

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

Приладобудівний факультет

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Надія БУРАУ

«__» _____ 2025 р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології та
системи навігації і керування»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Модуль та програмне забезпечення для керування елементами
освітлення»

Виконав :

студент IV курсу, групи ПГ-11

Задорожний Владислав Олександрович _____

Керівник:

к.т.н., ас.

Рупіч Сергій Сергійович _____

Рецензент:

Доцент, к.т.н., доцент

Барандич Катерина Сергіївна _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2025

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Приладобудівний факультет

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма - Комп'ютерно - інтегровані системи та технології в приладобудуванні

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Надія БУРАУ

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Задорожному Владиславу Олександровичу

1. Тема роботи «Модуль та програмне забезпечення для керування елементами освітлення», керівник роботи Рупіч Сергій Сергійович, к.т.н., асистент, затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом роботи 9 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: реалізувати модуль керування елементами освітлення у вигляді прототипу на програмованій платі; розробити принципову електричну схему модуля; розробити корпус для кріплення елементної бази прототипу; розроблений модуль має бути програмований та містити можливість бездротового зв'язку; розробити програмне забезпечення для підключення до модулю та реалізувати можливість дистанційного керування.

4. Зміст роботи: огляд та аналіз актуальності проблеми; принципова електрична схема та корпус для закріплення елементної бази; фізичний прототип модулю керування з можливістю бездротового з'єднання; програмне забезпечення для дистанційного налаштування та підключення; опис функціональності та особливості системи.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо):
принципова електрична схема, 3D модель, презентація.

6. Консультанти розділів проекту*

	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 7 лютого 2025 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд стану проблеми	30.04.2025 р.	
2.	Розробка принципової електричної схеми	15.05.2025 р.	
3.	Розробка корпусу та фізичного прототипу	15.05.2025 р.	
4.	Розробка програмного забезпечення	22.05.2025 р.	
5.	Опис функціональності та особливостей системи	29.05.2025 р.	
6.	Оформлення пояснювальної записки. Підготовка до захисту	09.06.2025 р.	

Студент

Владислав ЗАДОРЖНИЙ

Керівник

Сергій РУПЧ

АНОТАЦІЯ

У ході даної дипломної роботи було проведено огляд елементів освітлення, технічних засобів керування та технологій бездротового зв'язку. Визначено їх переваги та недоліки.

Створено прототип модуля керування освітлювальними елементами на основі мікроконтролера Arduino Nano. Спроековано друковану плату та корпус приладу. Розроблено програмне забезпечення мікроконтролера та мобільного додатку. Аргументовано вибір елементної бази.

Виконані креслення з деталюванням елементів корпусу, розроблено 3D модель приладу, побудовано електричну принципову та структурні схеми модуля.

Пояснювальна записка складає 70 сторінку та містить 44 рисунки, 6 таблиць.

ABSTRACT

In this thesis, a review of lighting elements, control devices, and wireless communication technologies was conducted. Their advantages and disadvantages were identified.

A prototype of a lighting control module based on the Arduino Nano microcontroller was created. A printed circuit board and the device housing were designed. Software for the microcontroller and a mobile application were developed. The choice of components was justified.

Drawings with detailed views of the housing elements were created, a 3D model of the device was developed, and the electrical schematic and block diagrams of the module were constructed.

The thesis is performed on 70 pages and includes 44 figures and 6 tables.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1	10
1.1 Існуючі типи освітлювальних елементів.....	10
1.1.1 Лампи розжарювання	11
1.1.2 Газорозрядні лампи	12
1.1.3 RGB світлодіоди	13
1.1.4 Адресні світлодіоди.....	17
1.2 Технічні засоби та системи керування освітленням.....	19
1.2.1 Димери	20
1.2.2 Розумні реле.....	21
1.2.3 Технологія розумного будинку та освітлення	22
1.3 Технології бездротового зв'язку.....	23
1.3.1 Технології Wi-Fi	24
1.3.2 Технології Bluetooth та Bluetooth LE	25
1.3.3 Технологія ZigBee.....	27
РОЗДІЛ 2	29
2.1 Вимоги до прототипу	29
2.2 Розробка структурної схеми приладу.....	30
2.3 Вибір елементної бази пристрою.....	31
2.3.1 Вибір мікроконтролера.....	31
2.3.2 Вибір освітлювальних елементів	33
2.3.3 Вибір модуля бездротового зв'язку	38
2.3.4 Вибір акселерометра.....	39
2.3.5 Вибір кнопки.....	40
2.4 Проектування модуля керування.....	41
2.4.1 Розробка електричної схеми	41

	7
2.4.2 Розробка корпусу приладу	43
2.5 Розробка програмного забезпечення	45
2.5.1 Розробка програмного забезпечення мікроконтролера	45
2.5.2 Розробка програмного забезпечення додатку	50
2.6 Висновки до розділу 2.....	54
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	56
ДОДАТОК А	61
ДОДАТОК Б.....	69

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

LED – світлодіод

IoT – Інтернет речей

RGB – колірна схема, за якої будь-який колір створюється змішуванням трьох кольорів (червоного, зеленого, синього)

САПР – система автоматизованого проектування

Wi-Fi – технологія бездротового зв'язку

SMD – пристрій поверхневого монтажу

ШИМ – широтно імпульсна модуляція

BLE – підвид технології бездротового зв'язку Bluetooth з низьким рівнем споживання енергії

ІВМ – інерціально вимірювальний модуль

ВСТУП

Різкий стрибок у розвитку цифрових технологій на початку поточного століття став причиною впровадження та інтеграції цифрових технологій у промислову сферу. Це дозволило створювати гнучкі виробничі системи, автоматизовані виробництва та так звані розумні фабрики, що характеризуються високою автоматизацією, гнучкістю, застосуванням технологій обміну та обробки даних. Характерним також є інтеграція концепції інтернету речей, а саме взаємодії приладів між собою за допомогою мережі [1].

Одним із напрямом, де інтернет речей має ключове значення, є технології розумних будинків. В таких системах управління освітленням є однією з найбільш популярних функцій. Контроль освітлювальних елементів часто є нетривіальним технологічним процесом, що контролюється системами, побудованих на основі концепції Індустрії 4.0.

Системи освітлення широко застосовуються у побутовій, промисловій, приладобудівній та інших галузях. Розвиток та доступність світлодіодних освітлювальних елементів, які можуть контролюватися за допомогою мікроконтролерів, дозволяє цим елементам виконувати не лише функцію освітлення, а і мати інші цільові практичні застосування. Тому розробка доступного модуля керування такими системами з можливістю дистанційного керування є актуальною задачею.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ

1.1 Існуючі типи освітлювальних елементів

На сьогоднішній день існує велика кількість типів освітлювальних елементів. Вони можуть бути класифіковані за принципом дії, енергоефективністю, світловою віддачею, тощо.

Відповідно до принципу перетворення енергії у випромінювання у видимому діапазоні, сучасні освітлювальні елементи за принципом дії поділяють на наступні групи: теплові, розрядні та світлодіодні [2].

У теплових джерелах світла процес утворення видимого випромінювання пов'язаний із нагріванням тіл до високих температур. Це відбувається внаслідок проходження електричного струму через провідник, який під впливом струму нагрівається до температур, які забезпечують випромінювання.

На відміну від теплових, у розрядних освітлювальних елементах світлове випромінювання виникає не внаслідок нагрівання, а завдяки електричному розряду між двома електродами, що занурені в газове середовище або пари металів. Під час такого розряду атоми та молекули газу збуджуються і випромінюють світло при поверненні до свого основного енергетичного стану.

Принцип роботи світлодіодів ґрунтується на фізичному явищі, що відбувається в напівпровідникових матеріалах під впливом електричного струму. Завдяки такому принципу дії світлодіоди забезпечують високу ефективність світловіддачі, надійність та економне енергоспоживання [3 – 5].

1.1.1 Лампи розжарювання

Лампи розжарювання – це освітлювальний прилад в якому світло випромінюється внаслідок нагрівання провідника, через який проходить електричний струм [4]. Даний провідник зазвичай називають нитка розжарювання (рис. 1). У більшості сучасних ламп використовують нитки виготовлені з вольфраму, адже даний метал має достатньо високу температуру плавлення (3422°C) та найнижчу швидкість випаровування. Нитка знаходиться в герметичній скляній колбі, що заповнена інертним газом, аби запобігти окисненню вольфрамової нитки, та сповільнити випаровування вольфраму [4]. Світлова віддача в середньому становить 10-20 лм/Вт. На рис. 1 [4] наведено будову лампи розжарювання, яка складається з нитки розжарювання, колби, контактів.



Рис. 1. Будова лампи розжарювання

Проста конструкція та низька ціна забезпечили достатньо широку нішу ринку для даного освітлювального приладу. До переваг можна віднести вже зазначену простоту конструкції, низьку ціну, відсутність потреби у зовнішньому регулювальному обладнанні, широку номенклатуру робочих напруг. Проте недоліків у такого приладу також немало: малий термін служби (до 2000 годин), крихкість, нагрівання елементів

лампи, низька ефективність перетворення енергії у світло, що зумовлена головним принципом роботи таких ламп (нагрів провідника).

Ще одним підвидом лампи розжарювання є галогенна лампа. Головною відмінністю від стандартної лампи є наявність буферного газу, закачаного в колбу. Під час нагріву провідника атоми вольфраму випаровуються, проте вступають в реакцію з оточуючим газом (Бром або йод), що запобігає осіданню атомів вольфраму на колбі. Внаслідок високих температур сполуки газу та вольфраму вивільняються біля нитки, повертаючись на тіло розжарювання. Даний ефект продовжує термін служби порівняно зі звичайними лампами і забезпечує кращу світлову віддачу на рівні 20 – 40 лм/Вт. Дані лампи знайшли широке застосування в автомобілебудуванні та часто використовуються як пряма заміна класичним лампам накаливання [6].

Прилади, в яких використовуються такі освітлювальні елементи, найкраще підходять для освітлення місць, які вимагають високого рівня яскравості [7].

1.1.2 Газорозрядні лампи

Іншим важливим типом освітлювальних приладів є газорозрядні лампи. Базовий принцип дії полягає у електричному розряді в іонізованому газі або парах металів – атоми або молекули газу збуджуються внаслідок зіткнення з електронами, внаслідок чого випромінюється світло (люмінесценція). Це світло може бути як у видимому спектрі, так і в ультрафіолетовому або інфрачервоному [8].

Традиційна конструкція передбачає, що струм збудження, який проходить через газ, подається за допомогою двох електродів, що розташовані на протилежних кінцях трубки, в яку закачано газ (рис. 2). При використанні постійного струму один електрод виступає анодом (збирає електрони), а інший – катодом (той що випускає електрони в газ). При роботі від змінного струму електроди виконують раніше згадані функції по чергові. Деякі конструкції газорозрядних ламп передбачають наявність третього, пускового електроду для запалювання. Ще один вид виконання передбачає відсутність електродів як таких. Енергія передається, наприклад, за допомогою

радіочастотного поля або мікрохвильового випромінення. Дані рішення значно більш комплексні та складні у порівнянні з електродною схемою, проте перевагою є відсутність зносу електродів, що, в свою чергу, значно подовжує термін служби таких ламп. На рис. 2 [8] зображено загальну будову газорозрядної лампи з двома електродами, скляного корпусу та газу, закачаного всередину.



Рис. 2. Загальна будова газорозрядної лампи

Існує велика кількість різновидів газорозрядних ламп, що класифікується за використанням газом, наявністю електродів, тиском всередині лампи, режимом роботи [9]. Незважаючи на тривалий термін роботи та високу світлову віддачу (170-200 Лм/Вт для ртутних ламп), газорозрядні джерела світла мають ряд вад. До них належать: мерехтіння світла, лінійчастий спектр випромінення, вища ціна порівняно з класичними лампами розжарювання, необхідність застосування пускорегулювальної апаратури. Через використання парів ртуті, при пошкодженні лампи, дані шкідливі пари потрапляють в навколишнє середовище [10].

1.1.3 RGB світлодіоди

В 1907 році Генрі Раунд повідомив про випадок випромінення світла з напівпровідникового матеріалу під час проведення експерименту, суть якого полягала у проведенні струму через карбід кремнію, внаслідок чого було отримане слабе жовте світло. Проте дане відкриття було досить швидко забуте та не отримало необхідної уваги аж до 1962 року, коли Нік Голоняк та його помічники виготовили перший світлодіод, що випромінює світло у видимому спектрі. Через 6 років було

виготовлено перший комерційний червоний світлодіод, який мав світлову віддачу 0.001 Лм. В 1972 році було представлено перший жовтий діод та червоний діод з віддачею 1 Лм [11].

Наступним важливим кроком було створення синього світлодіоду, яке б дозволило створювати білі світлодіоди, що використовуються для енергоощадливого освітлення. Крім того, маючи світлодіоди трьох різних кольорів, це б дозволило отримувати світло будь-якого кольору (*RGB*). В 2014 році група японських вчених отримала Нобелівську премію з фізики за винайдення ефективного синього світлодіоду на базі індій-галій-нітриду [12].

На рис. 3 [13] показано світлодіоди різних форм, розмірів та виконань.



Рис. 3. Світлодіоди різних форм та виконань

Фізичні основи принципу дії світлодіода полягають у інжекції електронів, яка відбувається при протіканні струму. Рекомбінація інжекттованих електронів супроводжується їхнім переходом на нижчий енергетичний рівень. Оскільки після рекомбінації електрон має зайву енергію, він переходить на стаціонарну орбіту з нижчим енергетичним рівнем, випромінюючи квант світла – фотон. На рис. 4 [14] показано схему функціонування світлодіоду за даним принципом.

Довжина хвилі випромінюваного світла, а отже й його колір, залежить від ширини забороненої зони матеріалів, які формують *p-n* перехід. У діодах на основі кремнію або германію електрони та "дірки" рекомбінують шляхом безвипромінювального переходу, що не створює оптичного випромінювання, оскільки це матеріали з

непрямою забороненою зоною. Матеріали, що використовуються для світлодіодів, мають пряму заборонену зону з енергіями, що відповідають ближньому інфрачервоному, видимому або ближньому ультрафіолетовому світлу.

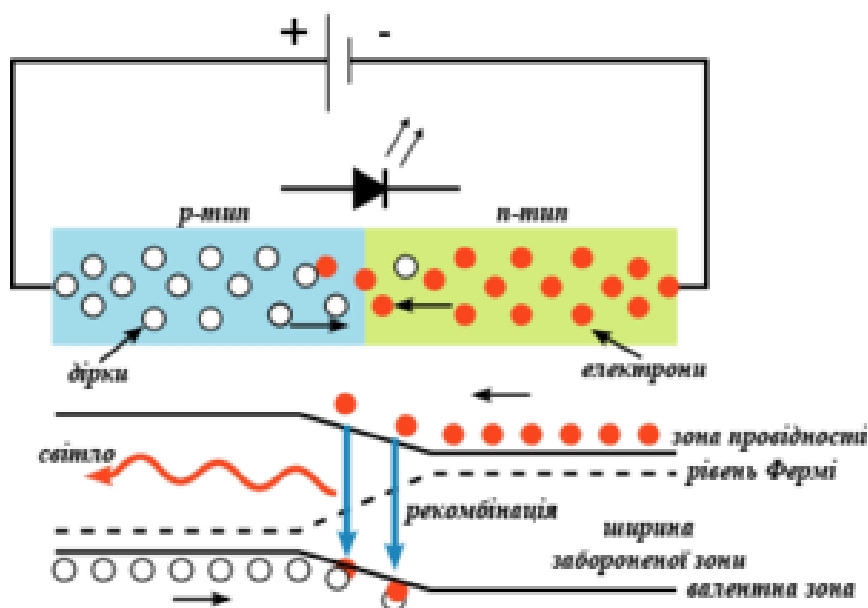


Рис. 4. Схема роботи світлодіода

Для створення білого світлодіода можна використати декілька підходів [11, 15]. Перший підхід полягає у використанні трьох окремих світлодіодів, що випромінюють червоний, зелений та синій кольори з подальшим їх змішуванням трьох кольорів. Оскільки цей механізм вимагає складного електро-оптичного проектування для керування змішуванням і розсіюванням різних кольорів, цей підхід рідко використовується для масового виробництва білих світлодіодів у промисловості. Проте зазначений метод особливо цікавий для багатьох дослідників і науковців завдяки гнучкості у змішуванні різних кольорів, оскільки такий механізм також має вищу квантову ефективність у створенні білого світла.

Багатокольорові світлодіоди дозволяють не лише отримувати біле світло. За допомогою поєднання декількох кольорів різної інтенсивності можна отримати досить широкий спектр. Загалом, всі кольори видимого спектра можуть бути отримані шляхом змішування різної кількості трьох основних (синього, червоного та зеленого), що також дозволяє досягти точного динамічного керування кольором.

Останнім часом провідні технологічні компанії прикладають все більше зусиль аби покращити вже існуючі методи виготовлення багатокольорових світлодіодів [2, 12].

Більшу популярність отримав наступний підхід. Він полягає у покритті синього світлодіода, виготовленого на основі *InGaN* люмінофору, іншого кольору для отримання білого світла. Залежно від кольору вихідного світлодіода, можуть використовуватись покриття різних кольорів. Нанесення кількох шарів різних відтінків дозволяє ефективно підвищити індекс передачі кольору світлодіода. Оскільки цей метод створення білих світлодіодів активно використовує відповідне покриття, такі світлодіоди називають білими світлодіодами на основі люмінофору. Попри те, що вони легші у виробництві, ніж світлодіоди з декількох кольорів, вищезазначені світлодіоди мають нижчу квантову ефективність і ряд проблем, що пов'язані з деградацією люмінофорного покриття. На рис. 5 [16] показано білий світлодіод виготовлений за допомогою вищезгаданого методу у форматі *SMD*.

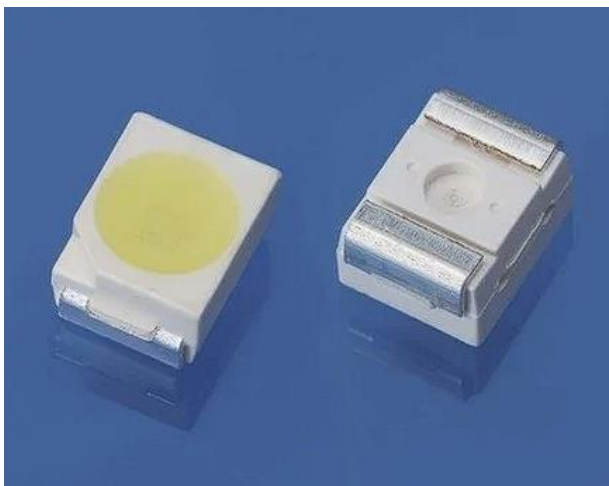


Рис. 5. Білий світлодіод у форм-факторі *SMD*

Хоча механізм дії білих світлодіодів на основі люмінофору є відносно простішим, вони досягають фундаментального обмеження через неминучі енергетичні втрати за Стоксом — втрати, що виникають при перетворенні фотонів короткої довжини хвилі у фотони довшої довжини хвилі [11]. Попри всі недоліки, даний метод виготовлення має низьку ціну, через що він широко розповсюджений. Майже всі високоінтенсивні білі світлодіоди виготовлені за допомогою цієї технології.

Білі світлодіоди на основі люмінофору є оптимальним рішенням для створення білого світла високої інтенсивності. Завдяки своєму спрощеному механізму цей тип світлодіодів зайняв достатньо велику нішу на ринку освітлювальних приладів для всіх сфер застосування, починаючи від побутового освітлення, закінчуючи автомобільною оптикою.

Однак найбільшим викликом для білих світлодіодів на основі люмінофору залишається подолання, здавалося б, неминучих енергетичних втрат за Стоксом. Цю проблему можна вирішити, удосконаливши конструкцію корпусу або замінивши люмінофор на більш придатний тип. Патентована технологія компанії Lumileds з нанесення рівномірного покриття вирішує проблему неоднорідної товщини люмінофору, що забезпечує більш стабільний спектр білого світла в світлодіодах [11].

1.1.4 Адресні світлодіоди

З розвитком мікроконтролерної техніки з'явилися адресні світлодіоди. Відмінність таких світлодіодів від звичайних *RGB* полягає у можливості незалежного керування кожним світлодіодом за допомогою послідовності цифрових сигналів, завдяки наявності контролера для кожного окремо. Такий принцип керування дозволяє отримувати матриці світлодіодів, де кожен діод може набувати необхідної яскравості, кольору, вмикатись та вимикатись відповідно до заданого алгоритму.

Енергоефективність, можливість отримання різних кольорів, маленькі розміри зумовлюють широке використання адресних світлодіодних елементів в побутовому освітленні, у різноманітних медичних датчиках та сенсорах, іншому медичному обладнанні, у автомобільній промисловості, а саме у так званій «матричній оптиці». Адресні ультрафіолетові світлодіоди є основою фотополімерних принтерів, де вони виконують функцію опромінення фотополімерів, що призводить до їх затвердіння. Мікро-світлодіоди застосовуються у надзвичайно маленьких екранах. Наприклад, екрани різноманітних пристроїв також побудовані на основі вищезгаданих елементів [11, 13, 17, 18].

Вважається, що з розвитком мікро-світлодіодних екранів, такі дисплеї зможуть замінити рідкокристалічні екрани, завдяки своїй стабільності та енергоефективності, але лише за умови досягнення достатньо малих розмірів світлодіода [18]. На рис. 6 [17] наведено два шляхи виготовлення мікро-світлодіодних екранів.

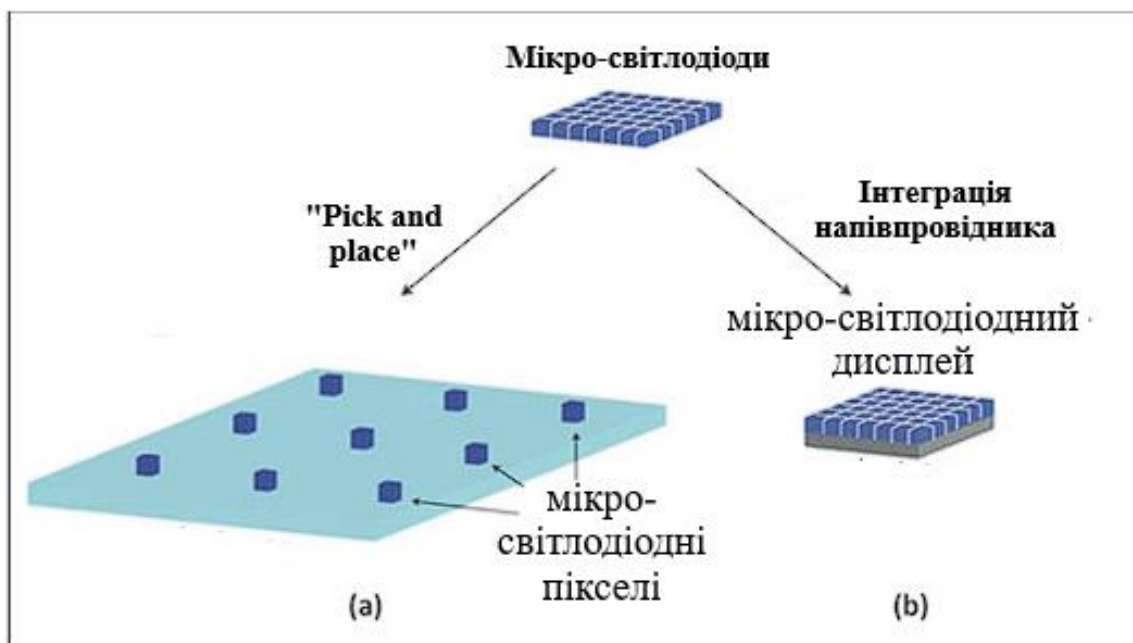


Рис. 6. Два підходи до виготовлення мікро-світлодіодних дисплеїв: а) “*pick-and-place*” підхід; б) підхід з інтеграцією напівпровідника

На сьогоднішній день тривають розробки та дослідження технологій виготовлення адресних світлодіодів малих розмірів, які в подальшому можуть застосовуватись для виготовлення мікро-світлодіодних дисплеїв. На рис. 7 [19] показано приклад такого дисплею. Такі дисплеї використовують виняткову яскравість світлодіодів, розподіляючи створені фотони на більшу площу, ніж та, яку займають самі мікро-світлодіоди. Це досягається або просторовим розміщенням світлодіодних елементів, або оптичним розсіюванням світла [17].

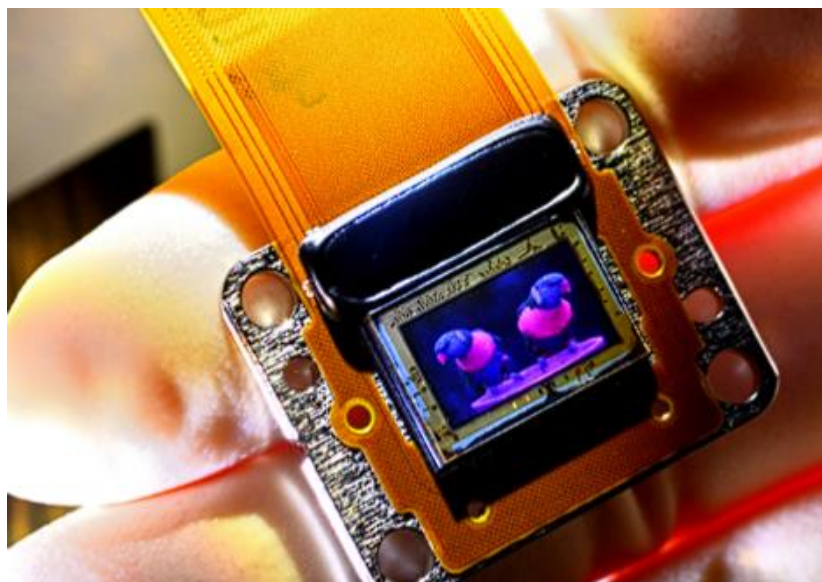


Рис. 7. Мікро-світлодіодний дисплей

Сфера застосування світлодіодних елементів є надзвичайно широкою, та включає як сферу побутового освітлення, організації освітлення промислових об'єктів, так і використання в різноманітних сенсорах, біомедичній сфері, екранах різноманітних приладів. Через свою енергоефективність, малі розміри та високу міцність, дані освітлювальні елементи поступово замінюють традиційні джерела штучного освітлення, такі як лампи розжарювання та газорозрядні лампи.

1.2 Технічні засоби та системи керування освітленням

Різнноманітні системи та модулі керування освітлювальними елементами дозволяють не лише збільшити комфорт від експлуатації відповідних систем, але і допомагають підвищити ефективність налаштування освітлення, регулювання яскравості в залежності від часу доби, автоматизації процесу включення/виключення і т.д. Ефективне керування процесами світлопостачання забезпечує не лише фінансову доцільність, а й збільшує ресурс експлуатації елементів системи.

Мікроконтролери часто виступають у ролі основи таких систем керування, адже вони надають можливість отримувати необхідну інформацію з мережі датчиків, опрацьовувати її, передавати відповідні команди на актуатори, реле тощо. Зазвичай

зв'язок між датчиками та мікроконтролером передбачається та здійснюється за допомогою прямого з'єднання по дроту чи кабелю між елементами. Проте, на сьогоднішній день, відповідно до парадигми індустрії 4.0 та сучасним технологічним можливостям, дуже широко використовується канал бездротового зв'язку, особливо в системах розумний будинок (*Smart House*) та інтернету речей (*Internet of Things, IoT*).

Розглянемо технології керування освітлювальними елементами, а також датчики та прилади, які застосовуються для цього.

1.2.1 Димери

Димер – пристрій, що регулює яскравість освітлення [20]. Більшість димерів на ринку є механічними, тобто потребують фізичного контакту для регулювання яскравості. Дані пристрої також можуть регулювати яскравість світлодіодних елементів за допомогою широтно імпульсної модуляції. Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) – процес керування середнім значенням вихідної напруги шляхом зміни скважності вихідного сигналу ШІМ контролера. За допомогою частого ввімкнення та вимкнення світлодіодних елементів освітлення для людського ока здається, що світлодіод став світити менш яскраво. Зменшуючи скважність сигналу, а, відповідно, збільшуючи час, коли світлодіод вимкнений, створюється ефект зниження яскравості. На рис. 8 [21] наведено димер, що використовується для регулювання яскравості світлодіодних елементів за допомогою ШІМ.

У випадку якщо димер керує аналоговим приладом, він просто знижує напругу, що призводить до зменшення яскравості у освітлювальних елементів. Зазвичай такі прилади виконуються у вигляді регулятора, який встановлюється безпосередньо на провід живлення освітлення.



Рис. 8. Світлодіодний димер/ШІМ регулятор

1.2.2 Розумні реле

Ще одним популярним рішенням для керування освітленням є розумні реле. Такі прилади є важливою складовою концепції розумного будинку, адже дозволяють керувати живленням віддалено. Фактично більшість розумних реле є вимикачами з керуванням за допомогою бездротової передачі даних. Такі пристрої містять в собі мікроконтролер та модуль бездротового зв'язку (зазвичай *Wi-Fi* модуль). Приклад виконання даного приладу наведено на рис. 9 [22].



Рис. 9. *Wi-Fi* реле

Необхідність дистанційного керування зумовлює наявність спеціального програмного забезпечення, яке дозволяє вмикати та вимикати реле віддалено. На сьогодні більшість додатків для контролю вищезгаданих пристроїв є мобільними, та мають обмежений функціонал: передача команд по *Wi-Fi*, ввімкнення/вимкнення реле згідно зазначеного користувачем часу.

1.2.3 Технологія розумного будинку та освітлення

Різкий стрибок у розвитку цифрових технологій на початку поточного століття став причиною впровадження та інтеграції цифрових технологій у промислову сферу. Це дозволило створювати гнучкі виробничі системи, автоматизовані виробництва та так звані розумні фабрики, що характеризуються високою автоматизацією, гнучкістю, застосуванням технологій обміну та обробки даних. Характерним також є інтеграція концепції інтернету речей, а саме взаємодії приладів між собою за допомогою мережі [1].

Одним із напрямків, де інтернет речей має ключове значення, є технології розумних будинків. Це будинки, де більшість побутових приладів об'єднані мережею та можуть керуватись дистанційно. Така система робить комфортнішим проживання в домі, дозволяє контролювати певні процеси віддалено. Побутові прилади, в тому числі і освітлювальні елементи об'єднанні в домашню мережу [23].

Система розумного будинку забезпечує контроль наступних процесів: опалення, освітлення, безпека та інше. Для забезпечення контролю в системі наявні відповідні датчики та актуатори. Датчики отримують інформацію про стан системи, наприклад датчик температури, та передають цю інформацію на контролер. Мікроконтролер обробляє отриману інформацію та формує команди для актуаторів, що здійснюють керуючий вплив на відповідний параметр [24].

В таких системах управління освітленням є однією з найбільш популярних функцій. Контроль освітлювальних елементів часто є нетривіальним технологічним процесом, що контролюється системами, побудованих на основі концепції

Індустрії 4.0. Використання адресних світлодіодів дозволяє керувати яскравістю, режимом освітлення за допомогою мікроконтролеру. При цьому забезпечується високий рівень енергоефективності.

Центром такої системи є контролер – мікропроцесорний пристрій, що обробляє інформацію з датчиків та виконує управління під'єднаними приладами згідно алгоритму. Варто відзначити, що певні освітлювальні прилади можуть мати свої власні мікроконтролери для забезпечення функцій віддаленого управління.

Керування освітлювальними пристроями може відбуватися як і за рахунок вищеписаних приладів (розумного реле), так і напряду з мікроконтролера за допомогою технологій бездротового зв'язку. На рис. 10 [25] показано приклад виконання системи керування освітлювальними елементами за допомогою додатку.



Рис. 10. Приклад керування освітлення за допомогою додатку

1.3 Технології бездротового зв'язку

Бездротова передача даних – спосіб передачі інформації між двома або більше об'єктами, які знаходяться на відстані, не потребуючи при цьому фізичного підключення. Технології бездротової передачі даних зазвичай класифікують за

відстанню можливої комунікації. Схема класифікації технологій бездротового зв'язку наведена на рис. 11 [26].

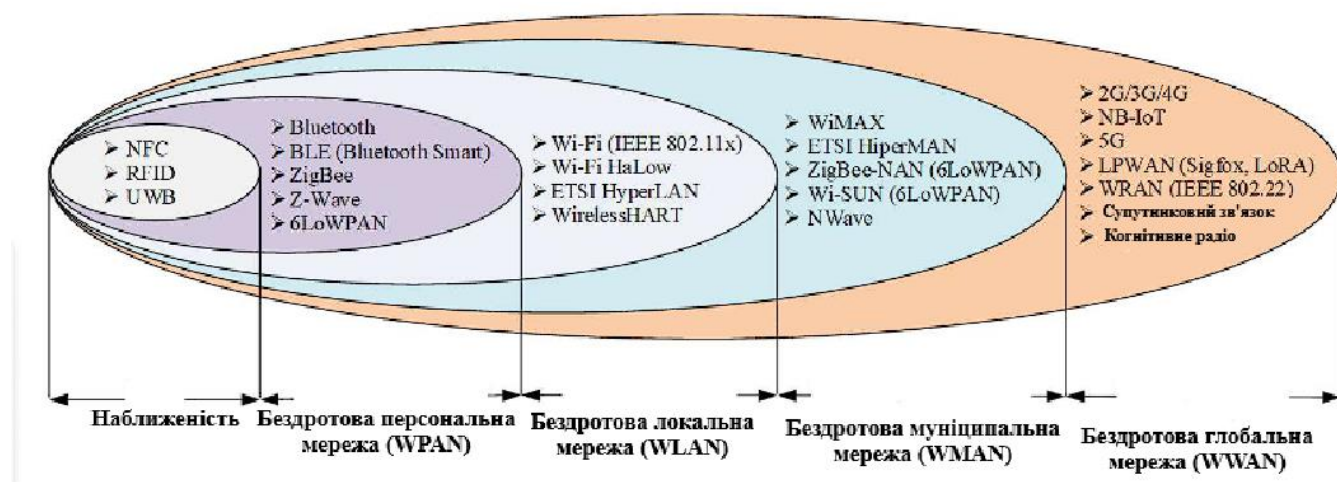


Рис. 11. Технології бездротового зв'язку

Для керування системами освітлення доцільно використовувати *PAN* (*private area network*) та *LAN* (*local area network*), беручи до уваги відстань роботи даних протоколів передачі даних.

1.3.1 Технології Wi-Fi

Інститут інженерів з електротехніки та електроніки (*IEEE*) визначає серію стандартів 802.11 для локальних бездротових мереж – *WLAN* (бездротова локальна мережа), які споживачам відомі під терміном *Wi-Fi*. Ці мережі були створені для використання смуг радіочастот, котрі визначаються кожним стандартом, наприклад частота початкової версії протоколу – 2.4 ГГц. З часу створення даного стандарту відбулось багато модифікацій даного стандарту. Серед недоліків даної технології є її високе енергоспоживання, що варто враховувати при проектуванні пристроїв з високою необхідною автономністю [27].

Стандарт бездротового зв'язку *Wi-Fi* призначений для використання на середні та короткі відстані передавання даних (до кількох сотень метрів), але точні відстані не

можуть бути визначені, оскільки вони залежать від багатьох факторів: варіацій у стандартах, відстані між пристроями, атмосферних умов, оптичної видимості між антенами, якості апаратного забезпечення тощо.

Варто відзначити, що сучасний стандарт *802.11ax*, має поліпшення, що дозволяють більш енергоефективно працювати з пристроями та датчиками. Стандарт *802.11ah* – малопотужний, великої дальності дії, створений спеціально для застосування в мережах *Internet of things* [28]. На рис. 12 [29] приведено таблицю з актуальними стандартами технології *Wi-Fi*.

Wi-Fi	Частоти	Швидкість передачі	Дальність
IEEE 802.11a	5GHz	6M–54 Mbps	120m
IEEE 802.11b	2.4GHz	1M–11 Mbps	140m
IEEE 802.11g	2.4GHz	6M–54 Mbps	140m
IEEE 802.11n	2.4/5GHz	288M–600 Mbps	250m
IEEE 802.11p	5.9GHz	3M-27 Mbps	1km
IEEE 802.11ac	5GHz	346M–3.466 Gbps	70m
IEEE 802.11ad	60GHz	Up to 6.7Gbps	1-10m
IEEE 802.11ah	900MHz	Up to 347Mbps	1km
IEEE 802.11aj	45/60GHz	-	1km
IEEE 802.11ax	2.4/5GHz	Up to 10.53Gbps	70-240m
IEEE 802.11ay	60GHz	Up to 20Gbps	100m
IEEE 802.11az	60GHz	-	-

Рис. 12. Таблиця стандартів *IEEE 802.11*

1.3.2 Технології Bluetooth та Bluetooth LE

Технологія бездротового зв'язку *Bluetooth* — це глобальний стандарт для бездротової технології передачі даних на короткі відстані, що характеризується низьким енергоспоживанням, низькою вартістю та компактним форм-фактором. Обмін даними відбувається за допомогою радіозв'язку на частоті 2.4ГГц, з потужністю 2.5мВт, що обумовлює низьку відстань передачі. Спочатку ця технологія

була розроблена як заміна кабелю, головним чином для заміни послідовних кабелів, що з'єднують різні пристрої. З роками сфери застосування Bluetooth розширилися до обміну файлами між ПК, мобільними телефонами, прослуховування музики, друку документів, перегляду вебсторінок, телефонних дзвінків через Bluetooth-гарнітури та багато іншого [30].

Стандарт *Bluetooth Low Energy (BLE)* – підверсія технології *Bluetooth*, яка створена для енергоощадної комунікації між пристроями. Через надзвичайно низький рівень споживання енергії, та порівняно низьку частоту комунікацій, ця технологія є ідеальним вибором для проектування систем з високою автономністю [29]. На рис. 13 [31] показано модуль *Bluetooth 4.0 BLE* побудований на основі чіпа *CC2541*.



Рис. 13. Модуль *Bluetooth 4.0* на *CC2541* (HM-10)

Ще однією перевагою даної технології є абсолютна сумісність з вже наявним апаратним забезпеченням та інфраструктурою, що дозволяє легко додавати *BLE* до вже існуючого пристрою шляхом заміни відповідного чіпа [30].

1.3.3 Технологія ZigBee

Технологія бездротового зв'язку *ZigBee* базується на стандарті *IEEE 802.15.4*, що визначає фізичний рівень й рівень управління доступом для бездротових мереж з низьким рівнем потужності сигналу. Типова відстань роботи технології не перевищує 100 метрів, частоти – 2.4 ГГц або 868/915 МГц. Варто відзначити високу швидкість передачі даних – від 20 до 200 Кб/с [28].

Специфікація *ZigBee* містить можливість вибору алгоритму маршрутизації в залежності від вимог програми та стану мережі, механізм стандартизації додатків, а також забезпечує простоту розгортання, обслуговування та модернізації, що підвищує стійкість до відмов та надійність. Крім того існують не лише модулі зв'язку, але і координатори та маршрутизатори, що дозволяють організовувати мережу. Дана особливість робить цю технологію оптимальним вибором, якщо необхідно вибудувати власну мережу для комунікації. На рис. 14 [32] показано координатор технології ZigBee 3.0.



Рис. 14. USB координатор *ZigBee 3.0*

В роботах [26, 28, 33, 34] проведено аналіз зазначених бездротових технологій. У табл. 1 наведено їх порівняльну характеристику.

Таблиця 1. Порівняння характеристик технологій бездротової передачі

Технологія	Стандарт <i>IEEE</i>	Радіус дії	Швидкість передачі даних	Частоти, ГГц	Енергоспоживання
<i>Bluetooth LE</i>	802.15.1	<10м	2-2.5 Мбіт/с	2.4	Низьке
<i>WiFi</i>	802.11*	<100м	50* Мбіт/с	2.4	Високе
<i>ZigBee</i>	802.15.4	<10м	0.02-0.2 Мбіт/с	2.4	Низьке

Можна зазначити, що різноманіття бездротових технологій передачі даних дозволяє обрати оптимальний варіант відповідно до потреб, масштабу та вимог будь-якого проекту у сфері керування освітленням.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МОДУЛЮ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

2.1 Вимоги до прототипу

З популяризацією світлодіодних елементів, в тому числі адресних, постає актуальна задача у ефективному та доступному контролю системи освітлення. Сучасні тенденції розвитку технологій надають можливість достатньо легко впроваджувати та широко застосовувати функції віддаленого керування за допомогою додатка для смартфона.

Запропонований прототип модуля керування являє собою прилад, який здатний керувати освітлювальними елементами, в тому числі підтримує керування з телефону за допомогою спеціального додатка. Вимоги до прототипу модуля встановлюються наступні:

1. Можливість вибору режиму освітлення в додатку. Керування здійснюється за допомогою технологій бездротового зв'язку, яка забезпечуватиме відстань зв'язку до 10 метрів.
2. Модуль має забезпечувати можливість вибору режиму роботи освітлювальних елементів за допомогою кнопки, перемикача тощо. Перемикач має бути встановленим безпосередньо на приладі.
3. Має забезпечуватись функція плавного регулювання яскравості освітлення.
4. Корпус пристрою має бути ергономічним, забезпечувати надійне з'єднання елементів приладу.
5. Складові пристрою мають бути доступні за ціною, забезпечувати надійну реалізацію покладених на них функцій.

2.2 Розробка структурної схеми приладу

Запропонований прототип складається з мікроконтролера, модуля бездротового зв'язку, кнопки, акселерометра (для реалізації регулювання яскравості), освітлювальних елементів, елементів живлення. Відповідно до даного переліку компонентів складено структурну схему майбутнього модуля, що наведена на рис. 15.



Рис. 15. Структурна схема модуля керування освітлювальними елементами

Запропонована схема забезпечує виконання поставлених вимог та передбачає наступний алгоритм функціонування пристрою: мікроконтролер подає керуючі сигнали на освітлювальні елементи. За допомогою бездротового зв'язку або кнопки можливо обирати режим освітлення. Зміна яскравості відбувається за допомогою вбудованого акселерометра. При створенні вібраційних коливань пристрою поступово збільшується яскравість. Після досягнення максимального рівня відбувається його зниження до початкового. Елементи живлення забезпечують живлення всіх складових пристрою.

2.3 Вибір елементної бази пристрою

При виборі компонентів приладу необхідно дотримуватись наступних вимог: доступна ціна елементів пристрою, можливість їх поєднання в одному пристрої, малі розміри та можливість забезпечити виконання функціональних вимог, визначених на попередніх стадіях проектування модуля керування.

2.3.1 Вибір мікроконтролера

Головним елементом пристрою є мікроконтролер, на основі якого буде побудовано модуль керування. Тому важливим етапом вибору елементної бази є підбір моделі мікроконтролера, оскільки за його технічними можливостями визначається, здебільшого, функціональність всієї системи. Необхідний мікроконтролер має забезпечувати керування освітлювальними елементами, бути простим у використанні, мати компактні розміри.

Наразі існує велика кількість мікроконтролерів різних характеристик. Найпопулярнішими мікроконтролерами для проектів, що не потребують високих обчислювальних потужностей, є платформа *Arduino*.

Платформа *Arduino* – платформа з відкритим вихідним кодом, призначена для створення проектів та прототипів [35]. Для мікроконтролерів *Arduino* використовується просте у застосуванні апаратне та програмне забезпечення, завдяки чому вони часто застосовуються в проектах різної складності, починаючи від реалізації простого керування світлодіодом до складних робототехнічних систем.

Важливою перевагою *Arduino* є широка популярність даної платформи. Це зумовлює наявність великої кількості інформації, посібників та користувацьких бібліотек для роботи з різними пристроями, що значно спрощує процес створення прототипу на базі *Arduino* [35].

Іншим поширеним сімейством мікроконтролерів є *STM32*, побудованих на архітектурі *ARM*-сімейства мікропроцесорів *Cortex-M*. Продуктивність даних

пристроїв є значно вищою, якщо порівнювати їх з платформою *Arduino*. Проте і процес створення програмного забезпечення та, в цілому, використання даних мікроконтролерів є більш комплексним у порівнянні з *Arduino*, що зумовлює їх меншу популярність для прототипування пристроїв. Попри складність у використанні, *STM32* пропонує пристрої з малим енергоспоживанням та високою продуктивністю [36].

Беручи до уваги інформацію про мікроконтролери, наведену у статтях [38 - 46], складено їх порівняльну характеристику, яку наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Порівняльна характеристика мікроконтролерів

Х-ка	<i>Arduino Uno R3</i>	<i>Arduino Nano 3.0</i>	<i>Arduino Mega 2560</i>	<i>Arduino Leonardo</i>	<i>STM32 Nucleo-32</i>	<i>STM32 Discovery</i>	<i>STM32 BlackPill</i>
Робоча напруга	5В	5В	5В	5В	7-12, 3В, або 5В	3 або 5В	1.7 – 3.6В
Цифрові піни	14	14	54	20	14	37	33 GPIO
Аналогові піни	6	8	16	12	8	18	10
Флеш-пам'ять	32 КБ	16 КБ	256 КБ	32 КБ	16 КБ	64 КБ	512 КБ
Тактова частота	16 МГц	16 МГц	16 МГц	16 МГц	48 МГц	72 МГц	100 МГц

Відповідно до вимог було обрано мікроконтролер *Atmega328*, а саме плату *Arduino Nano*, показану на рис. 17 [37]. Дана плата вирізняється компактними розмірами, відсутністю окремого роз'єму живлення. Залежно від версії плати може оснащуватись

мікроконтролерами *Atmel ATmega168* або *ATmega328*, з 16 або 32 КБ *FLASH*-пам'яті відповідно. Присутній роз'єм *Mini-USB* для завантаження прошивки та живлення від комп'ютера. Перевагою є наявність 8 аналогових пінів [37]. Завдяки малим розмірам дана плата часто застосовується у проектах, які мають обмеження по розмірах, проте вимагають достатніх обчислювальних потужностей. Платформа *Arduino* забезпечує простий процес створення програмного забезпечення мікроконтролеру. До даної плати можливо підключити модуль бездротового зв'язку. Малі розміри плати роблять можливим проектування модуля керування компактних розмірів.

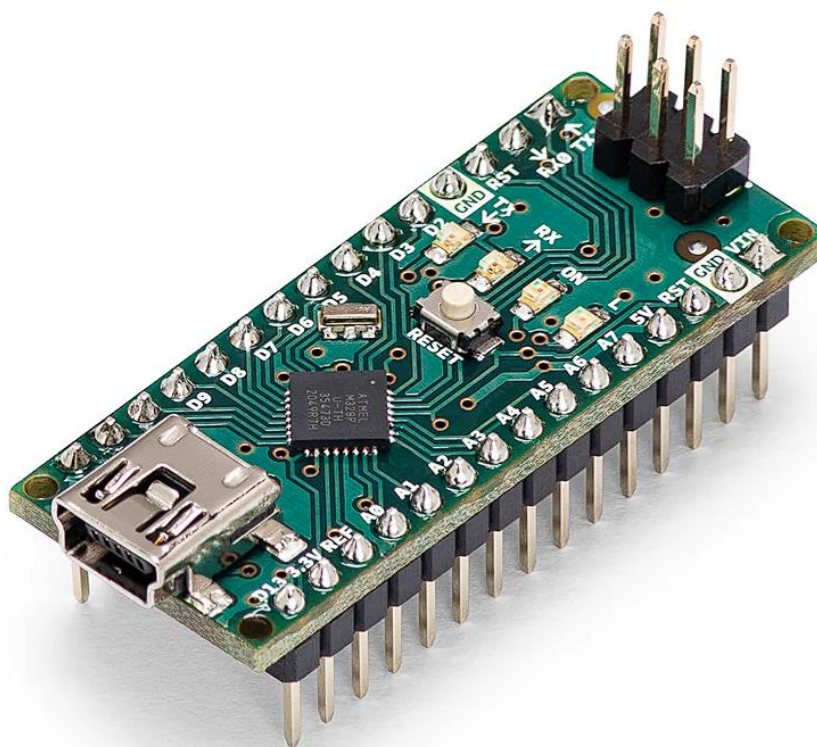


Рис. 17. Плата *Arduino Nano*

2.3.2 Вибір освітлювальних елементів

В якості освітлювальних елементів було обрано адресні світлодіоди. Такі елементи мають високу енергоефективність. Крім того, за допомогою

мікроконтролера можна керувати кожним світлодіодом окремо, що дозволяє реалізовувати різні режими освітлення.

Наразі існує велика кількість адресних світлодіодних елементів, які можна умовно поділити на елементи з вбудованим або зовнішнім контролером, за колірною схемою, робочою напругою, протоколом керування. На сьогоднішній день в керованих елементах освітлення використовується два основних протокола: *DMX512* та *SPI*. Перевагою стандарта *DMX512* є те, що це міжнародний стандарт зв'язку. Відповідно, різні контролери працюють на одному протоколі, що підвищує взаємозамінність таких модулів [38]. Протокол *SPI* забезпечує просте сполучення мікроконтролерів та периферійного обладнання, дозволяючи застосовувати високошвидкісний обмін даними. Ці переваги сприяли розповсюдженню даного протокола зв'язку [39].

Найбільш популярним адресним світлодіодним елементом є *WS2812b*. Контролер та діод виконані в одному корпусі. Підтримується колірна схема *RGB*, що забезпечує отримання необхідного кольору. Дані елементи доступні як у одиничних варіантах, так і у форматах матриць та стрічок [40].

Принцип керування декількома адресними елементами полягає у наступному: мікроконтролер передає команду, яка складається з 8 бітів для трьох кольорів, сумарно – 24 біти на кожен світлодіод. На рис. 24 [40] показано умовне зображення команди для адресного світлодіода *WS2812b*.

Структура 24-бітної команди



Рис. 24. Умовне зображення 24 бітної команди для світлодіода WS2812b

Перший світлодіод приймає команду для усіх елементів та передає цю ж команду далі, проте без послідовності, яка застосовується для нього. Так повторюється до того моменту, поки вся команда не буде застосована. На рис. 25 [41] показано вхідний сигнал для двох світлодіодів.

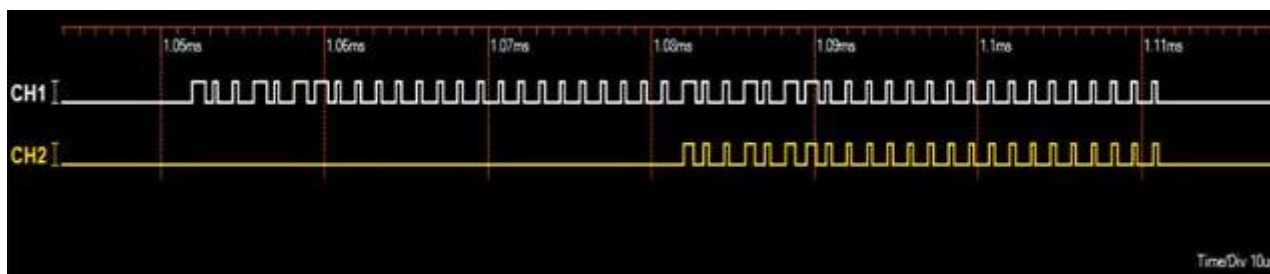


Рис. 25. Керуючий сигнал для першого (*CH1*) та другого (*CH2*) світлодіодів

Команда складається з 48 бітів, по 24 біти на кожен елемент. В даному випадку для обох елементів команда означає зелений колір. Після проходження першого елемента, керуюча послідовність передається далі, але без перших 24 бітів. В результаті два світлодіоди горять зеленим кольором. Результат виконання вищеписаної команди показано на рис. 26 [41].



Рис. 26. Два світлодіоди *WS2812b* після отримання керуючої послідовності, показаної на рис. 25

Типова послідовність включення кількох адресних світлодіодів наведена на рис. 27 [40].

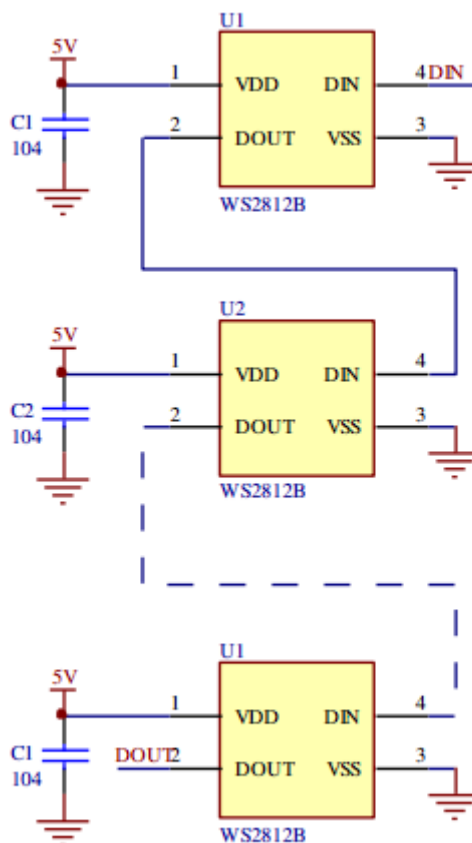


Рис. 27. Схема послідовного підключення декількох елементів *WS2812b*

Іншим доступним адресним світлодіодом є *WS2811*. Фактично, *WS2811* – це контролер, який може керувати *RGB* світлодіодом. Головною відмінністю даного елементу є зовнішній контролер, який може контролювати до 6 світлодіодних елементів. Важливою перевагою даного контролера є підтримка живлення від 5, 12, 24В. Структура команд є ідентичною структурі для *WS2812b* та являє собою 8 біт для кожного кольору. Принцип керування є подібним вищеописаному, та схематично зображений на рис. 28 [42].

Найбільш поширені формати даного адресного світлодіодного елементу це світлодіодні стрічки, які зазвичай застосовуються для побутового освітлення. Такі стрічки відрізняються кількістю світлодіодів на метр, ступенем захисту від вологи та пилу.

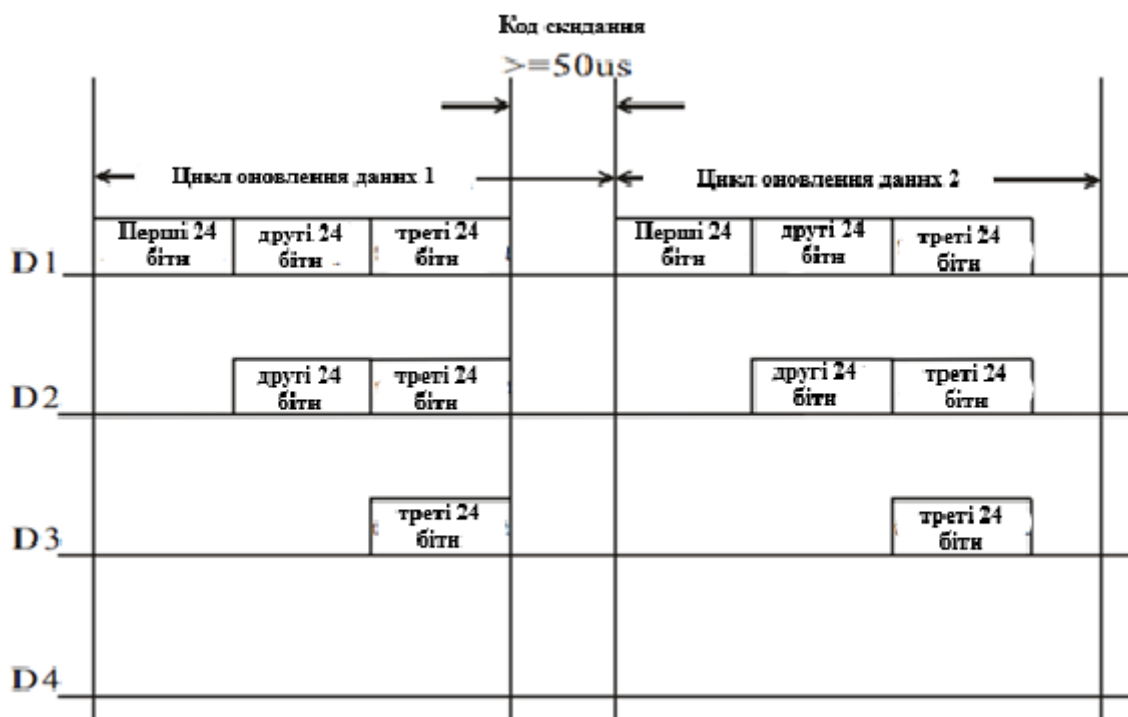


Рис. 28. Принцип передачі команд між декількома елементами *WS2811*

На основі даних, наведених у працях [40, 42], зроблено порівняльну характеристику вищезгаданих елементів освітлення, наведену у табл. 3:

Таблиця 3. Порівняльна характеристика елементів освітлення

Назва	Колірна схема	Напруга живлення	Тип контролеру	Форм-фактори
<i>WS2812b</i>	<i>RGB</i>	5 В	Вбудований	<i>SMD</i> , стрічка, матриця
<i>WS2811</i>	<i>RGB</i>	5, 12, 24 В	Зовнішній	стрічка

Для прототипу модуля керування обрано адресні світлодіоди *WS2812b* у форматі матриці розмірами 16 на 16 (256 світлодіодів).

2.3.3 Вибір модуля бездротового зв'язку

Для виконання можливості віддаленого керування необхідно обрати модуль бездротової передачі даних. Згідно до вимог необхідна дистанція керування складає до 10 метрів. Для виконання поставлених завдань підходить технологія бездротового зв'язку Bluetooth.

Базуючись на технічній документації [43, 44], проведено порівняння характеристик модулів *HC-06* та *HM10*. У табл. 5 наведено їх порівняльну характеристику.

Таблиця 4. Порівняльна характеристика модулів Bluetooth

Модуль	<i>HC-06</i>	<i>HM10</i>
Стандарт <i>Bluetooth</i>	2.0	BLE 4.0
Режим роботи	<i>Slave</i>	<i>Master/Slave</i>
Живлення	3.3 В	3.3 В
Інтерфейси зв'язку	<i>USB (1.1, 2.0), UART</i>	<i>UART, I2C, SPI, GPIO</i>
Відстань зв'язку	< 20 м	< 10 м

Аналізуючи наведену вище таблицю, було прийнято рішення використовувати модуль *HM10*, адже він забезпечує швидку, енергоефективну передачу даних на відстанях, що надають можливість забезпечити виконання поставлених вимог до реалізації модуля керування. Варто відзначити, що модуль *HM10* сумісний з пристроями, що працюють на базі ОС *iOS*, що є додатковою перевагою. Зовнішній вигляд модуля *HM10* показано на рис. 29 [45].



Рис. 29. Модуль *Bluetooth 4.0. HM10*

2.3.4 Вибір акселерометра

Регулювання яскравості відбувається при створенні вібраційних коливань. Для реєстрації таких коливань необхідно додати в систему акселерометр. Більшість акселерометрів, доступних для придбання, є частинами інерціально вимірювальних модулів (ІВМ), до складу яких також входять гіроскоп, та в певних випадках магнітометр (*MPU-9250*). Виходячи з необхідного функціоналу було обрано аналоговий тривісний акселерометр *ADXL335*, який показано на рис. 30 [46].

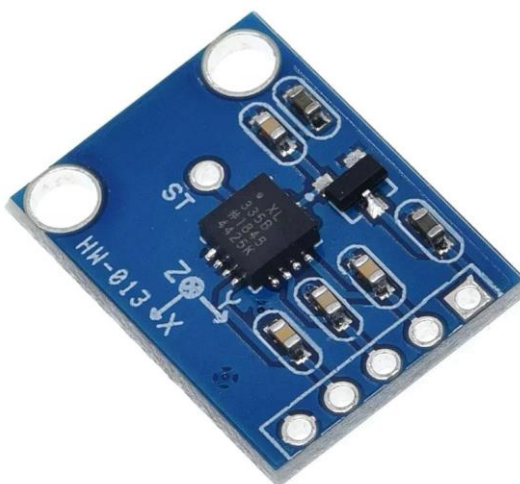


Рис. 30. Мікромеханічний акселерометр *ADXL335*

Перевагами даного пристрою є компактні розміри, достатні характеристики для реєстрації коливань (табл. 6), простота обробки аналогових вихідних сигналів за допомогою мікроконтролеру, сумісність з раніше обраною платою *Arduino Nano* [47].

Таблиця 5. Характеристики акселерометра *ADXL335*

Максимальне ударне навантаження	10000 g
Струм споживання	350 мкА
Живлення	1.8 – 3.6 В
Кількість осей чутливості	3
Вихідний сигнал	аналоговий

2.3.5 Вибір кнопки

Для зручності використання передбачається встановлення фізичної кнопки, яка дозволяє обирати режим освітлення. Було обрано сенсорну кнопку на базі мікросхеми *TTP223*. Даний датчик дозволяє зчитувати дотик через перешкоди, такі як скло чи пластик, на відстані до 3 мм. Вихідний сигнал кнопки є цифровим, що полегшує його подальшу обробку засобами мікроконтролерної техніки. Можливе налаштування чутливості датчика з допомогою додаткових ємностей, які встановлюються за допомогою пайки. Діапазон напруги живлення широкий: від 2 до 5.5 В [48]. На рис. 31 [49] показано зовнішній вигляд сенсорної ємнісної кнопки *TTP223*.

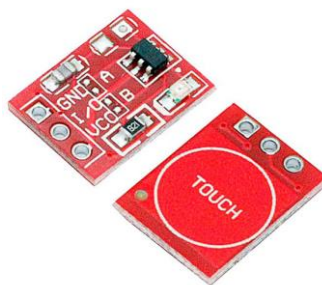


Рис. 31. Сенсорна кнопка *TTP223*

2.4 Проектування модуля керування

Після вибору компонентів необхідно об'єднати всі елементи прототипу згідно раніше зазначеної структурної схеми. Крім того необхідно розробити корпус, який забезпечуватиме надійну та ергономічну конструкцію модуля.

2.4.1 Розробка електричної схеми

Першим кроком проектування є перехід від структурної схеми, до електричної принципової схеми. На основі проведеного вибору компонентів в середовищі автоматизованого проектування *Altium designer* створено електричну схему майбутнього прототипа (рис. 32). На інформаційному вході світлодіодної матриці встановлено струмообмежуючий резистор *R1* номіналом 220 Ом. Живлення схеми відбувається за допомогою напруги 5В від *USB* кабеля. Передбачається, що мікроконтролер, акселерометр та модуль Bluetooth розміщуватимуться на друкованій платі, а кнопка та світлодіодна матриця підключатимуться за допомогою дрітів.

Наступним кроком є розробка та виготовлення друкованої плати. Система автоматизованого проектування *Altium Designer* має вбудовані можливості створення друкованих плат на основі електричних принципових схем. Плата має бути компактною за розмірами та забезпечувати надійне з'єднання всіх елементів модуля. В результаті було отримано друковану плату, зовнішній вигляд якої наведено на рис. 33.

Після завершення проектування було створено файли, необхідні для виготовлення друкованої плати виробником. Шляхом пайки було змонтовано комплектуючі. Між акселерометром та платою встановлено пінопластовий демпфер, аби захистити прилад від можливих ударів під час коливань. Загальний вигляд готової плати модуля наведено на рис. 34.

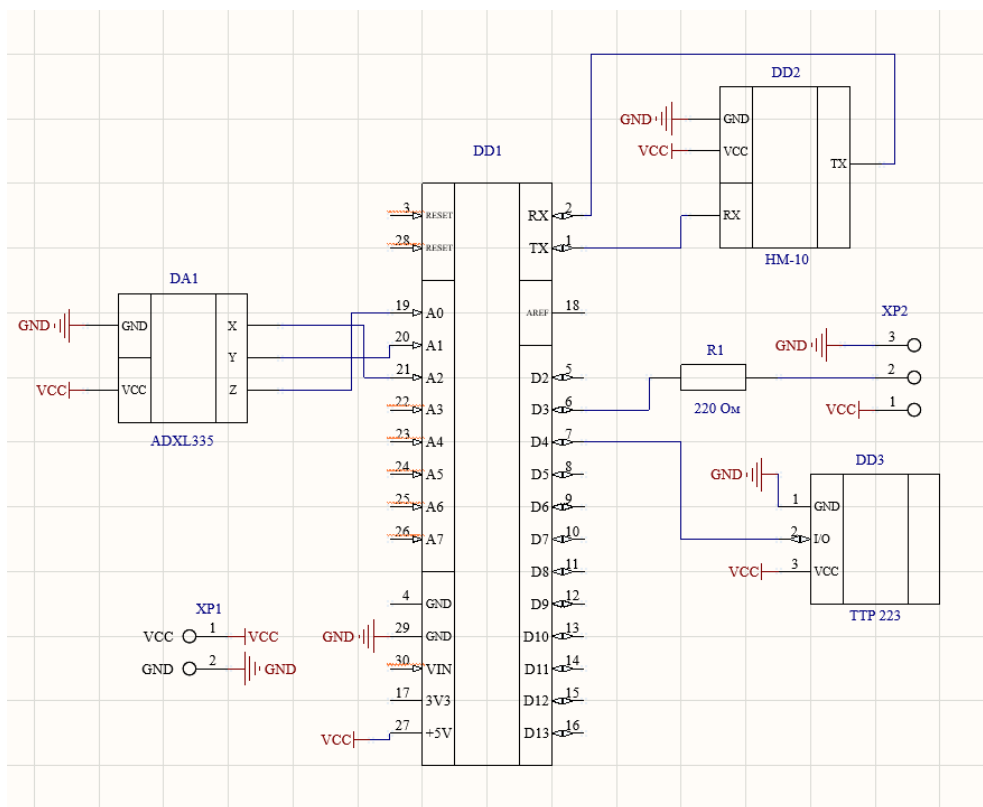


Рис. 32. Електрична принципова схема прототипу модуля керування

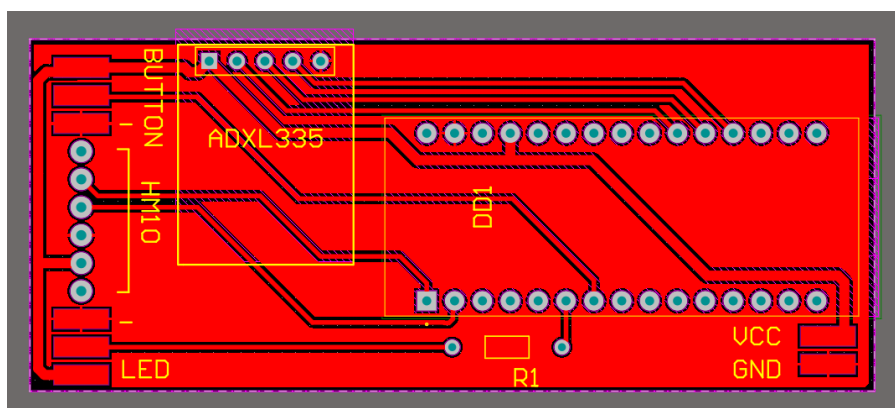


Рис. 33. Друкована плата модуля

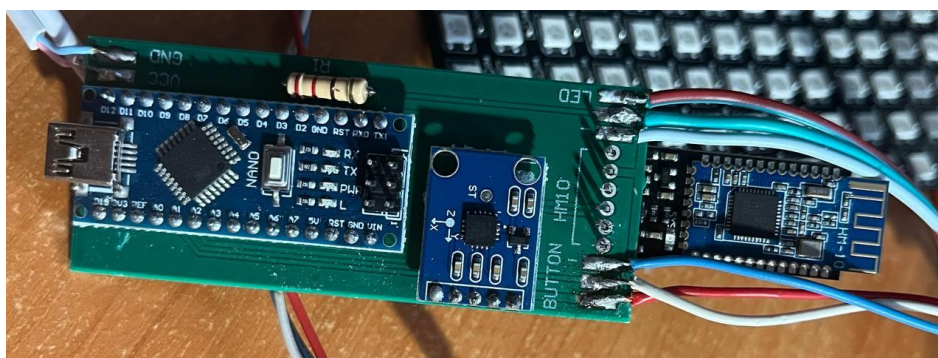


Рис. 34. Плата з закріпленими компонентами модуля

2.4.2 Розробка корпусу приладу

Для виконання корпусу було проведено 3-D моделювання у середовищі автоматизованого проектування *SolidWorks* 2021. Було розроблено моделі складових прототипу та їх збірка, зовнішній вигляд якої показано на рис. 35.

Корпус приладу складається з наступних частин: скляного плафону, дерев'яної основи циліндричної форми, поліпропіленової труби, пластикової кришки, резинового кільця-уцільнювача та тримача плати. Матовий плафон сприяє рівномірному розсіюванню світла від світлодіодної матриці. Плафон встановлюється на дерев'яну основу з уцільнювачем, це дозволяє отримати надійне та роз'ємне кріплення. Зверху в плафон встановлюється пластикова кришка, до якої прикріплено сенсорну кнопку.

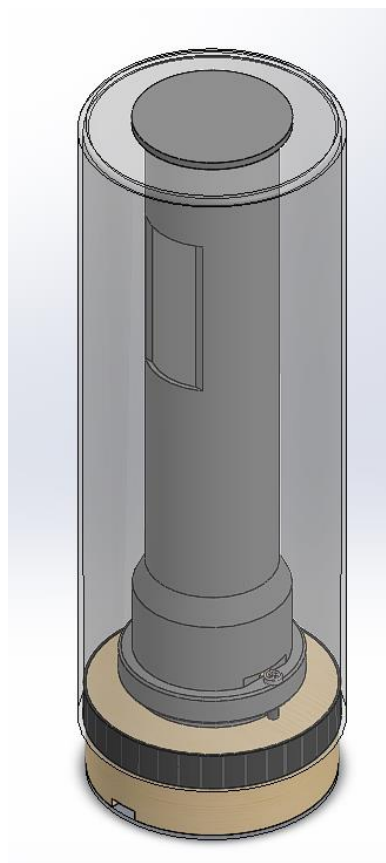


Рис. 35. 3-D модель збірки корпусу прототипу

До основи за допомогою двох шурупів кріпиться поліпропіленова труба, яка додатково утримує плафон на основі. У трубі виконано технічний отвір для з'єднання контролера та світлодіодної стрічки. В отвір дерев'яної основи вставляється тримач з платою, на якій закріплено комплектуючі модуля. Плата вставляється у вертикальні пази. Деталь виконана за допомогою 3-D друку. У тримачі виконано технічний отвір для кабеля живлення та для забезпечення доступу до *USB*-порта мікроконтролера. Зовнішній вигляд показано на рис. 36.

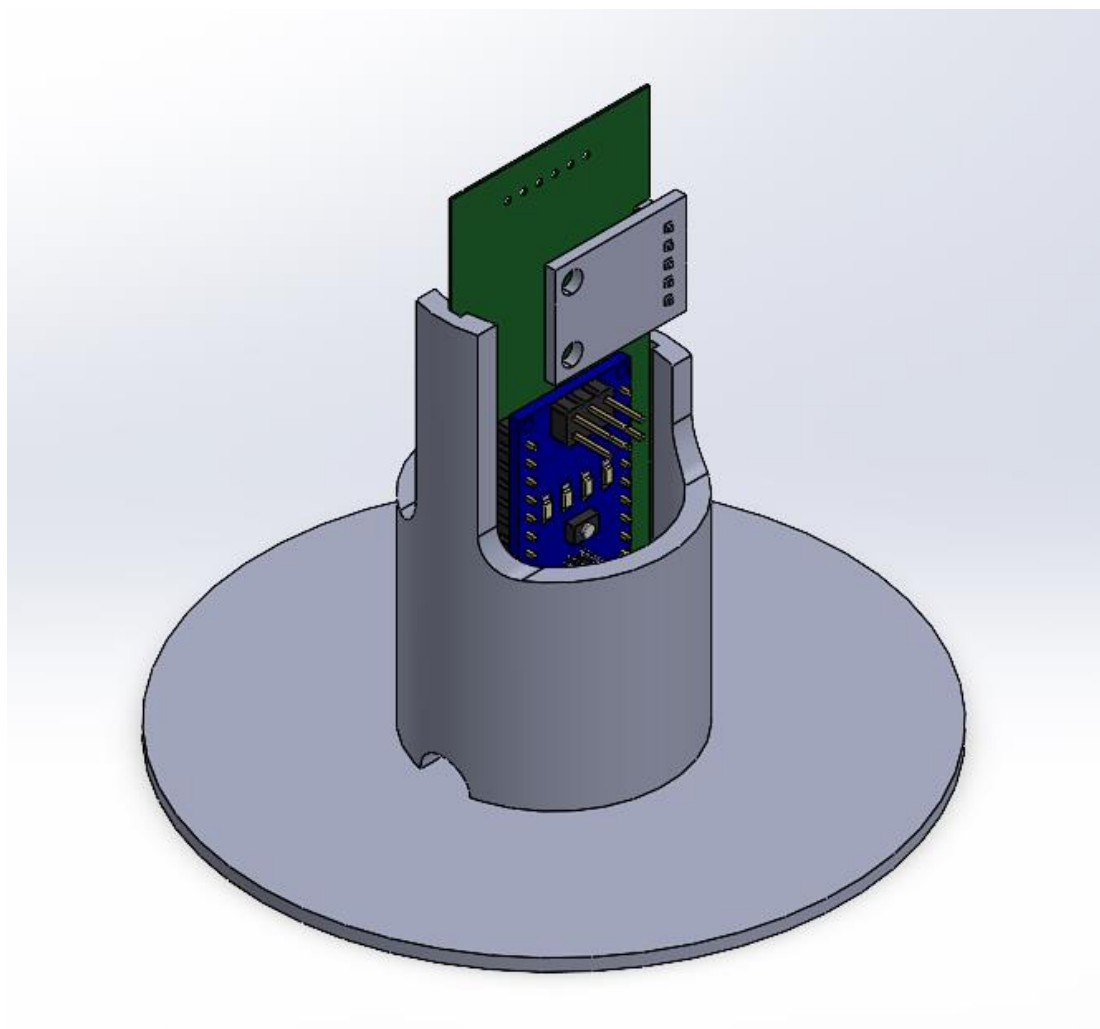


Рис. 36. Тримач плати

Для виготовлення даної деталі було обрано технологію 3-D друку через наступні переваги: можливість виконання деталей та об'єктів будь-яких форм, можливість вибору матеріалу друку згідно поставлених задач.

За потреби, корпус можна легко розібрати, знявши плафон, кришку та витягнувши тримач плати. Це дозволяє проводити обслуговування або ремонт приладу.

2.5 Розробка програмного забезпечення

Розроблене програмне забезпечення мікроконтролера *Arduino Nano* повинне виконувати функції, зазначені у вимогах. Необхідно створити програму для мікроконтролера, яка керуватиме освітлювальними елементами у різних режимах, матиме можливість дистанційної зміни режиму. Також необхідно створити додаток, котрий дозволить користувачу віддалено керувати модулем.

2.5.1 Розробка програмного забезпечення мікроконтролера

Для написання коду програми було використано інтегроване середовище розробки *Arduino IDE*. Середовище містить текстовий редактор для написання коду, область повідомлень, панель інструментів. *Arduino IDE* підключається до апаратного забезпечення *Arduino* для завантаження програм і взаємодії з ним. Програми, написані за допомогою програмного забезпечення *Arduino IDE*, називаються скетчами. Ці скетчі створюються в текстовому редакторі та зберігаються з розширенням файлу *.ino*. Область повідомлень надає зворотний зв'язок під час збереження та експорту, а також відображає помилки. Консоль виводить текстову інформацію від програмного забезпечення *Arduino IDE*, включаючи повні повідомлення про помилки, попередження та іншу інформацію. У нижньому правому куті вікна відображаються обрана плата та послідовний порт, що використовується [50].

Перед створенням програми для мікроконтролера необхідно розробити алгоритм функціонування модуля. Даний алгоритм засновано на зазначеному раніше принципі роботи прототипу, а саме:

1. При ввімкненні живлення вмикається початковий режим освітлення. Натискання на сенсорну кнопку переключає режим освітлення на наступний, а при

довгому натисканні вмикається початковий. Після останнього режиму при натисненні на кнопку вмикається початковий режим.

2. При віддаленому керуванні можливо обирати режим освітлення за допомогою додатку. Функціонал додатку має наступні режими роботи – вибір пристрою для підключення та безпосередньо вибір режиму освітлення.

3. Зміна яскравості відбувається за допомогою вбудованого акселерометра. При створенні вібраційних коливань пристрою поступово збільшується яскравість. Після досягнення максимального рівня відбувається його зниження до початкового.

Розроблений програмний код забезпечує функціонування модулю згідно вищевказаних вимог.

Для керування адресними світлодіодними елементами застосовується бібліотека *FastLED*. Дана бібліотека є набором ефективних та водночас простих для застосування рішень для адресних світлодіодів. Підтримується широка номенклатура мікроконтролерів, таких як *ESP32*, *Arduino* (більшість плат) та *Raspberry Pi*. Однією з ключових переваг *FastLED* є її висока продуктивність. Бібліотека забезпечує швидке масштабування яскравості без додаткових витрат, високопродуктивну 8-бітну математику для обробки кольорів *RGB* та ефективну підтримку протоколу *SPI*, що дозволяє зберігати ресурси процесора для інших завдань.

FastLED також пропонує зручний інструментарій для роботи з кольорами. Бібліотека підтримує як *RGB*, так і *HSV* колірні схеми, що дозволяє легко створювати плавні переходи та ефекти. Наприклад, можна використовувати об'єкти типу *CHSV* для визначення кольору в *HSV*-просторі, який автоматично конвертується в *RGB* при виведенні на світлодіоди [51].

Завдяки підтримці широкого спектру освітлювальних елементів, а саме: *WS2812*, *WS2811*, *LPD8806*, *Neopixel*, дана бібліотека дозволяє легко налаштовувати програми для керування різними світлодіодами, змінюючи лише невелику частину коду.

Розглянемо основні функції, що застосовуються у програмному коді створеного прототипу.

На рис. 37 показано частину коду для створення масиву розміром, що відповідає заданому числу світлодіодів. Число світлодіодів задається змінною *NUM_LEDS*.

Даний масив в подальшому використовується для зручного звернення до кожного окремого освітлювального елемента.

```
CRGB leds[NUM_LEDS];
```

Рис. 27. Створення масиву адресних світлодіодів

Для ініціалізація світлодіодної матриці використовується код, показаний на рис. 38. Серед параметрів вказується тип освітлювального елемента (*WS2812B*), пін передачі даних (в даному випадку пін позначений змінною *DATA_PIN*), колірна схема. Масив *leds* містить дані про світлодіоди.

```
FastLED.addLeds<WS2812B, DATA_PIN, GRB>(leds, NUM_LEDS);
```

Рис. 38. Код ініціалізації світлодіодної матриці

З метою повторення певної частини коду через рівні проміжки часу застосовується функція, що показана на рис. 39.

```
EVERY_N_MILLISECONDS(5) {
    for (int i = 0; i < NUM_LEDS; i++) {
        color_index[i]++;
    }
}
```

Рис. 39. Приклад застосування функції *EVERY_N_MILLISECONDS*

Фактично дана функція заснована на функції *millis()*, тобто без використання *delay()*, що дозволяє використовувати її у великих проєктах без ризику виникнення проблем з керованістю.

Важливим елементом коду програми є палітри – сукупності декількох кольорів. Існує два типи палітр – градієнтні палітри та палітри на 16 кольорів. Розглянемо

градієнтну палітру, що використовується у одному з режимів освітлення. На рис. 40 показано код, який ініціалізує палітру:

```

DEFINE_GRADIENT_PALETTE (gb_gp) {
    0, 0, 248, 255,
    94, 255, 0, 12,
    183, 43, 17, 187,
    255, 0, 248, 255
}; // палітра градієнту в режимі RGB

```

Рис. 40. Код ініціалізації палітри

В результаті виконання отримуємо 4 кольори, за *RGB* схемою. Перший та останній кольори ідентичні для неперервності циклу зміни кольорів. Перше число відповідає за положення кольору на градієнті, де 0 – початок, а 255 – кінець. Наступні три числа відповідають за колір, за схемою *RGB*. Максимальне значення для кожного кольору – 255.

Під час написання програмного коду було створено 8 режимів освітлення, коротка характеристика яких наведена в табл. 6.

Таблиця 6. Опис режимів освітлення

№ режиму	Назва функції в коді	Візуальний ефект
0	<i>start_mode()</i>	Червона горизонтальна лінія в центрі матриці. Початковий режим
1	<i>change()</i>	Плавна зміна кольору всієї матриці на основі колірної схеми HSV

Продовження таблиці 7

№ режиму	Назва функції в коді	Візуальний ефект
2	<i>ice()</i>	Ефект "льодових іскор": жовто-біле світло що «розповсюджується по всій матриці»
3	<i>gradient()</i>	Градiєнтний перелив кольорів з палітри блакитно-рожевих кольорів
4	<i>gradient_blue()</i>	Випадкове миготіння фіолетово-рожевими кольорами з плавним затуханням
5	<i>wave()</i>	Дві кольорові хвилі (синя й червона), що рухаються від початку до кінця матриці
6	<i>pulse()</i>	Пульсуючий ефект: плавне збільшення яскравості й затухання жовтого кольору
7	<i>runFire()</i>	Ефект "вогню": випадкові шумові вогняні кольори з використанням палітри кольорів, що нагадують полум'я

Зміна яскравості світлодіодної матриці відбувається при створенні вібраційних коливань. Функція реєстрації таких коливань покладена на тривісний акселерометр

ADXL335. Для цього розроблено булеву функцію *isShaken()*. Функція працює наступним чином: опитуються аналогові піни, до яких під'єднано три виходи акселерометра (*X*, *Y*, *Z*) відповідно, визначається зміна вхідного сигналу порівняно з останнім зареєстрованим вхідним сигналом. Якщо ця зміна перевищує контрольну межу – функція повертає істинне значення. Якщо система зареєструвала вібраційне коливання, то яскравість збільшується на фіксовану величину, поки воно не перевищить максимальне значення (255) і яскравість знизиться до мінімального рівня.

Дистанційне керування модулем здійснюється за допомогою модуля *HM10*. Для зв'язку модуля *Bluetooth* з мікроконтролером використовується серійний інтерфейс *UART*. Принцип керування полягає у наступному: *HM10* приймає команди з мобільного додатку, встановленого на смартфоні; ці команди передаються на мікроконтролер через серійний порт; отримані команди оброблюються відповідно до алгоритму роботи програми.

Отримане в результаті розробки програмне забезпечення мікроконтролера забезпечує виконання поставлених вимог та високу продуктивність, завдяки використанню бібліотеки *FastLED*. Повний код програми наведено у додатку А.

2.5.2 Розробка програмного забезпечення додатку

Мобільний додаток розроблено за допомогою платформи *MIT App inventor*. Це безкоштовна онлайн-платформа, створена Массачусетським технологічним інститутом, яка дозволяє легко створювати мобільні додатки для *Android* (та частково *iOS*) без потреби в глибоких знаннях програмування. Замість написання коду, користувачі створюють програму шляхом поєднання блоків, які визначають логіку роботи додатка. Зовнішній вигляд середовища розробки та блоків коду наведено на рис. 41 [52]. Платформа дозволяє швидко створювати додатки, в тому числі і для забезпечення зв'язку за допомогою бездротових технологій.

Дану платформу було обрано через можливість забезпечити додатку необхідний функціонал та простий процес програмування самого додатку.

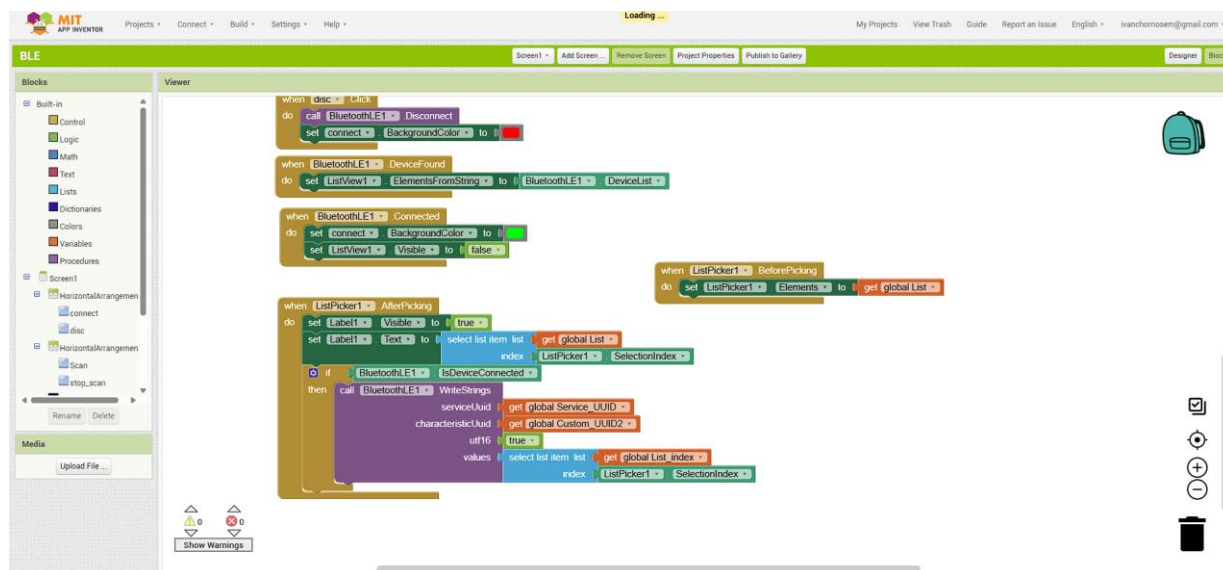


Рис. 41. Зовнішній вигляд середовища *MIT App inventor*

Для роботи з *Bluetooth 4.0* використовується розширення *BluetoothLE*, яке дозволяє створювати мобільні додатки з можливостями комунікації за відповідним стандартом. Розширення додає спеціальні блоки до стандартної бібліотеки. Дані функції дозволяють з'єднуватись з пристроями, передавати та отримувати дані [53].

Розглянемо основні функції, які забезпечують можливість дистанційного керування за допомогою додатку. На рис. 42 показано блоки коду, які при натисканні на кнопку «*Scan*» викликають функцію сканування, тобто пошуку доступних для підключення пристроїв. Крім того, при натисканні стає видимим список доступних пристроїв. Наступний блок відповідає за завершення сканування

Функція підключення спрацьовує після вибору бажаного пристрою зі списку *ListView1* та кліку на кнопку *Connect*. При успішному підключенні дана кнопка змінює колір на зелений та на червоний, у випадку невдалого підключення. Код показано на рис. 43.

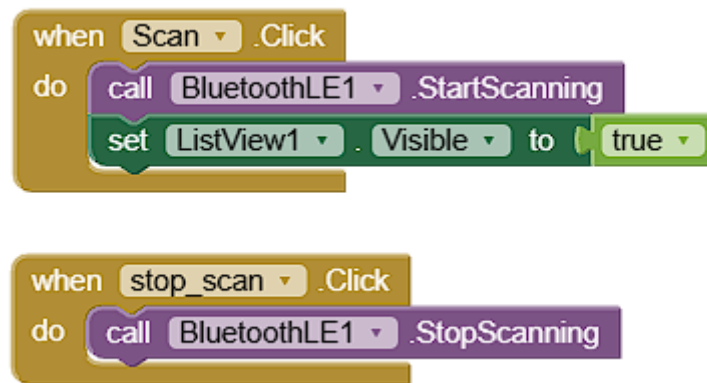


Рис. 42. Блоки початку та завершення сканування

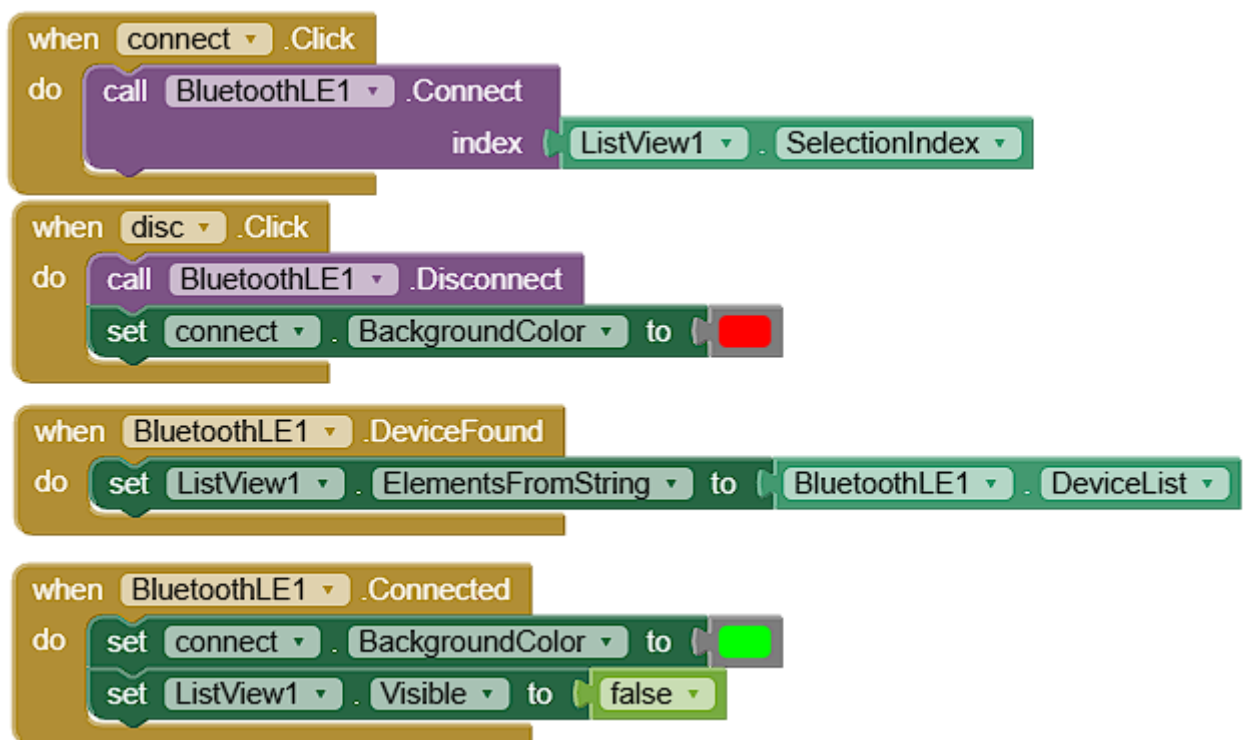


Рис. 43. Код підключення/відключення від пристрою

Після підключення до модуля можливо обрати бажаний режим освітлення. У випадковому списку обирається відповідний режим. Коли користувач обирає елемент з *ListPicker1*, то напис, який відображатиме назву активного режиму, стає видимим. Властивості text цього напису присвоюється значення назви обраного режиму. Якщо підключено Bluetooth пристрій, викликається функція *WriteStrings*, котра відповідає за передачу команд на модуль бездротового зв'язку.

На рис. 44 показано блоки кодів, що відповідають за надсилення команди на модуль.

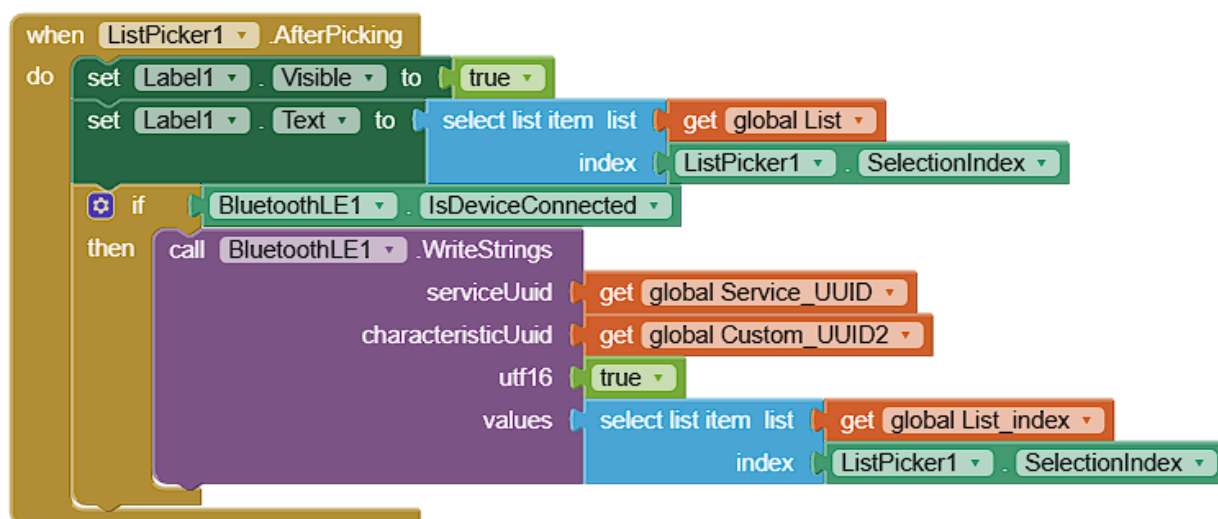


Рис. 44. Блоки кодів передачі команд по Bluetooth

Загальний зовнішній вигляд додатку наведено на рис. 45. На головному екрані містяться кнопки підключення, відключення, початку та кінця сканування. Після початку сканування з'являється список з доступними пристроями. Даний список зникає після успішного підключення. Кнопка *Modes* викликає список всіх доступних режимів, вибір яких призводить до ввімкнення відповідного режиму на модулі керування світлодіодними елементами. Повний код мобільного застосунку наведено в додатку Б.

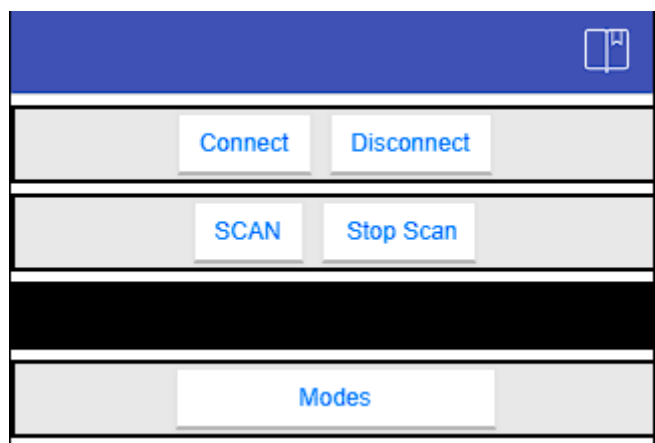


Рис. 45. Зовнішній вигляд додатку

2.6 Висновки до розділу 2

У даному розділі було визначено основні вимоги до створення прототипу модуля керування освітлювальними елементами, а також визначено загальну елементну базу, що складається з мікроконтролерної плати, адресних світлодіодів, модуля *Bluetooth*, акселерометра.

Відповідно до переліку компонентів створено структурну схему модуля керування освітлювальними елементами, з урахуванням поставлених вимог.

Проведено вибір елементної бази. В результаті порівняння двох сімейств мікроконтролерів: *STM32* та *Arduino*, було обрано плату *Arduino Nano* через достатні характеристики, та простий процес створення програмного забезпечення мікроконтролеру. В якості освітлювальних елементів обрано адресні світлодіоди *WS2812b*. Дані елементи підтримують колірну схему *RGB*, керування кожним світлодіодом окремо. Використано модуль бездротового зв'язку *HM10*, адже він забезпечує швидку, енергоефективну передачу даних на відстанях, що надають можливість забезпечити виконання поставлених вимог до реалізації модуля керування.

Розроблено електричну схему прототипу, на основі якої створено друковану плату. Корпус модуля розроблено в середовищі автоматизованого проектування *Solidworks*. Деякі елементи корпусу було виготовлено за допомогою технології 3-D друку.

Створено програмний код мікроконтролера з урахуванням вимог до функціоналу модуля. Створено додаток для віддаленого керування за допомогою сервісу *MIT App Inventor*. Програмне забезпечення дає змогу керувати модулем віддалено, обирати режим освітлення та регулювати яскравість.

ВИСНОВКИ

Метою дипломної роботи було створення модуля та програмного забезпечення керування освітлювальними елементами.

У першому розділі наведено основні відомості про існуючі системи освітлення, їх характеристики та засоби керування. Проведено огляд систем бездротового зв'язку, які можуть використовуватись для виконання поставлених задач.

У другому розділі складено структурну схему прототипу, що забезпечує необхідний функціонал згідно до вимог. Модуль створено на основі мікроконтролерної плати *Arduino Nano* та модуля *Bluetooth HM10*. В якості освітлювальних елементів обрано адресні світлодіоди *WS2812b*. Дана елементна база має достатні характеристики для виконання поставлених задач.

На основі структурної схеми та елементної бази створено електричну принципову схему та виготовлено друковану плату. Розроблено модель корпусу та його складових у системі автоматизованого проектування *SolidWorks*.

Розроблено програмне забезпечення мікроконтролера. Код створено за допомогою середовища розробки *Arduino IDE* та з використанням бібліотеки *FastLED*. Розроблено мобільний додаток для дистанційного керування за допомогою платформи *MIT App Inventor*.

В ході перевірки працездатності встановлено, що функціональність створеного прототипу відповідає всім вимогам. Можливий вибір режиму освітлення, бездротове керування за допомогою мобільного додатку та технології *Bluetooth*, регулювання яскравості при створенні вібраційних коливань.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ghobakhloo M. Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability // J Clean Prod. Elsevier, 2020. Vol. 252. P. 119869.
2. Chu C., Wang L., Xiong H. A review on pavement distress and structural defects detection and quantification technologies using imaging approaches // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). Chang'an University, 2022. Vol. 9, № 2. P. 135–150.
3. Bourget C.M. An Introduction to Light-emitting Diodes // HortScience. American Society for Horticultural Science, 2008. Vol. 43, № 7. P. 1944–1946.
4. Lister G.G., Waymouth J.F. Light Sources // Encyclopedia of Physical Science and Technology. Elsevier, 2003. P. 557–595.
5. Csele Mark. Fundamentals of light sources and lasers. J. Wiley, 2004. P. 344.
6. Thollander P. et al. Energy efficiency in compressed air, ventilation, and lighting // Introduction to Industrial Energy Efficiency. Elsevier, 2020. P. 183–214.
7. Chitnis D. et al. Escalating opportunities in the field of lighting // Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier Ltd, 2016. Vol. 64. P. 727–748.
8. Gaseous Discharge Lamp - Working Principle and Types. URL: <https://www.eeeguide.com/gaseous-discharge-lamp/> (accessed: 15.04.2025).
9. Lister G.G. et al. The physics of discharge lamps // Rev Mod Phys. American Physical Society, 2004. Vol. 76, № 2. P. 541.
10. Paschotta R. Gas Discharge Lamps - an encyclopedia article // RP Photonics Encyclopedia. RP Photonics AG, 2023.
11. Chandra Singh S. BASICS OF LIGHT EMITTING DIODES, CHARACTERIZATIONS AND APPLICATIONS.
12. The Nobel Prize in Physics 2014 - NobelPrize.org. URL: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2014/summary/> (accessed: 15.04.2025).

13. Held G. Introduction to Light Emitting Diode Technology and Applications // Introduction to Light Emitting Diode Technology and Applications. Auerbach Publications, 2016.
14. Світлодіодний індикатор (LED), що випромінює світло при електричному зарядженні, що виробляє електролюмінесценцію - Виставка - Shenzhen Newman Technology Co., Ltd. URL: <https://ua.panasyslcd.com/info/light-emitting-diode-led-emitting-light-whe-20148980.html> (accessed: 15.04.2025).
15. LED for Lighting Applications - Patrick Mottier - Google книги. URL: https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=ITZ0_os71NcC&oi=fnd&pg=PR5&dq=led+&ots=FPZOt7xDRQ&sig=vZZkiLgSqYwwFSLicnbJH2U35VI&redir_esc=y#v=onepage&q=led&f=false (accessed: 14.04.2025).
16. 3528 SMD LED CHIP White, Hb-3528scw00-c1, for Tube Light at ₹ 0.45/piece in Mumbai. URL: <https://www.indiamart.com/proddetail/3528-smd-led-chip-white-7899045373.html> (accessed: 15.04.2025).
17. Lee V.W., Twu N., Kymissis I. Micro-LED Technologies and Applications // Inf Disp (1975). John Wiley & Sons, Ltd, 2016. Vol. 32, № 6. P. 16–23.
18. Lee H.E. et al. Micro Light-Emitting Diodes for Display and Flexible Biomedical Applications // Adv Funct Mater. Wiley-VCH Verlag, 2019. Vol. 29, № 24.
19. 2025: A Key Year For Micro LED Technology's Transition From Concept To Mass Production. URL: <https://www.minimicroled.com/2025-a-key-year-for-micro-led-technologys-transition-from-concept-to-mass-production/> (accessed: 27.05.2025).
20. How Dimmer Switches Work | HowStuffWorks. URL: <https://home.howstuffworks.com/dimmer-switch.htm> (accessed: 27.05.2025).
21. Як працюють світлодіодні димери?. URL: <https://5watt.ua/uk/blog/statti/yak-pracyuyut-svitlodiodni-dimeri> (accessed: 16.04.2025).
22. Wi-Fi реле Sonoff basic R2 RF 433 - HomeSmart — інтернет-магазин. URL: <https://homesmart.com.ua/wi-fi-rele-sonoff-basic-r2-rf-433/> (accessed: 16.04.2025).
23. The smart home: a glossary guide for the perplexed | T3. URL: <https://www.t3.com/features/the-smart-home-guide> (accessed: 16.04.2025).

24. Smart Home: Definition, How It Works, Pros and Cons. URL: <https://www.investopedia.com/terms/s/smart-home.asp> (accessed: 30.04.2025).
25. Розумний будинок - що це? Огляд обладнання “розумного” будинку. URL: <https://www.vodafone.ua/shop/ua/blog/chto-takoe-umnyj-dom-i-pochemu-stoit-sdelat-umnoj-svoju-kvartiru.html> (accessed: 16.04.2025).
26. Čolaković A., Džubur A.H., Karahodža B. Wireless communication technologies for the Internet of Things // Science, Engineering and Technology. “IMS” Vogosca, 2021. Vol. 1, № 1. P. 1–14.
27. IEEE 802.11, The Working Group Setting the Standards for Wireless LANs. URL: <https://www.ieee802.org/11/> (accessed: 16.04.2025).
28. Щербаненко Г.О., Чебанюк О.В. огляд сучасних бездротових технологій передачі даних для «internet of things» та аналіз проблем їх безпеки в контексті використання у системі «розумний будинок».
29. Barrera D., Molloy I., Huang H. Standardizing IoT Network Security Policy Enforcement. Internet Society, 2018.
30. Inside Bluetooth Low Energy, Second Edition - Naresh Kumar Gupta - Google книги. URL: https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=3nCuDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=bluetooth&ots=rNW7vZxflb&sig=17cSITvfVsSVPyjL4BgSUF0OBWc&redir_esc=y#v=onepage&q=bluetooth&f=false (accessed: 14.04.2025).
31. Модуль Bluetooth 4.0 на CC2541 (HM-10) купити в Києві та Україні. URL: https://arduino.ua/prod1291-modyl-bluetooth-4-0-na-cc2541-hm-10?srsId=AfmBOoocK6flW6icgPAHr6pEEqHklW8TVvTrLWK6YG5eYk_nS9DHGefV (accessed: 16.04.2025).
32. Zigbee координатор ZBDongle-E (6920075777659 – Sonoff) за ціною від 899.00 грн - РКС Компоненти - РАДІОМАГ. URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/zigbee-koordynator-zbdongle-e-6920075777659-sonoff_191718.html (accessed: 16.04.2025).
33. Cheruvu S. et al. Connectivity Technologies for IoT // Demystifying Internet of Things Security. Apress, Berkeley, CA, 2020. P. 347–411.

34. Islam M., Shangzhu J. An Overview Research on Wireless Communication Network // *Advances in Wireless Communications and Networks*. 2019. Vol. 5, № 1. P. 19–28.
35. What is Arduino? | Arduino. URL: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction/> (accessed: 06.05.2025).
36. STM32 Microcontrollers (MCUs) - STMicroelectronics. URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html> (accessed: 06.05.2025).
37. Arduino Nano — Arduino Official Store. URL: <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano> (accessed: 06.05.2025).
38. Complete Guide To Addressable LED Strip IC Types - Custom LED Strip Manufacturer From China. URL: <https://www.signliteled.com/complete-guide-to-addressable-led-strip-ic-types/> (accessed: 08.05.2025).
39. What is Serial Peripheral Interface (SPI)? | GeeksforGeeks. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/what-is-serial-peripheral-interface-spi/> (accessed: 08.05.2025).
40. WS2812B Datasheet(PDF) - WORLDSEMI CO., LIMITED. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1179113/WORLDSEMI/WS2812B.html> (accessed: 27.05.2025).
41. WS2812 LED: Addressable LED Protocol Tutorial | Arrow.com. URL: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/protocol-for-the-ws2812b-programmable-led> (accessed: 08.05.2025).
42. WS2811 datasheet(4/7 Pages) WORLDSEMI | output port compression 12V. URL: <https://www.alldatasheet.com/html-pdf/1132633/WORLDSEMI/WS2811/2281/4/WS2811.html> (accessed: 27.05.2025).
43. CC2541 data sheet, product information and support | TI.com. URL: <https://www.ti.com/product/CC2541?qgpn=cc2541#tech-docs> (accessed: 08.05.2025).
44. HC-06 datasheet(5/17 Pages) ETC1 | BC04 has external 8M Flash and EDR module HC-06 is industrial, and compatible with civil HC-04. URL:

<https://www.alldatasheet.com/html-pdf/1179032/ETC1/HC-06/573/5/HC-06.html>
(accessed: 27.05.2025).

45. Модуль Bluetooth 4.0 на CC2541 (HM-10) купити в Києві та Україні. URL:
<https://arduino.ua/prod1291-modyl-bluetooth-4-0-na-cc2541-hm-10> (accessed:
08.05.2025).
46. 3-осьовий акселерометр GY-61 ADXL335 купити в Києві та Україні. URL:
<https://arduino.ua/prod6839-3-osovii-akselerometr-gy-61-adxl335> (accessed:
09.05.2025).
47. ADXL335 Datasheet(PDF) - Analog Devices. URL:
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/250056/AD/ADXL335.html>
(accessed: 27.05.2025).
48. TTP223 Datasheet(PDF) - TT Electronics.. URL:
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1179637/TTELEC/TTP223.html>
(accessed: 27.05.2025).
49. TTP223 TOUCH KEY сенсорний датчик для Arduino купити в Києві та Україні.
URL: https://arduino.ua/prod264-ttp223-touch-key-sensornii-datchik-dlya-arduino?srsId=AfmBOopcwS6fp2okbKNCKCrFPCIK_-urMBIf7HuzOx_xMLS98tMZj9Ib (accessed: 09.05.2025).
50. Overview of the Arduino IDE 1 | Arduino Documentation. URL:
<https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/Environment/> (accessed:
15.05.2025).
51. GitHub - FastLED/FastLED: The FastLED library for colored LED animation on Arduino. Please direct questions/requests for help to the FastLED Reddit community:
<http://fastled.io/r> We'd like to use github "issues" just for tracking library bugs / enhancements.. URL: <https://github.com/FastLED/FastLED> (accessed: 15.05.2025).
52. About Us. URL: <https://appinventor.mit.edu/about-us> (accessed: 16.05.2025).
53. Bluetooth Low Energy. URL:
<https://iot.appinventor.mit.edu/iot/reference/bluetoothle> (accessed: 16.05.2025).

ДОДАТОК А

Код програми мікроконтролера

```
#include <FastLED.h>
```

```
#include "GyverButton.h"
```

```
#define NUM_LEDS 256
```

```
#define DATA_PIN 3
```

```
DEFINE_GRADIENT_PALETTE(gb_gp){
```

```
0, 0, 248, 255,
```

```
94, 255, 0, 12,
```

```
183, 43, 17, 187,
```

```
255, 0, 248, 255
```

```
}; // палітра градієнту в режимі RGB
```

```
CRGB leds[NUM_LEDS];
```

```
uint8_t hue_1 = 0; // змінна для тону в режимі HSV
```

```
uint8_t color_index[NUM_LEDS];
```

```
uint8_t paletteIndex = 0; // змінна для індексу в палітрі
```

```
// клас паліри
```

```
CRGBPalette16 firePalette = HeatColors_p;
```

```
GButton butt1(4, LOW_PULL, NORM_OPEN); // клас кнопки для користувацької  
бібліотеки
```

```
int counter = 0; // змінна для зміни режиму
```

```
int fadeAmount = 5;
int brightness = 0; //Змінні для режиму pulse
int Bright = 125;
```

```
int Last_x, Last_y, Last_z;
```

```
String input;
```

```
void setup() {
  FastLED.setBrightness(Bright);
  Serial.begin(9600);
  FastLED.addLeds<WS2812B, DATA_PIN, GRB>(leds, NUM_LEDS); //
```

ініціалізація матриці

```
  for (int i = 0; i < NUM_LEDS; i++) {
    color_index[i] = random8();
  }
}
```

```
void loop() {
  butt1.tick(); // опитування кнопки
  if (butt1.isClick()) {
    counter++;
  }
```

```
  if (butt1.isHeld()) {
    counter = 0;
  }
  if (counter >= 8) { counter = 0; }
```

```
FastLED.setBrightness(Bright);
```

```
    if (isShaken()) {
        Bright += 5;
        if (Bright > 255) {
            Bright = 10;
        }
    }
}
```

```
if (Serial.available()) {
    input = Serial.readStringUntil('\n'); // Читаємо рядок до Enter
    input.trim(); // Видаляємо зайві пробіли та символи нового рядка
    counter = input.toInt(); // Якщо це число, записуємо його в counter
}
```

```
switch (counter) { // свіч для режимів
    case 0:
        start_mode();
        break;
    case 1:
        change();
        break;
    case 2:
        ice();
        break;
    case 3:
        gradient();
        break;
    case 4:
        gradient_blue();
```

```

    break;
case 5:
    wave();
    break;
case 6:
    pulse();
    break;
case 7:
    runFire();
    break;
}
}

```

```

void start_mode(void) {
    FastLED.clear();
    for (int i = 126; i < 142; i++) {
        leds[i] = CRGB::Red; // робимо полосу червоною
    }
    FastLED.show();
}

```

```

void change(void) {
    for (int i = 0; i < NUM_LEDS; i++) {
        leds[i] = CHSV(hue_1 + (1 * 5), 255, 255); // плавна зміна кольору всієї матриці.

```

Змінюємо тон -> змінюється колір

```

    }
    EVERY_N_MILLISECONDS(15) {
        hue_1++;
    }
    FastLED.show();

```

```
}
```

```
void ice(void) {
```

```
    EVERY_N_MILLISECONDS(50) {
```

```
        leds[0] = CHSV(65, random8(160, 255), random8(100, 255)); // кожні 50 мс
```

насиченість випадкового світлодіоду випадкова(від 160 до 255)

```
        for (int i = NUM_LEDS - 1; i > 0; i--) {
```

```
            leds[i] = leds[i - 1]; // починаємо зміну з кінця
```

```
        }
```

```
        FastLED.show();
```

```
    }
```

```
}
```

```
void gradient(void) {
```

```
    CRGBPalette16 greenblue = gb_gp;
```

```
    for (int i = 0; i < NUM_LEDS; i++) {
```

```
        leds[i] = ColorFromPalette(greenblue, color_index[i]); // градієнт
```

```
    }
```

```
    EVERY_N_MILLISECONDS(5) {
```

for (int i = 0; i < NUM_LEDS; i++) { // плавно змінюємо колір діода на якийсь колір в палітрі

```
            color_index[i]++;
```

```
        }
```

```
    }
```

```
    FastLED.show();
```

```
}
```

```
void gradient_blue(void) {
```

```
    CRGBPalette16 purplePalette = CRGBPalette16(
```

```
    CRGB::DarkViolet,
```

```
CRGB::DarkViolet,
CRGB::DarkViolet,
CRGB::DarkViolet,
```

```
CRGB::Magenta,
CRGB::Magenta,
CRGB::Linen,
CRGB::Linen,
```

```
CRGB::Magenta,
CRGB::Magenta,
CRGB::DarkViolet,
CRGB::DarkViolet,
```

```
CRGB::DarkViolet,
CRGB::DarkViolet,
CRGB::Linen,
CRGB::Linen);
```

```
CRGBPalette16 myPal = purplePalette;
```

```
EVERY_N_MILLISECONDS(50) {
```

```
    leds[random8(0, NUM_LEDS - 1)] = ColorFromPalette(myPal, random8(), 255,
    LINEARBLEND); //Вмикання випадкового світлодіоду з випадковим кольором з
    палітри
```

```
}
```

```
    fadeToBlackBy(leds, NUM_LEDS, 1); //Повільне затухання
```

```
    FastLED.show();
```

```
}
```

```
void wave(void) {
```

uint16_t sinBeat = beatsin8(30, 0, NUM_LEDS - 1, 0, 0); //запускаємо дві хвилі з
офсетом одна від одної

```
uint16_t sinBeat2 = beatsin8(30, 0, NUM_LEDS - 1, 0, 170);
leds[sinBeat] = CRGB::Blue;
leds[sinBeat2] = CRGB::Red;
fadeToBlackBy(leds, NUM_LEDS, 10); //через 10 мс загасання
FastLED.show();
}
```

```
void pulse(void) {

for (int i = 0; i < NUM_LEDS; i++) {
    leds[i].setRGB(255, 165, 0);
    leds[i].fadeLightBy(brightness);
}

EVERY_N_MILLISECONDS(50){
    brightness = brightness + fadeAmount; // затухання
    if (brightness == 0 || brightness == 255) {
        fadeAmount = -fadeAmount;
    }
}

FastLED.show();
}
```

```
void runFire() {
    int a = millis();
    for (int i = 0; i < NUM_LEDS; i++) {
        uint8_t noise = inoise8 (0 , i * 60 + a , a / 3);
        uint8_t math = abs8(i - (NUM_LEDS-1)) * 255 / (NUM_LEDS-1);
        uint8_t index = qsub8 (noise, math);
```

```

    leds[i] = ColorFromPalette (firePalette, index, 255);
}
FastLED.show();
}

```

```

bool isShaken() {
    int x = analogRead(A2);
    int y = analogRead(A1);
    int z = analogRead(A0);

    int deltaX = abs(x - Last_x);
    int deltaY = abs(y - Last_y); // Розрахунок зміни прискорення
    int deltaZ = abs(z - Last_z);

```

```

    Last_x = x;
    Last_y = y; // Оновлюємо останні значення
    Last_z = z;

```

```

    return (deltaY > 30 || deltaZ > 30 || deltaX > 30); // Якщо різкі зміни більше порога
- повертаємо true
}

```

ДОДАТОК Б

Код додатку

