

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

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ**

«На правах рукопису»
УДК 621.32; 621.38; 621.382.2/.3

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____ Юлія ЯМНЕНКО
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2020 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальністю 171 Електроніка
(код і назва)

освітня програма Електронні прилади та пристрої

на тему: Система адаптивного керування освітленням

Виконав: студент II курсу, групи ДЕ-91мп
(шифр групи)

_____ Аршан Євгеній Віталійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник зав. каф., професор, д.т.н., Юлія ЯМНЕНКО _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Рецензент зав. каф., АМЕС д.т.н., проф. Сергій НАЙДА _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

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

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Огляд технічної літератури по темі магістерської дисертації. 2. Огляд та вибір складових системи адаптивного керування освітленням. 3. Розробка структурної схеми системи адаптивного керування освітленням. 4. Розробка програмного коду для зв'язку модулів системи.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Слайди презентації

7. Перелік публікацій: 1. Аршан, Є. В. Розробка електронного стенду на основі мікроконтролера для налагодження програм [Електронний ресурс]/ Аршан Є. В., Семікіна Т. В. // XIII науково-практична конференція «Перспективні напрямки сучасної електроніки» 4 квітня 2019 року, м. Київ: матеріали конференції. – 2019. – С. 31–38. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37319>.

2. Аршан Є.В. Вимірювач потужності ультрафіолетового випромінювання [Електронний ресурс]/ Аршан Є.В., Бондаренко Р.І., Калачников О.О., Сіднев О.Б., Семікіна Т.В. // Мікросистеми, електроніка та акустика. – 2020. – Vol.25. – №2. – С.45-49. – Режим доступу: <http://elc.kpi.ua/article/view/199843>.

3. Аршан Є.В. Система адаптивного контролю освітлення [Електронний ресурс] / Аршан Є.В., Бондаренко Р.І., Калачников О.О., Ямненко Ю.С. // X Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та виробництва» 13 листопада 2020 р. м. Київ: матеріали конференції. – 2020 – С. 554–563. – Режим доступу: https://openscilab.org/wp-content/uploads/2020/11/suchasni-vikliki-i-aktualni-problemi-nauki-osviti-ta-virobnictva_2020_11_13_tezy.pdf

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
-	-	-	-

9. Дата видачі завдання 28.10.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів	Примітка
1	Огляд технічної літератури по темі дисертації	1 вересня-7 вересня	
2	Дослідження зон освітлення у приміщенні та методів контролю та керування освітленням	8 вересня-14 вересня	
3	Вибір складових системи адаптивного освітлення	15 вересня-25 вересня	
4	Вибір датчиків освітленості та датчиків руху	26 вересня-5 жовтня	
5	Проектування схем органів керування освітленням Розбиття системи за ієрархією	6 жовтня-20 жовтня	
6	Розробка структурної схеми системи адаптивного керування освітленням	21 жовтня-3 листопада	
7	Розробка алгоритму роботи системи адаптивного керування освітленням	4 листопада-12 листопада	
8	Написання програм для зв'язку модулів в системі	12 листопада-27 листопада	
9	Оформлення звітних документів дисертації	28 листопада-4 грудня	

Студент
прізвище)

_____ Євгеній АРШАН _____

(підпис) (ініціали,

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

Юлія ЯМНЕНКО

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Обсяг дипломної роботи складає 123 сторінки, в тому числі 22 таблиці, 19 рисунків та 29 літературних джерел.

При огляді технічної літератури проведено дослідження існуючих систем керування освітлення, їх переваги та недоліки. Також досліджено два методи контролю освітлення: зондування зайнятості та зондування освітленості, що в подальшому використовуються для розробки системи.

За результатами аналізу поставленого технічного завдання та огляду науково-технічної літератури підтверджено актуальність створення системи керування освітленням, що дозволить автоматизувати освітлення приміщень та стане вигідним рішенням в питанні економії енергоспоживання.

В результаті огляду прийнято рішення про паралельне використання двох типів датчиків в системі: датчиків освітлення та датчиків руху. Розроблено варіанти системи адаптивного керування освітленням з використанням дротового та бездротового зв'язку між компонентами, та прийнято рішення використовувати змішаний тип зв'язку. Розроблено структурну схему системи адаптивного керування освітленням, алгоритм роботи даної системи та написано код для програмного підключення компонентів системи. Можливе подальше доопрацювання даної системи для управління зовнішнім освітленням та у більш складних алгоритмах адаптивного керування з урахуванням даних з датчиків біотелеметричних величин, що враховують особливості користувача.

Ключові слова: керування освітленням, «розумний будинок», економія електроенергії, адаптивне освітлення, автоматизація освітлення.

ANNOTATION

The volume of the thesis is 123 pages, including 22 tables, 19 figures, and 29 references.

When reviewing the technical literature, a study of existing lighting controls systems, their advantages and disadvantages. Two methods of lighting control were also investigated: employment sensing and light sensing, which are then used to develop the system.

According to the results of the analysis of the technical task and review of scientific and technical literature, the relevance of creating a lighting control system was confirmed, which will automate the lighting of premises and will be a profitable solution in terms of energy-saving.

As a result of the review, it was decided to use two types of sensors in the system in parallel: light sensors and motion sensors. Variant lighting control options have been developed using wired and wireless communication between components and a decision has been made to use a mixed type of communication. The structural scheme of the adaptive lighting control system, the algorithm of this system operation is developed and the code for software connection of system components is written. It is possible to further refine this system for outdoor lighting control and in more complex adaptive control algorithms, taking into account data from sensors of biotelemetric quantities that take into account user characteristics.

Keywords: lighting control, "smart home", energy saving, adaptive lighting, lighting automation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
1.1. Огляд існуючих систем типу «розумний будинок».....	10
1.1.1. Розумний будинок, переваги та недоліки.....	11
1.2. Системи адаптивного освітлення	14
1.2.1. Зондування зайнятості.....	15
1.2.2. Адаптивне освітлення.....	18
1.3. Прототипи плат для керування освітленням.....	19
1.3.1. Arduino.....	19
1.3.2. Raspberry Pi	20
1.3.3. NooLite.....	21
1.4. Постановка задачі.....	21
Висновки до розділу 1.....	23
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ	24
2.1. Типи та види джерел освітлення	24
2.1.1. Типи освітлення.....	24
2.1.2. Види освітлювальних ламп.....	31
2.2 Датчики освітлення та руху.....	41
2.2.1. Датчик освітленості LM393.....	44
2.2.2. Датчик освітленості BH1750.....	46
2.2.3. Датчик присутності HC SR501.....	47
2.3. Види систем адаптивного контролю освітлення та типи зв'язку.....	49
2.3.1. Система адаптивного контролю локального освітлення.....	49
2.3.2. Система адаптивного контролю загального освітлення.....	50
2.3.3. Типи зв'язку в системі.....	51
Висновки до розділу 2.....	53
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ	
ОСВІТЛЕННЯМ	54

3.1. Рівні керування адаптивним освітленням	54
3.1.1. Середовище OpenHAB.	55
3.1.2. Середовище Home Assistant.	57
3.2. Структурна схема системи адаптивного керування освітлення	58
3.3. Алгоритм роботи системи, програмування складових.....	61
3.3.1. Алгоритм роботи системи адаптивного контролю освітлення	61
3.3.2. Програмування компонентів системи.....	62
Висновки до розділу 3	72
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	73
4.1. Опис ідеї стартап проекту.....	74
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	76
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	76
4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	82
4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	84
Висновки до розділу 4.....	87
ВИСНОВКИ.....	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89
ABSTRACT	
ДОДАТОК А. ПУБЛІКАЦІЇ	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

IoT – Інтернет речей

ШІ – Штучний інтелект

HID – Розряд високої інтенсивності

КЛЛ – Компактні люмінесцентні лампи

УФ – Ультрафіолет

LDR – Світлозалежний резистор

ЕРС – Електрорушійна сила

PIR – Пасивний інфрачервоний датчик

CMOS – Комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник

ПК – Персональний комп'ютер

ПЗ – Програмне забезпечення

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний розвиток науки і технологій в галузі електроніки та телекомунікацій призвів до появи та широкого впровадження інтелектуальних систем прийняття рішень, аналізу сигналів з великої кількості датчиків різних типів у режимі реального часу, реалізації концепції Інтернету речей на рівні побутових користувачів. Бурхливого розвитку зазнали концепції MicroGrid та SmartGrid, сучасні будівлі все в більшому ступені оснащуються засобами та технологічними рішеннями «розумних приладів» [1].

Проектування та розробка системи адаптивного освітлення є актуальною задачею, так як з розвитком технології постає проблема в автоматизації систем освітлення задля економії споживання електроенергії. За статистикою, близько 40% виробленої електроенергії споживається на освітлення.

Однією з головних переваг, яку дає адаптивна система освітлення, є її здатність забезпечити колосальну економію енергії. Цього можна досягти, надавши освітлювальним приладам певний ступінь автономності. Налагоджена система адаптивного освітлення може бути набагато ефективнішою, ніж та, яка спирається виключно на прийняті людиною рішення.

Для того, щоб система освітлення могла приймати автономні рішення щодо світлового випромінювання та роботи, вона повинна бути забезпечена потоком інформації, за якою можуть прийматися такі рішення. Велика частина цих даних надходить від датчиків. Мережа розумних лампочок, керована датчиками, здатна відстежувати зміни в навколишньому середовищі та інтерпретувати ці зміни, щоб динамічно регулювати свою роботу для оптимального комфорту та енергоефективності, а також знижувати рахунки за електроенергію.

Мета і завдання. Метою роботи є розробка системи з комбінованою структурою керуючих модулів для реалізації адаптивного керування освітленням на базі обробки та аналізу даних від датчиків руху та освітленості.

Поставлена мета вимагає вирішення наступних наукових задач:

- дослідження та порівняльний аналіз існуючих методів та систем керування освітленням⁴
- вибір та обґрунтування структурної організації системи керування;
- визначення типів та характеристик датчиків фізичних величин, аналіз яких є підставою для розробки алгоритмів керування;
- розробка сценаріїв освітлення в залежності від сигналів від датчиків та додаткових керуючих впливів від користувача;
- розробка системи керування з комбінованим типом зв'язку між керуючими модулями на базі контролера Arduino, одноплатного комп'ютера Raspberry Pi та модуля NooLite.

Об'єктом дослідження є процес адаптивного керування освітленням, що забезпечує автоматизацію систем освітлення задля економії споживання електроенергії.

Предметом дослідження є методи контролю та адаптивного керування освітленням за допомогою спеціальних датчиків.

Методи дослідження. Для вирішення задач контролю та керування освітленням використано метод зондування зайнятості, який реалізується за допомогою використання датчиків присутності та дозволяє автоматично затемнювати або вимикати світло після того, як певний простір був вільним протягом певного періоду часу, визначеного користувачем. Також використано метод зондування природнього освітлення; для реалізації цього методу було використано датчики освітлення, що забезпечують контроль природнього освітлення в приміщенні, та надають інформацію про відповідність рівня освітлення нормам.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- запропоновано паралельне використання у системі адаптивного керування освітленням двох типів датчиків, що дозволяє забезпечити гнучкість керування завдяки врахуванню як присутності і руху людини, так і параметрів зовнішнього освітлення;

- вперше запропоновано побудову системи керування освітленням за комбінованою топологією зв'язку між керуючими модулями, що забезпечує децентралізацію керуючих модулів та робить систему стійкою до збоїв.

Практичне значення одержаних результатів. Система керування освітленням дозволяє запрограмувати та реалізувати різні освітлювальні сценарії. Інтелектуалізація освітлення, крім можливості програмування сценаріїв, полягає у можливості налаштування системи в залежності від потреб та побажань користувачів, які вносять корективи у можливі сценарії або створюють нові. Застосування сучасних методів штучного інтелекту, включаючи машинне навчання, математичний апарат штучних нейронних мереж, дозволяє здійснити навчання системи з урахуванням особливостей конкретного будинку і конкретного користувача послуг [2].

Апробація. Результати роботи доповідалися та обговорювалися на трьох науково-технічних конференціях:

1. XIII науково-практична конференція «Перспективні напрямки сучасної електроніки» 4 квітня 2019 року, м. Київ.
2. Міжнародна конференція "Контроль і керування в складних системах (КУСС-2020)", м. Вінниця, 8-10 жовтня 2020 р.
3. X Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та виробництва» 13 листопада 2020 р.

Публікації. За результатами роботи опубліковано 3 наукові статті, серед яких – 2 статті на конференціях та 1 стаття у науковому фаховому виданні:

1. Аршан, Є. В. Розробка електронного стенду на основі мікроконтролера для налагодження програм [Електронний ресурс]/ Аршан Є. В., Семікіна Т. В. // XIII-а науково-практична конференція «Перспективні напрямки сучасної електроніки» 4 квітня 2019 року, м. Київ : матеріали конференції. – 2019. – С. 31–38. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37319>.
2. Аршан Є.В. Вимірювач потужності ультрафіолетового випромінювання [Електронний ресурс]/ Аршан Є.В., Бондаренко Р.І.,

Калачников О.О., Сіднєв О.Б., Семікіна Т.В.//Мікросистеми, електроніка та акустика., 2020. – Vol.25. - №2. – С.45-49. – Режим доступу: <http://elc.kpi.ua/article/view/199843>.

3. Аршан Є. В. Система адаптивного контролю освітлення [Електронний ресурс]/ Аршан Є. В. Бондаренко Р.І, Калачников О.О., Ямненко Ю.С. //X Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та виробництва» 13 листопада 2020 р. м. Київ: матеріали конференції. – 2020 – С. 554–563. – Режим доступу: https://openscilab.org/wp-content/uploads/2020/11/suchasni-vikliki-i-aktualni-problemi-nauki-osviti-ta-virobnictva_2020_11_13_tezy.pdf

Структура та обсяг дисертації. Магістерська дисертація складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку літератури з 29 найменувань та 1 додатку. Загальний обсяг роботи - 123 сторінки, яка містить 19 рисунків та 22 таблиці.

РОЗДІЛ 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Огляд існуючих систем «розумний будинок»

Сучасна електротехнічна система побутового призначення типу «Розумний будинок» - це сукупність програмно-апаратних засобів і технологій, що забезпечують автоматизацію та інтелектуальне керування електротехнічними пристроями у відповідності до заданих алгоритмів [3].

До складу таких високотехнологічних систем входять підсистеми різного функціонального призначення – освітлення, опалення, сигналізації, відео спостереження. Між усіма пристроями та підсистемами організується інформаційна комунікація, що дозволяє реалізовувати узгоджене керування відповідно до запрограмованих сценаріїв.

Якщо мова йде про систему інтелектуального керування освітленням, то її реалізація дозволяє запрограмувати сценарії освітлення в будинку залежно від побажань та потреб користувача або користувачів. «Розумне» освітлення — це освітлення, яке вмикається та вимикається, коли людина з'являється або залишає кімнату. Для системи керування опаленням задачею є підтримка заданої температури у всьому приміщенні або окремих кімнатах, причому задаватися може як фіксоване значення, так і динаміка зміни у часі.

Технологія розумного будинку, яку також часто називають домашньою автоматизацією або домотикою (від латинського "domus" - будинок), забезпечує власникам будинків безпеку, комфорт, зручність та енергоефективність, дозволяючи їм керувати розумними пристроями, часто за допомогою програми розумного будинку на смартфонах або інших мережевих пристроях. Об'єднання пристроїв у єдину систему та їх «інтелектуалізація», що полягає у обладнанні датчиками та комунікаційними пристроями, дозволяє реалізувати концепцію Інтернету речей (IoT). Це дає можливість забезпечити сумісне узгоджене функціонування систем розумного будинку, обмін даними

про споживання та поточні режими роботи, автоматизацію керування на основі уподобань власників будинків [3].

Прикладами сучасних пристроїв, в яких реалізовано технології розумного будинку, є:

- смарт-телевізори, що підключаються до Інтернету, щоб отримати доступ до вмісту через програми, наприклад, як відео на замовлення та музику. Деякі смарт-телевізори також мають функції розпізнавання голосу або жестів;

- інтелектуальні системи освітлення, такі як Hue від Philips Lighting Holding BV [4], здатні виявити перебування мешканців у приміщеннях та регулювання освітлення для потреб. Розумні лампочки також можуть регулювати параметри освітлення залежно від інтенсивності освітлення навколишнього простору;

- розумні термостати, такі як Nest від Nest Labs Inc., що мають вбудований Wi-Fi і дозволяють користувачам планувати, контролювати і віддалено контролювати домашню температуру. Ці пристрої також здатні до самонавчання та пристосування роботи відповідно до поведінки власника будинку, вимог комфорту та ефективності роботи. Розумні термостати можуть також повідомляти про споживання енергії як нагадування користувачу.

1.1.1. Розумний будинок, переваги та недоліки

Однією з найбільш рекламованих переваг домашньої автоматизації є забезпечення інформованості власника про те, що відбувається у будинку, а також можливість дистанційного моніторингу та керування підсистемами будинку.

Домотика також надає безперечні переваги для людей похилого віку, забезпечуючи моніторинг фізіологічних показників, що підвищує рівень безпеки та комфортності.

Можливість дистанційного керування дозволяє користувачу, наприклад, запрограмувати відкриття гаражних воріт, вмикання світла, обігріву, кухонного приладдя або відтворення музики у заданий час.

Домашня автоматизація також сприяє забезпеченню вимог енергоефективності. Наприклад, замість того, щоб залишати кондиціонер, очищувач та зволожувач повітря увімкненими протягом усього дня, інтелектуальна система керування розумного будинку відслідковує температуру повітря та інші параметри мікроклімату і вмикає кліматичні прилади з таким розрахунком, щоб у зазначений час приходу власника забезпечити задані показники, або реалізувати інший запрограмований сценарій. Завдяки «розумній» зрошувальній системі газон поливатиметься лише тоді, коли це буде потрібно, з точною кількістю необхідної води та мінеральних речовин. Отже, система домашньої автоматизації забезпечує ефективне використання електричної енергії, води та інших ресурсів, що допомагає споживачу заощадити як природні ресурси, так і гроші.

Недоліком розумних будинків є складність їх структури, високий рівень технологічності, насиченості інформаційно-комунікаційними засобами та висока вартість. Деякі люди відчувають труднощі з опануванням сучасними технологіями або відмовляються від них, відчуваючи незручність. Виробники розумних будинків працюють над зменшенням складності та покращенням користувацького досвіду, щоб зробити їх приємним та корисним для різних типів користувачів.

Технічна реалізація, розвиток та широке впровадження систем домашньої автоматизації пов'язані з необхідністю забезпечення єдиних технічних вимог, стандартів та протоколів. Пристрої повинні бути сумісними, незалежно від виробника, та використовувати однакові протоколи зв'язку або ж мати сумісні інтерфейси. Оскільки це відносно новий ринок, ще не існує єдиного «золотого стандарту» автоматизації будинків. Однак провідні сучасні компанії співпрацюють між собою та спрямовують зусилля на забезпечення взаємодії протоколів та технічних рішень.

Ще одним з важливих аспектів впровадження систем побутової автоматизації є питання безпеки даних. Звіт NTT Data Corporation за 2016 рік виявив, що 80% американських споживачів стурбовані безпекою даних своїх

розумних будинків. У випадку шахрайської хакерної атаки та отримання несанкціонованого доступу до системи розумного будинку зловмисники потенційно можуть вимкнути світло та сигналізацію, розблокувати двері, залишивши будинок без захисту. Крім того, хакери можуть потенційно отримати доступ до персональних даних власників будинків.

Хоча виробники розумних домашніх пристроїв та платформ можуть збирати дані споживачів для кращого адаптування своїх продуктів або задля можливості пропонувати нові та вдосконалені послуги, довіра та прозорість мають вирішальне значення для виробників, які прагнуть залучити нових клієнтів.

Найпоширенішими протоколами зв'язку, що використовуються у системах домашньої автоматизації, на сьогодні є Zigbee та Z-Wave. Обидва ці протоколи використовують мережеві технології та радіосигнали малої потужності для підключення розумних домашніх систем. Хоча обидва націлені на одні й ті самі розумні домашні програми, Z-Wave має радіус дії 30 метрів, а Zigbee - 10 метрів, причому Zigbee часто сприймається як більш складний протокол. Чіпи Zigbee доступні у багатьох компаній, тоді як чіпи Z-Wave доступні лише від Sigma Designs.

Всі електротехнічні пристрої системи побутової автоматизації функціонують під керуванням головного контролера, який часто називають розумним домашнім концентратором. Концентратор - це пристрій, який виступає центральною точкою системи розумного будинку і здатний сприймати, обробляти дані та забезпечувати бездротовий зв'язок між пристроями. Він поєднує всі різні програми в єдину розумну програму для будинку, якою власники можуть керувати віддалено. Прикладами розумних домашніх концентраторів є Amazon Echo, Google Home, Insteon Hub Pro, Samsung SmartThings та Wink Hub.

Деякі розумні домашні системи можна створити з нуля, наприклад, використовуючи одноплатний комп'ютер Raspberry Pi або іншу плату прототипування. Інші можна придбати у комплекті розумного домашнього

набору - також відомого як розумна домашня платформа - який містить елементи, необхідні для запуску проекту домашньої автоматизації.

У простих сценаріях розумного будинку події можуть бути синхронізовані або активовані. Заплановані події базуються на часових вимірах (наприклад, опускання штор о 18:00), тоді як активовані події залежать від дій в автоматизованій системі (наприклад, коли смартфон власника наближається до дверей, розумний замок розблоковується, а розумні ліхтарі вмикаються).

Методи машинного навчання та штучного інтелекту стають все більш популярними в розумних домашніх системах, що дозволяє програмам домашньої автоматизації адаптуватися до середовища. Наприклад, системи підтримки голосового спілкування та активації Amazon Echo або Google Home містять віртуальних помічників, які навчаються та персоналізують розумний будинок відповідно до уподобань, особливостей поведінки та спілкування мешканців.

В рамках даної роботи буде розглядатися окрема підсистема домашнього автоматизації – підсистема адаптивного освітлення. Розглянемо існуючі підходи до побудови таких систем, особливості їх конструкцій та функціонування, а також невирішені задачі в цьому напрямку.

1.2. Системи адаптивного освітлення

Керування освітленням великих будинків є досить складним завданням автоматизації, особливо у випадках, коли необхідно враховувати різні фактори – наявність жалюзі, різні типи світильників, особливості архітектури будівель, географічне положення, погодні умови, сезонність, тощо. Системи адаптивного освітлення можуть забезпечити економію енергії, зменшуючи використання штучного освітлення в денні години та в приміщеннях, де зафіксовано відсутність користувачів [5]. Окремою задачею є інтеграція природного та штучного освітлення в автоматизовану систему. Природне освітлення є нестабільним навіть у фіксованій точці, інтенсивність сонячного світла

змінюється протягом часу доби, зміни погоди, пори року тощо. Для забезпечення інтеграції необхідно здійснити моніторинг інтенсивності денного світла, а потім визначити відповідні штучного освітлення, виходячи з умов рівномірності освітлення та уникнення занадто яскравого світла (або відблисків). Отже, система керування освітленням містить два взаємодіючих модулі: модуль контролю денного світла та модуль штучного освітлення. Цілі цих двох модулів різні. Поєднання цих модулів дозволить забезпечити комфортні умови перебування та зменшення витрат електроенергії. Автоматизація та збалансування системи керування освітленням працює таким чином, щоб рівномірне та стабільне освітлення підтримувалося в робочих місцях, тоді як споживання енергії було якомога меншим.

Економія електричної енергії забезпечується завдяки автоматизації керування. Налагоджена інтелектуальна система керування освітленням може бути більш ефективною, ніж та, яка спирається виключно на прийняті людиною рішення. Але для того, щоб система керування освітленням могла приймати автономні рішення щодо світлового випромінювання та режимів роботи, вона повинна бути забезпечена необхідними даними, на підставі яких такі рішення можуть прийматися. Основною інформацією для системи прийняття рішень є сигнали від датчиків. Мережа розумних лампочок, керована датчиками, здатна відстежувати зміни в навколишньому середовищі та інтерпретувати ці зміни, щоб динамічно регулювати режими роботи для забезпечення комфортності та енергоефективності, а також економії вартісних витрат [6].

Розглянемо методи адаптивного керування освітленням, що будуть використані в даній роботі.

1.2.1. Зондування зайнятості

Зондування зайнятості є одним із найпоширеніших методів керування освітленням, що застосовуються в сучасних будівлях. Простіше кажучи, це дозволяє автоматично затемнювати або вимикати світло після того, як у певному просторі протягом певного періоду часу, визначеного користувачем,

не фіксується руху та/або присутності людини. Як тільки рух фіксується, освітлення знову вмикається або зменшується згідно встановлених сценаріїв. Виявлення руху здійснюється за допомогою датчиків руху, що використовують інфрачервону, ультразвукову або мікрохвильову технологію зондування. Кількість датчиків, які слід розмістити у даному просторі, щоб забезпечити систему освітлення коректними даними, залежить як від розміру та типу цього простору, так і від бажаної продуктивності освітлення в ньому. Більш простий сценарій включає всі лампочки, що працюють синхронно, і забезпечують однаковий рівень інтенсивності світла по всьому простору, поки мешканець знаходиться в полі зору будь-якого з встановлених датчиків. Дещо складніший сценарій, який забезпечує більш ефективну роботу - це розділення простору на декілька окремих зон освітлення, кожна з яких пов'язана з одним або декількома датчиками. Кожного разу при детектуванні руху в одній із зон вмикається освітлення лише цієї конкретної зони [7]. Таке розділення на зони (приклад зображено на рис 1.1) є особливо ефективним на більших відкритих просторах, сходах або довгих коридорах.

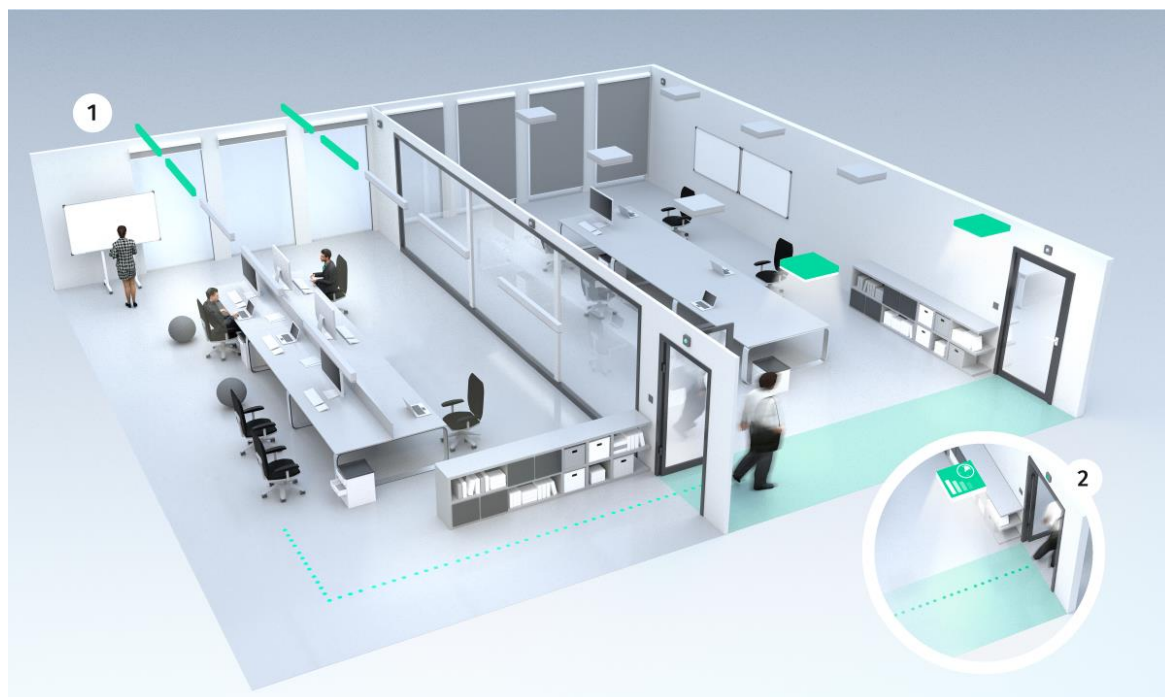


Рис 1.1. Поділ приміщення на зони освітлення

Якщо поглянете на кімнату праворуч (див. рис.1.1), можна помітити, що освітлена лише її частина. Це пов'язано з тим, що людина, яка заходить у кімнату, проходить по ній лише для того, щоб потрапити в інше приміщення - отже, немає необхідності вмикати все світло у даній кімнаті. В цьому випадку спрацьовують лише частина світильників, і як тільки людина виходить із кімнати, освітлення вимикається. За відсутності поділу простору на зону та встановлення відповідності між локальним освітленням та датчиками руху весь простір залишався б повністю освітленим весь час, що призводить до більших витрат електроенергії. Досвід впровадження та розрахунки підтверджують ефективність зондування зайнятості в офісних приміщеннях з точки зору енергоефективності.

Найбільш ефективним сценарієм з точки зору енергоефективності є той, коли датчики руху вбудовані безпосередньо в освітлювальні прилади. Це дозволяє кожному приладу реагувати автономно на сигнали від встановленого в ньому датчика. Такий підхід є ефективним для офісних приміщень або певних типів виробничих підприємств, оскільки кожна робоча станція розглядається як окрема зона, яка освітлюється лише за умови присутності працівника на своєму робочому місці.

Зондування зайнятості - це перевірена стратегія зменшення споживання енергії та витрат на освітлення. З цієї причини зондування часто є необхідною вимогою комерційних енергетичних кодексів будівель [8]. Потенційна економія, яку пропонує така система, суттєво залежить від типів приміщень, причому найбільші переваги можна отримати в тих, в яких працівники працюють з перервами – таких, як навчальні класи або кабінети. Однак загальне зниження світлового навантаження приблизно на 20-30% можна досягти таким чином у більшості комерційних середовищ.

Концепція зондування зайнятості практично однакова як у випадку дротових, так і бездротових систем керування освітленням. Бездротові рішення забезпечують гнучкість установки адаптивної сенсорної системи освітлення. Використання бездротових технологій значно скорочує час на встановлення

мережі датчиків та знижує трудомісткість процесу облаштування освітлювальної системи. Крім того, перевагою є відсутність необхідності фізичного прокладання кабелів. А проблема електроживлення датчиків ефективно вирішується за допомогою технології бездротового підключення Bluetooth Smart [9]. Завдяки підтримці протоколу «сонних вузлів», які проводять більшу частину часу в режимі очікування, а прокидаються лише на ID-звернення для виконання свого завдання, а потім знову переходять у режим сну, така система інтелектуального бездротового освітлення може працювати роками без заміни акумуляторів.

1.2.2. Адаптивне освітлення

Бездротові технології забезпечують надзвичайну гнучкість і щодо обслуговування системи адаптивного освітлення. З метою підвищення ефективності роботи, пристосування до потреб власників, особливостей користування мешканців, змін структури та нормативних регламентів, у систему протягом користування може і повинні вноситися зміни шляхом ручного налаштування. Побажаннями з боку користувачів може бути рівень освітленості або проміжок часу між моментом фіксації руху та перемиканням або затемненням світла. У розумній системі освітлення їх можна змінити за пару секунд лише за допомогою програми для смартфона.

Зондування зайнятості можна поєднувати з іншими стратегіями керування освітленням, щоб підвищити ефективність та знизити витрати. Використання датчиків навколишнього освітлення забезпечує додаткове вдосконалення керування освітленням завдяки підлаштування потужності штучного освітлення під поточний рівень.

Розглянемо існуючі технічні рішення щодо систем інтелектуального адаптивного керування освітленням.

1.3. Прототипи плат для керування освітленням

На сьогоднішній день є багато способів організації адаптивного освітлення за допомогою готових плат керування, таких як: Arduino, Raspberry Pi, NooLite, та інші. Ці плати дають змогу як пультового, так і дистанційного керування освітленням за допомогою додаткових виконавчих модулів різних типів.

1.3.1. Arduino

Arduino - це електронна платформа з відкритим кодом, заснована на простому у використанні апаратному та програмному забезпеченні [10]. Плати Arduino (рис 1.2) здатні оперувати з сигналами від датчиків освітлення, натискання клавіш та реагувати на повідомлення в соціальній мережі Twitter. Реакцією системи може бути запуск двигуна, ввімкнення світлодіодів та інших виконавчих пристроїв. Для цього потрібно організувати логіку роботи у вигляді набору інструкцій мікроконтролеру. Такі команди та інструкції задаються за допомогою мови програмування Arduino (на основі підключення) та програмного забезпечення Arduino IDE, заснованого на обробці даних.

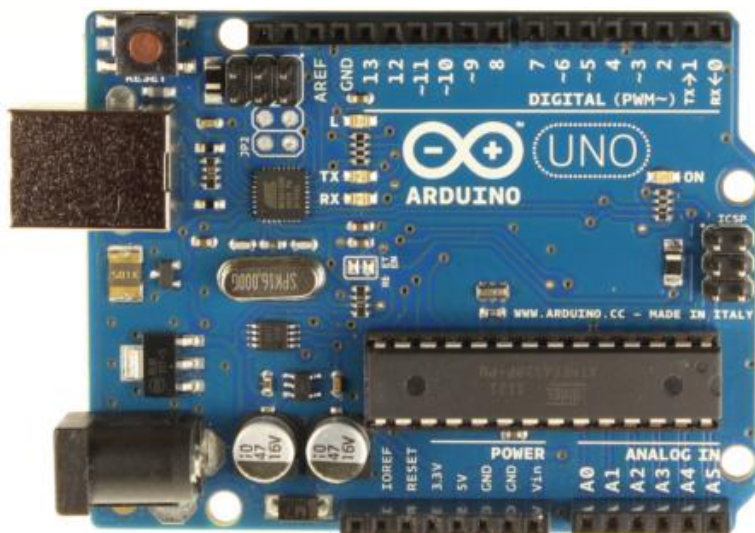


Рис 1.2. Зовнішній вигляд плати Arduino Uno R3 (фронтальний вигляд)

Завдяки простому та доступному для користувачів інтерфейсу, Arduino набуває все більшої популярності не лише для любительських, але й професійних застосувань та додатків. Програмне забезпечення Arduino є простим у використанні та опануванні початківцями, але при цьому досить гнучким та функціональним для досвідчених користувачів. Програма адаптована для різних операційних систем - Mac, Windows, Linux. Широкого застосування стенди на базі Arduino набули у навчального процесі закладів освіти – викладачі та студенти використовують його для побудови недорогих наукових інструментів, інженерних та дослідницьких проєктів в галузі програмування та робототехніки. Дизайнери та архітектори створюють інтерактивні прототипи, музиканти та художники використовують його для інсталяцій та експериментів з новими музичними інструментами. Виробники, звичайно, використовують його для побудови багатьох проєктів, виставлених, наприклад, на Maker Faire [11].

1.3.2. Raspberry Pi

Raspberry Pi – це одноплатний комп'ютер невеликого розміру (як кредитна картка), який має інтерфейси підключення до дисплею (монітору комп'ютера або телевізора), стандартної клавіатуру та миші [12]. Це багатофункціональний та достатньо потужний пристрій, який дозволяє реалізувати різноманітні обчислення. Програмування Raspberry Pi здійснюється на таких мовах, як Scratch та Python. Функціональність цього пристрою сумірна з функціональністю звичайного персонального комп'ютера, включаючи перегляд, редагування та відображення електронних документів, Інтернет-ресурсів, відтворення відео високої чіткості, тощо.

Raspberry Pi широко використовується в проєктах автоматизації різного призначення, починаючи від музичних машин, закінчуючи метеостанціями з інфрачервоними камерами [13].

1.3.3. NooLite

Система радіокерування NooLite - це технологія «розумного будинку» за доступною ціною. Система радіокерування NooLite складається з пультів радіозв'язку NooLite та радіо перемикачів NooLite (блоків живлення). Використання такої системи не потребує прокладання електричних кабелів: панель керування NooLite можна розмістити на будь-якій поверхні, яка не перешкоджає сигналу. Головною зручністю використання системи керування радіо NooLite є можливість керувати освітленням з будь-якого місця. Існує можливість встановити стільки консолей керування NooLite, скільки потрібно і де завгодно.

Система радіоконтролю NooLite є чудовою альтернативою прохідним вимикачам. Пульти дистанційного керування (передавачі) також працюють бездротово.

1.4. Постановка задачі

За статистичними даними на 2018 рік, в Україні було використано 29.5% електроенергії на потреби населення та 12.7% на комунально-побутові потреби, що складає 35.4 млн. кВт*год та 15.24 млн. кВт*год відповідно. З розвитком електроніки постає проблема скорочення енергозатрат. На малих підприємствах, в складських приміщеннях, житлових районах та навчальних закладах більша частина електроенергії споживається на освітлення.

Традиційно проблему енергоефективності штучного освітлення вирішують простими методами, такими як: фарбування стін та стелі в світлі кольори з більшим коефіцієнтом відбиття світла, заміна освітлювальних приладів на більш економічні, підтримання чистоти вікон та освітлювальних приладів, своєчасне вимикання світла, або вимикання світла за заданим графіком (освітлення на вулицях).

Також існують більш технологічні методи економії електроенергії: заміна застарілого обладнання на більш енергоефективне, установка приладів для

обліку споживання електроенергії (в тому числі багатотарифних), контроль режимів освітлення, установка систем автоматичного контролю рівня освітлення.

Найкращим варіантом вирішення такої проблеми є автоматизація освітлення. В залежності від типу території можна запропонувати декілька варіантів автоматизації освітлення:

- встановлення автоматичних датчиків освітлення, здатних подавати сигнал на вмикання / вимикання ламп, точкових світильників, ліхтарів та інших освітлювальних приладів залежно від ступеня освітленості навколишнього простору. Правильно встановлене та запрограмоване обладнання працює без втручання людини. Іншими словами, датчик світла (сутінкове реле) - це автоматичний вимикач, який контролює яскравість освітлення певної зони або приміщення в залежності від рівня природного освітлення;

- використання датчиків присутності, що можуть відслідковувати присутність людини в приміщенні і відповідно вмикати/вимикати освітлення в заданих зонах. Це забезпечить автоматичне вимикання освітлення в неробочих/незайнятих зонах;

- створення та запровадження систем адаптивного освітлення, що включає в себе відразу декілька факторів (наприклад, врахування рівня природного освітлення в приміщенні та присутності людини). Такі системи є повністю автоматичними за рахунок використання датчиків, контролерів та процесорів, що дають змогу знімати задані показники та приймати рішення про вмикання/вимикання освітлення у відповідних зонах.

Використання такої системи дозволяє забезпечити значну економію електроенергії. Використання датчиків освітлення дозволяє заощадити 10-15% електроенергії, використання датчиків присутності - 15-20%, система адаптивного освітлення дозволить заощадити 35-45% від споживаної на освітлення енергії.

Таким чином, задачею даної роботи є проектування системи адаптивного освітлення, яка враховуватиме фактор рівня зовнішнього (природного)

освітлення та фактор присутності людини, та даватиме змогу візуального контролю та переходу в ручний режим керування освітленням.

Висновки до розділу 1

При огляді технічної літератури було розглянуто існуючі системи «розумного будинку». Було проаналізовано переваги та недоліки таких систем, розглянуто системи адаптивного освітлення, наведено можливі методи контролю та керування освітленням. Запропоновано наближений до реального поділ середньостатистичного робочого приміщення на окремі зони освітлення.

Розглянуто та наведено коротке характеристичне пояснення прототипів плат, що можуть бути задіяні для створення системи адаптивного керування освітленням.

На підставі аналізу статистики використання електроенергії було розглянуто можливі шляхи економії електроенергії, що використовується для освітлення. Задачею дослідження є розробка системи адаптивного керування освітленням.

РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ

2.1. Типи та види джерел освітлення

2.1.1. Типи освітлення

Існує шість основних типів освітлення [14]:

- природне денне світло;
- освітлення лампами розжарювання;
- флуоресцентне освітлення;
- вольфрамово-галогенне освітлення;
- світлодіодне освітлення;
- освітлення високої інтенсивності (HID).

Природне денне світло

Природне денне світло - це джерело, за яким оцінюються всі інші джерела світла. Його використання має переваги та недоліки. Хоча прийнято вважати, що денне світло має позитивний психологічний вплив на людину, освітленість на відкритому повітрі сильно коливається - вона може досягати 120 000 люкс, коли опівдні є прямі сонячні промені, на які може бути боляче дивитись, або вона може бути нижчою за 5 люкс – за суттєво похмурої погоди. Люди з вадами зору та іншими особливостями сприйняття можуть мати проблеми з адаптацією до різної кількості природного світла в дні, які періодично сонячні та похмурі.

Природне денне світло - одна з найбільших причин відблисків і тіней в інтер'єрах будівель. В середині будівлі денне світло повинне бути розсіяним і рівномірним, не викликаючи відблисків і тіней. І те, і інше може бути проблематичним для людей із вадами зору. Ефективні методи контролю відблисків і тіней включають тонування віконного скла, використання напівпрозорих систем настінних панелей, зовнішніх тентів та навісів. На

існуючі вікна та скління встановлюються спеціальні плівки, що зменшують сонячне та видиме випромінювання [15].

Люди з вадами зорового сприйняття відчують труднощі при переміщенні між областями, де існує великий контраст рівня світла. Важливо забезпечити достатній рівень освітленості, особливо біля входів до будинків та приміщень, а також у місцях, де наявні перешкоди (пороги, сходинки, тощо). Внутрішній та зовнішній рівні освітленості повинні бути якомога ближчими.

Застосування вхідних навісів може ефективно зменшити відблиски від природних джерел світла, але вони також можуть приховати вхід від очей людини зі слабким зором. Подібним чином сходи, розташовані зовні, повинні бути постійно добре видні та ніколи не затінюватися навісами чи іншими предметами.

Для будівель існує багато способів пом'якшити як відблиски, так і надмірне сонячне освітлення. Внутрішні віконні покриття, що забезпечують затінення 97-100% (99% рекомендується для західних експозицій) можуть бути автоматизовані для реагування на відблиски. Комп'ютеризовані системи керування дозволяють визначити стан відблиску відповідно до потреб користувачів.

Природне освітлення можна посилити, використовуючи світлі полицки, які являють собою горизонтальні площини або ряд параболічних жалюзі на висоті близько 2280 мм від підлоги, які відбивають непряме світло від стелі та глибше в будівлю. Використання їх у поєднанні з автоматизованим керуванням штучним освітленням (тобто відключення світильників за умови достатньої інтенсивності природного світла) ефективно створює більше непрямого світла, яке не має відблисків. Це також економить енергію.

Мансардні вікна та інші джерела природного світла слід розташовувати так, щоб сонячне світло не проникало безпосередньо у внутрішній простір. Якщо це неможливо, слід скористатися тонованим склінням або іншими засобами затінення.

Освітлення лампами розжарювання

Освітлення лампами розжарювання (рис 2.1) є досить застарілою на сьогоднішній день технологією. Лампи цього типу продукують і тепло, і світло. За параметрами освітлення вони є хорошою альтернативою природному світлу, оскільки їх кольоровий спектр ближчий до природного світла, ніж для інших джерел.



Рис 2.1. Будова лампи розжарювання

Лампи розжарювання не забезпечують енергоефективність, тому вони все більше замінюються на інші освітлювальні пристрої – люмінесцентні лампи, світлодіодні індикатори та світлодіоди, які дають більше видимого світла при однаковій кількості введеної електричної енергії [16].

Флуоресцентне освітлення

Флуоресцентне освітлення споживає менше електроенергії, служить довше і не випромінює стільки тепла, як лампи розжарювання. Освітлювальні

прилади виконуються у формі трубок, які створюють лінію світла, що є традиційним освітлювальним середовищем у великих будівлях та офісах. Прилад може бути оформлений також у формі лампи, що відомо як компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ). КЛЛ забезпечують хороше загальне освітлення і є досить популярними у використанні. Багато юридичних нормативів заохочують їх використання як енергозберігаючий захід за допомогою програм економічного та законодавчого стимулювання [17].

У флуоресцентній лампі світло більш рівномірно розподілене без точкового джерела відблисків, яке виробляється ниткою розжарювання.

Основний недолік флуоресцентного освітлення полягає у незначному мерехтінні, яке воно виробляє [17]. Існує кілька способів протидії цьому ефекту – зокрема, використання відповідних лінз або екранування джерела світла для забезпечення рівного непрямого освітлення. Також використовуються дві трубки, що працюють у фазовій опорі. Ці світильники створюють суттєво зменшене мерехтіння при використанні як непрямого джерела світла або в поєднанні з призматичними дифузійними кришками, ґратами, напівпрозорими відтінками або панелями покриття.

Флуоресцентне освітлення має різні відтінки в спектрі світла. Холодні «сині» тони минулого не дуже підходили до природного світла. Сьогоднішні кращі рецептури фосфору всередині пробірок забезпечують більш теплі тони. Найкращі «м'які» або «теплі» білі флуоресцентні лампи, які зараз доступні, за кольоровою температурою наближені до параметрів стандартного освітлення.

Флуоресцентні освітлювальні прилади з можливістю затемнення, які використовують електронні баласти, що працюють на високій частоті, зменшать як мерехтіння світла, так і споживання енергії. Зменшене мерехтіння менш втомлює та відволікає увагу людей похилого віку та людей із вадами зору - особливо тих, хто покладається на периферійний зір.

Застосовуючи лінійне розташування флуоресцентного освітлення в коридорах, дизайнери можуть скористатися їх атрибутом спрямованості, встановивши трубки одним із двох способів:

- **центральний:** Розміщення світильника посередині коридору забезпечує візуальну підказку для орієнтації, допомагаючи визначити праву та ліву сторони коридору. Цього можна досягти як непрямым, так і прямим освітленням. У разі використання непрямого освітлення центр стелі коридору виглядає у вигляді темної лінії з рівномірним, розсіяним, непрямым світлом на стелі без відблисків.
- **бічний:** Розміщення світильників з двох сторін коридору там, де стіни стикаються зі стелею, забезпечує подібний візуальний сигнал, який визначає ширину проходу та полегшує навігацію. У цьому випадку освітлення є непрямым - флуоресцентні трубки заправляються у валики або світлі бухти уздовж боків.

Вольфрамowo-галогенне освітлення

Вольфрамowo-галогенне освітлення - це тип лампи розжарювання, коли нитка розжарювання оточена інертним газом і невеликою кількістю галогену (рис .2.4), що робить лампочку більш ефективною і збільшує термін її служби.

Галогенне освітлення виробляє яскраве біле світло і забезпечує більшу питому освітленість (на 1 Вт потужності), ніж звичайні лампи розжарювання, що робить його хорошим джерелом освітлення.



Рис 2.2 Вольфрамowo-галогенна лампа

Оскільки галогенні ліхтарі є досить яскравими, необхідно враховувати положення ламп для зменшення негативних ефектів відблисків та тіні.

Галогенні лампи також віддають велику кількість тепла, що є важливим фактором безпеки в будь-якому приміщенні. Не допускається розміщення галогенних ламп у зонах, розташованих нижче від лінії зору людини.

Світлодіодне освітлення

Світлодіодне освітлення є енергоефективним джерелом світла та характеризується простотою схемної реалізації. Світлодіодні лампи виробляють світло, дуже схоже за параметрами на денне, що робить ці лампи практичними та найбільш ефективними у використанні. Вони часто використовуються як спрямоване джерело світла, щоб сфокусувати світло на об'єктах або елементах споруди. Світлодіоди також можна налаштувати на масиви всередині лампочок, забезпечуючи різноспрямоване освітлення, подібне до того, яке виробляється лампами розжарювання.

Світлодіодні лампи не виробляють ультрафіолетового (УФ) випромінювання і майже не продукують тепла, що робить їх найбільш придатними для освітлення предметів, чутливих до ультрафіолетового світла, таких, як твори мистецтва.

Світлодіодні лампи, які раніше традиційно використовувалися в якості індикаторних ліхтарів на електронних пристроях, тепер знайшли широке застосування, включаючи вивіски, вуличні ліхтарі та архітектурне освітлення деталей. Світлодіодне освітлення також використовується як робоче або точкове освітлення у побуті.

Перевагами світлодіодних джерел освітлення є:

- миттєва комутація;
- можливість плавного регулювання (у випадку ліхтарів з великою кількістю світлодіодів);
- можливість забезпечення будь-якої кольорової температури та спектру освітлення;

- безшумна робота;
- низьковольтне джерело живлення (що підвищує безпеку);

Завдяки цим перевагам світлодіодні освітлювальні прилади стають все більш поширеними та доступними.

Газорозрядне освітлення високої інтенсивності

HID-лампочки (High Intensity Discharge) - це тип дугових ламп, які мають більший термін служби і забезпечують більшу питому освітленість (люменів/Вт), ніж будь-яке інше джерело світла. Вони доступні у парах ртуті, галогенідах металів та натрію високого та низького тиску.

Лампи з паровим натрієм низького тиску надзвичайно ефективні. Вони виробляють глибоке жовто-оранжеве світло і мають ефективний показник кольоропередачі (близький до нуля). Предмети, розглянуті під їх світлом, виглядають однотонними, що є особливо важливим для людей із вадами зорового сприйняття. Галогенідні та керамічні галогенідні лампи можуть створювати нейтральне біле світло, що корисно для застосувань, де критичними є параметри кольоропередачі (наприклад, виробництво телевізорів та кінофільмів, спортивні ігри в приміщенні чи вночі, автомобільні фари та освітлення акваріумів).

Натрієві лампи високого тиску, як правило, видають світло, спектр якого найбільш близький до білого, але все одно з характерним помаранчево-рожевим відтінком. Сучасні лампи мають вбудовані засоби корекції кольору.

Лампи HID зазвичай використовуються на великих територіях, де потрібен високий рівень верхнього освітлення, і коли бажана енергоефективність та / або інтенсивність світла (наприклад, спортзали, великі громадські площі, склади, кінотеатри, футбольні стадіони, майданчики для активного відпочинку, проїжджі частини, стоянки ділянки та шляхи). Зовсім недавно лампи HID, особливо галогенідні, використовувались у невеликих торгових та житлових приміщеннях. Лампи HID зробили внутрішнє

садівництво практичним, особливо для рослин, які потребують великої кількості сонячного світла високої інтенсивності.

2.1.2. Види освітлювальних ламп

Лампи розжарювання

У цих лампах використовується вольфрамова нитка в інертному газі або вакуумі зі скляною оболонкою. Інертний газ пригнічує випаровування вольфраму і зменшує почорніння оболонки. Існує велика різноманітність форм ламп, які здебільшого мають декоративний вигляд.

Лампи розжарювання все ще популярні для побутового освітлення через їх низьку вартість і компактні розміри. Однак для комерційного та промислового освітлення низька ефективність породжує дуже високі експлуатаційні витрати, тому розрядні лампи є звичайним вибором. Лампа потужністю 100 Вт має типову ефективність 14 люмен / ват порівняно з 96 люменом / ват для флуоресцентної лампи потужністю 36 Вт.

Лампи розжарювання легко затемнити, зменшуючи напругу живлення, і все ще використовуються там, де затемнення є бажаною функцією керування.

Вольфрамова нитка - це компактне джерело світла, яке легко фокусується за допомогою відбивачів або лінз. Лампи розжарювання корисні для освітлення дисплея, де необхідний контроль напрямку.

Вольфрамові галогенні лампи

Вони схожі на лампи розжарювання і виробляють світло таким же чином з вольфрамової нитки. Однак лампочка містить газ галогену (бром або йод), який активно контролює випаровування вольфраму (рис. 2.3).

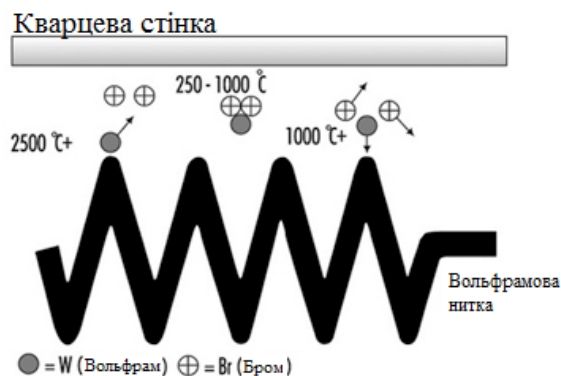


Рис 2.3. Цикл галогенів

Фундаментальним для циклу галогенів є мінімальна температура стінки колби 250 °C, що гарантує, що галогенід вольфраму залишається в газоподібному стані і не конденсується на стінці колби. Ця температура означає лампочки, виготовлені з кварцу замість скла. За допомогою кварцу можна зменшити розмір цибулини.

Більшість вольфрамових галогенних ламп мають більший термін служби порівняно з розжареними еквівалентами, а нитка розжарювання має більш високу температуру, створюючи більше світла і біліший колір.

Галогенні лампи з вольфраму стали популярними там, де головною вимогою є невеликі розміри та висока продуктивність. Типовими прикладами є сценічне освітлення, включаючи фільми та телевізор, де регулювання напрямку та затемнення є загальними вимогами.

Низьковольтні вольфрамові галогенні лампи

Вони спочатку були розроблені для слайдів та кінопроекторів. При напрузі живлення 12 В нитка розжарювання для тієї ж потужності, що і 230 В, стає меншою та товстішою. Більша маса нитки дозволяє підвищити робочу температуру, збільшуючи світловіддачу. Товста нитка є більш міцною. Ці переваги були зрозумілі як корисні для комерційного ринку дисплеїв, і навіть незважаючи на необхідність застосування знижувального трансформатора, зараз ці лампи домінують у освітленні вітрин (рис. 2.4).

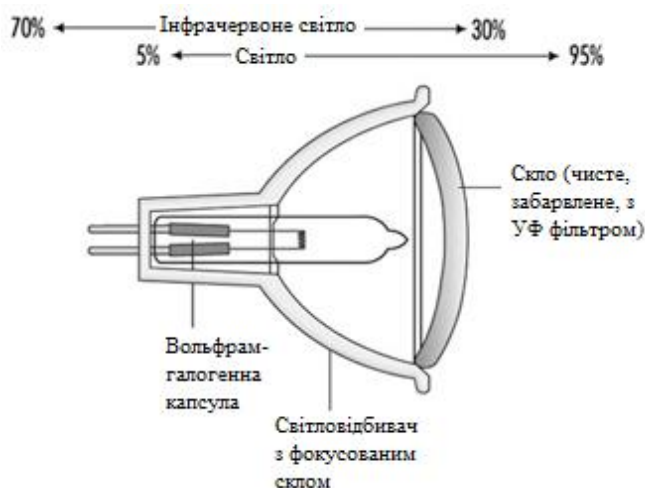


Рис 2.4. Низьковольтна дихроїчна відбивна лампа

Хоча користувачі кінопроекторів прагнуть отримати якомога більшу інтенсивність світла, занадто багато тепла пошкоджує прозоре середовище. Розроблено спеціальний тип відбивача, який відображає лише видиме випромінювання, дозволяючи інфрачервоному випромінюванню (теплу) проходити через задню частину лампи. Зараз ця функція є частиною багатьох низьковольтних рефлекторних ламп для освітлення дисплея, а також обладнання проектора.

Усі лампи розжарювання чутливі до змін напруги, і це впливає на світловіддачу та термін служби. Заходи "гармонізації" напруги живлення у Європі на рівні 230 В досягається за рахунок збільшення допусків, до яких можуть працювати генеруючі органи. Допуски $\pm 10\%$ відповідають діапазону напруги від 207 до 253 В. Галогенні лампи розжарювання та вольфрамові лампи не можуть ефективно експлуатуватися в цьому діапазоні, тому необхідно встановити відповідність фактичної напруги живлення номіналу лампи (рис. 2.5).

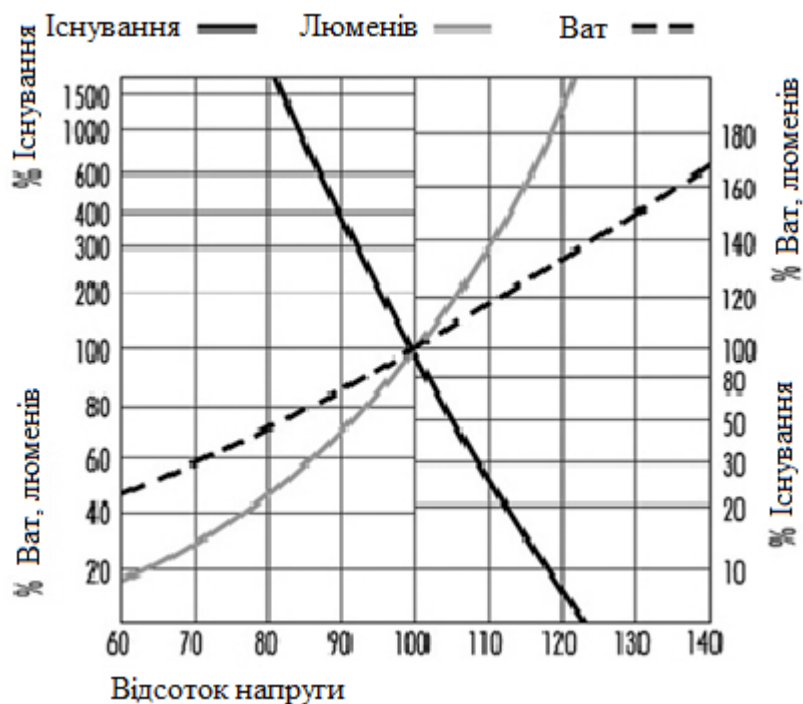


Рис 2.5. Залежність існування заряду від напруги живлення в лампах розжарювання GLS

На розрядні лампи також впливатиме це широке коливання напруги, тому правильна специфікація пристрою керування стає важливою.

Трубчасті люмінесцентні лампи

Це ртутні лампи низького тиску, доступні у версіях із «гарячим катодом» та «холодним катодом». Перший - це звичайна флуоресцентна трубка. "Гарячий катод" передбачає запуск лампи попереднім нагріванням електродів для створення достатньої іонізації газу та пари ртуті для встановлення розряду.

Лампи з холодним катодом в основному використовуються для освітлення вивісок та реклами (рис 2.6).

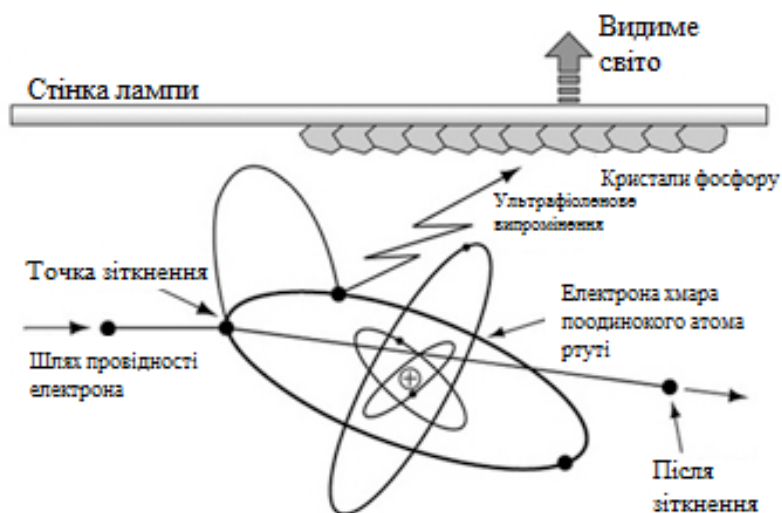


Рис 2.6. Принцип роботи люмінесцентної лампи

Люмінесцентні лампи вимагають зовнішнього регулюючого механізму для запуску та контролю струму лампи. Окрім невеликої кількості парів ртуті, є вихідний газ (аргон або криптон).

Низький тиск ртуті породжує розряд блідо-блакитного світла. Основна частина випромінювання знаходиться в УФ-області при довжині хвилі 254 нм, що є характерною частотою випромінювання для ртуті. Всередині стінки трубки знаходиться тонке фосфорне покриття, яке поглинає УФ і випромінює енергію у вигляді видимого світла. Якість кольору світла визначається фосфорним покриттям. Доступний ряд люмінофорів різного вигляду кольору та передачі кольорів.

Сучасні вузько смугові люмінофори є більш міцними, мають кращий рівень просвіту та збільшують термін служби лампи.

Компактні люмінесцентні лампи

Люмінесцентна лампа не є практичною заміною лампи розжарювання через її лінійну форму. Невеликі вузькопрохідні трубки можуть бути сконфігуровані приблизно такого ж розміру, що і лампа розжарювання, але це призводить до суттєво більшого електричного навантаження на люмінофорний

матеріал. Використання трифосфорів має важливе значення для досягнення прийнятного терміну служби лампи (рис. 2.7).

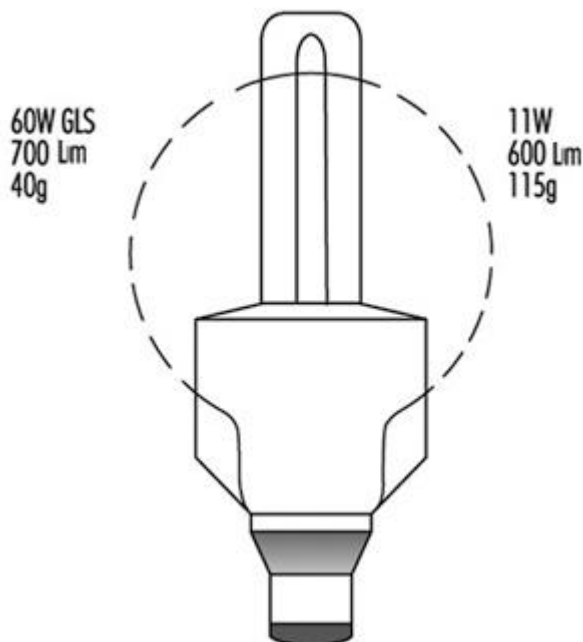


Рис 2.7. Компактна флуоресцентна чотиринога лампа

Усі компактні люмінесцентні лампи використовують трифосфори, тому, коли вони використовуються разом з лінійними люмінесцентними лампами, останні також повинні бути трифосфорними для забезпечення послідовності кольорів.

Деякі компактні лампи включають в себе робочий механізм керування для формування пристосованих пристроїв для ламп розжарювання. Асортимент збільшується і дозволяє легко модернізувати існуючі установки до більш енергоефективного освітлення. Ці інтегральні блоки не підходять для затемнення, якщо це було частиною вихідних елементів керування.

При зміні частоти напруги живлення до 30 кГц ефективність флуоресцентних ламп збільшується на 10%. Електронні схеми можуть працювати на окремих лампах на таких частотах. Це забезпечує сумісність упаковки просвіту з тією перевагою, що зменшене навантаження лампи значно

збільшить термін служби лампи. Електронний пристрій керування здатний працювати в широкому діапазоні напруги живлення.

Немає загального стандарту електронного приладу керування, і ефективність ламп може відрізнятися від опублікованої інформації, виданої виробниками ламп. Застосування високочастотного електронного приладу усуває звичайну проблему мерехтіння.

Індукційні лампи

Нещодавно на ринку з'явилися світильники з використанням принципу індукції. Вони являють собою ртутні лампи низького тиску з трифосфорним покриттям і подібні до люмінесцентних ламп. Енергія передається в лампу високочастотним випромінюванням приблизно на 2,5 МГц від антени, розташованої всередині лампи. Фізичний зв'язок між колбою лампи та котушкою відсутній. Без електродів та інших дровових з'єднань конструкція розвантажувальної посудини простіша і довговічніша. Термін служби лампи головним чином визначається надійністю електронних компонентів та підтримкою просвіту фосфорного покриття.

Ртутні лампи високого тиску

Розряди високого тиску є більш компактними і мають більші електричні навантаження; тому їх застосування передбачає наявність кварцових дугових трубок для забезпечення надійної роботи в умовах підвищеного тиску і температур. Дугова трубка міститься у зовнішній скляній оболонці з азотною або аргоно-азотистою сумішшю для зменшення окислення та дугової обробки. Лампа ефективно фільтрує УФ-випромінювання від дугової трубки (рис. 2.8).

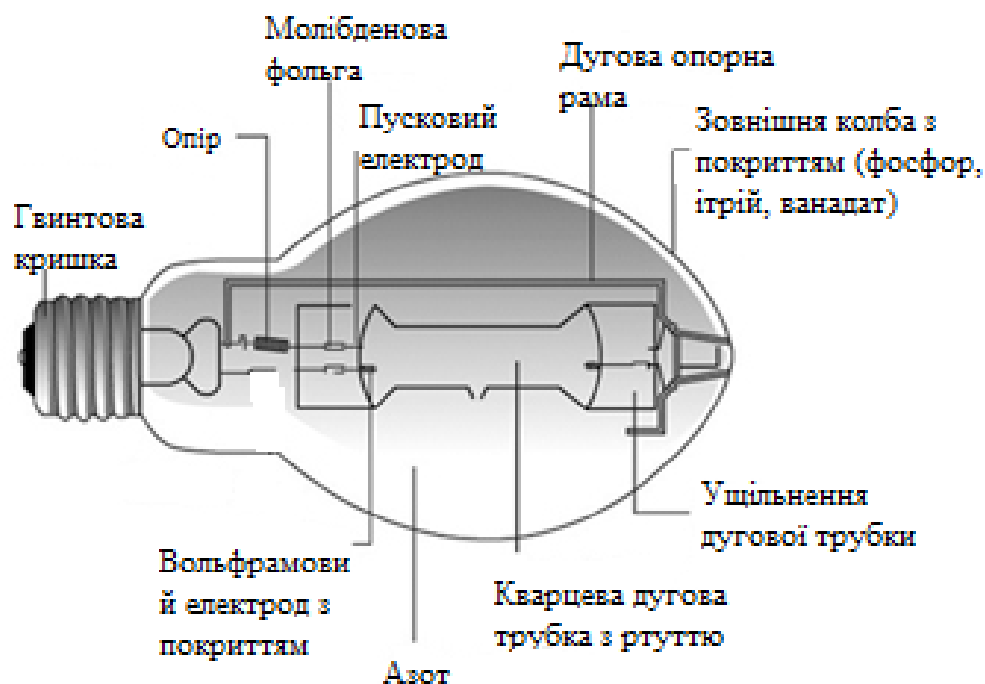


Рис 2.8. Конструкція ртутної лампи

При високому тиску розряд ртуті випромінює світло переважно синього та зеленого відтінку. Для поліпшення кольору у фосфорне покриття зовнішньої колби додають червоне світло. Є покращені версії із підвищеним вмістом червоного, які забезпечують вищу світловіддачу та покращену передачу кольорів.

Для всіх розрядних ламп високого тиску потрібен час, щоб досягти повної потужності. Початковий розряд відбувається через провідну газову заливку, і метал випаровується в міру підвищення температури лампи.

При стабільному тиску лампа не відразу ж перезапуститься без спеціального механізму керування. Існує затримка, коли лампа досить охолоджується, а тиск зменшується, так що нормальна напруга живлення або ланцюг запалювання є достатніми для відновлення дуги.

Розрядні лампи мають характеристику негативного опору, і тому зовнішній регулятор необхідний для контролю струму. Через ці компоненти механізму керування виникають втрати, тому користувач повинен враховувати загальну вату, враховуючи експлуатаційні витрати та електричну установку. Існує виняток для ртутних ламп високого тиску, і один тип містить

вольфрамову нитку розжарювання, яка одночасно діє як обмежувач струму і додає теплих кольорів синьо-зеленому розряду. Це дозволяє здійснювати пряму заміну ламп розжарювання.

Незважаючи на те, що ртутні лампи мають тривалий термін служби (близько 20 000 годин), їх світлопродуктивність знижується приблизно до 55% від початкової наприкінці цього періоду, і тому економічний термін служби може бути коротшим.

Галогенідні лампи

Колір і світловіддачу ртутних розрядних ламп можна покращити, додаючи різні метали у ртутну дугу. Для кожної лампи доза невелика, і для точного нанесення зручніше обробляти метали у вигляді порошку галогенідами. У металогалогенній лампі може використовуватися безліч різних металів, кожен з яких видає певний характерний колір. До них належать:

- диспрозіум — синьо-зелений;
- індій — блакитний;
- літій — червоний
- скандій — синьо-зелений;
- натрій — жовтий;
- талій — зелений;
- олово — оранжево-червоне.

Стандартної суміші металів не існує, тому галогенідні лампи різних виробників можуть бути несумісними за зовнішнім виглядом або експлуатаційними характеристиками. Для ламп з нижчими показниками потужності від 35 до 150 Вт існує фізична та електрична сумісність із загальним стандартом.

Для галогенідних ламп потрібні засоби керування, але відсутність сумісності означає, що для забезпечення правильних умов запуску та роботи необхідно поєднувати кожну комбінацію лампи та шестерні.

Натрієві лампи низького тиску

Дугова трубка за своїми розмірами схожа на флуоресцентну трубку, але виготовлена із спеціального шару із внутрішнім покриттям, стійким до натрію. Дугова трубка виконана у вузькій формі «U» і міститься у зовнішній вакуумній сорочці для забезпечення термостабільності. Під час запуску лампи мають сильне червоне світіння від неонові газової заливки.

Характерним випромінюванням пари натрію низького тиску є однотонний жовтий. Це наближається до пікової чутливості людського ока, а натрієві лампи низького тиску є найефективнішими лампами, доступними майже 200 люмен / ват. Однак застосування обмежується лише тим, де кольорова дискримінація не має візуального значення, наприклад, магістральні дороги та підземні переходи та житлові вулиці.

У багатьох ситуаціях ці лампи замінюють натрієвими лампами високого тиску. Їх менші розміри забезпечують кращий оптичний контроль, особливо для освітлення дороги, де зростає занепокоєння через надмірне світіння неба.

Натрієві лампи високого тиску

Ці лампи схожі на ртутні лампи високого тиску, але забезпечують кращу ефективність (понад 100 люмен / ват) та чудове обслуговування люменів. Реакційна природа натрію вимагає виготовлення дугової трубки з напівпрозорого полікристалічного оксиду алюмінію, оскільки скло або кварц непридатні. Зовнішня скляна колба містить вакуум для запобігання дуги та окислення. Від розряду натрію відсутнє УФ-випромінювання, тому фосфорні покриття не мають значення. Деякі лампи мають матове покриття для розсіювання світла (рис 2.9).

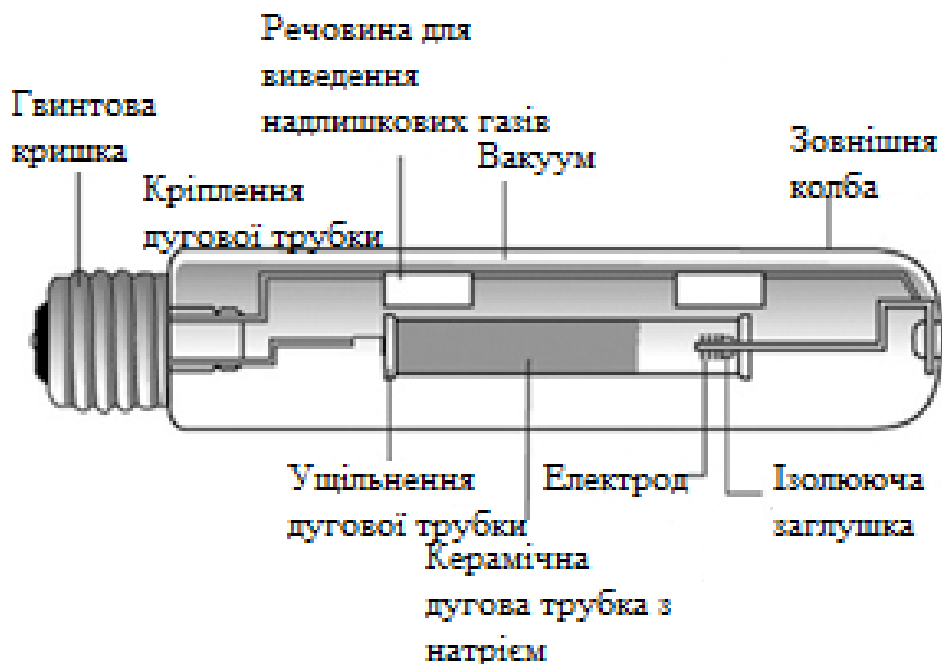


Рис 2.9. Конструкція натрієвої лампи високого тиску

Зі збільшенням тиску натрію випромінювання стає широкою смугою навколо жовтого піку, а зовнішній вигляд золотисто-білого кольору. Однак із збільшенням тиску ефективність знижується.

2.2. Датчики освітлення та руху

Світловий датчик - це пасивні пристрій, який перетворює світлову енергію видимої або інфрачервоної частини спектра у вихідний електричний сигнал. Датчики світла більш відомі як фотоелектричні прилади або фотосенсори, оскільки перетворюють світлову енергію (фотони) в електрику (електрони) [18].

Датчик світла генерує вихідний сигнал, що вказує на інтенсивність світла, вимірюючи енергію випромінювання, яка існує в дуже вузькому діапазоні частот, в основному називається "світло", і яка варіюється в частоті від інфрачервоного до ультрафіолетового спектру.

Фотоелектричні пристрої можна згрупувати за двома основними категоріями: ті, що виробляють електроенергію при освітленні (фотоелектричні

та фотоємисійні), та ті, які якимось чином змінюють свої електричні властивості – фоторезистори або фотопровідники. Це призводить до наступної класифікації пристроїв:

- фотоємисійні пристрої - це фотопристрої, які звільняють вільні електрони від світлочутливого матеріалу, такого як цезій, при ударі фотоном достатньої енергії. Кількість енергії, яку мають фотони, залежить від частоти світла і чим вище частота, тим більше енергії мають фотони, перетворюючи світлову енергію в електричну;

- фотопровідні пристрої – це фотопристрої, які змінюють свій електричний опір під впливом світла. Фотопровідність виникає внаслідок потрапляння світла на напівпровідниковий матеріал, який контролює потік струму через нього. Таким чином, більше світла збільшує силу струму для даної прикладеної напруги. Найпоширенішим фотопровідним матеріалом є сульфід кадмію, який використовується у фотоелементах LDR;

- фотовольтаїчні пристрої – це фотопристрої, які генерують ЕРС, пропорційну отриманій енергії випромінюваного світла (ефект, схожий на фотопровідність). Світлова енергія потрапляє на два напівпровідникові матеріали, зібрані між собою, створюючи напругу приблизно 0,5 В. Найпоширенішим фотоелектричним матеріалом є селен, що використовується в сонячних елементах;

- пристрої фотопереходу - це фотопристрої, які в основному є справжніми напівпровідниковими приладами, такими як фотодіод або фототранзистор та використовують світло для керування потоком електронів і дірок через їх р-n-перехід.

Датчик присутності - це пристрій для виявлення руху в приміщенні, який використовується для виявлення присутності людини для автоматичного керування освітленням, системою температури або вентиляції. Датчики використовують інфрачервону, ультразвукову, мікрохвильову або інші технології. Цей термін охоплює такі різні пристрої, як датчики PIR, замки клавіатури в готельному номері та розумні лічильники. Датчики присутності

зазвичай використовуються для економії енергії, забезпечення автоматичного керування та дотримання будівельних норм.

Типи датчиків присутності включають:

- датчики PIR (Passive infrared sensor), які працюють на виявлення різниці тепла, вимірюючи інфрачервоне випромінювання. Усередині пристрою знаходиться піроелектричний датчик, який може виявляти раптову присутність предметів (наприклад, людей), які випромінюють температуру, відмінну від температури фону, наприклад кімнатну температуру стіни;

- датчики навколишнього середовища, такі як датчики температури, вологості та CO₂, які виявляють зміни в навколишньому середовищі внаслідок присутності людини; [19]

- ультразвукові датчики, схожі на радіолокаційні. вони працюють за принципом доплерівського зсуву. Ультразвуковий датчик буде посилати високочастотні звукові хвилі в зону і перевірятиме їх відбиті структури. Якщо відображений малюнок постійно змінюється, тоді він передбачає наявність місця і підключене світлове навантаження включено. Якщо відображена картина однакова протягом заданого часу, то датчик припускає, що немає місця, а навантаження вимкнено;

- мікрохвильові датчики. Подібно до ультразвукового датчика, мікрохвильовий датчик також працює за принципом доплерівського зсуву. Мікрохвильовий датчик надсилатиме високочастотні мікрохвильові печі в зону та перевірятиме їх відображення. Якщо відображений малюнок постійно змінюється, тоді він передбачає наявність місця і підключене світлове навантаження включено. Якщо відображена картина однакова протягом заданого часу, то датчик припускає, що немає місця, а навантаження відключена. Мікрохвильовий датчик має високу чутливість, а також дальність виявлення порівняно з іншими типами датчиків;

- слоти для світлових карток, що використовуються в системі керування енергією готелю для виявлення місця в готелі, вимагаючи від гостя помістити свою карту ключів у слот для активації освітлення та термостатів [20];

- розумні лічильники, які працюють, виявляючи зміни в структурі споживання енергії, які мають різні характеристики для зайнятого та вільного стану приміщення;
- дверний перемикач;
- виявлення звуку.

2.2.1. Датчик освітленості LM393

Модуль освітленості на LM393 використовується для вимірювання інтенсивності світла в різних приладах. Вимірювання проводяться за допомогою світлочутливого елемента (фоторезистора), який змінює опір залежно від освітленості [21].

Існує два типи модулів, візуально різниця полягає лише в кількості виводів (3-контактний та 4-контактний), додатковий вивід додано для прямого зчитування з фоторезистора (аналоговий вихід). У цих двох модулях вимірювання здійснюється за допомогою фоторезистора, який змінює напругу в ланцюзі залежно від кількості світла, що потрапляє на нього.

Освітлювальний модуль з чотирма виходами містить два вихідні контакти, аналоговий і цифровий, і два контакти для підключення живлення. Для зчитування аналогового сигналу передбачений окремий вивід «АО», з якого можна зчитувати показники напруги від 0 В... 3,3 В або 5 В, залежно від використовуваного джерела живлення. Зробити цифровий вихід, встановити на журнал "0" або журнал "1", залежно від яскравості, вихідну чутливість можна регулювати за допомогою поворотного потенціометра. Вихідний струм цифрового виходу здатний подавати більше 15 мА, що значно спрощує використання модуля і дає можливість використовувати його в обхід контролера Arduino і підключаючи його безпосередньо до входу одноканального реле або одного входів двоканального реле. Принципова схема світлового модуля на LM393 з 3-контактним та 4-контактним контактами наведена нижче (рис.2.10,а,б).

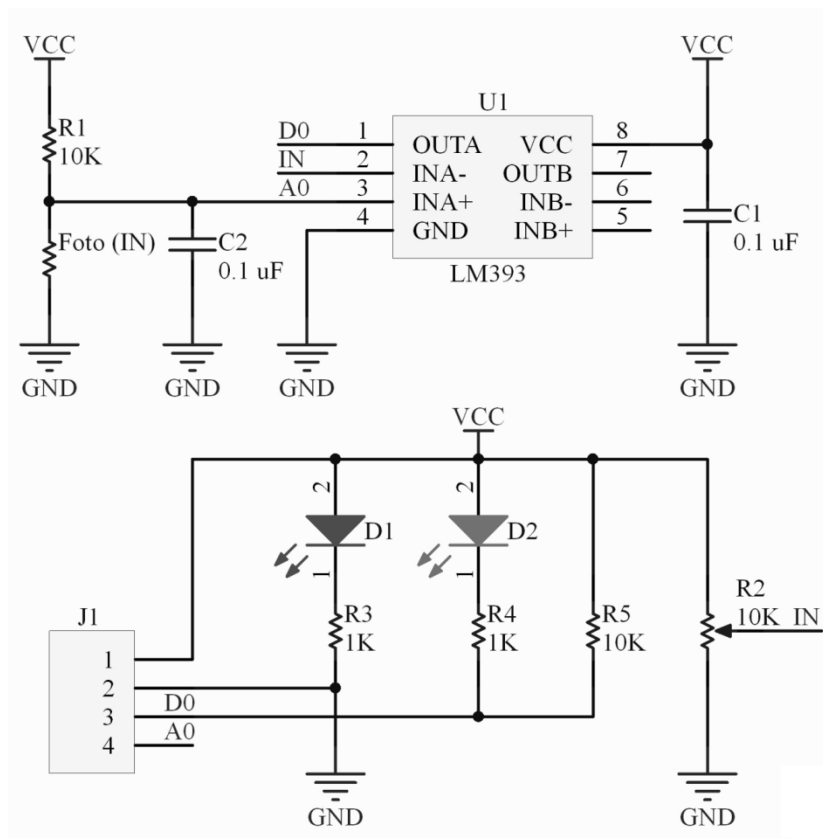


Рис 2.10(а). Принципова схема модуля освітленості на LM393 з 4 виводами

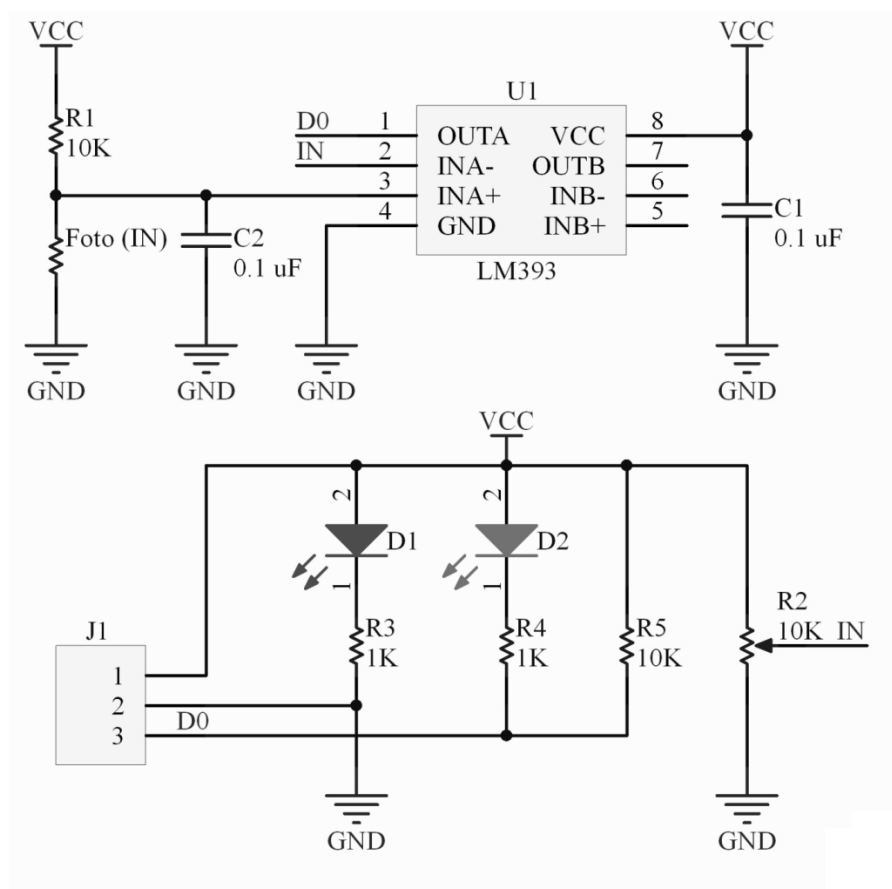


Рис 2.10(б). Принципова схема модуля освітленості на LM393 з 3 виводами

2.2.2. Датчик освітленості BH1750

BH1750 - це цифровий датчик освітлення, який зазвичай використовується в мобільних телефонах для керування яскравістю екрану на основі освітлення навколишнього середовища. Цей датчик може точно вимірювати значення LUX світла до 65535lx.

BH1750 - це датчик інтенсивності світла, який можна використовувати для регулювання яскравості дисплея в мобільних та ПК-дисплеях. Також його можна використовувати для включення / вимкнення фар автомобілів на основі зовнішнього освітлення. Датчик використовує протокол зв'язку I2C, що робить його надзвичайно простим у використанні з мікроконтролерами. Виводи SCL і SDA призначені для I2C. Для вимірювання величини LUX не потрібні розрахунки, оскільки датчик безпосередньо дає значення люкс. Власне, він вимірює інтенсивність відповідно до кількості світла, що потрапляє на нього. Він працює на діапазоні напруги 2,4 В-3,6 В і споживає дуже малий струм 0,12 мА. Результати роботи датчика не залежать від використовуваного джерела світла, а вплив ІЧ-випромінювання набагато менше. Існує набагато менше шансів на будь-яку помилку, оскільки варіація вимірювань становить лише +/- 20%.

Особливості BH1750

- блок живлення: 2,4 В-3,6 В (зазвичай 3,0 В);
- менше споживання струму: 0,12 мА;
- діапазон вимірювання: 1-65535lx;
- зв'язок: шина I2C;
- точність: +/- 20%;
- вбудований цифровий перетворювач для перетворення аналогової освітленості в цифрові дані;
- дуже малий ефект ІЧ-випромінювання.

2.2.3. Датчик присутності HC SR501

Датчик руху HC SR501 PIR також називається піроелектричним, пасивним інфрачервоним або ІЧ-датчиком руху. Як показано на зображенні вище, це невеликі друковані плати розміром приблизно 1,2 x 0,9 дюйма з датчиком руху PIR, встановленим на лицьовій стороні та покритим білою лінзою Френеля, що підвищує ефективність лінзи і одночасно захищає її. Тильна сторона друкованої плати - це мікросхема з мікросхемою, і всі компоненти потрібні для обробки інформації, отриманої від датчика.[22]

Модуль датчика руху PIR або технологія зондування руху PIR працює, відчувачи, що відбувається зміна інфрачервоного випромінювання або тепла, яке генерується тілом людини або тварини під час руху або руху. Коли піроелектричний датчик виявляє це явище, він посилає вихідний сигнал, який далі обробляється мікросхемою BISS0001. BISS001 - це малопотужний, високоякісний та надійний чіп обробки сигналів PIR, який побудований за технологією CMOS. Після обробки сигналу мікросхемою і якщо сигнал відповідає дійсності, вихід мікросхеми стає високим протягом певного періоду часу, який можна регулювати за допомогою змінного резистора, що використовується в цьому модулі.

Регулювання чутливості модуля та затримки часу

Схема на задній стороні також містить два змінних резистори / регулятори, один змінний резистор призначений для регулювання чутливості модуля, або іншими словами, ми можемо сказати діапазон виявлення модуля, а інший використовується для регулювання, скільки часу буде залишаються високими після того, як модуль PIR виявив активність.

Режими спрацьовування

У модулі є два режими спрацьовування, позначені літерами «L» та «H», що також показано на зображенні вище. Це необов'язкові режими, і для використання модуля немає необхідності працювати над цими режимами. За

замовчуванням для модуля встановлено найпоширеніший режим запуску. Але якщо ви хочете ними скористатися, то бали даються. Щоб вибрати будь-який режим, просто підключіть його до середньої точки, ви також можете використовувати перемичку, припаявши три штирі на цих точках. Але спочатку важливо зрозуміти, що робить кожен режим.

Режим спрацьовування «L»

Режим спрацьовування «L» називається режимом одного запуску. Вибравши режим спрацьовування «L», вихід буде підвищуватися лише один раз, поки не завершиться період затримки. Незалежно від того, скільки разів об'єкт переміщується перед діапазоном виявлення датчика.

Режим спрацьовування «H»

Режим спрацьовування «H» називається режимом повторного запуску. Вибравши режим спрацьовування «H», вихід буде підніматися стільки разів, скільки об'єкт рухається в діапазоні виявлення датчика, отже, затримка часу починається знову при кожному виявленні одного руху.

Особливості модуля HC SR501:

- широкий діапазон робочої напруги від 4,8 В до 20 В;
- низьке споживання енергії в режимі очікування лише 50uA та 65mA у повністю активному режимі;
- висока надійність;
- регульована чутливість або відстань виявлення;
- регульована затримка вихідного часу (Налаштуйте, скільки часу вихідний сигнал залишатиметься високим після того, як датчик виявить сигнал);
- можна використовувати окремо без будь-яких додаткових мікроконтролерів або платформ, таких як Arduino чи Raspberry Pi тощо. Але ви можете використовувати їх для вдосконалення свого проекту;
- функція керування датчиком світла (необов'язково);

- функція керування датчиком температури (необов'язково);
- низька вартість;
- використовуючи високоякісний чіп обробки PIR BISS0001;
- кут виявлення 120 градусів;
- діапазон виявлення від 3 до 7 метрів або більше;
- легко спілкуватися з будь-якою платформою, такою як Arduino чи Raspberry Pi тощо, а також з усіма мікроконтролерами;
- легко взаємодіяти з аналоговими схемами.

2.3. Види систем адаптивного контролю освітлення та типи зв'язку

2.3.1. Система адаптивного контролю локального освітлення

Системи адаптивного керування освітленням можна умовно поділити на два види: системи керування локальним та загальним освітленням. Локальне освітлення використовується для робочих зон та робочих приміщень, тобто місць, де потрібне більше освітлення. Такі системи можуть бути спрощені, так як вони відповідають всього за одне чи декілька джерел світла. Розробка та установка системи адаптивного локального освітлення є актуальною задачею за умови періодичного використання робочого місця. Така система може побудована за рахунок датчика освітленості (або присутності) та модуля обробки даних (рис 2.11).



Рис 2.11. Структурна схема локальної системи керування освітленням

Зв'язок між модулями системи доцільно організувати за допомогою провідного з'єднання. Таке з'єднання може бути організоване за допомогою стандарту RS-485 або кабелю UTP5. Так як модулі такої системи розташовані на малій відстані один від одного, таке з'єднання забезпечить порівняно більшу

швидкість роботи системи та меншу кількість помилок при передачі сигналу. Недоліком такого з'єднання є конструктивні аспекти, що передбачають прокладання дротів при монтажі.

2.3.2. Система адаптивного контролю загального освітлення

Система адаптивного керування загальним освітленням потребує більшої кількості комплектуючих, так як охоплює більшу частину приміщення ніж локальне освітлення. Загальне освітлення використовується в житлових, навчальних, робочих, офісних приміщеннях, і т.д. Адаптивне керування освітленням необхідне для економії електроенергії. Така система включатиме в себе датчики освітлення та датчики присутності, мережевий шлюз, пристрій керування, на якому встановлене програмне забезпечення, що здатне опрацювати сигнал з датчиків, та приймати рішення про вмикання та вимикання освітлення, виконавчий елемент (рис.2.12). Для кращого контролю система може включати в себе сервер, на якому можуть бути відображені пристрої, стан пристроїв, та внесено певні корективи в роботу системи.



Рис 2.12. Структурна схема системи керування загальним освітленням.

Кількість компонентів системи залежить від кількості джерел світла. Також дана система може бути побудована за іншою топологією, наприклад зірка, але централізація системи може загрожувати збільшенням кількості помилок при передачі сигналу бездротовими технологіями.

2.3.3. Типи зв'язку в системі

Існує декілька варіантів організації зв'язку між компонентами системи адаптивного керування освітленням, ці варіанти можна умовно розділити на 2 типи: дротове та бездротове з'єднання. Кожен тип з'єднання має свої переваги та недоліки, тому вибір з'єднання залежить від типу та призначення системи.

До провідного з'єднання відноситься стандарт RS-485 - це стандарт передачі даних двопровідним напівдуплексним багатоточковим послідовним каналом зв'язку за допомогою витой пари. Властивості диференціальних сигналів забезпечують високу стійкість до шуму та можливості на великі відстані. Мережа 485 може бути налаштована двома способами, "двопровідним" або "чотирипровідним". У "двопровідній" мережі передавач і приймач кожного пристрою з'єднані в кручену пару. "Чотирипровідні" мережі мають один головний порт з передавачем, підключеним до кожного з "ведених" приймачів на одній крученій парі. Всі "підлеглі" передавачі підключені до приймача "ведучого" на другій крученій парі. У будь-якій конфігурації пристрої можуть бути адресованими, що дозволяє комунікувати кожен вузол самостійно. Тільки один пристрій може одночасно керувати лінією, тому драйвери повинні бути переведені в режим високого імпедансу (три стани), коли вони не використовуються [23]. Також дротове з'єднання може бути встановлене за допомогою кабелю UTP 5.

До переваг дротового з'єднання можна віднести захищеність від шумів, завадостійкість, порівняно меншу кількість помилок при передачі сигналу, більшу швидкість передачі, стабільність та безпеку роботи. Недоліком є те що

дротове з'єднання не ефективно при передачі сигналу на відстані, так як через внутрішній опір кабелю сигнал буде частково втрачатися.

Бездротове (безпроводне) з'єднання в системах адаптивного контролю можна організувати за допомогою радіозв'язку або Wi-Fi. В більшості випадків один тип з'єднання не може забезпечити зв'язок між всіма компонентами системи, тому найкращим рішенням буде комбінування радіо- та Wi-Fi.

Для встановлення радіозв'язку між модулями системи найкраще підходить радіо модуль nRF24L01 або його аналоги. nRF24L01 - це одночіповий радіоприймач для всесвітнього діапазону ISM 2,4 - 2,5 ГГц. Трансивер складається з повністю інтегрованого синтезатора частоти, підсилювача потужності, кристалічного генератора, демодулятора, модулятора та вдосконаленого механізму протоколу ShockBurst. Вихідна потужність, частотні канали та налаштування протоколу легко програмуються через інтерфейс SPI. Споживання струму дуже низьке, лише 9,0 мА при вихідній потужності -6 дБм і 12,3 мА в режимі RX. Вбудовані режими відключення та очікування дозволяють легко реалізувати економію енергії. За допомогою такого радіоприймача можна створити радіомережу будь-якої архітектури (шина, зірка, mesh).

Wi-Fi також може бути використаний для зв'язку між датчиками та виконавчими модулями та модулем керування (наприклад Raspberry Pi). Це буде архітектура "зірка" з центральним контролером в центрі датчики та виконавчі модулі - промені зірки. Wi-Fi також, можна використовувати для зв'язку з Інтернет. Якщо в системі непередбачений модуль керування, то датчики та виконавчі модулі безпосередньо під'єднуються до сервера в Інтернеті (через Wi-Fi роутер). Це також зірка, але в центрі вже буде сервер в Інтернеті. Також можливий варіант коли модуль керування може використовувати Wi-Fi для під'єднання до Інтернету та серверу в Інтернеті.

Основною перевагою використання бездротового з'єднання є простота підключення та монтажу компонентів системи, так як вони можуть бути

встановлені на відстані один від одного і підтримувати зв'язок без втрати сигналу через опір дроту.

Висновки до розділу 2

При огляді технічної літератури було досліджено та описано типи джерел освітлення, наведено коротку технічну характеристику до кожного типу освітлювальних ламп.

Було розглянуто та описано існуючі датчики освітлення та присутності, що можуть бути використані при розробці системи адаптивного освітлення.

Було досліджено та проаналізовано можливі варіанти створення системи адаптивного освітлення в залежності від потреби (локальне та загальне освітлення), проаналізовано можливі типи зв'язку між компонентами системи, наведено переваги та недоліки типів зв'язку.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИТЕМИ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ

3.1. Рівні керування адаптивним освітленням

Систему керування адаптивним освітленням можна умовно поділити на 3 рівні: високий, середній, низький (рис 3.1).

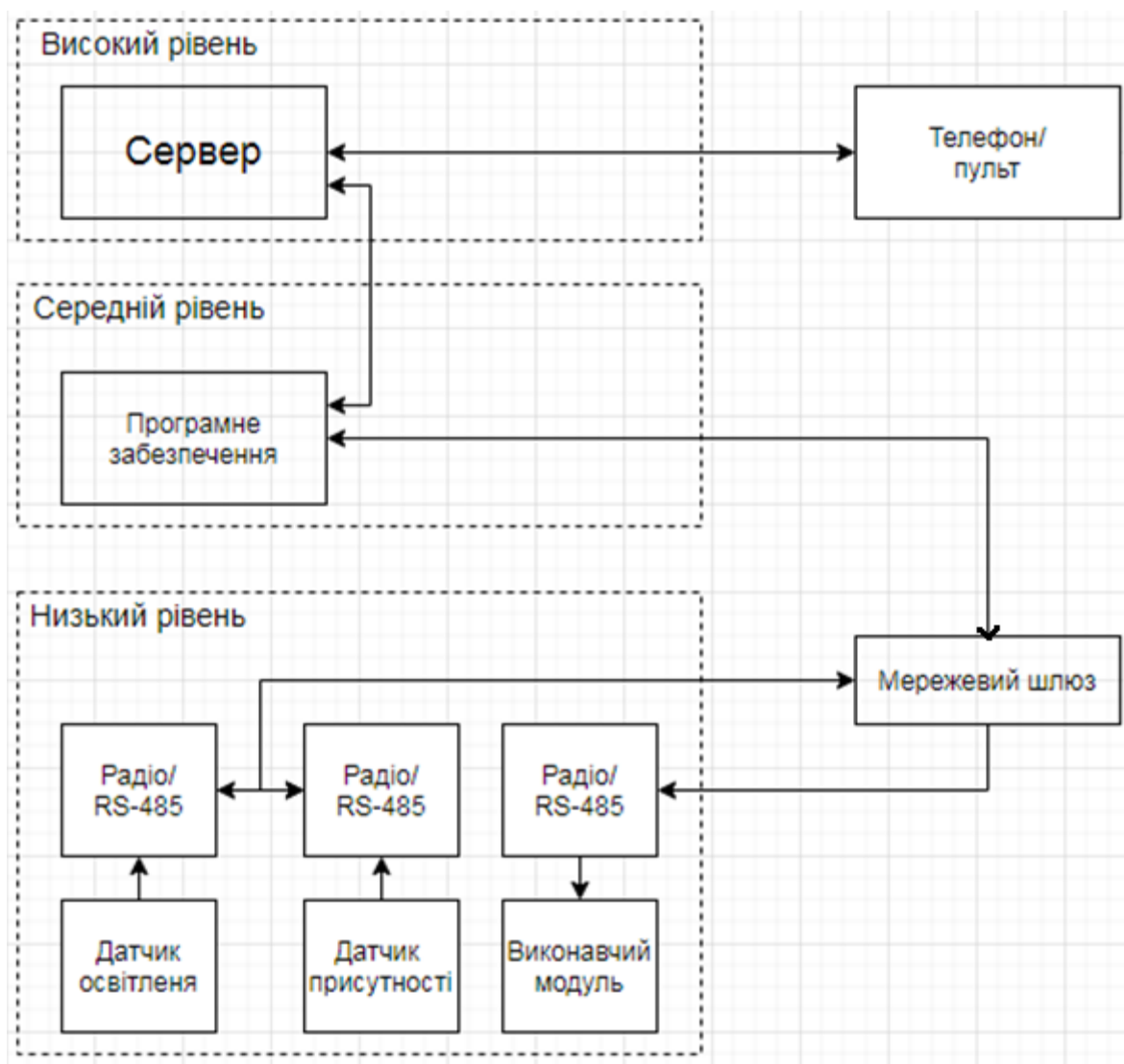


Рис 3.1. Рівні системи керування адаптивним освітленням

На низькому рівні розміщуються датчики що використовуються в системі та виконавчий модуль. В якості виконавчого модуля для таких завдань зазвичай використовують реле. Всі за допомогою радіозв'язку або стандарту RS-485

(стандарт передачі даних двопровідним напівдуплексним багатоточковим послідовним каналом зв'язку) передають сигнал про стан освітлення приміщення чи про присутність людей в приміщенні до мережевого шлюзу. Також з мережевого шлюзу надходить сигнал до виконавчого модуля. Мережевий шлюз використовується для узгодження низького та середнього рівня системи. Мережевий шлюз слугує в якості роутера.

Середній рівень представляє собою програмне забезпечення реалізоване на ПК або модулі Raspberry Pi що здатне обробляти сигнали, що надходять з датчиків світла та присутності та приймати рішення про вмикання та вимикання світла. В ролі такого програмного забезпечення можуть бути використані такі середовища як: OpenHAB, Home Assistant, Majordomo, та інші. Програмне середовище середнього рівня приймає сигнал від датчиків освітлення та руху, що розташовані на низькому рівні, через мережевий шлюз, оброблює їх згідно заданим параметрам, та передає команду на реле про увімкнення або вимкнення світла.

Високий рівень організовується за допомогою створення серверу, що дозволить керувати програмним середовищем і відповідно освітленням віддалено, за допомогою телефону, або іншого гаджету що передбачає підключення до мережі інтернет.

3.1.1. Середовище OpenHAB.

На ринку є безліч рішень для автоматизації дому та пристроїв Інтернету речей (IoT), які всі корисні самі по собі. Вони пропонують свій власний спосіб налаштування та налаштування пристроїв і ідеально підходять для їх передбачуваних випадків використання.

Проблема з усіма цими системами та пристроями полягає в тому, що ці випадки використання визначаються виробником - але як користувач ви швидко придумаете побажання, які не підтримуються нестандартно або вимагають взаємодії між різними системами. openHAB заповнює цю прогалину: він ставить користувача у фокус і дозволяє йому робити те, що він

хоче зробити. Таким чином, він служить точкою інтеграції для всіх ваших потреб в автоматизації будинків і дозволяє системам спілкуватися між собою через будь-які межі постачальників або протоколів.

Врахування перспективи користувача також означає турботу про конфіденційність даних. З openHAB всі дані (наприклад, дані датчиків або команди виконавчого механізму) належать користувачеві, і він сам вирішує, які дані потенційно повинні залишити його будинок і куди вони надсилаються. Крім того, неможливий віддалений доступ, якщо він не бажаний - все працює в межах інтрамережі і навіть не вимагає підключення до Інтернету. Тому ми також любимо називати це «Інтранетом речей».

openHAB не намагається замінити існуючі рішення, а хоче покращити їх - отже, його можна розглядати як систему систем. Тому передбачається, що підсистеми налаштовуються та налаштовуються незалежно від openHAB, оскільки це часто є дуже специфічним та складним питанням (включаючи процеси «сполучення», прямі зв'язки пристроїв тощо). Натомість openHAB фокусується на аспектах "щоденного використання" та витягах із самих пристроїв [24].

Основною концепцією openHAB є поняття «предмет». Елемент є орієнтованим на дані функціональним атомним будівельним блоком - ви можете сприймати його як «здатність». openHAB не має значення, чи пов'язаний елемент (наприклад, значення температури) з фізичним пристроєм чи якимсь «віртуальним» джерелом, таким як веб-служба чи результат обчислення. Усі функції, пропоновані openHAB, використовують цю абстракцію «item», що означає, що ви не знайдете жодних посилань на конкретні пристрої (наприклад, IP-адреси, ідентифікатори тощо) у правилах автоматизації, визначеннях інтерфейсу користувача тощо. Це дозволяє легко замінити одну технологію іншою, не вносячи жодних змін у правила та інтерфейси користувача[25].

Дуже важливим аспектом архітектури openHAB є її модульний дизайн (рис 3.2). Дуже легко додати нові функції (наприклад, інтеграцію з ще однією

системою через «прив'язку»), і ви можете додавати та видаляти такі функції під час виконання. Цей модульний підхід став величезним стимулом для активної спільноти навколо openHAB з багатьма залученими дописувачами.

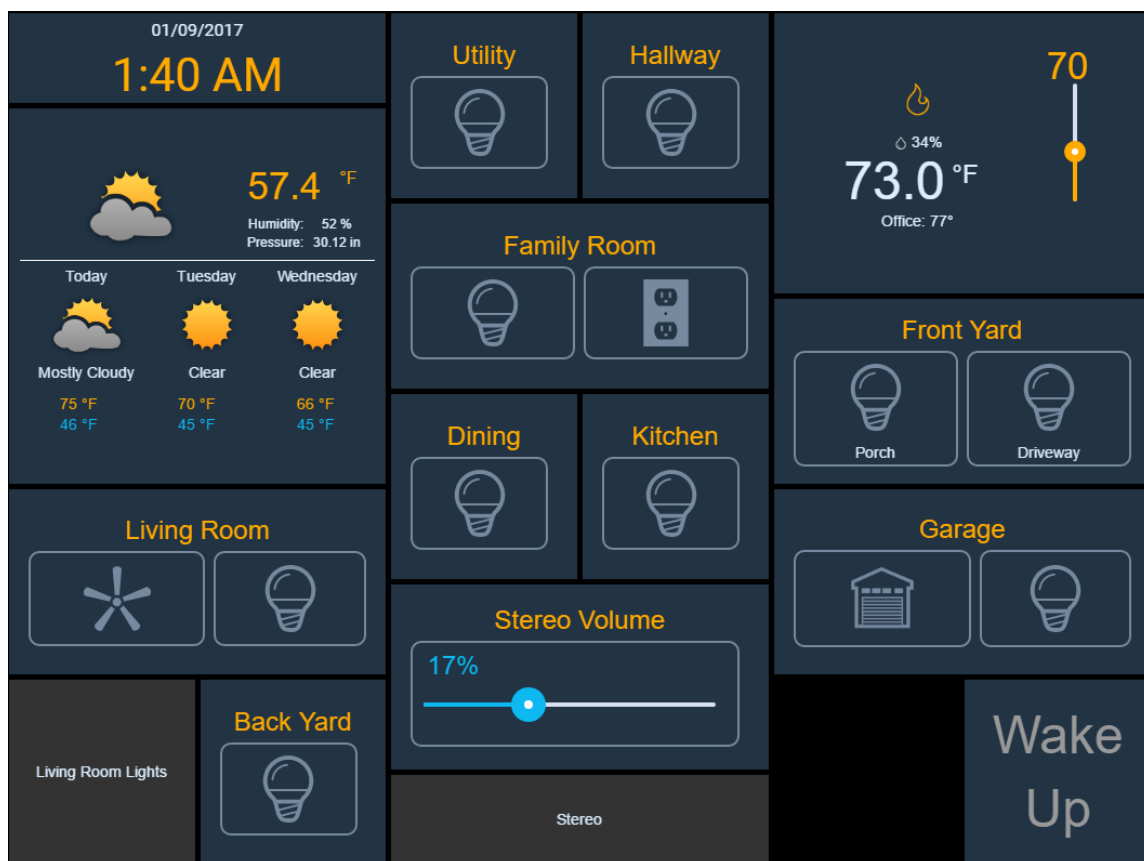


Рис 3.2. Приклад інтерфейсу при розбитті системи за модулями.

3.1.2. Середовище Home Assistant.

Home Assistant - це безкоштовне програмне забезпечення для домашньої автоматизації з відкритим кодом, розроблене для того, щоб стати центральною системою керування в розумному будинку. Написаний на Python, основна увага приділяється локальному контролю та конфіденційності.

Він має дуже широкий спектр підтримки пристроїв, і станом на травень 2020 року він підтримує підтримку понад 1600 модульних плагінів або доповнень із системною інтеграцією до різних технологій IoT, системи та послуги доступні як "компоненти інтеграції". Такі дії, як локальне або дистанційне керування освітленням, кліматом, розважальними системами та побутовими приладами, можуть ініціюватися автоматизацією та сценаріями,

голосовими командами, мобільними програмами або керуватися через веб-інтерфейс користувача Home Assistant (інтерфейс).

Home Assistant виступає в ролі розумного домашнього контролера, який має всі загальні функції, яких би ви очікували від платформи домашньої автоматизації, для керування простими технологіями розумного будинку, вдосконаленою автоматизацією будівель, керуванням сигналізацією охоронних сигналізацій та систем домашньої безпеки, а також моніторингом пристроїв вимірювання енергії (домашні монітори енергії, а також центральні розумні лічильники) та інші датчики. Він забезпечує дії та сценарії, що базуються на правилах систем для створення автоматизацій, з обробкою стану часу та подій, завданнями планування, сповіщеннями та голосовим керуванням, а також функціями для прямих дій та дій на вимогу.

Він розгортається як локальне програмне забезпечення і може підключатись прямо чи опосередковано до локальних пристроїв IoT (Internet of Things), локальних концентраторів / шлюзів / мостів або хмарних служб багатьох різних постачальників, включаючи інші відкриті та закриті екосистеми розумного будинку [26]. Він має модульну систему системної інтеграції з "компонентами інтеграції" (плагіни або доповнення) для більшості популярних пристроїв, послуг та екосистем IoT, таких як; Amazon Alexa, Apple HomeKit, Bluetooth, ecobee, Google Assistant, Google Cast (Google Chromecast), Google Home, Google Nest, IFTTT, IKEA Smart Home (Trådfri), KNX, Xiaomi Smart Home (Mi Home), MQTT, Philips Hue, SmartThings (Samsung), Sonoff (eWeLink, офіційний DIY-режим та стороння прошивка), Sonos, Tuya Smart, X10, Zigbee, Z-Wave, кілька розумних замків від Yale / August та інших, та багато інших сторонніх виробників системних інтеграцій.

3.2. Структурна схема системи адаптивного керування освітлення

Структурна схема системи адаптивного керування освітленням (рис 3.3) розроблена для одного джерела освітлення, при збільшенні кількості джерел

освітлення, буде збільшуватися кількість виконавчих елементів та датчиків освітлення (в залежності до поставленої задачі). Дана структурна схема побудована за трирівневою ієрархією, що приведена вище (п. 3.1).

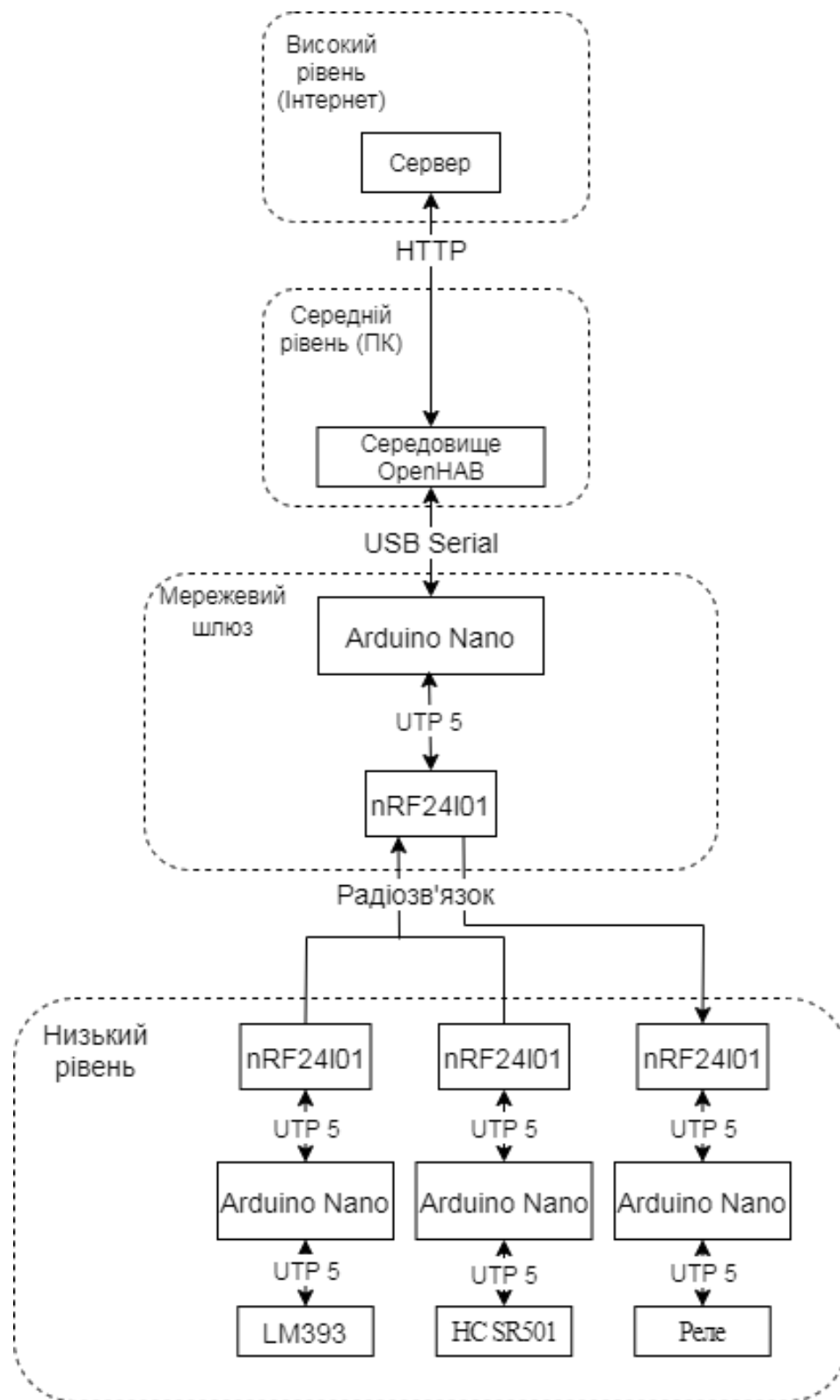


Рис 3.2 Структурна схема проектованої системи адаптивного керування освітленням

На нижньому рівні системи розташовуються датчики присутності, датчик освітлення та реле. Датчик освітлення LM393 - це простий фоторезисторний датчик світла, який має як аналогові, так і цифрові виходи. Цифровий вихід має регулюючий потенціометр, за допомогою якого можна встановити рівень тригерного освітлення. Паралельно з ним спрацьовує датчик присутності, за умови присутності людини в зоні освітлення данні з датчиків передаються за допомогою мережевого шлюзу на середній рівень системи. На середньому рівні системи використовується ПК з встановленим середовищем OpenHUB, що в свою чергу, в порівнянні з рівнем необхідного освітлення приймає рішення про ввімкнення або вимикання додаткового освітлення. Найкращим рішенням буде налаштування системи таким чином щоб необхідною умовою ввімкнення освітлення була присутність людини в зоні освітлення.

Роль безпроводної передачі даних між рівнями виконує радіомодуль nRF24l01 - це найпростіший та найдешевший прийомо-передавальний модуль що поєднується з багатьма процесорами. Він використовує діапазон 2,4 ГГц і може працювати зі швидкістю передачі від 250 кбіт / с до 2 Мбіт / с. Якщо використовується у відкритому космосі та з меншою швидкістю передачі, його дальність може сягати до 100 метрів. Модуль може використовувати 125 різних каналів, що дає можливість мати в одному місці мережу з 125 незалежно працюючих модемів. Кожен канал може мати до 6 адрес, або кожен блок може спілкуватися одночасно з до 6 іншими блоками. Енергоспоживання цього модуля становить приблизно 12 мА під час передачі, що навіть менше, ніж у одного світлодіода. Робоча напруга модуля становить від 1,9 до 3,6 В, але добре, що інші висновки переносять логіку 5 В, тому ми можемо легко підключити його до Arduino без використання перетворювачів логічного рівня.

В системі адаптивного керування освітленням що проектується використовується комбінована топологія зв'язку та комбінований тип зв'язку між компонентами системи. На нижньому рівні використовується топологія мережі «зірка», що забезпечується провідниковим з'єднанням за допомогою

стандарту RS-485, а саме за допомогою кабелю UTP 5, що в свою чергу забезпечує надійність, високу швидкість передачі даних та завадостійкість.

3.3. Алгоритм роботи системи, програмування складових

3.3.1. Алгоритм роботи системи адаптивного контролю освітлення

Система адаптивного керування освітленням працює за попередньо визначеним алгоритмом роботи (рис. 3.3), що задається програмно після установки системи.

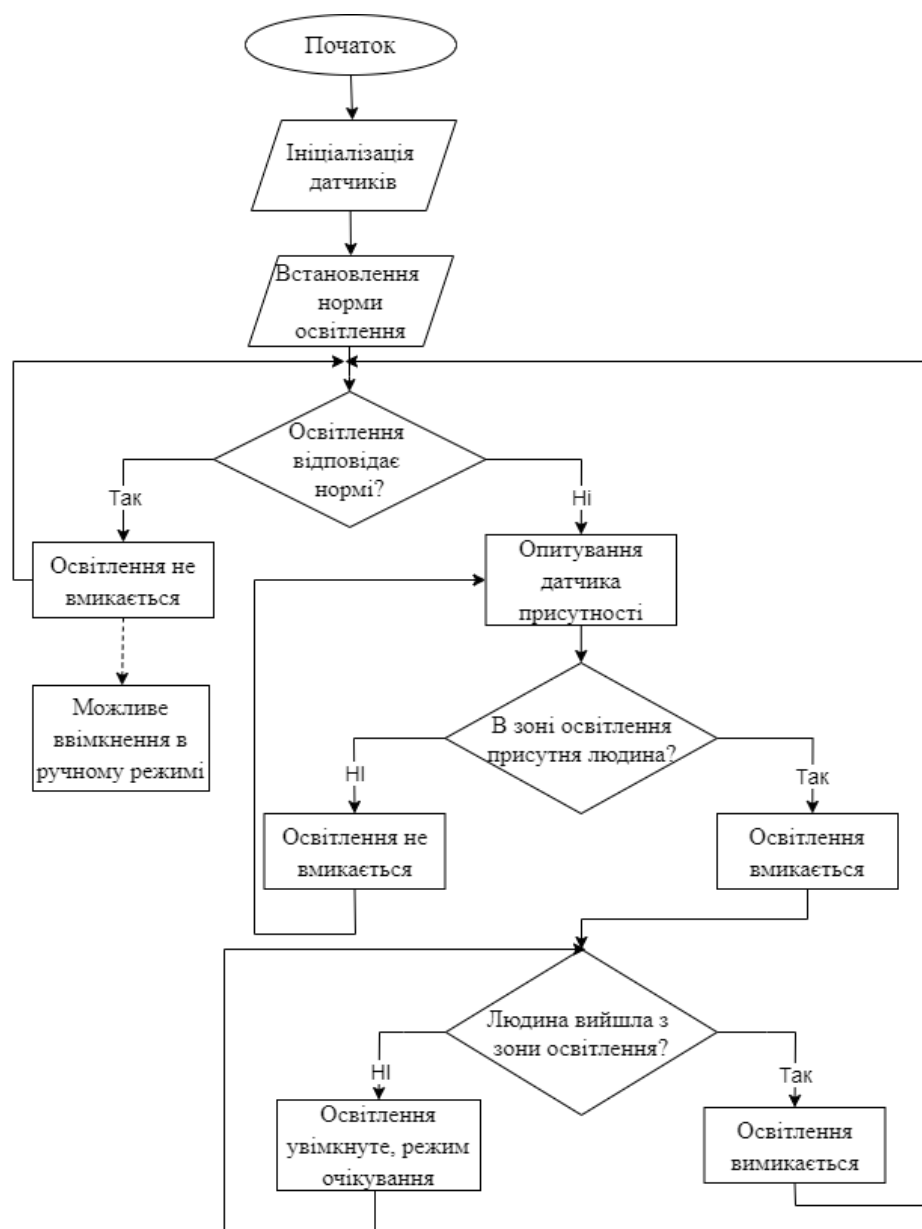


Рис 3.3. Алгоритм роботи програми.

За допомогою середнього рівня системи адаптивного керування освітленням, а саме ПК зі встановленим середовищем OpenHUB можна перевірити стан підключення датчиків освітлення та присутності. Для початку роботи системи необхідно програмно встановити пороговий рівень освітлення робочої зони. Рівень штучного освітлення навчальних приміщень при використанні ламп розжарювання повинен складати 150 лк і 300 лк при люмінесцентних лампах. В кабінетах креслення та майстернях рівень, штучного освітлення повинен бути відповідно 200-400 лк, 300-500 лк [27].

В залежності від встановленого рівня освітлення, при проведенні опитування датчика освітлення, система буде приймати рішення про ввімкнення чи вимикання додаткового штучного освітлення. За умови достатнього рівня освітлення в робочій зоні система не спрацьовуватиме, або вимикатиме додаткове освітлення, але за бажанням користувача, освітлення може бути увімкнене вручну, це також забезпечується на середньому рівні системи. Якщо рівень освітлення не відповідає нормі, то система проводить опитування датчика присутності, якщо в робочому діапазоні датчика присутності знаходиться людина то спрацьовуватиме автоматичне ввімкнення освітлення. Після цього датчик присутності автоматично переводиться в режим очікування, поки людина не вийде з освітлюваної зони, що в свою чергу призводить до вимикання освітлення. Після цього робота системи знову починається з опитування датчика освітлення. Для коректної роботи системи всі модулі (приведені на структурній схемі) мають бути побочно запрограмовані на виконання певних функцій.

3.3.2. Програмування компонентів системи

Перед початком роботи з системою всі компоненти системи мають бути запрограмовані для зв'язку між собою, програмування компонентів відбувається відповідно до рівнів системи. Всі коди програми за допомогою спеціального ПЗ записуються на контролер, в даній системі на контролер Arduino. Саме Arduino в подальшій роботі буде зчитувати данні з датчиків та

передавати через мережевий шлюз до середнього рівня, де вони і будуть опрацьовані. Спочатку необхідно організувати роботу нижнього рівня, для цього необхідно запрограмувати такі блоки: Arduino та LM393; Arduino та HC-SR501; Arduino та реле. Після написання коду для узгодження роботи даних модулів необхідно запрограмувати Arduino та радіо модуль nRF24l01 на передачу (нижній рівень) та прийом (мережевий шлюз) даних.

Зв'язок між Arduino та LM393

Для зв'язку Arduino та датчика рівня освітленості LM393 можна використати такий код:

```
#include <MySensors.h>

#define CHILD_ID_LIGHT 0
#define LIGHT_SENSOR_ANALOG_PIN 0

uint32_t SLEEP_TIME = 30000; // Час очікування між зчитуваннями (у
мільсекундах)

MyMessage msg(CHILD_ID_LIGHT, V_LIGHT_LEVEL);
int lastLightLevel;

void presentation()
{
    // Надсилання інформації про версію ескізу шлюзу та контролеру
    sendSketchInfo("Light Sensor", "1.0");
    // Реєстрація всіх датчиків на шлюзі (вони будуть створені як дочірні
    пристрої)
    present(CHILD_ID_LIGHT, S_LIGHT_LEVEL);
}

void loop()
{
    int16_t lightLevel = (1023-
    analogRead(LIGHT_SENSOR_ANALOG_PIN))/10.23;
    Serial.println(lightLevel);
```

```

if (lightLevel != lastLightLevel)
{
    send(msg.set(lightLevel));
    lastLightLevel = lightLevel;
}
sleep(SLEEP_TIME);
}

```

Зв'язок між Arduino та HC-SR501

Для зв'язку Arduino та датчиком присутності HC-SR501 можна використати такий код:

```

#include <MySensors.h>

uint32_t SLEEP_TIME = 120000; // Час очікування між звітами (у
мільсекундах)

#define DIGITAL_INPUT_SENSOR 3; // Цифровий вхід, що підключений
до датчика руху. (Тільки 2 і 3 генерують переривання!)

#define CHILD_ID 1 // Ідентифікатор дочірніх датчиків
// Ініціалізація повідомлення про рух
MyMessage msg(CHILD_ID, V_TRIPPED);

void setup()
{
    pinMode(DIGITAL_INPUT_SENSOR, INPUT);
    // Встановлення цифрового штифту датчика руху як вхідний сигнал}

    void presentation()
    {
        // Надслання інформації про версію ескізу шлюзу та контролеру
        sendSketchInfo("Motion Sensor", "1.0");
        // Реєстрація всіх датчиків на шлюзі (вони будуть створені як
        дочірні пристрої)
        present(CHILD_ID, S_MOTION);
    }
}

```

```

    }
    void loop()
    {
        // Зчитування цифрового значення руху
        bool tripped = digitalRead(DIGITAL_INPUT_SENSOR) == HIGH;
        Serial.println(tripped);
        send(msg.set(tripped?"1":"0")); // Надсилання значення спрацювання
        датчика до шлюзу
        // Режим очікування, поки на датчик руху не надходить переривання.
        Проводити опитування кожні дві хвилини.
        sleep(digitalPinToInterrupt(DIGITAL_INPUT_SENSOR), CHANGE,
        SLEEP_TIME);
    }

```

Зв'язок між Arduino та реле

Для зв'язку Arduino та реле можна використати такий код:

```

#include <MySensors.h>
#include <Bounce2.h>
#define RELAY_PIN 4 // Цифровий номер вводу-виводу Arduino для реле
#define BUTTON_PIN 3 // Цифровий номер вводу-виводу Arduino для
кнопки
#define CHILD_ID 1 // Ідентифікатор дочірніх датчиків
#define RELAY_ON 1
#define RELAY_OFF 0
Bounce debouncer = Bounce();
int oldValue=0;
bool state;
MyMessage msg(CHILD_ID,V_LIGHT);
void setup()
{

```

```

// Налаштування кнопки
pinMode(BUTTON_PIN, INPUT);
// Активація внутрішнього підтягування
digitalWrite(BUTTON_PIN, HIGH);
// Після налаштування кнопки, налаштовуємо переривання
debouncer.attach(BUTTON_PIN);
debouncer.interval(5);
// Перевірка що реле на початку вимкнене
digitalWrite(RELAY_PIN, RELAY_OFF);
// Встановлюємо когнанти реле в режим виводу
pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
// Встановлення реле в останній відомий стан (за допомогою пам'яті
eeprom)
state = loadState(CHILD_ID);
digitalWrite(RELAY_PIN, state?RELAY_ON:RELAY_OFF);
}
void presentation()
{
// Надсилання інформації про версію ескізу шлюзу та контролеру
sendSketchInfo("Relay & Button", "1.0");
// Реєстрація всіх датчиків на шлюзі (вони будуть створені як дочірні
пристрої)
present(CHILD_ID, S_LIGHT);
}
/*
* Приклад того, як асинхронно перевіряти наявність нових повідомлень
від шлюзу
*/
void loop()
{

```

```

    debouncer.update();
    // Отримання значення оновлення
    int value = debouncer.read();
    if (value != oldValue && value==0)
    {
        send(msg.set(state?false:true), true); // Надсилання нового статусу і
        вимога повернення назад
    }
    oldValue = value;
}

void receive(const MyMessage &message)
{
    if (message.isAck()) {
        Serial.println("This is an ack from gateway");
    }
    if (message.type == V_LIGHT)
    {
        // Зміна стану реле
        state = message.getBool();
        digitalWrite(RELAY_PIN, state?RELAY_ON:RELAY_OFF);
        // Збереження стан в eeprom
        saveState(CHILD_ID, state);
        // Запис інформації про налагодження
        Serial.print("Incoming change for sensor:");
        Serial.print(message.sensor);
        Serial.print(", New status: ");
        Serial.println(message.getBool());
    }
}

```

Зв'язок між Arduino з двома модулями NRF24L01

В системі адаптивного керування освітленням зв'язок між низьким рівнем та мережевим шлюзом має бути двонаправленим, так як данні з датчиків присутності та освітлення, мають передаватися через мережевий шлюз до середнього рівня, а з середнього рівня знову передаватися на нижній рівень (на реле). Для організації бездротового зв'язку за допомогою радіо модулів NRF24L01, умовно розділимо їх на приймач та передавач. Організувати бездротову двонаправлену передачу даних між Arduino з двома модулями NRF24L01 можна за допомогою такого прикладу коду:

Код передавача:

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#define led 12
RF24 radio(7, 8); // CE, CSN
const byte addresses[][6] = {"00001", "00002"};
boolean buttonState = 0;
void setup()
{
  pinMode(12, OUTPUT);
  radio.begin();
  radio.openWritingPipe(addresses[1]); // 00002
  radio.openReadingPipe(1, addresses[0]); // 00001
  radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);
}
void loop()
{
  delay(5);
  radio.stopListening();
  int potValue = analogRead(A0);
```

```

int angleValue = map(potValue, 0, 1023, 0, 180);
radio.write(&angleValue, sizeof(angleValue));
delay(5);
radio.startListening();
while (!radio.available());
radio.read(&buttonState, sizeof(buttonState));
if (buttonState == HIGH)
{
  digitalWrite(led, HIGH);
}
else
{
  digitalWrite(led, LOW);
}
}

```

Код приемача:

```

#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#include <Servo.h>
#define button 4
RF24 radio(7, 8); // CE, CSN
const byte addresses[][6] = {"00001", "00002"};
Servo myServo;
boolean buttonState = 0;
void setup()
{
  pinMode(button, INPUT);
  myServo.attach(5);
}

```



```

radio.begin();
radio.openWritingPipe(addresses[0]); // 00001
radio.openReadingPipe(1, addresses[1]); // 00002
radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);
}
void loop()
{
  delay(5);
  radio.startListening();
  if ( radio.available())
  {
    while (radio.available())
    {
      int angleV = 0;
      radio.read(&angleV, sizeof(angleV));
      myServo.write(angleV);
    }
    delay(5);
    radio.stopListening();
    buttonState = digitalRead(button);
    radio.write(&buttonState, sizeof(buttonState));
  }
}

```

Отже, нам потрібно включити базовий SPI та встановлені бібліотеки RF24 і створити об'єкт RF24. Два аргументи тут - це висновки CSN та CE.

```
RF24 radio(7, 8); // CE, CSN
```

Далі нам потрібно створити байтовий масив, який буде представляти адресу, або так звану трубу, через яку два модулі будуть взаємодіяти. Для двонаправленого зв'язку нам потрібно створити два шляхи або адреси для зв'язку.

```
const byte addresses[][6] = {"00001", "00002"};
```

У розділі налаштування нам потрібно визначити обидва шляхи, і адреса запису в першому Arduino повинна бути адресою читання в другому Arduino, і навпаки, адреса читання в першому Arduino повинна бути адресою запису в другий Arduino.

На передавачі:

```
radio.openWritingPipe(addresses[1]); // 00001
radio.openReadingPipe(1, addresses[0]); // 00002
```

На приймачі:

```
radio.openWritingPipe(addresses[0]); // 00002
radio.openReadingPipe(1, addresses[1]); // 00001
```

У розділі циклу за допомогою функції `radio.stopListening()` встановлюється перший Arduino як передавач, зчитуються та відображаються значення від 0 до 180, а за допомогою функції `radio.write()` відправляються дані на приймач `radio.stopListening()`;

```
int potValue = analogRead(A0);
int angleValue = map(potValue, 0, 1023, 0, 180);
radio.write(&angleValue, sizeof(angleValue));
```

З іншого боку, за допомогою функції `radio.startListening()` встановлюється другий Arduino як приймач і перевіряється, чи є доступні дані. Якщо є дані, то зберігаються у змінну `"angleV"`.

```
radio.startListening();
if ( radio.available())
{
while (radio.available())
{
int angleV = 0;
radio.read(&angleV, sizeof(angleV));
myServo.write(angleV);
}
```

Далі, на передавачі, встановлюється перший Arduino як приймач, і з порожнім циклом “while” чекає, поки другий Arduino надішле дані.

Висновки до розділу 3

В третьому розділі було проведено групування складових системи адаптивного керування освітленням на три рівні керування: низький, середній та високий, та описано середовища що можуть бути використані в якості програмного забезпечення.

Розроблено структурну схему системи адаптивного керування освітленням з комбінованою топологією, розглянуто поєднання компонентів низького рівня.

Розроблено та наведено наближений алгоритм роботи системи, наведено коди що використовуються при програмування компонентів системи, наведено код що використовується для організації двонаправленого бездротового зв'язку між Arduino за допомогою радіо модулів.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

Одним із перших завдань стартапу є залучення значної суми грошей для подальшого розвитку продукту. Для цього команда проекту повинна навести вагомий аргумент який підтверджує їх твердження про те, що їхня ідея справді нова або має значне покращення чогось на ринку [28].

На ранніх стадіях стартап-компанії отримують невеликий або зовсім не прибуток. Вони розробляють ідею, яку їм потрібно тестувати та продавати. Це вимагає значних грошей, і власники стартапів мають кілька потенційних джерел:

- Традиційні джерела фінансування включають позики малого бізнесу від банків або кредитних спілок, фінансовані державою позики адміністрації малого бізнесу від місцевих банків та гранти, надані некомерційними організаціями.
- Так звані інкубатори, які часто асоціюються з бізнес-школами та іншими некомерційними організаціями, забезпечують наставництво, офісні приміщення та початкове фінансування для стартапів.
- Венчурні капіталісти та інвестори, що активно шукають перспективні стартапи, щоб заробити гроші в обмін на частку в компанії, як тільки вона буде реалізована.

Стартапи не мають історії, та мають менший прибуток. Це робить інвестиції в них ризикованими. Якщо ідея має переваги, потенційні інвестори можуть використовувати будь-який із декількох підходів, щоб оцінити, кількість коштів що можуть знадобитися, щоб отримати її з місця.

- Підхід "копіювання" розглядає витрати, які компанія вже понесла на розробку свого продукту чи послуги та придбання фізичних активів. Цей метод оцінки не враховує майбутній потенціал компанії або нематеріальні активи.
- Ринковий підхід враховує витрати на придбання подібних компаній недавнього минулого. Такий підхід може бути пригнічений, якщо ідея запуску дійсно унікальна.

- Підхід до дисконтованих грошових потоків розглядає очікуваний майбутній рух грошових коштів компанії. Цей підхід є вкрай суб'єктивним.
- Підхід на стадії розробки призначає більш високий діапазон потенційної вартості стартапу, який більш повно розроблений. Навіть якщо це не приносить прибутки, стартап, який має веб-сайт і може показувати деякі продажі та трафік, швидше за все, отримає вищу оцінку, ніж той, який має просто цікаву ідею [29].

Розробку та запуск стартап-проекту можна умовно розділити на 6 етапів:

- концепція та дослідження;
- прихильність;
- перевірка;
- доопрацювання;
- масштабування;
- заснування.

4.1. Опис ідеї стартап проекту

Метою розділу є формування інноваційного та підприємницького мислення, та навичок оцінки перспектив та можливостей комерційної реалізації розробки, описаної у попередніх розділах магістерської дисертації у вигляді розробки стартап-проекту, а саме розробка стартап-проекту по реалізації виготовлення систем адаптивного керування освітленням. Опис ідеї стартап-проекту наведено в табл. 4.1., а визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту в табл. 4.2.

Таблиця 4.1.

Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка системи адаптивного керування освітленням	1. Використання системи для поділу приміщення на зони освітлення	Автоматизація освітлення приміщень за рахунок відмінності освітлення зон
	2. Використання системи для додаткового освітлення приміщення	Скорочення витрат електроенергії на освітлення приміщення

Таблиця 4.2

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент 1 Ksimex-Smart	Конкурент 2 DALI			
1.	Метод контролю освітлення	Датчик освітлення, датчик присутності	Датчик освітлення	-			+
2.	Можливість керування за допомогою пульта	Немає	Немає	Є		+	
3.	Підключення додаткових датчиків	Можливе	Неможливе	Неможливе			+
4.	Можливість віддаленого контролю	Є	Є	Немає		+	
5.	Захист від зовнішніх завад	Слабкий	Помірний	Захищена	+		

З визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту випливає висновок що розроблювана система адаптивного керування освітлення є конкурентоспроможною та має переваги в порівняння з конкурентами.

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Технологічна здійсненність ідеї проекту наведена в табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Використання двох методів контролю освітлення	Дослідження, розробка, програмування;	Наявна	Доступна
2	Розбиття приміщення на зони освітлення	Дослідження, проектування;	Не наявна	Доступна
3	Автоматичне керування освітленням	Розробка, програмування	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: самостійна розробка та програмування на основі дослідження				

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту наведено в табл. 4.4., а характеристика потенційних клієнтів в табл. 4.5.

Таблиця 4.4

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	26
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	-
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Необхідність патентування

Продовження табл.4.4.4

5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	40

Даний продукт є вузько спрямованим на ринку та має багато конкурентів. З характеристики потенційного ринку стартап-проекту випливає, що норма рентабельності в галузі є більшою за банківський відсоток на вкладення, проаналізувавши данні наведені в таблиці можна зробити висновок, що продукт, який розробляється, є конкурентоспроможним, тому за попереднім оцінюванням ринок є привабливим для входження.

Таблиця 4.5

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Автоматизація процесу додаткового освітлення приміщень, економія електроенергії що споживається на освітлення	Власники приватних будинків, підприємства, навчальні заклади	Орієнтація клієнтів на використання існуючих систем, завдяки отриманню вигідного співвідношення ціна/якість	Надійність системи, можливість зміни характеристик, енергетична ефективність, зручний інтерфейс керування

Після визначення потенційних групи клієнтів проведено аналіз ринкового середовища: фактори можливостей, що сприяють виведенню проекту на ринок табл. 4.6, та факторів загроз - в табл. 4.7.

Фактори в таблиці подано в порядку зменшення значущості.

Таблиця 4.6

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Маркетинг	Використання інструментів маркетингу, поширення реклами.	Створення рекламної компанії, залучення спеціалістів з маркетингу
2	Якість продукції	Підвищення якості продукції	Використання надійних компонентів системи
3	Вихід на міжнародний ринок	Поширення ринку збуту на інші країни	Орієнтація системи також на іноземних користувачів

Таблиця 4.7

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Поява нових конкурентів на ринку	Підвищення функціональності системи
2	Технічна складова	Складність установки та налаштування системи	Спрощення процесу установки та інтерфейсу
3	Економічна складова	Зниження вартості продукції конкурентів	Створення систем різного функціоналу та цінового сегменту

Після аналізу ринкового середовища проведено ступеневий аналіз конкуренції на ринку та визначено загальні риси конкуренції що наведено в табл. 4.8.

Таблиця 4.8

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції - монополістична конкуренція	Багато пропозицій подібних систем	Розширення функціоналу системи

Продовження табл. 4.8

2. За рівнем конкурентної боротьби - міжнародна конкуренція	Представники з інших країн	Вихід на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою - міжгалузева конкуренція	Використання подібних систем для керування іншими сферами побуту	Вдосконалення системи, розширення функціоналу на керування побутовими приладами
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова конкуренція	Різний функціонал систем	Вдосконалення та оптимізація системи на виконання додаткових функцій
5. За характером конкурентних переваг - цінова конкуренція	Зменшення цін веде до збільшення рентабельності	Покращення співвідношення ціна/якість
6. За інтенсивністю - не марочна конкуренція	Жорстка конкуренція	Використання інструментів маркетингу

Більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі наведено в табл. 4.9.

Таблиця 4.9

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Онлайн та офлайн платформи	Запатентовані системи	Постачальники компонентів системи	Клієнти можуть мати різні потреби	Відсутні
Висновки	Висока конкуренція в галузі	Необхідне постійне вдосконалення та патентування	Якість компонентів системи впливає на надійність системи	Система повинна мати можливість зміни функціоналу	Відсутні

За результатами аналізу конкуренції в галузі за М. Портретом, та аналізу щодо характеристик які повинна мати система можна зробити висновок що даний продукт є конкурентоспроможним на не поступається в якості перед продуктами прямих та потенційних конкурентів. На основі наведеного аналізу

визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності, які наведено в табл. 4.10.

Таблиця 4.10

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Наявність патенту	При наявності патенту на систему та на технологію виготовлення конкуренти не матимуть можливості використовувати технологію у власних цілях
2	Постійне вдосконалення системи	Розширення функціоналу та покращення якості допоможе збільшити рентабельність
3	Зручний та зрозумілий інтерфейс	Спрощує роботу та налаштування системи, зручність використання системи значно збільшує зацікавленість клієнтів
4	Можливість налаштування в залежності від потреб	
5	Можливість моніторингу роботи компонентів системи	

За визначеними факторами конкурентоспроможності проведено аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту, які наведено в табл. 4.11.

Таблиця 4.11

Порівняння сильних та слабких сторін системи адаптивного керування освітленням

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з проектом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність патенту	19			+				
2	Постійне вдосконалення системи	15					+		
3	Зручний та зрозумілий інтерфейс	17				+			
4	Можливість налаштування в залежності від потреб	13					+		
5	Можливість моніторингу роботи компонентів системи	15				+			

На основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін проекту проведено SWOT-аналіз та складено матриці сильних та слабких сторін, загроз та можливостей, результати наведено в табл. 4.12.

Таблиця 4.12

SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: постійне вдосконалення системи, зручний та зрозумілий інтерфейс, можливість налаштування в залежності від потреб, можливість моніторингу роботи компонентів системи	Слабкі сторони: система вимагає наявності базових навичок у користувача, технологія розробки має бути запатентована
Можливості: вихід на міжнародний ринок за рахунок поширення реклами, збільшення якості та надійності системи	Загрози: поява на ринку нових конкурентів, що може призвести до зниження ціни на продукцію.

На основі SWOT-аналізу розроблено альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації. Визначені альтернативи з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів наведені в табл. 4.13.

Таблиця 4.13

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Пошук інвестицій	Середня	4 місяці
2	Розширення ринку завдяки рекламі	Висока	2-3 місяці
3	Вихід на міжнародний ринок	Висока	3 місяці
4	Підвищення якості системи за рахунок якісніших компонентів	Середня	2 місяці

Аналіз альтернатив ринкового впровадження стартап-проекту показав, що найбільш оптимальними альтернативами будуть розширення ринку збуту завдяки рекламі та вихід на міжнародний рівень збуту, оскільки вони мають високу ймовірністю отримання ресурсів та відносно стислі строки реалізації.

4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Першим кроком розроблення ринкової стратегії є визначення стратегії охоплення ринку, а саме опис цільових груп потенційних споживачів, який наведено в табл. 4.14.

Таблиця 4.14

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Власники приватних будинків	Середня зацікавленість	Високий попит	Помірна інтенсивність	Середня складність
2	Підприємства, навчальні заклади	Висока зацікавленість	Високий попит	Висока інтенсивність	Середня складність
3	Власники малого бізнесу	Низька зацікавленість	Низький попит	Низька інтенсивність	Висока складність
Які цільові групи обрано: зважаючи на зацікавленість та попит, цільовими споживачами обрано дві перші групи.					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів, обрано цільові групи, що представлені власниками приватних будинків, власників підприємств та навчальні заклади. На основі проведеного аналізу обрано стратегію диференційованого маркетингу.

Для роботи з обраними сегментами ринку сформовано базову стратегію розвитку, яка наведена в табл. 4.15.

Таблиця 4.15

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
-	Спрощення інтерфейсу, розширення функціоналу	Стратегія диференційованого маркетингу	Якість, надійність, функціонал	Стратегія диференціації

Вибір стратегії конкурентної поведінки наведено в табл. 4.16.

Таблиця 4.16

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
-	Проект не є «першопрохідцем» на ринку	Компанія буде шукати нових споживачів, та забирати споживачів у конкурентів	Компанія не буде копіювати характеристики товару конкурента	Стратегія лідера

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розроблено стратегію позиціонування,

наведену в табл. 4.17, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 4.17

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
-	Низька вартість, простота використання, надійність	Стратегія диференціації	Оптимальне співвідношення ціна/якість, можливість персоналізації	Надійність Якість Персоналізація

На основі визначення базової стратегії розвитку, конкурентної поведінки та стратегії позиціонування, сформовано напрям роботи стартап-компанії на ринку, що полягає у постійному вдосконаленні проекту та розширенні функціоналу.

4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком при розробленні маркетингової програми стартап-проекту, є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару наведено в табл. 4.18.

Таблиця 4.18

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Оптимальне відношення якості функціоналу та ціни	Можливість вибору функціоналу, кількості та типу датчиків	Створення систем з різним функціоналом, залежність ціни від набору функцій та датчиків
2	Орієнтованість, зручність використання	Можливість персоналізації, простота використання	Вдосконалення проекту, орієнтованість під потреби користувачів

Після визначення ключових переваг концепції потенційного товару розроблено трирівневу маркетингову модель товару, ідея продукту, його фізичні складові та особливості процесу його надання наведені в табл. 4.19.

Таблиця 4.19

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Система адаптивного керування освітленням з персоналізованим функціоналом, що складається визначеного функціоналом набору датчиків та спеціального програмного забезпечення		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Персоналізований функціонал 2. Простий інтерфейс 3. Можливість моніторингу роботи системи 4. Можливість підключення додаткових датчиків	-	-
	Система пройшла тестування та відповідає вимогам ринку		
	Постачається в вигляді набору компонентів системи та спеціального програмного забезпечення для персонального комп'ютеру		
	Марка: Smart-light system		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: можливість вибору функціоналу		
	Після продажу: можливість розширення функціоналу		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: реєстрація назви товару, патентування технології розробки системи.			

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, а також аналіз рівня доходів споживачів, який наведено в табл. 4.20.

Таблиця 4.20

Визначення меж встановлення ціни (на прикладі приватного будинку)

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
-	Товари-замінники відсутні	15 тис. грн - 23 тис. грн, в залежності від розміру будинку та функціоналу системи	Вище середнього-високий рівень доходу	Оскільки є можливість вибору функціоналу, межі цін на товар становитимуть 12 тис. грн – 19 тис. грн

Аналіз та вибір оптимальної системи збуту наведено в табл. 4.21.

Таблиця 4.21

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
-	Замовлення системи на офіційному сайті або на сайті партнерів/посередників	Розробка системи з відповідним функціоналом, розробка програмного забезпечення, монтаж системи за бажанням споживача	Виробник – посередник – споживач	Офіційний сайт виробника, контакти партнерів/посередників

Фінальною складовою маркетингової програми є концепція маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування та визначену специфіку поведінки клієнтів. Розроблена концепція маркетингових комунікацій наведена в табл. 4.22.

Таблиця 4.22

Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Достатньо інформований споживач: відоме призначення системи	Соціальні мережі, email - розсилка, контекстна реклама	Якість Надійність Простота Персоналізація Функціонал	Донести переваги даного продукту, переконати в необхідності придбання продукту	«Розумне» освітлення за «розумну» ціну

Висновки до розділу 4

В результаті маркетингового дослідження визначено перспективи реалізації технічних рішень, проведено оцінювання ринкового впровадження та можливі напрямки реалізації стартапу. Проведено аналіз ринку та технічно-економічних переваг ідеї проекту.

Визначено перелік сильних, нейтральних та слабких характеристик та властивостей ідеї, на основі яких була сформована конкурентоспроможність майбутнього проекту. Оцінено потенційні можливості та загрози що можуть вплинути на планування напрямків розвитку проекту, з проведених досліджень випливає що проект є конкурентоспроможним.

Було визначено потенційні групи клієнтів, орієнтовний перелік характеристик для кожної групи, в залежності від цього було розроблено ринкову стратегію та маркетингову програму проекту.

ВИСНОВКИ

При огляді технічної літератури на тему «система розумного будинку» та «адаптивне освітлення приміщень» було розглянуто існуючі прототипи таких систем, наведено переваги та недоліки їх використання. Досліджено методи контролю та керування освітленням та запропоновано варіанти існуючих плат для керування освітленням. Розглянуто можливість розподілу приміщень на зони освітлення. Проведено огляд статистики використання електроенергії, та прийнято рішення про доцільність розробки системи адаптивного керування освітленням, що забезпечить до 40% економії електроенергії.

Розглянуто та описано види та типи джерел світла, існуючих датчиків освітлення та присутності що можуть в подальшому використовуватися в системі адаптивного керування освітленням. Досліджено варіанти створення системи адаптивного контролю локального та загального освітлення, та наведено структурні схеми за якими вони можуть бути реалізовані.

Проведено групування складових системи адаптивного керування освітлення за трирівневою ієрархією, у відповідності до якої розроблено структурну схему. В системі використана комбінована топологія та комбінований тип зв'язку, приведено переваги та недоліки технічних рішень. Розроблено алгоритм роботи системи та написано код для поблочного програмного зв'язку компонентів системи.

Розроблено стартап-проект, наведено зміст ідей проекту та проведено маркетинговий аналіз, в результаті якого визначено ринкові можливості, напрямки застосування та вигоди. Визначено перелік сильних, слабких та нейтральних характеристик та властивостей ідеї, на основі яких була сформована конкурентоспроможність майбутнього проекту. Досліджено потенційні можливості та загрози при виході на ринок, проаналізовано потенційні групи клієнтів, проведено SWOT-аналіз на основі якого розроблено ринкову стратегію та маркетингову програму стартап-проекту.

Поставлена задача магістерської дисертації була вирішена в повній мірі

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Forecasting of electricity consumption in SmartGrid [Електронний ресурс] / J. Yamnenko, T. Tereshchenko, L. Klepach and D. Palii //International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). – 2017. – Режим доступу до ресурсу:<https://ieeexplore.ieee.org/document/8248891/>
2. MicroGrid - відповідь на нові виклики електроенергетики / М. Шилер, Є. Рублевский. // Control Engineering – 2017. – С.80–83
3. Smart home research [Електронний ресурс]/ Li Jiang, Da-You Liu, Bo Yang //Proceedings of 2004 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (IEEE Cat. No.04EX826). – 2014. – ISBN: 0-7803-8403-2. – DOI: 10.1109/ICMLC.2004.1382266. – Режим доступу до ресурсу:<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1382266>.
4. Proposal for an intelligent lighting system, and verification of control method effectiveness [Електронний ресурс]/ М. Miki, Т. Hiroyasu, К. Imazato// IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems. – 2014. – ISBN: 0-7803-8643-4. – DOI: 10.1109/ICCIS.2004.1460469. – Режим доступу до ресурсу:<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1460469>.
5. Smart home or building (home automation or domotics) [Електронний ресурс]/ М. Rouse //TechTarget – 2020. – Режим доступу до ресурсу:<https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-home-or-building>
6. Designing an Adaptive Lighting Control System for Smart Buildings and Homes[Електронний ресурс]/ Yuan Wang, Partha Dasgupta // Arizona State University conference – 2015. – Режим доступу до ресурсу:https://www.researchgate.net/publication/280003515_Designing_an_Adaptive_Lighting_Control_System_for_Smart_Buildings_and_Homes.
7. An intelligent light control system for power saving [Електронний ресурс] /S. Matta// IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial –2010. - Р. 3316–3321. – Режим доступу до ресурсу:

https://www.researchgate.net/publication/261464920_An_intelligent_light_control_system_for_power_saving.

8. Adaptive lighting systems: Occupancy sensing [Електронний ресурс] //Silvair – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://silvair.com/blog/adaptive-lighting-systems-occupancy-sensing/>.

9. Bluetooth Smart based Attendance Management System [Електронний ресурс] / Riya Lodha, Suruchi Gupta, Harshil Jain, Harish Narula // International Conference on Advanced Computing Technologies and Applications (ICACTA-2015) . – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://core.ac.uk/reader/81125800>.

10. Estimation of lighting energy savings from daylighting [Електронний ресурс]/ P. Ihm, A. Nemri, and M. Krarti // Building and Environment. – 2009. – Vol. 44. – №3. – P. 509 – 514. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132308000760>.

11. Maker Faire Rome 2020 [Електронний ресурс] //Make Community LLC. – 2020 – Режим доступу до ресурсу: <https://makerfaire.com/>.

12. Eben Upton, Gareth Halfacree. Raspberry Pi User Guide// John Wiley & Sons. – 2014. – 312 p.

13. Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi [Електронний ресурс] //RASPBERRY PI FOUNDATION UK REGISTERED CHARITY 1129409 – 2020 – Режим доступу до ресурсу: <https://www.raspberrypi.org/>

14. Arduino Uno [Електронний ресурс] // ARDUINO – 2020 – Режим доступу до ресурсу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno>.

15. 3 BASIC TYPES OF LIGHTING [Електронний ресурс] //Standard Products Inc. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.standardpro.com/3-basic-types-of-lighting/>

16. Природне освітлення. Природне, або денне, світло – це поєднання сонячного світла й дифузного світла небосхилу[Електронний ресурс] //Студопедия.Орг – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://studopedia.org/7-134505.html>

17. Ачкасов А. Є., Лушкін В. А., Охріменко В. М., Кузнецов А. І., Чернявська М. В., Воронкова Т. Б. Електротехніка у будівництві: навч. пос. [Текст] – Харків: ХНАМГ – 2009 – 363 с.

18. Ambient Light Sensor Integration Frangiskos [Електронний ресурс] / V. Topalis, Lambros T. Doulos //Spring International Publishing. – Switzerland. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/mhSPAM9er>.

19. Власюк Н. П. Люминесцентные лампы и их электронные балласты // Радіоаматор. – 2009. – № 5.

20. Do hotel thermostats with motion sensors have you waking up in a sweat? [Електронний ресурс] / Catharine Hamm. // Los Angeles Times – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.latimes.com/travel/deals/la-tr-spot-20150215-story.html>

21. Virtual Occupancy Sensing: Using Smart Meters to Indicate Your Presence [Електронний ресурс] / Ming Jin; Ruoxi Jia; Costas J. Spanos //IEEE Transactions on Mobile Computing – 2017. – Vol.16. – №11. – P.3264–3277. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7882676>

22. Light Level Sensor - LM393 [Електронний ресурс] //Sensnology AB– 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mysensors.org/build/light-lm393>

23. Датчик движения [Електронний ресурс] //Sensnology AB – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://mysensors.ru/build/motion/>

24. Олифер В. Г.. Глава 13. Коммутируемые сети Ethernet Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / Олифер В. Г., Олифер Н. А.– Изд. 4-е – СПб.:Питер, 2010. – С. 438. – 4500 экз. – ISBN 978-5-49807-389-7.

25. Empowering the smart home [Електронний ресурс] //openHAB Community and the openHAB Foundation e.V. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.openhab.org/>

26. Електронний ресурс Awaken your home <https://www.home-assistant.io/>

27. М.П.Гандзюк, Є.П.Желібо, М.О.Халімовський. Основи охорони праці.– К.: Каравела, 2007. –

28. С. Бланк Б. Дорф. Стартап: Настільна книга засновника / Під ред. Т. Гутман, І. Окунькова, О. Бакушева – Москва: Альпіна Паблішер, 2013. – 485 с.

29. Гай Кавасаки. Стартап по Кавасаки: Проверенные методы начала любого дела. – М.: Альпина Паблішер, 2016. –331с. – ISBN 978-5-9614-5891-6.

ABSTRACT

The actuality of theme. The modern development of science and technology in the field of electronics and telecommunications has led to the emergence and widespread introduction of intelligent decision-making systems, signal analysis from a large number of sensors of various types in real-time, implementation of the concept of the Internet of Things. The concepts of MicroGrid and SmartGrid have developed rapidly, and modern buildings are increasingly equipped with the means and technological solutions of "smart devices".

The design and development of adaptive lighting systems is an urgent task as with the development of technology there is a problem in the automation of lighting systems to save electricity consumption. According to statistics, about 40% of the electricity generated is consumed for lighting.

One of the main advantages of an adaptive lighting system is its ability to provide enormous energy savings. This can be achieved by giving lighting fixtures a degree of autonomy. A well-established system of adaptive lighting can be much more efficient than one that relies solely on human decisions.

In order for a lighting system to be able to make autonomous decisions about light radiation and operation, it must be provided with a flow of information by which such decisions can be made. Most of this data comes from sensors. The sensor-controlled network of smart light bulbs is able to track and interpret changes in the environment to dynamically adjust its operation for optimal comfort and energy efficiency, as well as reduce electricity bills.

Purpose and objectives. The task of this work is to design an adaptive lighting system. An additional task is to organize the system with the lowest percentage of failures and system errors. The novelty is to use as a source of information not only light level sensors but also presence sensors that will ensure higher manufacturability of the system. The most difficult scenario, which promises the most efficient energy management, is when the charge sensors are built directly

into the lighting fixtures. This allows each device to respond to fill signals from a sensor installed in it. This installation is ideal for offices or certain types of production facilities, as it considers each workstation as a separate area, which will be improved only when there is an employee.

The object of research is the process of adaptive lighting control, which provides automation of lighting systems to save electricity consumption.

The subject of research is methods of control and management of lighting by means of special sensors.

Research methods. To solve the problems of lighting control and management, the occupancy sensing method is used, which is implemented using presence sensors and allows you to automatically dim or turn off the light after a certain space has been free for a certain period of time defined by the user. The method of sounding natural light was also used, for the implementation of this method light sensors were used, which provide control of natural light in the room and provide information on the compliance of the lighting level with the norms.

The scientific novelty of the obtained results. The developed system of adaptive lighting control uses two types of sensors in parallel, which ensures the implementation of two methods of lighting control. The system is built on a combined topology that ensures the decentralization of control modules, and makes the system fault-tolerant, and also uses a combined type of connection, which provides the system with installation flexibility and greater noise immunity.

The practical significance of the obtained results. The lighting control system allows you to program the lighting scenarios of the house. Lighting intellectualization, in addition to the ability to program scenarios, is the ability to customize the system according to the needs and desires of users who make adjustments to possible scenarios or create new ones. The use of modern methods of artificial intelligence, including machine learning, mathematical apparatus of artificial neural networks, allows you to train the system taking into account the characteristics of a particular house and a particular user of services.

Approbation. International Conference «Control and Management in Complex Systems (KUSS-2020)», Vinnitsa, October 8-10, 2020

Publications.

1. Arshan, E.V. Development of an electronic stand based on a microcontroller for debugging programs [Electronic resource] / Arshan E.V., Semikina T.V. // XIII scientific-practical conference "Prospective areas of modern electronics" April 4 2019, Kyiv: conference materials. - 2019. - P. 31–38. - Access mode: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37319>.

2. Arshan E.V. Ultraviolet radiation power meter [Electronic resource] / Arshan E.V., Bondarenko R.I., Kalachnikov O.O., Sidnev O.B., Semikina T.V. // Microsystems, electronics and acoustics., 2020. - Vol.25. - №2. - P.45-49. - Access mode: <http://elc.kpi.ua/article/view/199843>.

3. Arshan E.V. System of adaptive lighting control [Electronic resource] / Arshan E.V., Bondarenko R.I., Kalachnikov O.O., Yamnenko Y.S. // X International scientific-practical Internet-conference «Modern challenges and current problems of science, education and production» November 13, 2020, Kyiv: conference proceedings. - 2020 - P. 554–563. - Access mode: https://openscilab.org/wp-content/uploads/2020/11/suchasni-vikliki-i-aktualni-problemi-nauki-osviti-ta-virobnictva_2020_11_13_tezy.pdf.

The structure and scope of the dissertation. The master's dissertation consists of an introduction, 4 chapters, general conclusions, a list of references of 29 titles, and 1 appendix. The total volume of the work is 123 pages, which contains 19 figures and 22 tables.

ДОДАТОК А
ПУБЛІКАЦІЇ

УДК 004.31; 004.3'12; 621.37; 621.382

Розробка електронного стенду на основі мікроконтролера для налагодження програм

¹Аршан Є.В., к.т.н., ^{1,2}Семікіна Т.В.

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

²Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України

Анотація: В роботі представлено конструкторську документацію електронного стенду на основі мікроконтролера. Даний стенд розроблений для візуальної перевірки коректної роботи програм, написаних для виконання певних дій електронними пристроями, зняття показників датчиків, виконання світлової індикації. Електронний стенд дає можливість підключення додаткових зовнішніх периферійних пристроїв для виконання конкретних задач.

Вступ

Мікропроцесори та похідні від них – мікроконтролери – є широко поширеним елементом інфраструктури сучасного суспільства, заснованого на електроніці і комунікаціях.

За останні роки мікроконтролери AVR придбали велику популярність, залучаючи розробників досить вигідним співвідношенням «ціна/швидкодія/ енергоспоживання», зручними режимами програмування, доступністю програмно-апаратних засобів підтримки і широкою

номенклатурою випущених кристалів. Мікроконтролери (МК) цієї серії є чудовим інструментом для створення сучасних високопродуктивних і економічних контролерів багатоцільового призначення [1].

Сучасна стратегія модульного проектування забезпечує споживача різноманітністю моделей МК з одним і тим же процесорним ядром. Така структурна і різноманітність відкриває перед розробником можливість вибору оптимального МК. Програмування мікроконтролерів здійснюється різними шляхами:

1. Шляхом тестування на симуляторах;
2. Розробка макетів.

Але в цих двох методах є суттєві недоліки: робота в симуляторі часто відрізняється від роботи з електронними пристроями, при збиранні на макетній платі можна зробити помилку і вивести контролер з ладу або підключити невірно.

Відмінним рішенням для усунення цих проблем є налагоджувальна плата. Це плата, де

вже все правильно підключено і розведено. Функціонування електронних пристроїв можна перевірити на еталонній демопрограмі, а вбудовані системи діагностики і прошивки дозволяють записати нову прошивку в мікроконтролер одним рухом. Залишається тільки експериментувати, не відволікаючись на сторонні фактори.

Також налагоджувальна плата служить зручним засобом для швидкого створення прототипів та обкатки вузлів, перевірки ідей і методів. Зібрати на демоплаті, перевірити, що ідея працює, як потрібно відкоригувати, а після вже налагоджений код використати в реальному проекті.

Світові фірми пропонують широкий вибір налагоджувальних плат, які мають більше можливостей, але вартість таких плат є дуже високою. Найбільш відомими брендами в області виробництва налагоджувальних плат і модулів розширення є наступні компанії: Atmel, Digilent, Embest, Freescale, Future Technology, IAR Systems, Microchip, mikroElektronika, Olimex, Seeed Studio, ST Microelectronics, ST Microelectronics, Texas Instruments, WaveShare. Заводські прототипи налагоджувальних плат та електронних стендів на основі мікроконтролера для налагодження програм є електронними пристроями для візуальної перевірки коректності роботи програм. Але такі електронні стенди виходять на ринок продажу в стандартних комплектаціях в

залежності від рівня складності системи. Це обумовлює високу ціну так як для виконання різних типів завдань потрібно купляти новий електронний стенд який буде відповідати вимогам певного проекту для якого розроблене конкретне програмне забезпечення яке потрібно перевірити на коректність.

При всій різниці у найменуваннях, всі налагоджувальні плати виконують одну функцію: зменшують ймовірність непрацездатності програми через неправильне функціонування апаратної частини проекту – «заліза». Розробник як би відсувається від апаратної частини проекту, і концентрує свої зусилля на процесі написання і налагодження програми.

В даній роботі вирішується задача розробки електронного стенду на основі мікроконтролера для подальшого налагодження роботи програм. Програма зв'язує мікроконтролер з певними виконавчими елементами, наприклад: таймер, світлофор, світлова індикація. Робота таких програм перевіряється за допомогою електронного стенду, котрий підключається безпосередньо до підсистеми. Розроблений та представлений в цій роботі електронний стенд відрізняється від вже існуючих аналогів тим, що стандартна комплектація не вміщує в себе нічого зайвого, що обумовлюватиме низьку ціну і високу практичну цінність. Мультизадачність електронного стенду обумовлена можливістю підключення додаткових підсистем, що потрібні для візуальної

перевірки роботи конкретної програми, в вигляді периферійних пристроїв, до вільних портів мікроконтролера.

Стенд можна використовувати для лабораторних робіт по вивченню роботи мікроконтролерів.

1. Експериментальна частина

1.1. Розробка схеми електричної принципової та друкованої плати стенду

В роботі було розроблено конструкторську документацію

необхідну для виготовлення стенду. Для цього було застосовано програми Splan та Sprint-Layout.

Програмне середовище Splan – простий і зручний інструмент для креслення електронних і електричних схем, дозволяє легко переносити стандартні позначення електро-радіо елементів (ЕРЕ) та символи з бібліотеки елементів на схему і прив'язувати їх до координатної сітки. Електрична схема, зроблена за допомогою цієї програми представлена на рис.1.

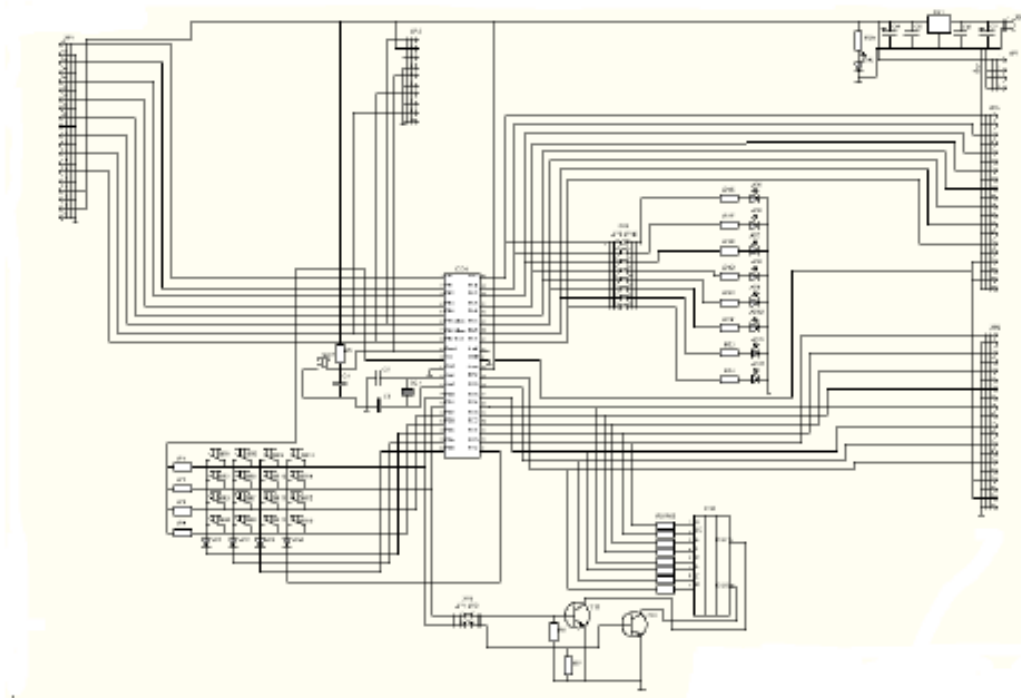


Рис 1. Схема електрична принципова.

При розробці друкованої плати було використано програму Sprint-Layout.

Sprint-Layout - це просте і дуже зручне програмне забезпечення для розробки одно- та двосторонніх

друкованих плат, розміри яких не перевищують 300×300 мм.

Розробка креслення друкованої плати починалася з нанесення координатної сітки. За основний крок координатної сітки приймається 2,54 мм. Креслення друкованої плати – містить всі відомості, необхідні для її виготовлення і контролю: зображення друкованої плати з боку друкованого монтажу; розміри, граничні відхилення всіх її елементів (отворів, провідників), а також розміри відстаней між ними; необхідні технічні вимоги, відомості про матеріал. При розробці друкованої плати було враховано ширину друкованих провідників, отворів для свердління та розміри кожного елемента, щоб відповідати правилам оптимальної конфігурації. Креслення друкованої плати представлено на рисунку 2.

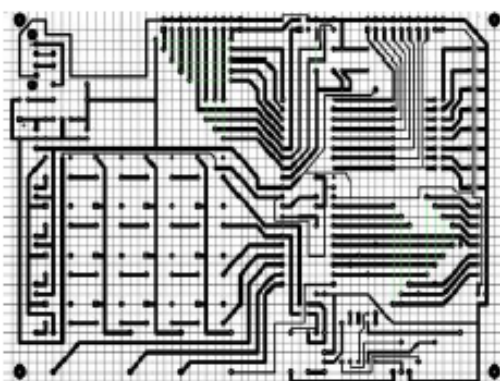


Рис 2. Креслення друкованої плати.

Після створення схеми електричної принципової, переліку елементів та креслення друкованої плати було зроблено монтаж пристрою.

Розробка пристрою була проведена з урахуванням таких вимог:

- простота схеми (мінімальна кількість компонентів);
- функціональна насиченість, різноманіття регульованих параметрів;
- стійкість до змін напруги, довговічність;
- можливість керування мінімум чотирма функціями;
- низьке енергоспоживання.

При розробці конструкції виробу зроблено:

- було спроектовано схеми лабораторного стенду на основі мікроконтролера ATmega32A;
- було вибрано радіоелементи, що забезпечують надійну і стійку роботу схеми;
- було досягнуте оптимальне співвідношення ціни та якості вибраних електро-радіо елементів (ЕРЕ).

1.2. Характеристики мікроконтролера

В роботі використовується 8 - розрядний мікроконтролер сімейства AVR ATmega32A. Цей мікроконтролер виготовлений по кремній-метал-окисел-напівпровідник (КМОП) - технології, яка в поєднанні з RICS архітектурою дозволяє досягти найкращого співвідношення показників швидкодія/енергоспоживання. Вони популярні завдяки низькій ціні,

наявності технічної документації, простоті програмування і легкості монтажу.

Основні характеристики мікроконтролера що лежить в основі стенду [2]:

- має 131 потужну інструкцію, більшість з яких виконуються за один машинний цикл;
- має 32×8-розрядних регістрів загального призначення і регістри управління вбудованою периферією;
- повністю статична робота;
- продуктивність до 16 мільйонів в секунду операцій при тактовій частоті 16 МГц;
- має вбудований помножуючий пристрій що виконує множення за 2 машинних цикли;
- має шістнадцять кбайт внутрішньосистемної перепрограмованої флеш-пам'яті;
- пам'ять даних (оперативна пам'ять (ОЗП)) 512 байт;
- пам'ять даних (EEPROM) 512 байт;
- програмований захист коду програми;
- два 8-розрядних таймера-лічильника з роздільними подільниками і режимами порівняння;
- є один розширений 16-розрядний таймер-лічильник з окремим подільниками, режимом порівняння і режимом захоплення;
- лічильник реального часу з окремим генератором;
- є два 8-розрядних канали широтно-імпульсної модуляції (ШІМ);
- є модулятор виходів порівняння;
- є 8 мультиплексованих каналів 10-розрядного аналогово-цифрового перетворення;
- є двопровідний послідовний інтерфейс, орієнтований на передачу даних в байтовому форматі;
- є послідовний інтерфейс SPI з підтримкою режимів ведучий / підлеглий;
- є програмований сторожовий таймер з вбудованим генератором;
- є вбудований аналоговий компаратор;
- скидання при подачі живлення і програмована схема скидання при зниженні напруги живлення;
- є вбудований калібрований RC-генератор;
- є зовнішні та внутрішні джерела переривань;
- є програмний вибір тактової частоти;

- напруга живлення $4,5 \div 5,5$ В;
- струм при частоті 8МГц, при температурі 25 °С і напрузі живлення 5В рівний 13 мА. [3]

Однак досить часто бувають випадки, що потужності такого мікроконтролера для вирішення поставленої задачі недостатньо. Крім швидкості, восьмирозрядні мікроконтролери мають і інші обмеження, наприклад, в багатьох моделях AVR всього один апаратний послідовний порт, що не дозволяє отримувати інформацію від зовнішнього пристрою і одночасно пересилати результати її обробки споживачеві. Наприклад, виведення інформації на графічний індикатор потребує великих ресурсів як швидкості, так і пам'яті [4].

Але розроблений виріб призначений для використання у навчальних цілях і вирішення задач, які не потребують для свого виконання великих потужностей.

Переваги розробленого стенду:

- зручність виконання лабораторних робіт, які пов'язані із програмуванням мікроконтролерів сімейства AVR;
- можливість удосконалення;
- низький рівень енергоспоживання;
- можливість виконання в одному комплексі декількох задач;
- низька собівартість.

Основними характеристиками розробленого виробу є:

- напруга живлення $9 \div 12$ В – підключення через зелену клему, 5 В – підключення за допомогою USB;
- використовується мікроконтролер сімейства AVR ATmega32A;
- передбачене під'єднання периферійного обладнання;
- безпосередньо до МК під'єднані світлодіоди (8 штук), семисегментний індикатор та матриця кнопок 4x4;
- передбачена можливість перепрограмування МК за допомогою SPI інтерфейсу.

1.3. Характеристика лабораторного стенду

В своєму складі лабораторний стенд має таку елементну базу: резистори, конденсатори, діоди, стабілізатор, фотодіоди, мікроконтролер, транзистри, кварц, кнопки, штекерні роз'єми, семисегментний індикатор та USB-штекер, що використовується як допоміжне джерело живлення. Усі перелічені електро-радіо елементи є стандартними, тобто вони є покупними, що значно збільшує технологічність виробу. Семисегментний індикатор і світлодіоди потрібні для світлової індикації в залежності від потрібної програми. Підключати світлодіод безпосередньо, без резистора, можна тільки до джерела живлення, що має

великий внутрішній опір. У всіх інших випадках обмеження струму необхідно для запобігання виходу діода з ладу. Для цього ми ставимо по резистору на кожен вивід індикатора (крім 5 і 10 виводу) і по одному резистору на катод світлодіода. Чотири резистора по 10 кОм, чотири діоди і 16 кнопок формують матрицю кнопок, що в подальшому буде потрібна для задання програми. Транзистори потрібні для створення динамічної індикації, що дозволить не перенавантажувати мікроконтролер. Штекерні виводи потрібні для відключення додаткових периферійних плат.

МК виготовлений з використанням технології незалежної пам'яті високої щільності фірми Atmel. Використана технологія Flash дозволяє пам'ять програми перепрограмувати в системі через послідовний інтерфейс SPI, за допомогою звичайної незалежної пам'яті, або за допомогою завантаження програми на чип що працює на ядрі AVR [5].

Програма завантаження може використовувати будь-який інтерфейс для завантаження прикладної програми в Flash-пам'яті. Програмне забезпечення в розділі BootFlash буде продовжувати працювати в той час як розділ застосування флеш оновлюється, забезпечуючи справжню операцію читання. Об'єднуючи 8-розрядний RISC-процесор з системою самообслуговування, програмованою флеш-пам'яттю на монолітному чипі, Atmel ATmega32A являє собою потужний мікроконтролер, який

забезпечує високо гнучке і економічно ефективне рішення для багатьох вбудованих додатків управління.

Розроблений стенд працює на основі кварцового генератора, який призначений для отримання коливань фіксованої частоти з високою температурною та часовою стабільністю, низьким рівнем фазових шумів. В результаті генератор забезпечує високу точність вимірювань.

1.4. Робота стенда

Щоб почати роботу із стендом, потрібно подати напругу від 9 В до 12 В на клему XS1, на виході стабілізатора DA1 отримаємо 5В для живлення МК та інших елементів плати.

Проте конструкція стенду дозволяє подати напругу +5 В від ПК за допомогою USB-подовжувача. Про наявність напруги +5В буде свідчити випромінювання світло діода «Живлення» VD1.

Програми можна розробляти для роботи світлодіодів VD2-VD9, які під'єднані до порту А мікроконтролера, індикатора DA2, що під'єднаний до порту С, або матриці кнопок, яка під'єднана до порту D. Є можливість вивести результати кожної обробки МК на периферійні прилади, що можливо під'єднати за допомогою роз'ємів XP1, XP4, XP5 .

Порти введення/виведення AVR мають число незалежних ліній "вхід / вихід" від 3 до 53. Кожна лінія порту може бути запрограмована на вхід або на вихід. Потужні вихідні драйвери

забезпечують струмову навантажувальну здатність 20 мА на лінію порту при максимальному значенні 40 мА, що дозволяє, наприклад, безпосередньо підключати до мікроконтролера світлодіоди і біполярні транзистори. Загальне струмове навантаження на всі лінії одного порту не повинне перевищувати 80 мА.

В стенді розташований кварц ZQ1, що дозволяє працювати МК на частоті 8МГц (за замовчуванням МК працює на базі внутрішнього RC-кола з частотою 1МГц). Генератор виробляє імпульси для синхронізації роботи всіх вузлів мікроконтролера. Внутрішній тактовий генератор AVR може запускатися від декількох джерел опорної частоти (зовнішній генератор, зовнішній кварцовий резонатор, внутрішній або зовнішній RC-ланцюги).

Джампера JP1-JP10 дають можливість від'єднання світлодіодів VD2-VD9 від порту А, та індикатора DA2 від порту С, для вільного керування периферійними пристроями під'єднаними до цього порту.

Таким чином, за рахунок джамперів, роз'ємів досягається функціональність, гнучкість та універсальність мікропроцесорної систем.

Висновки

Було розроблено електронний стенд на основі мікроконтролера ATmega32A. Даний стенд дозволяє проводити перевірку коректної роботи

програм. Стандартна комплектація стенду забезпечує низьку вартість, простоту в використанні, та багатофункціональність, яка реалізується завдяки можливості підключення додаткових підсистем в ролі периферії.

Література

1. Баландин В. Отладочная плата для микроконтроллеров PIC [Електронний ресурс] http://www.labkit.ru/html/programators_shm?id=444 – Назва з екрана.
2. ATMEGA16A-PU DATASHEET <http://datasheet.su/datasheet/Atmel/ATMEGA32A-PU> – [Електронний ресурс] – Назва з екрана.
3. Ревич Ю.В. Практическое программирование микроконтроллеров Atmel AVR на языке ассемблера/ Ревич Ю. В.. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 384 с.
4. Бойко В.І. Схемотехніка електронних систем. Мікропроцесори та мікроконтролери: підручник/ Бойко В. І., Гуржій А.М., Жуйков В.Я. – К.: Вища шк., 2004. – 399с.
5. Голубцев М.С. Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному/ Голубцев М.С. – М.: Солон-Пресс, 2003. – 288 с.

СИСТЕМА АДАПТИВНОГО КОНТРОЛЮ ОСВІТЛЕННЯ

Аршан Є.В.

студент Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9315-2801>

Бондаренко Р.І.

студент Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5529-0186>

Калачников О.О.

студент Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9387-7834>

Ямненко Ю.С.

Д.т.н., проф., Зав. каф. електронних пристроїв та систем факультету
електроніки Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9796-6420>

Сучасний розвиток науки і технологій в галузі електроніки та телекомунікацій призвів до появи та широкого впровадження інтелектуальних систем прийняття рішень, аналізу сигналів з великої кількості датчиків різних типів у режимі реального часу, реалізації концепції Інтернету речей на рівні побутових користувачів. Бурхливого розвитку

© Аршан Є.В., Бондаренко Р.І., Калачников О.О., Ямненко Ю.С.

зазнали концепції MicroGrid та SmartGrid, сучасні будівлі все в більшому ступені оснащуються засобами та технологічними рішеннями «розумних приладів» [1].

Система «розумний будинок» - це високотехнологічна система, яка інтегрує та керує усіма підсистемами та комунікаціями об'єкту побутового типу. Освітлення, опалення, сигналізація, відеоспостереження - це далеко не всі системи, якими можна керувати за допомогою системи «розумного будинку».

Наприклад, система керування освітленням дозволяє запрограмувати освітлювальні сценарії будинку. Інтелектуалізація освітлення, крім можливості програмування сценаріїв, полягає у можливості підлаштування під потреби та побажання користувачів, які вносять корективи у можливі сценарії або створюють нові. Застосування сучасних методів штучного інтелекту, включаючи машинне навчання, математичний апарат штучних нейронних мереж, дозволяє здійснити навчання системи з урахуванням особливостей конкретного будинку і конкретного користувача послуг [2].

В найпростішому випадку підлаштування освітлення проявляється у автоматичному вмиканні світла, коли людина з'являється або залишає кімнату. Додатково до освітлення підлаштовуються і інші параметри мікроклімату - система управління опаленням підтримує температуру у всьому будинку або в окремих приміщеннях у заданому діапазоні [3].

Відстеження активності людини у приміщенні є одним із найпоширеніших методів керування освітленням, що застосовуються в сучасних будівлях. Це дозволяє автоматично затемнювати або вимикати світло після того, як певний простір був вільним протягом певного періоду часу, визначеного користувачем. Як тільки рух виявляється, освітлення знову вмикається або збільшується за бажанням [4]. Виявлення руху обробляється датчиками руху, що використовують інфрачервону,

© Аршан С.В., Бондаренко Р.І., Калачников О.О., Ямненко Ю.С.

ультразвукову або мікрохвильову технологію зондування. Кількість датчиків, які слід розгорнути у даному просторі, щоб забезпечити реалізацію сценаріїв освітлення, залежить як від розміру та типу цього простору, так і від бажаної функціональності освітлення. Найбільшу гнучкість має сценарій, що передбачає розділення простору на декілька окремих зон освітлення, за кожну з яких відповідає один або декілька датчиків. Коли рух виявляється в одній із зон, освітлюється лише ця конкретна зона. Таке розташування є ефективним на великих відкритих просторах, сходах або довгих коридорах (приклад наведено на мал. 1, де виділено дві зони та відповідно два датчики).



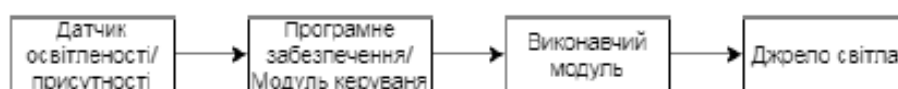
Мал. 1. Поділ приміщення на зони освітлення

Часткове освітлення зони 2 на рис.1 пов'язано з появою людини в зоні, що охоплюється датчиками присутності [5]. В такому випадку спрацюватимуть лише світильники, що відповідають за цю зону, і як тільки людина виходить із кімнати, весь простір знову стає темним.

Зондування зайнятості - це перевірена ефективна стратегія зменшення споживання енергії освітлення, і тому є необхідною вимогою енергетичного кодексу комерційних будівель. Потенційна економія, яка може бути досягнута у такій системі, суттєво різниться залежно від різних типів приміщень, причому найбільші переваги можна отримати в тих, в яких працівники працюють з перервами – наприклад, навчальні класи або офісні

приміщення. Однак загальне зниження світлового навантаження приблизно на 20-30% можна досягти таким чином у більшості типів комерційних просторів [6].

Системи адаптивного керування освітленням можна умовно поділити на два види: системи керування локальним та загальним освітленням. Локальне освітлення використовується для робочих зон та робочих приміщень, тобто місць, де потрібне більше освітлення або освітлення із заданими специфічними параметрами. Такі системи мають спрощену структуру керування, оскільки вони відповідають за невелику кількість джерел світла. Розробка та установка системи адаптивного локального освітлення є актуальною задачею за умови періодичного використання робочого місця. Така система проєктується із застосуванням датчиків освітленості (або присутності) та модуля обробки даних (мал. 2).



Мал. 2. Структура системи керування локальним освітленням

Зв'язок між модулями системи локального освітлення доцільно організувати за допомогою провідного з'єднання. Таке з'єднання може бути організоване за допомогою стандарту RS-485, або кабелю UTP5. Оскільки модулі такої системи розташовані на малій відстані один від одного, таке з'єднання забезпечить порівняно більшу швидкість роботи системи та меншу кількість помилок при передачі сигналу. Недоліком такого з'єднання є конструктивні аспекти, що передбачають прокладання дротів при монтажі.

Система адаптивного керування загальним освітленням потребує більшої складності керування та більшої кількості компонентів, оскільки охоплює більшу частину приміщення, ніж локальне освітлення. Загальне освітлення використовується в житлових, навчальних, робочих, офісних приміщеннях. Адаптивне керування освітленням необхідне для економії

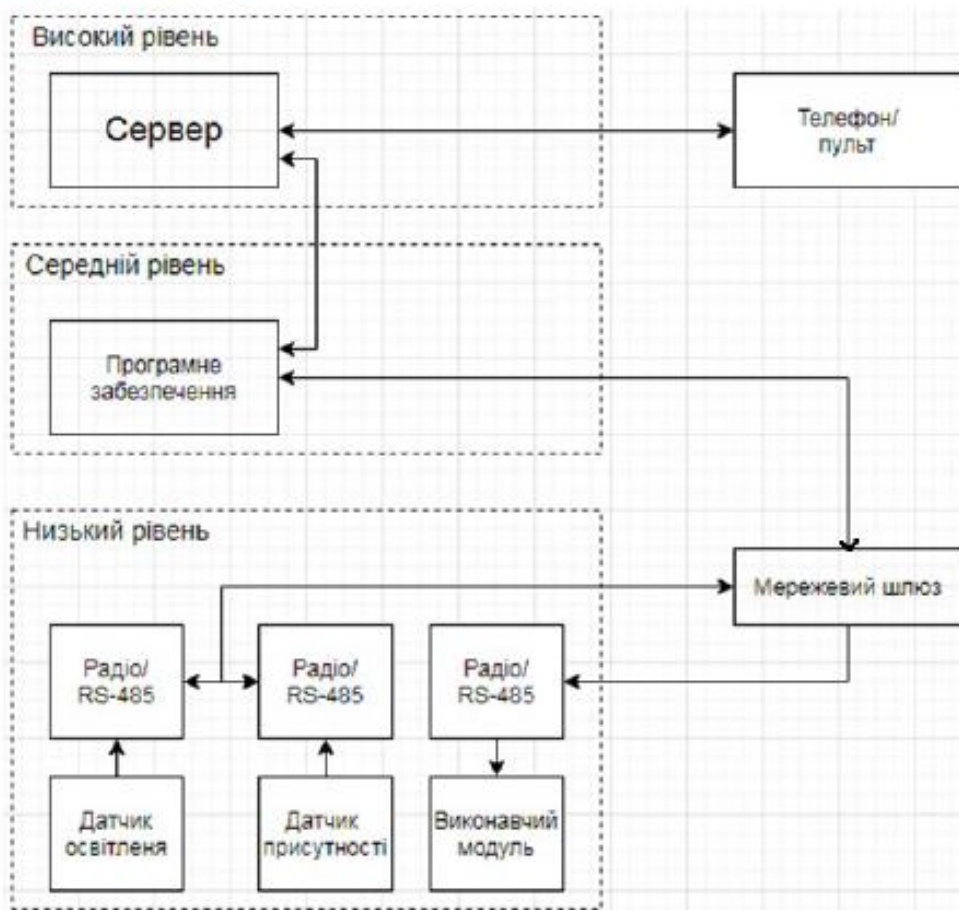
електроенергії за допомогою контролю джерел освітлення. Така система включає датчики освітлення та датчики присутності, мережевий шлюз, пристрій керування, на якому встановлене програмне забезпечення, що здатне опрацювати сигнали з датчиків та приймати рішення про вмикання/вимикання освітлення та реалізацію заданих сценаріїв, а також виконавчий модуль (мал. 3). Для реалізації складних сценаріїв та забезпечення функціонального моніторингу система може включати в себе сервер, на дисплеї якого відображаються наявні пристрої, їх стан, а система керування вносить необхідні корективи у сценарії відповідно до умов сценаріїв, сигналів з датчиків та корегувань з боку користувача.



Мал. 3. Структура системи керування загальним освітленням

Кількість компонентів і складність системи залежить від кількості джерел світла. Також дана система може бути побудована за іншою топологією, наприклад, «зірка», але централізація системи може загрожувати збільшенням кількості помилок при передачі сигналу бездротовими технологіями.

Систему адаптивного керування освітленням можна побудувати у вигляді ієрархічної структури – наприклад, трирівневої (високий, середній, низький рівні на мал. 4).



Мал. 4. Рівні системи керування адаптивним освітленням

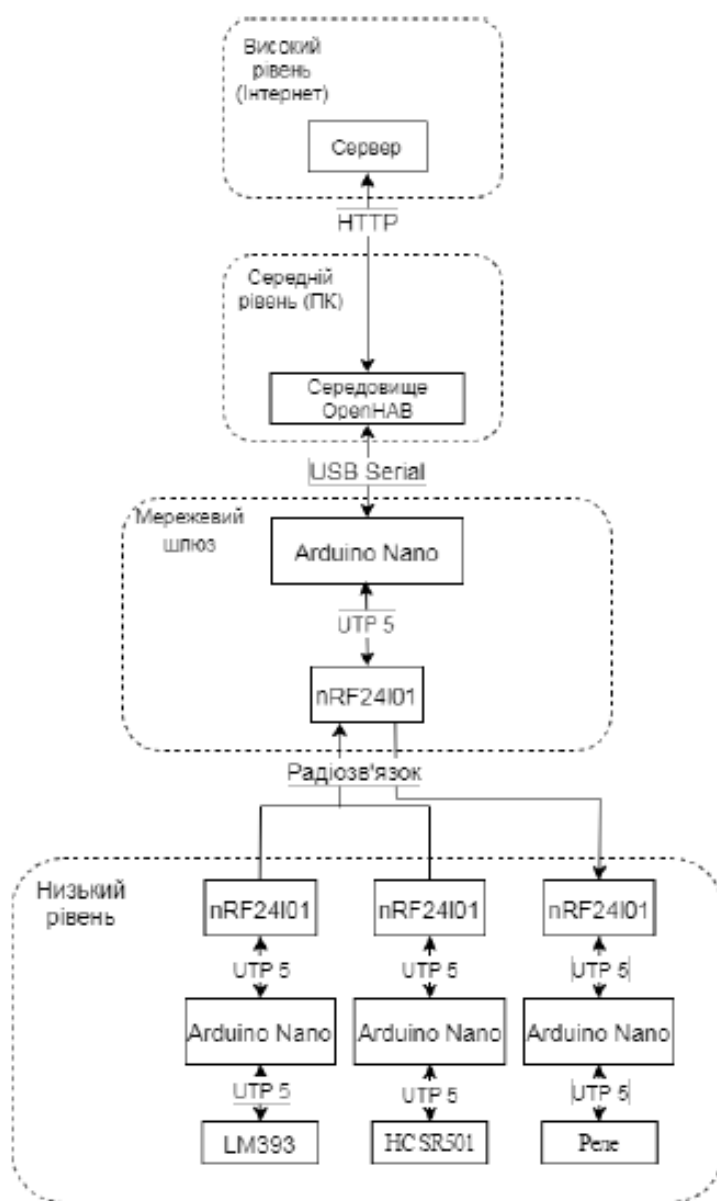
На низькому рівні розміщуються датчики та виконавчий модуль. В якості виконавчого модуля для таких систем зазвичай використовують реле. Всі датчики за допомогою радіозв'язку або протоколу передачі даних RS-485 (стандарт передачі даних двопровідним напівдуплексним багатоточковим послідовним каналом зв'язку) передають сигнал про стан освітлення приміщення чи про присутність людей в приміщенні до мережевого шлюзу. З мережевого шлюзу надходить сигнал до виконавчого

модуля. Мережевий шлюз виконує функцію роутера і використовується для узгодження низького та середнього рівня системи.

Середній рівень представляє собою програмне забезпечення, реалізоване на ПК або модулі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi. Програмне забезпечення здатне обробляти сигнали від датчиків світла та присутності і приймати рішення про вмикання та вимикання світла. В ролі такого програмного забезпечення можуть бути використані такі середовища, як OpenHAB, Home Assistant, Majordomo, та інші. Програмне середовище середнього рівня приймає сигнал від датчиків освітлення та руху, що розташовані на низькому рівні, через мережевий шлюх, обробляє їх згідно заданого алгоритму, та передає команду на реле про ввімкнення або вимикання світла.

Високий рівень організовується за допомогою серверу, що реалізує керування програмним середовищем і відповідно освітленням віддалено – за допомогою смартфона або іншого пристрою, що передбачає підключення до мережі інтернет.

Структурну схему системи адаптивного керування освітленням для одного джерела освітлення розроблено на базі процесора Arduino Nano. При збільшенні кількості джерел освітлення, збільшиться і кількість виконавчих елементів та датчиків освітлення (в залежності до поставленої задачі). Дана схема побудована за трирівневою ієрархічною структурою (мал. 5).



Мал. 5. Структурна схема проектованої системи адаптивного керування освітленням

У спроектованій системі адаптивного керування освітленням використано комбіновану топологію та тип зв'язку між компонентами системи. На нижньому рівні використовується топологія мережі «зірка», що забезпечується провідниковим з'єднанням за допомогою кабелю UTP 5, що в

свою чергу забезпечує надійність, високу швидкість передачі даних та завадостійкість. Середній та високий рівні пов'язані між собою за топологією «шина», що в свою чергу забезпечує надійність системи. При виході з ладу одного з пристроїв високого чи середнього рівня система контролю освітлення (нижній рівень) продовжить працювати в штатному режимі, ускладниться лише візуальне відображення пристроїв керування або можливість ручного налаштування системи.

Таким чином, реалізація адаптивного керування освітленням є важливим компонентом сучасних інтелектуальних систем типу «розумний будинок». Реалізація складних сценаріїв освітлення та підлаштування під потреби конкретного користувача можливо за допомогою багаторівневої ієрархічної структури системи.

Список використаних джерел:

1. J. Yamnenko, Forecasting of electricity consumption in SmartGrid [Електронний ресурс] / T. Tereshchenko, L. Klepach and D. Palii //International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8248891/>
2. Margaret Rouse. Smart home or building (home automation or domotics). URL: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-home-or-building> (дата звернення: 03.11.2020).
3. J. Yamnenko, Forecasting of electricity consumption in SmartGrid [Електронний ресурс] / T. Tereshchenko, L. Klepach and D. Palii //International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8248891/>
4. Ming J. Virtual Occupancy Sensing: Using Smart Meters to Indicate Your Presence [Електронний ресурс] / J. Ming, J. Ruoxi, J. Costas // IEEE Transactions on Mobile Computing. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7882676/>.

5. Adaptive lighting systems: Occupancy sensing [Електронний ресурс] // Silvair. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://silvair.com/blog/adaptive-lighting-systems-occupancy-sensing/>.

6. P. Ihm. Estimation of lighting energy savings from daylighting [Електронний ресурс] P. Ihm, A. Nemri, and M. Krarti // Building and Environment. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132308000760>

Вимірювач потужності ультрафіолетового випромінювання

Аршан^f Є. В., ORCID [0000-0001-9315-2801](https://orcid.org/0000-0001-9315-2801)

Бондаренко^f Р. І., ORCID [0000-0002-5529-0186](https://orcid.org/0000-0002-5529-0186)

Калачников^f О. О., ORCID [0000-0002-9387-7834](https://orcid.org/0000-0002-9387-7834)

Семікіна^a Т. В., к.т.н. с.н.с., ORCID [0000-0002-6182-4703](https://orcid.org/0000-0002-6182-4703)

Кафедра електронних пристроїв та систем eds.kpi.ua

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ROR [00syn5v21](https://orcid.org/00syn5v21)

Київ, Україна

Сіднев О. Б., с.н.с., ORCID [0000-0001-6367-1846](https://orcid.org/0000-0001-6367-1846)

Інститут фізики напівпровідників ім. В. Лашкарьова НАНУ isp.kiev.ua

Київ, Україна

Анотація—В роботі представлено етапи розробки пристрою для виміру потужності ультрафіолетового (УФ) випромінювання. В якості первинного перетворювача пропонується розроблений авторами фотодіод на основі поверхнево-бар'єрної структури р-Si₃N₄/n-CdS з фоточутливою складовою на основі сульфід кадмію CdS. Наведено етапи розробки схеми підсилювача для обраного фотодіоду. В якості аналога розглядалась схема підсилювача UV Sensor V2 на основі GUVVA-S12SD. Представлено оригінальну схему підсилювача, яка має наступні переваги: однополюсне живлення; менша різниця потенціалів між входом і виходом у порівнянні з аналогом; змінний коефіцієнт підсилення. Виконано розрахунок номіналів компонентів схеми. Для обробки сигналу з підсилювача обрано аналого-цифровий перетворювач АЦП K1108PB1A та надано його технічні характеристики. Запропонована блок-схема пристрою: фотодіод, підсилювач вхідного сигналу, АЦП, мікроконтролер.

Ключові слова — ультрафіолетове випромінювання; кадмій сульфід; фотодіод; підсилювач.

1. ВСТУП

Дослідження потужності ультрафіолетового випромінювання (УФ) є актуальною задачею оскільки ультрафіолетове випромінювання використовується для знезараження води, для створення атмосфери з високим ступенем стерильності при експлуатації в цехах по виготовленню мікросхем, в системах навігації ракет для знищення літаків, тощо [1]–[4]. Особливо важливе в наш час вимірювати УФ випромінювання в озоновому шарі. При контролі забруднення повітря та води також проводяться виміри УФ. Датчики УФ знаходять нові галузі застосування, до яких відноситься оптична комунікація на УФ випромінюванні, вивчення Сонця та атмосфери в світовому діапазоні 300–400 нм, вивчення атмосфери планет та екосфери Марса. Розробка ультрафіолетового нітратного сенсору дозволить створити мапу забруднення океанів, а аерозольного флуоресцентного сенсору — виявити біологічні частки, присутні в повітрі [5].

Завданням даної роботи є проектування пристрою для реєстрації та виміру потужності ультрафіолетового випромінювання.

В першу чергу для реєстрації УФ випромінювання необхідно мати датчик УФ - первинний чутливий

елемент. В якості датчиків УФ найчастіше використовують фотодіоди на основі широкозонних напівпровідникових матеріалів та кремнію [3]–[11]. Останнім часом значна кількість публікацій присвячена датчикам УФ на основі оксиду цинку [5]. Для збільшення фоточутливої поверхні і, як наслідок покращення характеристик УФ сенсора, оксид цинку вирощують у вигляді наночастинок, нанодріотів та наностержків [5]. Для прикладного застосування УФ сенсорів необхідно розробити пристрій – вимірювач потужності чи дози УФ радіації. Загальний аналіз існуючих вимірювачів УФ випромінювання наведено в роботах [1], [2], [10]–[12]. В роботі [12] відзначено, що практично всі пристрої для вимірювання УФ- випромінювання виконують функції радіометра та дозиметра, оскільки величина експозиційної дози розраховується через величину енергетичної освітленості. Загальним недоліком всіх існуючих приладів є вузький діапазон вимірів дози та високі значення основної відносної похибки вимірів [12]. Тому задача розробки пристрою для вимірювання ультрафіолетового випромінювання є актуальною.

Існують різні підходи при конструюванні вимірювачів УФ. Один з підходів базується на застосуванні поверхневих акустичних хвиль, а саме розроблено



пасивний бездротовий датчик УФ випромінювання на поверхневих акустичних хвилях. Принцип дії таких датчиків заснований на зміні загасання і швидкості поверхневих акустичних хвиль від інтенсивності УФ випромінювання завдяки поглинанню УФ напівпровідником, котрий розміщено на п'єзоелектричній підкладинці. Різні модифікації таких дозиметрів описано в роботах [13]–[17]. Існують дозиметри УФ на основі оптичних волокон [18], з застосуванням фотохромних та люмінесцентних матеріалів [19]. Ми вважаємо, що одним із простих та зручних варіантів є виготовлення вимірювача потужності УФ на базі напівпровідникового фотодіода.

В якості аналога нами було обрано дозиметр енергетичної освітленості ультрафіолетового діапазону «Тензор» [12]. В приладі «Тензор» в якості первинного чутливого до УФ випромінювання перетворювача застосовується фотодіод на основі фосфіду галію GaP. Однак, в Україні немає технологічного обладнання для виготовлення матеріалів групи A_2B_5 , до яких відноситься і GaP. Ціна промислово виготовлених датчиків УФ на базі широкозонних напівпровідників таких як, SiC, GaP, GaN, InP становить від 80 до 120 у.о., а на базі кремнію порядку 12 – 20 у.о. [20]–[23]. Висока ціна обумовлена необхідністю мати робочу поверхню в 3–8 разів більшу, ніж для звичайних фотодіодів. Однак кремній є чутливим не тільки в УФ діапазоні. Максимум його чутливості лежить в ближньому інфрачервоному діапазоні сонячного спектра, що вимагає додаткового використання дорогих світлофільтрів. Тому актуальним завданням є розробка пристрою, де використовується фотодіод розроблений в Україні із застосуванням простої та дешевої технології виготовлення. У представленій роботі розробка пристрою для вимірювання УФ базується на використанні сенсора на основі CdS, чутливого до УФ області спектру [5]–[9], розробленого в інституті фізики напівпровідників ім. В. Лашкарьова НАНУ (м. Київ, Україна).

Аналіз літературних джерел, де описуються результати розробок дозиметрів УФ на основі фотодіодів, показує що існує загальний підхід до конструювання таких дозиметрів, але автори не наводять схемні рішення, номінали електронних компонент, які будуть змінюватися при використанні різних фотодіодів. Таким чином в представленій роботі було поставлене завдання розробити електронну частину вимірювача (вторинний перетворювач) при використанні первинного перетворювача – напівпровідникового фотодіода на основі плівки CdS. Наведено етапи розробки вимірювача УФ, а також оригінальні схемні рішення для виготовлення підсилювача в складі вимірювача.

II. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДАТЧИКІВ УФ НА ОСНОВІ СУЛЬФІДУ КАДМІЮ

Широкозонні сполуки A_2B_5 вивчалися для застосування в УФ сенсорах значний час і роботи в цьому напрямку продовжуються і надалі [5]–[9]. Це пов'язано з тим, що прямозонність сполук A_2B_5 дає можливість використовувати фотоактивні шари мікронної товщини, а тонкоплівкове виконання сенсора

спрощує реалізацію планарної технології виготовлення приладів. На основі поверхнево-бар'єрної структури p-Cu_{1.8}S/n-CdS з фоточутливою складовою на основі сульфіду кадмію CdS (з шириною забороненої зони $E_g=2.42$ eV) отримані одні з найбільш чутливих сенсорів УФ випромінювання [5]–[9]. Пошарова структура фотодіода (сенсора) представлена на Рис. 1. Фоточутлива до УФ гетероструктура p-Cu_{1.8}S/n-CdS була нанесена вакуумним методом термічного випаровування на силіконову підкладку металізовану молибденом.

Виготовлення сенсорів на основі полікристалічних шарів пов'язано з проблемою вибору типу сепаруючого бар'єру. Як показав багаторічний світовий досвід, оптимальною є поверхнево-бар'єрна структура. Використання класичних p-n-переходів і гетеропереходів стикається з проблемою отримання широкозонних шарів A_2B_5 з достатньо високою провідністю для шару p-типу та відсутністю ізоперіодичних гетеропар.

В попередніх дослідженнях [5]–[9] була показана доцільність використання для сенсорів короткохвильового випромінювання на основі A_2B_5 нового типу поверхнево-бар'єрних структур з прозорою складовою нанометрової товщини виродженого напівпровідника Cu_{1.8}S p-типу провідності. Тонка плівка сульфід міді не тільки збільшує пропускання світла у фоточутливу складову сенсора – шар CdS, а саме при товщині 30 – 40 нм спостерігається ефективний вклад гарячих електронів, які емітують з Cu_{1.8}S в CdS. На такій товщині всі генеровані світлом з довжиною хвилі 200–350 нм електрони у шарі напівпровідника Cu_{1.8}S зберігають надлишкову енергію, необхідну для подолання рекомбінаційного бар'єру на межі поділу гетероконтакту. Внесок таких носіїв у загальний струм в названій області спектру складає майже 50 %. До речі, цим пояснюється той факт, що на довжині хвилі $\lambda \sim 250$ нм чутливість у сенсорів Cu_{1.8}S/CdS у два рази вища, ніж діодів Шоткі на основі GaP. Детальна інформація стосовно технології та характеристик розроблених сенсорів представлена в роботах [5]–[9].

Таким чином, розроблені сенсори мають наступні переваги:

- Швидке перемикання, оскільки застосування виродженого напівпровідника дозволяє характеризувати сенсор як діод Шоткі.
- Тонкоплівкове виконання фотодіодів спрощує реалізацію планарної матеріало- і енергозберігаючої технології виготовлення приладів, що дозволяє суттєво знизити собівартість виробництва.

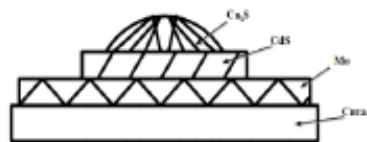


Рис. 1 Пошарова структура сенсора на основі p-Cu_{1.8}S/n-CdS



- За допомогою розробленої технології проблема створення сенсорів великої площі вирішується простіше.

При застосуванні фотодіода в конструкції вимірювача, УФ випромінювання попадає на фотодіод, вихідний струм якого змінюється. Величина вихідного струму залежить від потужності УФ випромінювання та знаходиться в межах 0.0001-0.2 мА, тому після фотодіода необхідно ставити підсилювач.

III. РОЗРОБКА СХЕМИ ПІДСИЛЮВАЧА ДЛЯ ДОЗИМЕТРА УФ ВИПРОМІНЮВАННЯ.

Для розробки схеми підсилювача в якості аналога нами було проаналізовано схему підсилювача UV Sensor V2 на основі GUYA-S12SD (Рис. 2) [24]. Перевагою схеми з фотоприймачем GUYA-S12SD та операційним підсилювачем SGM8521 (Рис. 2) є однополюсне живлення, а недоліком є постійний коефіцієнт підсилення, що обмежує динамічний діапазон виміру напруг, оскільки інтенсивність УФ випромінювання може змінюватись на кілька порядків.

Для покращення роботи підсилювача у порівнянні з аналогом, нами була розроблена схема (Рис. 3), яка має наступні переваги: однополюсне живлення; змінний коефіцієнт підсилення. Для отримання вимірювань потужності ультрафіолету зі схеми знімається напруга, оскільки ми використовуємо фотодіод (на схемі позначений як UVD), який має струмовий вихід. Тому необхідно використати підсилювач на основі перетворювача „струм-напруга“. Схема перетворювача „струм-напруга“, в своєму складі має: операційний підсилювач (ОП), резистор R4 та резистор R2 з неінвертуючого (+) входу ОП на землю.

Схема залишається робочою і без резистора R2, тоді неінвертуючий вхід ОП подається на землю. Проте маючи резистор 2.5 кОм в колі зворотного зв'язку, на кожен 1 мкА вхідного струму на виході буде створений 1 В напруги. При такому коефіцієнті підсилення резистор потрібен із-за неідеальності операційного підсилювача.

Діод відіграє роль генератора струму, режим генерації струму підтримується краще, коли різниця потенціалів між входом і виходом менша.

Конденсатор C1 виконує функцію розв'язуючого конденсатора, який шунтує імпульси та перешкоди, що розповсюджуються по ланцюгах живлення та працює як фільтр, який потрібен для зменшення шумів на виході схеми. Номінал конденсатора розраховується за формулою:

$$C_1 = \frac{\tau}{R} \quad (1)$$

де, τ -час встановлення напруги на виході, значення часу було обрано як 0.1 с. Таким чином, розраховане значення для C_1 дорівнює 1 мкФ при номіналі $R1=10$ кОм. Резистор R1 потрібен за технічними вимогами до операційного підсилювача. В розробленій схемі використовується найпростіший резистивний дільник напруги, який містить два послідовно

включених резистора, котрі підключено до джерела напруги. Оскільки резистори з'єднані послідовно, то струм через них буде однаковий, відповідно до першого правила Кірхгофа. За допомогою резистивного дільника напруги в колі зворотного зв'язку задається коефіцієнт посилення каскаду на ОП. Живлення операційного підсилювача ± 5 В, тому потрібні резистори R2 та R3 як дільники напруги, які матимуть номінали 2,5 кОм. Передбачено підключення декількох резисторів R4, R5, R6 для зміни коефіцієнту підсилення. Для зменшення високочастотних шумів паралельно резисторам підключено плівкові конденсатори C2, C3 та C4 невеликої ємності. Плівкові конденсатори обрано тому, що вони мають перевагу над звичайним електролітичними конденсатором, оскільки є більш швидкодіючими.

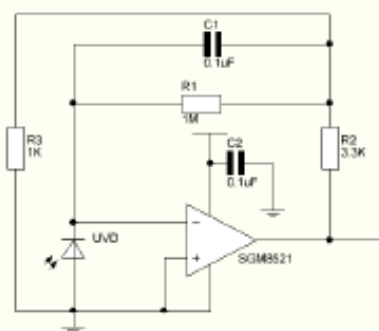


Рис. 2 Схема підсилювача на основі GUYA-S12SD

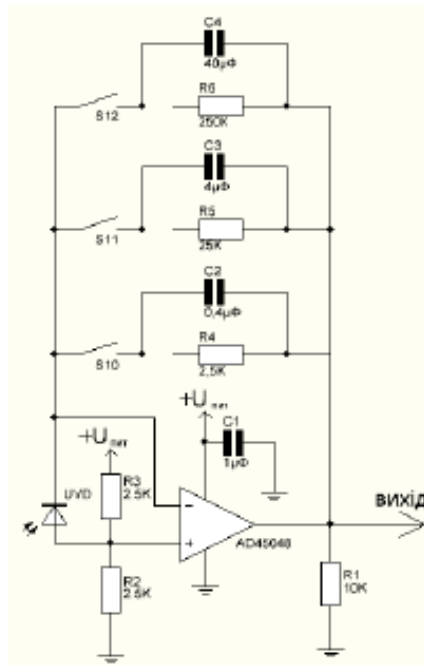


Рис. 3 Розроблена схема підсилювача





Рис. 4 Структурна блок-схема вимірювача потужності УФ випромінювання

Резистори R4, R5, R6 розраховуються за законом Ома. Було отримано наступні номінали: 2,5 кОм, 25 кОм та 250 кОм. Конденсатори C2, C3 та C4, підключені паралельно до резисторів R4, R5, R6, розраховувались за формулою (1). Отримано наступні значення для конденсаторів: 40 мкФ, 4 мкФ та 0,4 мкФ відповідно. Виготовлення плати підсилювача було зроблено за допомогою програми Splan та Sprint-Layout [25].

IV. АНАЛОГОВО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ

Для обробки сигналу з підсилювача необхідно мати аналого-цифровий перетворювач та мікропроцесор чи мікроконтролер.

Для вибору АЦП було проведено аналіз найбільш розповсюджених АЦП, та обрано K1108PB1A, який має наступні характеристики [26]:

- функціонально – повний АЦП;
- кількість розрядів – 10;
- час перетворення (макс.) 0,75 мкс;
- відсутність пропущених кодів;
- цифрове мультимплексування: три стабільні виходи;
- два джерела живлення: $U_{CC1} = +5V \pm 5\%$ та $U_{CC2} = -5,2 V \pm 5\%$

АЦП K1108PB1A [27] є 10 розрядним АЦП послідовного наближення, що сполучається з мікропроцесором. Для експлуатації АЦП необхідні тільки два джерела живлення і регульовальні резистори. АЦП забезпечує перетворення вхідного однополярного або біполярного аналогового сигналу в вихідний паралельний двійковий код і призначений для застосування в електронній апаратурі широкого застосування (в даному випадку пристрій для вимірювання УФ).

Вихідні каскади з трьома станами дозволяють виводити результат перетворення безпосередньо на шину даних мікропроцесора і за рівнями вхідних і вихідних логічних сигналів сполучаються з цифровими ТТЛ-схемами.

Таким чином блок-схема вимірювача потужності УФ буде мати наступні блоки: фотодіод, підсилювач вхідного сигналу, аналогово-цифровий перетворювач, мікроконтролер (Рис. 4).

Останнім блоком в пристрої буде виготовлено електронний стенд на основі мікроконтролера для налагодження програм із застосуванням ATmega16A. Електронний стенд знаходиться на стадії розробки.

ВИСНОВКИ

Вимірювач потужності УФ випромінювання запропоновано конструювати з використанням УФ фотодіода, який виконує функцію первинного перетворювача. В якості фотодіода обрано діод Шоткі на основі полікристалічних напівпровідникових плівок $\text{Cu}_{1.8}\text{S}/\text{CdS}$, де сульфід кадмію є абсорбуючим ультрафіолет шаром. Для підсилення сигналу з фотодіоду розроблена та розрахована схема підсилювача. В якості АЦП обрано АЦП K1108PB1A. Останній етап по узгодженню роботи АЦП та мікроконтролера знаходиться на стадії виконання. Отримані схемні рішення для конструкції вимірювача УФ на основі $\text{Cu}_{1.8}\text{S}/\text{CdS}$ фотодіода можуть бути використані для швидкого створення промислового приладу, який буде складовою частиною комплексів по знезараженню повітря в метро та інших приміщень від вірусних інфекцій, в тому числі SARS-CoV-19.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] P. O. of the E. Union, *Advances in solar ultraviolet spectroradiometry*. Publications Office of the European Union, 1997, ISBN: 92-828-0990-0.
- [2] V. D. Ryzhikov et al., "A Portable Meter of the Ultraviolet Radiation in Biologically Active Ranges of Solar Radiation Based on the ZnSe Semiconductor," *Telecommun. Radio Eng.*, vol. 55, no. 5, p. 9, 2001, DOI: [10.1615/TelecomRadEng.v55i5.130](https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v55i5.130).
- [3] T. V. Blank and Y. A. Gol'dberg, "Semiconductor photoelectric converters for the ultraviolet region of the spectrum," *Semiconductors*, vol. 37, no. 9, pp. 999–1030, Sep. 2003, DOI: [10.1134/1.1610111](https://doi.org/10.1134/1.1610111).
- [4] R. Anaeva, A. Berkeliev, and E. Al., "UF-fotopriemnik na osnovе poverkhnostno-bar'ernoj struktury' Ga1-xAlxP ($x_s = 0,5 + 0,1$) [UV photodetector based on the Ga1-xAlxP surface-barrier structure ($x_s = 0,5 + 0,1$)]," *FTP*, vol. 15, no. 6, pp. 1122–1125, 1981.
- [5] S. Y. Pavlets, Y. N. Bobrenko, T. V. Semikina, B. S. Aidaev, G. I. Sheremetova, and M. V. Yaroshenko, "Ultraviolet Sensors Based on $\text{ZnxCd}_{1-x}\text{S}$ Solid Solutions," *Ukr. J. Phys.*, vol. 64, no. 4, p. 308, May 2019, DOI: [10.15407/ujpe64.4.308](https://doi.org/10.15407/ujpe64.4.308).
- [6] S. Y. Pavlets, Y. N. Bobrenko, T. V. Semikina, G. I. Sheremetova, and M. V. Yaroshenko, "Photovoltaic converters of ultraviolet radiation with graded-gap layers based on $\text{CdZn}_{1-x}\text{S}$ solid solutions," *Optoelectron. Semicond. Technol.*, vol. 49, pp. 69–73, 2014, URL: http://isp.kiev.ua/images/Page_Image/Journals/opt/vol49/opt49_69.pdf.
- [7] Y. Bobrenko, "Thin-film solar converters based on the p-Cu1.8S/n-CdTe surface-barrier structure," *Semicond. physics, quantum Electron. Optoelectron.*, vol. 18, no. 1, pp. 101–105, Mar. 2015, DOI: [10.15407/sjpe18.01.101](https://doi.org/10.15407/sjpe18.01.101).
- [8] Y. N. Bobrenko, S. Y. Pavlets, A. M. Pavlets, T. V. Semikina, and N. V. Yaroshenko, "Surface-barrier photoconverters with graded-gap layers in the space-charge region," *Semiconductors*, vol. 49, no. 4, pp. 519–523, Apr. 2015, DOI: [10.1134/S1063782615040089](https://doi.org/10.1134/S1063782615040089).
- [9] S. Y. Pavlets, "Effective polycrystalline sensor of ultraviolet radiation," *Semicond. Phys. Quantum Electron. Optoelectron.*



- vol. 20, no. 3, pp. 335–339, Oct. 2017, DOI: [10.15407/apgeo20.03.335](https://doi.org/10.15407/apgeo20.03.335).
- [10] V. Dorogan, T. Vieru, M. Manole, R. Savastu, and T. Zisu, "Ultraviolet radiation sensors on the basis of semiconductors," 2001, p. 858, DOI: [10.1117/12.432818](https://doi.org/10.1117/12.432818).
- [11] V. D. Ryzhikov et al., "Professional and household dosimeters for UV biologically active ranges of solar radiation on the basis of ZnSe semiconductor-metal nanostructures," 2010, p. 77151Q, DOI: [10.1117/12.853665](https://doi.org/10.1117/12.853665).
- [12] V. K. Butenko, Y. G. Dobrovolsky, B. G. Shabashkevich, and V. G. Yuriev, "Dosimeters for energy illumination of ultraviolet radiation of the Tensor type," *Technol. Des. Electron. Equip.*, no. 5, pp. 43–45, 2006.
- [13] W. Peng, Y. He, C. Wen, and K. Ma, "Surface acoustic wave ultraviolet detector based on zinc oxide nanowire sensing layer," *Sensors Actuators A Phys.*, vol. 184, pp. 34–40, Sep. 2012, DOI: [10.1016/j.sna.2012.06.017](https://doi.org/10.1016/j.sna.2012.06.017).
- [14] V. Chivukula, D. Ciplis, M. Shur, and P. Dutta, "ZnO nanoparticle surface acoustic wave UV sensor," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 96, no. 23, p. 233512, Jun. 2010, DOI: [10.1063/1.3447932](https://doi.org/10.1063/1.3447932).
- [15] W.-C. Tsai, H. Kao, K.-H. Liao, Y.-H. Liu, T.-P. Lin, and E. S. Jeng, "Room temperature fabrication of ZnO/ST-cut quartz SAW UV photodetector with small temperature coefficient," *Opt. Express*, vol. 23, no. 3, p. 2187, Feb. 2015, DOI: [10.1364/OE.23.002187](https://doi.org/10.1364/OE.23.002187).
- [16] S. Kumar, G.-H. Kim, K. Sreenivas, and R. P. Tandon, "ZnO based surface acoustic wave ultraviolet photo sensor," *J. Electroceramics*, vol. 22, no. 1–3, pp. 198–202, Feb. 2009, DOI: [10.1007/s10832-007-9409-7](https://doi.org/10.1007/s10832-007-9409-7).
- [17] W. Wen-Bo et al., "Transparent ZnO/glass surface acoustic wave based high performance ultraviolet light sensors*," *Chinese Phys. B*, vol. 24, no. 5, p. 057701, 2015, URL: http://cpb.iphy.ac.cn/article/2015/cpb_24_5_057701.html.
- [18] A. I. Sidorov, *Sensory photonics*. Textbook. St. Petersburg: University, ITMO, 2019.
- [19] V. D. Dubrovina, A. I. Ignatiev, N. V. Nikonov, A. I. Sidorov, T. A. Shakhverdov, and D. S. Agafonova, "Luminescence of silver molecular clusters in photo-thermo-refractive glasses," *Opt. Mater. (Amst.)*, vol. 36, no. 4, pp. 753–759, Feb. 2014, DOI: [10.1016/j.optmat.2013.11.018](https://doi.org/10.1016/j.optmat.2013.11.018).
- [20] "Ips UV Photodiode 220 to 370nm Ultraviolet Metal Shell Photodiode: Amazon.com: Industrial & Scientific." [Online]. Available: <https://www.amazon.com/Photodiode-370nm-Ultraviolet-Metal-Shell/dp/B07V7HPNFX>.
- [21] "SiC UV Photodiodes | sglux." [Online]. Available: <https://sglux.de/en/product-category/sic-uv-photodiodes/>.
- [22] "Genuv." [Online]. Available: <http://www.genuv.com/>.
- [23] "Ultraviolet/Extreme Ultraviolet (UV/EUV) Photodiodes: SXUV 100." [Online]. Available: <https://www.photonicsonline.com/doc/ultravioletextreme-ultraviolet-uv-euv-0001>.
- [24] "Analog UV Sensor V2." [Online]. Available: <https://www.tross-enrobotics.com/analog-uv-sensor-v2.aspx>.
- [25] "Sprint-Layout." [Online]. Available: https://cxem.net/software/sprint_layout.php.
- [26] "AD45048." [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD45048.pdf>.
- [27] "1108pv1." [Online]. Available: <https://eandc.ru/pdf/mikroskema/1108pv1.pdf>.

Надійшла до редакції 31 березня 2020 р.



Device for Measurements of Ultraviolet's Power Radiation

Ie. V. Arshan^f, ORCID [0000-0001-9315-2801](https://orcid.org/0000-0001-9315-2801)

R. I. Bondarenko^f, ORCID [0000-0002-5529-0186](https://orcid.org/0000-0002-5529-0186)

O. O. Kalachnykov^f, ORCID [0000-0002-9387-7834](https://orcid.org/0000-0002-9387-7834)

T. V. Semikina^g, PhD Senior Researcher, ORCID [0000-0002-6182-4703](https://orcid.org/0000-0002-6182-4703)

Department of Electronic Devices and Systems eds.kpi.ua

National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute", ROR [00syn5v21](https://orcid.org/00syn5v21)

Kyiv, Ukraine

O. B. Sidniev, Senior Researcher, ORCID [0000-0001-6367-1846](https://orcid.org/0000-0001-6367-1846)

V. E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NASU isp.kiev.ua

Kyiv, Ukraine

Abstract—The paper presents a technique for developing a device for measurements of power of ultraviolet (UV) radiation. The paper provides a brief analysis of existing approaches in the design of UV dosimeters. The rationale for the design of the dosimeter using an UV photodiode is given. The choice of a photodiode based on cadmium sulfide is made on the basis of the technological equipment existing in Ukraine, the level of development of technological modes that allow, at low technology costs, to obtain photodiodes with parameters not inferior to expensive foreign analogues based on materials of the A³B⁵ group and silicon carbide. The problems that were solved when developing a photodiode based on CdS and the original solutions found by the authors of the development are shown. The primary transducer is a photodiode based on the surface-barrier structure of p-Cu_{1.8}S/n-CdS with a photosensitive component based on cadmium sulfide CdS. At a wavelength of $\lambda \sim 250$ nm, the sensitivity of p-Cu_{1.8}S/n-CdS sensors is two times higher than GaP-based Schottky diodes. The value of the output current depends on the power of the UV radiation and lies within 0.0001-0.2 mA. The advantages of the developed sensor are the simplicity and low cost of the production technology, the ability to produce films of a large area, the characteristics of expensive foreign industrial UV photodiodes. The stages of development of the amplifier circuit for the selected photodiode are given. To design the amplifier circuit, the existing GUA-S12SD UV Sensor V2 amplifier circuit was analyzed, and a custom circuit was developed with the following advantages: unipolar power; smaller potential difference between input and output compared to analog; different voltages are measured. The developed circuit uses the simplest resistive voltage divider, which is two series resistors connected to a voltage source. The scheme denominations were calculated. The sequence of printed circuit board (PCB) execution in the Sprint-Layout software environment is described. An image of the developed circuit board is shown. An analog-to-digital converter KI108PVIA is selected for signal processing from the amplifier and its technical characteristics are given. The block diagram of the dosimeter of energy illumination is offered: a photodiode, an amplifier of an input signal, an analog-to-digital converter, a microcontroller. As a microprocessor to be connected to the ADC, an electronic stand based on a microcontroller will be used to debug programs using ATmega16A. The obtained circuit solutions for the construction of a UV dosimeter based on a CdS photodiode can be used to quickly create an industrial device that will be an integral part of the complexes for disinfecting the metro and other rooms from viral infections.

Keywords — ultraviolet radiation, amplifier, cadmium sulfide, photodiode.

