

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

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ

«На правах рукопису»

УДК 621.3

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Євген  
ВЕРБИЦЬКИЙ  
(підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

“ ” 2024р.

Магістерська дисертація  
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 171 Електроніка  
(код і назва)

освітня програма Електронні компоненти, пристрої та системи  
на тему: Енергоефективна система керування освітленням фасаду  
будівлі

Виконав: студент II курсу, групи ДС-21мп  
(шифр групи)

Рудик Віталій Павлович  
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник Старший викладач, Артур ЗАГРАНИЧНИЙ  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант Старший викладач, САРИБОГА ГАННА  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Рецензент доц. каф. АМЕС, к.т.н., доц. Олександр  
ДРОЗДЕНКО  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант по  
нормоконтролю доц. каф. ЕПС, к.т.н., доц. Лариса БАТРАК  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського”

Факультет Електроніки  
( повна назва )

Кафедра Електронних пристроїв та систем  
( повна назва )

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо - професійною програмою

Спеціальність 171 Електроніка  
(шифр і назва)

Освітня програма Електронні компоненти, пристрої та системи

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

Євген ВЕРБИЦЬКИЙ  
(підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

«01» листопада 2023 року

## ЗАВДАННЯ

### НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

Рудику Віталію Павловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Енергоефективна система керування освітленням фасаду  
будівлі

1. Тема дисертації

науковий керівник дисертації Артур ЗАГРАНИЧНИЙ, старший викладач  
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, посада, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 09 » листопада 2023 року № 5218-с

2. Термін подання студентом дисертації 11.01.2024р.

3. Об'єкт дослідження драйвер керування освітленням фасаду будівлі

4. Вихідні дані Система керування фасаду освітлення будівлі та моніторингу даних на основі мікроконтролера ESP32

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Огляд науково-технічної літератури та існуючих рішень на тему магістерської дисертації, розробка принципіальної та електричної схеми, створення програмного забезпечення.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

Презентація, принципова електрична схема

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації

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

9. Дата видачі завдання 01 листопада 2023 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз літератури передачі даних в автомобілях	01.09.2023-25.09.2023	
2	Огляд автомобільних протоколів передачі даних	26.09.2023-12.10.2023	
3	Огляд літератури на безпроводна передача даних	13.10.2023-27.10.2023	
4	Формування списку літератури	28.10.2023-04.11.2023	
5	Розробка дослідного макету	05.11.2023-10.12.2023	
6	Аналіз експериментальних даних та формування висновків	11.12.2023-18.12.2023	
7	Оформлення магістерської дисертації	19.12.2023-07.01.2024	
8	Підготовка до попереднього захисту	01.01.2024-04.01.2024	
9	Підготовка до захисту дисертації	04.01.2024-15.01.2024	

Студент			<b>Віталій РУДИК</b> (ім'я ПРІЗВИЩЕ)
		(підпис)	
Науковий керівник дисертації			<b>Артур ЗАГРАНИЧНИЙ</b> (ім'я ПРІЗВИЩЕ)
		(підпис)	

## АНОТАЦІЯ

Метою роботи є розробки та впровадження автоматичної системи керування освітленням фасаду будівлі на базі мікропроцесорного модуля ESP32 з можливістю віддаленого керування. Головною метою дослідження є створення ефективної системи регулювання освітлення зовнішнього фасаду навчального в умовах вечірнього та нічного періоду для забезпечення комфорту та безпеки.

Розроблена система надає можливість користувачам регулювати інтенсивність та яскравість освітлення з мобільних пристроїв, а також працює у автоматичному режимі в залежності від часу доби та пори року. Застосування мікропроцесорного модуля ESP32 дозволяє ефективно взаємодіяти з різними датчиками, такими як датчик температури, датчик рівня освітленості та інші, що забезпечує точне та оптимізоване управління освітленням.

Досягнуті результати дозволяють зробити висновок про ефективність та практичну застосовність розробленої системи управління фасадним освітленням. Додатково, в системі використовуються сонячні батареї як джерело додаткової енергії, що підвищує її екологічну ефективність та енергоефективність.

**Ключові слова:** фасад, час, доба, керування, сонячна енергія, оптимізація

## ANNOTATION

The aim of the work is to develop and implement an automatic lighting control system for the facade of a building based on the ESP32 microprocessor module with the possibility of remote control. The main objective of the study is to create an effective system for controlling the lighting of the exterior facade of an educational building in the evening and at night to ensure comfort and safety.

The developed system allows users to adjust the intensity and brightness of lighting from mobile devices, and also operates in automatic mode depending on the

time of day and season. The use of the ESP32 microprocessor module allows for effective interaction with various sensors, such as a temperature sensor, light level sensor, and others, which ensures accurate and optimized lighting control.

The achieved results allow us to conclude that the developed facade lighting control system is effective and practical. Additionally, the system uses solar panels as a source of additional energy, which increases its environmental performance and energy efficiency.

***Keywords:*** *facade, time, day, control, solar energy, optimization.*

## ЗМІСТ

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ.....	11
1.1 Види фасадного освітлення.....	12
1.2 Акцентне освітлення.....	14
1.3 Настінні світильники.....	15
1.4 Розсіяне освітлення.....	17
1.5 Силуетне освітлення.....	19
1.6 Тіньове освітлення.....	21
1.7 Інтерактивні фасади.....	24
1.8 Медіафасади.....	25
1.9 Аналіз існуючих рішень.....	27
2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЗОВНІШНІМ ОСВІТЛЕННЯМ.....	32
2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЗОВНІШНІМ ОСВІТЛЕННЯМ.....	32
2.1 Колірні системи.....	32
2.2 Розробка системи керування освітленням фасаду на сонячних батареях .....	42
2.3 Обґрунтування та підбір комплектуючих.....	46
2.4 Розробка світлодіодного драйверу керування системою освітлення....	52
3. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ.....	58
3.1 Дослідження принципів роботи системи освітлення на сонячних панелях.....	58
3.2 Розрахунок енергоефективності системи.....	59

3.3	Опис алгоритму роботи системи освітлення фасаду будівлі.....	64
	Висновки до розділу.....	66
4.	РОЗРОБКА СТАРТАП- ПРОЕКТУ .....	67
4.1.	Опис ідеї проекту.....	67
4.2.	Технологічний аудит ідеї проекту.....	69
4.3	Розробка маркетингової програми стартап-проекту.....	75
	Висновки до розділу .....	78
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	80
	ABSTRACT.....	83

## ВСТУП

**Актуальність.** Використання зовнішнього освітлення є вкрай актуальним напрямом, і ринок продовжує зростати. Одним із ключових критеріїв для систем освітлення є їх енергоефективність. Рішення для освітлення фасаду будівлі, крім зовнішньої привабливості, повинно враховувати вимоги до енергоефективності, що може бути досягнуто за допомогою систем інтелектуального керування.

У останнє десятиліття автоматизація управління внутрішнім освітленням стала дуже актуальною. Сучасні системи поєднують в собі великі можливості з економією електроенергії та зручністю для користувачів.

Підсвічування будівлі привертає увагу і викликає інтерес, особливо коли йдеться про офіс компанії або публічну будівлю, або створює комфорт та безпеку для мешканців будинку чи громадян міста. Таким чином, зовнішнє освітлення стає важливою складовою сучасного міста та інтелектуальної будівлі [1].

Контроль фасадного освітлення реалізується за допомогою автоматизованої системи освітлення (АСО). Запропоновано енергоефективне рішення для АСО, яке базується на бездротовій технології Wi-Fi у системі управління освітлювальними пристроями. Виконавчі пристрої керуються сервером, який надсилає їм управляючі сигнали в залежності від інформації, що надходить від датчиків системи. Таким чином, реалізовано механізм обміну інформацією "клієнт-сервер". Для його впровадження пропонується використовувати мікроконтролер, на якому інтегровано датчики бездротового зв'язку Wi-Fi та Bluetooth.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертація була підготовлена відповідно до науково-дослідного плану кафедри електронних пристроїв та систем Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського."

**Мета і завдання досліджень.** Розробка енергоефективної системи керування освітленням фасаду будівлі з метою забезпечення оптимального використання світлових ресурсів та зменшення елетроспоживання.

Розглянуті завдання для досягнення цієї мети:

1. Аналіз та вивчення сучасних методів керування освітленням для фасадів будівель з акцентом на енергоефективні технології.
2. Розробка концепції та створення прототипу енергоефективної системи керування освітленням для фасаду будівлі.
3. Виконання технічного моделювання та аналіз ефективності розробленої системи з використанням сучасних інструментів та технологій.
4. Реалізація проектування системи в середовищі автоматизованого проектування з урахуванням енергоефективних стандартів та нормативів.

**Об'єкт дослідження** — драйвер керування освітленням фасаду будівлі.

**Предмет дослідження** — принцип роботи системи освітлення фасаду будівлі.

**Наукова новизна одержаних результатів:** запропонована система автоматичного енергоефективного освітлення фасаду будівлі.

**Практичне значення одержаних результатів:** розроблено драйвер системи освітлення з використанням транзистора Дарлінгтона та МК esp32 та алгоритм роботи системи.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури із найменувань. Загальний обсяг становить сторінки, рисунків та таблиць.

## 1.АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Використання зовнішнього освітлення на сучасному ринку є актуальним та поширеним явищем, яке надалі розвивається. Одним з ключових параметрів для систем освітлення є їхня енергоефективність. Розробка рішення для підсвічування фасадів будівель повинна враховувати не лише їхню естетичність, але й відповідати високим стандартам енергоефективності. Це досягається завдяки впровадженню систем інтелектуального керування, які сприяють збереженню електроенергії.

У світлі сучасних тенденцій, автоматизація управління внутрішнім освітленням набуває все більшого значення. Сучасні системи, орієнтовані на оптимізацію споживання енергії, пропонують користувачам широкі можливості для зручного та ефективного управління освітленням.

Зокрема, підсвічування фасадів будівель привертає до себе увагу та викликає інтерес. Це особливо актуально для офісів, громадських будівель та житлових комплексів, де така система може не лише здобути популярність, але й забезпечити комфорт та безпеку для користувачів.

Управління фасадним освітленням забезпечується за допомогою автоматизованої системи освітлення (АСО). В розвитку цієї ідеї, пропонується використовувати енергоефективне рішення для АСО, яке базується на бездротовій технології Wi-Fi в системі управління освітлювальними пристроями. Це дозволяє оптимізувати витрати електроенергії та забезпечує максимальний комфорт для користувачів. Крім того, для реалізації механізму обміну інформацією "клієнт-сервер" в цьому рішенні передбачено використання мікроконтролера, що об'єднує в собі датчики Wi-Fi та Bluetooth.

## 1.1 Види фасадного освітлення

Фасадне освітлення, яке часто називають архітектурним, охоплює стратегічне застосування освітлення на зовнішніх поверхнях будівель і споруд. Воно слугує цілеспрямованою та художньою маніпуляцією зі світлом для покращення візуальної естетики, функціональності та загальної атмосфери архітектурних об'єктів як у вечірній, так і в нічний час.

За своєю суттю фасадне освітлення виходить за рамки простого функціонального освітлення і стає потужним інструментом для розповіді архітектурної історії. Воно передбачає ретельний підбір світильників, їх розміщення, інтенсивність та колір, щоб підкреслити архітектурні особливості, текстури та розміри будівлі. Продумано підкреслюючи певні елементи і створюючи нюанси гри світла і тіні, фасадне освітлення може викликати певні емоції, підкреслювати дизайнерські задуми і сприяти створенню виразної ідентичності споруди.

Значення фасадного освітлення виходить за рамки суто декоративного. Воно може впливати на міське середовище, на те, як ми сприймаємо і взаємодіємо з будівлями, і навіть сприяти досягненню цілей енергоефективності та сталого розвитку. Добре спроектоване фасадне освітлення може вдихнути життя в міські пейзажі після настання темряви, сприяючи підвищенню почуття безпеки, згуртованості та художнього самовираження.

Крім того, освітлення фасадів є життєво-важливим для збереження історичної та культурної спадщини будівель. Воно дозволяє оцінити архітектурні деталі, які інакше могли б бути приховані в темряві, дозволяючи цим спорудам продовжувати розповідати свої історії навіть після заходу сонця. Вміло переплітаючи технології, дизайн та міське планування, освітлення фасадів демонструє гармонійне співіснування сучасності та традицій.

Ось чому очікується, що фасадне освітлення супроводжується цілою низкою вимог, зокрема, що охоплюють міркування сталого розвитку та енергоефективності.

Можна виділити 7 основних видів фасадного освітлення:

- акцентне освітлення;
- настінні світильники;
- розсіяне освітлення;
- силуетне освітлення;
- “гра тіней”;
- інтерактивні фасади;
- медіафасади.

Галогенні лампи зазвичай використовувалися для освітлення фасадів будівель і житлових будинків. Однак через недостатню енергоефективність галогенні лампи використовувалися переважно для освітлення видатних споруд, часто для створення художніх ефектів, а не для широкого практичного застосування.

Оскільки популярність і схильність до світлодіодного освітлення продовжує зростати, ширше коло приватних осіб і архітектурних організацій тепер можуть використовувати естетичні переваги фасадного освітлення. Впровадження світлодіодних світильників забезпечує енергоефективність, надійність і довговічність. Отже, інтеграція цих світильників для художнього освітлення стає більш досяжною. Універсальність світлодіодних ламп, доступних у різних кольорах, у поєднанні з їхньою здатністю випромінювати більш концентрований пучок світла, сприяє підвищенню точності фокусування та художньому застосуванню.

Це означає, що створення будівлі в якості основного фокусного центру стає більш простим.

## 1.2 Акцентне освітлення

Акцентне освітлення - це складна техніка фасадного освітлення, яка полягає у навмисному використанні освітлення для акцентування та демонстрації певних архітектурних елементів, особливостей або деталей дизайну фасаду будівлі. На відміну від загального освітлення, яке забезпечує загальне освітлення, акцентне освітлення слугує більш художній меті, привертаючи увагу до фокусних точок, додаючи глибини та створюючи візуальний інтерес, найбільш відомий приклад це сіднейська опера рис 1.1.



Рис.1.1 Приклад акцентного освітлення

Використання акцентного освітлення для підкреслення архітектурних особливостей:

Вміле використання акцентного освітлення – це прийом, який дозволяє архітекторам і дизайнерам формувати візуальну інтерпретацію споруди. Ретельно підбираючи і розташовуючи світильники, вони можуть спрямовувати сфокусовані промені на критичні зони, привертаючи до них увагу глядача. Архітектурні хитросплетіння, такі як вишукані фасади, складне різьблення, колони та характерні текстури, піднімаються з темряви на поверхню завдяки витонченій грі світла і тіні.

Акцентне освітлення здатне перетворити звичайну будівлю на надзвичайний архітектурний шедевр. Наприклад, історична будівля зі складною кам'яною кладкою може ожити вночі, дозволяючи спостерігачам оцінити майстерність, яка в іншому випадку могла б залишитися непоміченою. Сучасні споруди також можуть отримати вигоду, оскільки акцентне освітлення додає шар вишуканості та динамічності витонченим конструкціям, виділяючи їх у міському ландшафті.

Приклади будівель, в яких ефективно використовується акцентне освітлення:

- Сіднейський оперний театр, Австралія [1];
- Бурдж-Халіфа, Дубай [1];
- Лувр Абу-Дабі, ОАЕ [1];
- Будинок Бальо, Барселона [1].

У кожному з цих випадків акцентне освітлення є свідченням глибокого трансформаційного потенціалу, притаманного маніпуляціям зі світлом. Воно виявляє індивідуальність архітектури, підкреслює її унікальність і запрошує глядачів оцінити красу дизайну в новому світлі - як в прямому, так і в переносному сенсі.

Для досягнення цього ефекту ми можемо вибрати світлодіодні прожектори, стадіонні світильники, світлодіодні настінні шайби тощо.

### **1.3 Настінні світильники**

Підсвічування стін - це універсальна техніка освітлення, яка охоплює всі вертикальні поверхні, збагачуючи наш візуальний досвід, посилюючи текстури, розкриваючи тонкощі та сприяючи створенню гармонійної атмосфери в архітектурному та урбаністичному середовищі.



Рис.1.2 Приклад настінних світильників

Основний принцип миття стін полягає в його здатності підкреслювати внутрішній характер поверхонь. Завдяки рівномірному та м'якому світловому потоку на стінах ця техніка виявляє властиві їм текстури, матеріали та контури. Незалежно від того, чи це грубо обтесане каміння історичної вежі, чи витончені, мінімалістичні лінії сучасної будівлі, миття стін дозволяє цим архітектурним елементам зайняти центральне місце, запрошуючи глядачів до взаємодії з тактильними якостями структури.

Рівномірне освітлення також відіграє ключову роль у створенні атмосфери балансу та гармонії. Миття стін створює відчуття візуальної рівноваги, гарантуючи, що жодна ділянка не буде надмірно яскравою або затіненою. Це покращує загальну естетику архітектурного простору, а в приміщенні може сприяти створенню заспокійливої та гостинної атмосфери.

Реальні приклади, що демонструють застосування фарбування стін:

- Музей Гуггенхайма, Більбао [1];
- Міст Сіднейської гавані, Австралія [1].

У цих реальних прикладах миття стін є свідченням трансформаційного потенціалу світлового дизайну. Воно підкреслює архітектурну красу різноманітних споруд і поширює свій вплив на міські ландшафти, історичні пам'ятки та комерційні простори, дивовижним чином формуючи наше сприйняття забудованого середовища.

Оптимальними світильниками для реалізації такого підходу до освітлення фасадів є настінні шайби, архітектурні прожектори, фасадні лінійні світильники та різні інші варіанти зовнішнього освітлення стін.

## 1.4 Розсіяне освітлення

У цих історичних і сучасних прикладах розсіяне освітлення є потужним архітектурним інструментом для покращення та розповіді історії. Воно виходить за рамки традиційного розуміння освітлення, перетворюючи будівлі на динамічні, виразні та візуально захоплюючі витвори мистецтва. Ця техніка освітлення сприяє глибокому розумінню архітектурної спадщини, водночас розширюючи межі сучасного дизайну, рис.1.3.



Рис.1.3 Приклад розсіяного освітлення м.Київ

Пояснення розсіяного освітлення:

Затіняюче освітлення, захоплюючи грань фасадного освітлення, передбачає розташування світильників близько до вертикальної поверхні будівлі або споруди. Ці світильники проєктують світло на поверхню під дуже малим кутом, дозволяючи світлу "пасти" поверхню. Цей прийом створює

вражаючі візуальні ефекти, підкреслюючи текстури, візерунки та рельєфні деталі споруди. Завдяки здатності створювати глибину і тінь, пасуюче освітлення є універсальним інструментом в арсеналі художників по світлу, що підсилює архітектурну естетику і розповідь про будівлю.

Створення драматичних ефектів за допомогою підкреслення текстур і візерунків:

Розсіяне освітлення - це майстерний метод, який вдихає життя у притаманний архітектурним поверхням характер. Спрямовуючи світло вздовж поверхні під низьким кутом, воно підкреслює текстури, матеріали та візерунки так, як традиційне освітлення не може цього досягти. Цегляна кладка стає більш тактильною, відкриваючи кожен шов розчину; грубо обтесані кам'яні поверхні демонструють свою сувору природну красу, а складно спроектовані фасади оживають завдяки грі світла і тіні. Результатом є драматичний і візуально стимулюючий досвід, який додає глибини і багатства архітектурному полотну.

Ця техніка полягає не лише у виявленні деталей, але й у створенні динамічних візуальних оповідань. Пасуюче освітлення може розповідати історії через архітектуру, спрямовуючи погляд спостерігача на певні ділянки або особливості. Маніпулюючи напрямком та інтенсивністю світла, дизайнери можуть викликати різні настрої та емоції, перетворюючи будівлю на полотно для художнього вираження. Наприклад, м'яко торкаючись поверхні історичної пам'ятки, дизайнери освітлення можуть викликати почуття благоговіння, підкреслюючи її культурне та історичне значення.

Приклади "пасуючого" освітлення в історичних та сучасних спорудах:

- Парфенон, Афіни [1];
- The Gherkin, Лондон [1];
- Собори та церкви [1];
- Музеї та культурні центри [1].

Серед доступних варіантів освітлення для цього застосування - прожектори, прожектори, наземні прожектори, прожектори-піки та ландшафтні світильники.

## 1.5 Силуетне освітлення

Техніка силуетування є свідченням перетворюючої сили світла. Вона зводить предмети до їхніх основних форм, створюючи сміливі та захоплюючі обриси, що притягують погляд глядача. У художніх і мінімалістичних архітектурних проектах силуетне освітлення додає глибини, драматизму і відтінку магії в архітектурне середовище, посилюючи наше сприйняття взаємодії між архітектурою і світлом.

Розуміння техніки силуетування: Силуетне підсвічування - це захоплююча і візуально переконлива техніка фасадного освітлення та архітектурного підсвічування. Вона полягає у стратегічному розташуванні джерел світла позаду будівлі або об'єкта, ефективно підсвічуючи його. Результатом є вражаючий візуальний ефект, коли об'єкт виглядає як темний силует на яскравому тлі, дана техніка в Україні використовувалась при реставрації будинку культури в місті Харків. Силуетна підсвітка покладається на взаємодію світла і тіні для створення сміливих, драматичних обрисів, які привертають увагу глядача і викликають сильні емоційні реакції.

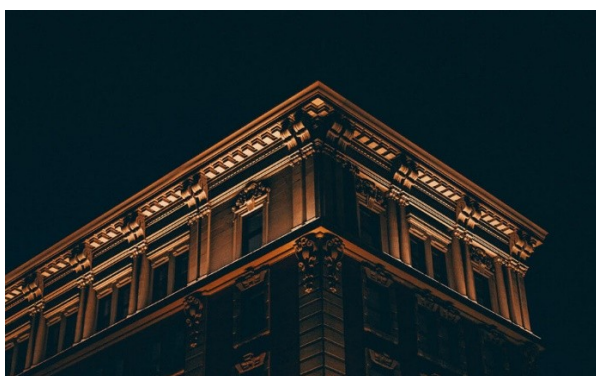


Рис.1.4 Приклад силуетного освітлення

Створення захопливих обрисів будівель та об'єктів: Силуетне освітлення - це майстерне поєднання мистецтва та науки. Стратегічно розташувавши джерела світла, дизайнери можуть приховати дрібні деталі будівлі чи об'єкта, зосередившись на його загальній формі та обрисах. Такий підхід підкреслює контури споруди, створюючи сміливі та захоплюючі обриси, які перетворюють звичайні споруди на яскраві витвори мистецтва, що запам'ятовуються.

Однією з найважливіших переваг силуетування є його здатність підкреслювати простоту та елегантність. Ця техніка розкриває архітектурні та дизайнерські елементи до їхньої суті, зводячи об'єкт до його основної форми. Це може бути особливо ефективним у мінімалістичному архітектурному дизайні, підкреслюючи чисті лінії, лаконічні форми та взаємодію світла і тіні. Силует додає шар вишуканості таким проектам, виділяючи їх і залишаючи незабутнє враження.

Застосування в художньому та мінімалістичному архітектурному дизайні: Силуетна пластика знаходить своє найглибше вираження в художньому та мінімалістичному архітектурному дизайні. У мистецьких інсталяціях його можна використовувати для створення тимчасових або постійних творів, що вражають уяву публіки. Наприклад, стратегічно розміщені силуетні скульптури в міському парку можуть трансформувати нічний досвід, перетворюючи просту прогулянку на подорож художньою галереєю тіней і світла.

У мінімалістичних архітектурних проектах силует відіграє життєво важливу роль у підкресленні чистоти форми. Сучасна будівля з чіткими лініями та суворою геометрією може піднятися на новий рівень естетичної привабливості, коли її силует з'явиться на тлі нічного неба. Воно підкреслює навмисну простоту дизайну і слугує маяком сучасного дизайну в міському ландшафті.

Для цієї мети можна використовувати різні варіанти освітлення, зокрема, зовнішні настінні світильники, архітектурні прожектори, зовнішні настінні світильники та лінійне підсвічування фасаду.

## 1.6 Тіньове освітлення

Гра тіней у фасадному освітленні виходить за межі традиційного освітлення. Вона привносить в архітектуру елемент розповіді, культурного резонансу та художнього вираження. Маніпулюючи світлом і тінню, щоб додати глибини та об'єму, архітектори та дизайнери вдихають життя у свої проекти, залучаючи глядачів до динамічного візуального наративу, що постійно розвивається. Ця техніка збагачує архітектурне середовище, сприяючи глибшому зв'язку між людьми та архітектурними просторами, в яких вони мешкають.

Огляд гри тіней у фасадному освітленні:

Гра тіней, захоплюючий аспект фасадного освітлення та архітектурного підсвічування, є мистецькою діяльністю, яка зосереджена на маніпулюванні світлом і тінню для створення глибини, об'єму та драматичних візуальних ефектів на поверхнях будівель. Вона передбачає стратегічне розміщення освітлювальних приладів для відкидання складних, динамічних тіней, які взаємодіють з архітектурними елементами. Гра тіней у фасадному освітленні перетворює статичні будівлі на яскраві полотна, залучаючи увагу та емоції глядачів завдяки грі світла і темряви.

Маніпулювання світлом і тінню для додавання глибини та об'єму:

По суті, гра тіней - це введення нового рівня розповіді в архітектурні проекти. Ретельно розташувавши джерела світла, дизайнери можуть відкидати тіні, підкреслюючи нюанси структури, поверхонь і деталей будівлі, використовується найчастіше при виконанні освітлення в приватному

будівництві рис.1.5. Взаємодія між світлом і тінню підсилює глибину, додаючи рівні складності, які розвиваються зі зміною кутів і плином часу.

Ця техніка сприяє відчуттю руху та плинності в архітектурі. Рухливі тіні створюють постійно мінливий візуальний досвід, запрошуючи глядачів досліджувати будівлю з різних точок зору. Це додає елемент несподіванки, оскільки тіні виявляють приховані деталі і створюють оптичні ілюзії, такі як поява текстури або візерунків, які можуть не існувати на фізичній поверхні. По суті, гра тіней вдихає життя в архітектуру, роблячи її динамічною, живою істотою.



Рис.1.5 Приклад тіньового освітлення

Багато архітектурних шедеврів використовують гру тіней, щоб викликати емоції та розповідати історії. Наприклад, у готичних соборах використовували складні візерунки та вітражі, щоб відкидати барвисті та драматичні тіні, які додавали архітектурі духовного виміру. У сучасній архітектурі такі відомі архітектори, як Френк Гері, використовують гру тіней для посилення скульптурних якостей своїх проєктів.

З культурної точки зору гра тіней має символічне значення в різних суспільствах. В одних культурах тіні уособлюють швидкоплинність життя, в

інших - викликають асоціації з таємницею та інтригою. Використовуючи ці культурні та мистецькі зв'язки, гра тіней в архітектурі додає естетичної цінності та створює спільний культурний досвід.

Для цього застосування доступний цілий ряд варіантів освітлення, включаючи вуличні прожектори, кільцеві світильники для пальм, ландшафтні прожектори та регульовані світлодіодні підземні ліхтарі.

## 1.7 Інтерактивні фасади

Інтерактивне освітлення - це новаторська межа в освітленні фасадів та архітектурному дизайні (рис.1.6). Воно поєднує технології та творчість, перетворюючи статичні будівлі на динамічні, привабливі структури, які реагують на присутність і дії глядачів. Цей інноваційний підхід до освітлення виходить за рамки простої естетики, пропонуючи активне середовище для архітектурного оповідання, залучення громадськості та імерсивного досвіду.

Інтеграція технологій для взаємодії в реальному часі:

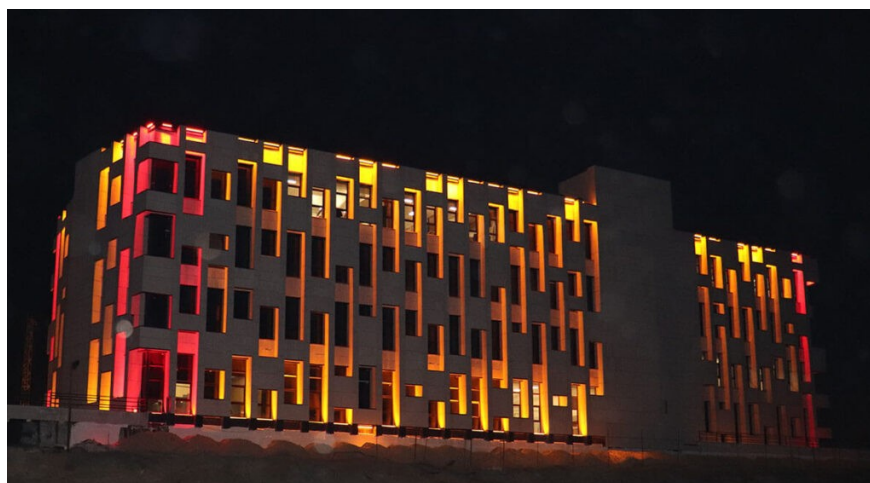


Рис.1.6 Приклад інтерактивного освітлення

В основі інтерактивного освітлення лежить інтеграція новітніх технологій для полегшення взаємодії в реальному часі. Датчики, камери та адаптивні

системи освітлення стратегічно вбудовані в архітектуру, що дозволяє будівлям сприймати і реагувати на навколишнє середовище, погодні умови та рухи людей. Ці технологічні елементи створюють цикл зворотного зв'язку, який дозволяє об'єктам спілкуватися та динамічно адаптуватися, пропонуючи новий вимір взаємодії та взаємодії.

Наприклад, будівля може змінювати свою кольорову гаму, щоб відповідати настрою події або настрою натовпу. Вона може реагувати на погодні умови, регулюючи освітлення відповідно до часу доби чи атмосферних умов. Воно навіть може запрошувати перехожих до участі у творчих заходах, таких як інтерактивні світлові дисплеї, керовані жестами або додатками для смартфонів. По суті, інтерактивне освітлення розмиває межі між архітектурою, мистецтвом і технологіями, запрошуючи глядачів до активної участі в оповіданні.

Приклади інтерактивних фасадів, що сприяють залученню громадськості:

- вогні затоки, Сан-Франциско [1];
- інтерактивна скульптура "Дош", Шарджа [2];
- Національний музей Катару, Доха [2];
- медіафасади на Таймс-сквер, Нью-Йорк [2].

## **1.8 Медіафасади**

Медіафасади представляють передову межу в архітектурному дизайні та міських інноваціях. Ці багатогранні інсталяції легко інтегрують світлодіодні екрани та цифрові технології в екстер'єри будівель, докорінно змінюючи їхній зовнішній вигляд та функції. Медіафасади - це універсальні полотна, які дозволяють архітекторам і дизайнерам створювати динамічні дисплеї, захоплюючи візуальні ефекти та захоплюючи розповіді, що виходять за межі традиційної архітектури.

Ці фасади слугують динамічними платформами для розповіді історій, які передають інформацію, викликають емоції та залучають глядачів, перший в Україні медіафасад знаходиться в ТРЦ Гулівер рис 1.7. Завдяки інтеграції світлодіодних екранів з високою роздільною здатністю, вони пропонують можливість демонструвати широкий спектр контенту, від яскравої графіки та відео до даних у реальному часі та інтерактивного досвіду. Незалежно від того, чи передають культурні розповіді про історичні пам'ятки, чи рекламують громадські заходи, чи відображають дані про навколишнє середовище, медіафасади є універсальним засобом комунікації, долаючи розрив між архітектурою та громадою, якій вона слугує.



Рис.1.7 Медіафасад ТРЦ Гулівер м.Київ

Використання світлодіодних екранів для динамічних дисплеїв та візуального сторітелінгу:

Інтеграція світлодіодних екранів у медіафасади відкриває безліч творчих можливостей. Ці екрани можна запрограмувати на відображення різноманітного контенту, від динамічного візуального мистецтва та реклами до інформаційних дисплеїв і новин в режимі реального часу. Крім того,

можливість проектування відео та анімації на фасаді дає дизайнерам можливість створювати захоплюючі та візуально переконливі розповіді.

Наприклад, медіафасад може перетворити будівлю на живе полотно під час мистецького фестивалю, дозволяючи художникам малювати світлом і рухом. Він може занурити глядачів у віртуальний підводний світ, щоб підвищити обізнаність про збереження морського середовища. Вони можуть створювати синхронізоване світлове та звукове шоу, що прославляє культурну спадщину та національну гордість під час значущих подій. По суті, світлодіодні екрани в медіафасадах уможливають архітектурну розповідь, яка виходить за рамки статичної природи традиційних будівель.

## **1.9 Аналіз існуючих рішень**

Принципи створення освітлювальних систем для фасадів різних будівель і вирізняються значно, враховуючи різноманіття завдань, які вони повинні вирішувати. Таким чином, при проектуванні та встановленні фасадного освітлення необхідно узяти до уваги тип будівлі і конкретні вимоги до освітлення.

В особливості освітлення фасаду приватного будинку, незалежно від його розміру, можна вбачати однаково складне та водночас викликаюче завдання. Враховуючи обмежену площу, можна використовувати менш яскраве освітлення, але при великій площі будинку необхідно використовувати більш яскраве освітлення.

Проте, важливо враховувати складну конфігурацію фасаду приватного будинку, що може вимагати точкового освітлення великої кількості заздалегідь правильно розташованих світильників. Проілюстровано на рис. 1.8.



Рис. 1.8 Приклад підсвічення приватного будинку

Для освітлення фасадів приватних будинків часто використовують наступні типи світильників:

- точкові світильники, призначені для підсвічування карнизів;
- софіти та спотлайти, які розташовані на рівні землі;
- функціональні світильники, розміщені біля входу/виходу на виносних консолях.

Для історичних споруд, які мають велике історичне значення, завдання декоративного підсвічування виявляється нетривіальним. Важливо, щоб світло підкреслювало ключові архітектурні деталі, при цьому світильники не повинні бути видимими в полі зору, забезпечуючи непомітне та естетичне освітлення, яке відтворює історичний характер будівлі. Згляд на це можна кинути, розглядаючи рисунок 1.9.



Рис. 1.9 Приклад підсвічення історичної споруди

Частіше за все для підсвічування фасадів будинків використовують наступні методи:

- акцентне підсвічення фасаду за допомогою напрямлених софітів;
- підсвічування верхньої частини будівлі вздовж контуру даху;
- фонове підсвічування, здійснене окремо від будівлі розташованими прожекторами.

Щодо функціонального освітлення історичних будівель, найчастіше використовуються настінні та класичні ліхтарі, які відмінно вписуються в архітектурний стиль будівлі, надаючи йому вигляд "під старину". В таких світлових приладах використовуються потужні світлодіоди з теплим спектром світіння.

Для фасадів сучасних будівель, які включають сталеві та скляні елементи, а також фасадні касети з полімерним покриттям, проектування фасадного освітлення передбачає наступне:

- Освітлення розробляється на етапі встановлення обшивки фасаду, що дозволяє приховати частину електричної проводки;
- Функціональне освітлення вимагає використання потужних світильників, які можуть розташовуватися відкрито;

- При використанні касет-жалюзі освітлювальні прилади розташовуються за ними [12].

Приклади реалізації фасадного освітлення на будівлях навчальних закладів

Приклади реалізації фасадного освітлення на будівлях навчальних закладів рис. 1.9 та рис. 1.10



Рис. 1.9 Освітлення фасаду корпусу Університету ім.Т.Г.Шевченка



Рис. 1.10 Освітлення фасаду першого корпусу КІІ ім.Ігоря Сікорського

Дослідження представлених прикладів освітлення фасадів навчальних закладів показало, що реалізовані такі типи освітлення за допомогою стандартних приладів освітлення : направлених прожекторів без можливості вносити зміни в склад приладу та налагодження додаткових функцій, таких як сценарії користувача та врахування режиму енергоефективності, що пов'язана не тільки з порою доби.

В ході дослідження було з'ясовано, що освітлення фасадів має ряд недоліків пов'язаних з метеорологічними явищами, а саме сприйняття людиною палітри RGB при різних погодних умовах.

Тому запропоновано власне рішення для освітлення фасаду будівлі навчального закладу з адаптацією кольорової палітри під різні погодні умови.

#### Висновки до першого розділу

Були оглянуті різновиди освітлення для фасадів та проведений аналіз наявних архітектурних рішень освітлення фасадів. Аналіз існуючих рішень показав, що освітлення фасаду потребує адаптації під різні погодні умови, такі задля більш сприятливого сприйняття освітлення людським оком. На підставі цього був визначений тип фасаду для навчального корпусу №12 КПІ ім. Ігоря Сікорського - з виступаючими і поглибленими секціями. Запропоновано динамічне різнокольорове освітлення з використанням двонаправлених RGB LED-світильників та власну модель освітлення фасаду даного корпусу.

## 2.ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЗОВНІШНІМ ОСВІТЛЕННЯМ

### 2.1 Колірні системи

Ступінь відхилення кольору від еталонного джерела світла визначається за допомогою індексу передачі кольорів RGBA або системи градації кольоропередачі (рис. 2.1). Цей індекс застосовується виключно для білих відтінків світла.

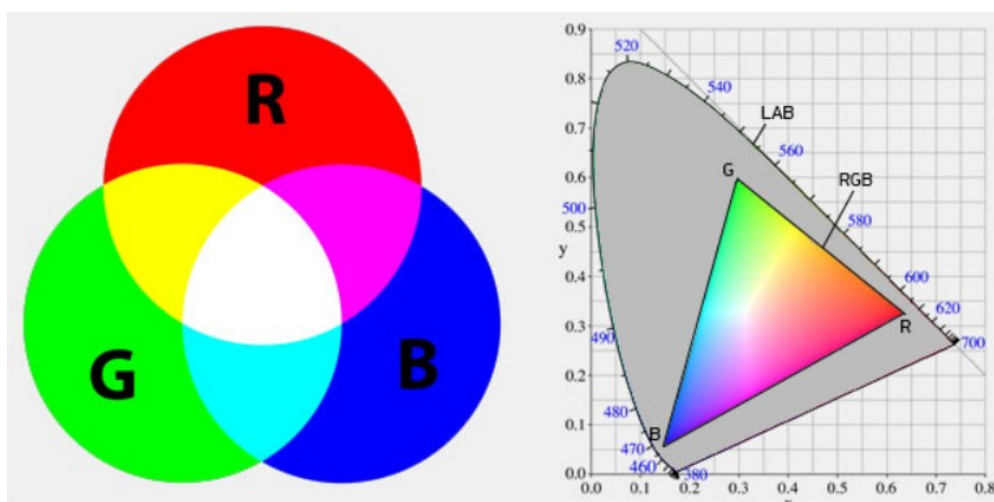


Рис.2.1 Схематична модель розсіювання світла в RGBA просторі

Використання кольорового світла розглядається у таких контекстах, як:

- освітлення фасадів;
- виставки;
- виставкові стенди;
- торгові зали;
- освітлення подій.

Процес змішування кольорів є адитивним, який застосовується при надсиланні різних кольорів світла. Комбінування двох основних кольорів - червоного, зеленого та синього - може породжувати пурпурний, блакитний або

жовтий відтінки. Сполучаючи всі три основних кольори у рівних пропорціях, можна отримати біле світло (рис. 2.2).

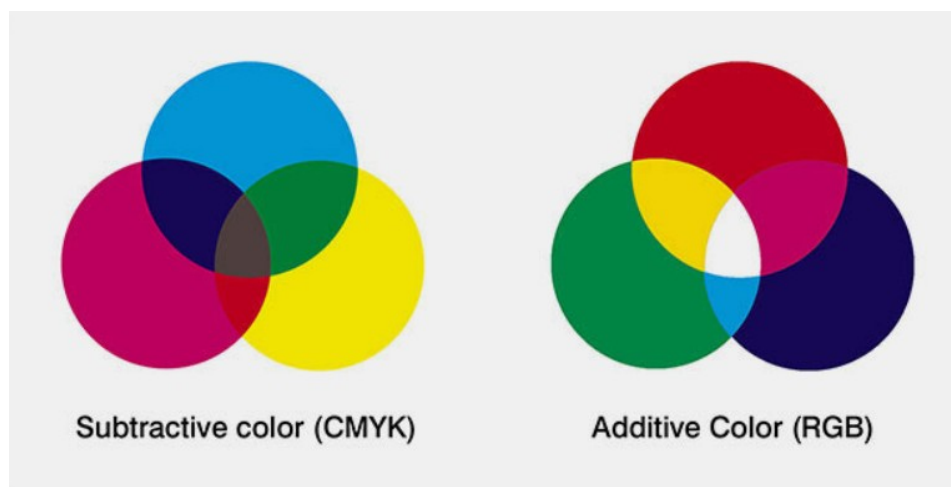
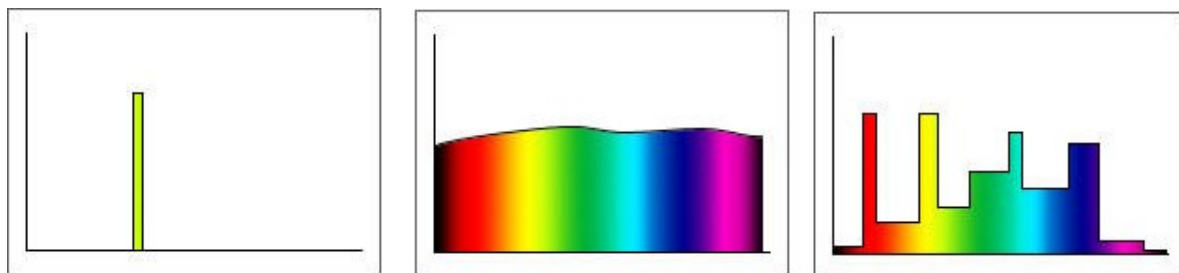


Рис. 2.2 Змішування кольорів у палітрах RGB та CMYK

Для створення динамічного освітлення фасаду вибрана система кольорів, що включає червоний, зелений, синій та білий, із можливістю користувача змішувати ці кольори у відповідному додатку.

Освітлювальні пристрої, в яких використовуються світлодіоди, мають різний формат. Для розробки освітлювального пристрою обрано форму корпусу точкового світильника.

Оскільки око може адаптуватися до різних колірних температур, передачу кольору слід визначати відповідно до колірної температури. Вольфрамові галогенні лампи володіють високою передачею кольору, в той час як якість відтворення для люмінесцентних та галогенних ламп може коливатися від хорошої до середньої, як показано на рисунку 2.3.



Лінійний

Безперервний

Багатопорядковий

Рис.2.3 Спектри РГБ світла

У розробці системи фасадного освітлення слід враховувати різні метеорологічні явища котрі змінюють сприйняття людиною фасадного освітлення. До таких метеорологічних явищ відносяться:

- туман;
- дощ;
- сніг.

При різних цих явищах людина по різному сприймає довжину хвилі RGBW освітлення. Значення кольорової схеми можна бачити на таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

## Значення основних кольорів в моделі RGB

Колір	Діапазон довжин хвиль, нм	Діапазон частот, ТГц	Діапазон енергії фотінов, еВ
Червоний	625-740	405-480	1,68-1,98
Помаранчевий	590-625	480-510	1,98-2,10
Жовтий	565-590	510-530	2,10-2,19
Зелений	500-565	530-600	2,19-2,48

Продовження табл. 2.1

Блакитний	485-500	600-620	2,48-2,56
Синій	440-485	620-	2,56-2,82

		680	
Фіолетовий	380-440	680-790	2,82-3,26

Дана колірна модель вважається адитивною, тобто при збільшенні яскравості окремих складових буде збільшуватися і яскравість результуючого кольору: якщо змішати всі три кольори з максимальною інтенсивністю, то результатом буде білий колір; навпаки, за відсутності всіх кольорів виходить чорний, тобто відсутність світла.

Розсіювання світла, котре ми можемо розглядати при різних погодних умовах, можна описати законами Міє та Ламберта. Закон Міє описує, як змінюється інтенсивність світла при розсіюванні. Закон Ламберта описує розсіювання світла від поверхні та вказує на те, що інтенсивність світла пропорційна косинусу кута між напрямом світла і поверхнею.

Закон Міє:  $I = I_0 \times e^{-k \times d}$ , де  $I$  - інтенсивність світла після розсіювання,  $I_0$  - початкова інтенсивність світла,  $k$  - коефіцієнт розсіювання,  $d$  - відстань, яку пройшло світло через середовище.

Закон Ламберта:  $I = I_0 \times \cos(\theta) \times e^{-k \times d}$ , де  $I$  - інтенсивність світла,  $I_0$  - початкова інтенсивність світла,  $\cos(\theta)$  - кут між напрямом світла та нормаллю до поверхні.

Вологість та температура можуть впливати на колірне сприйняття. Існує поняття "температури кольору", яке визначає колір світла. Зміна вологості може впливати на цю температуру, при високій вологості повітря, наприклад туман, біле світло виглядає "теплішим", тобто збільшується довжина червоного світла, і при низькій вологості збільшується довжина синього кольору, тобто, світло виглядає "холодним"

Коефіцієнт розсіювання  $k$  у законі Міє залежить від різних факторів, таких як тип аерозолів, розмір часток, довжина хвиль світла і так далі. Він може

варіюватися в залежності від конкретних погодних умов і складу атмосфери. Давайте наведемо загальні діапазони значень для різних умов:

**Чисте повітря:** Коли атмосфера майже відсутня аерозолів, коефіцієнт розсіювання  $k$  буде меншим. Загальною характеристикою може бути  $k \approx 0.1 \text{ m}^{-1}$

**Туман або висока вологість:** Збільшення кількості аерозолів внаслідок туману або високої вологості може призвести до збільшення  $k$ . Значення може бути у діапазоні  $0.1 \leq k \leq 0.1 \text{ m}^{-1}$

**Сильний дощ або буря:** Інтенсивний дощ може призвести до великого видалення аерозолів з атмосфери, знижуючи  $k$ . Таким чином, значення може бути меншим, наприклад,  $k \leq 0.1 \text{ m}^{-1}$ .

Для дослідження довжини хвилі RGB палітри світла в конкретний момент часу застосовується датчик кольору SpectralDens, зображення на рис. 2.4. Принцип роботи полягає у введенні фотоприймачів  $F_1, F_2, \dots, F_n$  на вхід  $b(\lambda)$ . Електричні сигнали від цих фотоприймачів надходять до визначальних підсилювачів  $U_1, U_2, U_3$  через резистори  $R_1, R_2, R_3$ , відповідно. Далі сигнали подаються до аналого-цифрового перетворювача (АЦП), пройшовши через регістр даних та інтерфейс для подальшої обробки.



Рис. 2.4 Сенсор RGB хвиль SpectralDens

Сигнал на вході кожного каналу може мати різні передаточні коефіцієнти, які визначаються за допомогою виразу.

$$u_{auxj} = a_{ji} u_i = \frac{R_{oi}}{R_{ji}} u_i$$

де  $u_i$  – сигнал на виході і-го фотоприймача ( $i = 1, \dots, n$ );

$u_{auxj}$  – сигнал на виході j-го визначального підсилювача ( $j = 1, 2, 3$ )

$R_{oi}$  – опір 1-го резистора на вході j-го визначального підсилювача;

$R_{ji}$  – опір резистора зворотного зв'язку у вирішальному підсилювачі.

Електричний струм, який утворюється в ланцюзі кожного фотодіоду під впливом випромінювання, можна визначити за допомогою відповідного виразу.

$$I_i = k \int_{\lambda_{i1}}^{\lambda_{i2}} b(\lambda) f_i(\lambda) d\lambda$$

де  $I_i$  – є отримана спектральна характеристика і-го фотоприймача та фільтра;

$\lambda$  – довжини хвилі випромінювання, що відповідають початку та кінці діапазону передачі і-го фільтра;

$k$  – коефіцієнт пропорційності.

Тоді вихідна напруга кожного фотоприймача окремо визначається:

$$u_i = I_i R_{H_i} = k R_{H_i} \int_{\lambda_{i1}}^{\lambda_{i2}} b(\lambda) f_i(\lambda) d\lambda$$

де  $R_{H_i}$  – опір навантаження в ланцюзі фотоприймача.

Так як на вхід визначального підсилювача одночасно надходять сигнали від всіх фотоприймачів, його вихідна напруга буде розрахована за допомогою визначеної формули:

$$u_{mij} = \sum_{i=1}^n a_{ij} u_i = \sum_{i=1}^n a_{ij} k R_{ij} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} b(\lambda) f_i(\lambda) d\lambda = k R_{ij} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} b(\lambda) \left( \sum_{i=1}^n a_{ij} f_i(\lambda) \right) d\lambda$$

де  $\lambda$  – довжини хвилі нижньої та верхньої межі діапазону світла.

Останній вираз вказує на те, що спектральні характеристики кожного з трьох каналів передачі сигналу визначаються відношенням.

Початок форми

$$J_i(\lambda) = \sum_{j=1}^n a_{ij} f_j(\lambda)$$

Отже, на відрізку заданої системи функцій маємо завдання визначити значення коефіцієнтів у виразі, які визначають параметри резисторів, зображених на рис. 2.5. Мета полягає в тому, щоб знизити різниці між кривими спектральної чутливості людського ока до мінімуму. Якщо розглядати ці функції як елементи простору Гільберта, то важливо використовувати стандартне відхилення як метрику відхилення многочлена.

$$\delta = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (J_i(\lambda) - e_i(\lambda))^2 d\lambda$$

Щоб вирахувати середньоквадратичне відхилення, слід розглянути лінійну комбінацію, для якої

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (e_i(\lambda) - \sum_{j=1}^n a_{ij} f_j(\lambda)) f_m(\lambda) d\lambda = 0, m = 1, j$$

Існування її можливе завдяки тому, що коефіцієнти відомі і однозначно визначаються в системі лінійних рівнянь.

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f_i(\lambda) f_m(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} e_j(\lambda) f_m(\lambda) d\lambda$$

Можна продемонструвати, що цей вираз досягає свого мінімуму при використанні цієї лінійної комбінації. Для підтвердження цього візьмемо іншу лінійну комбінацію для даного виразу.

$$I_j = k \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} b(\lambda) f_j(\lambda) d\lambda$$

$$\begin{aligned} & \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda))^2 d\lambda = \\ & = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda))^2 d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda) + \sum_{i=1}^n (a_{ji} - a_{ji}) f_i(\lambda))^2 d\lambda = \\ & = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda))^2 d\lambda + \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \sum_{i=1}^n (a_{ji} - a_{ji}) f_i(\lambda))^2 d\lambda = \\ & = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda))^2 d\lambda \end{aligned}$$

Наше припущення впливає із нерівності, яку ми отримали. Ми апроксимуємо інтеграли системи, використовуючи довільний набір точок.

Тоді:

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f_i(\lambda) f_m(\lambda) d\lambda = \sum_{k=1}^p f_i(\lambda_k) f_m(\lambda_k)$$

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda))^2 d\lambda =$$

$$\begin{aligned}
&= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda))^2 d\lambda + \sum_{i=1}^n (a_{ji} - a_{ij}) f_i(\lambda) (e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda)) d\lambda = \\
&= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda))^2 d\lambda + \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \sum_{i=1}^n (a_{ji} - a_{ij}) f_i(\lambda) (e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda)) d\lambda = \\
&= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda)) d\lambda
\end{aligned}$$

Із отриманої нерівності маємо наше твердження. Ми наближаємо інтеграли системи довільним набором точок.

Тоді:

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f_i(\lambda) f_m(\lambda) d\lambda = \sum_{k=1}^p f_i(\lambda_k) f_m(\lambda_k)$$

Значення

$$\sum_{k=1}^p f_i(\lambda_k) f_m(\lambda_k) = (f_i, f_m)$$

Тоді систему можна переписати як

$$\begin{cases}
a_{j1}(f_1, f_1) + \dots + a_{jn}(f_n, f_1) = (e_j, f_1) \\
a_{j1}(f_1, f_2) + \dots + a_{jn}(f_n, f_2) = (e_j, f_2) \\
\dots \\
a_{j1}(f_1, f_n) + \dots + a_{jn}(f_n, f_n) = (e_j, f_n)
\end{cases}$$

У цьому випадку буде визначено мінімальне значення від відношення

$$\delta = \sum_{k=1}^n \left( \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda_k) - e_j(\lambda_k) \right)^2$$

Враховуючи, що  $a_{ji}$  – система рівняння (.11), ми нарешті отримуємо

$$\delta = \frac{\begin{vmatrix} (f_1, f_1) \dots (f_n, f_1) (e_j, f_1) \\ \dots \\ (f_1, f_n) \dots (f_n, f_n) = (e_j, f_n) \\ (e_j, f_1) \dots (e_j, f_1) = (e_j, e_j) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} (f_1, f_1) \dots (f_n, f_1) \\ \dots \\ (f_1, f_n) \dots (f_n, f_n) \end{vmatrix}}$$

Системне рішення можна легко впровадити на комп'ютері, представивши практичну концепцію прикладної колориметрії. Була розроблена структура та виготовлений метр кольорових характеристик відбитого світла, що забезпечує автоматизацію та цифрову обробку колориметричних вимірювань для адаптації кольорового освітлення фасаду корпусу за різних погодних умовах з постійною зміною ШІМ сигналу на RGB галогенових лампах для сталого підсвічування фасаду комфортним для людського ока кольором .

Тому пропоную пристрій для визначення кольору при різній інтенсивності люмінесценції та вологості повітря, що має підвищену точність та розширює діапазон вимірювання певних кольорів. Крім того, пристрій має спрощену конструкцію та метод вимірювань. Його принцип роботи полягає в тому, що сигнали з каналів R, G, B надходять на три входи трансформаторного блоку, а не на систему CRT.

Ньютон вніс важливий внесок у розробку лінійної моделі кольорового зору, створивши основу для неї. Одну з таких моделей вперше запропонував Т. Янг, виражаючи координати у вигляді інтегралів [5]:

$$U_1 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} b(\lambda) K_1(\lambda) d\lambda$$

$$U_2 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} b(\lambda) K_2(\lambda) d\lambda$$

$$U_3 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} b(\lambda) K_3(\lambda) d\lambda$$

де  $b(\lambda)$  – спектр випромінювання;

$K_1(\lambda)$ ,  $K_2(\lambda)$ ,  $K_3(\lambda)$  – деякі вагові функції, що характеризують чутливість ока до випромінювання з різною довжиною хвилі;

$\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  – видима мінімальна і максимальна довжини хвилі випромінювання світла.

Розсіювання світла можна описати законами Міє та Ламберта. Закон Міє описує, як змінюється інтенсивність світла при розсіюванні. Закон Ламберта описує розсіювання світла від матової поверхні та вказує на те, що інтенсивність світла пропорційна косинусу кута між напрямом світла і поверхнею.

Закон Міє:  $I = I_0 \times e^{-k \times d}$ , де  $I$  - інтенсивність світла після розсіювання,  $I_0$  - початкова інтенсивність світла,  $k$  - коефіцієнт розсіювання,  $d$  - відстань, яку пройшло світло через середовище.

Закон Ламберта:  $I = I_0 \times \cos(\theta) \times e^{-k \times d}$ , де  $I$  - інтенсивність світла,  $I_0$  - початкова інтенсивність світла,  $\cos(\theta)$  - кут між напрямом світла та нормаллю до поверхні.

Таким чином ми отримуємо достатньо даних для апробації даних, щоб отримати максимально повну модель освітлення фасаду з врахування всіх спектрів світла та зміни сприйняття кольору за різних погодних умов.

## **2.2 Розробка системи керування освітленням фасаду на сонячних батареях**

В умовах міського середовища світло сприяє активності громадян вночі, створюючи жваве нічне життя, яке використовують культурні заклади, магазини та підприємства. Вражаюче освітлення фасадів робить будівлі помітними в міському просторі і сприяє орієнтації.

Для того, щоб система була більш енергоефективною було додано сонячні батареї котрі дозволять зробити розроблену систему автономною, тобто живити плату ESP32 за допомогою сонячної батареї з використанням літієвого акумулятора 18650 і модуля зарядного пристрою TP4056. Схема також сумісна з ESP8266 або будь-яким мікроконтролером, який живиться від 3,3 В.

Потужність сонячних панелей становить від 5 до 7.5 Вт під прямими сонячними променями. Сонячні батареї заряджають літієву батарею через модуль зарядного пристрою TP4056. Цей модуль відповідає за зарядку акумулятора і запобігає перезарядці. Літієва батарея видає напругу 4,2 В при повній зарядці. Для коректної роботи необхідно використовувати схему стабілізатора з низьким падінням напруги (MCP1700-3302E), щоб отримати напругу 3,3 В від виходу батареї. Вихід регулятора напруги буде живити ESP32 через контакт 3.3В.

Сонячні панелі мають вихідну напругу від 5 до 6 В. Щоб батарея заряджалася швидше, можна використовувати кілька сонячних панелей паралельно.

Для паралельного підключення сонячних панелей потрібно під'єднати клему (+) однієї сонячної панелі до клемі (+) іншої сонячної.

При паралельному підключенні сонячних панелей отримуємо однакову вихідну напругу і подвоюємо струм (для ідентичних сонячних панелей).

На рис 2.5, сонячні панелі видають напругу приблизно 6 В.



Рис 2.5 Напруга на батареях

Модуль зарядного пристрою для літєвих батарей TP4056 рис 2.6 постачається із захистом ланцюга і запобігає перенапруженню батареї та під'єднанню зі зворотною полярністю.

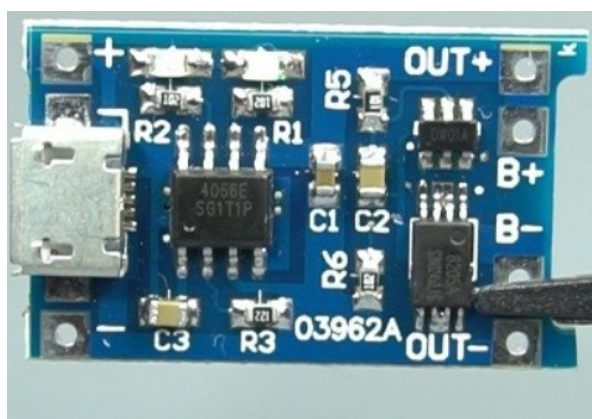


Рис 2.6 Модуль TP4056

Модуль TP4056 загоряється червоним світлодіодом, коли він заряджає акумулятор, і загоряється синім світлодіодом, коли акумулятор повністю заряджений. Підключати сонячні панелі до модуля слід підключати через зарядний пристрій літєвої батареї TP4056 за для запобігання перенасичення акумуляторів. Позитивні клеми підключаються до контакту, позначеного IN+, а негативні клеми до контакту, позначеного IN-. Позитивну клему тримача батареї до контакту V+, а негативну клему тримача батареї до контакту V-.

OUT+ і OUT- є виходами батареї. Експериментальним шляхом було визначено, що літєві акумуляторні батареї видають до 4,2 В під час повного зарядження, хоча в DataSheet вказано 3,7 В.

Для живлення ESP32 через його контакт 3,3 В, потрібна схема стабілізатора напруги, щоб отримати 3,3 В від виходу батареї. Використання звичайного лінійного регулятора напруги для скидання напруги з 4,2 В до 3,3 В – не підходить для стабільної роботи системи, тому що під час розрядження батареї, наприклад, до 3,7 В, ваш регулятор напруги перестане працювати, бо в нього висока напруга відсічення. Для ефективного зниження напруги, вам потрібно використовувати регулятор з малим падінням напруги або LDO для стислості, який може регулювати вихідну напругу.

MCP1700-3302E рис 2.7 є одним із найкращих для того, що ми хочемо зробити. Існує також хороша альтернатива у вигляді NT7333-A.

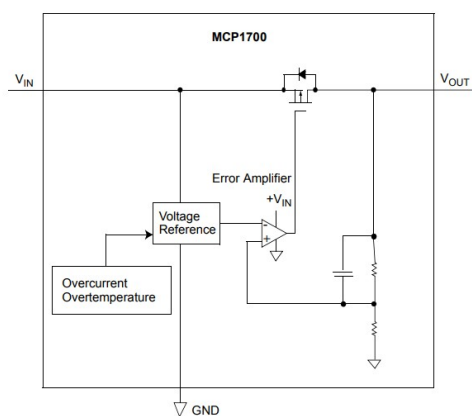


Рис 2.7 Регулятор MCP1700-3302E

Будь-який LDO-стабілізатор, який має характеристики, аналогічні цим двом, також є хорошою альтернативою.

LDO повинні мати керамічний конденсатор і електrolітичний конденсатор, під'єднані паралельно до GND і Vout для згладжування піків напруги. Для вибраної схеми доцільно використовувати електrolітичний конденсатор ємністю 100 мкФ і керамічний конденсатор ємністю 100 нФ.

Формула дільника напруги виглядає наступним чином:  $V_{out} = (V_{in} * R_2) / (R_1 + R_2)$ . Отже, якщо ми використовуємо  $R_1 = 27 \text{ кОм}$ , а  $R_2 = 100 \text{ кОм}$ , ми отримаємо 3,3 В. Таким чином, коли батарея повністю заряджена, на виході Vout буде 3,3 В, що ми можемо прочитати за допомогою ліній GPIO ESP32. Додавши два резистори у вашу схему, як показано на наступній принциповій схемі рис 2.8.

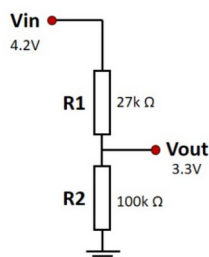


Рис 2.8 Шунт

У цьому випадку ми відстежуємо рівень заряду батареї через GPIO33 рис 2.10, але можна використовувати будь-який інший відповідний GPIO. Нарешті, щоб отримати рівень заряду батареї, ви можете просто прочитати напругу на GPIO33, використовуючи функцію `analogRead()` у кодї в середовищі Arduino IDE.

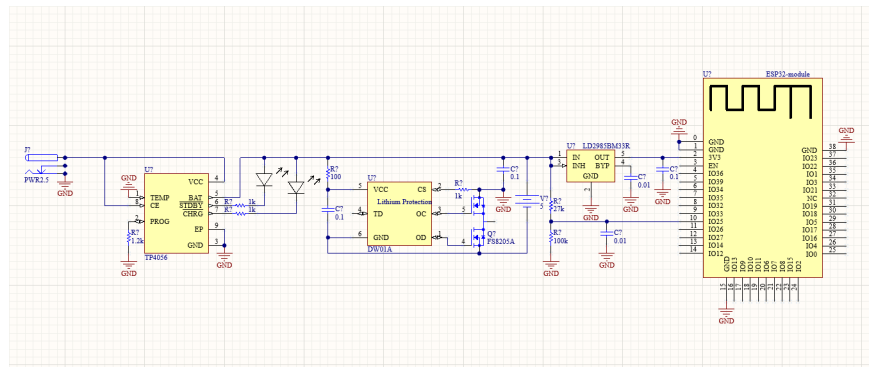


Рис 2.9 Принципова схема підключення до МК

### 2.3 Обґрунтування та підбір комплектуючих

Інтелектуальна система освітлення на основі світлодіодів (LED) розроблена з використанням процесора ESP32, що дозволяє керувати режимами роботи освітлювальних пристроїв. Ця система здатна моніторити їх працездатність, виконувати функції включення/виключення, затемнення та виконання сценаріїв роботи через інтерфейс користувача.

Зазвичай для керування виконавчими пристроями використовують реле, а в разі світлодіодних систем можливі такі варіанти: для невеликих струмів - використання резисторів для світлодіодів або стабілізаторів току для більш потужних світлодіодів, відомих як драйвери світлодіодів.

На рис 2.11 зображена структурна схема автоматизованої системи освітлення (АСО).

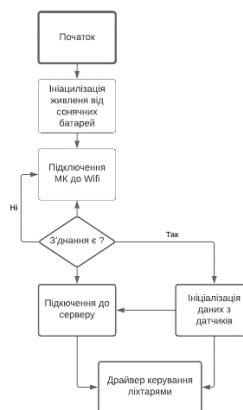


Рис. 2.10 Структурна схема автоматизованої системи освітлення.

Лампа живиться та керується світлодіодним драйвером, який з'єднано з мікроконтролером ESP32. Зазвичай обирають готові драйвери та прожектори як готові елементи конструкції. Однак цей підхід має свої недоліки, серед яких:

- висока вартість;
- жорстка залежність роботи системи від користувача;
- обмежений функціонал у більшості світлодіодних пристроїв зовнішнього освітлення;
- висока ймовірність відмов;
- відсутність можливості внесення змін у програмну або апаратну частину системи.

Для вирішення цих недоліків запропоновано створення освітлювального пристрою на базі мікроконтролера та розробка драйверу для освітлювального пристрою на основі ESP32.

Освітлювальний пристрій виготовлено за допомогою LED-технологій, зокрема smd-елементів, і відібрано з урахуванням потужності та кольорового спектру. Для реальної моделі вибрано чіп потужністю 50 Вт, а для тестування системи - чіп потужністю 3 Вт з кольорним спектром RGBW.

Точкові світильники призначені для зовнішнього використання і забезпечують ефективне освітлення. Завдяки різним розмірам, розподілу світла та широкому діапазону просвіту, менші об'єкти можуть бути освітлені так само вражаюче, як і монументальні фасади. Прожектори ідеально підходять для створення високо контрастних акцентів без розсіяного світла. Проектори та настінні шайби забезпечують рівномірне освітлення поверхонь, навіть з великих відстаней та в умовах складного монтажу.

На рис. 2.4 представлені світильники розміру:

- від 210 лм / 2 Вт до 825 лм / 6 Вт.
- від 840 лм / 8 Вт до 2475 лм / 18 Вт.
- від 302 лм / 3,1 Вт до 2598 лм / 21,6 Вт.



Рис. 2.11 Світильники з ШІМ модуляцією палітри RGB

Аналіз лінійки мікропроцесорів з розглядом їхніх конкретних характеристик дозволив вибрати відповідний тип плати, який відповідає вимогам для системи освітлення з віддаленим керуванням.

Мікроконтролер представляє собою невеликий та економічний мікрокомп'ютер, призначений для виконання конкретних завдань вбудованих систем, таких як відображення інформації про мікрохвильову піч, отримання дистанційних сигналів і інше.

Загальна структура мікроконтролера включає в себе процесор, пам'ять (RAM, ROM, EPROM), послідовні порти, периферійні пристрої (таймери, лічильники) та інші елементи.

Мікроконтролери класифікуються за декількома параметрами, такими як пам'ять, архітектура, розрядність та набір команд. Нижче подано перелік різновидів мікроконтролерів.

Залежно від розрядності мікроконтролера виділяють три категорії:

- 8-розрядні мікроконтролери використовуються для базових арифметичних та логічних операцій. Прикладами є Intel 8031 і 8051.
- 16-розрядні мікроконтролери використовуються для операцій, де потрібна висока точність і продуктивність. Наприклад, Intel 8096.
- 32-розрядні мікроконтролери застосовуються в автоматизованих пристроях, таких як операційні машини.

Залежно від конфігурації пам'яті розрізняють дві категорії:

- мікроконтролери зовнішньої пам'яті не мають вбудованої програмної пам'яті на чіпі, наприклад, Intel 8031;

- мікроконтролери із вбудованою пам'яттю мають всі програми, дані, лічильники, таймери та порти вводу-виводу вбудовані в чіп, наприклад, Intel 8051.

### Набір інструкцій

В залежності від конфігурації набору інструкцій виділяють дві категорії:

- CISC (Computer with Complex Instruction Set) - це комп'ютери зі складним набором інструкцій, який дозволяє користувачу вставляти одну інструкцію як альтернативу багатьом простим інструкціям.

- RISC (Reduced Instruction Set Computer) - це комп'ютери зі скороченим набором інструкцій, що прискорює роботу, зменшуючи тактовий цикл на інструкцію.

### Застосування мікроконтролерів

Мікроконтролери широко використовуються в різних пристроях, таких як:

- системи управління освітленням з використанням світлодіодів;

- прилади вимірювання та контролю температури, наприклад, мікрохвильові печі та димоходи;

- системи виявлення пожеж та забезпечення безпеки, такі як пожежна сигналізація;

- вимірювальні пристрої, такі як вольтметри.

Враховуючи ці вимоги, було вибрано мікроконтролер ESP32 Espressif ESP-WROOM-32 за його сумісність та високі технічні характеристики (рис. 2.12).



Рис. 2.12

ESP32 - це високоінтегроване рішення для застосувань Wi-Fi + Bluetooth у сфері Інтернету речей, об'єднане з приблизно 20 зовнішніми компонентами. У складі ESP32 входять антенний перемикач, РЧ-балун, підсилювач потужності, низькосвітній підсилювач прийому, фільтри та модулі керування живленням. Це дозволяє зменшити розмір друкованої плати (PCB) до мінімуму. ESP32 використовує технологію CMOS для однокристальної повністю інтегрованої радіостанції та основної смуги, а також вбудовані схеми калібрування, які дозволяють динамічно налаштовуватися для усунення недоліків зовнішніх схем чи пристосування до змін зовнішніх умов. Таким чином, для масового виробництва рішень ESP32 не потрібне висококоштовне та спеціалізоване обладнання для тестування Wi-Fi.

Для розробки програмного забезпечення буде використовуватися середовище розробки Arduino IDE.

Характеристики ESP-32(таб.2.2):

Таблиця 2.2

Підтримувані Wi-Fi мережі	802.11 b/g/n
Підтримувані Wi-Fi стандарти	classic та BLE (v4.2)
Частота мікроконтролера	240 МГц

Обсяг ОЗП	520 КБ
Об'єм ППЗ (у складі чіпа ESP32)	448 КБ
Об'єм флеш пам'яті (додатковий чіп на платі)	4МБ
робоча напруга	2.3...3.6 В
Максимальний струм споживання (при передачі)	260 мА
Діапазон робочих температур	-40°C..+125°C
Розміри модуля	25.2 x 18 мм

Функціональні можливості плати дозволяють використовувати її для створення різноманітних IoT-пристроїв, роботів, серверів, систем автоматики, мультимедійних пристроїв, а також для реалізації систем "розумний дім" та інших застосувань.

## **2.4 Розробка світлодіодного драйверу керування системою освітлення**

Світлодіодні лампи стали важливим джерелом світла, використовуваним не лише для освітлення, але й для збереження електроенергії. Драйвер є електричним блоком живлення, який підтримує робочий струм на виході та використовується для подачі напруги в LED-системи як джерело живлення.

Основне функціональне призначення таких електронних пристроїв - стабілізація та регулювання струму в системі. Ці параметри повинні відповідати вимогам, що встановлюються для конкретного типу світлодіодів. Живлення відбувається від стандартної мережі напругою 220В, де для з'єднання з джерелом використовується резистор.

Драйвери розрізняються за конструкцією, яку вони використовують. Драйвери світлодіодів поділяють на імпульсні та лінійні, кожен з них має свої переваги та сфери застосування.

При виборі драйвера для освітлення фасаду важливо враховувати параметри, такі як напруга живлення (5 В), загальна потужність (9 Вт) та необхідний захист від вологості (IP65). Світлодіод живиться від світлодіодного драйвера, який керується мікроконтролером за допомогою сигналів широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

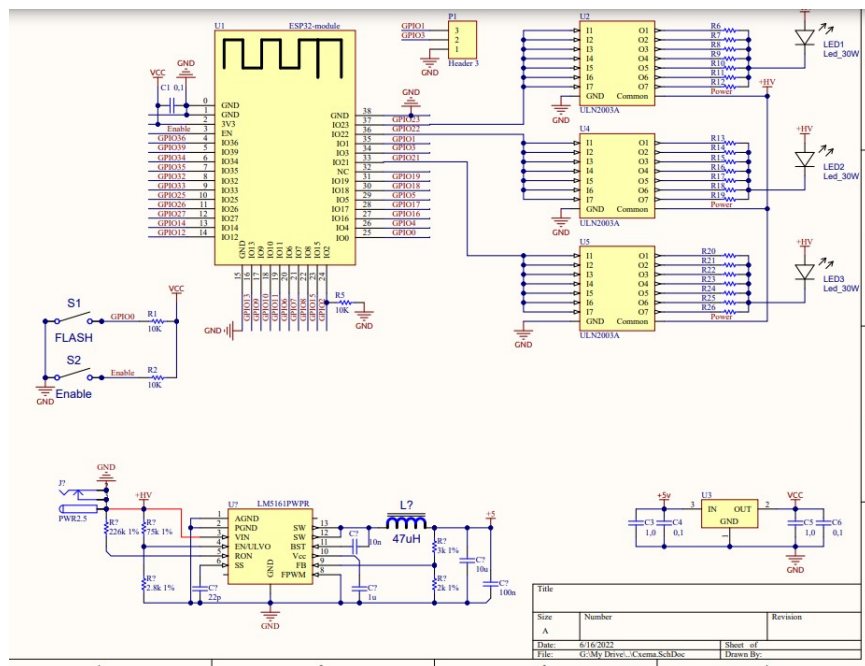


Рис. 2.21 . Схема принципова електрична системи освітлення

Для управління потужною системою світлодіодів використовувався основний компонент - драйвер L298N. Це звичайний драйвер крокового двигуна, який відзначається ефективною та простою схемою збірки. Його ефективність і потужність забезпечуються наявністю вбудованих транзисторів Дарлінгтона.

Модуль драйвера двигуна L298N включає в себе мікросхему драйвера двигуна L298, регулятор напруги 78M05, резистори, конденсатор, світлодіод та перемикач 5 В в інтегральній схемі 78M05. Регулятор напруги активується

лише в разі встановлення перемикача. Коли джерело живлення не перевищує 12 В, внутрішня схема отримує живлення від стабілізатора напруги, і контакт 5 В може служити вихідним для живлення мікроконтролера. Важливо не встановлювати перемикач, коли джерело живлення перевищує 12 В, і окремі 5 В слід подавати через клему 5 В для живлення внутрішньої схеми. Внутрішня електрична схема модуля драйвера двигуна L298N рис 2.13 наведена нижче:

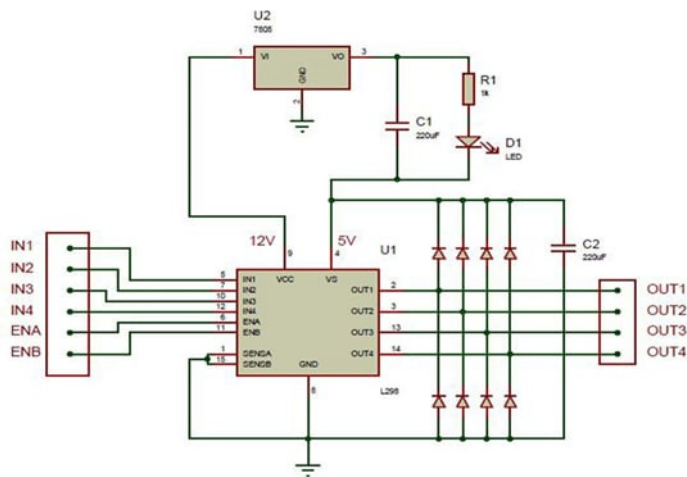


Рис. 2.13 Схема принципова електрична модуля L298N

Цей драйвер може знижувати напругу від 12 В до 5 В. На одному контакті витримується навантаження током до 0.5 А, що дозволяє підключати світлодіоди з потужністю до 50 Вт. Додатковою особливістю цього компоненту є наявність транзистора Дарлінгтона.

Однією з можливих транзисторних конфігурацій, яка часто виявляється дуже ефективною в різних випадках, є пара транзисторів Дарлінгтона. Пара Дарлінгтона призначена для надання значного посилення струму, завдяки високому вхідному опору у порівнянні з одним транзистором.

Незважаючи на свою ефективність, пара Дарлінгтона не завжди підходить для всіх задач з високим коефіцієнтом посилення. Тим не менше, вона може мати численні переваги у порівнянні з іншими транзисторними конфігураціями, особливо там, де важливий високий рівень посилення струму.

Інколи пару Дарлінгтона також називають суперальфа-парою, хоча цей термін зараз менше вживається. Конфігурацію схеми, розроблену у 1953 році Сідні Дарлінгтоном в Bell Laboratories, можна придбати як окремі електронні компоненти, або як один електронний компонент зі вбудованими транзисторами.

Пара Дарлінгтона має свої особливості, зокрема складну конфігурацію. Вона складається зазвичай з двох транзисторів, з емітером вхідного транзистора з'єднаним безпосередньо з базою другого. Це забезпечує дуже великий рівень посилення струму, обчислений як добуток коефіцієнтів посилення обох транзисторів.

У конструкції пари Дарлінгтона часто можна побачити байпасний резистор між базовим і емітерним з'єднанням останнього транзистора. Це сприяє швидшому вимкненню, але при використанні надто малих резисторів може призвести до втрат посилення струму.

Типові характеристики пари Дарлінгтона включають високий коефіцієнт посилення струму, високу напругу базового емітера та застосування в низькочастотних додатках. Такі транзисторні пари доступні як окремі компоненти або вбудовані в одну мікросхему, що робить їх привабливими для різноманітних електронних дизайнів

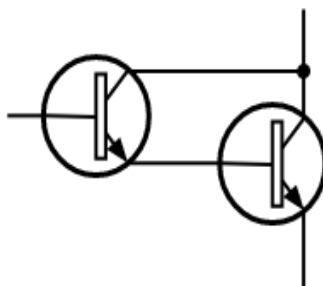


Рис. 2.25 Схема парної мікросхеми Дарлінгтона

Переваги та недоліки транзистора Дарлінгтона

Пара Дарлінгтона пропонує значні переваги, але їх слід уважно збалансувати з недоліками, особливо якщо розглядається можливість використання її в електронних схемах.

Переваги пари Дарлінгтона включають:

- високий коефіцієнт посилення струму;
- великий вхідний опір для загальної схеми;
- широка доступність пар Дарлінгтона у одному корпусі або можливість створення їх із двох окремих транзисторів;
- зручна та проста конфігурація схеми.

Недоліки пари Дарлінгтона включають:

- повільну швидкість перемикавання;
- обмежену пропускну здатність;
- впровадження фазового зсуву, який може призводити до проблем на певних частотах при використанні негативного зворотного зв'язку;
- вища загальна напруга база-емітер ( $2 \times V_{be}$ );
- висока напруга насичення (зазвичай близько 0,7 В), що може викликати значний рівень розсіювання потужності;

Незважаючи на обмеження, пара Дарлінгтона знаходить широке використання в різних областях, зокрема в тих, де не вимагається висока частотна характеристика. Транзистори Дарлінгтона використовуються в різних застосуваннях, таких як аудіовиходи, виходи джерела живлення, драйвери дисплеїв тощо.

Існує різноманіття схем, які використовують пару Дарлінгтона як ключовий активний елемент. Високий коефіцієнт посилення пари Дарлінгтона робить її ефективною для різних ланцюгів і додатків, де потрібно підсилювати вхідні сигнали відносно низького рівня для керування значними навантаженнями.

Схеми парної конфігурації біполярних транзисторів Дарлінгтона, які використовуються в поєднанні з датчиком світла, аудіопідсилювачами та джерелами живлення, представляють собою поширений приклад використання парних транзисторів Дарлінгтона.

У цих схемах пара Дарлінгтона може представляти собою один пристрій із вбудованим Дарлінгтоном або може бути складена з дискретних транзисторів. Також пара Дарлінгтона широко використовується в аналогових інтегральних схемах, де важливі високі рівні посилення.

Транзисторна схема Дарлінгтона ідеально підходить для використання в компактних мікросхемах драйверів світлодіодів та інших невеликих пристроїв. Завдяки високому коефіцієнту посилення струму ці мікросхеми драйвера здатні ефективно взаємодіяти зі світлодіодами та іншими пристроями, що використовують логічні мікросхеми.

## **Висновки до розділу**

Для розробки системи управління зовнішнім освітленням фасаду будівлі були визначені вимоги до системи управління освітленням, створена структурна схема системи, виконаний відбір компонентів з обґрунтуванням. Розроблено принципову електричну схему системи освітлення на єдиній платі з використанням мікроконтролера ESP32. В систему включено два перетворювачі напруги та світлодіодний драйвер, заснований на модулі драйвера крокового двигуна L298N. Розглянуті особливості конструкції модуля L298N, зокрема, наявність транзисторів Дарлінгтона, принцип його функціонування та характеристики.

### **3. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ**

#### **3.1 Дослідження принципів роботи системи освітлення на сонячних панелях**

Сучасні технології дозволяють практично кожному власнику приватного будинку створювати власні джерела енергії, використовуючи сонячні батареї. Витрати на устаткування таких систем поступово відбиваються завдяки отриманню безкоштовної електроенергії. Основним аспектом використання сонячних батарей є їхнє екологічно безпечне впровадження.

Основні компоненти сонячних батарей у звичайній конфігурації включають сонячні панелі, акумулятор, обладнаний засобом керування зарядом, та інвертор, який забезпечує конвертацію постійного струму в змінний. Сонячні панелі можна придбати вже готовими в комплекті, який також може включати акумуляторні батареї з контролерами заряду та інвертор.

Сонячна батарея складається з елементів, які виробляють електричну енергію, з'єднаних послідовними та паралельними ланцюгами для підвищення основних параметрів – напруги, потужності та струму на виході. Діоди використовуються для шунтування, що попереджає перегрівання батареї у випадку затемнення частини сонячного елемента.

Принцип роботи сонячних панелей полягає в накопиченні електроенергії в акумуляторах, яка подається споживачам. Зарядка акумуляторів вимагає створення паралельно-послідовного з'єднання елементів, що забезпечує напругу, що перевищує напругу акумуляторів.

При оптимальному освітленні сонячні елементи швидко забезпечують заряд акумулятора до 90%, після чого відбувається повільна зарядка до повної ємності. У випадку недостатнього освітлення батареї постачають недостатню кількість електроенергії, і акумулятор віддає накопичену енергію споживачам,

продовжуючи неперервно видачу та зарядку. Циклічність цього процесу регулюється контролерами.

Контролери також регулюють заряд сонячних батарей: після досягнення повної потужності до батареї підключається резистор для вбирання зайвої потужності. Для використання у більшості побутових приладів, які працюють на змінному струмі, необхідні інвертори, оскільки акумулятори видають струм постійної напруги.

### **3.2 Розрахунок енергоефективності системи**

Сонячна енергетична система — це одне з відновлюваних джерел енергії, яке використовує сонячні фотоелектричні модулі для перетворення сонячного світла в електрику. Вироблену енергію можна накопичувати або використовувати безпосередньо, повертати в мережу або змішувати з однією чи кількома іншими джерелами електроенергії чи відновлюваними джерелами енергії. Сонячна система є найнадійнішим і найчистішим джерелом електроенергії, яке може задовольнити широкий спектр застосувань, таких як проживання, промисловість, сільське господарство, тваринництво тощо. Звичайно, якщо досягнуто першу умову: достатню кількість сонячних годин.

Сонячне вуличне світло містить різні компоненти, які слід вибирати відповідно до типу системи, розташування сайту та програм. Основними частинами сонячної системи вуличного освітлення є сонячна панель, сонячний контролер заряду, акумулятор, інвертор, стовп, світлодіодне світло.

Нижче основні характеристики кожної частини:

- PV модуль – перетворює сонячне світло в електроенергію постійного струму.

- Сонячний контролер заряду – регулює напругу та струм, що надходять від фотоелектричних панелей до батареї, запобігає перезарядженню батареї та подовжує термін служби батареї.

- Акумулятор – зберігає енергію для живлення електроприладів, коли є потреба.

- Навантаження – це електроприлади, підключені до сонячної фотоелектричної системи, такі як освітлення, Wi-Fi, камери тощо,

Тепер, на основі всіх частин, спроектовано та визначено найкращу систему для проекту сонячного вуличного освітлення. Для цього слід:

1. Визначити, яка потужність споживає ваш вуличний ліхтар

Першим кроком у розробці системи вуличного освітлення на сонячних батареях є визначення загальної потужності та енергоспоживання світлодіодного освітлення та інших частин, які потребуватимуть живлення від сонячної енергії, наприклад Wi-Fi, камери тощо. PV система.

Покроково розрахуємо загальне споживання сонячної системи:

1. Обчислимо загальну кількість ват-годин на день для кожної використаної частини.

Слід додати кількість ват-годин, необхідних для всіх частин, щоб отримати загальну кількість ват-годин на день повинні бути доставлені до приладів.

1. Обчислити загальну кількість ват-годин на день, необхідну від фотоелектричних модулів.

2. Помножте загальну кількість ват-годин приладів на день на 1,3 (енергія, втрачена в системі), щоб отримати загальну кількість ват-годин на день, яку мають забезпечити панелі.

Різні розміри сонячних фотомодулів вироблятимуть різну кількість електроенергії. Щоб дізнатися розмір фотоелектричного модуля, потрібно загальну пікову вироблену потужність. Пікова вироблена потужність ( $W_p$ ) залежить від розміру фотоелектричного модуля та клімату місця розташування.

Ми повинні враховувати «коефіцієнт генерації панелі», який відрізняється в кожному місці розташування. Для Таїланду коефіцієнт генерації панелей становить 3,43. Щоб визначити розмір фотоелектричних модулів, розрахуйте наступним чином:

Далі слід обчислити загальну пікову потужність, необхідну для фотоелектричних модулів

Розділіть загальну кількість ват-годин на день, необхідну для фотоелектричних модулів (з пункту 2), на 3,43, щоб отримати

загальна пікова потужність, необхідна для фотоелектричних панелей, необхідних для роботи приладів.

### **Розрахунок кількості фотоелектричних панелей для системи**

Слід розділити пікове навантаження на номінальну вихідну потужність доступних фотоелектричних модулів.

Результатом розрахунку є мінімальна кількість фотоелектричних панелей. Якщо встановити більше фотоелектричних модулів, система працюватиме краще, а термін служби батареї подовжиться. Якщо використовується менша кількість фотоелектричних модулів, система може взагалі не працювати під час хмарних періодів і термін служби батареї скоротиться.

### **Розмір батареї**

Тип батареї, рекомендований для використання в сонячних фотоелектричних системах, – батарея глибокого циклу. Батарея глибокого циклу спеціально розроблена для розрядження до низького рівня енергії та швидкої перезарядки або циклічної заряджання та розрядження день за днем протягом багатьох років. Акумулятор має бути достатньо потужним, щоб накопичувати достатньо енергії для роботи приладу вночі та в похмурі дні. Щоб дізнатися розмір акумулятора, розрахуйте наступним чином:

1. Обчисліть загальну кількість ват-годин на день, яку використовують прилади.

2. Розділіть загальну кількість ват-годин, використаних на день, на 0,85 для втрати батареї.

3. Відповідь, отриману в п. 2, розділити на 0,6 для глибини розряду.

4. Відповідь, отриману в п. 3, розділити на номінальну напругу батареї.

5. Помножте відповідь, отриману в пункті 3.4, на кількість днів автономної роботи (кількість днів, протягом яких система повинна працювати, коли фотоелектричні панелі не виробляють електроенергію), щоб отримати необхідний

Ємність акумулятора глибокого циклу в ампер-годинах.

Ємність батареї (Ah) = Загальна кількість ват-годин на день, що використовуються приладами x Дні автономної роботи

(0,85 x 0,6 x номінальна напруга акумулятора)

### **Розміри контролера сонячного заряду**

Сонячний контролер заряду зазвичай розрахований на силу струму та напругу. Виберіть сонячний контролер заряду, який відповідає напрузі фотоелектричної панелі та акумуляторів, а потім визначте, який тип сонячного контролера заряду підходить для вашого застосування. Переконайтеся, що сонячний контролер заряду має достатню потужність для обробки струму від фотоелектричної панелі.

Для серійного типу контролера заряду розмір контролера залежить від загального вхідного струму PV, який подається на контролер, а також залежить від конфігурації панелі PV (послідовна або паралельна конфігурація).

сонячний контролер вуличного освітлення

Згідно зі стандартною практикою, розмір сонячного контролера заряду полягає в тому, щоб взяти струм короткого замикання (Isc) фотоелектричної панелі та помножити його на 1,3

Рейтинг сонячного контролера заряду = Загальний струм короткого замикання фотоелектричної панелі x 1,3

Примітка. Розмір контролера заряду МРРТ буде іншим. (Див. Основи контролера заряду МРРТ)

Приклад: у будинку використовуються такі електроприлади:

Одна люмінесцентна лампа потужністю 18 Вт з електронним баластом використовувалася 4 години на день.

Один вентилятор потужністю 60 Вт використовується протягом 2 годин на день.

Один холодильник на 75 Вт, який працює 24 години на добу, компресор працює 12 годин і вимкнено 12 годин.

Система живиться від фотоелектричного модуля 12 В постійного струму, потужністю 110 Вт.

1. Визначити вимоги до енергоспоживання

Загальне використання приладу =  $(18 \text{ Вт} \times 4 \text{ години}) + (60 \text{ Вт} \times 2 \text{ години}) + (75 \text{ Вт} \times 24 \times 0,5 \text{ години}) = 1092 \text{ Вт-год/день}$

Загальна необхідна енергія фотоелектричних панелей:

$1092 \text{ Вт} \times 1,3 = 1419,6 \text{ Вт/день}$ .

2. Визначте розмір фотоелектричної панелі

2.1 Загальна потужність фотоелектричної панелі  $W_p$

необхідно =  $1419,6 / 3,4 = 413,9 \text{ Wp}$

2.2 Необхідна кількість фотоелектричних панелей =  $413,9 / 110 = 3,76$

модулів

Реальна потреба = 4 модулі

Таким чином, ця система повинна отримувати живлення від принаймні 4 модулів фотоелектричного модуля потужністю 110 Вт.

3. Розміри інвертора

Загальна потужність всіх приладів =  $18 + 60 + 75 = 153 \text{ Вт}$

Для безпеки інвертор слід розглядати на 25-30% більшого розміру.

Розмір інвертора має становити близько 190 Вт або більше.

4. Розмір батареї

Загальне використання приладів = (18 Вт x 4 години) + (60 Вт x 2 години)  
+ (75 Вт x 12 годин)

Номінальна напруга акумулятора = 12 В

Дні автономності = 3 дні

Ємність батареї = [(18 Вт \* 4 години) + (60 Вт \* 2 години) + (75 Вт \* 12 годин)] \* 3 \* (0,85 \* 0,6 \* 12)

Загальна кількість необхідних ампер-годин 535,29 А\*год

Таким чином, батарея повинна бути розрахована на 12 В 600 Ач на 3 дні автономної роботи.

5. Розміри контролера сонячного заряду

Специфікація фотоелектричного модуля

$P_m = 110 \text{ Wp}$

$V_m = 16,7 \text{ В}$  постійного струму

$I_m = 6,6 \text{ А}$

$V_{oc} = 20,7 \text{ А}$

$I_{sc} = 7,5 \text{ А}$

Номінальна потужність сонячного контролера = (4 рядки x 7,5 А) x 1,3 = 39А

Таким чином, сонячний контролер заряду повинен мати номінальний струм 40 А при 12 В або більше.

### **3.3 Опис алгоритму роботи системи освітлення фасаду будівлі**

Проект "Система сонячного освітлення фасаду будівлі з використанням ESP32" включає в себе комплекс технологій та пристроїв, спрямованих на створення ефективної та енергоефективної системи освітлення. Основою

системи є сонячні батареї, які перетворюють сонячне випромінювання в електричну енергію.

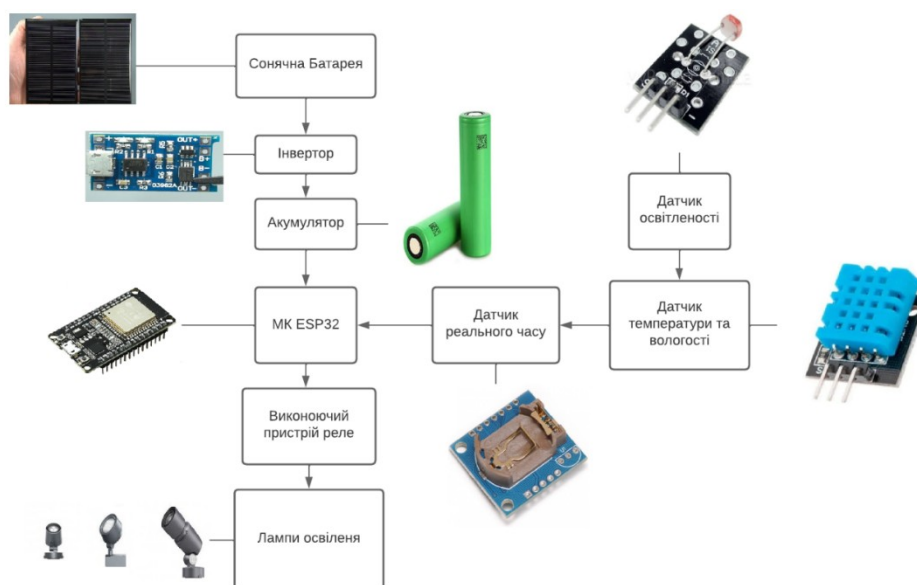


Рис.3.1

Сонячні батареї подають електроенергію на плату заряду TP4056, яка відповідає за зарядку батарей типу 18650. Ці батареї, зберігаючи електроенергію, є джерелом живлення для мікроконтролера ESP32, який відповідає за обробку даних та управління системою.

ESP32 отримує дані з трьох датчиків: датчика температури DHT11, датчика реального часу (RTC) та фоторезистора, що вимірює рівень освітленості. Ці дані використовуються ESP32 для прийняття рішень щодо включення та виключення освітлення фасаду будівлі.

Датчик температури дозволяє системі враховувати температурні умови, а фоторезистор визначає рівень освітленості, визначаючи необхідність включення освітлення. Датчик реального часу забезпечує точний час для алгоритму таймера та синхронізації часу включення/виключення освітлення.

Алгоритм роботи системи полягає в обробці даних з датчиків, аналізі цих даних та вирішенні, чи має включатися освітлення. За необхідності ESP32 видає команду на реле, яке управляє лампами освітлення фасаду будівлі.

Таким чином, система дозволяє ефективно використовувати електроенергію, забезпечуючи оптимальне освітлення фасаду з урахуванням зовнішніх умов та енергетичних резервів, забезпечених сонячними батареями та додатковими енергозберігаючими рішеннями. Програмне забезпечення до системи в середовищі розробки ARDUINO IDE наведено в ДОДАТКУ А

## **Висновки до розділу**

Розроблено програмне забезпечення для розгортання серверу, створення хмарного середовища та графічного інтерфейсу веб-інтерфейсу користувача. Функції управління інтерфейсу користувача дозволяють взаємодіяти з кожним світловим пристроєм або зоною світлових пристроїв, переключати режим освітлення, додавати визначений користувачем режим і змінювати налаштування існуючих режимів освітлення. Ці функції також охоплюють управління станом перемикача та рівнем освітленості. Можливості моніторингу інтерфейсу забезпечують користувачам інтуїтивно зрозумілий огляд стану в реальному часі та даних для світлових пристроїв і датчиків.

Розроблена система сонячного освітлення фасаду будівлі із застосуванням ESP32 дозволяє досягти енергоефективності та автономності в споживанні електроенергії. Даний проєкт ставить за мету використання відновлювальних джерел енергії для створення інтелектуального освітлення, що відповідає вимогам сучасності.

## 4. РОЗРОБКА СТАРТАП- ПРОЕКТУ

Стартап – це новий бізнес, в основі якого є обов'язкове використання нових технологій, що раніше не застосовувалися. Для реалізації ідеї потрібна згуртована команда із чітким розподілом обов'язків та інвестиції. Крім цього, важливим етапом є розрахунок бізнес плану.

Проте варто відзначити, що реалізація стартапу до комерційної реалізації супроводжується високими ризиками, оскільки лише приблизно 10% - 15% таких проектів досягають успіху на ринку. Упродовж останнього десятиліття стартапи стали поширеними у всьому світі завдяки зниженню бар'єрів для входу на ринок, а Інтернет значно спростив спілкування та збут, забезпечивши зручність у знаходженні споживачів та інвесторів, а також забезпечення доступу до ринків різних країн.

Це визначає стартап як ключовий елемент інноваційної економіки, де мобільність, гнучкість та велика кількість проектів сприяють зростанню загальної маси інноваційних ідей.

### 4.1. Опис ідеї проекту

Необхідно звернути увагу на те, що ідея стартап-проекту, викладена в табл. 4.1, слугує основою для його подальшого розвитку та успішної реалізації на ринку.

Таблиця 4.1

Загальні дані стартап-проекту

Зміст ідеї (що пропонується)	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
---------------------------------	--------------------------	------------------------------

Системи підсвічування фасадів будівель	1. Використання на комерційних та архітектурних об'єктах	Привернення уваги туристів та відвідувачів до конкретного місця
	2. Використання для власних будинків	Покращення зовнішнього вигляду свого житла

Зміст ідеї показує цілісне уявлення та можливості пошуку групи потенційних клієнтів на ринку.

Далі потрібно проаналізувати запропонований аналог, та його відмінності від пропозицій конкурентів. Тобто, можливий перелік властивостей та характеристики ідеї.

Наступним кроком є визначення кола проектів-конкурентів та проведення збору інформації щодо показників для ідеї власного проекту. Порівняльний аналіз показників можна звести до таблиці (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Визначення характеристик ідеї проекту

з/п	Технік Еко-економічні характеристики	Концепція (стратегія) конкурентів			
		Власний проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3
1	Просто та монтажу	+	-	-	+
2	Енерго ефективність	+	-	+	-

3	Інтелектуальне керування	+	+	-	-
4	Наявність патенту на розробку	-	+	-	+
5	Наявність команди, що виконує підключення та обслуговування	-	+	+	+

З даної характеристики ідеї проекту можна визначити, що продукт виявляє значні конкурентні переваги на ринку. Енергоефективність та простота монтажу є основними перевагами над конкурентами що робить досліджуваний проект більш привабливим для використання. Крім того, продукт має інтелектуальне керування, що впливатиме на зручність у використанні для користувачів.

#### 4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Технологічна здійсненність ідеї проекту наведено в табл.4.3.

Таблиця 4.3

## Технологічна здійсненність ідеї проекту

№	Ід ея проекту	Технології реалізації	Наяв ність технологій	Доступ ність технологій
1			Наяв на	Доступ на
2			Наяв на	Доступ на
3			Наяв на	Доступ на

З наданих даних видно, що технологічне виготовлення проекту можливе, все необхідне програмне забезпечення доступне або є в наявності.

Попередню характеристику потенційного ринку стартап проекту наведено в табл.4.4.

Таблиця 4.4

## Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Кількість головних гравців, од	3
Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Невідомо
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Конкуренція закордонних виробників

Продовження табл. 4.4

Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Наявність високого рівня пило- та вологозахисту
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	65

Цей сегмент ринку визнається привабливим для нових учасників, оскільки відсутні значущі бар'єри для входу і середня рентабельність галузі. На жаль, присутні на ринку вже існуючі великі компанії, які виробляють високоякісні пристрої. Однак враховуючи, що вітчизняні аналоги пропонують більш доступні ціни, очікується активний попит, особливо серед малих і середніх підприємств. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту приведена в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Енергоефективне освітлення для естетичного задоволення	1) Власники приватних будівель 2) Органи місцевого	Кількість та розміри будівель, для яких застосовується підсвітка	Довговічність, енергоефективність, надійність, відносно низька вартість

	самоврядування		
--	----------------	--	--

Фактори загроз, їх зміст та можлива реакція компанії наведено в табл. 4.6

Таблиця 4.6

Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Конкуренція	Можливість появи дешевших нових проектів та технологій	Постійне удосконалення пристрою та пошук дешевих альтернативних компонентів
Відсутність попиту	Низька зацікавленість продуктом, в порівнянні з очікуваннями	Вихід на нові ринки, створення рекламної кампанії
Проблеми з стабільним електропостачанням	Відсутність можливості живлення системи від електромережі	Пошук альтернативних варіантів живлення системи

Головним ризиком для проекту є конкуренція. Крім того, існує ряд інших факторів, які можуть призвести до загрози для компанії, проте для кожної з теоретичних небезпек розроблені відповідні заходи для їх подолання.

В табл. 4.7 наведено фактори можливостей, їх зміст та можливу реакцію компанії.

Таблиця 4.7

## Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Ріст попиту	Підвищення купівельної спроможності громадян	Збільшення виробництва; удосконалення проекту
Співпраця з органом самоврядування	Контракт на забезпечення системами багатьох місцевих будівель та споруд	Індивідуальний підхід до розробки кожної системи

Під час введення даної системи на ринок можуть виникнути додаткові можливості, які не були прописані в плані. У таких випадках важливо оперативно реагувати для максимальної вигоди та скорочення періоду окупності через впровадження змін.

В табл. 4.8 наведено результати ступеневого аналізу конкуренції на ринку.

Таблиця 4.8

## Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути

Продовження табл. 4.8

1. Тип конкуренції: монополістична	Декілька конкуруючих виробників	Виготовлення досконалішого та дешевшого продукту
2. За рівнем конкурентної боротьби: міжнародна	Конкурентна боротьба відбувається на міжнародному рівні	Можливість захопити ринок певного регіону
3. За галузевою ознакою : внутрішньогалузева	Виробники виготовляють продукти, однакового призначення	Створення якісного продукту за помірну ціну
4. Конкуренція за видами товарів: між бажаннями	Кожне підприємство задовольняє бажання клієнтів	Вихід на міжнародних користувачів
5. За характером конкурентних переваг: нецінова	На конкуренцію впливають інші фактори (енергоефективність, дизайн, якість)	Удосконалення системи, що не матиме великого впливу на ціну
6. За інтенсивністю: марочна	Вказує, яка компанія виготовляє конкретний продукт	Приділення уваги на розвиток бренду

Останнім кроком у проведенні аналізу можливостей для впровадження проекту є розробка SWOT-аналізу на основі визначених сильних і слабких

сторін, а також ринкових загроз і можливостей. Цю інформацію представляється у вигляді матриці (рис.4.9), де розглядаються аспекти сильних і слабких сторін, загроз та можливостей.

Перелік ринкових загроз і можливостей визначається шляхом оцінки факторів, які впливають на ринкове середовище. Ринкові загрози та можливості є передбачуваними наслідками впливу цих факторів і, на відміну від них, наразі не виявлені на ринку, але мають певну ймовірність реалізації. Наприклад, зниження доходів потенційних споживачів може бути розглянуто як фактор загрози, що може викликати зростання важливості цінового фактору при виборі товару і, відповідно, створювати ринкову загрозу в області цінової конкуренції.

Таблиця 4.9

#### SWOT аналіз ідеї

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Енергоефективність;</li> <li>- Простота монтажу;</li> <li>- Доступна ціна;</li> <li>-Інтелектуальне керування.</li> </ul>	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Відсутність патенту;</li> <li>- Невідомий бренд.</li> </ul>
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Збільшення попиту;</li> <li>- Співпрацю з великими замовленнями.</li> </ul>	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Конкуренція;</li> <li>- Відсутність попиту;</li> <li>- Не стабільне електропостачання.</li> </ul>

### 4.3 Розробка маркетингової програми стартап-проекту

Розробка ринкової стратегії означає визначення підходу до охоплення ринку. Базова стратегія конкурентної поведінки описана в табл. 4.10.

Таблиця 4.10

## Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристик и товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні. На ринку вже давно існують схожі проекти	Пошук нових споживачів	Так. За основу взята концепція вже існуючих підходів	Стратегія заняття конкурентної ніші

Оскільки система, що розглядається не є новою на ринку, але має значні переваги, було вирішено вибрати стратегію зайняття конкурентної ніші. Необхідно розробити маркетингову концепцію товару, яка здобуде популярність серед споживачів. Це можна досягти, узагальнивши результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару (див. Таблицю 4.11).

Таблиця 4.11

## Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові
			і

			конкурентні переваги (існуючі або потенційні)
--	--	--	---

Продовження табл. 4.11

7. Тип конкуренції: монополістична	Декілька конкуруючих виробників	Виготовлення досконалішого та дешевшого продукту
8. За рівнем конкурентної боротьби: міжнародна	Конкурентна боротьба відбувається на міжнародному рівні	Можливість захопити ринок певного регіону
9. За галузевою ознакою : внутрішньогалузева	Виробники виготовляють продукти, однакового призначення	Створення якісного продукту за помірну ціну
10. Конкуренція за видами товарів: між бажаннями	Кожне підприємство задовольняє бажання клієнтів	Вихід на міжнародних користувачів
11. За характером конкурентних переваг: нецінова	На конкуренцію впливають інші фактори (енергоефективність, дизайн, якість)	Удосконалення системи, що не матиме великого впливу на ціну
12. За інтенсивністю: марочна	Вказує, яка компанія виготовляє конкретний продукт	Приділення уваги на розвиток бренду

Важливим кроком є визначення цільових меж, якими потрібно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар. Визначення цінових меж описано у табл. 4.12.

Таблиця 4.12

Таблиця цін на продукт

Рівень цін на товари - замінники	Рівень цін на товари - аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Нижня та середня межі встановлення ціни на товар/послугу
30000 грн	45000 грн	Високий	30000-40000 грн

Аналізуючи ціни конкурентів було обрано нижню та середню цінову категорію для підвищення швидкості продажу продукту. Також з таблиці можна зробити висновок, що сфера доволі прибуткова.

Останнім кроком є визначення оптимальної системи збуту (табл.4.13).

Таблиця 4.13

Оптимальна система збуту

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачаль	Глибина на каналу збуту	Оптимальна система збуту

		ник товару		
--	--	------------	--	--

Продовження табл. 4.13

1	Зосереджено на ефективній співпраці з клієнтам. Розвинення технічної підтримки та надання консультацій новим покупцям.	Збір та аналіз відгуків клієнтів для вдосконалення системи. Встановлення контакту з покупцем	Канал нульового рівня (без посередників)	Використання власної системи збуту
---	--	--	--	------------------------------------

Під час розробки стартап-проекту була визначена суть ідеї, області її застосування та переваги для користувачів. Також були виявлені сильні та слабкі сторони проекту. Здійснено оцінку можливостей та потенційних загроз, які можуть ускладнити входження на ринок. Проведено аналіз потенційних клієнтів та вивчено конкурентне середовище для стартап-проекту на ринку.

### Висновки до розділу

В результаті проведеного маркетингового дослідження можна зазначити, що розроблена енергоефективної система підсвічування будівель має високий потенціал для комерційного успіху на ринку. Зростаючий попит на екологічно чисті технології та освітлення свідчить про те, що такі системи викликають загальний інтерес і не утворюють жорсткого конкурентного середовища.

Проект має значні перспективи впровадження, оскільки сучасне суспільство активно виявляє зацікавленість у екологічно чистих технологіях освітлення. Проте, при реалізації проекту можуть виникнути деякі виклики, такі як конкуренція з боку великих компаній та необхідність великої кількості кваліфікованих спеціалістів та використання дорогих матеріалів.

При належному плануванні та ефективному використанні ресурсів проект має всі підстави для успішної реалізації та отримання прибутку. Подальше впровадження даного проекту вважається доцільним та перспективним.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДЦІЇ

У даному дипломному проєкті була розроблена та протестована система модернізованого фасадного освітлення, яка використовує енергоефективну та бездротову платформу на основі мікроконтролера ESP32. Отриманий прототип вдало пройшов випробування під відкритим небом, підтверджуючи його функціональність та надійність у реальних умовах експлуатації.

Основною метою проєкту було поліпшення традиційних систем зовнішнього освітлення, та для досягнення цієї мети використано ряд технологічних інновацій. Розроблена розумна система керування світлодіодними лампами фасадного освітлення використовує програмно-апаратну платформу на базі мікроконтролера ESP32, rgbw світлодіоди та драйвер на основі модулю з транзисторами Дарлінгтона. Це дозволяє ефективно керувати кольором освітлення за допомогою ШІМ-модуляції, створюючи гнучкі та естетично приємні варіанти освітлення.

Додатково, для економії енергії та оптимізації використання ресурсів в системі використані сонячні батареї. Це не лише забезпечує стабільний джерело електроенергії, але й сприяє екологічно чистому функціонуванню системи.

У цілому, розроблена система фасадного освітлення вирішує сучасні виклики у сфері ефективності, автоматизації та збереження енергії, що робить її перспективним та практично важливим рішенням для впровадження в міському освітленні.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision architectural elements and future directions", *Future Generation Computer Systems*, 2013. — 45 p.
2. Вступ до засобів управління освітленням [Електронний ресурс] – К.: Ділує, 2019. — 3 с. — Режим доступу до ресурса: <https://lightingcontrolsassociation.org/2017/07/21/introduction-to-lighting-controls>.
3. Neelam Verma, Anjali Jain. " Optimized Automatic Lighting Control in a Hotel Building for Energy Efficiency", *International Conference on Power Energy*, 2018. — 170 p.
4. H. Park et al. "Soummotulti-modal Illumimote: Multi-modal and high-fidelity light sensor module for wireless sensor networks", *IEEE Sensors Journal*, 2006. — 170 p.
5. Hajjaj, M., Miki, M., & Shimohara, K. "The Effect of Using the Intelligent Lighting System to Deduct the Power Consumption at the Office", *IEEE 7th Conference on Systems, Process and Control (ICSPC)*, 2019. — 66 p.
6. Smart Wallbox Sensors [Електронний ресурс]. — 2020. — Режим доступу до ресурса: <https://www.leviton.com/en/products/brands/smart-sensors>.
7. Smart lightning for top class schools [Електронний ресурс]. — 2018. — Режим доступу до ресурса: <https://www.interact-lighting.com/global/what-is-possible/interact-pro/schools>.
8. Understanding Building Automation and Control Systems [Електронний ресурс]. — 2013. — Режим доступу до ресурсу: [http://www.kmccontrols.com/products/Understanding\\_Building\\_Automation\\_and\\_Control\\_Systems.aspx](http://www.kmccontrols.com/products/Understanding_Building_Automation_and_Control_Systems.aspx).
9. J. Burke et al. "Embedding expression: Pervasive computing architecture for art and entertainment", *Elsevier PMC Journal*, 2006. — 17 p.

10. Карабин, Петр Язык программирования Dart: Создание интерактивных приложений для Internet / Петр Карабин. — М.: Познавательная книга плюс, 2010. — 224 с.
11. T. Ball and S. Rajamani. "The SLAM Toolkit. In Proceedings of CAV'2001 (13th Conference on Computer Aided Verification) ", volume 2102 of Lecture Notes in Computer Science, Paris, 2001. — 260—264 pp.
12. Flutter Documentation [Электронный ресурс]. — 2020. — Режим доступа до ресурса: <https://flutter.dev/docs>.
13. Konstantin Ignatiev, Denis Grafov, Nikita Kuzmin. "Experience of Developing a Mobile Application Using Flutter", Information Science and Applications, 2019. — 572 p.
14. Payne R. "Beginning App Development with Flutter: Create Cross-Platform Mobile Apps / Rap Payne", Apress, 2019. — 334 p.
15. Michael McRoberts. "Beginning Arduino", Apress, 2010. — 50 p.
16. Huaguo J. "Study and Application of Encoding and Decoding Algorithms for Colored Two-dimensional Code on Mobile Terminals / Jia Huaguo ", Hangzhou, Zhejiang University of Technology, 2009. — 17 p.
17. David Kushner. "The Making of Arduino", IEEE Spectrum, 2015. — 20 p.
18. Adam Gerber, Clifton Craig. "Learn Android Studio. Build Android Apps quickly and effectively", Apress, 2015. — 129 p.
19. Сервис-ориентированная архитектура ИС [Электронный ресурс]. — 2014. — Режим доступа до ресурсу: [https://studopedia.su/10\\_104529\\_servis-orientirovannaya-arhitektura-is.html](https://studopedia.su/10_104529_servis-orientirovannaya-arhitektura-is.html).
21. Zaccagnino C. "Programming Flutter: Native, Cross-Platform Apps the Easy Way (The Pragmatic Programmers) / Carmine Zaccagnino", Pragmatic Bookshelf, 2020. — 330 p.
22. Технология деталей радиоэлектронной аппаратуры. Учеб. пособие для вузов. / С. Е. Ушакова, В. С. Сергеев и др.; Под ред. С.Е. Ушаковой. - М.: Радио и связь, 2002. — 256 с.



## ABSTRACT

Topicality. The use of external lighting is an extremely relevant direction, and the market continues to grow. One of the key criteria for lighting systems is their energy efficiency. Solutions for illuminating the facade of a building, in addition to external attractiveness, should consider energy efficiency requirements, achievable through intelligent control systems.

In the last decade, automation of internal lighting control has become very relevant. Modern systems combine significant capabilities with energy savings and user convenience.

Building facade lighting attracts attention and interest, especially when it comes to a company's office or a public building, or creates comfort and safety for building residents or city residents. Thus, external lighting becomes an essential component of a modern city and an intelligent building [1].

Facade lighting control is implemented through an Automated Lighting System (ALS). An energy-efficient solution for ALS is proposed, based on Wi-Fi wireless technology for luminaire control. The executive devices are controlled by a server that sends control signals based on information received from the system's sensors. Thus, a "client-server" information exchange mechanism is implemented. To implement this, it is proposed to use a microcontroller integrated with Wi-Fi and Bluetooth wireless communication sensors.

Connection with research programs, plans, and topics. The dissertation was prepared according to the research plan of the Department of Electronic Devices and Systems of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute."

Objective and tasks of the research. Development of an energy-efficient lighting control system for the building facade to ensure optimal use of light resources and reduce energy consumption.

Tasks considered to achieve this goal:

Analysis and study of modern methods of facade lighting control with a focus on energy-efficient technologies.

Development of a concept and creation of a prototype of an energy-efficient facade lighting control system.

Performing technical modeling and analysis of the efficiency of the developed system using modern tools and technologies.

Implementation of system design in Computer-Aided Design (CAD) considering energy-efficient standards and norms.

Object of research — the lighting control driver of the building facade.

Subject of research — the operating principle of the building facade lighting system.

Scientific novelty of the obtained results: Proposed an automatic energy-efficient lighting system for the building facade.

Practical significance of the obtained results: A lighting control system driver has been developed using a Darlington transistor and an esp32 microcontroller, along with the system's operating algorithm.

Structure and scope of the dissertation: The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of references with the names. The total volume is pages, figures, and tables.

## ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ

```
void SetMapSize(int mapSize){
    switch(mapSize){
        case 0: memcpy(mapSizeAddress, mapMSize, sizeof(mapSizeAddress));
break;
        case 1: memcpy(mapSizeAddress, mapLSize, sizeof(mapSizeAddress));
break;
        case 2: memcpy(mapSizeAddress, mapXLSize, sizeof(mapSizeAddress));
break;
        case 3: memcpy(mapSizeAddress, mapXXLSize, sizeof(mapSizeAddress));
break;
    }
}

void InvokeCustomMode(String webRequestLine) {
    int startinf = 0;
    int mapSize = 0;
    int region = 0;
    int colorR = 0;
    int colorG = 0;
    int colorB = 0;

    int ind1 = webRequestLine.indexOf("@");
    startinf = webRequestLine.substring(0, ind1).toInt();

    int ind2 = webRequestLine.indexOf("@" , ind1 + 1);
    mapSize = webRequestLine.substring(ind1 + 1, ind2 + 1).toInt();
    Serial.print("MapSize(0-3):");
```

```
Serial.println(mapSize);
```

```
int ind3 = webRequestLine.indexOf("@", ind2 + 1);  
region = webRequestLine.substring(ind2 + 1, ind3 + 1).toInt();  
Serial.print("Region(0-7):");  
Serial.println(region);
```

```
int ind4 = webRequestLine.indexOf("@", ind3 + 1);  
colorR = webRequestLine.substring(ind3 + 1, ind4 + 1).toInt();  
Serial.print("colorR:");  
Serial.println(colorR);
```

```
int ind5 = webRequestLine.indexOf("@", ind4 + 1);  
colorG = webRequestLine.substring(ind4 + 1, ind5 + 1).toInt();  
Serial.print("colorG:");  
Serial.println(colorG);
```

```
int ind6 = webRequestLine.indexOf("@", ind5 + 1);  
colorB = webRequestLine.substring(ind5 + 1, ind6 + 1).toInt();  
Serial.print("colorB:");  
Serial.println(colorB);
```

```
SetCustomMode(mapSize, region, colorR, colorG, colorB);  
}
```

```
void TryRunLedMode(String currentLine) {  
  if (IsCustomDataExist(currentLine)){  
    InvokeCustomMode(currentLine);  
    Serial.println("InvokeCustomMode");  
  }  
}
```

```

    }
    else {
        Serial.println("ChangeMode");
        ChangeMode(currentLine);
    }
}

/*
bool CheckForNewLine(String currentLine) {
    if (currentLine.length() == 0) {
        //client.println("HTTP/1.1 200 OK");
        //client.println("Content-type:text/html");
        //client.println();
        //client.print("espDevice:");
        //client.print(getESPIId());
        //client.println();
        return false;
    }
    return true;
}
*/

void sender(AsyncWebServerRequest *request) {
    request->send(200, "text/plain", "sender");
}

void setPalete(int id) {
    ChangePalette(id);
    server.onNotFound(sender);
    //client.println("HTTP/1.1 200 OK");

```

```

//client.println("Content-type:text/html");
//client.println();
}

bool IsCustomDataExist(String inputData) {
    return inputData.indexOf("@") >= 0;
}

byte ballColors[3][3] = {
    {0xff, 0, 0},
    {0xff, 0xff, 0xff},
    {0 , 0 , 0xff},
};

void one_color_all(int cred, int cgrn, int cblu) {    //-SET ALL LEDS TO
ONE COLOR
    for (int i = 0 ; i < LED_COUNT; i++ ) {
        leds[i].setRGB( cred, cgrn, cblu);
    }
}

void one_color_allHSV(int ahue) {    //-SET ALL LEDS TO ONE COLOR
(HSV)
    for (int i = 0 ; i < LED_COUNT; i++ ) {
        leds[i] = CHSV(ahue, thissat, 255);
    }
}

void InitLedControl()

```

```

    {
        LEADS.setBrightness(max_bright); // ограничить максимальную яркость
        LEADS.addLeds<WS2812B, LED_DT, RGB>(leds, LED_COUNT); //
настройки для нашей ленты (ленты на WS2811, WS2812, WS2812B)
        one_color_all(0, 0, 0); // погасить все светодиоды
        LEADS.show(); // отослать команду
        xTaskCreatePinnedToCore(DoLedControl, "ledTask", 8192, NULL, 1,
&ledTask, 0);
    }

```

```

void change_mode(int newmode) {
    thissat = 255;
    switch (newmode) {
        case 0: one_color_all(0, 0, 0); LEADS.show(); break; //---ALL OFF
        case 10: one_color_all(255, 255, 255); LEADS.show(); break; //---ALL
ON
        case 15: thisdelay = 20; LEADS.show(); break; //---STRIP
RAINBOW FADE
        case 20: thisdelay = 20; thisstep = 10; LEADS.show(); break; //---
RAINBOW LOOP
        case 25: thisdelay = 20; LEADS.show(); break; //---RANDOM
BURST
        case 30: thisdelay = 20; thishue = 0; LEADS.show(); break; //---CYLON
v1
        case 35: thisdelay = 40; thishue = 0; LEADS.show(); break; //---CYLON
v2
        case 40: thishue = 160; thissat = 50; LEADS.show(); break; //---STRIP
FLICKER

```

```

    case 45: thisdelay = 15; thishue = 0; LEDS.show(); break;    //---PULSE
COLOR BRIGHTNESS
    case 50: thisdelay = 15; thishue = 0; LEDS.show(); break;    //---PULSE
COLOR SATURATION
    case 55: thisdelay = 60; thishue = 180; LEDS.show(); break;    //---
VERTICAL SOMETHING
    case 60: thisdelay = 40; LEDS.show(); break;                //---MARCH
RANDOM COLORS
    case 65: thisdelay = 80; LEDS.show(); break;                //---MARCH
RWB COLORS

    //---PLACEHOLDER FOR COLOR LOOP VAR DELAY VARS
    case 70: thisdelay = 35; thishue = 180; LEDS.show(); break;    //---SIN
WAVE BRIGHTNESS
    case 75: thisdelay = 100; thishue = 0; LEDS.show(); break;    //---POP
LEFT/RIGHT
    case 80: thisdelay = 100; thishue = 180; LEDS.show(); break;    //---
QUADRATIC BRIGHTNESS CURVE

    //---PLACEHOLDER FOR FLAME VARS
    case 85: thisdelay = 50; thisstep = 15; LEDS.show(); break;    //---
VERITCAL RAINBOW
    case 90: thisdelay = 35; LEDS.show(); break;                //---RANDOM
COLOR POP
    case 95: thisdelay = 25; thishue = 0; LEDS.show(); break;    //---RGB
PROPELLER
    case 100: thisdelay = 50; LEDS.show(); break;                // colorWipe
    case 105: thisdelay = 50; LEDS.show(); break;                // CylonBounce
    case 110: thisdelay = 15; LEDS.show(); break;                // Fire

```

```

        case 115: thisdelay = 10; LEDS.show(); break;           //
rainbowTwinkle
        case 120: thisdelay = 50; LEDS.show(); break;         // RunningLights
        case 125: thisdelay = 50; LEDS.show(); break;         // colorWipe
        case 130: thisdelay = 0; LEDS.show(); break;          // Sparkle
        case 135: thisdelay = 20; LEDS.show(); break;         // SnowSparkle
        case 140: thisdelay = 50; LEDS.show(); break;         // theaterChase
        case 145: thisdelay = 50; LEDS.show(); break;         //
theaterChaseRainbow
        case 150: thisdelay = 100; LEDS.show(); break;        // Strobe
        case 200: one_color_all(255, 0, 0); LEDS.show(); break; //---ALL
RED
        case 205: one_color_all(0, 255, 0); LEDS.show(); break; //---ALL
GREEN
        case 210: one_color_all(0, 0, 255); LEDS.show(); break; //---ALL
BLUE
        case 215: one_color_all(255, 255, 0); LEDS.show(); break; //---ALL
COLOR X
        case 220: one_color_all(0, 255, 255); LEDS.show(); break; //---ALL
COLOR Y
        case 225: one_color_all(255, 0, 255); LEDS.show(); break; //---ALL
COLOR Z
    }
    bouncedirection = 0;
    one_color_all(0, 0, 0);
    ledMode = newmode;
}

void ChangePalette(uint8_t secondHand) {

```

```

    ledMode = secondHand;
    change_mode(ledMode);
}

void SetCustomMode(int sizeMap, int region, int colorR,int colorG, int
colorB) {
    ledMode = 998;
    change_mode(ledMode);
    SetMapSize(sizeMap);
    customMode(region, colorR,colorG, colorB);
}

void DoLedControl(void *doLedControl) {
    for (;;) {
        switch (ledMode) {
            case 999: break; // пауза
            case 998: delay(10); break; //
ожидание
            case 15: rainbow_fade(); break; //
плавная смена цветов всей ленты
            case 20: rainbow_loop(); break; //
крутящаяся радуга
            case 25: random_burst(); break; //
случайная смена цветов
            case 30: color_bounce(); break; //
бегающий светодиод
            case 35: color_bounceFADE(); break; //
бегающий паровозик светодиодов

```

```

        case 40: flicker(); break; //
случайный стробоскоп
        case 45: pulse_one_color_all(); break; //
пульсация одним цветом
        case 50: pulse_one_color_all_rev(); break; //
пульсация со сменой цветов
        case 55: fade_vertical(); break; //
плавная смена яркости по вертикали (для кольца)
        case 60: random_march(); break; //
безумие случайных цветов
        case 65: UaMarch(); break; //
синий-жёлтый по кругу
        case 70: sin_bright_wave(); break; //
тоже хрень какая то
        case 75: pop_horizontal(); break; //
красные вспышки спускаются вниз
        case 80: quad_bright_curve(); break; //
полумесяц
        case 85: rainbow_vertical(); break; //
радуга в вертикальной плоскости (кольцо)
        case 90: random_color_pop(); break; //
безумие случайных вспышек
        case 95: rgb_propeller(); break; // RGB
пропеллер
        case 100: colorWipe(0x00, 0xff, 0x00,
thisdelay); // плавное заполнение цветом
        colorWipe(0x00, 0x00, 0x00, thisdelay); break;
        case 105: CylonBounce(0xff, 0, 0, 4, 10, thisdelay); break;
// бегающие светодиоды

```

```

        case 110: Fire(55, 120, thisdelay); break; //
линейный огонь
        // case 115: TwinkleRandom(20, thisdelay, 1); break;
// случайные разноцветные включения (1 - танцуют все, 0 - случайный 1 диод)
        case 115: UaTwoColor(); break;
        // case 120: RunningLights(0xff, 0xff, 0x00, thisdelay); break;
// бегущие огни
        case 120: UaTwinColor(); break;
        case 130: Sparkle(0xff, 0xff, 0xff, thisdelay);
break; // случайные вспышки белого цвета
        case 135: SnowSparkle(0x10, 0x10, 0x10, thisdelay, random(100, 1000));
break; // случайные вспышки белого цвета на белом фоне
        case 140: theaterChase(0xff, 0, 0, thisdelay);
break; // бегущие каждые 3 (ЧИСЛО СВЕТОДИОДОВ
ДОЛЖНО БЫТЬ НЕЧЁТНОЕ)
        case 145: theaterChaseRainbow(thisdelay); break;
// бегущие каждые 3 радуга (ЧИСЛО СВЕТОДИОДОВ ДОЛЖНО БЫТЬ
КРАТНО 3)
        case 150: Strobe(0xff, 0xff, 0xff, 10, thisdelay, 1000); break;
// стробоскоп
        // case 155: UaTwinColor(); break;
        // case 160: UaSnake(); break;
    }
    LEDS.show();
}
}

void ChangeMode(String currentLine) {
    //Serial.println("ChangeMode");

```

```
if (currentLine.endsWith("Off")) {
    setPalete(0);
}
if (currentLine.endsWith("On")) {
    setPalete(10);
}
if (currentLine.endsWith("striprainbowfade")) {
    setPalete(15);
}
if (currentLine.endsWith("RainbowLoop")) {
    setPalete(20);
}
if (currentLine.endsWith("RandomBurst")) {
    Serial.println("RandomBurst");
    setPalete(25);
}
if (currentLine.endsWith("CyclonOne")) {
    setPalete(30);
}
if (currentLine.endsWith("CycloneTwo")) {
    setPalete(35);
}
if (currentLine.endsWith("StripFlicker")) {
    setPalete(40);
}
if (currentLine.endsWith("PulseColorBrightness")) {
    setPalete(45);
}
if (currentLine.endsWith("PulseColorSaturation")) {
```

```
    setPalete(50);
}
if (currentLine.endsWith("VerticalSomething")) {
    setPalete(55);
}
if (currentLine.endsWith("MarchRandomColors")) {
    setPalete(60);
}
if (currentLine.endsWith("MarchUaColors")) {
    setPalete(65);
}
if (currentLine.endsWith("SinWaveBrightness")) {
    setPalete(70);
}
if (currentLine.endsWith("PopLeftRight")) {
    setPalete(75);
}
if (currentLine.endsWith("QuadraticBrightnessCurve")) {
    setPalete(80);
}
if (currentLine.endsWith("VeritcalRainbow")) {
    setPalete(85);
}
if (currentLine.endsWith("RandomColorPop")) {
    setPalete(90);
}
if (currentLine.endsWith("RgbPropeller")) {
    setPalete(95);
}
```

```
if (currentLine.endsWith("ColorWipe")) {
    setPalete(100);
}
if (currentLine.endsWith("CylonBounce")) {
    setPalete(105);
}
if (currentLine.endsWith("Fire")) {
    setPalete(110);
}
if (currentLine.endsWith("RainbowTwinkle")) {
    setPalete(115);
}
if (currentLine.endsWith("RunningLights")) {
    setPalete(120);
}
if (currentLine.endsWith("ColorWipe")) {
    setPalete(125);
}
if (currentLine.endsWith("Sparkle")) {
    setPalete(130);
}
if (currentLine.endsWith("SnowSparkle")) {
    setPalete(135);
}
if (currentLine.endsWith("theaterChase")) {
    setPalete(140);
}
if (currentLine.endsWith("TheaterChaseRainbow")) {
    setPalete(145);
}
```

```
}  
if (currentLine.endsWith("Strobe")) {  
    setPalete(150);  
}  
if (currentLine.endsWith("UaTwinColor")) {  
    setPalete(155);  
}  
if (currentLine.endsWith("UaSnake")) {  
    setPalete(160);  
}  
}
```