

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації  
Кафедра комп'ютерних систем управління

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Розробка системи розумний дім для керування освітленням з  
використанням модулів Arduino»

Виконав студент 2 курсу, групи 1АКІТР-24м  
спеціальності 174 – Автоматизація,  
комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка

М.Д. Дмитро КІРІКОЙ

Керівник к.т.н., доц. каф. КСУ

О.К. Олег КОВАЛЮК

« 11 » грудня 2025 р.

Опонент к.т.н., доц. каф. АІТ

В.Г. Володимир ГАРМАШ

« 12 » грудня 2025 р.

Допущено до захисту

зав. каф. КСУ

В.К. В'ячеслав КОВТУН

« 13 » грудня 2025 р.

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації  
Кафедра комп'ютерних систем управління  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Галузь знань – 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації  
Спеціальність – 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка  
Освітньо-професійна програма – Інтелектуальні комп'ютерні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри КСУ  
В'ячеслав КОВТУН  
« 26 » 09 2025 року

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту Кірікої Дмитро Миколайович

1. Тема роботи «Розробка системи розумний дім для керування освітленням з використанням модулів Arduino»

керівник роботи: Ковалюк Олег Олександрович, к.т.н., доцент  
затверджено наказом ВНТУ від «24» вересня 2025 року № 313

2. Строк подання студентом роботи: «10» грудня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи:

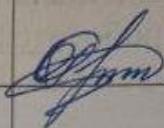
Данилюк, "Технології керування системами розумного будинку", Харків:  
ХНУРЕ, 2023, 180 с.

О. Карпенко, "Інтелектуальні мережі для розумних будинків", Київ:  
Інтерпрес, 2022, 310 с.

4. Зміст текстової частини: вступ, аналітичний огляд предметної області, методи та засоби розробки системи, розробка системи керування освітленням, тестування роботи системи, економічний розділ, висновки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): діаграма прецедентів використання, схема структурна, схема електрична принципова, блок-схема алгоритму роботи системи, результати тестування.

## 1. Консультанти розділів роботи

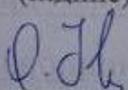
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
5	Ратушняк О.Г. – доцент кафедри економіки підприємства і виробничого менеджменту		

2. Дата видачі завдання «25» вересня 2025 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Підпис
		Початок	Закінчення	
1	Аналіз предметної області, опрацювання літературних джерел та постановка задачі	30.10.2025	01.11.2025	
2	Обґрунтування методів та засобів вирішення задачі	02.11.2025	02.11.2025	
3	Розробка структури системи, вибір компонентів апаратної складової	03.11.2025	05.11.2025	
4	Розробка апаратного забезпечення, складання схеми електричної принципової	06.12.2025	08.12.2025	
5	Розробка програмного забезпечення	09.11.2025	12.11.2025	
6	Верифікація та моделювання	13.11.2025	15.11.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративних матеріалів	28.11.2025	09.12.2025	
8	Захист МКР		18.12.2025	

Студент  Дмитро КІРІКОЙ  
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник  Олег КОВАЛЮК  
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## АНОТАЦІЯ

УДК 681.5+628.9

Кірікой Д.М. Розробка системи розумний дім для керування освітленням з використанням модулів Arduino. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, освітня програма – Інтелектуальні комп'ютерні системи. Вінниця: ВНТУ, 2025. 127 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 41 назва; рис.: 18; табл.: 12.

Метою магістерської роботи є вдосконалення існуючих систем керування освітленням в розумних будинках та розробка системи керування освітленням для розумного будинку, яка поєднує зручність та універсальність використання. Розроблена система здатна функціонувати як самостійно, так і інтегруватися в існуючі системи розумного будинку, забезпечуючи гнучке управління освітленням через інфрачервоний пульт дистанційного керування.

Основною задачею є створення пристрою, який забезпечує простоту управління освітленням без необхідності складних налаштувань або додаткових компонентів. Система може працювати як окремий елемент для керування включенням/вимкненням світильників та регулюванням яскравості освітлення, а також легко інтегруватися в більші екосистеми розумного будинку.

У роботі здійснено проектування архітектури системи, вибір відповідних засобів для її реалізації, розроблено апаратну та програмну складові системи та проведено тестування для перевірки її працездатності. Графічна частина роботи включає діаграму прецедентів використання, структурну схему, електричну принципову схему, блок-схему алгоритму роботи системи та результати тестування, що демонструють ефективність запропонованого рішення.

Робота демонструє, що розроблена система є зручним і доступним рішенням для користувачів, які шукають простоту в управлінні освітленням, а також має потенціал для інтеграції в більш складні автоматизовані екосистеми розумного будинку.

**Ключові слова:** освітлення, керування, розумний дім, Arduino, автоматизація.

## ABSTRACT

УДК 681.5+628.9

Kirikoi D.M. Development of a Smart Home Lighting Control System Using Arduino Modules. Master's Thesis in the specialty 174 – Automation, Computer-Integrated Technologies, and Robotics, Educational Program – Intelligent Computer Systems. Vinnytsia: VNTU, 2025. 127 p.

In Ukrainian. Bibliography: 41 titles; figures: 18; tables: 12.

The goal of this master's thesis is to develop a lighting control system for a smart home that combines ease of use and versatility. The developed system can function both independently and be integrated into existing smart home systems, providing flexible lighting control via an infrared remote control.

The main task is to create a device that ensures simple lighting control without the need for complex settings or additional components. The system can operate as a standalone unit for switching lights on/off and adjusting brightness, and it can also easily integrate into larger smart home ecosystems.

The work includes the design of the system architecture, selection of appropriate means for its implementation, development of both the hardware and software components of the system, and testing to verify its functionality. The graphical part of the thesis includes a use case diagram, structural diagram, electrical schematic, algorithm block diagram, and testing results, which demonstrate the effectiveness of the proposed solution.

The work demonstrates that the developed system is a convenient and accessible solution for users seeking simplicity in lighting control, and it has the potential to integrate into more complex automated smart home ecosystems.

**Keywords:** lighting, control, smart home, Arduino, automation.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	6
1.1 Поняття розумного будинку .....	6
1.2 Системи розумного освітлення .....	18
1.3 Огляд існуючих систем керування освітленням.....	26
1.4 Висновки до розділу .....	36
2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ РОЗУМНОГО ДОМУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДУЛІВ ARDUINO .....	38
2.1 Способи керування освітленням .....	38
2.2 Взаємодія пристроїв у розумному будинку .....	43
2.3 Огляд апаратних та програмних засобів розробки.....	49
2.4 Функціонал та структура системи.....	66
2.5 Висновки до розділу .....	66
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ .....	68
3.1 Розробка апаратної частини.....	68
3.2 Розробка програмного забезпечення.....	81
3.3 Висновки до розділу .....	89
4 ТЕСТУВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ.....	91
4.1 Інструкція з експлуатації системи.....	91
4.2 Середовище моделювання Proteus .....	95
4.3 Розробка та тестування моделі системи .....	99
4.4 Висновки до розділу .....	102
5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	103

ВИСНОВКИ.....	103
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	125
ДОДАТКИ.....	129
ДОДАТОК А (ОБОВ'ЯЗКОВИЙ) ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ .....	130
ДОДАТОК Б (ОБОВ'ЯЗКОВИЙ) ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	131
ДОДАТОК В (ДОВІДКОВИЙ) ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО КОДУ .....	135
ДОДАТОК Г (ОБОВ'ЯЗКОВИЙ) ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА.....	141

## ВСТУП

**Актуальність.** Сучасний розвиток технологій автоматизації створює широкі можливості для підвищення зручності та комфорту у побуті, зокрема за рахунок використання систем розумного будинку. Автоматизоване керування освітленням є однією з ключових функцій таких систем, оскільки воно безпосередньо впливає на рівень комфорту користувачів. На сьогоднішній день існуючі рішення часто відрізняються високою складністю налаштувань, обмеженою універсальністю або недостатньою сумісністю з іншими компонентами розумного будинку, що створює бар'єри для широкого впровадження подібних систем серед користувачів з різним рівнем технічної підготовки. В умовах зростаючої популярності автоматизованих технологій виникає потреба у створенні універсальної та зручної у використанні системи керування освітленням, яка могла б функціонувати як автономно, так і у складі більш складних систем розумного будинку, забезпечуючи гнучке управління та можливість адаптації до різних умов експлуатації.

**Об'єктом дослідження** є процеси автоматизованого керування освітленням у середовищі розумного будинку, що включають взаємодію користувача з системою, алгоритми управління та програмно-апаратні компоненти, які забезпечують функціонування системи. Дослідження таких процесів дозволяє оцінити ефективність запропонованих методів керування та визначити потенціал для інтеграції у більші автоматизовані екосистеми.

**Предметом дослідження** є методи та засоби побудови систем автоматизованого керування освітленням, які забезпечують одночасно простоту у використанні, універсальність та можливість автономного функціонування або інтеграції у складніші системи. Дослідження зосереджено на аналізі архітектури таких систем, взаємодії їх компонентів та підходів до розробки програмної складової без надмірної залежності від конкретних апаратних рішень.

**Метою роботи** є вдосконалення систем керування освітленням, для поєднання простоти у використанні та універсальності, дозволяючи ефективно

управляти освітленням як у автономному режимі, так і у складі більш комплексної системи автоматизації. Для досягнення цієї мети необхідно виконати низку взаємопов'язаних завдань, включаючи аналіз існуючих рішень, визначення переваг і обмежень сучасних систем керування освітленням, розробку архітектури нової системи та її програмно-апаратної складової, а також проведення тестування для оцінки працездатності та ефективності роботи запропонованого рішення.

**Завдання роботи** передбачають проведення аналітичного огляду існуючих систем керування освітленням для виявлення сильних і слабких сторін таких рішень, вивчення сучасних методів автоматизації, розробку концептуальної архітектури системи та створення моделей її функціонування. Також важливим завданням є проектування програмної та апаратної складових, їх інтеграція та перевірка роботи системи у контрольованих умовах. Значну увагу приділено формуванню графічної частини роботи, що включає схеми та моделі, які демонструють структуру системи, алгоритми її роботи та результати тестування.

**Наукова новизна** полягає у створенні універсальної системи керування освітленням, яка забезпечує одночасно автономне функціонування та можливість інтеграції у більш складні системи розумного будинку. Система дозволяє керувати освітленням без складних налаштувань та додаткових компонентів, що підвищує її доступність для користувачів з різним рівнем технічної підготовки, а також відкриває перспективи для подальшого розвитку та адаптації системи у різних умовах експлуатації.

**Практичне значення** роботи полягає у тому, що розроблена система може застосовуватися як самостійне рішення для керування освітленням у житлових та комерційних приміщеннях, так і інтегруватися в існуючі системи розумного будинку. Використання універсального інтерфейсу управління спрощує експлуатацію системи та забезпечує гнучкість її застосування. Також практичне значення полягає у доступності системи та можливості подальшого розширення її функціональності.

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

## 1.1 Поняття розумного будинку

Сучасні підходи до організації житлового середовища дедалі частіше ґрунтуються на ідеї поєднання побутових пристроїв у єдину керовану структуру. У межах такого підходу житло розглядається не лише як простір із набором окремих технічних засобів, а як цілісна система, здатна взаємодіяти з користувачем і реагувати на зміну умов. Прагнення підвищити зручність, безпеку та економічність сприяло формуванню різних концепцій автоматизації побуту, серед яких особливе місце посідає інтеграція електронних та мережевих технологій.

Поширення цифрових платформ, сенсорних модулів і засобів бездротового зв'язку створило можливість встановлювати у приміщеннях обладнання, що може обмінюватися даними, виконувати узгоджені дії та частково або повністю розвантажувати користувача від рутинних операцій. Такий підхід зробив можливим перехід від традиційного керування окремими пристроями до більш узгодженої моделі, у якій елементи домашньої інфраструктури працюють як взаємопов'язана система.

Поступове удосконалення цих технологій сприяло формуванню нового способу розуміння функціонування житла, у межах якого технічні засоби не лише виконують задані функції, а й забезпечують узгоджену роботу за рахунок автоматичного аналізу стану середовища та поведінки користувача. Це створює підґрунтя для визначення підходів, які дозволяють описати сутність і призначення таких інтегрованих систем.

Саме узагальнення ідей, що лежать в основі автоматизованого житлового середовища, дає можливість сформулювати цілісне розуміння того, як може бути побудована система, здатна сприймати дані, приймати рішення та підтримувати комфортні умови без постійного втручання людини. У подальшому буде розглянуто основні уявлення, які найчастіше використовуються для опису такого типу житлових систем.

Розумний будинок часто асоціюється з системою, в якій комп'ютер або центральний процесор відповідає за управління всіма аспектами житлового середовища. Проте це визначення є спрощеним. Більш точним терміном для позначення такої концепції є «domotics» або «домотика» (від лат. domus – будинок, robotics – автоматизація), що означає автоматизацію житлових процесів. Домотика охоплює автоматичний контроль та управління такими системами, як опалення, кондиціонування, освітлення, безпека, а також побутові прилади, зокрема духовки, холодильники, пилососи та пральні машини. Для віддаленого моніторингу і управління часто використовується технологія Wi-Fi, як зображено на рисунку 1.1[1].



Рисунок 1.1 – Віддалений моніторинг та управління розумним будинком.

Таким чином, розумний будинок являє собою комплексну систему, яка забезпечує безпеку, комфорт та ефективне використання ресурсів. Центральним елементом цієї системи є процесор, що виконуючи роль «мозку» будинку, здатний аналізувати поточні ситуації та відповідно регулювати роботу різних систем на основі заздалегідь визначених алгоритмів. Наприклад, система може

автоматично увімкнути світло в коридорі, коли відкриваються вхідні двері. Така інтеграція дозволяє зменшити необхідність у численних пультах управління для різних пристроїв або вмикати і вимикати пристрої вручну, забезпечуючи високий рівень зручності для користувачів [1].

Система розумного будинку включає кілька основних компонентів: автоматизацію, ручне управління, мультимедіа та безпеку [1].

Автоматизація полягає в налаштуванні роботи різних систем залежно від зовнішніх і внутрішніх параметрів, таких як час доби, рівень освітленості, температура, рух та інші фактори, які можуть змінюватися протягом дня. Це дає можливість автоматично налаштовувати сценарії функціонування будинку, покращуючи його ефективність і комфорт [1].

Ручне управління забезпечує можливість віддаленого контролю через телефон, комп'ютер або веб-додаток. Така форма управління дозволяє користувачам здійснювати налаштування та керування системами без необхідності фізичної присутності, що зручно та ефективно [1].

Мультимедіа охоплює такі функції, як бездротове аудіо- та відеообслуговування, забезпечення спостереження за допомогою камер та інших технологій, що дозволяють створити комфортне медіа середовище в будинку [1].

Безпека є одним з найважливіших аспектів розумного будинку. Для забезпечення захисту можуть бути встановлені різні охоронні системи, зокрема сигналізації (світлові та звукові), імітація присутності господарів, а також функція екстреного реагування, така як панічна кнопка. Системи безпеки можуть бути інтегровані з фізичною охороною, що дозволяє підвищити рівень захисту житла. Окремі компанії, наприклад, українська фірма Ажах, пропонують можливість підключення своїх рішень до послуг фізичної охорони, що значно покращує рівень безпеки [1].

Системи розумного будинку в першу чергу орієнтовані на забезпечення високого рівня комфорту та ефективного управління різними аспектами житлового середовища. Однією з основних функцій таких систем є інтеграція автоматизованого управління освітленням, яке дозволяє адаптувати світлове

середовище під конкретні потреби та обставини. Завдяки цьому користувачі можуть створювати різноманітні світлові сценарії, що оптимально відповідають різним життєвим ситуаціям. Наприклад, натисканням однієї кнопки можна включити режим «вечірка», який приглушить основне освітлення та включить декоративні світильники, або ж налаштувати режим «прибирання», що активує яскраве освітлення в кімнаті. Інтеграція датчиків руху, освітленості та часу дозволяє автоматично коригувати рівень освітлення в залежності від умов навколишнього середовища [2].

Окрім цього, система розумного освітлення пропонує можливість віддаленого керування. Завдяки такій функції, користувач може вимикати або включати освітлення навіть перебуваючи далеко від дому, що підвищує безпеку і дає можливість управляти світлом дистанційно. Система також дозволяє плавно регулювати інтенсивність світла та колірну температуру відповідно до заданих параметрів, що дозволяє створювати комфортну атмосферу в будь-якому приміщенні. Також, завдяки автоматичному включенню освітлення в темний час доби, віддаленому управлінню розетками та вбудованим датчикам руху, система забезпечує додаткову зручність і енергозбереження [3].

Не менш важливою є функція клімат-контролю, яка забезпечує підтримання оптимальної температури та вологості в приміщеннях. Система здатна автономно керувати кондиціонерами, опаленням або зволожувачами повітря, забезпечуючи комфорт у кожній кімнаті залежно від зовнішніх умов. Це дозволяє досягати не тільки енергозбереження, але й покращити загальний рівень комфорту для мешканців [2].

Система безпеки розумного будинку включає різноманітні технології для забезпечення захисту від несанкціонованого доступу та аварійних ситуацій. Встановлені камери відеоспостереження, датчики руху та об'єму дозволяють відстежувати проникнення непрошених осіб, а сенсори температури, вологості та газу можуть попередити про небезпеку, наприклад, при протіканні води, загорянні або витоку газу. Це забезпечує високий рівень безпеки, що особливо важливо для сучасних житлових приміщень [2].

Ще однією важливою складовою є сенсорне управління. Завдяки використанню спеціальних сенсорних панелей, які замінюють традиційні пульти, користувач отримує доступ до широких можливостей управління системами «розумного будинку». Така панель дозволяє контролювати роботу різних пристроїв, відображати схему будинку з вказівкою поточного стану всіх систем, а також переглядати зображення з камер відеоспостереження чи контролювати медіа-контент. Однак варто зазначити, що ці рішення є досить дорогими, оскільки вимагають специфічного обладнання та інтеграції [2].

Важливою особливістю сучасних систем є можливість віддаленого управління. Завдяки технологіям Інтернету, користувач може керувати розумним будинком з будь-якої точки світу. Для цього необхідно мати підключення до Інтернету через комп'ютер або мобільний пристрій, що забезпечує безпечний доступ до системи. Використання IP-контролерів дозволяє налаштувати систему так, щоб управління могло здійснюватися тільки з авторизованих пристроїв, що значно підвищує безпеку [2].

Голосове управління є одним з найбільш популярних інтерфейсів для взаємодії з розумним будинком, хоча в повсякденному житті ця функція ще не набула широкого поширення. Система голосового управління дозволяє користувачеві керувати різними функціями будинку, використовуючи мікрофон або Bluetooth-гарнітуру. Однак на даний момент ця функція потребує додаткового програмного забезпечення і не є такою популярною через її обмежену практичність у звичайному побуті [2].

Системи розумного будинку для управління освітленням забезпечують високий рівень комфорту та енергоефективності. Інтеграція датчиків освітленості, руху та часу дозволяє автоматично налаштовувати рівень освітлення відповідно до змін у навколишньому середовищі, створюючи різноманітні світлові сценарії для різних ситуацій. Це дає можливість ефективно керувати освітленням як всередині, приклад такого освітлення одразу після входу в кімнату людини наведено на рисунку 1.2, так і зовні будинку, підвищуючи безпеку, зручність і зменшуючи енергетичні витрати.



Рисунок 1.2 – Автоматичне вмикання освітлення після входу людини в кімнату.

Поширення технологій автоматизації побутових процесів та швидкий розвиток вбудованих систем привели до появи великої кількості технічних рішень, що різняться за архітектурою, функціональними можливостями й областями застосування. Тому при подальшому опрацюванні теми важливо не лише визначити загальні підходи до побудови розумного будинку, а й проаналізувати, як ця концепція розглядається у сучасних наукових дослідженнях. Наукові публікації дають змогу побачити, які технології застосовуються на практиці, які проблеми залишаються невирішеними, а також у якому напрямку рухається розвиток систем автоматизованого керування.

Огляд досліджень, присвячених розумним будинкам, дозволяє оцінити актуальність теми не лише з технічного, а й з практичного погляду. Різні автори зосереджують увагу на інших аспектах роботи таких систем: від архітектури мережевої взаємодії до безпеки, енергоефективності та оптимізації процесів

керування. Порівняння підходів і висновків, висвітлених у цих роботах, дає змогу сформувавши цілісне уявлення про сучасний стан технологій та визначити напрями, які мають найбільше значення для розробки системи керування освітленням.

Саме тому доцільно звернутися до вибраних наукових джерел і проаналізувати, які технічні рішення пропонуються дослідниками, які завдання вони розглядають, і які тенденції можна простежити у розвитку концепції розумного будинку. Такий огляд стане основою для подальшого формування вимог до системи освітлення та допоможе обґрунтувати вибір апаратних і програмних засобів.

У статті [2] автор розглядає загальне розуміння концепції розумного будинку та підходи до її технічної реалізації. Матеріал зосереджений передусім на поясненні того, які функції можуть виконувати інженерні системи сучасних житлових приміщень та за рахунок яких технологічних рішень це досягається. Системи автоматизації описуються як комплекс пристроїв, здатних підвищувати комфорт, забезпечувати безпеку та зменшувати витрати ресурсів. Автор підкреслює, що основою роботи таких систем є здатність розпізнавати різні побутові ситуації та відповідати на них згідно з попередньо визначеними алгоритмами [2].

Особливу увагу приділено окремим напрямкам автоматизації, які складають основу розумного будинку. Серед них виокремлюються керування освітленням, кліматом, контроль безпеки, сенсорні панелі та дистанційне керування. Пояснюється принцип реалізації світлових сценаріїв і роль датчиків руху та освітленості. У контексті кліматичного керування наводяться приклади автоматичного підтримання температури залежно від зовнішніх умов. Розділ, присвячений безпеці, охоплює роботу датчиків, відеоспостереження та систем сповіщення про аварійні ситуації. Також описано можливості віддаленого доступу через мережу Інтернет та проблеми, пов'язані зі зломом або залежністю від постійно увімкненого комп'ютера [2].

Значна частина статті присвячена технічним стандартам і протоколам, які застосовуються у сфері побутової автоматизації. Автор детально зупиняється на історії технологій X10, CEBus, LonWorks, Instabus (EIB), а також на особливостях їх роботи та принципових відмінностях. Порівнюються їхні можливості, швидкість обміну даними, сумісність обладнання та перспективи застосування. Подається огляд архітектури протоколів, доступних способів комунікації та типів фізичних інтерфейсів, які використовуються для зв'язку між вузлами системи. Наведені приклади демонструють, як різні технології впливають на масштабованість, швидкість реакції системи та зручність конфігурації під час експлуатації [2].

Окремо розглянуто централізовані рішення, такі як AMX і Crestron. Автор описує їхній принцип роботи, базований на використанні потужного центрального контролера, який координує всі підсистеми. Зазначаються переваги, пов'язані з широкими можливостями користувача, та недоліки, головним серед яких є залежність усього комплексу від працездатності одного центрального комп'ютера. Такий підхід, попри високий потенціал, є досить дорогим і здебільшого застосовується у приватних домоволодіннях або комерційних об'єктах [2].

У заключній частині автор формує висновки щодо сучасного стану розвитку технологій розумного будинку. Підкреслюється перспективність напряму, зростання кількості компаній, що пропонують подібні рішення, а також досяжність базових систем завдяки здешевленню обладнання. Водночас зазначається, що налаштування таких комплексів залишається досить складним, а їхня інтеграція вимагає врахування на етапі проєктування будівель. Найбільш доцільними сферами застосування названо приватні будинки, котеджі та великі офіси, де технології автоматизації можуть бути реалізовані повністю та забезпечити максимальний ефект для власників [2].

У статті [4] увага зосереджена на практичних підходах до побудови системи керування розумним будинком та принципах організації її апаратної і програмної частин. Авторка підкреслює, що ключовою ознакою таких систем є

можливість масштабування, завдяки чому їх можна застосовувати не лише у побуті, а й на виробничих об'єктах. При цьому відсутність єдиних стандартів залишається однією з основних проблем, яка уповільнює уніфікацію рішень і збільшує складність інтеграції обладнання різних виробників [4].

На відміну від розглянутої вище публікації, у статті акцентовано увагу на різних рівнях автоматизації та принципах побудови архітектури керування. Авторка описує три основні рівні, які складають функціональну структуру системи: рівень управління й моніторингу, рівень автоматичного керування та рівень кінцевого обладнання. Такий підхід дозволяє чітко розмежувати завдання центрального контролера, сенсорів і виконавчих механізмів. Додатково зазначено, що сучасні системи розумного будинку часто доповнюються хмарним сервером, який забезпечує віддалений доступ, зберігання даних і зв'язок між користувачем та домашнім сервером [4].

Цінним є аналіз різних архітектур реалізації системи – з центральним контролером, без нього та на основі модулів, що налаштовуються. Авторка пояснює, чим відрізняються такі підходи з точки зору функціональності, складності налаштування та можливостей розширення. Перевагою централізованих систем є узгоджена робота всіх вузлів, проте вони залежать від працездатності єдиного контролера. Децентралізовані варіанти, навпаки, забезпечують автономність окремих зон. Рішення з конфігурованими модулями розглядаються як компромісний варіант, який дозволяє підключати окремі прилади без повної перебудови системи [4].

У статті наведено розширену класифікацію обладнання, що використовується у розумному будинку. Окремо описано функції керуючих і виконавчих пристроїв, модулів зв'язку, датчиків і сенсорів. Підкреслюється, що саме реле є базовим елементом для автоматизації більшості побутових процесів, а вибір протоколу зв'язку (наприклад, KNX або X10) визначає можливості системи та вимоги до апаратної частини [4].

Особливу увагу приділено питанню безпеки, зокрема ризикам, пов'язаним із впровадженням віддаленого доступу. Авторка наголошує на необхідності

використання шифрування, коректної конфігурації обладнання та захисту хмарних сервісів, що є критично важливим у контексті поширення Інтернету речей. Наведено перелік типових датчиків, які можуть застосовуватися для контролю різних систем приміщення – від освітлення й водопостачання до систем доступу, аудіовізуального обладнання та зовнішніх територій [4].

У статті також підкреслюється економічний ефект від упровадження автоматизованих рішень. За даними дослідження, витрати на електроенергію можуть бути зменшені до 60% завдяки оптимізації освітлення та управлінню мікрокліматом, а також можливе зниження витрат на газ, воду та експлуатаційні процеси. Авторка робить висновок, що розумний будинок здатен не лише забезпечити комфорт, а й підвищити інвестиційну привабливість об'єкта [4].

Матеріали конференції [5] демонструють приклад практичного застосування автоматизованих систем у навчальних закладах. На прикладі Херсонського державного університету показано, що впровадження автоматизації дозволяє ефективно керувати зовнішніми та внутрішніми показниками приміщень. Завдяки цьому зменшуються витрати на комунальні послуги, створюються оптимальні кліматичні умови для роботи і навчання, а також підвищується загальний рівень комфорту для студентів і персоналу [5].

Особливо цікавою є інтеграція автоматизації з профорієнтаційними та навчальними процесами STEM-школи. Використання датчиків та систем моніторингу дозволяє оцінювати ефективність освітніх заходів і налаштовувати умови проведення навчальних програм відповідно до потреб учнів та викладачів. Такий підхід демонструє, що концепції «Розумного будинку», що базуються на централізованому управлінні, датчиках та хмарних сервісах, можуть бути адаптовані не лише для житлових, а й для освітніх і адміністративних об'єктів [5].

Отже, дослідження доповнює попередні огляди, показуючи практичну користь автоматизації: вона не лише підвищує енергетичну ефективність і комфорт, а й відкриває нові можливості для управління навчальними та організаційними процесами [5].

Попередні дослідження показали, що автоматизація освітніх і житлових об'єктів дозволяє не лише підвищувати енергоефективність та комфорт, а й інтегрувати додаткові функції управління навчальними процесами та профорієнтаційною діяльністю. У цьому контексті важливим стає питання активної взаємодії користувача з системою розумного будинку, яка має забезпечувати комфорт та економію ресурсів при мінімальному навантаженні на людину.

У статті [6] запропоновано апаратно-програмну систему, яка використовує мікроконтролери, датчики та актюатори, а також програмне забезпечення з моделями управління на основі мереж Петрі-Маркова. Такий підхід дозволяє опрацьовувати дані від датчиків, прогнозувати поведінку користувача і формувати керувальні сигнали для виконавчих пристроїв у відповідності з ймовірнісними сценаріями. Моделі управління забезпечують комплексний аналіз різних сценаріїв розвитку подій, дослідження надійності системи та окремих компонентів, а також врахування ймовірнісних процесів у системі. Це дозволяє моделювати адаптивну поведінку розумного будинку, запобігати неоднозначним станам та підвищувати рівень автоматизації до п'ятого рівня інтелектуалізації [6].

Таким чином, дослідження демонструє, що використання моделей на основі мереж Петрі-Маркова дозволяє створювати адаптивні системи, які активно взаємодіють із користувачем і забезпечують високий рівень комфорту, при цьому інтегруючи апаратні та програмні компоненти в єдину систему управління [6].

Розглянуті у попередніх дослідженнях підходи до автоматизації та адаптивного управління системами розумного будинку підкреслюють важливість інтеграції апаратних та програмних компонентів для підвищення комфорту та енергоефективності. Однак активне впровадження таких систем супроводжується потенційними ризиками, пов'язаними з безпекою та захистом від зловмисних дій, що стає критично важливим для житлових і стратегічних об'єктів.

У статті [7] проведено структурний аналіз сучасних систем автоматизованого керування будівлею та досліджено можливі вразливості як апаратного, так і програмного характеру. Автори визначили основні канали потенційного проникнення вірусних програм – Bluetooth, Wi-Fi, HTTP, GSM, а також локальні мережі. Okремо відзначено проблеми відсутності контролю підключення несанкціонованих пристроїв, перевірки цілісності системи та аутентифікації керуючого програмного забезпечення. У статті запропоновано шляхи вирішення цих проблем, включаючи створення спеціалізованих антивірусних засобів, здатних забезпечити комплексний захист систем «Розумного будинку», із поєднанням програмної та апаратної складових [7].

Таким чином, дослідження [7] підкреслює, що ефективна автоматизація та адаптивне управління не можуть обмежуватися лише моделями користувацької взаємодії та алгоритмами прогнозування, а вимагають комплексного підходу до безпеки та надійності системи, особливо у випадку інтеграції численних підсистем і каналів зв'язку [7].

Таким чином, системи розумного будинку об'єднують апаратні та програмні засоби для автоматизованого управління життєвими процесами, створюючи комфортне, безпечне та енергоефективне середовище для користувачів. Вони дозволяють оптимізувати використання ресурсів, регулювати кліматичні умови, контролювати роботу побутових пристроїв, а також підтримувати освітні чи профорієнтаційні ініціативи в навчальних закладах. Аналіз наукових публікацій показує, що сучасні системи враховують ймовірні сценарії розвитку подій та адаптуються до дій користувача, використовуючи апаратно-програмні рішення, інтеграцію датчиків і виконавчих пристроїв. Це дозволяє досягати високої гнучкості, надійності та точності в управлінні процесами будинку. Водночас складність таких систем робить їх потенційно вразливими до збоїв, кібератак і несанкціонованого доступу, а програмні засоби без апаратної підтримки не завжди забезпечують повний захист. У цілому, концепція розумного будинку демонструє значний потенціал для підвищення комфорту, ефективності та безпеки, відкриваючи нові

можливості для інтеграції автоматизованих технологій у повсякденне життя та освітні процеси.

## 1.2 Системи розумного освітлення

Освітлення вже давно перестало бути просто джерелом світла. Сучасні системи здатні реагувати на присутність людей, зміну природного освітлення, час доби або конкретні сценарії діяльності. Вони дозволяють регулювати яскравість, колір і напрямок світла так, щоб створювати комфортні умови для роботи, відпочинку чи навчання.

Крім комфорту, такі системи допомагають економити електроенергію та зменшувати вплив на навколишнє середовище. Освітлення може синхронізуватися з іншими автоматизованими системами будівлі, забезпечуючи взаємодію з кліматом, безпекою та іншими підсистемами.

Важливою особливістю є можливість персоналізації сценаріїв для різних зон і користувачів, враховуючи режим роботи, біоритми або специфічні потреби освітлення. Завдяки цьому світло перестає бути лише функціональним елементом і стає інструментом підвищення ефективності навчання, роботи або відпочинку.

Розумне освітлення виглядає як логічне продовження і розвиток ідей автоматизованого середовища, де технології допомагають робити простір більш зручним, безпечним і економним. Далі можна розглянути основні підходи до побудови таких систем, методи управління та способи взаємодії з користувачем.

Історія освітлення розпочалася ще з винаходу лампи розжарювання в XIX столітті, яка кардинально змінила спосіб життя людини, дозволивши висвітлювати приміщення значно ефективніше, ніж за допомогою свічок чи газових ламп. Відтоді технології освітлення постійно розвивалися, з'являлися нові джерела світла, і поступово вони ставали більш енергоефективними та зручними у використанні [8]. На рубежі XX–XXI століть відбувся справжній прорив у галузі освітлення завдяки впровадженню світлодіодних (LED) ламп, які

дозволили значно зменшити споживання енергії та збільшити термін служби джерел світла у десятки разів порівняно з традиційними лампами розжарювання та люмінесцентними лампами [9].

Поява світлодіодних технологій відкрила нові можливості для автоматизації освітлення та інтеграції його в системи розумного дому. У період з 2010 по 2012 рік світлодіоди стали активно використовуватися у побутових і комерційних приміщеннях, а вже в 2015–2017 роках багато джерел світла були обладнані модулями бездротового зв'язку, що дозволяло їм взаємодіяти з іншими пристроями Інтернету речей (IoT) [9]. Це дало початок розвитку концепції «розумного освітлення», коли світильники та лампи стали не просто джерелами світла, а елементами інтегрованої системи управління, здатної автоматично реагувати на час доби, наявність людей у приміщенні та природне освітлення [8–9].

Поява термінів «розумне освітлення» або «інтелектуальне освітлення» пов'язана саме з можливістю дистанційного керування, автоматизації та інтеграції з іншими елементами розумного будинку. Перші такі системи були орієнтовані на дистанційне увімкнення та вимкнення ламп за допомогою спеціальних пультів, мобільних додатків або комп'ютерів, а поступово функціонал розширювався і включав можливість регулювання яскравості, кольору світла та створення індивідуальних світлових сценаріїв [8–9].

Сучасне розумне освітлення поєднує кілька поколінь технологій: довговічні LED-лампи, бездротові протоколи зв'язку, сенсорні системи та інтеграцію з голосовими помічниками і мобільними додатками, схематичний приклад такої системи розумного освітлення наведено на рисунку 1.3. Це дозволяє перетворити звичне включення світла за допомогою вимикача на автоматизовану систему, яка сама підлаштовує освітлення під ритм життя людини, створює комфортні умови вдома чи в офісі та оптимізує споживання енергії [8–10].

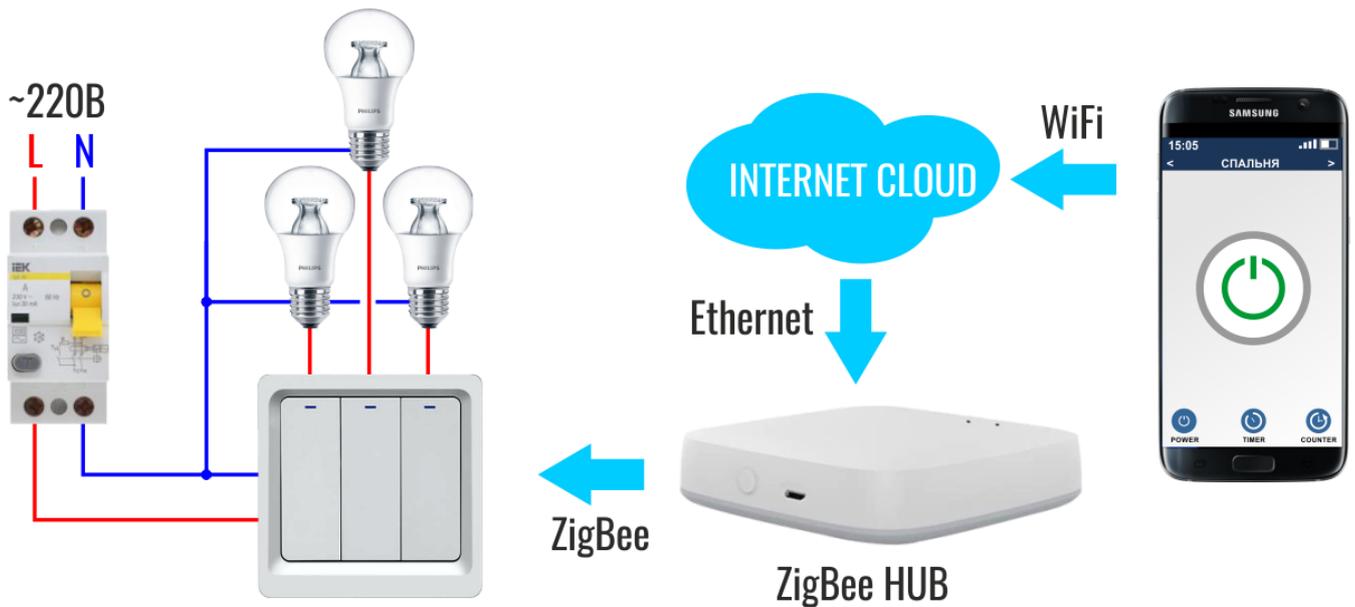


Рисунок 1.3 – Схематичний приклад такої системи розумного освітлення.  
З інтеграцією мобільного додатку.

Таким чином, історія розвитку розумного освітлення – це не просто послідовність технічних вдосконалень ламп та джерел світла, а еволюція від простого освітлення до інтегрованих систем, які підвищують зручність, енергоефективність і безпеку житлових та робочих приміщень. Сучасні технології дозволяють трансформувати будь-яке приміщення на «розумне», де світло реагує на час доби, присутність людей, природне освітлення та інші зовнішні чинники [8–10].

Розумне освітлення, яке часто називають інтелектуальним, – це сучасна система керування світлом, що дозволяє автоматизувати його увімкнення та вимкнення, регулювати яскравість та колір світіння, а також створювати різноманітні світлові сценарії відповідно до потреб користувача [8–10]. На відміну від традиційних ламп, які працюють лише через механічний вимикач, розумні світильники інтегровані у систему керування, що дозволяє управляти ними дистанційно за допомогою мобільних додатків, голосових помічників або спеціальних пультів [8,10].

Основною особливістю розумного освітлення є його інтеграція з іншими елементами розумного дому, що дозволяє поєднувати освітлення з системами

безпеки, клімат-контролю, мультимедіа та іншими пристроями. Це створює єдину автоматизовану екосистему, де світло може реагувати на присутність людей у приміщенні, зміну часу доби, рівень природного освітлення або інші задані умови [8–9].

Розумне освітлення працює завдяки використанню сучасних технологій бездротового зв'язку, серед яких найпоширенішими є Wi-Fi, Bluetooth та протоколи ZigBee або Z-Wave. Ці технології забезпечують стабільну комунікацію між джерелами світла та пристроями керування, дозволяючи легко об'єднувати окремі лампи, світлодіодні стрічки чи світильники в єдину систему та налаштовувати їх роботу як індивідуально, так і групово [10].

Ключовим поняттям розумного освітлення є можливість створення світлових сцен, коли певні лампи або групи ламп працюють узгоджено для досягнення бажаного ефекту. Це може бути як комфортне тепле світло для відпочинку, так і яскраве холодне для роботи або навчання, а також кольорове підсвічування для святкових або розважальних заходів. Завдяки цьому розумне освітлення не лише освітлює простір, а й впливає на атмосферу та настрій у приміщенні [8,10].

Інтелектуальні системи освітлення також забезпечують енергоефективність та економію електроенергії. Лампи споживають менше енергії, ніж традиційні джерела світла, а автоматизація включення та вимикання, датчики присутності та таймери дозволяють уникнути непотрібного використання електрики. Таким чином, розумне освітлення поєднує в собі комфорт, ефективність і функціональність, створюючи сучасне середовище, яке адаптується до потреб користувача [8–10].

Розумне освітлення представлено різними типами пристроїв, що дозволяють користувачеві обирати оптимальний варіант для конкретного приміщення та задач. Найпоширенішими є розумні лампочки, які легко встановлюються в стандартні патрони й не потребують змін у проводці. Вони дозволяють керувати яскравістю, кольором світла та створювати різноманітні сцени за допомогою мобільного додатку або голосового помічника. Такі лампи

можуть працювати як окремо, так і у складі групи, що дає можливість налаштувати освітлення у всьому будинку [8,10].

Світлодіодні стрічки є ще одним популярним видом пристроїв розумного освітлення. Вони призначені для декоративного підсвічування інтер'єру та можуть встановлюватися під кухонними шафами, за телевізорами, вздовж сходів або в інших дизайнерських рішеннях. Світлодіодні стрічки забезпечують плавну зміну кольору, дозволяють налаштувати яскравість і автоматизовані сценарії освітлення, створюючи атмосферу, що відповідає конкретному часу доби або події [9–10].

Настільні лампи, торшери та локальні світильники – ще один вид розумного освітлення, який підходить для робочих зон, спалень або куточків для читання. Вони зазвичай інтегровані в систему автоматизації й дозволяють дистанційне керування, зміну кольору, яскравості та налаштування таймерів. Це дає змогу створювати комфортні умови для роботи, навчання або відпочинку без необхідності постійно користуватися традиційними вимикачами [9–10].

Для зовнішнього використання передбачені садові світильники, відбивачі та настінні лампи з датчиками руху. Такі пристрої не лише освітлюють прибудинкову територію, але й підвищують безпеку завдяки автоматичному реагуванню на присутність людей або транспортних засобів. Вони можуть інтегруватися з іншими елементами розумного будинку, наприклад, камерами спостереження та сигналізаціями [9–10].

Іншою важливою категорією є розумні вимикачі та димери, які дозволяють керувати освітленням без заміни наявних ламп. Вони надають змогу змінювати рівень яскравості, програмувати таймери та створювати сценарії світла для різних приміщень. Використання таких пристроїв дозволяє модернізувати існуючі світильники й інтегрувати їх у систему розумного дому без повної заміни обладнання [9].

Таким чином, сучасний ринок розумного освітлення пропонує широкий спектр пристроїв, що відрізняються функціональністю, дизайном і способом інтеграції в систему. Це дозволяє створити індивідуальне освітлення для

кожного приміщення та забезпечити максимально зручне і енергоефективне користування світлом [8–10].

Розумне освітлення надає користувачеві значно ширші можливості, ніж традиційні лампи, і дозволяє гнучко керувати світлом у приміщенні. Однією з ключових функцій є дистанційне керування через смартфон, планшет або голосового помічника. Це означає, що можна включати або вимикати світло навіть перебуваючи поза домом, контролювати його стан та налаштовувати параметри освітлення без необхідності фізично користуватися вимикачем [8,10–11].

Автоматизація – ще одна важлива можливість сучасних систем. Таймери та сценарії дозволяють налаштовувати включення та вимикання світла у заданий час або відповідно до подій, таких як ваша відсутність вдома. Наприклад, можна встановити, щоб світло автоматично вмикалося ввечері й вимикалося вранці, або налаштувати певні кімнати на різний режим освітлення, імітуючи присутність мешканців у будинку [8–9,11].

Розумне освітлення забезпечує також адаптацію до природного освітлення. Датчики освітленості вимірюють рівень природного світла в кімнаті й регулюють інтенсивність штучного світла, підтримуючи оптимальний рівень освітленості. Це особливо корисно для збереження енергії та підтримки комфортного освітлення протягом дня [9,11].

Крім того, системи розумного освітлення дозволяють створювати світлові сцени та настрої, змінювати колір і температуру світла. Завдяки цьому можна легко організувати атмосферу для різних подій: робоче яскраве біле світло для продуктивності, тепле приглушене світло для відпочинку або кольорову підсвітку для розваг. Деякі системи навіть реагують на музику та аудіовізуальний контент, синхронізуючи світло з ритмом пісні або сценою фільму [8–10].

Розумне освітлення інтегрується з іншими пристроями розумного будинку. Це дозволяє об'єднати його з камерами, датчиками руху, термостатами та іншими гаджетами, створюючи комплексну автоматизовану систему.

Наприклад, світло може вмикатися автоматично, коли камера зафіксує рух, або зменшувати яскравість відповідно до активності користувача у приміщенні [9–10,11].

Завдяки цим можливостям, сучасні системи розумного освітлення не лише підвищують комфорт та зручність, але й оптимізують енергоспоживання, підвищують безпеку дому та сприяють здоровому способу життя, наприклад, підтримуючи природний ритм сну через поступову зміну освітлення у вечірній та ранковий час [10–11].

Розумне освітлення має низку значних переваг, які роблять його привабливим для сучасних користувачів. По-перше, це комфорт і зручність у повсякденному житті. Користувачі можуть керувати освітленням дистанційно або автоматично, використовуючи смартфон, планшет, голосового помічника чи пульт керування. Це позбавляє необхідності постійно бігати до вимикачів і дозволяє створювати зручні сценарії освітлення для різних приміщень і ситуацій [8–9,11].

По-друге, розумне освітлення значно підвищує енергоефективність. Світлодіодні лампи споживають менше енергії, виділяють менше тепла та мають набагато більший термін служби порівняно з традиційними лампочками розжарювання. Крім того, автоматизація, датчики руху та таймери дозволяють уникати непотрібного освітлення, коли приміщення порожнє, що додатково знижує витрати на електроенергію [8–9,11].

Ще однією перевагою є безпека. Розумне освітлення можна інтегрувати з системами розумного дому, камерами та датчиками руху, створюючи ілюзію присутності мешканців навіть у відсутності людей у будинку. Це може відлякувати потенційних зловмисників і підвищувати загальний рівень безпеки [8–9,11].

Розумне освітлення також сприяє підтримці здорового способу життя. Наприклад, поступове вмикання світла вранці допомагає прокинутися без різкого подразнення очей, а приглушене тепле світло ввечері сприяє природному

ритму сну. Крім того, зміна кольору та температури світла допомагає створювати комфортну атмосферу, яка впливає на настрій та продуктивність [8–10].

Що стосується гнучкості та функціональності, розумні системи освітлення дозволяють налаштовувати індивідуальні світлові сцени, змінювати яскравість, колір та режим роботи ламп залежно від часу доби, подій чи активності користувачів. Це дає змогу створювати ефекти для роботи, відпочинку чи розваг без додаткових пристроїв [8–10].

Однак є й певні недоліки, які варто враховувати. Одним із них є висока початкова вартість системи розумного освітлення, особливо при інтеграції великої кількості ламп та аксесуарів. Крім того, для повної функціональності іноді потрібна стабільна мережа Wi-Fi або центральний хаб, що додає технічної складності та може створювати проблеми у разі перебоїв з Інтернетом або електропостачанням [9–11].

Ще одним обмеженням є необхідність сумісності з іншими пристроями розумного дому або обраним голосовим помічником. Не всі лампи та контролери можуть взаємодіяти між собою, що вимагає уважного підбору компонентів при проектуванні системи [9–10]. Також певні функції, такі як синхронізація з музикою або кольорові сцени, можуть потребувати додаткових додатків або абонентських сервісів.

Таким чином, переваги розумного освітлення значно переважають його недоліки, особливо коли йдеться про зручність, енергоефективність, безпеку та здоровий ритм життя. Проте повна реалізація всіх можливостей системи потребує уважного планування, підбору сумісних компонентів та технічної грамотності користувача [8–11].

Розумне освітлення сьогодні є невід'ємною частиною сучасного дому та офісу, поєднуючи технології, комфорт і естетику. Воно дозволяє не лише вмикати чи вимикати світло, а й регулювати яскравість, змінювати колір та створювати різноманітні світлові сцени, підлаштовані під конкретні потреби та настрої користувачів.

Важливою особливістю розумного освітлення є його гнучкість та інтуїтивність у використанні. За допомогою мобільного додатку, голосового помічника або пульта керування можна легко змінювати параметри світла в режимі реального часу, автоматизувати включення та вимикання ламп у певний час, а також налаштовувати їх роботу відповідно до присутності людей у приміщенні. Це робить щоденне життя зручнішим і дозволяє економити електроенергію та уникати надмірного освітлення.

Окрім практичних переваг, розумне освітлення допомагає створювати бажану атмосферу. Це особливо важливо для людей, які багато часу проводять у приміщеннях без природного освітлення, або для тих, хто прагне підвищити комфорт і естетичну привабливість свого житла чи робочого простору.

Таким чином, розумне освітлення поєднує технологічність і зручність, створюючи середовище, яке підлаштовується під потреби користувача. Воно відкриває нові можливості для комфорту, енергоефективності та безпеки, дозволяючи не просто освітлювати простір, а керувати світлом так, як цього вимагає сучасний стиль життя.

### **1.3 Огляд існуючих систем керування освітленням**

Сучасні системи керування освітленням стали важливою складовою розумного дому, оскільки вони дозволяють не просто включати та вимикати світло, а організовувати його роботу у відповідності до потреб користувача, часу доби, наявності людей у приміщенні та інших факторів. Такі системи відкривають можливості для створення комфортного та безпечного середовища, підвищують енергоефективність оселі і забезпечують оптимальний контроль над усіма джерелами світла. Вони дозволяють інтегрувати освітлення з іншими елементами розумного будинку, такими як термостати, системи безпеки, мультимедійне обладнання, що дає змогу формувати комплексне, узгоджене управління простором.

Важливість систем керування освітленням полягає не лише в автоматизації щоденних дій, а й у здатності створювати різні сценарії освітлення, адаптовані під конкретні завдання або настрої. За їх допомогою можна організувати робочий простір з оптимальною яскравістю для концентрації, створити затишну атмосферу для відпочинку, або ж забезпечити безпечне освітлення під час пересування у темний час доби. Крім того, такі системи дозволяють віддалено контролювати стан освітлення, що особливо важливо для великих осель, квартир з декількома зонами або заміських будинків, де постійна фізична присутність для керування світлом не завжди можлива.

Огляд існуючих систем керування освітленням дозволяє зрозуміти різноманітність підходів, технологій та рішень, що сьогодні доступні на ринку. Це не лише допомагає визначити оптимальний вибір для конкретного типу приміщення, а й показує, які функції та можливості можна очікувати від сучасних розумних світильників. Розуміння різниці між системами, їхньої архітектури, принципів роботи та способів інтеграції з іншими пристроями є ключовим для ефективного використання освітлення як частини загальної концепції розумного дому.

Система розумного вуличного освітлення «Розумне освітлення», запропонована корпорацією «ВАТРА», структура якої наведена на рисунку 1.4, являє собою комплексне рішення для централізованого та автоматизованого контролю зовнішніх світлових мереж. Вона побудована на принципах інтелектуального керування та об'єднує у єдину інфраструктуру світильники, контролери, комунікаційні модулі та диспетчерський центр. Основою роботи системи є використання LED-світильників зі змінною інтенсивністю світлового потоку, а також розгалуженої мережі сенсорів, що збирають діагностичну інформацію про стан обладнання в реальному часі. Завдяки цьому забезпечується як гнучке управління рівнем освітленості, так і можливість оперативного реагування на будь-які зміни в системі [12].

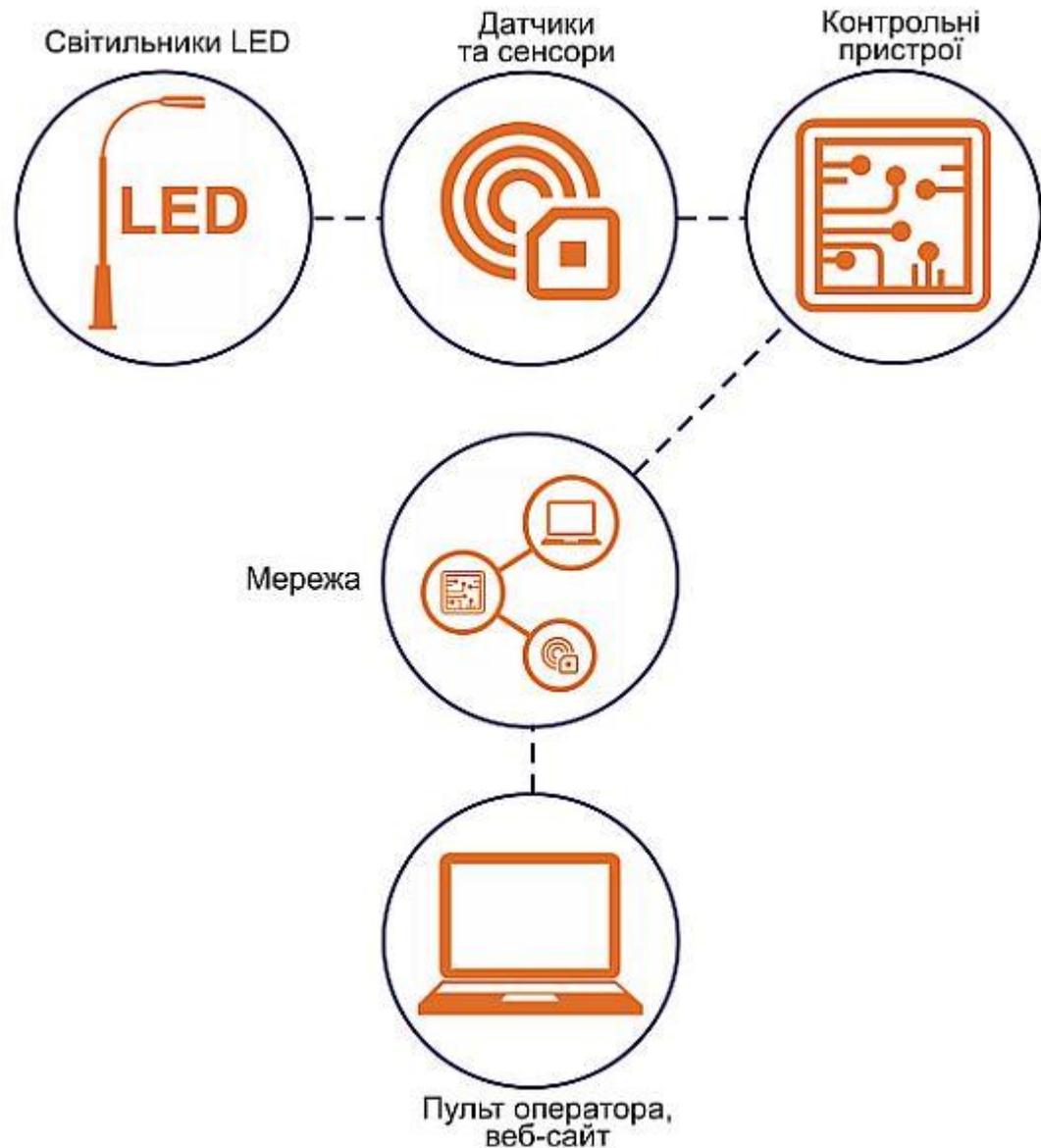


Рисунок 1.4 – Архітектура системи розумного вуличного освітлення «Розумне освітлення».

Важливою особливістю рішення є побудова мережевої взаємодії засобами бездротового зв'язку: контролери шаф зовнішнього освітлення працюють через мобільні стандарти 2G/3G/4G, а світильники спілкуються з ними за протоколом LoRa. Така модель дає можливість суттєво спростити монтаж, оскільки система не вимагає прокладання додаткових кабельних ліній. Кожен світильник оснащений власним контролером із GPS-приймачем та датчиком освітленості, що дозволяє йому не лише передавати точні координати та часові мітки подій, а й працювати автономно за власним алгоритмом увімкнення та димування.

Завдяки зворотному зв'язку з операторським пультом забезпечується постійний моніторинг технічного стану мережі: рівнів напруги та струму, активної потужності, коефіцієнта потужності, температури, режиму роботи та історії подій [12].

Централізований пульт керування забезпечує створення гнучких сценаріїв освітлення, ручне регулювання параметрів та доступ до хмарного сервера, який виконує функції інформаційного вузла. Через нього здійснюється логування подій, синхронізація даних та диспетчеризація всієї інфраструктури. Архітектура системи побудована так, що один контролер шафи може управляти кількома підмережами світильників, що істотно зменшує експлуатаційні витрати, зокрема завдяки тому, що SIM-картка потрібна лише для контролера ШУЗО, а не для кожного світильника окремо [12].

Використання світлодіодних джерел світла класу енергоефективності A++ забезпечує значне зниження енергоспоживання та тривалий ресурс роботи – понад 50000 год. Крім економічних переваг, система підвищує рівень безпеки вуличної інфраструктури: можливість підтримувати напругу на лініях дозволяє інтегрувати освітлення з відеоспостереженням, інформаційними панелями, Wi-Fi-точками доступу та іншими сервісами розумного міського середовища. У поєднанні з централізованим контролем і можливістю індивідуального керування кожним світильником така система формує сучасну енергоощадну інфраструктуру для міських територій, дорожньої мережі, промислових зон і громадських просторів [12].

Системи автоматизованого керування освітленням від компанії Tervix, представлені у варіантах для домашнього використання, побудовані на технології ZigBee, що забезпечує надійний та енергоефективний зв'язок між пристроями. Обидві системи орієнтовані на автоматизацію освітлення в домашніх умовах, надаючи користувачам можливість дистанційного керування через мобільний додаток TuYa Smart, а також інтеграції з голосовими помічниками (Google Assistant, Alexa). Вони забезпечують можливість ручного, автоматичного та голосового керування освітленням, що дозволяє значно

підвищити зручність та енергоефективність у побуті. Системи працюють автономно, незалежно від доступу до Інтернету після первинної настройки, що дає їм додаткову перевагу при обмеженому чи нестабільному підключенні до мережі [13–14].

Основні елементи обох систем – це розумні вимикачі та датчики освітленості та руху, які можна використовувати для автоматичної зміни інтенсивності освітлення залежно від навколишніх умов або присутності людей. Вони дозволяють автоматично вмикати/вимикати світло в певний час доби або при виявленні руху в зоні контролю, а також налаштовувати освітлення відповідно до зовнішніх умов (наприклад, настання темряви). Кожна система включає контролер, що підтримує бездротову комунікацію та здатний підключати до 85 пристроїв у межах однієї мережі, що дозволяє масштабувати систему відповідно до потреб користувача.

Основні відмінності між двома системами полягають у наступному. Перша система, що працює на протоколі Wi-Fi з радіочастотою 433 МГц, не потребує додаткових контролерів, оскільки її модулі управління підключаються безпосередньо до домашнього маршрутизатора. Вона включає модулі управління для стандартного вмикання/вимикання освітлення та для регулювання його яскравості (димери). Користувач може налаштовувати освітлення за допомогою мобільного додатка або голосових команд, що додає зручності у повсякденному використанні. Однак дана система вимагає стабільного підключення до Wi-Fi для роботи [13].

Натомість система на ZigBee має додаткову гнучкість завдяки своїй здатності працювати автономно, без необхідності в постійному підключенні до Wi-Fi. Вона дозволяє підключати значно більше пристроїв, надаючи більше варіантів для розширення функціоналу «розумного будинку». Окрім стандартного вимикача, система підтримує інтеграцію з датчиками руху, що автоматично активують освітлення при виявленні руху в приміщенні чи на вулиці. Для управління такою системою необхідний хаб, який підтримує не тільки ZigBee, але й Wi-Fi з можливістю керування через мобільний додаток [14].

Отже, обидві системи спрямовані на досягнення максимальної зручності та енергоефективності для користувачів, але відрізняються підходом до підключення та автономності роботи. Користувачам, які шукають простоту та безпосереднє підключення до Wi-Fi, може підійти перша система, в той час як система з підтримкою ZigBee буде більш вигідною для тих, хто планує інтегрувати її в ширшу мережу «розумного будинку» з можливістю автономної роботи без інтернет-з'єднання [13–14].

Розглянуті системи розумного освітлення демонструють високий рівень технологічної зрілості та багатофункціональності, забезпечуючи користувачам широкі можливості для автоматизації освітлення як у побутових, так і у зовнішніх просторах. Їхня конструкція складається з різноманітних модулів – контролерів, датчиків освітленості і руху, бездротових вимикачів, що дозволяє створювати налаштовані сценарії освітлення в залежності від конкретних умов. Системи підтримують інтеграцію з іншими компонентами «розумного будинку» та забезпечують значну гнучкість при управлінні через мобільні додатки або голосові асистенти.

Проте, складність конструкцій, зокрема необхідність наявності кількох підсистем для коректної роботи (як у випадку з контролерами і датчиками), а також обмеження, пов'язані з підтримкою конкретних бездротових протоколів (Wi-Fi, ZigBee), можуть створювати додаткові труднощі при налаштуванні та подальшій експлуатації. Крім того, така модульність і функціональна розгалуженість призводять до підвищення вартості, що може стати значним бар'єром для деяких користувачів.

Без сумніву, ці системи є хорошими інструментами для автоматизації освітлення, проте для широкого кола споживачів можливість знайти менш складні та більш універсальні рішення, що поєднують зручність і доступність, виглядає привабливим варіантом.

Відомі також простіші пристрої для розумного освітлення, які активно використовуються у побутових умовах завдяки своїй універсальності, простоті в налаштуванні та широкій інтеграції з іншими системами. Один з таких пристроїв

–LED контролер Gledopto Dim/CCT зображений на рисунок 1.5, який є частиною екосистеми TuYa Smart.



Рисунок 1.5 – LED контролер Gledopto Dim/CCT

Цей LED-контролер призначений для управління світлодіодними освітлювальними приладами через протокол ZigBee, що забезпечує зручне підключення до різних смарт-платформ, таких як TuYa Smart, Google Home, Home Assistant, SmartThings та Philips HUE. Пристрій дозволяє регулювати яскравість та температуру кольору (CCT) світла, що додає можливості для створення індивідуальних освітлювальних сценаріїв в залежності від часу доби або потреб користувача [15].

Контролер має максимальне навантаження 12 А, що дозволяє підключати до нього кілька освітлювальних приладів одночасно, забезпечуючи стабільну роботу при великих навантаженнях. Варто зазначити, що блок живлення не входить у комплект, тому користувачеві необхідно окремо придбати відповідний адаптер для живлення пристрою. Для зручності керування також потрібно використовувати шлюз ZigBee, який забезпечує з'єднання пристрою з іншими елементами розумного будинку. Крім того, контролер підтримує підключення зовнішнього вимикача дзвінкового типу, що дозволяє здійснювати ручне включення або вимикання освітлення [15].

Завдяки своїй простоті у використанні та широкій інтеграції з популярними платформами, Gledopto Dim/CCT є хорошим варіантом для модернізації системи освітлення без зайвих складнощів [15].

Також варто розглянути розумні стельові світильники, які дозволяють зручно інтегрувати освітлення в систему «розумного дому», додаючи можливості для точного налаштування світлових параметрів через мобільні додатки або голосові помічники. Одним із таких пристроїв є Wi-Fi LED стельовий світильник Yeelight Ceiling Light.

Цей світильник підтримує протокол зв'язку Wi-Fi, що дозволяє з'єднувати його з популярними екосистемами, такими як Apple HomeKit, Google Home, Home Assistant та Mi Home. Завдяки цьому користувачі можуть управляти освітленням через мобільні додатки або за допомогою голосових команд через Google Assistant чи Siri. Максимальна потужність світильника складає 23 Вт, що дозволяє забезпечити комфортне освітлення середнього розміру приміщення. Світильник має широкий діапазон коригування колірної температури від 2700 К до 6500 К, що дозволяє налаштувати як тепле, так і холодне освітлення в залежності від потреб користувача або часу доби. Світловий потік 1500 люмен забезпечує достатньо яскраве освітлення для кімнат стандартних розмірів [16].

Управління світильником здійснюється через Bluetooth 4.2, що дозволяє підключатися до нього без необхідності постійного доступу до Wi-Fi. Це дає змогу заощаджувати енергію та забезпечити зручне керування освітленням навіть за відсутності інтернет-з'єднання. Як і більшість подібних пристроїв, світильник Yeelight також працює від мережі 220 В, що є стандартом для більшості побутових електричних приладів [16].

Розумні лампи, наприклад, як Gledopto 6W E27 RGB+CCT, пропонують зручні можливості для налаштування освітлення, що відповідає настрою та вимогам користувача. Цей пристрій працює за протоколом ZigBee 3.0, що забезпечує стабільний і захищений зв'язок, сумісний з широким колом шлюзів. Лампа підтримує функцію змішування кольорів RGB, дозволяючи отримати понад 16 мільйонів відтінків. Це дає можливість регулювати колірне освітлення

для різних ситуацій, створюючи атмосферу, яка підходить для роботи, відпочинку або розслаблення [17].

Завдяки поліпшеній конструкції та технології ZigBee 3.0, ця лампочка має покращену дальність сигналу – до 31 метра, а також швидше вмикається без затримок, що дозволяє кільком лампочкам включатися майже одночасно. Плавне та точне регулювання яскравості забезпечує високий рівень комфорту, адже світловий потік можна коригувати в діапазоні від 1% до 100%. Колірна температура лампи варіюється від 2000 К до 6500 К, що дозволяє створювати як тепле, так і холодне освітлення відповідно до потреб користувача [17].

Лампа також оснащена лінзою з РММА, що забезпечує рівномірний розподіл світла і високий коефіцієнт пропускання світлового потоку, що становить 93%. Це дозволяє мінімізувати шкоду для зору і забезпечує комфортне освітлення. Управління лампою здійснюється через мобільний додаток або голосові команди через Alexa Echo чи Google Home, що робить її інтеграцію в систему розумного будинку ще зручнішою [17].

Окремо варто виділити системи дистанційного керування освітленням, до яких відноситься, зокрема, Ardero TM76ARD (рисунок 1.2), що дозволяє зручно керувати освітленням та іншими електроприладами за допомогою радіосигналу на відстані до 30 метрів. Це зручна опція для домашнього використання, а також для комерційних приміщень, де важливо мати можливість управляти пристроями з комфортною відстані [18].



Рисунок 1.6 – Дистанційний вимикач Ardero TM76ARD

Дистанційний вимикач Ardero TM76ARD відрізняється багатоканальністю, що дає можливість одночасно керувати кількома пристроями або цілими групами приладів. Завдяки великому запасу потужності, пристрій здатний працювати з потужними та багатоламповими освітлювальними системами. У комплект входять пульт управління (передавач) і комутаційний блок (приймач) [18].

Система також має функцію пам'яті, яка зберігає стан увімкнення при знеструмленні, що гарантує, що лампи будуть відновлювати своє попереднє налаштування після відновлення живлення. Вимикач підтримує потужність до 1000 Вт на один канал, що робить його підходящим для різноманітних електроприладів. Завдяки компактному розміру та ступеню захисту IP20, Ardero TM76ARD добре підходить для використання в приміщеннях, де рівень вологи та пилу не перевищує норму [18].

Підсумовуючи аналіз всіх розглянутих пристроїв для керування освітленням у системах розумного будинку, можна зазначити, що хоча окремі з них є простими в експлуатації, їхня функціональність та універсальність залишаються обмеженими. В більшості випадків ці пристрої підтримують лише певні протоколи, наприклад, ZigBee або Wi-Fi, що впливає на їхню сумісність з різними платформами та системами розумного будинку. Це означає, що для їх нормальної роботи часто потрібні додаткові компоненти, як-то шлюзи чи спеціальні контролери, що знижує гнучкість і зручність їх використання.

Також більшість пристроїв орієнтовані на роботу лише з певними типами освітлювальних приладів, такими як звичайні лампи або світлодіодні стрічки, що обмежує можливості користувача щодо вибору обладнання для інтеграції в систему. Навіть якщо пристрій підтримує основні функції, такі як регулювання яскравості чи кольору, взаємодія з іншими приладами часто залишається складною або обмеженою.

Що стосується системи дистанційного керування, то відомі на сьогодні варіанти не дають універсального рішення, яке могло б одночасно працювати як у складі системи розумного будинку, так і незалежно від неї, а також

підтримувати різні типи освітлювальних приладів (наприклад, лампи та світлодіодні стрічки). Таким чином, доцільною є розробка такої системи, яка була б достатньо гнучкою та адаптивною, щоб мати можливість інтегруватися до будь-яких розумні платформи або працювати автономно. Це дозволить користувачам мати більшу свободу у виборі освітлювальних приладів і зручність у керуванні ними, незалежно від того, чи є в їхньому домі система розумного будинку. Така система, зможе не лише забезпечити ефективне управління освітленням, але й значно розширити можливості інтеграції з іншими розумними пристроями.

#### **1.4 Висновки до розділу**

Розумні будинки – це не просто технологічні інновації, а значний крок до покращення комфорту, безпеки та енергоефективності в житлових приміщеннях. Вони дозволяють автоматизувати численні аспекти побутового життя, серед яких керування освітленням займає важливе місце. Інтелектуальні системи освітлення забезпечують зручність використання, економію енергії та можливість створення комфортних умов для перебування в приміщеннях. Такі системи можуть включати автоматичне вмикання та вимикання світла, регулювання яскравості, а також зміни кольору освітлення, що дозволяють адаптувати атмосферу в кімнаті відповідно до потреб користувача.

Системи керування освітленням значно варіюються за складністю та функціональністю. Вони можуть включати прості рішення для вмикання та вимикання світла за розкладом, а також складніші варіанти з можливістю регулювання яскравості, кольору та інтеграції з іншими компонентами розумного будинку. Попри те, що ці технології дозволяють значно підвищити комфорт та енергоефективність, вони не завжди надають достатньо гнучкості для повної адаптації до потреб користувачів, особливо коли йдеться про інтеграцію з різноманітними типами освітлювальних приладів і екосистемами.

Водночас, попри широкі можливості, існуючі рішення для керування освітленням мають ряд обмежень, серед яких – необхідність використання специфічних протоколів зв'язку (ZigBee, Wi-Fi), відсутність універсальності у підключенні до різних типів освітлювальних приладів та обмежена сумісність з іншими пристроями. Кілька систем розумного освітлення, що були проаналізовані, показують різні підходи до вирішення цих проблем, але жодна з них не є ідеальною для широкого використання в різноманітних умовах.

Існуючі пристрої, такі як розумні світильники, контролери для світлодіодних стрічок і дистанційні вимикачі, працюють за допомогою різних протоколів і мають різні варіанти керування. Проте жоден з пристроїв не забезпечує достатньої універсальності, щоб працювати з усіма типами освітлення, як у поєднанні з системою розумного будинку, так і без неї. Більшість з цих пристроїв обмежені в налаштуваннях і функціях, не завжди підтримують інтеграцію з іншими системами або пристроями, а деякі вимагають спеціальних шлюзів чи додаткових контролерів.

Погляд на різні підходи до автоматизації освітлення також показує, що, попри можливість контролю через смартфони або голосові асистенти, більшість рішень все одно залишаються складними та потребують налаштувань, які можуть бути непотрібними для користувачів, що шукають простоту та зручність.

З огляду на результати проведеного аналізу, доцільно розробити новий пристрій для керування освітленням, який зміг би усунути обмеження існуючих систем. Така система повинна бути універсальною, здатною працювати як з розумними будинками, так і без них, а також підтримувати ефективне управління всіма типами освітлення – від звичайних ламп до світлодіодних стрічок. Ідеальна система повинна бути легко інтегрованою в різні екосистеми розумного будинку, однак водночас залишатися функціональною й безперебійною в автономному режимі. Розробка такого пристрою дозволить вирішити поточні проблеми сумісності та обмеженої функціональності існуючих аналогів, створивши більш зручне, гнучке та ефективне рішення для споживачів.

## **2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ РОЗУМНОГО ДОМУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДУЛІВ ARDUINO**

### **2.1 Способи керування освітленням**

Керування освітленням є однією з основних складових сучасних розумних будинків, що дозволяє значно підвищити комфорт та ефективність використання енергоресурсів. Завдяки швидкому розвитку технологій, способи управління освітленням стали значно різноманітнішими, що дає змогу задовольняти найрізноманітніші потреби споживачів. Системи освітлення можуть бути як простими, так і складними, інтегрованими в розумні будинки або працюючими автономно.

Одним із основних критеріїв вибору методу керування є рівень автоматизації: від базових механічних перемикачів до високотехнологічних рішень з використанням бездротових технологій. Традиційні способи, такі як вимикачі, диммери або автоматичні таймери, залишаються популярними завдяки своїй простоті та доступності. Проте із зростанням попиту на розумні рішення, все більше користувачів звертається до більш інноваційних методів управління, таких як голосові асистенти (Google Assistant, Alexa), мобільні додатки, а також системи на базі Wi-Fi, ZigBee чи Bluetooth.

У сучасних розумних будинках керування освітленням може бути інтегроване в єдину екосистему, що дозволяє не лише вмикати/вимикати світло, а й налаштовувати його яскравість, колір, а також створювати різноманітні сценарії автоматизації. Зокрема, можна налаштувати освітлення на певні часи доби, реагувати на рух або зовнішнє освітлення, створювати атмосферу, що відповідає настрою користувача, або оптимізувати енергоспоживання. Водночас, певні обмеження традиційних систем не дозволяють досягти такої гнучкості, і саме тому все більше уваги приділяється вдосконаленню технологій керування освітленням, що дозволяють інтегрувати різноманітні джерела світла в єдину систему.

Залежно від специфіки об'єкта та вимог користувача, кожен метод має свої переваги та недоліки, що потребує уважного підходу при виборі оптимальної стратегії управління освітленням. Однак очевидно, що тенденція до автоматизації та інтелектуального керування продовжує набирати популярності, що дає можливість досягти максимальної зручності, ефективності та економії енергоресурсів.

У простих системах керування освітленням основним компонентом є реле, яке дозволяє вмикати та вимикати освітлювальні прилади. Реле – це електромеханічний пристрій, що замикає або розмикає електричний ланцюг у відповідь на керуючий сигнал, приклад наведено на рисунку 2.1. Реле можуть бути нормально замкненими (НЗ) або нормально розімкненими (НР). У реле з нормально замкненим контактом ланцюг замкнений за замовчуванням, і при подачі сигналу на котушку реле відбувається розмикання. У реле з нормально розімкненим контактом все навпаки: ланцюг розімкнений за замовчуванням, і при подачі сигналу відбувається його замикання. Такі реле можуть бути механічними, тобто з використанням рухомих контактів, або статичними, що працюють на базі напівпровідникових елементів (транзисторів чи тиристорів) [19–20].



Рисунок 2.1 – Реле.

Важливою особливістю реле є їхня здатність працювати з різними типами навантажень, зокрема з лампами розжарювання, галогеновими лампами, а також з іншими приладами, що не мають електронних схем стабілізації струму. Це дає можливість використовувати реле для простого вмикання та вимикання освітлення, але лише за умови, що керовані прилади не мають вбудованих драйверів або інших складних електронних компонентів, що потребують стабільного струму [20].

Для регулювання яскравості освітлення в традиційних системах часто використовуються димери, приклад наведено на рисунку 2.2. Димери працюють за принципом зміни рівня напруги або сили струму, що подається на лампу. Існують кілька типів димерів, залежно від технології, що використовується для управління. Одним з найпоширеніших варіантів є тиристорні димери, в яких для регулювання використовуються тиристори – напівпровідникові пристрої, здатні пропускати електричний струм лише в певній частині періоду синусоїдальної напруги. Цей принцип дозволяє змінювати середнє значення поданої напруги, що призводить до плавного зменшення або збільшення яскравості світла. Інший поширений тип димерів – це симісторні димери, які працюють за аналогічним принципом, але використовують симістори, які є двонаправленими елементами і забезпечують кращу стабільність при зміні напрямку струму [19].



Рисунок 2.2 – Димер.

Дімери можуть бути вбудовані в перемикачі, а також можуть бути інтегровані в конструкцію світильників. Зазвичай вони мають механічне або сенсорне керування для зручності налаштування рівня яскравості. Сенсорні дімери реагують на дотик або жест, що робить їх зручними для використання в сучасних інтер'єрах. Водночас механічні дімери зазвичай мають фізичний елемент управління у вигляді обертового колеса або повзунка [19].

Однак ці методи керування не підходять для світлодіодних ламп, адже останні оснащені спеціальними драйверами для стабілізації струму, що робить їх чутливими до змін напруги. Простий дімер або реле можуть пошкодити драйвер світлодіода, оскільки ці пристрої змінюють напругу або частоту струму, що може призвести до перевантаження драйвера. Щоб регулювати яскравість світлодіодів, потрібні спеціалізовані дімерні пристрої, які працюють на постійному струмі, що подається через стабільний драйвер. У цьому випадку зміна яскравості здійснюється через зміну ширини імпульсу (ШІМ), що дозволяє точно контролювати подачу енергії до світлодіодів без шкоди для їхніх драйверів.

Для регулювання яскравості світлодіодних стрічок або світлодіодних елементів, які не мають вбудованих драйверів з функцією димування, застосовується широтно-імпульсна модуляція (ШІМ). Відмінність ШІМ від звичайного регулювання напруги полягає в тому, що він не змінює величину поданої напруги, а модулює час, протягом якого струм подається до світлодіодів. Це робиться за допомогою імпульсів, де змінюється їх ширина (відсоткове співвідношення часу «включено» і «вимкнено») [19,21].

Таке керування працює за рахунок того, що світлодіоди є напівпровідниковими елементами, і їх яскравість безпосередньо залежить від величини струму, що їх живить. ШІМ дозволяє плавно змінювати середнє значення цього струму. Чим ширші імпульси, тим більший струм, а отже – вища яскравість.

Для того, щоб ефективно реалізувати ШІМ, в системі використовуються польові транзистори (MOSFET), приклад транзистора та його схема наведена на

рисунку 2.3, що дозволяють швидко і точно включати/вимикати струм. Транзистори, в залежності від конструкції схеми, можуть бути як N-канальними, так і P-канальними. Вони дають можливість точно регулювати потік струму, при цьому мінімізуючи втрати енергії, що важливо для ефективного управління освітленням [21].

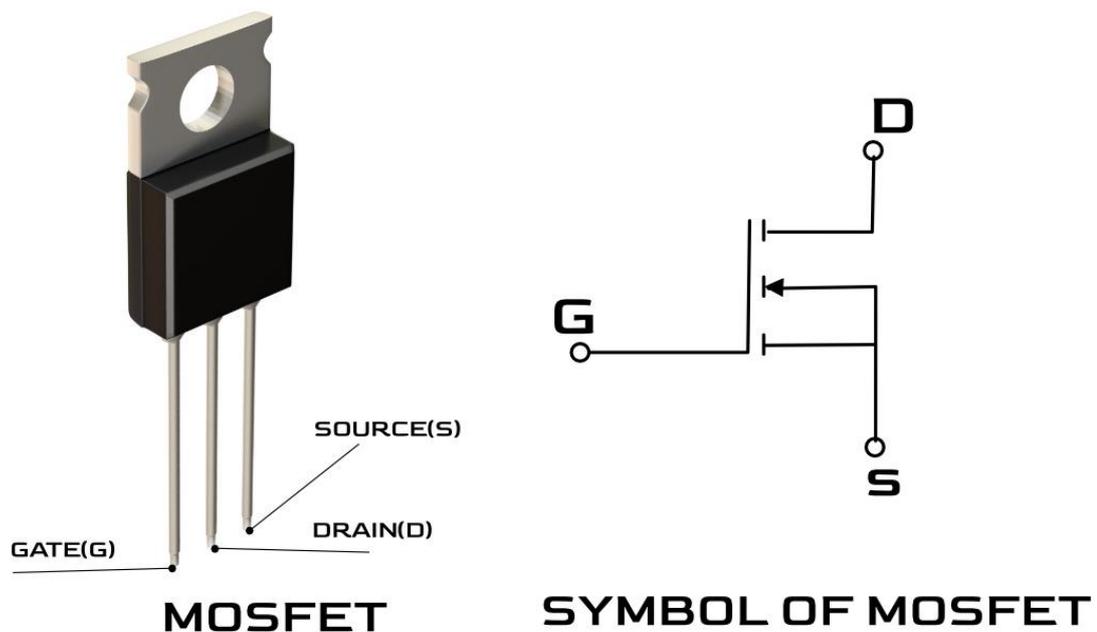


Рисунок 2.3 – Транзистор та схема транзистора.

Особливістю таких систем є висока швидкість перемикання транзисторів, що дозволяє точно регулювати яскравість в межах необхідних значень. Це також дає можливість знижувати або збільшувати яскравість світлодіодів з високою точністю, навіть на дуже малих рівнях потужності.

Важливо розуміти, що для ефективної роботи з ШІМ і підтримки стабільної роботи освітлення, необхідно використовувати правильні контролери, які керують цією модуляцією. Зазвичай це спеціальні драйвери для світлодіодних стрічок, що включають в себе як сам контролер ШІМ, так і необхідні компоненти для подачі стабільного струму до світлодіодів.

Отже, ШІМ є основним методом регулювання яскравості для світлодіодних стрічок, де точність і ефективність керування вимагають

використання відповідних транзисторів та драйверів для забезпечення стабільної роботи та низького споживання енергії.

Таким чином, основними методами керування освітленням є реле для включення/вимикання та димери для регулювання яскравості. Реле працюють на основі механічних або напівпровідникових контактів, дозволяючи просте і надійне включення освітлення. Димери, у свою чергу, регулюють напругу, що подається на джерело світла, використовуючи тиристри або симістри для досягнення плавного регулювання яскравості. Однак ці методи не підходять для всіх типів освітлення, зокрема для світлодіодних ламп, які вимагають спеціалізованого підходу до регулювання через драйвери та широтно-імпульсну модуляцію.

## **2.2 Взаємодія пристроїв у розумному будинку**

У розумному будинку всі пристрої повинні працювати не просто автономно, а бути частиною єдиної мережі, де кожен елемент може взаємодіяти з іншими. Це дозволяє створювати різноманітні сценарії автоматизації, що значно підвищують зручність і ефективність використання системи. Наприклад, освітлення може автоматично вмикатися при відкритті дверей, або система кондиціонування може регулювати температуру в залежності від того, коли ви приходите додому. Для того, щоб пристрої могли взаємодіяти між собою, вони повинні обирати спільний протокол зв'язку та мати здатність розпізнавати сигнали один від одного. Залежно від цього, системи можуть бути об'єднані через різні технології – від Wi-Fi до ZigBee, а для більш складних задач можуть використовуватися спеціалізовані шлюзи. Важливо, щоб взаємодія була не лише на рівні передачі даних, а й на рівні автоматичних рішень, які система приймає на основі умов, заданих користувачем чи середовищем.

Щоб пристрої в розумному будинку могли працювати разом, вони повинні вміти спілкуватися між собою. Це дозволяє їм адаптуватися до змін у навколишньому середовищі, а також автоматично виконувати певні завдання.

Наприклад, коли температура в кімнаті знижується, термостат може увімкнути обігрівач, а світло – відрегулювати яскравість залежно від часу доби. І для того, щоб усе це працювало, потрібен канал комунікації між усіма пристроями. Саме таку роль і відіграє інтернет речей, без якого ця взаємодія була б неможливою.

Інтернет речей (IoT) – це система фізичних об'єктів, з'єднаних між собою через Інтернет завдяки вбудованим датчикам, програмному забезпеченню та іншим технологіям. Пристрої IoT можуть обмінюватися даними без втручання людини, що відкриває нові можливості для автоматизації та ефективного керування пристроями в реальному часі. IoT використовується в таких сферах, як розумні будинки, медицина, сільське господарство та промисловість [22].

Розвиток обчислювальних потужностей, хмарних технологій, бездротового зв'язку та машинного навчання дозволяє створювати високопродуктивні та надійні IoT-системи, що покращують ефективність у багатьох галузях. Зниження вартості технологій та покращення енергетичної ефективності робить IoT доступним для різних виробників та бізнесу, що дозволяє знижувати витрати та покращувати обслуговування клієнтів [22].

IoT знаходить застосування в промисловості, сільському господарстві, ЖКГ, безпеці, медицині тощо. Використання IoT сприяє збільшенню швидкості прийняття рішень, створенню нових бізнес-моделей, зменшенню кількості відходів та відкриттю нових джерел доходу, що підвищує ефективність і конкурентоспроможність компаній [22].

Очікується, що кількість пристроїв IoT у світі досягне понад 29 мільярдів до 2030 року. Зростає ринок IoT, зокрема в таких секторах, як сільське господарство, автомобільна промисловість та охорона здоров'я. Попри потенціал, безпека залишається головним викликом для IoT через високий рівень кібератак [23].

IoT-система структурована на чотирьох рівнях [24]:

1. Сенсори та сенсорні пристрої для збору та обробки даних в реальному часі.

2. Мережева інфраструктура (шлюзи, мережі), що інтегрує різні типи мереж для передачі даних.
3. Сервісний рівень, що забезпечує автоматизацію технологічних та адміністративних операцій.
4. Рівень додатків, що включає програми для конкретних сфер, таких як промисловість, енергетика та охорона здоров'я, для забезпечення ефективності та оптимізації процесів.

Інтернет речей (IoT) охоплює численні пристрої, які взаємодіють між собою та обмінюються даними. Для забезпечення цього процесу використовуються різні комунікаційні протоколи, які адаптовані до специфічних вимог IoT-систем, зокрема обмеженого енергоспоживання та пропускної здатності. Протоколи відрізняються за характеристиками енергоспоживання, швидкості передачі даних і пропускною здатністю, що дозволяє вибирати найбільш підходящий варіант залежно від умов застосування [25].

Zigbee є одним з найбільш поширених протоколів для автоматизації будинків та промислових застосувань, де важливими вимогами є низьке енергоспоживання та стабільне з'єднання. Цей протокол підтримує створення великих мереж, у яких пристрої можуть взаємодіяти один з одним, що робить його ідеальним для систем з численними сенсорами [25].

Bluetooth Low Energy (BLE) використовується для короткодистанційної передачі даних. Цей протокол є популярним у персональних пристроях, таких як фітнес-трекери і медичні датчики, оскільки він має низьке енергоспоживання і дозволяє пристроям працювати протягом тривалого часу без необхідності частого підзарядки [25].

CoAP (Constrained Application Protocol) оптимізований для малопотужних пристроїв і мереж з обмеженими ресурсами. Він працює через UDP, що дозволяє зменшити накладні витрати на передачу даних, і використовується в автоматизації будинків та промислових рішеннях, де пристрої обмежені за ресурсами [25].

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) є протоколом для обміну повідомленнями за моделлю "публікація/підписка". Він підтримує різні рівні надійності доставки та активно застосовується для управління великими IoT-мережами, такими як розумні міста та промислові системи, завдяки своїй ефективності, зниженню затримок та підвищеній швидкості обміну даними [25].

LWM2M (Lightweight Machine to Machine) призначений для малопотужних пристроїв, зокрема в умовах обмежених ресурсів та низьких швидкостей передачі даних. Цей протокол забезпечує швидке налаштування пристроїв та ефективне використання енергоресурсів, ідеальний для сфер, де важливе збереження енергії і мінімальні витрати на обслуговування [25].

6LoWPAN (IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks) дозволяє підключати пристрої IoT до Інтернету через бездротові мережі з низьким енергоспоживанням. Він підтримує IPv6, що дозволяє створювати великі IoT-мережі з високим рівнем з'єднаності та безпеки, і є важливим для глобальних IoT-мереж, включаючи промислові та муніципальні рішення [25].

HTTP хоча і є одним з найбільш поширених протоколів, має високі накладні витрати порівняно з іншими і зазвичай використовується для інтеграції IoT-пристроїв з веб-сервісами, де потрібно передавати великі обсяги даних, наприклад, зображення чи відео [25].

Таким чином, вибір протоколу залежить від специфічних вимог системи IoT, таких як енергоспоживання, пропускну здатність і кількість пристроїв. Протоколи, як-от Zigbee, BLE, MQTT і інші, дозволяють створювати ефективні, масштабовані та енергозберігаючі рішення для різних застосувань IoT [25].

З розвитком технологій взаємодія між пристроями у розумному будинку стала значно більш гнучкою. Хоча використання стандартних комунікаційних протоколів, таких як Zigbee чи Bluetooth, забезпечує стабільну та ефективну роботу IoT-систем, у розумному будинку не обов'язково повинні бути лише пристрої, що підтримують ці протоколи. Існує ще одна важлива можливість – управління пристроями, що не мають вбудованої підтримки IoT або сумісних

протоколів, за допомогою ІЧ-сигналів, імітуючи роботу звичайного інфрачервоного пульта дистанційного керування.

Для цього використовуються універсальні ІЧ-пульти, які здатні «перехоплювати» сигнали і передавати їх на інші пристрої. Такі пульти забезпечують високу сумісність і адаптивність, дозволяючи інтегрувати різноманітні пристрої, що не мають вбудованої підтримки сучасних стандартів IoT, до єдиної системи розумного будинку. Технологія інфрачервоного керування особливо корисна для інтеграції старих або малопоширених пристроїв, що в іншому випадку могли б залишатися поза увагою системи автоматизації.

На прикладі універсального ІЧ-пульта, ми зможемо побачити, як ця технологія працює в реальних умовах і які можливості вона надає для створення максимально адаптованих і універсальних рішень для розумного будинку.

Наприклад, розумний ІЧ-пульт керування WIFI TuYa Remote Control (рисунок 2.4) є універсальним пристроєм для інтелектуального керування домашніми приладами через смартфон. Він поєднує Wi-Fi-з'єднання з інфрачервоним датчиком, що дозволяє дистанційно керувати технікою, яка використовує ІЧ-сигнали, наприклад, телевізорами, кондиціонерами та аудіосистемами [26].



Рисунок 2.4 – Універсальний ІЧ-пульт WIFI TuYa Remote Control [26]

Цей пульт дозволяє створювати персоналізовані сценарії для автоматичного вмикання та вимикання пристроїв у заданий час, підвищуючи комфорт і енергоефективність дому. Для налаштування й управління використовується додаток Smart Life або TuYa, доступний для Android і iOS [26].

Основні характеристики включають можливість додавання до 15 пристроїв, дистанцію передавання ІЧ-сигналу до 12 метрів, безмежний контроль через Wi-Fi, а також просте кріплення на липучку. Пульт сумісний з Amazon Alexa та Google Assistant, що дозволяє інтегрувати його в систему голосового управління [26].

Цей універсальний пульт ідеально підходить для інтеграції різноманітних пристроїв в розумний будинок, навіть якщо вони не підтримують сучасні IoT-протоколи.

У розумних будинках пристрої можуть взаємодіяти між собою за допомогою різних комунікаційних протоколів, що дозволяє створювати гнучкі та масштабовані системи. Однак не завжди необхідно реалізовувати кожен протокол для забезпечення сумісності між різними пристроями. Одним із рішень для забезпечення універсальності є використання інфрачервоних (ІЧ) пультів, що дозволяють керувати технікою, навіть якщо вона не підтримує сучасні IoT-протоколи.

Інфрачервоні пульти, які використовуються для керування телевізорами, кондиціонерами, аудіосистемами та іншими побутовими приладами, можуть бути легко замінені на універсальні ІЧ-пульти, здатні працювати через Wi-Fi. Це дозволяє не лише зберегти можливість традиційного ручного керування, але й впровадити автоматизацію та інтеграцію в розумну систему будинку.

Технологія використання універсальних ІЧ-пультів дає змогу інтегрувати в систему розумного будинку прилади, що спочатку не підтримують підключення до мережі або сумісність із сучасними протоколами. Наприклад, для керування освітленням в розумному будинку можна застосовувати такі універсальні пульти. Завдяки можливості налаштування автоматичних сценаріїв, можна організувати вмикання або вимикання світла в певний час або в

залежності від інших параметрів, таких як наявність людей у кімнаті чи час доби. Висока сумісність таких пристроїв дозволяє організувати більш адаптивні та зручні системи, де різні типи пристроїв з різними технологіями можуть працювати в єдиному контексті без потреби реалізації кожного окремого протоколу.

Таким чином, використання універсальних ІЧ-пультів у системах контролю освітлення дозволяє значно спростити процес інтеграції пристроїв у систему розумного будинку, одночасно забезпечуючи зручне та ефективне керування. Це рішення є відмінним компромісом для систем, де потрібно поєднувати автоматизацію з підтримкою старих або не підтримуваних стандартів, при цьому залишаючи можливість для інтеграції новітніх технологій в майбутньому.

### **2.3 Огляд апаратних та програмних засобів розробки**

У процесі розробки системи автоматизації для розумного будинку особливу роль відіграє вибір апаратних і програмних засобів, які забезпечують надійне функціонування і гнучкість в управлінні різними пристроями. Важливою умовою є створення універсальної платформи, що здатна підтримувати різноманітні функціональні можливості, адаптуватися до змінних вимог користувачів і дозволяти інтеграцію з іншими технологіями.

Апаратне забезпечення визначає фізичні компоненти системи – від мікроконтролерів до сенсорів і виконавчих механізмів, що взаємодіють між собою для досягнення бажаного результату. Програмні засоби, у свою чергу, забезпечують зручне середовище для розробки, налагодження і тестування програмного коду, що керує цими компонентами. З їхньою допомогою створюються логічні ланцюги для автоматизації, а також розробляються інтерфейси для взаємодії користувачів із системою.

Однією з основних задач розробників є вибір відповідних платформ для створення прототипів, що дозволяють швидко реалізувати і протестувати ідеї. У

подальшому ми детальніше розглянемо одну з таких платформ, що має широке застосування у створенні систем автоматизації – платформу для розробки, яка дозволяє легко інтегрувати різні апаратні засоби та створювати програмне забезпечення для управління ними.

В рамках даної роботи основою системи розумного дому для керування освітленням стане мікроконтролерна платформа Arduino. Це популярна та доступна для розробників платформа, яка широко використовується для створення прототипів та систем автоматизації завдяки своїй простоті в програмуванні, модульності та великій спільноті користувачів. Arduino дозволяє ефективно інтегрувати різні апаратні компоненти, такі як датчики, реле та освітлювальні пристрої, що є необхідним для побудови системи управління освітленням у рамках даної роботи. Платформа підтримує безліч розширень та має відкритий код, що робить її зручною для навчання та експериментування.

Arduino – це відкрита електронна платформа, яка складається з простих у використанні апаратних засобів і програмного забезпечення. Вона дозволяє розробникам створювати інтерактивні проекти, які здатні взаємодіяти з реальним світом через різноманітні датчики, світлодіоди, мотори, екрани та інші пристрої. Основним компонентом платформи є мікроконтролер, який отримує інструкції від користувача і виконує їх для управління різними електронними пристроями. Програмування здійснюється за допомогою Arduino IDE, що використовує мову програмування, основу на Wiring. З часом Arduino стала основною платформою для реалізації тисяч проектів – від простих побутових пристроїв до складних наукових інструментів [27].

Головною перевагою Arduino є її доступність як для початківців, так і для досвідчених користувачів. Ця платформа була розроблена для швидкого прототипування без потреби в глибоких знаннях електроніки або програмування, що робить її ідеальним вибором для студентів, хобістів та професіоналів. Завдяки відкритому програмному забезпеченню та апаратним засобам, Arduino дозволяє користувачам адаптувати платформи під свої потреби, створюючи власні модифікації чи покращення існуючих моделей. Мільйони користувачів по

всьому світу обмінюються ідеями, досвідом та рішеннями, що значно полегшує розробку проектів [27].

Arduino має низку важливих характеристик, які відрізняють її від інших мікроконтролерних платформ. По-перше, це її низька вартість. Найпростіші варіанти плат Arduino можна зібрати самостійно, що дозволяє знизити витрати на прототипування. По-друге, Arduino є кросплатформеним – її програмне забезпечення працює на операційних системах Windows, Mac OS і Linux, що робить платформу універсальною для різних користувачів. Крім того, середовище розробки Arduino IDE є простим у використанні для початківців, але водночас досить гнучким, щоб задовольнити потреби досвідчених програмістів [27].

Однією з основних переваг Arduino є відкритість. Як апаратне, так і програмне забезпечення Arduino є відкритим, що дозволяє користувачам модифікувати та удосконалювати платформи відповідно до своїх потреб. Плани плат доступні за ліцензією Creative Commons, що дозволяє створювати власні варіанти плат Arduino. Крім того, мова програмування Arduino базується на C++, що дає можливість користувачам розширювати функціональність своїх програм за допомогою додаткових бібліотек. Для тих, хто бажає глибше зануритись у технічні деталі, існує можливість переходу до програмування на мовах, таких як AVR C [27].

Таким чином, Arduino – це універсальна, доступна і гнучка платформа, що дає можливість швидко створювати функціональні прототипи та інтегрувати різні компоненти в єдину систему. Вона ідеально підходить для навчання та досліджень, а також для реалізації різноманітних проектів у галузі автоматизації та електроніки [27].

Платформи Arduino представлені різноманітними моделями плат, кожна з яких має свої особливості та застосування. У цій частині роботи ми розглянемо кілька популярних плат Arduino, зокрема: Uno, Mega, Nano та Micro. Ці плати є основними інструментами для розробки проектів на платформі Arduino, і кожна з них має свої переваги залежно від вимог до розмірів, кількості пінів чи

обчислювальних потужностей. Далі пропонується провести стислий огляд кожної з цих плат, вказуючи їх ключові характеристики та сфери застосування.

Arduino UNO R3 – це одна з найпопулярніших плат у сімействі Arduino, яка є відмінним вибором для початківців. Завдяки простоті використання, вона є найкращим варіантом для перших експериментів з електронікою та програмуванням. UNO R3 є найбільш документованою платою серед усіх моделей Arduino, що дозволяє легко знаходити рішення на проблеми та реалізовувати проекти без особливих труднощів. [28].

Плата Arduino UNO базується на мікроконтролері ATmega328P і має 14 цифрових входів/виходів, з яких 6 можуть використовуватися як виходи з широтно-імпульсною модуляцією (PWM). Вона також має 6 аналогових входів і працює на тактовій частоті 16 МГц. Для підключення до комп'ютера використовується USB-кабель, а для живлення можна використовувати адаптер або батарею. Важливою особливістю є змінний чіп, що дає змогу легко відновити роботу плати, якщо це необхідно. Плата також оснащена EEPROM пам'яттю об'ємом 1 кБ, яка зберігає дані навіть після вимкнення живлення. Arduino UNO є дуже стабільною платою для розробки різноманітних прототипів та експериментів. Вигляд плати показано на рисунку 2.5 [28].

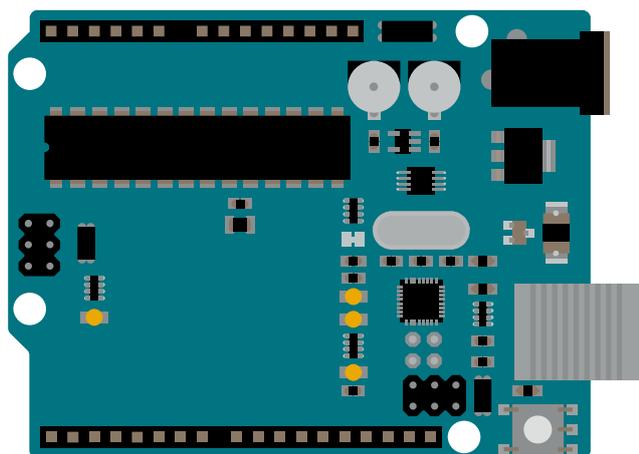


Рисунок 2.5 – Вигляд плати Arduino Uno [28]

Arduino Mega 2560 базується на мікроконтролері ATmega2560 і має значно більше ресурсів порівняно з іншими моделями Arduino. Плата надає 54 цифрових

входи/виходи, з яких 15 можуть використовуватися як виходи з широтно-імпульсною модуляцією, а також 16 аналогових входів. Крім того, Arduino Mega 2560 має чотири апаратні послідовні порти (UART), що робить її ідеальною для проектів, що потребують підключення кількох пристроїв одночасно [29].

Мікроконтролер ATmega2560 має 4 кБ EEPROM пам'яті, яка дозволяє зберігати дані навіть після вимкнення живлення. Плата працює на тактовій частоті 16 МГц і має стандартні інтерфейси для підключення до комп'ютера через USB, а також можливість живлення через адаптер або батарею. Arduino Mega 2560 є ідеальним вибором для складних проектів, які потребують великої кількості входів/виходів або багатозадачності завдяки підтримці кількох серійних портів для одночасного підключення до кількох пристроїв. Вигляд плати показано на рисунку 2.6 [29].

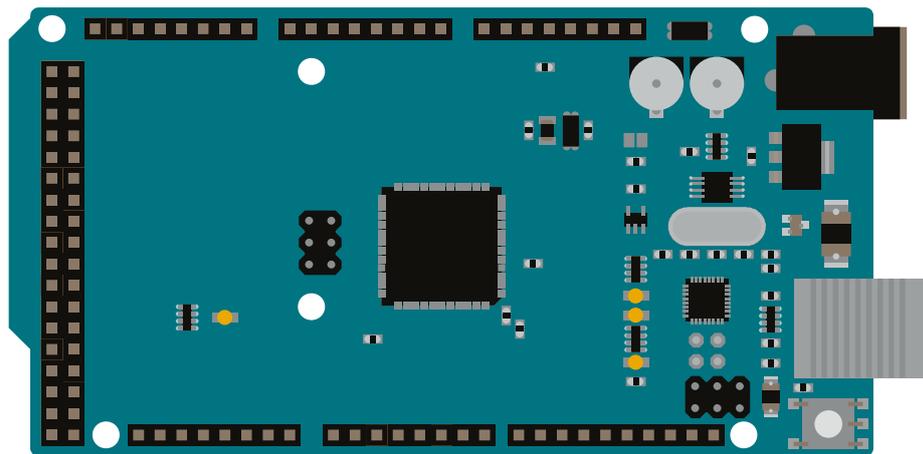


Рисунок 2.6 – Вигляд плати Arduino Mega 2560 [29]

Arduino Nano – це одна з найкомпактніших плат Arduino, яка спроектована для зручного використання на макетних платах (breadboard). Її розміри становлять лише 45 мм у довжину та 18 мм у ширину, що робить її найменшою платою серед стандартних моделей. Вона оснащена заголовками пінів, що дозволяє легко підключати її до макетної плати, а також має Mini-B USB порт для зручного підключення до комп'ютера [30].

Arduino Nano базується на мікроконтролері ATmega328, подібному до того, що використовується в Arduino Uno, але її компактний розмір і відсутність

окремого роз'єму живлення роблять її зручною для інтеграції у невеликі проекти або там, де простір обмежений. Це класична модель серед плат Nano, яка була розроблена для використання саме на макетних платах. Сучасні варіанти, як-от Nano 33 IoT або Nano 33 BLE Sense, мають додаткові можливості, такі як модулі WiFi та Bluetooth для IoT проектів. Вигляд плати Arduino Nano показано на рисунку 2.7 [30].

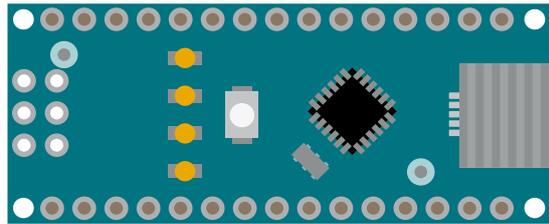


Рисунок 2.7 – Вигляд плати Arduino Nano [30]

Arduino Micro – це плата на основі мікроконтролера ATmega32U4, яка відрізняється вбудованою підтримкою USB-комунікації. Завдяки цьому, плата може працювати як стандартний Arduino, а також бути розпізнана комп'ютером як миша або клавіатура, що робить її ідеальною для проектів, де потрібно взаємодіяти з комп'ютером через USB без додаткових перехідників чи мікропроцесорів [31].

Arduino Micro має 20 цифрових входів/виходів, з яких 7 можуть використовуватися для ШІМ, а 12 – для аналогових сигналів, приклад зображено на рисунку 2.8. Вона працює на тактовій частоті 16 МГц і має мікро-USB порт для підключення до комп'ютера. Плата компактна, що дозволяє зручно використовувати її на макетних платах, і має всі необхідні компоненти для роботи мікроконтролера. Мікроконтролер ATmega32U4 забезпечує вбудовану USB комунікацію, що дозволяє платі бути розпізнаною комп'ютером як зовнішній пристрій, наприклад, як миша або клавіатура [31].

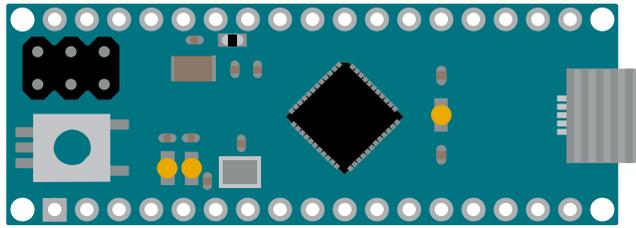


Рисунок 2.8 – Вигляд плати Arduino Micro [31]

Однією з основних складових розробки на платформі Arduino є програмне середовище Arduino IDE (Integrated Development Environment). Це простий у використанні, але потужний інструмент для написання та завантаження програмного коду на мікроконтролери Arduino. У межах цієї роботи, Arduino IDE слугує основним засобом для створення програмного забезпечення для автоматизації системи управління освітленням, що реалізується за допомогою мікроконтролерних платформ Arduino [32].

Arduino IDE – це відкритий програмний продукт, який підтримує різні операційні системи, зокрема Windows, macOS та Linux. Він дозволяє легко писати, компілювати та завантажувати код на мікроконтролери Arduino, що робить його ідеальним вибором для швидкого прототипування і тестування програм у реальному часі. Однією з головних переваг IDE є його простота і зручність у використанні, що дозволяє навіть новачкам без труднощів розпочати роботу з платформою Arduino [32].

Середовище Arduino IDE має зрозумілий інтерфейс, що складається з кількох основних компонентів: редактора коду, кнопок для компіляції та завантаження програми на плату, а також вікна монітора порту для відображення інформації про виконання коду. Крім того, IDE підтримує зручну роботу з бібліотеками, що значно полегшує додавання нових функцій та взаємодію з різними датчиками, реле та іншими компонентами [32].

Однією з найбільших переваг Arduino IDE є підтримка великої кількості різних плат Arduino та сумісних пристроїв. Завдяки вбудованим налаштуванням користувач може швидко переключатись між різними мікроконтролерами, підключати нові плати та пристрої для тестування проектів. Крім того, для тих,

хто хоче розширити функціональність своїх проєктів, IDE дозволяє легко підключати сторонні бібліотеки та писати код для специфічних задач, таких як управління моторами, обробка сигналів з датчиків та багато іншого [32].

Arduino IDE – це не лише інструмент для написання коду, а й потужне середовище для навчання програмуванню та електроніці. Завдяки простому інтерфейсу та великій кількості онлайн-ресурсів, навіть початківці можуть швидко освоїти основи програмування і розпочати роботу з реальними пристроями [32].

Це середовище розробки забезпечує високий рівень гнучкості та доступу до великої кількості документації та спільнот, що дозволяє користувачам обмінюватися досвідом і знаходити рішення для складних задач, що виникають під час роботи над проєктами. Завдяки всім цим особливостям Arduino IDE є ідеальним інструментом для розробки систем автоматизації, таких як розумний дім, що базуються на мікроконтролерах Arduino.

## **2.4 Функціонал та структура системи**

У процесі розробки будь-якої системи важливим етапом є чітке визначення її функціоналу та структури. Це дозволяє забезпечити правильну організацію роботи всіх компонентів і уникнути проблем, пов'язаних із невизначеністю або недорозробленістю окремих елементів. Тому на початковому етапі розробки необхідно сформулювати, які саме функції система повинна виконувати, і в якій послідовності ці функції будуть реалізовані. Такий підхід дає змогу точно спланувати апаратну та програмну частину, а також передбачити їхню взаємодію. Визначення функціоналу дозволяє зрозуміти, які вимоги висуваються до кожного елементу системи, а також оцінити ресурси, необхідні для реалізації цих функцій.

Крім того, визначення структури системи є важливим для забезпечення її ефективної роботи в довгостроковій перспективі. Структура визначає, як компоненти системи будуть взаємодіяти між собою, який обсяг даних буде

передаватися між ними і як кожен елемент виконуватиме свою роль. Це дозволяє створити систему, яка не тільки працює на етапі початкової розробки, але й може бути адаптована до змін у вимогах або технологіях. Структура також повинна бути гнучкою, щоб у разі потреби можна було вносити модифікації або додавати нові функціональні можливості без значного впливу на роботу решти компонентів.

Таким чином, на етапі визначення функціоналу і структури системи закладаються основи для її подальшої розробки. Це дає змогу не лише реалізувати заплановані можливості, а й забезпечити стабільну та надійну роботу пристрою в процесі експлуатації.

Пропонована система дистанційного керування освітленням розробляється з урахуванням універсальності та простоти використання. Вона буде здатна керувати як традиційними лампами, так і світлодіодними стрічками, забезпечуючи користувачам можливість керувати освітленням у кімнатах та інших приміщеннях через інфрачервоний пульт дистанційного керування. Усі компоненти системи мають бути інтегровані таким чином, щоб забезпечити безперебійну роботу та зручність у використанні, а також можливість адаптації в рамках більших інфраструктур розумного будинку.

Система передбачає низку функцій, які дозволять користувачу зручно контролювати освітлення в будь-яких умовах. Оскільки система перебуває на етапі розробки, її функціонал буде реалізовано таким чином, щоб забезпечити максимальну гнучкість, а також зручність у користуванні.

Основним елементом управління системою буде інфрачервоний пульт дистанційного керування. Пульт матиме кілька кнопок, кожна з яких відповідатиме певній функції, пов'язаній з управлінням освітленням. Наприклад, це можуть бути кнопки для вмикання або вимикання окремих ламп, для зміни яскравості світлодіодної стрічки, а також для активації різних режимів освітлення. Пульт передаватиме сигнали приймачеві, підключеному до мікроконтролера Arduino, який буде здійснювати управління реле та транзисторами для вмикання або вимикання освітлення.

Таке рішення дозволяє користувачеві зручно налаштувати освітлення без необхідності використовувати додаткові інтерфейси або складні налаштування. Крім того, універсальність пульта дасть можливість інтегрувати його в розумні будинки, де можуть використовуватись інші типи пультів або навіть голосові асистенти, що дозволяє автоматизувати процеси.

Система також передбачає можливість одночасного керування кількома лампами, підключеними до різних реле. Це дозволить користувачеві зручно управляти освітленням у кількох зонах приміщення одночасно. Наприклад, одна кнопка пульта може вмикати або вимикати всі лампи в кімнаті, що значно підвищить зручність використання системи. Окремі реле будуть відповідати за кожну лампу, що дасть можливість керувати ними індивідуально.

Це дасть змогу забезпечити необхідну гнучкість у налаштуванні освітлення та адаптувати систему до різних сценаріїв використання. Наприклад, для тих, хто використовує декілька ламп у кімнаті з різними функціями (освітлення для роботи, відпочинку чи створення атмосферного освітлення), можливість окремого керування кожною лампою буде важливою перевагою.

Особливістю цієї системи є здатність регулювати яскравість світлодіодної стрічки через широтно-імпульсну модуляцію (ШИМ). Це дозволить користувачеві зручно налаштувати рівень освітлення в кімнатах або створювати різні атмосфери за допомогою зміни яскравості світлодіодної стрічки. За допомогою пульта користувач зможе змінювати рівень яскравості, вмикати чи вимикати стрічку, а також регулювати інтенсивність світла, що є важливим для створення комфортного освітлення.

Для реалізації цієї функції буде використовуватись транзистор, що дозволяє точно контролювати рівень потужності, що подається на світлодіодну стрічку. Змінюючи ширину імпульсів ШИМ, транзистор регулюватиме яскравість, що дасть користувачу можливість отримати потрібний рівень освітлення для різних ситуацій.

Крім того, система підтримуватиме роботу як зі звичайними лампами, так і зі світлодіодними стрічками. Це забезпечить високу універсальність та

гнучкість системи, оскільки користувачі зможуть обирати, який тип освітлення використовувати, в залежності від своїх потреб. Наприклад, користувач може почати з традиційних ламп, а пізніше доповнити систему світлодіодними стрічками, якщо виникне потреба в більш енергоефективному або настроюваному освітленні.

При цьому система працюватиме з обмеженням на підключення лише однієї світлодіодної стрічки, що обумовлено технічними можливостями системи, однак це не знижує її універсальності, оскільки кілька ламп можуть працювати без обмежень. Таким чином, система залишається доступною для різних користувачів, які можуть налаштовувати освітлення відповідно до своїх побажань.

Оскільки система створюється з можливістю інтеграції в розумний будинок, передбачається, що вона підтримуватиме взаємодію з іншими пристроями цього типу. У цьому випадку інфрачервоний пульт буде служити універсальним інтерфейсом для керування освітленням, а система зможе адаптуватися до вже існуючих інфраструктур розумного будинку. Власник будинку зможе використовувати одну систему управління для всіх пристроїв, що підтримують ІЧ-сигнали, що дозволить автоматизувати процеси керування освітленням.

Для інтеграції пульт буде запрограмований на запис команд, що дозволить додавати нові функції в існуючу мережу розумного будинку без складних налаштувань. Це дозволить користувачам зручніше управляти освітленням через додаткові інтерфейси або за допомогою голосових команд.

Система також буде включати елементи автоматизації, які дозволяють регулювати освітлення залежно від зовнішніх факторів або часу доби. Наприклад, система зможе вмикати освітлення в певний час або за іншими налаштуваннями, що буде корисно для користувачів, які хочуть автоматизувати роботу освітлення в приміщенні. Це дасть змогу знижувати енерговитрати або створювати більш зручні умови для проживання без необхідності вручну змінювати налаштування.

Налаштування системи буде максимально простим. Користувачі зможуть підключити компоненти системи (Arduino, реле, транзистор, пульт) без потреби в спеціальних знаннях. Програма на мікроконтролері буде реалізована таким чином, щоб весь процес налаштування займав мінімум часу, а підключення до пульта не вимагатиме складних операцій. Пульт автоматично синхронізуватиметься з приймачем, що дозволить швидко налаштувати систему та почати користуватися нею.

Для наочного відображення функціональних можливостей розроблюваної системи доцільно побудувати діаграму прецедентів використання. Така діаграма дозволяє чітко продемонструвати взаємодію користувачів із системою, а також описати основні функції, що вони можуть виконувати. Це дасть змогу зручніше представити всі ключові сценарії використання, що характерні для даної системи, і допоможе зрозуміти основні процеси, які відбуваються під час її експлуатації.

Однак перед тим, як перейти до безпосереднього створення діаграми прецедентів, варто зупинитись на загальних засадах використання мови UML, зокрема на сутності діаграм прецедентів використання.

Unified Modeling Language (UML) є загальним мовним стандартом для моделювання систем. Його основною метою є забезпечення стандартного способу візуалізації дизайну системи. В UML зображуються різні аспекти системи, що дає змогу представити її структуру та поведінку. Це схоже на креслення або плани, що використовуються в інших галузях інженерії для візуалізації проектів. UML не є мовою програмування, це скоріше візуальна мова, яка дозволяє чітко та однозначно передати різні характеристики системи, що проектується [33].

В UML існує ряд різних типів діаграм, кожен з яких має своє призначення. Вони можуть відображати поведінку системи, взаємодію між її компонентами або структуру даних. Кожен тип діаграм є корисним на певному етапі проектування, допомагаючи розробникам і проектувальникам краще зрозуміти, як працюватиме система в цілому [33].

Один з основних типів діаграм UML – це діаграми, які відображають взаємодію між користувачами (акторами) та системою. Вони дозволяють наочно продемонструвати, які функції система повинна виконувати з точки зору користувача і як ці функції будуть використовуватися в реальних умовах [33].

UML є важливим інструментом не лише для розробників, а й для бізнес-аналітиків, архітекторів систем і навіть кінцевих користувачів, оскільки дозволяє зберегти узгодженість у проектуванні та наочно уявити функціонування системи. Взаємодія між різними учасниками проекту стає більш зрозумілою завдяки наочному представленню процесів і функцій, що має позитивний вплив на весь цикл розробки [33].

Однією з ключових переваг використання UML є його здатність забезпечити комунікацію між учасниками проекту, незалежно від того, чи є вони програмістами, бізнесменами чи кінцевими користувачами. UML дозволяє не лише детально описати компоненти системи, а й визначити, як вони взаємодіють між собою, що сприяє скороченню часу на розробку та тестування [33].

Завдяки своїй універсальності UML дозволяє використовувати одну й ту ж мову для моделювання різних типів систем – від програмного забезпечення до бізнес-процесів. Це забезпечує консистентність в комунікаціях і дозволяє на одному рівні представити складні концепції [34].

Діаграма прецедентів використання (Use Case) в UML є візуальним інструментом, що демонструє взаємодію між користувачами (акторами) і системою з метою досягнення конкретних цілей. Вона відображає функціональні вимоги до системи, показуючи, як різні користувачі взаємодіють з різними функціями системи. Така діаграма дає змогу зрозуміти загальну поведінку системи з точки зору користувача та чітко визначити основні сценарії її використання [34].

Діаграма прецедентів використання складається з акторів, прецедентів використання і меж системи. Актори – це зовнішні елементи, які взаємодіють із системою, і це можуть бути як користувачі, так і інші системи або пристрої. Прецеденти використання є конкретними сценаріями або діями, які система має

виконувати для досягнення певної мети користувача. Межі системи відображають, що входить до її складу, а що є зовнішніми елементами, що взаємодіють із системою [34].

Діаграма прецедентів використання є важливим інструментом при зборі і уточненні вимог користувачів, оскільки дозволяє наочно представити, як різні типи користувачів можуть взаємодіяти з системою. Це сприяє кращому розумінню функціональності, яку система має реалізувати. Крім того, такі діаграми є дуже корисними при проектуванні та плануванні функцій системи, оскільки дають змогу чітко визначити, які можливості повинні бути надані користувачам і як ці можливості будуть реалізовуватися [34].

Важливою перевагою діаграм прецедентів є те, що вони дозволяють на етапі проектування чітко визначити межі системи, тобто розмежувати, що є частиною системи, а що є зовнішнім. Це дозволяє уникнути непорозумінь під час розробки та інтеграції з іншими компонентами.

Діаграма прецедентів використання також є основою для розробки більш детальних діаграм, таких як діаграми активностей чи послідовностей, які описують конкретні дії, що виконуються всередині системи під час реалізації кожного прецеденту. Однак сама по собі діаграма прецедентів не зображує внутрішню реалізацію системи, а лише надає загальний погляд на її функціональність.

Отже, спираючись на розглянутий вище функціонал системи керування освітленням, складемо діаграму прецедентів використання (рисунок 3.1).



Рисунок 2.9 – Діаграма варіантів використання

Як видно з діаграми, користувач має можливість включити або виключити вибірково будь-яку лампу, підключену до системи, включити або відключити світлодіодну стрічку, а також керувати її яскравістю. Також користувач може включати або відключати все освітлення одночасно. При цьому діаграма демонструє узагальнений функціонал, не уточнюючи, що керування освітленням у системі може бути здійснено як за допомогою інфрачервоного пульта дистанційного керування, так і з мережі розумного будинку, до якої підключено універсальний пульт, оскільки це не змінює функціонал розроблюваної системи. Таким чином підкреслюється її універсальність та висока сумісність.

Далі можна перейти до формування структури системи – організації компонентів та їх взаємозв'язків, що забезпечує виконання визначених функцій. Структура визначає, як система поділяється на підсистеми або модулі, як між ними здійснюється обмін даними та управління ресурсами, а також яким чином ці компоненти взаємодіють для досягнення загальної мети. Правильне проектування структури важливе для забезпечення ефективності, масштабованості та надійності системи, оскільки саме структура визначає її здатність до адаптації та вдосконалення у майбутньому.

При побудові структури системи необхідно враховувати: визначення основних функціональних компонентів, їх розподіл за відповідними модулями, механізми взаємодії між компонентами, а також засоби управління даними та ресурсами. Структура має бути гнучкою, що дозволяє при потребі змінювати або додавати нові елементи, не порушуючи при цьому загальної функціональності системи.

Одним із основних етапів проектування структури є розбиття системи на логічні одиниці, що мають чітко визначені завдання. Це дозволяє не лише оптимізувати процеси всередині системи, але й забезпечити зручність її модифікації або інтеграції з іншими системами. Правильна структура допомагає також в управлінні складністю, що особливо важливо при роботі з великими чи складними системами.

Таким чином, структура системи є основою для подальшої розробки, тестування та експлуатації. Вона повинна бути спроектована таким чином, щоб система могла легко адаптуватися до нових вимог, забезпечуючи при цьому високу ефективність і безперебійну роботу в процесі її використання.

Структура системи розумного керування освітленням складається з кількох основних елементів, кожен з яких виконує свою специфічну функцію для забезпечення взаємодії між користувачем і системою, а також для управління освітленням. Основу системи складає центральний контролер, який координує роботу всіх компонентів і забезпечує їх взаємодію.

Контролер системи є серцем усієї конструкції і забезпечує логіку керування. Він отримує сигнали від користувача, обробляє їх та передає команди на відповідні виконавчі пристрої. Сигнали можуть надходити від пульта дистанційного керування, який дозволяє користувачеві задавати бажане стан освітлення. Для прийому сигналів від пульта в систему інтегровано спеціальний датчик, здатний сприймати інфрачервоні сигнали. Цей датчик дозволяє користувачу безпосередньо взаємодіяти з системою без необхідності використання складних інтерфейсів.

Для керування звичайними лампами використовуються електричні реле. Реле виконують роль вимикачів, які підключені до контролера та вмикають або вимикають освітлення в залежності від отриманих команд. Реле відповідають за комутацію живлення в ланцюзі освітлення, і вони можуть бути налаштовані на управління кількома джерелами світла одночасно.

Одним із ключових компонентів системи є пристрій для керування світлодіодною стрічкою. Для цього використовується транзистор, який регулює яскравість світлодіодів за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШИМ). Це дозволяє точно налаштувати рівень освітленості в кімнаті або іншому приміщенні, забезпечуючи не лише включення та вимикання, але й плавне регулювання інтенсивності світла. Транзистор дозволяє забезпечити необхідну потужність для роботи світлодіодної стрічки, а також допомагає економити енергію, оптимізуючи використання світла.

Усі ці компоненти об'єднані центральним контролером, який координує їх роботу, обробляє сигнали від пульта дистанційного керування та визначає, який з виконавчих пристроїв повинен реагувати на конкретний запит. При цьому контролер відповідає за виконання логіки системи, здійснює обробку отриманих даних і передає команди на відповідні підсистеми для виконання конкретних дій.

Загальна структура системи забезпечує простоту у використанні та високу функціональність. Користувач має можливість керувати освітленням без складних налаштувань і додаткових інтерфейсів, використовуючи лише пульт дистанційного керування. При цьому система є досить гнучкою і може бути інтегрована в більш складні рішення або ж працювати незалежно.

Описану вище структуру можна представити у вигляді структурної схеми системи керування освітленням (рисунок 3.2).

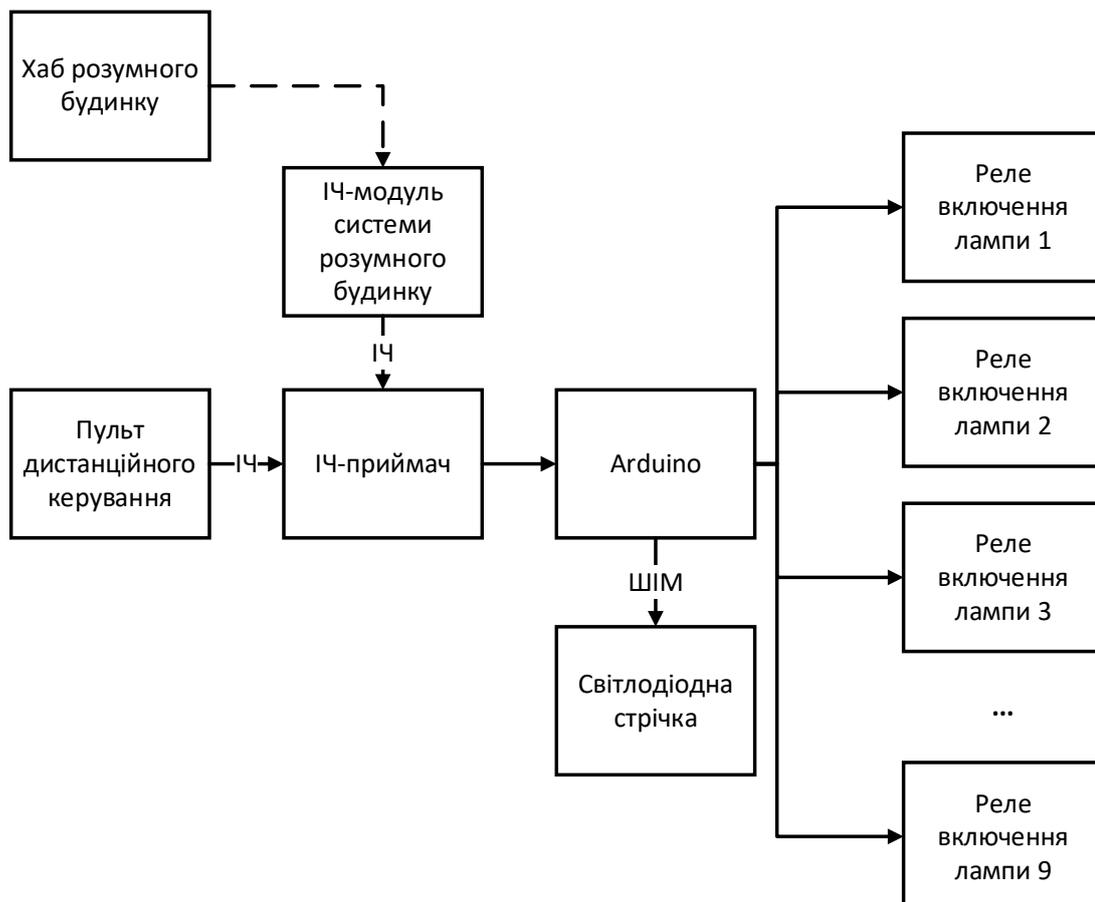


Рисунок 2.10 – Схема структурна

На схемі також показано I2C-модуль системи розумного будинку – універсальний інфрачервоний пульт, сумісний із системою. Проте він виконує ту

ж саму функцію, що й інфрачервоний пульт дистанційного керування: сигнал передається до приймача, після чого мікропроцесорний контролер виконує його обробку та перемикає реле або генерує сигнал для світлодіодної стрічки. Транзистор, що керує світлодіодною стрічкою, на схемі не показано, оскільки він виконує функцію передачі ШІМ-сигналу від Arduino до світлодіодів в режимі «ключа».

Таким чином, система забезпечує просте та ефективне керування освітленням через пульт дистанційного керування, з можливістю налаштування яскравості для різних типів освітлення. Її структура дозволяє працювати як автономно, так і в складі розумного будинку.

## **2.5 Висновки до розділу**

У розділі були розглянуті основні методи та засоби, що використовуються для розробки системи розумного будинку для керування освітленням. Вибір технологій і компонентів визначався необхідністю створення універсальної, гнучкої та зручної в користуванні системи. Основними елементами керування освітленням у системі будуть реле для управління лампами та широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) для контролю світлодіодних стрічок, що дозволяє реалізувати варіативні сценарії освітлення та знизити енергоспоживання.

Для забезпечення універсальності та зручності керування системою передбачено використання інфрачервоного (ІЧ) керування. Це дозволяє системі працювати як самостійно, керуючись звичайним ІЧ-пультом, так і інтегруватися в розумний будинок, якщо до неї додати універсальний ІЧ-пульт. Така архітектура дає користувачеві можливість вибору: або керувати освітленням через знайомий пульт дистанційного керування, або інтегрувати систему у більш складну мережу автоматизації. Ця гнучкість робить систему дуже зручною та універсальною, адже вона адаптується до різних умов і потреб користувача.

В якості основи для побудови системи обрана платформа Arduino, що є оптимальним вибором завдяки своїй доступності, простоті використання та

широким можливостям для інтеграції з різноманітними датчиками, реле та іншими пристроями. Для розробки програмного забезпечення буде використовуватись Arduino IDE, що має зручний інтерфейс, а також дозволяє швидко адаптувати систему до змінюваних вимог.

Отже, система розумного будинку для керування освітленням, побудована на базі Arduino, поєднує простоту в налаштуванні, гнучкість у використанні та високу адаптивність до різних потреб. Вибір інфрачервоного керування, а також можливість інтеграції з іншими системами розумного будинку робить цю систему не лише доступною для користувачів без досвіду в програмуванні та електроніці, але й забезпечує її ефективність у більш складних проєктах.

## 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ

### 3.1 Розробка апаратної частини

Розробка апаратного забезпечення є ключовим етапом у створенні системи керування освітленням. Вибір компонентів та їх взаємодія повинні відповідати вимогам до функціональності, надійності та економічної ефективності. У цьому підрозділі розглянуто основні елементи апаратної частини системи та принципи їх інтеграції.

Основним компонентом є мікроконтролер, який здійснює обробку отриманих сигналів та керує всіма підключеними пристроями. Для реалізації цієї задачі використовуються плати Arduino, що забезпечують необхідну кількість входів і виходів для підключення датчиків, реле та інших компонентів, а також мають підтримку популярних бібліотек для роботи з різними модулями.

Для прийому сигналів від пульта дистанційного керування використовується інфрачервоний приймач. Цей компонент забезпечує стабільний прийом сигналів на відстані, що є важливим для ефективної роботи системи в різних умовах. Вибір реле для керування освітленням ґрунтується на потребі комутувати електричні ланцюги із заданими характеристиками, забезпечуючи при цьому надійність і безпеку роботи. Крім того, для керування світлодіодною стрічкою в системі застосовуються транзистори, які дозволяють реалізувати регулювання яскравості за допомогою широтно-імпульсної модуляції.

Отже, кожен компонент апаратної частини системи виконує чітко визначену функцію, що забезпечує ефективну роботу всієї системи керування освітленням. В наступних підрозділах буде розглянуто детальніше, як саме здійснюється вибір компонентів та їх підключення в межах розробленої системи.

Розробку системи керування освітленням доцільно розпочати з вибору апаратного забезпечення, оскільки саме компоненти апаратної частини визначають функціональність і ефективність роботи всієї системи. Вибір апаратних елементів має ґрунтуватися на вимогах до системи, враховуючи її

структуру, що була описана раніше. Залежно від специфіки задач, вибір компонентів має забезпечити надійність, економічність, сумісність і простоту інтеграції.

На цьому етапі важливо враховувати кілька ключових аспектів: типи входів та виходів, необхідну обчислювальну потужність, можливості підключення додаткових модулів, а також енергоспоживання. Вибір мікроконтролера, датчиків, реле та інших елементів визначатиме не лише технічну сторону реалізації, але й потенціал для подальшого масштабування системи, її адаптації до різних умов і потреб користувача.

Правильний вибір апаратних компонентів дозволяє не лише задовольнити вимоги до функціональності, а й забезпечити безперебійну роботу, економічність використання енергії та можливість майбутніх оновлень або інтеграції з іншими системами.

Вибір апаратного забезпечення доцільно розпочати з мікропроцесорного контролера, оскільки він є основним елементом системи, який відповідає за обробку даних та управління іншими компонентами. Правильний вибір мікроконтролера визначає можливості розширення системи, її здатність працювати з різними датчиками і виконавчими пристроями, а також ефективність обробки сигналів. Крім того, мікроконтролер має забезпечити достатню потужність для реалізації всіх функцій, не перевантажуючи систему і забезпечуючи стабільність її роботи.

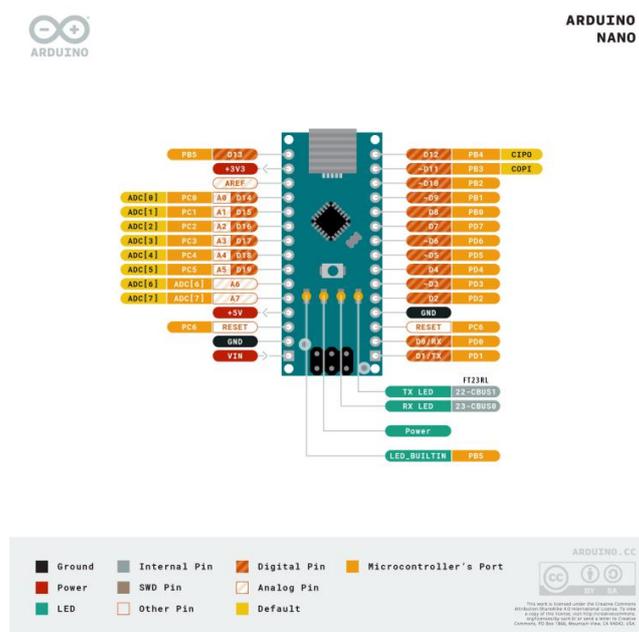
Мікроконтролер – це спеціалізована інтегральна схема, яка поєднує в собі мікропроцесор, пам'ять для зберігання даних та програм, порти вводу-виводу та інші функціональні блоки. Завдяки своїй компактності та можливості виконувати прості завдання, такі мікросхеми використовуються у різноманітних пристроях, дозволяючи зменшити їх розміри, вартість і споживану енергію.

Як уже було зазначено раніше, для автоматизованого керування освітленням у розумному будинку було обрано платформу Arduino. Ця система є оптимальним рішенням для створення програмованих контролерів, зокрема

завдяки своїй універсальності та простоті в інтеграції з іншими пристроями. Arduino широко застосовується в аматорському конструюванні.

Для реалізації таких проектів Arduino використовує мікроконтролер, що має вбудовану пам'ять для зберігання програм і даних. Більшість моделей цієї платформи оснащені лінійними стабілізаторами напруги, здатними працювати з 5 В або 3,3 В, а тактова частота зазвичай становить 8 або 16 МГц, що дає можливість працювати з низьким енергоспоживанням. Крім того, кожен мікроконтролер на платформі Arduino має завантажувач, що значно спрощує процес програмування і дозволяє обходитись без зовнішніх програматорів.

Оскільки платформа Arduino вже була розглянута в контексті інших проектів, варто зазначити, що серед її моделей найбільш популярними є Arduino Uno та Arduino Nano. Обидві ці плати використовують один і той самий мікроконтролер, проте вони різняться за розмірами. Наприклад, Arduino Nano – це компактніша версія, яка відзначається зручністю в монтажі та економією простору, що дозволяє зменшити вартість проекту. Для реалізації системи керування освітленням було вибрано плату Arduino Nano 3.0, яка оснащена мікроконтролером ATmega328. Розташування виводів цієї плати і загальний вигляд представлені на рисунку 3.3 [30,35].



На схемі виводи контролера позначені кольорами: чорний – для «землі», червоний – для живлення, зелений – для підключення світлодіодів. Інші виводи використовуються для підключення зовнішніх датчиків, реле або інших компонентів. Як видно з цієї схеми, кількість виводів дозволяє реалізувати усі необхідні функції для керування освітленням, включаючи підключення аналогових датчиків освітленості або різноманітних цифрових пристроїв для активації світла. Технічні характеристики плати Arduino Nano наведені у таблиці 3.1 [30,35].

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики плати Arduino Nano [30,35]

Параметр	Значення
Мікроконтролер	ATmega328
Робоча напруга (логічний рівень)	5 В
Рекомендована напруга живлення	від 7 до 12 В
Гранична напруга живлення	від 6 до 20 В
Цифрові входи/виходи	14 (з яких 6 можуть використовуватися як ШІМ-виходи)
Аналогові входи	8
Максимальний струм одного виводу	40 мА
Flash-пам'ять	32 КБ (з яких 2 КБ використовуються завантажувачем)
SRAM	2 КБ
EEPROM	1 КБ
Тактова частота	16 МГц
Розміри плати	1,85 см×4,3 см

Одним з важливих аспектів використання платформи Arduino є її гнучкість у налаштуванні та можливість масштабування. Завдяки великій кількості цифрових і аналогових виводів, система може бути легко адаптована під специфічні потреби проекту: наприклад, можна підключити датчики освітленості для автоматичного регулювання яскравості світла або використовувати реле для включення/вимикання освітлення в різних зонах будинку. Крім того, така схема дозволяє додавати нові елементи до системи без складних модифікацій існуючої конфігурації, що робить платформу ідеальним вибором для розробки розумних систем автоматизації.

Це дає змогу створити інтуїтивно зрозумілу та надійну систему керування освітленням, яка буде здатна адаптуватися до різних умов і вимог користувача, а також забезпечить інтеграцію з іншими компонентами розумного будинку, такими як системи безпеки, клімат-контролю чи мультимедійні пристрої.

Для комунікації з користувачем система використовуватиме інфрачервоні сигнали. Для цього необхідно оснастити її інфрачервоним приймачем, який буде здатен отримувати команди від пульта дистанційного керування. Одним з оптимальних варіантів для цієї задачі є інфрачервоний приймач KY-022 (рисунок 3.4). Цей модуль здатний приймати інфрачервоні сигнали з частотою 38 кГц, яка є стандартною для більшості пультів дистанційного керування, зокрема для телевізорів, аудіо-відео систем та інших пристроїв [36].

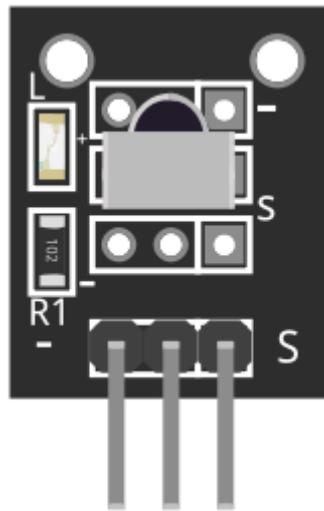


Рисунок 3.4 – Інфрачервоний приймач KY-022 [36]

Модуль KY-022 складається з інфрачервоного приймача 1838, що забезпечує точний прийом сигналів, резистора 1 кОм, світлодіода для індикації роботи та трьох пінів для підключення до мікроконтролера. Цей модуль приймає команди від пульта дистанційного керування і передає їх на плату Arduino, що дає змогу вмикати або вимикати освітлення, регулювати його яскравість або виконувати інші операції за програмою [36].

KY-022 сумісний з популярними мікроконтролерами, такими як Arduino, Raspberry Pi, ESP32 та іншими. Це дозволяє легко інтегрувати модуль в систему

розумного будинку або використовувати його як частину окремого рішення для керування освітленням. Підключення модуля до плати Arduino не потребує складних налаштувань і забезпечується простим підключенням через стандартні піни [36].

Модуль працює на напрузі від 2,7 до 5,5 В, що дає змогу використовувати його з різними версіями плат Arduino, що працюють як на 5 В, так і на 3,3 В. Його споживаний струм складає від 0,4 мА до 1,5 мА, а максимальна відстань прийому сигналу – до 18 м при куті прийому  $\pm 45^\circ$  [36].

Технічні характеристики модуля KY-022 наведені у таблиці 3.2 [36].

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики модуля KY-022 [36]

Параметр	Значення
Напруга живлення	від 2,7 до 5,5 В
Споживаний струм	від 0,4 мА до 1,5 мА
Дистанція прийому	до 18 м
Кут прийому	$\pm 45^\circ$
Частота носія	38 кГц
Напруга низького рівня	0,4 В
Напруга високого рівня	4,5 В
Фільтрація навколишнього світла	500 лк

Модуль підключається до плати Arduino за допомогою трьох проводів: живлення, землі та сигналу. Підключення відбувається наступним чином: пін S (сигнал) підключається до дискретного піну на платі Arduino, пін VCC (живлення) – до 5 В, а пін GND – до GND на Arduino. Це забезпечує стабільну роботу модуля та його взаємодію з іншими компонентами системи, що дозволяє ефективно керувати освітленням за допомогою інфрачервоного пульта [36].

Інфрачервоний пульт Keyes (рисунок 3.5) є важливим компонентом системи, оскільки він дозволяє користувачу здійснювати дистанційне керування освітленням та іншими пристроями, підключеними до плати Arduino. Пульт оснащений 20 функціональними клавішами, кожна з яких відповідає за певну дію в системі, наприклад, включення або вимикання ламп, регулювання яскравості світлодіодних стрічок та інші операції [37].



Рисунок 3.5 – Пульт дистанційного керування Keyes [37]

Цей пульт працює в інфрачервоному діапазоні на частоті 38 кГц і може передавати сигнали на відстань до 8 метрів, що робить його зручним для використання в стандартних приміщеннях або навіть на відкритих просторах, залежно від умов. Пульт має ефективний кут огляду до 60°, що дозволяє здійснювати керування без необхідності точно спрямовувати його на приймач.

Пульт живиться від батареї CR2025, що забезпечує достатній термін служби при низькому споживаному струмі. Він здатний працювати в діапазоні струму від 3 до 5 мА при активному використанні, а в режимі очікування споживає мінімальний струм, що робить його енергоефективним рішенням для дистанційного керування [37].

Цей пульт зазвичай постачається разом з інфрачервоним модулем приймача, таким чином створюючи готовий комплект для реалізації функціональності дистанційного керування в системах на базі Arduino [37].

Модуль реле KY-019 (рисунок 3.6) використовується для керування електричними пристроями змінного струму, таких як лампи, вентилятори або інші електроприлади. Реле працює як перемикач, що реагує на сигнал, отриманий від плати Arduino, і дозволяє включати або вимикати електричні

пристрої. Модуль має вбудований світлодіод, який індикує наявність сигналу – коли сигнал високий або низький [38].

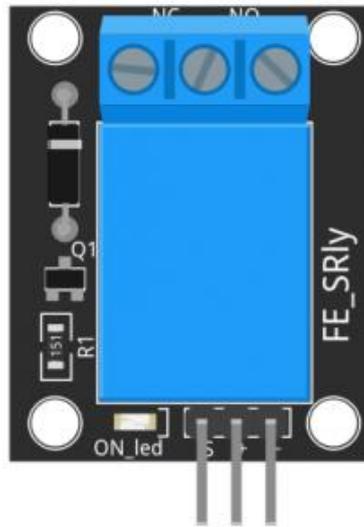


Рисунок 3.6 – Модуль реле KY-019 [38]

Модуль KY-019 часто застосовується в проектах Інтернету речей (IoT) для дистанційного керування побутовими приладами, освітленням та іншими електронними пристроями. Він сумісний з популярними мікроконтролерами, такими як Arduino, Raspberry Pi, ESP32 та іншими. Це дозволяє реалізувати просте й ефективне керування побутовою технікою за допомогою мікроконтролерних платформ [38].

Модуль реле містить всі необхідні компоненти для безпечного й ефективного керування змінним струмом, зокрема резистор 1 М $\Omega$ , світлодіод, діод випрямляча 1N4007 та 5VDC реле, здатне працювати з електричними ланцюгами до 250 В змінного струму і 10 А. Для з'єднання з платою Arduino передбачені три піни для підключення сигналу, живлення та землі, а для підключення до змінного струму є три контакти: NC (нормально закритий), Common (спільний) і NO (нормально відкритий). Технічні характеристики модуля KY-019 наведені у таблиці 3.3 [38].

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики модуля KY-019 [38]

Параметр	Значення
Напруга керування TTL	від 5 до 12 В
Максимальна напруга змінного струму	250 В
Максимальний струм змінного струму	10 А
Максимальна напруга постійного струму	30 В
Максимальний струм постійного струму	10 А
Тип контактів	NC і NO
Розміри плати	27 мм×34 мм

Для підключення модуля до Arduino необхідно з'єднати пін S (сигнал) з дискретним піном на платі Arduino, а пін «+» підключити до 5 В, пін «-» – до GND. Для підключення змінного струму використовуються контакти Common (спільний), NO (нормально відкритий) та NC (нормально закритий). При подачі високого сигналу на пін S, контакт NO стає активним, а NC розмикається [38].

Таким чином, модуль реле KY-019 забезпечує безпечне керування потужними пристроями за допомогою мікроконтролерів.

Модуль польового транзистора IRLZ44N використовується в схемах посилення і служить як силовий ключ для керування високими струмами. Завдяки низькій напрузі між затвором і стоком, яка необхідна для його активації, цей транзистор можна безпосередньо керувати з логічних схем, що працюють на 5 В, без необхідності додаткових ключів чи драйверів. Це робить його ідеальним для використання в проектах з Arduino для регулювання потужних навантажень, таких як світлодіодні стрічки чи електричні лампи [39].

Транзистор IRLZ44N належить до сімейства MOSFET і має низький опір між витоком і стоком (30 мОм в стані відкритого транзистора), що забезпечує високу ефективність при роботі з великими струмами. Висока пропускну здатність дозволяє використовувати транзистор для керування струмами до 47 А, що є особливо корисним для потужних пристроїв, таких як мотори або освітлювальні системи з високою потужністю. Транзистор має вбудований захисний діод між витоком і стоком, що додає додатковий рівень безпеки при

його використанні в схемах з індуктивними навантаженнями. Вигляд транзистора наведено на рисунку 3.7 [39].

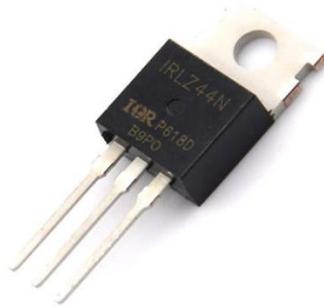


Рисунок 3.7 – Силовий польовий транзистор IRLZ44N [39]

IRLZ44N виконаний у корпусі TO-220AB, що дозволяє йому ефективно розсіювати теплоту при великих струмах, за потреби можна додатково встановлювати радіатор для кращого охолодження. Цей транзистор є широко доступним і має доступну вартість, що сприяє його поширенню в електроніці як для побутових, так і для промислових застосувань. Технічні характеристики IRLZ44N наведені в таблиці 3.4 [39].

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики транзистора IRLZ44N [39]

Параметр	Значення
Тип транзистора	N-канал, MOSFET
Максимальний струм стоку	47 А
Максимальний струм стоку при 100°C	33 А
Напруга пробою «затвор-витік»	16 В
Опір «витік-стік»	30 мОм
Максимальна потужність розсіювання	110 Вт
Заряд затвора	48 нКл
Тип корпусу	TO-220AB

Цей транзистор дозволяє ефективно керувати потужними навантаженнями з мінімальними втратами енергії, що робить його ідеальним компонентом для застосування в системах, де потрібен високий струм та швидке переключення. Завдяки своїм технічним характеристикам IRLZ44N є популярним вибором серед розробників як у побутовій, так і в промисловій електроніці.

Після вибору основних компонентів системи, таких як плата Arduino, інфрачервоний приймач KY-022, пульт Keyes, реле KY-019 та польовий транзистор IRLZ44N, можна приступати до розробки безпосередньо самої системи керування освітленням. Отже, далі пропонується розглянути, як зібрати ці компоненти в єдину схему, яка дозволить здійснювати управління освітленням у приміщенні через інфрачервоний пульт. Для того, щоб реалізувати просту та ефективну систему, важливо продумати не лише взаємозв'язок компонентів, але й алгоритм їх роботи, налаштування пінів на платі Arduino, а також зручний інтерфейс для користувача.

Для комунікації з користувачем ми будемо використовувати пульт Keyes, який має 10 цифрових кнопок. Оскільки пульт призначений для дистанційного керування різними пристроями, кнопки будуть відповідати за виконання певних функцій в нашій системі. У нашій схемі кнопки будуть розподілені наступним чином: 9 кнопок (цифри з 1 по 9) будуть призначені для включення або вимикання окремих ламп або світильників, одна кнопка (0) буде використовуватись для керування світлодіодною стрічкою, а кнопка ОК буде відповідати за загальне включення або вимикання всього освітлення в кімнаті. Таким чином, система дозволить не тільки вмикати і вимикати окремі джерела світла, але й здійснювати регулювання яскравості світлодіодної стрічки.

Для того, щоб забезпечити можливість підключення до 9 ламп або світильників, ми передбачили використання 9 модулів реле KY-019, кожен з яких буде відповідати за вмикання або вимикання певної лампи або групи ламп. Крім того, для керування світлодіодною стрічкою ми використовуємо польовий транзистор IRLZ44N, що дозволяє здійснювати плавне регулювання яскравості за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШИМ).

Згідно з логікою управління, кожне реле буде підключено до певного цифрового піну на платі Arduino, щоб забезпечити незалежне управління кожним елементом освітлення. Для підключення інфрачервоного приймача ми вибрали пін D2 на Arduino, оскільки цей пін є стандартним для підключення до цифрових пінів, що підтримують сигнал з інфрачервоного приймача KY-022. Це дозволить

обробляти сигнали від пульта дистанційного керування, які будуть потім передаватися в програму для виконання відповідних команд.

Що стосується реле, то їх підключення до плати Arduino здійснюватиметься через пінні D12, D11, D10, D9, D8, D7, D6, D5 та D4 для забезпечення можливості включення або вимикання кожної з дев'яти ламп. Оскільки пульт має 9 кнопок для включення/вимикання ламп, ми призначимо кожен пін реле для відповідної кнопки пульта. Таким чином, пін D12 буде відповідати кнопці 1 на пульті, пін D11 — кнопці 2, і так далі до пін D3, який відповідатиме кнопці 9.

Оскільки для регулювання яскравості світлодіодної стрічки потрібен транзистор, ми використовуватимемо IRLZ44N, підключивши його до пін D9 на платі Arduino. Це дозволить нам змінювати яскравість світлодіодної стрічки через використання ШІМ-сигналу, що дасть змогу точно налаштувати освітлення відповідно до вимог користувача. Окремо буде налаштована кнопка 0 на пульті, яка буде відповідати за включення або вимикання світлодіодної стрічки. За допомогою цієї кнопки користувач зможе управляти тільки світлодіодною стрічкою, не впливаючи на інші джерела освітлення.

Усі елементи системи будуть підключені до Arduino через стандартні цифрові пінні, що дозволяє ефективно організувати систему та забезпечити незалежне керування кожним пристроєм. Програма на Arduino буде відповідати за обробку сигналів від інфрачервоного приймача, виконання команд, що надходять з пульта, та управління відповідними модулями реле і транзистором для зміни яскравості світлодіодної стрічки.

Наведена схема підключення компонентів забезпечить можливість простого та зручного керування освітленням. Завдяки чітко розподіленим функціям на кожну кнопку пульта, користувач отримає зручний інтерфейс для управління окремими лампами, світлодіодною стрічкою, а також загальним освітленням в приміщенні. Це дозволяє створити універсальну та ефективну систему, яку можна використовувати як у складі розумного будинку, так і як автономне рішення для керування освітленням в будь-якому приміщенні.

Схема електрична принципова, що демонструє підключення всіх компонентів системи та забезпечує її функціональність, наведена на рисунку 3.8.

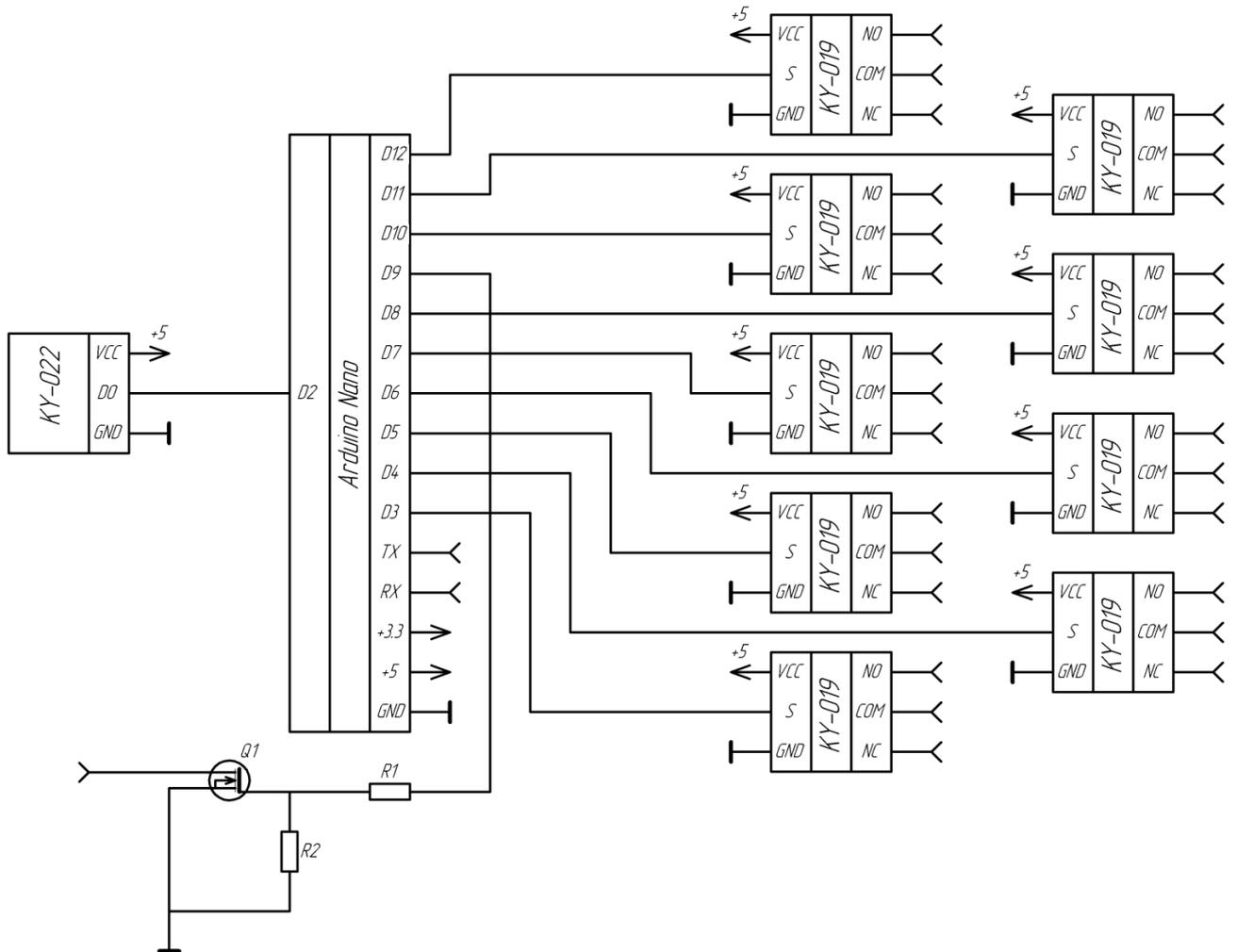


Рисунок 3.8 – Схема електрична принципова

На схемі показано підключення інфрачервоного приймача KY-022, 9 модулів реле KY-019 для керування лампами і транзистора IRLZ44N (Q1). Резистор R1 має номінал 100 Ом, резистор R2 – 10 кОм.

Цей етап розробки завершено після того, як компоненти системи були підключені, і схема, що описує всі з'єднання, була представлена на принциповій електричній схемі. Всі елементи системи працюють синхронно, і їхнє підключення забезпечує зручність користування для кінцевого споживача. Тепер можна перейти до етапу розробки програмного забезпечення, яке дозволить реалізувати всі визначені функції управління освітленням.

### 3.2 Розробка програмного забезпечення

Розробка програмного забезпечення для системи керування освітленням є важливим етапом у створенні інтегрованих автоматизованих рішень для розумного дому. Вона передбачає створення алгоритмів, які дозволяють взаємодіяти з апаратними компонентами системи, зокрема з Arduino, інфрачервоним приймачем, реле, транзистором і пультом дистанційного керування. Програмне забезпечення має забезпечити обробку сигналів від користувача, контролювати різні елементи освітлення та здійснювати регулювання яскравості світлодіодних стрічок, відповідаючи на запити, що надходять від пульта. Оскільки система повинна бути легко налаштовуваною і зрозумілою для користувача, важливою частиною розробки є створення інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу між програмою і апаратною частиною.

Основною задачею програмного забезпечення є забезпечення надійної і стабільної роботи всіх компонентів системи, ефективна обробка сигналів від пульта дистанційного керування та коректне виконання команд. Важливою частиною цього процесу є програмування мікроконтролера Arduino таким чином, щоб він міг обробляти входи від інфрачервоного приймача і виконувати відповідні дії, що регулюють стан реле та транзисторів. Оскільки система передбачає використання кількох реле для керування окремими лампами та одну одиницю для світлодіодної стрічки, програмне забезпечення повинно чітко контролювати кожен елемент, забезпечуючи індивідуальне включення та вимикання пристроїв, а також регулювання яскравості освітлення за допомогою ШІМ-сигналу.

Особливу увагу слід приділити організації логіки управління освітленням. З одного боку, система повинна бути максимально гнучкою і дозволяти користувачу вибирати, яке саме джерело освітлення включати або вимикати в будь-який момент часу. З іншого боку, важливо забезпечити простоту та зручність користування, гарантуючи, що навіть без спеціальних знань, користувач зможе легко налаштувати та керувати усіма елементами освітлення

за допомогою пульта. Це вимагає ретельного продумування алгоритмів для кожної кнопки пульта, чіткої прив'язки команд до відповідних пінів на Arduino і забезпечення стабільного зв'язку між пультом та приймачем.

Програмування системи керування освітленням також передбачає обробку помилок, що можуть виникати під час взаємодії з апаратними компонентами, таких як збої в роботі інфрачервоного приймача, реле чи транзистора. Крім того, необхідно передбачити можливість розширення системи в майбутньому, наприклад, додавання нових елементів освітлення або інтеграція з іншими пристроями системи розумного будинку.

У підсумку, розробка програмного забезпечення для системи керування освітленням є комплексним завданням, яке вимагає детального планування та розробки алгоритмів, що не лише забезпечать функціональність, але й підвищать зручність і надійність використання системи в реальних умовах.

Перш ніж перейти безпосередньо до розробки програмного забезпечення для системи керування освітленням, доцільно розглянути мову програмування, яка буде використовуватися для написання коду для Arduino. Цією мовою є Wiring, яка підтримується середовищем розробки Arduino IDE.

Wiring – це відкрите програмне середовище, призначене для програмування мікроконтролерів, яке дозволяє писати крос-платформенне програмне забезпечення для управління пристроями, підключеними до різних типів мікроконтролерних плат. Мова була розроблена з урахуванням потреб дизайнерів, художників та інженерів, що мають на меті створення інтерактивних об'єктів, простору або фізичних інтерфейсів. Вона орієнтована на простоту використання і стимулює співтовариство, де новачки і досвідчені користувачі можуть ділитися знаннями, ідеями та досвідом [40].

Середовище Wiring побудоване на основі мови Processing, що є дуже популярним серед художників і дизайнерів для створення візуальних і інтерактивних програм. Мова Wiring має за мету спростити програмування для людей без глибоких технічних знань, при цьому не обмежуючи можливості досвідчених розробників [40].

Особливістю Wiring є його підтримка широкого спектра апаратних платформ, що дозволяє програмістам працювати з різними мікроконтролерами, зокрема з тими, що використовуються в Arduino. Wiring підтримує архітектури на основі процесорів AVR, що дозволяє використовувати всі можливості мікроконтролерів Atmega328, які є основними у більшості плат Arduino. Це робить Wiring чудовим вибором для початківців та хобістів, оскільки мова надає зручні інструменти для взаємодії з апаратними компонентами, що значно спрощує процес розробки [40].

Мова має простий синтаксис, що нагадує C та C++, але з особливими конструкціями для роботи з мікроконтролерами. Завдяки цьому, навіть без глибоких знань програмування, розробник може швидко навчитися використовувати Wiring для створення програм, що керують різними пристроями. Однією з головних переваг є велика кількість бібліотек, які дозволяють швидко інтегрувати зовнішні модулі та компоненти в систему, зокрема реле, датчики, дисплеї, та інші пристрої [40].

Wiring надає простий і зручний спосіб створення програм, що включають основні операції введення-виведення, такі як зчитування значень з датчиків і керування зовнішніми пристроями (реле, мотори, світлодіоди тощо). У рамках цього середовища програмування вбудовані функції, які автоматизують багато низькорівневих операцій, що значно спрощує процес розробки.

Серед основних функцій Wiring можна виділити [40]:

- `setup()` – функція ініціалізації, яка виконується один раз при запуску програми.
- `loop()` – основна функція, що виконується безперервно після ініціалізації, виконуючи основну логіку програми.
- `digitalRead()`, `digitalWrite()`, `analogRead()`, `analogWrite()` – функції для взаємодії з цифровими і аналоговими пинами.

Завдяки простоті виведення даних і доступності бібліотек, розробка програмного забезпечення на Wiring стала популярною серед любителів електроніки, дизайнерів та дослідників. Крім того, мова має добре

документовану базу знань і велику кількість прикладів, що дозволяє швидко освоїти основи програмування для мікроконтролерів [40].

Wiring є важливим етапом у розвитку простих і зручних для використання систем, таких як Arduino, що дозволяють створювати інтерактивні та інноваційні проекти. Завдяки цій мові, розробка програм для Arduino стає доступною для більш широкої аудиторії, включаючи тих, хто тільки починає свій шлях у програмуванні.

Перед тим, як перейти до розробки програмного забезпечення, необхідно детально розглянути алгоритм роботи системи. Основна мета – керування освітленням в кімнатах або будинку за допомогою інфрачервоного пульта дистанційного керування, що дозволяє вмикати та вимикати лампи та світлодіодну стрічку, а також регулювати їх яскравість.

Після включення системи Arduino ініціалізує всі необхідні компоненти. Після цього система готова до прийому сигналів від пульта дистанційного керування. Інфрачервоний приймач, підключений до Arduino, зчитує команди від пульта. Кожне натискання кнопки пульта відображається як конкретний код, який система розпізнає і обробляє.

При отриманні сигналу від пульта система перевіряє код кнопки і виконує відповідну дію. Кнопки 1–9 на пульті керують включенням та вимиканням певних ламп, кожна з яких підключена до відповідного реле. Зміна стану лампи полягає у її включенні або вимиканні через комутацію реле. Якщо натискається кнопка 0, то вмикається або вимикається світлодіодна стрічка. Кнопки «Вгору» або «Праворуч» і «Вниз» або «Ліворуч» регулюють яскравість світлодіодної стрічки. Кнопка «Вгору» або «Праворуч» збільшує яскравість, а кнопка «Вниз» або «Ліворуч» зменшує її. Однак зміна яскравості відбувається лише за умови, що стрічка знаходиться в увімкненому стані.

Особливу функцію має кнопка «ОК», яка дозволяє одночасно увімкнути або вимкнути всі лампи та світлодіодну стрічку. Якщо хоча б один пристрій увімкнений, натискання цієї кнопки викликає їх вимикання. Якщо всі пристрої вимкнені, натискання кнопки вмикає їх усі одночасно.

Для запобігання помилкам, пов'язаним з можливим подвійним натисканням кнопок пульта, у системі необхідно реалізувати затримку між обробкою сигналів. Якщо сигнал отримано занадто швидко після попереднього, він ігнорується, що забезпечує коректну обробку лише одного сигналу за раз.

Кожна команда обробляється після перевірки її коректності. Після цього система виконує відповідну дію, змінюючи стан реле або світлодіодної стрічки. У разі зміни стану лампи або стрічки, система оновлює їх стан, інформуючи користувача про те, чи увімкнено або вимкнено конкретний елемент освітлення.

Загалом, алгоритм роботи системи полягає в тому, щоб забезпечити простоту та зручність управління освітленням, а також надійність виконання команд. Завдяки чітко визначеному набору функцій і перевірці станів пристроїв система дозволяє користувачеві легко і безпомилково контролювати освітлення в приміщенні.

Для кращого розуміння та візуалізації процесу роботи системи керування освітленням, розроблений алгоритм доцільно представити у вигляді блок-схеми. Така схема дозволяє наочно продемонструвати послідовність виконання операцій від початку до кінця: від отримання сигналу від пульта до виконання відповідних дій з освітленням. Вона є зручним інструментом для зрозумілого представлення складних процесів, що відбуваються в системі, та дозволяє чітко візуалізувати кожен етап її роботи.

Блок-схема дає змогу побачити взаємодію різних компонентів системи, таких як ПЧ-приймач, реле, світлодіодна стрічка, а також показує, як кожна команда від користувача обробляється та впливає на стан елементів управління. Вона дозволяє зрозуміти, як система реагує на сигнали пульта, як відбувається ініціалізація пристроїв, обробка команд та регулювання рівня яскравості.

У блок-схемі чітко відображена логіка роботи: кожен крок, умови, за яких виконуються певні операції, а також переходи між різними станами системи. Це дозволяє, навіть без додаткових пояснень, зрозуміти загальну структуру роботи програмного забезпечення та її основні етапи.

На рисунку 3.9 показано блок-схему алгоритму роботи системи, яка наочно демонструє всю послідовність дій, а також логіку прийняття рішень при обробці команд від пульта.

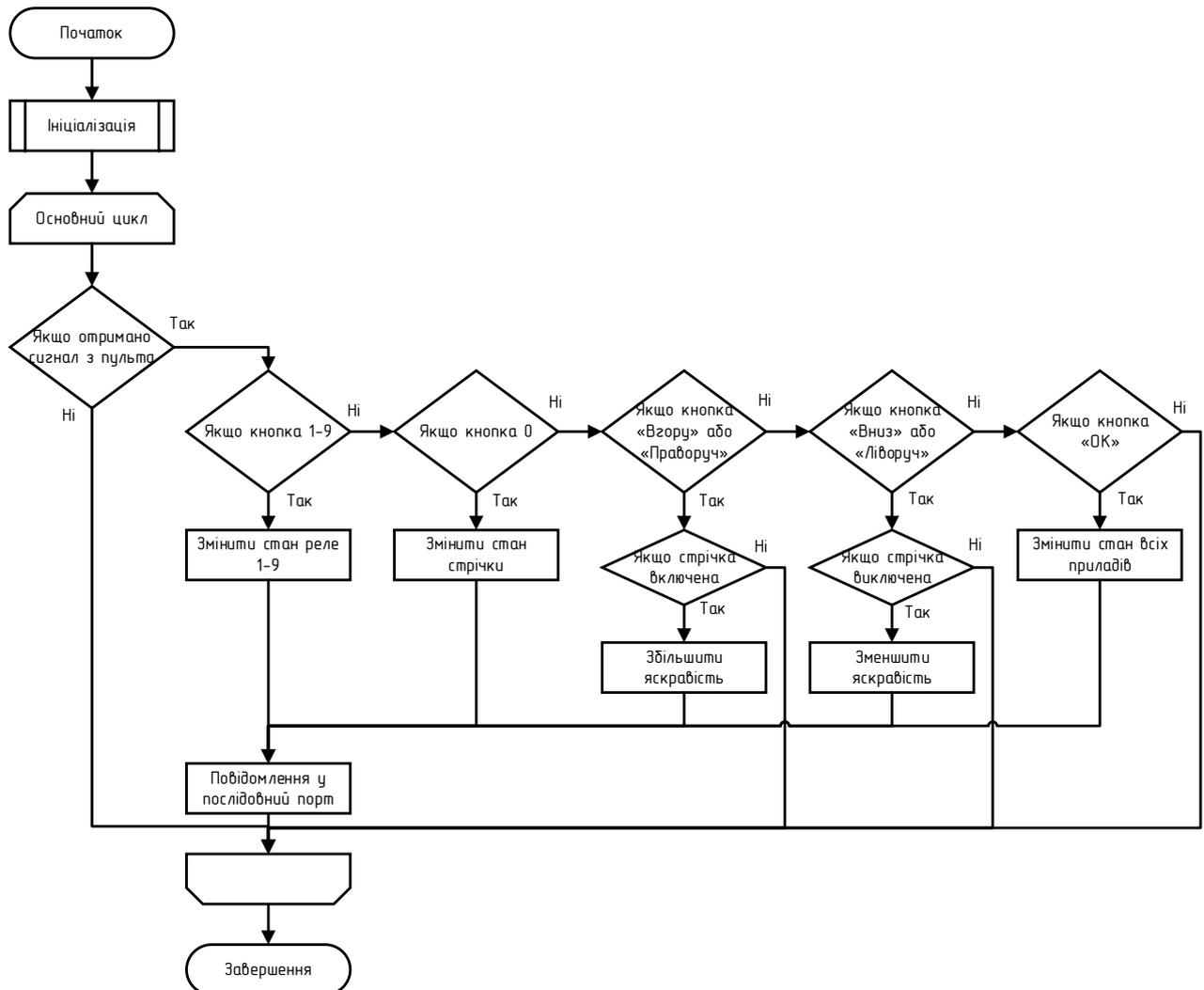


Рисунок 3.9 – Блок-схема роботи системи

Відповідно до складеної блок-схеми можна розробити програмне забезпечення для Arduino. Як видно з блок-схеми, система також використовує для комунікації послідовний порт, виводячи повідомлення про останні виконані дії. Зміна стану реле або світлодіодної стрічки означає, що якщо сигнал на відповідному піні має низький рівень, то він має стати високим, і навпаки: високий рівень змінюється на низький. У випадку натискання кнопки «ОК», зміна стану всіх освітлювальних приладів відбувається наступним чином: якщо

хоча б один має верхній логічний рівень, то всі інші піни переводяться у нижній, і навпаки.

Далі пропонується перейти безпосередньо до розробки програмного коду. В першу чергу необхідно зберегти константні значення пінів та кодів кнопок пульта. Для роботи з інфрачервоним пультом необхідно підключити бібліотеку «IRremote.h», яка має всі необхідні функції. Після цього оголошуються глобальні змінні для зберігання поточного стану системи.

У функції setup() необхідно виконати ініціалізацію пінів, послідовного порту та інфрачервоного приймача. Всі реле за замовчуванням вимкнені, світлодіодна стрічка не активна.

Функція loop() містить код, що виконується циклічно. Тут відбувається отримання сигналів від приймача та виведення даних у послідовний порт, а розпізнавання та виконання команди винесено в окрему функцію. Для зручності, переключення реле також представлено окремою функцією. Розглянемо її детальніше:

```
void toggleLamp(int index) {
    lampState[index] = !lampState[index];
    digitalWrite(LAMP_PINS[index], lampState[index] ? HIGH : LOW);
    Serial.print("Lamp "); Serial.print(index + 1); Serial.println(lampState[index]
? ": ON" : ": OFF");
}
```

Функція приймає індекс реле, яке необхідно переключити, і змінює дані про поточний стан відповідної лампи. Після цього змінюється поточний стан відповідного піна і виводиться відповідне повідомлення у послідовний порт.

Перемикання світлодіодної стрічки має дещо інший вигляд:

```
void toggleStrip() {
    stripOn = !stripOn;
    if (stripOn) {
        analogWrite(LED_STRIP_PIN, stripBrightness);
        Serial.print("Strip: ON, Brightness: "); Serial.println(stripBrightness);
    }
}
```

```

} else {
  analogWrite(LED_STRIP_PIN, 0);
  Serial.println("Strip: OFF");
}
}

```

Хоча принцип роботи коду є подібним, він має інший вигляд, оскільки повідомлення про поточний стан стрічки містить також відомості про поточну яскравість, що зберігається у окремій змінній.

Яскравість світлодіодної стрічки змінюється наступною функцією:

```

void changeBrightness(int step) {
  if (stripOn) {
    stripBrightness += step;
    if (stripBrightness > 255) stripBrightness = 255;
    if (stripBrightness < 0) stripBrightness = 0;
    analogWrite(LED_STRIP_PIN, stripBrightness);
    Serial.print("Brightness changed to: "); Serial.println(stripBrightness);
  } else {
    Serial.println("Cannot change brightness: Strip is OFF.");
  }
}

```

Наведений вище код показує, що яскравість змінюється тільки у тому випадку, коли стрічка активна. Збільшення або зменшення визначається знаком отриманого числа `step`. Для захисту від виходу за допустимі межі, значення більші за 255 прирівнюються до 255, а менші 0 – до 0. Після зміни яскравості у послідовний порт виводиться відповідне повідомлення.

Таким чином, циклічно опитуючи інфрачервоний датчик, система опрацьовує команди, отримані від користувача або системи розумного будинку. Дані, що передаються у послідовний порт, необхідні для тестування та відлагодження системи.

Лістинг програмного коду наведено у додатку Ж.

### 3.4 Висновки до розділу

Розробка системи для керування освітленням на базі платформи Arduino передбачала ретельний підхід до вибору та розробки апаратного забезпечення і алгоритму управління. Вибір компонентів був зумовлений необхідністю створити доступну та ефективну систему, здатну працювати в реальних умовах, з можливістю масштабування та налаштування відповідно до потреб користувача.

Основним апаратним компонентом, що використовується для взаємодії з користувачем, став інфрачервоний пульт дистанційного керування Keyes. Цей пульт дозволяє не лише вмикати і вимикати окремі джерела світла, але й здійснювати регулювання яскравості світлодіодної стрічки, а також одночасно включати або вимикати всі елементи освітлення. Він є зручним і надійним інструментом для контролю над системою, що важливо для користувачів, які шукають простоту та ефективність у повсякденному використанні. Окрім того, зручність управління забезпечується чітким розподілом функцій між кнопками, що відповідають за різні сценарії роботи освітлення.

Для підключення до кожної лампи або групи ламп у системі використано 9 реле KY-019. Це рішення дозволяє незалежно контролювати кожне джерело світла, що є важливим для створення гнучкої системи, здатної адаптуватися під потреби користувача. Завдяки підключенню реле до окремих цифрових пінів на платі Arduino, кожен елемент освітлення можна контролювати індивідуально, що підвищує рівень гнучкості системи.

Для регулювання яскравості світлодіодної стрічки було обрано польовий транзистор IRLZ44N, який забезпечує плавне зміння яскравості завдяки використанню широтно-імпульсної модуляції (ШИМ). Цей компонент є важливою частиною системи, оскільки дає змогу точніше налаштовувати освітлення та економити енергію. Він ідеально підходить для застосування в таких системах, де важлива точність і ефективність управління освітленням.

Особливе значення для правильної роботи системи має інфрачервоний приймач KY-022, підключений до піну D2 на платі Arduino. Цей компонент відповідає за прийом сигналів від пульта, що дає змогу точно обробляти кожен команду користувача. Проста і надійна конструкція приймача дозволяє досягти стабільного з'єднання з пультом і безперебійної передачі сигналів.

Алгоритм обробляє сигнали від кожної кнопки та виконує необхідні дії, такі як вмикання/вимикання окремих ламп, регулювання яскравості світлодіодної стрічки або виконання загальних операцій із усіма елементами освітлення. Зокрема, кнопки 1–9 забезпечують незалежне управління кожним джерелом світла, а кнопка 0 контролює світлодіодну стрічку. Кнопки для регулювання яскравості дозволяють адаптувати освітлення під різні умови освітленості, що додає комфорт у використанні системи. Окремо варто відзначити кнопку «ОК», яка дозволяє одночасно вмикати або вимикати всі джерела світла, забезпечуючи зручність в управлінні навіть у разі швидкої необхідності змінити стан освітлення в кімнаті.

Важливою частиною алгоритму є механізм затримки між обробкою команд, який дозволяє уникнути помилок через подвійне натискання кнопок на пульті. Це забезпечує коректну та своєчасну обробку сигналів, дозволяючи системі виконувати тільки одну команду за раз.

Вибір апаратного забезпечення та розроблений алгоритм роботи дозволяють створити стабільну і зручну систему керування освітленням, що відповідає вимогам сучасних розумних будинків. Всі компоненти системи були підібрані з урахуванням простоти інтеграції, надійності та доступності, що робить проект доступним для реалізації та ефективним у використанні.

Завдяки застосуванню перевірених і доступних компонентів вдалося досягти високої функціональності без значних витрат на обладнання, що робить систему не тільки технологічно розвинутою, але й економічно вигідною. У результаті розробки була створена система, що має великий потенціал для подальшого розвитку та адаптації під різноманітні потреби користувачів, а також для впровадження в реальні умови сучасного розумного дому.

## 4 ТЕСТУВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ

### 4.1 Інструкція з експлуатації системи

Система керування освітленням є зручним та ефективним інструментом для автоматизації освітлення в будинку, дозволяючи користувачам легко налаштовувати рівень освітленості та управляти окремими елементами освітлення за допомогою інфрачервоного пульта дистанційного керування. Завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу та простим командам, вона забезпечує високий рівень комфорту і зручності у використанні.

Для забезпечення оптимального функціонування системи важливо дотримуватись певних правил експлуатації та знати основні принципи її роботи. Користувачам слід ознайомитися з базовими функціями, а також знати, як налаштувати та використовувати систему для досягнення максимальної ефективності. Система має можливість контролювати як окремі джерела світла, так і всі елементи освітлення одночасно, що дозволяє створювати різні сценарії освітлення в залежності від потреби.

Кожен елемент управління у системі має свою чітко визначену функцію, що дозволяє легко керувати освітленням без необхідності складних налаштувань або додаткових пристроїв. Правильне використання пульта забезпечує не тільки зручність, а й економію часу, адже всі основні функції доступні через кілька натискань кнопок. Важливо також дотримуватись рекомендацій щодо регулярного обслуговування системи, що забезпечить її стабільну роботу в довгостроковій перспективі.

Правильне налаштування пульта та взаємодія з іншими компонентами системи дозволяє досягти максимального рівня комфорту в експлуатації. Крім того, система була розроблена з урахуванням простоти обслуговування та можливості швидкого реагування на неполадки, що дає змогу підтримувати її у справному стані. Під час експлуатації слід звертати увагу на кілька ключових аспектів, щоб гарантувати стабільну та безперебійну роботу всіх елементів системи.

Інструкція з експлуатації системи керування освітленням призначена для того, щоб допомогти користувачам максимально ефективно використовувати систему, правильно налаштувати її компоненти та своєчасно виявляти можливі проблеми для їх швидкого усунення.

Для ефективного використання системи керування освітленням необхідно дотримуватись кількох основних принципів та процедур, що забезпечать її безперебійну роботу та максимальний комфорт при експлуатації. Оскільки система розроблена для інтеграції в умови «розумного дому», важливо пам'ятати, що для управління освітленням необхідне використання універсального інфрачервоного пульта, що дає змогу здійснювати контроль за освітленням безпосередньо через мережу розумного будинку. Це дозволяє організувати зручний доступ до всіх функцій управління, а також інтегрувати систему з іншими пристроями, що входять до екосистеми розумного будинку.

Перед початком використання системи необхідно перевірити коректність підключення всіх компонентів. Усі елементи, такі як реле, світлодіодна стрічка та інші пристрої, мають бути підключені до відповідних пінів на платі Arduino, і кожен елемент освітлення повинен бути підключений до реле, яке відповідатиме за його вмикання та вимикання. Пульт дистанційного керування має бути налаштований на приймання сигналів від інфрачервоного приймача, підключеного до плати Arduino.

Для інтеграції системи в мережу розумного будинку необхідно переконатися, що універсальний інфрачервоний пульт має підтримку зв'язку з іншими пристроями, що входять до цієї мережі. Така інтеграція дасть змогу використовувати систему керування освітленням в одному зручному інтерфейсі з іншими пристроями, наприклад, системами опалення, безпеки та іншими елементами автоматизації. Для підключення системи до розумного дому потрібно забезпечити налаштування пульта для роботи з іншими пристроями. Це може включати налаштування пульта через відповідне програмне забезпечення, яке дозволяє синхронізувати сигнали інфрачервоного пульта з іншими

пристроями мережі. Важливо, щоб інфрачервоний пульт мав підтримку протоколів і частот, сумісних з пристроями, що входять до вашої мережі.

Пульт дистанційного керування забезпечує простоту і зручність використання. Кожна кнопка пульта відповідає за конкретну дію, що дозволяє користувачу легко керувати окремими елементами освітлення або змінювати загальні параметри освітлення у кімнаті. Основні функції, доступні через пульт, включають керування лампами, керування світлодіодною стрічкою, а також загальне включення/вимикання освітлення. Кнопки з 1 по 9 відповідають за вмикання і вимикання окремих ламп або світильників. Кожна з цих кнопок пов'язана з певним реле, що дозволяє вам керувати кожним елементом освітлення незалежно від інших. Кнопка 0 дозволяє включати або вимикати світлодіодну стрічку. Крім того, за допомогою кнопок для регулювання яскравості можна змінювати яскравість світлодіодної стрічки, що дозволяє створювати комфортну атмосферу освітлення в залежності від потреби. Кнопка «ОК» дозволяє одночасно включати або вимикати всі джерела світла та світлодіодну стрічку. Якщо хоча б один пристрій увімкнений, натискання цієї кнопки призводить до вимкнення всіх елементів освітлення. Якщо всі пристрої вимкнені, натискання кнопки включить їх одночасно.

Для того, щоб система освітлення стала частиною більшої мережі «розумного дому», необхідно мати універсальний інфрачервоний пульт, який здатний здійснювати зв'язок з іншими пристроями, що входять до цієї мережі. Завдяки такій інтеграції, можна буде керувати не тільки освітленням, а й іншими пристроями (наприклад, кондиціонерами, системами безпеки, опаленням) через єдиний інтерфейс. Це створить зручну та універсальну систему автоматизації для користувача, спрощуючи керування усіма елементами дому.

Для нормальної роботи системи необхідно забезпечити стабільне живлення для плати Arduino та всіх підключених компонентів. Плата Arduino повинна бути підключена до стабільного джерела живлення, яке здатне забезпечити достатню потужність для роботи всіх реле та інших елементів освітлення. Також важливо забезпечити налаштування інфрачервоного

приймача, щоб він правильно сприймав сигнали від пульта дистанційного керування. Для цього потрібно перевірити підключення приймача до плати Arduino та виконати калібрування, якщо це необхідно, для коректної роботи системи.

Для того, щоб система працювала без збоїв та максимально ефективно, рекомендується перевіряти всі з'єднання на платі Arduino та переконатися в коректності підключення кожного компонента. Регулярно очищати інфрачервоний приймач від пилу та бруду, щоб уникнути перешкод у прийманні сигналу від пульта. При використанні системи в складі мережі розумного дому слід забезпечити стабільний зв'язок між інфрачервоним пультом і іншими пристроями мережі. Якщо система не реагує на сигнали пульта або не працює належним чином, необхідно перевірити батарейки в пульті, а також переконатися, що інфрачервоний приймач підключений і працює належно.

Система не потребує складного технічного обслуговування, але для забезпечення її стабільної роботи слід регулярно перевіряти стан з'єднань, живлення та стан компонентів. У разі виникнення проблем з керуванням освітленням чи іншими пристроями, рекомендується виконати кілька кроків. Спочатку перевірте, чи правильно підключено всі елементи системи. Переконайтесь, що інфрачервоний приймач не заблокований і працює належним чином. Перевірте пульт дистанційного керування, замінивши батарейки, якщо це необхідно. Якщо система не реагує на команди пульта, спробуйте перезавантажити Arduino або перепідключити компоненти.

Таким чином, система керування освітленням є зручним та надійним рішенням для автоматизації освітлення у будинку, особливо в рамках розумного дому. Правильне використання та регулярне обслуговування системи дозволить зберегти її ефективність і довговічність, а також забезпечить комфортну та безпечну експлуатацію для користувачів.

Система керування освітленням забезпечує зручність та ефективність у побуті, гарантуючи тривалу й стабільну роботу при правильному використанні.

## 4.2 Середовище моделювання Proteus

Моделювання є важливою складовою процесу розробки та тестування мікроконтролерних систем, оскільки воно дозволяє перевірити правильність роботи системи без необхідності фізичного підключення всіх компонентів. Використання моделей для тестування дає змогу значно знизити час і витрати, які зазвичай пов'язані з прототипуванням, а також виявити потенційні помилки на ранніх етапах розробки. Це дозволяє розробникам не тільки випробувати роботу системи в різних умовах, але й оптимізувати проект до етапу виготовлення фізичних компонентів.

Для моделювання мікроконтролерних систем широко використовується спеціалізоване програмне забезпечення, яке дозволяє створювати віртуальні моделі, що імітують реальні фізичні пристрої. Таке середовище моделювання, як Proteus, є однією з найбільш популярних платформ для тестування електронних схем і мікроконтролерних систем. Proteus дає можливість створювати і візуалізувати схеми, підключати різні сенсори, реле та інші компоненти, що дозволяє провести перевірку їхньої взаємодії та працездатності до того, як система буде втілена в реальність.

Моделювання в Proteus дозволяє безпосередньо інтегрувати мікроконтролер та його програмне забезпечення, створюючи таким чином середовище для тестування не лише апаратних, але й програмних частин проекту. Всі компоненти, що входять до складу схеми, можна налаштувати так, щоб вони точно відображали поведінку реальних елементів. Завдяки цьому, розробники можуть виявити можливі помилки в програмному коді або несправності у взаємодії компонентів ще до фізичного збирання пристрою.

Однією з основних переваг моделювання є можливість тестування складних функцій і алгоритмів без необхідності використовувати фізичні прототипи. Наприклад, для систем, що включають керування освітленням, можна перевірити роботу пульта дистанційного керування, взаємодію з реле, реакцію на сигнали датчиків або різні сценарії використання, не збираючи всю

фізичну схему. Це також дає змогу швидко виявляти недоліки в проектуванні або програмуванні, що значно прискорює процес розробки.

Також варто зазначити, що використання моделювання дозволяє знизити ризик помилок, які можуть виникнути при фізичному збиранні системи. Тестування в програмному середовищі дає можливість відточити алгоритми роботи мікроконтролера, досягти оптимальної роботи з електричними компонентами, а також підготувати систему до тестування в реальних умовах. Це робить процес розробки більш надійним і зручним, дозволяючи зекономити час і ресурси.

Використання таких середовищ моделювання, як Proteus, значно підвищує ефективність роботи над проектом, даючи можливість здійснювати безпечне тестування і виявлення помилок на ранніх етапах розробки. Це дозволяє не тільки забезпечити стабільну роботу майбутньої системи, а й досягти високого рівня точності в проектуванні та налаштуванні мікроконтролерних систем, що є важливим для досягнення максимального результату в роботі з електронними пристроями.

Proteus – це середовище для проектування та моделювання електронних схем, яке широко використовується для тестування мікроконтролерних систем. Програмне забезпечення забезпечує інтерфейс для створення схем, а також симуляцію їх роботи, що дозволяє перевіряти функціональність і взаємодію компонентів ще до того, як буде зібрана фізична схема. Однією з основних переваг Proteus є його здатність поєднувати віртуальне моделювання схем із реальним кодом мікроконтролера, що дає змогу тестувати програмне забезпечення в умовах, наближених до реальних [41].

Одна з ключових особливостей Proteus – це можливість симулювати електронні компоненти та інтегровані схеми (IC), включаючи мікроконтролери, датчики, реле, світлодіоди та багато інших елементів. Завдяки такому функціоналу розробники можуть наочно перевірити, як працюватиме схема без необхідності використовувати фізичні компоненти. Це дозволяє зекономити час

на виготовлення прототипів, а також виявити помилки на етапі розробки, що значно знижує ризик невдач при реалізації проекту [41].

Proteus також дозволяє проводити симуляцію роботи мікроконтролера, інтегруючи в процес як апаратне, так і програмне забезпечення. Для цього розробники можуть написати програму для мікроконтролера і безпосередньо завантажити її в модель, перевіряючи поведінку системи при різних сценаріях. Програма може взаємодіяти з іншими компонентами, такими як реле, сенсори або дисплеї, що дає змогу перевіряти алгоритми, функціональність і навіть усувати потенційні помилки ще на етапі тестування, без необхідності фізичного збору схеми [41].

Нові версії Proteus, як, наприклад, Proteus 9.1, забезпечують додаткові можливості для проектування та моделювання. Однією з цікавих інновацій є інтеграція з AI-помічниками, такими як ProPilot та ProTutor, що допомагають розробникам у процесі проектування, надаючи інтелектуальну підтримку в таких аспектах, як вибір компонентів, аналіз схеми та перевірка правильності розрахунків. Завдяки цим новим можливостям, розробники можуть значно знизити час, що витрачається на пошук рішень для стандартних інженерних задач, і зробити свої проекти більш ефективними [41].

Proteus також підтримує різноманітні протоколи і може моделювати роботу цифрових та аналогових компонентів, що робить його універсальним інструментом для проектування різних типів електронних систем. Особливості, такі як симуляція роботи мікроконтролерів, підтримка шифрування сигналів, налаштування таймерів, інтерфейсів I2C, SPI, UART і багато інших, дозволяють моделювати найскладніші проекти, не обмежуючись лише базовими функціями [41].

Крім того, в середовищі Proteus є вбудовані засоби для моделювання мікропрограмування та роботи з мікроконтролерами на основі мови MicroPython. Це надає додаткові можливості для швидкої розробки та тестування програмного забезпечення для мікроконтролерних систем у рамках Інтернету речей (IoT). Завдяки візуальному редактору та простому інтерфейсу, навіть початківці

можуть зручно створювати і тестувати програми для мікроконтролерів, що дозволяє прискорити процес розробки і навчання [41].

Proteus також інтегрується з іншими інструментами для проектування, такими як системи для створення плат друкованих схем (PCB), надаючи можливість безпосередньо тестувати створені схеми перед їх виготовленням. У нових версіях програми додано підтримку систем керування версіями, що спрощує роботу команд, що працюють над спільними проектами, дозволяючи зберігати історію змін та забезпечувати актуальність бібліотек компонентів [41].

Всі ці функції роблять Proteus потужним і універсальним інструментом для розробки електронних систем. Його здатність моделювати складні мікроконтролерні схеми, інтегрувати програмне забезпечення з апаратним забезпеченням та забезпечувати підтримку для різноманітних стандартів проектування дозволяє розробникам створювати високоякісні продукти з мінімальними витратами часу і ресурсів.

Завершуючи огляд середовища Proteus, можна зробити висновок, що це зручний інструмент для тестування мікроконтролерних систем, який значно спрощує процес розробки та оптимізує роботу на всіх етапах проектування. Proteus дозволяє інтегрувати апаратну та програмну частини системи, що робить його ідеальним вибором для тестування складних електронних проектів. У випадку нашої системи керування освітленням, середовище Proteus дає змогу ефективно перевіряти роботу мікроконтролерів, реле та інших компонентів ще до побудови фізичного прототипу. Це дозволяє виявляти помилки на ранніх етапах, оптимізуючи процес розробки, знижуючи витрати часу і ресурсів, а також забезпечуючи надійність і точність роботи системи. Можливість тестувати як програмне забезпечення, так і апаратну частину в єдиному середовищі дає розробникам впевненість у результатах і дозволяє заздалегідь виправити потенційні проблеми. Тому для тестування та верифікації таких систем, як система керування освітленням, Proteus є незамінним інструментом, що дозволяє розробникам досягти високої ефективності та якості кінцевого продукту з мінімальними витратами часу й ресурсів.

### 4.3 Розробка та тестування моделі системи

Розробка та тестування моделі системи є важливим етапом у створенні будь-якого технологічного продукту, адже це дозволяє перевірити коректність роботи всіх компонентів, а також виявити та усунути можливі помилки на ранніх етапах. Для ефективного тестування системи важливо створити модель, яка б відображала всі основні функції та взаємодії між її елементами. Використання моделей для тестування дає змогу знизити ризик невдач при інтеграції компонентів, а також скоротити час і витрати, пов'язані з фізичним прототипуванням. Саме тому розробка моделі є важливою складовою процесу, яка дозволяє перевірити працездатність системи в умовах, максимально наближених до реальних, ще до її реалізації у фізичному вигляді. У даному випадку, тестування моделі системи керування освітленням стало основним етапом у забезпеченні її ефективної та надійної роботи, що гарантує успішну реалізацію проекту.

Процес створення моделі системи керування освітленням у середовищі Proteus розпочинається з вибору відповідних компонентів і їх підключення. В першу чергу, додаємо плату Arduino Nano, яка є центральним елементом нашої схеми. Вона буде виконувати роль головного мікроконтролера для управління всіма компонентами системи. Плата підключається до інших пристроїв через цифрові піні, що дає можливість контролювати їх роботу окремо.

Для імітації пульта дистанційного керування ми використовуємо інфрачервоний пульт з приймачем IRX\_KEYES, який підключається до одного з цифрових пінів Arduino. Цей пульт дозволяє приймати команди від користувача і передавати їх мікроконтролеру. Оскільки ми тестуємо систему лише з трьома реле, ми додаємо три реле, що підключаються до пінів Arduino, щоб контролювати роботу трьох віртуальних ламп. Кожне реле має своє призначення: воно буде вмикати або вимикати одну з ламп, що імітує роботу освітлення в реальному світі. Крім того, для керування світлодіодною стрічкою додається польовий транзистор IRLZ44N, який підключається до піну D9 на Arduino. Цей

транзистор буде використовуватись для регулювання яскравості світлодіодної стрічки через широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ).

Після того як компоненти схеми додано в середовище Proteus, наступним етапом є програмування мікроконтролера. Програма компілюється у файл .hex, цей файл завантажується у модель у Proteus. Для цього потрібно відкрити налаштування плати Arduino в Proteus і вказати шлях до збереженого файлу. Після цього програма буде записана в мікроконтролер.

Таким чином, електрична схема системи, складена у середовищі Proteus, відповідно до опису, представлена на рисунку 4.1.

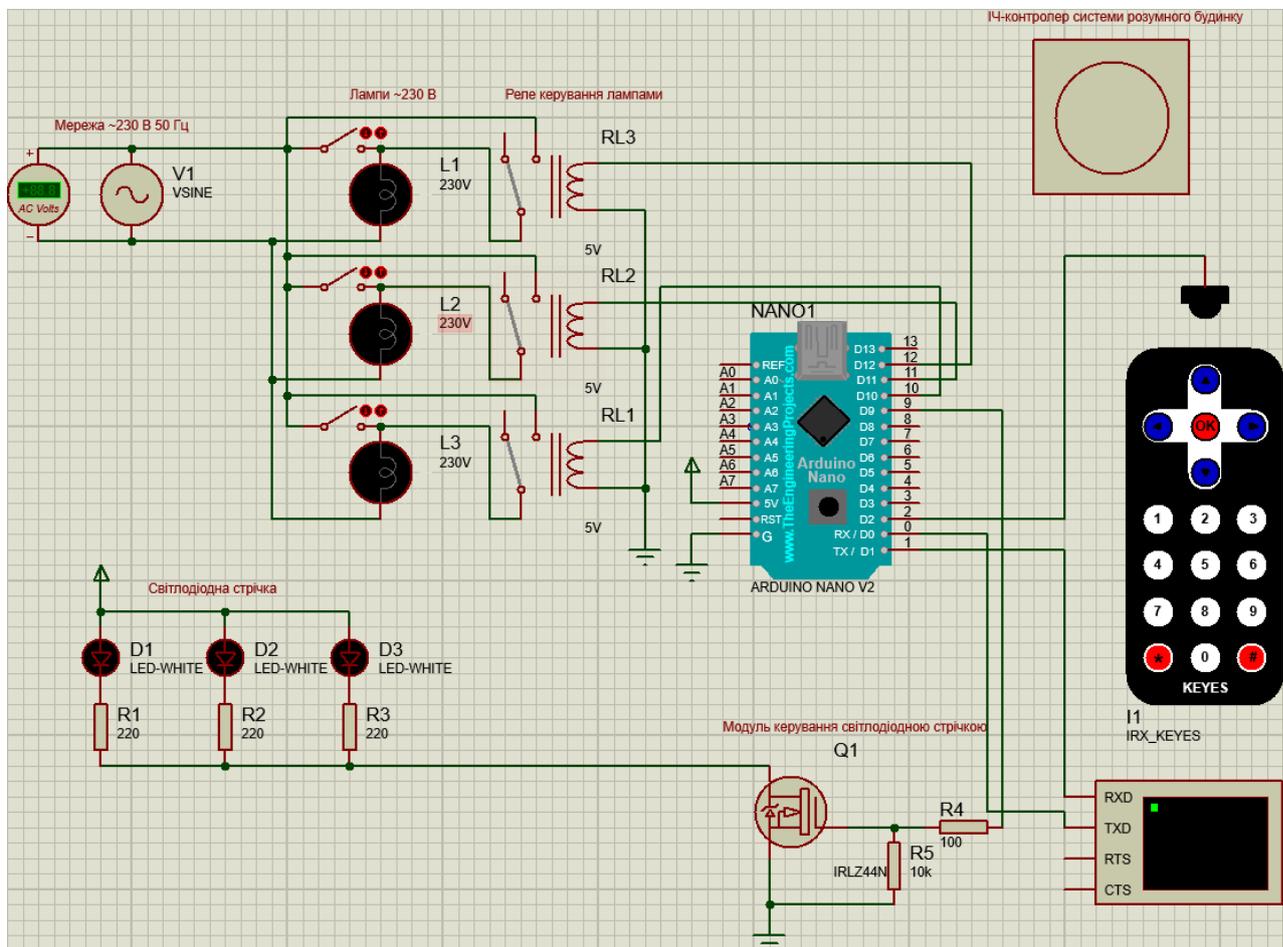


Рисунок 4.1 – Схема електрична у середовищі Proteus

Після складання схеми, необхідно запуснути виконання моделі. Запуск симуляції дозволяє перевірити роботу системи у віртуальному середовищі. При натисканні кнопок на пульті IRX\_KEYES передаються сигнали в Arduino, що

відповідно викликає включення або вимикання реле, а також регулювання яскравості світлодіодної стрічки. Моделюючи цю систему в Proteus, можна спостерігати за всіма процесами, перевіряти правильність виконання команд і виявляти можливі помилки ще до виготовлення фізичного прототипу. Таким чином, тестування моделі системи в Proteus дає змогу переконатися у правильності роботи всіх елементів схеми та їх взаємодії, що суттєво полегшує етапи розробки та налагодження реальної системи. Результат тестування моделі показано на рисунку 4.2.

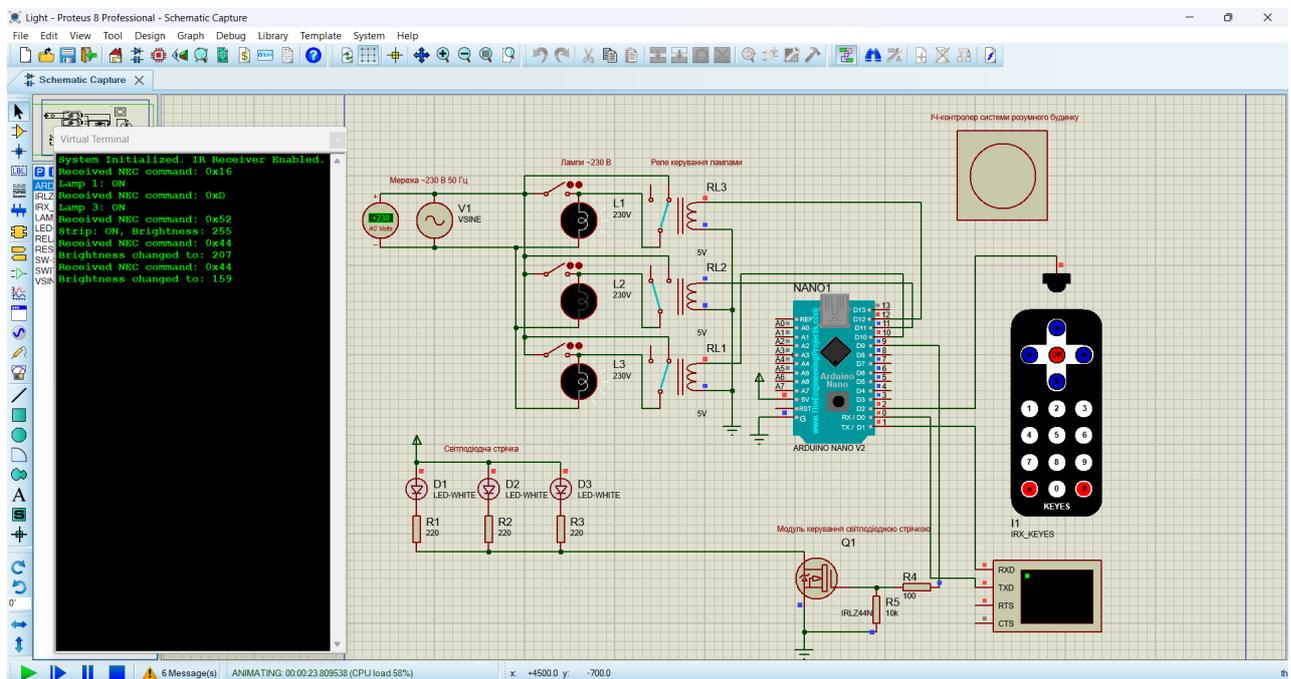


Рисунок 4.2 – Результат тестування моделі системи у Proteus

На скріншоті показано процес виконання моделі в режимі реального часу. Користувач включає спочатку першу лампу, потім третю, після чого включає світлодіодну стрічку і зменшує її яскравість. Натискання на кнопку «OK» одночасно відключає всі елементи освітлення. Під час тестування зручно використовувати віртуальний монітор послідовного порту, куди Arduino виводить всі дані про поточний стан системи.

Таким чином, тестування системи завершено. Можна зробити висновок, що розроблена система керування освітленням працює коректно.

#### 4.4 Висновки до розділу

У цьому розділі було детально розглянуто процес розробки, та тестування моделі системи керування освітленням, використовуючи середовище Proteus. Описано етапи створення моделі апаратної частини системи, включаючи підключення плати Arduino Nano, інфрачервоного пульта IRX\_KEYES, реле та польового транзистора для керування світлодіодною стрічкою. Окрім цього, було описано, як здійснити програмування мікроконтролера та завантажити прошивку в модель Arduino у Proteus.

Процес тестування системи віртуально дозволив перевірити правильність роботи всіх елементів: реле, світлодіодної стрічки, а також взаємодії між ними через інфрачервоний пульт дистанційного керування. Використання Proteus дало змогу виявити та усунути потенційні помилки на ранніх етапах, ще до фізичної реалізації системи. Завдяки цьому ми змогли переконатися в ефективності та надійності запропонованої системи, що забезпечує її коректну роботу в умовах реального середовища.

У результаті виконаного тестування та моделювання було підтверджено правильність алгоритму роботи системи керування освітленням, і всі компоненти схеми взаємодіють відповідно до очікуваних функцій. Завдяки цьому, ми отримали надійну модель системи, готову до подальшої реалізації та інтеграції в реальні умови.

## 5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Результатом магістерської кваліфікаційної роботи за темою «Розробка системи розумний дім для керування освітленням з використанням модулів Arduino» є створення та впровадження комплексу технічних і програмних рішень, спрямованих на забезпечення зручного, універсального та гнучкого керування освітленням у побутових умовах. Розроблена система поєднує апаратну частину, що містить основні модулі керування освітлювальними приладами, та програмне забезпечення, яке реалізує логіку керування, обробку сигналів і взаємодію з користувачем.

Програмна частина системи забезпечує можливість дистанційного керування за допомогою інфрачервоного пульта. Закладені алгоритми передбачають можливість регулювання режимів освітлення, керування різними типами світильників і розширення функціональності в разі інтеграції в складніші екосистеми автоматизації.

Загальний результат роботи полягає у створенні доступної та практичної системи, здатної підвищити комфорт користувача за рахунок спрощення взаємодії з освітлювальним обладнанням і можливості адаптації під різні сценарії використання. Розроблена система може застосовуватися як у побутових, так і в навчально-демонстраційних або дослідницьких цілях, що розширює сферу її практичного використання.

Система керування освітленням розумного будинку може бути ефективно використана в різних сферах, де важливими є зручність, надійність і можливість гнучкого контролю освітлення. Зокрема, її можна застосувати:

- у житлових приміщеннях для централізованого або локального керування освітленням, створення різних світлових сценаріїв та підвищення комфорту мешканців;
- у комерційних приміщеннях для автоматизації освітлення в офісах, магазинах, закладах обслуговування та інших об'єктах;

- у навчальних установах як демонстраційний стенд для вивчення принципів автоматизації, мікропроцесорної техніки та побудови систем розумного будинку;
- у лабораторних та дослідницьких проєктах, де потрібні керовані та відтворювані умови освітлення;
- у малих інтегрованих системах автоматизації, де потрібна недорога та універсальна підсистема керування освітленням;
- у проєктах модернізації освітлювальної інфраструктури, де необхідне поєднання існуючих традиційних світильників із новими методами дистанційного керування.

Залежно від конкретних потреб та умов експлуатації, розроблена система може бути адаптована та розширена під різні сценарії застосування.

Суб'єктами виконання наукових досліджень і розробок є наукові установи, дослідницькі центри при вищих навчальних закладах, проєктно-дослідні підрозділи, проєктно-конструкторські організації, експериментальні підприємства і науково-виробничі об'єднання. Основною метою фундаментальних та, частково, пошукових досліджень є не отримання конкретного продукту, товару або послуги, які можуть мати комерційне використання або стати об'єктом інвестиційного проєкту. Проте ці дослідження відіграють важливу роль у породженні ідей, які потенційно можуть еволюціонувати у проєкти науково-дослідницької і конструкторської діяльності. В такий спосіб, пошукові роботи можуть мати певну комерційну цінність. Основними ознаками наукового ефекту у науково-дослідній роботі є інноваційність, рівень теоретичного осмислення, перспективність, розповсюдження результатів та можливість реалізації. Науковий внесок у науково-дослідній роботі можна виміряти за двома критеріями: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного обґрунтування.

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної

в результаті науково-технічної діяльності, тобто під час виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
<b>Технічна здійсненність концепції:</b>					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
<b>Ринкові переваги (недоліки):</b>					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів

Продовження таблиці 5.1:

5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування

Продовження таблиці 5.1:

10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промислому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки потрібно звести в таблицю. Таким чином можна буде розрахувати середньоарифметичну суму балів і в подальшому оцінити науково-технічний рівень та науково-технічний потенціал запропонованої розробки.

Роботу пропонується оцінити трьом експертам ВНТУ Кафедри КСУ Ковалюк Олег Олександрович доцент, Дубовой Володимир Михайлович професор, Юхимчук Марія Сергіївна професор. Результати оцінювання внесені у таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	Ковалюк О.О.	Дубовой В.М.	Юхимчук М.С.
	Бали, виставлені експертами:		
1	2	2	2
2	2	3	2
3	3	2	2
4	2	2	3
5	2	2	2
6	4	4	3
7	0	1	1
8	2	1	2
9	3	3	3
10	4	4	4
11	4	3	4
12	4	4	4
Сума балів	СБ <sub>1</sub> =32	СБ <sub>2</sub> =31	СБ <sub>3</sub> =32
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_1^3 СБ_i}{3} = \frac{32 + 31 + 32}{3} = 31,67.$		

За результатами розрахунків можна зробити висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. Згідно з рекомендаціями, для середньоарифметичної суми балів, рівної 31,67, науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки можна оцінити на рівні «Вище середнього».

Такий рівень було досягнуто за рахунок покращення та розширення функціональних можливостей нової науково-технічної розробки порівняно з аналогічними розробками, існуючими на ринку. Крім цього, позитивно вплинуло на результат значне зменшення витрат ресурсів і часу на виконання поставлених завдань. До переваг можна віднести: застосування простих та доступних

технологій для забезпечення надійного та універсального функціонування системи. Таким чином, представлена розробка має рівень вище середнього.

Аналогів запропонованої розробки на ринку представлено не багато, оскільки фактично жоден з існуючих пристроїв не дозволяє керувати одночасно лампами та світлодіодними стрічками, а також відомо мало пристроїв, що використовують інфрачервоний зв'язок та можуть працювати як у складі систем розумного будинку, так і незалежно від них. Отже, в якості найбільш близького аналога пропонується розглядати дистанційний вимикач Ardero TM76ARD [18].

Основними недоліками аналога є використання радіосигналу для зв'язку, що робить пристрій несумісним із системами розумного будинку, навіть за умови впровадження додаткових пристроїв, а також його несумісність зі світлодіодними стрічками, оскільки блок керування містить лише 3 реле.

У розробці дані проблеми вирішується за рахунок використання більшої кількості реле, реалізації керування світлодіодною стрічкою та використання інфрачервоного керування.

Також система випереджає існуючі аналоги завдяки можливості працювати як автономно, так і у складі систем розумного будинку.

У таблиці 5.3 наведені основні техніко-економічні показники аналога у порівнянні з новою розробкою.

Таблиця 5.3 – Основні техніко-економічні показники аналога і нової розробки

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (товар-конкурент)	Новий (інноваційне рішення)		
1	2	3	4	5
Дальність дії, м	10	10	1	0,2
Функціонал, %	50	100	2	0,2
Похибка, %	5	1	5	0,4
Напрацювання на відмову, год	3000	10000	3,33	0,15

Продовження таблиці 5.3:

Масо-габарити, кг	0,1	0,5	0,2	0,05
Ціна придбання, грн	1500	1400	0.93	-

Розрахуємо груповий показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами розраховується як добуток частинних показників за кожним параметром:

$$I_{\text{НП}} = 1 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 3,33 \cdot 0,2 \cdot 0,93 = 6,2.$$

Значення групового параметричного індексу за технічними параметрами та групового параметричного індексу за економічними параметрами. Значення індексу визначається з урахуванням вагомості (частки) кожного параметра за формулою:

$$I_{\text{ТП}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (5.1)$$

$$I_{\text{ТП}} = 1 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,4 + 3,33 \cdot 0,15 + 0,2 \cdot 0,05 + 0,93 \cdot 0,1 = 3,2.$$

Груповий параметричний індекс за економічними параметрами (за ціною споживання) розраховується за формулою:

$$I_{\text{ЕП}} = \frac{Ц_{\text{н.р}}}{Ц_{\text{ан}}} = \frac{1400}{1500} = 0,93,$$

На основі групових параметричних індексів за нормативними, технічними та економічними показниками розраховують інтегральний показник конкурентоспроможності за формулою:

$$K_{\text{ІНТ}} = I_{\text{НП}} \cdot \frac{I_{\text{ТП}}}{I_{\text{ЕП}}} = 6,2 \cdot \frac{3,2}{0,93} = 21,33.$$

Згідно проведених досліджень рівень конкурентоспроможності продукту перевищує існуючий аналог.

Соціальний вплив розробки полягає в тому, що її застосування у різних сферах може значно підвищити якість життя.

Екологічний вплив розробки обумовлений її екологічністю, оскільки система дозволяє заощаджувати електроенергію, керуючи яскравістю світлодіодної стрічки.

Ціна, за якою реалізовувалась розробка, становить 1500 грн.

Розрахуємо витрати на оплату праці. Розрахунок розпочнемо з витрат на основну заробітну плату дослідників, що визначається за формулою:

$$ЗП_{\text{дос}} = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.2)$$

де  $k$  – кількість посад дослідників, залучених до процесу досліджень;

$M_{ni}$  – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

$t_i$  – число днів роботи конкретного дослідника, дн;

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці, 21...23 дні.

Таблиця 5.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний Посадовий Оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
1. Керівник проекту	16500,00	785,71	5	3928,55
2. Інженер	15000,00	714,29	10	7412,90
3. Лаборант	8000,00	380,95	21	8000,00
Всього				19341,45

Врахування заробітної плати для дослідників та робітників важливо для обґрунтування економічної ефективності та фінансової стійкості проекту. Отже, наступним етапом після розрахунку витрат на заробітні плати науковців буде розрахунок заробітної плати робітників. Робітники виконують різні види робіт, пов'язані з виготовленням продукції. Далі будуть розглянуті витрати на підготовчі, монтажні, складальні, налагоджувальні та випробувальні роботи. Узагальнення витрат на кожен вид робіт дозволяє визначити витрати на заробітні плати для всіх робітників.

Розрахуємо витрати на основну заробітну плату робітників за відповідними найменуваннями робіт. Для розрахунку застосуємо наступні формули:

$$ЗП_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.3)$$

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.4)$$

де  $C_i$  – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

$t_i$  – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год;

$M_M$  – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), 8000 грн;

$K_i$  – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду;

$K_c$  – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати. (табл. Б.1, додаток Б)

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці, приблизно  $T_p = 21 \dots 23$  дні;

$t_{зм}$  – тривалість зміни, год.

Таблиця 5.5 – Норми витрат на основну заробітну плату робітників по виготовленню зразка

Найменування робіт	Трудомісткість, Н-годин	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
1. Підготовчі	1	1	71,43	71,43
2. Монтажні	4	3	96,43	385,71
3. Складальні	2	5	121,43	242,86
4. Налагоджувальні	6	2	78,57	471,43
5. Випробувальні	4	4	107,14	428,57
Всього:				1 600

Розрахуємо витрати на додаткову заробітну плату робітників та дослідників.

Додаткова заробітна плата розраховується як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$ЗП_{\text{дод}} = (ЗП_{\text{дос}} + ЗП_{\text{р}}) \cdot \frac{Н_{\text{дод}}}{100\%},$$

де  $Н_{\text{дод}}$  – норма нарахування додаткової заробітної плати.

$$ЗП_{\text{дод}} = (19341,45 + 1600) \cdot \frac{10}{100} = 2094,15.$$

Розрахуємо витрати на соціальні заходи. Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховується як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$\begin{aligned} В_{\text{сз}} &= (ЗП_{\text{дос}} + ЗП_{\text{р}} + ЗП_{\text{дод}}) \cdot \frac{22}{100} = \\ &= (19341,45 + 1600 + 2094,15) \cdot \frac{22}{100} = 5067,83. \end{aligned}$$

Представимо у вигляді таблиць втрати на придбання спеціального устаткування, а також витрати на придбання програмних засобів, необхідних для розробки та тестування системи керування освітленням у складі розумного будинку.

Балансову вартість спецустаткування розраховують за формулою:

$$В_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k Ц_i \cdot C_{\text{пр},i} \cdot K_i, \quad (5.5)$$

де  $Ц_i$  – ціна придбання одиниці даного спец устаткування, грн;

$C_{\text{пр},i}$  – кількість одиниць устаткування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

$K_i$  – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ( $K_i = 1, 10 \dots 1, 12$ );

$k$  – кількість найменувань устаткування

Таблиця 5.6 – Витрати на придбання спец устаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість
Паяльна станція	1	2500	2500
Ноутбук	1	10000	10000
Універсальний ПЧ-пульт (Wi-Fi)	1	400	400
Контролер розумного будинку	1	250	250
Всього			13150

Балансову вартість програмного забезпечення розраховують за формулою:

$$B_{\text{прг}} = \sum_{i=1}^k \Pi_{i\text{прг}} \cdot C_{\text{прг},i} \cdot K_i, \quad (5.6)$$

де  $\Pi_{i\text{прг}}$  – ціна придбання одиниці програмного засобу, грн;

$C_{\text{прг},i}$  – кількість одиниць програмного забезпечення, які придбані для проведення досліджень, шт.;

$K_i$  – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ( $K_i = 1, 10 \dots 1, 12$ );

$k$  – кількість найменувань програмних засобів.

Таблиця 5.7 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість
Windows 11 Home	1	5400	5400

Після визначення витрат на засоби розробки необхідно розрахувати витрати на матеріали для виробництва системи розумний дім для керування освітленням з використанням модулів Arduino.

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot \Pi_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot \Pi_{Bj}, \quad (5.7)$$

де  $H_j$  – норма витрат матеріалу  $j$ -го найменування, кг;

$n$  – кількість видів матеріалів;  $C_j$  – вартість матеріалу  $j$ -го найменування, грн/кг;

$K_j$  – коефіцієнт транспортних витрат, ( $K_j = 1,1 \dots 1,15$ );

$V_j$  – маса відходів  $j$ -го найменування, кг;  $C_{vj}$  – вартість відходів  $j$ -го найменування, грн/кг.

Проведені розрахунки бажано звести до таблиці.

Таблиця 5.8 – Витрати на матеріали

Найменування комплектуючих	Кількість	Ціна за штуку, грн	Разом
Arduino Nano	1	180	180
ІЧ-датчик	1	150	150
Пульт дистанційного керування Keyes	1	70	70
Модуль реле одноканальний	9	50	450
Транзистор польовий IRLZ44N	1	20	20
Резистор 10 кОм, 5%, 0,25 Вт	1	1	1
Резистор 100 Ом, 5%, 0,25 Вт	1	1	1
Фольгований склотекстоліт	1	70	70
Корпус	1	100	100
Витратні матеріали	1	100	100
Всього	-	-	1142
Загальна сума з урахуванням логістики	-	-	1256,2

Розрахуємо в спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{\text{обл}} = \frac{C_6}{T_v} \cdot \frac{t_{\text{вик}}}{12}, \quad (5.8)$$

де  $C_6$  – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{\text{вик}}$  – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{\text{в}}$  – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

Таблиця 5.9 – Амортизаційні відрахування

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Комп'ютер з обладнанням для прошивки ардуїно	20000	2	1	833,33
Меблі	10000	4	1	208,33
Всього:				1041,66

Розрахуємо витрати на електроенергію. Витрати на електроенергію ( $B_e$ ) розраховують за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{\text{впі}}}{\eta_i}, \quad (5.9)$$

де  $W_{yi}$  – встановлена потужність обладнання на певному етапі розробки, кВт;

$t_i$  – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

$C_e$  – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн;

$K_{\text{впі}}$  – коефіцієнт, що враховує використання потужності,  $K_{\text{впі}} < 1$ ;

$\eta_i$  – коефіцієнт корисної дії обладнання,  $\eta_i < 1$ .

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.10 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи год	Сума, грн
Паяльне обладнання	0,068	6	5,1
Комп'ютер з обладнанням для прошивки ардуїно	0,35	10	43,75
Всього			48,85

Розрахуємо витрати на службові відрядження. Витрати на службові відрядження розраховуються як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників.

$$V_{\text{св}} = (ЗП_{\text{дос}} + ЗП_{\text{р}}) \times 20\% / 100\% = (19341,45 + 1600) \times 0,2 = 4188,29 \text{ грн.} \quad (5.10)$$

Розрахуємо витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації, які розраховуються як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників

$$V_{\text{сп}} = (ЗП_{\text{дос}} + ЗП_{\text{р}}) \times 30\% / 100\% = (19341,45 + 1600) \times 0,3 = 6282,44 \text{ грн.} \quad (5.11)$$

Розрахуємо інші витрати. Інші витрати розраховуються як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників.

$$IV = (ЗП_{\text{дос}} + ЗП_{\text{р}}) \times 50\% / 100\% = (19341,45 + 1600) \times 0,5 = 10470,73 \text{ грн.} \quad (5.12)$$

Розрахуємо Накладні витрати (загальноновиробничі). Накладні витрати розраховуються як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників.

$$V_{\text{нзв}} = (ЗП_{\text{дос}} + ЗП_{\text{р}}) \times 100\% / 100\% = (19341,45 + 1600) \times 1 = 20941,45 \text{ грн.} \quad (5.12)$$

Загальна сума витрат визначається розрахунком суми всіх таблиць. Таким чином, загальні витрати становлять:

$$\begin{aligned} V_{\text{заг}} &= ЗП_{\text{дос}} + ЗП_{\text{р}} + ЗП_{\text{дод}} + V_{\text{СЗ}} + V_{\text{спец}} + V_{\text{прг}} + V_{\text{К}} + A_{\text{обл}} + V_{\text{е}} + V_{\text{св}} + V_{\text{сп}} + IV + \\ V_{\text{нзв}} &= 19341,45 + 1600 + 2094,15 + 5067,83 + 13150 + 5400 + 1256,2 + 1041,66 + \\ & 48,85 + 4188,29 + 6282,44 + 10470,73 + 20941,45 = 90883,05 \text{ грн.} \quad (5.13) \end{aligned}$$

Розрахуємо економічну ефективність системи розумний дім для керування освітленням з використанням модулів Arduino за її можливої комерціалізації потенційним інвестором.

В випадку розробка чи суттєвого вдосконалення машини (механізму, приладу, пристрою) для використання кінцевими споживачами майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

$\Delta N$  – збільшення кількості споживачів пристрою, в аналізовані періоди часу, від покращення його певних характеристик;

$N$  – кількість споживачів, які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки;

$Ц_0$  – вартість пристрою (машини, механізму) у році до впровадження результатів розробки;

$\pm \Delta Ц_0$  – зміна вартості пристрою (зростання чи зниження) від впровадження результатів науково-технічної розробки в аналізовані періоди часу.

Збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора  $\Delta \Pi_i$  для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховується за формулою:

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\vartheta}{100}\right), \quad (5.13)$$

де:  $\Pi_o$  – основний якісний показник, який визначає ціну реалізації нової науково-технічної розробки в аналізованому році,  $\Pi_o = \Pi_o \pm \Delta\Pi_o$ ;

$\lambda$  – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2025 році ставка податку на додану вартість становить 20%, а коефіцієнт  $\lambda = 0,8333$ ;

$\rho$  – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту (послуги). Рекомендується брати  $\rho = 0,2 \dots 0,5$ ;

$\vartheta$  – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 202 році  $\vartheta = 18\%$ .

Розрахуємо збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора  $\Delta\Pi_i$  за 1-ий рік:

$$\Delta\Pi_i = (1000 \cdot 5000 + 1400 \cdot 10) \cdot 0,8333 \cdot 0,2 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 685219,26.$$

Розрахуємо збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора  $\Delta\Pi_i$  за 2-ий рік:

$$\Delta\Pi_i = (1000 \cdot 5000 + 1400 \cdot 100) \cdot 0,8333 \cdot 0,2 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 702438,57.$$

Розрахуємо збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора  $\Delta\Pi_i$  за 3-ий рік:

$$\Delta\Pi_i = (1000 \cdot 5000 + 1400 \cdot 1000) \cdot 0,8333 \cdot 0,2 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 874631,68.$$

Приведену вартість збільшення всіх чистих прибутків ПП, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки розраховують за формулою:

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^{t'}} \quad (5.14)$$

де  $T$  – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

$\tau$  – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні,  $\tau = 0,05 \dots 0,15$ ;

$t$  – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науковотехнічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

Розрахуємо приведену вартість збільшення всіх чистих прибутків ПП:

$$ПП = \frac{685219,26}{(1 + 0,07)^1} + \frac{702438,57}{(1 + 0,05)^2} + \frac{874631,68}{(1 + 0,05)^3} = 2033064,05.$$

Величина початкових інвестицій  $PV$ , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науковотехнічної розробки розраховується за формулою:

$$PV = k_{\text{інв}} \cdot 3B, \quad (5.15)$$

де  $k_{\text{інв}}$  – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію.

$3B$  – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, грн..

Розрахуємо величину початкових інвестицій  $PV$

$$PV = 3 \cdot 90883,05 = 272649,15.$$

Абсолютний економічний ефект  $E_{\text{абс}}$  або чистий приведений дохід (NPV, Net Present Value) для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки розраховується за формулою:

$$E_{\text{абс}} = ПП - PV, \quad (5.16)$$

де ПП – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, грн.

Розрахуємо Абсолютний економічний ефект  $E_{абс}$ :

$$E_{абс} = 2033064,05 - 272649,15 = 1760414,9.$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій  $E_v$ , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науковотехнічної розробки, розраховується за формулою:

$$E_v = \sqrt[T_{ж}]{\left(1 + \frac{E_{абс}}{PV}\right)} - 1, \quad (5.17)$$

де  $T_{ж}$  – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримання позитивних результатів від її впровадження, роки.

Розрахуємо внутрішню економічну дохідність інвестицій  $E_v$ :

$$E_v = \sqrt[3]{1 + \frac{1760414,9}{272649,15}} - 1 = 0,95.$$

Бар'єрну ставку дисконтування  $\tau_{мін}$ , тобто мінімальну внутрішню економічну дохідність інвестицій, нижче якої кошти у впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію вкладатися не будуть визначають за формулою:

$$\tau_{мін} = d - f, \quad (5.15)$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2025 році в Україні  $d = 0,12 \dots 0,15$ ;

$f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій; зазвичай величина  $f = 0,05 \dots 0,5$ , але може бути і значно вищою.

Розрахуємо мінімальну внутрішню економічну дохідність вкладених інвестицій  $\tau_{мін}$ :

$$\tau_{мін} = 0,15 - 0,1 = 0,05.$$

Період окупності інвестицій  $T_{ок}$  (DPP, Discounted Payback Period), які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки визначають за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_B}, \quad (5.16)$$

де  $E_B$  – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

Розрахуємо Період окупності інвестицій  $T_{ок}$ :

$$T_{ок} = \frac{1}{0,95} = 1,05.$$

Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень витрати на розробку за темою «Система розумний дім для керування освітленням з використанням модулів Arduino» та створення зразка становлять 90851,19грн. При оцінюванні за технічними параметрами, розробка показує кращі результати ніж існуючі аналоги відповідної цінової категорії.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи було створено систему керування освітленням, яка поєднує дистанційне керування, можливість інтеграції в середовище розумного будинку та здатність працювати як автономний пристрій. У процесі дослідження вдалося сформувавши повноцінну концепцію, розробити структурну модель системи, реалізувати її програмні та апаратні компоненти, а також провести тестування, що підтвердило працездатність запропонованого рішення.

На початковому етапі було здійснено теоретичний аналіз сучасних технологій та підходів до автоматизації освітлення. Розгляд тенденцій розвитку систем розумного будинку, їх архітектури та принципів побудови дав змогу сформувавши вимоги до майбутньої системи та обґрунтувати необхідність створення універсального засобу керування освітленням, орієнтованого на широкий спектр користувачів.

Подальші дослідження стосувалися вибору методів реалізації. У роботі розглянуто можливі варіанти організації керування, принципи взаємодії пристроїв та способи побудови гнучкого інтерфейсу. Це дозволило визначити оптимальну структуру майбутньої системи та підібрати підходи, що забезпечують поєднання автономності, зручності та сумісності з іншими системами автоматизації.

Після визначення загальної концепції було розроблено архітектуру системи та її програмно-апаратну реалізацію. Описано логіку обробки команд, функціональні можливості системи та особливості взаємодії між її складовими. Реалізоване програмне забезпечення забезпечує можливість дистанційного керування освітлювальними приладами, приймання та обробку сигналів, а також стабільну роботу системи в різних режимах.

Окрему увагу приділено моделюванню та тестуванню. Створена модель дала змогу перевірити правильність роботи алгоритмів та взаємодії апаратних компонентів. Під час тестування було підтверджено, що система здатна

виконувати всі передбачені функції, зберігаючи стабільність роботи та швидкість реагування. Отримані результати підтверджують придатність системи до практичного застосування.

У роботі проведено економічну оцінку створеної системи, що дало можливість встановити рівень витрат на її реалізацію та визначити перспективи подальшого використання. Оцінка показала, що система може бути впроваджена без значних фінансових витрат, а її адаптація до різних умов є економічно доцільною.

Наукова новизна проекту полягає у створенні універсальної системи освітлення, здатної працювати як частина складних комплексів автоматизації, так і як окремий пристрій без необхідності в спеціалізованому обладнанні розумного будинку. Завдяки використанню дистанційного керування та гнучкої логіки взаємодії, система дозволяє розширювати функціонал та підлаштовуватися під конкретні потреби користувача.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленої системи в житлових приміщеннях, навчальних класах, невеликих офісах та у складі демонстраційних стендів з автоматизації. Простота структури та доступність компонентів роблять систему придатною як для подальшого удосконалення, так і для адаптації під розширені сценарії керування освітленням.

У підсумку можна зазначити, що розроблена система керування освітленням відповідає поставленій меті та вирішує визначені завдання. Вона демонструє стабільну роботу, забезпечує зручне дистанційне керування та має потенціал для подальшого розвитку, у тому числі шляхом розширення функціональних можливостей та інтеграції з іншими технологіями автоматизації. Отримані результати підтверджують ефективність обраних технічних рішень і доцільність застосування системи у практичних умовах.

**ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Що таке розумний будинок. PIPL. URL: [https://pipl.ua/article/scho-take-rozumni-budinok?srsltid=AfmBOopDh7a0N\\_JLG6pWVP5NYC1faYYPG6SUocx-NmbA4yxIOl5azCky](https://pipl.ua/article/scho-take-rozumni-budinok?srsltid=AfmBOopDh7a0N_JLG6pWVP5NYC1faYYPG6SUocx-NmbA4yxIOl5azCky).
2. Дужак І.О. Розумний будинок. Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. 2014, № 13. С. 31–33. DOI: 10.15673/2312-3125.13-14/2010.32920.
3. Соловей Д. Що таке Розумний будинок і для чого він потрібен. AlterAir. URL: <https://alterair.ua/stati/chto-takoe-umnyu-dom/>.
4. Чижевська М.А. Параметри інформаційної системи «Розумний будинок». Наукові записки Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. 2019, № 4(56). С. 61–67. DOI: 10.31673/2518-7678.2019.046167.
5. Круглик В.С., Лемещук О.І., Хоменко Є.В. Перспективи технології «Розумний будинок» на базі університету. Інформаційні технології і автоматизація – 2021 : матеріали XIV Міжнар. наук.-практ. конф., Одеса, 21–22 жовт. 2021 р. / Одес. нац. акад. харч. технологій ; орг. ком.: Б.В. Єгоров (голова) та ін. – Одеса, 2021. – С. 106–109. URL: <https://card-file.ontu.edu.ua/handle/123456789/18795>.
6. Береговська Х.В., Теслюк В.М. Моделі адаптивної системи розумного будинку на базі мереж петрі та моделей Маркова. Scientific Bulletin of UNFU. 2024, Т 34, № 6, С. 115–124. DOI: 10.36930/40340616.
7. Атоян А.С., Голубєв Л.П. Дослідження вразливостей автоматизованих систем «Розумний будинок». Вісник КНУТД. 2015, № 3(86). С. 57–60. URL: [https://knutd.edu.ua/publications/pdf/Visnyk/2015-3/57\\_60\\_2.pdf](https://knutd.edu.ua/publications/pdf/Visnyk/2015-3/57_60_2.pdf).
8. Розумне освітлення. Smarttech Group. URL: <https://smarttech.com.ua/rozumne-osvitlennya/>.

9. Розумні світильники для дому та офісу. Електрикашоп. URL: <https://electrica-shop.com.ua/ua/umnie-svetilniki-dlya-doma-i-ofisa>.
10. Як працює розумне освітлення та яку користь воно може вам принести? Text Factory s. r. o. URL: <https://www.letemsvetemapplem.eu/uk/2025/04/04/jak-funguje-chytre-osvetleni-a-v-sem-vam-muze-byt-prinosem/>.
11. «Розумне світло»: що воно є і як працює. SOWA. URL: <https://www.sowa.kiev.ua/blog-uk/rozumne-svitlo-shcho-vono-ye-i-yak-pratsyuye/>.
12. Система «Розумне освітлення». Корпорація VATRA. URL: <https://vatra.ua/ukr/street-lighting/smart-lighting-VATRA>.
13. Освітлення. Комплексне освітлення квартири / будинку з використанням «кінетичних» вимикачів Tervix (WiFi +RF) Tervix (Німеччина). HomeSmart. URL: <https://homesmart.com.ua/smart-vykluchateli/876/>.
14. Освітлення. Автоматичне вмикання / вимикання зовнішнього освітлення (ZigBee) Tervix (Німеччина). HomeSmart. URL: <https://homesmart.com.ua/umnie-lampy/879/>.
15. Zigbee LED контролер Gledopto Dim/CCT (GL-C-203P) Tuuya smart. WiseHome. URL: <https://wisehome.ua/ua/zigbee-led-kontroler-gledopto-dim-cct-gl-c-203p-tuuya-smart.html>.
16. Wi-fi LED стельовий світильник Yeelight Ceiling Light (YLXD76YL). WiseHome. URL: <https://wisehome.ua/ua/wi-fi-led-stel-ovij-svitil-nik-yeelight-ceiling-light-ylxd76yl.html>.
17. ZigBee 3.0 лампа Gledopto 6W E27 RGB+CCT (pro) GL-B-007P. WiseHome. URL: <https://wisehome.ua/ua/zigbee-3-0-lampa-gledopto-6w-e27-rgb-cct-pro-gl-b-007p.html>.
18. Дистанційний вимикач Ardero TM76ARD 3 канала. Feron. URL: <https://feron.ua/ua/elektrotovary-i-komplektuyushchie/distancionnye-vykyuchateli/distancionnyj-vykyuchatel-ardero-tm76ard/>.
19. Управління освітленням: за допомогою яких елементів можна керувати освітленням у приміщенні? Інтернет-магазин VSE-E.COM. URL:

<https://vse-e.com/ua/novosti/upravlenie-osveshcheniem-s-pomoshchiu-kakih-elementov-mozhno-upravliat-osveshcheniem-v-pomeshchenii>.

20. Кучинська Ю.С. Загальні відомості про реле. kuchinska.com. URL: <https://www.kuchinska.com/%D1%81%D1%80%D1%80/1-%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8-%D1%81%D1%80%D1%80/1-3-1-%D1%80%D0%B5%D0%BB%D0%B5-%D0%B7%D0%B0%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B5>.

21. Що таке ШІМ (широотно-імпульсна модуляція), простою і зрозумілою мовою для початківця. BitKit. URL: <https://bitkit.com.ua/chto-takoe-shim-shirotno-impulsnaya-modulyaciya>.

22. Що таке ІоТ простими словами? Atiko. URL: <https://www.atiko.com.ua/articles-ua/chto-takoe-iot-prostymi-slovami/>.

23. Цікава статистика та факти про Інтернет речей (ІоТ): розмір ринку, використання та прогнози. CASES. URL: <https://cases.media/article/cikava-statistika-ta-fakti-pro-internet-rechei-iot-rozmir-rinku-vikoristannya-ta-prognozi>.

24. Самойленко М.Ю. Принципи застосування технології інтернет речей у сучасному світі техніки. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. 2020. Том 31(70) Ч. 1, № 6. С. 142–148. DOI: <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/24>.

25. Тема 14. Протоколи Інтернету речей. Інформаційний портал Технічного фахового коледжу Луцького національного технічного університету. URL: [https://e-tk.lntu.edu.ua/pluginfile.php/20331/mod\\_resource/content/0/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%B0%2014.%20%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B8%20%D0%86%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82%D1%83%20%D1%80%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%B8%CC%86.pdf](https://e-tk.lntu.edu.ua/pluginfile.php/20331/mod_resource/content/0/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%B0%2014.%20%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B8%20%D0%86%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82%D1%83%20%D1%80%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%B8%CC%86.pdf).

26. Розумний ІЧ пульт керування WIFI Tuya Remote Control (240604445). ROZETKA. URL: <https://rozetka.com.ua/ua/522146564/p522146564/>.

27. What is Arduino? Arduino. URL: <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-arduino/>.
28. UNO R3. Arduino. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/>.
29. Mega 2560 Rev3. Arduino. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560/>.
30. Nano. Arduino. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano/>.
31. Micro. Arduino. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/micro/>.
32. Arduino IDE. Arduino. URL: <https://docs.arduino.cc/software/ide/>.
33. Unified Modeling Language (UML) Diagrams. GeeksforGeeks, Sanchhaya Education Private Limited. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/system-design/unified-modeling-language-uml-introduction/>.
34. Use Case Diagram - Unified Modeling Language (UML). GeeksforGeeks, Sanchhaya Education Private Limited. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/system-design/use-case-diagram/>.
35. Arduino Nano : User Manual. Arduino. URL: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000005-datasheet.pdf>.
36. KY-022 Infrared Receiver Module. ArduinoModulesInfo. URL: <https://arduinomodules.info/ky-022-infrared-receiver-module/>.
37. Комплект дистанційного керування Arduino з пультом. Rozetka. URL: <https://rozetka.com.ua/ua/349459272/p349459272/>.
38. KY-019 5V Relay Module. ArduinoModulesInfo. URL: <https://arduinomodules.info/ky-019-5v-relay-module/>.
39. Силовий польовий транзистор IRLZ44N. Arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/prod3107-silovoi-polevoi-tranzistor-irlz44n>.
40. What will YOU do with the W? Wiring. URL: <https://wiring.org.co/>.
41. Proteus 9.1. Labcenter Electronics. URL: <https://www.labcenter.com/whatsnew/9.1/>.

## **ДОДАТКИ**

## ДОДАТОК А

(обов'язковий)

## ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Розробка системи розумний дім для керування освітленням з використанням модулів Arduino

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

Підрозділ кафедра КСУ  
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КПІ) 1,21 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак

академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту.

У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

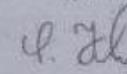
У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

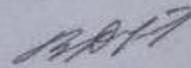
Експертна комісія:

Ковтун В.В., завідувач кафедри КСУ  
(прізвище, ініціали, посада)

  
(підпис)

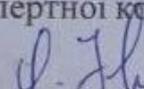
Ковалюк О.О., доцент кафедри КСУ  
(прізвище, ініціали, посада)

  
(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку   
(підпис)

Дубовой В.М.  
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник   
(підпис)

Ковалюк О.О., доцент кафедри КСУ  
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач   
(підпис)

Кірікой Д.М.  
(прізвище, ініціали)

**ДОДАТОК Б**

(обов'язковий)

ВНТУ

**ЗАТВЕРДЖУЮ****Зав. кафедри КСУ**

В'ячеслав КОВТУН

« 17 » 10 2025 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

**Розробка системи розумний дім для керування освітленням з використанням модулів Arduino**

08.33.МКР.01.00.000.ТЗ

Студент групи 1АКІТР-24м

КД Дмитро КІРІКОЙ

« 16 » жовтня 2025 р.

Керівник: к.т.н., доц. каф. КСУ

О.К. Олег КОВАЛЮК

« 16 » жовтня 2025 р.

Вінниця 2025

## 1. Назва та галузь застосування

1.1. Назва – Розробка системи розумний дім для керування освітленням з використанням модулів Arduino.

1.2. Галузь застосування – комп'ютерно-інтегровані системи управління.

## 2. Підстава для проведення розробки.

2.1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи затверджена наказом по ВНТУ №313 від 24.09.2025 р.

## 3. Мета та призначення розробки.

3.1. Метою магістерської кваліфікаційної роботи розробка та впровадження автоматизованої системи керування розумним будинком, яка забезпечує інтеграцію різних пристроїв та підсистем для підвищення енергоефективності, безпеки та комфорту мешканців.

4.1. Магістерська кваліфікаційна робота виконується вперше. В ході проведення розробки повинні використовуватись такі документи:

- Данилюк, "Технології керування системами розумного будинку", Харків: ХНУРЕ, 2023, 180 с.

- О. Карпенко, "Інтелектуальні мережі для розумних будинків", Київ: Інтерпрес, 2022, 310 с.

- І. Герасименко, "Застосування штучного інтелекту в системах розумного будинку", Дніпро: ДНУ, 2021, 250 с.

- О. Петров, "Розумні будинки: теорія і практика", Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020, 298 с.

- В. Смірнов, "Автоматизація житлових систем: сучасні підходи", Київ: КНТЕУ, 2023, 275 с.

## 5. Вимоги до розробки.

### 5.1. Перелік головних функцій:

- керування лампами та світильниками.
- керування світлодіодною стрічкою.
- можливість роботи у складі систем розумного будинку.

### 5.2. Основні технічні вимоги до розробки

### 5.2.1. Вимоги до програмної платформи:

- Window 10;
- Arduino IDE;

### 5.2.2. Умови експлуатації системи:

- робота на мобільних додатках;
- можливість цілодобового функціонування системи;
- дані оновлюються і є актуальними.

## 6. Стадії та етапи розробки.

### 6.1. Пояснювальна записка: 115

1. Аналіз предметної області, опрацювання літературних джерел та постановка задачі 01.11.2025 р.

2. Обґрунтування методів та засобів вирішення задачі 02.11.2025 р.

3. Розробка структури системи, вибір компонентів апаратної складової 05.11.2025 р.

4. Розробка апаратного забезпечення, складання схеми електричної принципової 08.11.2025 р.

5. Розробка програмного забезпечення 12.11.2025 р.

6. Верифікація та моделювання 15.11.2025 р.

7. Оформлення пояснювальної записки та ілюстративних матеріалів 09.12.2025 р.

### 6.2. Графічні матеріали:

1. Діаграма прецедентів використання 15.11.2025 р.

2. Схема структурна 05.11.2025 р.

3. Схема електрична принципова 08.11.2025 р.

4. Блок-схема алгоритму роботи програми 09.11.2025 р.

5. Скріншот результатів тестування системи 15.11.2025 р.

7. Порядок контролю й приймання.

7.1. Хід виконання роботи контролюється керівником роботи. Рубіжний контроль провести до «30» 11.2025 р.

7.2. Атестація проєкту здійснюється на попередньому захисті. Попередній захист магістерської кваліфікаційної роботи провести до «2» грудня 2025 р.

7.3. Підсумкове рішення щодо оцінки якості виконання роботи приймається на засіданні ЕК. Захист магістерської кваліфікаційної роботи провести «18»12.2025 р.

**ДОДАТОК В**  
(довідковий)  
**ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО КОДУ**

```
#include <IRremote.h>

// --- Апаратні налаштування (Піни Arduino) ---

const int IR_RECEIVE_PIN = 2; // Пін для підключення IR-приймача
const int LED_STRIP_PIN = 9; // Пін D9 для ШІМ світлодіодної стрічки
(уникає конфліктів)

// Масив пінів для 9 ламп: D12-D10, D8-D3 послідовно
const int LAMP_PINS[] = {12, 11, 10, 8, 7, 6, 5, 4, 3};
const int NUM_LAMPS = 9; // Кількість ламп

// --- ІЧ-Коди кнопок пульта (Протокол NEC) ---

// Коди кнопок пульта у форматі long (32-бітні значення)
const long CODE_0 = 0x52;
const long CODE_1 = 0x16;
const long CODE_2 = 0x19;
const long CODE_3 = 0x0D;
const long CODE_4 = 0x0C;
const long CODE_5 = 0x18;
const long CODE_6 = 0x5E;
const long CODE_7 = 0x08;
const long CODE_8 = 0x1C;
const long CODE_9 = 0x5A;
const long CODE_OK = 0x40;
```

```

const long CODE_UP = 0x44;
const long CODE_DOWN = 0x43;
const long CODE_LEFT = 0x46;
const long CODE_RIGHT = 0x15;

// --- Змінні стану системи та конфігурація ---

bool lampState[NUM_LAMPS]; // Стан ламп (true = ON, false = OFF)
bool stripOn = false; // Стан стрічки (увімкнено/вимкнено)

// Поточний рівень яскравості стрічки (0-255). За замовчуванням
максимальний.
int stripBrightness = 255;

// Крок зміни яскравості. Збільшено для кращої видимості результату
(255/48 ~ 5 кроків).
const int BRIGHT_STEP = 48;

unsigned long lastIrReceiveTime = 0; // Час останньої обробленої команди
const unsigned long IR_DEBOUNCE_DELAY = 300; // Затримка для анти-
дребезку (мс)

// --- Основні функції Arduino ---

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("System Initialized. IR Receiver Enabled.");

  // Ініціалізація пінів реле
  for (int i = 0; i < NUM_LAMPS; i++) {

```

```

pinMode(LAMP_PINS[i], OUTPUT);
digitalWrite(LAMP_PINS[i], LOW); // Вимкнено при старті
lampState[i] = false;
}

// Ініціалізація піна ШІМ
pinMode(LED_STRIP_PIN, OUTPUT);
analogWrite(LED_STRIP_PIN, 0); // Вимкнено при старті

IrReceiver.begin(IR_RECEIVE_PIN, ENABLE_LED_FEEDBACK);
}

void loop() {
  if (IrReceiver.decode()) {
    if (IrReceiver.decodedIRData.protocol == NEC) {
      long receivedCommand = IrReceiver.decodedIRData.command;

      // Дебаунсинг: перевірка часу з останньої команди
      if (millis() - lastIrReceiveTime > IR_DEBOUNCE_DELAY) {
        // Ігноруємо службові команди повтору пульта
        if (receivedCommand != 0xFFFFFFFF && receivedCommand != 0) {
          Serial.print("Received NEC command: 0x");
          Serial.println(receivedCommand, HEX);
          processCode(receivedCommand); // Обробка команди
          lastIrReceiveTime = millis(); // Оновлюємо час
        }
      }
    }
  }

  IrReceiver.resume(); // Готуємо приймач до нового сигналу
}

```

```
}  
  
// --- Допоміжні функції управління логікою ---  
  
// Виконує дію відповідно до отриманого ПЧ-коду  
void processCode(long code) {  
    // Кнопки 1-9: керування лампами  
    if (code == CODE_1) toggleLamp(0);  
    else if (code == CODE_2) toggleLamp(1);  
    else if (code == CODE_3) toggleLamp(2);  
    else if (code == CODE_4) toggleLamp(3);  
    else if (code == CODE_5) toggleLamp(4);  
    else if (code == CODE_6) toggleLamp(5);  
    else if (code == CODE_7) toggleLamp(6);  
    else if (code == CODE_8) toggleLamp(7);  
    else if (code == CODE_9) toggleLamp(8);  
    // Кнопка 0: вмикання/вимикання стрічки  
    else if (code == CODE_0) toggleStrip();  
    // Кнопка ОК: вмикання/вимикання всього  
    else if (code == CODE_OK) toggleAll();  
    // Кнопки UP/DOWN/LEFT/RIGHT: регулювання яскравості  
    // UP/RIGHT - зменшення, DOWN/LEFT - збільшення  
    else if (code == CODE_UP || code == CODE_RIGHT) {  
        changeBrightness(-BRIGHT_STEP);  
    }  
    else if (code == CODE_DOWN || code == CODE_LEFT) {  
        changeBrightness(BRIGHT_STEP);  
    }  
}
```

```

// Перемикає стан конкретної лампи
void toggleLamp(int index) {
    lampState[index] = !lampState[index];
    digitalWrite(LAMP_PINS[index], lampState[index] ? HIGH : LOW);
    Serial.print("Lamp "); Serial.print(index + 1); Serial.println(lampState[index]
? ": ON" : ": OFF");
}

// Перемикає стан світлодіодної стрічки
void toggleStrip() {
    stripOn = !stripOn;
    if (stripOn) {
        analogWrite(LED_STRIP_PIN, stripBrightness); // Використовуємо
збережену яскравість
        Serial.print("Strip: ON, Brightness: "); Serial.println(stripBrightness);
    } else {
        analogWrite(LED_STRIP_PIN, 0); // Вимикаємо
        Serial.println("Strip: OFF");
    }
}

// Змінює яскравість стрічки з перевіркою меж (0-255)
void changeBrightness(int step) {
    if (stripOn) { // Яскравість змінюється тільки якщо стрічка увімкнена
        stripBrightness += step;

        // Обмеження значень
        if (stripBrightness > 255) stripBrightness = 255;
        if (stripBrightness < 0) stripBrightness = 0;
    }
}

```

```

    analogWrite(LED_STRIP_PIN, stripBrightness);
    Serial.print("Brightness changed to: "); Serial.println(stripBrightness);
} else {
    Serial.println("Cannot change brightness: Strip is OFF.");
}
}

// Перемикає стан усіх ламп та стрічки одночасно
void toggleAll() {
    bool anythingIsOn = false;

    for (int i = 0; i < NUM_LAMPS; i++) {
        if (lampState[i]) { anythingIsOn = true; break; }
    }
    if (stripOn) anythingIsOn = true;

    // Якщо хоч щось було увімкнено, вимикаємо все. Інакше - вмикаємо все.
    bool newState = anythingIsOn ? false : true;

    for (int i = 0; i < NUM_LAMPS; i++) {
        lampState[i] = newState;
        digitalWrite(LAMP_PINS[i], newState ? HIGH : LOW);
    }

    stripOn = newState;
    if (stripOn) { analogWrite(LED_STRIP_PIN, stripBrightness); } else {
analogWrite(LED_STRIP_PIN, 0); }

    Serial.println(newState ? "All systems ON" : "All systems OFF");
}

```

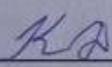
**ДОДАТОК Г**  
(обов'язковий)  
**ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**

Розробка системи розумний дім для керування освітленням з  
використанням модулів Arduino

Перелік ілюстративних матеріалів:

1. Діаграма варіантів використання
2. Схема структурна
3. Схема електрична принципова
4. Блок-схема алгоритму керування
5. Скріншот тестування роботи системи

Виконав: студент 2-ого курсу, групи  
1АКІТ-24м  
спеціальності 174 – Автоматизація,  
комп'ютерно-інтегровані технології  
та робототехніка  
(шифр і назва спеціальності)

  
\_\_\_\_\_ Дмитро КІРІКОЙ  
(ім'я та прізвище)

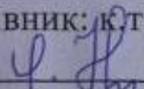
Керівник: к.т.н., доцент каф. КСУ  
  
\_\_\_\_\_ Олег КОВАЛЮК  
(ім'я та прізвище)



Рисунок В.1 — Діаграма варіантів використання

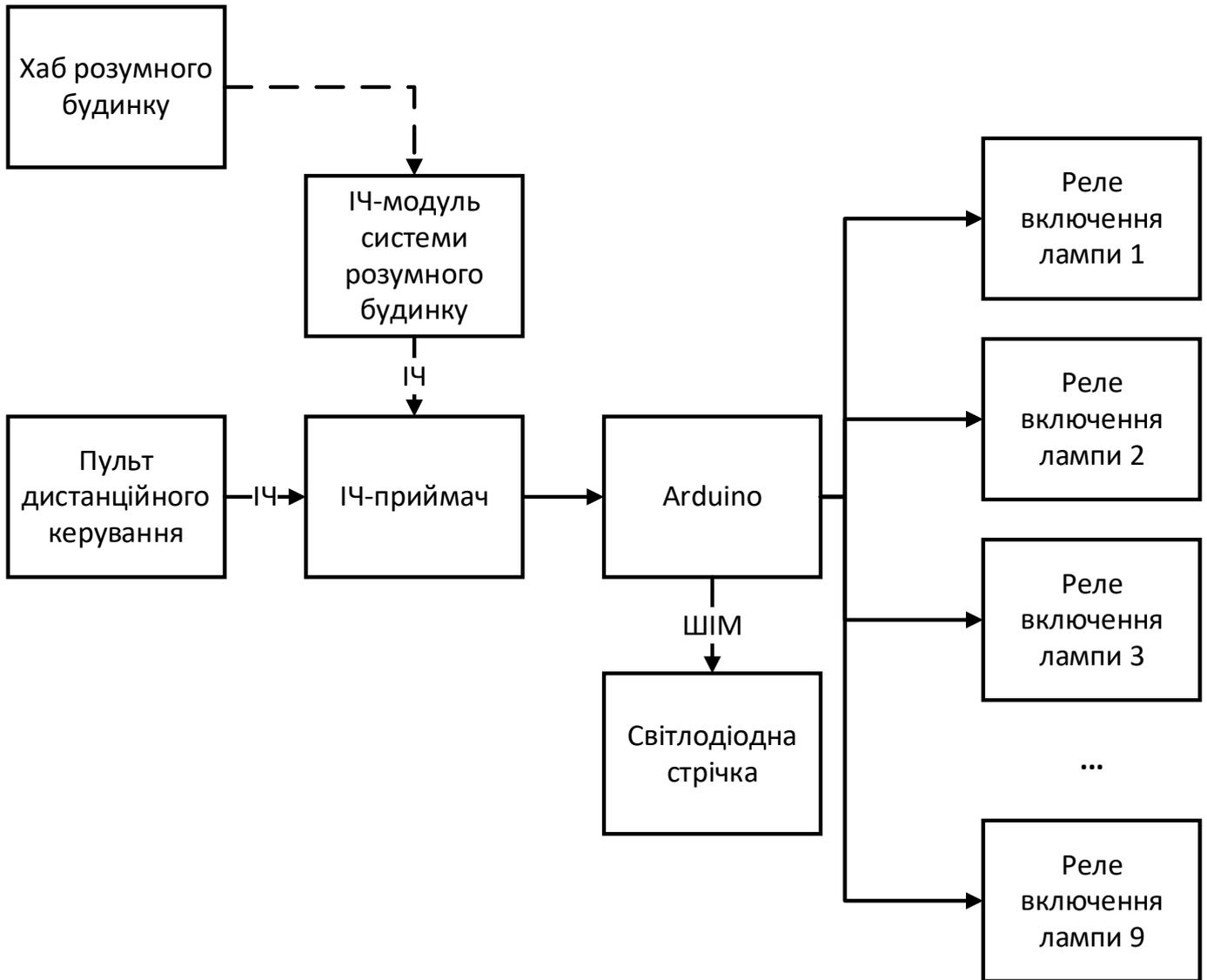


Рисунок В.2 — Схема структурна

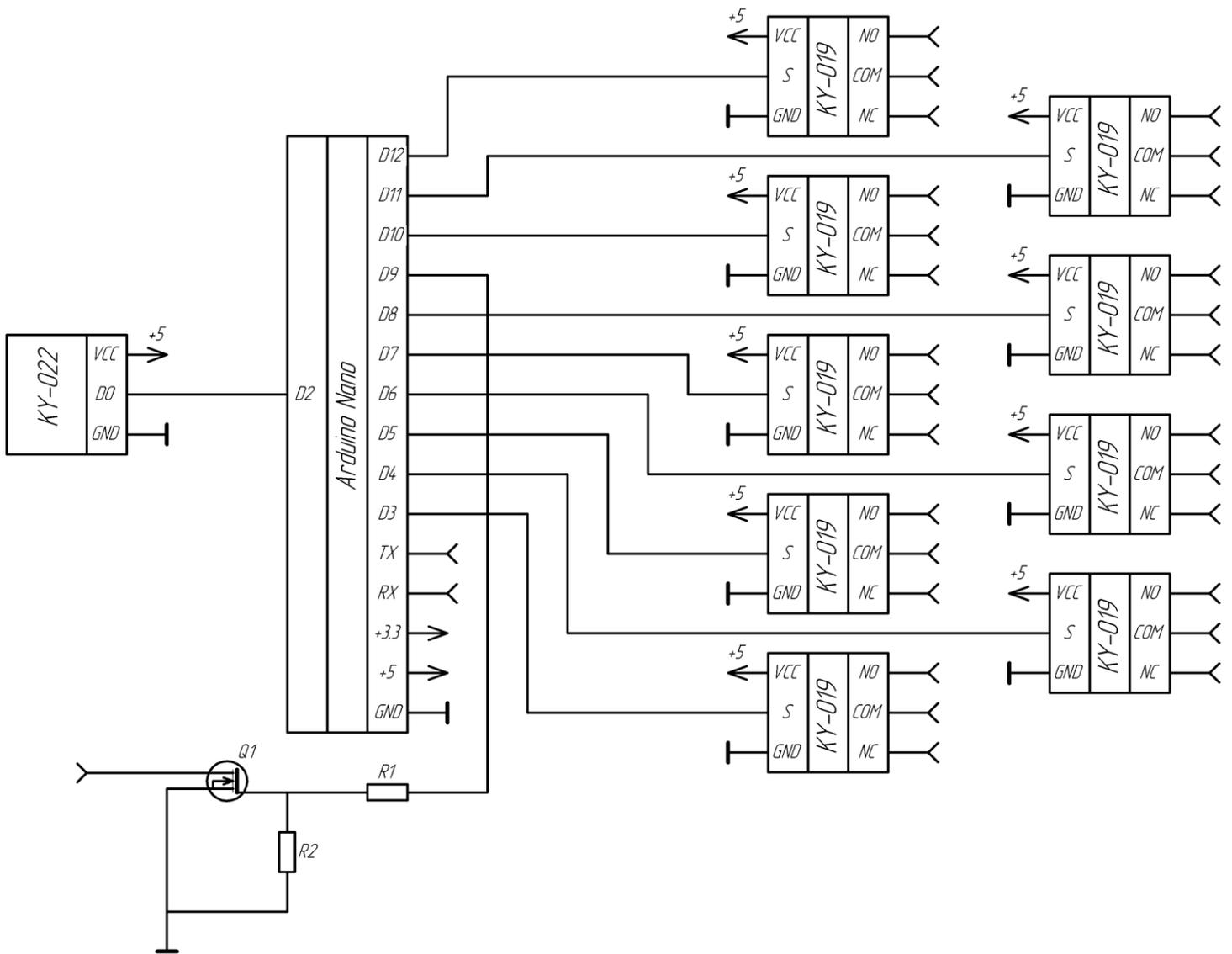


Рисунок Г.1 — Схема електрична принципова

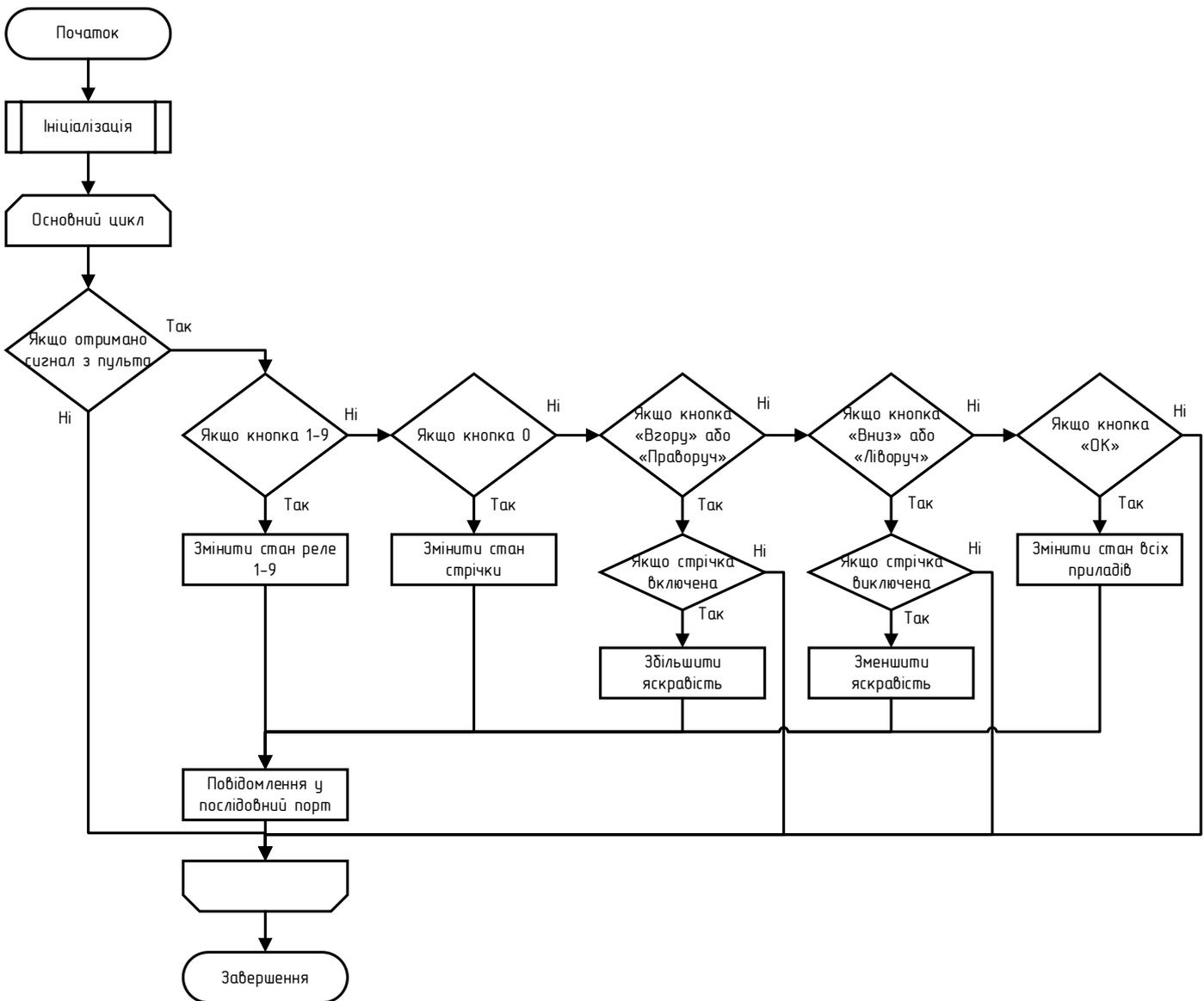


Рисунок Д.1 — Блок-схема алгоритму керування

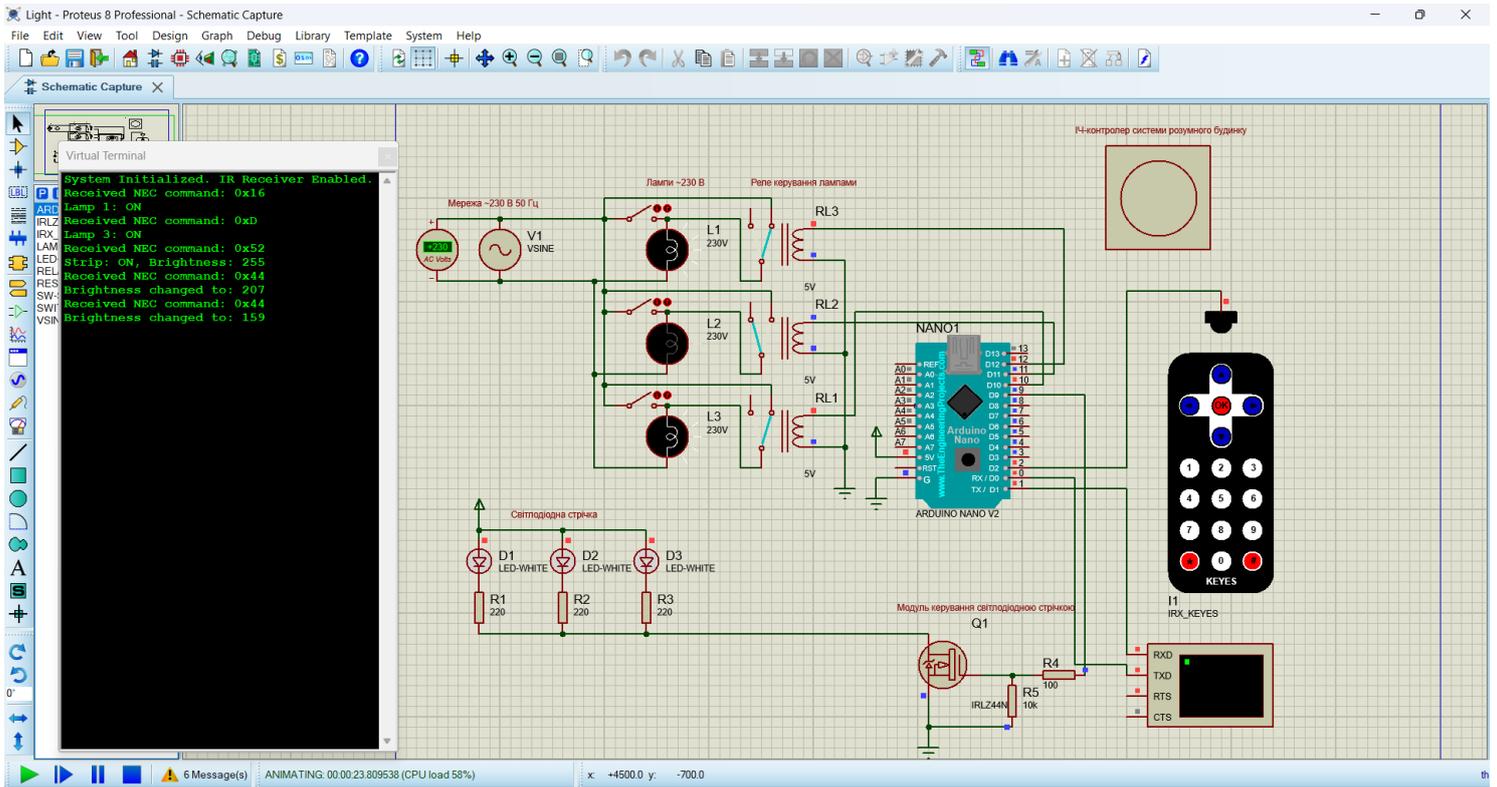


Рисунок Д.1 — Скріншот тестування роботи системи