

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри КСУ
_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ
_____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

освітньо-професійної програми «Комп'ютеризовані системи управління та
робототехніка»

на тему: «Система автоматичного керування параметрами штучного освітлення»

Здобувача групи СУ.мдн-31п

Пироженко Андрія Валерійовича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

(підпис)

Андрій ПИРОЖЕНКО

Керівник: ст. викладач, к. т. н., доцент Олександр ЖУРАВЛЬОВ

(підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ

_____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра здобувачу вищої освіти

Пироженко Андрію Валерійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: Система автоматичного керування параметрами штучного освітлення
затверджена наказом ректора СумДУ № 1096 - VI від "25" жовтня 2024р.
2. Термін здачі студентом закінченої роботи " 15 " грудня 2024 р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, технічна документація та перелік літературних джерел з матеріалом про подібні системи.
4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню): опис об'єкта управління, розробка функціональної схеми автоматизації, вибір засобів автоматизації, Моделювання процесу керування окремим каналом світлодіодного освітлення, опис програмного забезпечення.
5. Перелік графічних матеріалів: функціональна схема автоматизації, структурна схема інформаційно-керуючої мережі для керування штучним освітленням та

корекції спектру, схема електрична принципова RGB IoT – модуля, схема друкованої плати (PCB) RGB IoT – модуля.

6. Календарний план виконання роботи:

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання
1	Ознайомлення із завданням. Огляд літературних джерел. Аналіз існуючих систем управління освітленістю	14.10.2024- 23.10.2024
2	Опис об'єкта управління	24.10.2024- 27.10.2024
3	Розробка функціональної схеми автоматизації, вибір засобів автоматизації	28.10.2024- 31.10.2024
4	Опис RGB IOT-модуля як засобу автоматизації	01.11.2024- 09.11.2024
5	Моделювання процесу керування окремим каналом світлодіодного освітлення	10.11.24- 22.11.24
6	Опис програмного забезпечення	23.11.24- 30.11.24
7	Розробка графічної частини	01.12.24- 04.12.24
8	Оформлення та здача роботи керівнику	05.12.24- 14.12.24

7. Дата видачі завдання " 14 " жовтня 2024 р.

Керівник роботи:

ст. викладач, к.т.н., доцент

Олександр ЖУРАВЛІОВ

Здобувач:

студент групи СУ.мдн-31п

Андрій ПИРОЖЕНКО

АНОТАЦІЯ

Пироженко Андрій Валерійович. Система автоматичного керування параметрами штучного освітлення. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр. Сумський державний університет. Суми, 2024.

Робота містить сім розділів та висновки в основному тексті, загальним обсягом 67 сторінок, 27 рисунків, 12 таблиць, 19 джерел інформації, 5 додатків.

Метою роботи є розробка енергоефективної системи автоматичного керування параметрами штучного освітлення, що забезпечує стійкий перехідний процес та якість параметрів освітленості приміщення.

В роботі проведено огляд літературних джерел та аналіз існуючих систем управління освітленістю. Розроблена функціональна схеми автоматизації, проведений вибір засобів автоматизації

Описаний RGB IOT-модуль, як засіб автоматизації

Проведено моделювання процесу керування окремим каналом світлодіодного освітлення.

Представлене та описане програмне забезпечення.

Ключові слова: система керування, освітленість, RGB IOT-модуль, мікроконтролер.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	9
2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕНІСТЮ.....	20
3 ОПИС ОБ’ЄКТА УПРАВЛІННЯ.....	24
4 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	25
4.1 Формування загальних вимог до системи автоматизації.....	25
4.2 Розроблення схеми автоматизації.....	26
4.3 Вибір засобів автоматизації.....	27
5 RGB ІОТ-МОДУЛЬ ЯК ЗАСІБ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	40
5.1 Загальний опис інформаційно-керуючої мережі.....	40
5.2 Апаратні властивості RGB ІоТ – модуля.....	42
5.3 Адресний простір RGB ІоТ – модуля.....	44
6 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ОКРЕМИМ КАНАЛОМ СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ.....	46
6.1 Опис причино-наслідкових зв’язків в об’єкті керування.....	46
6.2 Опис світлодіодного освітлювача як об’єкта керування.....	47
6.3 Моделювання процесу керування освітленням.....	48
6.4 Основні висновки за результатами моделювання процесу керування освітленням побутового приміщення в середовищі MATLAB.....	53
7 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	55
7.1 Структура програмної прошивки модуля.....	55
7.2 Web – інтерфейс модуля.....	55
7.3 Детальне узагальнення структури коду прошивки RGB ІоТ – модуля.....	60
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64
ДОДАТОК А. ОСНОВНА ЧАСТИНА КОДУ.....	67
ДОДАТОК Б. ФУНКЦІОНАЛЬНА ЧАСТИНА.....	71

ДОДАТОК В. ЧАСТИНА «loginPage_h»	76
ДОДАТОК Г. ЧАСТИНА «serverPage_h»	78
ДОДАТОК Д. ЧАСТИНА CSS.....	85

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

LED - (англ. Light-emitting diode) — світлодіод

RGB - Red, Green, Blue — червоний, зелений, синій

OE - Output Enable

ШИМ – широтно-імпульсний модулятор

I-регулятор – інтегральний регулятор

IoT - Інтернет речей (англ. internet of things)

OTA - Оновлення «по повітрю» (англ. Over-the-Air)

AP –Access Point (точка доступу)

TCP - (англ. Transmission Control Protocol — протокол управління передачею)

ВСТУП

Освітлення з давніх часів використовувалось людьми для потреб життєдіяльності, як невід'ємна складова. Природне освітлення протягом світлого часу доби давало можливість забезпечувати потреби життєдіяльності. Але з початком темного часу така можливість була відсутня.

В різні часи людство прагнуло забезпечити себе додатковим, штучним освітленням, використовуючи для цього різні матеріали природного походження та способи їх використання.

Лише в 19 столітті була винайдена електрична лампочка, яка стала родоначальником електричного штучного освітлення.

Мабуть потреба в штучному освітленні на сьогоднішній день є чи не самою нагальною, пов'язаною з життєдіяльністю людини. Важко навіть уявити життя людини, позбавленої можливості використовувати освітлення.

Умови праці та життєдіяльності людини на сьогоднішній день залежать не тільки від наявності освітлення, як такого. До рівня освітленості, його якості висувається дедалі більше умов.

Дослідження в галузі освітлення доводять, що від параметрів останнього в значній мірі залежить і стан здоров'я та самопочуття людини.

Штучне освітлення використовується у багатьох сферах.

Насамперед, освітлення тісно пов'язане зі сприйняттям інформації людиною.

Близько 80% інформації людина отримує за допомогою органів зору. Якість надходження цієї інформації в значній мірі залежить саме від освітлення, що є найважливішим чинником для створення прийнятних умов праці.

Якість та кількість освітлення також відіграє свою роль. Недостатнє або надлишкове освітлення викликають швидку втому нервової системи, захворювання, зниження уваги, що призводить до зниження продуктивності праці людини.

З розвитком науково-технічного прогресу відбувалось удосконалення джерел штучного освітлення. На зміну лампочкам розжарювання, які випромінювали в одному кольоровому спектрі, прийшли нові джерела освітлення, здатні випромінювати світло в залежності від потреб в досить широкому кольоровому діапазоні, охоплюючи весь спектр випромінювання від ультрафіолетового до інфрачервоного.

Перевагою цих джерел є і значно нижче споживання електричної енергії при збільшенні світловіддачі.

Здатність комбінувати кольори зробила можливим максимально наблизити спектр випромінювання штучного освітлення до спектру природного освітлення, що дало змогу більш повно і раціонально використовувати штучне освітлення, підлаштовуючи його максимальним чином під потреби людини.

Широка кольорова гама випромінювання дала змогу більш раціонально і ефективно використовувати штучне освітлення і для потреб сільськогосподарської, і тваринницької сфери.

Штучне освітлення, спектр якого раціонально підібраний для визначених потреб, дозволяє більш раціонально і продуктивно вирощувати аграрну продукцію в теплицях.

Раціонально підібраний спектр освітлення в місцях утримання тварин дозволяє знизити захворюваність та забезпечити кращі умови їх зростання та розвитку.

Потреби в використанні різних поєднань кольорових спектрів штучного освітлення існують в різних сферах діяльності людини.

Підбір кольорової гами спектру випромінювання важливий не тільки в зонах праці людини, але і в зонах відпочинку. Доведено, що спектр випромінювання здатен впливати не тільки на працездатність та продуктивність праці людини, але і на її відпочинок.

Важливу роль в штучному освітленні відіграє також її інтенсивність. Надмірна інтенсивність освітлення, як було сказано вище, також несприятливо відображається на фізіологічному стані людини.

Важливою проблемою при використанні штучного освітлення є витрати електричної енергії, що є досить великою проблемою в умовах сьогодення, адже потреби і попит на електричну енергію постійно зростають, зростає і вартість електроенергії.

Ця проблема гостро постає перед нами в умовах сьогодення, коли ми стикаємось з гострим дефіцитом електроенергії.

Кожний ввімкнений прилад освітлення має задовольняти потребам людини, і обов'язково вимкнений або інтенсивність його має бути зменшена до максимально можливої, якщо з'являється така можливість.

Особливістю використання штучного освітлення в приміщеннях є те, що воно є частиною загального освітлення, куди поряд із штучним входить і природне освітлення і, як доповнення до природного (в разі потреби), має відповідати нормам освітленості згідно вимог діючих стандартів.

Резюмуючи вищенаведене, а також аналізуючи публікації, можна зробити висновок про доцільність та необхідність створення системи управління штучним освітленням, яка б задовольняла вимогам до якості та кольорового спектра випромінювання в залежності від тих чи інших потреб, а також регулювала інтенсивність освітлюваності, вимикала зайві освітлювальні прилади в разі відсутності потреби в них.

Актуальність теми. Світлодіодні джерела освітлення (LED) зайняли лідируючі позиції серед усіх приладів відповідного спрямування завдяки наступним перевагам: довговічність, економічність, стійкість до змін температури та напруги; високий рівень індексу передавання кольору, якість світла, надійність та міцність. Тож необхідність якісного керування роботою LED, процес стабілізації світлового потоку для різних потреб споживачів є актуальною на даний час.

Мета дослідження. Дослідження стабілізації світлового потоку на основі певного уставочного значення в процесі керування зі зворотнім зв'язком, побудованим на вимірюваннях освітленості відповідним сенсором.

Об'єктом дослідження є процес плавного регулювання світлового потоку при освітленні приміщення.

Предметом дослідження є використання методу прямого порівняння вихідного значення освітленості приміщення з уставочним значенням, а також вдосконалення його, в процесі керування освітленням.

Наукова новизна. В роботі описано процес керування освітленням з використанням методу прямого порівняння вихідного значення освітленості приміщення з уставочним значенням, недоліки відповідного методу та шляхи вдосконалення результату за рахунок використання послідовного фільтруючого алгоритму (для боротьби з шумовими процесами), а також підвищення ступеню астатичності розімкненого контуру керування (для зниження статичної похибки).

Теоретична значущість. Наведений у роботі підхід до формалізації системи керування дозволяє використовувати як рекомендаційні настанови безпосередньо при налаштуванні процесів керування в аналогічних системах, підсистемах та контурах регулювання з описаним режимом керування.

Практична цінність. Висновки практичного спрямування надають набір рекомендаційної інформації, яку можна використати при практичній реалізації аналогічних систем, підсистем та контурів регулювання. Також обґрунтовано, чому реалізація системи керування на основі спільної локальної інформаційно-керуючої мережі з використанням надійних інтерфейсів та протоколів передавання інформації значно спрощує структуру системи, що може надати ряд переваг, а саме: якісно вплинути на структуру відповідних складових підсистем; позитивним чином вплинути економічно за рахунок спрощення різних фізичних трасувань та спрощення системи і підсистем живлення; спростити організацію резервувань та моніторингу станів, як серверної частини, так і частини об'єкта керування.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Багато публікацій присвячено дослідженням параметрів штучного освітлення, таким як інтенсивність, кольоровість, пульсації тощо.

В статті [1] наведено, що найбільш негативним наслідком штучного освітлення в темну пору доби для людини є порушення біоритмів (хронодеструкція) внаслідок пригнічення секреції мелатоніну. Щоб вирішити дану проблему, проводяться дослідження, які направлені на створення систем штучного освітлення, які запобігають порушенням циркадних ритмів, спричинених штучним освітленням. Розглядається поняття «циркадне освітлення», як стратегія освітлення з метою підтримування циркадного ритму людини, що регулює фізичні і поведінкові зміни, спричинені добовими змінами освітленості. Наведено значення колірної температури в залежності від виду діяльності людини.

Режимам штучного освітлення приміщення, змінам інтенсивності освітлення і спектру випромінювання штучного джерела за певним сценарієм зміни кольору в системі RGB у відповідності зі зміною спектру сонячного випромінювання присвячена стаття [2]. Тут наведені значення кольору освітлення в приміщенні протягом дня за координатами кольоровості RGB протягом дня. Передбачається використання світильників з кольоровими світлодіодами, колір та інтенсивність яких зможе змінюватись відповідно до алгоритму, закладеного в систему управління.

В статті [3] аналізуються нормативні документи, які встановлюють вимоги до параметрів світлодіодних світильників, а також методи їх вимірювання. Також проведено аналіз вимог стандартів світлодіодного освітлення, відповідність їх міжнародним стандартам.

Зроблені висновки щодо вдосконалення нормативних документів та розробки нових стандартів щодо освітлення на основі публікацій Міжнародної комісії з освітлення.

У висновках публікації йдеться про необхідність введення більш жорстких вимог до кольориметричних та фотометричних параметрів освітлення, таких як діапазон колірності, якість передавання кольорів, а також діапазонів рівня освітленості.

Пропонується зміна в методиці для нормування колірності освітлення.

Зазначається, що для освітлення побутових приміщень, медичних закладів, дошкільних, навчальних закладів необхідно рекомендувати світлодіодні світильники з колірною температурою не вище 3500 К та яскравістю не вище 5000 кд/м².

В огляді [4] розглядається вплив розподілу спектральної потужності джерела світла на сприйняття яскравості та візуальну продуктивність у мезопічних умовах з акцентом на порівняння металогалогенних та натрієвих ламп високого тиску.

У зв'язку з цим пропонуються три альтернативні підходи для порівняння джерел світла з різними показниками спектральної потужності у мезопічних умовах.

Метою статті [5] є ознайомлення тих, хто цікавиться світлотехнічним проектуванням, з останніми відкриттями в галузі фотобіології, починаючи з критичного огляду традиційних параметрів, що використовуються в даний час у світлотехнічних програмах, а потім представляючи новий теоретичний підхід до введення невізуальних параметрів у світлотехнічні програми.

Наведено, що якісне висвітлення вважалося тим, що врівноважувало потреби людей, економічні та екологічні проблеми, а також архітектурний дизайн. Нещодавні дослідження були спрямовані на пошук кореляції між навколишнім освітленням та працездатністю та здоров'ям людини, і дали позитивні результати. Відомо, що недостатня або неналежна дія світла може порушити стандартні людські ритми, що може призвести до несприятливих наслідків для працездатності, безпеки та здоров'я.

В статті [6] говориться, що світло визначається як частина електромагнітного спектру (~380-780 нм), що викликає зорове відчуття. Освітлення в будівлях, чи то денне світло чи штучні засоби, призначене в першу чергу для зорових потреб людей, що знаходяться в будівлі, та для їх очікуваних завдань у даному просторі.

Однак сонячне випромінювання та, залежно від спектрального виходу джерела, штучне випромінювання надають й інші ефекти на фізіологію та поведінку людини. Синє світло впливає на циркадний ритм, настрій та поведінку; при більш коротких довжинах хвиль в ультрафіолеті (УФ) шкода від фотостаріння та сонячних опіків урівноважується перевагами синтезу вітаміну D.

В огляді [7] наведені наукові дослідження невізуальних ефектів, викликаних світлом, на людину, надавши систематичний огляд того, як кількість світла, спектральні зміни, час доби та тривалість впливають на циркадний ритм, пильність та настрій на основі відповідної літератури. Основні висновки наступні:

- Збільшення освітленості та корельованої колірної температури вночі були позитивно пов'язані з придушенням мелатоніну, тим самим впливаючи на циркадний ритм. Тим часом висока колірна температура сприяє стимуляції позитивного настрою.

- Синє світло та висока колірна температура світла вночі викликали затримку фазового зсуву, і об'єктивна пильність знижувалася в умовах відсутності синіх компонентів.

- Висока освітленість позитивно корелювала із суб'єктивною пильністю у денний час і підвищувала позитивний настрій вранці та знижувала його вдень.

Ці результати є важливим орієнтиром для зацікавлених сторін оптимізації освітлення в сконструйованих середовищах для поліпшення здоров'я та благополуччя з урахуванням невізуальних ефектів, що виходять за рамки візуальної продуктивності.

Все більше уваги приділяється створенню комфортного та здорового середовища освітлення, яке сприяє здоров'ю та благополуччю людини. Вкрай важливо розуміти вплив регулювання навколишнього освітлення на фізичні реакції та розумову діяльність людини.

Світло одночасно викликає візуальні та невізуальні ефекти.

Дослідженням візуальних та невізуальних ефектів кольору світла на фізіологічні реакції присвячена робота [8].

Для створення світлового середовища, в якому кольори світла було важко сприймати через хроматичну адаптацію та сліпоту до змін, використовувалися

три різні умови: постійне біле світло (початковий стан), поступовий перехід від білого до синього світла та поступовий перехід від білого до червоного світла. Фізіологічні реакції (активність мозку, варіабельність серцевого ритму та електродермальна активність) 21 учасника вимірювалися зі сприйняттям кольору світла та без нього. Результати показали, що синє світло викликає більше невізуальних ефектів у порівнянні з червоним світлом, оскільки синє світло викликає активацію мозку в деяких областях префронтальної кори і посилює потовиділення, хоча відмінності не були статистично значущими.

Середнє порівняння показало, що візуальні ефекти синього світла показали тенденцію до заспокійливої ролі для префронтальної кори та придушення потовиділення, але відмінності були статистично значущими.

Інше середнє порівняння показало, що візуальні ефекти червоного світла мали тенденцію до посилення потовиділення, але відмінності були статистично значущими. Візуальні та невізуальні ефекти не викликали значних відмінностей у варіабельності серцевого ритму.

Джерело світла на основі світлодіода має високу інтенсивність випромінювання синіх компонентів, відсутніх у спектрах денного світла, та регулює фізіологію та поведінку людини.

Метою дослідження [9] було вивчення впливу світлодіодного білого світла з різною інтенсивністю синього компонента на зорове втомлення на основі фоторецепторів людського ока.

Коротка (S)-колбочка і меланопсинна освітленість були приблизно на 212% і 82% вище для білого світла, збагаченого синім, ніж для білого без синього, відповідно. Фотопічна освітленість була однаковою цих двох джерел світла.

Результати показали, що світлодіодне біле світло, що настроюється, з синім збагаченням і більш високою освітленістю S-колбочок впливає на зорову втому.

Учасники зазнавали більшого дискомфорту для очей при білому світлі, збагаченому синім, що супроводжувалося зниженням функції зору та змінами в автономній нервовій системі. Гострота зору і стабільність слізної плівки знизилися, а серцевий ритм змінився значно при білому світлі, збагаченому синім, ніж при білому світлі без синього.

Хоча продуктивність пам'яті не знижувалася при сильнішому зоровому втомленні, поліпшення продуктивності пам'яті при білому світлі, збагаченому синім, може бути пов'язане з підвищеною пильністю або збудженням, пов'язаними з високою освітленістю меланопсину.

Результати показують, що біле світло, збагачене синім, з більш високою освітленістю S-колбочок і меланопсину благотворно впливає на когнітивні здібності, але може викликати відносно велику зорову втому.

В роботі [10] наведено результати комп'ютерних тестувань для оцінки зорової функції, пильності та візуально-когнітивної інтеграції за трьох різних умов освітлення (біле, червоне та синє освітлення).

Три комп'ютерні тести були розроблені та запрограмовані з використанням експериментального програмного забезпечення PsychoPy версії 2023.2.2.

Тест 1 оцінював гостроту зору (VA), тест 2 оцінював контрастну чутливість, а тест 3 вимірював пильність.

Дослідження було проведено на 53 молодих випробуваних, які виконали три комп'ютерні тести після адаптації до кожної з трьох різних умов освітлення.

Базовий аберометричний вимір проводився до і після тестів для кожної умови освітлення.

Вимірювання точності та часу реакції проводилися для кожного тесту, а також загальні, високі та низькі значення аберації для кожної ситуації.

Результати тестів наступні: статистично значущі відмінності були виявлені серед різних умов освітлення у трьох тестах, при цьому біле освітлення дало найкращі результати у тесті 1 та тесті 3.

Крім того, аберометричний аналіз виявив значні відмінності, при цьому базовий вимір був більш короткозорим.

На основі проведених досліджень були зроблені наступні висновки: біле освітлення дало найкращі результати ОЗ і швидше реакції, тоді як червоне освітлення мало гірші ефекти ОЗ.

Ці результати свідчать, що різні умови освітлення викликають зміни зору і пильності.

Зорова втома стала проблемою соціальної охорони здоров'я, тоді як відповідний ретинальний механізм і характеристики синього світла, які викликають зорову втому, рідко вивчалися.

Дослідженню впливу збагаченого синім білого світла з різною еквівалентною денною освітленістю S-колбочок на зорове втомлення присвячена робота [11].

Два білих джерела світла були охарактеризовані на основі α -опічного еквівалента денної освітленості з тією самою корельованою колірною температурою та освітленістю.

Меланопічний еквівалент денної освітленості був нижчим, ніж I S-колб цих двох джерел світла.

Для дослідження зорової втоми вимірювалися психологічні, візуальні, фізіологічні та когнітивні показники. Результати показали, що збагачене синім біле світло з високим рівнем еквівалента денної освітленості S-колб може викликати зорову втому.

Учасники відчували більший дискомфорт в очах при високому рівні еквівалента денної освітленості S-колб, а також зниження стабільності слізної плівки та зміни серцевого ритму. Крім того, час реакції в задачі запам'ятовування значно збільшувався при високому рівні еквівалента денної освітленості S-колбочок.

Результати досліджень дають нове уявлення про оптимізацію внутрішнього середовища освітлення для здоров'я людини.

Дослідженню безпеки внутрішнього руху в тунелях присвячена стаття [12].

У цьому дослідженні оцінювалися біологічні ефекти спектра на зір та зір людини у категорії мезопічного зору.

Відповідно до різниці в реакції людських очей на зорові та незорові біологічні ефекти різних довжин хвиль світлового випромінювання пропонується метод застосування кривої мезопічної візуальної спектральної світлової ефективності з метою оцінки незорових біологічних ефектів та небезпек синього світла.

Результати показують, що теоретично в категорії мезопічного зору спектр з високою кореляційною колірною температурою і високим індексом кольору має

більш високий вміст синього світла Z-значення і чинить більший вплив на незорові ефекти людини та пошкодження синім світловим випромінюванням, але він також може забезпечити більш високу яскравість сприйняття людини.

Експеримент з виявлення візуального ефекту водіння у внутрішніх зонах тунелю моделюється в лабораторних умовах, а критична частота мерехтіння та час реакції приймаються як фізіологічні показники.

Результати показують, що спектр з високою кореляційною колірною температурою і високим індексом кольору відповідає нижчому значенню критичного падіння частоти мерехтіння і більш швидкій реакції, що позитивно впливає на підвищення безпеки водіння.

Тому в цій статті пропонується використовувати світлодіоди з високою кореляційною колірною температурою 6500 K та високим індексом кольору 95.

Світлодіодні джерела світла мають переривчастий спектр світла з вираженим синім піком між 450 і 470 нм, який впливає на реакції, не пов'язані з формуванням зображення у людей.

В статті [13] описано тестування впливу світлодіодного світлового рішення, яке імітує спектр денного світла, на візуальний комфорт, циркадну фізіологію, денну пильність, настрій, когнітивну діяльність та сон.

П'ятнадцять молодих чоловіків двічі провели 49 годин у лабораторії під звичайним світлодіодом та під світлодіодом денного світла у збалансованому перехресному дизайні, оточеному базовим рівнем та вночі після світлового впливу.

Незважаючи на різні спектри світла, фотопічний люкс та корельована колірна температура освітлення були однаковими для обох світлодіодів.

Індекс кольору і меланопічна сила були на 25,3% і 21% відповідно вищими для світлодіода денного світла, ніж для звичайного світлодіода.

Добровольці мали кращий візуальний комфорт, відчували себе більш бадьорими та щасливими вранці та ввечері при денному світлі LED, ніж при звичайному LED, тоді як добовий профіль мелатоніну, психомоторна пильність та продуктивність робочої пам'яті суттєво не відрізнялися.

Дельта-активність була значно вищою після денного світла LED, ніж при звичайному LED протягом ночі після світлової дії.

Результатом є висновок про те, що рішення денного світла LED благотворно впливає на візуальний комфорт, денну пильність, настрій та інтенсивність сну у здорових людей.

Світлодіодне освітлення широко використовується в різних випадках, але існує мало досліджень щодо впливу світлодіодного освітлення на візуальний комфорт у завданнях на стійку увагу.

Метою статті [14] було вивчення впливу корельованої колірної температури та рівня освітленості у параметрах світлодіодного освітлення на візуальний комфорт людини.

В дослідженнях брали участь 46 здорових студентів коледжу (23 чоловіки та 23 жінки).

Вік варіювався від 22 до 26 років (середній вік становив 24,2 роки).

Були отримані сигнали електроенцефалограми, параметри тесту на стійку увагу до реакції та параметри суб'єктивної оцінки суб'єктів, що виконують завдання на стійку увагу світлодіодного освітлення.

Порівнювалися результати за різних умов, і обговорювався вплив експериментальних параметрів освітлення на візуальний комфорт.

Результати показали, що світлодіодне освітлення зі значенням корельованої колірної температури 3300 і освітленістю 300 лк було більш комфортним, ніж інші комбіновані умови.

У суб'єктивному сприйнятті суб'єктів значення корельованої колірної температури 4000 також мало хорошу оцінку візуального комфорту і призводило до хорошого виконання завдань.

Таким чином, дослідження показало, що при виконанні завдань на стійку увагу, коли умови світлодіодного освітлення становили 3300 і 4300 К, а рівень освітленості становив 300 люкс, зоровий комфорт випробуваних був кращим.

Отже на основі огляду вказаних вище літературних джерел можна зробити висновок, то параметри освітлення істотним чином впливають на здоров'я та

самопочуття людини та здатні впливати на її працездатність, настрій, психологічний та фізіологічний стан.

Оптимальний підбір параметрів освітлення може бути налаштований як для потреб праці, так і для потреб відпочинку.

Проблемам раціонального використання енергоресурсів для потреб освітлення присвячені наступні роботи.

У статті [15] описується перевірка поведінки димирування у регульованій системі освітлення в будинку, яка керувалася до постійного рівня освітленості.

Запропонований метод вимірювання був реалізований як модернізація для оцінки кривих внутрішньої освітленості, викликаної денним світлом.

Для вимірювання використовувалася еталонна кімната з вимірювальним приладом, що оцінює освітленість у місцях візуальних завдань та одночасно сканує освітленість, викликану денним світлом на зовнішній незатіненій горизонтальній площині.

Вимірювальний прилад, що використовується, був забезпечений димированою системою штучного освітлення з використанням контролера яскравості, розташованого на стелі приміщення в поєднанні з системою управління для досягнення постійного рівня освітленості з урахуванням впливу як елементів штучного освітлення, так і денного світла.

У статті показано, що може бути різниця між встановленим значенням освітленості, яке регулюється системою керування освітленості, та реальною освітленістю у місці візуального завдання.

Через цю різницю система освітлення може не відповідати нормативним вимогам.

Освітлення робить значний внесок у загальне споживання енергії в офісній будівлі. Тому важливо скоротити споживання енергії системами освітлення, особливо для будівель із нульовим споживанням енергії. Максимізація збирання денного світла може значно збільшити економію енергії. Зі зростанням попиту на задоволення переваг мешканців у візуальному комфорті також зростає потреба у персоналізованому освітленні в офісних приміщеннях.

У статті [16] пропонується нова система управління освітленням для будівель з нульовим споживанням енергії, яка моделює систему освітлення за допомогою штучної нейронної мережі та використовує цю модель із принципом внутрішнього управління моделлю для проектування контролера.

Моделювання системи освітлення за допомогою штучної нейронної мережі спрощує моделювання великої та складної системи з властивою мінливістю процесу без необхідності аналізу великих наборів даних.

Пропонований контролер штучної нейронної мережі - внутрішнього управління моделлю використовує зворотний зв'язок від датчиків на робочому столі для підтримки бажаної освітленості, легко налаштувати його за допомогою всього одного параметра, і він стійкий до мінливості процесу.

Пропонована конструкція управління застосовується до квадратних систем, де кількість джерел світла та кількість датчиків однакові. Однак пропонована архітектура може бути розширена для управління іншими освітлювальними аксесуарами, такими як рулонні штори.

Ефективність запропонованої системи керування освітленням для ефективного збору денного світла демонструється з використанням результатів моделювання, так і експериментальної установки в умовах випробувального стенду. Універсальність запропонованої системи дозволить оператору розгорнути персональне освітлення в офісному приміщенні.

Витрати на електроосвітлення стали важливими в останні десятиліття, представляючи більшу частину світових витрат на енергію у всьому світі. Збільшення частки зашкленених фасадів будівель є неповним рішенням, що порушує інші проблеми, що стосуються теплового та візуального комфорту, тоді як зворотні ефекти з точки зору використання освітлення знизили енергетичні переваги світлодіодної технології. Інша стратегія вирішення проблеми енергії – це відома стратегія повторного впровадження робочого освітлення.

Дослідження в роботі [17] представляє систему, арбітражну за вкладом денного світла у загальне та робоче електричне освітлення з прогнозування ключових показників ефективності (освітленість робочої площини та ймовірність відблисків денного світла) за допомогою моделі машинного навчання. Вона

спрямована на зниження споживання енергії при мінімізації впливу на комфорт та продуктивність мешканців.

Дані експерименту користувача показують, що система успішно економить в середньому 35 Вт•год в порівнянні з ручним управлінням кімнатою користувачами, використовуючи в першу чергу денне світло і робоче освітлення. Це є більш ніж дворазове скорочення потреби в енергії.

Важливо, що автоматизація не вплинула ні на комфорт користувачів, ні на продуктивність завдань.

У цілому представлені результати підтверджують потенціал економії енергії з допомогою розробки автоматизації освітлення, орієнтованої на користувача.

Енергія, що використовується для освітлення, є одним із основних компонентів загального споживання енергії у будинках. В даний час будівлі мають великий потенціал для зниження споживання енергії, але для досягнення цієї мети необхідні додаткові зусилля.

В дослідженні роботи [18] наголошується на необхідності оцінки економії енергії перед впровадженням алгоритмів управління освітленням для певної будівлі.

Експериментальні випробування було проведено в будівлі з лабораторіями та іншими приміщеннями, обладнаними системою автоматизації будівель.

Було досліджено стратегію управління з регулюванням яскравості залежно від освітленості денним світлом.

Крім того, було також оцінено зв'язок між зовнішніми та внутрішніми рівнями освітленості денним світлом. За підсумками експериментальних результатів автори запропонували метод грубої оцінки економії електроенергії.

Оскільки, відповідно до стандарту EN 15232, системи автоматизації та управління будівлями відіграють важливу роль у підвищенні енергоефективності будівель, коефіцієнти ефективності цього стандарту були використані для перевірки експериментальних результатів, представлених у статті.

Підтверджено можливість зниження споживання енергії на освітлення у нежитлових будинках на 28% для офісів та на 24% для навчальних закладів, проте обговорюється також її залежність від конкретних параметрів будівлі.

Резюмуючи роботи 15-18, можна зробити висновок про те, що впровадження та використання систем керування освітленням здатне значно скоротити витрати на електроенергію, що використовується для освітлення приміщень.

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕНІСТЮ

З метою покращення комфортного мікроклімату в житловому приміщенні переходять на дистанційне керування світлом. Запуск джерел освітлення при цьому відбувається автоматизовано. Такі системи регулювання освітленням здатні реагувати на відчинення дверей, звук таймера.

В системах освітлення використовується контролер освітлення, що поєднує комплект основних світильників, розміщених в приміщенні.

Існують дистанційні системи управління освітлювальними пристроями за допомогою пульта, комп'ютеру, мобільного гаджета. В другому випадку управління основане на застосуванні програмного забезпечення інтегрованою системою управління світлом, в третьому випадку управління здійснюється за допомогою програми що встановлено в планшеті, ноутбучі або смартфоні.

Автоматичні системи управління освітленням працюють, використовуючи сигнали від датчиків рівня освітленості, таймера, фотореле, встановлених в приміщенні.

Механізми віддаленого типу дозволяють вирішити завдання комфортного керування світлом. Конструкції даного типу дозволяють заощадити електроенергію та стабілізувати параметри світла. Крім того до переваг системи управління освітленням відноситься можливість працювати з конструкціями за допомогою єдиного інтерфейсу.

Система регулювання рівня освітленості є багатофункціональною конструкцією з великим функціоналом. Дана система включає в себе механізм освітлення, фотоелементи, датчики та додаткові механізми.

Управління відбувається не тільки з використанням пульта, а і з використанням спеціалізованих додатків.

В системі можуть бути присутні наступні елементи: димери що коригують силу світлових потоків, вимикачі автоматизованого типу з активуючими та деактивуючими опціями, світлодіодні стрічки з набором функцій та контролери

RGB типу, лампи з автоматикою, вимикаючи прилади дистанційних видів, давачі, що контролюють рух.

Блок управління представляє собою комунікативний пристрій що виконує запуск та вимкнення механізмів.

Пристрої контролюють властивості подачі світлового потоку. Спеціальний блок здійснює керування різними електронними системами.

За допомогою таких механізмів є можливість змінювати тональність світлових потоків. Таймери та реле часу можуть керувати освітленням відповідно до графіків.

Однією з переваг систем керування освітленням є зменшення споживання електроенергії. Дані системи дозволяють автоматично вимикати світло в приміщеннях у відсутності людей або налаштовувати яскравість освітлення відповідно до потреб, що призводить до економії витрат електроенергії.

Крім того системи керування освітленням дозволяють індивідуалізувати освітлення згідно вимог та потреб користувачів. Сюди відносяться налаштування яскравості, температури кольору та активації світильників у відповідності до потреб споживача.

Таким чином людина може створити комфортне середовище як для роботи, навчання так і для відпочинку.

Сучасні лампи, які часто використовується в системі освітлення, відрізняються своєю довговічністю і мають більший термін служби порівняно з традиційними джерелами світла.

Системи керування здатні реагувати на зміни в навколишньому середовищі, до яких відносять зміну інтенсивності природного освітлення або зміну погоди та автоматично адаптують освітлення для забезпечення оптимального комфорту і продуктивності.

Система управління освітленням Nanoleaf Shapes Tringles

Система Nanoleaf Shapes Tringles (рисунок 2.1) містить 15 сенсорних світлових панелей, за допомогою їх можна створити необхідну атмосферу всередині приміщення за допомогою штучного освітлення.



Рисунок 2.1 - Система управління штучним освітленням Nanoleaf Shapes Tringles.

Управління освітленням відбувається за допомогою дотику або за допомогою завантаженого додатка в смартфоні. Додаток має можливість налаштування різних режимів роботи та сценаріїв. Існує можливість керування освітленістю віддалено за допомогою мережі. Є можливість підключитися до системи Google Home і Apple HomeKit або контролера Nanoleaf Remote.

Дана система володіє можливістю віддаленого управління. За допомогою додатка можливе управління з смартфона, де відбувається регулювання яскравості налаштування ефектів за допомогою додатка або голосу. Кількість кольорів 16,7 млн., термін дії до 25000 годин.

В системі може бути використаний бездротовий протокол WI-FI. Напруга живлення від 100 В до 240 В. Діапазон робочих температур від 10 до 40° С

Набір системи складається з дев'яти RGBW панелей і керуючого модуля, що дозволяє налаштувати підсвічування бездротовим способом. RGBW панелі виконані у формі трикутників і з'єднується за допомогою спеціальних конекторів. Комплект може бути розширений додатковими LED панелями.

Блок живлення здатний живити 28 панелей, А сам модуль управління розрахований на управління до 500 панелей. Кожна панель може бути відрегульована індивідуально за допомогою мобільного додатку.

Технічні характеристики системи Nanoleaf Shapes Tringles наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики системи Nanoleaf Shapes Tringles

Сумісність	IOS 10 і вище, Android 5.01 і вище
Підтримка Apple Home kitt	так
Вага	141 г
Товщина	6 мм
Середовище використання	в приміщенні
Водостійкість	немає
З'єднання	2,4 ГГц WI-FI
Колірна температура	1200 К... 6500 К
Колірний діапазон	16 млн.
Регулювання яскравості	є
Максимальна споживана потужність однієї панелі	1,5 Вт
Можливість оновлення програмного забезпечення	є
Потужність блоку живлення	42 Вт
Максимальна кількість панелей що підключаються до блоку живлення	28
Довжина кабелю блоку живлення	2,5 м
Сумісність	Apple Home Kit, Google Assistant, Amazon Alexa

3 ОПИС ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

В якості об'єкта управління обрано приміщення, в якому розташовані світлодіодні світильники з набором функцій, з можливістю керування спектром випромінювання та інтенсивністю.

Дане приміщення може бути як побутового призначення (житлове приміщення, зона відпочинку), більшу частину часу в якому людина проводить, відпочиваючи, так і промислового, де людина працює.

Спектр та інтенсивність випромінювання штучного освітлення в кожному випадку мають бути різними і залежати від конкретних вимог до цих параметрів відповідно до норм.

Також спектр та інтенсивність випромінювання штучного освітлення мають змінюватись в залежності від часу доби і параметрів природного освітлення, доповнюючи їх протягом світлої пори дня і замінюючи його в темну пору доби.

Одним із чинників, що впливають на комфорт перебування людини в приміщенні, є температура, в залежності від значення якої також необхідно забезпечити зміну спектру випромінювання освітлення з метою створення оптимальних умов для перебування людини в приміщенні.

Вимірювання спектру випромінювання природного освітлення необхідне для порівняння його зі спектром випромінювання штучного освітлення з метою налаштування параметрів останнього.

4 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

4.1 Формування загальних вимог до системи автоматизації

Схема автоматизації повинна забезпечувати:

- контроль температури зовні та всередині приміщення;
- контроль рівня освітленості зовні та всередині приміщення;
- контроль спектра випромінювання природного та штучного освітлення всередині та зовні приміщення;
- регулювання інтенсивності та спектру штучного освітлення у відповідності до вимог до освітлення приміщення.

Більш детально дані вимоги сформовані в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Вимоги для розроблення системи авторматизації

№	Параметр, місце відбору сигналу	Вид автоматизації	Характер контролю чи управління	Засоби контролю та управління, реалізація управляючої дії
1	Температура зовнішнього повітря, зовні приміщення	Контроль	Реєстрація	Мікроконтролер
2	Рівень освітленості природного освітлення, зовні приміщення	Контроль	Реєстрація	Мікроконтролер
3	Спектр випромінювання природного освітлення, зовні приміщення	Контроль	Реєстрація	Мікроконтролер
4	Температура повітря в приміщенні, всередині приміщення	Контроль	Реєстрація	Мікроконтролер

5	Рівень освітленості в приміщенні всередині приміщення	Контроль	Реєстрація	Мікроконтролер
6	Спектр випромінювання штучного освітлення в приміщенні, всередині приміщення	Контроль	Реєстрація	Мікроконтролер
7	Спектр та інтенсивність випромінювання штучного освітлення в приміщенні	Регулювання	Управління	Сервер

4.2 Розроблення схеми автоматизації

Функціональна схема автоматизації представлена на кресленні (СУ.мдн-31п.03 С2). Елементи схеми представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Елементи функціональної схеми автоматизації

Номер на схемі	Позначення елемента	Найменування
1	TE	Первинний вимірювальний перетворювач, встановлений на місці, вимірювання температури зовнішнього повітря
2	OE	Первинний вимірювальний перетворювач, встановлений на місці, вимірювання рівня освітленості природного освітлення
3	NE	Первинний вимірювальний перетворювач, встановлений на місці, вимірювання спектра освітленості

		природного освітлення
4	TE	Первинний вимірювальний перетворювач, встановлений на місці, вимірювання температури всередині приміщення
5	OE	Первинний вимірювальний перетворювач, встановлений на місці, вимірювання рівня освітленості всередині приміщення
6	NE	Первинний вимірювальний перетворювач, встановлений на місці, вимірювання спектра освітленості всередині приміщення
7	UC	Прилад для регулювання інтенсивності та спектра випромінювання штучного освітлення всередині приміщення

4.3 Вибір засобів автоматизації

4.3.1 Давач рівня освітленості

Дані давачі призначені для вимірювання рівня освітленості природного та штучного освітлення з метою порівняння даних показників та визначення необхідного рівня інтенсивності штучного освітлення.

Обрані давачі КУ - 018 (рисунок 4.1), в яких зміна опору фоторезистора залежить від зміни рівня освітленості. Підключення датчика проводиться у відповідності до таблиці 4.3.

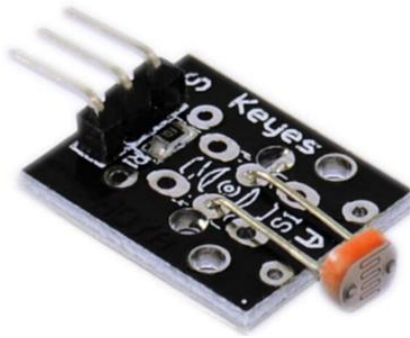


Рисунок 4.1 – Датчик KY -018

Таблиця 4.3

Контакт датчика	Контакт мікроконтролера
GND	GND
Vdd	+5V
Signal	Аналоговий ввід

4.3.2 Датчики температури зовнішнього повітря та всередині приміщення

Призначення цих датчиків – вимірювання температури зовнішнього повітря та температури всередині приміщення.

З цією метою обрані температурні датчики DS18B20 (рисунок 4.2).

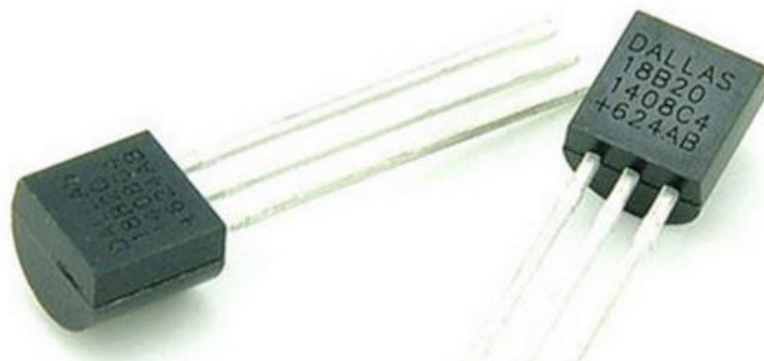


Рисунок 4.2 - Датчики DS18B20

Датчик здатен вимірювати температуру в діапазоні від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$. Сигнал з датчика надходить до мікроконтролера в цифровому вигляді з 12-бітним дозволом за протоколом 1-Wire, що дозволяє підключати декілька подібних датчиків на один цифровий порт мікроконтролера одним дводротовим кабелем.

Кожен датчик має свій 64 бітовий код, що дозволяє контролеру розрізняти сигнали від кожного з датчиків. АЦП, яким оснащений даний датчик, дозволяє передачу сигналів на значні відстані.

Параметри DS18B20 представлені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Напруга	3-5 В
Струм	1 мА
Протокол передачі даних	1-wire
Діапазон вимірювання	від -55° С до +125°С
Робоча температура	від 0° С до +60°С
Крок дискретизації	0,0625°С
Похибка вимірювання	0, 5°С

Схема підключення цих датчиків представлена на рисунку 4.3.

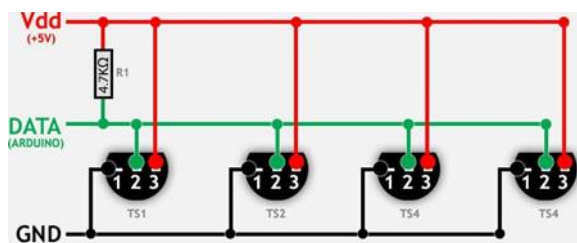


Рисунок 4.3 – Схема підключення DS18B20 до мікроконтролера

4.3.3 Програмований перетворювач кольорового світла в частоту TCS3200

Для вимірювання спектра випромінювання природного та штучного освітлення використовуємо перетворювач TCS3200.

Програмований перетворювач кольорового світла в частоту TCS3200 (рисунок 4.4) об'єднує кремнієві фотодіоди, що настроюються та перетворювач струму в частоту на одній монолітній КМОП інтегральній схемі. Вихідний сигнал є прямокутною хвилею (робочий цикл 50%) з частотою, прямо пропорційної інтенсивності світла (освітленості).

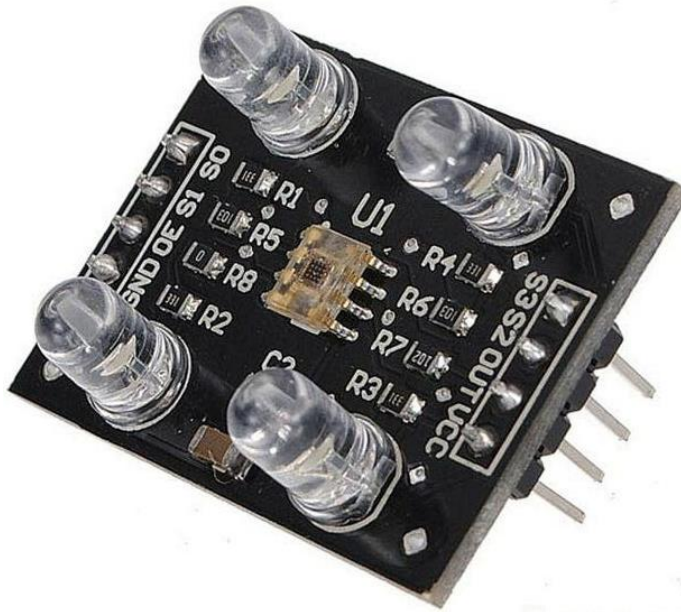


Рисунок 4.4 - Перетворювач кольорового світла в частоту TCS3200

Повномасштабна вихідна частота може бути масштабована на одне з трьох встановлених значень через два керуючі вхідні контакти. Цифрові входи та цифровий вихід дозволяють безпосередньо взаємодіяти з мікроконтролером або іншою логічною схемою. Увімкнення виходу (OE) переводить вихід у стан високого імпедансу для спільного використання кількома блоками вхідної лінії мікроконтролера.

У TCS3200 перетворювач світла в частоту зчитує масив фотодіодів 8×8 . Шістнадцять фотодіодів мають сині фільтри, 16 фотодіодів мають зелені фільтри, 16 фотодіодів мають червоні фільтри та 16 фотодіодів прозорі без фільтрів.

Чотири типи (кольори) фотодіодів чергуються, щоб мінімізувати ефект нерівномірності падаючого випромінювання. Усі фотодіоди одного кольору з'єднані паралельно. Контакти S2 та S3 використовуються для вибору активної групи фотодіодів (червоний, зелений, синій, прозорий). Фотодіоди мають розмір $110 \text{ мкм} \times 110 \text{ мкм}$ та знаходяться на центрах 134 мкм .

Нижче наведено переваги та характеристики програмованого кольорового перетворювача світла в частоту TCS3200.

Таблиця 4.5 - Переваги та характеристики програмованого кольорового перетворювача світла в частоту TCS3200

Певаги	Характеристики
<ul style="list-style-type: none"> • Забезпечує перетворення інтенсивності світла на частоту з високою роздільною здатністю 	<ul style="list-style-type: none"> • Програмований кольоровий перетворювач світла на частоту
<ul style="list-style-type: none"> • Вимикає вихід у стан високого імпедансу, коли вхідний контакт OE низький 	<ul style="list-style-type: none"> • Контакт увімкнення виходу (OE)
<ul style="list-style-type: none"> • Дозволяє оптимізувати вихідний діапазон для різних недорогих методів вимірювання 	<ul style="list-style-type: none"> • Масштабування вихідної частоти
<ul style="list-style-type: none"> • Знижує вимоги до простору на платі, спрощуючи конструкції 	<ul style="list-style-type: none"> • Доступний у корпусі SOIC (D) розміром 5 мм x 6,2 мм

- Програмований колір та повномасштабна вихідна частота
- Безпосередньо взаємодіє з мікроконтролером
- Працює від одного джерела живлення (від 2,7 до 5,5 В)
- Функція вимкнення живлення
- Нелінійна помилка, як правило, 0,2% при 50 кГц
- Стабільний температурний коефіцієнт 200 ppm/°C

Функціональні блоки цього пристрою показані нижче:

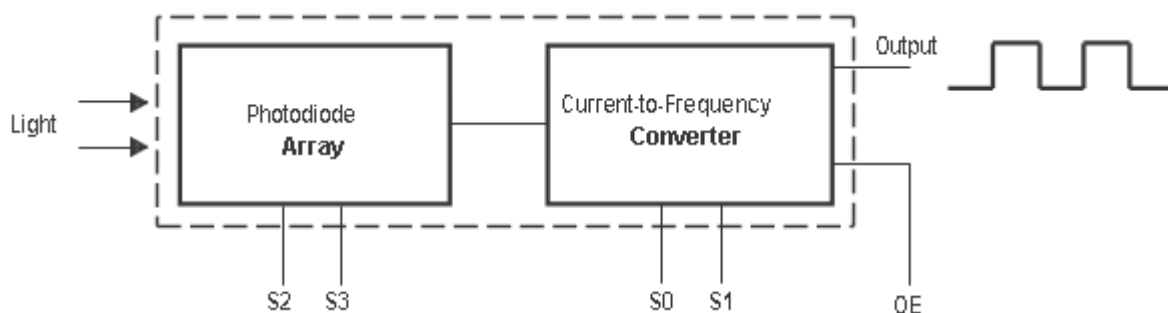


Рисунок 4.5 - Блок-схема TCS3200

Призначення контактів TCS3200 описано на рисунку 4.6.

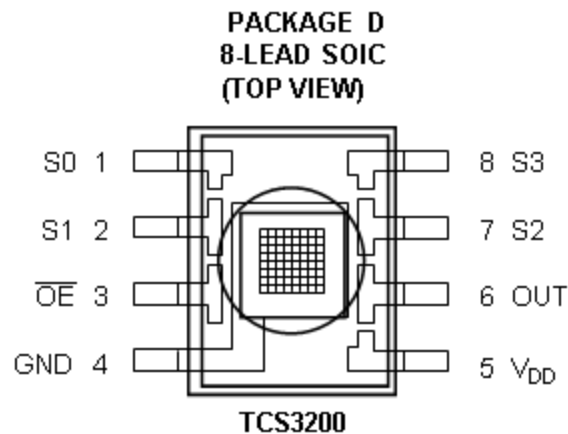


Рисунок 4.6 - Схема контактів TCS3200

Таблиця 4.6 - Функції входів - виходів

Контакт		I/O	Опис
Назва	Номер		
S0, S1	1, 2	I	Входи вибору масштабування вихідної частоти
$\overline{\text{OE}}$	3	I	Увімкнення для f_o (активний низький)
GND	4		Заземлення джерела живлення. Усі напруги вказані щодо GND
VDD	5		Напруга живлення
OUT	6	O	Вихідна частота (f_o)
S2, S3	7, 8	I	Входи вибору типу фотодіода

Таблиця 4.7 - Параметри, що вибираються

S0	S1	Масштабування вихідної частоти (f_o)		S2	S3	Тип фотодіода
L	L	Вимкнення живлення		L	L	Червоний
L	H	2%		L	H	Синій
H	L	20%		H	L	Прозорий (без фільтру)
H	H	100%		H	H	Зелений

Навантаження, що перевищують вказані в абсолютних максимальних номінальних значеннях, можуть призвести до незворотного пошкодження пристрою. Це лише номінальні значення навантаження. Функціональна робота пристрою в цих або будь-яких інших умовах, що виходять за межі зазначених у рекомендованих умовах експлуатації, не передбачається. Дія умов абсолютних максимальних номінальних значень протягом тривалого часу може вплинути на надійність пристрою.

Таблиця 4.8 - Абсолютні максимальні значення в діапазоні робочих температур на відкритому повітрі

Символ	Параметр	Мін.	Макс.	Одиниця
VDD	Напруга живлення		6	V
VI	Діапазон вхідної напруги, всі входи	-0.3	VDD + 0.3	V
TA	Діапазон робочих температур на відкритому повітрі	-40	85	°C
TSTRG	Діапазон температур зберігання	-40	85	V
	Умови паяння відповідно до JEDEC J-STD-020A, максимальна температура		260	°C

Таблиця 4.9 - Рекомендовані умови експлуатації

Символ	Параметр	Мін.	Ном.	Макс.	Одиниця
VDD	Напруга живлення	2.7	5	5.5	V
VIH	Вхідна напруга високого рівня	VDD = 2.7V to 5.5V	2		VDD
VIL	Вхідна напруга низького рівня	VDD = 2.7V to 5.5V	0	0.8	V
TA	Діапазон робочих температур на відкритому повітрі	-40		70	°C

Таблиця 4.10 - Електричні характеристики при $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 5\text{ V}$

Символ	Параметр	Умови тестування	Мін.	Ном.	Макс.	Одиниця
V_{OH}	Вихідна напруга високого рівня	$I_{OH} = -2\text{mA}$	4	4.5		V
V_{OL}	Вихідна напруга низького рівня	$I_{OL} = 2\text{mA}$		0.25	0.40	V
I_{IH}	Високорівневий вхідний струм				5	μA
I_{IL}	Низькорівневий вхідний струм				5	μA
I_{DD}	Струм живлення	Режим включення		1.4	2	mA
		Режим вимикання			0.1	μA
	Повна частота	$S_0 = \text{H}, S_1 = \text{H}$	500	600		kHz
		$S_0 = \text{H}, S_1 = \text{L}$	100	120		kHz
		$S_0 = \text{L}, S_1 = \text{H}$	10	12		kHz
	Температурний коефіцієнт чутливості	$\lambda \leq 700\text{nm}$, - $25^\circ\text{C} \leq T_A \leq$ 70°C		± 200		$\text{ppm}/^\circ\text{C}$
k_{SVS}	Чутливість напруги живлення	$V_{DD} = 5\text{V} \pm 10\%$		± 0.5		$\%/V$

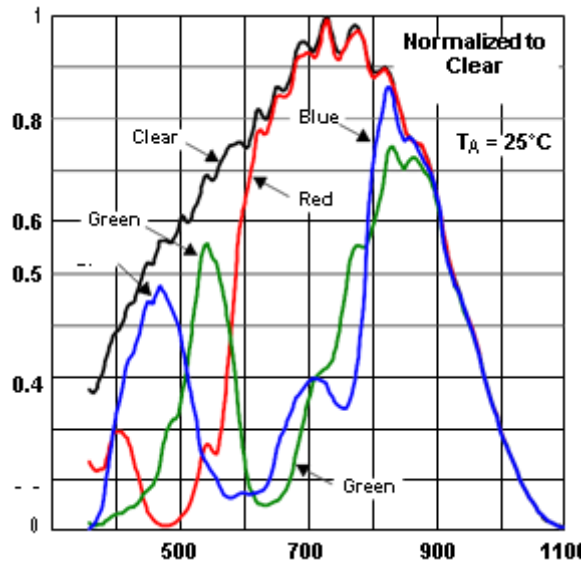


Рисунок 4.7 - Спектральна чутливість фотодіода

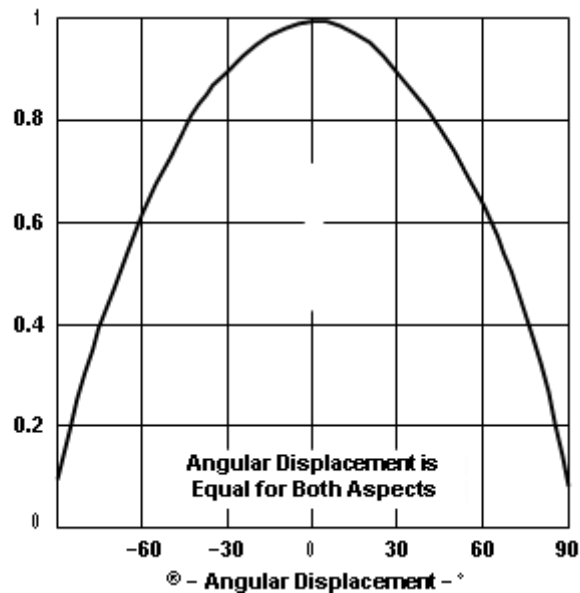


Рисунок 4.8 - Нормалізована вихідна частота в залежності від кутового зміщення

Лінії електроживлення повинні бути розв'язані конденсатором ємністю від 0,01 до 0,1 мкФ до 0,1 мкФ з короткими висновками, встановленими близько до корпусу пристрою.

Для покращення перешкодостійкості потрібне електричне з'єднання з низьким імпедансом між виведенням ОЕ пристрою та виведенням GND пристрою. Всі вхідні контакти повинні або керуватися логічним сигналом, або

підключатися до VDD або GND - їх не можна залишати непідключеними (плаваючими).

Вихід пристрою призначений для керування стандартним логічним входом TTL або CMOS на короткій відстані. Якщо на виході використовуються лінії завдовжки більше 12 дюймів, рекомендується використовувати буфер або драйвер лінії.

Високий стан на Output Enable (OE) переводить вихід у стан із високим імпедансом для спільного використання кількома пристроями вхідної лінії мікроконтролера.

Вимкнення датчика за допомогою S0/S1 (L/L) призведе до того, що вихід утримуватиметься у стані з високим імпедансом. Це схоже на поведінку виводу увімкнення виходу, проте вимкнення датчика економить значно більше енергії, ніж відключення датчика за допомогою виведення увімкнення виходу.

Тип фотодіода (блакитний, зелений, червоний або чистий), що використовується пристроєм, керується двома логічними входами, S2 та S3.

Масштабування вихідної частоти управляється двома логічними входами, S0 та S1. Внутрішній перетворювач світла частоту генерує послідовність імпульсів фіксованої ширини. Масштабування виконується шляхом внутрішнього з'єднання виходу послідовності імпульсів перетворювача із серією дільників частоти. Розділені виходи є прямокутними хвилями з 50%-ним робочим циклом і відносними значеннями частоти 100%, 20% і 2%. Оскільки розподіл вихідної частоти виконується шляхом підрахунку імпульсів основної внутрішньої частоти, кінцевий вихідний період є середнє значення декількох періодів основної частоти.

Регістри лічильника масштабування вихідного сигналу очищаються за наступного імпульсу основної частоти після будь-якого переходу ліній S0, S1, S2, S3 та OE.

Вихід стає високим при наступному наступному імпульсі основної частоти, починаючи новий допустимий період. Це мінімізує часову затримку між зміною на вхідних лініях та результируючим новим вихідним періодом. Час відгуку зміну програмування входу чи зміна кроку освітленості становить період нової частоти

плюс 1 мкс. Масштабований вихід змінює як повну шкалу частоти, і темну частоту на обраний масштабний коефіцієнт.

Функція масштабування частоти дозволяє оптимізувати вихідний діапазон різних методів вимірювання.

Зменшені виходи можуть використовуватися там, де доступний лише повільніший частотомір, такий як недорогий мікроконтролер, або використовуються методи вимірювання періоду.

Вибір інтерфейсу та методу вимірювання залежить від необхідної роздільної здатності та швидкості збору даних. Для максимальної швидкості збирання даних використовуються методи вимірювання періоду.

Вихідні дані можуть збиратися зі швидкістю, що вдвічі перевищує вихідну частоту або одну точку даних на кожную мікросекунду для повного виходу. Вимірювання періоду вимагає використання швидких опорних годинників з доступною роздільною здатністю, безпосередньо пов'язаною з опорною тактовою частотою. Масштабування вихідного сигналу може використовуватися для збільшення роздільної здатності для заданої тактової частоти або для максимізації роздільної здатності при зміні вхідного світлового сигналу. Вимірювання періоду використовується для вимірювання швидко мінливих рівнів освітленості або дуже швидкого виміру постійного джерела світла.

Максимальний дозвіл та точність можуть бути отримані з використанням методів вимірювання частоти, накопичення імпульсів чи інтегрування. Вимірювання частоти забезпечує додаткову перевагу усереднення випадкових або високочастотних змін, що виникають через шум у світловому сигналі. Дозвіл обмежений в основному доступними реєстрами лічильників та допустимим часом виміру. Вимірювання частоти добре підходить для повільно мінливих або постійних рівнів освітленості та для зчитування середніх рівнів освітленості за короткі періоди часу. Інтегрування (накопичення імпульсів за дуже тривалий період часу) може використовуватися для вимірювання експозиції, кількості світла, що є в області за заданий період часу.

4.3.4 Мікроконтролер ESP8266 NODEMCU V3

Функції контролю та керування рівнем та спектром випромінювання штучного освітлення покладені на мікроконтролер. Він забезпечує обробку інформації від датчиків і формування сигналів керування.

З метою реалізації системи автоматичного керування параметрами штучного освітлення обраний мікроконтролер ESP8266 NODEMCU V3 з Wi-Fi модулем ESP-12E виробника Espressif System. Зовнішній вигляд мікроконтролера наведено на рисунку 4.9.

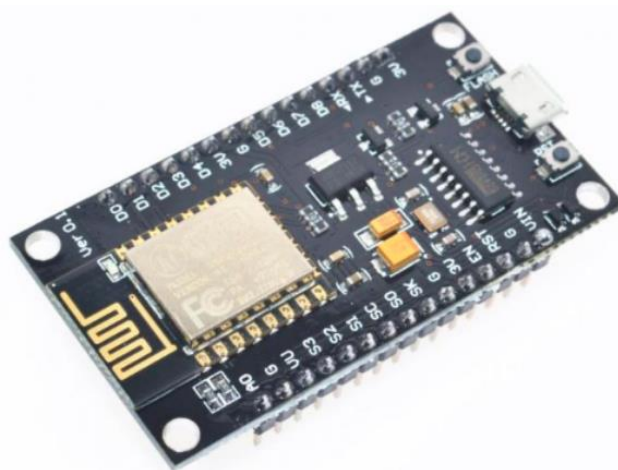


Рисунок 4.9 - Мікроконтролер ESP8266 NODEMCU V3

NODEMCU представляє собою плату розробника на базі мікроконтролера ESP8266 версії ESP-12E. Він є UART-Wi-Fi модулем, який споживає дуже мало електроенергії.

Чіп даного мікроконтролера проектувався для пристроїв Інтернету речей. Плата, завдяки реалізованому на ній підключенню по USB, регулятору живлення і тому, що всі виводи розведені на гребінки з стандартним кроком 2,54 мм, дозволяє спростити розробку, просто вставивши її в макетну плату, і створити прототип.

Технічні характеристики ESP8266 NODEMCU V3 наведені нижче.

1. WiFi 802.11 b/g/n;
2. Підтримка STA/AP/STA+AP режимів;

3. Стек протоколів TCP/IP з підтримкою (до 5) множинних клієнтських підключень;
4. D0-D8, SD1-SD3: виводи можуть використовуватись в якості GPIO, PWM, ІС, і т. ін.;
5. Струм виводу 15 мА;
6. AD0: 1 вивід АЦП;
7. Живлення 4,5 – 9.0 В (максимум 10 В), живлення від USB з наданням відладочного інтерфейсу;
8. Споживання струму: режим обміну даними 70 мА (максимум 200 мА), в режимі очікування <200 мкА;
9. Швидкість передачі даних: 110-460800 Бод;
10. Підтримка UART\GPIO інтерфейсів передачі даних;
11. Перепрошивання з хмари або через USB;
12. Діапазон робочих температур -40 ~ +125 ° С.

5 RGB IOT-MОДУЛЬ ЯК ЗАСІБ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Загальний опис інформаційно-керуючої мережі

Інтернет речей - це група сучасних технологій, здатних забезпечити вирішення багатьох задач автоматизації, як у повсякденні людини, так і в промисловому секторі народного господарства. Перелік засобів, які щоденно долучаються до екосистеми Інтернету речей, постійно розширюється та за прогнозами аналітиків провідних компаній у недалекому майбутті матиме вкрай стрімкий розвиток. Так, за оцінкою компанії ARM, яка провела відповідне дослідження, передбачається що до 2035 р. підключеними до Інтернету буде більше ніж 1 трлн різноманітних пристроїв з різноманітним функціоналом.

Враховуючи сучасність та актуальність відповідної технології, було прийнято рішення розробити, для виконання функцій основного виконуючого пристрою при керуванні освітленням, RGB- пристрій з можливістю його долучення до відповідної бездротової інформаційно-керуючої мережі на основі IP через Wi-Fi та опцією його адміністрування у відповідній мережі. Мається на увазі що роль основного каналу інформаційно-керуючого зв'язку буде виконувати локальна (домашня) мережа побудована у відповідності до структури наведеної нижче (див. рисунок 5.1).

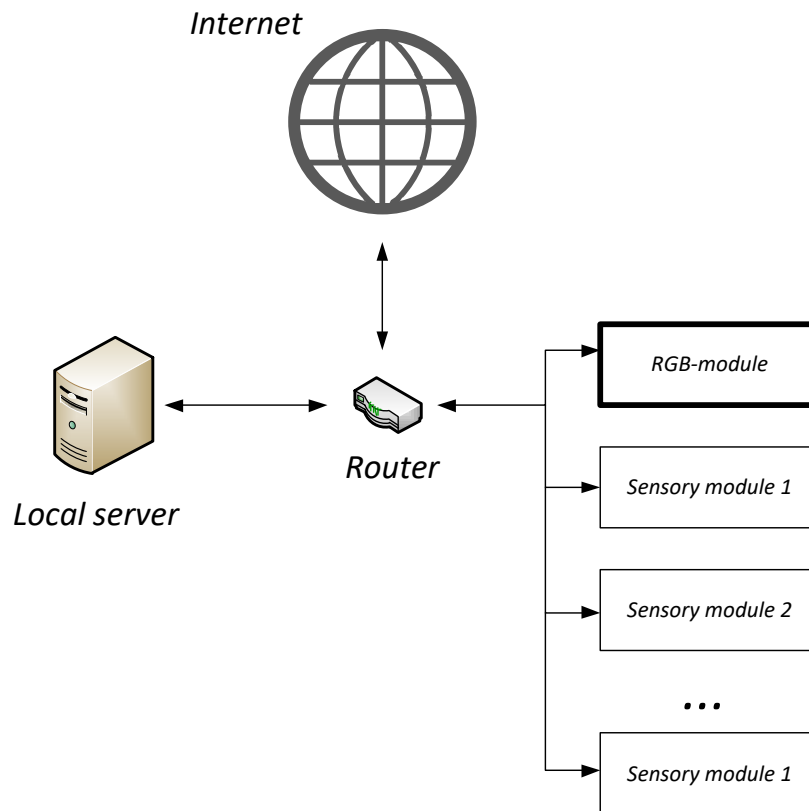


Рисунок 5.1 – Структурна схема інформаційно-керуючої мережі для керування штучним освітленням та корекції спектру

Узагальнюючи наведене на рисунку, можна перелічити наступні особливості побудови відповідної системи керування:

- Система керування побудована на основі спільної інформаційно-керуючої мережі на основі IP;
- Всі рішення по зміні стану освітлення та відповідні керуючі сигнали формуються на сервері (планується використати середовище Node-Red) та передаються адресно до виконуючого пристрою (протокол ModBus TCP);
- В мережі також повинні бути присутні сенсорні пристрої для формування бази на сервері для прийняття рішень по керуванню та бажаним протоколом передавання даних ModBus TCP (щоб позбавитись мультипротокольності);
- Локальну (домашню) мережу побудовано за зірковою архітектурою з маршрутизатором у центрі та виходом у глобальну мережу Інтернет (для потреб архівування даних та отримання додаткових даних для потреб прийняття рішень по керуванню зі сторонніх хмарних сервісів);

- Зіркова архітектура у поєднанні з бездротовим інтерфейсом приєднання елементів системи дає великі перспективи масштабування відповідної системи керування.

5.2 Апаратні властивості RGB IoT – модуля

Головною особливістю ключового пристрою системи керування освітленням та корекції спектру є те, що він побудований на основі мікроконтролера компанії Espressif Systems ESP8266 з вбудованим інтерфейсом Wi-Fi. Важливі технічні характеристики мікроконтролера ESP8266 наступні:

- Напруга живлення: 3,3 В
- Енергоспоживання: 10 мкА...170 мА
- Флеш-пам'ять: до 16 мб максимум
- Процесор: Tensilica L106, 32 бита
- Швидкість процесора: 80...160 МГц
- ОЗП: 32 кб + 80 кб
- Порти введення-виведення загального призначення: 17 (мультиплекуються з іншими функціями)
- АЦП: 1 ввід з розширенням 1024
- Підтримка 802.11: b/g/n/d/e/i/k/r
- Максимальна кількість підключень TCP: 5

Цей RGB IoT-пристрій розроблявся на кафедрі комп'ютеризованих систем управління Сумського державного університету. Скорочена принципова схема пристрою наведена на рисунку 5.2 .

Всі необхідні з'єднання електронних елементів повної принципової схеми модуля можуть бути компактно поєднані за рахунок використання друкованої плати (PCB), проект якої наведений на рисунку 5.3.

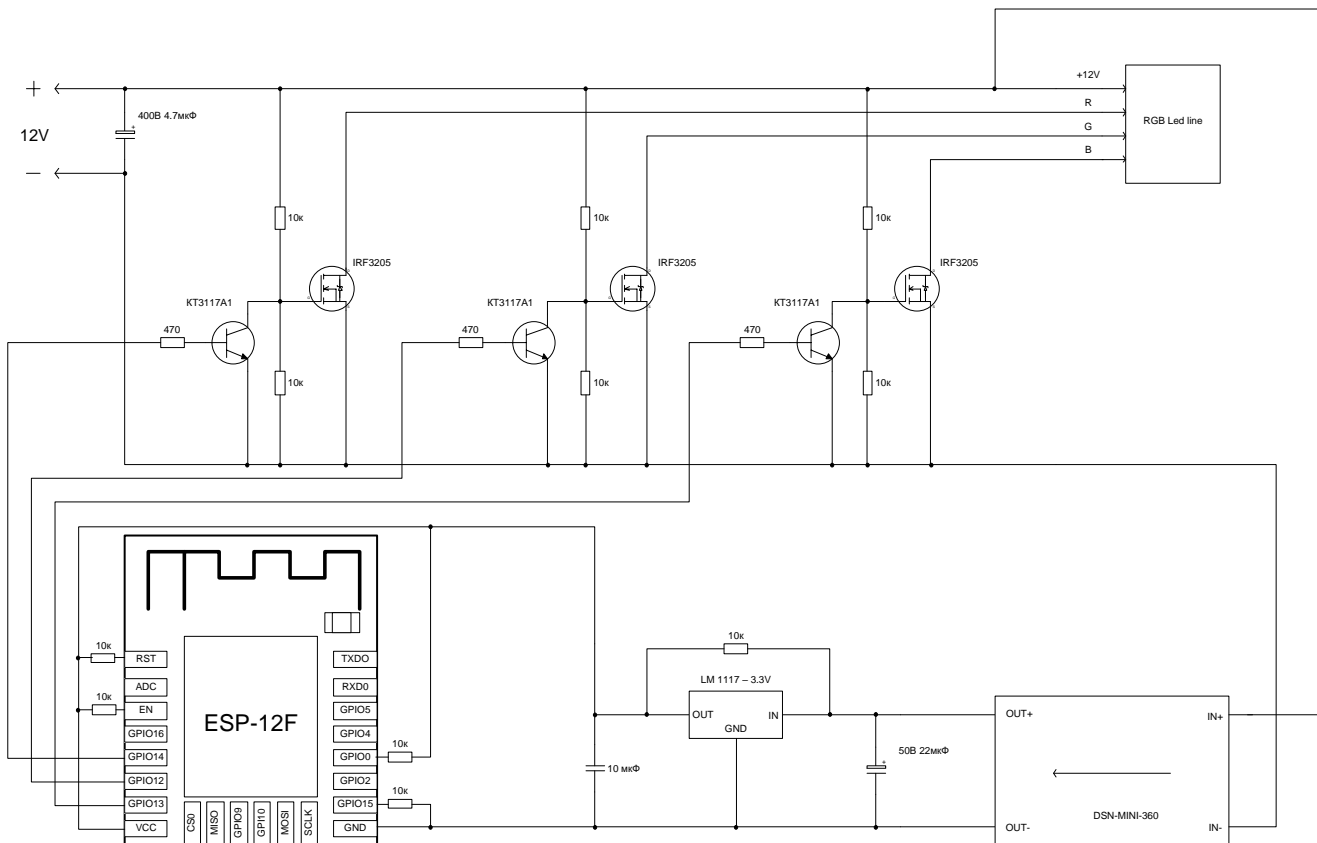


Рисунок 5.2 - Скорочена принципова схема RGB IoT – модуля

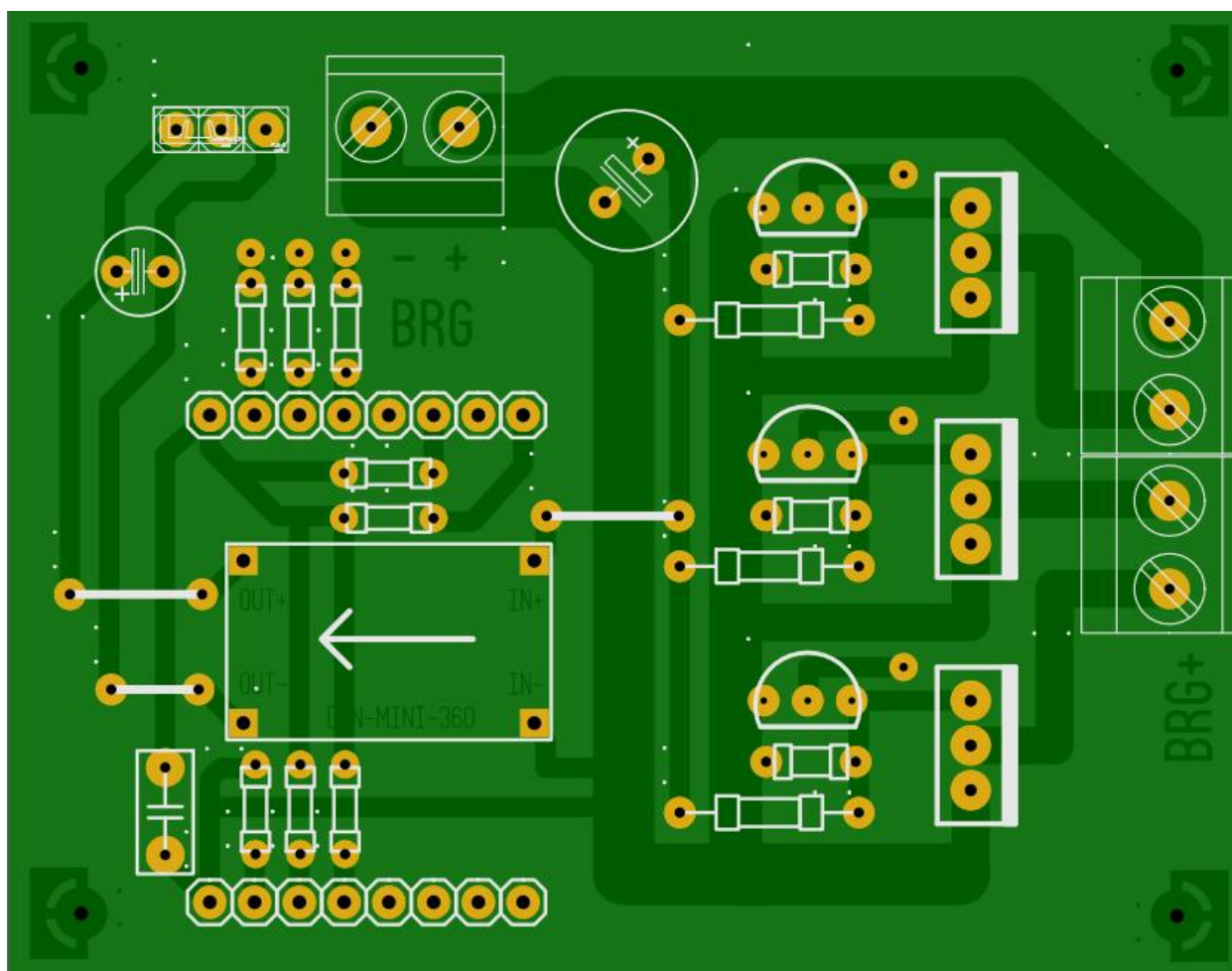


Рисунок 5.3 - Проект друкованої плати (PCB) RGB IoT – модуля

Основний функціонал реалізованого у кінцевому варіанті RGB IoT – модуля складається з наступних ключових елементів:

- 1) Плата налаштування на основі мікроконтролера ESP8266, в якій на рівні коду реалізована можливість приймання/передавання даних через інформаційно-керуючі мережі за допомогою протоколів TCP/IP та ModBus TCP.
- 2) Три реле постійного струму напругою 12В на основі польових транзисторів (по одному на червоний, зелений та синій канал).
- 3) Функція отримання довідкової та сервісної інформації по послідовному UART інтерфейсу.
- 4) Функція швидкого пошуку модуля в мережі за протоколом mDNS (Multicast Domain Name System).

5.3 Адресний простір RGB IoT – модуля

Модуль побудований таким чином, щоб отримувати з сервера значення керуючих сигналів за трьома каналами (отримуються значення 0-255 : вихід на модулі ШІМ-сигнал відповідної щільності) за протоколом ModBus TCP. Також на модулі можна оновлювати прошивку через мережу (локально або дистанційно) за технологією OTA («Over The Air»). При роботі за протоколом ModBus TCP пристрій працює як SLAVE, тобто є веденим. Типи змінних, номери портів з прив'язкою або відношенням до протоколів, а також інша довідкова інформація для створення стабільних комунікацій та інформаційних зв'язків у мережі наведена у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Протокол	Порт	Назва змінної	Тип змінної, адреса	Тип підпорядкування, ID
ModBus TCP	502	Значення каналу R	HOLDING REGISTER, 0	Slave, 1
ModBus TCP	502	Значення каналу G	HOLDING REGISTER, 1	Slave, 1
ModBus TCP	502	Значення каналу B	HOLDING REGISTER, 2	Slave, 1
TCP/IP	80	Update file	Binary	Client
mDNS	80	Request	Request, <Chip_ID>- esp8266.local/	Client

6 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ОКРЕМИМ КАНАЛОМ СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ

6.1 Опис причино-наслідкових зв'язків в об'єкті керування

Світлодіодні джерела освітлення (LED) у нашому повсякденні зайняли лідируючі позиції серед усіх приладів відповідного спрямування завдяки наступним його перевагам:

- Довговічність (строк придатності у середньому в 30-50 разів довше за лампу розжарювання);
- Економічність;
- Екологічна безпека;
- Висока стійкість до змін температури та напруги;
- Високий рівень індексу передавання кольору;
- Висока якість світла;
- Надійність та міцність;
- Додаткові здібності.

Але попри всі переваги відповідної технології існує ряд нюансів, пов'язаний з керуванням LED- приладами, які стають особливо виразними у випадках, коли відповідне регулювання реалізовано за зворотнім зв'язком, на основі вимірювань фактичного значення освітленості. Таке може відбуватися у системах досвічування об'єкту, коли фактичне значення освітленості (наприклад, приміщення) треба збільшити за рахунок використання додаткового освітлювального обладнання (наприклад, світлодіодного). Головні складнощі регулювання у такому випадку пов'язані з декількома факторами, а саме:

- Безінерційність у роботі відповідного світлодіодного приладу;
- Певна нелінійність зв'язку між робочим струмом та світловим потоком відповідного приладу;
- Шумові та запізнювальні процеси у лініях зв'язку.

Дослідимо процес стабілізації світлового потоку на основі певного уставочного значення з контролем результату відповідним сенсором (зворотній зв'язок).

6.2 Опис світлодіодного освітлювача як об'єкта керування

Ключовою особливістю світлодіода є те, що при пропусканні через нього робочого струму, діюче значення якого можна оцінити через діюче значення відповідного керуючого ШІМ-сигналу, відбувається його засвічування. Важливо те, що яскравість цього засвічування, а відповідно і світловий потік, який генерується, має зв'язок зі струмом світлодіода (див. рисунок 6.1).

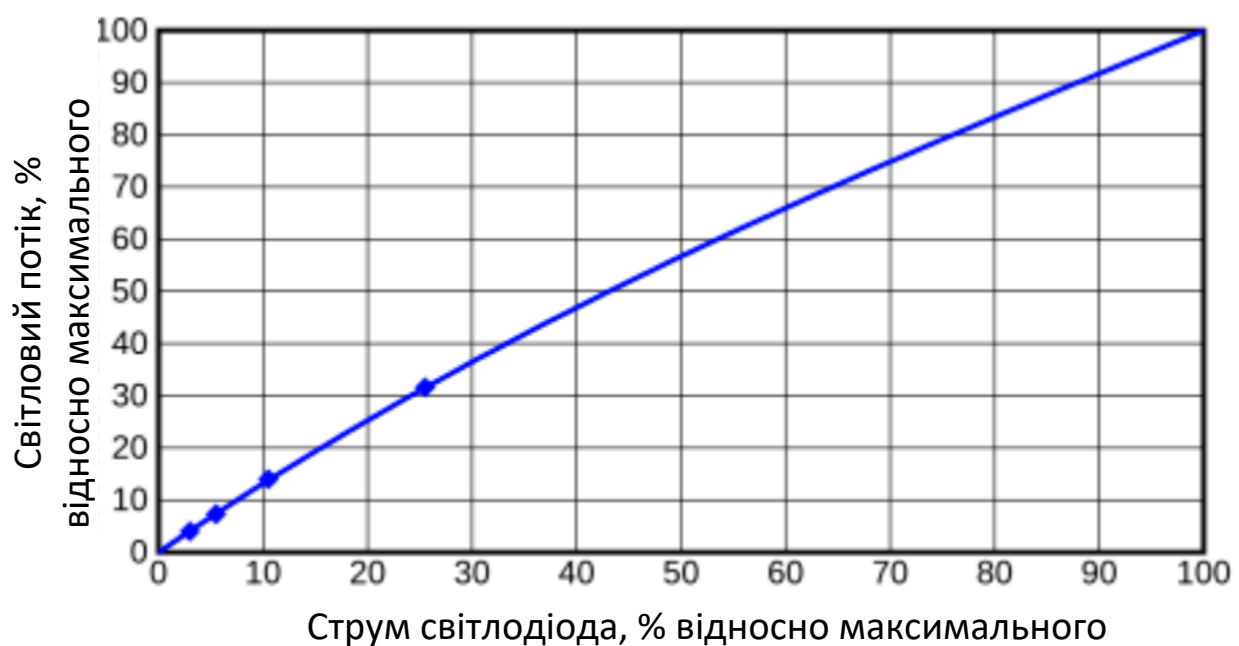


Рисунок 6.1 - Залежність світлового потоку світлодіода від струму

Але детальне вивчення відповідної залежності дозволяє прийняти зв'язок світлового потоку світлодіода з робочим струмом як лінійний та в подальшому описувати цей пристрій лінійною безінерційною ланкою з відповідною передатною функцією. Додатковим аргументом на користь такої лінеаризації стає той факт, що керування буде забезпечуватись ШІМ-сигналом, а не постійним струмом.

Враховуючи зазначене вище, напрошується основний висновок, що всі складнощі регулювання будуть визначатися шумовими та запізнювальними процесами у лініях зв'язку (особливо на стороні зворотного зв'язку від сенсора), які безінерційний прилад (світлодіод, світлодіодна стрічка, кольоровий канал світлодіодної стрічки та ін.) буде відпрацьовувати негайно, розхитуючи систему керування цілком, та відобразатиметься все це в небажаному мерехтінні світла.

6.3 Моделювання процесу керування освітленням

Оцінимо особливість перехідних процесів у системі керування освітленням, використавши у якості основного алгоритму керування метод, згідно якого керуючий вплив формується як результат прямого порівняння вихідного значення освітленості приміщення (у відсотках від максимального значення, яку може забезпечити відповідне джерело світла) з уставочним значенням.

На рисунку 6.2 окремо виділено наступні підсистеми:

- Підсистема перетворення ШІМ-сигналу у освітленість;
- Підсистема алгоритму формування керуючого сигналу за методом прямого порівняння вихідного значення освітленості приміщення з уставочним значенням;
- Підсистема емуляції шумових сигналів у сенсорі та стохастичної затримки у лінії зворотнього зв'язку.

З Matlab/Simulink-моделі відповідного процесу керування видно, що вся система керування реалізована у відповідності до принципу керування за відхиленням або за принципом зворотного зв'язку та має у якості сигналу збурення значення зовнішнього освітлення (у відсотках від максимального значення сигналу освітлення приміщення, яке може забезпечити відповідне штучне джерело світла).

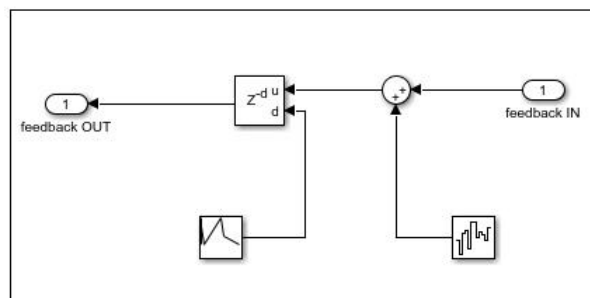
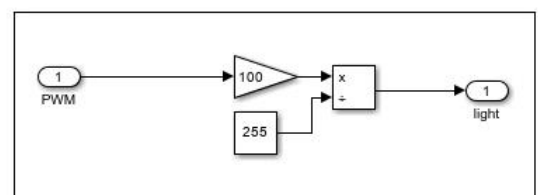
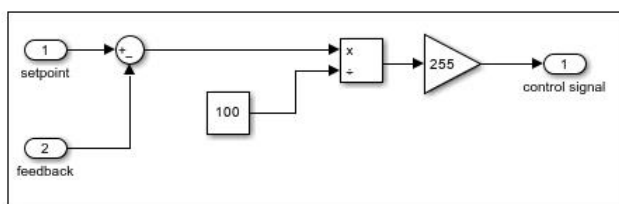
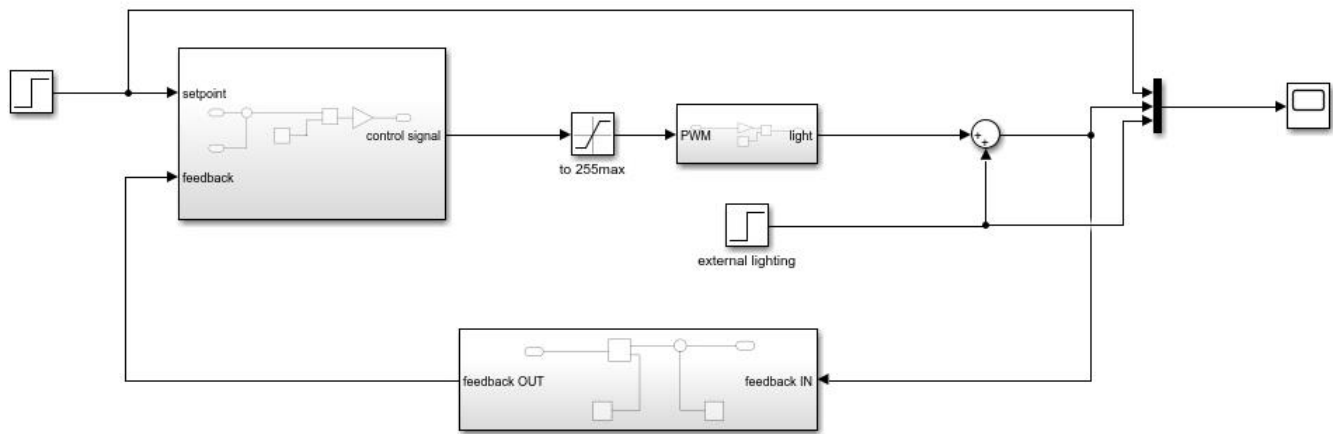


Рисунок 6.2 - Matlab/Simulink-модель з відповідними підсистемами для керування освітленням за методом прямого порівняння вихідного значення освітленості приміщення з уставочним значенням

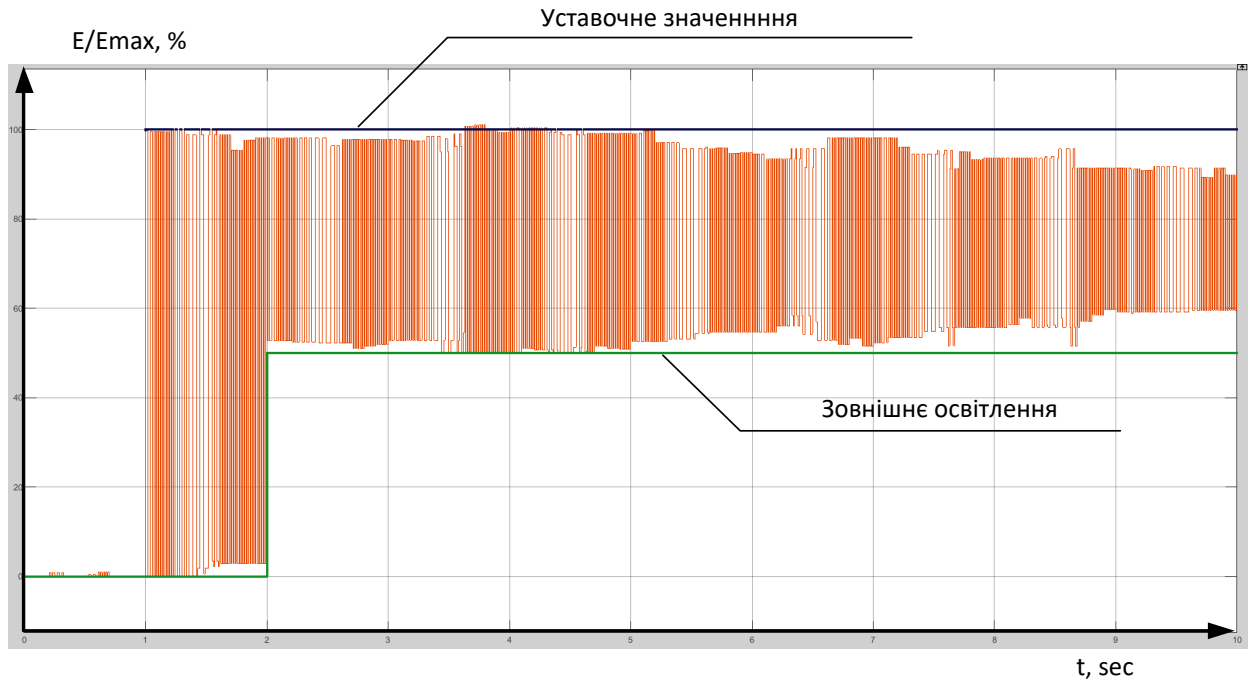


Рисунок 6.3 - Результат моделювання керування освітленням за методом прямого порівняння вихідного значення освітленості приміщення з уставочним значенням

Як видно з отриманого графіку перехідного процесу (див. рисунок 6.3), результат має істотно виражену шумову складову, тому логічним стає використання послідовно до основного алгоритму формування керуючого впливу додаткового фільтру низьких частот з передаточною функцією $W_f(p) = 1/(T_\mu p + 1)$, де T_μ – стала часу відповідної аперіодичної ланки та визначає ширину смуги пропускання відповідного фільтру низьких частот (рисунок 6.4).

Відповідний графік перехідного процесу наведено на рисунку 6.5, з якого видно, що доданий фільтр низьких частот зі сталою часу $T_\mu = 0.3$ (сек) значно покращив результат, подавивши відповідну шумову складову та зробивши процес корегування освітлення плавним, що гарно вплине на його сприйняття споживачем (людиною). Однак з'явилась статична похибка у вихідному сигналі, що на практиці виглядатиме як недосвічування приміщення.

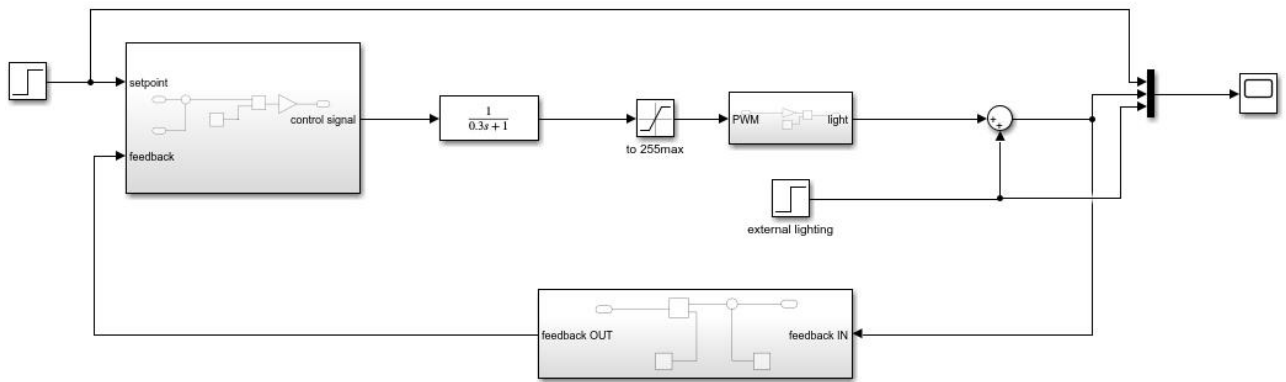


Рисунок 6.4 - Matlab/Simulink-модель з відповідними підсистемами для керування освітленням за методом прямого порівняння вихідного значення освітленості приміщення з уставочним значенням та послідовним фільтром низьких частот

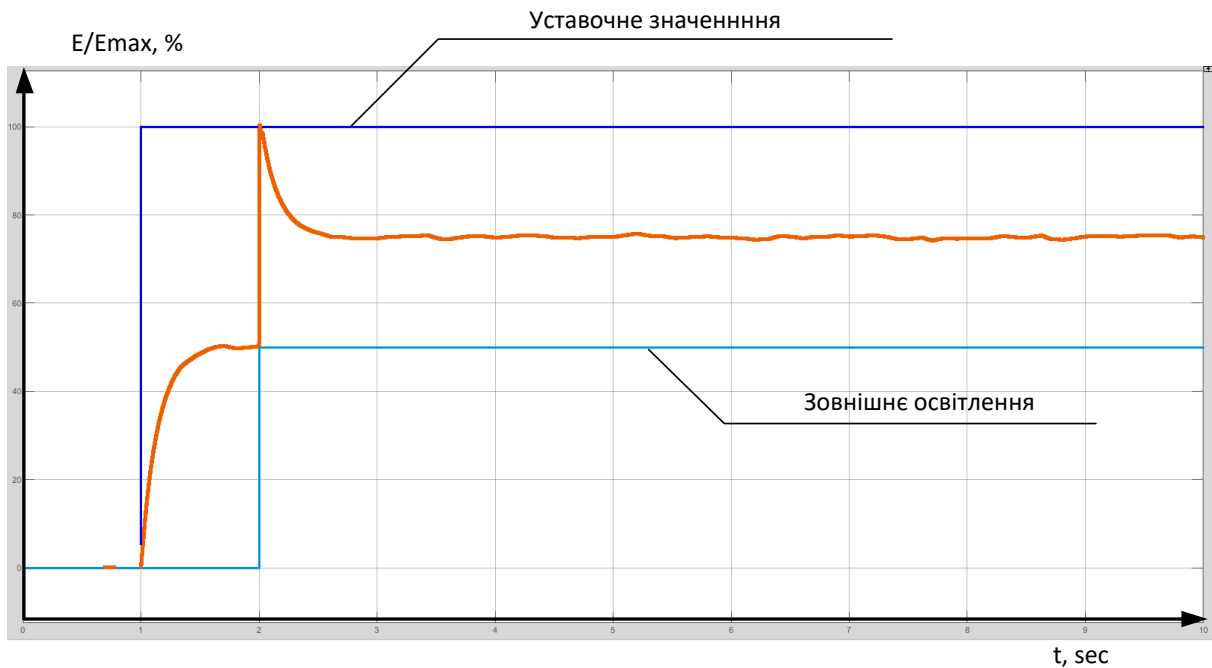


Рисунок 6.5 - Результат моделювання керування освітленням за методом прямого порівняння вихідного значення освітленості приміщення з уставочним значенням та послідовним фільтром низьких частот

Позбавитись цього недоліку нескладно, якщо підвищивши ступінь астатизму системи, тобто додавши послідовно до фільтру низьких частот інтегруючу ланку з коефіцієнтом перетворення близьким до одиниці ($\cong 1$) або, іншими словами, використавши І-регулятор.

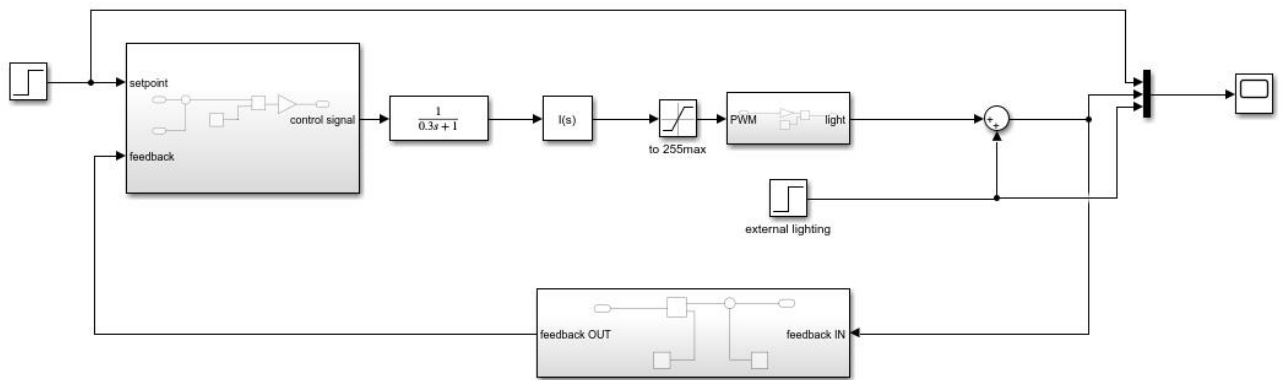


Рисунок 6.6 - Matlab/Simulink-модель з відповідними підсистемами для керування освітленням за методом прямого порівняння вихідного значення освітленості приміщення з уставочним значенням та послідовним фільтром низьких частот, а також І-регулятором

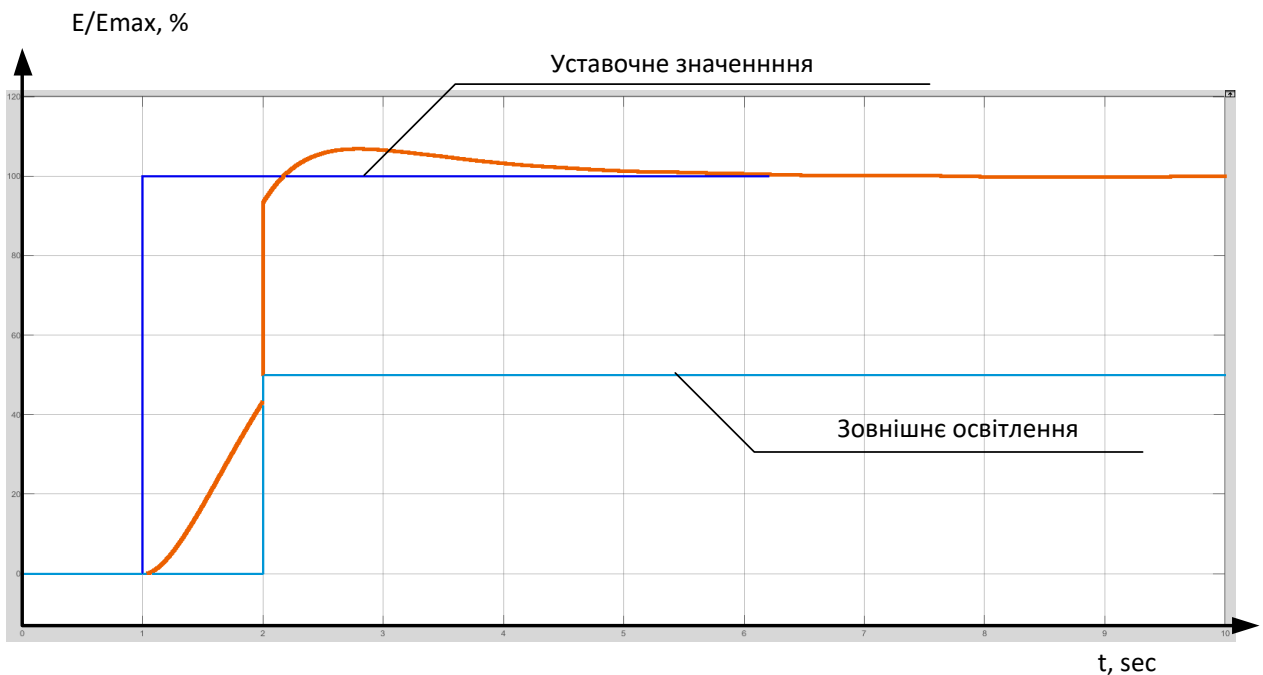


Рисунок 6.7 - Результат моделювання керування освітленням за методом прямого порівняння вихідного значення освітленості приміщення з уставочним значенням та послідовним фільтром низьких частот, а також І-регулятором ($I = 0.7$)

На рисунку 6.7 наведено результат відповідного моделювання з використанням І-регулятора, розташованого послідовно до фільтру низьких частот. Відповідний графік перехідного процесу позбавлений всіх початково освітлених на початку моделювання недоліків та має дуже плавну динаміку, що

сприйматиметься споживачем (людиною) як комфортна та сприятлива зміна освітленості в приміщенні.

6.4 Основні висновки за результатами моделювання процесу керування освітленням побутового приміщення в середовищі MATLAB

На основі моделі, наведеної в роботі, було проведено ряд аналітичних експериментів шляхом моделювання в середовищі MATLAB Simulink. В самій роботі винесені лише ті результати, які безпосередньо ілюструють ті принципи, які реалізовані при розробці моделі процесу керування світлодіодним освітленням приміщення з урахуванням зовнішнього досвічування.

Що стосується практичної складової роботи, то були зроблені наступні висновки:

- використання при керуванні освітленням методу прямого порівняння вихідного значення освітленості приміщення з уставочним значенням забезпечує стійкий перехідний процес, але шумові процеси у сенсорі та затримки у лінії зв'язку можуть значно погіршити прямі показники відповідних перехідних процесів;
- ефективним способом боротьби з шумовими процесами у відповідній системі керування є використання послідовного фільтруючого алгоритму (переважно фільтру низьких частот);
- ефективним способом зниження значення статичної похибки при керуванні безінерційними об'єктами (світлодіодний освітлювач наприклад) є підвищення ступеню астатичності розімкненого контуру керування, що досягається включенням ідеальної інтегруючої ланки до контуру керування або І-регулятора;
- наведена в роботі модель сама собою ілюструє зручність використання архітектури системи керування виду «сервер - виконуючий пристрій зі зворотнім зв'язком на основі спільної інформаційно-керуючої мережі». Важливим фактором, який обов'язково потрібно врахувати при

проектуванні та реалізації, є використання протоколу, здатного забезпечити високий ступінь достовірності даних, які передаються, наприклад ModBus TCP.

7 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

7.1 Структура програмної прошивки модуля

Для того, щоб розроблений RGB IoT – модуль можна було вважати повноцінним елементом екосистеми Інтернету речей, його програмна складова повинна відповідати наведеній на рисунку 7.1 структурі.

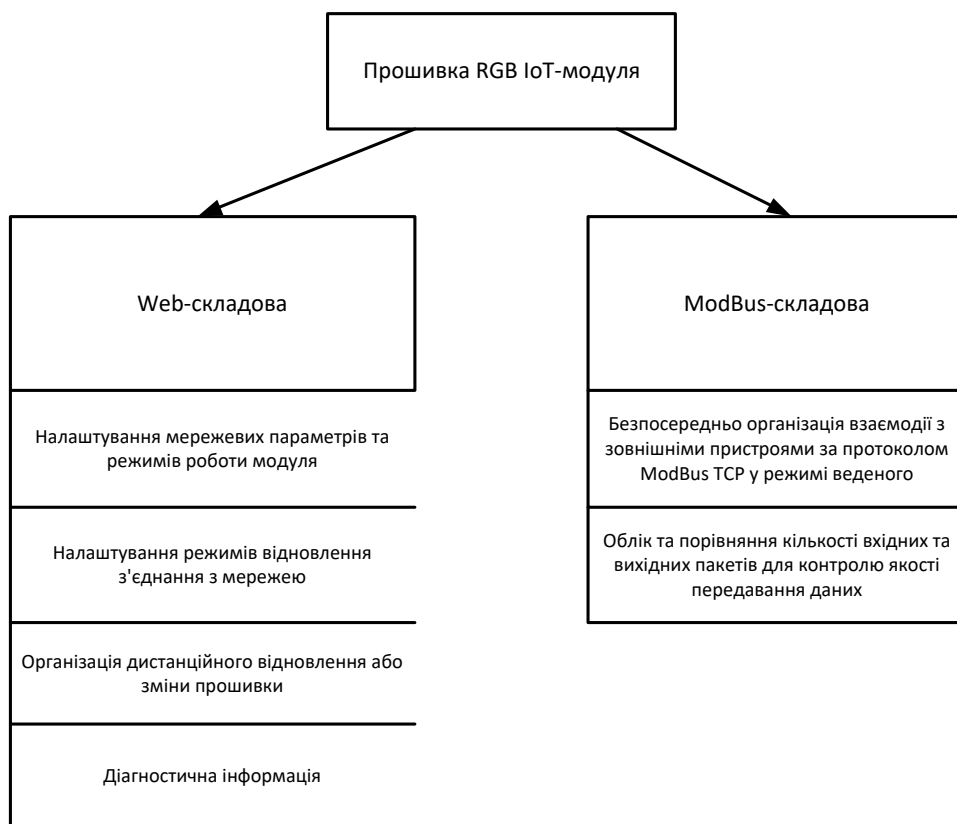


Рисунок 7.1 – Програмна структура RGB IoT – модуля

7.2 Web – інтерфейс модуля

Для забезпечення відповідності програмній структурі, наведеній на рисунку 7.1, у Web – інтерфейс модуля закладено наступні важливі елементи:

- 1) Заголовочна сторінка, що забезпечує захисту від несанкціонованого доступу до ключових параметрів адміністрування. На цій сторінці можна виконати

вхід у налаштування або змінити облікові дані для доступу до налаштувань знаючи попередні актуальні облікові дані доступу (рисунок 7.2).

The image displays two screenshots of the 'RGB-module Login Page'. Both screenshots have a blue background and a white title bar that reads 'RGB-module Login Page' in red text. The top screenshot shows the 'Login' action selected in the 'Select action' dropdown menu. The 'Confirm action' button is labeled 'Login'. The bottom screenshot shows the 'Password changing' action selected in the 'Select action' dropdown menu. The 'Confirm action' button is labeled 'Change password'. Both screenshots feature input fields for 'Username:' and 'Password:', and buttons for 'Login', 'New login', 'Password', and 'New password'.

Рисунок 7.2 - Заголовочна сторінка RGB IoT – модуля

2) Вкладка оновлення прошивки, на якій, за необхідності, можна виконати зміну прошивки RGB IoT – модуля на більш актуальну за технологією OTA. Файл прошивки повинен мати формат `***.bin` (машинний код). (рисунок 7.3).

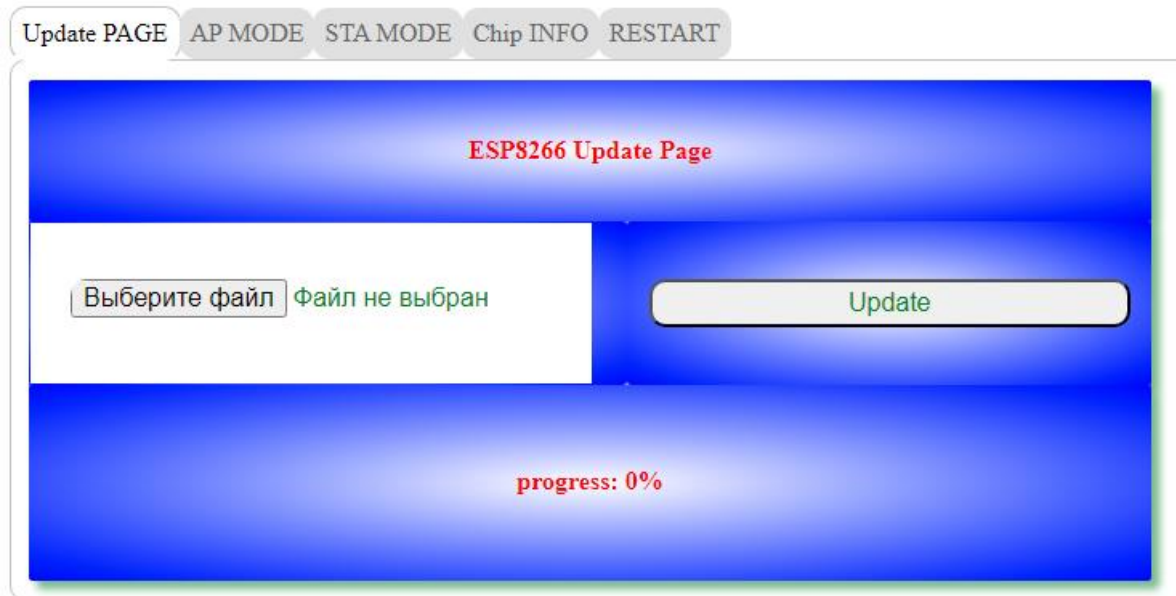


Рисунок 7.3 - Вкладка оновлення прошивки RGB IoT – модуля

- 3) Вкладка для налаштування імені модуля та паролю доступу до відповідної мережі, якщо модуль запущений в режимі точки доступу (AP – mode) (рисунок 7.4).

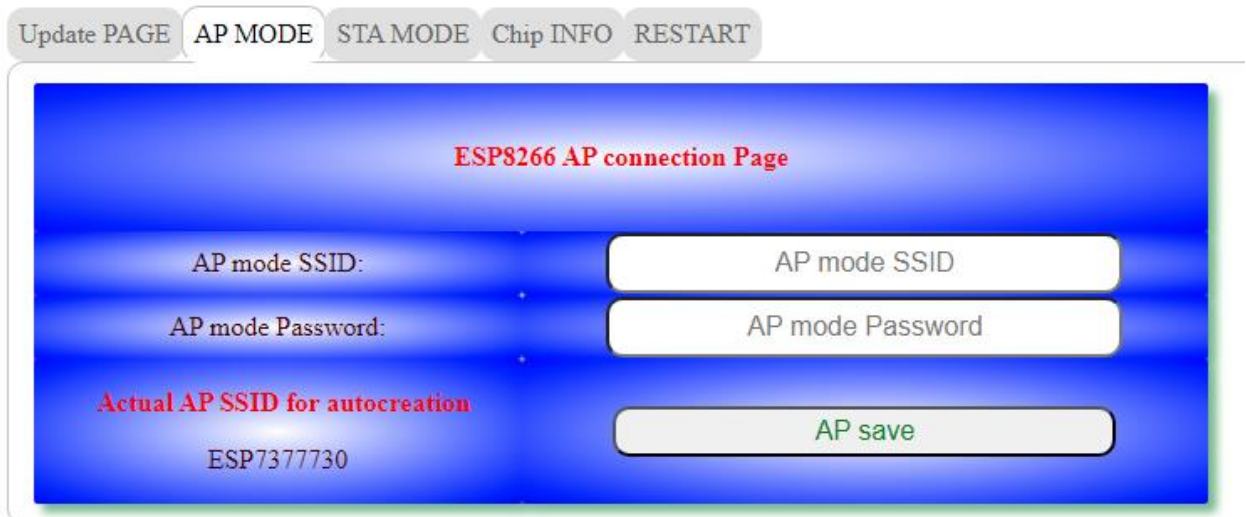


Рисунок 7.4 - Вкладка налаштування імені модуля та паролю доступу до мережі RGB IoT – модуля в режимі точки доступу

- 4) Вкладка для налаштування автоматичного підключення модуля до однієї з доступних поблизу бездротових мереж, якщо модуль запущений в режимі станції (STA - mode). У цій вкладниці можна побачити перелік

доступних поблизу модуля бездротових мереж зі значенням рівня сигналу та доступним способом аутентифікації (рисунок 7.5).

Update PAGE AP MODE **STA MODE** Chip INFO RESTART

ESP8266 STA connection Page

9 network(s) found

- 1: Tan4ik (-83dBm) WPA/WPA2/PSK
- 2: ALEKSANDR (-89dBm) WPA2/PSK
- 3: TP-Link_ED58 (-77dBm) WPA2/PSK
- 4: Tenda_E75600 (-64dBm) OPEN
- 5: SMHome (-62dBm) WPA2/PSK
- 6: MERCUSYS_F023 (-86dBm) WPA2/PSK
- 7: (-70dBm) WPA2/PSK HIDDEN
- 8: Tatyana (-83dBm) WPA2/PSK
- 9: NT4.0 (-61dBm) WPA2/PSK

STA mode SSID:

STA mode Password:

Actual SSID for autoconnection

SMHome

Рисунок 7.5 - Вкладка налаштування підключення RGB IoT – модуля в режимі станції

5) Вкладка з інформацією про стан підключення модуля, його індивідуальними мережевими параметрами та ін. (рисунок 7.6).



Рисунок 7.6 - Вкладка з індивідуальними мережевими параметрами модуля

- б) Вкладка для налаштування автоматичного відновлення з'єднання модуля з мережею або для його дистанційного апаратного перезавантаження (рисунок 7.7).

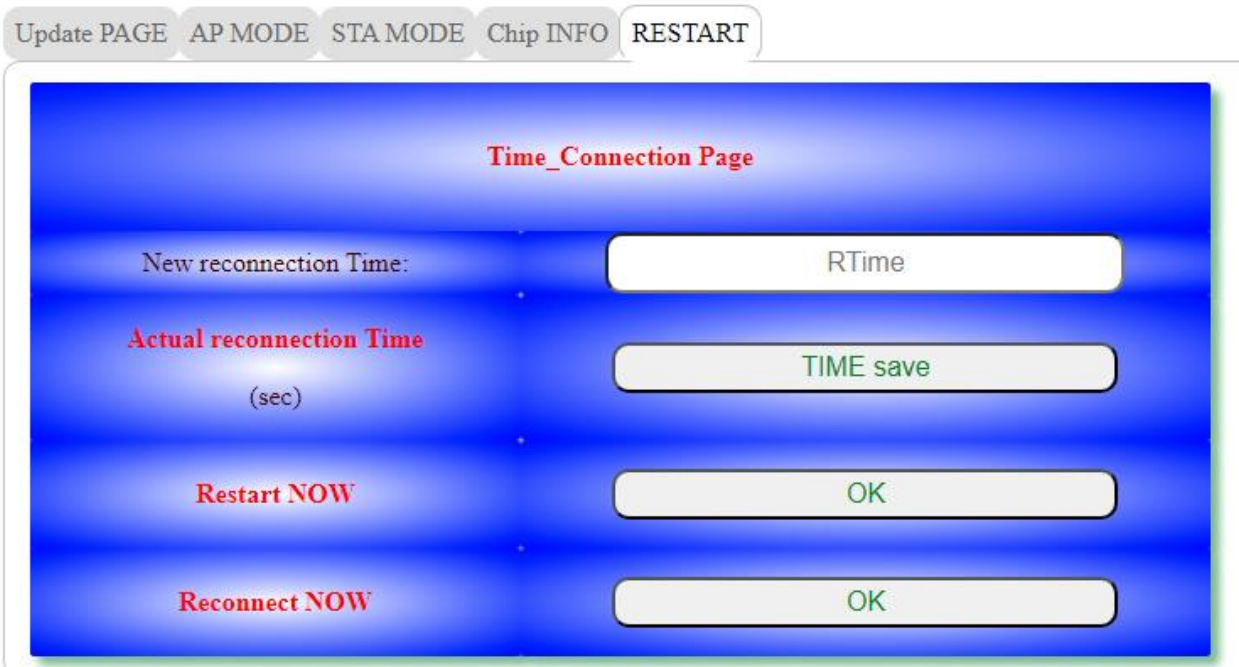


Рисунок 7.7 - Вкладка для налаштування автоматичного підключення модуля до домашньої мережі або його дистанційного перезавантаження

Зважаючи на перелічене раніше, можна констатувати можливість гнучкого налаштування відповідного RGB IoT – модуля, а також забезпечення можливості його стабільного існування у інформаційно-керуючій мережі, що є вкрай важливим при вирішенні задач автоматичного керування локально або просторово розподіленими елементами і засобами керування.

7.3 Детальне узагальнення структури коду прошивки RGB IoT – модуля

Створення програми роботи модуля здійснювалось в середовищі Arduino IDE. Іншими словами, можна констатувати те, що основна програма пристрою реалізована у фреймворку Wiring, який є спрощеним діалектом мов програмування C/C++. Це середовище дозволяє, окрім реалізації безпосереднього програмування модуля, створювати бінарні файли прошивки для OTA-оновлення. Код прошивки модуля реалізовано у відповідності до наступної функціональної структури:

- 1) Частина «Back End» Web-оболонки модуля, бібліотечна реалізація підключення модуля до інформаційно-керуючої мережі та переключення модуля між AP/STA режимами, бібліотечна реалізація mDNS протоколу, викликання ModBus TCP протоколу, ручна реалізація OTA - методу оновлення прошивки модуля.
- 2) Функції для роботи з файловою системою модуля (бібліотечна реалізація), ручна реалізація функцій для створення SLAVE-фрейму протоколу ModBus TCP, а також контролю вхідних та вихідних повідомлень, частина сервісних повідомлень Web-оболонки модуля.
- 3) HTML, JavaScript, Ajax - складова заготовочної сторінки Web-оболонки модуля (додатково використано фреймворк JQUERY).
- 4) HTML, JavaScript, Ajax - складова внутрішніх сервісних вкладинок Web-оболонки модуля (додатково використано фреймворк JQUERY).
- 5) CSS – складова Web-оболонки модуля.

ВИСНОВКИ

За результатами виконаної роботи можна зробити ряд висновків, які умовно можна розподілити на висновки практичного спрямування та висновки аналітичного спрямування.

Висновки практичного спрямування надають набір рекомендаційної інформації, яку можна використати при практичній реалізації аналогічних систем, підсистем та контурів регулювання. Висновки аналітичного спрямування можна використовувати як рекомендаційні настанови безпосередньо при налаштуванні процесів керування в аналогічних системах, підсистемах та контурах регулювання з відповідним режимом керування.

На основі загального аналізу апаратної складової системи керування та її структури можна констатувати наступне:

- реалізація системи керування на основі спільної локальної інформаційно-керуючої мережі з використанням надійних інтерфейсів та протоколів передавання інформації, наприклад ModBus TCP, значно спрощує структуру системи, що може якісно вплинути на структуру відповідних складових підсистем;
- озвучене спрощення здатне позитивним чином вплинути економічно за рахунок спрощення різних фізичних трасувань та спрощенні системи і підсистем живлення;
- додатковими плюсами наведеної архітектури є спрощення організації резервувань та моніторингу станів, як серверної частини так і частини об'єкта керування;
- використання розповсюджених та доступних елементів системи керування (датчиків, мікроконтролерів, середовищ програмування та ін.) також дає позитивний економічний ефект в частині вартості реалізації;
- використання у якості підсистем IoT та PoT складових дозволяє спростити перехід відповідної системи керування до екосистеми Інтернету речей та

залучати, з метою підвищення якості процесів керування туманних та хмарних обчислень;

- підвищити ефективність та гнучкість процесів налаштування, адміністрування та керування підсистемами в системах, побудованих на основі спільної локальної інформаційно-керуючої мережі, можливо за рахунок використання web - технологій, а саме – створенням зручних та ергономічних web – інтерфейсів, застосунків та додатків;
- мультипротокольність, лише при грамотному підході у проектуванні систем автоматичного керування, може забезпечити синергетичність процесу передавання інформації, керуванні інформаційними потоками та квітуванні відповідної інформації;
- використання модулів на основі мікроконтролерів сімейства ESP, виробництва компанії Espressif Systems, в якості виконуючих IoT та PoT складових в системах керування на базі мережевих технологій, може значно здешевити як саму систему керування так і процес її розробки з ефективним розширенням функціоналу окремих підсистем.

На основі моделі та методики, наведеної в роботі, було проведено ряд аналітичних експериментів шляхом моделювання в середовищі MATLAB Simulink. В самій роботі винесені лише ті результати, які безпосередньо ілюструють ті принципи, які реалізовані при розробці моделі процесу керування світлодіодним освітленням приміщення з урахуванням зовнішнього досвічування.

Відносно практичної складової роботи були зроблені наступні висновки:

- використання при керуванні освітленням методу прямого порівняння вихідного значення освітленості приміщення з уставочним значенням забезпечує стійкий перехідний процес, але шумові процеси у сенсорі та затримки у лінії зв'язку можуть значно погіршити прямі показники відповідних перехідних процесів;
- ефективним способом боротьби з шумовими процесами у відповідній системі керування є використання послідовного фільтруючого алгоритму (переважно фільтру низьких частот);

- ефективним способом зниження значення статичної похибки при керуванні безінерційними об'єктами (наприклад – світлодіодний освітлювач) є підвищення ступеню астатичності розімкненого контуру керування, що досягається включенням ідеальної інтегруючої ланки до контуру керування або І-регулятора;
- наведена в роботі модель сама собою ілюструє зручність використання архітектури системи керування виду «сервер - виконуючий пристрій зі зворотнім зв'язком на основі спільної інформаційно-керуючої мережі».

Важливим фактором, який обов'язково потрібно врахувати при проектуванні та реалізації, є використання протоколу, здатного забезпечити високий ступінь достовірності даних, які передаються, наприклад ModBus TCP.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кожушко Г. М. Проблеми проектування систем освітлення з врахуванням невізуальних впливів світла / Г. М. Кожушко, Т. В. Сахно, В. І. Назаренко // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції „Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи“, 29-31 травня 2024 року. — Т. : ТНТУ, 2024. — С. 8–10. — (Пленарні доповіді).
2. Зеленков, І., & Вакула, Н. (2005). Dynamic modes of illumination in productions terms. *Proceedings of National Aviation University*, 25(3), 184–187. <https://doi.org/10.18372/2306-1472.25.1186>
3. Шпак, С.В. и Мартиросова, В.Г. Сахно, Т.В. Кожушко, Г.М. (2020) НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СТАНДАРТІВ НА СВІТЛОДІОДНУ ТЕХНІКУ ТА ОСВІТЛЕННЯ З ЇЇ ВИКОРИСТАННЯМ. *Комунальне господарство* (154). С. 57-66. ISSN 2522-1809
4. Fotios S, Cheal C, Boyce P. Light source spectrum, brightness perception and visual performance in pedestrian environments: a review. *Lighting Research & Technology*. 2005;37(4):271-291. doi:[10.1191/1365782805li139oa](https://doi.org/10.1191/1365782805li139oa)
5. L. Bellia, F. Bisegna, G. Spada, Lighting in indoor environments: Visual and non-visual effects of light sources with different spectral power distributions, *Building and Environment*, Volume 46, Issue 10, 2011, Pages 1984-1992, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.04.007>.
6. Ann R. Webb, Considerations for lighting in the built environment: Non-visual effects of light, *Energy and Buildings*, Volume 38, Issue 7, 2006, Pages 721-727, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.004>.
7. Hui Xiao, Huiling Cai, Xuefeng Li, Non-visual effects of indoor light environment on humans: A review, *Physiology & Behavior*, Volume 228, 2021, ISSN 0031-9384, <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.113195>.

8. Morioka H, Ozawa H, Kato T. Physiological Study of Visual and Non-Visual Effects of Light Exposure. *Applied Sciences*. 2023; 13(9):5785. <https://doi.org/10.3390/app13095785>
9. Zhang Y, Tu Y, Wang L, Zhang W. Assessment of visual fatigue under LED tunable white light with different blue components. *J Soc Inf Display*. 2020; 28: 24–35. <https://doi.org/10.1002/jsid.866>
10. Sánchez-Lacambra, Marcos; Orduna-Hospital, Elvira; Arcas-Carbonell, María; Sánchez-Cano, Ana. Effects of Light on Visual Function, Alertness, and Cognitive Performance: A Computerized Test Assessment. *Applied Sciences (2076-3417)*, 2024, Vol 14, Issue 15, p. 6424. ISSN 2076-3417. DOI 10.3390/app14156424
11. Zhang Y, Tu Y, Wang L, Shi Y. Effects of blue-enriched white light with same correlated colour temperature on visual fatigue. *Lighting Research & Technology*. 2024;56(4):381-402. doi:10.1177/14771535231181502
12. Dong, Li-Li, Liu, Peng, Lou, Qi, Xu, Wen-Hai, Study on the Influence of LED Spectrum on the Visual and Nonvisual Effects in the Interior Zone of Tunnels, *Journal of Advanced Transportation*, 2021, 5339959, 16 pages, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5339959>
13. Cajochen C, Freyburger M, Basishvili T, et al. Effect of daylight LED on visual comfort, melatonin, mood, waking performance and sleep. *Lighting Research & Technology*. 2019;51(7):1044-1062. doi:10.1177/1477153519828419
14. Fu X, Feng D, Jiang X, Wu T. The Effect of Correlated Color Temperature and Illumination Level of LED Lighting on Visual Comfort during Sustained Attention Activities. *Sustainability*. 2023; 15(4):3826. <https://doi.org/10.3390/su15043826>
15. P. Valíček, T. Novák, J. Vaňuš, K. Sokanský and R. Martinek, "Measurement of illuminance of interior lighting system automatically dimmed to the constant level depending on daylight," 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Florence, Italy, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/EEEIC.2016.7555604.
16. Nandha Kumar Kandasamy, Giridharan Karunagaran, Costas Spanos, King Jet Tseng, Boon-Hee Soong, Smart lighting system using ANN-IMC for personalized

lighting control and daylight harvesting, *Building and Environment*, Volume 139, 2018, Pages 170-180,

ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.005>.

17. Michael Papinutto, Roberto Boghetti, Moreno Colombo, Chantal Basurto, Kornelius Reutter, Denis Lalanne, Jérôme H. Kämpf, Julien Nembrini, Saving energy by maximising daylight and minimising the impact on occupants: An automatic lighting system approach, *Energy and Buildings*, Volume 268, 2022, 112176, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112176>.

18. Kaminska A, Ożadowicz A. Lighting Control Including Daylight and Energy Efficiency Improvements Analysis. *Energies*. 2018; 11(8):2166. <https://doi.org/10.3390/en11082166>

19. Натрошвілі С.Г., Натрошвілі Г.Р., Бабина Т.Г., Злотенко Б.М., Кулік Т.І. Комп'ютерно-інтегрована система керування природним і штучним освітленням розумного будинку. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія : Технічні науки*. 2020. № 5 (289). С. 65-71.

