

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Підвищення енергоефективності освітлювальних установок шляхом впровадження Smart технологій

Виконав: студент 6 курсу, групи
ЕТМ-61 спеціальності 141
Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

Каплан Ю. Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Костик Л. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Мовчан Л. Т.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Гарасенко М. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Габрусєв Г. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль 2023

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Тарасенко М.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

студенту КАПЛАНУ Юрію Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення енергоефективності освітлювальних установок шляхом впровадження Smart технологій

Керівник роботи Костик Любов Миколаївна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 10 » листопада 2023 року № 4/7-1040

2. Термін подання студентом завершеної роботи 28.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Тип приміщення, його геометричні розміри, види зорових робіт, нормативні параметри світлового середовища

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз сучасних технологій інтелектуального керування системами освітлення

Аналіз факторів, які впливають на вибір схеми керування освітленням

Проект системи освітлення офісного приміщення

Система керування освітленням з врахуванням природного світла

Режими роботи освітлювальної установки при різних значеннях природного освітлення

Розрахунок економії електроенергії при застосуванні системи інтелектуального керування освітленням

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Схеми інтелектуального керування освітленням

Алгоритм розрахунку освітленості робочої площини

Проект освітлення офісного приміщення

Освітлення робочої площини при різних режимах роботи освітлювальної установки

Дані розрахунків економії електроенергії при застосуванні технологій Smart освітлення

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Гурик О.Я., к.т.н., доцент кафедри МТ		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Клепчик В. М., проректор з АГРБ		
Нормконтроль	Мовчан Л. Т., к.т.н., доцент каф. ЕІ		

7. Дата видачі завдання 11.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	
1.	Аналіз літератури по тематиці кваліфікаційної роботи	21.11.2023	
2.	Робота над аналітичною частиною	23.11.2023	
3.	Вибір системи інтелектуального керування освітленням офісного приміщення	28.11.2023	
4.	Проектування системи освітлення офісного приміщення	04.12.2023	
5.	Розробка схеми керування освітленням з врахуванням природного світла	04.12.2023	
6.	Моделювання режимів роботи освітлювальної установки при різних значеннях природного освітлення	09.12.2023	
7.	Розрахунок економії електроенергії при застосуванні системи інтелектуального керування освітленням	13.12.2023	
8.	Розробка заходів з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	17.12.2023	
9.	Оформлення пояснювальної записки	24.12.2023	
10.	Оформлення графічного матеріалу	24.12.2023	

Студент

_____ (підпис)

Каплан Ю.Ю.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Костик Л.М.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТм-61.- Тернопіль : ТНТУ, 2023.

Стор. 68 ; рис. 44; табл. 4; креслень(слайдів)- ...; джерел – 15; додатків -.

Кваліфікаційна робота виконана на підставі завдання на тему «Підвищення енергоефективності освітлювальних установок шляхом впровадження Smart технологій».

Мета роботи: дослідити Smart технології у системах керування освітленням, розробити та обґрунтувати проєкт освітлювальної установки офісного приміщення з використанням схем інтелектуального керування освітленням.

Ключові слова: РОЗУМНІ ТЕХНОЛОГІЇ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ, ОСВІТЛЕНІСТЬ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ПРИРОДНЄ ОСВІТЛЕННЯ, БЕЗДРОТОВИЙ ДАТЧИК ОСВІТЛЕНОСТІ.

ЗМІСТ

Вступ	6
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Розумний і безпечний будинок	8
1.2 Переваги та способи реалізації розумного освітлення	12
1.2.1 Smart лампи та світлові прилади	14
1.2.2 Smart пульти	16
1.2.3 Системи керування освітленням	17
1.3 Висновки до розділу 1	21
2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	22
2.1 Методи регулювання світлового потоку світлодіодних джерел випромінювання	22
2.1.1 Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ)	22
2.1.2 Аналогове затемнення	23
2.1.3 Цифрове затемнення	24
2.1.4 Метод ступінчастого регулювання	24
2.1.5 Змішування кольорів білих світлодіодів	26
2.1.6 Системи смарт-освітлення	26
2.2 Вибір технології автоматизованого керування освітлювальними установками	27
2.2.1 Характеристика основних способів керування освітленням	27
2.2.2 Датчики освітленості	30
2.2.3 Smart система керування освітленням із бездротовими фотодатчиками на робочій площині	32
2.2.4 Димінгування світильників за протоколом DALI	35
2.2.5 Дистанційне затемнення світлодіодних освітлювачів	43
2.3 Висновки до розділу 2	48
3. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	49
3.1 Характеристика приміщення	49
3.2 Вибір світильників	50

3.3	Режими освітлення	53
3.4	Розрахунок річного енергоспоживання при різних режимах освітлення	58
3.5	Висновки до розділу 3	60
4.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	61
4.1	Вимоги електробезпеки до освітлювальних установок	61
4.2	Правила техніки безпеки при експлуатації освітлювального обладнання	65
4.3	Робота з освітлювальними установками при надзвичайних ситуаціях	64
	Загальні висновки	66
	Перелік посилань	68

ВСТУП

Актуальність теми. В Україні діє Закон «Про енергоефективність будівель», основна мета впровадження якого є зменшення споживання електроенергії в будівлях. Приблизно 30% споживаної електроенергії у будівлях різного призначення припадає на освітлення, тому підвищення енергоефективності систем освітлення є актуальною проблемою, особливо в умовах відновлення та модернізації електроенергетичної системи країни. Одним із шляхів розв'язання задачі зменшення енергоспоживання із збереженням комфорту при виконанні зорових задач є впровадження сучасних технологій керуванням освітлювальними установками. Smart технології в освітленні можуть не тільки покращити енергоефективність освітлення, але й підвищити безпеку будівель, збільшити довговічність освітлювального обладнання, оптимізувати світлове середовище відповідно до різних потреб користувачів та умов навколишнього середовища.

Мета роботи: Дослідити Smart технології у системах керування освітленням, розробити та обґрунтувати проєкт освітлювальної установки офісного приміщення з використанням схем інтелектуального керування освітленням.

Для досягнення мети у роботі були поставлені і вирішені наступні **завдання:**

- проаналізовано сучасні технології інтелектуального керування системами освітлення;
- встановлено фактори, які впливають на вибір схеми керування освітленням;
- розроблено проєкт освітлення офісного приміщення та систему керуванням освітленням з врахуванням природного світла;
- змодельовано режими роботи освітлювальної установки при різних значеннях природного освітлення протягом робочого дня;
- розраховано економію електроенергії при застосуванні системи інтелектуального керування освітленням.

Об'єкт дослідження: Smart технології керування системами освітлення.

Предмет дослідження: бездротові схеми керування освітленням, параметри світлового середовища та їх взаємозв'язок.

Наукова новизна: дістала подальший розвиток технологія бездротової схеми керування освітленням з врахуванням денного світла при розміщенні фотодатчиків на робочій площині з вдосконаленим диммінгуванням світильників за протоколом DALI.

Практична цінність: У результаті розрахунків та моделювання освітлювальної установки офісного приміщення з системою інтелектуального керування освітленням з використанням природнього світла отримано економію електроенергії 20.5/12.5 % для одного сонячного/хмарного дня та понад 20% для одного року порівняно з системою освітлення з ручним керуванням.

Апробація результатів роботи. Отримані під час виконання кваліфікаційної роботи результати представлено на XII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (6-7 грудня 2023 р., Тернопіль, ТНТУ імені І.Пулюя) [1].

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Розумний і безпечний будинок

Поняття розумного і безпечного будинку відображає ідею використання сучасних технологій для забезпечення комфорту, ефективності та безпеки життя в домашньому середовищі. Розглянемо обидві сторони цього поняття.

Розумний будинок:

- автоматизація: використання сенсорів, датчиків і систем автоматизації для здійснення різних функцій вдома без прямого втручання користувача. Наприклад, автоматичне регулювання температури, освітлення, аудіосистеми тощо;
- комунікація: можливість взаємодії з будинком віддалено через смартфони, планшети або голосові асистенти. Це включає в себе керування пристроями, перегляд відео з камер, отримання повідомлень про стан будинку;
- енергоефективність: використання технологій для ефективного управління енергоспоживанням, таких як смарт-термостати, сонячні панелі та енергозберігаюче освітлення.

Безпечний будинок:

- системи безпеки: використання смарт-камер, датчиків руху, систем сигналізації та інших технологій для виявлення та захисту від потенційних загроз, таких як вторгнення або пожежа;
- віддалений моніторинг: можливість віддалено відслідковувати стан безпеки будинку через відеоспостереження чи системи оповіщення;
- аварійна реакція: автоматизовані системи, що реагують на надзвичайні ситуації, наприклад, автоматичне відключення газу або надсилання повідомлень службам безпеки.

Розумний і безпечний будинок може використовувати інтеграцію

розумних технологій для поліпшення комфорту та одночасно забезпечити надійний рівень безпеки. Основною метою є створення ефективного та інтелектуального середовища, яке враховує потреби та безпеку мешканців.

Для створення розумного та підключеного будинку використовують широкий спектр електронних компонентів, які взаємодіють між собою з метою забезпечення автоматизації, контролю, підключеності та можливостей взаємодії з користувачем. Вибір правильних компонентів відіграє ключову роль у реалізації бажаних функцій розумного будинку в модульному та налаштовуваному стилі.

Ключовими електронними компонентами для розумних будинків є:

- мікроконтролер - центральний орган системи розумного будинку, який обробляє вхідні дані від датчиків та інтерфейсів користувача перед керуванням підключеними пристроями. Популярні варіанти, такі як Arduino, Raspberry Pi та ESP8266, забезпечують програмоване управління та з'єднання в компактному форм-факторі. Різні моделі пропонують різні можливості в області обчислювальної потужності, обсягу пам'яті, інтерфейсів підключення та вимог до живлення;

- сенсори відіграють ключову роль у сучасних будинках, дозволяючи вимірювати різні параметри навколишнього середовища, такі як температура, рух, освітленість, вологість, дим, концентрація газів і т.д. Сенсори пасивного інфрачервоного випромінювання (PIR) використовуються разом із мікроконтролерами для виявлення руху та присутності людей у приміщенні. Ультразвукові сенсори вимірюють відстань за допомогою звукових хвиль і можуть використовуватися для створення карт приміщень. Газові сенсори, такі як MQ2, мають важливе значення для моніторингу якості повітря та виявлення витоків газів;

- для організації бездротового управління та взаємодії між пристроями використовуються бездротові модулі, такі як ESP8266, nRF24L01 та HC-05. Вони дозволяють встановлювати з'єднання через різні бездротові протоколи, такі як Wi-Fi, Bluetooth та інші. Ці модулі можуть взаємодіяти з мікроконтролерами,

надаючи можливість бездротового доступу до системи розумного будинку та підключених пристроїв, таких як камери безпеки, термостати, побутова техніка та інші;

- реле - це електромеханічні перемикачі, які використовуються для управління пристроями з великою напругою або струмом, такими як побутова техніка, ворота, двигуни та інші. Вони гарантують електричну ізоляцію між мікроконтролерними ланцюгами та системою високої потужності. Для забезпечення цієї ізоляції використовуються оптоелементи, що містять світлодіоди та фототранзистори. Твердотільні реле (SSR) використовуються для перемикання змінного струму та можуть керуватися сигналами постійного струму з низькою напругою;

- актуатори виконують фізичні дії на основі сигналів керування. Сервоприводи та крокові двигуни забезпечують точне позиційне управління і застосовуються у проектах з робототехніки. Соленоїдні клапани регулюють потоки рідин, такі як вода в системах розумного поливу. Реле також можуть виступати в ролі актуаторів, коли вони використовуються для перемикання світла, вентиляторів або інших навантажень, включаючи та виключаючи їх;

- джерело живлення забезпечує стабільні константні рівні напруги постійного струму (DC), необхідні для нормального функціонування електронних ланок та компонентів. Лінійні регулятори, такі як 7805, мають можливість надавати постійну напругу 5 В, в той час як перемикачеві регулятори є більш ефективними для високопотужних вимог. Адаптери AC/DC конвертують змінний струм з мережі в корисний постійний струм;

- інтерфейси користувача дозволяють моніторити, керувати та взаємодіяти з системою розумного будинку через різноманітні засоби, такі як дисплеї, сенсорні екрани, голосові помічники, додатки для смартфонів та веб-портали. За допомогою сенсорних планшетів можна забезпечити віддалений контроль за всім приміщенням. Голосові помічники, наприклад, Alexa, дозволяють використовувати безконтактні голосові команди для взаємодії з системою;

- у розумних технологіях для будинків, пристрої зворотного зв'язку відіграють ключову роль у створенні інтелектуальних та взаємодіючих середовищ. Ці пристрої здатні отримувати інформацію, аналізувати її та взаємодіяти з користувачем чи іншими пристроями на основі цієї інформації. Тут є кілька типів пристроїв зворотного зв'язку, які можна знайти у сучасних розумних системах для будинків:

1) смарт-термостати;

2) смарт-освітлення: освітлення зі зворотнім зв'язком може моніторити енергоспоживання, а також реагувати на зміни в середовищі. Наприклад, вони можуть регулювати яскравість в залежності від освітленості зовнішнього середовища чи коригувати колірну температуру для покращення комфорту та самопочуття;

3) смарт-камери та домофони: ці пристрої забезпечують візуальний зворотний зв'язок, дозволяючи користувачам віддалено перевіряти свій будинок. Деякі сучасні моделі можуть навіть розпізнавати обличчя та надсилати сповіщення про незвичайні події;

4) смарт-пристрої для дому: пристрої, які взаємодіють з іншими електроприладами вдома, можуть надсилати інформацію про свій стан та взаємодіяти з користувачем. Наприклад, розумний холодильник може сповіщати про те, які продукти в ньому залишились, або навіть рекомендувати рецепти;

5) голосові асистенти: системи, такі як Amazon Alexa чи Google Assistant, надають можливість взаємодії з різними пристроями у будинку за допомогою голосових команд.

Такі пристрої зворотного зв'язку не лише забезпечують користувачів інформацією, але й взаємодіють із ними та навіть можуть вдосконалювати свою функціональність на основі зібраної інформації для створення більш комфортного та ефективного середовища.

Можливості технологій розумного будинку постійно розширюються - від простого голосового керування освітленням до автоматичного приготування кави вранці. З такою кількістю інновацій концепції розумного будинку можна

застосовувати в багатьох аспектах життя, враховуючи складні взаємодії між компонентами.

1.2 Переваги та способи реалізації розумного освітлення

Власники будинків можуть використовувати технології розумного будинку для покращення зручності та безпеки, наприклад компанія Cornerstone Protection використовує розумне освітлення для покращення безпеки будинків [рис. 1.1]. Ця технологія включає використання розумних систем безпеки з датчиками руху, дверними контактами та камерами. Окрім того, різноманітні розумні пристрої доступні для спрощення щоденного життя та підвищення безпеки будинку.



Рисунок 1.1 Переговорний пристрій Commax CM-810

Розумне освітлення є одним з видів розумних технологій, яке може значно полегшити цей процес. Воно може бути інтегроване із системою розумної безпеки, надаючи доступ до різних функцій, контроль яких здійснюється через мобільні пристрої. У найпростішій формі розумне освітлення означає будь-яку систему освітлення, яка керується розумною платформою. Це може бути додатком на смартфоні, який дозволяє керувати лампами. Зокрема, існують

системи автоматизації, які спрямовані на управління різними джерелами світла та їх інтеграцію з іншими розумними пристроями (рис.1.2).



Рисунок 1.2 – Додаток для керування світловим потоком джерела світла

Вибір системи розумного освітлення може включати в себе розумні розетки для управління освітленням, розумні лампочки, які взаємодіють з системою автоматизації будинку, або розумні вимикачі для керування світильниками. Важливо розуміти можливості та функціонал цих систем перед їх вибором. Перед встановленням системи керування розумним освітленням слід ознайомитися із різноманітними можливостями. Це важливо для досягнення бажаних результатів в плані ефективності та безпеки.

У сучасних системах розумного будинку важливо розглядати різні аспекти керування для досягнення максимальної ефективності та комфорту. Одним з ключових аспектів є можливість управління різними параметрами через спеціальний мобільний додаток. Це дозволяє користувачам ефективно контролювати освітлення, температуру та інші функції розумного будинку просто за допомогою свого смартфона.

Крім того, для оптимізації енергоспоживання та створення комфортної атмосфери важливо враховувати встановлення графіка освітлення. Користувачі можуть створювати розклад включення та вимикання освітлення відповідно до своїх потреб та денного режиму.

Голосове керування, яке надає можливість взаємодії з системою без використання рук, робить користування розумним будинком ще зручнішим.

Голосові команди дозволяють легко вмикати та вимикати освітлення, створювати атмосферу та забезпечувати безконтактний контроль.

Функція управління системою з будь-якого місця надає можливість віддалено керувати всіма аспектами розумного будинку через інтернет. Це забезпечує користувачам гнучкість та зручність в управлінні, навіть якщо вони знаходяться подалі від дому.

Групування освітлення дозволяє об'єднувати різні джерела світла в групи для одночасного управління, створюючи різноманітні сценарії. Це важливо для створення конкретних атмосфер в різних частинах будинку.

Створення сценаріїв та їх інтеграція в систему автоматизації будинку дозволяє синхронізувати освітлення з іншими розумними пристроями, надаючи комплексний підхід до управління розумним будинком.

Керування відсутністю, спільно з функціями роботи з пристроями безпеки, забезпечує надійну емуляцію присутності та сприяє збереженню безпеки в екстрених ситуаціях.

Взаємодія з системами охорони надає можливість активувати або деактивувати режими захисту в залежності від потреб та обставин.

Геозонування додає до системи розумного будинку функції, які враховують розташування користувача та автоматично виконують визначені дії при підходженні чи віддаленні від будинку.

1.2.1 Smart лампи та світлові прилади

Розумні лампи та освітлювальні пристрої представляють собою інноваційний підхід до освітлення наших робочих просторів та домівок. Ці передові технології виходять за межі традиційного освітлення, пропонуючи покращену функціональність, енергоефективність та можливість дистанційного управління. Розглянемо розумні лампи та освітлювальні пристрої.

Розумні лампи (рис.1.3)- це універсальні рішення для освітлення, які використовують передові технології для створення динамічного та настроюваного світла. Ці лампи мають ряд таких корисних функцій:

- можливість затемнення;
- зміна кольору;
- дистанційне керування;
- голосове активування;
- автоматизація та розклад роботи.



Рисунок 1.3 - Розумна лампа RGB 16 кольорів E27 LED 15Вт

Розумні прожектори (рис.1.4) – це сфокусовані світильники, які можна налаштовувати для підсвічування конкретних зон чи об'єктів. Вони забезпечують ряд функцій:

- направлене освітлення: розумні прожектори можуть направляти світло точно туди, де це потрібно, ідеально підходячи для освітлення картин, архітектурних деталей чи окремих зон приміщення;
- контроль колірної температури: користувачі можуть налаштовувати колірну температуру для створення бажаного сценарію освітлення;
- розумні сенсори: деякі прожектори обладнані сенсорами для забезпечення ефективності освітлення залежно від рівня освітленості чи руху.

Загалом розумні лампи та прожектори стають ключовими елементами розумного освітлення, надаючи особистий та енергоефективний підхід до освітлення приміщень.



Рисунок 1.4 - Світлодіодний прожектор SMART LED 25W IP66 RGB

1.2.2 Smart пульти

Розумні пульти дистанційного керування, також відомі як пульти домашньої автоматизації чи універсальні пульти, є передовими пристроями, спеціально розробленими для керування різними розумними пристроями. Вони виходять за межі традиційного уявлення про пульт для телевізора чи системи розваг, пропонуючи централізоване рішення для керування різноманітними розумними пристроями.

Розумні пульти (рис.1.5) мають такі характеристики:

- сумісність з пристроями: телевізорами, стрімінговими пристроями, аудіосистемами, розумним освітленням, термостатами та багато іншими. Основна мета таких пультів полягає в спрощенні керування багатьма пристроями за допомогою одного пульта;

- інтеграція з розумними платформами: багато розумних пультів спеціально розроблені для безпроблемної інтеграції з популярними розумними платформами, такими як Amazon Alexa, Google Assistant чи Apple HomeKit. Ця інтеграція дозволяє голосове керування, дозволяючи користувачам керувати своїми пристроями голосовими командами через розумний пульт;

- спрощене керування: замість управління кожним пристроєм окремо, користувачі можуть виконувати різні дії за допомогою одного пульта. Це може

включати регулювання гучності, зміну каналів, затемнення світла або навіть налаштування термостата - все це з одного пристрою;

- сенсорні екрани: деякі розумні пульти оснащені сенсорними екранами, що надають інтуїтивний інтерфейс користувачам. Ці сенсорні екрани можуть пропонувати динамічне керування, дозволяючи користувачам налаштувати меню програми залежно від їхніх уподобань чи пристроїв, які вони використовують найчастіше;

- налаштовувані макроси: розумні пульти часто підтримують створення макросів чи сценаріїв.



Рисунок 1.5 - Мультизонний пульт RF (868MHz) з сенсорним кільцем (СК) вибору кольору, 4 зони управління

1.2.3 Системи керування освітленням

Керування освітленням може бути викликати складнощі у великих приміщеннях з різними видами зорових задач, де лампи розділені на окремі групи. Для вирішення цих проблем використовується дистанційне керування освітленням, яке базується на використанні радіохвиль або інфрачервоного випромінювання.

Існують різні типи систем управління освітленням, які працюють за допомогою імпульсів від пульта дистанційного керування. Ці системи можна поділити на такі категорії:

- Інфрачервоні. Ці системи ідеально підходять для зовнішнього освітлення таких об'єктів: автостоянки, міські площі та склади. Інфрачервоні пульти дистанційного керування для ламп є аналогом стандартного телевізійного пульта. Вони досить доступні та прості у використанні, однак їхній недолік полягає в обмеженій зоні видимості - до 10 метрів від консолі, залежно від потужності передавача сигналу;

- Імпульсні. Ці системи забезпечують бездротовий спосіб керування внутрішнім освітленням. Пульт дистанційного керування може надсилати імпульси, призначені для певних груп ламп або конкретних джерел світла;

- Радіохвильові. Ці системи дозволяють керувати як внутрішнім, так і зовнішнім освітленням з одного центрального пункту. Панель підключається до кабелів світильників і забезпечує плавне перемикання між джерелами світла.

Незалежно від вибору системи, дистанційне керування освітленням дозволяє ефективно та зручно керувати різними джерелами світла в будинку чи на вулиці.

Після прийняття інфрачервоного сигналу модуль перетворює його в радіохвилю та направляє до наступного контролера. Така бездротова система диспетчерського контролю внутрішнього та зовнішнього освітлення допомагає керувати лампами з двох або більше місць.

Інфрачервоні просвіткові вимикачі (рис.1.6) широко використовуються для керування освітленням коридорів та площадок. Зазвичай схема пристроїв включає датчик руху, який працює на основі розпізнавання ІЧ випромінювання людського тіла. Це інтелектуальне керування дозволяє вимикати світло, якщо в кімнаті чи коридорі немає людини, і включати його, якщо там з'являється людина. Іноді ці вимикачі доповнюються ультразвуковими індикаторами, що підвищує ефективність їхньої роботи.



Рисунок 1.6 - Інфрачервоний просвітковий вимикач

Бездротовий радіоконтроль освітлення використовується досить часто завдяки своєму широкому функціоналу. Така система складається з приймача сигналу (контролера) та пульта дистанційного керування для автоматичного керування освітленням (рис.1.7). Пульт надсилає імпульс приймачеві, за допомогою якого пристрій вмикає або, навпаки, вмикає світловий прилад. Основною перевагою цієї технології є можливість керування вимикачами з різних кімнат. Однак ці системи мають високі витрати і потребують значної потужності, тому їх можна використовувати для великих приміщень.



Рисунок 1.7 – Елементи системи керування освітленням радіочастотним випромінюванням

У більшості випадків для різних систем керування освітленням використовують імпульсні реле (рис.1.8). Ці пристрої можуть бути встановлені в панелі або безпосередньо в вимикачі. Особливо доцільно застосовувати їх для великих будівель, оскільки багато сучасних моделей оснащені таймерами. Таймер забезпечує контроль за часом, протягом якого світильник працює.



Рисунок 1.8 – Імпульсне реле

У минулому сенсорне управління освітленням, наприклад, за стандартом DALI, застосовувалося виключно в концепції «Розумний

будинок», але тепер навіть у звичайних квартирах можна застосовувати фотореле для керування освітленням. Щиток на 1, 2 або навіть 5 каналів дозволяє керувати освітленням різних приміщень з одного пункту.

Основними перевагами безпроводного керування є:

- бездротове керування підвищує безпеку приміщення. Освітленням можна керувати не лише з стаціонарного комп'ютера, але й також за допомогою телефону або встановлюючи таймер. Це сприяє захисту дому від небажаних проникнень у приміщення завдяки створення «ефекту присутності господарів»;

- економія ресурсів. Прокладання кабелів до вимикачів вимагає великої кількості кабелю, який періодично слід буде замінювати. В електронному керуванні використовується мінімальна кількість проводів;

- така схема електричного керування є більш зручною, якщо необхідно керувати освітленням в двох, трьох або більше точках. Вона також може бути поєднана з диммером, створюючи різні сценарії освітлення для різних зон.

1.3 Висновки до розділу 1

1. На основі літературних джерел встановлено характеристики безпеки, енергоефективності та комфортності приміщень за рахунок впровадження систем автоматизованого керування приладами.
2. Розглянуто компоненти системи керування розумним будинком.
3. Проаналізовано переваги та способи реалізації розумного освітлення, подано характеристики елементів системи керування освітленням.

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Методи регулювання світлового потоку світлодіодних джерел випромінювання

Розумні технології в освітленні передбачають можливість змінювати інтенсивність потоку випромінювання джерела, його колірну температуру, тривалість і періодичність роботи окремих світлових приладів за заданими параметрами або відповідно до сигналів давачів.

Регулювання світлового потоку світлодіодних джерел випромінювання (LED) може бути здійснене різноманітними методами, кожен із яких має свої унікальні переваги та області застосування. Приведемо характеристику методів регулювання світлового потоку світлодіодних джерел.

2.1.1 Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ)

Широтно-імпульсна модуляція широко використовується для регулювання яскравості (інтенсивності випромінювання) світлодіодів. Цей метод полягає у швидкому увімкненні та вимкненні світлодіодів з різними коефіцієнтами заповнення. Середнє значення інтенсивності випромінювання людським оком сприймається як різні рівні яскравості джерел світла.

Переваги методу: простий, ефективний, забезпечує точний контроль над рівнями яскравості (освітленості).

Недоліки: можливе мерехтіння, аудіошум, вищі гармоніки, обмежений діапазон затемнення, генерація тепла, складність конструкції, неефективність при низькій яскравості.

Застосування: Використовується в різних системах освітлення, екранах відображення та в автомобільному освітленні. Електричні схеми ШІМ показані на рис. 2.1, 2.2.

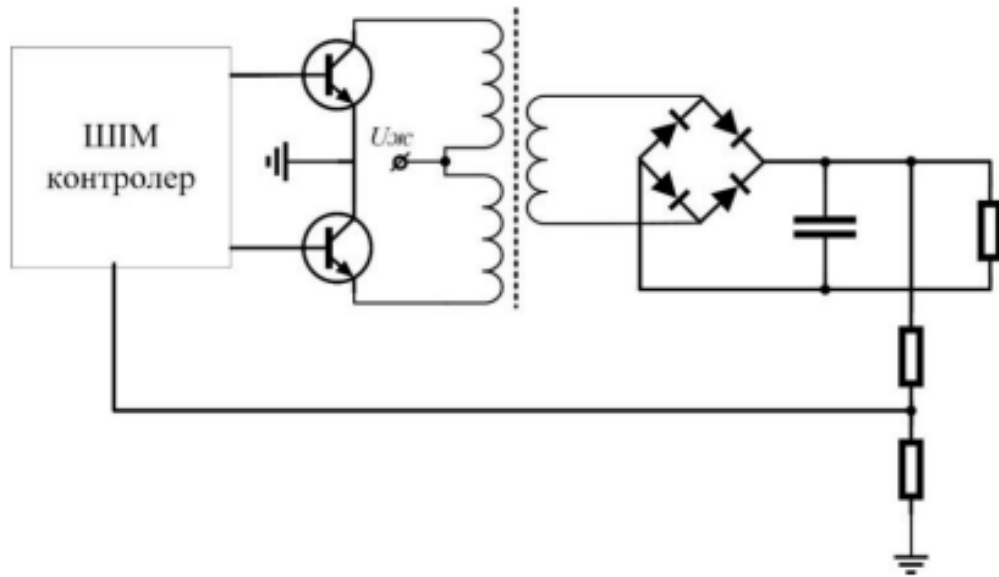


Рисунок 2.1 - Типова Push-Pull схема

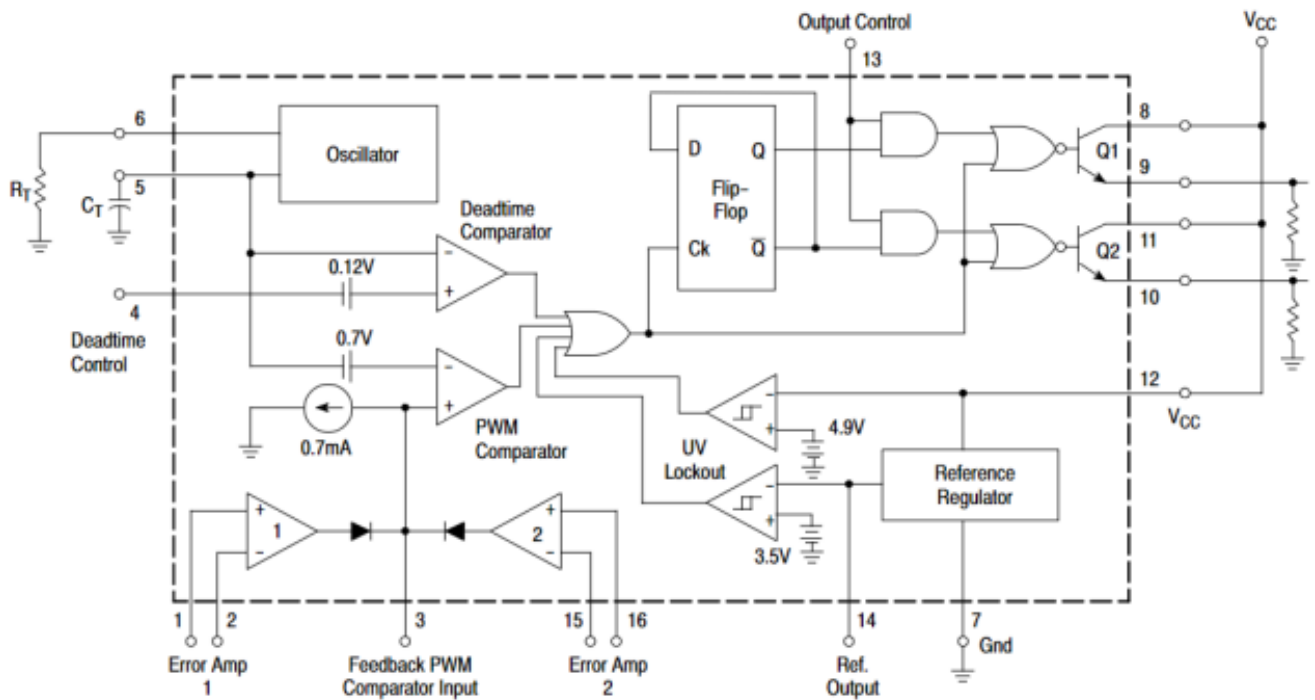


Рисунок 2.2 - Структурна схема ШІМ контролера на прикладі TL494

2.1.2 Аналогове затемнення

Аналогове затемнення полягає в регулюванні струму світлодіодів за допомогою аналогового сигналу напруги чи струму. Цей метод забезпечує неперервний ряд рівнів яскравості.

Переваги: плавне та безперервне затемнення, подібно до традиційних ламп розжарення.

Недоліки: залежність від зовнішніх факторів, обмежені функції, не повністю сумісна із смарт-системами (неправильна або неповноцінна робота), неефективність при низькій яскравості, генерація тепла, можливість мерехтіння, обмежена точність.

Застосування: підходить для середовищ, де потрібні плавні переходи в яскравості, наприклад, для освітлення житлових приміщень.

2.1.3 Цифрове затемнення

Цифрове затемнення базується на регулюванні яскравості світлодіодів за допомогою цифрових керуючих сигналів. Це може бути досягнуто за допомогою мікроконтролерів чи цифрових систем керування освітленням.

Переваги: точне та програмоване затемнення, дає можливості для розширеного керування та автоматизації.

Недоліки: складність та вартість, проблеми сумісності, електромагнітні завади, час реакції, обмежена роздільна здатність, можливість помилок або збоїв у програмному забезпеченні.

Застосування: Зазвичай використовується в смарт-системах освітлення, архітектурному освітленні та сценічному освітленні.

2.1.4 Метод ступінчастого регулювання

Метод ступінчастого регулювання полягає у відключенні певної частини світлодіодів для коригування яскравості світлового випромінювання. При цьому загальна яскравість LED-світлової системи контролюється вибіркоким вимиканням конкретних груп або сегментів світлодіодів, створюючи виразні кроки або рівні освітленості. Кожен крок відповідає заздалегідь визначеній конфігурації активованих та вимкнених світлодіодів, що дозволяє робити дискретні налаштування загальної яскравості. Все це контролюється конкретним драйвером на основі широтно-імпульсної модуляції (ШИМ), приклад наведено на рис.2.3.

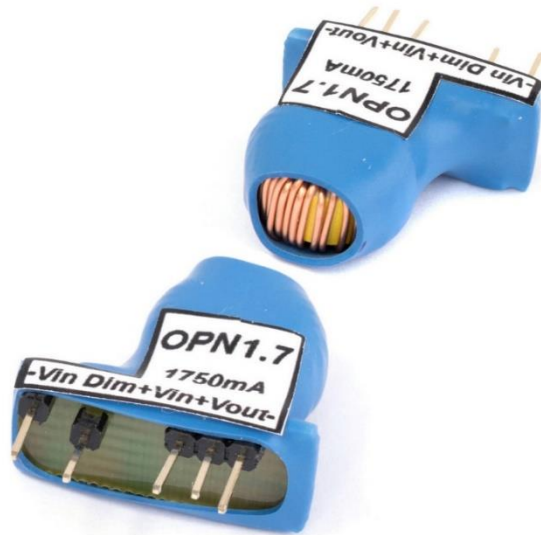


Рисунок 2.3. - OPN1750 драйвер для потужних світлодіодів

Цей підхід особливо актуальний у ситуаціях, коли вимагається не неперервне і плавне затемнення, а допускається ступеневе або поетапне змінювання рівнів освітлення. Метод ступінчастого регулювання забезпечує простий і ефективний спосіб керування світловим потоком від світлодіодних джерел, дозволяючи встановлювати наперед визначені налаштування яскравості, які можна легко коригувати враховуючи вподобання користувача чи умови навколишнього середовища.

Однією з переваг методу ступінчастого регулювання є його простота, оскільки він в основному включає в себе базове увімкнення/вимикання сегментів світлодіодів. Проте важливо враховувати, що сприйняття кроків під час переходів яскравості може відрізнитися в залежності від конкретного застосування та вподобань користувача.

Хоча цей метод не має такої деталізації, яку мають більш високорозвинені техніки затемнення, він залишається практичним вибором у випадках, коли точні та неперервні налаштування не є вирішальними, і вказаний ряд рівнів яскравості відповідає потребам освітлення. Придатність методу ступінчастого регулювання залежить від конкретного застосування, вподобань користувача та загальних цілей проектування LED-світлової системи.

2.1.5 Змішування кольорів білих світлодіодів

В освітлювальних світлодіодних системах білого свічення регулювання колірної температури може впливати на сприйняття яскравості. Це досягається змішуванням різних кольорів світлодіодів (наприклад, холодних і теплих білих світлодіодів) для досягнення бажаної колірної температури та рівня яскравості.

Переваги: дозволяє динамічне керування сприйняттям яскравості та колірною температурою.

Недоліки: складність, вартість, зменшення світлової ефективності, обмежений індекс кольоропередачі, генерування теплового випромінювання, складність системи керування, проблеми забезпечення рівномірності, обслуговування та калібрування.

Застосування: Використовується в застосунках, де потрібна можливість налаштування колірної температури, таких як комерційне та домашнє освітлення.

2.1.6 Системи смарт-освітлення

Інтеграція з системами смарт-освітлення дозволяє динамічне регулювання освітлення на основі зовнішніх факторів, таких як рівень освітленості, зайнятість або час доби.

Переваги: підвищує енергоефективність та комфорт користувача, надає можливості для автоматизації та налаштувань.

Недоліки: складність та вартість, залежність від якості зв'язку, кібербезпека, проблеми з програмним забезпеченням та оновленнями, споживання енергії, проблеми приватності, проблеми з сумісністю, надійність, темпи самонавчання нейромережі, екологічний вплив.

Застосування: широко використовується в смарт-будинках.

2.2. Вибір технології автоматизованого керування освітлювальними установками

2.2.1 Характеристика основних способів керування освітленням

На електричне освітлення припадає близько 20% від загального виробництва електроенергії в усьому світі. На освітлення офісних приміщень припадає 20-40% електроенергії, споживаної комерційними будівлями. Для зменшення енергоспоживання поряд з використанням сучасних енергоефективних джерел світла доцільно використовувати енергоефективні стратегії керування освітленням.

Сучасні освітлювальні компоненти та системи, здатні реалізувати енергоефективні стратегії керування освітленням, існують уже більше двох десятиліть, проте ще не змогли повністю охопити споживчий ринок. Основними причинами цього є високі початкові затрати, включаючи вартість обладнання, монтаж, заміну електропроводки та введення в експлуатацію. Особливо повільно іде процес модернізації систем освітлення у старих будівлях. Як наслідок, більшість будівель втратили можливість економити енергію за рахунок ефективного керування освітленням.

Бездротова технологія керування є перспективною альтернативою традиційних систем освітлення та зв'язку для побудови систем контролю.

При проектуванні системи керування освітленням необхідно враховувати такі фактори: поведінку споживачів (тривалість та періодичність перебування у приміщеннях різного типу), геометричні параметри приміщення чи будівлі, тип виконуваної роботи тощо. Лише належним чином опрацювавши ці фактори, можна спроектувати таку систему освітлення, яка забезпечить значну економію енергії та створить комфортні умови для споживачів.

Системи керування освітленням можна розділити на такі види:

- системи керування за розкладом;
- системи на основі контролю присутності (рис.2.4);

- системи з врахуванням природного світла (рис.2.5);
- змішані системи керування.

Системи керування за розкладом доцільно використовувати в приміщеннях, де визначено конкретні терміни перебування людей. Наприклад, можна запрограмувати ввімкнення освітлення навчальної аудиторії, лабораторії, комп'ютерного класу під час заняття згідно розкладу і вимкнення під час перерви.

Системи керування освітленням на основі контролю присутності (заповнення) найефективніше застосовувати у приміщеннях, які використовуються періодично і без конкретного розкладу. Це можуть бути коридори, санвузли, архіви, допоміжні приміщення, сходові клітки тощо. В таких системах також важливо правильно виставити час затримки вимкнення світильників, оскільки від цього значно залежить енергоспоживання освітлювальної установки.

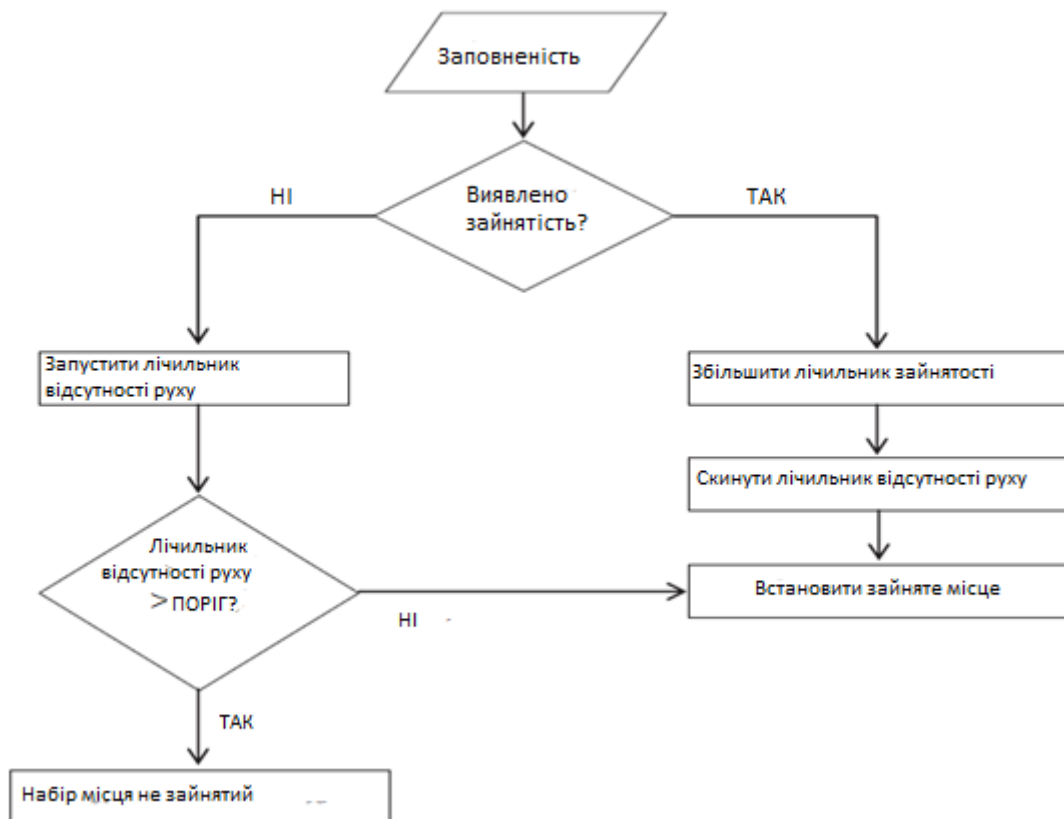


Рисунок 2.4 – Алгоритм роботи датчика присутності



Рисунок 2.5 – Схема замкнутого циклу системи з природнім освітленням

Найбільш енергоефективною стратегією керування освітленістю для офісних приміщень, які обладнані великою кількістю вікон і в яких споживачі (працівники) постійно перебувають в приміщенні протягом робочого дня, є системи з врахуванням денного світла.

У літературі [13] є дані дослідження, яке включило різноманітні стратегії управління освітленням, такі як врахування денного світла, регулювання рівня освітленості та контроль присутності в офісах з відкритим плануванням при встановленій бездротовій мережевій системі датчиків та актуаторів, а також при застосуванні алгоритму керування для забезпечення індивідуального освітлення для кожного працівника. Запропонована система динамічно налаштовує яскравість кожного світильника, щоб відповідати нормативним вимогам для робочого місця кожного працівника, використовуючи доступне денне світло. Система була змодельована як задача лінійного програмування, і оптимізаційний алгоритм надавав потрібні рівні затемнення. Впровадження системи керування освітленням показало енергозбереження більше 60%

Використання денного світла, а також сучасні системи керування освітленням можуть ефективно сприяти енергозбереженню, особливо при застосуванні світлодіодних приладів, які можуть забезпечувати тривалий термін служби, динамічні ефекти освітлення та більшу гнучкість у дизайні та для контролю їх режимів роботи.

2.2.2 Датчики освітленості

Звичайний фотодатчик - це повноцінний контрольний пристрій, який складається з фоточутливого фотоелемента, вхідної оптики, електронного кола, необхідного для перетворення сигналу фотоелемента в сигнал керування виводу, а також корпусу та пристосування для кріплення. Фотодатчики автоматично коригують рівень інтенсивності випромінювання електричних ламп на основі кількості сприйнятого природнього світла та заданих параметрів освітленості. Мета фотодатчика - надавати відповідний сигнал керування, щоб світильники створювали необхідну освітленість для осіб в кімнаті і в той же час сприяли зменшенню енергоспоживання за допомогою зниження яскравості штучної системи освітлення.

Технологія бездротових мережевих датчиків (БМД) була розроблена наприкінці 90-х років минулого століття і отримала увагу інженерів-дослідників завдяки своїм широким можливостям застосування.

Вузол бездротового датчика включає процесор, пам'ять, джерело живлення, радіомодуль та виконавчий пристрій. Радіомодуль необхідний для бездротового зв'язку для передачі даних від датчиків до базової станції, оскільки датчики мають обмежену пам'ять і, як правило, встановлені в місцях з обмеженим доступом. БМД зазвичай не має або має обмежену інфраструктуру. Вона складається з вузлів датчиків, що співпрацюють для збору даних.

Існують два типи БМД: структуровані та неструктуровані.

Неструктуровані БМД - це такі, які містять великий набір датчиків. Після встановлення мережу залишають без нагляду, щоб моніторити навколишнє середовище та отримувати необхідні дані. Головний недолік неструктурованої БМД - це складність у її обслуговуванні через велику кількість вузлів.

У структурованій БМД всі чи деякі вузли датчиків працюють в попередньо організованому порядку. Перевагою структурованої мережі є нижчі витрати на обслуговування та управління мережею внаслідок менше вузлів.

Бездротові вузли-датчики - це важливе рішення для моніторингу

середовищ, де з'єднання за допомогою кабелів може бути дорогим або неможливим для монтажу.

Обмеження щодо ресурсів мережі стосуються обмеженої енергії, короткого діапазону комунікації, а також обмеженої обробки і зберігання даних в кожному вузлі. Обмеження дизайну залежать від сценарію моніторингу середовища. Середовище (приміщення) визначає розмір мережі та топологію мережі. Існує багато посилань, які досліджували можливості мережі фотодатчиків разом із ефективними алгоритмами керування з метою мінімізації споживання енергії і одночасного досягнення потрібного рівня освітленості.

Основна функція фотодатчика - це вироблення сигналу, який пропорційний силі світла та розподілу падаючого світла. Робота фотодатчика може бути складною, оскільки вона залежить від багатьох факторів, таких як:

- розподіл денного та штучного світла в просторі, де він розташований;
- спектральний склад випромінювання;
- налаштування параметрів керування;
- рівень освітленості навколишнього середовища;
- поле зору датчика.

Місцезнаходження фотодатчика має важливе значення для його роботи. Теоретично ідеальне місце для фотодатчика - на робочій площині, але, як правило, таке положення датчика не застосовується через можливу затіненість від діяльності людей та неможливість подачі живлення без додаткового обладнання. Таким чином, реакція датчика на стелі може значно відрізнитися від гіпотетичних випадків, де датчик розташований на робочій площині.

Фотодатчик, розташований на стелі, реагує на падаюче випромінювання на стелю і перетворює його на пропорційний сигнал керування. Однак співвідношення освітленості на стелі та робочому місці не є постійним, оскільки воно залежить від зміни розподілу денного світла в приміщенні. Таким чином, фотодатчику, розташованому на стелі, важко точно моніторити зміни освітленості на робочій площині. Це є головним недоліком фотодатчика, розташованого на стелі.

Взаємозв'язок рівнів освітленості між цими двома позиціями залежить від місця розташування фотодатчика та його поля зору. Оптимальний взаємозв'язок можна досягти в зонах, розташованих далеко від вікон, де розподіл світла є рівномірним. Однак ці зони не можуть розглядатися як зони, де природне світло може використовуватися для освітлення. Навпаки, розміщення датчика біля вікна передбачає збільшення енергозбереження, але одночасно призводить до погіршення процесу досягнення проєктної освітленості. Здатність системи керування підтримувати постійне співвідношення освітленості між фотодатчиком на стелі та освітленості на робочій поверхні може забезпечуватися виконанням алгоритмів керування.

Крім того, спектральна чутливість фотодатчиків ширша, ніж чутливість людського ока. Таким чином, перед фотодіодами розташовуються УФ- і ІЧ-фільтри, але у більшості випадків їхня чутливість все рівно ще ширша, ніж фототопічна чутливість людського ока $V(\lambda)$. У результаті фотодатчики сприймають більше світла, ніж око людини, і штучне освітлення помилково знижується, створюючи візуальний дискомфорт.

2.2.3 Smart система керування освітленням із бездротовими фотодатчиками на робочій площині

На основі аналізу існуючих технічних рішень про системи керування освітленням з врахуванням денного світла нами запропоновано інтелектуальну систему із бездротовою мережею фотодатчиків. Система містить:

- набір індивідуальних фотодатчиків, розміщених у кожній робочій зоні офісу, які з'єднані через локальну мережу;
- контролер, який отримує сигнал від фотодатчиків через мережу;
- набір світильників, що співпрацюють з контролером за допомогою протоколу DALI.

Контролер розраховує відповідні рівні затемнення світильників, які є виходом запропонованої системи, для досягнення бажаного рівня освітлення і

передає їх назад відповідним світильникам. Метою системи є забезпечення оптимального рівня освітленості робочої площини для кожного офісу. Система має постійний зворотний зв'язок, щоб постійно відрегулювати світловий потік світильників відповідно до рівнів денного світла так, щоб сумарна освітленість складала нормативний рівень. Схема блоку, що описує принцип роботи системи, представлена на рис.2.6.

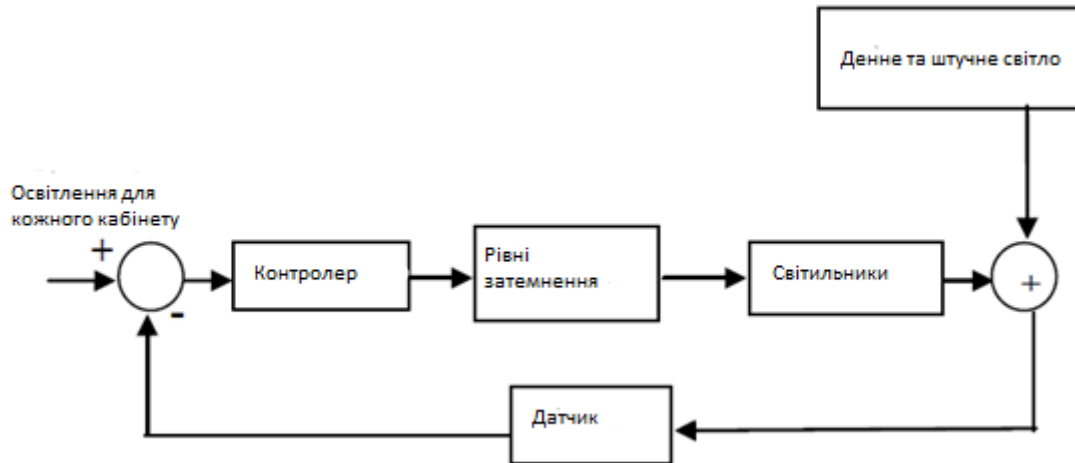


Рисунок 2.6 - Схема керування системи освітлення

Першим кроком перед розробкою системи є вивчення всіх параметрів, які впливають на її роботу (поведінка користувача, спектральна чутливість фотодатчика, спектральний розподіл денного і штучного світла, операційні рівняння для кількох фотодатчиків, стратегія керування та зв'язок контролера із світильниками):

1) *Розташування, живлення та зв'язок кожного фотодатчика.* Кожен фотодатчик може бути розміщений на моніторах комп'ютерів в контрольних точках робочої площини та живиться через USB-порт за допомогою модуля, який взаємодіє бездротово з контролером. На рисунку 2.7 показано USB-фотодатчик, який можна використовувати для цього дослідження.



Рисунок 2.7 - USB-фотодатчик

2) *Калібрування фотодатчика.* Фотодатчик можна калібрувати для вимірювання значень освітленості з максимально можливою точністю в будь-яких умовах, коли він розміщений на робочій площині. Діючі стандарти визначають нормовані значення освітленості в приміщеннях різних типів.

3) *Спектральна чутливість.* Спектральна чутливість фотодатчика повинна бути максимально наближена до спектральної чутливості ока людини для денного зору. Також доцільно застосувати спектральну погодинну модель, яка використовує як вхідні дані спектральні вимірювання ламп при різних рівнях затемнення. Модель спектральної корекції перетворює значення освітленості, які сприймає фотодатчик, у більш точний сигнал на основі характеристик відбивання звичайних матеріалів, їхніх характеристик кольору та текстури, спектральної чутливості фотодатчика, спектрального розподілу падаючого природнього випромінювання, а також спектральний коефіцієнт пропускання віконного скла [14].

4) *Математичний опис та алгоритм керування.* Європейські норми і ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» рекомендують середнє значення освітленості 500 люкс на рівні робочої площини для офісного приміщення [15]. Робочу зону офісу, яка освітлюється m світильниками, можна перетворити на сітку з n точок вимірювання. Освітленість у певній точці рівня робочої площини (E_i) може бути представлена як сума, що складається з частки освітленості, яку створює кожний світильник у цій точці вимірювання (c_{ij}), помножену на відповідний рівень затемнення цього світильника (d_j) і частку денного світла (u_i) у цю конкретну точку, як показано в рівнянні:

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \dots \\ E_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \dots \\ d_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \dots \\ u_n \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$\vec{E} = \vec{c}\vec{d} + \vec{u}$$

Частка денного світла змінюється протягом усього дня, тому система буде мати постійний зворотний зв'язок, щоб адаптуватися до природного світла, затемнюючи відповідно випромінювання світильників.

Ціль алгоритму керування буде:

$$\min \|\vec{d}\|_1$$

буде залежати від обмежень:

$$0 \leq \vec{d} \leq 1$$

$$\vec{E} \geq 400$$

$$\vec{E} = \vec{c}\vec{d} + \vec{u}$$

Завдяки мінімізації нормального вектора \vec{d} сумування рівнів вихідного світла від кожного світильника мінімізується, що призводить до мінімізації споживання енергії системою штучного освітлення. Обмеження стосуються рівнів затемнення системи (від мінімального до 100%) і рівня освітленості, який повинен дорівнювати або перевищувати 400 люкс.

2.2.4 Димінгування світильників за протоколом DALI

Мережа DALI (Digital Addressable Lighting Interface) містить контролер і керовані пристрої. До контролерів відносяться датчики і перемикачі, до керованих пристроїв – драйвери та димери та ЕПРА, які підключаються до шини DALI, що працює від джерела постійного струму.

Технічні параметри шини:

- сила струму не більше 250 мА;
- передавання даних на швидкості 1200 біт/с;
- передавання сигналу на відстані до 300 м.

Фізичний низький рівень або активний стан для DALI визначено з напругою інтерфейсу <9,5 В. Стан високого рівня, або простий режим DALI, - це

напруга інтерфейсу від 9,5 В до 22,5 В, найчастіше 16 В (рис.2.8). Максимальний струм системи 250 мА. Час відгуку схеми обмежувача струму <10 мкс. Кожен компонент, підключений до інтерфейсу, може споживати максимум 2 мА. Роз'єми на приймачі неполяризовані. DALI зазвичай оптично ізольований від мікроконтролера.

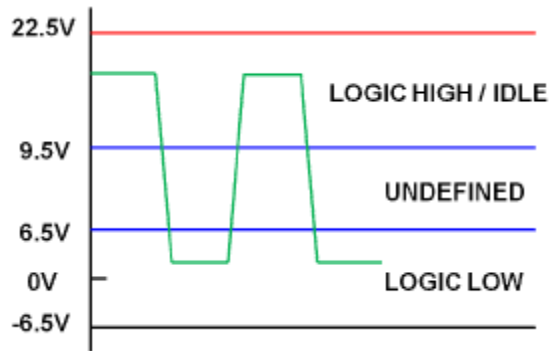


Рисунок 2.8 - Електричні характеристики DALI

Спеціальних роз'ємів для інтерфейсу DALI немає. Досить двопровідних з'єднувачів із звичайними гвинтовими клеммами або затискачами (рис.2.9).



Рисунок 2.9 - Двопровідні роз'єми

Завдяки високій швидкості передачі даних не потрібні спеціальні кабелі чи дроти, можна використовувати двожильні стандартні електричні кабелі.

Максимальна довжина кабелю залежить від падіння напруги вздовж лінії DALI, яке повинно бути не більше 14 В, тому вона розраховується на основі площі перетину проводу: 300 м для 1,5 мм², 100-150 м для 0,75мм², до 100 м для 0,5 мм². Також враховується опір контактів.

Топологія мережі може бути типу зірка, шина, багатоточкова, але не коло. Також допускається комбінація двох або більше топологій (рис.2.10).

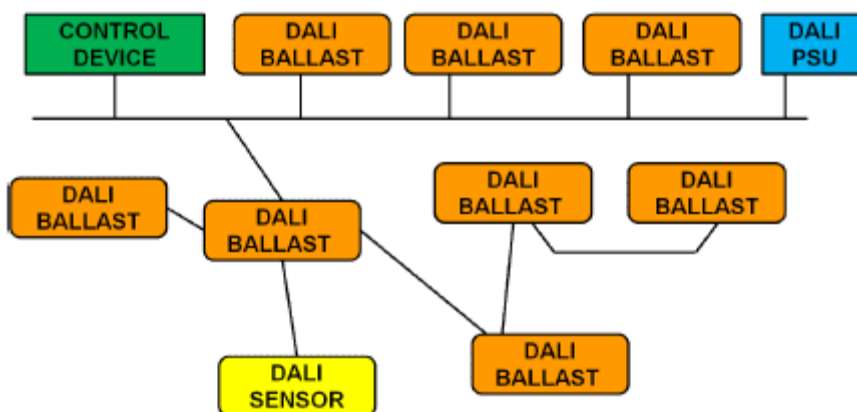


Рисунок 2.10 - Макет довільної форми DALI

Кожному приладу присвоюється індивідуальна адреса, що дозволяє керувати цілою освітлювальною системою, групою світильників або одним світловим приладом. Відповідно є три види команд: широкі, групові та індивідуальні.

Коректування яскравості, ввімкнення/вимкнення відбувається за рахунок сигнальних команд з використанням двонаправленого обміну даними, коли контролер не тільки надсилає, але й запитує інформацію про стан кожного компонента.

Схеми DALI. Немає жодних специфікацій чи рекомендацій щодо того, як реалізувати схему для DALI. На рис.2.11 подано схему ізольованого зв'язку

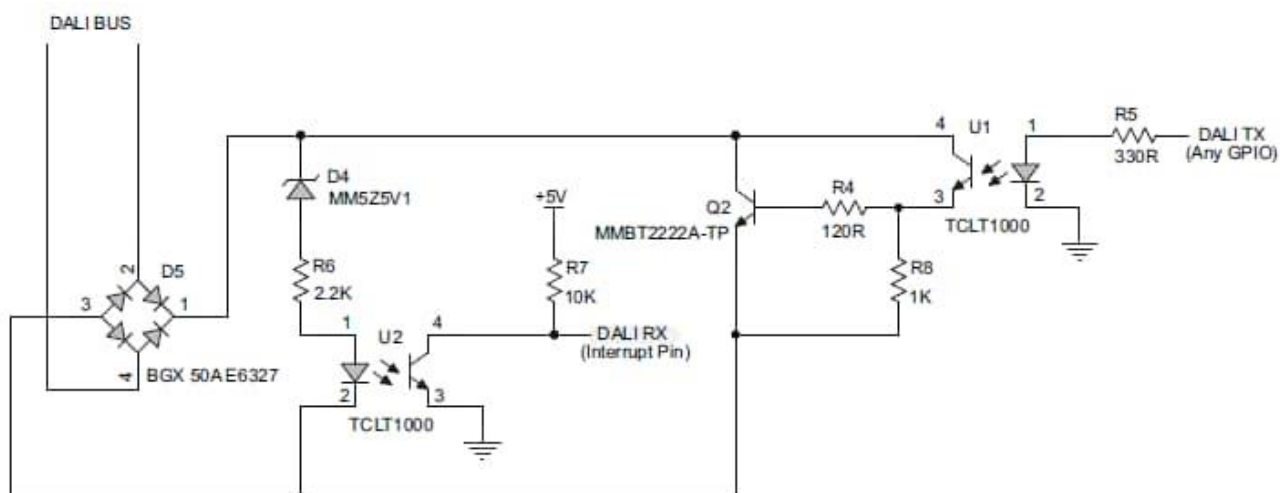


Рисунок 2.11 - Схема ізольованого зв'язку

Схеми живлення DALI. Блок живлення DALI потребує швидкого відгуку та ефективного обмеження струму. Проста схема, подана на рис.2.12, задовільняє виконання даних вимог.

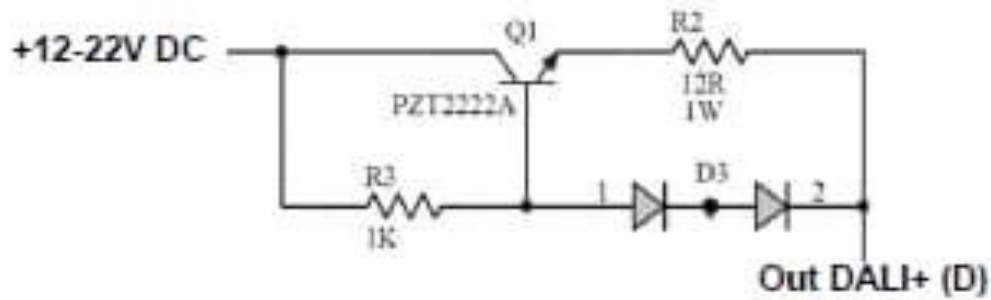


Рисунок 2.12 – Схема живлення DALI

Передача DALI. DALI використовує манчестерське (двофазне) кодування для надсилання початкового біта та інформаційних бітів. Швидкість інформації становить 1200 біт/с з допустимим діапазоном $\pm 10\%$. Час одного біта становить 833,33 мкс. Найстарший біт (MSb) надсилається першим (Рис.2.13).

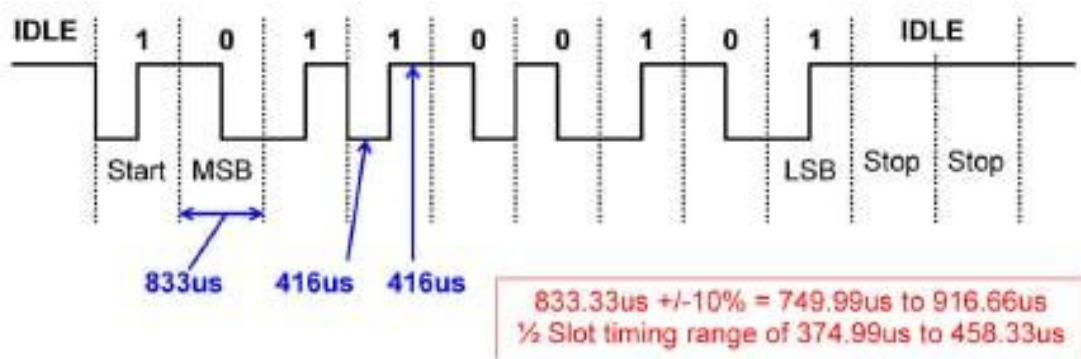


Рисунок 2.13 - Передача DALI

Прямий кадр (пристрій керування → механізм керування (ПРА)). Прямий кадр - це пакет, надісланий пристроєм керування до механізму керування. Він складається з одного початкового біта, восьми бітів адреси, восьми бітів даних і двох стопових бітів. Біти надсилаються спочатку MSb.(рис. 2.14)



Рисунок 2.14 - Прямий кадр

Зворотній кадр (ПРА → пристрій керування). Зворотний кадр – це пакет відповіді, який надсилається механізмом керування (ПРА) назад до керуючого пристрою. Він складається з одного початкового біта, восьми бітів даних і двох стопових бітів. Біти надсилаються спочатку MSb (рис.2.15).



Рисунок 2.15 - Зворотний кадр

Байт даних зворотного кадру: у кадрі відповіді (зворотному кадрі) «0xFF» вважається «Так». Якщо очікується відповідь, а лінія залишається в режимі очікування, відповідь апарату керування вважається «Ні». Інші значення змінюються залежно від команди, на яку реагує механізм керування.

Час. Як згадувалося раніше, швидкість передачі бітів для DALI становить $1200 \pm 10\%$ біт/с. «Te» використовується для позначення напіврозрядного часу, який становить 416,67 мкс. Прямий пакет триває $38 Te$, що дорівнює 15,83 мс. Зворотний кадр займає $22 Te$ або 9,17 мс. Час між двома послідовними прямими кадрами становить щонайменше $22 Te$. Час між прямим кадром і зворотним кадром більше або дорівнює $7 Te$ і менше або дорівнює $22 Te$. Час між зворотним кадром і прямим кадром становить щонайменше $22 Te$ (рис.2.16).

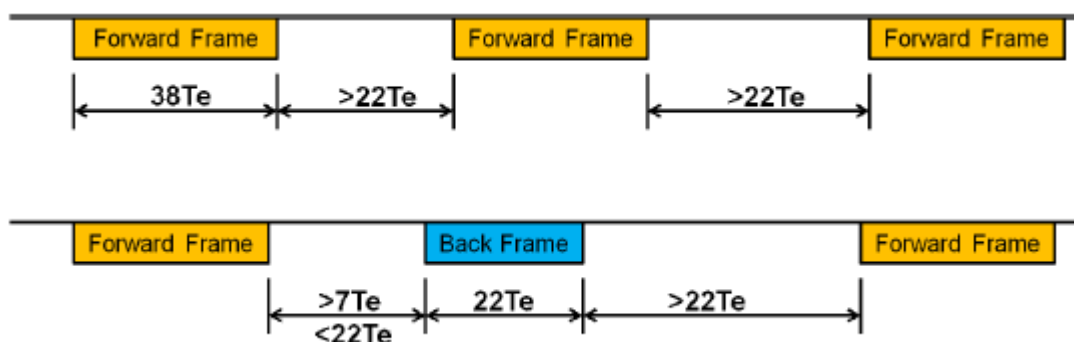


Рисунок 2.16 - Хронометраж кадру

Манчестерське кодування/декодування. Будь-який пакет, який

передається між керуючим пристроєм і контрольною апаратурою, є двофазним пакетом у манчестерському кодуванні. Потім пакет декодується, а адреса та повідомлення обробляються відповідним чином. Комунікаційна плата освітлення має блок мікроконтролера разом із ізольованим інтерфейсом зв'язку DALI та простим блоком живлення (рис.2.17).

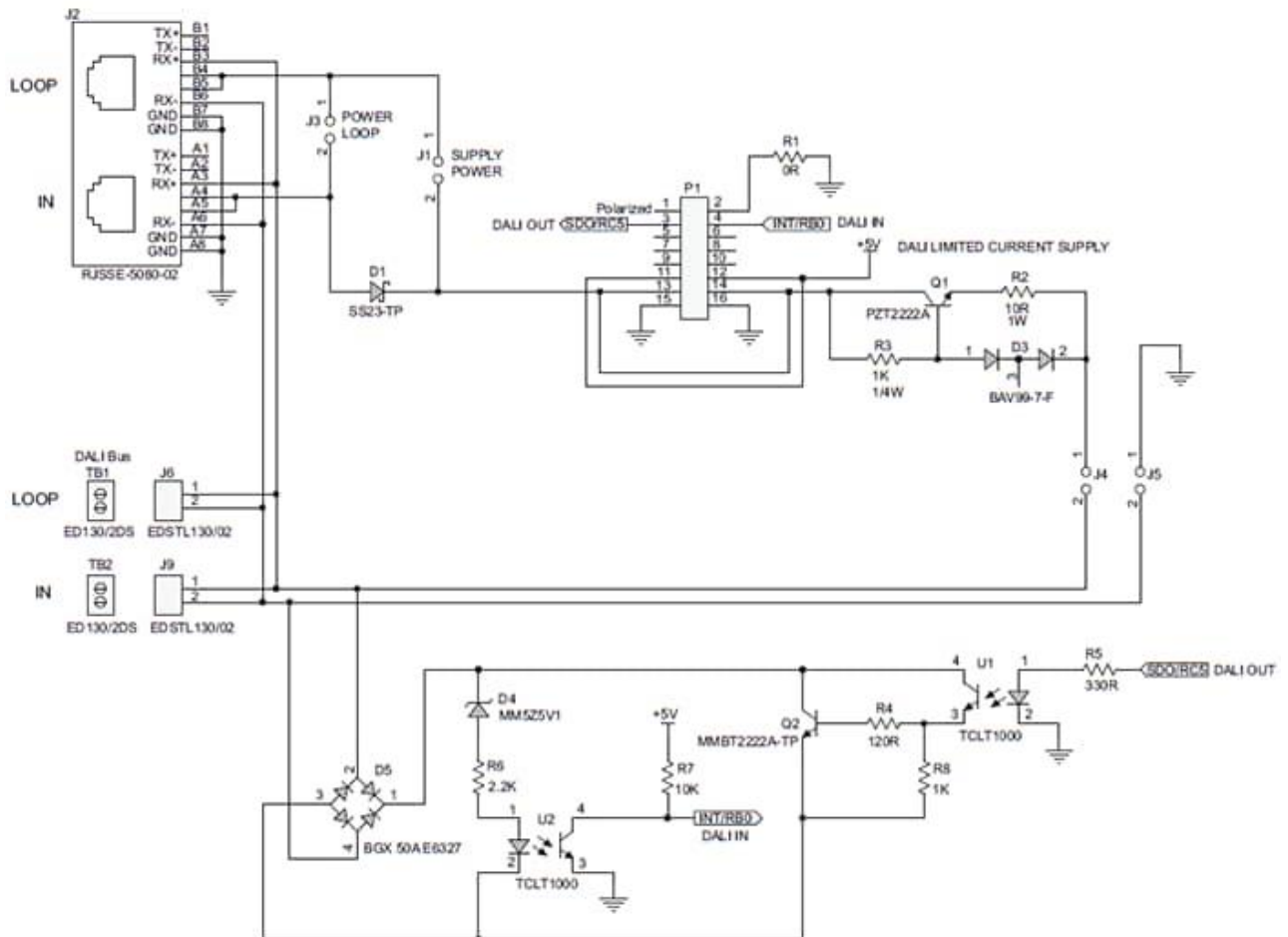


Рисунок 2.17 - Схема DALI

Сигнал від шини DALI інвертується оптопарою, мікроконтролер переглядає манчестерське кодування/декодування. Манчестерський код - це формат цифрового кодування, у якому символ «1» представлено спадним фронтом (високий, за яким іде низький), а символ «0» представлений наростаючим фронтом (низький, за яким іде високий). Як високий, так і низький імпульси мають однакову ширину, що дорівнює половині бітового періоду (рис.2.18).

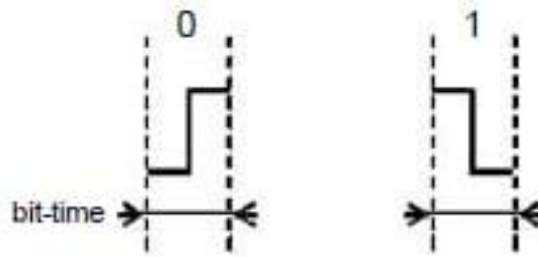


Рисунок 2.18 - Манчестерське кодування біта

Манчестерське кодування. Вихідне повідомлення кодується за допомогою Timer1, а пакет надсилається за допомогою контакту RC5. Переривання генерується за допомогою Timer1 кожного T_e , що становить 416,67 мкс. T_e - це піврозрядний час, і саме тут змінюється фаза сигналу. Якщо надсилається «1» як біт, перша половина буде «1», а при перериванні сигнал змінюється на протилежний і навпаки. У результаті на виході виходить пакет у манчестерському кодуванні, готовий до декодування керуючим пристроєм, якщо він надсилається керуючим пристроєм, або декодується керуючим пристроєм, якщо керуючий пристрій надсилає його як відповідь назад до керуючого пристрою (рис.2.19).

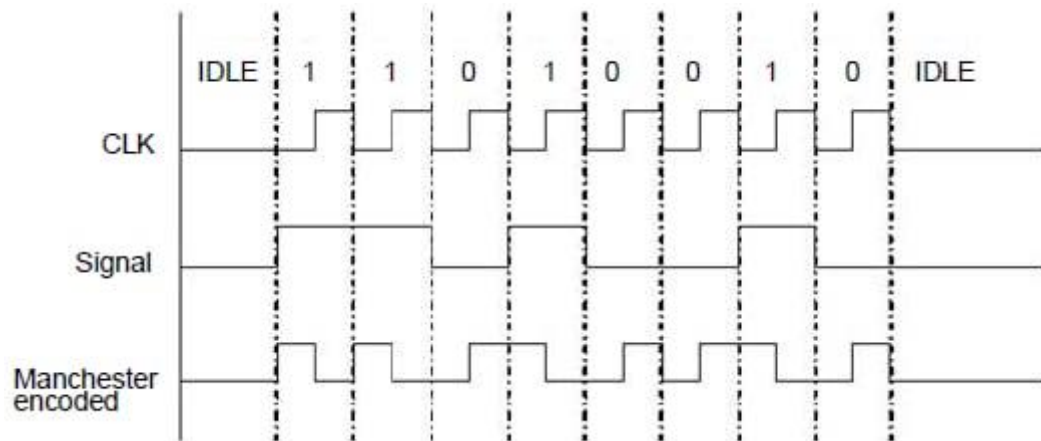


Рисунок 2.19 - Манчестерське кодування

Манчестерське декодування. Манчестерське декодування складніше, ніж Манчестерське кодування. Коли прийом починається, приймач, незалежно від того, чи то апарат керування, чи пристрій керування, переконається, що пакет отримано повністю, починаючи з початкового біта, потім 8- або 16-бітного повідомлення і, нарешті, щонайменше два IDLEs, щоб вказати стоп-біт.

Декодування виконується за допомогою зовнішнього контакту переривання. Цей вивід спеціально використовується для створення переривання кожного разу, коли змінюється фаза вхідного сигналу. Timer1 використовується для створення переривання кожні $3/4$ біта, тому значення вимірюється в цій точці, і це вирішує, чи є біт «0» чи «1». Timer1 скидається та перезавантажується в середині біта, коли відбувається зовнішнє переривання, і це тримає під контролем помилку через дрейф (рис.20).

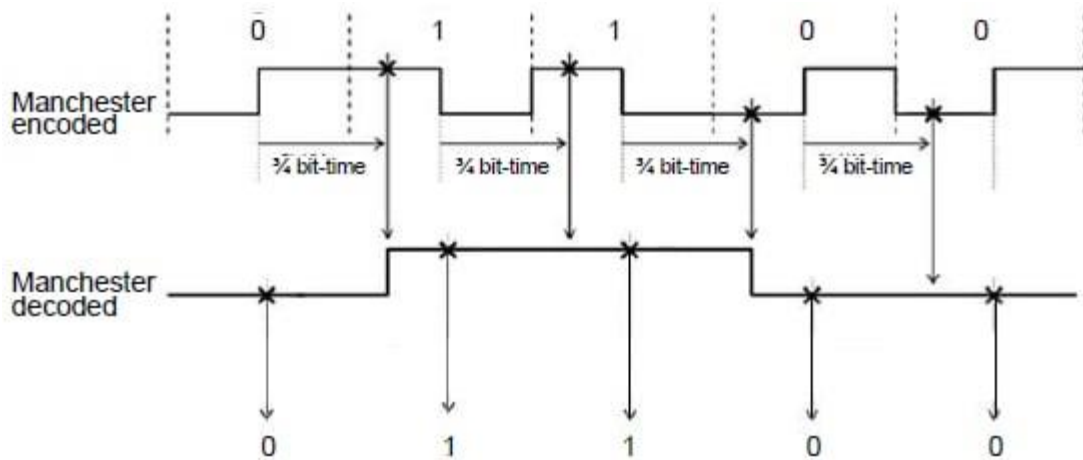


Рисунок 2.20 - Манчестерське декодування

2.2.5 Дистанційне затемнення світлодіодних освітлювачів

Диммовані світлодіодні драйвери мають проблеми зі стабільністю при дуже низькому рівні освітлення. Методи затемнення за допомогою схеми зв'язку для встановлення струму світлодіодів включають DALI, 0-10 V, Zigbee та керування мережею живлення. Сигнал, отриманий драйвером світлодіода, встановлює опорний струм, а контур керування регулює масштабований світлодіодний струм відповідно до опорного значення. Потрібен жорсткий контроль, щоб світло від сусідніх світильників виглядало однаковим.

Якщо використовується двоступінчатий перетворювач потужності, то нестабільність низького рівня освітлення не спостерігається. Перший ступінь (boost або PFC-Flyback) встановлює відносно постійну напругу, а другий ступінь

(зазвичай інверсний понижувач) точно регулює струм у світлодіодах.

Двоступінчатий підхід використовує більше деталей і є менш ефективним, ніж одноступінчастий перетворювач. З міркувань вартості як правило вибирають одноступінчастий перетворювач PFC-Flyback (рис.2.21).

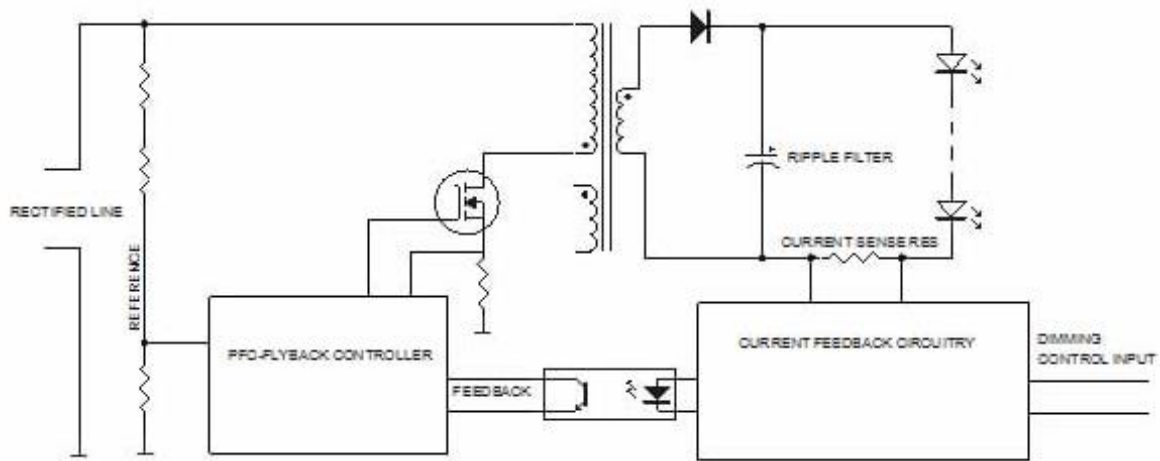


Рисунок 2.21 - Типовий світлодіодний драйвер PFC-Flyback із зовнішнім керуванням

Світлодіодні джерела випромінювання мають набагато лінійніший відгук, ніж лампи розжарення, і їхня ефективність фактично зростає при низьких струмах. Око може помітити різницю випромінювання між сусідніми джерелами на 5% і реагувати на різницю яскравостей, а не на абсолютний рівень яскравості (освітленості). Це вимагає жорсткого контролю струму, а необхідна точність стає ще важливішою при слабкому освітленні. Первинний бічний контроль не можна використовувати, якщо потрібне затемнення до 1%.

Світлодіоди не мають механізму самофільтрації, як лампи розжарювання. Нитка розжарення в лампі є задовільним фільтром для мережі змінного струму, але світлодіоди потребують зовнішнього фільтрування. Звичайним рішенням є великий електролітичний конденсатор безпосередньо на світлодіодах, який добре працює.

Параметри конденсатора встановлюються вимогою до величини пульсації. Якщо пульсації струму менше приблизно 10% середньоквадратичного значення, то якість світла сприймається так само, як і для чистого постійного струму.

Світлодіоди мають динамічний опір (опір нахилу) приблизно 1/10 сталого

опору U/I . На рис.2.22 показана вольт-амперна характеристика типового світлодіода.

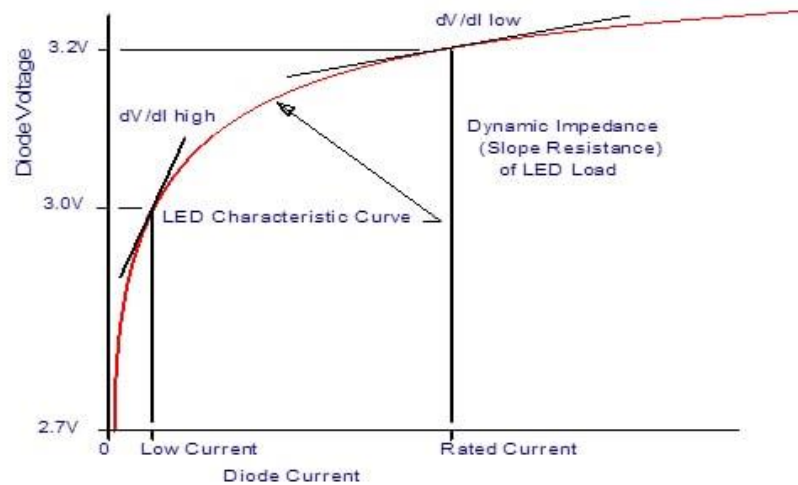


Рисунок 2.22 - Типова вольт-амперна характеристика світлодіода, що показує нахил опору, який змінюється залежно від струму

Таким чином, для пульсацій менше ніж 10% середньоквадратичного відхилення, конденсатор повинен утримувати напругу на світлодіодах в межах приблизно 1%. Необхідне значення ємності конденсатора:

$$C = \frac{0,707 \cdot 100 \cdot I_{LED}}{2\pi \cdot 120 \cdot V_{np}}$$

Конденсатор також є частиною контуру керування. Конденсатор і світлодіодний динамічний опір встановлюють частоту пульсацій приблизно 30 Гц.

Динамічний опір світлодіода збільшується зі зменшенням струму, що зміщує контур керування вліво. При 10% струму кутова частота становить близько 3 Гц, при 1% струму – приблизно 0,3 Гц. Типовий контур керування для каскаду PFC має частоту переходу між 3 Гц і 20 Гц.

Інше конструктивне рішення полягає у використанні більшої кількості деталей, але ефективність роботи практично рівна як для двоступінчатого драйвера.

Можна виміряти струм як в конденсаторі, так і в ланцюжку світлодіодів. Це вихідний струм перетворювача. На рис. 2.23 показано схему схемне рішення

усунення зсуву фази.

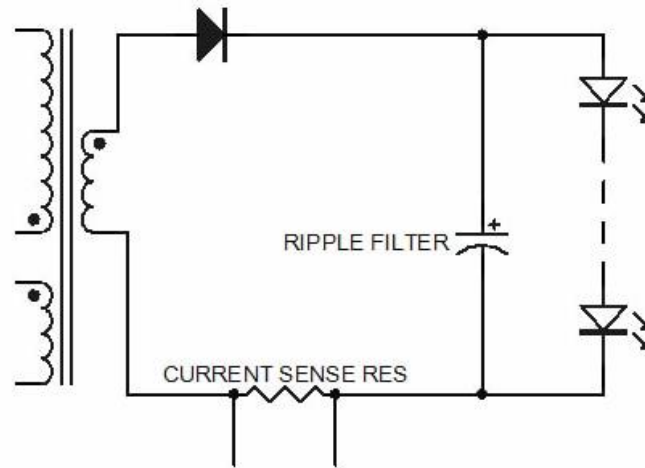


Рисунок 2.23 - Схема зсуву фази

Однак струм, що подається перетворювачем PFC-Flyback, є з трикутними імпульсами, і імпульси модулюються синусоїдальною хвилею 120 Гц зі зміщенням постійного струму. Компоненти високої частоти та 120 Гц повинні бути відфільтровані. Імпульсний струм також значно збільшить розсіювання в резисторі струму.

Струм високої частоти, що живить плівковий конденсатор, має форму та оболонку, показані на рис.2.24.

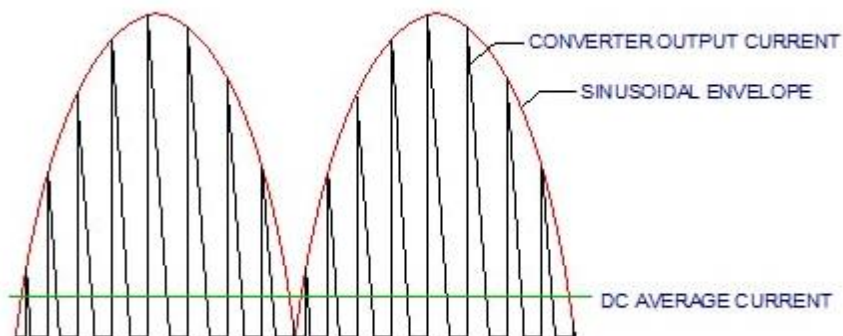


Рисунок 2.24 - Вихідний струм від PFC перетворювача

Середньоквадратичний струм пілкоподібної складової є великий. На низькій лінії для широкодіапазонного перетворювача максимальний струм у 8 разів перевищує середній вихідний постійний струм, а середньоквадратичний струм у два рази перевищує середній вихідний постійний струм. Чутливий резистор розсіював би в 4 рази більше потужності, ніж має місце для

електролітичного конденсатора.

Щоб це виправити, на вихід перетворювача можна помістити невеликий плівковий або керамічний конденсатор. Велика ємність не потрібна, але еквівалентний послідовний опір конденсатора має бути низьким, а потужність струму має бути адекватною. Може знадобитися кілька паралельних конденсаторів. Також може бути корисним невеликий індуктор, з'єднаний послідовно з резистором відбору струму.

Щоб обчислити значення плівкового конденсатора, припустимо, що робочий цикл діода становить 50%, що є типовим для найгіршого випадку. Плівковий конденсатор має незначний вплив на подвійну частотну складову. На рис.2.25 подано компоненти подвійної лінійної частоти та постійного струму.

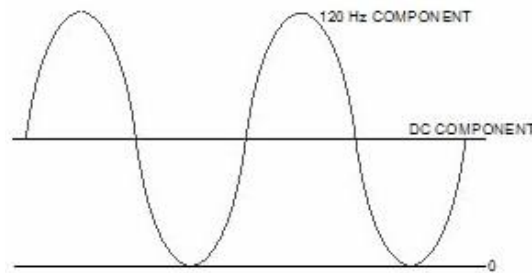


Рисунок 2.25 - Компоненти подвійної лінійної частоти та постійного струму (відфільтрований пілкоподібний компонент)

Ефект виділення тепла в резисторі під дією синусоїдальної складової невеликий, оскільки це невелика частка загального струму. Співвідношення компонентів постійного струму та частоти 120 Гц є постійним – амплітуда змінного струму вдвічі більша за постійний струм, тому його середньоквадратичне значення становить 0,707 від значення постійного струму (струм світлодіода). Середньоквадратичні струми додають у звичайний спосіб:

$$I_c = \sqrt{I_{nc}^2 + (0.707I_{nc})^2} = 1,225I_{nc}$$

Розсіювання в резисторі струму все одно буде значно вищим, ніж при вимірюванні постійного струму світлодіода, збільшуючись на коефіцієнт I^2 .

$$P_{[120+nc]} = P_{nc} \cdot I^2 = 1,5P_{nc}$$

Але це краще, ніж за наявності компонента перемикач частоти.

Для контуру керування компонент 120 Гц можна відфільтрувати за допомогою простого RC фільтра. Він мав би стабільні характеристики підсилення та фазового зсуву, які змінювалися б лише залежно від частоти, а не від струму навантаження.

Висновки до розділу 2

1. Проаналізовано існуючі методи регулювання світлового потоку джерел світла, встановлено їх переваги та недоліки.
2. Представлено характеристику основних способів керування освітленням, таким як: системи керування за розкладом; системи на основі контролю присутності; системи з врахуванням природного світла; змішані системи керування. Дано рекомендації щодо використання даних систем для різного типу приміщень.
3. Описано принцип роботи та характеристики бездротових фотодатчиків.
4. Запропоновано технологію керування освітленням на основі схеми, що враховує природне світло.
5. На основі порівняння місць встановлення фотодатчиків обґрунтовано їх розміщення на робочих площинах у контрольних точках.
6. Записано алгоритм керування освітлювальною установкою.
7. Описано технологію димінгування світильників за протоколом DALI.

Розділ 3

РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

3.1 Характеристика приміщення

Для розрахунку енергоефективності освітлювальних установок з системою керування з врахуванням природнього світла було змодельовано офісне приміщення відкритого типу у програмі «DIALux evo» (рис.3.1-3.3).

У приміщенні знаходиться 15 робочих місць, троє з яких обладнані стаціонарними комп'ютерами, на інших можливе використання ноутбуків. Приміщення має 3 вікна з довшої сторони та одне з яких з коротшої сторони.

Площа приміщення становить 81.4 м^2 , висота – 3м.

Вибрані матеріали та їх коефіцієнти відбивання:

Стеля - «бетон чистий-19», ρ - 34%

Підлога - «Паркет американська вишня 1-32» $\rho = 43\%$.

Стіни - $\rho=50\%$

Стільці – $\rho=50\%$

Стіл - $\rho=63\%$

Вікна - $\tau = 90\%$

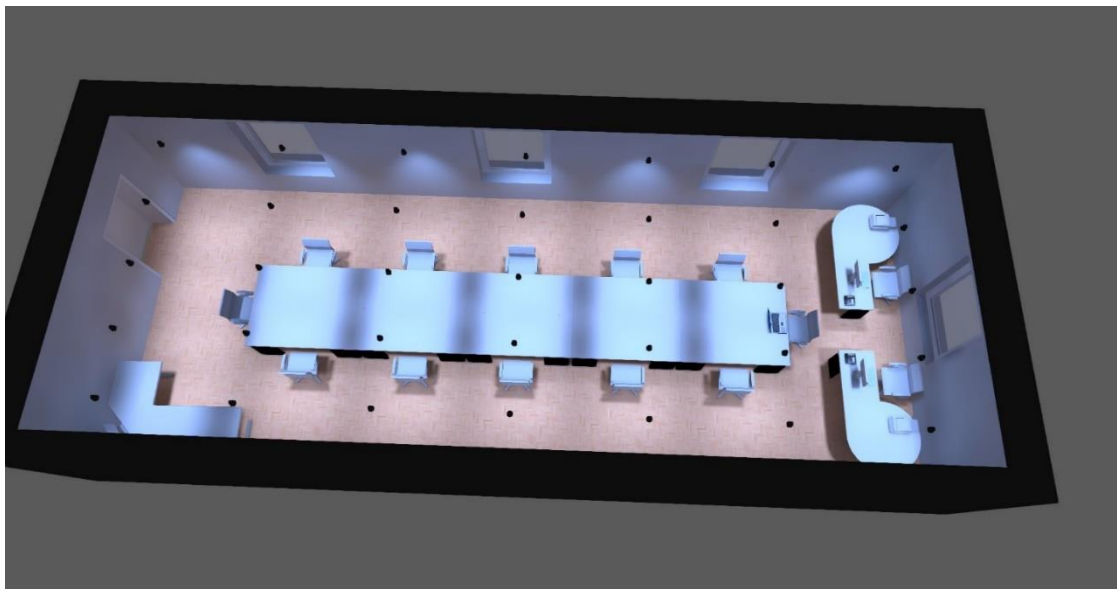


Рисунок 3.1 – Візуалізація приміщення офісу

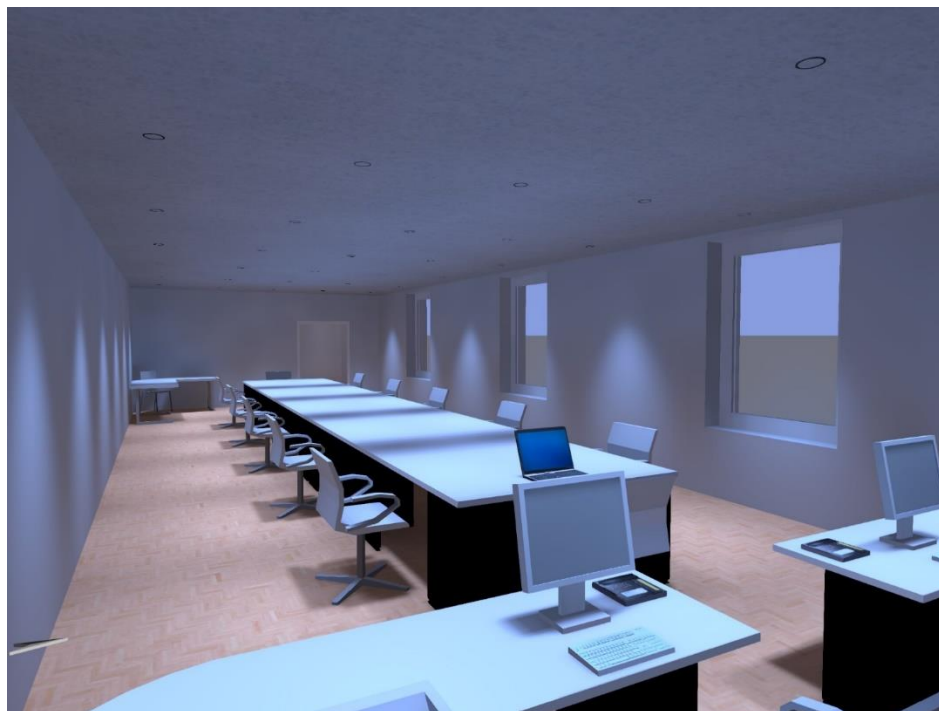


Рисунок 3.2 – Внутрішній вид приміщення

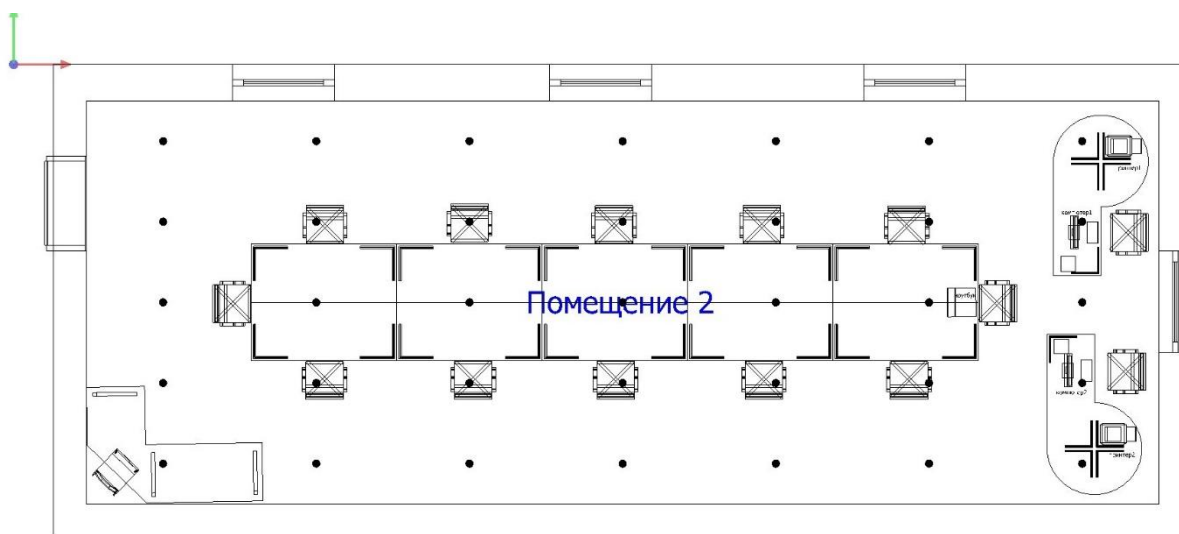


Рисунок 3.3 – Горизонтальна проекція приміщення

3.2 Вибір світильників

Для даного приміщення вибираємо регульований круглий вбудований світильник – LED PA52 10 Вт 1178.6 лм - 4000К - CRI 90 (рис. 3.4-3.7). Світильник виготовлений з алюмінію і термопластику, розміри $\varnothing 104 \times 95$



Рисунок 3.4 - Загальний вигляд світильника RA52

Параметри світильника:

- Потужність - 10 Вт
- Світловий потік - 1300 лм
- Колірна температура 4000 К CRI 90
- Монтаж: Втоплений в підвісну стелю за допомогою пружини зі сталевого дроту проти падіння - мінімальна товщина підвісної стелі: 1 мм - підготовчий отвір Ø96 мм.
- Електропроводка: Пускорегулюючі апарати постійного струму доступні з окремим кодовим номером: ON-OFF / 1-10V dimmable / DALI dimmable / Longing Edge dimmable - втоплений фітинг включає кабель і швидкоз'ємний з'єднувач для підключення до роз'єму на баласті.
- Для встановлення цього виробу потрібно встановити один із аксесуарів, перелічених нижче:
 - Блок живлення постійного струму без регулювання яскравості IP20 17 Вт - VIN = 220-240 В змінного струму 50/60 Гц MY37
 - Блок живлення постійного струму 1-10V IP20 16W - VIN = 220-240 В змінного струму 50/60 Гц MY18
 - Блок живлення постійного струму DALI IP20 20W - VIN = 220-240 В змінного струму 50/60 Гц MY19

- Джерело живлення постійного струму Фазове зрізання з регулюванням яскравості (задній/передній край) IP20 24 Вт - VIN = 220-240 В змінного струму 50/60 Гц MY20.

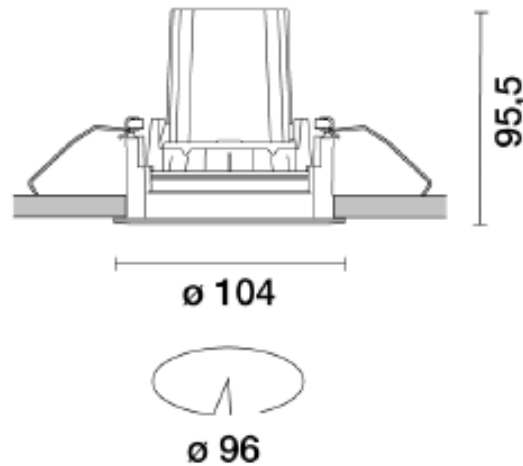


Рисунок 3.5 - Світильник в розрізі

Polar

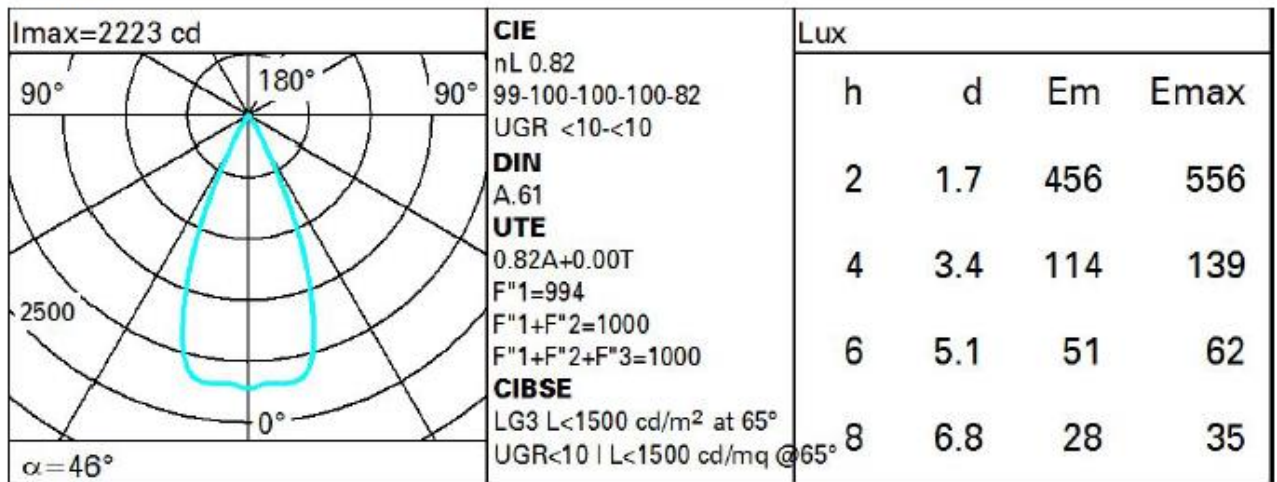


Рисунок 3.6 - Світлорозподіл світильника RA52

Luminance curve limit

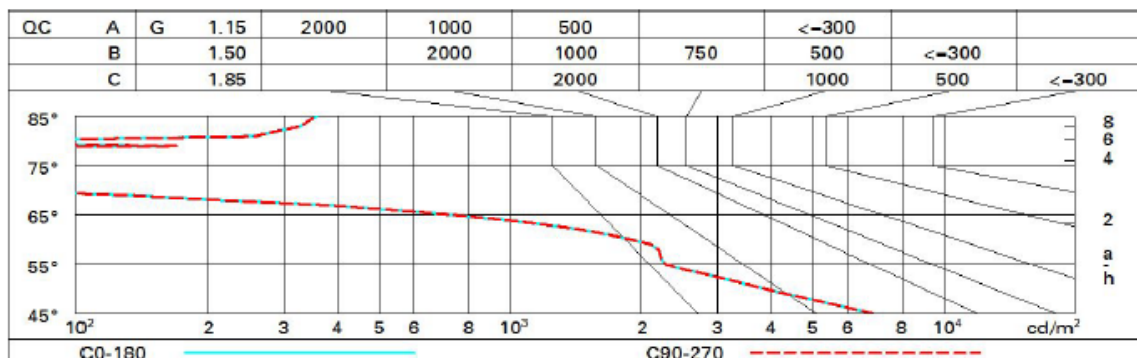


Рисунок 3.7 - Межа кривої яскравості.

3.3 Режими освітлення

Нормований рівень освітленості у даному приміщенні згідно ДБН становить 400 лк. Для забезпечення такої освітленості використаємо 35 світильників РА52. Таке розташування світлових приладів дозволяє створити рівномірне загальне освітлення, що, в свою чергу дає можливість змінювати розміщення робочих зон офісного приміщення.

Крім нормованого значення рівня освітленості робочої площини ДБН регламентує показник дискомфорту не більше $M = 40$; коефіцієнт пульсації не більше $K_z = 10$; природне освітлення середнє $D_{\text{сер}}^{\text{н пр}} = 3$; мінімальне $D_{\text{min}}^{\text{н пр}} = 1$; суміщене освітлення $D_{\text{сер}}^{\text{н сум}} = 1.8$; мінімальне $D_{\text{min}}^{\text{н сум}} = 0.6$

На рис. 3.8 показані криві рівної освітленості при застосуванні тільки штучного освітлення, без врахування природного світла.

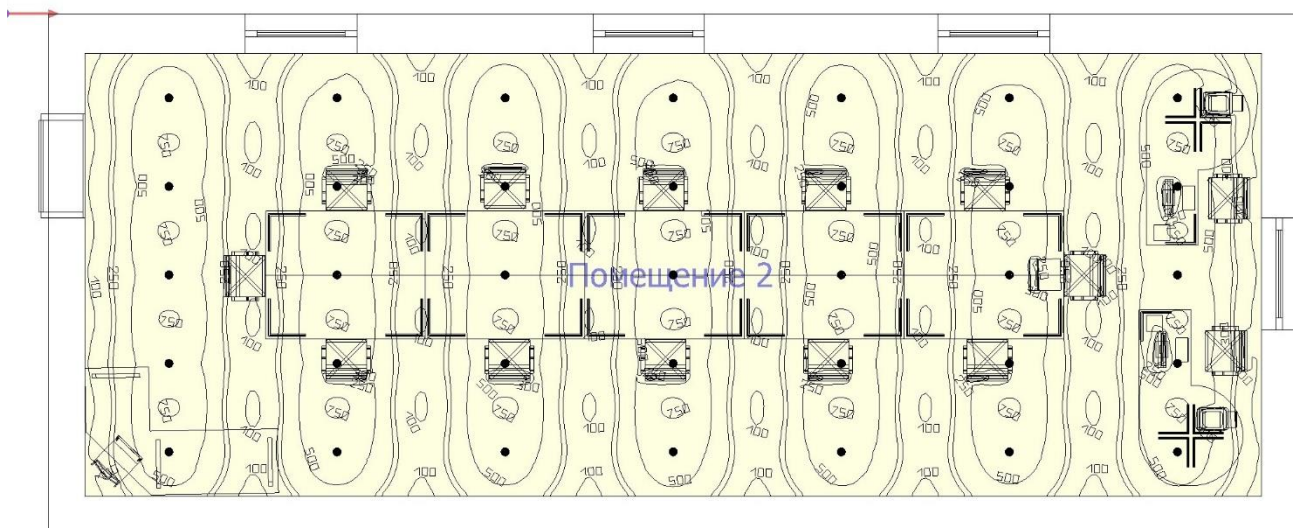


Рисунок 3.8 – Ізолінії горизонтальної освітленості при штучному освітленні

Для офісного приміщення, де працівники знаходяться повний робочий день, доцільно застосувати система керуванням з врахуванням денного світла.

Для оцінки потенціалу економії електроспоживання було вибрано два режими освітлення – сонячний і хмарний зимовий день. Розрахунки робили для такого ряду часу: 9:00 год, 12:00 год, 15:00 год, 18:00 год.

Завданням було, враховуючи значення освітленості від денного світла,

регулювати значення світлового потоку світильників так, щоб забезпечувався нормований рівень освітленості 400 лк із заданою однорідністю.

На рис.3.9-3.10 подано криві рівної освітленості робочої площини при керуванні роботою світлових приладів з врахуванням природнього світла в умовах хмарного та сонячного днів, відповідно.

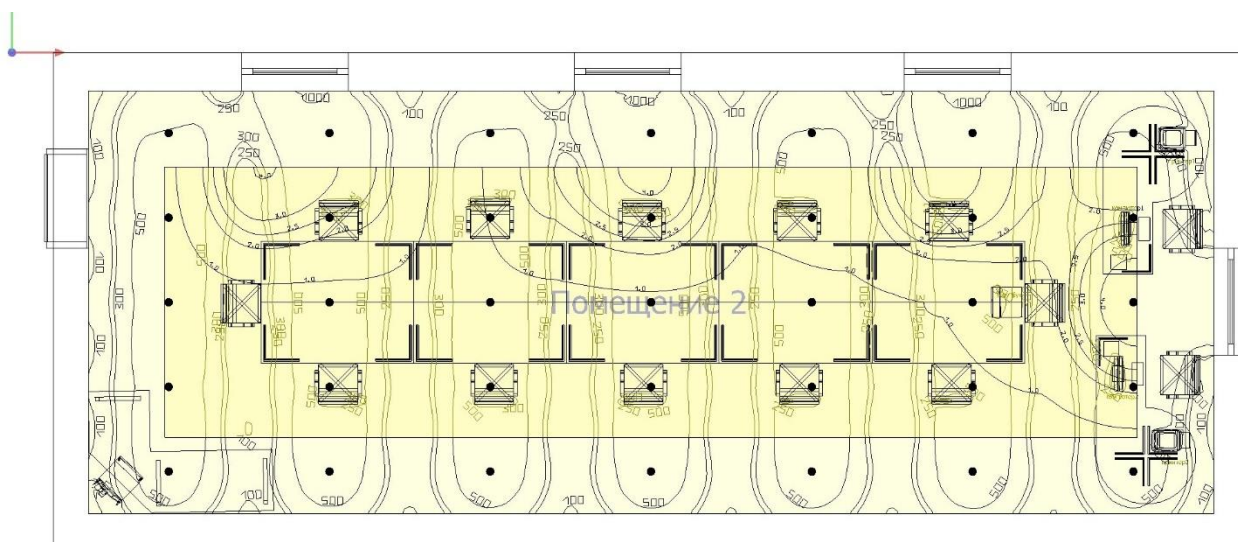


Рисунок 3.9 - Криві рівної освітленості робочої площини при керуванні роботою світлових приладів з врахуванням природнього світла в умовах хмарного дня

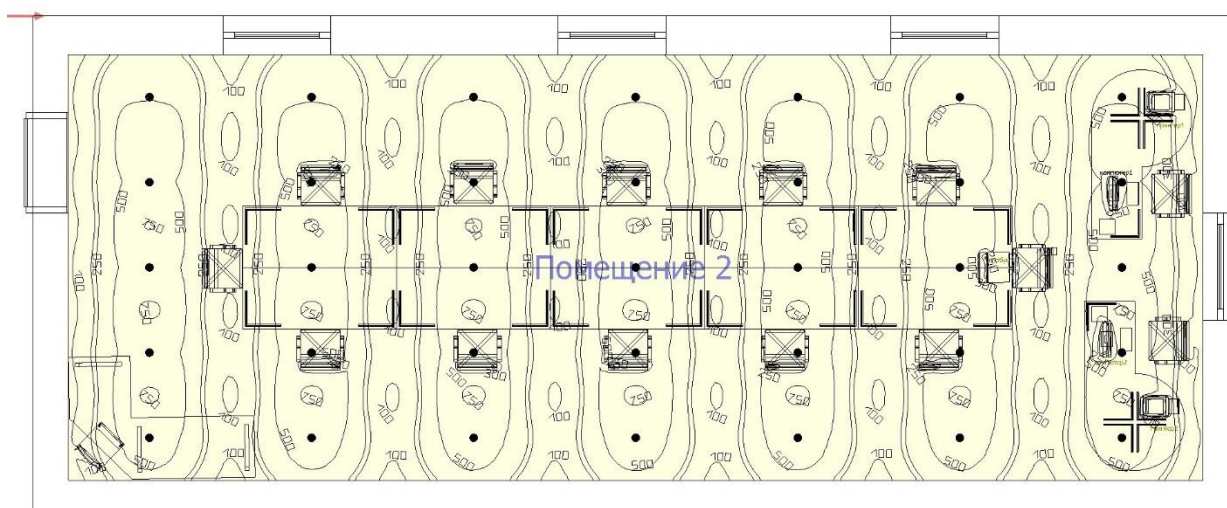


Рисунок 3.10 - Криві рівної освітленості робочої площини при керуванні роботою світлових приладів з врахуванням природнього світла в умовах сонячного дня

Потужність, споживану кожним світильником, визначали із залежності світлового потоку світильника від потужності, отриманої експериментально за допомогою фотометричної кулі та типової ВАХ світлодіода (рис.3.11).

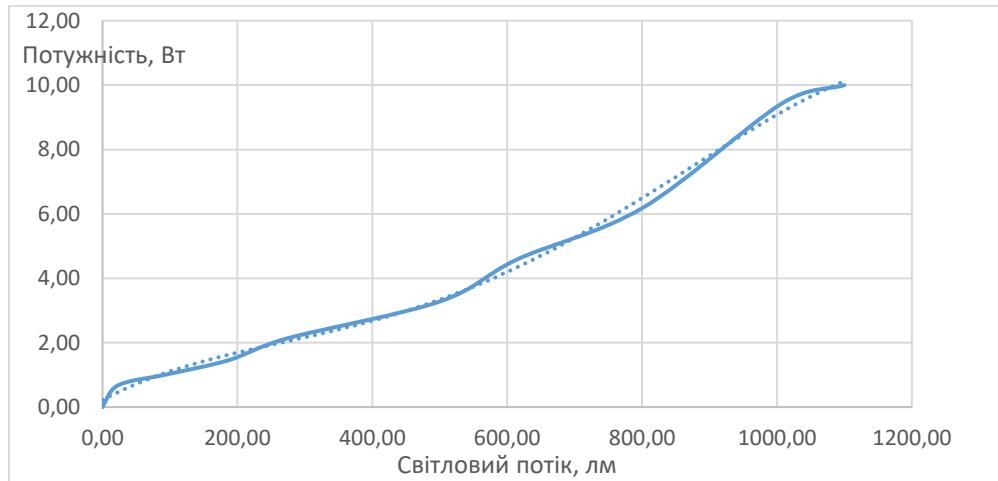


Рисунок 3.11 – Залежність споживаної потужності світильника від світлового потоку

Дана залежність апроксимована поліномом

$$P(\Phi) = 3 \cdot 10^{-6} \Phi^2 + 0,0057 \Phi, \quad (3.1)$$

вірогідність апроксимації $R^2 = 0,9883$

Для розрахунку споживаної електроенергії світильником за робочий день використовували формулу:

$$W_d = \sum_{i=1}^{35} P_{\text{сум.1}} \cdot 1,5 + \sum_{i=1}^{35} P_{\text{сум.2}} \cdot 1,5 + \sum_{i=1}^{35} P_{\text{сум.3}} \cdot 1,5 + \sum_{i=1}^{35} P_{\text{сум.4}} \cdot 1,5 + \sum_{i=1}^{35} P_{\text{сум.5}} \cdot 1,5 + \sum_{i=1}^{35} P_{\text{сум.6}} \cdot 1,5$$

де $P_{\text{сум}i}$ – сумарна потужність світильників за період, тривалістю 1,5 год, в межах інтервалу часу 9:00 – 18:00 год.

Для хмарного дня споживання електроенергії на освітлення в робочий час становить:

$$W_{\text{д}} = 301.09 \cdot 1.5 + 270.375 \cdot 1.5 + 288.3125 \cdot 1.5 + 306.25 \cdot 1.5 + 325.325 \cdot 1.5 + 344.4 \cdot 1.5 = 2753.63 = 2.754 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Для сонячного дня:

$$W_{\text{д}} = 266.7 \cdot 1.5 + 228.55 \cdot 1.5 + 249.55 \cdot 1.5 + 270.55 \cdot 1.5 + 307.125 \cdot 1.5 + 343.7 \cdot 1.5 = 2499.3 = 2.4993 \approx 2.5 \text{ кВт} \cdot \text{год} - \text{при сонячному дні.}$$

При ручному регулюванні освітленості:

$$W_{\text{д}} = \sum_{i=0}^{35} P_{\text{сум}} \cdot 9 = 3150 = 3.15 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Розрахуємо економію електроенергії для сонячного дня для одного року порівняно із системою освітлення з ручним керуванням:

$$\frac{W_{\text{шт}}}{100} = \frac{W_{\text{хм}\%}}{W_{\text{хм}}}, \frac{3150}{100} = \frac{n\%}{2500},$$

$$W_{\text{хм}\%} = 100 - n\% = 100 - 79.5 = 20.5\%$$

Аналогічний розрахунок проводимо для хмарного дня:

$$\frac{3150}{100} = \frac{n\%}{2754}$$

$$W_{\text{хм}\%} = 12.5\%$$

Результати розрахунків зведені у табл.3.1-3.2.

Таблиця 3.1 – Споживана потужність, світловий потік та електроспоживання освітлювальної установки. Стан неба – хмарний день, дата – 18.12.2023

№ світильника	Φ , лм	P , Вт	Φ , лм	P , Вт	Φ , лм	P , Вт	Φ , лм	P , Вт	
	9:00 год		12:00 год		15:00 год		18:00 год		
1	1110	8.55	900	6.9	1030	7.95	1265	9.75	Сумарне електроспоживання, кВт·год
2	1110	8.55	900	6.9	1030	7.95	1265	9.75	
3	1110	8.55	900	6.9	1030	7.95	1265	9.75	
4	1110	8.55	900	6.9	1030	7.95	1265	9.75	
5	1110	8.55	900	6.9	1030	7.95	1265	9.75	
6	1110	8.55	900	6.9	1030	7.95	1265	9.75	
7	1110	8.55	950	7.31	1050	8.1	1290	9.92	
8	1200	9.25	1000	7.7	1090	8.4	1270	9.78	
9	1200	9.25	1000	7.7	1090	8.4	1270	9.78	
10	1200	9.25	1000	7.7	1090	8.4	1270	9.78	
11	1200	9.25	1000	7.7	1090	8.4	1270	9.78	
12	1200	9.25	1000	7.7	1090	8.4	1270	9.78	
13	1110	8.55	980	7.54	1060	8.2	1260	9.7	
14	1110	8.55	980	7.54	1060	8.2	1260	9.7	
15	1300	10	1000	7.7	1110	8.55	1270	9.78	
16	1300	10	1000	7.7	1150	8.9	1280	9.85	
17	1300	10	1000	7.7	1150	8.9	1280	9.85	
18	1300	10	1000	7.7	1150	8.9	1280	9.85	
19	1300	10	1000	7.7	1150	8.9	1280	9.85	
20	1300	10	950	7.31	1040	8	1270	9.78	
21	1110	8.55	900	6.9	1020	7.9	1265	9.75	
22	1300	10	1050	8.1	1200	9.25	1290	9.92	
23	1300	10	1050	8.1	1250	9.6	1280	9.85	
24	1300	10	1050	8.1	1250	9.6	1280	9.85	
25	1300	10	1050	8.1	1250	9.6	1280	9.85	
26	1300	10	1050	8.1	1250	9.6	1280	9.85	
27	1300	10	1000	7.7	1150	8.9	1280	9.85	
28	1300	10	1000	7.7	1150	8.9	1280	9.85	
29	1300	10	1100	8.5	1230	9.5	1300	10	
30	1300	10	1100	8.5	1230	9.5	1300	10	
31	1300	10	1100	8.5	1230	9.5	1300	10	
32	1300	10	1100	8.5	1230	9.5	1300	10	
33	1300	10	1100	8.5	1230	9.5	1300	10	
34	1300	10	1100	8.5	1230	9.5	1300	10	
35	1300	10	1100	8.5	1230	9.5	1300	10	
Сумарна потужність	331.8		270.375		306.25		344.4		2.754

Таблиця 3.1 – Споживана потужність, світловий потік та електроспоживання освітлювальної установки. Стан неба – сонячний день, дата – 18.12.2023

№ світильника	Φ , лм	P , Вт	Φ , лм	P , Вт	Φ , лм	P , Вт	Φ , лм	P , Вт	
	9:00 год		12:00 год		15:00 год		18:00 год		
1	1030	7.95	800	6.16	880	6.77	1230	9.5	Сумарне електроспоживання, кВт·год
2	1030	7.95	800	6.16	880	6.77	1230	9.5	
3	1030	7.95	800	6.16	880	6.77	1230	9.5	
4	1030	7.95	800	6.16	880	6.77	1230	9.5	
5	1030	7.95	800	6.16	880	6.77	1230	9.5	
6	1030	7.95	800	6.16	880	6.77	1230	9.5	
7	1150	8.9	890	6.85	920	7.08	1200	9.5	
8	1070	8.3	810	6.25	940	7.25	1260	9.7	
9	1070	8.3	810	6.25	940	7.25	1260	9.7	
10	1070	8.3	810	6.25	940	7.25	1260	9.7	
11	1070	8.3	810	6.25	940	7.25	1260	9.7	
12	1070	8.3	810	6.25	940	7.25	1260	9.7	
13	1050	8.1	780	6	920	7.08	1250	9.6	
14	1040	8	840	6.47	915	7.05	1230	9.5	
15	1150	8.9	830	6.4	980	7.55	1300	10	
16	1150	8.9	830	6.4	980	7.55	1300	10	
17	1150	8.9	830	6.4	980	7.55	1300	10	
18	1150	8.9	830	6.4	980	7.55	1300	10	
19	1150	8.9	830	6.4	980	7.55	1300	10	
20	1100	8.5	800	6.16	930	7.17	1280	9.85	
21	1050	8.1	800	6.16	920	7.1	1270	9.78	
22	1200	9.25	890	6.85	1000	7.7	1300	10	
23	1200	9.25	890	6.85	1000	7.7	1300	10	
24	1200	9.25	890	6.85	1000	7.7	1300	10	
25	1200	9.25	890	6.85	1000	7.7	1300	10	
26	1200	9.25	890	6.85	1000	7.7	1300	10	
27	1200	9.25	890	6.85	1000	7.7	1300	10	
28	1200	9.25	890	6.85	990	7.62	1290	10	
29	1200	9.25	900	6.95	1100	8.5	1300	10	
30	1200	9.25	900	6.95	1100	8.5	1300	10	
31	1200	9.25	900	6.95	1100	8.5	1300	10	
32	1200	9.25	900	6.95	1100	8.5	1300	10	
33	1200	9.25	900	6.95	1100	8.5	1300	10	
34	1200	9.25	900	6.95	1100	8.5	1300	10	
35	1200	9.25	900	6.95	1100	8.5	1300	10	
Сумарна потужність	304.85		228.55		270.55		343.7		2,5

3.4 Розрахунок річного енергоспоживання при різних режимах освітлення

Визначимо енергоспоживання для трьох видів освітлення: без керування штучним освітленням, з застосуванням схеми керування освітленням для хмарного та сонячного дня згідно [12].

1. Річний обсяг енергоспоживання при освітленні W , кВт · год, розраховуємо за формулою 3.2

$$W = W_L + W_P \quad (3.2)$$

$$W = 875 + 488.4 = 1363.8 \text{ – без керування штучним освітленням.}$$

$$W = 631.32 + 488.4 = 1119.72 \text{ – з керуванням при хмарному небі.}$$

$$W = 581.9 + 488.4 = 1070.3 \text{ – з керуванням при сонячному дні.}$$

де W_L – енергія, необхідна для виконання функції штучного освітлення в будівлі, кВт · год;

W_P – паразитна енергія, що необхідна для забезпечення заряду акумуляторів світильників аварійного освітлення та енергія для украління/регулювання освітленням в будівлі, кВт · год.

2. Значення W_L розраховуємо за формулою 3.3:

$$W_L = (P_N \cdot F_C) \cdot ((t_D \cdot F_O \cdot F_D) + (t_N \cdot F_O)) \cdot A_f / 1000, \quad (3.3)$$

$$W_L = (4.3 \cdot 1) \cdot ((2250 \cdot 1 \cdot 1) + (250 \cdot 1)) \cdot \frac{81.4}{1000} = 875 \text{ без керування штучним освітленням.}$$

$$W_L = (3.83 \cdot 0.9) \cdot ((2250 \cdot 1 \cdot 0.9) + (250 \cdot 0.9)) \cdot \frac{81.4}{1000} = 631.32 \text{ – з керуванням при хмарному дні.}$$

$$W_L = (3.53 \cdot 0.9) \cdot ((2250 \cdot 1 \cdot 0.9) + (250 \cdot 0.9)) \cdot \frac{81.4}{1000} = 581.9 \text{ – з керуванням при сонячному дні.}$$

де P_N – питома потужність встановленого штучного освітлення в будівлі, Вт/м²;
 F_C - постійний коефіцієнт яскравості, що відноситься до використання навантаження встановленого освітлення при функціонуючому контролі сталої освітленості зони, приймають згідно табличних даних (табл.3.3).

F_O – коефіцієнт використання освітлення, є відношенням використанні загальної встановленої потужності штучного освітлення до періоду використання зони (табл.3.3).

F_D – коефіцієнт природнього освітлення, є відношенням використання загальної встановленої потужності штучного освітлення до наявного природнього освітлення зони (табл.3.3).

t_D – час використання природнього освітлення протягом року, год (табл.3.3).

t_N – час використання штучного освітлення протягом року, год (табл.3.3).

A_f – кондиціонована площа будівлі, м².

3. Значення W_P розрахуємо за формулою 3.4:

$$W_P = (P_{ет} + P_{рс}) \cdot A_f, \quad (3.4)$$

$$W_P = (1 + 5) \cdot 81.4 = 488.4$$

$$A_f = 81.4 \text{ м}^2.$$

де $P_{ет}$ – загальна встановлена питома потужність заряду акумуляторів світильників аварійного освітлення, кВт · год/м² (табл.3.3).

$P_{рс}$ – загальна встановлена питома потужність усіх систем управління приладами освітлення зони в час, коли лампи не використовують, кВт · год/м² (табл.3.3).

Таблиця 3.3

Тип будівлі	Аварійне $P_{ет}$ кВт · год/(м ² · рік)	Регулювання $P_{рс}$ кВт · год/(м ² · рік)	t_D ГОД	t_N ГОД	F_C		F_O		F_D	
					Відсутня	Наявна	Ручний режим	Автоматичний режим	Ручний режим	Автоматичний режим
Офіс	1	5	2250	250	1	0.9	1	0.9	1	0.9

В табл.3.4 подана частка природнього освітлення, яка використовується для забезпечення нормованого рівня освітленості робочої площини.

Таблиця 3.4 - Частка природнього освітлення

Час \ Стан неба	9:00	12:00	15:00	18:00
Хмарне небо	4.7%	17.9%	11%	1.2%
Чисте небо	12.3%	38%	31%	2.7%

Висновки до розділу 3

1. Змодельовано систему освітлення офісного приміщення з керуванням освітленням з використанням денного світла з датчиками, розміщеними на робочій площині.
2. Розраховано зменшення споживаної потужності кожним світловим приладом при збереженні заданого рівня освітленості та комфортних зорових умов користувачів для зимового дня з умовами сонячного та хмарного неба. Економія електроспоживання на освітлення порівняно з роботою світильників в номінальному режимі становить 20,5% та 12,5% для сонячного та хмарного днів, відповідно.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Вимоги електробезпеки до освітлювальних установок

Електробезпека - система організаційних і технічних засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного впливу електроструму, електродуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Вимоги електробезпеки викладені в міжгалузевих правилах з охорони праці при експлуатації електроустановок, правилах технічної експлуатації електроустановок споживачів, ДСТУ та інших нормативних правових актах.

Вимоги, що містяться в цих актах, поширюються на всіх споживачів, працівників усіх організацій, незалежно від форм власності та організаційно-правових форм, а також на фізичних осіб, зайнятих технічним обслуговуванням електроустановок, що проводять в них оперативні перемикання, які організовують і виконують в електроустановках монтажні, налагоджувальні, ремонтні та будівельні роботи, випробування та вимірювання (електротехнічний персонал).

Працівники, що приймаються для виконання робіт в електроустановках, мають професійну підготовку, що відповідає характеру роботи. Електротехнічний (електротехнологічний) персонал зобов'язаний пройти перевірку знань норм і правил роботи в електроустановках в межах вимог, що пред'являються до відповідної посади або професії, і мати відповідну групу з електробезпеки. Працівнику, який пройшов перевірку знань з охорони праці при експлуатації електроустановок, видається посвідчення, в якому внесені результати перевірки знань.

Присвоєння групи з електробезпеки є необхідною умовою для отримання допуску до обслуговування і експлуатації діючих електроустановок. Ця вимога стосується й осіб неелектротехнічного персоналу, що працює в електроустановках.

Електротехнічний персонал в організації поділяється на наступні категорії:

адміністративно-технічний, оперативний, ремонтний, оперативно-ремонтний і електротехнологічний персонал виробничих цехів і дільниць.

Електротехнічного персоналу, який пройшов медичний огляд, спеціальне навчання та перевірку знань, присвоюється група з електробезпеки (від II до V) в залежності від стажу роботи в електроустановках, освіти, теоретичних знань і практичних навичок роботи.

Вимоги до персоналу щодо електробезпеки наведені в МПОТ (ПБ) ЕЕУ, Додаток 1. Наведені в Правилах вимоги є мінімальними можуть бути доповнені за рішенням керівника організації.

Спочатку особі електротехнічного персоналу може бути присвоєна група II. Привласнювати групи з електробезпеки можна тільки послідовно, «перескакувати» через групу можна.

Особам віком до 18 років не дозволяється присвоювати групу вище II.

При надходженні на роботу (переведення на іншу ділянку, заміщення відсутнього працівника) персонал повинен пройти перевірку знань і підтвердити наявну групу стосовно до обладнання електроустановок на новій ділянці.

При переведенні працівника, зайнятого обслуговуванням електроустановок напругою нижче 1000 В, на роботу з обслуговування електроустановок напругою вище 1000 В, йому, як правило, не може бути присвоєно початковий група вище III.

Неелектротехнічний персонал, який виконує роботи, при яких може виникнути небезпека ураження електричним струмом, присвоюється група I з електробезпеки. Перелік посад і професій, що вимагають присвоєння персоналу I групи з електробезпеки, визначає керівник Споживача.

Група I присвоюється персоналу, засвоївши вимоги з електробезпеки, що відносяться до його виробничої діяльності, з оформленням в журналі встановленої форми, посвідчення при цьому не видається.

Присвоєння групи I проводиться шляхом проведення інструктажу, який, як правило, повинен завершуватися перевіркою знань у формі усного опитування і перевіркою придбаних навичок безпечних способів роботи або надання першої

допомоги при ураженні електричним струмом.

Присвоєння групи I з електробезпеки проводить працівник з числа електротехнічного персоналу даного Споживача з групою з електробезпеки не нижче III, призначений розпорядженням керівника організації.

Присвоєння I групи з електробезпеки проводиться з періодичністю не рідше 1 разу на рік.

4.2 Правила техніки безпеки при експлуатації освітлювального обладнання

Робота щодо забезпечення безпечної експлуатації ЕУ здійснюється згідно з обов'язковими, для всіх споживачів електроенергії, незалежно від їх відомчої приналежності, правилами технічної експлуатації ЕУ споживачів та правилами техніки безпеки при експлуатації ЕУ споживачів. Обслуговування діючих ЕУ, проведення в них оперативних переключень, організація та виконання ремонтних, монтажних, налагоджувальних робіт і випробувань здійснюються 59 спеціально підготовленим електротехнічним персоналом.

Роботи в діючих ЕУ з врахуванням заходів безпеки поділяються на виконувани: зі зняттям напруги, без зняття напруги на струмоведучих частинах і поблизу них, без зняття напруги на віддалі від струмоведучих частин, котрі знаходяться під напругою. До робіт, виконуваних зі зняттям напруги, відносяться роботи, котрі виконуються в ЕУ, в котрій зі всіх струмоведучих частин знята напруга. До робіт, виконуваних без зняття напруги на струмоведучих частинах та поблизу них, відносяться роботи, котрі проводяться безпосередньо на цих частинах.

Роботою без зняття напруги на віддалі від струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, вважається робота, при котрій виключається випадкове наближення працюючих людей та використовуваного ними ремонтного обладнання і інструменту до струмоведучих частин на віддаль менше встановленої і не вимагається вживання технічних або організаційних

заходів (безперервного нагляду) для запобігання такому наближенню.

При виконанні робіт зі зняттям напруги та без зняття напруги на струмоведучих частинах та поблизу них повинні виконуватись організаційні та технічні заходи.

До організаційних заходів відносяться:

- оформлення роботи по наряду-допуску, розпорядженню або за переліком робіт, виконуваних в порядку поточної експлуатації;
- допуск до роботи;
- нагляд під час роботи;
- оформлення перерви під час роботи;
- переводи на інше робоче місце.

4.3 Робота з освітлювальними установками при надзвичайних ситуаціях

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях є дуже важливими аспектами при роботі зі світлом. Це особливо стосується роботи з електричними лампами і освітлювальними приладами, оскільки вони можуть бути потенційно небезпечними для здоров'я і безпеки людей, які з ними працюють.

Основні правила безпеки при роботі зі світлом передбачають переконатися, що електричний струм вимкнений перед початком роботи з електричними лампами, не дозволяти дітям гратися з лампами або розетками, не торкатися ламп, якщо вони працюють, не використовувати пошкоджені лампи або проводи, переконуватися, що лампи не перегріваються, оскільки це може призвести до пожежі.

При роботі з освітлювальними приладами важливо дотримуватися інструкцій виробника, а у разі надзвичайної ситуації (пожежа, затоплення, землетрус) діяти згідно з інструкціями цивільної оборони. Завжди варто мати пожежний вогнегасник та детектор диму поблизу, не залишати лампи без нагляду і завжди дотримуватися правил безпеки та охорони праці при роботі зі

світлом.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях є дуже важливими аспектами при роботі зі світлом. Особливо це стосується роботи з електричними лампами і освітлювальними приладами.

Основні правила безпеки при роботі зі світлом:

1. Перед початком роботи з електричними лампами переконайтеся, що електричний струм вимкнений.
2. Не дозволяйте дітям гратися з лампами або розетками.
3. Не торкайтеся ламп, якщо вони працюють.
4. Не використовуйте пошкоджені лампи або проводи.
5. Переконайтеся, що лампи не перегріваються, оскільки це може призвести до пожежі.
6. При роботі з освітлювальними приладами дотримуйтеся інструкцій виробника.
7. У разі надзвичайної ситуації (пожежа, затоплення, землетрус) дійте згідно з інструкціями цивільної оборони.
8. Завжди майте пожежний вогнегасник та детектор диму поблизу.
9. Не залишайте лампи без нагляду.
10. При роботі зі світлом завжди дотримуйтеся правил безпеки та охорони праці.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі літературних джерел встановлено характеристики безпеки, енергоефективності та комфортності приміщень за рахунок впровадження систем автоматизованого керування приладами; розглянуто компоненти системи керування розумним будинком.

2. Проаналізовано переваги та способи реалізації розумного освітлення, подано характеристики елементів системи керування освітленням.

3. Проаналізовано існуючі методи регулювання світлового потоку джерел світла, встановлено їх переваги та недоліки.

4. Представлено характеристику основних способів керування освітленням, таким як: системи керування за розкладом; системи на основі контролю присутності; системи з врахуванням природного світла; змішані системи керування. Дано рекомендації щодо використання даних систем для різного типу приміщень.

5. Для освітлення офісного приміщення запропоновано технологію керування освітленням на основі схеми, що враховує природне світло, з розміщення бездротових датчиків на робочих площинах у контрольних точках.

6. Подано алгоритм керування освітлювальною установкою, обґрунтовано вибір технології димінгування світильників за протоколом DALI.

7. Змодельовано систему освітлення офісного приміщення з керуванням освітленням з використанням денного світла з датчиками, розміщеними на робочій площині.

8. Розраховано зменшення споживаної потужності кожним світловим приладом при збереженні заданого рівня освітленості та комфортних зорових умов користувачів для зимового дня з умовами сонячного та хмарного неба. Економія електроспоживання на освітлення порівняно з роботою світильників в номінальному режимі становить 20.5% та 12.5% для сонячного та хмарного днів, відповідно.

9. Розраховано річне електроспоживання на освітлення без використання керування та з керуванням освітлювальною установкою, яке становить 1363.8/1070.3кВт·год відповідно або 20% економії електроспоживання за рік.

10. Розроблено заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Перелік посилань

1. Костик Л.М., Каплан Ю.Ю., Підвищення енергоефективності освітлювальних установок шляхом впровадження Smart технологій/ Тези доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 6-7 грудня 2023 року. Тернопіль: ТНТУ, 2023. – С. 256-257.
2. <https://medium.com/@qntservices19/benefits-of-smart-lighting-systems-for-home-39f2ab7679ad>
3. <https://hundred-worries.com/en/advice/11672>
4. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9215963>
5. <https://www.easybom.com/blog/a/overview-of-smart-home-core-components-and-functions-2023>
6. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/972/1/012028/pdf>
7. [Laser Adjustable Round - IGuzzini](#)
8. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення.
9. О. М. Воробйова, В. Д. Іванченко підручник «Основи світлотехніки». 2009
10. Правила улаштування електроустановок. / Міненерговугілля України, -К., 2017.
11. К. І. Іоффе, О. Л. Черкашина. Конспект лекцій з дис. СКСП для магістрів.. Харків.-ХНУМГ ім. О. М. Бекетова-2018.
12. НСУ. Енергетична ефективність будівель. Мет. розрах. енергоспожив. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Київ.
13. Y-J Wen, AM Agogino, *Control of wireless networked lighting in open-plan offices, Lighting Research & Technology*, Vol. 43, 2011, pp. 235–248
14. L. Doulos, A. Tsangrassoulis, F.V. Topalis, *The role of spectral response of photosensors in daylight responsive systems*, *Energy and Buildings*, Vol.40, 2008, pp.588–599.
15. EN 12464-1, *Light and lighting. Lighting of work places, Part 1: Indoor work places*, 2011