВНТУ 2025 р. 90 сторінок, 27 рисунків, 29 таблиць, 23 формули та 34 найменування бібліографічних джерел.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником. Робота спрямована на створення гнучкого рішення для побутового освітлення.

У даній роботі проаналізовано актуальність впровадження сучасних технологій освітлення, обґрунтовано вибір пристрою на базі доступних компонентів, доведено доцільність розробки.

У рамках роботи було розроблено функціональну схему пристрою, проведено електричні розрахунки, проаналізовано архітектуру мікроконтролера та розраховано надійність, розроблено технологічний процес регулювання та настройки пристрою, визначено методи вимірювання, описано основні несправності з методами їх усунення для забезпечення оптимальних умов виробничого процесу, проведено практичні дослідження.

Окрема увага приділена питанням охорони праці: розроблено технічні рішення для організації робочого місця, забезпечення оптимального мікроклімату, контролю за рівнями шуму, електромагнітних випромінювань та пожежної безпеки. Запропоновані заходи спрямовані на мінімізацію негативних фізичних і психоемоційних факторів, що впливають на здоров'я працівників, гарантуючи безпечні умови виробництва та експлуатації пристрою.

Ключові слова: мікроконтролер, Wi-Fi, дистанційне керування, адресні світлодіоди, IoT.

ABSTRACT

Nalepov O.V. Development of a microcontroller device for remote control of an RGB lamp - bachelor's qualification work of a student of specialty 172 - Electronic communications and radio engineering - Vinnytsia: VNTU 2025. 90 pages, 27 figures, 29 tables, 23 formulas and 34 names of bibliographic sources.

The purpose of the qualification work is to develop a microcontroller device for remote control of an RGB lamp. The work is aimed at creating a flexible solution for household lighting.

This work analyzes the relevance of the implementation of modern lighting technologies, justifies the choice of a device based on available components, and proves the feasibility of the development.

As part of the work, a functional diagram of the device was developed, electrical calculations were performed, the architecture of the microcontroller was analyzed and reliability was calculated, a technological process for regulating and configuring the device was developed, measurement methods were determined, the main malfunctions with methods for eliminating them to ensure optimal conditions for the production process were described, and practical research was conducted.

Special attention is paid to occupational health and safety issues: technical solutions have been developed to organize the workplace, ensure an optimal microclimate, control noise levels, electromagnetic radiation and fire safety. The proposed measures are aimed at minimizing negative physical and psycho-emotional factors that affect the health of workers, guaranteeing safe conditions for production and operation of the device.

Keywords: microcontroller, Wi-Fi, remote control, addressable LEDs, IoT.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ.....	11
1.1 Інтернет речей в управлінні освітленням.....	11
1.2 Технічні особливості та переваги пристрою дистанційного керування RGB світильником.....	15
2 ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ТА АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ РОБОТИ ПРИСТРОЮ.....	17
2.1 Вибір і обґрунтування схеми пристрою.....	17
2.1.1 Сучасні стандарти бездротових інформаційних мереж	17
2.1.2 Сучасні мікроконтролерні системи керування.....	22
2.1.3 Твердотільні джерела освітлення.....	26
2.1.4 Контролери заряду літєвих акумуляторів.....	31
2.2 Аналіз алгоритмів та програмної логіки керування	32
2.2.1 Формування алгоритму роботи пристрою.....	33
2.2.2 Вибір середовища розробки.....	35
2.2.3 Програмне забезпечення	35
3 РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ RGB СВІТИЛЬНИКОМ.....	37
3.1 Електричні розрахунки параметрів друкованої плати	37
3.2 Розробка функціональної схеми та схеми електричної принципової	
3.3 Розрахунок надійності.....	49
3.4 Вибір методів регулювання та вимірювальної апаратури.....	54
3.5 Розробка технологічного процесу настройки.....	55
3.6 Основні несправності та методи їх усунення.....	57
3.7 Дослідження передачі даних до адресної світлодіодної стрічки WS2812B.....	59
3.8 Дослідження роботи модуля заряду на TP4056.....	62

3.9 Дослідження роботи мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником.....	63
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	64
4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи	65
4.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця.....	65
4.1.2. Електробезпека приміщення.....	67
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	69
4.2.1 Мікроклімат.....	69
4.2.2. Склад повітря робочої зони.....	70
4.2.3 Виробниче освітлення	71
4.2.4 Виробничий шум.....	72
4.2.5. Виробничі випромінювання.....	73
4.3 Пожежна безпека	74
4.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі.....	75
4.3.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту.....	76
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	80
Додаток А (обов'язковий). Ілюстративний матеріал.....	83
Додаток Б (обов'язковий). Протокол перевірки бакалаврської (навчальної) кваліфікаційної роботи.....	90

ВСТУП

Сучасний розвиток технологій Інтернету речей (IoT) та мікроконтролерних систем стрімко змінює підходи до автоматизації побутової електроніки. Широке впровадження цифрових технологій дозволяє оптимізувати роботу домашніх пристроїв завдяки інтеграції з IoT-екосистемами, забезпечуючи не лише зручність керування, але й суттєве зниження споживання енергії. Однією з найактуальніших задач стає дистанційне керування освітленням, що дозволяє створити розумну систему освітлення, адаптовану до потреб користувача [1].

Актуальність теми.

На фоні сучасних екологічних викликів та зростаючих тарифів на електроенергію, енергоефективність стає одним із ключових аспектів сучасної побутової електроніки. Дистанційне керування освітленням дозволяє не лише оптимізувати споживання електроенергії, а й забезпечує комфорт користувача надаючи можливості для персоналізації. У епоху розширення інфраструктури «розумного будинку» зростає потреба в інтегрованих рішеннях, які дозволяють віддалено контролювати та автоматизувати роботу різних систем [1].

Розробка пристрою з використанням доступних мікроконтролерних платформ дозволяє інтегруватись у вже існуючі IoT-екосистеми з можливістю синхронізації освітлення з іншими компонентами «розумного дому» та забезпечити централізований контроль за всією системою. Це, в свою чергу, відкриває можливості для автоматизації сценаріїв, що базуються на аналізі даних про присутність, освітленість, атмосферні умови тощо, і сприяє створенню максимально комфортного та адаптивного середовища для користувачів.

Розробка пристрою є актуальною, адже поєднує в собі сучасні технології автоматизації, енергозбереження та інтеграцію в IoT-системи, що відповідає вимогам сучасного ринку.

Метою роботи є розробка мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником, який забезпечить ефективне управління

параметрами освітлення за допомогою бездротового зв'язку з інтеграцією в IoT-системи.

Об'єктом дослідження є технологія дистанційного керування освітленням на основі мікроконтролера.

Предмет дослідження – мікроконтролерний пристрій дистанційного керування RGB світильником.

Для досягнення мети визначені наступні задачі:

- Провести аналіз сучасних рішень у сфері smart-освітлення та оцінити їх технічні особливості.

- Обґрунтувати вибір мікроконтролера та додаткових модулів, порівняти їх з аналогами, визначити переваги та недоліки.

- Розробити функціональну схему пристрою, на її основі спроектувати схему електричну принципову, розрахувати параметри друкованої плати.

- Розробити програмне забезпечення для управління пристроєм, інтегрувати його з мобільним додатком.

- Провести розрахунок надійності на раптову відмову, оцінити середній часу напрацювання пристрою на відмову та ймовірність безвідмовної роботи пристрою.

- Визначити основні несправності та методи їх усунення, скласти технологічну карту регулювання і настройки пристрою.

- Дослідити роботу пристрою, проаналізувати отримані результати.

Методи дослідження.

У роботі використано комплексний підхід, що охоплює як теоретичний, так і експериментальний рівні досліджень. Основними методами є: аналіз літературних джерел та стандартів, моделювання та розрахунки, експериментальні дослідження.

Практичне значення одержаних результатів.

Практичне значення роботи визначається можливістю широкого впровадження розробленого пристрою у системах автоматизації побутового освітлення.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ

1.1 Інтернет речей в управлінні освітленням

Інтернет речей (IoT) — це концепція, яка передбачає підключення фізичних об'єктів до мережі Інтернет для збору та обміну даними. Це можуть бути звичайні пристрої, такі як побутові прилади, автомобілі або навіть інфраструктурні об'єкти, які оснащені сенсорами, програмним забезпеченням і мережевими можливостями.

Ідея IoT базується на створенні розумної системи, де об'єкти можуть взаємодіяти між собою та виконувати завдання автоматично, без втручання людини. Від термостатів у будинках до великих промислових машин — IoT робить пристрої більш інтелектуальними та інтегрованими.

Хоча термін "Інтернет речей" був уперше запропонований у 1999 році, концепція з'явилася значно раніше. Ще в 1980-х роках у Карнегі-Меллон університеті створили перший IoT-пристрій — автомат із продажу Coca-Cola. Ця машина була підключена до мережі Інтернет і дозволяла перевіряти, чи є напої в автоматі і чи вони охолоджені. Це стало однією з перших реальних спроб автоматизації за допомогою Інтернету.

У 1990-х роках ідея IoT розширювалася завдяки поширенню мобільного зв'язку та появі бездротових технологій. У цей період з'явилося більше інновацій у сенсорних технологіях і хмарних платформах, які стали фундаментом для подальшого розвитку IoT.

У 1999 році Кевін Ештон, співробітник MIT, вперше використав термін "Інтернет речей". У своїй презентації для Procter & Gamble він представив IoT як мережу пристроїв, які можуть автоматично збирати та аналізувати дані без участі людини[2].

Незважаючи на значний прогрес, Інтернет речей стикається з викликами, такими як:

- Безпека та приватність – збільшення кількості підключених пристроїв підвищує ризики зламу систем.
- Складність інтеграції – різноманіття платформ і стандартів ускладнює взаємодію пристроїв між собою.
- Енергоспоживання – не всі пристрої є енергоефективними, що залишається проблемою для тривалого використання.

Кількість пристроїв Інтернету речей (IoT) у світі, за прогнозами, майже подвоїться — з 15,9 мільярда у 2023 році до понад 32,1 мільярда у 2030 році. У 2033 році найбільша кількість IoT-пристроїв буде виявлена в Китаї — близько 8 мільярдів споживчих пристроїв. Пристрої IoT використовуються в усіх галузевих вертикалях та споживчих ринках, при цьому споживчий сегмент складає близько 60% від усіх IoT або підключених пристроїв у 2023 році. Очікується, що ця частка залишатиметься на цьому рівні протягом наступних десяти років [3].

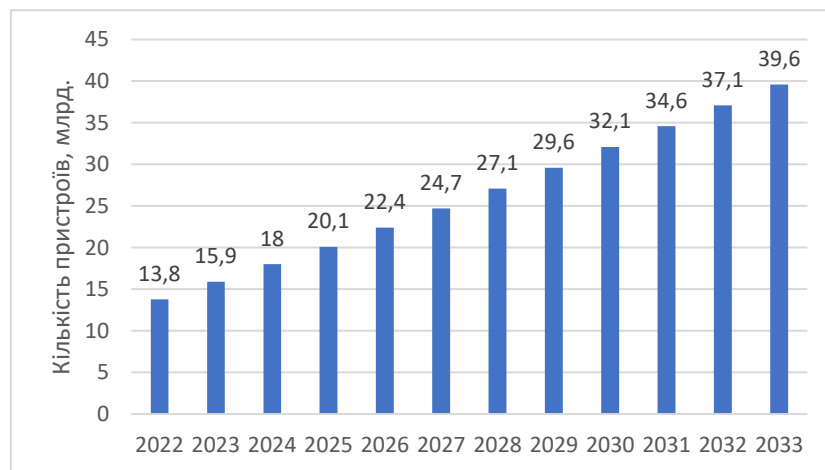


Рисунок 1.1 – Кількість пристроїв Інтернету речей (IoT) у світі.

Актуальність обраної теми обумовлена зростаючою потребою в автономних джерелах освітлення через зміни в енергетичному секторі та часті перебої з електропостачанням. RGB світильники з дистанційним керуванням на основі мікроконтролера демонструють новий рівень гнучкості та персоналізації побутового освітлення. Вони дають змогу користувачам налаштовувати яскравість, колір та створювати динамічні сценарії, такі як таймери вимкнення.

Їх інтеграція в IoT-системи відкриває можливість створювати автоматизовані екосистеми, оптимізуючи побутові процеси.

За останнє десятиліття глобальна індустрія Інтернету речей (IoT) демонструє стрімке зростання. Системи «розумного дому» активно впроваджуються як у побутових, так і в комерційних застосуваннях

За прогнозами, кількість IoT-пристроїв продовжує стрімко зростати: з 13,8 млрд одиниць у 2022 році ринок зросте до майже 40 млрд одиниць у 2033 році . Цей тренд створює сприятливе середовище для розвитку систем дистанційного керування освітленням, що базуються на концепції «розумного будинку» та енергоефективних технологіях.

Згідно з дослідженнями, ринок смарт-освітлення, до якого належать RGB світильники з дистанційним керуванням, зростатимуть із середньорічним темпом близько 21,3 % до 2026 року. Розширення цього сегменту зумовлено активною інтеграцією IoT-технологій, що дозволяє оптимізувати витрати електроенергії, підвищити зручність використання та забезпечити адаптивне управління освітленням [3].

Сучасне LED-освітлення характеризується високою енергоефективністю, тривалим терміном експлуатації та можливістю цифрового управління, що стає основою для розумних освітлювальних систем. Це дозволяє знизити експлуатаційні витрати, підвищити комфорт користувачів і сприяти впровадженню адаптивних систем, що реагують на зміну умов навколишнього середовища.

Інтеграція IoT у системи освітлення дозволяє створювати пристрої, які не лише забезпечують високу якість світла, але й значно знижують енергоспоживання. За даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA), використання «розумних» технологій управління освітленням у міських умовах може зменшувати споживання електроенергії до 50 % . Це дуже важливо як для скорочення експлуатаційних витрат, так і для підвищення екологічної стійкості [4].

Навіть за умови позитивних перспектив, інноваційні рішення у сфері дистанційного керування освітленням стикаються з рядом викликів:

- Безпека та конфіденційність – зі зростанням кількості підключених пристроїв зростають ризики кібератак. Забезпечення надійного шифрування та автентифікації стає критично важливим.

- Уніфікація та стандартизація – різноманіття протоколів комунікації та відсутність єдиного стандарту ускладнюють інтеграцію пристроїв від різних виробників.

- Енергопостачання та управління ресурсами – забезпечення стабільного живлення та оптимальне використання енергії – ще одна важлива проблема, що потребує ретельного планування та інтеграції з системами енергоменеджменту.

- Незамінність людського фактору – високі вимоги до точності налаштувань і обслуговування пристроїв означають, що технічне обслуговування та підтримка залишаються важливими аспектами для забезпечення безперебійної роботи систем.

Сучасні тенденції свідчать, що технології смарт-освітлення будуть і надалі інтегруватися в більші системи «розумного міста» та «розумного дому». Основні напрямки майбутнього розвитку включають:

- Інтеграція з системами штучного інтелекту – алгоритми AI можуть аналізувати дані від сенсорів та оперативно регулювати освітлення залежно від присутності людей або змін у навколишньому середовищі.

- Покращення стандартів безпеки – розробка глобальних стандартів для забезпечення безпеки IoT-пристроїв дозволить знизити ризики несанкціонованого доступу та кібератак.

- Масова інтеграція та зниження вартості – подальше зниження вартості компонентів (мікроконтролерів, сенсорів, світлодіодів) сприятиме масовому впровадженню розумних освітлювальних систем, що призведе до зростання ринку.

- Екологічна стійкість – за рахунок значного зниження енергоспоживання, впровадження технологій смарт-освітлення сприятиме екологічним ініціативам та зменшенню викидів CO₂ [1].

Сучасний стан галузі є результатом синергії передових технологій, що впроваджуються завдяки інноваціям в IoT та енергоефективному LED-освітленні. Ринкові тенденції, високий потенціал зростання числа підключених пристроїв і розширення функціональних можливостей систем свідчать про те, що подальша інтеграція розумних технологій приведе до створення більш адаптивних, економічно вигідних та екологічно стійких рішень. Разом з тим, вирішення викликів безпеки, стандартизації та уніфікації стане ключовою умовою для забезпечення майбутнього успіху галузі. Таким чином, розвиток подібних технологічних платформ має великий потенціал для створення сучасних систем «розумного дому», що значно підвищуватимуть якість життя користувачів та сприятимуть цифровізації міської інфраструктури.

1.2 Технічні особливості та переваги пристрою дистанційного керування RGB світильником

Розробка та впровадження нових технічних рішень завжди вимагає ретельного аналізу актуальності і доцільності впровадження інновацій у порівнянні з існуючими технологіями. У цій роботі розглянуто розробку мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником, який вирізняється рядом технічних переваг і унікальних можливостей.

Розглянуте рішення вирізняється високою пристосованістю до різноманітних сценаріїв використання, що обумовлює його перспективність для впровадження як у побутових, так і в комерційних умовах.

Однією з ключових переваг розроблюваного розробки є гнучкість її застосування. Система забезпечує можливість динамічного налаштування параметрів освітлення відповідно до поточних умов та вимог користувача. Це дозволяє не лише регулювати яскравість чи колір, а й створювати складні сценарії

роботи, які можуть включати автоматичне перемикання режимів, адаптацію до змін навколишнього середовища чи реалізацію індивідуальних програм освітлення, що відповідають специфічним потребам у різних ситуаціях.

Інтеграція технології в IoT-системи відкриває додаткові можливості для централізованого управління та моніторингу. Розроблене рішення легко об'єднується з існуючими мережевими екосистемами, що дозволяє забезпечити взаємодію не лише між окремими пристроями, але й із комплексними системами автоматизації «розумного дому» або «розумного міста». Це створює умови для побудови інтегрованих систем, де освітлення стає лише одним з елементів, реагуючи на зміни в мережі сенсорів, вимоги до енергозбереження та інші зовнішні фактори.

Загалом, технологічні рішення, обрані для розробки мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником, дозволяють створити високоефективну, автономну і гнучку систему управління освітленням. Реалізація цих рішень сприяє не лише покращенню функціональних характеристик освітлювальних систем, а й забезпечує можливість їх інтеграції у сучасні IoT-платформи, що відповідає вимогам сучасних умов експлуатації та технологічного прогресу.

2 ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ТА АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ РОБОТИ ПРИБОРУ

2.1 Вибір та обґрунтування схеми пристрою

Розробка мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником вимагає ретельного аналізу апаратної архітектури, щоб забезпечити його ефективну роботу, надійність та відповідність технічним вимогам. Вибір схемного рішення базується на потребі інтеграції мікроконтролера з підтримкою стандарту бездротової комунікації, адресної світлодіодної стрічки, а також ефективної системи живлення.

Вибір компонентів та їх взаємодія будуть розглянуті з позиції функціональності, продуктивності та простоти інтеграції, що дозволить розробити гнучку та масштабовану систему для дистанційного керування RGB освітленням.

2.1.1 Сучасні стандарти бездротових інформаційних мереж

У сучасних мікроконтролерних пристроях, особливо в системах дистанційного керування, вибір стандарту бездротової комунікації є ключовим аспектом проектування. Він визначає ефективність передачі даних, стабільність з'єднання, споживання енергії та можливості інтеграції у вже існуючу інфраструктуру IoT.

У цьому підрозділі буде проведено детальний аналіз різних стандартів бездротового зв'язку, таких як Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), ZigBee та LoRa, з порівнянням їхніх технічних характеристик, переваг і недоліків. Також буде обґрунтовано вибір стандарту для реалізації мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником, враховуючи вимоги до швидкості передачі, стабільності зв'язку, енергоефективності та можливості інтеграції у домашню та комерційну інфраструктуру.

IEEE 802.11 Wi-Fi – починаючи з першого стандарту IEEE 802.11, опублікованого у 1997 році, технологія Wi-Fi швидко здобула популярність

завдяки високій швидкості передачі даних та широкій доступності. З часом з'явилися еволюції стандарту (802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac, 802.11ax), що постійно покращували продуктивність, дальність і енергоспоживання. У таблиці 2.1 наведено порівняння основних характеристик різних поколінь стандарту [5].

Таблиця 2.1 – Порівняння основних характеристик версій стандарту IEEE 802.11 Wi-Fi

Параметр	802.11b	802.11g	802.11n	802.11ac (Wi-Fi)	802.11ax (Wi-Fi)
Частотний діапазон	2.4 ГГц	2.4 ГГц	2.4 ГГц та 5 ГГц	Переважно 5 ГГц	2.4 ГГц і 5 ГГц
Максимальна швидкість	До 11 Мбіт/с	До 54 Мбіт/с	До 600 Мбіт/с (MIMO)	від 1 Гбіт/с до 3 Гбіт/с	До 9.6 Гбіт/с
Метод модуляції	DSSS, CCK	OFDM (з сумісністю з DSSS)	OFDM (з підтримкою MIMO)	OFDM, 256-QAM	OFDMA, 1024-QAM
Ширина каналу	22 МГц	20–22 МГц	20 або 40 МГц	20, 40, 80 МГц	20, 40, 80, 160 МГц
Дальність	до 100 м	до 100 м	70–100 м	50–100 м	50–100 м
Особливості	Простий стандарт, базова продуктивність	Вища швидкість, збереження сумісності	Використання MIMO для кращої пропускної здатності	Вища пропускна здатність, підтримка beamforming	Покращена енергетична ефективність та управління мережами

Переваги:

- Висока швидкість передачі даних – Wi-Fi дозволяє передавати великі обсяги даних, що робить його найкращим варіантом для мультимедійних застосувань і систем, де потрібна постійна взаємодія.
- Широке розповсюдження – інфраструктура Wi-Fi знаходиться майже в усіх побутових і комерційних умовах, що спрощує інтеграцію пристроїв.
- Пряма інтеграція – багато мікроконтролерних платформ (ESP8266, ESP32) мають вбудований Wi-Fi модуль, що дозволяє уникнути додаткових компонентів.

Недоліки:

- Вищий рівень енергоспоживання – у порівнянні з іншими технологіями (BLE, ZigBee), Wi-Fi споживає більше електроенергії.
- Перешкоди та насиченість – у щільних мережах Wi-Fi може стикатися з перешкодами, зниженням швидкості через радіочастотні завади.

Bluetooth: вперше розроблений у 1994 році для заміни інтерфейсу RS-232, Bluetooth спроектовано для передачі даних на короткі відстані. Пізніше з'явилася версія Bluetooth Low Energy (BLE), з підвищеною енергоефективністю, що знайшла застосування у пристроях з малим споживанням енергії. У таблиці 2.2 наведено порівняння основних характеристик різних поколінь стандарту [6].

Таблиця 2.2 – Порівняння основних характеристик версій стандарту Bluetooth

Параметр	Bluetooth 1.0/1.1	Bluetooth 2.0	Bluetooth 3.0	Bluetooth 4.x LE	Bluetooth 5.x LE
Частотний діапазон	2.402–2.48 ГГц	2.402–2.48 ГГц	2.402–2.48 ГГц	2.402–2.48 ГГц	2.402–2.48 ГГц
Максимальна швидкість	721 кбіт/с	3 Мбіт/с	24 Мбіт/с (Enhanced Data Rate, EDR)	1 Мбіт/с (LE)	2 Мбіт/с (LE)
Радіус дії	До 10 м	До 10 м	До 10 м	50–100 м	До 400 м
Модуляція	GFSK	GFSK, EDR	GFSK, EDR	GFSK	GFSK
Споживання енергії	Високе	Високе	Середнє	Низьке (Low Energy)	Дуже низьке (Low Energy)
Основні особливості	Базова передача даних	Підтримка EDR, вищі швидкості	Передача через AMP (Alternate MAC/PHY)	Low Energy для IoT та мобільних пристроїв	Покращена дальність та швидкість, підтримка IoT

Переваги:

- Низьке енергоспоживання – BLE розроблено з урахуванням мінімізації споживаної потужності, реалізованому завдяки режиму сну і оптимізації передачі.

Недоліки:

- Обмежена швидкість передачі даних – BLE не підходить для застосувань, де потрібна швидка і об'ємна передача інформації.

- Обмежена кількість одночасно підключених пристроїв – BLE підтримує низьку кількість активних з'єднань порівняно з Wi-Fi або ZigBee. У стандартному режимі він може одночасно працювати лише з декількома периферійними пристроями, що ускладнює масштабованість мереж.

ZigBee: Створений на основі IEEE 802.15.4 і запропонований як стандарт для мереж малих енергетичних витрат з підтримкою топології mesh, ZigBee часто використовується у побутових системах автоматизації та сенсорних мережах. У таблиці 2.3 наведено порівняння основних характеристик різних поколінь стандарту [7].

Таблиця 2.3 – Порівняння основних характеристик версій стандарту ZigBee

Параметр	ZigBee 2.4 ГГц	ZigBee 915 МГц	ZigBee 868 МГц
Частотний діапазон	2.4 ГГц	915 МГц (Північна Америка)	868 МГц (Європа)
Максимальна швидкість	До 250 кбіт/с	40 кбіт/с	20 кбіт/с
Модуляція	O-QPSK з DSSS	O-QPSK	O-QPSK
Дальність	10–100 м	10–150 м	10–150 м
Особливості	Стандарт для побутової автоматизації	Оптимізований для регіональних норм	Використовується рідше через низьку швидкість

Переваги:

- Розширення покриття – підтримка топології mesh дозволяє створювати розширені мережі, де пристрої можуть передавати дані через один одного.
- Низьке енергоспоживання – як і BLE, ZigBee орієнтований на енергоефективність.

Недоліки:

- Низька швидкість передачі – не підходить для застосувань, що потребують високої пропускної здатності.

- Менша сумісність – менше пристроїв вбудовують ZigBee безпосередньо, що може вимагати використання додаткових модулів.

LoRa: Цей стандарт орієнтований на довготривалу передачу даних з низькою швидкістю по великих відстанях. Він використовується для систем, що вимагають великого покриття при мінімальному споживанні енергії, але не підходить для завдань, де потрібна висока швидкість передачі даних. У таблиці 2.4 наведено порівняння основних характеристик різних поколінь стандарту [8].

Таблиця 2.4 – Порівняння основних характеристик версій стандарту LoRa

Параметр	LoRa 868 МГц	LoRa 915 МГц
Частотний діапазон	868 МГц (Європа)	915 МГц (США, Австралія)
Максимальна	До 50 кбіт/с	До 50 кбіт/с
Модуляція	Chirp Spread Spectrum (CSS)	Chirp Spread Spectrum (CSS)
Дальність	До 2–5 км у містах, до 15 км в сільській місцевості	До 2–5 км у містах, до 15 км в сільській місцевості
Особливості	Енергоефективне рішення з великою дальністю, проте з низькою швидкістю передачі	Енергоефективне рішення з великою дальністю, проте з низькою швидкістю передачі

Переваги:

- Дальність покриття – забезпечує зв'язок на великі відстані без використання складної інфраструктури.

- Екстремально низьке енергоспоживання – оптимізований для пристроїв, які працюють тривалий час на обмежених ресурсах енергії.

Недоліки:

- Низька швидкість передачі – підходить для периферійних додатків, де обсяг даних невеликий і швидкість не є критичною.

- Обмежений обсяг даних – не можна передавати великі файли, тому менше підходить для систем, де потрібна висока пропускну здатність.

2.1.2 Сучасні мікроконтролерні системи керування

При формуванні індивідуального завдання для роботи було враховано необхідність забезпечення високої інтегрованості пристрою з мережею Інтернет (IoT), економічну доцільність виробництва та широкий спектр функціональних можливостей. Одним із ключових параметрів була можливість безпосереднього підключення до Wi-Fi, що дозволяє досягти високого рівня інтеграції у систему "розумного будинку". З огляду на ці критерії, вибором мікроконтролера став Wemos D1 Mini, який базується на чипі ESP8266.

Характеристики Wemos D1 Mini:

- мікроконтролер ESP8266;
- розрядність: 32 біт;
- напруга живлення плати: 3,3 / 5,0 В;
- бездротовий інтерфейс: Wi-Fi 802.11 b/g/n 2,4 ГГц (STA/AP/STA+AP, WEP/TKIP/AES, WPA/WPA2);
- підтримувані шини: SPI, I2C, I2S, 1-wire, UART, UART1, IR Remote Control;
- цифрові виводи I/O: 11 (RX, TX, D0...D8) всі виводи окрім D0 підтримують INT (зовнішнє переривання), ШИМ, I2C, 1-wire;
- аналогові входи: 1 (A0) 10-бітний АЦП;
- логічні рівні виводів I/O: 3,3 В;
- максимальна сила струму на виході I/O: 12 мА (для кожного виводу);
- максимальна напруга на вході A0: 3,2 В (між виводом A0 и GND);
- flash-пам'ять: 4 МБ;
- RAM-пам'ять даних: 80 КБ;
- RAM-пам'ять інструкцій: 32 КБ;
- тактова частота мікроконтролера: 80 МГц;
- чип USB-UART перетворювача: CH340G;
- робоча температура: -40 ... +85 °С;
- габарити: 34,2x25,6 мм;

- вага: 10 г.

Архітектура ESP8266 дозволяє ефективно виконувати завдання обробки даних завдяки наявності апаратного прискорювача протоколів і вбудованих засобів шифрування, що підвищує рівень безпеки комунікації [9].

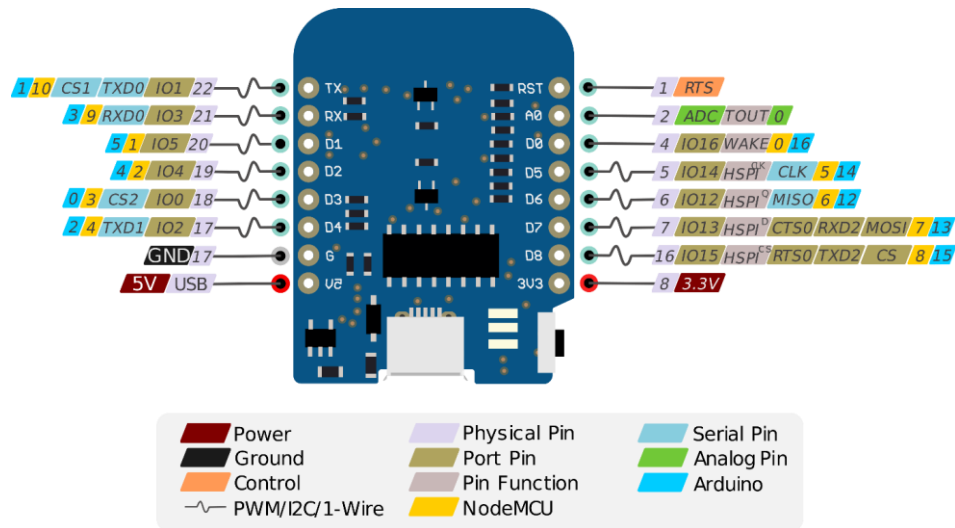


Рисунок 2.1 – Призначення виводів Wemos D1 Mini

Мікроконтролер ESP8266, що лежить в основі платформи Wemos D1 Mini, побудований на базі 32-бітного ядра Tensilica L106 RISC. Його розроблено з урахуванням вимог високої продуктивності при низькому енергоспоживанні, що є ключовою особливістю сучасних IoT-рішень. Архітектура Tensilica L106 RISC дозволяє ефективно обробляти реального часу завдання, що важливо для пристроїв, які повинні працювати автономно і керувати як локальними функціями, так і забезпечувати мережеву комунікацію.

RISC (Reduced Instruction Set Computer) – це архітектурна концепція, що базується на застосуванні спрощеного набору інструкцій, який дозволяє кожну операцію виконувати за один тактовий цикл. Завдяки уніфікованій довжині інструкцій RISC-процесори здатні забезпечувати високу продуктивність через ефективну конвеєризацию, що дозволяє одночасно обробляти кілька інструкцій.

Основні переваги RISC-архітектури включають значно знижене енергоспоживання, простоту декодування інструкцій та модульність, що дозволяє налаштовувати набір інструкцій під конкретні завдання.

Архітектурні особливості Tensilica L106 RISC:

- 32-бітне ядро з високою продуктивністю Tensilica L106 побудоване за принципами RISC (Reduced Instruction Set Computing), що дає змогу використовувати компактний набір інструкцій для досягнення високої швидкості обробки. Це ядро працює на тактовій частоті 80 МГц, що забезпечує достатню обчислювальну потужність для обробки мережесих протоколів і завдань з реального часу.

- Завдяки оптимізованій архітектурі, Tensilica L106 має безпосередньо інтегровані механізми економії енергії. Це дозволяє пристроям на базі ESP8266 працювати в режимах зниженого споживання при збереженні високої продуктивності під час активного режиму роботи, що є вирішальним для мобільних та автономних IoT-додатків.

- Однією з важливих характеристик Tensilica L106 є можливість користувацького налаштування інструкційного набору. Це дозволяє розробникам оптимізувати процесори для конкретних завдань, додаючи підтримку спеціалізованих інструкцій або апаратне прискорення операцій, що часто використовується при роботі з обробкою сигналів та шифруванням даних.

- Архітектура чіпсету передбачає наявність апаратних модулів для підтримки стандартних протоколів зв'язку, таких як UART, SPI, I2C, що робить впровадження периферійних пристроїв максимально зручним. Ці вбудовані інтерфейси дозволяють безпосередньо взаємодіяти з сенсорами, світлодіодними стрічками та іншими компонентами без необхідності додаткових зовнішніх модулів [10].

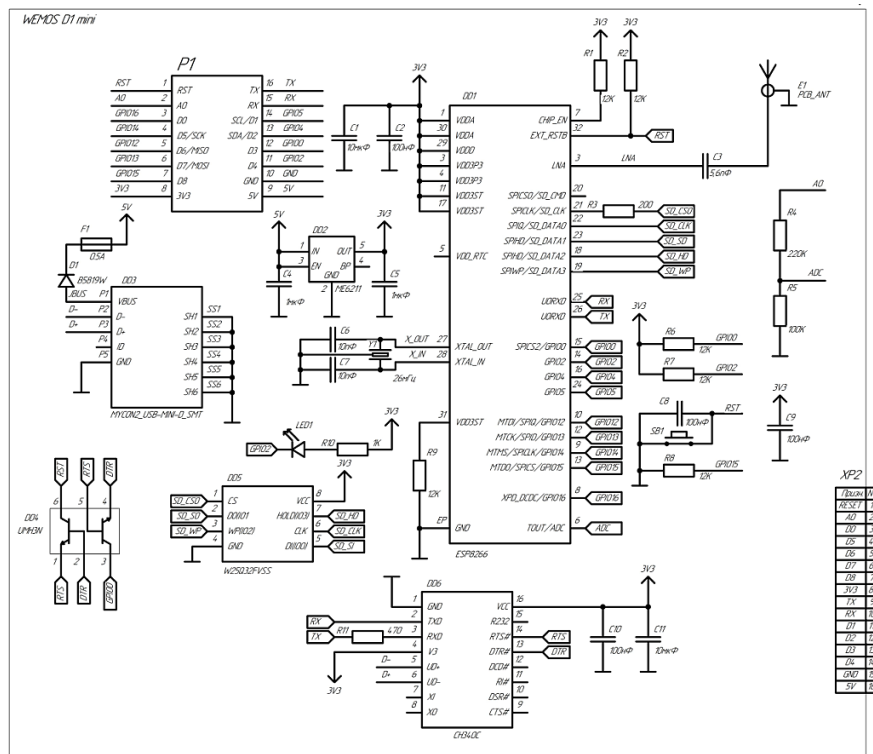


Рисунок 2.2 – Принципова схема Wemos D1 Mini

Wemos D1 Mini є оптимальним вибором завдяки вбудованому модулю WiFi, що дозволяє легко інтегрувати пристрій у IoT-екосистему. Його низька вартість та продуктивність роблять його ідеальним для пристроїв дистанційного керування освітленням, однак, порівняно з ESP32, він має меншу кількість GPIO, що може обмежувати можливості розширення.

ESP32 є більш потужним варіантом, що підтримує Wi-Fi та Bluetooth, має вищу тактову частоту та більший обсяг пам'яті, що робить його придатним для складніших IoT-завдань. Проте його енергоспоживання є вищим, що може бути критичним для автономних пристроїв.

STM32 є потужним мікроконтролером із великою кількістю периферійних інтерфейсів, але не має вбудованого Wi-Fi, що робить його менш зручним для IoT-проектів без додаткових модулів зв'язку.

Arduino UNO є найпростішим варіантом, що добре підходить для початкових проектів, але його обмежена продуктивність та відсутність бездротового зв'язку роблять його менш придатним для IoT-рішень [11].

У таблиці 2.5 представлено порівняльний аналіз вибраного мікроконтролера з конкурентами: ESP32, STM32 та Arduino UNO.

Таблиця 2.5— Порівняльний аналіз мікроконтролерів

Параметр	Wemos D1 Mini	ESP32	STM32	Arduino UNO
Архітектура	32-біт RISC (Tensilica L106)	32-біт RISC (Xtensa LX6,	32-біт ARM Cortex-M4	8-біт AVR
Тактова частота	До 80 МГц	До 240 МГц	168 МГц	16 МГц
Оперативна пам'ять	80 КБ	520 КБ	192 КБ	2 КБ
Пам'ять Flash	До 4 МБ	4–16 МБ	1–2 МБ	32 КБ
Бездротове з'єднання	Вбудований Wi-Fi (802.11 b/g/n)	Wi-Fi та Bluetooth	Відсутній (потрібні	Відсутній (потрібні
Кількість GPIO	11	34	50+	14
Інтерфейси	UART, SPI, I2C, PWM, 1-Wire	UART, SPI, I2C, CAN, PWM, ADC,	UART, SPI, I2C, CAN, PWM, ADC	UART, SPI, I2C, PWM
Енергоспоживання	Середнє	Високе	Низьке	Низьке

2.1.3 Твердотільні джерела освітлення

Адресна світлодіодна стрічка WS2812B є одним з ключових елементів розроблюваної конструкції. Дане рішення дозволяє здійснювати індивідуальне керування кожним світлодіодом завдяки вбудованому контролеру, що забезпечує точне регулювання кольору та яскравості.

WS2812B представляє собою комбінацію RGB-світлодіода та контролера, інтегрованих в один чіп (корпус типу 5050). Архітектурно кожен світлодіод має три окремі канали керування, які дозволяють задавати 256 рівнів яскравості для кожного кольору, що дає можливість отримати до 16,7 мільйонів можливих комбінацій. Дані передаються послідовно від одного світлодіода до іншого за допомогою інтерфейсу SPI, розробленого компанією Motorola, що гарантує однорідну синхронізацію при великій довжині світлодіодної стрічки [12].

З огляду на вищевказані характеристики, WS2812B є ідеальним вибором для проектів з використанням мікроконтролерних платформ. На рисунку 2.3 наведена принципова схема стрічки.

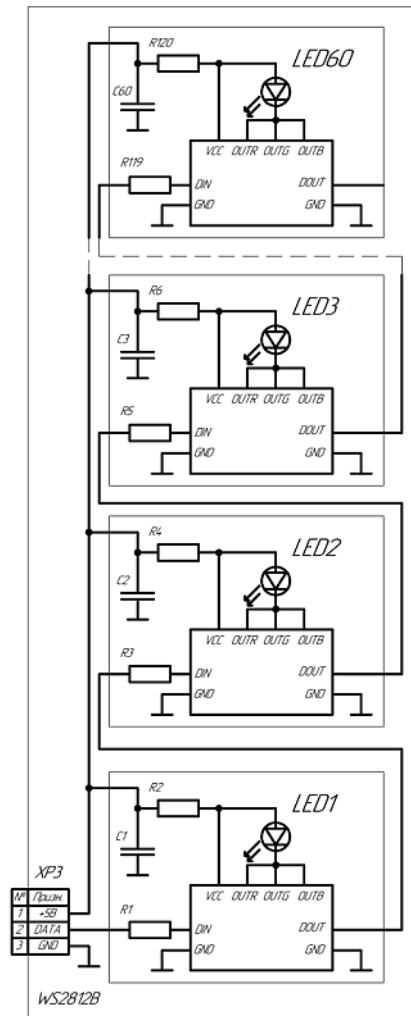


Рисунок 2.3 – Принципова схема WS2812B

SPI (Serial Peripheral Interface, SPI bus - послідовний периферійний інтерфейс, шина SPI) - послідовний синхронний стандарт передачі даних в режимі повного дуплексу. SPI є синхронним інтерфейсом, у якому будь-яка передача синхронізована із загальним тактовим сигналом, що генерується головним пристроєм (процесором, контролером). Приймаюча (другорядна) периферія синхронізує отримання бітової послідовності тактовим сигналом. До одного послідовного інтерфейсу периферійного провідного пристрою-мікросхеми може приєднуватися кілька мікросхем. Головний пристрій вибирає другорядний для передачі, активуючи сигнал «вибір кристала» (англ. chip select) на другорядній мікросхемі. Периферія, не вибрана контролером, не бере участі у передачі SPI.

Команди у стрічці передаються від діода до діода, послідовно. У стрічки є початок і кінець, напрямок руху команд вказаний стрілками. Стрічка має три контакти на початку – 5V та GND для живлення, третій – DIN (digital input) призначений для передачі даних керування. Контакт DOUT, що розміщений в кінці стрічки, необхідний для підключення додаткових елементів чи з'єднання матриць. Контакти 5V та GND, розміщені в кінці стрічки застосовують для живлення додаткових елементів.

Фізично в WS2812B є 3 випромінюючі світлодіоди (червоний, синій і зелений) і 8-бітний ШИМ-драйвер, що керує їх яскравістю. Для кожного з кольорів можливі 256 градацій яскравості і, відповідно, для того щоб встановити яскравість для кожного з 3-х світлодіодів потрібно передати пікселю $8 \times 3 = 24$ біт (3 байти) інформації. Протокол передачі даних однолінійний з фіксованою швидкістю. Одиниці та нулі інформації про яскравість кодуються тривалістю високого та низького рівня сигналу в лінії.

Час передачі одного біта становить $0.8 + 0.45 = 1.25$ мкс. Час передачі всього пакета з 24 біт для одного пікселя WS2812B становить $24 \times 1.25 = 30$ мкс.

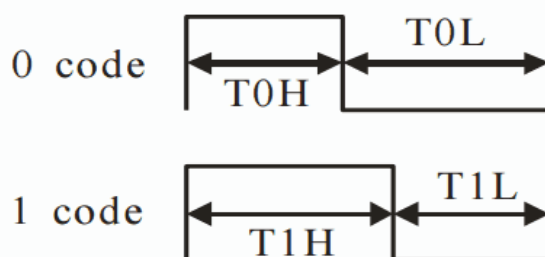


Рисунок 2.4 – Кодування бітової послідовності при передачі даних по адресній стрічці

На вхід DIN подається інформація (24біта) для встановлення нового кольору. Інформація про колір передається по бітах, (починаючи зі старшого біта) послідовно для кожної зі складових кольорів G , R , B.

Запис значень кольору ланцюжку пікселів відбувається в такий спосіб: Перші 24 біти подані на DIN записує собі в тимчасову пам'ять контролер першого пікселя (колір поки залишається незмінним). Наступні біти контролер першого пікселя передає на вихід DOUT. Другий піксель повторює дії першого (залишаючи собі перші 24 біти, що дійшли до нього) і так по ланцюжку. Для того, щоб значення кольорів з тимчасової пам'яті пікселів стали активними повинна бути витримана пауза передачі (reset code) протягом 50мкс. Після цієї паузи можна повторювати цикл знову [13].

Характеристики WS2812B:

- Живлення – модуль WS2812B працює від джерел живлення з напругою від 3,3В до 5,3В.

- Швидкість передачі даних і оновлення – дані передаються зі швидкістю 800 кбіт/с, що дозволяє забезпечувати оперативну передачу команд між мікроконтролером і світлодіодами. Максимальна частота оновлення сигналу не менше 400 Гц, що гарантує плавність змін світлових ефектів, навіть при великій кількості підключених модулів.

- Вбудовані захисні та коригувальні механізми – WS2812B має інтегровану схему захисту від зворотного підключення живлення, а також сигнал *reshaping circuit* (схема відновлення форми сигналу) із електричним перезавантаженням. Така схема коригує потенційні спотворення, які можуть виникнути під час передачі сигналу через довгі ланцюги чи внаслідок впливу зовнішніх електромагнітних завад, що запобігає накопиченню спотворень при передачі сигналу через численні модулі. Це дозволяє без втрат передавати дані навіть при з'єднанні ланцюгів, довжина яких перевищує 5 метрів.

- Максимальний струм споживання – при повній яскравості кожен окремий світлодіод може споживати до 60 мА. Для стрічки з щільністю 60 світлодіодів на метр максимальний струм споживання становить приблизно 3,6 А на метр.

- Потужність – при живленні від 5 В максимальна потужність стрічки сягає 18 Вт на метр.

- Діапазон робочих температур – WS2812B здатна стабільно працювати у температурному діапазоні від -40°C до $+70^{\circ}\text{C}$, що забезпечує надійну експлуатацію в різних умовах зовнішнього середовища.

- Габаритні розміри – світлодіодна стрічка виготовляється на гнучкій друкованій платі, яка має ширину 10 мм. Стандартні варіанти поставок включають рулони довжиною 5 метрів. Самі світлодіодні блоки інтегровані у корпус типу SMD5050, розміри якого зазвичай складають 5×5 мм [14].

2.1.4 Контролери заряду літієвих акумуляторів

Живлення пристрою реалізоване за рахунок двох акумуляторів типу-розміру 18650, що заряджаються постійним струмом 5В через контролер заряду на мікросхемі TP4056.

Контролер заряду на мікросхемі TP4056 – це лінійний зарядний контролер, спеціально розроблений для літієвих акумуляторів (Li-Ion та Li-Po). Він забезпечує стабільний процес зарядки та гарантує оптимальний рівень напруги та струму.

Технічні характеристики контролера заряду на мікросхемі TP4056:

- Вхідна напруга – модуль працює від джерел живлення із напругою від 4,5 В до 5,5 В, що дозволяє використовувати стандартизовані USB-адаптери.

- Напруга заряду – заряд акумулятора відбувається при напрузі 4,2 В, що є оптимальним рівнем для більшості літієвих батарей.

- Максимальний струм заряду – значення вихідного струму можна регулювати зовнішнім резистором у діапазоні від 50 мА до 1А, що дозволяє адаптувати модуль під конкретні потреби акумулятора та забезпечити ефективну зарядку.

- Захисні функції – TP4056 містить системи захисту від перенапруги, перевантаження за струмом і надмірного розряду, що запобігає пошкодженню акумулятора.

- Індикатори заряду – модуль оснащено LED-індикаторами. Один сигналізує про процес зарядки, а інший – про повне зарядження акумулятора.

- Функція soft-start – забезпечує плавний запуск зарядного процесу, що мінімізує раптові зміни струму та підвищує безпеку заряду [15].

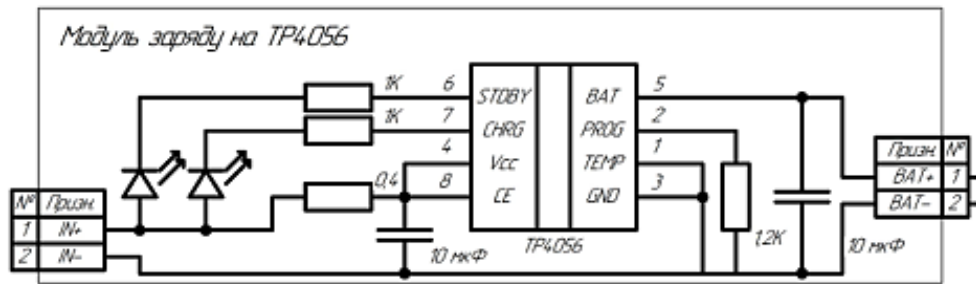


Рисунок 2.5 – Принципова схема контролера заряду на TP4056

2.2 Аналіз алгоритмів та програмної логіки керування

Аналіз програмного забезпечення є ключовим етапом у розробці мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником. Цей процес охоплює розробку алгоритмів обробки даних, інтеграцію мікроконтролера з мобільним додатком та налаштування бездротового зв'язку для забезпечення стабільного керування пристроєм.

У цьому розділі будуть розглянуті принципи розробки алгоритму роботи пристрою, вибір середовища програмування та взаємодія з мобільним застосунком. Особливу увагу буде приділено структурі та логіці обробки команд, забезпеченню швидкого та безперебійного зв'язку між пристроєм і RGB-світильником, а також методам оптимізації програмного коду для підвищення продуктивності та енергоефективності пристрою.

2.2.1 Формування алгоритму роботи пристрою

Алгоритм роботи мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником перш за все передбачає можливість керування пристроєм зі смартфона шляхом підключення до нього через інтерфейс Wi-Fi. Для цього застосовується вбудований у мікроконтролер модуль Wi-Fi. Також технічне завдання передбачає можливість налаштування таких ефектів як

переливання, градієнт зміна кольору та яскравості, встановлення таймеру на відключення пристрою та інше.

Керування роботою пристрою відбувається у кілька етапів:

- користувач вмикає пристрій;
- мікроконтролер завантажує стандартні налаштування режиму роботи та підключається до заданої мережі Wi-Fi;
- користувач підключає керуючий пристрій до тієї самої мережі Wi-Fi;
- користувач запускає додаток на керуючому пристрої та змінює параметри роботи пристрою;
- керуючий пристрій передає сигнал на мікроконтролер по Wi-Fi;
- мікроконтролер приймає та обробляє сигнал;
- в залежності від заданих користувачем налаштувань, мікроконтролер або одразу формує керуючий імпульс для адресної стрічки, або зберігає команду у пам'яті і формує імпульс через заданий проміжок часу;
- по шині SPI через порт D4 мікроконтролер передає керуючий імпульс на адресну стрічку;
- адресна стрічка змінює параметри роботи;
- після закінчення роботи з пристроєм користувач вимикає його.

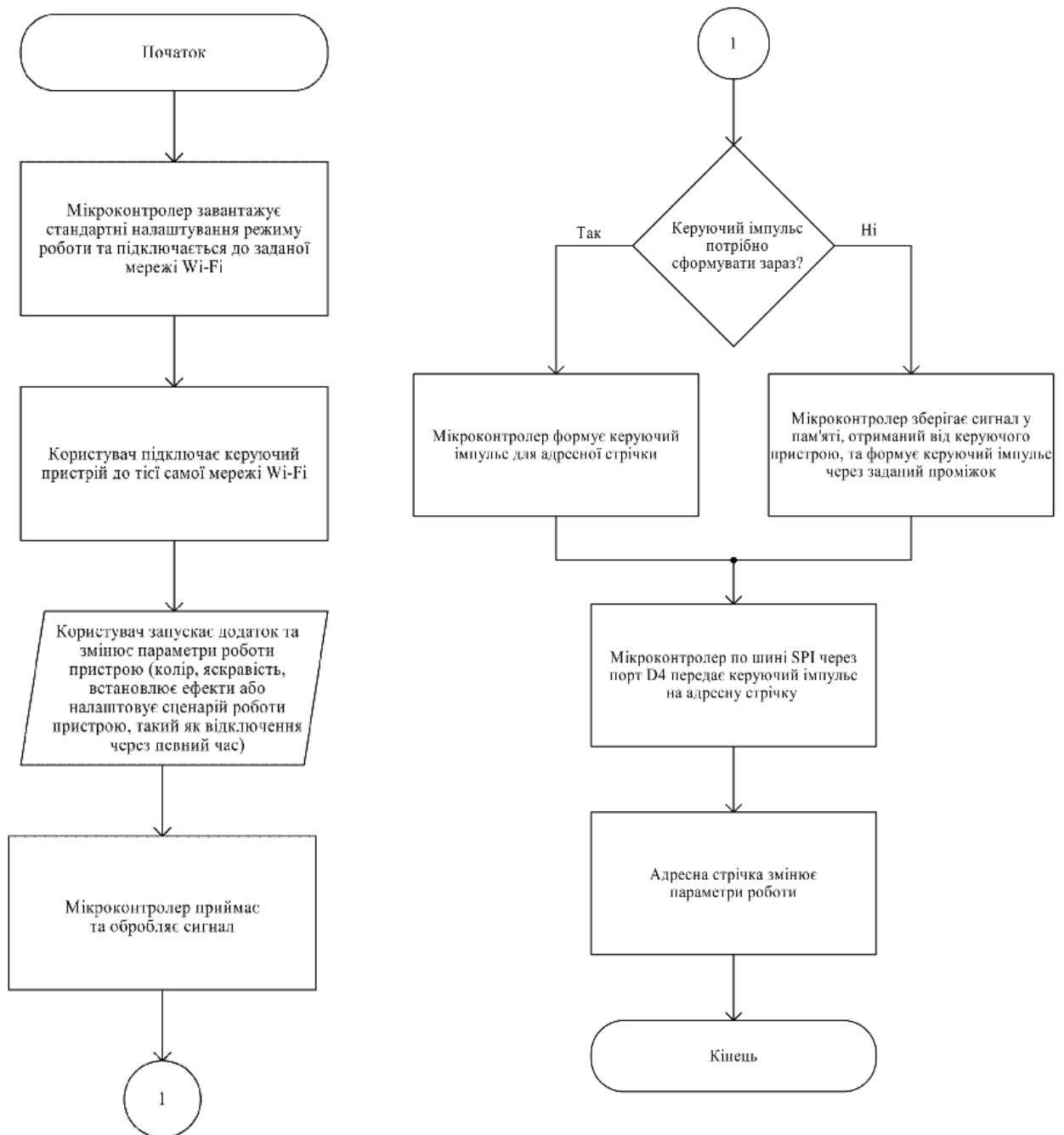


Рисунок 2.6 – Блок-схема процесу керування роботою пристрою

2.2.2 Вибір середовища розробки

Програмування мікроконтролера проводиться за допомогою середовища ESPhome-flasher. Це утиліта до середовища ESPhome, що дозволяє працювати з мікроконтролерами сімейства ESP (в даному випадку використовується ESP8266). Його перевага полягає в тому, що можна використовувати як готові шаблони для взаємодії, так і створювати власні за допомогою мови

програмування Python. У даній розробці використовується готовий шаблон для взаємодії з мобільним додатком. Утиліту не потрібно встановлювати на ПК, після завантаження вона вже готова до роботи [16].

Керування роботою пристрою зі смартфона відбувається за допомогою додатку WLED, оскільки під нього розроблена досить велика кількість готових шаблонів взаємодії.

2.2.3 Програмне забезпечення

Перший етап – завантаження на мікроконтролер необхідного шаблону взаємодії. Для цього потрібно:

- під'єднати мікроконтролер до ПК;
- завантажити з сайту розробника утиліту ESPhome-flasher;
- завантажити з сайту розробника бінарний файл «WLED_0.13.3_ESP8266.bin»;
- за допомогою утиліти завантажити бінарний файл на мікроконтролер.

Після того, як на мікроконтролер завантажена необхідна інформація, потрібно підготувати смартфон, з якого буде відбуватися керування роботою пристрою.

Для цього необхідно:

- з Play Market/App Store завантажити додаток WLED та встановити його;
- увімкнути пристрій, використовуючи кнопку на корпусі;
- під'єднатися до мережі Wi-Fi мікроконтролера (за замовчуванням назва «WLED-AP»);
- відкрити застосунок та ввести дані домашньої мережі Wi-Fi, щоб контролер зміг до неї при'єднатися, контролер автоматично вимкне власну мережу та підключиться до домашньої мережі;
- підключити смартфон до домашньої мережі та знову відкрити застосунок;
- у додатку на головній сторінці необхідно додати новий пристрій;

- налаштувати пристрій під свої потреби (вибрати колір, яскравість, налаштувати алгоритм роботи, такий як вимкнення пристрою через певний час, вибрати режим роботи, наприклад градієнт, переливання). Інтерфейс додатка зображено на рисунку 2.7.

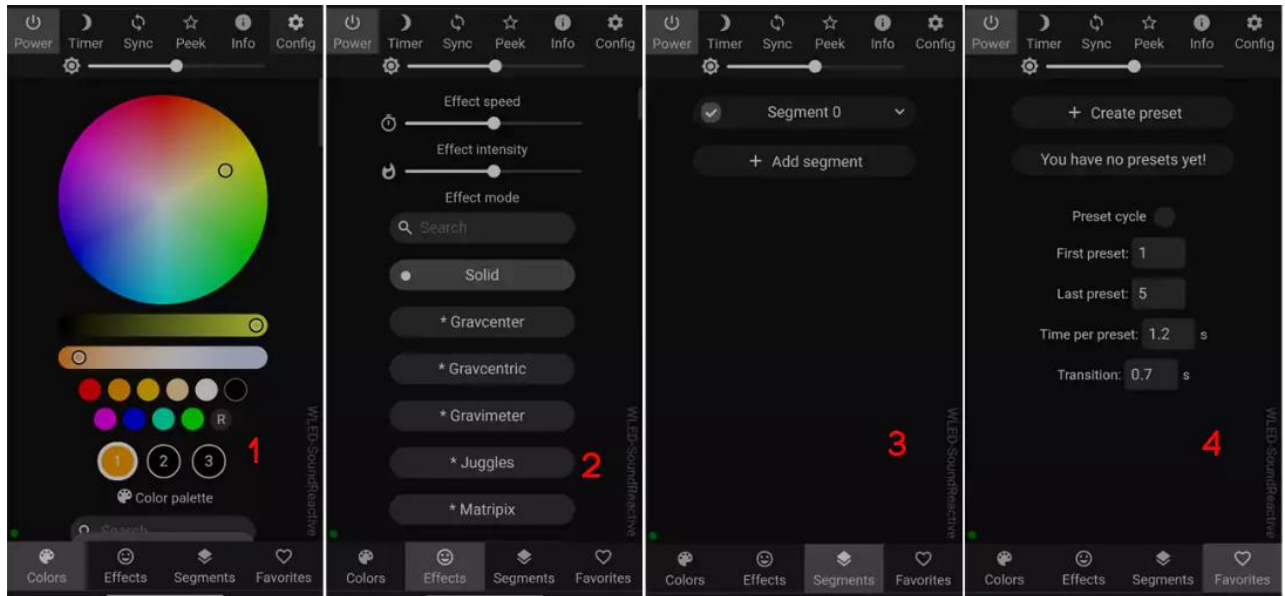


Рисунок 2.7 – Інтерфейс додатка WLED

3 РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ RGB СВІТИЛЬНИКОМ

3.1 Розробка функціональної схеми та схеми електричної принципової

Для подальшої розробки пристрою важливо визначити його основні функціональні блоки та їхню взаємодію. Функціональна схема наочно демонструє принципи роботи системи, розкриваючи способи реалізації її ключових завдань. У ній відображено логічні зв'язки між структурними елементами, що дозволяють аналізувати подачу живлення, обробку керуючих сигналів та обмін даними між компонентами.

Ця схема є основою для подальшого етапу розробки, оскільки вона дає змогу зрозуміти архітектуру пристрою, спрощує аналіз взаємодії вузлів та допомагає визначити оптимальні технічні рішення.

Функціональна схема мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником була розроблена згідно з вимогами та технічним завданням (рисунк 3.1).

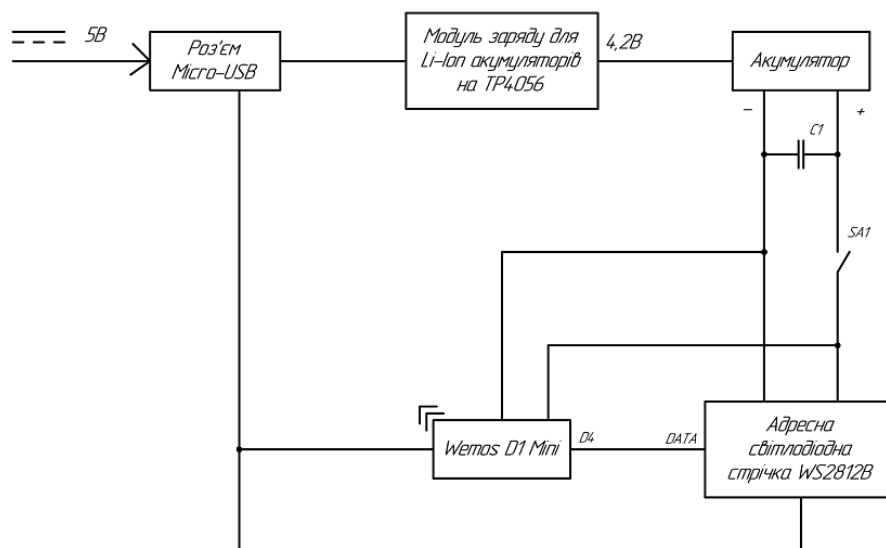


Рисунок 3.1 – Функціональна схема мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником

Після аналізу функціональної схеми на її основі було розроблено схему електричну принципову (рисунк 3.2).

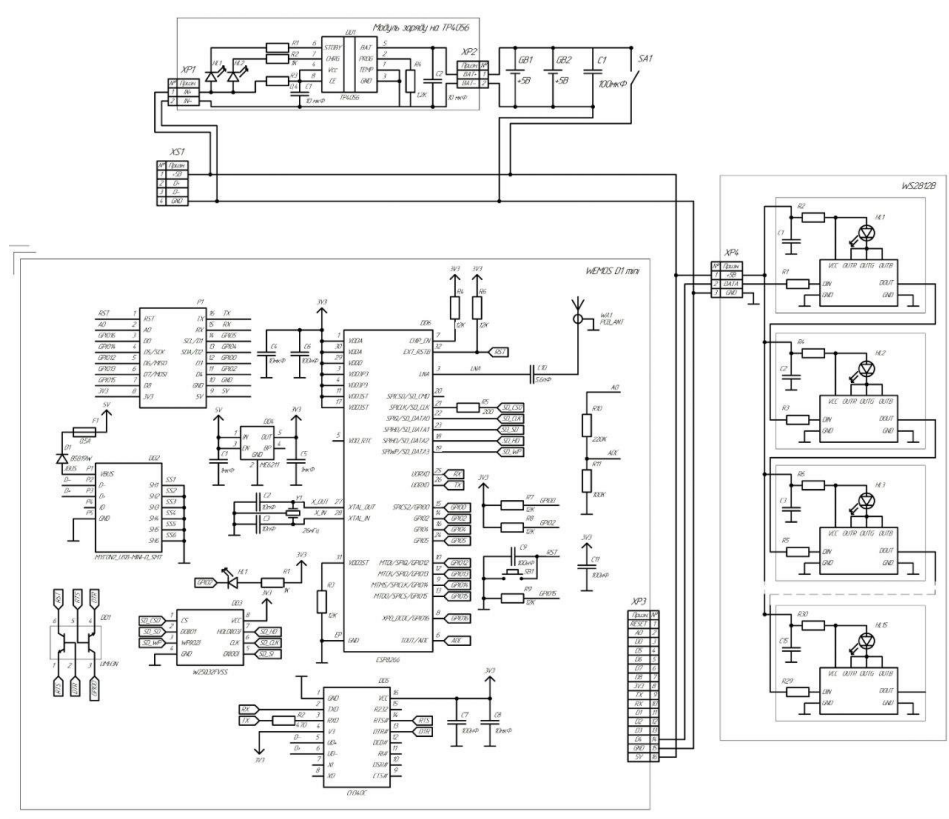


Рисунок 3.2 – Схема електрична принципова

Електрична принципова схема деталізує всі електричні з'єднання пристрою, демонструє логіку взаємодії його компонентів. Вона містить інформацію про структуру силових ланцюгів, системи керування та передачу даних.

Аналіз схеми дозволяє визначити основні технічні рішення, такі як вибір номіналів електронних компонентів, розрахунок струмових навантажень тощо для забезпечення стабільної роботи пристрою.

Таким чином, електрична принципова схема не лише відображає структуру пристрою, а й дозволяє провести детальний аналіз його функціонування, стабільності та відповідності технічним вимогам.

3.2 Електричні розрахунки параметрів друкованої плати

У даному розділі буде розраховано параметри друкованої плати. Розрахунок буде проводитись за допомогою ПЗ Saturn PCB Design Toolkit. У цій програмі наявний великий перелік інструментів, за допомогою яких можна розраховувати параметри друкованих плат, такі як мінімальна відстань між доріжками, опір провідника, диференціальних пар та інше [17].

Перш за все розрахуємо параметри друкованих провідників. Для цього необхідно ввести початкові дані для розрахунку (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Початкові дані для розрахунку параметрів друкованого провідника

Параметр	Значення
Er (діелектрична постійна)	4,6
Температура склування, °C	130
Температура навколишнього середовища, °C	25
Товщина додаткового шару металізації, мкм	53
Товщина друкованих провідників, мкм	88
Шар ДП	Зовнішній
Матеріал ДП	FR 4 STD (склотекстоліт)
Температура провідників, °C	26
Ширина провідників, мм	1
Максимальна довжина провідника, мм	90
Товщина ДП, мм	1,65
Кількість паралельних провідників	18
Частота сигналу, МГц	0,8

Параметри, що будуть розраховуватись:

Глибина проникнення струму (Skin Depth, δ) – параметр, що описує глибину, на яку змінний струм проникає в провідник. Через ефект близькості та ефект поверхневого струму основна частина струму концентрується у верхніх шарах матеріалу, що зменшує ефективний перетин для високочастотних

сигналів. Це явище критично важливе для трасування швидкодіючих цифрових систем, оскільки воно впливає на втрати сигналу та нагрів провідника. Чим менший параметр (δ), тим більше струм концентрується на поверхні металу, що важливо для високочастотних кіл. Розраховується за формулою:

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}} = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f\mu}}, \quad (3.1)$$

де ρ – питомий опір матеріалу,

f – частота,

μ - магнітна проникність,

$\omega = 2\pi f$ – кутова частота.

Омічний опір (DC Resistance, R_{dc}) – визначає опір провідника постійному струму. Розраховується за формулою:

$$R_{dc} = \frac{\rho L}{A} = \frac{\rho L}{w*t}, \quad (3.2)$$

де ρ – питомий опір матеріалу,

L – довжина провідника,

w - ширина трасування,

t - товщина шару міді,

$A = w * t$ – площа поперечного перерізу провідника.

Падіння напруги на провіднику (Voltage Drop, V) – визначає падіння напруги вздовж провідника при проходженні через нього струму I . Розраховується за формулою:

$$V = IR_{dc}. \quad (3.3)$$

Розсіювання потужності (Power Dissipation, P) – визначає потужність, що втрачається у вигляді тепла через опір провідника при заданому струмі. Розраховується за формулою:

$$P = I^2 R_{dc}. \quad (3.4)$$

Пропускна здатність по струму (Conductor Current Capacity, I) – описує максимально допустимий струм, який може проходити через провідник без перевищення допустимого температурного підвищення. Розраховується за формулою:

$$I = k(w \cdot t)^a, \quad (3.5)$$

де k – емпіричний коефіцієнт, який враховує матеріальні властивості провідника, умови охолодження та специфіку процесу виробництва,

a - експоненціальний коефіцієнт, що описує, як змінюється пропускна здатність по струму в залежності від площі перетину ($w \cdot t$). Значення a визначається експериментально та часто приймається близьким до 0.725.

Вносимо дані у програму (рисунок 3.3), розраховуємо результат.

Saturn PCB Design, Inc. - PCB Toolkit V8.31 - www.saturnpcb.com

File Program Function Tools Help | Contact Saturn PCB Design, Inc.

Embedded Resistors Er Effective Fusing Current Mechanical Information Min Conductor Spacing Ohm's Law Padstack Calculator
 PDN Calculator Planar Inductors PPM-XTAL Calculator Thermal Management Via Properties Wavelength Calculator XL-XC Reactance
 Bandwidth & Max Conductor Length Conductor Impedance Conductor Properties Conversion Calculator Differential Pairs / XTALK

Conductor Characteristics

Solve For:
☐ Amperage **? Help**
☐ Conductor Width

Plane Present?:
☐ No
☐ Yes

Parallel Conductors?:
☐ No
☐ Yes

Conductor Width: **1 mm**
 Conductor Length: **90 mm**
 PCB Thickness: **1,65 mm**
 Frequency: **0,8 MHz** (DC)

IPC-2152 with modifiers mode Etch Factor: 1:1

Options

Base Copper Weight:
☐ 9um
☐ 18um
☐ 35um
☐ 53um
☐ 70um
☐ 88um
☐ 106um
☐ 142um
☐ 178um

Units:
☐ Imperial
☐ Metric

Substrate Options
 Material Selection: **FR-4 STD**
 Er: 4,6 Tg (°C): **130**

Plating Thickness:
☐ Bare PCB
☐ 18um
☐ 35um
☐ 53um
☐ 70um
☐ 88um
☐ 106um

Temp Rise (°C): **26**
 Temp in (°F) = 46,8

Ambient Temp (°C): **25**
 Temp in (°F) = 77,0

Plane Thickness:
☐ 35um
☐ 70um

Conductor Layer:
☐ Internal Layer
☐ External Layer

Print Solve!

Information

Total Copper Thickness: 141 um
 Conductor Temperature:
 Temp in (°C) = 51,0
 Temp in (°F) = 123,8

Via Thermal Resistance: N/A
 Via Count: 10
 Via Voltage Drop: N/A

Results:

Skin Depth: **73,79717 um**
 Skin Depth Percentage: **100%**
 Power Dissipation: **0,63585 Watts**
 Power Dissipation in dBm: **28,0336 dBm**
 Voltage Drop: **0,1028 Volts**
 Conductor DC Resistance: **0,01662 Ohms**
 Conductor Cross Section: **0,1211 Sq.mm**
 Conductor Current: **6,1847 Amps**

SATURN PCB DESIGN, INC.
 Turnkey Electronic Engineering Solutions

Follow Us: f i n t y

12:41:39 14.05.2023

Рисунок 3.3 – Розраховані параметри друкованого провідника

Отриманий результат вносимо до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результат розрахунку параметрів друкованого провідника

Параметр	Значення
Скін-ефект, мкм	73,79717
Відношення скін-ефекту до заданої товщини доріжки, %	100%
Розсіювана потужність, Вт	0,63585
Розсіювана потужність, dBm	28,0336
Падіння напруги, В	0,1028
Опір провідника, Ом	0,01662
Площа перерізу провідника, кв.мм	0,1211
Максимальний допустимий струм, А	6,1847
Опір провідника, Ом	0,01662
Площа перерізу провідника, кв.мм	0,1211
Максимальний допустимий струм, А	6,1847

Далі розраховуватимемо опір друкованого провідника. За аналогією заносимо початкові параметри до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Початкові дані для розрахунку опору друкованого провідника

Параметр	Значення
ϵ_r (діелектрична постійна)	4,6
Вибір пасивного кола	Microstrip (мікросмужкова лінія)
Матеріал ДП	FR 4 STD (склотекстоліт)
Товщина друкованих провідників, мкм	88
Товщина додаткового шару металізації, мкм	53
Ширина провідника, мм	1
Частота сигналу, МГц	0,8
Висота провідника, мм	1

Параметри, що будуть розраховуватись:

Характеристичний імпеданс (Z_0) – опір провідника у будь якій його точці, використовується для опису середовища передачі сигналу та узгодження вхідного/вихідного опору. Розраховується за формулою:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad (3.6)$$

де L – індуктивність на одиницю довжини (L_0),

C – ємність на одиницю довжини (C_0).

Індуктивність на одиницю довжини (L_0) розраховується за формулою:

$$L = Z_0^2 C, \text{ або } L = \frac{Z_0}{v}, \quad (3.7)$$

де $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}$ – фазова швидкість сигналу в лінії, що залежить від

ефективної діелектричної сталої (ϵ_{eff}), c – швидкість світла у вакуумі. Цей параметр визначає, скільки енергії зберігається у магнітному полі лінії.

Ємність на одиницю довжини (C_0) розраховується за формулою:

$$C = \frac{L}{Z_0^2}, \text{ або } C = \frac{1}{Z_0 * v}. \quad (3.8)$$

Затримка розповсюдження сигналу (T_{pd}) розраховується за формулою:

$$T_{pd} = \frac{\sqrt{\epsilon_{eff}}}{c} 10^{12}. \quad (3.9)$$

Дані заносимо у програму (рисунок 3.4), розраховуємо, отриманий результат записуємо у таблицю 3.4

Таблиця 3.4 – Результат розрахунку опору друкованого провідника

Параметр	Значення
Характеристичний імпеданс , Ом	66,8494
Індуктивність на одиницю довжини , нГн/см	3,9547
Ємність на одиницю довжини , пФ/см	0,8849
Затримка розповсюдження сигналу , пс/см	59,158

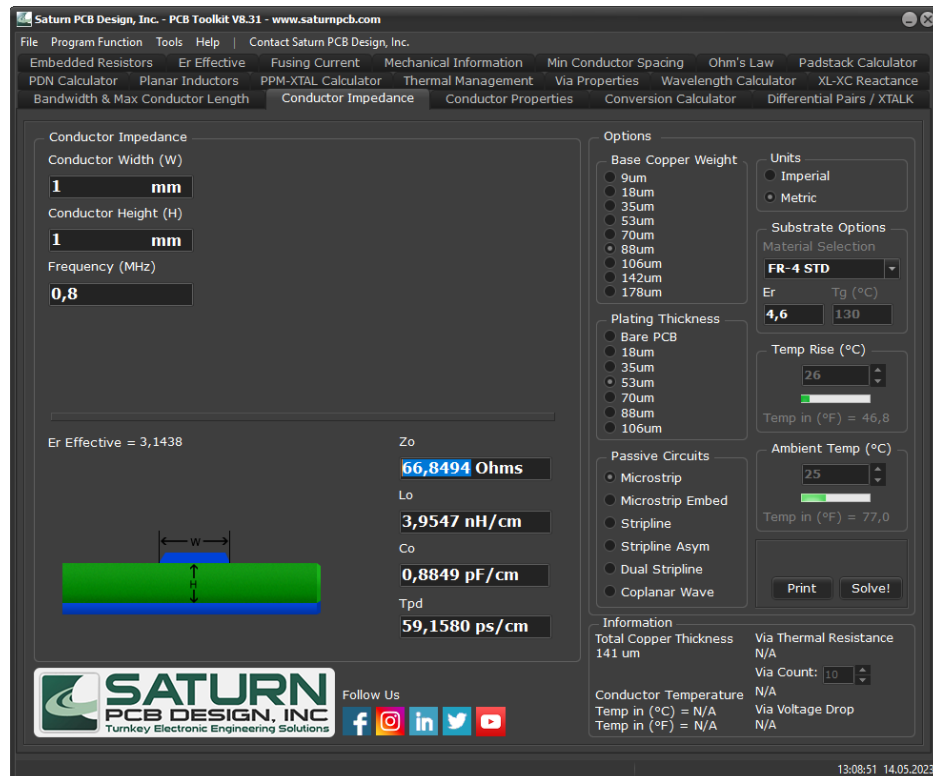


Рисунок 3.4 – Розраховані параметри опору друкованого провідника

Наступним розрахованим параметром буде мінімальна відстань між друкованими провідниками. Вхідні дані записано у таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Початкові дані для розрахунку мінімальної відстані між друкованими провідниками

Параметр	Значення
Максимальна напруга, В	5
Тип провідника або компонента ДП	B4 Bare PCB

Мінімальна відстань між провідниками (S_{min}) розраховується за формулою:

$$S_{min} = kV^n, \quad (3.10)$$

де V – номінальна напруга між провідниками,

k – емпіричний коефіцієнт, який враховує умовні та матеріальні особливості плати,

n – експоненціальний коефіцієнт, який визначає нелінійну залежність параметра від напруги, типово n приймається в діапазоні 0.5–1 (залежно від стандартів і експериментальних даних).

Вносимо параметри у програму (рисунок 3.5), отримані дані записуємо у таблицю 3.6.

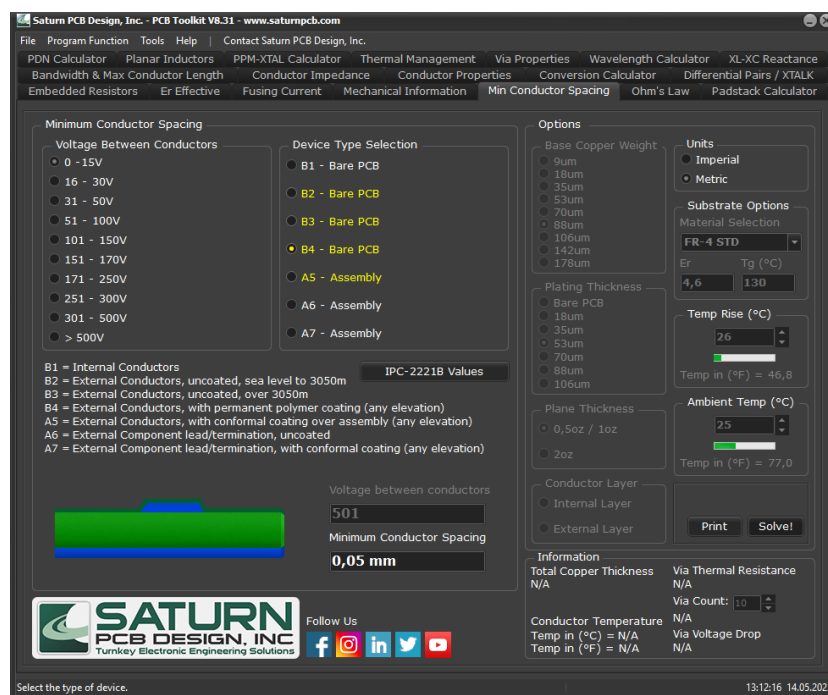


Рисунок 3.5 – Розрахована мінімальна відстань між друкованими провідниками.

Таблиця 3.6 – Результат розрахунку мінімальної відстані між друкованими провідниками

Параметр	Значення
Мінімальна відстань між провідниками, мм	0,05

Наступним розрахованим параметром буде опір диференціальних пар. Записуємо початкові дані у таблицю 3.7.

Таблиця 3.7 – Початкові дані для розрахунку опору диференціальних пар

Параметр	Значення
ϵ_r (діелектрична постійна)	4,6
Диференціальний шар	Зовнішній шар ДП
Матеріал ДП	FR 4 STD (склотекстоліт)
Товщина друкованих провідників, мкм	88
Товщина додаткового шару металізації, мкм	53
Ширина провідника, мм	1
Відстань між провідниками, мм	1
Висота провідника, мм	1
Опір матеріалу провідника, Ом	100
Максимальна напруга, В	5
Максимальна довжина провідника, мм	90

Диференційні пари використовуються в цифрових та аналогових високошвидкісних системах для забезпечення стабільної передачі сигналів з мінімальними електромагнітними завадами. Взаємодія електромагнітних полів між провідниками значно впливає на ефективність передачі даних, тому аналіз параметрів імпедансу та взаємозв'язку є критично важливим для розробки.

Параметри, що будуть розраховуватись:

Характеристичний імпеданс диференційної пари (Z_{diff}) – дозволяє визначити, як змінюється загальний імпеданс пари провідників через взаємодію електромагнітних полів між ними. Розраховується за формулою:

$$Z_{diff} = 2Z_0(1 - k_{cpl}), \quad (3.11)$$

де k_{cpl} – коефіцієнт зв'язності (coupling coefficient).

k_{cpl} описує електромагнітну взаємодію між провідниками. Розраховується за формулою:

$$k_{cpl} = \frac{C_m}{C + C_m}, \quad (3.12)$$

де C_m – взаємна ємність між провідниками на одиницю довжини,
 C – ємність одного провідника на одиницю довжини.

Парні імпеданси (Z_{odd} та Z_{even}) – параметри, які допомагають оцінити внесок взаємодії між провідниками у їх електричні властивості. Z_{odd} – імпеданс, коли сигнали на провідниках мають протифазні напруги, а Z_{even} – імпеданс, коли сигнали на провідниках мають однакові фази. Розраховуються за формулами:

$$Z_{odd} = Z_0(1 - k_{cpl}), \quad (3.13)$$

$$Z_{even} = Z_0(1 + k_{cpl}). \quad (3.14)$$

NEXT Voltage (Напруга відбитків) – параметр, що показує рівень паразитної напруги, що індукується у провіднику через вплив сигналу з іншого провідника. Розраховується за формулою:

$$V_{NEXT} = k_b V_{signal}, \quad (3.15)$$

де k_b – коефіцієнт взаємозв'язку,

V_{signal} – амплітуда сигналу на сусідніх провідниках.

Вносимо параметри у додаток (рисунок 3.6), отримані дані записуємо у таблицю 3.8.

Таблиця 3.8 – Результат розрахунку опору диференціальних пар

Параметр	Значення
Характеристичний імпеданс диференційної пари, Ом	107,129
Імпеданс непарного режиму, Ом	53,564
Імпеданс парного режиму, Ом	80,403
Напруга відбитків, В	0,506

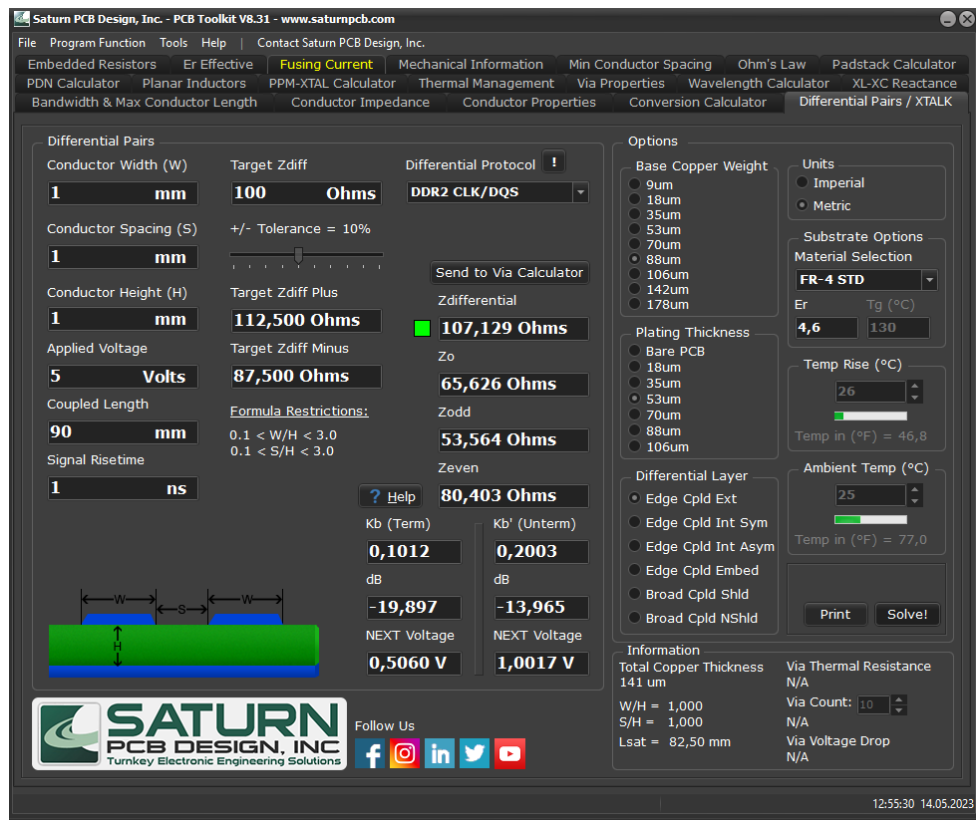


Рисунок 3.6 – Розрахований опір диференціальних пар

Далі розрахуємо параметри силової мережі друкованої плати. Записуємо дані у таблицю 3.9.

Таблиця 3.9 – Вхідні дані для розрахунку силової мережі друкованої плати

Параметр	Значення
Er (діелектрична постійна)	4,6
Матеріал ДП	FR 4 STD (склотекстоліт)
Напруга живлення, В	5
Максимальний струм, А	1,5
Нелінійні спотворення, %	5
Відсоток переданої напруги, %	50

Параметри, що будуть розраховуватись:

Цільовий PDN імпеданс (опір мережі живлення, Z_{target}) розраховується за формулою:

$$Z_{target} = \frac{V_{rail}}{I_{max}}, \quad (3.16)$$

де V_{rail} – напруга живлення,

I_{max} – максимальний споживаний струм.

Ємнісний опір (Capacitive Reactance, X_C). Цей параметр показує реактивний опір, який чинить конденсатор проходженню змінного струму. Розраховується за формулою:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}. \quad (3.17)$$

Загальна ємність між площинами – дозволяє визначити, наскільки великим є сток електричного заряду між площинами. Загальна ємність впливає на здатність плати компенсувати пульсації напруги. Розраховується за формулою:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d}, \quad (3.18)$$

де ε_0 – електрична постійна,

ε_r – відносна діелектрична стала матеріалу підкладки,

A – загальна площа,

d – відстань між площинами.

Вносимо параметри у додаток (рисунок 3.7), отримані дані записуємо у таблицю 2.14.

Таблиця 3.10 – Результат розрахунку силової мережі друкованої плати

Параметр	Значення
Цільовий PDN імпеданс, Ом	0,3333
Ємнісний опір, Ом	4,8054
Загальна ємність між площинами, пФ	33120

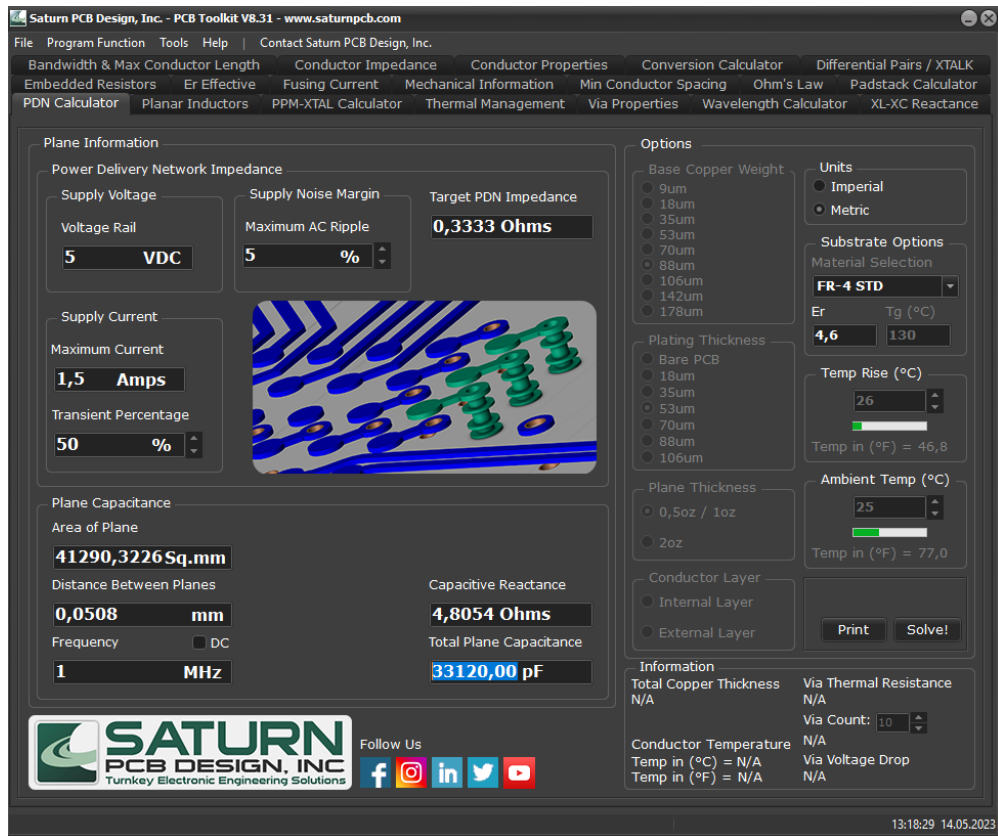


Рисунок 3.7 – Розраховані параметри силової мережі друкованої плати

На основі розрахунків, проведених за допомогою Saturn PCB Design Toolkit, було виконано трасування друкованої плати (рисунок 3.8.а). Було проведено розрахунок параметрів силової мережі плати, що дозволяє гарантувати стабільне живлення та гарне тепловідведення. На основі друкованої плати було розроблено складальний кресленик, який відображає структурні особливості монтажу компонентів, їх просторове розташування та принципи інтеграції окремих елементів у загальну систему (рисунок 3.8.б).

Розділ, присвячений диференційним парам, демонструє оптимізацію геометрії трас для високошвидкісної передачі даних. Взаємодія між провідниками також була врахована через коефіцієнти зв'язності та показники NEXT, що забезпечує мінімізацію перехресних завад.

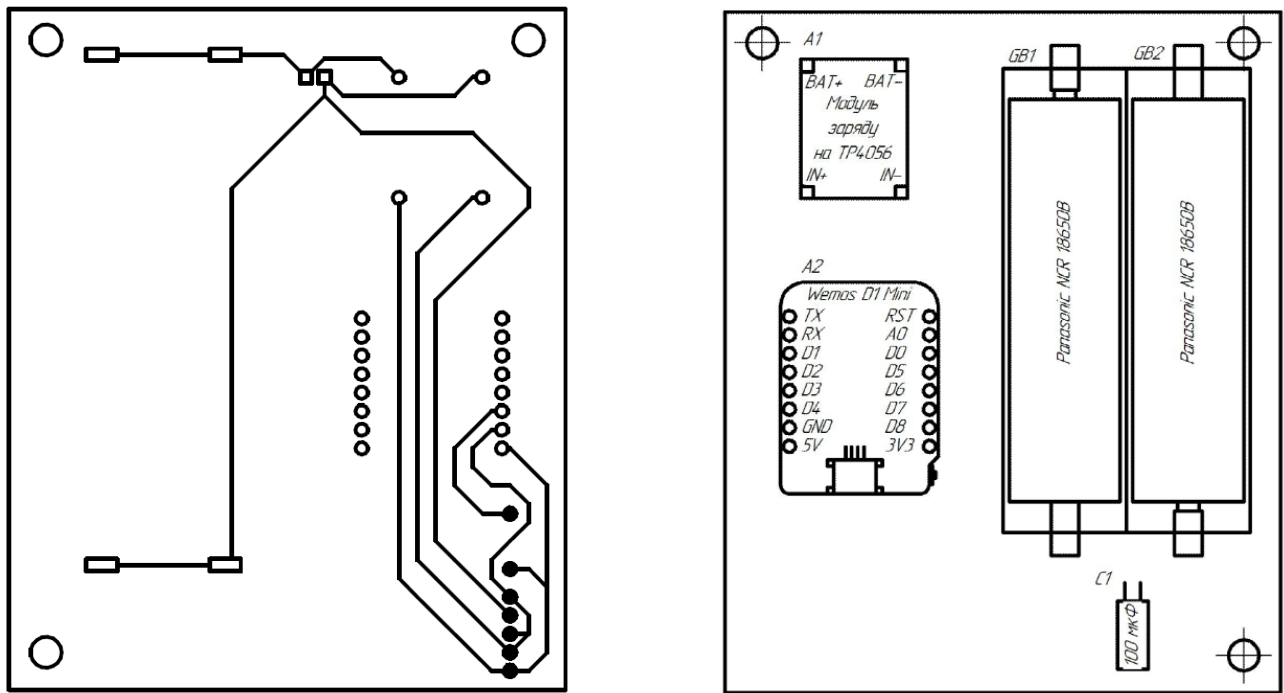


Рисунок 3.8 – Креслення: а) – друкована плата, б) – складальний кресленик

3.3 Розрахунок надійності

Будь-який пристрій з часом втрачає працездатність по причині виходу з ладу певних елементів конструкції.

Розрахунок надійності за раптовими відмовами проводиться з метою оцінки середнього часу напрацювання пристрою на відмову та ймовірності безвідмовної роботи до певного моменту часу. Відмовити елементи конструкції можуть набагато раніше визначеного терміну, а можуть перевищити термін гарантованого напрацювання у декілька разів, тому розрахунок можна брати до уваги лише при розгляді серійного виробництва пристроїв.

Даними для розрахунку являються: принципова схема, перелік елементів. Розрахунок буде проводитись за методом попереднього розрахунку надійності.

Таблиця 3.11 – Розрахунок попереднього показника відмов пристрою

Позначення	Тип елемента	Кількість	$\lambda_0, 1 \times 10^{-6} [1/\text{год}] [16]$	λ
1	2	3	4	5
A2	Модуль заряду для Li-Ion акумуляторів на TP4056			1,54
C1,C2	SMD 10 мкФ $\pm 1\%$	2	0,03	0,06
DD1	TP4056	1	0,22	0,22
LED1,LED2	Світлодіод	2	0,19	0,38
	Резистори			
R1,R2	SMD 1 кОм $\pm 5\%$	2	0,22	0,44
R3	SMD 0,4 кОм $\pm 5\%$	1	0,22	0,22
R4	SMD 1,2 кОм $\pm 5\%$	1	0,22	0,22
A1	Модуль Wemos D1 Mini			5,41
	Конденсатори			
C1	SMD 10 мкФ $\pm 1\%$	1	0,03	0,03
C2	SMD 100 нФ $\pm 1\%$	1	0,03	0,03
C3	SMD 5,6 пФ $\pm 1\%$	1	0,03	0,03
C4,C5	SMD 1 мкФ $\pm 1\%$	2	0,03	0,06
C6,C7	SMD 10 пФ $\pm 1\%$	2	0,03	0,06
C8...C10	SMD 100 нФ $\pm 1\%$	3	0,03	0,09
C11	SMD 10 мкФ $\pm 1\%$	1	0,03	0,03
DD1	Мікроконтролер ESP8266	1	0,21	0,21
DD2	Стабілізатор ME6211	1	0,22	0,22
DD3	MYCON_USB-MINI-D SMT	1	0,22	0,22
DD4	Блок транзисторів UMH3N	1	0,22	0,22
DD5	Flash пам'ять W25Q32FVSS	1	0,21	0,21
DD6	Перетворювач USB CH340C	1	0,22	0,22
D1	Діод B5819W	1	0,1	0,1
E1	Антенa вмонтована	1	0,36	0,36
F1	Запобіжник 0,5A	1	0,2	0,2
LED1	Світлодіод	1	0,19	0,19

Продовження таблиці 3.12

1	2	3	4	5
R1,R2	SMD 12 кОм ±5%	2	0,22	0,44
R3	SMD 200 Ом ±5%	1	0,22	0,22
R4	SMD 220 кОм ±5%	1	0,22	0,22
R5	SMD 100 кОм ±5%	1	0,22	0,22
R6...R10	SMD 12 кОм ±5%	4	0,22	0,88
R11	SMD 1 кОм ±5%	1	0,22	0,22
R12	SMD 470 Ом ±5%	1	0,22	0,22
SB1	Кнопка	1	0,16	0,16
Y1	Кварцовий резонатор 26МГц	1	0,35	0,35
A3	Адресна світлодіодна стрічка WS2812B			9,9
C1...C15	SMD 0,1 мкФ ±1%	15	0,03	0,45
LED1...LED15	Світлодіод RGB	15	0,19	2,85
R1...R30	SMD 200 Ом ±5%	30	0,22	6,6
	Інші елементи			8,3812
C1	Конденсатор електролітичний 16В 100 мкФ ±20%	1	0,3	0,3
GB1,GB2	Li-Ion акумулятор NCR18650B	2	4	8
SA1	Двопозиційний перемикач	1	0,06	0,06
	Ручна пайка з друкованим монтажем	33	0,0006	0,0198
	Ручна пайка з об'ємним монтажем	7	0,0002	0,0014
		$(\sum N_c \lambda_c)$	=	25,231

Спочатку розраховується попередній показник відмови пристрою (таблиця 2.15). Попередній показник відмов пристрою є сумою інтенсивності відмов кожного з елементів пристрою та розраховується за формулою (3.20):

$$\lambda = \sum N_c \lambda_c, \quad (3.20)$$

де λ_c – середньо групове значення інтенсивності відмови,

N_c – кількість елементів у схемі.

Далі необхідно обрати коефіцієнт класу робочого середовища використання пристрою (таблиця 3.13).

Таблиця 3.13 – Вибір коефіцієнту класу робочого середовища використання пристрою

Робоче середовище використання	π_E символ	Область застос.*	π_E значення	Дільник
Наземне стаціонарне обладнання	GB	1	0,5	1,00
Наземне мобільне обладнання	GM	0	4	1,64
Умови в закритих відсіках кораблів	NS	0	4	1,64
Умови у вантажних відсіках літаків	AIC	0	4	1,64
Умови космічного польоту	SF	0	0,5	1,00
Умови пуску ракети	ML	0	12	3,09
* У полі "Область застосування" ставиться 1 для відповідного середовища використання				
	π_E значення		0,5	

Після вибору коефіцієнту класу робочого середовища використання пристрою (таблиця 3.13) необхідно розрахувати показники FR та MTBF.

FR — показник відмов для електронних та точних механічних пристроїв.

Розраховується за формулою (3.21):

$$FR = \lambda * (1 + 0,2 * \pi_E) = 25,231 * (1 + 0,2 * 0,5) = 27,75^{-6} \frac{1}{\text{год.}}, \quad (3.21)$$

де $\Sigma\lambda$ — попередній показник відмов пристрою, π_E — коефіцієнт класу робочого середовища використання пристрою.

MTBF — середній час напрацювання пристрою на відмову. Формула для розрахунку (3.22):

$$MTBF = \frac{1000000}{FR} = \frac{1000000}{27,75^{-6}} = 36030,71 \text{ год.} \quad (3.22)$$

$P(t)$ — Ймовірність безвідмовної роботи за певний час напрацювання (тис. год.). Розраховується за формулою (3.23):

$$P(t) = 1 - \exp * (-t * FR) \quad (3.23)$$

Таблиця 3.14 – Результат розрахунку ймовірності безвідмовної роботи за певний час напрацювання

<i>T, тис. год</i>	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
<i>P(t)</i>	1,00	0,76	0,57	0,43	0,33	0,25	0,19	0,14	0,11	0,08	0,06

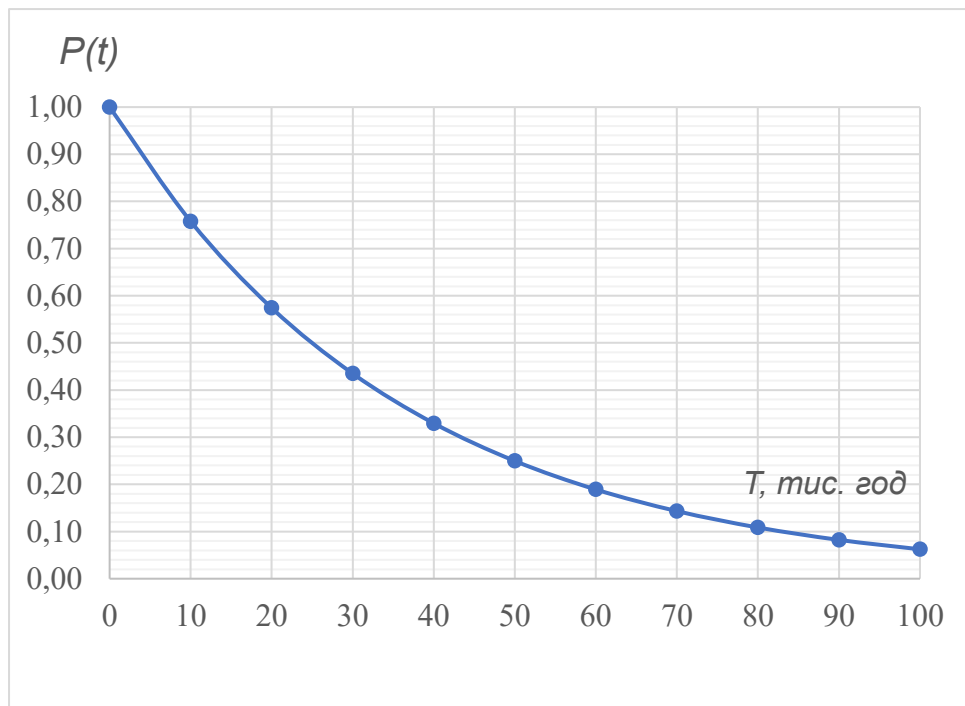


Рисунок 3.9 – Графік ймовірності безвідмовної роботи мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником

Якщо перерахувати показник MTBF в роки ($\frac{36030,71}{24 \cdot 365} = 4,11$ років) можна дійти висновку, що при роботі постійній роботі без вимикань пристрій з ймовірністю 37% працюватиме більш ніж чотири роки, але оскільки він не розрахований на такий сценарій використання, це не може відобразити реальну картину. Візьмемо для розрахунку, що пристрій використовуватиметься 6 годин на день. Тоді з ймовірністю 37% пристрій працюватиме $\frac{4,11 \cdot 24}{6} = 16,44$ років без виникнення несправностей [18].

3.4 Вибір методів регулювання та вимірювальної апаратури

Для розробки технологічного процесу регулювання необхідно вибрати метод регулювання, вимірювальну апаратуру, інструмент, допоміжні засоби. Існують безпосередній метод, метод порівняння, заміщення, мостовий, стендовий, автоматизований метод.

Було вибрано безпосередній метод, оскільки він дає змогу точніше налаштувати пристрій на задані параметри. Безпосередній метод потребує вимірювання і досягнення конкретних, раніше відомих, електричних характеристик пристрою безпосередньо, тобто шляхом підрахунку по приладам.

Основними інструментами регулювання є:

- Ноутбук (ПК):

1. Windows 7 32bit або вище;
2. ПЗ Esphome-flasher;

- Смартфон:

1. Android 4.4 або вище;
2. наявність Wi-Fi модуля;
3. встановлене ПЗ WLED (розробник Aircookie).

За допомогою ноутбуку на мікроконтролер Wemos D1 Mini завантажується ПЗ Esphome-flasher. За допомогою телефону з використанням ПЗ WLED виконується керування пристроєм, налаштування та зміна параметрів роботи [16].

Для першого запуску пристрою його необхідно зарядити. Після запуску має з'явитись доступна мережа Wi-Fi WLED-AP. За допомогою смартфона необхідно перевірити наявність мережі та підключитись до неї. Після підключення смартфона до мережі необхідно запустити ПЗ WLED та налаштувати параметри пристрою. Під час налаштувань можна в реальному часі спостерігати зміну параметрів [19].

У мікроконтролерному пристрої дистанційного керування RGB світильником керуванням налаштовуються такі параметри:

- яскравість;
- колір усіх світлодіодів разом;
- колір кожного світлодіоду окремо;
- таймер відключення пристрою;
- робота конфігурацій (переливання, градієнт).

3.5 Розробка технологічного процесу регулювання та настройки

Технологічний процес регулювання та настройки виконується для забезпечення коректної роботи пристрою та розробляється у вигляді технологічної карти. Розробка виконується для полегшення та стандартизації процесу регулювання та настройки.

Таблиця 3.15 – Перелік контрольно – вимірювальної апаратури та допоміжного обладнання

Тип пристрою	Кількість
Ноутбук (ПК)	1 шт.
Смартфон	1 шт.
Кабель Micro-USB	1 шт.
БЖ ColorWay CW-CHS014Q-WT	1 шт.
Схема електрична принципова	1 шт.
Складальний кресленик	1 шт.
Мультиметр DT-830B	1 шт.

Регулювання пристрою виконується в такій послідовності: підготовча, основна, заключна, завершальна. В таблиці 3.16 наведена послідовність для мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником.

Таблиця 3.16 – Технологічна карта регулювання і настройки мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником

Найменування операції	Вимірювальні прилади	Примітка
1	2	3
Підготовча		
Перевірити вузли та елементи на відсутність механічних ушкоджень.	Візуально	
Перевірити правильність підключення елементів згідно зі схемою.	Схема електрична принципова	
Перевірити друковану плату та місця пайки на відсутність коротких замикань.	Мультиметр DT-830B	
Перевірити якість монтажу елементів на друкованій платі та навісних елементів.	Візуально	
Зарядити акумулятори пристрою за допомогою БЖ.	БЖ ColorWay CW-CHS014Q-WT	
Основна		
Під'єднати Wemos D1 Mini до ПК.	Кабель Micro-USB	
Завантажити з сайту розробника ПЗ ESPhome-flasher для ПК[4].	ПК	
Завантажити з сайту розробника бінарний файл «WLED_0.13.3_ESP8266.bin»[5].	ПК	
За допомогою утиліти завантажити бінарний файл на мікроконтролер.	ПК	Рисунок 15
Від'єднати Wemos D1 Mini від ПК.		
Увімкнути пристрій.		
Перевірити наявність напруги на виході модуля заряду на TP4056	Мультиметр DT-830B	Між виводами BAT+ та BAT- напруга має бути $\leq 4,2\text{В}$, в залежності від рівня зарядки акумуляторів (при досягненні $4,2\text{В}$ - акумулятори повністю заряджені)
Перевірити струм споживання	Мультиметр DT-830B	Вимкнути перемикач SA1. Замкнути виводи перемикача щупами мультиметра включеного в положення виміру сили струму. Значення повинне бути в межах $1,3 - 3,8\text{А}$ в залежності від режиму роботи пристрою.

Продовження таблиці 3.16

1	2	3
Перевірити напругу на вході мікроконтролера	Мультиметр DT-830B	Між виводами 5B та GND напруга має дорівнювати 3,7 - 4,2В
Перевірити напругу на вході WS2812B	Мультиметр DT-830B	Між виводами 5B та GND стрічки напруга має дорівнювати 3,7 - 4,2В
Перевірити наявність сигналу на вході WS2812B	Мультиметр DT-830B	При наявності сигналу на вході між виводами GND та DATA маємо побачити імпульси амплітудою 3,3В
Завантажити на смартфон з App Store/Google Play додаток WLED та встановити його.[6]	Смартфон	
Заклучна		
Під'єднатися до мережі Wi-Fi мікроконтролера.	Смартфон	
Відкрити застосунок та ввести дані домашньої мережі Wi-Fi.	Смартфон	Рисунок 17
Підключити смартфон до домашньої мережі.	Смартфон	
У додатку на головній сторінці додати новий пристрій.	Смартфон	
Налаштувати пристрій під свої потреби.	Смартфон	Рисунок 16
Завершальна		
Перевірити працездатність усіх функцій (зміна кольору, яскравості та інше).		
Зібрати прилад у корпусі.	Складальний кресленик	
Перевірити якість збірки, кріплень елементів конструкції.	Складальний кресленик	

3.6 Основні несправності та методи їх усунення

У будь-якому пристрої рано чи пізно стаються поломки, що впливають на його працездатність, спричинені або механічними пошкодженнями, або внутрішніми процесами, що відбуваються у пристрої. Неможливо передбачити механічний вплив на пристрій, натомість поломки, що зумовлені внутрішніми процесами цілком можливо класифікувати та розробити методи їх усунення. У

таблиці 3.17 приведені основні несправності, причини виникнення та методи їх усунення.

Таблиця 3.17 - Основні несправності, причини виникнення та методи їх усунення.

Ознака несправності	Можливі причини	Методи усунення
1	2	3
Пристрій не заряджається.	Немає напруги в мережі живлення	Мультиметром перевірити напругу в мережі живлення;
	несправний блок живлення;	перевірити напругу на виході з блоку живлення. Вона повинна відповідати 5В. У випадку відсутності напруги замінити його;
	несправний модуль заряду на TP4056;	перевірити наявність напруги на виході модуля. Вона повинна бути в межах 3,7 - 4,2В. Якщо напруга на виході відсутня, значить або акумулятор повністю заряджений, або несправний модуль заряду. Перевірити напругу на акумуляторі, якщо вона менша за 4,2В, замінити модуль заряду;
	несправний акумулятор.	якщо на виході модуля заряду напруга присутня, а пристрій не заряджається, перевірити правильність підключення акумулятора та цілісність контактних доріжок від модуля заряду до клем акумулятора;
		перевірити напругу на акумуляторі. Якщо нижча за 2В, замінити акумулятор.
Пристрій заряджений, але не вмикається.	Відсутній контакт;	Перевірити доріжки на друкованій платі на цілісність;
		перевірити якість пайки провідників до друкованої плати;
	несправний мікроконтролер Wemos D1 Mini;	перевірити наявність напруги на вході мікроконтролера. Вона повинна бути в межах 3,7 - 4,2В. Якщо напруга присутня, перевірити індикацію на мікроконтролері. Якщо індикація відсутня, замінити мікроконтролер. Якщо індикація є, перевірити наявність сигналу між виводами D4 та GND. Це мають бути імпульси з амплітудою 3,3В;

Продовження таблиці 3.17

1	2	3
	несправна адресна стрічка WS2812B.	якщо на виході мікроконтролера присутній сигнал, перевірити напругу живлення на адресній стрічці між виводами 5V та GND. Напруга повинна бути в межах 3,7 - 4,2В; якщо вона присутня, перевірити сигнал на вході мікроконтролера. Якщо він відсутній, перевірити контактну доріжку; у випадку якщо присутній сигнал та напруга живлення, а стрічка не працює, замінити її.
Смартфон «не бачить» мережу Wi-Fi пристрою.	Несправність мікроконтролера; несправність смартфона.	Використовуючи інший смартфон, перевірити, чи знаходить він мережу мікроконтролера. Якщо інший смартфон не знаходить мережу мікроконтролера, заново завантажити ПЗ на мікроконтролер та спробувати ще раз. Якщо це не вирішує проблему, замінити мікроконтролер.
Не змінюються параметри роботи пристрою.	Несправність ПЗ мікроконтролера; несправність ПЗ смартфона.	Спочатку спробувати перевстановити ПЗ на смартфоні. Якщо це не вирішило проблему, перевстановити ПЗ на мікроконтролері.

3.7 Дослідження передачі даних до адресної світлодіодної стрічки WS2812B

Дане дослідження будемо виконувати в емуляторі Wokwi. Середовище дає змогу проектувати та досліджувати роботу мікроконтролерів, для цього є велика кількість корисних інструментів.

Для дослідження передачі даних до адресної світлодіодної стрічки WS2812B необхідно зібрати схему у даному середовищі (рисунок 3.10).

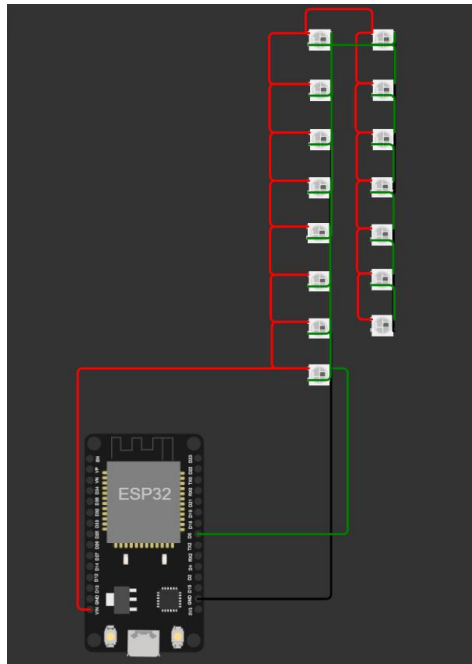


Рисунок 3.10 – Схема досліджуваного пристрою

Для симуляції було обрано мікроконтролер на базі ESP32, що майже ідентичний ESP8266, на якому побудований розроблюваний пристрій. У даному випадку це рішення повністю задовольняє наші потреби у дослідженні передачі даних до адресної світлодіодної стрічки [20].

Перейдемо до практичних досліджень. Щоб зняти показники, будемо використовувати ПЗ Saleae Logic. На рисунку 3.11 зображені пакети імпульсів, передані мікроконтролером до світлодіодів [21].



Рисунок 3.11 – Пакети імпульсів, передані до світлодіодів

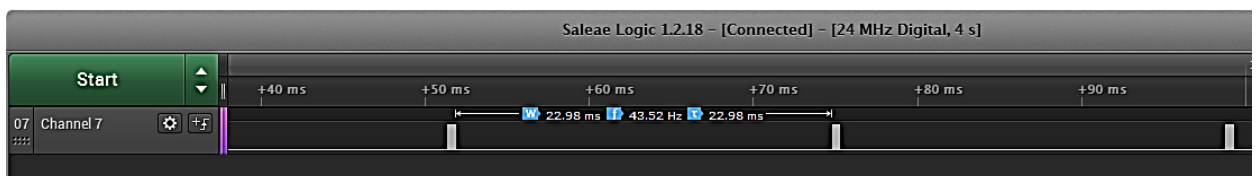


Рисунок 3.12 – Часовий проміжок між імпульсами

На рисунку 3.12 можемо бачити часові проміжки між імпульсами.

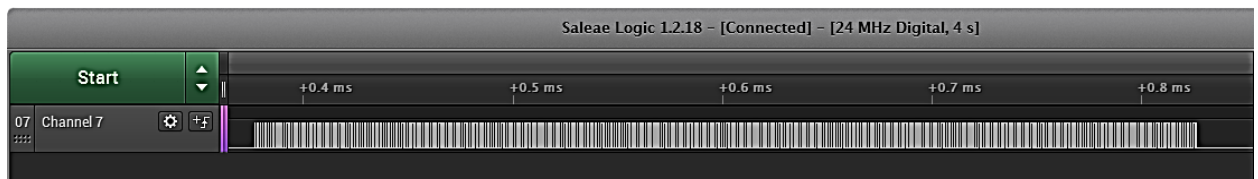


Рисунок 3.13 – Детальне зображення пакету імпульсів

Для більш детального аналізу та розшифровки скористаємось ПЗ Pulse View [22].

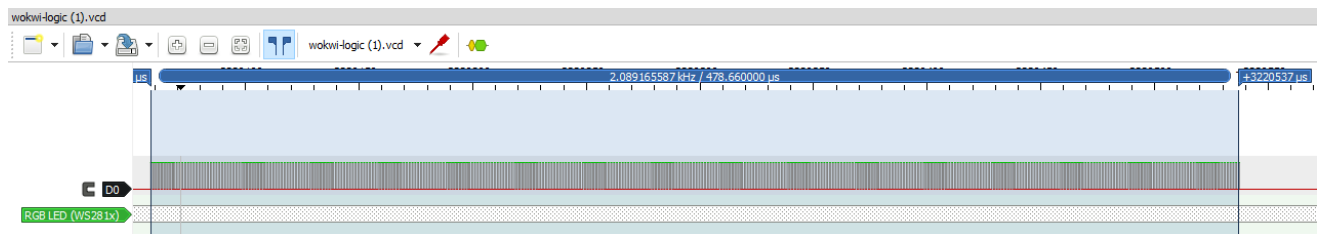


Рисунок 3.14 – Пакети імпульсів у середовищі Pulse View

З рисунку 3.14 видно, що пакет імпульсів для даної кількості світлодіодів в середньому передається за 478 мкс.

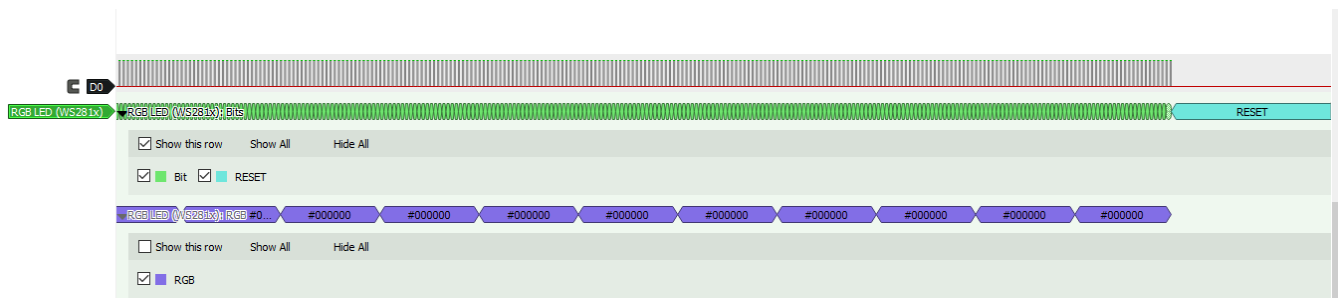


Рисунок 3.15 – Декодовані імпульси

Перейдемо до декодування. На рисунку 3.15 видно, що середовище Pulse View декодує кожен імпульс і записує їх у двійковому коді, потім групує у пари по 24 біт, і у шістнадцятковій формі записує колір для кожного світлодіоду. У даному випадку закодований чорний колір, а на рисунку 3.16 – зелений.

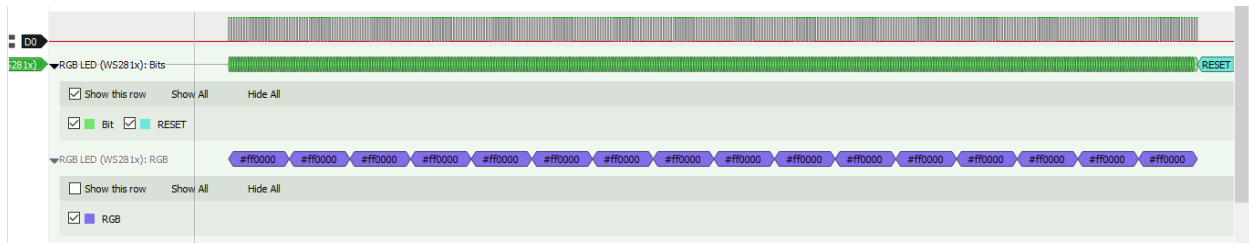


Рисунок 3.16 – Декодування імпульсів

3.8 Дослідження роботи модуля заряду на TP4056

Для дослідження роботи модуля заряду на TP4056 будемо використовувати пристрій USB Doctor. Він дає можливість побачити, який струм та при якій напрузі споживає кінцевий пристрій. Для використання пристрою його необхідно підключити послідовно зі споживачем.



Рисунок 3.17 – Дослідження споживання електроенергії: а) – при вимкненому пристрої, б) – при увімкненому пристрої

На рисунку 3.17 видно, що при зарядці пристрій споживає 0,73 А при струмі 5,15 В. Це приблизно 70% від максимально заявленої потужності модуля заряду. В такому режимі час зарядки вбудованого акумулятора на 3200 мА/г від 20% до 80% складе 1 годину 55 хвилин. На споживання струму при зарядці не впливає ввімкнений пристрій в даний момент чи ні, що видно на рисунку 4.9.

3.9 Дослідження роботи мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником

Управління роботою мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником відбувається через локальну IP адресу. При підключенні до мережі Wi-Fi мікроконтролера в адресну стрічку браузера вводимо локальну IP адресу мікроконтролера та потрапляємо у меню налаштувань пристрою (рисунок 3.18).

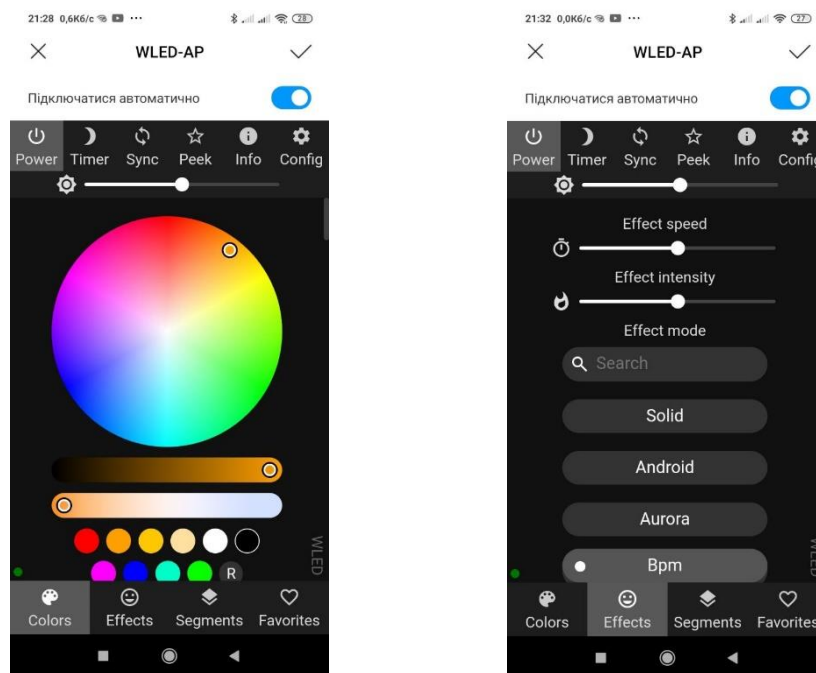


Рисунок 3.18 – Меню налаштувань мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником

У меню можна налаштовувати такі параметри як колір, яскравість, вибирати різні ефекти, є можливість встановити таймер на відключення пристрою, синхронізувати лампу з іншими пристроями, що підключені до однієї мережі Wi-Fi.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Забезпечення безпеки праці має стратегічне значення для сталого соціально-економічного розвитку держави та підвищення рівня життя громадян. Дотримання законодавчих норм у сфері охорони праці є важливим чинником зростання продуктивності праці, оптимізації витрат на медичне забезпечення працівників та формування позитивного психологічного клімату в колективах. У контексті інтеграційних процесів України до європейського простору, належна увага до питань охорони праці набуває особливої актуальності, оскільки є необхідною умовою відповідності європейським стандартам і вимогам до умов праці. Забезпечення захисту працівників від небезпечних виробничих факторів розглядається як ключовий елемент розвитку людського капіталу та забезпечення стабільного економічного зростання [23].

Під час розробки мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником на дослідника, згідно Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- Фізичні – підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; підвищена чи понижена іонізація повітря; недостатня освітленість робочої зони; підвищена яскравість світла; понижена контрастність; пряма і відбита блискість.

- Хімічні – шкідливі речовини в повітрі робочої зони.

- Психофізіологічні – статичне перевантаження та розумове перевантаження.

Відповідно до наведених факторів здійснюємо розробку заходів щодо безпечного виконання поставленого завдання.

4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

4.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця

Ефективна організація робочого місця має безпосередній вплив на продуктивність праці, забезпечуючи ергономічність та комфорт для працівників. Оптимізація використання робочого простору дозволяє мінімізувати непродуктивні витрати часу та фізичних зусиль при виконанні робочих операцій. Додатково, належна організація робочого місця сприяє зниженню ймовірності травматизму та розвитку професійних захворювань, зумовлених нефізіологічними позами або неефективними рухами. Врахування принципів раціональної організації робочого місця є невід'ємною частиною політики охорони праці та важливим фактором підвищення рівня задоволеності персоналу умовами праці. Для аналізу умов праці було обрано робоче місце на етапі розробки мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником

Роботодавець повинен забезпечити відповідність робочих місць стандартам комфорту та безпеки. Відповідно до НПАОП 0.00-7.15-18 площа одного робочого місця має бути не менше 6 м². У випадку, коли це необхідно, робочі місця співробітників, які працюють з комп'ютерами, можуть бути розділені перегородками висотою до 2 метрів. При розрахунку розміру приміщення та робочого місця на одному, також враховується наявність шаф, сейфів, тумб чи інших меблів та обладнання в кімнаті. У даному місяці площа становить 36,5 м², об'єм – 114 м³. В досліджуваному приміщенні працює 5 працівників, тому площа на одну особу становить 7,3 м², а об'єм – 22,8 м³, що відповідає встановленим вимогам щодо організації робочих місць [24].

Належна організація робочого простору співробітників є необхідною умовою для оптимізації його функціонального потенціалу та запобігання негативному впливу на стан здоров'я. Зокрема, робоче місце розробника передбачає можливість розміщення допоміжного обладнання, такого як принтер, акустична система та сканер, а також мати достатньо місця для зберігання

документації. При цьому, слід забезпечити, щоб розміщення зазначеного обладнання не обмежувало візуальний доступ до екрану та не створювало перешкод для виконання робочих завдань. Відповідно до чинних стандартів безпеки та гігієни праці, особливої уваги потребує відповідність робочого стола та стільця ергономічним вимогам для забезпечення фізіологічно оптимальної робочої позиції. Робочий стілець працівника повинен бути оснащений підйомно-поворотним механізмом з можливістю регулювання висоти, а також забезпечувати належну підтримку тіла та комфортне положення протягом робочого часу [25].

Під час виконання роботи забороняється:

- виконувати обслуговування та ремонт комп'ютера на робочому місці працівника;
- виконувати ремонт або спробувати здійснити технічне налагодження комп'ютера без залучення фахівців, які мають відповідні навички та кваліфікацію;
- проводити самостійні роботи з обслуговування комп'ютерної техніки, що може привести до можливих поломок або втрати даних.
- накопичувати зайві предмети та деталі на робочому столі, що може заважати комфортному та продуктивному виконанню завдань;
- використовувати монітори з нечітким зображенням та монітори, у яких наявні поламки екрану.

Створення комфортних умов праці та оформлення робочих місць на виробництві має велике значення для полегшення праці, підвищення його привабливості та позитивного впливу на продуктивність. Правильна робоча поза розробника передбачає наступне:

- стопи розміщуються на підлозі або на спеціальній основі для ніг. Використання підставки є обов'язковим для тих працівників, чийі ноги не досягають підлоги при положенні стільця на тій висоті, яка забезпечує оптимальну робочу позицію;

- стегна повинні бути паралельними до підлоги в горизонтальній площині;
- передпліччя має бути розміщені вертикально;
- лікті повинні бути зігнуті під кутом від 70^0 до 90^0 щодо вертикальної площини;
- зап'ястя мають знаходитися під кутом не більше 20^0 відносно горизонтальної площини;
- голову слід тримати під кутом від 15^0 до 20^0 відносно вертикальної площини.

Під час виконання роботи було встановлено чіткий розклад регулярних перерв для відпочинку, додатково до обідньої перерви. Зазвичай такі перерви тривають від 10 до 15 хвилин і надаються раз на годину або дві, залежно від характеру та складності роботи. У будь-якому випадку роботодавець забезпечує такий робочий графік, щоб тривалість безперервної роботи за комп'ютером не перевищувала 4 роки. Додатково, для підтримки загального стану здоров'я та працездатності працівників, бажано виділити спеціальні приміщення для відпочинку та релаксації, які допоможуть зняти нервово-емоційне напруження, яке можна виникати під час роботи з комп'ютером [24].

4.1.2 Електробезпека приміщення

У досліджуваному приміщенні наявна групова трипровідна мережа для живлення персональних комп'ютерів, периферійних пристроїв, і обладнання, призначеного для обслуговування, ремонту та налагодження ПК. Ця мережа складається із трьох провідників: фазового, нульового робочого та нульового захисного. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення електропристроїв.

З метою забезпечення електробезпеки необхідно неухильно дотримуватися вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ). Основними чинниками, що можуть призвести до електротравмування працівників у процесі виконання службових обов'язків, є:

- можливість контакту з металевими неструмопровідними елементами обладнання, зокрема корпусами комп'ютерів або периферійних пристроїв, які можуть опинитися під напругою внаслідок порушення цілісності ізоляції;
- експлуатація електроприладів з порушенням встановлених норм і технічних регламентів;
- відсутність належного інструктажу персоналу щодо правил електробезпеки та алгоритму дій у випадку виникнення небезпечних ситуацій, пов'язаних з електричним струмом.

При експлуатації електрообладнання необхідно здійснювати систематичний контроль стану ізоляції та надійності з'єднань, запобігаючи механічним пошкодженням і випадковому контакту металевих частин із струмопровідними елементами. Періодична діагностика та регламентне технічне обслуговування всього електротехнічного устаткування є обов'язковою умовою для превентивного запобігання потенційним аварійним ситуаціям.

Дотримання електробезпеки у приміщенні, де здійснювалася розробка мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником, важливе для запобігання ураженню електричним струмом, що досягається такими способами і заходами:

- Ізоляція струмоведучих елементів комп'ютерів та їх периферійних пристроїв, з нарахуванням запобігання можливим випадковим контактам з ними.
- Захисне заземлення для металевих неструмоведучих частин, що можуть опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції.
- Інструктаж і навчання працівників правилам безпеки при роботі з електронікою. Це включає у себе інформування про потенційні ризики та навчання, як уникати їх.
- Перевірка знань та дотримання правил безпеки, залежно від займаної посади та характеру роботи [26].

4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат виробничих приміщень має визначальний вплив на організацію робочого процесу, забезпечуючи належні умови праці та підтримання працездатності персоналу. Ключові параметри мікроклімату, включаючи температуру повітря, відносну вологість і швидкість руху повітряних мас, є критично важливими для формування оптимального робочого середовища. Відхилення від нормативних значень температури (як у бік підвищення, так і зниження), недостатня вентиляція, а також екстремальні значення вологості (висока або низька) можуть призводити до погіршення самопочуття працівників та негативно позначатися на їхній продуктивності. У зв'язку з цим, неухильне дотримання нормативних вимог щодо мікроклімату та створення оптимальних умов у виробничих приміщеннях є першочерговим завданням для забезпечення комфортної роботи та підтримки високої працездатності персоналу.

Мікроклімат виробничих приміщень нормується в залежності від категорії робіт по важкості і періоду року. Категорія виконуваних робіт під час розробки мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником – 1а, допустимі значення параметрів мікроклімату для цієї категорії наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні	21 ... 25 ° C
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	до 0,1 м / с
Теплий	Температура повітря в приміщенні	22 ... 28 ° C
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	0,1 ... 0,2 м / с

З метою забезпечення визначених параметрів мікроклімату виробничих приміщень використовується загальна система опалення та система вентиляції. Для кожної вентиляційної установки складено паспорт, який містить технічну інформацію та схему розташування установки [27].

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Повітряне середовище є критично важливим фактором для життєдіяльності людини, а його фізико-хімічні властивості мають значний вплив на здоров'я та рівень комфорту працівників. Забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату та здійснення контролю за якістю повітряного середовища є першочерговими завданнями в контексті охорони здоров'я та гарантування безпеки на робочих місцях. Допустимі рівні шкідливих речовин, як визначено в ДСН 3.3.6.042-99, які можуть міститися в досліджуваному місці, наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Оксид азоту	5	2	3
Вуглекислий газ	3	1	4
Пил нетоксичний	25	10	4
Озон	0,16	0,03	1

Під час розробки мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником із використанням ПК важливо, щоб повітря мало певний іонний склад. Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі приміщень з ПК мають відповідати санітарно-гігієнічним нормам (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи вентиляції, регулярного провітрювання, та вологого прибирання [27].

4.2.3 Виробниче освітлення

Для забезпечення комфортних умов для зорової роботи, запобігання швидкій втомі очей, попередження професійних захворювань та нещасних випадків, а також для підвищення продуктивності праці важливо, щоб виробнича освіта відповідала наступним вимогам:

- Забезпечення необхідного рівня освітленості на робочій поверхні, який відповідає характеру зорової роботи та є не нижчим встановлених норм.
- Уникнення засліплюючої дії як від самого джерела освітлення, так і від інших об'єктів, що потрапляють у поле зору.
- Збереження сталого та рівномірного рівня освіченості виробничих приміщень, щоб уникнути постійної переадаптації очей.
- Попередження виникнення глибоких і різких тіней на робочій поверхні, особливо тихих, які можуть змінюватися під час роботи.
- Забезпечення достатнього контрасту між освітленою поверхнею та робочим об'єктом для зручного розрізнення деталей.
- Забезпечення надійності та простоти обслуговування системи освітлення, а також врахування економічних та естетичних аспектів.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО при природному та сумісному освітленні (характеристика зорової роботи під час розробки мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником –

високої точності згідно з ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення») зазначені у таблиці 4.4:

Таблиця 4.4 – Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Високої точності	0,3 -0,5	III	г	великий	світлий	700	300	5	2	3	1,2

Для підвищення ефективності використання природного освітлення в приміщенні регулярно очищуються вікна від пилу та встановлені жалюзі. Щодо штучного освітлення, як джерела світла використані люмінесцентні лампи. Важливо, щоб світильники були розташовані рівномірно, із забезпеченням оптимальної освітленості на робочих поверхнях та у всьому приміщенні [28].

4.2.4 Виробничий шум

Акустичне забруднення чинить комплексний вплив на людський організм, що не обмежується подразненням слухової системи, а й поширюється на центральну нервову систему, спричиняючи різноманітні функціональні розлади. Наслідки шумового впливу на організм людини класифікуються на дві основні категорії: специфічні, що безпосередньо стосуються органів слуху, та загальні (неспецифічні), які проявляються у функціональних змінах різних органів і систем, окрім слухового аналізатора [31].

Основним джерелом шуму в приміщенні, де здійснювалася розробка мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником, є працююча офісна техніка. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні

звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних ПК, повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.037-99 (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 - Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

На робочому місці рівень шуму є нижчим за нормований. У разі появи значного рівня шуму, використовують шумоізоляційні матеріали в інтер'єрі, зокрема меблі та обробка приміщень звукоізоляційними матеріалами, що може сприяти зниженню внутрішнього відбиття звуку. Додатково, може бути корисним оптимізувати розташування робочих місць, віддаливши їх від джерел шуму або використовуючи перегородки для виділення тих зон, де шум може бути інтенсивнішим. Регулярні перерви для відпочинку та дотримання раціонального режиму праці та відпочинку також є задоцільними заходами зменшення впливу шуму на працівників.

4.2.5 Виробничі випромінювання

Комп'ютерні компоненти, що працюють на змінній напрузі та струмі, створюють змінні електричні та магнітні поля. Рівні цих полів регулюються чинними нормами України, зокрема Державними санітарними правилами та нормами, а також європейським стандартом MPR II. У разі некоректної організації робочого місця джерелами електромагнітних полів можуть бути не тільки монітор, блок живлення та мережеві кабелі, але й периферійні пристрої.

Значення напруженості електростатичного поля на робочих місцях із ПК (як у зоні екрана дисплея, так і на поверхнях обладнання, клавіатури, друкувального пристрою) мають не перевищувати гранично допустимих (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6 – Допустимі параметри електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	0,3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати	для дорослих користувачів 20кВ/м
	для дітей 15кВ/м

Для зменшення впливу ЕМП на працівника необхідно дотримуватися раціонального режиму роботи та відпочинку, встановленого нормативними вимогами.

4.3 Пожежна безпека

Дотримання правил пожежної безпеки на підприємстві є критично важливим для збереження життя та здоров'я працівників, а також для запобігання значним матеріальним збиткам. Неухильне виконання протипожежних норм мінімізує ризик виникнення пожеж та забезпечує готовність до ефективної ліквідації можливих надзвичайних ситуацій. Відповідальне ставлення до пожежної безпеки є запорукою стабільної та безпечної діяльності будь-якого підприємства.

Приміщення, де здійснюється розробка мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником, відноситься до категорії пожежної безпеки В (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7 – Категорія приміщення за вибухопожежною і пожежною небезпекою

Категорія приміщення	Характеристика речовин і матеріалів, що знаходяться (обертаються) у приміщенні
В Пожежонебезпечна	Тверді горючі та важкогорючі речовини і матеріали, за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться, не відносяться до категорій А, Б і питома пожежна навантага для твердих і рідких легкозаймистих та горючих речовин на окремих ділянках площею не менше 10 м ² кожна перевищує 180 МДж/м ² .

Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016 конструкція будівлі, де розміщено приміщення, відноситься до II-го ступеня вогнестійкості (будівля з несучою конструкцією з природних матеріалів або штучного каменю, бетону або залізобетону з застосуванням листових і плиткових негорючих матеріалів).

Згідно з правилами улаштування електроустановок, приміщення відноситься до класу II-Па пожежної небезпеки (приміщенні, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали).

Отже, приміщення в якому здійснюється розробка мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником, відноситься до В категорії пожежної безпеки має II ступінь вогнестійкості і II-Па клас пожежонебезпеки [32].

4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

До причин, що можуть спричинити пожежу в приміщенні, відносяться:

Основними факторами, що можуть призвести до виникнення пожежі в досліджуваному приміщенні, є:

- короткі замикання в електричній мережі;
- перевищення допустимого навантаження на електромережу та, як наслідок, надмірне нагрівання струмопровідних елементів і контактних з'єднань;
- необережне поводження з вогнем;
- недотримання встановлених норм і правил пожежної безпеки.

Заходи щодо запобігання пожежі:

- систематична перевірка на справність струмоведач частин обладнання;
- систематичне проведення протипожежного інструктажу;
- дотримання вимог пожежної безпеки на робочому місці.

4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

У приміщенні можливе використання системи автоматичного пожежогасіння, згідно ДБН В.2.5-56:2014. Також потрібно використовувати установку порошкового пожежогасіння, що використовує у якості вогнегасної речовини спеціальний порошок, який є нетоксичним. Для подачі сигналів про пожежу у приміщенні встановлено пожежну сигналізацію.

Після закінчення роботи від усіх електроприладів, а також з мереж їх живлення повинна бути відключена напруга (за винятком протипожежних та охоронних установок). Електропроводи для підключення комп'ютерів, приладів повинні прокладатися по негорючих конструктивних елементах [33].

Згідно норм НАПБ Б.01.008-2018 на кожні 20 м² площі приміщення вказаних категорії та класу пожежовибухонебезпеки та можливих класів пожеж – А, В і Е розміщується один порошковий або вуглекислотний вогнегасник з масою заряду від 3 до 5 кг. Крім того на поверсі, де знаходиться приміщення слід забезпечити наявність двох порошкових вогнегасників з масою заряду 10 кг [34].

Тому в приміщенні буде розташовуватися два порошкових вогнегасники, які будуть розміщуватись в різних його кінцях, на висоті не більше 1,5 м від рівня підлоги до нижнього торця вогнегасника і на відстані від дверей, достатній для їх повного відчинення. Підходи до місця розташування вогнегасників мають бути завжди вільними. Для зазначення місцезнаходження вогнегасників буде встановлений вказівний знак. Знак розташовують на видних місцях на висоті 2,0 - 2,5 м від рівня підлоги.

В цілому приміщення по категорії вибухо- і пожежонебезпечності та ступеню вогнестійкості відповідає нормам, але особливу увагу потрібно

звернути на утримання в справному стані засобів протипожежного захисту та своєчасне інформування пожежної охорони про несправність пожежної техніки, впровадження систем протипожежного захисту

ВИСНОВКИ

У даній роботі було комплексно розглянуто процес розробки мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником із застосуванням сучасних технологій, що інтегровані в концепцію Інтернету речей (IoT).

Насамперед, було проведено детальний аналіз актуальності впровадження сучасних технологій освітлення на основі інтеграції пристроїв IoT. Розглянуто проблеми енергопостачання та стабільності роботи традиційних систем освітлення, обґрунтовано економічну доцільність розроблюваного пристрою, Порівняльний аналіз із комерційними аналогами доводить, що запропоноване рішення забезпечує конкурентоспроможність за показниками вартості та функціональності.

У процесі розробки було спроектовано функціональну схему та схему електричну принципову, що відображають його логічну та апаратну архітектуру. Обрано оптимальний мікроконтролер, який завдяки високій інтеграції забезпечує роботу пристрою в мережі IoT, проведено розрахунки параметрів друкованої плати, що свідчить про ретельний підхід до забезпечення надійності конструкції. Розрахунок надійності показав високий середній час безвідмовної роботи навіть у системах з низьким середнім ризиком відмови, що є підтвердженням стабільності та передбачуваності експлуатації пристрою.

Під час розробки технологічного процесу регулювання та настройки було ретельно проаналізовано послідовність дій, необхідних для досягнення заданих характеристик пристрою. Технологічний процес налаштування розроблено у вигляді карти, що включає послідовність підготовчих, основних, заключних та завершальних етапів регулювання. Описано основні несправності, що можуть виникати під час виготовлення та експлуатації пристрою, та запропоновано ефективні методи їх усунення. Цей підхід дозволяє стандартизувати процес виготовлення, забезпечити стабільну якість роботи пристрою.

Проведено комплексне експериментальне дослідження функціонування пристрою, що охоплює перевірку всіх ключових елементів системи. Результати досліджень підтверджують відповідність мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником заявленим характеристикам. Також підтверджено функціональність пристрою завдяки тестуванню можливості віддаленого управління через веб-інтерфейс.

Особливу увагу приділено розробці комплексних заходів з охорони праці при проектуванні, тестуванні та експлуатації пристрою. Розглянуто технічні рішення з організації робочого простору, що включають забезпечення оптимального мікроклімату, належну ергономіку робочих місць, контроль за рівнем шуму, електромагнітних випромінювань та системи протипожежного захисту. Запропоновані заходи дозволяють мінімізувати вплив негативних факторів як фізичного, так і психоемоційного характеру, що сприяє збереженню здоров'я працівників і забезпеченню високої продуктивності на виробництві.

Розробка мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником відповідно до сучасних стандартів IoT демонструє успішну інтеграцію апаратних та програмних рішень для створення ефективного та економічно вигідного продукту. Проведені розрахунки, моделювання, технологічні дослідження та практичні експерименти доводять, що пристрій відповідає вимогам якості, надійності та безпеки. Отримані результати свідчать про перспективність застосування запропонованих технологій не лише в побутовому освітленні, але й у системах «розумного будинку».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Samuel Greengard. Internet of Things. Britannica. 2025. URL: <https://www.britannica.com/science/Internet-of-Things>.
2. Keith D. Foote. A Brief History of the Internet of Things. Dataversity. URL: <https://www.dataversity.net/brief-history-internet-things/>
3. IoT connections worldwide 2022-2033. Statista. URL: <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>.
4. Casper Cofod. Smart Lighting – New Features Impacting Energy Consumption. IEA. URL: https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/publications/2022/11/SSL-Annex-Task-7-Smart-Lighting-%E2%80%93-New-Features-Impacting-Energy-Consumption_second-report_final.pdf
5. What is Wi-Fi? URL: <https://www.geeksforgeeks.org/what-is-wi-fiwireless-fidelity/>.
6. Bluetooth technology overview URL: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>.
7. What Is Zigbee? URL: <https://www.digi.com/solutions/by-technology/zigbee-wireless-standard>.
8. What is LoRa Technology and How it Works URL: <https://www.mokosmart.com/lora-technology/>.
9. ESP8266 Datasheet. Espressif Systems. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
10. Tensilica. Wikipedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Tensilica>.
11. Choosing the Right Microcontroller: A Comparison of Arduino, ESP8266, ESP32, and STM32f4 series. URL: <https://techcrusading.hashnode.dev/choosing-the-right-microcontroller-a-comparison-of-arduino-esp8266-esp32-and-stm32f4-series>.

12. Use WS2812B LED Strip with Arduino. URL: <https://www.makerguides.com/how-to-control-ws2812b-individually-addressable-leds-using-arduino/>.
13. SPI інтерфейс. URL: <https://itmaster.biz.ua/directory/standarts/spi.html>.
14. WS2812B Datasheet. WORLDSEMI. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1179113/WORLDSEMI/WS2812B.html>.
15. TP4056 Datasheet. NanJing Top Power ASIC Corp. URL: <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>
16. ESPHome-Flasher. GitHub. URL: <https://github.com/esphome/esphome-flasher/releases>.
17. Saturn PCB Design Toolkit. URL: <https://saturnpcb.com/saturn-pcb-toolkit/>.
18. Васілевський О. М. Нормування показників надійності технічних засобів: навчальний посібник / О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко. – Вінниця: ВНТУ, 2010.
19. WLED (Застосунок для Android). URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.aircoookieWLED&hl=uk&gl=US>.
20. Wokwi – World's most advanced ESP32 simulator. URL: <https://wokwi.com>
21. Saleae Logic software. URL: <https://support.saleae.com/logic-software>
22. PulseView. GitHub. URL: <https://github.com/sigrokproject/pulseview>
23. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14._nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html
24. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php

25. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028
26. Правила улаштування електроустановок. URL: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>
27. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: http://hrliga.com/index.php?module=norm_base&op=view&id=819
28. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
31. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>
32. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759
33. ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=59526
34. НАПБ Б.01.008-2018 Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82176

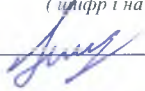
Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

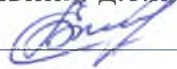
РОЗРОБКА МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО ПРИСТРОЮ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ RGB СВІТИЛЬНИКОМ

Виконав: студент 2(4)-го курсу, групи РТ-23мс
спеціальності 172 – Електронні комунікації та
радіотехніка, ОП - Радіотехніка

(цифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Налепов О.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., доц., доцент каф. ІРТС

 Воловик А.Ю.
(прізвище та ініціали)

« 11 » 06 2025 р.

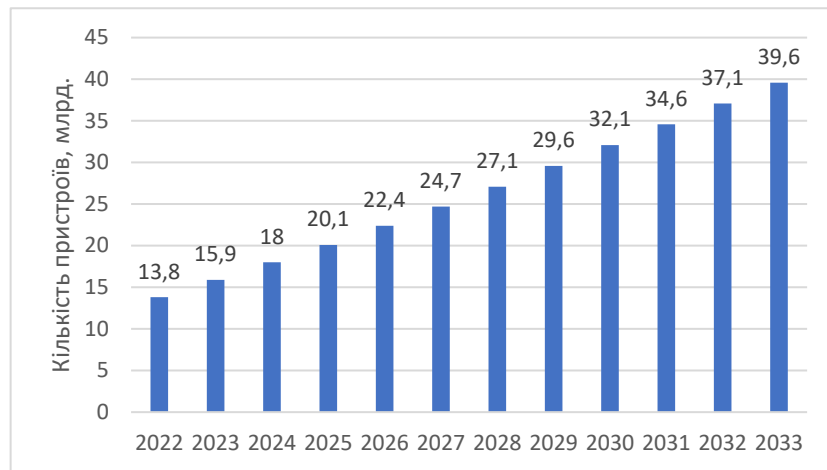


Рисунок 1 – Кількість пристроїв Інтернету речей (IoT) у світі.

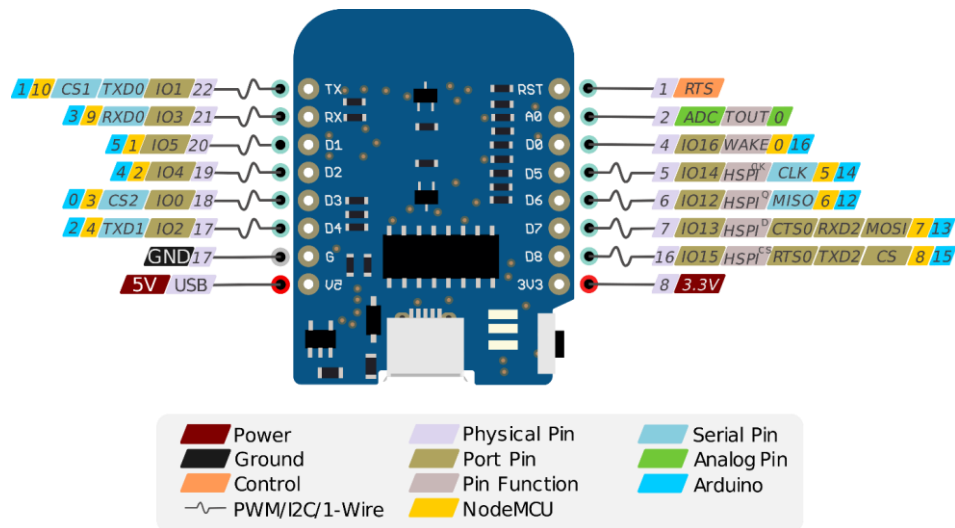


Рисунок 2 – Призначення виводів Wemos D1 Mini

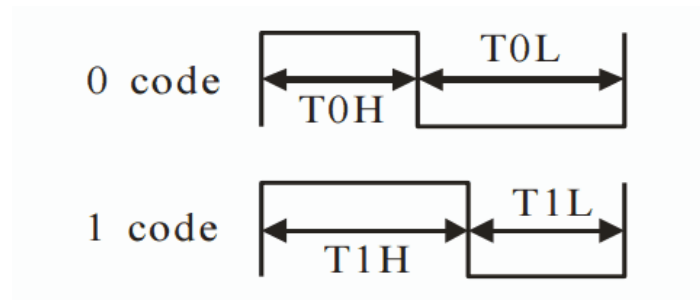


Рисунок 3 – Кодування бітової послідовності при передачі даних по адресній стрічці

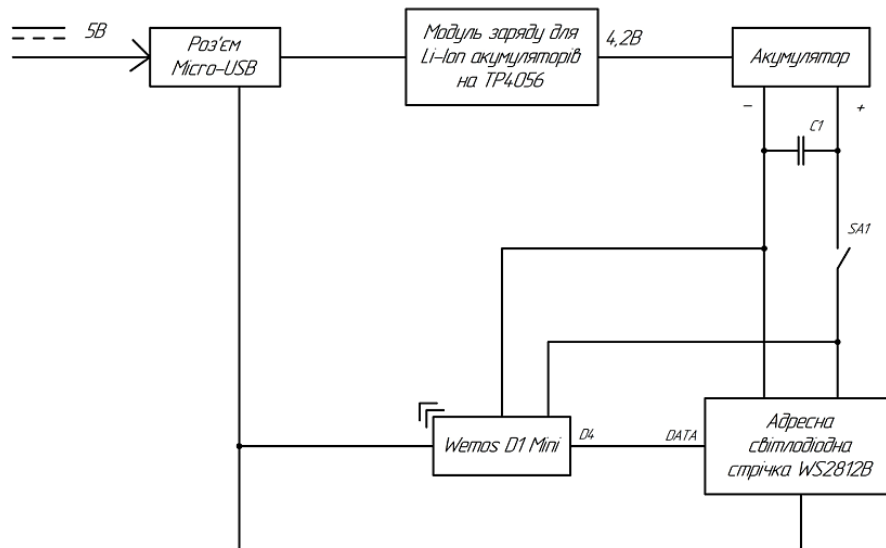


Рисунок 4 – Функціональна схема мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником

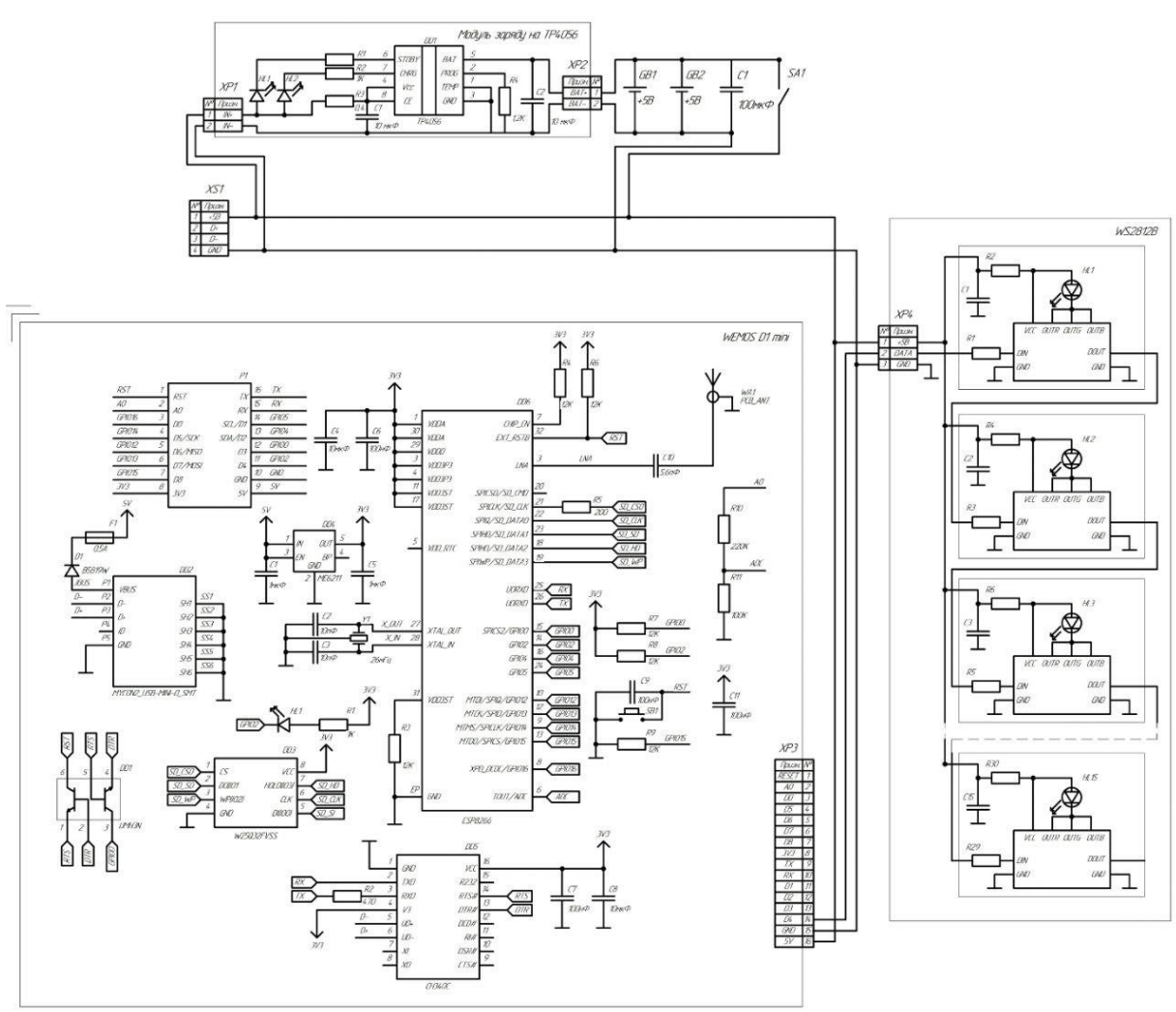


Рисунок 5 – Схема електрична принципова

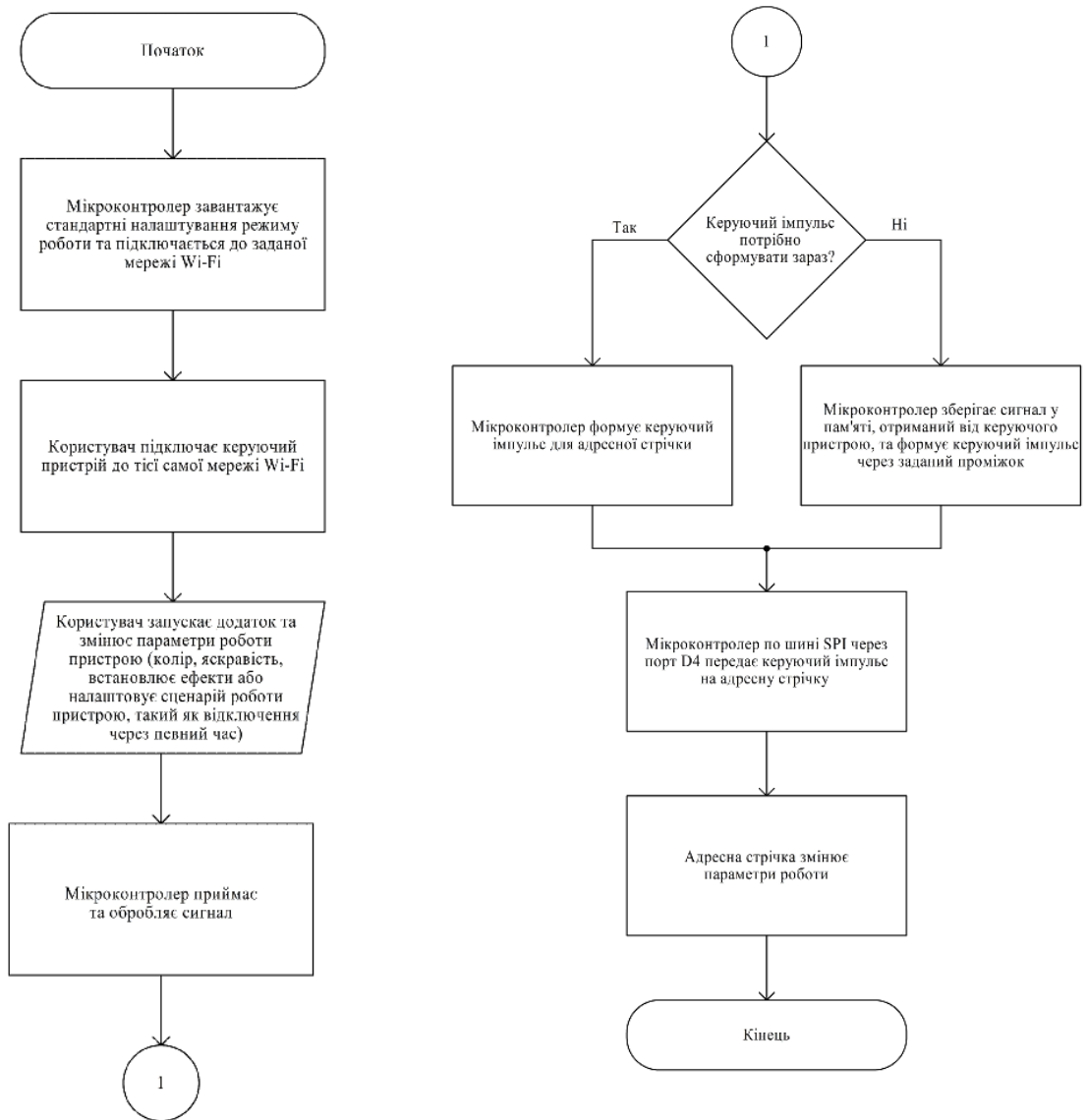


Рисунок 6 – Блок-схема процесу керування роботою пристрою

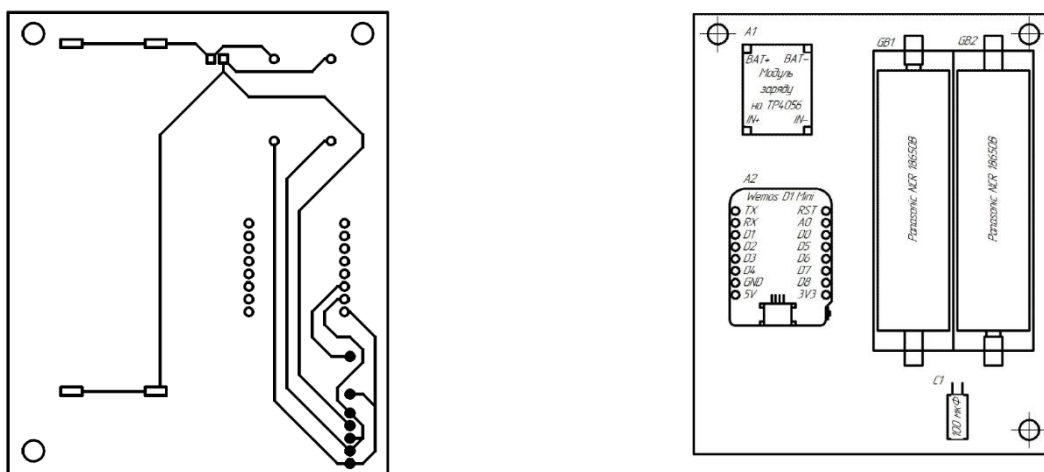


Рисунок 7 – а) Друкована плата, б) Складальний креслення

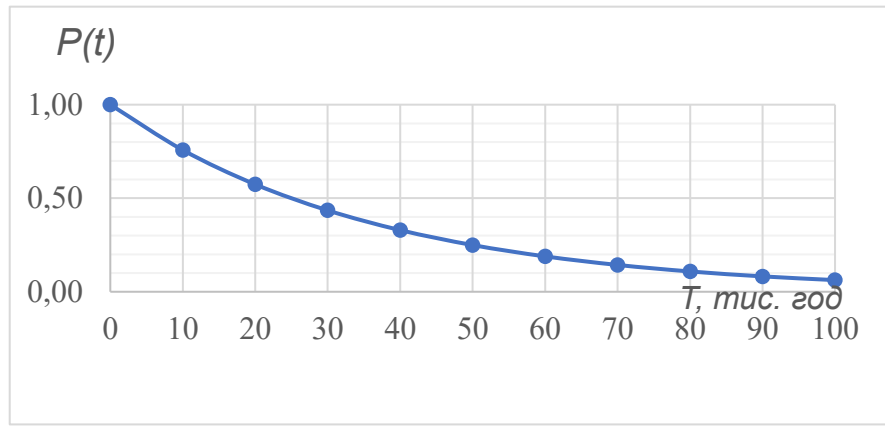


Рисунок 8 – Графік ймовірності безвідмовної роботи мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником



Рисунок 9 – Пакети імпульсів, передані до світлодіодів

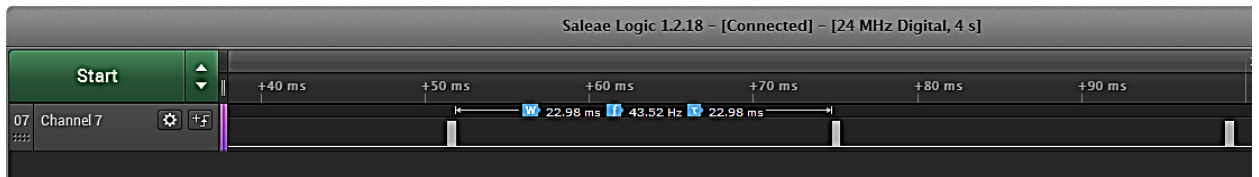


Рисунок 10 – Часовий проміжок між імпульсами

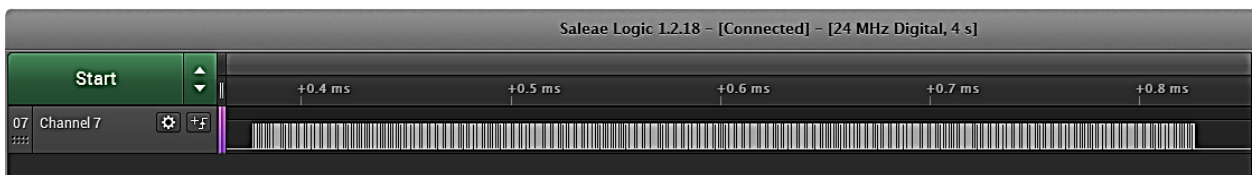


Рисунок 11 – Детальне зображення пакету імпульсів

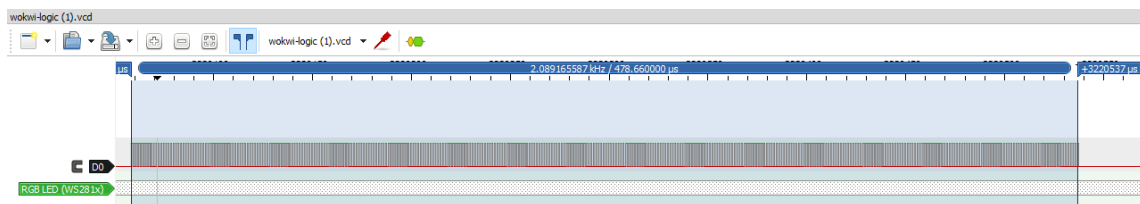


Рисунок 12 – Пакети імпульсів у середовищі Pulse View

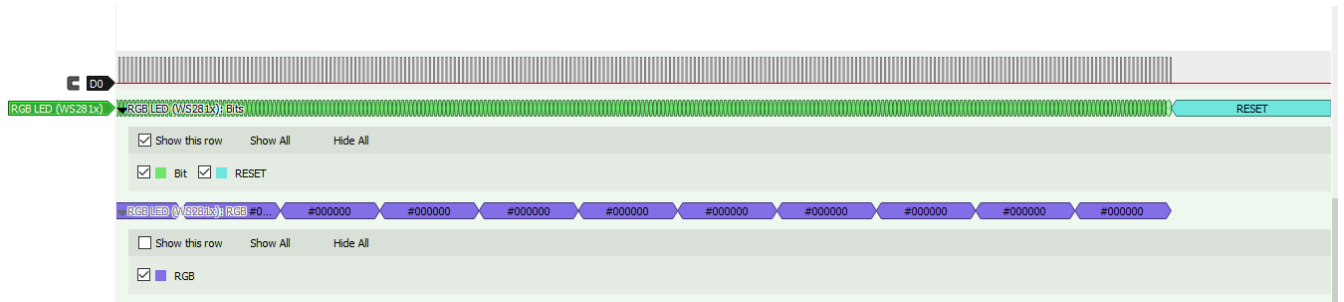


Рисунок 13 – Декодовані імпульси

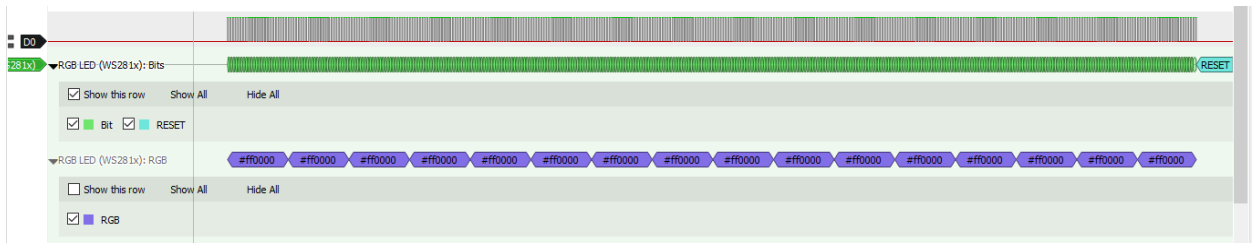


Рисунок 14 – Декодування імпульсів



Рисунок 15 – Дослідження споживання електроенергії, а) при вимкненому пристрої, б) при увімкненому

Додаток Б
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (БАКАЛАВРСЬКОЇ)
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**РОЗРОБКА МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО ПРИСТРОЮ ДИСТАНЦІЙНОГО
КЕРУВАННЯ RGB СВІТИЛЬНИКОМ**

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: **«Розробка мікроконтролерного пристрою дистанційного керування RGB світильником»**

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ Кафедра ІРТС
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі
системою StrikePlagiarism 6,98%

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Воловик А.Ю. – д.т.н., доцент каф. ІРТС
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

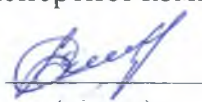
Осадчук О.В. – д.т.н., професор, зав. каф. ІРТС
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Семенов А.О.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник 
(підпис)

Воловик А.Ю. – д.т.н., доцент каф. ІРТС
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач 
(підпис)

Налепов О.В.
(прізвище, ініціали)