

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ

КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОБОТОТЕХНІКИ І МЕХАТРОНИКИ

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Комп'ютеризована система керування аварійним освітленням
адміністративної будівлі»

«Computerised emergency lighting control system for an administrative building»

Виконав: студент 6 курсу, групи б3А
спеціальності 151 – «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»
освітньо-професійної програми –
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»
Фролов О.Ю.

Керівник: к.т.н., доцент Лебеденко Ю.О.

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Херсон – 2023 рік

Херсонський національний технічний університет

Факультет	Інженерії та транспорту
Кафедра	Автоматизації, робототехніки і мехатроніки
Освітньо-кваліфікаційний рівень	магістр
Спеціальність	151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"
Освітньо-професійна програма	«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри автоматизації,
робототехніки і мехатроніки

Дмитрієв Д.О.

«___» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Фролову Олександрю Юрійовичу

- Тема проекту: Комп'ютеризована система керування аварійним освітленням адміністративної будівлі
Computerised emergency lighting control system for an administrative building
керівник проекту: к.т.н., доцент Лебеде́нко Ю.О.
затверджена наказом вищого навчального закладу від 30.08.2023 р. № 405-с
- Строк подання студентом проекту «10» грудня 2023 р.
- Вихідні дані до проекту: Дослідити методи та засоби автоматизації процесу керування аварійним освітленням адміністративної будівлі
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки 1) Аналіз сучасних підходів до автоматизації процесів керування освітленням; 2) Розробка прототипу системи керування аварійним освітленням з використанням нечіткої логіки; 3) Моделювання системи керування освітленням із використанням контролера нечіткої логіки для технології світлодіодного аварійного освітлення
- Перелік графічного матеріалу 1) Підходи до організації освітлення виробничих приміщень; 2) Інтелектуальний інтерфейс DALI; 3) Замкнута система керування освітленням; 4) Етапи процесу керування освітленням; 5) Принципова схема системи керування освітленням; 6) Нечіткий регулятор для керування освітленням; 7) Результати моделювання

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Лебеденко Ю.О., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____ « 5 » жовтня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Літературний огляд	15.10.23	
2	Аналіз сучасних підходів до автоматизації процесів керування освітленням	25.10.23	
3	Розробка прототипу системи керування аварійним освітленням з використанням нечіткої логіки;	01.11.23	
4	Моделювання системи керування освітленням із використанням контролера нечіткої логіки для технології світлодіодного аварійного освітлення	15.11.23	
5	Обробка результатів	20.11.23	
6	Висновки по роботі	25.11.23	
7	Оформлення ПЗ і креслень	05.12.23	

Студент

Фролов О.Ю.

(підпис)

Керівник проекту

Лебеденко Ю.О.

(підпис)

<i>Номер рядка</i>	<i>Формат</i>	<i>Позначення</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кількість</i>	<i>Шифр документа</i>	<i>Примітка</i>
1	A4		Завдання на проектування	2		
2	A4	XHTУ151.КРМ.23.01.РФ	Реферат	3	РФ	
3	A4	XHTУ151.КРМ.23.01.ПЗ	Пояснювальна записка	101	ПЗ	
4	A1	Демонстраційне креслення	Підходи до організації освітлення	1		
			виробничих приміщень			
5	A1	Демонстраційне креслення	Інтелектуальний інтерфейс DALI	1		
6	A1	Демонстраційне креслення	Замкнута система керування	1		
			освітленням			
7	A1	Демонстраційне креслення	Етапи процесу керування освітленням	1		
8	A1	Демонстраційне креслення	Принципова схема системи керування	1		
			освітленням			
9	A1	Демонстраційне креслення	Нечіткий регулятор для керування	1		
			освітленням			
10	A1	Демонстраційне креслення	Результати моделювання	1		

					<i>XHTУ151.КРМ.23.01 ВП</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Фролов О.Ю.</i>				<i>Відомість од'єму роботи</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Лебедеженко Ю.О.</i>						1	1
<i>Реценз.</i>						<i>XHTУ, зр.б.зА</i>		
<i>Н. Кантр.</i>	<i>Сарафаннікова</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Дмитрієв Д.О.</i>							

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: 101 сторінка, 36 рисунків, 17 таблиць, 1 додаток. Графічна частина – 7 аркушів формату А1.

Кваліфікаційна робота магістра присвячена розробці та проектуванню комп'ютеризованої системи керування аварійним освітленням адміністративної будівлі.

Виконано аналіз сучасних підходів до автоматизації процесів управління освітленням, вдосконалення систем з урахуванням зовнішніх джерел і відбитого світла.

Розроблено прототип системи керування аварійним освітленням, що забезпечує оптимальні умов освітлення при мінімальних витратах енергії. Для створення прототипу використано сучасні апаратні та програмні засоби, а також обґрунтовано застосування методів нечіткої логіки для оптимального управління світлодіодним освітленням.

Особливий акцент зроблено на важливості впровадження подібних систем автоматичного керування для аварійного освітлення адміністративних будівель. Це дозволить забезпечити комфортні умови освітлення, підвищити швидкість прийняття рішень та виключити людський фактор у разі виникнення нештатних ситуацій.

АВАРІЙНЕ ОСВІТЛЕННЯ; НЕЧІТКА ЛОГІКА; СПЕКТР; СВІТЛОДІОДНЕ ОСВІТЛЕННЯ; АВТОМАТИЗАЦІЯ

					<i>ХНТУ151.КРМ.23.01 РФ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Реферат</i>	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Фролов О.Ю.</i>					1	3
<i>Перевір.</i>		<i>Лебедеженко Ю.О.</i>						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		<i>Сарафаннікова</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Дмитрієв Д.О.</i>						
						<i>ХНТУ, зр.б3А</i>		

THE ABSTRACT

Qualification master's work: 101 pages, 36 figures, 17 tables, 1 appendix. A graphic part – 7 sheets of a format A1.

The qualification thesis is devoted to the development and design of a computerized control system for emergency lighting of an administrative building.

An analysis of modern approaches to the automation of education management processes, improvement of the system taking into account external sources and the reflected world was performed.

A prototype of the emergency lighting control system has been developed, which provides optimal lighting conditions with minimal energy consumption. To create a prototype, modern hardware and software tools were used, and the use of fuzzy logic methods for optimal control of LED lighting was substantiated.

Special emphasis is placed on the importance of implementing such automatic control systems for emergency lighting of administrative buildings. This will allow providing comfortable lighting conditions, increase the speed of decision-making and eliminate the human factor in case of emergency situations.

EMERGENCY LIGHTING; FUZZY LOGIC;
SPECTRUM; LED LIGHTING;
AUTOMATION

					ХНТУ151.КРМ.23.01 РФ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		2

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧОК І СКРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ	9
1.1 Характеристика систем освітлення	9
1.2 Підходи до організації освітлення виробничих приміщень	12
1.3 Методи керування світловими приладами	14
1.4 Огляд протоколів керування світловими приладами	15
1.4.1 Розвиток комунікаційних протоколів для освітлення.....	15
1.4.2 Протокол DMX.....	16
1.4.3 Протокол двобічного обміну RDM	20
1.4.4 Протокол керування KNX.....	21
1.5 Інтелектуальний інтерфейс DALI.....	24
1.5.1 Огляд системи керування освітленням DALI	25
1.5.2 Принцип роботи DALI.....	27
1.5.3 Шина DALI	28
1.5.4 Пристрої керування.....	29
1.5.5 Виконавчі пристрої	31
1.5.6 Адресація DALI.....	32
1.5.7 Топологія мережі DALI	32
1.5.8 Переваги використання DALI Lighting Control System.....	34
1.5.9 Області застосування системи керування освітленням DALI.....	35
1.6 Висновок по розділу 1	37
2 РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АВАРІЙНИМ ОСВІТЛЕННЯМ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ.....	38
2.1 Загальні відомості про нечітку логіку.....	38

2.2 Застосування систем керування з нечіткою логікою для керування освітленням	41
2.3 Структура системи керування освітленням	44
2.4 Матеріали для прототипу	47
2.5 Механізм керування та компенсації нечіткої логіки	59
2.6 Світлодіодне освітлення	62
2.7 Циркадне керування для бажаного (цільового) ССТ	65
2.8 Висновок по розділу	67
3 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КОНТРОЛЕРА НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ СВІТЛОДІОДНОГО АВАРІЙНОГО ОСВІТЛЕННЯ	69
3.1 Процедура моделювання	69
3.2 Дослідження обладнання	71
3.3 Результати моделювання	79
3.4 Висновок по розділу	82
ВИСНОВКИ	83
ДОДАТОК А ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ	90

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧОК І СКОРОЧЕНЬ

CCT – Correlated Colour Temperature (корельована колірна температура);

CIE – International Commission on Illumination (Міжнародна комісія з освітлення);

FLC – fuzzy logic controller (нечіткий регулятор);

FOV – field of view (поле зору);

LED – Light-Emitting Diode (світлодіод);

NIF – Non-Image-Forming (без формування зображення);

RGB – Red, Green, Blue (червоний, зелений, синій);

SPD – Spectral Power Distribution (спектральна щільність);

НР – нечіткий регулятор;

ПД – пропорційно-інтегрально-диференційний.

					ХНТУ151.КРМ.23.01 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		5

ВСТУП

Штучне освітлення на промислових підприємствах суттєво впливає на зорову активність працівників, а також на їхній фізичний і нервово-психічний стан. Це впливає на продуктивність праці, якість продукції та рівень виробничого травматизму. Залежність зорової функції від умов освітлення була науково вивчена, і ці дані використовуються для розробки стандартів та рекомендацій щодо вибору технічних характеристик промислових освітлювальних систем [1].

Збільшення освітленості в промислових приміщеннях та на відкритому повітрі позитивно впливає на зорові функції, такі як гострота, стабільність зору, швидкість розрізнення і контрастна чутливість. Важливо враховувати співвідношення між яскравістю робочої зони і навколишнього фону, оскільки це може впливати на продуктивність роботи.

Заходи для покращення освітлення також повинні уникати засліплення і відбиття світла, що може виникати від яскравих джерел світла або від робочих поверхонь. Погіршення зору може ставити під загрозу безпеку та продуктивність роботи [2].

Надзвичайно важливо забезпечити аварійне освітлення на виробництві. У випадку відключення електроенергії або інших надзвичайних ситуацій, аварійне освітлення забезпечує видимість і безпеку для евакуації персоналу [3]. Ефективність управління аварійним освітленням є актуальним завданням, спрямованим на забезпечення комфорту та оперативної реакції персоналу в умовах надзвичайних ситуацій.

Метою дослідження кваліфікаційної роботи є розробка та проєктування комп'ютеризованої системи керування аварійним освітленням адміністративної будівлі, що забезпечувала б комфортні умови для дій

персоналу у разі виникнення нештатних ситуацій, з урахуванням впливу зовнішніх джерел та відбитого світла.

Завдання дипломної роботи, що потребують вирішення для досягнення поставленої мети:

- Виконати аналіз сучасних підходів до автоматизації процесів керування освітленням, визначити шляхи удосконалення з метою забезпечення оптимальних умов освітлення при мінімальних витратах енергії;
- Розробити прототип системи керування аварійним освітленням, з використанням сучасних апаратних засобів, розглянути можливість та обґрунтувати доцільність застосування методів нечіткої логіки для реалізації оптимального керування;
- Виконати моделювання системи керування освітленням із використанням контролера нечіткої логіки для технології світлодіодного аварійного освітлення, провести експериментальні дослідження, визначити ступінь впливу параметрів системи керування на якість процесу.

Об'єктом дослідження є автоматизовані процеси керування аварійним освітленням адміністративної будівлі.

Предмет дослідження: методи та засоби автоматизації систем аварійного освітлення адміністративної будівлі.

Методологія дослідження включала в себе ряд етапів, необхідних для вирішення завдань даної роботи. Для досягнення поставлених цілей були використані різні методи дослідження:

- Індукція і дедукція застосовувалися для логічного виводу загальних принципів та законів з конкретних фактів і навпаки.
- Ідеалізація використовувалася для виокремлення основних або ключових аспектів об'єкта дослідження, що спрощує аналіз.
- Формалізація для вираження концепцій та відносин у формі

формальних математичних моделей або логічних структур.

– Емпіричні методи пізнання: збирання фактів, первинний опис, узагальнення та систематизація.

Використання цих методів дозволило систематизувати теоретичні та емпіричні аспекти дослідження, а також надати науковий обґрунтований висновок

Інформаційна база дослідження: під час написання магістерської роботи було використано наукові публікації щодо методів і засобів побудови та впровадження систем автоматичного керування освітленням, технічну документацію з промислового обладнання, а також матеріали з глобальної мережі Інтернет.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в отриманні подальшого розвитку методів проектування нечітких регуляторів для систем освітлення, з метою забезпечення оптимальних комфортних умов праці.

Практичне значення одержаних результатів: Пропонована система автоматизації забезпечує автоматичне керування яскравістю та спектральним складом штучного світлодіодного освітлення. Впровадження подібних систем автоматичного керування для аварійного освітлення адміністративних будівель дає змогу забезпечити комфортні умови освітлення, підвищити швидкість прийняття рішень та виключити людський фактор у разі виникнення нештатних ситуацій.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ

1.1 Характеристика систем освітлення

У виробничих приміщеннях використовуються дві системи освітлення: загальне та комбіноване.

Загальне освітлення створюється за допомогою світильників, розташованих у верхній частині приміщення. Вони рівномірно розподілені по всій площі, щоб забезпечити рівномірне освітлення.

Локалізоване освітлення створюється за допомогою світильників, розташованих у певних зонах приміщення. Воно забезпечує підвищену освітленість у цих зонах, де потрібна для виконання точних робіт.

Комбіноване освітлення поєднує в собі загальне та локальне освітлення. Воно використовується в приміщеннях, де потрібна висока освітленість у деяких зонах, а також рівномірне освітлення в інших зонах.

Робоче освітлення створюється для забезпечення комфортних умов роботи. Воно має відповідати нормам освітленості для конкретного виду робіт.

Аварійне освітлення призначене для забезпечення освітленості в разі вимкнення робочого освітлення. Воно може бути двох видів:

- Аварійне освітлення для продовження роботи забезпечує знижену освітленість, достатню для продовження роботи в певних приміщеннях.
- Аварійне освітлення для евакуації забезпечує достатню освітленість для безпечної евакуації людей з приміщення.

Аварійне освітлення має бути встановлено у приміщеннях, де його відсутність може призвести до серйозних наслідків для людей та обладнання.

У разі аварійного відключення робочого освітлення в виробничих приміщеннях необхідно забезпечити мінімальну освітленість, необхідну для безпеки людей та обладнання.

Нормативна освітленість робочих поверхонь при аварійному освітленні становить не менше 5% від освітленості, що нормується для робочого освітлення при системі загального освітлення, і не повинна бути менше 2 лк.

Ця освітленість забезпечує достатню видимість для виконання простих зорових робіт, таких як пересування людей, розпізнавання предметів та евакуація.

Для забезпечення аварійного освітлення використовуються лампи розжарювання та люмінесцентні лампи.

Люмінесцентні лампи повинні використовуватися при температурі повітря в приміщенні не нижче $+10^{\circ}\text{C}$, а живлення ламп має здійснюватися змінним струмом з напругою не нижче 90% номінального значення.

У невеликих одноповерхових виробничих будівлях (площа приміщень не більше 250 м^2) та відсутності вибухонебезпечних зон можна використовувати переносні акумуляторні ліхтарі.

Аварійне освітлення може бути включено одночасно і працювати разом з робочим освітленням, або світильники аварійного освітлення не горять при нормальному режимі роботи робочого освітлення і включаються автоматично при відключенні робочого освітлення.

Вибір конкретного режиму залежить від потреб конкретного об'єкта і може вимагати додаткових заходів.

Рекомендації для проектування освітлювальних установок виробничих підприємств включають у себе виділення частини світильників, призначених для створення необхідної освітленості згідно з нормами.

У приміщеннях, які освітлюються люмінесцентними лампами потужністю більше 80 Вт і лампами розжарювання потужністю більше 150 Вт (за винятком цілодобової роботи), може варто додатково забезпечити світильниками з лампами меншої потужності, щоб уникнути зайвого споживання електроенергії в неробочий час, коли аварійне освітлення використовується як чергове.

У приміщеннях, де використовуються лампи ДРЛ, ДРІ, ДНаТ, для аварійного освітлення може бути необхідно встановити додаткові світильники з лампами розжарювання, які не враховуються при розрахунку нормованої освітленості від робочого освітлення.

Загалом, при розгляді вибору джерел світла та організації аварійного освітлення слід керуватися вимогами безпеки та ефективності його функціонування в аварійних ситуаціях.

Аварійне відключення робочого освітлення на виробничих підприємствах може призвести до великих втрат виробництва. Для їх уникнення необхідно забезпечити достатню освітленість у разі аварії.

Ось кілька заходів, які можна вжити для підвищення освітленості під час аварійних відключень:

1. Поділ світильників на дві частини: робочу та аварійну. Простий спосіб збільшення освітленості від аварійного освітлення – поділ світильників. При цьому частина світильників постійно горить, а частина включається автоматично в разі аварії. Це може бути особливо ефективним, якщо використовуються люмінесцентні лампи або лампи розжарення.

2. Виділення окремої мережі для евакуаційного освітлення. Для невеликих груп світильників, які використовуються для евакуаційного освітлення, можна виділити окрему мережу. Це забезпечить їхню

незалежність у випадку відключення основного живлення.

3. Додаткове обладнання для приміщень із дуговими газорозрядними лампами. У приміщеннях, де використовуються дугові газорозрядні лампи, які не можна використовувати в аварійному освітленні, можна встановити світильники з лампами розжарювання для створення необхідної освітленості.

4. Організація чергового освітлення. Для приміщень, які працюють нецілодобово, можна встановити систему чергового освітлення. Це дозволить економити електроенергію у неробочий час, коли аварійне освітлення використовується як чергове.

5. Використання акумуляторних ліхтарів як резервного варіанту. Для невеликих одноповерхових будівель та випадків, коли складно встановити стаціонарне освітлення, можна використовувати переносні акумуляторні ліхтарі як резервний варіант.

Ці заходи можуть ефективно підвищити освітленість під час аварійних відключень і допомогти уникнути великих втрат виробництва.

Крім того, важливо періодично перевіряти та тестувати системи аварійного освітлення для їхньої надійності та ефективності в аварійних ситуаціях. Це допоможе впевнитися, що система буде працювати належним чином у разі потреби.

Впровадження цих заходів допоможе виробничим підприємствам зменшити ризик втрат виробництва внаслідок аварійних відключень робочого освітлення.

1.2 Підходи до організації освітлення виробничих приміщень

Освітлення має важливе значення для виробничих приміщень, а також для житлових і робочих приміщень в цілому. Воно створює правильний настрій і сприяє добробуту мешканців.

Освітлення впливає на ефективність роботи та завдань, а також на режим сну та неспання людей. Циркадне освітлення – це концепція, яка охоплює впровадження денного освітлення в будівлі та впливає на циркадні ритми людей.

Комфорт мешканців – це важливий фактор, який проектувальники повинні враховувати. Крім теплового комфорту, важливо також враховувати освітлення та якість освітлення, якість повітря в приміщенні, акустику та інші фактори.

Одним із ключових параметрів освітлення є корельована колірна температура (CCT). Вона впливає на самопочуття мешканців. CCT змінюється в залежності від часу доби.

Люди сприймають освітлення через клітини сітківки в очах. Ці клітини можуть бути чутливі до світла різних довжин хвиль. Очі також мають спеціальні клітини, які відповідають за циркадні ритми.

На рисунку 1.1 зображено відносні гормональні маркери в організмі людини протягом 24-годинного циклу.

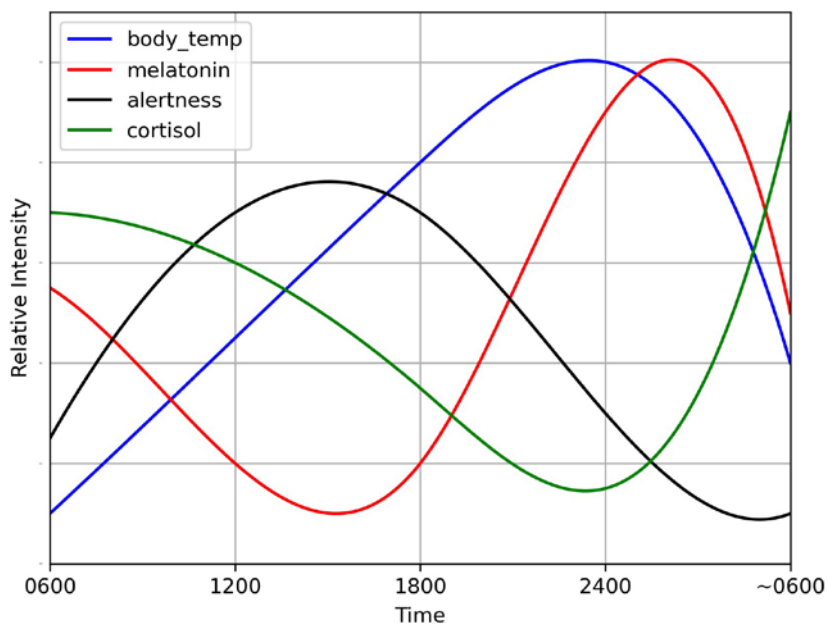


Рисунок 1.1 – Відносні маркери циркадного ритму людини

Ефекти освітлення, що не утворюють зображення (NIF), є основним каталізатором, який впливає на вироблення гормонів мелатоніну та кортизолу в організмі людини. Мелатонін викликає сон, а кортизол допомагає людині бути активною.

1.3 Методи керування світловими приладами

Освітлення можна керувати різними способами, залежно від потреб. Найпростіші способи включають в себе включення/виключення та регулювання світлового потоку.

– Включення/виключення - це найпоширеніший спосіб керування освітленням. Він використовується для включення та виключення світильників у певний час або за певними умовами.

– Регулювання світлового потоку дозволяє плавно змінювати яскравість світильників. Це корисно для створення комфортних умов освітлення в різних ситуаціях.

Більш складні способи керування освітленням дозволяють отримувати різні кольори, регулювати колірну температуру та створювати складні світлові ефекти. Це можливо за допомогою повнокольорових білих світлодіодних світильників, які можуть генерувати будь-який колір видимого світлового спектра.

Динамічне освітлення - це освітлення, яке змінюється в часі. Воно може використовуватися для створення різних ефектів, таких як зміна кольору, яскравості або колірної температури. Динамічні світлодіодні світильники зазвичай управляються за допомогою сигналів, що поступають із контролерів.

1.4 Огляд протоколів керування світловими приладами

Керовальні протоколи - це стандартні правила для передачі сигналів і інформації між обладнанням. Існує багато різних протоколів керування, що пропонують користувачам широкий спектр можливостей.

Деякі з найпоширеніших протоколів керування освітленням включають:

1. DALI (Digital Addressable Lighting Interface) - це протокол, який дозволяє керувати освітленням за допомогою цифрових сигналів. Він використовується для керування як окремими світильниками, так і групами світильників.

2. KNX - це протокол, який дозволяє керувати освітленням, а також іншими системами, такими як опалення, вентиляція та кондиціонування повітря. Він використовується в будівлях, де потрібна інтегрована система управління.

3. ZigBee - це протокол, який використовує бездротову передачу даних. Він використовується для керування освітленням у невеликих приміщеннях або системах.

1.4.1 Розвиток комунікаційних протоколів для освітлення

Комунікаційні протоколи для освітлення розвиваються разом із розвитком світлотехнічної промисловості. Нові протоколи пропонують нові можливості, такі як:

- Більше можливостей для керування - нові протоколи дозволяють керувати освітленням більш точно і тонко.

- Більше зручності - нові протоколи роблять керування освітленням простішим і зручнішим для користувачів.

					ХНТУ151.КРМ.23.01 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		15

– Більша надійність - нові протоколи більш надійні і менш сприйнятливі до перешкод.

Розвиток комунікаційних протоколів для освітлення сприяє впровадженню нових технологій освітлення, таких як динамічне освітлення та інтелектуальне освітлення.

1.4.2 Протокол DMX

Найбільш популярним форматом керування світильниками зі зміною кольору є DMX-512A, або скорочено просто DMX.

У 1986 році Комісія USITT (US Institute for Theatre Tehnology – Інститут театральних технологій США) розробила протокол DMX-512 – відкритий стандарт цифрової передачі даних між пультом керування світлом і дімерами для керування театральним і сценічним освітленням.

DMX-512 (англ. digital multiplex – цифровий помножувач) розроблений з метою стандартизації керування димерами з освітлювального пульта. Цей стандарт був розроблений для цифрових мереж передачі даних, використовуваних для керування світлодіодними джерелами світла і іншими пристроями. Він є ущільненим цифровим протоколом, здатним працювати з 512 пристроями. Сьогодні функції цього протоколу значно ширші, ніж передбачалося спочатку. З освітлювального пульта управляються цифрові світлові прилади, колорченджери, ліри, стробоскопи, димові машини, лазери, фонтани, сценічна техніка. Обмін можливий тільки в одному напрямі і не передбачає перевірки і виправлення помилок.

DMX – стандарт, що описує метод цифрової передачі даних між контролерами і світловим, а також додатковим устаткуванням. Він описує електричні характеристики, формат даних, протокол обміну даними і спосіб підключення. Цей стандарт призначений для організації взаємодії

на комунікаційному і механічному рівнях між контролерами і крайовими пристроями, зробленими різними виробниками.

За стандартом DMX-512 кожен передавач сигналу може управляти приладами – дімерами, сканерами, скролерами і так далі – кількістю до 32. Усі ці прилади з'єднуються послідовно. Для використання більш ніж 32 приладів потрібний розгалужувач DMX (splitter), що має один вхід і декілька виходів, до кожного з яких може бути підключені до 32 приладів.

Типова структура мережі DMX показана на рисунку 1.2.

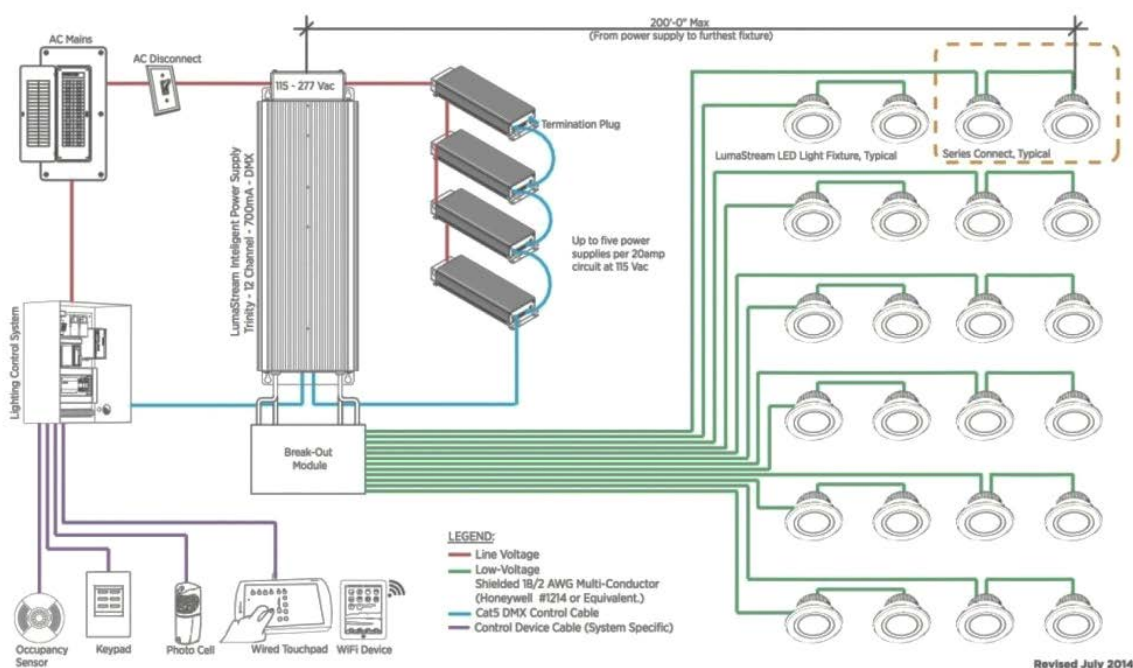


Рисунок 1.2 – Система освітлення з інтерфейсом DMX

Широке поширення протоколу DMX-512A пояснюється декількома причинами:

- у його основі лежить інтерфейс EIA485 (RS485);
- простота виконання;
- висока надійність;

–можливість керування декількома мережами світильників по трьох дротах;

–невисока вартість елементної бази;

–інтерфейс керування ізольований від світильника, тобто захищений.

Контролер підключається до лінії сполучених послідовно світильників. Стандарт EIA485 призначений тільки для систем з послідовно включеними світильниками. У кожному сегменті може бути до 32 пристроїв, загальна довжина сполучного дроту – 1 км.

Деякі виробники драйверів світлодіодів заявляють, що до одного порту DMX може бути підключене будь-яка кількість драйверів. У офіційному стандарті це не підтверджується.

Більшість світлодіодних світильників мають три канали, по одному для кожного кольору, використовуваного в приладі, – зазвичай червоного, зеленого і синього. Відповідно, кожен світильник отримує від контролера три окремі канали даних DMX, один з яких використовується для червоних світлодіодів, другий для зелених, а третій для синіх. Перший світильник установки може бути запрограмований на отримання даних DMX по адресах 1, 2, і 3; другий - на отримання даних DMX по адресах 4, 5, і 6; і т. д.

Одна система DMX може включати максимум 170 трьохканальних світлових приладів ($512 \text{ ділене на } 3 = 170$ плюс два невживані канали), що однозначно адресуються. Система освітлення може включати одну або декілька систем DMX.

DMX контролери випускаються в різних конфігураціях, від дуже простого трикнопкового пристрою до повністю комп'ютеризованої системи, принцип роботи у них однаковий: DMX контролери використовуються для створення складних колірних ефектів на ПК за допомогою програмного забезпечення, що додається. Як правило, усі вони мають USB – порт для підключення до ПК, власне мережеве джерело

живлення 220В (виносний або вбудований), програмне забезпечення, спеціальні роз'єми (RJ-45, RJ-11 або XLR-3).

Сигнал DMX виникає в контролері і доставляється по кабелю до першого світлового приладу, а потім до наступного, до наступного, відповідно до послідовності підключення пристроїв. На рисунку 1.3 схематичне зображення показує правильний спосіб і порядок підключення декількох світильників до одного контролера.

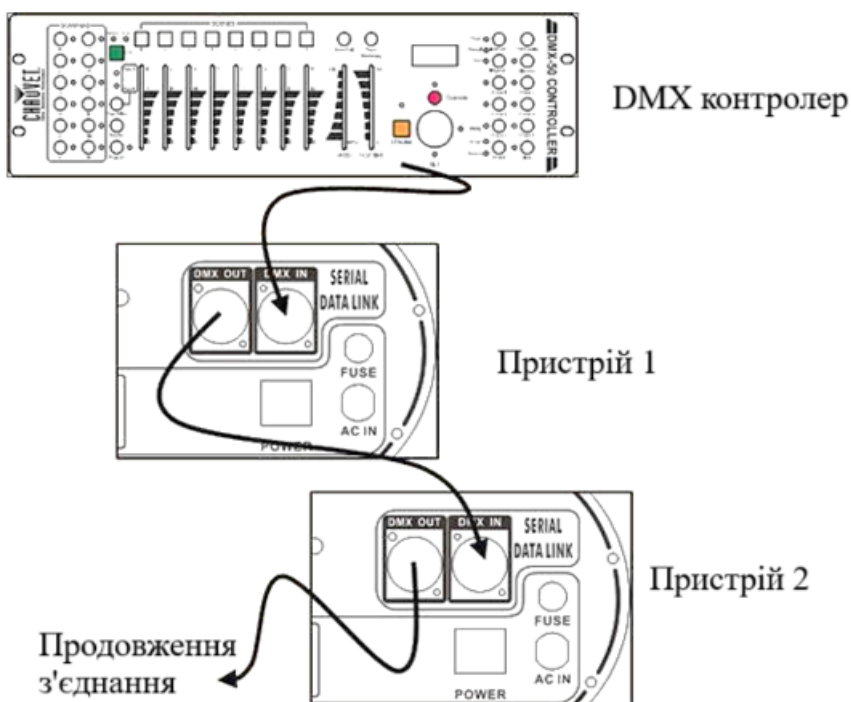


Рисунок 1.3 – Спосіб і порядок підключення декількох світильників до одного контролера

Дріт DMX проходить від контролера до «DMX входу» на першому пристрої. З «DMX виходу» першого приладу, дрiт підключений до «DMX входу» наступного в лінії пристрою, і так далі, поки усі прилади не будуть сполучені кабелем, підключеним до DMX контролера. Останній пристрій в лінії повинні мати DMX термінатор, встановлений для підтримки якості сигналу DMX.

Термінатор (від лат. terminare – обмежувати) – в електроніці, поглинач енергії (зазвичай резистор) на кінці довгої лінії, опір якого дорівнює хвилевому опору лінії, встановлюваний для відвертання відображення сигналу.

Основний недолік протоколу DMX – одностороння передача від контролера до джерела світла. Відповідно, неможливо проводити моніторинг стану світильників і відстежування збоїв.

DMX використовується у більшості театральних пультів керування освітленням, але ці пульти зазвичай занадто громіздкі, складні, спеціалізовані і дорогі для загальних областей застосувань. Тому деякі виробники динамічних світлодіодних світильників розробляють і випускають свої власні DMX- контролери. Вони є компактнішими, ніж театральні пульти керування освітленням, і частенько мають спеціальні функції, такими як запрограмовані послідовності для світлових шоу і вбудовані світлові ефекти, розроблені для того, щоб спростити і автоматизувати керування світлом звичайними користувачами.

1.4.3 Протокол двобічного обміну RDM

RDM - це протокол, який розширює можливості протоколу DMX512. Він дозволяє отримувати дані від джерел світла по стандартних лініях DMX, а також конфігурувати, моніторити статус і керувати цими пристроями.

Основні переваги RDM:

1. Підтримка існуючої інфраструктури. RDM сумісний з DMX, тому його можна використовувати з існуючими системами освітлення.
2. Більше можливостей. RDM дозволяє отримувати дані про стан пристроїв, а також керувати ними набагато більше, ніж DMX.

Особливості RDM:

1. Базові адреси світильників. RDM дозволяє встановлювати базові адреси світильників, що прискорює установку освітлювальних приладів і позбавляє від необхідності привласнювати DMX-адреси вручну.
2. Оновлення програмного забезпечення. RDM дозволяє оновлювати програмне забезпечення світильників через інтерфейс RS485.
3. Здійснення DMX-систем з підтримкою Ethernet. RDM можна використовувати для створення DMX-систем з підтримкою Ethernet, таких як протокол ACN.
4. Керування окремими пристроями або групою. RDM дозволяє керувати окремими пристроями або групою пристроїв.
5. Передача статусних повідомлень. RDM дозволяє пристроям передавати статусні повідомлення, такі як повідомлення про збій.
6. Автоматичне розпізнавання освітлювальних приладів. RDM дозволяє контролерам автоматично розпізнавати освітлювальні прилади.
7. Створення груп світильників. RDM спрощує створення груп світильників.
8. Автоматичне затемнення світильників. RDM дозволяє автоматично атемнювати світильники відповідно до вибраної сцени.

У цілому, RDM є потужним інструментом, який може значно поліпшити можливості систем освітлення.

1.4.4 Протокол керування KNX

KNX – протокол керування будівлею, що ґрунтується на трьох стандартах: EHS – European home systems, BatiBUS і EIB (Instabus) – European installation bus.

Стандарт EIB популярний, передусім, за рахунок своєї простоти і надійності. На відміну від традиційної системи керування інженерним устаткуванням, де для кожного функціонального елемента потрібна власна лінія керування, а для кожної інженерної системи – окрема мережа, в

						ХНТУ151.КРМ.23.01 ПЗ	Лист
							21
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата			

системі ЕІВ силова електропроводка прокладається тільки між виконавчими пристроями (реле, регуляторами і т. д.) і власне споживачами, а усі системні елементи (датчики, контролери) вимагають об'єднання тільки сигнальним кабелем (шиною керування). Завдяки цьому силова частина виконується без обхідних шляхів. Це зменшує витрату силового кабелю, кількість з'єднань, втрати і, як наслідок, знижує вірогідність виникнення пожежі і підвищує надійність силового ланцюга, спрощує електромонтажні роботи. Електропроводка надалі може бути легко розширена і модифікована.

Мережа ЕІВ – це децентралізована система, що не вимагає центрального керування у вигляді персонального або спеціалізованого комп'ютера. При зміні функціонального призначення устаткування або переплануванні приміщень забезпечується швидка адаптація системи ЕІВ шляхом простого перепрограмування шинних приладів без прокладення нових ліній, а додатковий прилад або датчик може бути встановлений у будь-якому місці, де є можливість підключення до кабелю керування. Порушення роботи одного або декількох пристроїв не призводить до порушення роботи усієї системи. Цим забезпечується висока надійність і зручність експлуатації, оскільки заміна приладів робиться без відключення живлення.

Система ЕІВ дозволяє здійснювати функції охорони об'єкту і активний режим економії електричної і теплової енергії, що робить її такою, що самоокуповується. Усі ці важливі переваги наочно ілюструють простоту і доступність проектування і керування системою.

Передача даних може робитися по декількох середовищах:

- вита пара (9600 біт/с);
- електромережа (1200 біт/с);
- радіоканал (16,384 кбіт/с, 868 МГц, 25 мВт);
- лінії Ethernet.

Протокол KNX не прив'язаний до якої-небудь апаратної платформи.

Визначено три категорії пристроїв:

–тип А – з автоматичним налаштуванням. Це устаткування кінцевого користувача;

–тип Е – з легким налаштуванням. Ці пристрої мають ряд параметрів, які треба задати вручну відповідно до вимог користувача;

–тип S – системні пристрої. Використовуються при створенні замовлених систем керування будівлею. У них немає передвстановлених ліній поведінки. Програмування і установка здійснюються фахівцем.

Оскільки світлодіодні світлові прилади за своєю природою є цифровими пристроями, керування роботою систем освітлення може виконуватися за допомогою мережі Ethernet. Системи на базі Ethernet не мають таких обмежень по адресації, як системи на базі DMX, тому вони є переважними для більших установок. керування по мережі Ethernet потрібно для великомасштабних відеоустановок, в яких повинні забезпечуватися адресація і керування роботою великої кількості світлодіодів, число яких може вимірюватися тисячами.

DMX512 і Ethernet – це два найбільш поширених комунікаційних протоколу, використовуваних для керування роботою світлодіодних систем освітлення, але також використовуються і інші варіанти:

–У Європі замість DMX широко використовується протокол зв'язку DALI.

–Деякі компанії розробили свої власні, захищені патентами, протоколи зв'язку на базі Ethernet, наприклад KiNET для систем освітлення Philips Color Kinetics.

–ACN і Streaming ACN – це стандартні методи передачі даних, розроблені Entertainment Services & Technology Association (ESTA) для передачі даних DMX через мережу Ethernet. Streaming ACN – це нарощуваний метод передачі даних для великої кількості систем DMX.

						<i>ХНТУ151.КРМ.23.01 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			23

І це лише деякі з можливих варіантів. Як це часто трапляється, при збільшенні кількості варіантів виникає проблема, пов'язана з сумісністю. Іноді можна використати перетворювачі для підключення світильника, розрахованого на один комунікаційний протокол, до контролера, працюючого з іншим протоколом. Склад системи може швидко ускладнитися, тому краще всього використати компоненти, розроблені для спільного використання.

Як вказувалося вище, для керування світильниками зі змінюваним кольором освітлення або з можливістю налаштування білого світу може використовуватися DMX або інший комунікаційний протокол, призначений для керування. Будь-який з цих інтерфейсів, що управляють, може використовуватися для регулювання світлового потоку світильників, зменшуючи його однаково в усіх каналах.

На практиці регулювання світлового потоку зазвичай є стандартною функцією контролерів, клавіатур і інших пристроїв, спеціально розроблених для конкретних моделей світлодіодних світильників.

1.5 Інтелектуальний інтерфейс DALI

Нові вимоги щодо енергозбереження вимагають ефективних систем керування освітленням. У відповідь на ці вимоги в 1999 році провідні європейські виробники освітлювального обладнання створили новий цифровий відкритий протокол керування освітленням DALI.

DALI є модернізацією системи керування освітленням DSI і має ряд переваг, включаючи:

1. Адресованість: кожний пристрій у системі DALI має унікальну адресу, що дозволяє керувати ним індивідуально.
2. Широкий діапазон функцій: DALI підтримує широкий спектр

					ХНТУ151.КРМ.23.01 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		24

функцій, включаючи регулювання яскравості, відтінку, кольору та інші.

3. Стандартизація: DALI є відкритим стандартом, що дозволяє використовувати його з обладнанням різних виробників.

DALI може використовуватися в різних сферах, включаючи:

1. Театри та концертні зали: DALI дозволяє створювати складні світлові ефекти.

2. Виробничі приміщення: DALI може використовуватися для оптимізації освітлення та підвищення безпеки праці.

3. Вуличне освітлення: DALI може використовуватися для зниження споживання енергії та підвищення ефективності освітлення.

4. Розумні будинки: DALI може використовуватися для створення комфортного і безпечного освітлення в розумному будинку.

DALI є потужним інструментом, який може допомогти економити енергію та покращити якість освітлення в різних сферах.

1.5.1 Огляд системи керування освітленням DALI

Система керування освітленням DALI (Digital Addressable Lighting Interface) — це тип системи керування освітленням, яка використовує цифровий сигнал для керування інтенсивністю та кольором освітлювальних приладів. Система керування освітленням DALI дозволяє здійснювати низку налаштувань, таких як затемнення світильників, керування окремими світлодіодами або групами світлодіодів, зміна кольорів світлодіодів RGBW та налаштування яскравості та тепла світлодіодів, серед інших функцій, які можна використовувати для рішень внутрішнього та зовнішнього освітлення. Системи DALI зазвичай використовуються в комерційних і промислових умовах для підвищення енергоефективності та зниження витрат на обслуговування.

Система керування освітленням DALI — це цифровий протокол, який точно керує світлодіодними освітлювальними приладами. Ця система

використовує мережу двостороннього зв'язку для передачі цифрових сигналів між користувачем, світлодіодними драйверами та баластом.

Основні особливості та переваги системи керування освітленням DALI включають можливість окремо керувати кожним світлодіодним світильником, регулювати інтенсивність і колір освітлення, а також контролювати та діагностувати систему освітлення. Крім того, система DALI є дуже гнучкою і може бути легко переконфігурована відповідно до змін у схемі освітлення. Протокол DALI також дозволяє створювати та викликати до 16 сцен освітлення, що полегшує налаштування рівня освітлення для різних подій або часу доби.

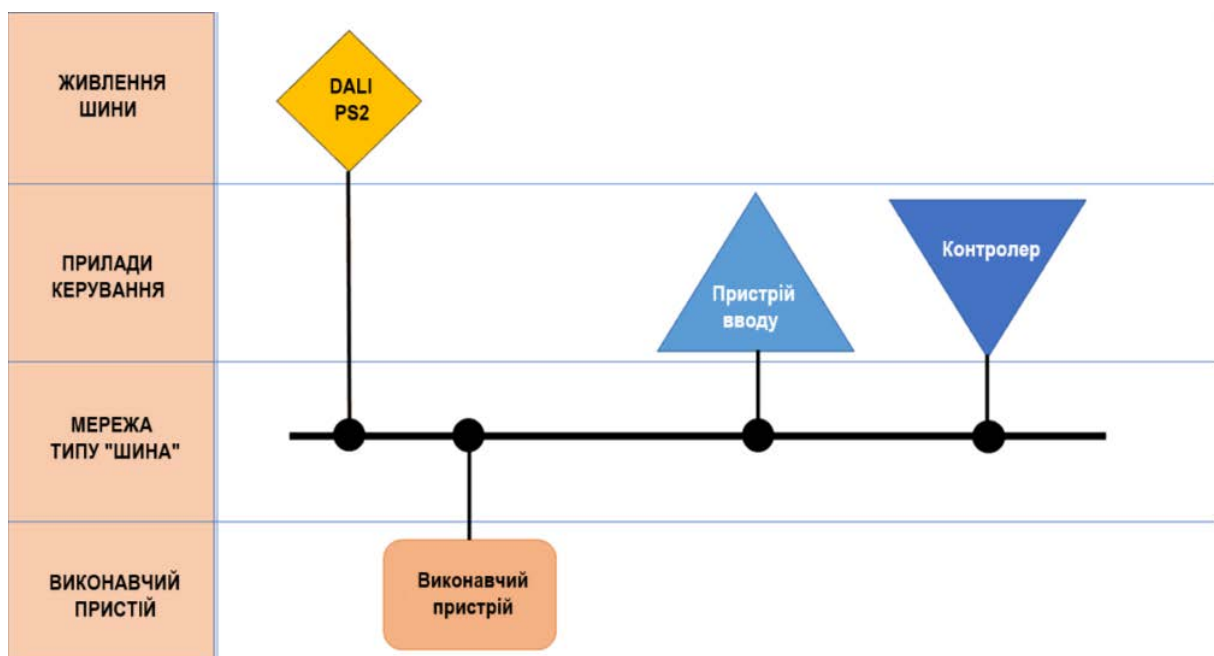


Рисунок 1.4 – Архітектура системи керування освітленням DALI

Цифровий адресований інтерфейс освітлення (DALI) - це відкритий протокол, який використовується для керування освітлювальними приладами. Він був вперше розроблений у 1990-х роках і є сумісним з різноманітним освітлювальним обладнанням, виробленим різними компаніями.

Таблиця 1.1 – Версії інтерфейсу DALI

Характеристика	DALI-1	DALI-2
Кількість керованих освітлювальних приладів	До 64	До 256
Розширені функції	Немає	Керування кольором, діагностика пристроїв
Зворотна сумісність	Ні	Так
Взаємодія з іншими системами	Немає	Покращена
Готовність до майбутнього	Немає	Так

Для забезпечення сумісності компоненти, які використовуються в системі керування освітленням DALI, повинні мати логотип DALI. Це означає, що вони пройшли випробування та відповідають міжнародному стандарту IEC 62386.

1.5.2 Принцип роботи DALI

Принцип роботи DALI передбачає використання цифрових сигналів для зв'язку між користувачем і світлодіодними драйверами та баластом. Ці цифрові сигнали можна використовувати для керування інтенсивністю та кольором світлодіодних освітлювальних приладів, а також для діагностики та усунення будь-яких проблем із системою освітлення. Крім того, мережа двостороннього зв'язку DALI дозволяє точно керувати окремими

освітлювальними приладами та за потреби регулювати схему освітлення. Загалом, принцип роботи DALI зосереджений навколо його цифрового протоколу, який забезпечує гнучкий і точний контроль світлодіодних освітлювальних рішень.

1.5.3 Шина DALI

Шина DALI - це комунікаційна мережа, яка використовується в системах керування освітленням. Двопровідна цифрова шина забезпечує зв'язок між контролером DALI та пристроями DALI, такими як світлодіодні драйвери та балласти.

Шина DALI дозволяє індивідуально керувати кожим освітлювальним приладом у системі, що особливо корисно в комерційних і промислових застосуваннях, де важливі енергоефективність і точне керування освітленням. Наприклад, шину DALI можна налаштувати для керування сценами освітлення, затемненням, колірною температурою тощо залежно від можливостей пристроїв, підключених до шини.

Однією з ключових переваг шини DALI є її гнучкість. Двопровідну шину можна поширити на великі відстані, а шину можна розгалужити для підключення кількох пристроїв DALI. Це означає, що шина DALI може керувати одним освітлювальним приладом або цілою системою освітлення, залежно від потреб програми.

Шина DALI також забезпечує розширені функції, такі як діагностика та моніторинг пристрою. Наприклад, автобус може виявити несправності та проблеми в системі освітлення та повідомити про них диспетчеру або обслуговуючому персоналу. Це допомагає зменшити витрати на технічне обслуговування та збільшити термін служби системи освітлення.

1.5.4 Пристрої керування

У системі керування освітленням DALI для керування системою освітлення можна використовувати кілька пристроїв керування. Ці пристрої дозволяють користувачеві керувати окремими освітлювальними приладами, групами світильників і сценами освітлення (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Структурна схема системи керування освітленням DALI

Ось деякі з пристроїв керування, які зазвичай використовуються в системі керування освітленням DALI:

1. Контролери DALI: контролери DALI керують системою керування освітленням DALI. Вони дозволяють користувачеві керувати системою освітлення, створювати та змінювати сцени освітлення та регулювати рівні освітлення.

2. Датчики DALI: датчики DALI виявляють рух, рівень освітленості або присутність і надсилають сигнали контролеру DALI для відповідного регулювання рівнів освітлення. Вони допомагають зменшити споживання енергії шляхом автоматичного затемнення або вимикання світла, коли це непотрібно.

3. Перемикачі DALI: перемикачі DALI - це пристрої, які вручну керують системою освітлення. Вони дозволяють користувачеві вмикати або вимикати світло, затемнювати його або вибрати сцену освітлення.

4. Сенсорні панелі DALI: сенсорні панелі DALI забезпечують графічний інтерфейс для керування системою освітлення. Вони дозволяють користувачеві вибрати сцени освітлення, регулювати рівні освітлення та

контролювати систему освітлення.

5. Шлюзи DALI: шлюзи DALI дозволяють системі керування освітленням DALI спілкуватися з іншими системами автоматизації будівлі, наприклад системами HVAC або системами безпеки. Вони дозволяють інтегрувати систему освітлення в більш розширену систему автоматизації будівлі.

Існує дві основні категорії пристроїв керування: контролери додатків і пристрої введення.

1. Контролери додатків отримують інформацію, обробляють її та надсилають команди до пристроїв, які отримують інформацію. Ці контролери можуть збирати та обробляти дані з багатьох джерел, включаючи пристрої введення, пристрої зовнішньої шинної системи, апаратуру керування та інші контролери. Ці компоненти керують і регулюють потік даних у системі шини.

2. Пристрої введення. Пристрої керування вхідними сигналами передають створені користувачем команди в систему освітлення в режимі реального часу. Ці пристрої можуть бути простими та включати:

- Датчики рівня освітлення: ці компоненти визначають рівень освітленості в кімнаті чи просторі та регулюють колір вихідного світла для досягнення ідеального рівня освітлення. Датчики рівня освітлення найбільш ефективні, коли потрібен точний баланс природного та штучного освітлення.

- PIR-детектори руху/сенсори присутності: пристрій DALI, який виявляє рух, активує лампи або групи освітлення.

- Кнопки/повзунки: такі пристрої, як кольорові колеса, використовуються для основних операцій, таких як увімкнення/вимкнення світла або груп індикаторів.

- Пластини регулятора затемнення: використовуються для регулювання яскравості або рівня затемнення.

- Пластини контролера сцени: використовуються для керування та налаштування освітлення сцен.
- Системи керування будівлями: Допомагає в керуванні та контролі системи освітлення всієї будівлі.
- Прикладні контролери отримують 24-бітні сигнали від пристроїв введення та передають 16-бітні команди на апарат керування.
- Блок керування формує команди, що передаються на апарат керування, який регулює силу струму в світлодіодних освітлювальних приладах. Пристрої контролера DALI надсилають ці команди підлеглим компонентам, таким як драйвери.

1.5.5 Виконавчі пристрої

Апарати керування мають важливе значення в системах освітлення, які регулюють струм, що проходить через освітлювальні прилади. Крім того, він забезпечує роботу освітлювальних приладів на потрібному рівні освітленості та енергоспоживання.

Апаратура керування зазвичай включає баласты, драйвери, трансформатори та джерела живлення. Баласты регулюють струм, що протікає через люмінесцентні лампи, тоді як драйвери утримують струм, що протікає через світлодіодні освітлювальні прилади. Трансформатори регулюють напругу джерела живлення, а джерела живлення перетворюють електричну енергію від джерела живлення у форму, придатну для освітлювальних приладів.

Пристрій керування можна інтегрувати в освітлювальні прилади, такі як світлодіодні світильники, панельні світильники або лінійне освітлення, або встановити окремо в системі керування освітленням. Його також можна запрограмувати для регулювання потужності освітлення, наприклад затемнення, колірної температури та освітлення сцен. Це дозволяє

користувачеві налаштувати систему освітлення відповідно до конкретних вимог і підвищити енергоефективність.

Апарат керування також забезпечує розширені функції, такі як діагностика пристрою та моніторинг. Ці функції дозволяють системі виявляти та повідомляти про будь-які несправності або проблеми в системі освітлення, такі як несправність лампи або проблеми з проводкою. Це допомагає зменшити витрати на технічне обслуговування та збільшити термін служби системи освітлення.

1.5.6 Адресація DALI

Адреси DALI — це унікальні ідентифікатори, призначені кожному пристрою в системі керування освітленням DALI. Ці адреси використовуються для зв'язку з окремими або груповими пристроями.

Адреси DALI призначаються пристроям на етапі введення в експлуатацію системи освітлення. Кожній машині надається унікальна адреса, за допомогою якої можна керувати її роботою, наприклад, увімкнути або вимкнути її, налаштувати її яскравість або змінити колір.

У системі DALI кожен пристрій може мати до 16 адрес, що дозволяє ним керувати кількома контролерами або пристроями введення, такими як датчики та перемикачі. Це забезпечує гнучкість в керуванні системою освітлення та дозволяє створювати складні світлові сцени.

Адреси DALI зазвичай встановлюються за допомогою пристрою контролера DALI, такого як конфігуратор DALI або пристрій програмування. Ці пристрої дозволяють користувачеві вибрати адресу кожного пристрою в системі та призначити їх певним групам або зонам.

1.5.7 Топологія мережі DALI

Конфігурація мережі для DALI є простою двопровідною топологією з пристроями керування DALI, підключеними паралельно до приладу

керування DALI. Два дроти, які можуть мати полярність, несуть як живлення, так і сигнал для мережі DALI. Максимальна довжина шини DALI зазвичай становить 300 метрів, хоча її можна збільшити за допомогою повторювачів сигналу або підсилювачів. Пристрої DALI підключаються до шини в послідовному ланцюжку, при цьому кожен пристрій отримує свою унікальну адресу під час інсталяції. Щоб звести до мінімуму перешкоди та забезпечити надійний зв'язок із пристроєм, для підключення слід використовувати кабелі з витвою парою.

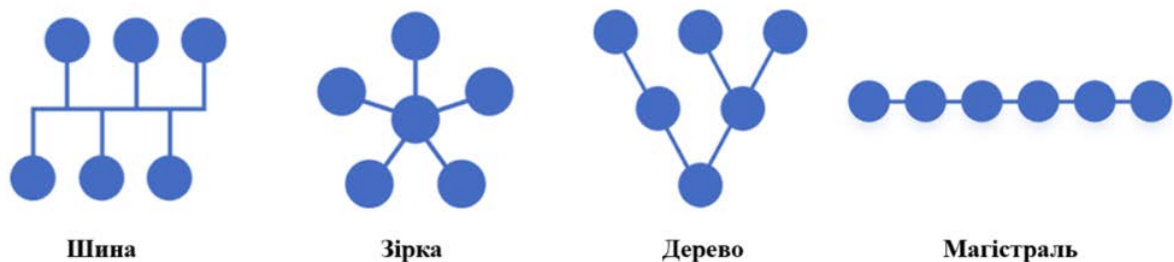


Рисунок 1.6 – Топології мережі DALI

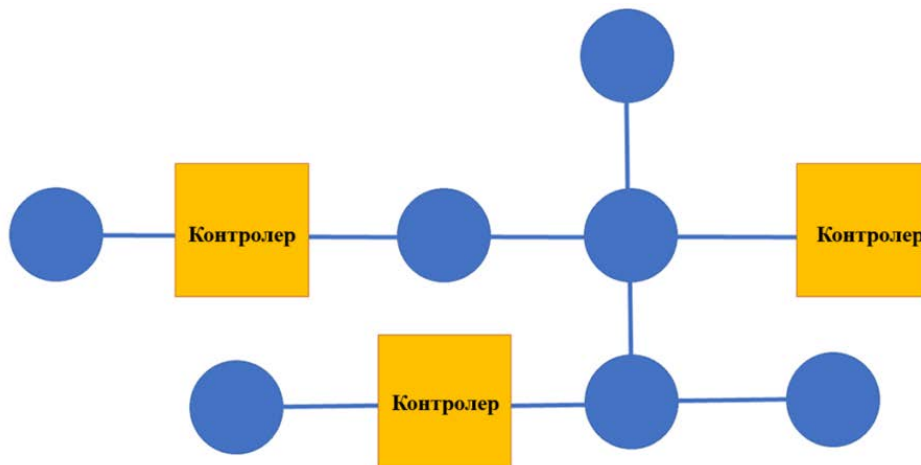


Рисунок 1.7 – Приклад мережі DALI

Конфігурація проводки дозволяє вставляти контролери та датчики в будь-яке місце розташування, забезпечуючи більш точне та індивідуальне

керування освітленням. Це означає, що ви можете легко додавати або видаляти контролери та датчики, щоб налаштувати схему освітлення відповідно до ваших мінливих потреб або вподобань.

1.5.8 Переваги використання DALI Lighting Control System

Система керування освітленням DALI пропонує ряд переваг порівняно з традиційними системами керування освітленням, наприклад покращену енергоефективність, покращене керування освітленням та налаштування, підвищену безпеку та безпеку та інтеграцію з іншими системами будівлі.

Однією з головних переваг системи керування освітленням DALI є її підвищена енергоефективність. Система забезпечує точний контроль над потужністю освітлення, дозволяючи користувачеві регулювати яскравість і колірну температуру відповідно до конкретних вимог. Це гарантує, що система освітлення споживає лише необхідну енергію, зменшуючи витрати на електроенергію та вуглецевий слід.

Двонаправлений характер системи керування освітленням DALI забезпечує безперервний зв'язок між пристроями в мережі. Ця функція дозволяє системі надавати зворотній зв'язок щодо стану кожного пристрою та підтверджувати, що команди виконано, що веде до точного контролю над освітленням. Крім того, це дозволяє здійснювати дистанційну діагностику та усунення несправностей, зменшуючи час простою та витрати на технічне обслуговування.

Система керування освітленням DALI також пропонує покращене керування та налаштування освітлення. Система дозволяє користувачеві керувати окремими світильниками або групами світильників, створюючи налаштовані сцени освітлення для різних дій або часу доби. Крім того, користувач може дистанційно регулювати потужність освітлення, забезпечуючи більшу гнучкість і зручність.

Масштабованість системи керування освітленням DALI така, що кожна мережа DALI може вмістити до 64 пристроїв, з кожним пристроєм, призначеним для 16 груп і 16 сцен. Декількома окремими мережами DALI можна керувати через загальну систему керування для великомасштабних проектів. Однак варто зазначити, що тільки система керування освітленням DALI може забезпечити такий комплексний контроль над системою освітлення.

Ще однією перевагою системи керування освітленням DALI є підвищена безпека. Як приклад, систему керування освітленням DALI можна налаштувати для активації певних освітлювальних приладів у надзвичайних ситуаціях, як-от спалах пожежі чи порушення безпеки. Це забезпечує підвищену безпеку для мешканців будівлі та активів.

Нарешті, система керування освітленням DALI має можливість бездоганно інтегруватися з іншими системами будівлі, такими як HVAC та системи безпеки, щоб забезпечити повне рішення для автоматизації будівель. Крім того, систему можна запрограмувати на регулювання потужності освітлення залежно від заповнюваності або денного освітлення, забезпечуючи більшу енергоефективність і знижуючи витрати.

1.5.9 Области застосування системи керування освітленням DALI

Система керування освітленням DALI знаходить численні застосування в різних типах будівель, як житлових, так і комерційних. Ось деякі з найпоширеніших програм:

1. Житлові будинки: Системи керування освітленням DALI можна використовувати в житлових будинках для покращення керування освітленням та енергоефективності. Завдяки можливості затемнювати та регулювати колірну температуру власники будинків можуть створювати індивідуальні схеми освітлення для різних випадків, від прийому гостей до перегляду фільму.

2. Спортивні поля: спортивні поля вимагають різноманітних варіантів освітлення; тому DALI та DMX підходять для освітлення спортивних майданчиків. Основна мета — забезпечити приємні враження як для гравців, так і для глядачів, зводячи до мінімуму будь-які можливі відволікання, спричинені освітленням. Елементи керування DALI та DMX ідеально підходять для спортивних майданчиків, а деякі спортивні арени містять обидва елементи керування в різних зонах відповідно до конкретних вимог до освітлення. Як правило, ви знайдете елементи керування DALI, розташовані далеко від поля, тоді як елементи керування DMX знаходяться на полі.

3. Комерційні будівлі: використання систем керування освітленням DALI поширене в комерційних будівлях, включаючи, але не обмежуючись, офіси, роздрібні магазини та готелі. Завдяки можливості регулювати рівень освітлення відповідно до заповнюваності та природного освітлення, керівники будівель можуть досягти значної економії енергії, створюючи комфортне та продуктивне робоче середовище для працівників.

4. Промислові будівлі: Системи керування освітленням DALI також можна застосовувати в промислових будівлях, таких як склади та фабрики. Систему можна запрограмувати, щоб забезпечити необхідне освітлення для працівників, одночасно оптимізуючи споживання енергії.

5. Громадські будівлі: системи керування освітленням DALI ідеально підходять для громадських будівель, таких як музеї та художні галереї, де потрібно точно контролювати освітлення, щоб уникнути пошкодження експонатів.

6. Зовнішнє освітлення: Системи керування освітленням DALI також можна використовувати для зовнішнього освітлення, наприклад вуличного освітлення та прожекторів. Систему можна запрограмувати на регулювання рівнів освітлення залежно від часу доби або зайнятості, що призводить до значної економії енергії.

Хоча інсталяція системи DALI в існуючу систему освітлення можлива, для досягнення оптимальної продуктивності зазвичай рекомендується інсталювати її в нову інсталяцію. Цей підхід дозволяє користувачеві уникнути попередніх кіл керування та проводки, що призводить до простішого, ефективнішого та чистішого налаштування.

1.6 Висновок по розділу 1

Інтелектуальні системи освітлення безперервно розвиваються. Система керування освітленням DALI пропонує численні переваги, включаючи покращену енергоефективність, покращене керування та налаштування освітлення, підвищену безпеку та безпеку та інтеграцію з іншими системами будівлі. Крім того, він забезпечує точне керування освітленням і є достатньо гнучким, щоб вносити зміни в схему освітлення, не вимагаючи повної перевстановлення.

Майбутнє технологій керування освітленням яскраве, з постійним прогресом світлодіодних технологій, бездротового зв'язку та Інтернету речей (IoT), що веде до ще ефективніших і налаштованих рішень для керування освітленням. Оскільки потреба в стійких та енергоефективних рішеннях для автоматизації будівель зростає, система керування освітленням DALI може значно вплинути на майбутнє технологій керування освітленням.

						<i>ХНТУ151.КРМ.23.01 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			37

2 РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АВАРІЙНИМ ОСВІТЛЕННЯМ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

2.1 Загальні відомості про нечітку логіку

Нечітка логіка — це інтелектуальний підхід до прийняття рішень, який використовується в різних галузях, таких як інженерія, фондові ринки та інші сфери [10]. Ця стратегія, заснована на логіці, має свою перевагу, коли йдеться про дефіцит (нечіткість). Контролери нечіткої логіки (НР) схожі на звичайну систему керування, але в ній застосовуються теорії нечіткої логіки. Інженери можуть розробити НР для інтерпретації пропорцій і кількості людських мовних посилань. Наприклад, вихід яскравості (яскравості) світильника може бути налаштований на попередньо встановлені значення «низький», «середній» і «високий». Багато людських очікувань і посилань, які пов'язані з електричними параметрами, можна оптимізувати в агрегованих розрахунках для прийняття рішень за допомогою методології Fuzzy Logic [11]. У додатках Fuzzy Logic лінгвістичні посилання можуть бути визначені кількісно від 0 до 1 для інтерпретації електронних контролерів [12]. Розміри кількісної оцінки також називаються функціями належності. Після впровадження концепції в 1960-х роках інженери віддавали перевагу використанню нечіткої логіки в системах керування, коли була задіяна складність (нелінійність) моделювання системи [13, 14]. НР є дешевшими та легшими у впровадженні порівняно зі звичайними пропорційно-інтегрально-похідними (ПІД) системами керування [13]. Це означає, що якщо зв'язок між входом і виходом є нелінійним, для отримання результату потрібні значні математичні обчислення. Тобто функції зв'язку вищого ступеня стають ширшими для обробки комп'ютерами, що призводить до більшого

енергоспоживання.

Будь-яка система керування може мати форму розімкненого або замкнутого циклу [15]. Ключова перевага використання системи зворотного зв'язку із замкнутим циклом полягає в тому, що вона мінімізує зовнішні перешкоди, що вводяться в системні установки (процес), щоб досягти більшої точності на виході керування [16, 17]. Нерегульовані джерела світла та властива контролеру (або установці) нелінійність (шум) можуть викликати перешкоди в системі керування.

З рис. 2.1, вибір блоку регулятора може бути або класичним пропорційно-інтегрально-похідним (ПІД) регулятором, НР, або гібридним ПІД-НР контролером. Для порівняння, якщо запрограмований на інші нелінійні системи, модуль НР може не вимагати значного повторного налаштування для досягнення бажаних результатів на основі платформи [10, 13]. Більшість НР не потребують повторного налаштування, оскільки системі керування НР не потрібно знати передаточну функцію свого заводу на етапі проектування. Процес моделювання передавальної функції – це відображення входу-виходу системи керування. Якщо блок контролера на рис. 2 замінюється блоком НР, він стає системою керування НР із замкнутим контуром. Однак система НР потребує експертного керівництва або досвіду, щоб налаштувати систему шляхом вибору відповідної матриці нечітких правил. Отже, якщо розробник добре розуміє очікувану поведінку системи, вага інтеграції концепції нечіткої логіки в систему керування буде мінімальною [11, 18, 19].

Кінг та ін. [13] використовував алгоритм нечіткої логіки в керуванні котлом і паровою машиною. Надходження тепла в котел використовувалося для регулювання тиску в котлі, а швидкість парової машини регулювалася шляхом регулювання відкриття дросельної заслінки на вході в циліндр двигуна. Отримані результати показують, що складним процесом можна ефективно керувати за допомогою правил проб і помилок на основі нечітких

тверджень. Реакція системи була кращою, ніж у звичайних ПІД-регуляторів, які мали пульсаційний відгук перед досягненням стабільного стану.

Сінгхал та ін. [14] використав НР для створення системи контролю температури, яка нагрівала електричний нагрівач пропорційно до зниження температури в кімнаті для випробувань. Надлишок тепла в кімнаті компенсувався вентилятором, підключеним до системи. Подібно до дизайну в цьому документі, вихідний сигнал широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) генерується для керування потужністю, що генерується нагрівачем і вентилятором. У заключній записці було заявлено про успішне застосування НР для контролю кімнатної температури до бажаного значення без моделювання передатної функції системи.

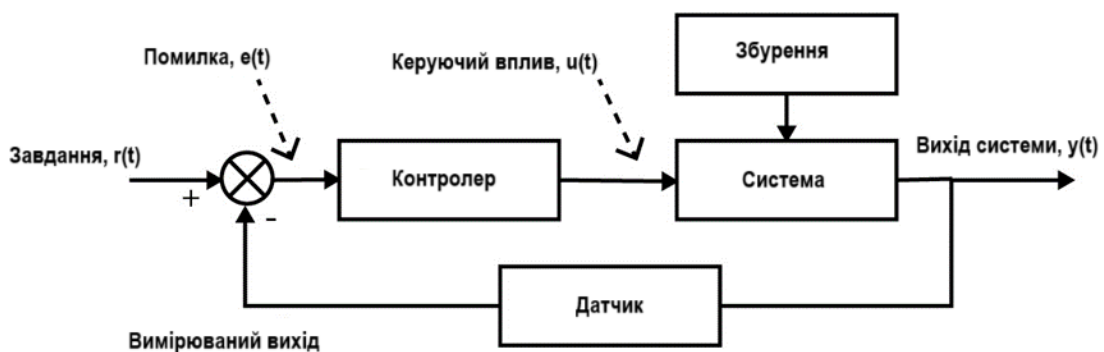


Рисунок 2.1 – Універсальна блок-схема замкнутої системи керування

Almatheel і Abdelrahman [20] вдалося регулювати швидкість двигуна постійного струму за допомогою НР і порівняти його результати зі звичайним ПІД-регулятором. Однак вони створили інтенсивну матрицю нечіткого набору правил із сорока плюс (7×7 нечітких входів і 7 нечітких виходів), щоб визначити поведінку системи. Вихідна швидкість двигуна постійного струму має нелінійну залежність від його вхідного струму. Для створення функції передачі, що представляє динаміку процесу для ПІД-регулятора порівняно з НР, потрібен досвід, щоб керувати виходом,

потрібне масштабне математичне моделювання. Результати показують, що відповідь НР має мінімальні параметри перехідного та стаціонарного стану, що показує, що НР ефективніший та ефективніший, ніж ПІД-регулятор.

Лю та ін. [21] застосували концепцію нечіткої логіки у своїй системі керування освітленістю.

Збалансований вихід освітлення було створено в їх застосуванні між зовнішнім і внутрішнім освітленням для економії споживання енергії. Зокрема, рівень освітленості в приміщенні вимірювався на робочих стільницях. Було розроблено НР, у якому були враховані та оптимізовані фактор денного світла та комфортного освітлення користувача. Потрібний користувачеві мінімальний рівень освітленості було встановлено як порогове значення, яке НР має створювати біля робочих столів, тоді як інші зони циркуляції в кімнаті не мають значення. Їх експериментальні дані показали, що рівень освітлення на робочих столах залишався оптимальним вище порогового рівня, незважаючи на зміни денного освітлення на вулиці. Завдяки їхньому методу споживання енергії було зменшено, коли освітлення було зменшено в неважливих місцях.

2.2 Застосування систем керування з нечіткою логікою для керування освітленням

У сфері освітлення, поза контролем освітлення, на якому зосереджується більшість стандартів і нормативних актів, було виконано декілька робіт для спектрального налаштування освітлення через реплікацію SPD, що призводить до дисперсії CCT. Було також використано багаторазовий підхід змішування CCT від відомих джерел світла CCT через системи керування освітленням. Метод реплікації SPD більш точний для представлення циркадного освітлення, оскільки він впливає на ефекти NIF

через різний вміст довжини хвилі в джерелі освітлення [3]. Методологія змішування CCT може не точно відображати бажане освітлення з точки зору вмісту інтенсивності довжини хвилі, оскільки різні комбінації кольорів можуть створити однакову CCT. Однак дослідження, що базуються на генерації SPD, потребують спектрометрів як датчиків.

Чен та ін. [22] змінювали CCT за допомогою комбінації двох джерел світла з відомими CCT 2700 K і 5000 K. За допомогою ШІМ-контролю кінцеве освітлення, середнє CCT, було налаштовано шляхом змішування інтенсивності обох джерел. Однак система була розроблена в архітектурі ПД з відкритим циклом, де кінцевий вихід CCT може містити шуми або вбудовані помилки. Подібним чином, Лі та ін. [23] також вдалося контролювати CCT за допомогою нелінійної емпіричної моделі ПД із відкритим контуром, яка використовує систему двоколірних білих світлодіодів (LED). Бусо та ін. [24] використовували три матриці світлодіодного освітлення для керування CCT, окремо керуючи світлодіодними матрицями червоного, зеленого та синього кольорів. Тим часом Кім та інші [25] спростили визначення CCT за допомогою обчислення середньозваженого RGB. На відміну від цього, механізм контролю мав справу з CCT, як Чен та ін., Лі та ін. та Кім та ін. працює, але не точно повторює SPD. Гао та ін. [26] зосередив свою роботу на мінімізації синього вмісту довжини хвилі від освітлення, яке має проблеми зі здоров'ям, шляхом оптимізації CCT через балансування координат кольоровості. Це означає вибір комбінацій інших кольорів без синього вмісту для досягнення того самого бажаного CCT. Муту та ін. [27] у своїй роботі описав проблеми, що загострюються під час використання світлодіодного освітлення для виробництва білого світла, вирішуючи їх у замкнутій системі, яка балансує вихідне освітлення, щоб воно було поблизу області білого світла (біля кривої чорного тіла). Нещодавно Chew та ін. [17] розробив систему керування замкнутою системою, яка регулює CCT через компенсацію SPD.

Таблиця 2.1 узагальнює застосування системи керування в керуванні ССТ освітленням.

Таблиця 2.1 – Порівняння системи керування освітленням ЦКТ

Автор	Кольорові канали	Контрольний параметр	Схема керування	Архітектура керування
Chen	2	ССТ	Розімкнутий цикл	-
Lee	2	ССТ	Розімкнутий цикл	-
Buso	3	ССТ	Розімкнутий цикл	-
Gao	3	ССТ	Розімкнутий цикл	-
Kim	4	ССТ	Розімкнутий цикл	-
Muthu	3	Колір	Замкнений цикл	ПІД
Chew	8	СПД	Замкнений цикл	ПІД

З табл 2.1, більшість робіт використовували схему керування з відкритим контуром. Лише кілька відповідних досліджень, які регулювали ССТ або SPD, які використовували архітектуру замкнутого циклу. Обидва замкнуті цикли в останніх роботах використовували класичну архітектуру ПІД. Оскільки система НР має деякі переваги перед системою ПІД, такі як простота застосування та вартість, це дослідження має на меті представити дизайн системи керування, що використовує контролер нечіткої логіки для зміни та регулювання ССТ, враховуючи важливість впровадження циркадного освітлення в освітлювальні приміщення.

2.3 Структура системи керування освітленням

Система керування світлодіодним освітленням складається з трьох модульних блоків, як показано на рис. 2.3. Перший модуль, сенсорний модуль, складається з датчика кольору TCS34725 RGB (червоний, зелений, синій). У другому модулі розміщено міні-комп'ютер для обробки даних, а в третьому модулі – світлодіодний освітлювальний пристрій для виведення освітлення. Це дослідження дозволить створити прототип шляхом підключення трьох модулів для тестування та моделювання пізніше.

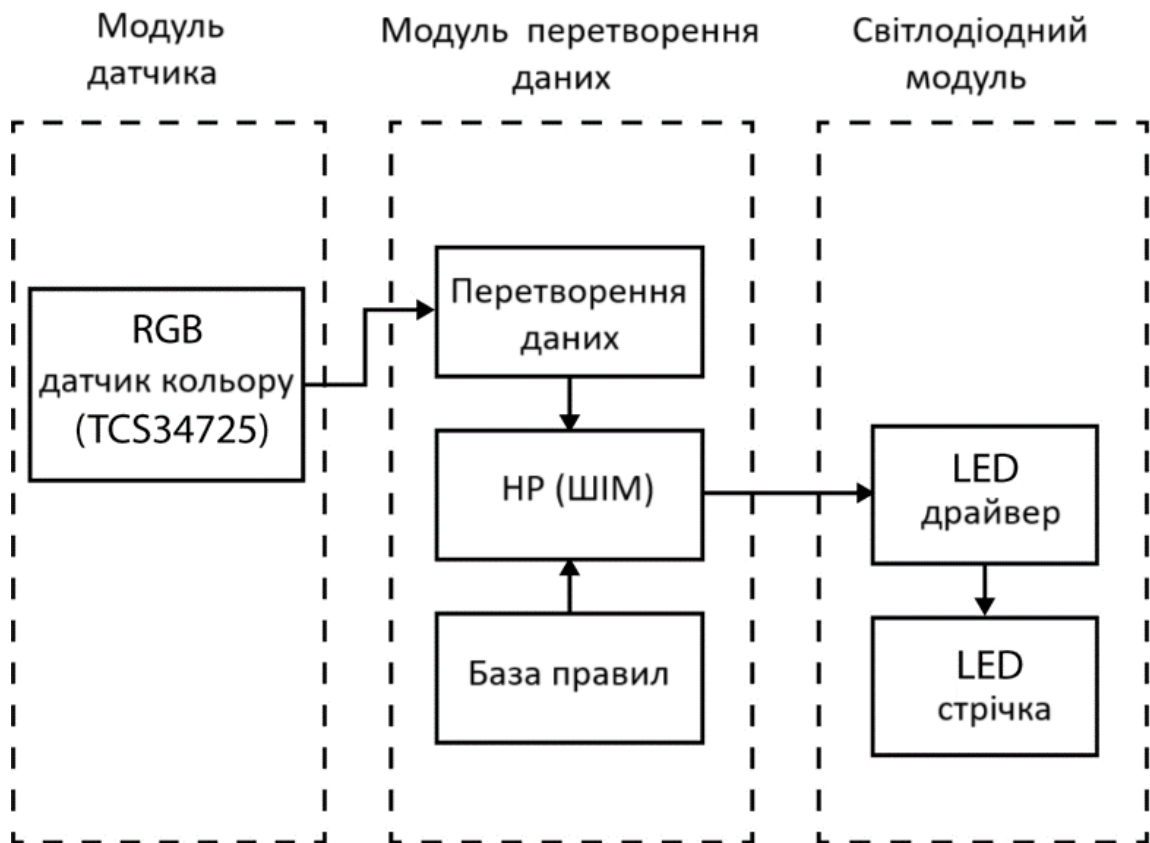


Рисунок 2.2 – Структурна схема модулів системи керування освітленням

В архітектурі системи керування, зображеній на рис. 2.2, існує два основних шляхи обробки колориметрії.

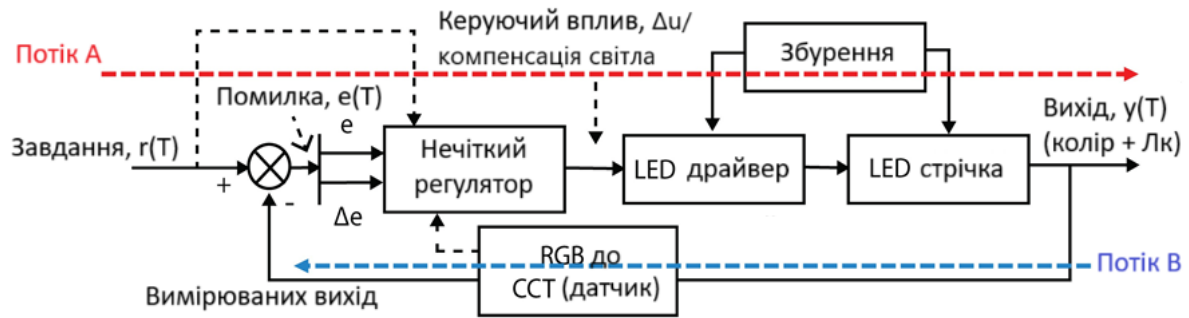


Рисунок 2.3 – Блок-схема замкнутого контуру з системою НР
 ССТ — корельована колірна температура, SPD — спектральний розподіл потужності, XYZ — трестимульні значення CIE, xY — координати кольоровості CIE у поєднанні з яскравістю Y, RGB — червоний, зелений, синій, а LED — світловипромінюючий діод.

На першому шляху буде створено CIE Standard Illuminant D SPD із посиланням на бажаний (цільовий) ССТ з використанням колориметрії кольорового простору Міжнародної комісії з освітлення (CIE) [17, 28, 29]. Тут бажані значення ССТ стосуються довільного значення, організованого та узгодженого з ССТ природного освітлення та часом доби. За допомогою другого шляху параметри колориметрії обчислюються за допомогою вимірних необроблених даних від датчика кольору RGB. Дані датчика RGB надсилаються до модуля обробки даних. У модулі обробки даних відповідні значення кольоровості CIE xY і трестимулу XYZ будуть визначені для процесу компенсації з обох шляхів. Нарешті, компенсований вихідний сигнал RGB визначається на основі трестимульних значень CIE XYZ компенсованого ССТ перед тим, як надсилати його на світлодіодні світильники. Значення RGB еквівалентні [0-255] піксельним бітовим значенням, нормалізованим між 0 і 1. На рисунку 2.4 показаний процес керування на блок-схемі.

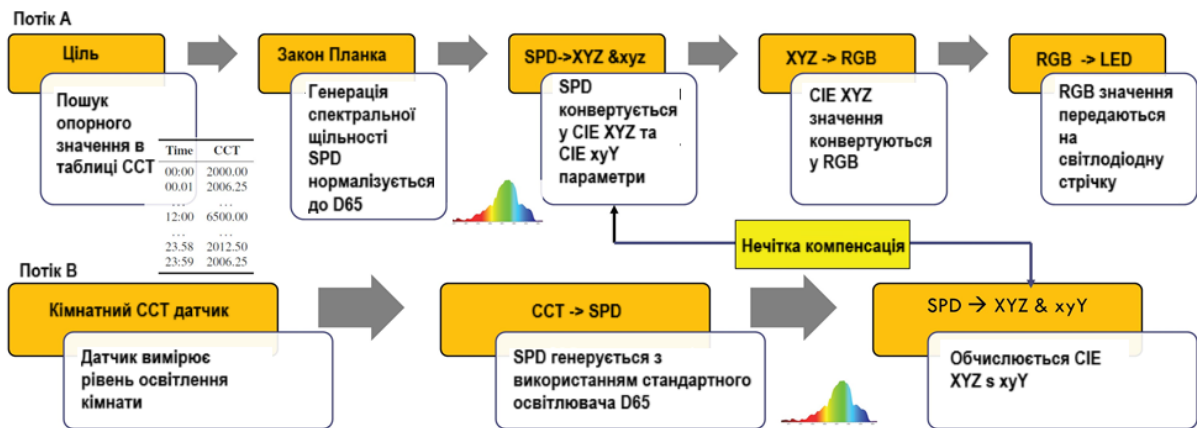


Рисунок 2.4 – Етапи процесу керування освітленням

Перетворення між значеннями CCT, CIE XYZ і RGB є частиною теми колориметрії, яка описана в розділі 3.

Система керування НР була обрана через її відтворюваність при перенесенні на інші системи. Крім того, не потребує виведення передатної функції процесу системи [10, 13, 14]. Це означає, що при програмуванні на інші нелінійні установки та контролери (мікропроцесори або мікроконтролери) модуль НР може не вимагати значного повторного налаштування для досягнення бажаних результатів на основі платформи. Налаштування означає керування НР через набір матриці нечітких правил, наприклад налаштування ПІД-системи.

НР приймає два входи з помилкою та зміну з помилкою (дельта помилка). Функція помилки, $e(T)$, є алгебраїчним відніманням посилення, $r(T)$ функція, і результат $y(T)$. Функція $e(T)$, означає величину виправлення (компенсації), яку потрібно скоригувати для виведення, $y(T)$ функція для відповідності вхідному посиленню, $r(T)$. Зміна помилки, Δe означає напрямок дія контролю помилок повинна здійснюватися шляхом збільшення або пропорційно зменшуючи дію корекції. Обсяг корекції та напрямок відповідає правилам, встановленим дизайнером.

Крім того, датчик потребує калібрування перед використанням використовується для виведення точних вимірних значень ССТ. Етап калібрування датчика включає порівняння значення ССТ, виміряного датчиком, і спектрального випромінювання, створеного спектрометром. Спектрометр також був самостійно розроблений з використанням технології 3D-друку, як показано на рис. 2.5.

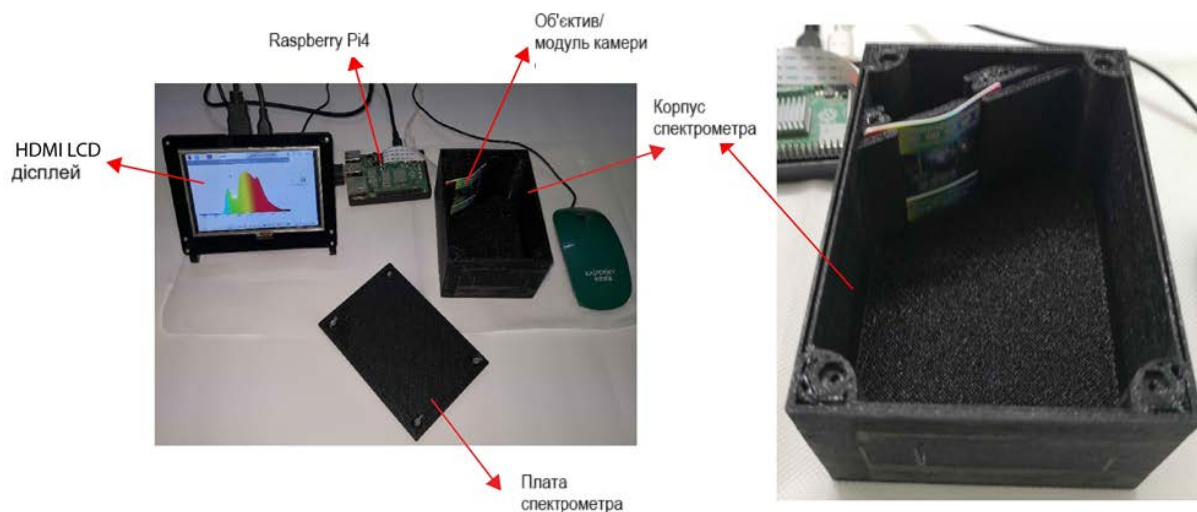


Рисунок 2.5 – Прототип спектрометра для калібрування

Якщо коротко пояснити, ССТ джерела світла від спектрометра визначається шляхом генерації спектрального розподілу потужності джерела світла (SPD) у полі зору (FOV) датчика RGB. Потім його порівнюють із показаннями ССТ модуля датчика RGB і, отже, калібрують за допомогою інструменту статистичної регресії для створення функції відображення характеристик датчика.

2.4 Матеріали для прототипу

На рис. 2.2, модуль обробки вводу-виведення даних є міні-

комп'ютером. Проект, представлений у цій роботі, використовує міні-комп'ютер Raspberry Pi 4 (RPi4) з операційною системою Raspbian на основі Linux Debian [30]. Мова сценаріїв Python використовується для всіх математичних розрахунків, кодування та моделювання. Надмалі розміри RPi4 дозволяють упакувати всі коди в одну плату розміром з кредитну картку. Таким чином, контроль, контроль і регулювання освітлення може бути компактно виконано в кутку внутрішнього простору. Зауважте, що міні-комп'ютер RPi4 і датчик TCS34725 вибрані в цьому дизайні на основі доступності, вартості та онлайн-спільноти підтримки. Можна використовувати будь-які інші подібні пристрої. Таблиця 2.2 показані характеристики датчика кольору TCS34725, тоді як на рис. 2.6 представлено спектральний відгук [31].

Таблиця 2.2 – Характеристики датчика кольору TCS34725 RGB.

Характеристики	Значення	Одиниці
датчик	Фотодіод	NA
Тактова частота	0 – 400	кГц
Роздільна здатність A/D	16	біти
Робоча напруга	2,7 – 3,6	В
Струм живлення (VDD = 3,6)	8,7 – 11	мА
Робоча температура	-40 – 85	0С
Інтерфейс зв'язку	I2C	NA
Канали	RGB+C	NA

Колориметрія : SPD до XYZ, CCT, RGB обчислення та перетворення колориметрії CIE використовується для перетворення одного виміру в інший. Є кілька варіацій кольору CIE простір.

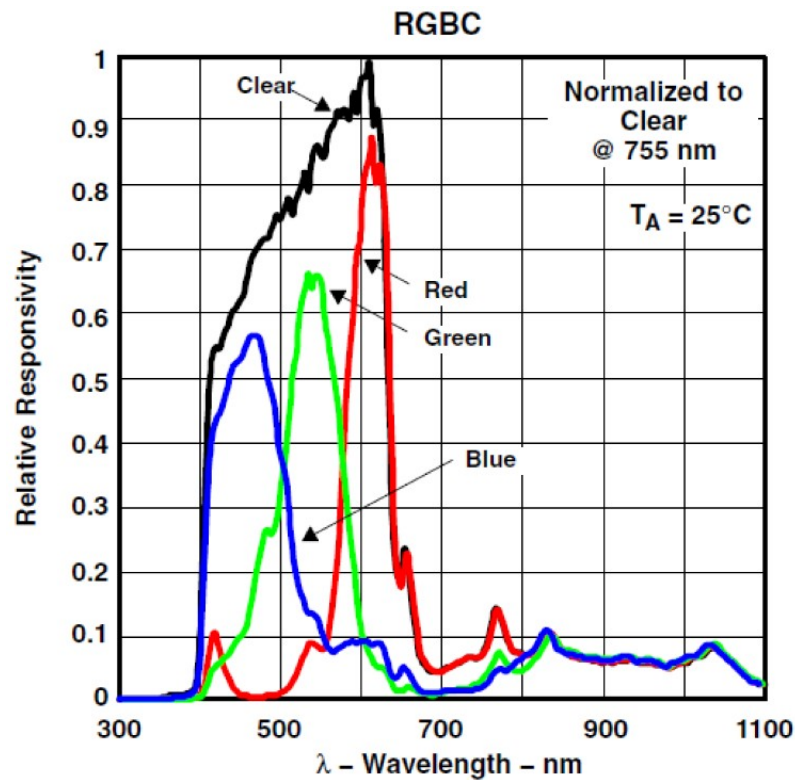


Рисунок 2.6 – Характеристики датчика кольору TCS34725 RGB [31]

У цьому проєкті колір «Стандартний спостерігач CIE 1931 2°». простір використовується як платформа для конверсій через широку доступність [17, 28, 33]. Після вимірювання CCT внутрішнього простору за допомогою датчика генерується SPD, використовуючи значення CCT за допомогою функції Планка. Однак більш просте рівняння існує для моделювання природного денного освітлення на відміну від використання рівняння Планка.

Було обрано попередній метод, оскільки в майбутньому датчик можна оновити до спектрометричного датчика, який міг би точно вимірювати спектральне опромінення порівняно з датчиком TCS34725 який лише перетворює відповідь RGB на CCT.

Рівняння Планка для створення SPD виконується за допомогою рівняння (2.1).

$$B(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{e^{2hc/\lambda k_B T} - 1} \lambda^5. \quad (2.1)$$

де: $B(\lambda; T)$ – спектральний енергії випромінюється на одиниця часу, площа та просторовий кут ($\text{Вт м}^{-3} \text{с}^{-1}$)

h – постійна Планка ($6,63 \times 10^{-34}$ Дж)

T – колір температура тіла

λ – відповідний довжина хвилі

c – швидкість з світло ($3,00 \times 10^8$ м/с)

k_B – постійна Больцмана ($1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К)

Для підбору кольорів у просторі RGB використовується стандарт CIE освітлювач D65 як еталонний білий. Коли доступні дані SPD для джерела світла, першим кроком є їх перетворення на тристимульні значення CIE XYZ. Цей крок виконується шляхом інтеграції продукту даних SPD джерела світла та компонентів функції відповідності кольору CIE. Функція зіставлення кольорів CIE — це набір значень інтенсивності червоного, зеленого та синього, відображених у його довжинах хвиль, як показано на рис. 2.7. По суті, функція відображення — це загальне сприйняття колірної чутливості людських очей [34].

Коли ми маємо довільні дані SPD (спектру), їх можна перетворити, щоб представити в тристимульних значеннях CIE XYZ, як у рівняннях. (2.2)-(2.4). Значення XYZ є важливими, оскільки вони описують співвідношення змішування кольорів основного червоного, зеленого та синього кольорів для відтворення певного вихідного кольору.

$$X = \int P(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad (2.2)$$

$$Y = \int P(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (2.3)$$

$$Z = \int P(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad (2.4)$$

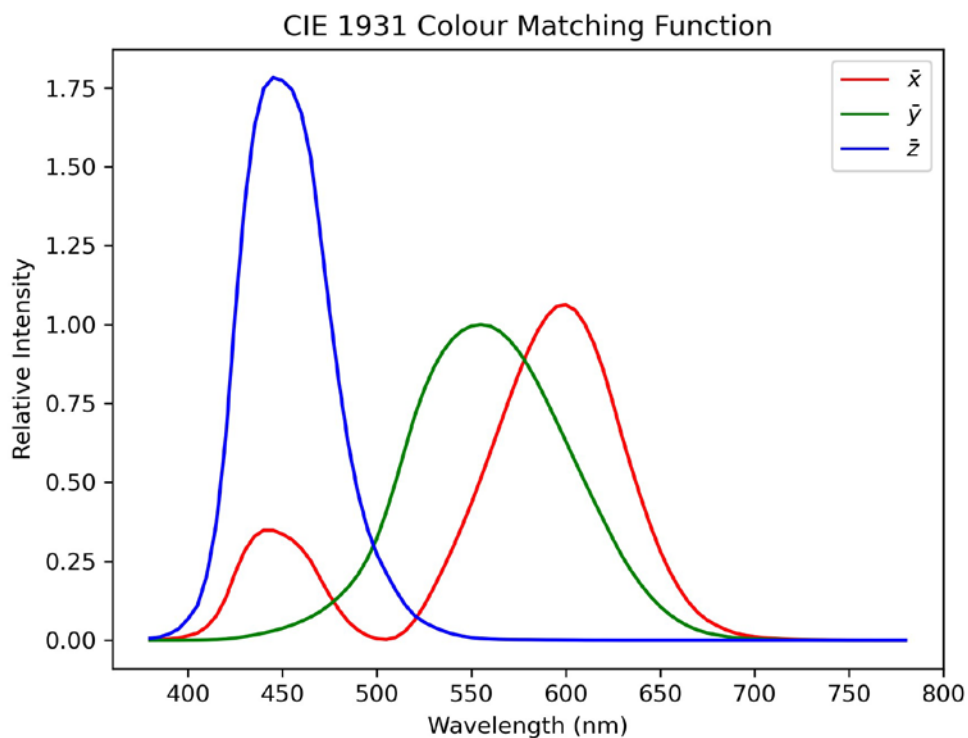


Рисунок 2.7 – Інтенсивність кольорів СІЕ 1931 2°

Параметри X , Y , Z можна нормалізувати для представлення в декартові координати, які називаються координатами кольоровості СІЕ, як у рис. 2.8. Однак при цьому інформація про відносну яскравість (яскравість) від SPD втрачається.

Координати кольоровості (x, y) представляють колір у двовимірному просторі та обчислюються за допомогою рівнянь. (2.5)-(2.7)

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}; \quad (2.5)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}; \quad (2.6)$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}; \quad (2.7)$$

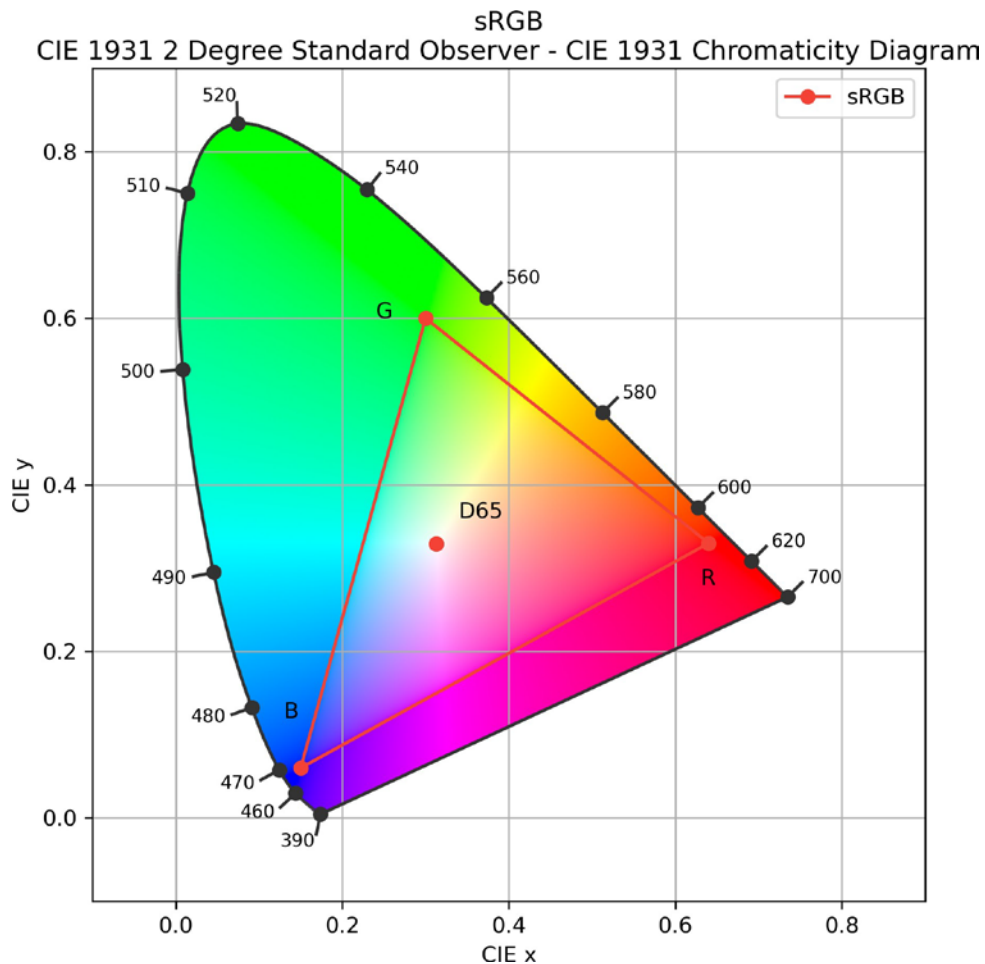


Рисунок 2.8 – CIE 1931 2° діаграма кольоровості (x,y).

Значення RGB, що відповідає SPD, визначається за допомогою подальше перетворення з тристимулу CIE XYZ або x y координати даних як (2.8). Значення RGB знаходяться в межах 0-1 діапазон. Щоб оновити уніформу, потрібно зробити іншу відмінність значення RGB (від 0 до 1,0) до оцифрованих значень RGB (0-255), коли передавання в цифрові системи, такі як світлодіодні системи освітлення. Геометрично рівняння (2.8) відображає будь-який арбітражний SPD (або CCT) у Гама RGB. Гама відноситься до простору доступних кольорів у а сучасну систему кольорів дисплея шляхом змішування червоного, зеленого та синього кольорів діаграма кольоровості CIE. Стандарт RGB (sRGB, ITU-R BT.709) використовується в цьому дизайні, оскільки він дуже схожий на Властивість

світлодіодних світильників зберігати 8- бітні цілі числа на колір канал [35].
Таблиця 2.3 показує основні дані RGB для sRGB система кольорів.

Таблиця 2.3 – Координати кольоровості основних кольорів для системи кольорів sRGB

Кольоровість	Червоний	Зелений	Синій	Білий (D65)
x	0,64	0,3	0,155	0,3127
y	0,33	0,6	0,060	0,3290
z	0,03	0,1	0,785	0,3583

Гама sRGB представлена RGB трикутник, зображений на рис. 2.8. Стандарним є білий освітлювач D65 позначено в середині трикутника $x = 0,3127$ і $y = 0,3290$.

$$\begin{bmatrix} x_r & x_g & x_b \\ y_r & y_g & y_b \\ z_r & z_g & z_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix};$$

де $x_{r/g/b}$, $y_{r/g/b}$ і $z_{r/g/b}$ з рівняння (2.8) представляє значення матриці перетворення, що стосуються стандартних координат кольоровості білого D65, як у таблиці 2.3.

Людське зорове сприйняття яскравості є нелінійним [36]. Якщо BB – це інтенсивність світла, створюваного світильником, а LL – сприймана яскравість, кількість світла, що потрапляє в наші очі, визначається оберненою експоненціальною функцією, як у рівнянні. (2.9)

$$B = L^{1/\gamma}. \quad (2.9)$$

де γ – числовий коефіцієнт викривлення. При високому значенні яскравості (яскравості) людське око не виявляє незначні варіації, як показано на рис. 2.9 (верхній графік) через нелінійність [37].

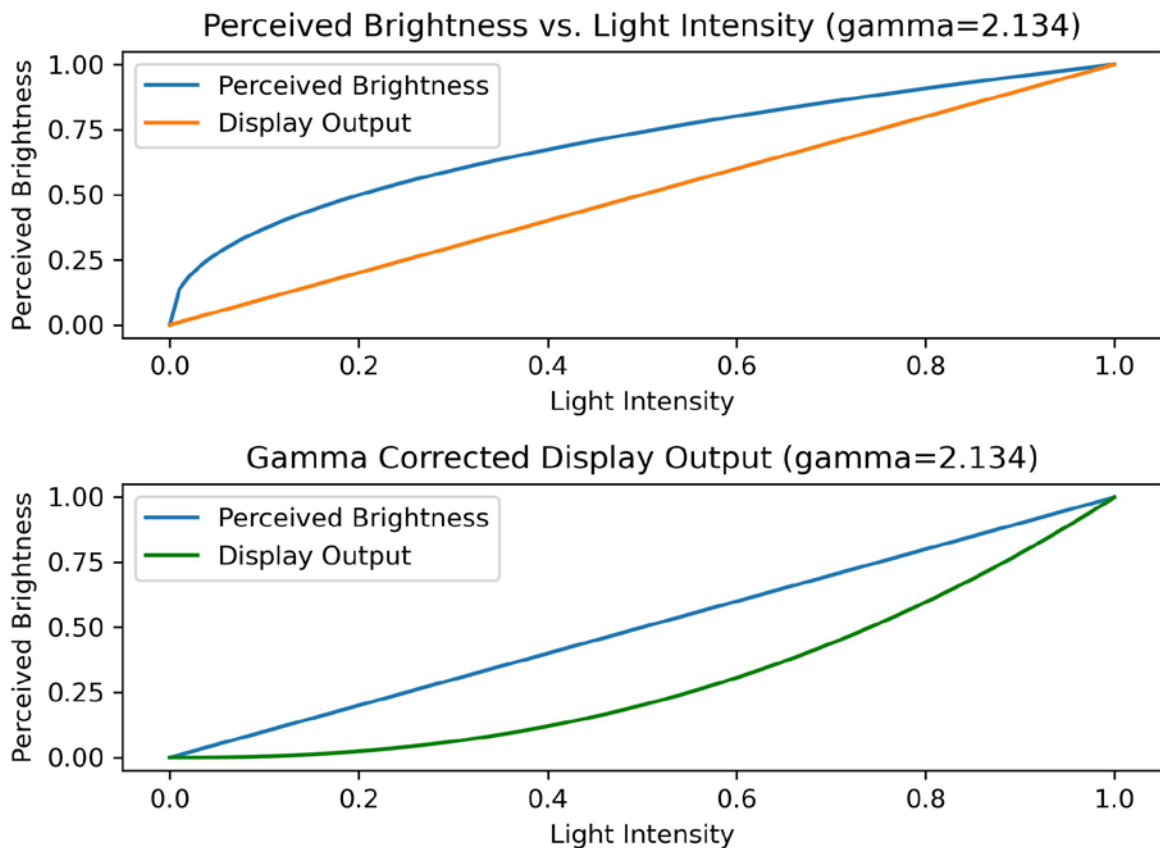


Рисунок 2.9 – Сприйняття яскравості освітлення очима людини

Рівняння (2.10) показує розрахунок сприйнятої яскравості для триколірної системи світильника RGB. Перетворення в рівнянні (2.10) називається гамма-корекцією. Гамма-корекція виконується для значень RGB освітлення, щоб узгодити його з характеристиками людських очей, рис. 2.9 (нижній графік) [37].

$$B = \left(R^\gamma + G^\gamma + B^\gamma \right)^{1/\gamma}. \quad (2.10)$$

Щоб перетворити значення RGB з рівняння (2.8) у сприйнятті людиною коливання яскравості для будь-яких кольорів RGB, рівняння (2.11) застосовується до значень RGB [28].

$$V = \begin{cases} 12.92v, & \text{якщо } v \leq 0.0031308; \\ 1.055v^{1/2.4} - 0.055, & \text{інакше.} \end{cases} \quad (2.11)$$

Як альтернатива, обернена гамма-корекція:

$$v = \begin{cases} V/12.92, & \text{якщо } V \leq 0.04045; \\ \left(\frac{V + 0.055}{1.055} \right)^{2.4}, & \text{інакше.} \end{cases} \quad (2.12)$$

Тут V – це гамма-кориговані значення r, g, b у RGB, де rgb – це лінійні значення, а RGB – нелінійні значення, що стосується рис. 2.9 (нижній графік), як у рівняннях (2.13) і (2.14).

$$v \in \{ r, g, b \}, (linear) \quad (2.13)$$

$$V \in \{ R, G, B \}, (non-linear) \quad (2.14)$$

Після завершення гамма-корекції RGB можна співвіднести зі значеннями 0-255. Щоб перетворити значення RGB назад у тристимульні значення CIE XYZ, спочатку застосовується зворотна гамма-корекція.

Коли SPD перетворюється на тристимульні значення CIE XYZ, дані про інтенсивність-довжину хвилі та його відносне значення яскравості втрачаються, що робить інверсію операції математично складною.

Однак CCT SPD можна перерахувати за допомогою формули Маккемі. Оскільки діапазон CCT невеликий (від 2000 K до 6500 K) у цій

конструкції, то поліноміальна функція третього порядку Маккемі, як у рівнянні. (2.15), застосовується з використанням координат кольоровості СІЕ ху [38].

$$CCT = 449,0 n^3 + 3525,0 n^2 + 6823,3 n + 5520,33 \quad (2.15)$$

де,

$$n = \frac{x - 0.3320}{0.1858 - y} \quad (2.16)$$

координати кольоровості СІЕ ху, як показують рівняння. (2.11), (2.15) і (2.17).

Таким чином, у будь-якому випадку вимірювання CCT освітлювального простору має бути компенсовано до бажаного CCT за допомогою координат кольоровості СІЕ ху спочатку, а отже, потім перетворених значень компонентів R, G, B. Таким чином, робоча область для компенсації знаходиться в області координат кольоровості СІЕ ху (або СІЕ хуY, щоб зберегти інформацію про яскравість). Методи компенсації є основою для регульованого освітлення, як показано раніше на рис. 2.5. Компенсації виконуються в робочому просторі середовища кольоровості СІЕ хуY, як показано на рис. 2.10.

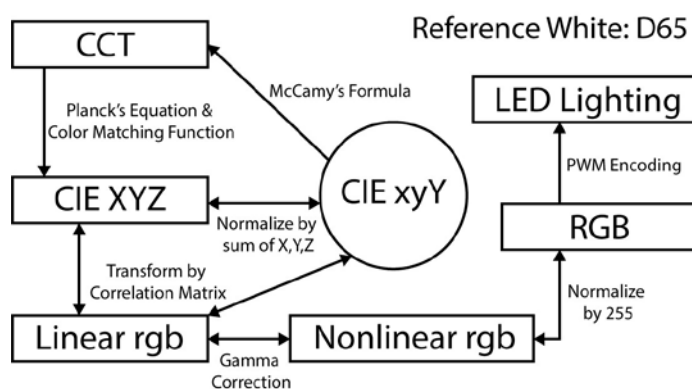


Рисунок 2.10 – Робоче середовище для колориметрії

$$CCT_{desired} \neq C CCT_{room} + CCT_{compensation} \quad (2.17)$$

Також на рис. 2.11 показано процес перетворення колориметричних параметрів.

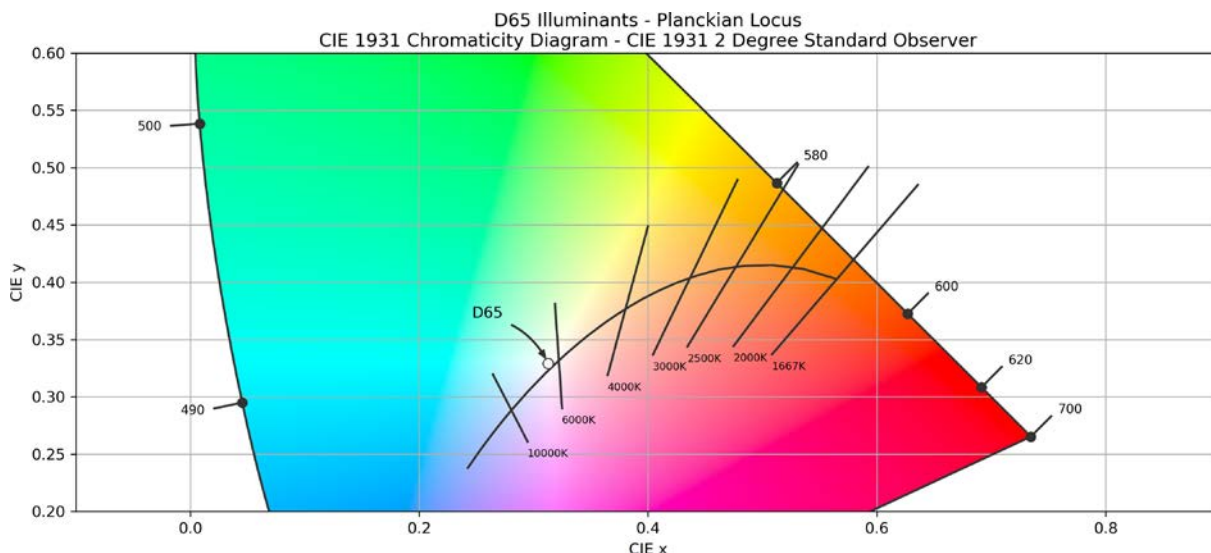


Рисунок 2.11 – Геометричне місце Планка на діаграмі кольоровості CIE 1931 зі стандартним освітлювачем D65

Кожний процес перетворення зазначено біля стрілок зв'язку на рисунку. Значення CCT, виміряні з датчика, зводяться до параметрів CIE x y для обробки системою керування. На основі параметрів CIE x y значення компенсації для регулювання CCT освітлення будуть визначені з операцій HP. Отриманий компенсований CIE x y буде використовуватися для реконструкції компенсаційного SPD, який буде виводитися освітлювальним пристроєм. Процес буде повторюватися до досягнення стабільного стану.

Набори значень CCT представлені ізотермічними лініями на діаграмі кольоровості CIE 1391, як на рис. 2.11. Існує кілька комбінацій RGB для створення CCT. Тому, після визначення значення CCT, перевірка відхилення значення CCT від кривої чорного тіла виконується за допомогою

розрахунку D_{uv} [39,40]. Ця перевірка полягає в тому, щоб переконатися, що розрахований ССТ знаходиться в зоні білого кольору на рис. 2.9, як позначено D65. Діапазон D_{uv} від $-0,003$ до $+0,003$ є мінімальною вимогою для проходження перевірки. Іншими словами, перевірка D_{uv} визначає, наскільки далеко розрахований ССТ знаходиться від кривої чорного тіла. Рівняння (2.18)-(2.23) показує кроки та виведення для отримання значення D_{uv} , починаючи з координат CIE xy .

$$u = \frac{4x}{-2x + 12y + 3}. \quad (2.18)$$

$$v = \frac{6y}{-2x + 12y + 3}. \quad (2.19)$$

З константами $k_0 = -0.471106$, $k_1 = 1,925865$, $k_2 = -2,4243787$, $k_3 = 1,5317403$, $k_4 = -0,5179722$, $k_5 = 0,0893944$, $k_6 = -0,00616793$, тоді:

$$L_{FP} = \sqrt{(u - 0.292)^2 + (v - 0.24)^2};$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{u - 0.292}{L_{FP}}\right). \quad (2.21)$$

$$L_{BB} = k_6 a^6 + k_5 a^5 + k_4 a^4 + k_3 a^3 + k_2 a^2 + k_1 a^1 + k_0 a^0 \quad (2.22)$$

отже,

$$D_{uv} = L_{BB} - L_{FP} \quad (2.23)$$

Наведені вище формули є основою колориметрії. Вони широко доступні різними мовами програмування як стороння бібліотека. Цей проект використовуватиме бібліотеку Color Science для Python, яка вже попередньо запрограмувала формули для зовнішнього використання [41].

2.5 Механізм керування та компенсації нечіткої логіки

Подальший розбір блоку контролера нечіткої логіки на рис. 2.4 демонструє процес логічного виводу, що відбувається в ньому, як показано на рис. 2.12.

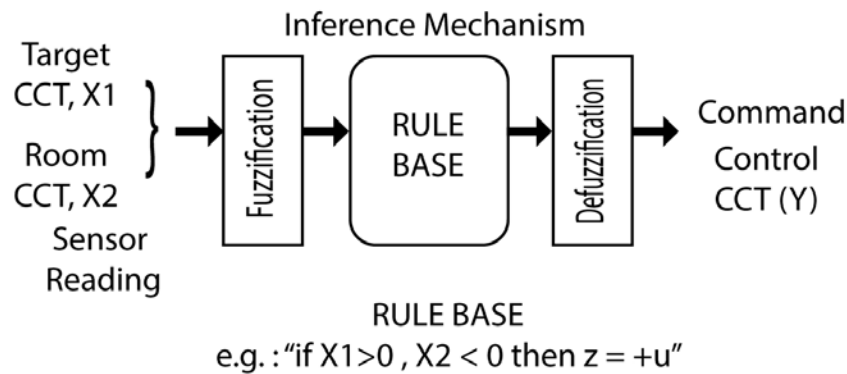


Рисунок 2.12 – Механізм виводу Fuzzy Logic

Якщо інтуїція експерта не включена в систему, безперервна система регулятора керування не є інтелектуальною. Механізм висновку інструмента Fuzzy Logic — це метод, який агрегує входні дані для прогнозування результатів, керованих користувачем, на основі його досвіду. Керування користувачем означає, що дизайнер може змінювати швидкість і напрямок зміни результату, знаючи очікувану реакцію. У цій конструкції характеристика розімкнутого циклу використовувалася для керування вихідним сигналом замкнутого циклу.

Вхідними даними для НР є помилка (e) і зміна помилки (Δ). Обидві змінні розподілені з відповідними мітками в різні нечіткі набори. Нечіткі змінні визначаються на основі необхідних значень у всесвітах дискурсу. Ці кроки також виконуються для операції керування, позначеної як Δ на рис. 2.4.

Після того, як вхідні та вихідні дані були нечіткі, розробляються

нечіткі правила на основі інтуїтивних знань і досвіду користувача (також методом проб і помилок). Потім система моделюється для збереження бази даних правил у пам'яті контролера. Після оцінки всіх вхідних і вихідних варіантів у всесвіті дискурсу НР створює таблицю пошуку (LUT) для подальшого використання, а не перераховує їх у кожному регулюючому циклі. Подальші процеси НР виконуються протягом мілісекунд [19].

Коли доступний дефазійований вихід Δ або z^* , система керування НР надсилає сигнал установці (світлодіодна стрічка освітлення), як на рис. 2.4. Світлодіодний освітлювальний світильник містить виконавчий механізм (світлодіодний драйвер) і світлодіоди. Внутрішні шуми та зовнішнє освітлення, внесені як перешкоди світлодіодним драйверним модулем, усуваються НР шляхом виправлення помилок. Алгоритм керування реалізований на практиці в безперервному циклі для регулювання потужності освітлення.

У цьому випадку вхідними даними для НР є світло кімнати та спектр світла цілі. НР розподіляє ці змінні у відповідні значення на різних нечітких наборах. Потім нечіткі змінні визначаються на основі необхідних значень у просторі рішень. Ці кроки також виконуються для виведення рівняння (2.24) математично представляє вхідну/вихідну змінну у нечітких функціях належності.

$$F = \sum \frac{\mu_U F(X)}{X}. \quad (2.24)$$

НР може передбачити результат на основі правил, визначених користувачами. У цій конструкції використовується метод виводу Mamdani Max-Min для генерації вихідної активності членства. Вони відомі як max-min композиційний оператор Мамдані [13]. RPi4 об'єднує активовані нечіткі змінні за допомогою оператора максимуму, щоб виконати це в системі керування з результатами композиційного оператора max-min. Інша

назва цього кроку — агрегування.

На рисунку 2.13 показано схематичне підключення системи керування, намальоване за допомогою програмного забезпечення Fritzing CAD.

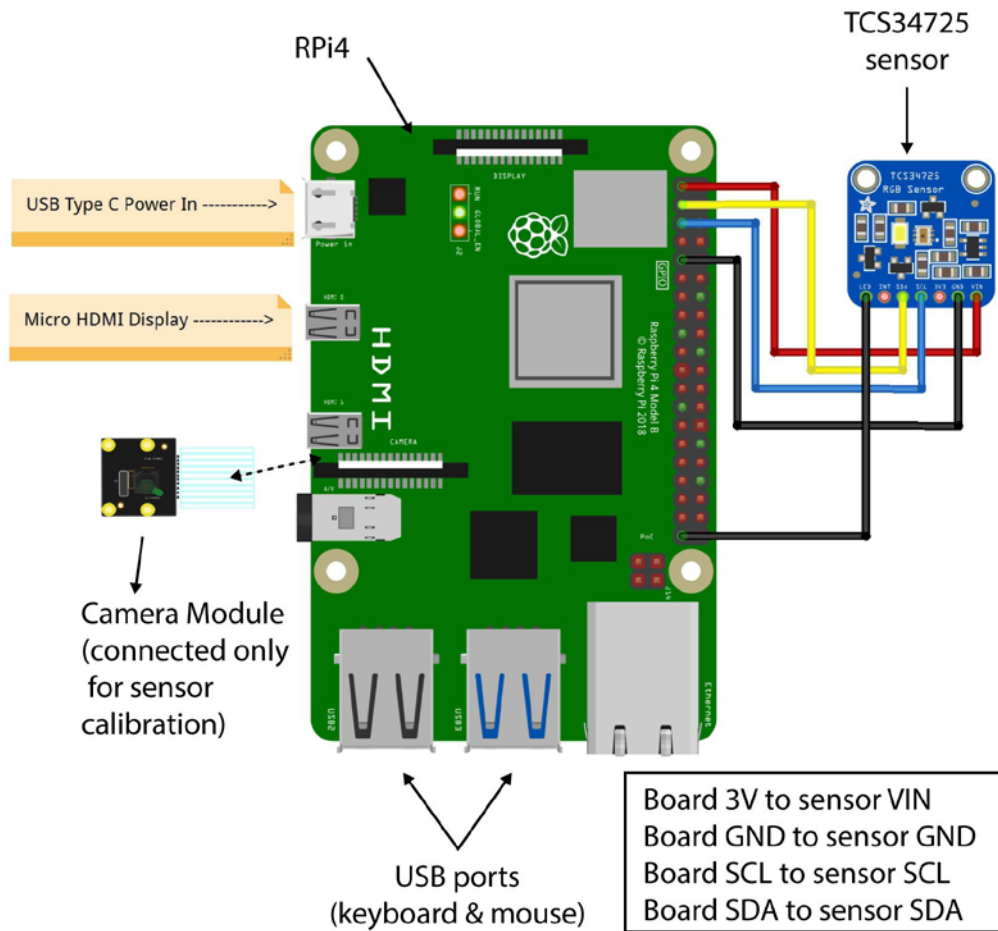


Рисунок 2.13 – Принципова схема системи керування освітленням

RPi4 встановлює вхідні значення (універсум дискурсу) для циркадного керування освітленням між нормалізованим значенням від 0 до 1. Отже, SST можна нормалізувати до значення від 0 до 1, коли логічний висновок виконується в блоці НР.

Після визначення об'єднаних функцій належності для виводу застосовується техніка дефазифікації, щоб отримати чіткий (фактичний) вивід. Цей дизайн використовуватиме метод дефазифікації центроїда,

оскільки це найпопулярніший і фізично привабливий метод. рівняння (2.25) показує формулу для методу дефазифікації центроїда.

$$Z^* = \frac{\sum \mu_z(z) \cdot z}{\sum \mu_z(z)}. \quad (2.25)$$

У рівнянні (2.25), Z^* — чітке вихідне значення. μ_z — це вихідні значення членства, а z — чітке значення, що відповідає значенню функції належності.

Методи, описані для НР, використовуються за допомогою бібліотеки Python з відкритим кодом scikit-fuzzy [19, 42].

2.6 Світлодіодне освітлення

Регульовані світлодіодні стрічки RGB використовуються завдяки їх універсальності в роботі та дизайні. Світлодіодні стрічки вибирають там, де велика різноманітність кольорів може бути відображено в діапазоні CCT. Кожна стрічка складається зі світлодіодних чіпів WS2812B за технологією поверхневого монтажу (SMT). Світлодіодна стрічка WS2812B — це драйвер постійного струму з керуванням напругою [43].

Таблиця 2.4 – Вимоги до часу керування ШІМ для світлодіодної стрічки WS2812B

Логіка	Високий	Низький	Зауваження
Сигнал	терміни (нс)	терміни (нс)	
1	580	580	Толерантність з 1 μ s
0	220 - 380	580	Толерантність з 1 μ s
Скидання	-	>280 μ s	Фіксація 24 біти

Таблиця 2.5 – Екстракт бази даних довільного відображення CCT у часі

Час	CCT
00:00	2000,00
00.01	2006.25
...	...
12:00	6500,00
...	...
23.58	2012.50
23:59	2006.25

Таблиця 2.6 – Корельоване посилання на колір EN12464-1

Зовнішній вигляд кольору	Корельована колірна температура (CCT)
Теплий	< 3300 тис
Нейтральний	від 3300 К до 5300 К
Холодний	> 5300 тис

Колірна зміна контролюється шляхом передачі високочастотного ШІМ-сигналу через штифт керування. Керуючий ШІМ-сигнал регулюється шляхом дотримання процедур, визначених у таблиці даних пристрою, для генерації бажаного виходу.

Світлодіодні освітлювальні стрічки з вбудованим драйвером типу WS2812B адресні. Світлодіодами можна керувати індивідуально для рівнів кольору та яскравості за допомогою цієї адресної властивості. Наприклад, шістдесят різних кольорів можна створити за допомогою 60 світлодіодних мікросхем на смузі довжиною один метр.

Кожна світлодіодна мікросхема на смузі, позначеній як піксель, містить три суб-світлодіоди червоного, зеленого та синього кольорів,

виготовлені разом, як показано на рис. 2.14.

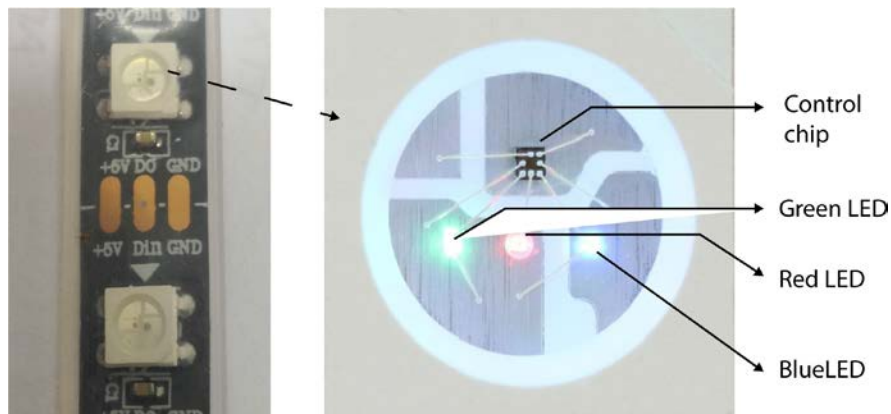


Рисунок 2.14 – Світлодіодна збірка WS2812B крупним планом.

Кожен піксель має розмір 5 мм х 5 мм і живиться від джерела живлення 5 В постійного струму. Він також містить вбудований драйвер керування міні-схемою. Колір і яскравість кожного світлодіода контролюються за допомогою протоколу послідовного зв'язку, де 24-бітний пакет даних кадру надсилається у форматі ШІМ. 24-бітний кадр має три канали по одному байту на канал для керування кольором (R, G, B). Кадр даних кодується послідовністю GRB, як показано на рис. 2.15 [43]. Для кожного байта (8 біт) даних, наприклад, зеленого каналу, G7 є старшим бітом порівняно з G0, який є молодшим бітом для значення яскравості.

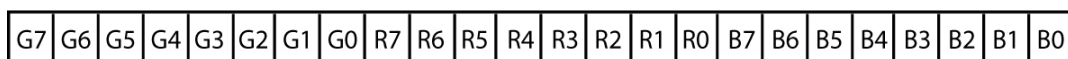


Рисунок 2.15 – Кадр даних GRB на піксель (24 біта)

Схема кодування без зворотного нуля (NRZ) використовується в послідовному інтерфейсі, де сигнали 0 і 1 характеризуються прямокутним сигналом фіксованої частоти шляхом зміни робочого циклу. Різниця між 0 і

1 є тривалістю часу для високого та низького стану сигналу ШІМ. Для робочого циклу $1,25 \mu\text{с}$ довго (800 кГц), необхідний час утримання для формування Сигнал «низький 0» і сигнал «високий 1» наведено в таблиці 2.4. 24-бітний кадр може керувати лише одним пікселем. Якщо на смужі 12 пікселів, то в пакеті надсилається $12 \times 24 \text{ біти} = 288 \text{ бітів}$. Кожні 24 біти відокремлені таймером-фіксатором, де лінія даних містить а низький сигнал для $280 \mu\text{с}$, що вказує на повний піксель на смужку. Низький сигнал $280 \mu\text{с}$ є критичним для фіксації перед отримання наступного кадру даних.

Об'єднавши кадри даних, світлодіодні пікселі можуть відображати $256 \times 256 \times 256 = 16\,777\,216$ кольорів. Залежно від вимог користувача, максимальне значення 256 [0-255] бітів обрізається, щоб додати контроль яскравості для кожного пікселя. При цьому пікселі матимуть менший вибір кольорів. Наприклад, якщо максимальна яскравість становить 100% (255), встановлення значення яскравості 50% обмежить максимальну кількість бітів на субпіксель до 127 бітів, у результаті $127 \times 127 \times 127 = 2\,048\,383$ кольорів. Проте властивість кольору джерела (кольоровість) усе ще зберігається завдяки співвідношенню змішування RGB і спричиняє втрату лише яскравіших варіантів кольору. Оскільки в діапазоні від 2000 К до 7000 К ССТ існує лише 5000 різних варіацій кольорів, це обмеження не стосується циркадного освітлення через регулювання ССТ. Енергозбереження також спостерігається, оскільки урізаний робочий цикл ШІМ має менше старших бітів, що призводить до нижчого енергоспоживання.

2.7 Циркадне керування для бажаного (цільового) ССТ

Ідеальна система керування освітленням ССТ повинна мати щонайменше два датчики, які діють як еталон (бажаний або цільовий) і

мають вихідний зворотний зв'язок вимірювання. Вони повинні бути розміщені: один зовні (зовнішній) для фіксації фактичного спектру зовнішнього освітлення, а другий – у приміщенні для вимірювання простору освітлення. Однак завдяки обмеження апаратного забезпечення міні-комп'ютера RPi4, яке дозволяє підключати лише один датчик для послідовного інтерфейсу, довільна таблиця пошуку посилань у формі бази даних була побудована як таблиця 2.5.

Single Loop Test of FLC for Circadian Lighting

Target CCT: 4954 RGB: [221 208 174] CIE x, y: (0.3478, 0.3672) Y: 0.64	Room CCT: 3444 RGB: [219 172 107] CIE x, y: (0.4139, 0.4056) Y: 0.46	corrFLC CCT: 3980 RGB: [248 210 152] CIE x, y: (0.3849, 0.3898) Y: 0.69	FINAL CCT: 4140 RGB: [237 204 153] CIE x, y: (0.3776, 0.3856) Y: 0.64
--	--	---	---

Рисунок 2.16 – Випробування одним контуром контролера освітлення

Період відображення бази даних у SST спочатку генерується та зберігається в пам'яті комп'ютера. Дисперсія SST від 00:00 годин до 23:59 годин екстраполюється у зростаючому та спадному режимі між 2000 К до 6500 К і назад до 2000К. Витяг форми бази даних зведено в табл 2.5 . Діапазон від 2000 К до 6500 К вибрано відповідно до точності формули Маккемі (2856 К до 6500 К) і практичних причин [38 , 44].

Наведена вище база даних означає припущення та рівномірно впорядковану циркадну синхронізацію SST із часовою позначкою в один день. Хоча значення в табл 2.5 не представляє жодного реального випадку, вони вважаються достатніми для цілей моделювання на основі припущення, що рівномірний SST і часовий домен охоплюють усі екстремуми. Однак відображення часу SST в табл 2.5 може бути змінено та змінено залежно від географічного положення і сезонні коливання або замінити іншим

датчиком. Крім того, припущення не впливає на функціональність запропонованої системи керування освітленням. Здатність виробляти освітлення та висвітлювати внутрішній простір за допомогою циркадної синхронізації CCT підкреслює комфорт мешканців.

На рисунку 2.17 зображено приклад типового асортименту CCT, який пропонує виробник освітлювальних приладів, які доступні сьогодні на ринку [45].

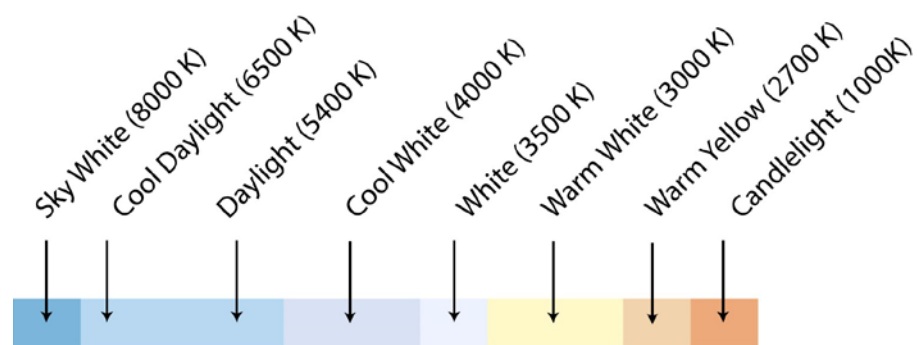


Рисунок 2.17 – CCT та їх традиційне маркування OSRAM SYLVANIA

Однак, відповідно до стандарту EN12464-1, більш точне маркування CCT та їх маркування визначено, як підсумовано в табл. 6 [46]. Хоча нездатність нашого зору бути чутливим до різноманітних кольорів у цьому діапазоні (рис. 2.17), критичним фактором є вміст довжини хвилі в спектрі світла, який впливає на настрій, комфорт і самопочуття користувача - NIF ефекти освітлення.

2.8 Висновок по розділу

Циркадне освітлення – це освітлення, яке відповідає характеристикам природного освітлення, яке впливає на режим сну та неспання людини. Поєднання штучного освітлення відповідно до характеристик природного зовнішнього освітлення за допомогою варіацій CCT покращує комфорт і

благополуччя мешканців (ефект NIF). НР використовувався для регулювання освітлення з певними характеристиками з точки зору вмісту кольору (SPD спектр). НР є економічно ефективним, простим у застосуванні або розробці та універсальним. Він потребує незначного налаштування під час перенесення з однієї системи на іншу. У системі керування із замкнутим контуром НР було запрограмовано на повторення характеристик природного освітлення що відповідає позначці часу в добу. Для моделювання системи була розроблена база даних часу ССТ. Виконання реплікації циркадного освітлення полягало в перетворенні виявленого освітлення в тристимульні значення CIE XYZ, які пізніше можна було конвертувати у формат RGB, який світлодіодні світильники можуть інтерпретувати та відтворювати. За оцінками, відхилення ССТ від області білого світла становило менше 1%, тоді як характеристики відповіді контрольної системи були чудовими. Результати моделювання показали, що компенсований ССТ регулював кінцевий ССТ кімнати відповідно до бажаного ССТ. Методологію можна адаптувати та розширити до широкомасштабних додатків із спектрометричними датчиками.

					<i>ХНУ151.КРМ.23.01 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		68

3 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КОНТРОЛЕРА НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ СВІТЛОДІОДНОГО АВАРІЙНОГО ОСВІТЛЕННЯ

3.1 Процедура моделювання

Моделювання виконується шляхом оцінки продуктивності розробленої системи керування за допомогою програмного забезпечення сценаріїв Python. Динаміка системи НР програмується в RPi4, а дані, що зберігаються в його пам'яті, використовуються для зовнішнього аналізу [19]. Тест-апаратура є розміщені в центрі тестової кімнати, як показано на рис. 3.1 [32].

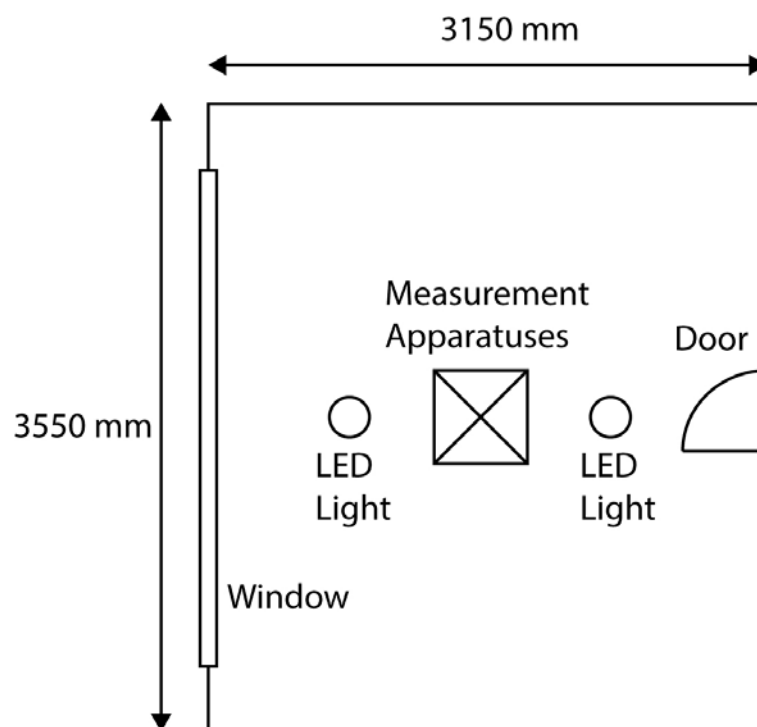


Рисунок 3.1 – Тестовий апарат у випробувальній кімнаті

Датчик буде вимірювати навколишнє освітлення в кімнаті незалежно від часу та архітектурних особливостей. Коли система завершила кілька циклів компенсації, дані, такі як SPD і CCT витягується з RPi4 і аналізується на окремому комп'ютері.

Таблиця 3.1 – Нечіткі входні змінні з трьома нечіткими наборами (N, Z, P)

$e/\Delta e$	N	Z	P
N	N	N	Z
Z	N	Z	P
P	Z	P	P

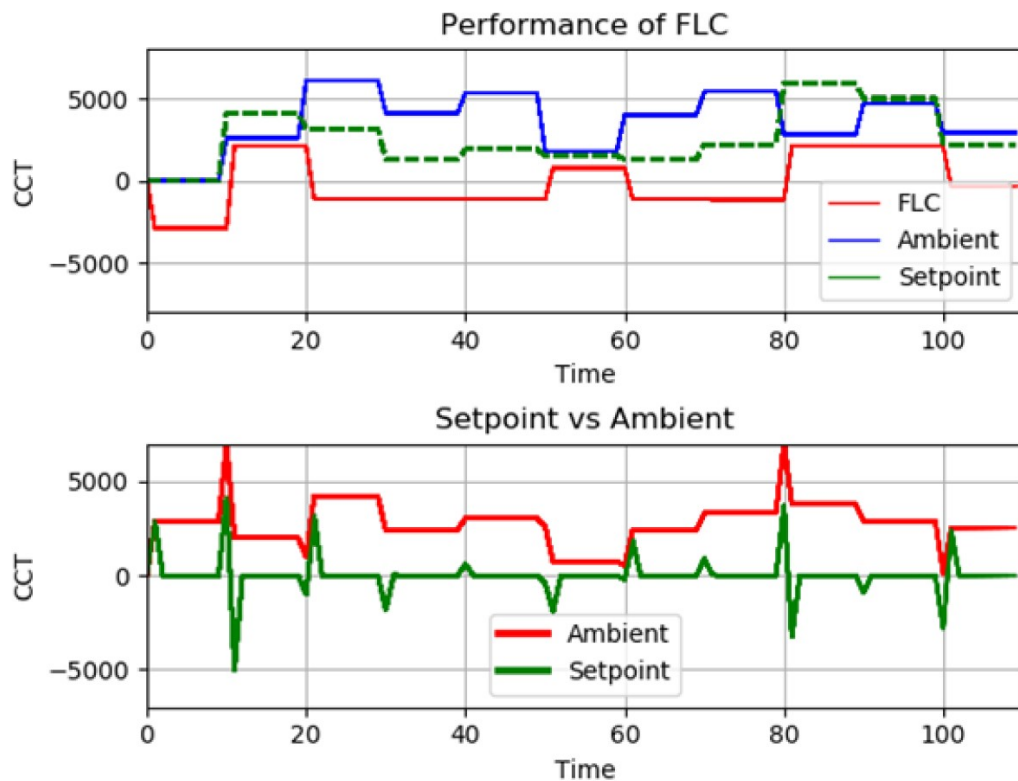


Рисунок 3.2 – Реакція компенсації НР
(3x3 входи проти 3 наборів нечітких виходів)

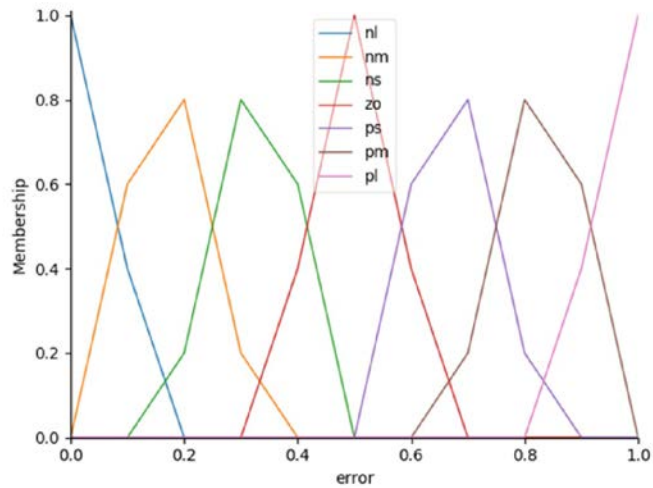


Рисунок 3.3 – Фазифікація вхідних даних до 7 нечітких наборів

Збереженими даними є вимірювання датчика, база даних часу ССТ, ССТ з компенсацією НР і координати кольоровості. Потім ці значення наносяться на діаграми для оцінки продуктивності системи керування.

3.2 Дослідження обладнання

З метою оцінки концепції дизайну було створено обладнання, що охоплює три модулі, а саме модуль датчика, модуль обробки даних і вихідний модуль світлодіодного освітлення.

На рисунку 3.4 зображено вихідні характеристики контролера під час роботи одного циклу. Цільовий зразок кольору було встановлено випадковим чином на рівні 4954 К. Параметри зразка кольору кімнати корелюють із вимірюваннями датчика кольору RGB. Колір було перетворено у форму відображення RGB. Команда від контролера системи НР називається «colorHP», тобто колір, який контролер наказує відображати світлодіодному освітленню.

НР має на меті зіставити «Цільовий» і «Остаточний» зразки через кілька циклів. Через змішування кольорів кімната зрештою відобразиться як зразок кольору, позначений як «Остаточний». Однак після виконання

кількох циклів через техніку виправлення помилок системи керування властивості кольору «Остаткового» зразка збігатимуться та відповідатимуть вимогам «Ціль». «Остаточний» зразок — це додавання спектральних даних між спектрами «Кімната» та «сортHP », які були отримані як такі. Перетворення з параметрів CIE xуY на RGB також призводило до значень, що виходять за межі діапазону, у деяких випадках, що вимагало відсікання максимальних і мінімальних значень до значень від 0 до 1.

Для визначення кількості нечітких наборів, необхідних для кожного входу, використовувався метод проб і помилок. Як показано на рис. 3.2 , початкова оцінка з трьома помилками та зміною помилок призвела до недостатньої ефективності системи контролю. Діапазон вхідних змінних був розділений порівну, як у табл 3.2. Застосовуються скорочення: N – негативний, ZO – нульовий, P – позитивний, S – малий, M – середній і L – великий. Значення в полі таблиці представляють наслідки кожного правила.

Таблиця 3.2 – Нечіткі вхідні змінні, яким присвоєно нечіткі набори 7×5 (NL, NM, NS, ZO, PS, PM, PL)

e/Δe	NL	NM	NS	ZO	PS	PM	PL
NS	NL	NL	NM	ZO	PS	PM	PL
ZO	NL	NM	ZO	PS	PM	PL	PL
PS	NM	ZO	PS	PM	PL	PL	PL
PM	ZO	PS	PM	PL	PL	PL	PL
PL	PS	PM	PL	PL	PL	PL	PL

Для матриці правил 3×3 червона лінія на верхньому графіку на рис. 2.20 зображено вихідний сигнал HP порівняно з навколишнім середовищем (кімната) і параметрами заданого значення. Вихід компенсації HP (червона

лінія) слідує за заданим значенням і компенсує похибки навколишнього середовища, що призводить до прийнятної продуктивності. Однак продуктивність відстеження можна ще покращити. Наприклад, між відносним інтервалом часу від 20-ї до 50-ї ітерації червона лінія (НР) здається статичною для незначних змін заданого значення та даних навколишнього середовища. У фактичній продуктивності вихід з контролера є хвилинним.

Використовуючи 7×5 наборів нечітких входів і виходів, як показано в табл 3.3 продуктивність НР додатково оптимізована та покращена. Рішення використовувати набори 7×5 базується на випробуваннях і досвіді. Рисунок 3.4 зображує набори фазифікації для входних даних. Форма функції належності подібні для $error$, Δe і вихід Δu .

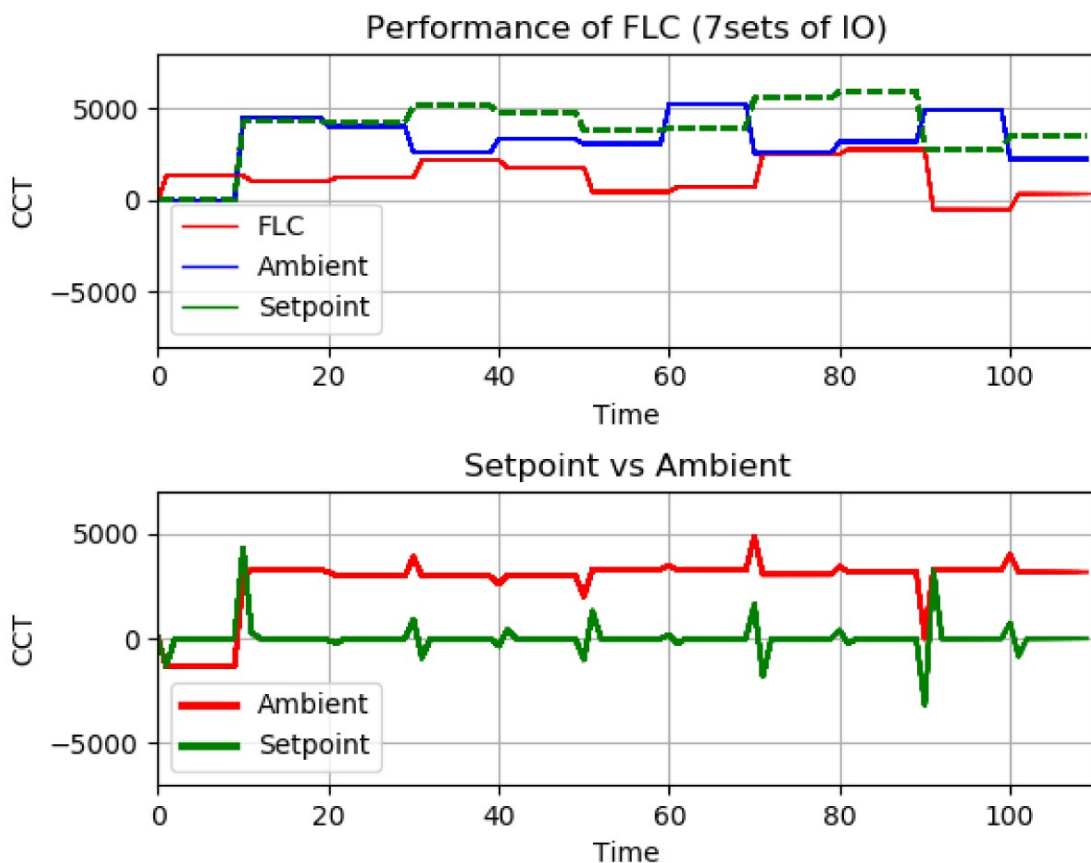


Рисунок 2.22 – Відповідь компенсації НР
(7×5 входів + 7 вихідних нечітких наборів)

Реакція НР покращилася на рис. 3.4 , де червона лінія треки для корекції змін заданого значення та навколишнього середовища вимірювання, як рис. 3.3 . Однак незначні зміни і відхилення суттєво враховуються. Наприклад, червона лінія (НР) відстежує зміну вхідних даних від відносного часу 50-ї до 70-ї ітерацій.

На рисунку 3.5 показано продуктивність НР при моделюванні на безперервних множинних відкритих контурах. Під час симуляції «остаточний» ССТ успішно відстежує «цільовий» або бажаний ССТ з невеликою помилкою щоразу, коли цільовий ССТ перевищує ССТ кімнати.

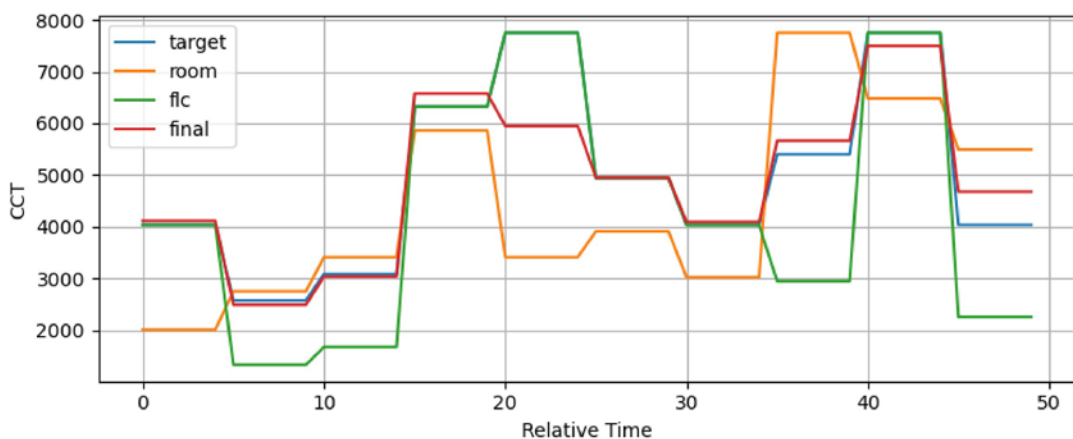


Рисунок 3.5 – Продуктивність НР в імітованих безперервних відкритих циклах

Помилка пов'язана з процесом перетворення SPD у ССТ за допомогою формули Маккемі та перетворення RGB, які є нелінійними. Насправді, формула Маккемі не підходить для величин ССТ менше 2000 К, як буде обговорюватися в розділі 4.0. Крім того, рис. 2.23 висвітлює лише результати моделювання замість фактичних показань. Будуть стохастичні шуми, введені в систему для фактичного застосування, які будуть відхилятися від теоретичних результатів моделювання, викликаючи перерегулювання та перехідні процеси. У системах керування перерегулювання визначається як явище перевищення сигналу реакції керування порівняно з бажаним значенням. З іншого боку, перехідні процеси схожі на перерегулювання, однак вони мають повторювану

характеристику, яка надає сигналу відповіді, і може бути позитивною або негативною по відношенню до бажаного значення. Для вирішення проблеми відхилення використовується система контролера НР із замкнутим циклом використаний. НР визначатиме компенсацію для досягнення близьких до цільових значень, а замкнута система коригує незначні відхилення. Тим не менш, НР надійний для врахування великих відхилень.

Та сама матриця нечітких правил повторно використовується в замкнутому циклі з пропорційним підсиленням, встановленим на одиницю, для безперервного циклу з виправленням помилок. На рисунку 3.6 показано результати, але відповідь є прийнятною, оскільки стаціонарний стан досягається приблизно на 4-й ітерації (відносний час).

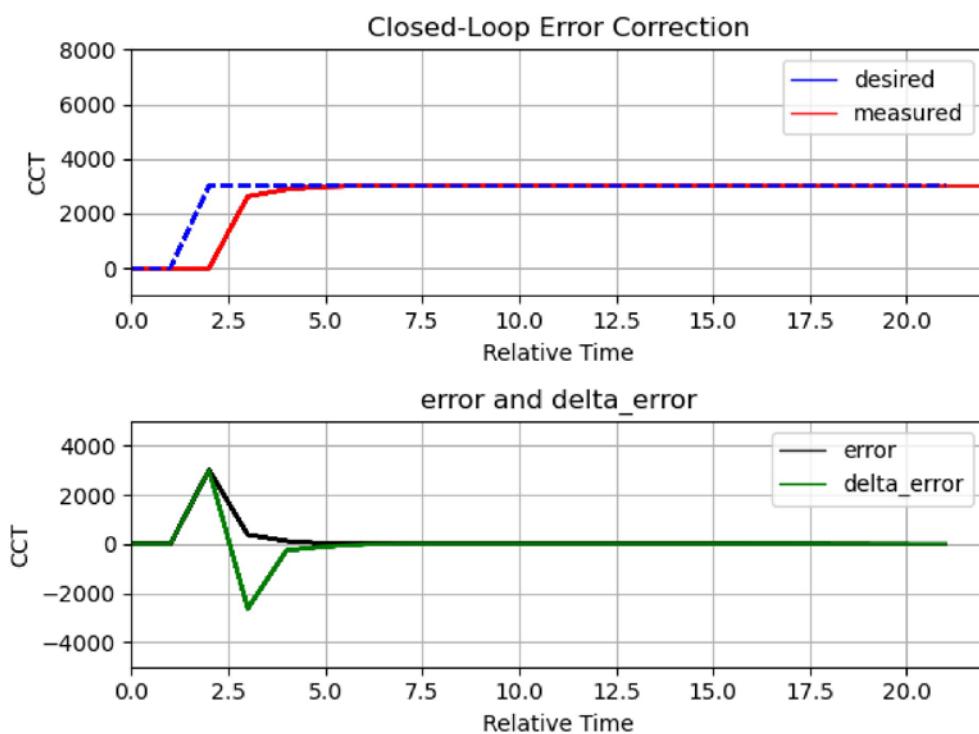


Рисунок 3.6 – Виправлення помилок у замкнутому циклі з єдиною метою

Таблиця 3.4 наведено в таблиці атрибути реакції замкнутого циклу. Продуктивність можна покращити для досягнення швидшого стаціонарного режиму шляхом інтеграції ПІД-регулятора в гібридну замкнуту систему.

Таблиця 3.4 – Атрибути відповіді замкнутого циклу

Атрибути	Значення
Бажане значення (К)	3000
Час наростання (с)	1
Час відстоювання (с)	4
Мінус осідання (К)	2882,54
Макс осідання (К)	3000,00
Перевищення (%)	0,0
Недобір (%)	0,0
Пікове значення (К)	3000,00
Час пік (с)	20,0
Стаціонарне значення (К)	3000,00

Інтеграція ПД виходить за рамки цього дослідження та є ідеєю для майбутніх робіт. На рисунку 3.7 показаний тестовий запуск кількох різних бажаних значень.

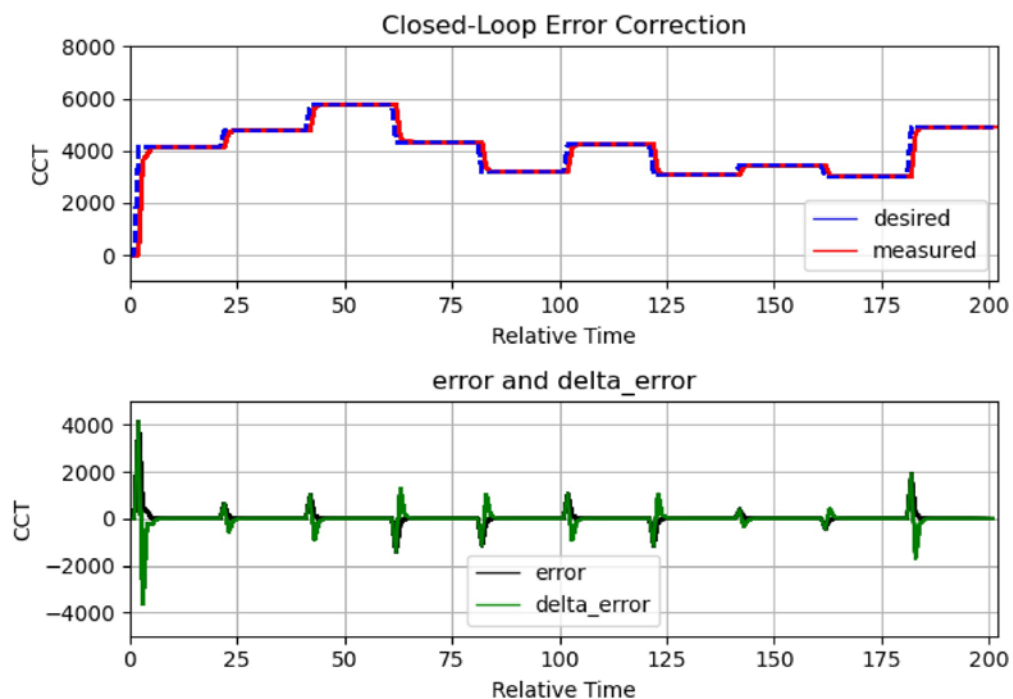


Рисунок 3.7 – Виправлення помилок у замкнутому циклі з кількома цілями

Система HP із замкнутим циклом була достатньо надійною, щоб відстежувати бажане значення.

Сигнали були передані з міні-комп'ютера на світлодіодні стрічки після створення прототипу світлодіодного освітлення для оцінки та моделювання чіткої передачі кольорів. Таблиця 3.5 нижче містить деякі значення CCT до RGB, розрахованих за допомогою попередніх методів. Похибка Div знаходиться в межах $\pm 0,003$, що означає, що кольори знаходяться в межах біла область.

Таблиця 3.5 – Значення CCT і RGB, розраховані з міні-комп'ютера

CCT (К)	RGB Розраховано	CCT Перетворення	CCT Помилка (%)	Div Помилка
2000 рік	[255, 135, 15]	1981.30	0,935	$-3,063e^{-7}$
3000	[255, 183, 108]	3004,86	-0,162	$-4,310e^{-7}$
3500	[255, 198, 139]	3509,94	-0,284	$-4,385e^{-7}$
4500	[255, 221, 188]	4505,71	-0,127	$-4,076e^{-7}$

На рисунку 3.8 показано коротку світлодіодну стрічку, яка була оцінена та може відтворювати від теплих (перше зображення) до холодних (друге зображення) кольори, а також комбінації теплих і холодних кольорів (третє зображення).



Рисунок 3.8 – Світлодіодна стрічка освітлення, що створює змінні тони кольорів

Три основні кольори, червоний, зелений і синій, відображаються на крайньому правому зображенні. Детальний сценарій тестування системи керування освітленням з даними наведено в табл 3.6 нижче.

Таблиця 3.6 – Приклад розрахунку та обробки даних Smart Lighting

Місцезнаходження	Кімната
Площа	11,2 м ²
Довільний час	18:00
ССТ цілі	4250 тис
ССТ кімнати (показ датчика)	4000 К
ССТ HP	4148 тис
RGB HP	[255, 198, 141]
HP CIE ху значення кольоровості	[x, y] = [0,3741, 0,3724]
<i>Div</i>	-1,422 x 10 ⁻⁴

Зовнішній вигляд світлодіодної стрічки оцінювали згідно з даними табл 3.6 , тобто для виведення 4148 К, як показано на рис. 3.9 .



Рисунок 3.9 – Світлодіодна стрічка освітлення, що виробляє 4148 К ССТ

На рисунку 3.10 показано спектр освітлювача D, створений протягом процесу компенсації нечіткої логіки відповідно до таблиці 3.6 , де «кінцевий» спектр щільно слідує за «цільовим» спектром.

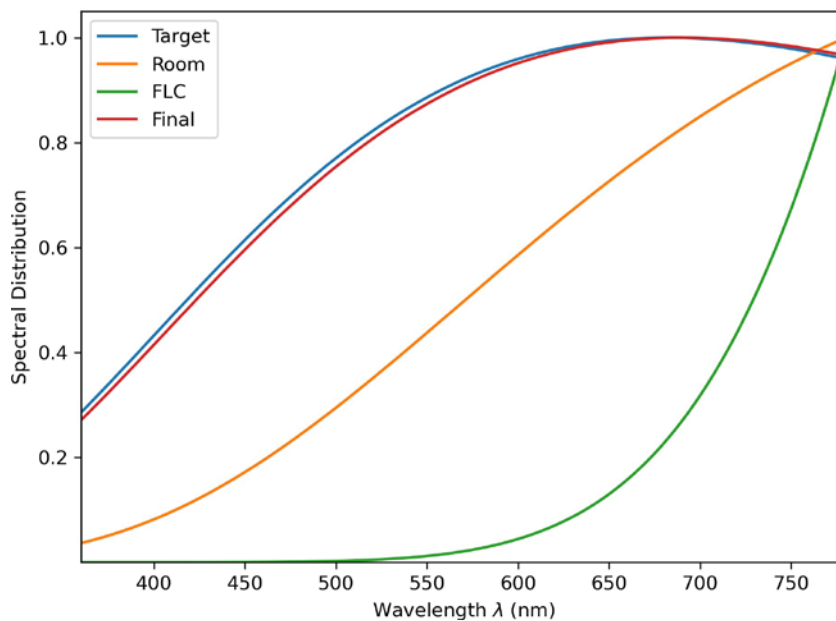


Рисунок 3.10 – SPD для різних параметрів освітлення в процесі компенсації НР

3.3 Результати моделювання

Застосування НР для маніпулювання спектрами освітлення вважається доцільним через характеристики самого освітлення, де існує нечіткість. Оскільки з'являється різне небажане заважаюче освітлення, система НР може вирішити цю проблему, оскільки моделювання та визначення функції передачі процесу не потрібні. Щоб мати набагато кращу реакцію, гібридна інтеграція між системою ПІД і НР може бути більш надійною для точності вихідних даних системи керування. Крім того, це може бути міркуванням для майбутніх робіт.

На початковому етапі дослідження та планування проекту планувалося використати ідею використання зовнішніх датчиків замість таблиці 2.5 база даних ССТ з фіксованим часом. Однак через обмеження мінікомп'ютера лише з одним послідовним виводом синхронізації (SCL) і послідовним виводом даних (SDA) можна використовувати лише один

датчик. Таким чином, зовнішні характеристики CCT були довільно визначені, щоб мати повний діапазон CCT, розподілених протягом 24 годин.

Таким чином, додати ще один датчик (чи більше) через інтерфейс зв'язку I²C (послідовний) неможливо. Одним із способів подолання є каскадування кількох RPi4 (мінікомп'ютерів), приєднаних до одного датчика, і кожен з них пов'язаний із центральним RPi4. Такий підхід вважається дорогим і виснажливим, але здійсненим шляхом додаткового налаштування плати RPi4 і розглядається для майбутніх робіт.

З іншого боку, згенерований SPD через рівняння Планка нагадує спектр D освітлювача CIE. Хоча існує приблизне рівняння моделювання для створення SPD з координат кольоровості CIE x_u , у цьому дослідженні використано рівняння Планка, оскільки в майбутньому планується інтегрувати кілька спектрометричних датчиків, які могли б вимірювати повне спектральне опромінення зовнішнього та освітленого простору [17, 29, 40]. Коли це стане можливим, система НР може почати компенсувати кожну інтенсивність довжини хвилі окремо замість усереднених окремих параметрів, таких як CCT. Поточна конструкція максимізувала економічну ефективність і зосереджена на компенсації НР. Таким чином, справжня реплікація SPD може бути створена за допомогою спектрометричних датчиків. Спектрометричні датчики для вимірювання зовнішньої SPD можна розміщувати на фасадах будівель або монтувати на даху. Цей план стає ідеєю для майбутньої роботи.

Хоча виправлення помилок за допомогою замкнутої системи показує чисті результати в моделюванні, дійсність формули Маккемі стає проблемою в практичних застосуваннях. Використання формул Маккемі, як у рівнянні (2.15) застосовується лише до діапазону від 1621 К до 34530 К. Оскільки помилка зменшується в наступних ітераціях, використання формули більше не є точним. Однак значення RGB, що виходять за межі діапазону, обрізаються, щоб вони були в межах гамми sRGB, що означає, що

екстремальний колір фіксується як білий або чорний. Однією з альтернатив є використання методу Робертсона [44] або методу Лі [47], який вимагає перетворення в інше середовище кольорного простору, а саме кольорний простір CIE 1960 UCS, але передбачає багато обчислень. Таким чином, ці обмеження можуть бути розглянуті для майбутніх робіт.

Приклад такого дизайну можна застосувати в адміністративних приміщеннях. На рисунку 3.9 показана схема адміністративного приміщення, налаштованого для застосування запропонованої системи. Дослідження показали, що введення циркадного освітлення покращило психічний стан співробітників [9, 48]. Застосування циркадного освітлення концентрує увагу, зменшує помилки персоналу [49–51].

На рис. 3.11 в приміщення впровадили світлодіодне освітлення з датчиками. Приміщення можна зонувати, і в кожній зоні може бути застосована окрема ССТ. Наприклад, Grid C1 має теплі кольори, тоді як Grid F5 має холодні кольори. Блок керування (RPi4) може чітко керувати кожним пікселем світлодіодної стрічки освітлення, щоб відтворювати кольори відповідно до потреб співробітників.

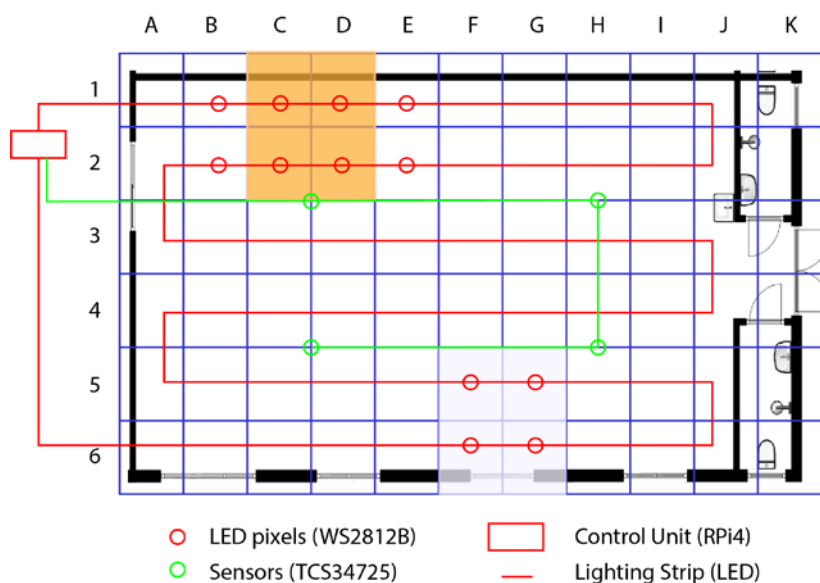


Рисунок 3.11 – Стратегія застосування системи освітлення HP

3.4 Висновок по розділу

У даному розділі описана система керування освітленням, яка використовує нечітку логіку для синхронізації штучного освітлення з природним. Така система може бути корисною для поліпшити реакцію і загальне самопочуття людей.

Освітлення впливає на циркадні ритми людини, які регулюють сон, настрої і інші функції організму. У минулому для регулювання спектрального складу освітлення використовувалися системи пропорційно-інтегрально-диференційні (ПІД), але вони були складними і не завжди давали точні результати.

Запропоновано новий підхід, який використовує нечітку логіку. Нечітка логіка дозволяє системам приймати рішення на основі нечітко визначених умов. У цьому випадку нечітка логіка використовується для регулювання температури кольору освітлення відповідно до часу доби.

Проведено моделювання системи, яке показало, що вона може точно відтворити характеристики природного освітлення. Система також не викликає перевантаження і швидко досягає сталого стану.

Такий підхід можна вдосконалити, щоб зробити його більш точним і адаптивним до індивідуальних потреб людей. Наприклад, можна додати датчики для фіксації температури кольору природного освітлення і використовувати ці дані для більш точного регулювання штучного освітлення.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена питанням розробки комп'ютеризованої системи керування аварійним освітленням адміністративної будівлі, що забезпечувала б комфортні умови для дій персоналу у разі виникнення нештатних ситуацій. В результаті було виконано наступні завдання:

1. Виконано аналіз сучасних підходів до автоматизації процесів керування освітленням. Розглянуто цифрові інтерфейси та методи забезпечення комфортних умов освітлення. Визначено шляхи удосконалення з метою забезпечення оптимальних умов освітлення при мінімальних витратах енергії, що основані на циркадному підході.

2. Розроблено прототип системи керування аварійним освітленням, з використанням сучасних апаратних засобів. В якості апаратної платформи обрано мікрокомп'ютер Raspberry Pi4 із спектральним датчиком для організації зворотного зв'язку. Розглянуто можливість та обґрунтовано доцільність застосування методів нечіткої логіки для реалізації оптимального керування спектром та інтенсивністю аварійного освітлення, з метою врахування впливу зовнішніх факторів (джерел природного освітлення та відбитого світла).

3. Виконано моделювання системи керування освітленням із використанням контролера нечіткої логіки для технології світлодіодного аварійного освітлення, провести експериментальні дослідження, визначено ступінь впливу параметрів нечіткої системи керування на якість процесу.

Впровадження запропонованої системи автоматичного керування аварійним освітленням у адміністративній будівлі дозволяє створити комфортні умови освітлення, які відповідають вимогам норм та стандартів; покращити швидкість прийняття рішень у разі виникнення нештатних ситуацій; виключити людський фактор, який може призвести до помилок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Освітлення промислових об’єктів: Навч. посібник / Укл. Говоров П.П., Пилипчук Р.В., Токань А.І. та ін.– Тернопіль: Джура, 2008. – 388 с.
2. Правила улаштування електроустановок : ПУЕ. Розділ 6. Електричне освітлення : Міненерговугілля України : [Затв. 22.08.14]. – Київ : Міненерговугілля України, 2014.
3. Природне і штучне освітлення : ДБН В.2.5 – 28 – 2006 : Держбуд України : [Затв. 15.05.06: чинний з 1.10.2006.] – Київ. : Держ. комітет України з будівництва та архітектури, 2006. – 76 с.
4. P. Boyce, Human factors in lighting., 2nd ed., Taylor & Francis, 2003.
5. P.R. Mills, S.C. Tomkins, L.J.M. Schlangen, The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance, J. Circadian Rhythms. 5 (2007) 2.
6. M. Rossi, Circadian Lighting Design in the LED Era, Springer International Publishing, Cham, 2019.
7. X. Xuan, Study of indoor environmental quality and occupant overall comfort and productivity in LEED- and non-LEED-certified healthcare settings, Indoor Built Environ. 27 (2018) 544-560.
8. Y. Hua, A. Oswald, X. Yang, Effectiveness of daylighting design and occupant visual satisfaction in a LEED Gold laboratory building, Build. Environ. 46 (2011) 54-64.
9. Malaysia Carbon Reduction & Environmental Sustainability Tool V2, Kuala Lumpur, Malaysia, 2020.
10. Y. Zhu, M. Yang, Y. Yao, X. Xiong, X. Li, G. Zhou, N. Ma, Effects of Illuminance and Correlated Color Temperature on Daytime Cognitive

Performance, Subjective Mood, and Alertness in Healthy Adults, Environ. Behav. 51 (2019) 199-230.

11. P. Boyce, Review: The Impact of Light in Buildings on Human Health, Indoor Built Environ. 19 (2010) 8-20.

12. N.P. Hoyle, E. Seinkmane, M. Putker, K.A. Feeney, T.P. Krogager, J.E. Chesham, L.K. Bray, J.M. Thomas, K. Dunn, J. Blaikley, J.S. O'Neill, Circadian actin dynamics drive rhythmic fibroblast mobilization during wound healing, Sci. Transl. Med. 9 (2017) eaal2774.

13. M.J. Patyra, D.M. Mlynek, Fuzzy Logic: Implementation and Applications, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2012.

14. D.J. Norris, Beginning Artificial Intelligence with the Raspberry Pi, Apress, Berkeley, CA, 2017.

15. A.Q. Ansari, The basics of fuzzy logic: A tutorial review, Comput. Educ. Educ. GROUP-. 88 (1998) 5-8.

16. P.J. King, E.H. Mamdani, The application of fuzzy control systems to industrial processes, Automatica. 13 (1977) 235-242.

17. P. Singhala, D. Shah, B. Patel, Temperature Control using Fuzzy Logic, Int. J. Instrum. Control Syst. (2014).

18. M. Rasemabuzeid, N.E. Shtawa, Comparative Speed Control Study Using ПИД and fuzzy Logic Controller, Int. J. Comput. Sci. Electron. Eng. 2 (2014).

19. I. Chew, V. Kalavally, N.W. Oo, J. Parkkinen, Design of an energy-saving controller for an intelligent LED lighting system, Energy Build. 120 (2016) 1-9.

20. I. Chew, V. Kalavally, C.P. Tan, J. Parkkinen, A spectrally tunable smart LED lighting system with closed-loop control, IEEE Sens. J. 16 (2016) 4452-4459.

21. G. Cimini, A. Freddi, G. Ippoliti, A. Monteriù, M. Pirro, A Smart Lighting System for Visual Comfort and Energy Savings in Industrial and Domestic Use, *Electr. Power Components Syst.* 43 (2015) 1696-1706.
22. J. Warner, J. Sexauer, scikit-fuzzy, twmeggs, alexsavio, A. Unnikrishnan, G. Castelão, F.A. Pontes, T. Uelwer, pd2f, laurazh, F. Batista, alexbuy, W. Van den Broeck, W. Song, T.G. Badger, R.A.M. Pérez, J.F. Power, H. Mishra, G.O. Trullols, A. Hörteborn, 99991, JDWarner/scikit-fuzzy: Scikit-Fuzzy version 0.4.2, (2019).
23. Y.A. Almatheel, A. Abdelrahman, Speed control of {DC} motor using Fuzzy Logic Controller, in: 2017 Int. Conf. Commun. Control. Comput. Electron. Eng., IEEE, 2017.
24. J. Liu, W. Zhang, X. Chu, Y. Liu, Fuzzy Logic Controller for Energy Savings in a Smart LED Lighting System Considering Lighting Comfort and Daylight, *Energy Build.* 127 (2016) 95-104.
25. H.-T. Chen, S.-C. Tan, S.Y. Hui, Nonlinear dimming and correlated color temperature control of bicolor white LED systems, *IEEE Trans. Power Electron.* 30 (2014) 6934-6947.
26. A.T.L. Lee, H. Chen, S.-C. Tan, S.Y. Hui, Precise dimming and color control of LED systems based on color mixing, *IEEE Trans. Power Electron.* 31 (2015) 65-80.
27. S. Buso, G. Spiazzi, White light solid state lamp with luminance and color temperature control, in: XI Brazilian Power Electron. Conf., 2011: pp. 837-843.
28. H. Kim, J. Liu, H.-S. Jin, H.-J. Kim, An LED color control system with independently changeable illuminance, in: INTELEC 2009-31st Int. Telecommun. Energy Conf., 2009: pp. 1-5.
29. Y. Gao, H. Wu, J. Dong, G.Q. Zhang, Constrained optimization of multi- color LED light sources for color temperature control, in: 2015 12th China Int. Forum Solid State Light., 2015: pp. 102-105.

30. S. Muthu, F.J. Schuurmans, M.D. Pashley, Red, green, and blue LED based white light generation: issues and control, in: Conf. Rec. 2002 IEEE Ind. Appl. Conf. 37th IAS Annu. Meet. (Cat. No. 02CH37344), 2002: pp. 327-333.
31. J. Schanda, Colorimetry. understanding the CIE system., John Wiley & Sons, 2007.
32. I. Fryc, S.W. Brown, G.P. Eppeldauer, Y. Ohno, LED-based spectrally tunable source for radiometric, photometric, and colorimetric applications, Opt. Eng. 44 (2005) 111309.
33. RS-Components, Datasheet Raspberry Pi Model B, Raspberrypi.Org. (2019) 1.
34. TAOS, Datasheet - TCS34725 - Color Light-to-Digital Converter with IR Filter, (2012) 1-26. www.taosinc.com.
35. S.R. Perumal, and Faizal Baharum, Measurement, Simulation, and Quantification of Lighting-Space Flicker Risk Levels Using Low-Cost
36. {TCS}34725 Colour Sensor and {IEEE} 1789-2015 Standard, J. Daylighting. 8 (2021) 239-254.
37. P. Boyce, P. Raynham, The SLL Lighting Handbook, The Society of Light and Lighting, London, 2009.
38. A.E.F. Taylor, others, Illumination fundamentals, Light. Res. Center, Rensselaer Polytech. Inst. 22 (2000).
39. International Telecommunication Union, Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange BT Series Broadcasting service, Recomm. ITU-R BT.709-5. 5 (2002) 1-32. http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.709-5-200204- I!!PDF-E.pdf.
40. M. Bertalmio, Vision models for high dynamic range and wide colour gamut imaging: techniques and applications, Academic Press, 2019.

41. C. Poynton, Gamma FAQ--frequently asked questions about gamma, (2002).
42. C.S. McCamy, Correlated color temperature as an explicit function of chromaticity coordinates, Color Res. Appl. 17 (1992) 142-144.
43. Y. Ohno, Practical use and calculation of CCT and Duv, Leukos. 10 (2014) 47-55.
44. I. Fryc, S.W. Brown, Y. Ohno, Spectral matching with an LED-based spectrally tunable light source, in: Fifth Int. Conf. Solid State Light., 2005: p. 59411I.
45. T. Mansencal, M. Mauderer, M. Parsons, N. Shaw, K. Wheatley, S. Cooper,
46. J.D. Vandenberg, L. Canavan, K. Crowson, O. Lev, others, Colour 0.3. 16, Zenodo, Jan. 25 (2020).
47. P. Virtanen, R. Gommers, T.E. Oliphant, M. Haberland, T. Reddy, D. Cournapeau, E. Burovski, P. Peterson, W. Weckesser, J. Bright, S.J. van der Walt, M. Brett, J. Wilson, K.J. Millman, N. Mayorov, A.R.J. Nelson, E. Jones, R. Kern, E. Larson, C.J. Carey, \.Ilhan Polat, Y. Feng, E.W. Moore,
48. J. VanderPlas, D. Laxalde, J. Perktold, R. Cimrman, I. Henriksen, E.A. Quintero, C.R. Harris, A.M. Archibald, A.H. Ribeiro, F. Pedregosa, P. van Mulbregt, SciPy 1.0 Contributors, {SciPy} 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python, Nat. Methods. 17 (2020) 261-272.
49. World-Semi, WS2812B V5 5050 LED Datasheet, Worldsemi. (2019).
50. A.R. Robertson, Computation of Correlated Color Temperature and Distribution Temperature, J. Opt. Soc. Am. 58 (1968) 1528.
51. Osram Sylvania, Light can be white, white, white or white. white, (1995). EN 12464-1: 2011 Light and Lighting-Lighting of Work Places-Part 1: Interior Work Places, CEN Brussels, Belgium, 2011.

52. C. Li, G. Cui, M. Melgosa, X. Ruan, Y. Zhang, L. Ma, K. Xiao, M.R. Luo, Accurate method for computing correlated color temperature, *Opt. Express.* 24 (2016) 14066.
53. J.-H. Choi, L.O. Beltran, H.-S. Kim, Impacts of indoor daylight environments on patient average length of stay (ALOS) in a healthcare facility, *Build. Environ.* 50 (2012) 65-75.
54. L.J. McCunn, J. Wright, Hospital employees' perceptions of circadian lighting: a pharmacy department case study, *J. Facil. Manag.* 17 (2019) 422- 437.
55. T.L. Buchanan, K.N. Barker, J.T. Gibson, B.C. Jiang, R.E. Pearson, Illumination and errors in dispensing., *Am. J. Hosp. Pharm.* 48 (1991) 2137- 45.
56. M. Engwall, I. Fridh, L. Johansson, I. Bergbom, B. Lindahl, Lighting, sleep and circadian rhythm: An intervention study in the intensive care unit, *Intensive Crit. Care Nurs.* 31 (2015) 325-335.
57. Шуберт Ф. Е. Светодиоды / Ф. Е. Шуберт. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 488 с.
58. Говоров П. П. Теорія автоматичного керування: конспект лекцій з курсу / П. П. Говоров та ін. – Харків : ХНУМГ, 2012. – 221 с.
59. Вейнерт. Компания Philips. – Режим доступа : www.lighting.philips.com.
60. Говоров П. П. Освітлювальні електричні системи та мережі / П. П. Говоров, В. О. Перепечений, В. П. Говоров // ХНАМГ. – Харків :2009. – 227 с.
61. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування: підручник / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук – [2-ге вид., перероб. і доп.]. – Київ. : Либідь, 2007. – 656 с.

ДОДАТОК А

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ

"""

Реалізація циркадного освітлення.

Програма розраховує колірну температуру та яскравість, щоб синхронізувати світло, що змінює колір, із сприйнятною колірною температурою неба протягом дня. Це надає вашому оточенню більш природного відчуття з холоднішими білими кольорами в полудень і тепліші відтінки біля сутінків і світанку.

"""

```

import asyncio
import bisect
from datetime import timedelta

import voluptuous as vol

import homeassistant.helpers.config_validation as cv
import homeassistant.util.dt as dt_util
from homeassistant.components.light import ATTR_TRANSITION,
VALID_TRANSITION
from homeassistant.const import (
    CONF_ELEVATION,
    CONF_LATITUDE,
    CONF_LONGITUDE,
    SUN_EVENT_SUNRISE,
    SUN_EVENT_SUNSET,
)
from homeassistant.helpers.discovery import
async_load_platform
from homeassistant.helpers.dispatcher import
async_dispatcher_send
from homeassistant.helpers.event import (
    async_track_sunrise,
    async_track_sunset,
    async_track_time_change,
    async_track_time_interval,
)
from homeassistant.helpers.sun import get_astral_location
from homeassistant.util.color import (
    color_RGB_to_xy,
    color_temperature_to_rgb,
    color_xy_to_hs,
)

DOMAIN = "circadian_lighting"
CIRCADIAN_LIGHTING_UPDATE_TOPIC = f"{DOMAIN}_update"
SUN_EVENT_NOON = "solar_noon"

```

					ХНТЧ151.КРМ.23.01 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		90

```

SUN_EVENT_MIDNIGHT = "solar_midnight"

CONF_MIN_CT, DEFAULT_MIN_CT = "min_colortemp", 2500
CONF_MAX_CT, DEFAULT_MAX_CT = "max_colortemp", 5500
CONF_INTERVAL, DEFAULT_INTERVAL = "interval", 300
CONF_SUNRISE_OFFSET = "sunrise_offset"
CONF_SUNSET_OFFSET = "sunset_offset"
CONF_SUNRISE_TIME = "sunrise_time"
CONF_SUNSET_TIME = "sunset_time"
DEFAULT_TRANSITION = 60

CONFIG_SCHEMA = vol.Schema(
    {
        DOMAIN: vol.Schema(
            {
                vol.Optional(CONF_MIN_CT,
default=DEFAULT_MIN_CT): vol.All(
                    vol.Coerce(int), vol.Range(min=1000,
max=10000)
                ),
                vol.Optional(CONF_MAX_CT,
default=DEFAULT_MAX_CT): vol.All(
                    vol.Coerce(int), vol.Range(min=1000,
max=10000)
                ),
                vol.Optional(CONF_SUNRISE_OFFSET):
cv.time_period_str,
                vol.Optional(CONF_SUNSET_OFFSET):
cv.time_period_str,
                vol.Optional(CONF_SUNRISE_TIME): cv.time,
                vol.Optional(CONF_SUNSET_TIME): cv.time,
                vol.Optional(CONF_LATITUDE): cv.latitude,
                vol.Optional(CONF_LONGITUDE): cv.longitude,
                vol.Optional(CONF_ELEVATION): float,
                vol.Optional(CONF_INTERVAL,
default=DEFAULT_INTERVAL): cv.time_period,
                vol.Optional(
                    ATTR_TRANSITION,
default=DEFAULT_TRANSITION
                ): VALID_TRANSITION,
            }
        ),
    },
    extra=vol.ALLOW_EXTRA,
)

async def async_setup(hass, config) -> bool:
    """Set up the Circadian Lighting platform."""
    conf = config[DOMAIN]
    hass.data[DOMAIN] = CircadianLighting(

```

```

    hass,
    min_colortemp=conf.get(CONF_MIN_CT),
    max_colortemp=conf.get(CONF_MAX_CT),
    sunrise_offset=conf.get(CONF_SUNRISE_OFFSET),
    sunset_offset=conf.get(CONF_SUNSET_OFFSET),
    sunrise_time=conf.get(CONF_SUNRISE_TIME),
    sunset_time=conf.get(CONF_SUNSET_TIME),
    latitude=conf.get(CONF_LATITUDE,
hass.config.latitude),
    longitude=conf.get(CONF_LONGITUDE,
hass.config.longitude),
    elevation=conf.get(CONF_ELEVATION,
hass.config.elevation),
    transition=conf.get(ATTR_TRANSITION),
)
    await
hass.data[DOMAIN]._async_init(interval=conf.get(CONF_INTERVAL)
)
    hass.async_create_task(
        async_load_platform(hass, "sensor", DOMAIN, {},
config)
    )

    return True

```

```

class CircadianLighting:
    """Calculate universal Circadian values."""

    def __init__(
        self,
        hass,
        min_colortemp,
        max_colortemp,
        sunrise_offset,
        sunset_offset,
        sunrise_time,
        sunset_time,
        latitude,
        longitude,
        elevation,
        transition,
    ):
        self.hass = hass
        self._min_colortemp = min_colortemp
        self._max_colortemp = max_colortemp
        self._sunrise_offset = sunrise_offset
        self._sunset_offset = sunset_offset
        self._manual_sunset = sunset_time
        self._manual_sunrise = sunrise_time
        self._latitude = latitude

```



```

self._longitude = longitude
self._elevation = elevation
self._transition = transition

async def _async_init(self, interval):
    self._percent = await self.async_calc_percent()
    self._colortemp = await self.async_calc_colortemp()
    self._rgb_color = await self.async_calc_rgb()
    self._xy_color = await self.async_calc_xy()

    if self._manual_sunrise is not None:
        async_track_time_change(
            self.hass,
            self.async_update,
            hour=self._manual_sunrise.hour,
            minute=self._manual_sunrise.minute,
            second=self._manual_sunrise.second,
        )
    else:
        async_track_sunrise(self.hass, self.async_update,
self._sunrise_offset)

    if self._manual_sunset is not None:
        async_track_time_change(
            self.hass,
            self.async_update,
            hour=self._manual_sunset.hour,
            minute=self._manual_sunset.minute,
            second=self._manual_sunset.second,
        )
    else:
        async_track_sunset(self.hass, self.async_update,
self._sunset_offset)

    async_track_time_interval(self.hass,
self.async_update, interval)

    async def _async_replace_time(self, date, key):
        other_date = self._manual_sunrise if key == "sunrise"
else self._manual_sunset
        return date.replace(
            hour=other_date.hour,
            minute=other_date.minute,
            second=other_date.second,
            microsecond=other_date.microsecond,
        )

    async def _async_get_sun_events(self, date):
        if self._manual_sunrise is not None and
self._manual_sunset is not None:

```

```

sunrise = await self._async_replace_time(date,
"sunrise")
sunset = await self._async_replace_time(date,
"sunset")
solar_noon = sunrise + (sunset - sunrise) / 2
solar_midnight = sunset + ((sunrise +
timedelta(days=1)) - sunset) / 2
else:
    _loc = await
self.hass.async_add_executor_job(get_astral_location,
self.hass)
    if isinstance(_loc, tuple):
        # Astral v2.2
        location, _ = _loc
    else:
        # Astral v1
        location = _loc
    location.name = "name"
    location.region = "region"
    location.latitude = self._latitude
    location.longitude = self._longitude
    location.elevation = self._elevation

    if self._manual_sunrise is not None:
        sunrise = await self._async_replace_time(date,
"sunrise")
    else:
        sunrise = await
self.hass.async_add_executor_job(location.sunrise, date)

    if self._manual_sunset is not None:
        sunset = await self._async_replace_time(date,
"sunset")
    else:
        sunset = await
self.hass.async_add_executor_job(location.sunset, date)

    try:
        solar_noon = await
self.hass.async_add_executor_job(location.noon, date)
    except AttributeError:
        solar_noon = await
self.hass.async_add_executor_job(location.solar_noon, date)
    try:
        solar_midnight = await
self.hass.async_add_executor_job(location.midnight, date)
    except AttributeError:
        solar_midnight = await
self.hass.async_add_executor_job(location.solar_midnight,
date)

```

```

    if self._sunrise_offset is not None:
        sunrise = sunrise + self._sunrise_offset
    if self._sunset_offset is not None:
        sunset = sunset + self._sunset_offset

    datetimes = {
        SUN_EVENT_SUNRISE: sunrise,
        SUN_EVENT_SUNSET: sunset,
        SUN_EVENT_NOON: solar_noon,
        SUN_EVENT_MIDNIGHT: solar_midnight,
    }

    return {
        k: dt.astimezone(dt_util.UTC).timestamp() for k,
        dt in datetimes.items()
    }

    async def _async_relevant_events(self, now):
        events = []
        for days in [-1, 0, 1]:
            sun_events = await self._async_get_sun_events(now
+ timedelta(days=days))
            events.extend(list(sun_events.items()))
        events = sorted(events, key=lambda x: x[1])
        index_now = bisect.bisect([ts for _, ts in events],
now.timestamp())
        return dict(events[index_now - 2 : index_now + 2])

    async def async_calc_percent(self):
        now = await
self.hass.async_add_executor_job(dt_util.utcnow)
        now_ts = await
self.hass.async_add_executor_job(now.timestamp)
        today = await self._async_relevant_events(now)
        # Figure out where we are in time so we know which
half of the
        # parabola to calculate. We're generating a different
        # sunset-sunrise parabola for before and after solar
midnight.
        # because it might not be half way between sunrise and
sunset.
        # We're also generating a different parabola for
sunrise-sunset.

        # sunrise -> sunset parabola
        if today[SUN_EVENT_SUNRISE] < now_ts <
today[SUN_EVENT_SUNSET]:
            h = today[SUN_EVENT_NOON]
            k = 100
            # parabola before solar_noon else after solar_noon
            x = (

```

					XHTY151.KPM.23.01 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		95

```

        today[SUN_EVENT_SUNRISE]
        if now_ts < today[SUN_EVENT_NOON]
        else today[SUN_EVENT_SUNSET]
    )

    # sunset -> sunrise parabola
    elif today[SUN_EVENT_SUNSET] < now_ts <
today[SUN_EVENT_SUNRISE]:
        h = today[SUN_EVENT_MIDNIGHT]
        k = -100
        # parabola before solar_midnight else after
solar_midnight
        x = (
            today[SUN_EVENT_SUNSET]
            if now_ts < today[SUN_EVENT_MIDNIGHT]
            else today[SUN_EVENT_SUNRISE]
        )

        y = 0
        a = (y - k) / (h - x) ** 2
        percentage = a * (now_ts - h) ** 2 + k
        return percentage

    async def async_calc_colortemp(self):
        if self._percent > 0:
            delta = self._max_colortemp - self._min_colortemp
            percent = self._percent / 100
            return (delta * percent) + self._min_colortemp
        else:
            return self._min_colortemp

    async def async_calc_rgb(self):
        return await
self.hass.async_add_executor_job(color_temperature_to_rgb,
self._colortemp)

    async def async_calc_xy(self):
        rgb = await self.async_calc_rgb()
        return await
self.hass.async_add_executor_job(color_RGB_to_xy, *rgb)

    async def async_calc_hs(self):
        xy = await self.async_calc_xy()
        return await
self.hass.async_add_executor_job(color_xy_to_hs, *xy)

    async def async_update(self, _=None):
        """Update Circadian Values."""
        self._percent = await self.async_calc_percent()
        self._colortemp = await self.async_calc_colortemp()
        self._rgb_color = await self.async_calc_rgb()

```

```
self._xy_color = await self.async_calc_xy()
self._hs_color = await self.async_calc_hs()
async_dispatcher_send(self.hass,
CIRCADIAN_LIGHTING_UPDATE_TOPIC)
```

					<i>XHTY151.KPM.23.01 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		97