

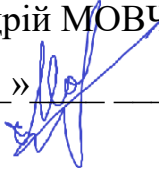
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіоелектроніки

До захисту допущено:

Зав. кафедри

Андрій МОВЧАНЮК

« »  20 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньою програмою «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки», за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
на тему: «Система дистанційного голосового керування світлом»

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи РЕ-12

Єфремов Данило Євгенійович



Керівник: Асистент Лемеха Владислав Олександрович



Рецензент: Асистент каф. РІ Ванділовський Борис Валерійович



Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент



Київ – 2025 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	PE12.464419.001.ТЗ	Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	PE12. ПЗ	Пояснювальна записка	50	
3	A4	PE12.464419. 001	Специфікація на пристрій	2	
4	A1	PE12.464419. 001E1	Схема структурна	1	
5	A1	PE12.464419.001 E3	Схема електрична принципова	2	

				PE12.464419.001		
		ПІБ	Підп.	Дата		
Розробн.	Єфремов Д.Є.				Лист	Листів
Керівн.	Лемеха В.О.				1	1
					Відомість дипломного проєкту КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф.ПРЕ ,Гр. PE-12	
Н/контр.						
Зав.каф.						

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

Андрій **МОВЧАНЮК**

« ___ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студента

-
1. Тема проєкту: «Система дистанційного голосового керування світлом»
 2. Керівник проєкту: Лемеха Владислав Олександрович, затверджені наказом по університету від «29» червня 2025 р. №1840-с
 - Строк подання студентом проєкту 10 червня 2025 року
 3. Вихідні дані до проєкту: Напруга живлення від +3.3В, струм до 0.5 А, наявність роз'єма micro-USB, можливість підключення по Bluetooth.
 4. Зміст пояснювальної записки 1. Огляд існуючих рішень, 2. Розробка та аналіз завдання на проєкт, 3. Розробка функціональної схеми та вибір компонентів, 4. Розробка схеми електричної принципової, 5. Розробка друкованої плати, 6. Розробка корпусу.
 5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Складальний кресленик плати, складальний кресленик пристрою, презентація 10 сторінок.
 6. Дата видачі завдання 14 квітня 2025 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	14.04.25-06.05.25	
2	Розробка та аналіз завдання на проєкт	07.05.25-10.05.25	
3	Розробка функціональної схеми та вибір компонентів	11.05.25-18.05.25	
4	Розробка схеми електричної принципової	19.05.25-23.05.25	
5	Розробка друкованої плати	24.05.25-29.05.25	
6	Розробка конструкторської документації	30.05.25-05.06.25	
7	Оформлення текстової та графічної документації	06.06.25-09.06.25	

Студент – Єфремов Данило Євгенійович



Керівник – Лемеха Владислав Олександрович



РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломної роботи має обсяг 54 сторінки, містить 31 рисунок та ілюстрацію, 18 найменувань у переліку посилань

У дипломній роботі розглянуто процес розробки простої системи дистанційного голосового керування світлом на основі мікроконтролера ESP32-C6FH4 з використанням Bluetooth-з'єднання. Мета роботи – створення економічного, автономного рішення для керування LED-освітленням у домашніх умовах без підключення до інтернету. Проведено аналіз сучасних систем голосового керування, розроблено електричну принципову схему, друковані плати для блоку керування та світлодіодного модуля, а також корпуси з ABS-пластику. Програмне забезпечення, написане на платформі Arduino із використанням коду на мові C++, реалізує обробку голосових команд «увімкнути» та «вимкнути» через Android-додаток «Bluetooth Voice».

Практична цінність роботи полягає в розробці доступного рішення для автоматизації освітлення, яке не потребує складного налаштування чи доступу до хмарних сервісів. Проєкт демонструє можливості використання доступних мікроконтролерних технологій і програмного коду для створення інноваційних систем розумного дому.

Ключові слова: дистанційне керування, голосове керування, ESP32, Bluetooth, LED-освітлення.

АНОТАЦІЯ

У дипломному проєкті розроблено систему дистанційного голосового керування освітленням на базі мікроконтролера ESP32 з використанням Bluetooth-з'єднання. Мета роботи – створення економічного, автономного рішення для керування LED-освітленням у домашніх умовах без підключення до інтернету. Проведено аналіз сучасних систем голосового керування, розроблено електричну принципову схему, друковані плати для блоку керування та світлодіодного модуля, а також корпуси з ABS-пластику методом 3D-друку. Система забезпечує обробку голосових команд "увімкнути" та "вимкнути" через Android-додаток "Bluetooth Voice", демонструючи стабільну роботу в радіусі 10 метрів за температури 0–40°C і вологості до 80%. Результати підтверджують надійність, безпеку та економічність системи, яка є перспективною для використання в розумних будинках, особливо для осіб з обмеженими можливостями. Обмеження включають дальність Bluetooth та залежність від Android. У майбутньому планується інтеграція Wi-Fi та розширення функціоналу.

ANNOTATION

In this diploma project, a remote voice-controlled lighting system was developed based on the ESP32 microcontroller using Bluetooth connectivity. The goal of the work was to create a cost-effective, autonomous solution for controlling LED lighting in home environments without requiring an Internet connection. An analysis of existing voice control systems was conducted, and an electrical schematic, printed circuit boards for the control unit and LED module, as well as enclosures made of ABS plastic using 3D printing, were designed. The system processes the voice commands "turn on" and "turn off" via the Android application "Bluetooth Voice", demonstrating stable operation within a 10-meter range at temperatures from 0°C to 40°C and humidity up to 80%. The results confirm the reliability, safety, and cost-efficiency of the system, making it a promising solution for smart home applications, especially for people with limited mobility. Limitations include the range of Bluetooth and dependency on Android. Future improvements may include Wi-Fi integration and extended functionality.

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Система дистанційного голосового керування світлом»

Київ – 2025 року

Зміст

Вступ	10
Розділ 1. Огляд існуючих рішень	11
Розділ 2. Розробка та аналіз завдання на проект	16
Розділ 3. Розробка функціональної схеми та вибір компонентів	19
Розділ 4. Розробка схеми електричної принципової	28
Розділ 5. Розробка друкованої плати	34
Розділ 6. Розробка корпусу	42
Висновки	48
Перелік джерел	50
Додаток А	52
Додаток Б	53

					<i>PE12.464419.001 ПЗ</i>	Лис
						9
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Вступ

У сучасному світі технології розумного дому стають дедалі популярнішими, сприяючи підвищенню комфорту, зручності та енергоефективності в побуті. Одним із перспективних напрямків є розробка систем дистанційного керування пристроями, зокрема освітленням, за допомогою голосових команд. Такий підхід дозволяє користувачам управляти світлом без фізичного контакту з вимикачами, що є особливо цінним для людей з обмеженими можливостями або в умовах багатозадачності. Актуальність даної роботи обумовлена зростаючим попитом на прості, економічні та автономні рішення для розумного дому, які не потребують складного обладнання чи підключення до хмарних сервісів.

Метою дипломного проекту є розробка системи дистанційного голосового керування світлом, яка забезпечує зручне вмикання та вимикання світлодіодного освітлення за допомогою голосових команд. Система базується на мікроконтролері ESP32, який забезпечує Bluetooth-з'єднання з Android-додатком "Bluetooth Voice" для обробки команд "on" і "off". Проект спрямований на створення бюджетного рішення для домашнього використання, що відрізняється простотою реалізації та доступністю компонентів.

У роботі розглянуто аналіз ринку існуючих систем керування освітленням, зокрема на основі розумних колонок і голосових асистентів, що дозволило визначити недоліки комерційних рішень, таких як висока вартість і залежність від Інтернету. На основі цього проведено розробку електричної принципової схеми, друкованої плати для основного блоку та окремого світлодіодного модуля. Процес розробки включав вибір компонентів, проектування топології, трасування доріжок та тестування готових плат у реальних умовах.

Результати роботи мають практичне значення, оскільки пропонується система є автономною, не потребує складного налаштування та може бути адаптована для використання в різних домашніх сценаріях. Цей проект демонструє можливість використання доступних технологій для створення інноваційних рішень у сфері розумного дому, сприяючи розвитку доступних і зручних систем автоматизації.

					<i>PE12.464419.001 ПЗ</i>	Лис
						10
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. Огляд існуючих рішень

1.1 Загальні положення

Перед розробкою системи дистанційного голосового керування освітленням доцільно провести аналіз уже наявних технічних рішень. Це дозволяє не лише виявити поточний стан технологій у даній сфері, але й оцінити доцільність створення нової системи, вказати на її потенційні переваги, а також врахувати недоліки існуючих підходів для їхнього подальшого усунення.

Системи голосового керування освітленням можна умовно розділити на такі категорії:

- Комерційні пристрої, інтегровані в екосистеми розумного дому.
- DIY-рішення з використанням мікроконтролерів.
- Системи без мікроконтролерів, які працюють на базі комп'ютера або смартфона.

Нижче наведено приклади представників кожної з категорій.

1.2 Amazon Echo з Alexa + Philips Hue



Рисунок 1.1 - Amazon Echo з Alexa + Philips Hue

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.464419.001 ПЗ

Лис
11

Опис:

Amazon Echo (Рис. 1.1) — це лінійка смарт-колонок із вбудованим голосовим асистентом Alexa. У поєднанні з системою розумного освітлення Philips Hue, користувач може вмикати, вимикати або змінювати яскравість і колір освітлення за допомогою голосових команд. [16] [18]

Технічні характеристики:

- Робота через хмарну платформу Amazon.
- Голосові команди англійською, німецькою, французькою та іншими мовами.
- Інтеграція з мобільними додатками та іншими смарт-пристроями.

Переваги:

- Надійність та стабільність роботи.
- Велика кількість функцій і гнучкість налаштувань.
- Підтримка сценаріїв автоматизації («розумні сцени»).

Недоліки:

- Висока вартість (від 100 доларів за комплект).
- Потреба у постійному доступі до інтернету.
- Відсутність офіційної підтримки української мови.
- Залежність від серверів Amazon — обмеження конфіденційності.

					<i>PE12.464419.001 ПЗ</i>	Лис
						12
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1.3 Google Nest Mini + Xiaomi Yeelight



Рисунок 1.2 – Google Nest Mini + Xiaomi Yeelight

Опис:

Google Nest Mini (Рис. 1.2) — компактний пристрій, який працює з голосовим асистентом Google Assistant. У парі з розумною лампою Xiaomi Yeelight, що підтримує Wi-Fi, система дозволяє керувати світлом за допомогою голосу. [5]

Характеристики:

- Працює через Google Home.
- Можливість керування кількома пристроями одночасно.
- Часткова підтримка української мови (з 2022 року).

Переваги:

- Простота інтеграції.
- Низька вартість (Google Nest Mini коштує в середньому 40–50 доларів).
- Підтримка широкого спектра мов.

Недоліки:

- Робота через хмару — необхідне стабільне інтернет-з'єднання.
- Залежність від Google-акаунта.
- Не всі функції доступні без додаткових налаштувань.

					PE12.464419.001 ПЗ	Лис
						13
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Raspberry Pi + PocketSphinx (офлайн-розпізнавання)

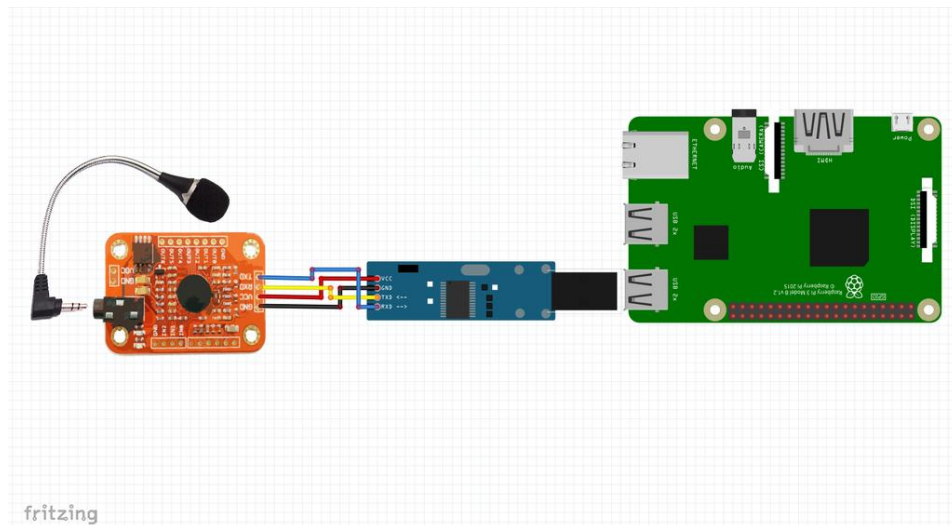


Рисунок 1.3 – Raspberry Pi + PocketSphinx

Опис:

Це DIY-рішення передбачає використання одноплатного комп'ютера Raspberry Pi разом із системою офлайн-розпізнавання голосу PocketSphinx (Рис. 1.3), яка дозволяє розпізнавати прості голосові команди без підключення до інтернету. Raspberry Pi у цьому випадку також безпосередньо керує реле, яке вмикає або вимикає світло. [13]

Технічні особливості:

- Працює без хмар та інтернету.
- Можна використовувати українські команди після навчання системи.
- Реалізація потребує програмування на Python.

Переваги:

- Повна автономність.
- Гнучкість у налаштуванні.
- Відкритий код — можливість адаптації під потреби користувача.

Недоліки:

- Низька точність розпізнавання порівняно з сучасними нейромережевими моделями.
- Високі вимоги до якості звуку.
- Складність інтеграції для користувачів без досвіду.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.464419.001 ПЗ

Лис

14

1.5 Персональний комп'ютер + Vosk + Wi-Fi-лампа (без мікроконтролера)

Опис:

Цей підхід не потребує мікроконтролерів. На звичайному персональному комп'ютері або ноутбучі встановлюється офлайн-система розпізнавання мови Vosk, яка здатна працювати з багатьма мовами, включаючи українську. Після розпізнавання фраз система надсилає HTTP-запити безпосередньо до Wi-Fi-лампи (наприклад, TP-Link Tapo, Yeelight, Philips Wiz), керуючи її вмиканням/вимиканням через локальну мережу. [11]

Переваги:

- Не потребує інтернету.
- Висока точність розпізнавання.
- Можливість розширення функціоналу (наприклад, додавання сценаріїв).
- Доступна реалізація через Python-скрипти.

Недоліки:

- Необхідність постійно працюючої програми.
- Залежність від локальної мережі.
- Потреба в базових навичках програмування.

Отже, хоча комерційні системи (Alexa, Google Home) забезпечують високу якість та зручність, вони є залежними від інтернету, не завжди підтримують локальні мови (зокрема українську), а також мають високу вартість. А автономні рішення, є перспективними для реалізації в умовах обмеженого бюджету, освітніх цілей або для локалізованого використання.

Висновок

Аналіз існуючих рішень показав, що комерційні системи, такі як Amazon Echo з Philips Hue та Google Nest Mini з Xiaomi Yeelight, пропонують зручність і багатофункціональність, але їх висока вартість і залежність від Інтернету обмежують доступність. DIY-рішення, наприклад, на базі Raspberry Pi, забезпечують автономність і гнучкість, але потребують технічних навичок і можуть мати нижчу точність розпізнавання. На основі цього аналізу визначено, що нова система має бути автономною, економічною та простою у використанні, використовуючи Bluetooth і мінімальний набір компонентів для вирішення проблеми доступності та локалізації, зокрема підтримки української мови в майбутньому.

					PE12.464419.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		15

Розділ 2. Розробка та аналіз завдання на проект

2.1 Мета проекту

Метою проекту є створення системи дистанційного голосового керування світлом, яка забезпечує зручне та інтуїтивно зрозуміле керування освітленням у домашньому середовищі за допомогою голосових команд. Система спрямована на спрощення взаємодії користувача з освітлювальними приладами, дозволяючи вмикати та вимикати світло без необхідності фізичного доступу до вимикачів.

2.2 Аналіз завдання

Для реалізації проекту було проведено аналіз завдання, який включав вивчення сучасних рішень для голосового керування освітленням. Було досліджено ринкові пропозиції, зокрема системи на основі розумних колонок (наприклад, Amazon Echo, Google Home) та голосових асистентів. Аналіз показав, що більшість таких рішень потребують складного обладнання, стабільного підключення до Інтернету та мають високу вартість. У зв'язку з цим виникла потреба у розробці простої, економічної та автономної системи, яка може працювати в домашніх умовах без складних налаштувань.

Основною проблемою, яка вирішувалася в рамках проекту, була необхідність створення доступного рішення для голосового керування світлом з мінімальними витратами. Розглядалися альтернативні методи керування, такі як мобільні додатки чи фізичні пульти, однак голосове керування було обрано через його зручність та інноваційність. Обмеженнями проекту були використання простого апаратного забезпечення та залежність від мобільного додатку для обробки голосових команд.

2.3 Технічні вимоги

Система базується на мікроконтролері ESP32, який живиться від блоку живлення. Для освітлення використовується світлодіодний модуль, що забезпечує енергоефективність та простоту інтеграції. Керування здійснюється через Bluetooth-з'єднання, що дозволяє уникнути залежності від Wi-Fi та забезпечує локальну взаємодію між пристроями. Для розпізнавання голосових команд використовується Android-додаток "Bluetooth Voice", який обробляє голосовий вхід користувача та передає команди на мікроконтролер. [13]

					PE12.464419.001 ПЗ	Лис
						16
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Функціональні вимоги

Система підтримує базові голосові команди: "on" для вмикання світла та "off" для його вимикання. Ці команди забезпечують основну функціональність, необхідну для керування освітленням у домашніх умовах. Додаток "Bluetooth Voice" дозволяє обробляти голосові команди англійською мовою, що є достатнім для цільової аудиторії. Система розроблена для роботи в умовах із низьким рівнем шуму, що типово для домашнього середовища.

2.5 Умови експлуатації та середовище

Система призначена для використання в домашніх умовах із типовими параметрами середовища. Рекомендований діапазон робочих температур становить від 0°C до 40°C, що відповідає стандартним умовам у житлових приміщеннях. Вологість повітря не повинна перевищувати 80% без конденсації, хоча для підвищення стійкості до вологи корпусам додано базовий захист (IP40 для основного блоку, IP54 для світлодіодного модуля з акриловим куполом). Пристрій розрахований на роботу з джерелом живлення 220 В через роз'єми Phoenix Contact 1006974, із максимальним струмом до 2 А, що забезпечує стабільність роботи світлодіодів і мікроконтролера.

Експлуатація системи можлива в приміщеннях із природною вентиляцією, де відсутні сильні електромагнітні перешкоди, наприклад, поблизу побутових приладів із високою потужністю. Радіус дії Bluetooth становить до 10 метрів у межах прямої видимості, що підходить для типових квартир чи невеликих офісів. Для зовнішнього використання система потребує додаткового захисту від опадів і екстремальних температур (під -10°C або вище 50°C), що може бути реалізоване в майбутніх версіях.

2.6 Надійність приладу

Надійність системи забезпечується продуманим дизайном і вибором компонентів. Мікроконтролер ESP32 має високу стійкість до перешкод і працює стабільно при температурах до 70°C, що перевищує робочі умови. Оптопара М0С3063 ізолює силову частину, захищаючи ESP32 від стрибків напруги, а стабілізатор AMS1117 гарантує постійну напругу 3,3 В із допустимим відхиленням $\pm 5\%$. Світлодіоди HL1–HL7, підключені через резистор R1 (100 Ом), розраховані на струм 20 мА і мають термін служби до 50 000 годин при температурі до 60°C. [7]

					PE12.464419.001 ПЗ	Лис
						17
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Корпуси з ABS-пластику та акриловим куполом захищають плати від пилу і механічних пошкоджень, а вентиляційні отвори та гумові ущільнювачі запобігають перегріванню. Для тривалого використання рекомендується уникати експлуатації в умовах високої вологості без додаткових герметизуючих заходів.

Таким чином, аналіз завдання визначив ключові вимоги до системи: автономність, доступність і надійність. Розробка враховує умови експлуатації в типових домашніх середовищах, забезпечуючи стабільну роботу при температурі від 0°C до 40°C і вологості до 80%. Надійність приладу підтверджена вибором якісних компонентів і продуманим дизайном, що робить систему придатною для практичного застосування з можливістю подальшого вдосконалення.

2.7 Цільова аудиторія

Цільовою аудиторією системи є звичайні користувачі, які бажають спростити керування освітленням у своїх домівках. Проект орієнтований на тих, хто шукає економічне та просте у реалізації рішення, яке не вимагає складного налаштування чи дорогого обладнання.

2.8 Особливості реалізації

Проект розроблено як бюджетне рішення для домашнього використання. Використання мікроконтролера ESP32 та світлодіодного модуля забезпечує низьку собівартість системи. Bluetooth-з'єднання дозволяє уникнути витрат на Wi-Fi-модулі чи хмарні сервіси, а додаток "Bluetooth Voice" є готовим рішенням, що спрощує розробку. Основною перевагою системи є її простота та доступність, що робить її привабливою для користувачів, які не мають глибоких технічних знань.

2.9 Висновок

Аналіз завдання та розробка системи підтвердили її відповідність меті: створення зручного, автономного та економічного рішення для голосового керування світлом. Врахування умов експлуатації та надійності забезпечує стабільну роботу в домашніх умовах, а простота реалізації робить систему доступною для широкої аудиторії. Проект закладає основу для подальшого вдосконалення, зокрема розширення функціональності чи підвищення стійкості до зовнішніх факторів.

					PE12.464419.001 ПЗ	Лис
						18
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 3. Розробка функціональної схеми та вибір компонентів

Перед проектуванням плати розробимо структурну схему (Рис. 3.1) для первинного аналізу проекту

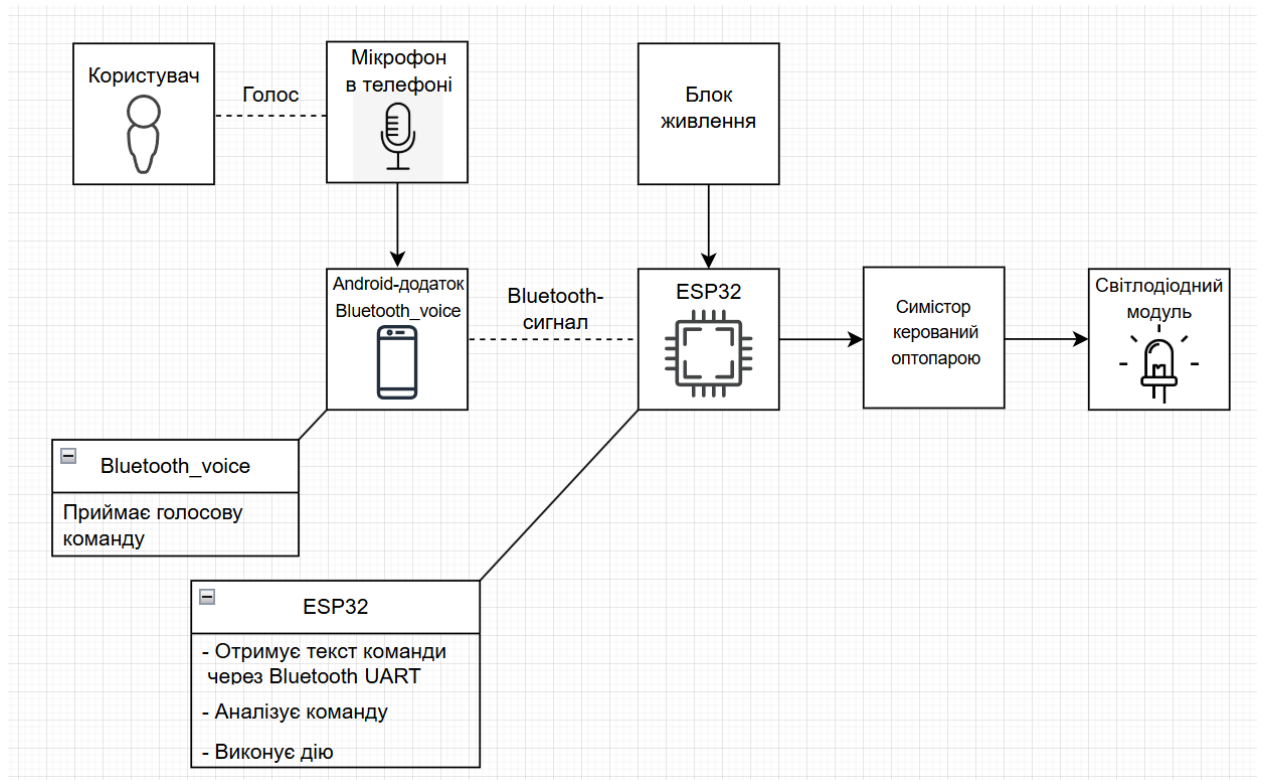


Рисунок 3.1 - Структурна схема

Основою проекту є мікроконтролер, схема основана на базі чіпу ESP32-S6FN4, приймає по Bluetooth команду яку говорить користувач у телефон з мікрофоном та програмою Bluetooth_voice, яка приймає голосову команду задану користувачем, обробляє голос та передає команду (вмикнути або вимкнути світло) по Bluetooth на мікроконтролер який після отриманої команди (вмикнути або вимкнути світло) передає сигнал через транзисторний ключ на світлодіодний модуль, таким чином на основі структурної схеми можна зрозуміти принцип роботи схеми та приступити для вибору компонентів та розробки принципової схеми. [18]

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.464419.001 ПЗ

3.1 Аналіз компонентів ESP32-C6H4

Першим у списку буде ESP32-C6FH4 (Рис. 3.2) з такими характеристиками, мікроконтролер розроблений компанією Espressif, має на борту Wi-Fi 6 (2,4 ГГц, 802.11ax), Bluetooth 5 (LE) та протоколом 802.15.4 (для Zigbee, Thread). Має процесор RISC-V до 160 МГц, 512 КБ SRAM, підтримує зовнішню флеш-пам'ять і до 22 GPIO. [7]

Цей мікроконтролер був обраний через переваги над іншими, бо він надає можливість передавати безпроводною передовою функцією данні, наявність Wi-Fi 6 забезпечує високу пропускну здатність, та низьке енергоспоживання завдяки Bluetooth 5. RISC-V робить його економічним і відкритим, що ідеально для IoT. Порівняно з ESP32-S3 чи STM32, має краще поєднання функцій для IoT.



Рисунок 3.2 - ESP32-C6FH4

USB-UART перетворювач FT231XS-U:

У цього перетворювача швидкість прийому та передачі сягає 3 Мбіт/с, робоча напруга 1,8–3,3 В, та має сумісність з USB 2.0. він є надійним рішенням через сумісність з середовищами розробки як Arduino-IDE, та з ESP-IDF, в проекті він відіграє ключову роль для програмування та відлагодження мікроконтролера, в порівнянні з CP2102 (Рис 3.3) перетворювач FT231XS-U (Рис 3.4, 3.5) більш стабільний та має нижче енергоспоживання. [9]

					PE12.464419.001 ПЗ	Лис
						20
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.3 USB-UART перетворювач на чіпі CP2102



Рисунок 3.4 USB-UART перетворювач на чіпі FT231XS-U

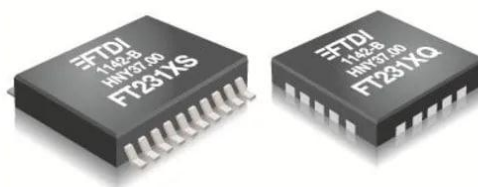


Рисунок 3.5 Чіп FT231XS-U

					PE12.464419.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		21

Антенa NN02-201

На рис 3.6 зображено компактний чіп-антенний модуль із багаточастотним діапазоном, призначений для використання в субгерцовому та вищому частотному спектрі зв'язку, включаючи діапазони від 824 МГц до 7,125 ГГц. Завдяки широкому покриттю частот (2G, 3G, 4G, 5G, Wi-Fi 6E) ця антена забезпечує гнучкість для IoT-застосувань, де важлива стійкість сигналу в складних умовах. Низькочастотні діапазони пропонують кращу проникність через стіни та перешкоди порівняно з 2,4 ГГц, хоча вищі частоти додають компактність і підтримку сучасних стандартів. Антени на 2,4 ГГц, хоч і менші за розміром, поступаються за дальністю в густонаселених приміщеннях. Використання зовнішніх модулів, таких як LoRa, ускладнює інтеграцію, тоді як nn02-201 обрано за її компактність, простоту монтажу та ефективність у багатосмуговому режимі для IoT-пристроїв. [4]



Рисунок 3.6 Антенa NN02-201

Micro-USB роз'єм ZX62-AB-5PA:

Стандартний Micro-USB роз'єм з підтримкою USB 2.0, на плату монтується як СМД пропускає струм до 1 А та напругу до 5 В, Micro-USB універсальний роз'єм підходить як для живлення так і для передачі даних, у схемі він виконує разом з чіпом FT231XS-U роль як USB-UART перетворювач для відлагодження мікроконтролера, і сумісний з більшістю комп'ютерів і зарядних пристроїв. В порівнянні з альтернативним USB-C, Micro-USB застарілий але за стільки років у проектах він став як стандартний інтерфейс ZX62-AB-5PA (Рис 3.7, 3.8) обрано за доступність і сумісність. [9]

					PE12.464419.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		22

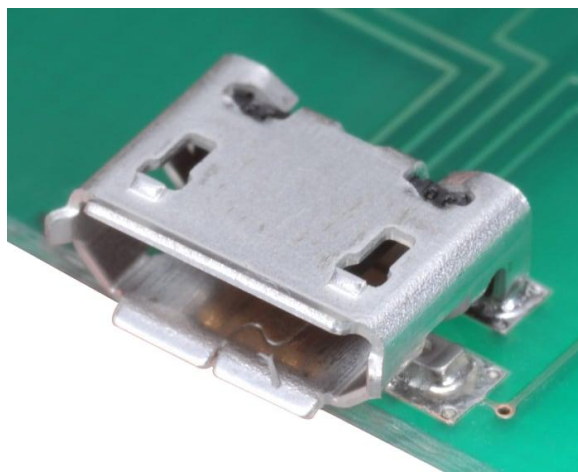
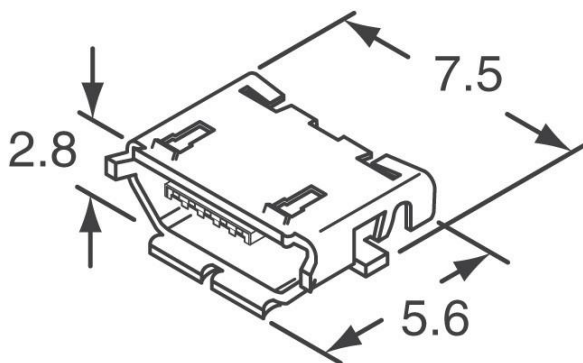


Рисунок 3.7 Розміри Micro-USB роз'єму Рисунок 3.8 Micro-USB роз'єм на платі

Лінійний стабілізатор напруги AMS1117

Забезпечує струм до 1 А при падінні напруги 1,3 В. Виконаний у корпусі SOT-223, вихідна напруга складає 3,3 В. Цей стабілізатор забезпечує надійні 3,3 В від 5 В (наприклад, через USB) і оснащений захистом від перевантаження та перегріву. Його простота та низька ціна роблять його кращим вибором порівняно з LM2596 (Рис 3.9), оскільки він не потребує індуктивностей. LM317 вимагає більше зовнішніх компонентів, тоді як LM7805 (Рис 3.11) менш ефективний для отримання 3,3 В. Саме тому було обрано AMS1117 (Рис 3.10) — через його простоту й надійність. [9]



Рисунок 3.9 Знижувальний, регульований DC-DC перетворювач 3А на базі LM2596

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.464419.001 ПЗ

Лис
23



Рисунок 3.10 AMS1117 3.3В 1А

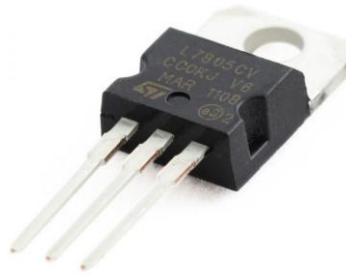


Рисунок 3.11 Стабілізатор напруги LM7805 TO-220

Оптрон 6-контактна оптопара

Ізоляційна напруга — 5000 В RMS, струм спрацювання — 5 мА, вихідний струм — до 1 А. Виконано в корпусі DIP-6. дозволяє безпечно керувати змінними навантаженнями (наприклад, двигунами або лампами) завдяки оптичній ізоляції. Наявність функції нульового переходу допомагає зменшити електромагнітні перешкоди, що особливо важливо для IoT. Це стандартне і доступне рішення для подібних застосувань. Хоча МОС3021 (Рис 3.14) має подібні характеристики, МОС3063 (Рис 3.12) часто вибирають через його кращу доступність. МОС3041 (Рис 3.13) не має функції нульового переходу, тому менш підходить для зниження електромагнітних перешкод. TLP363J від Toshiba (Рис 3.15) коштує дорожче. З огляду на баланс ціни та функціональності, обрано МОС3063.



Рисунок 3.12 Оптрон МОС3063



Рисунок 3.13 Оптрон МОС3041

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.464419.001 ПЗ



Рисунок 3.14 Оптрон MOC3021

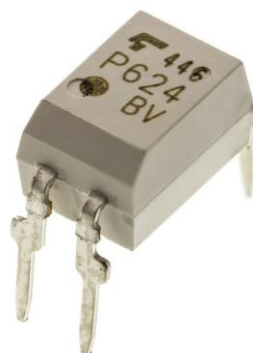


Рисунок 3.15 Оптрон TLP363J

3.2 Вибір трансформатора

Для живлення системи розроблено трансформатор, який перетворює мережеву напругу 220 В змінного струму (AC) на стабільну напругу 5 В постійного струму (DC), необхідну для роботи ESP32, стабілізатора AMS1117 та світлодіодного модуля. Трансформатор є ключовим елементом блоку живлення, що забезпечує безпечне та ефективне зниження напруги.

Технічні характеристики та розрахунки

1. Вихідна напруга: 3,3 В DC після випрямлення та стабілізації. Для врахування втрат у діодах мостового випрямляча та стабілізаторі вихідна напруга трансформатора до випрямлення має бути вищою. Типово для однофазного випрямлення з фільтрацією конденсатором вихідна напруга трансформатора становить приблизно $1,4 \times$ бажана DC-напруга, тобто 4,6–5 В. Тому вибрано трансформатор із номінальною вихідною напругою 5 В AC.

2. Вихідний струм: Припустимо, що загальне споживання системи (ESP32, AMS1117, світлодіоди) становить до 500 мА (0,5 А) при максимальному навантаженні (7 світлодіодів по 20 мА кожен + власне споживання ESP32 ~200 мА). З урахуванням втрат на 20–30%, трансформатор розрахований на струм 0,7 А.

3. Потужність: Потужність трансформатора визначається як $P = U \times I = 5 \text{ В} \times 0,7 \text{ А} = 3,5 \text{ Вт}$. Для запасу міцності вибрано трансформатор із потужністю 5 Вт.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.464419.001 ПЗ

Лис
25

Розрахунок кількості витків

Кількість витків первинної та вторинної обмоток розраховується за законом електромагнітної індукції для трансформатора:

Формула: $(N1/N2 = V1/V2)$, де $(N1)$ — кількість витків первинної обмотки, $(N2)$ — вторинної, $(V1)$ — вхідна напруга (220 В), $(V2)$ — вихідна напруга (5 В).

Співвідношення: $(N1 / N2 = 220 / 5 = 44)$. Отже, на кожні 44 витки первинної обмотки припадає 1 виток вторинної.

Типовий сердечник трансформатора — ферритове кільце або Е-подібний сердечник із перетином 1–2 см² (наприклад, ЕІ-28). Довжина магнітного потоку залежить від матеріалу сердечника. Для ферриту з магнітною проникністю $\mu \approx 2000$ і частотою 50 Гц магнітна індукція не повинна перевищувати 1 Тл для уникнення насичення. [8]

За формулою:

$(B = V1 / (4,44 \times f \times S \times N1))$
де $(f = 50 \text{ Гц})$, (S) — площа перетину сердечника,

припустимо $(S = 2 \text{ см}^2 = 2 \times 10^{-4} \text{ м}^2)$:

$$1 = 220 / (4,44 \times 50 \times 2 \times 10^{-4} \times N1),$$

$$N1 = 220 / (0,0444 \times 0,0002) = 24870 \text{ , витків.}$$

Для вторинної обмотки:

$$N2 = N1 / 44 = 24870 / 44 = 565 \text{ , витків.}$$

Однак такі великі кількості витків недоцільні через розміри. У реальності для малопотужних трансформаторів (5 Вт) використовують готові сердечники з меншою кількістю витків, скориговану за експериментальними даними.

Типово для 220 В/5 В із сердечником ЕІ-28: $(N1 = 1000\text{--}1200 \text{ , витків})$, $(N2 = 20\text{--}25 \text{ , витків})$ з дроту 0,2–0,3 мм (для струму 0,7 А).

Конструкція та компоненти

1.Сердечник: Е-подібний ферритовий сердечник ЕІ-28 із перетином 2 см², що забезпечує достатню магнітну провідність.

					РЕ12.464419.001 ПЗ	Лис
						26
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

2.Дріт: Мідний емальований дріт діаметром 0,25 мм для первинної обмотки та 0,4 мм для вторинної.

3.Додаткові елементи: За трансформатором встановлено діодний міст (наприклад, 1N4007, 4 одиниці) для випрямлення та електролітичний конденсатор 1000 мкФ для фільтрації пульсацій, а також стабілізатор AMS1117 для точного виведення 3,3 В.

Переваги та недоліки

Перевагою є простота інтеграції з існуючою мережею 220 В і висока ефективність для малопотужних систем. Недоліком є розміри трансформатора та необхідність додаткового випрямлення, що ускладнює схему порівняно з імпульсними блоками живлення.

Таким чином, вибраний трансформатор із співвідношенням витків 1000:25, потужністю 5 Вт і вихідною напругою 5 В АС забезпечує надійне живлення системи, адаптоване до потреб ESP32 і світлодіодного модуля після випрямлення та стабілізації.

					PE12.464419.001 ПЗ	<i>Лис</i>
						27
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Розділ 4. Розробка схеми електричної принципової

Загальний опис схеми

Схема складається з двох основних частин: блоку керування на основі мікроконтролера ESP32 (Рис 4.1) та світлодіодного модуля. Блок керування відповідає за прийом голосових команд через Bluetooth-з'єднання та їх обробку, а світлодіодний модуль забезпечує виконання команд шляхом увімкнення або вимкнення світла.

4.1 Мікроконтролер ESP32



Рисунок 4.1 – зображення ESP32-C6FH4

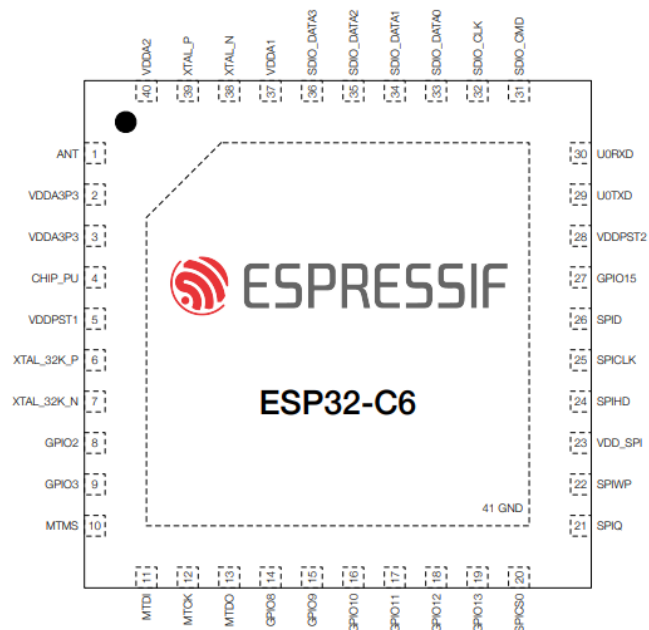


Рисунок 4.2 – Схема контактів ESP32-C6FH4

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.464419.001 ПЗ

Лис
28

Центральним елементом схеми є модуль ESP32-C2-6FH4, який забезпечує обробку голосових команд, отриманих через Bluetooth, та керування світлодіодним модулем. ESP32 обрано через його доступність, підтримку Bluetooth Low Energy (BLE), а також наявність достатньої кількості виводів для підключення периферійних пристроїв. Модуль живиться від стабілізованого джерела живлення з напругою 3,3 В, що забезпечується через стабілізатор напруги AMS1117. [14]

4.2 Джерело живлення

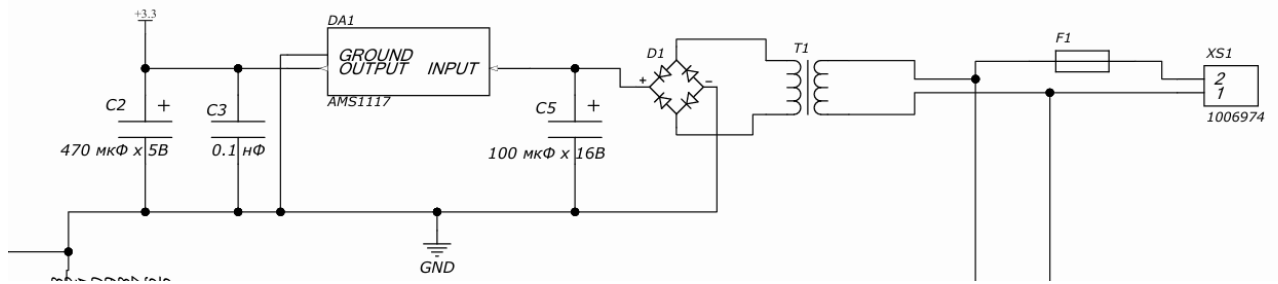


Рисунок 4.3 – схема електрична принципова трансформаторного блоку живлення

Для живлення схеми використовується стабілізатор AMS1117, який перетворює вхідну напругу (5 В) на стабільні 3,3 В, необхідні для роботи ESP32. Вхідна напруга подається через роз'єм Phoenix Contact 1006974, який підключений до зовнішнього джерела живлення. Для згладжування пульсацій напруги в схемі передбачені конденсатори C2 (470 мкФ, 50 В) та C5 (100 мкФ, 16 В), розміщені на вході та виході стабілізатора відповідно. Додатково конденсатор C3 (0,1 мкФ) забезпечує високочастотну фільтрацію для зменшення шумів. Для перетворення напруги 200 В на 5 В використано трансформатор. [10]

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.464419.001 ПЗ

Лис

29

4.3 Антенний блок



Рисунок 4.4 – Антена NN02-201

Для забезпечення Bluetooth-з'єднання в схемі передбачена антена E1 (NN02-201 – Рис 4.4). Антена дозволяє ESP32 встановлювати зв'язок із Android-додатком "Bluetooth Voice", який передає голосові команди "on" і "off".

4.4 Інтерфейс підключення та програмування

Мікроконтролер ESP32 має виводи для програмування та налагодження, які підключені до роз'єму FT231XS-U (X1). Цей роз'єм забезпечує зв'язок із комп'ютером через USB для прошивки модуля. Виводи TXD і RXD модуля ESP32 підключені до відповідних виводів FT231XS-U для передачі даних. Для скидання налаштувань передбачений вивід RESET, підключений через резистор R1 (10 кОм) до кнопки скидання. [17]

4.5 Світлодіодний модуль

За приклад було використано світлодіодний модуль, який указано на Рис 4.5:



Рисунок 4.5 – Світлодіодний модуль LED 9W AC220

					PE12.464419.001 ПЗ	Лис
						30
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Світлодіодний модуль (Рис 4.6) складається з семи світлодіодів (HL1–HL7), які підключені паралельно через обмежувальний резистор R1 (100 Ом). Живлення модуля здійснюється через роз'єм Phoenix Contact 1006974, який забезпечує подачу напруги. Світлодіодний модуль підключений до виводів ESP32 через оптопару МОС3063, який виконує функцію оптоізолятора, забезпечуючи гальванічну розв'язку між керуючим блоком і силовою частиною.

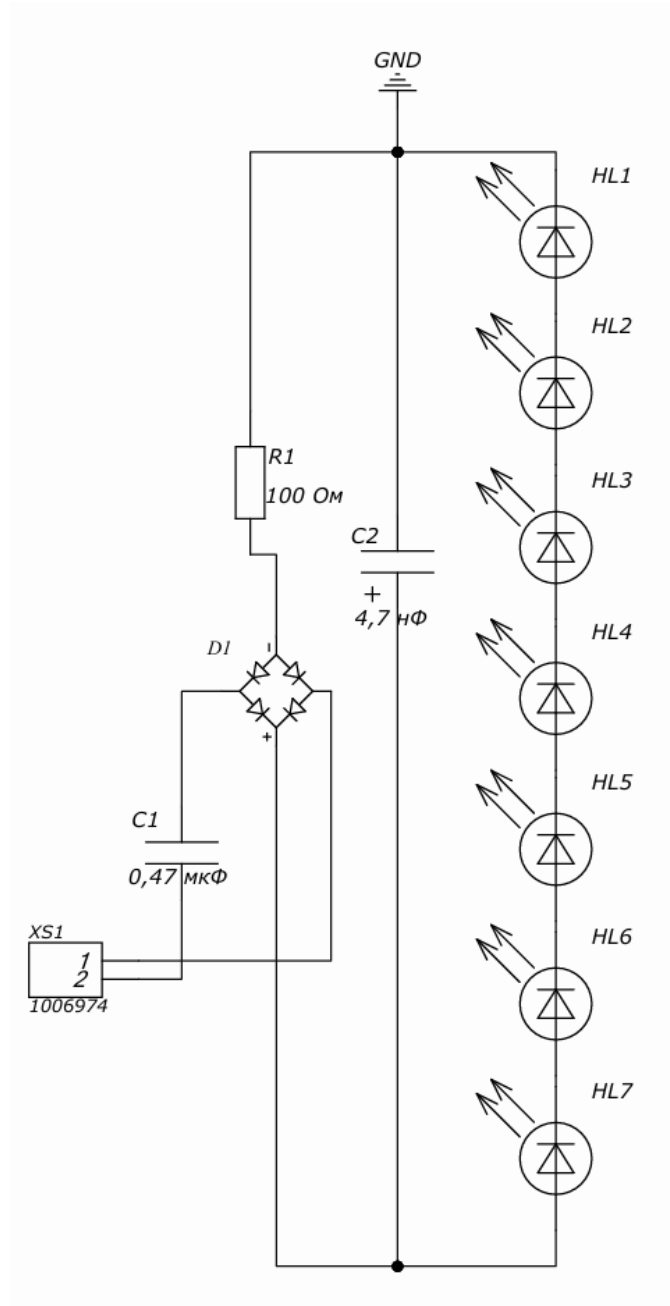


Рисунок 4.6 – Світлодіодний модуль схема електрична принципова

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.464419.001 ПЗ

Лис

31

4.6 Керування світлодіодним модулем

Мікроконтролер ESP32 обробляє голосові команди, отримані через Bluetooth, і формує відповідні сигнали для керування світлодіодним модулем. Вивід GPIO14 модуля ESP32 підключений до оптопари МОС3063 через резистор R3 (360 Ом), який обмежує струм. МОС3063 забезпечує безпечне перемикання світлодіодів, ізолюючи силову частину схеми від керуючої.

4.7 Вибір компонентів

Вибір компонентів для схеми був зумовлений вимогами до економічності, простоти та доступності. Мікроконтролер ESP32 обрано через його низьку вартість, підтримку Bluetooth і достатню продуктивність для обробки голосових команд. Стабілізатор AMS1117 є стандартним рішенням для забезпечення стабільної напруги в подібних системах, а його доступність і простота використання стали вирішальними факторами. Світлодіоди HL1–HL7 обрано через їх енергоефективність і низьку ціну, що відповідає меті створення бюджетного рішення. Оптопари МОС3063 забезпечує безпечне керування силовою частиною схеми, що є важливим для домашнього використання.

4.8 Особливості реалізації

1. Енергоефективність

Для забезпечення енергоефективності в схемі використано світлодіоди з низьким споживанням енергії та обмежувальний резистор R1 (100 Ом), який оптимізує струм через світлодіоди. Конденсатори C1 і C2 у світлодіодному модулі зменшують пульсації, що сприяє стабільній роботі світлодіодів і подовжує їх термін служби.

2. Надійність

Надійність схеми забезпечується використанням оптопари МОС3063, який ізолює керуючу частину від силової, запобігаючи можливим пошкодженням ESP32 через перенапругу. Діодний міст D1 захищає світлодіодний модуль від неправильного підключення живлення, а конденсатори C2, C3 і C5 забезпечують стабільність напруги, що зменшує ризик збоїв у роботі схеми.

					<i>PE12.464419.001 ПЗ</i>	Лис
						32
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

3.Простота підключення

Схема розроблена з урахуванням простоти підключення та налаштування. Роз'єм FT231XS-U дозволяє легко підключити ESP32 до комп'ютера для прошивки, а роз'єм Phoenix Contact 1006974 забезпечує зручне підключення джерела живлення. Виводи XS3 (ZX62-AB-5PA) дозволяють підключити зовнішні пристрої або датчики, якщо в майбутньому з'явиться потреба в розширенні функціональності системи.

4.9 Аналіз схеми

Розроблена схема відповідає поставленим вимогам до простоти, економічності та функціональності. Використання ESP32 як основного керуючого елемента забезпечує гнучкість і можливість подальшого масштабування системи, наприклад, додавання нових команд або інтеграції з іншими пристроями розумного будинку. Bluetooth-з'єднання дозволяє уникнути залежності від Wi-Fi, що робить систему автономною та зручною для використання в домашніх умовах. Світлодіодний модуль із сімома світлодіодами забезпечує достатній рівень освітлення для невеликого приміщення, а використання оптопари підвищує безпеку експлуатації.

Основною перевагою схеми є її бюджетність: усі компоненти є доступними на ринку, а загальна вартість системи залишається низькою, що відповідає меті проекту. Обмеженням схеми є залежність від Android-додатку "Bluetooth Voice" та радіус дії Bluetooth (до 10 метрів), що може створювати незручності в більших приміщеннях. Однак для домашнього використання в межах однієї кімнати ці обмеження не є критичними.

					PE12.464419.001 ПЗ	Лис
						33
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 5. Розробка друкованої плати

5.1 Загальний опис процесу розробки

Розробка друкованої плати (ДП) для системи дистанційного голосового керування світлом була спрямована на створення компактного, надійного та економічного рішення, яке забезпечить інтеграцію всіх електронних компонентів, описаних у схемі електричної принципової. Плата розроблена для роботи з мікроконтролером ESP32, стабілізатором напруги AMS1117, оптопарою МОС3063 та світлодіодним модулем із сімома світлодіодами. Основними цілями проектування були забезпечення стабільної роботи Bluetooth-з'єднання, ефективного живлення та зручного підключення до джерела живлення та периферійних пристроїв. Процес розробки включав проектування топології, розміщення компонентів, трасування доріжок та підготовку плат до виготовлення.

Для виготовлення друкованої плати було обрано односторонню технологію з використанням фольгованого склотекстоліту FR-4, що є стандартним і доступним матеріалом із хорошими діелектричними властивостями. Товщина плати становить 1,6 мм, що забезпечує достатню механічну міцність при компактних розмірах. Для спрощення виробництва та зниження витрат було вирішено використовувати одностороннє розміщення провідників, ізоляція яких виконана методом травлення. Розташування компонентів і доріжок оптимізовано для мінімальної довжини з'єднань, що зменшує паразитні ефекти та покращує електричні характеристики. [12]

Плата має чітко визначені зони: блок живлення, мікроконтролер із антенним модулем, оптоізоляція та роз'єми для підключення світлодіодів і зовнішнього живлення. Таке зонування полегшує монтаж, тестування та ремонт, а також забезпечує зручність у подальшій експлуатації системи.

5.2 Розміщення компонентів на друкованій платі

Мікроконтролер ESP32

Мікроконтролер ESP32 розміщено в центральній частині плати для забезпечення рівномірного розподілу сигнальних ліній і живлення. Використано роз'єм X1 (ZX62-AB-5PA) для підключення модуля програмування FT231XS-U, що дозволяє легко оновлювати прошивку. Антена E1 (ANT-433-PW-LP) розташована на краю плати для максимального охоплення сигналу Bluetooth.

					PE12.464419.001 ПЗ	Лис
						34
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Стабілізатор напруги та блок живлення

Стабілізатор AMS1117 розташований у верхній частині плати, ближче до вхідного роз'єму Phoenix Contact 1006974, для зручного підключення зовнішнього джерела живлення. Конденсатори C2 (470 мкФ, 50 В), C3 (0,1 мкФ) і C5 (100 мкФ, 16 В) розміщені навколо стабілізатора для згладжування пульсацій і захисту від високочастотних перешкод. Така конфігурація забезпечує стабільну напругу 3,3 В для ESP32 і мінімізує вплив шумів на роботу мікроконтролера.

Оптопара та керування світлодіодами

Оптопара MOC3063 розміщено в нижній частині плати, поблизу роз'єму XS2, який підключається до світлодіодного модуля. Резистори R3, R4 (по 360 Ом) і R5 (20 Ом), а також конденсатор C4 (100 пФ) розташовані поруч із MOC3063 для забезпечення надійного перемикання світлодіодів HL1–HL7. Такий підхід дозволяє ізолювати силову частину від керуючої, підвищуючи безпеку та надійність системи.

Роз'єми та додаткові елементи

Роз'єми XS1 і XS2 (Phoenix Contact 1006974) розміщені на протилежних краях плати для зручного підключення живлення та світлодіодного модуля. Кнопки S1 і S2 (для скидання та перезапуску) розташовані поруч із ESP32 для легкого доступу під час налаштування. Діоди D1 (захист від зворотної полярності) і транзистор TR1 розміщені ближче до роз'єму J2 для захисту світлодіодного модуля.

Трасування доріжок

Трасування доріжок виконано з урахуванням мінімальної довжини з'єднань і уникнення перетинів. Основні силові лінії (GND і VCC) виконані широкими доріжками для зниження опору та забезпечення ефективного відводу тепла. Сигнальні лінії, такі як TXD, RXD і GPIO13, мають меншу ширину, але забезпечені достатньою відстанню від силових ліній для зменшення електромагнітних перешкод. Антенна E1 підключена до ESP32 через коротку доріжку з мінімальними поворотами, щоб уникнути спотворення сигналу Bluetooth.

Для фільтрації шумів у схемі використано конденсатори C6 (0,01 мкФ) поблизу роз'єму XS2, що згладжують пульсації у ланцюзі світлодіодів. Всі з'єднання між компонентами ретельно перевірені на відсутність коротких замикань і правильність підключення, що забезпечує стабільну роботу плати.

					PE12.464419.001 ПЗ	Лис
						35
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз

Аналіз розробленої плати (Рис 5.1, 5.2) показав, що вона повністю відповідає вимогам проекту: простота, економічність і надійність. Компактний дизайн полегшив інтеграцію в систему. Обмеженням є залежність від антени E1 для Bluetooth, що може впливати на якість з'єднання в умовах сильних перешкод.

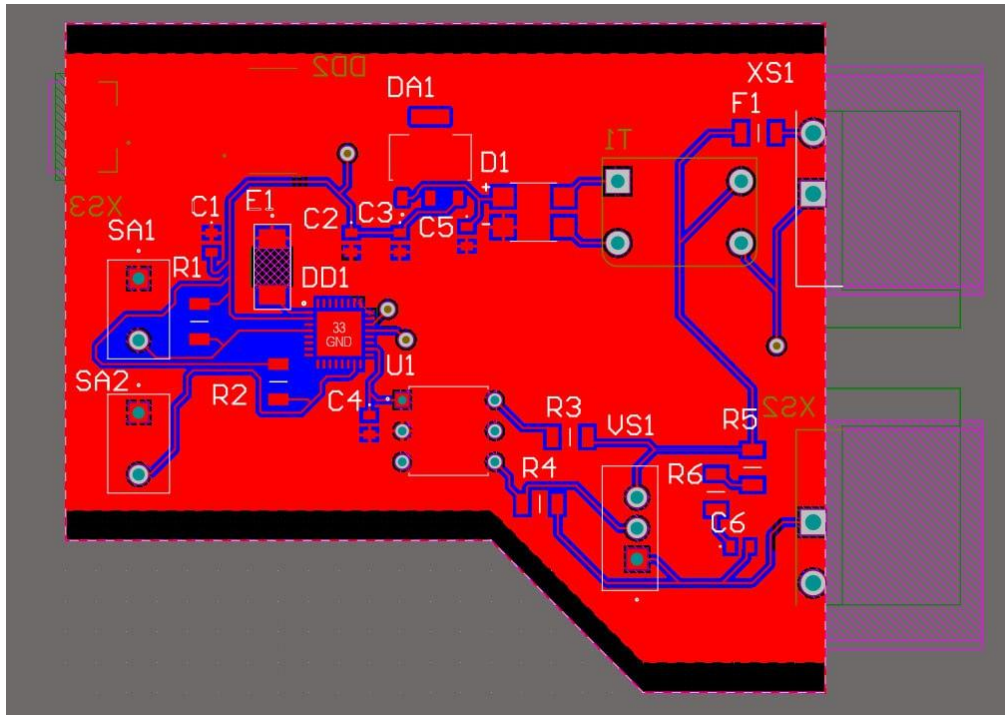


Рисунок 5.1 – Верхній шар друкованої плати

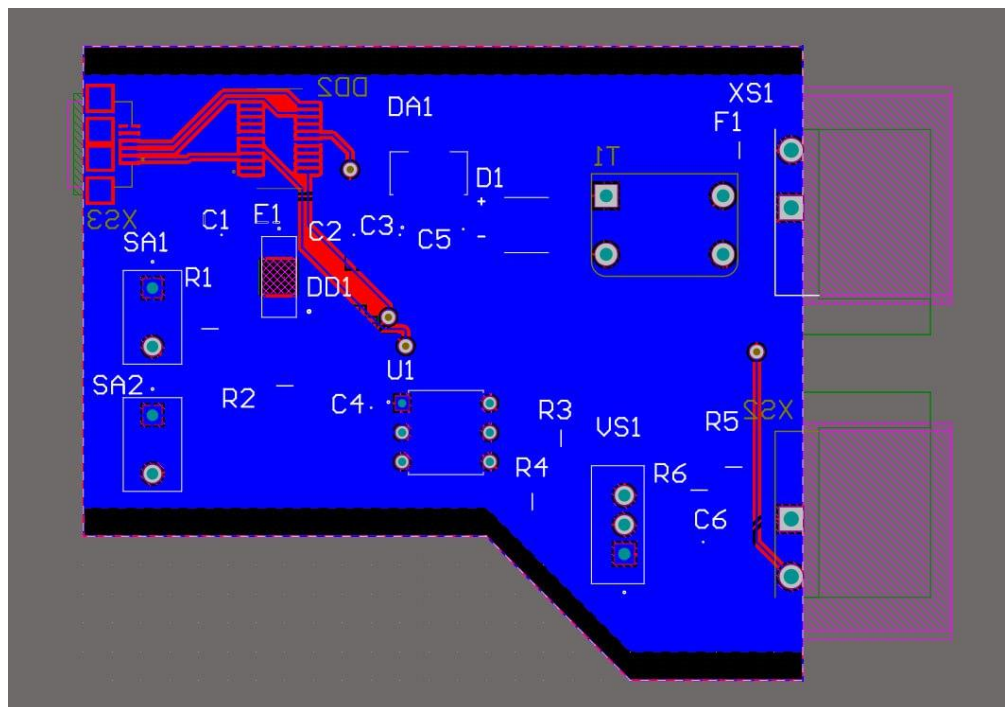


Рисунок 5.2 – Нижній шар друкованої плати

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.464419.001 ПЗ

Лис

36

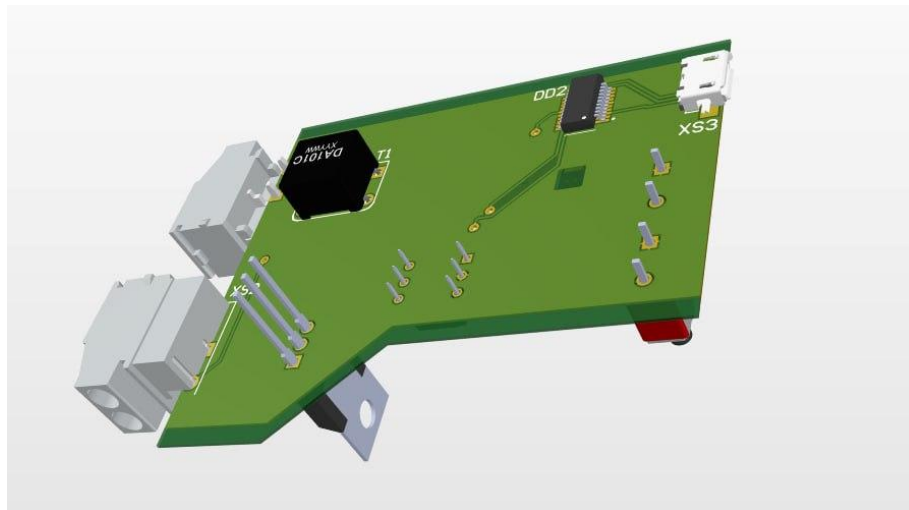
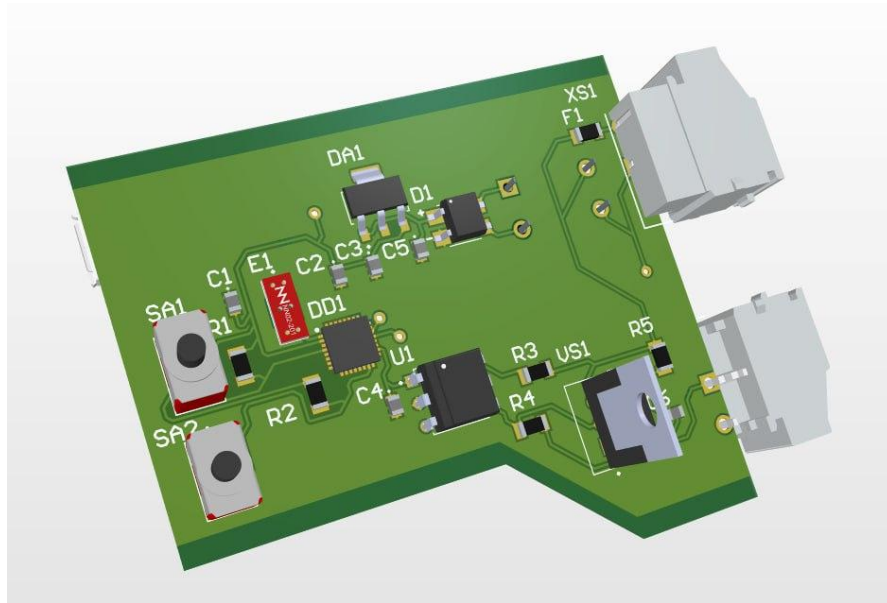


Рисунок 5.3 – 3D-модель друкованої плати

5.3 Розробка друкованої плати світлодіодного модуля

У процесі проектування було обрано конструкцію друкованої плати на алюмінієвій основі. Такий вибір обумовлений необхідністю ефективного тепловідведення: світлодіоди, увімкнені послідовно в модулі (Рис 4.6), під час роботи виділяють значну кількість тепла, що може призвести до їх передчасного виходу з ладу. Алюмінієва підкладка з тонким діелектричним шаром забезпечує хороший тепловий контакт між компонентами та металевою основою, що дозволяє ефективно розсіювати тепло в навколишнє середовище. Це, в свою чергу, сприяє стабільній роботі пристрою та підвищує довговічність елементів. Плата є односторонньою — усі компоненти та провідники розміщені з одного боку, а перехідні отвори та другий мідний шар не використовуються.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.464419.001 ПЗ

Лис
37

Розміщення компонентів на друкованій платі – світлодіодний модуль Світлодіоди HL1–HL7

Сім світлодіодів (HL1–HL7) розміщені в центральній частині плати у вертикальному порядку, що забезпечує рівномірний розподіл світлового потоку. Кожен світлодіод підключений через обмежувальний резистор R1 (100 Ом), який розташований у верхній частині плати. Таке розміщення резистора дозволяє централізовано обмежувати струм для всіх світлодіодів, зменшуючи кількість компонентів і спрощуючи схему. Світлодіоди обрано з урахуванням їхньої енергоефективності та яскравості, що відповідає потребам домашнього освітлення.

Елементи живлення та захисту

Роз'єм XS1 (Phoenix Contact 1006974) розміщений у нижній частині плати для зручного підключення до джерела живлення та основної плати системи. Він має два виводи: NetD1_AC2 (мінус) і NetC1_1 (плюс), які забезпечують подачу напруги до світлодіодного модуля. Для захисту від неправильного підключення полярності використано діодний міст D1, розташований поблизу роз'єму XS1. Діодний міст забезпечує безпеку компонентів, запобігаючи пошкодженню світлодіодів у разі зворотного підключення.

Розрахунок ширини провідників

Для забезпечення надійної роботи друкованої плати, згідно з міжнародним стандартом IPC-2221, було виконано розрахунок необхідної ширини провідників залежно від сили струму, що через них протікає. [12]

Максимальний струм у колі живлення оцінено на рівні 80 мА, що протікає через послідовний ланцюг із семи світлодіодів HL1–HL7. Розрахунок ширини провідника виконано за емпіричною формулою для зовнішніх шарів:

$$I = k \cdot (\Delta T)^{0.44} \cdot (W \cdot t)^{0.725}$$

де:

- I — сила струму, А
- W — ширина провідника, mil
- t — товщина міді, mil (для 1 oz міді: 1.4 mil)
- ΔT — допустиме підвищення температури (прийнято 10°C)
- k = 0.024 — для зовнішніх шарів плати

					PE12.464419.001 ПЗ	Лис
						38
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Зворотна формула для визначення ширини W :

$$W = \left(\frac{I}{k \cdot (\Delta T)^{0.44}} \right)^{1/0.725} \cdot \frac{1}{t}$$

Підставляючи:

- $I = 0.08 \text{ A}$
- $\Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$
- $t = 1.4 \text{ mil}$

Отримаємо:

$$W \approx \left(\frac{0.08}{0.024 \cdot 10^{0.44}} \right)^{1/0.725} \cdot \frac{1}{1.4} \approx 9.3 \text{ mil}$$

Отже, мінімально допустима ширина провідника — 10 mil.

У розробленій платі використано такі значення:

- доріжки між світлодіодами HL1–HL7 виконано шириною 20 mil — з істотним запасом по струму.
- інші сигнальні доріжки, включно з підключенням до випрямляча D1, конденсаторів та резистора R1 — виконано шириною 15 mil.
- потенціал GND реалізовано у вигляді широкої заливки (polygon pour) для зменшення опору і підвищення ефективності тепловідведення.

Таке проектне рішення повністю відповідає вимогам безпеки, забезпечує надійність електричних з'єднань і дозволяє ефективно розсіювати тепло від світлодіодного ланцюга.

Трасування доріжок

Трасування доріжок на платі виконано з урахуванням мінімізації їхньої довжини та забезпечення ефективного розподілу струму. Силкові доріжки, що з'єднують роз'єм XS1 із діодним мостом D1 і резистором R1, мають збільшену ширину для зменшення опору та забезпечення належного теплового розсіювання. Доріжки, що ведуть до світлодіодів HL1–HL7, виконані паралельно, що дозволяє рівномірно розподілити струм між усіма світлодіодами.

					PE12.464419.001 ПЗ	Лис
						39
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Сигнальні доріжки від резистора R1 до світлодіодів мають меншу ширину, але розташовані з достатньою відстанню від силових ліній, щоб уникнути електромагнітних перешкод. Усі з'єднання між компонентами ретельно перевірені на відсутність перетинів і коротких замикань. Для забезпечення надійності контактів передбачено достатній зазор між провідниками, що зменшує ризик пробоя ізоляції.

Особливості дизайну

1. Енергоефективність і тепловий режим

Дизайн плати враховує необхідність енергоефективності світлодіодного модуля. Обмежувальний резистор R1 (100 Ом) підібраний таким чином, щоб забезпечити оптимальний струм через світлодіоди, уникаючи їх перегріву. Широкі силові доріжки сприяють ефективному відводу тепла, що подовжує термін служби світлодіодів. Плата спроектована так, щоб світлодіоди розташовувалися на достатній відстані один від одного, що зменшує теплову взаємодію між ними.

2. Компактність і ергономіка

Розміри плати світлодіодного модуля оптимізовані для компактного розміщення в корпусі системи. Вертикальне розташування світлодіодів дозволяє економити простір, а роз'єм XS1 розташований у нижній частині для зручного підключення кабелю живлення. Дизайн плати забезпечує можливість легкого монтажу модуля в систему, а також його заміни в разі необхідності.

Аналіз і оптимізація

Розроблена плата світлодіодного модуля (Рис 5.4) відповідає вимогам до простоти, економічності та функціональності. Компактний дизайн і використання мінімальної кількості компонентів дозволили знизити собівартість модуля, що відповідає меті проекту. Основною перевагою є надійність роботи світлодіодів завдяки захисним елементам і правильному тепловому режиму. Обмеженням є фіксована кількість світлодіодів (сім), що може бути недостатньою для великих приміщень. У майбутньому можливе масштабування модуля шляхом додавання додаткових світлодіодів або використання світлодіодів із вищою яскравістю.

					PE12.464419.001 ПЗ	Лис
						40
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

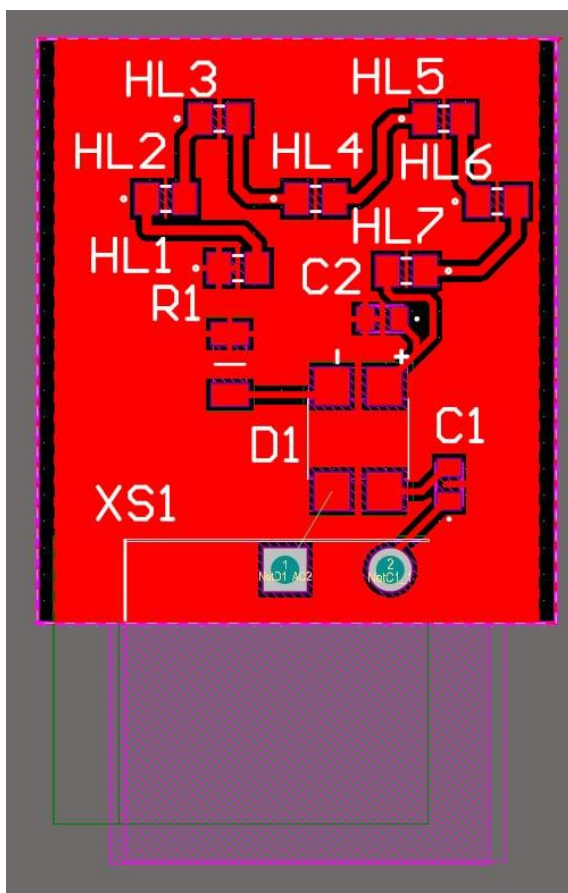


Рисунок 5.4 – друкована плата світлодіодного модуля

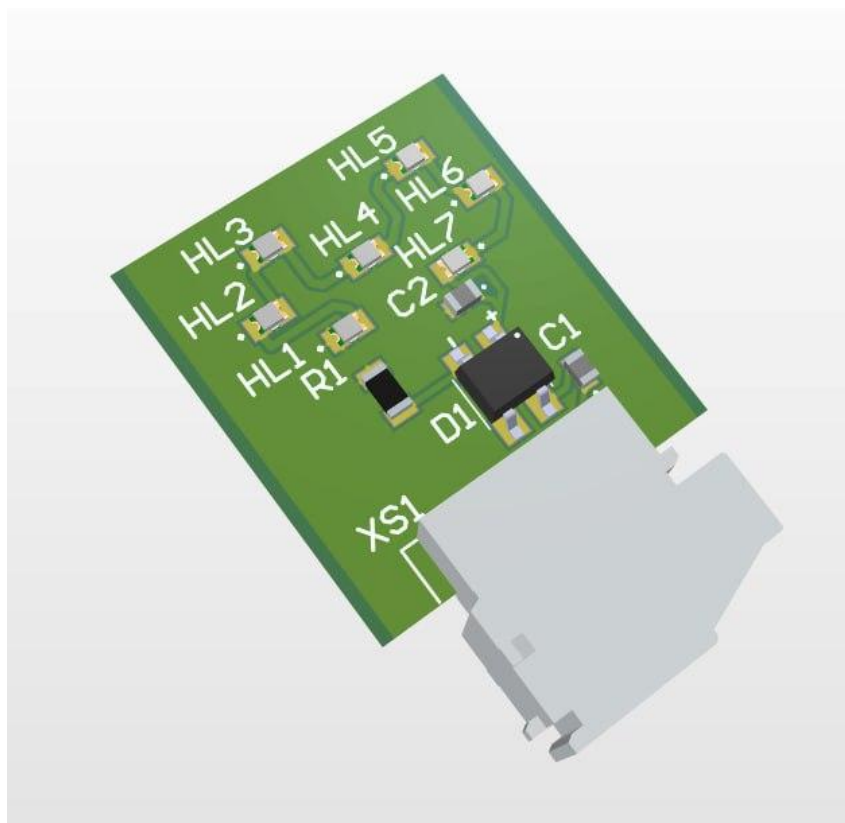


Рисунок 5.5 – 3D-модель друкованої плати світлодіодного модуля

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.464419.001 ПЗ

Розділ 6. Розробка корпусу

6.1 Загальний опис корпусів

Розробка корпусів для системи дистанційного голосового керування світлом стала важливим етапом проекту, спрямованим на створення надійного, функціонального та естетично привабливого рішення для захисту електронних компонентів і забезпечення зручності використання в домашніх умовах. Система складається з двох основних частин: основного блоку керування, який включає мікроконтролер ESP32, стабілізатор AMS1117, оптопару МOC3063 і антену E1, та світлодіодного модуля з сімома світлодіодами HL1–HL7 для освітлення. Для кожної частини розроблено окремий корпус, враховуючи їх функціональні особливості, розміри друкованих плат і вимоги до ергономіки.

Корпус основного блоку забезпечує захист електронних компонентів, зручний доступ до роз'ємів, кнопок і стабільну роботу Bluetooth-з'єднання через антену. Корпус світлодіодного модуля призначений для розміщення світлодіодів, їх захисту від зовнішніх впливів, забезпечення рівномірного розсіювання світла та створення естетичного вигляду, що гармонійно вписується в інтер'єр. Обидва корпуси розроблені з урахуванням простоти виробництва, економічності матеріалів і можливості легкої інтеграції з внутрішніми компонентами.

6.2 Корпус основного блоку

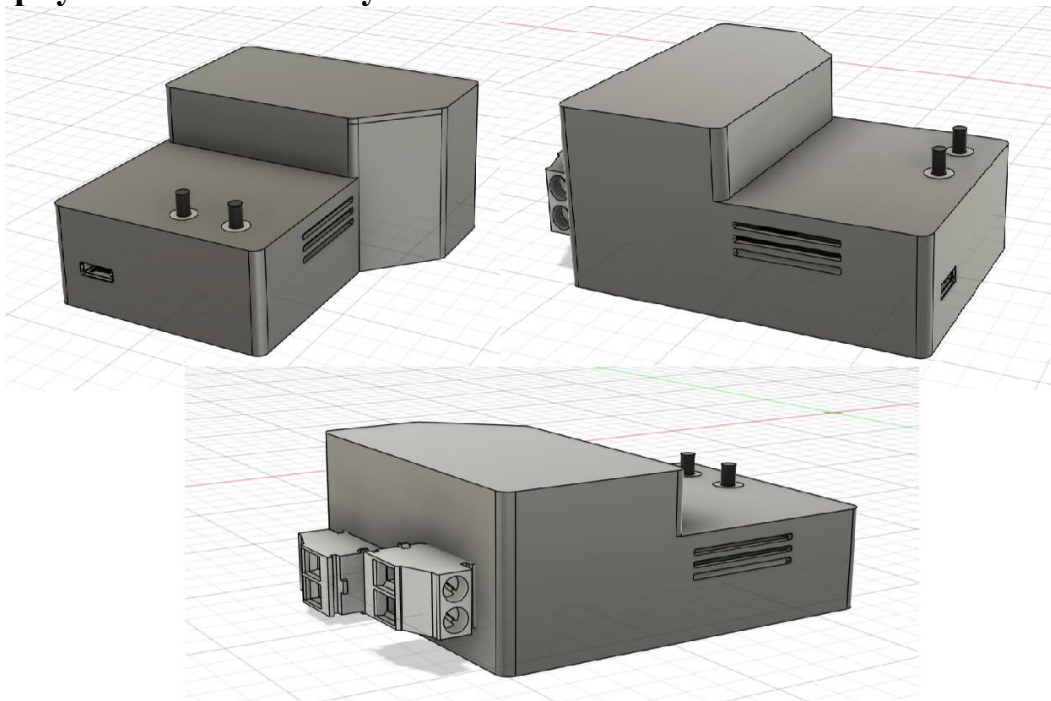


Рисунок 6.1 – Корпус основного блоку

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.464419.001 ПЗ

Лис

42

Корпус основного блоку виконано у формі прямокутного блоку з висунутою верхньою платформою, призначеною для розміщення друкованої плати, та нижньою частиною, що слугує для кріплення роз'ємів. Для забезпечення міцності та довговічності корпус виготовлено з пластику ABS (акрилонітрил-бутадієн-стирол), який вирізняється легкістю, стійкістю до механічних пошкоджень і придатністю для 3D-друку. Товщина стінок корпусу становить 2 мм, що забезпечує оптимальну жорсткість при вазі близько 150 г з урахуванням компонентів.

Верхня платформа містить два отвори діаметром 8 мм для кнопок S1 (скидання) і S2 (перехід у режим програмування), обладнані гумовими ущільнювачами для захисту від пилу. На передній панелі корпусу передбачено виріз розміром 12 мм x 8 мм для роз'єму micro-USB, що використовується для програмування ESP32. Нижня частина оснащена двома роз'ємами Phoenix Contact 1006974 (XS1 для живлення, XS2 для підключення світлодіодного модуля), інтегрованими ззаду в спеціальні ніші розміром 15 мм x 10 мм. Корпус має знімну кришку з шістьма вентиляційними отворами на кожній з бічних стінок для відводу тепла від внутрішніх компонентів. Поверхня корпусу пофарбована в матовий сірий колір, що зменшує відбиття світла та надає пристрою сучасного вигляду.

6.3 Корпус світлодіодного модуля

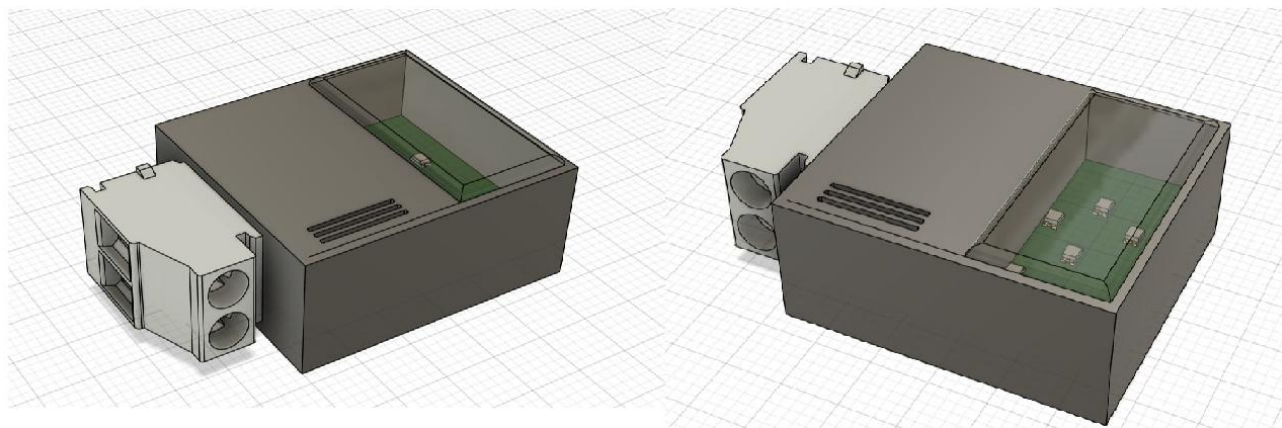


Рисунок 6.2 – Корпус світлодіодного модуля

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.464419.001 ПЗ

Лис
43

Корпус світлодіодного модуля виконано у формі прямокутного блоку з відкритою верхньою частиною для розміщення друкованої плати з світлодіодами HL1–HL7. Основна частина корпусу виготовлена з ABS-пластику того ж сірого кольору, що й корпус основного блоку, для забезпечення єдиного стилю. Товщина стінок корпусу становить 2 мм, що забезпечує міцність при загальній вазі модуля близько 80 г. Верхня частина призначена для розміщення плати з світлодіодами, а її внутрішній простір дозволяє рівномірне розподілення світла з кутом розсіювання до 120 градусів.

Нижня частина корпусу оснащена вирізом розміром 15 мм x 10 мм для роз'єму Phoenix Contact 1006974 (XS1), через який подається живлення. Для захисту від пилу та забезпечення герметичності з'єднань використано силіконові ущільнювачі навколо роз'єму. Корпус має знімну кришку з трьома вентиляційними отворами на бічній стінці для відводу тепла від світлодіодів. Поверхня корпусу має матове покриття, а внутрішня частина відполірована для підвищення естетичних якостей та ефективного відбиття світла.

6.4 Розміщення та інтеграція компонентів

Корпус основного блоку

Компоненти всередині корпусу основного блоку розміщені з урахуванням компактності та зручного доступу. Друкована плата з мікроконтролером ESP32 розташована на верхній платформі, де інтегрована SMD-антена E1 (NN02-201), припаяна безпосередньо до плати для забезпечення компактного Bluetooth-з'єднання. Два роз'єми Phoenix Contact 1006974 (XS1 для живлення, XS2 для світлодіодного модуля) розміщені ззаду в нішах розміром 15 мм x 10 мм, що полегшує підключення кабелів. Роз'єм micro-USB для програмування ESP32 інтегрований у передню панель через виріз 12 мм x 8 мм, а кнопки S1 (скидання) і S2 (перехід у режим програмування) встановлені в отвори діаметром 8 мм на верхній платформі з гумовими ущільнювачами. Вентиляційні отвори на бічній стінці забезпечують відведення тепла від ESP32, а знімна кришка фіксує плату, дозволяючи доступ для обслуговування.

					PE12.464419.001 ПЗ	<i>Лис</i>
						44
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Корпус світлодіодного модуля

У корпусі світлодіодного модуля компоненти розміщені для оптимального розподілу світла та тепловідведення. Друкована плата з світлодіодами HL1–HL7 інтегрована в відкриту верхню частину корпусу, де вони розташовані в один ряд для рівномірного розсіювання світла з кутом до 120 градусів. Роз'єм Phoenix Contact 1006974 (XS1) для живлення розміщений у нижній частині в вирізі 15 мм x 10 мм, із силіконовим ущільнювачем для захисту від пилу. Вентиляційні отвори на бічній стінці кришки сприяють відведенню тепла від світлодіодів, а знімна кришка забезпечує доступ до плати для монтажу або заміни компонентів. Матеріал корпусу та відполірована внутрішня поверхня оптимізують відбивання світла для підвищення естетичних і функціональних характеристик.

6.5 Ергономіка та зручність використання Корпус основного блоку

Ергономіка корпусу основного блоку забезпечує зручність у повсякденному використанні та інсталяції. Компактна трапецієподібна форма з висунутою верхньою платформою дозволяє легко розмістити пристрій на полиці чи столі, а вага близько 150 г робить його портативним. Розташування кнопок S1 (скидання) і S2 (перехід у режим програмування) на верхній платформі з діаметром 8 мм забезпечує зручний доступ для ручного управління, а гумові ущільнювачі захищають від пилу. Роз'єм micro-USB на передній панелі з вирізом 12 мм x 8 мм полегшує програмування ESP32, а два роз'єми Phoenix Contact 1006974 ззаду в нішах 15 мм x 10 мм дозволяють швидко підключати живлення (XS1) і світлодіодний модуль (XS2). Вентиляційні отвори на бічній стінці сприяють природному охолодженню, а знімна кришка спрощує доступ до плати для обслуговування. Матове сіре покриття зменшує відблиски, роблячи пристрій естетично привабливим і комфортним для очей.

Корпус світлодіодного модуля

Ергономіка корпусу світлодіодного модуля спрямована на зручне розміщення та ефективне освітлення. Прямокутна форма з відкритою верхньою частиною дозволяє легко інтегрувати плату з світлодіодами HL1–HL7, а вага близько 80 г забезпечує легкість монтажу на стіні чи поверхні. Розташування роз'єму Phoenix Contact 1006974 (XS1) у нижній частині з вирізом 15 мм x 10 мм спрощує підключення живлення, а силіконовий ущільнювач гарантує надійність і захист від пилу. Вентиляційні отвори на бічній стінці кришки сприяють відведенню тепла від світлодіодів, що підвищує комфорт використання в закритих приміщеннях. Відполірована внутрішня поверхня оптимізує розсіювання світла з кутом до 120 градусів, створюючи рівномірне освітлення без сліпучого ефекту. Знімна кришка

					<i>PE12.464419.001 ПЗ</i>	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		45

забезпечує легкий доступ для обслуговування, а матове сіре покриття гармоніює з основним блоком, додаючи естетичної цілісності.

6.6 Захист внутрішніх компонентів

Корпус основного блоку

Захист внутрішніх компонентів корпусу основного блоку забезпечується завдяки конструктивним особливостям та матеріалам. ABS-пластик товщиною 2 мм захищає плату з мікроконтролером ESP32, SMD-антену E1 (NN02-201) та інші елементи від механічних пошкоджень і пилу, відповідаючи класу захисту IP40. Гумові ущільнювачі навколо кнопок S1 і S2 (діаметром 8 мм) та роз'єму micro-USB (виріз 12 мм x 8 мм) запобігають проникненню пилу в зони доступу. Роз'єми Phoenix Contact 1006974 (XS1 для живлення, XS2 для світлодіодного модуля) у нішах 15 мм x 10 мм оснащені силіконовими прокладками для додаткового захисту від вологи та пилу. Вентиляційні отвори на бічній стінці обладнані сітчастими фільтрами для обмеження потрапляння дрібних частинок, а знімна кришка з герметичним ущільненням унеможливорює доступ пилу та вологи під час закриття. Матеріал корпусу також стійкий до помірних температурних коливань (від 0°C до 40°C), що захищає електроніку від перегріву.

Корпус світлодіодного модуля

Захист внутрішніх компонентів корпусу світлодіодного модуля спроектований для забезпечення безпеки світлодіодів HL1–HL7 та плати. ABS-пластик товщиною 2 мм забезпечує механічний захист і відповідає класу захисту IP54 завдяки знімній кришці з силіконовим ущільнювачем, який запобігає проникненню пилу та бризок. Роз'єм Phoenix Contact 1006974 (XS1) у вирізі 15 мм x 10 мм оснащений силіконовою прокладкою, що захищає від вологи та пилу під час підключення живлення. Вентиляційні отвори на бічній стінці кришки обладнані дрібнопористими фільтрами, які обмежують доступ пилу, одночасно забезпечуючи відведення тепла від світлодіодів. Відполірована внутрішня поверхня корпусу не лише оптимізує розсіювання світла, але й зменшує ризик накопичення пилу. Корпус витримує температури від 0°C до 40°C, захищаючи компоненти від перегріву та зовнішніх впливів.

					PE12.464419.001 ПЗ	Лис
						46
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

6.7 Процес розробки

Розробка корпусів для системи дистанційного голосового керування світлом проводилася з використанням програмного забезпечення Fusion 360, що забезпечило точне 3D-моделювання та інтеграцію всіх компонентів. Процес включав кілька ключових етапів для обох корпусів — основного блоку та світлодіодного модуля.

Спочатку було створено базові ескізи корпусів, враховуючи їхні геометричні форми: трапецієподібну для основного блоку та прямокутну з відкритою верхньою частиною для світлодіодного модуля. У Fusion 360 виконано параметричне моделювання, визначивши товщину стінок (2 мм) та розміри вирізів для роз'ємів Phoenix Contact 1006974 (15 мм x 10 мм), роз'єму micro-USB (12 мм x 8 мм) та отворів для кнопок S1 і S2 (діаметром 8 мм). Було інтегровано розміщення SMD-антени E1 (nn02-201) на платі основного блоку та світлодіодів HL1–HL7 у модулі, враховуючи їхні габарити та теплові характеристики.

Наступним етапом стало створення вентиляційних отворів на бічній стінці обох корпусів для відводу тепла, а також моделювання знімних кришок із силіконовими ущільнювачами для забезпечення герметичності. Матеріал ABS-пластику обрано за його стійкість і сумісність із 3D-друком, а матове сіре покриття додано як постобробку для естетичного завершення.

					<i>PE12.464419.001 ПЗ</i>	Лис
						47
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Висновки

Дипломний проект «Система дистанційного голосового керування освітленням», є значним досягненням у сфері технологій розумного дому, особливо для тих, хто шукає доступні та зручні рішення. Основною метою проекту було створення економічної, автономної системи для дистанційного керування LED-освітленням за допомогою голосових команд без підключення до інтернету. Використання мікроконтролера ESP32 та технології Bluetooth дозволило успішно досягти поставлених цілей, забезпечивши зручність, надійність і безпеку. Методологія проекту включала ретельний аналіз існуючих систем голосового керування освітленням, таких як Amazon Echo з Alexa, Google Nest Mini та DIY-системи на базі Raspberry Pi, що дозволило виявити їхні недоліки, зокрема високу вартість, залежність від інтернету та обмежену підтримку української мови. На основі цього аналізу було розроблено доступніше рішення. Апаратне забезпечення системи включає мікроконтролер ESP32, стабілізатор напруги AMS1117, оптопару MOC3063 та модуль із семи світлодіодів, розміщених на двох друкованих платах, виготовлених із матеріалу FR-4. Корпуси для блоку керування та LED-модуля були спроектовані в Fusion 360 і виготовлені з ABS-пластику методом 3D-друку, забезпечуючи захист за стандартами IP40 та IP54. Програмне забезпечення, розроблене на базі Arduino, обробляє голосові команди «увімкнути» та «вимкнути» через Android-додаток «Bluetooth Voice», що забезпечує інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для користувачів. Система забезпечує рівномірне освітлення з кутом розсіювання 120°, а використання оптоізоляції, стабілізації напруги та алюмінієвої основи для тепловідведення гарантує безпеку та довговічність (світлодіоди розраховані на 50 000 годин роботи). Проект демонструє економічність завдяки використанню доступних компонентів і відсутності залежності від хмарних сервісів, що знижує собівартість порівняно з комерційними аналогами. Практична цінність системи полягає в її простоті використання та потенціалі для осіб з обмеженими можливостями, які потребують безконтактного керування. Однак система має певні обмеження: дальність Bluetooth (до 10 метрів) обмежує її використання у великих приміщеннях, залежність від Android-додатку виключає користувачів інших платформ, а фіксована кількість світлодіодів обмежує масштабованість для більших освітлювальних потреб. У майбутньому пропонується інтегрувати Wi-Fi для розширення дальності зв'язку, розробити додатки для iOS та інших платформ, додати підтримку складніших команд, таких як регулювання яскравості чи кольору, а також покращити стійкість до зовнішніх умов для використання поза приміщеннями. Цей дипломний проект не лише досяг поставлених цілей, але й заклав основу для подальших інновацій у системах голосового керування розумним домом.

					<i>PE12.464419.001 ПЗ</i>	Лис
						48
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Він підкреслює потенціал поєднання доступних мікроконтролерних технологій із розпізнаванням голосу для створення практичних, зручних рішень, які можуть значно покращити якість життя, особливо для осіб з обмеженими можливостями руху. Успіх проекту підкреслює важливість міждисциплінарного підходу в інженерії, що поєднує апаратний дизайн, розробку програмного забезпечення та орієнтацію на користувача для вирішення реальних проблем, сприяючи розвитку доступних технологій автоматизації в сфері Інтернету речей.

					<i>PE12.464419.001 ПЗ</i>	Лис
						49
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Перелік джерел

1. Головенкін В. П. Положення про державну атестацію студентів НТУУ "КПІ" / В. П. Головенкін, В. Ю. Угольніков — К. : НТУУ «КПІ», 2013. — 98 с.
2. ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки та техніки. Структура і правила оформлення : Чинний від 22.06.2015 — К. : ДП "УкрНДНЦ", 2016. — 26 с. .
3. ДСТУ ГОСТ 7.1-2006. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання : чинний з 2007-07-01. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 47 с.
4. [Електронний ресурс] Snap Magic Search. URL: <https://www.snapeda.com>.
5. [Електронний ресурс] Dilux. URL: <https://dilux.com.ua>.
6. [Електронний ресурс] ESP Hardware Design Guidelines. URL: <https://docs.espressif.com>.
7. [Електронний ресурс] ESP32-C6 Series Datasheet Version 1.3. https://eu.mouser.com/datasheet/2/891/esp32_c6_datasheet_en-3304070.pdf
8. [Електронний ресурс] Саморобний блок живлення для LED стрічки. URL: <https://powercom.ua/dbzh-pcm-samorobnyi-blok-zhyvlennia-dlia-led-strichky>
9. [Електронний ресурс] Alldatasheet. URL: <https://www.alldatasheet.com/>
10. [Електронний ресурс] YouTube. URL: <https://www.youtube.com/>
11. [Електронний ресурс] Github. URL: <https://github.com/>
12. IPC-2221: *Generic Standard on Printed Board Design*, Association Connecting Electronics Industries (IPC), 2012.
13. SriTu Hobby. How to Make a Voice-Controlled Room Light with ESP32 DEVKIT V1 and Bluetooth | Step-by-Step Guide. URL: <https://srituhobby.com/how-to-make-a-voice-controlled-room-light-with-esp32-devkit-v1-and-bluetooth-step-by-step-guide/>
14. Voice-Controlled Home Light ESP32 Switch Bot. URL: <https://hackaday.io/project/191975-voice-controlled-home-light-esp32-switch-bot>
15. ESP32-Powered Voice-Controlled LED Lighting System. URL: <https://docs.circuitdesigner.com/project/published/45f6bd9f-f4a7-433a-829a-11c9077dae5b/esp32-powered-voice-controlled-led-lighting-system>

					PE12.464419.001 ПЗ	Лис
						50
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

16. Espressif Systems. Voice-Controlled Relay with ESP32 and ESP8266. URL: <https://www.espressif.com/en/news/voice-controlled-relay-esp32-and-esp8266>
17. Wijethilaka, P.S.V. Voice Controlled Lighting System [BEng Honors Project]. University of Hertfordshire, Sri Lanka Telecom Training Centre - Welisara, 2018. URL: https://www.researchgate.net/publication/359190460_VOICE_CONTROLLED_LIGHTING_SYSTEM
18. [Без автора]. Voice Controlled Wireless Lighting System. Academia.edu, 2018. URL: https://www.academia.edu/102799879/Voice_Controlled_Wireless_Lighting_System

					<i>PE12.464419.001 ПЗ</i>	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		51

Додаток А

```
String input = "";          // Буфер для зчитаної команди
const int LED_PIN = 18;    // GPIO14 керує світлодіодом через симістор

void setup() {
  Serial.begin(38400);      // Ініціалізуємо UART (апаратний)
  pinMode(LED_PIN, OUTPUT); // GPIO12 як вихід
  digitalWrite(LED_PIN, LOW); // Початково світлодіод вимкнено
}

void loop() {
  while (Serial.available()) {
    char c = Serial.read();
    if (c == '\n') {        // Якщо кінець команди
      input.trim();        // Видалити зайві пробіли
      if (input == "on") {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH); // Вмикаємо
      } else if (input == "off") {
        digitalWrite(LED_PIN, LOW); // Вимикаємо
      }
      input = "";          // Очистити буфер
    } else {
      input += c;
    }
  }
}
```

					PE12.464419.001 ПЗ	Лис
						52
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток Б

СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА

					PE12.464419.001 E3			
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Система дистанційного голосового керування світлом	Літ.	Лист	Листів
Розробив	Єфремов						1	
Перевірів	Лемеха							
Н. Контр.						PE-12, РТФ		