

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**  
**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ**  
**ТЕХНОЛОГІЙ**  
**КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему:

**«РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ  
ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ БУДИНКУ»**

Виконав: здобувач групи ІТ-62  
спеціальності 126 «Інформаційні системи  
та технології»

\_\_\_\_\_ **Матвієнко Є. В.**

(прізвище та ініціали)

Керівник: \_\_\_\_\_ **Пташник В. В.**

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_ **Сиротюк С. В.**

(прізвище та ініціали)

**ДУБЛЯНИ-2024**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Другий (магістерський) рівень вищої освіти  
Спеціальність 126 «Інформаційні системи та технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

(підпис)

д.т.н., професор, Тригуба А. М.

(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ ” \_\_\_\_\_ 2024 року

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Матвієнко Євген Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка інформаційної системи керування електрозабезпеченням будинку»

керівник роботи к. т. н., доцент, Пташник В. В.

(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП від 12.09.2024 року № 616/к-с

2. Строк подання студентом роботи 06 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: характеристика сучасних інформаційних систем розумного будинку; технічна документація до інженерного обладнання систем освітлення та електрозабезпечення; специфікація систем та пристроїв на основі технології інтернету речей; науково-технічна і довідкова література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Постановка задачі дослідження

2. Дослідження систем керування електрозабезпеченням «Розумного Будинку»

3. Розроблення DALI-сумісної системи керування електрозабезпеченням

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Ефективність прийнятих рішень

Висновки

Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу

Графічний матеріал подається у вигляді презентації

## 6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 5	<i>Пташник В. В., к.т.н., доцент</i>			
4	<i>Городецький І. М., к.т.н., доцент</i>			

7. Дата видачі завдання 13 вересня 2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	<i>Складання інженерної характеристики об'єкту проектування</i>	<i>13.09.2024 – 30.09.2024</i>	
2	<i>Вибір методів та засобів розробки</i>	<i>01.10.2024 – 15.10.2024</i>	
3	<i>Розроблення DALI-сумісної системи керування електрозабезпеченням</i>	<i>16.10.2024 – 31.10.2024</i>	
4	<i>Розгляд питань з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях</i>	<i>01.11.2024 – 10.11.2024</i>	
5	<i>Оцінка економічної ефективності прийнятих рішень</i>	<i>11.11.2024 – 17.11.2024</i>	
6	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентаційного матеріалу</i>	<i>18.11.2024 – 30.11.2024</i>	
7	<i>Завершення роботи в цілому. Підготовка до захисту кваліфікаційної роботи</i>	<i>01.01.2024 – 06.12.2024</i>	

Здобувач

\_\_\_\_\_ Матвієнко Є. В.  
 ( підпис ) ( прізвище та ініціали )

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ Пташник В. В.  
 ( підпис ) ( прізвище та ініціали )

**УДК 681.521 / 681.518**

Розробка інформаційної системи керування електрозабезпеченням будинку. Матвієнко Є. В. Кафедра інформаційних технологій – Дубляни, Львівський національний університет природокористування, 2024.

Кваліфікаційна робота: 78 сторінок текстової частини, 22 рисунки, 14 таблиць, 23 джерела літератури, 4 додатки.

*Метою кваліфікаційної роботи* є розробка інформаційної системи для автоматизованого керування електрозабезпеченням будинку, яка забезпечить оптимальне використання електроенергії, зниження витрат і підвищення енергоефективності.

*Об'єктом дослідження* є процеси управління електрозабезпеченням будинку із застосуванням сучасних інформаційних технологій.

*Предмет дослідження* вивчає методи, алгоритми та засоби розробки інформаційної системи для моніторингу та управління споживанням електроенергії у будинку.

Під час виконання кваліфікаційного дослідження ретельно вивчено предметну сферу та проаналізовано алгоритми збору, аналізу та обробки даних про споживання електроенергії, а також інтеграцію з датчиками та виконавчими пристроями. Особливу увагу приділено вибору оптимальних протоколів і засобів передачі даних, які забезпечують надійність і ефективність системи. Результатом дослідження є створення рішення, яке сприяє зниженню енергоспоживання, підвищенню економічності та комфорту користувачів.

Ключові слова: інформаційна система, електрозабезпечення будинку, енергоефективність, Smart-керування, автоматизація, інтернет речей (IoT), моніторинг електроенергії.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
1.1 Функціональні можливості систем електрозабезпечення «розумного будинку».....	9
1.2 Технічні засоби побудови «розумних» систем освітлення.....	14
1.3 Технічні засоби побудови «розумних» систем електропостачання.....	18
1.4 Технічні засоби централізованого керування електрозабезпеченням ...	22
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ «РОЗУМНОГО БУДИНКУ».....	25
2.1 Промислові стандарти централізованого керування електрозабезпеченням .....	25
2.1.1 Аналоговий інтерфейс «1–10 В» .....	25
2.1.2 Цифровий інтерфейс адресації DALI .....	27
2.1.3 Цифровий стандарт комутації елементів «розумного будинку» KNX .....	29
2.2 Обґрунтування вибору системи керування та відповідних програмних засобів.....	32
2.2.1 Функціональні можливості та принципи керування систем DALI.....	32
2.2.2 DALI-сумісне промислове обладнання.....	38
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ DALI-СУМІСНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ .....	42
3.1 Апаратні засоби взаємодії мікропроцесорної системи Arduino з шиною DALI .....	42
3.2 Програмні засоби взаємодії мікропроцесорної системи Arduino з шиною DALI .....	44
3.3 Вивчення рівня затухання керуючого сигналу у шині DALI .....	51

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	54
4.1 Аналіз умов праці під час монтажу та обслуговування освітлювальних приладів .....	54
4.2 Заходи безпеки під час проведення електромонтажних робіт .....	56
4.3 Розробка заходів зменшення травматизму під час проведення електромонтажних робіт .....	58
4.4 Розробка заходів щодо безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	61
РОЗДІЛ 5 ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ .....	63
5.1 Розрахунок витрат на впровадження запропонованих оптимізаційних рішень .....	63
5.2 Оцінювання економічної ефективності впровадження запропонованих оптимізаційних рішень .....	66
ВИСНОВКИ .....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	69
Додаток А Код функції DaliInit .....	72
Додаток Б Код функції SearchAndCompare .....	75
Додаток В Код функції DaliTransmitCMD.....	76
Додаток Г Код функції loop.....	77

## ВСТУП

Поява та стрімкий розвиток нових високотехнологічних концепцій, а також шляхів їх інженерної реалізації є невід'ємною складовою сучасного науково-технічного прогресу. Мета такої спіралі прогресу полягає у підвищенні рівня комфорту та продуктивності людського життя.

Концепція «Розумного будинку» вперше зародилась у 1961 році. Її пов'язують з появою пристроїв регулювання інтенсивності освітлення, так званих димерів, хоча термін «розумний будинок» і з'явився значно пізніше. Отже саме прагнення людини до використання ефективного, комфортного та економічного освітлення стало поштовхом до появи цілого ряду унікальних технологій, покликаних реалізувати філософію розумних споруд.

Сьогодні концепція «розумного будинку» розвивається в напрямку збільшення як кількісних, так і якісних показників. Ще 20 років тому налічувалось понад сто протоколів синхронізації домашнього обладнання, які підтримувались невеликою групою виконавчих пристроїв з жорсткою прив'язкою до виробника, проте ситуація змінилася.

Поява відкритих протоколів синхронізації та істотне збільшення пропускної здатності сучасних каналів зв'язку (дротових та бездротових) призвели до того, що сьогодні майже кожен пристрій може взаємодіяти з будь-якою платформою завдяки синхронізації через різноманітні онлайн сервіси або відкриті протоколи синхронізації. Варто відзначити, що одним з перших вдалих відкритих протоколів, що набув масового поширення є протокол DALI призначений першочергово для керування та діагностики систем зовнішнього та внутрішнього освітлення.

Вже зараз провідні виробники систем домашньої автоматизації розширюють функціональні можливості своєї продукції та пропонують споживачу зручні шляхи її інтеграції у будинкову екосистему. До флагманів ринку належать американські компанії Apple і Google, які пропонують споживачу фреймворк HomeKit, або розробник онлайн додатку Home – китайська корпорація Meizu. Загалом рівень інвестицій у розвиток інтеграційних технологій свідчить про їх актуальність та економічну привабливість.

Незважаючи на стрімкий розвиток електроніки та мікропроцесорної техніки системи керування «розумним» обладнанням залишаються найдорожчими елементами системи. Їх монтаж, налаштування та обслуговування зазвичай вимагають залучення висококваліфікованого персоналу, а зміна, або розширення базового функціоналу часто взагалі неможливі.

Тому, метою даної роботи було проаналізувати сучасні апаратні засоби керування електрозабезпеченням «розумних» споруд, визначити стандартні протоколи їх взаємодії, технічні можливості та базові функції, а також запропонувати шляхи підвищення функціональності систем керування різними типами освітлення з одночасним зменшення собівартості.



## РОЗДІЛ 1

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1.1 Функціональні можливості систем електрозабезпечення «розумного будинку»

Відколи у будинках з'явилося централізоване електропостачання та тепlopостачання, настала епоха «розумних будинків». Звичайно, в різні часи уявлення про «розумний будинок» змінювалися – колись межею мрій був вимикач на стіні, а зараз це та багато інших речей є звичною, але невід'ємною частиною нашого побуту. Згідно думки одного з фахівців в галузі будівництва, «розумний дім» – це «скорочення споживання енергії, тепла і води, а також самостійна робота всіх систем, що не потребують втручання людини».

Елементи «розумного будинку» сьогодні можна зустріти у будь-якому помешканні. Наприклад переносний тепловентилятор-радіатор з автоматичним регулятором нагріє кімнату до певної температури і відключиться. Коли температура знизиться, прилад знову підігріє кімнату і знову відключиться. Не потрібно стежити за термометром або суб'єктивно відчувати, що стало «гаряче» та постійно перелаштовувати вимикач радіатора – прилад сам «тримає» встановлений режим. Ще один елемент «розумного будинку», який не так давно стали впроваджувати на сходових клітинах багатоквартирних будинків (щоправда, вандали швидко виводять з ладу технічні новинки), – це таймер сходового освітлення. Всі знають, наскільки неприємно входити в темний під'їзд, але в той же час постійно освітлювати порожні приміщення нераціонально. Тому «розумний дім» запропонував наступну ідею: в черговому режимі освітлення

використовуються малопотужні лампи, які лише вказують на розташування кнопки включення основного освітлення. При натисканні кнопки спалахує основне світло і горить деякий проміжок часу, достатній для того, щоб людина піднявся на поверх і відчинила квартиру. В індивідуальних будинках таймер може бути запрограмований на включення світла в певний час, наприклад, при виході на роботу, або при поверненні. Зручно використовувати світлові таймери для того щоб прокинутись, при цьому можна включити світло не тільки в спальні, але і на кухні, і у ванній кімнаті, щоб спростити не нишпорити в темряві у пошуках вимикачів.

У розвиток ідеї «таймерного» освітлення використовують датчики руху (інфрачервоні детектори), що підключаються до світильників. При появі в зоні чутливості датчика об'єкта, що рухається, замикається реле керування, яке і подає живлення на освітлювальний пристрій.

Вартість цих датчиків сьогодні не перевищує \$ 25, їх можна придбати в будь-якому електротехнічному магазині. У концепцію «розумного будинку» вписується також багато тарифний лічильник електроенергії, який надає його власнику можливість платити за користування електроенергією в нічні години менше, ніж в денні. Звичайно, в нічні години найкраще відпочивати, а не виконувати роботи, пов'язані з витратою електроенергії. Споживати електроенергію вночі повинна автоматична система, наприклад, – пральна машина, яка ввечері завантажується і налаштовується на автоматичний режим прання. Те ж саме можна зробити і з посудомийною машиною, сушаркою, електрообігрівачами та з іншими побутовими електричними приладами. Ні для кого не секрет: сучасна побутова техніка оснащується електронікою не лише для зручності користувачів, але і в цілях економії електроенергії.

Ще одним невід'ємним елементом електрозабезпечення є розумні розетки. Ці пристрої дозволяють дистанційно керувати електроживленням підключених до них приладів через смартфон, голосового асистента або автоматизовані сценарії. Вони бувають двох основних типів: вбудовані, які

монтуються в стіну, та накладні, що підключаються до звичайної розетки. Сучасні розетки оснащені функціями таймера, моніторингу енергоспоживання, автоматичного відключення для економії електроенергії, а також можуть працювати в складі системи «розумного будинку». Перші моделі з'явилися в 1990-х роках із базовою функцією дистанційного вмикання, але з розвитком технологій вони стали інтегрованими в IoT-системи. Варто відзначити їх тотальну залежність від стабільного інтернет-з'єднання, ризик зламу при недостатньому рівні кібербезпеки, а також високу ціну порівняно зі звичайними розетками.

Сьогодні аварійне відключення освітлення – річ досить поширена. Концепція «розумного будинку» передбачає наявність резервного автономного аварійного освітлення. Наприклад, світлодіодні світильники, від яких прокладені проводи до акумулятора. Підзарядка акумулятора ведеться постійно, також відстежується наявність напруги в мережі живлення. В разі зниження напруги «аварійне» джерело живлення включається автоматично.

Однак не варто забувати і про обслуговуючі компанії та постачальників електроенергії. Вони теж отримують вигоду від використання клієнтами розумних технологій. У них з'являється можливість переглядати статистику споживаної енергії і, на підставі отриманих даних, автоматично приглушати світло на 10 % у пікові години – цю різницю користувач не помітить, але помітить і скаже «спасибі» його гаманець.

Ще один добре всім знайомий пристрій – регулятор яскравості. Зазвичай регулятори яскравості поєднуються з вимикачами і дозволяють не лише включати і вимикати освітлення, але й встановити деякі проміжні стани. Як відомо досить просто управляти яскравістю лише ламп розжарювання, інші джерела світла або взагалі не керовані, або вимагають залучення спеціальних пристроїв керування. Значної популярності, в останні роки, також набула система регулювання яскравості світлодіодних ламп. Але для ламп розжарювання регулятори яскравості застосовуються найактивніше. Концепція «розумного будинку» пропонує поєднати регулятор яскравості з

інфрачервоним датчиком і електронною схемою, яка дозволяє регулювати яскравість з дистанційного пульта, подібно до того, як здійснюється управління сучасним телевізором.

Сьогоднішнє освітлення – це не тільки завдання про те, як зробити так, щоб «було світло», але ще й «комфортно» та «красиво». У концепції «розумного будинку» нещодавно з'явився термін «сценарій освітлення», що прийшов у цю царину з області шоу-бізнесу. Згадайте, наскільки важливою є робота освітлювачів в видовищних виставах, як світло змінює обстановку і настрій сцени. Багато прийомів сценічного освітлення нині запозичені і використовуються в дизайні житлових і адміністративних приміщень.

Дослідження, проведені американськими фахівцями ще в 60-х рр. ХХ століття, показали: одноразово вдало вироблене налаштування джерел світла надовго запам'ятовується людині і відтворюється нею багаторазово для виконання конкретної роботи. В одному і тому ж приміщенні людина може читати, дивитися телевізор, займатися ручною роботою тощо. Відповідно, непогано було б якимось чином робити «зліпок» світлової атмосфери, а при необхідності відтворювати її одним натисканням кнопки. Так з'явилася ідея створення централізованих контролерів освітлення. Надалі до централізованої системи підключили кондиціонери, радіатори опалення, аудіосистеми та інші пристрої. Стало можливим імітувати атмосферу приміщень «далеких країн»: переноситися з одного континенту на інший. Автоматичне налаштування освітлення, температури і вологості в приміщенні, що супроводжується об'ємною фонограмою (звуки лісу, вітер, шум стародавнього міста), включає механізми релаксації психіки.

До речі, сценарії освітлення можуть виконувати не тільки естетичні завдання, а й служити непоганим пасивним засобом захисту від домашніх грабіжників. Дуже часто «домушники» спостерігають за квартирою (будинком) і, не помітивши протягом декількох днів ознак життя (включення і відключення світла, голосів, певних звуків), дістають свої відмички. Власник «розумного будинку» може налаштувати свою систему так, що вона

буде імітувати його присутність: запалювати і вимикати за програмою світло, періодично видавати характерні звуки. Багато іноземних фірми виробляють пристрій, який називають «електронний ротвейлер» (RoboDog), який імітує гавкіт собаки.

Будь-яке джерело світла старіє, тобто втрачає здатність до випромінювання впродовж часу експлуатації. За допомогою сучасної електроніки можна вирівняти випромінюючу здатності лампи протягом всього терміну служби, якщо на початку експлуатації лампу недовантажувати, а з часом додавати навантаження. Найбільш вдало реалізувати таку можливість вийде в централізованій системі управління освітленням з димерами. Центральний блок керування повинен містити модуль пам'яті, в який заноситься електронний паспорт кожної встановленої лампи (дата і час її установки, протокол включень і відключень).

Досить цікавим з точки зору економії електроенергії є спільне використання пристрою вимірювання рівня освітленості (люксметра) і освітлювального приладу. У світлий час доби штучне освітлення зазвичай не використовується, але якщо погода на вулиці стоїть похмура, доводиться включати додаткові лампи. Виконати автоматично цю функцію зможе тільки фотодатчик, проте його застосування має сенс в приміщеннях, де не так часто перебувають люди, а значить, можна забути включити штучне освітлення при його нестачі і вимкнути – при надлишку (сходові клітини, коридори). За оцінками фахівців, застосування фотодатчиків економить 30 ... 70 % електроенергії, що витрачається на освітлення цих приміщень.

Будувати «розумний будинок» можна поступово, замінюючи застарілі системи на нові. Навіть заміна звичайного вимикача на модернізований, з функцією регулювання освітленості, або встановлення розетки з функцією дистанційного керування може вважатися кроком до справжнього «розумному будинку». Але коли можна буде сказати – «мета досягнута»? На жаль – ніколи, адже будівництво «розумного будинку» – це постійний рух вперед.

## 1.2 Технічні засоби побудови «розумних» систем освітлення


«Розумне» світло – це система, що включає в себе освітлювальні прилади і електронні системи, які ними керують. Існують найрізноманітніші освітлювальні компоненти: флуоресцентні лампи, діодні лампи, ксенонові лампи, лампи розжарювання та інші. Керуючі системи включають в себе сенсори, мікроконтролери, приймачі та інші елементи, що регулюють поведінку освітлювального обладнання.

В принципі, можна обійтись і звичайними лампочками, але, на жаль, вони не можуть надати весь спектр рішень, доступних в епоху Інтернету речей. Класичні лампи є бінарними пристроями, які можуть перебувати лише у двох станах: включена або виключена. Проміжних варіантів часто не надається – саме так працюють лампочки розжарювання з тих часів, коли вони вперше з'явилися в людських помешканнях.

Розумні лампи працюють по-іншому і надають значні можливості контролю. Терміну «розумне освітлення» можна надати різний зміст, в залежності від кінцевої мети. Для побудови гнучкої і повнофункціональної самостійної системи освітлення існує великий вибір продуктів від різних виробників. В основному це розумні лампочки, візуально дуже схожі на своїх попередників з нитками розжарювання.


Лампа Philips Hue (табл. 1.1) дозволяє віддалено контролювати освітлення, створювати і налаштовувати потрібну атмосферу в приміщенні за допомогою програми на вашому смартфоні або планшеті. Пристрій володіє низкою цікавих режимів, наприклад: «світло, що бадьорить», коли лампи включаються на повну яскравість, або «для читання» – в цьому режимі всі вибрані лампи змінять колір світла на білий з оптимальним рівнем яскравості.

Таблиця 1.1 – Характеристика лампочки Philips Hue

<b>Philips Hue</b>		
<b>Зовнішній вигляд</b>	<b>Характеристика</b>	<b>Значення</b>
	Тип	Розумна лампочка
	Цоколь	E27
	Напруга	220/240 В
	Світловий потік	806 Лм
	Температура світіння	6500 К
	Термін служби	25 000 годин
	Споживана потужність	9 Вт
	Колір виробу	Білий
	Особливості	Регулювання яскравості
	Бренд	Philips


Функціонально лампочки LIFX (табл. 1.2) схожі з Philips Hue, але, на відміну від останніх, їм не потрібен додатковий передавач (міст). Пристрої підключаються безпосередньо до домашнього Wi-Fi-роутера. При наявності в приміщенні відразу декількох освітлювальних елементів від LIFX, вони передають сигнал по ланцюжку, щоб не перевантажувати роутер.

Таблиця 1.2 – Характеристика лампочки LIFX

<b>LIFX</b>		
<b>Зовнішній вигляд</b>	<b>Характеристика</b>	<b>Значення</b>
	Тип	Розумна лампочка
	Цоколь	E27
	Напруга	220/240 В
	Світловий потік	1100 Лм
	Термін служби	20 000 годин
	Споживана потужність	11 Вт
	Колір виробу	Білий
	Особливості	16 мільйонів кольорів і 1000 відтінків білого
	Бренд	Lifx

Пристрій Vossa (табл. 1.3) не є лампочкою – це розумний патрон для них. Пристрій виступає в ролі посередника між звичайною лампою і звичайним патроном. Розумний гаджет має функцію розпізнавання мови, забезпечуючи можливість керувати освітленням за допомогою кодових фраз.

Таблиця 1.3 – Характеристика розумного патрону лампочки Vossa

<b>Vossa</b>		
<b>Зовнішній вигляд</b>	<b>Характеристика</b>	<b>Значення</b>
	Тип	Розумний патрон
	Під цоколь	E27
	Напруга	220/240 В
	Максимальна встановлена потужність	30 Вт
	Споживана потужність	0,25 Вт
	Ефективна відстань голосових команд	4,5 метри
	Бренд	Vossa

Що стосується ситуації, коли вам би хотілося інтегрувати пристрою в глобальну систему розумного будинку, то в цьому випадку лампочки найчастіше не володіють «розумними» складовими, а лише виконують команди, що генеруються різноманітними контролерами.

Бездротові лампи можуть бути не кращим рішенням, оскільки ціна їх досить висока: найдешевша LED-лампа коштує не менше \$ 15, а вартість ламп, що змінюють свій колір, може досягати \$ 70 (і більше). Більш того, якщо ви замініте всі звичайні лампочки в своїй квартирі на розумні, то смартфон стане єдиним засобом керування освітленням, що підійде далеко не кожному користувачу.

Більш універсальним рішенням буде використовувати бездротові перемикачі та димери. Вони працюють так само, як і звичайні пристрої цього типу – користувач можете підійти до них і вручну відрегулювати яскравість освітлення – але додатково він отримує можливість контролю на відстані за допомогою мобільних пристроїв.




Наприклад Linear Z-Wave Dimmer (табл. 1.4), працює з різними хабами Z-Wave і підтримує галогенові, ксенонові, LED-лампи і лампи розжарювання.

Таблиця 1.4 – Характеристика димера Linear Z-Wave Dimmer

<b>Linear Z-Wave Dimmer</b>		
<b>Зовнішній вигляд</b>	<b>Характеристика</b>	<b>Значення</b>
	Тип	Димер
	Напруга	220 В
	Максимальне навантаження	1.2 А
	Споживана енергія в режимі очікування	< 0,8 Вт
	Особливості	Вбудований лічильник, Працює за 2-х або 3-х провідної системи

Контролеру Belkin WeMo Light Switch (табл. 1.5) для роботи не використовує особливий хаб: йому потрібна лише Wi-Fi-мережу і пристрій під управлінням iOS.

Таблиця 1.5 – Характеристика контролера Belkin WeMo Light Switch

<b>Belkin WeMo Light Switch</b>		
<b>Зовнішній вигляд</b>	<b>Характеристика</b>	<b>Значення</b>
	Тип	Перемикач
	Напруга	220/240 В
	Частота сигналу	2,4 ГГц
	Протокол	Інтернет-Fi
	Особливості	Apple HomeKit Google Home Amazon Alexa

Як правило, побудова «розумного будинку» починається саме з функції управління освітленням, оскільки ця функція навіть самостійно здатна значно перетворити ваш досвід перебування в своєму помешканні. Наступним етапом може стати інтеграція інших систем розподілу енергії.

### 1.3 Технічні засоби побудови «розумних» систем електропостачання

Розетки з дистанційним керуванням контролюють подання мережевої напруги на увімкнений через них прилад. Вони можуть мати різні функціональні можливості, різні форм-фактори та відрізнятися способом керування залежно від вимог експлуатації та потреб користувача.


Залежно від місця використання та можливостей електричної мережі, «розумна розетка» може мати вигляд мережевого перехідника, бути вмонтованою в корпус подовжувача або мережевого фільтра, мати власний корпус, стаціонарно вмонтовуватися в стіни приміщення при прокладанні електричних кабелів.

За типом дистанційного керування розетки можна розділити на дротові та бездротові, які у свою чергу можуть використовувати Wi-Fi, GSM-сигнал (SMS), радіоканал або ж Bluetooth.

Wi-Fi розетки користуються популярністю завдяки своїй компактності та універсальності. Можливість їх використання залежить лише від наявності Wi-Fi мережі. Якщо приміщення немає постійно підключеної Wi-Fi мережі, або знаходиться в зоні з недостатнім рівнем покриття, доречним буде використання GSM-керованих розеток. Радіокеровані розетки застосовуються переважно у комплекті з системою «Розумний будинок» у якій внутрішня передача даних реалізована через радіо-канал зв'язку, а користувач використовує Internet -керування.

TP-Link Tapo P100 Wi-Fi (табл. 1.6)– компактна «розумна розетка» з підтримкою віддаленого керування та налаштування через застосунок Tapo, для голосових команд використовується Amazon Alexa або Google Assistant. Розетка має заземлення, захисні шторки, таймер та ідентифікатор стану. Також є режим «Немає вдома» який створює видимість присутності, вмикаючи/вимикаючи прилади в певний час.

Таблиця 1.6 – Характеристики розетки TP-Link Tapo P100 Wi-Fi

<b>TP-Link Tapo P100 Wi-Fi</b>		
<b>Зовнішній вигляд</b>	<b>Характеристика</b>	<b>Значення</b>
	Виробник	TP-LINK
	Стандарт вилки	європейський
	Клас захисту IP	IP20
	Робоча напруга	220-240V, 50 / 60Гц
	Макс. потужність навантаження	2300 В
	Українська мова	+
	Управління через	Android 4.3 і вище iOS 9 і вище


BroadLink SP3S Wi-Fi (табл. 1.7) – «розумна розетка» з віддаленим керуванням через смартфон, має підтримку української мови та голосового керування Google Home. Підтримує створення сценаріїв та таймерів, має вбудований ватметр який вимірює потужність приладу у реальному часі. Розетка може з'єднуватися з Broadlink E-Air та Broadlink SmartOne, має функцію відключення довго не використововуваного приладу та відстеження енерговитрат. SP3S витримує навантаження до 3,5 кВт, це дозволяє використання котлів, бойлерів та нагрівачів.

Таблиця 1.7 – Характеристики розетки BroadLink SP3S Wi-Fi

<b>BroadLink SP3S Wi-Fi</b>		
<b>Зовнішній вигляд</b>	<b>Характеристика</b>	<b>Значення</b>
	Виробник	BroadLink
	Стандарт вилки	європейський
	Клас захисту IP	IP67
	Робоча напруга	100-250V, 50/60 Гц
	Макс. потужність навантаження	3500 Вт
	Українська мова	+
	Управління через	Android, iOS


Розетка Aqara Smart Socket ZigBee (табл. 1.8) з вбудованим електронним блоком управління, підтримкою віддаленого керування зі смартфона та стаціонарним монтажем. Розетка керується модулем управління розумним будинком Mi Gateway через протокол ZigBee, підтримує планування сценаріїв, таймер та перегляд статистики енергоспоживання. Корпус розетки має паралельне гібридне підключення: верхній для вилки Тип А (плоский) і Тип С (круглий) без заземлення, а нижній Тип І (потрійний) для китайсько-австрійської вилки з заземленням. Також розетка має фізичну кнопку керування та ідентифікатор стану.

Таблиця 1.8 – Характеристики розетки Xiaomi Aqara Wall Outlet Socket ZigBee

<b>Xiaomi Aqara Wall Outlet Socket ZigBee</b>		
<b>Зовнішній вигляд</b>	<b>Характеристика</b>	<b>Значення</b>
	Виробник	Aqara
	Стандарт вилки	Гібридний (I,A,C)
	Клас захисту IP	IP20
	Робоча напруга	100-200V, 50 Гц
	Макс. потужність навантаження	2500 Вт
	Українська мова	–
	Управління через	Android, iOS

SOKOL GS-1 A (табл. 1.9) підтримує дистанційне керування живленням з мобільного телефону. Керування відбувається за допомогою дзвінків та SMS-повідомлень на встановлену в пристрої SIM-карту. Розетка підтримує налаштування сценаріїв, таймер, має ідентифікатор стану та захист від перегріву. При відсутності живлення від мережі прилад працює 24 години, підтримує до 10 мобільних номерів управління. Завдяки компактному дизайну та простоті налаштування, розетка підходить для використання як у побутових умовах, так і в системах віддаленого моніторингу електропостачання.

Таблиця 1.9 – Характеристики розетки SOKOL GS-1 А

SOKOL GS-1 А		
Зовнішній вигляд	Характеристика	Значення
	Виробник	SOKOL
	Стандарт вилки	європейський
	Автономність	24 години
	Робоча напруга	160-260V
	Макс. потужність навантаження	3 кВт, 20А
	Стандарт зв'язку	GSM:900/1800МГц
	Управління через	SMS, дзвінок

Аjax Socket Black (табл. 1.10) – «розумна розетка» для керування живлення електроприладів. Розетка працює під управлінням хаба Аjax через радіопротокол Jeweller, а користувач обирає команди в застосунку Аjax, який з'єднаний з хабом через Wi-Fi мережу. Аjax Socket показує рівень навантаження за допомогою кольорового LED індикатора, надає можливість слідкувати за споживанням електроенергії у застосунку Аjax, має захист від стрибків напруги та струму. При перебоях в роботі надсилає пуш-повідомлення.

Таблиця 1.10 – Характеристики розетки Аjax Socket Black

Аjax Socket Black		
Зовнішній вигляд	Характеристика	Значення
	Виробник	Аjax
	Стандарт вилки	європейська
	Клас захисту IP	IP20
	Робоча напруга	184-253V, 50 Гц
	Макс. потужність навантаження	2500 Вт
	Діапазон частот	868.0-868.6 МГц
	Діяльність радіосигналу	до 1000 м

Розетка FIBARO Wall Plug (табл. 1.11) для системи домашньої автоматизації HomeKit з використанням Wi-Fi мережі та бездротової технології Bluetooth. Розетка вмикає та вимикає живлення відповідно до команд, відстежує інтенсивність споживання енергії та попереджує про максимальний рівень навантаження. З хабом HomeKit дані передаються через протокол Bluetooth на відстані 30-50м. Пристрій підтримує використання сценаріїв та таймеру.

Таблиця 1.11 – Характеристики розетки FIBARO Wall Plug

FIBARO Wall Plug для Apple HomeKit		
Зовнішній вигляд	Характеристика	Значення
	Виробник	Fibaro
	Стандарт вилки	європейська
	Клас захисту IP	IP20
	Робоча напруга	220V, 50 Гц
	Керування	iOS, HomeKit
	Протокол зв'язку	Bluetooth 2.4 GHz
	Діяльність радіосигналу	До 50 м

#### 1.4 Технічні засоби централізованого керування електрозабезпеченням

Сьогодні існує ціла низка різноманітних технічних рішень, скерованих на реалізацію механізмів централізованого управління електрозабезпеченням, однак ступінь їх розповсюдження вкрай незначна. Дійсно, освітлення в наших оселях забезпечує примітивні сценарії – включення і виключення люстри і, в ряді випадків, включення і виключення половини джерел світла на люстрі. Регулятори освітленості зустрічаються рідше, до того ж вони керують лише одним джерелом світла. Дізнатися про технічний стан ламп ми теж можемо тільки візуально. Не краща ситуація з

електропостачанням. Розумні розетки використовують лише поодинокі користувачі, зазвичай їх робота пов'язана з необхідністю розгортання окремої бездротової мережі, або ж користувачу доводиться користуватись окремим пультом. Крім того значна кількість недорогих пристроїв хоч і володіють необхідним рівнем інтелектуалізації, але не відповідають існуючим стандартам з електробезпеки, тож не підходять для промислового використання. Власне, ось і вся автоматизація.

Відмовитися від аналогового інтерфейсу дозволили принципи комп'ютерних мережевих технологій, коли всі абоненти підключаються до одного двопровідного кабелю, а кожному абоненту призначається свій унікальний номер (адреса). Центральний контролер, до якого підключена мережа, може керувати абонентами і отримувати від них необхідну інформацію.

Шинна організації проводки дозволяє істотно скоротити кількість дротів. У будь-який момент часу можна змінити функції вимикача (наприклад для управління іншими групами) або додати новий вимикач чи розетку. Усі «точки» електрозабезпечення розумного будинку пов'язані між собою шинним кабелем, причому не обов'язково послідовно. Загальна правила прокладання кабелів зазвичай такі:

1. Слабкострумний кабель необхідно прокладати від електричного щита.
2. Конфігурація, під'єднання керуючих та керованих пристроїв до шини може бути довільною, за винятком «кільця».
3. Загальна довжина кабелю обмежена можливостями обраної системи шинної технології.
4. Тип використовуваного кабелю повинен чітко відповідати рекомендаціям виробника системи.

Кожне реле повинно мати свою електронну адресу. Кожній кінцевій «точці» (вимикачу, розетці), в свою чергу теж необхідно присвоїти електронну адресу. Коли натискається кнопка на вимикачі, або пристрій

підключається до розетки то їх адреса передається в шину. По шині адреса доходить до електричного щита, де спрацьовує (включається або вимикається) реле з відповідною адресою.

Щоб увімкнути або вимкнути одночасно декількох груп світильників (світловий сценарій) досить приєднати до шини пристрої, які після натискання однієї клавіші відправить в шину адреси кількох реле. Такі пристрої називаються сценарними вимикачами. У серйозних виробників шинних технологій є досить значний перелік пристроїв, які можна інтегрувати у систему замість звичайних вимикачів чи розеток. Це датчики освітленості і датчики руху, датчики виявлення диму, датчики системи сигналізації, таймери, термостати, сенсорні панелі, пристрої для управління парними навантаженнями (штори, жалюзі, маркізи, ворота) і т.п.

Загальна ідея шинної технології досить проста, але загальні правила зазвичай такі.

1. Призначення і типи електронних адрес для реле, вимикачів, розеток необхідно вказати у відповідному проекті системи розумний будинок.

2. Розрахунок потужності встановленого в електричному щиті реле і його тип має виробляти спеціалізована організація.

3. Відповідна частина проекту розумного будинку (управління освітленням) повинна бути ретельно узгоджено із загальним електричним проектом.



## РОЗДІЛ 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ «РОЗУМНОГО БУДИНКУ»

#### 2.1 Промислові стандарти централізованого керування електрозабезпеченням

##### 2.1.1 Аналоговий інтерфейс «1–10 В»

Концепція «розумного будинку», безумовно передбачає централізацію управління яскравістю джерел освітлення. Однією з перших серійних спроб реалізації цього механізму було створення так званого аналогового інтерфейсу «1–10 В», який дозволяє регулювати яскравість світильника лінійно в діапазоні вхідної напруги 1 ... 10 В постійного струму. Інтерфейс передбачає, що при напрузі нижче 1 В світильник повинен бути повністю виключений, в той час як при напрузі вище 10 В він повинен вийти на максимум світлового потоку.

Приклад інтерфейсу «1–10 В» для електронного баласту люмінесцентної лампи на мікросхемі IR21592 наведено в [27]. Цей інтерфейс (рис. 2.1) живиться від обмотки, яка накладається на дросель коректора коефіцієнту потужності (PFC). Звичайно, можна застосувати і окремий малогабаритний трансформатор типу ТПК-2, але це здорожує електронний баласт. Крім цього, інтерфейс повинен бути ізольований від решти схеми і витримувати напругу не менше 4 кВ (згідно стандарту EN61000-3-2 для пристроїв класу С).

Розглянемо принцип дії цього інтерфейсу: обмотка Т1 дроселя коректора коефіцієнта потужності служить джерелом напруги, випрямлення, згладжування і стабілізація якого виконується елементами VD1, C1, R1, C2, VD2. На елементах R2, R3, R4, C3, VS1 виконаний генератор пилоподібної

напруги. У вихідному положенні триністор VS1 закритий, відбувається збільшення напруги на виводах 3 і 5 мікросхеми DA1 за рахунок заряду конденсатора C3 через резистор R4. Коли напруга на аноді VS1 перевищить напруга на керуючому електроді (вона визначається номіналом резисторів R2 і R3), триністор відкриється, конденсатор C3 розряджається, після чого триністор закриється і процес повториться. На виводи 2 і 6 компаратора DA1 надходить опорна керуюча напруга через фільтр C4, C5, R5, R6, яка порівнюється з пилкоподібною напругою і на виході DA1 формується широтно-модульоване коливання, яке, проходячи через оптрон DA2, згладжується інтегратором R9, R10, C6. Елементи мікросхеми DA1 включені паралельно для збільшення її навантажувальної здатності.

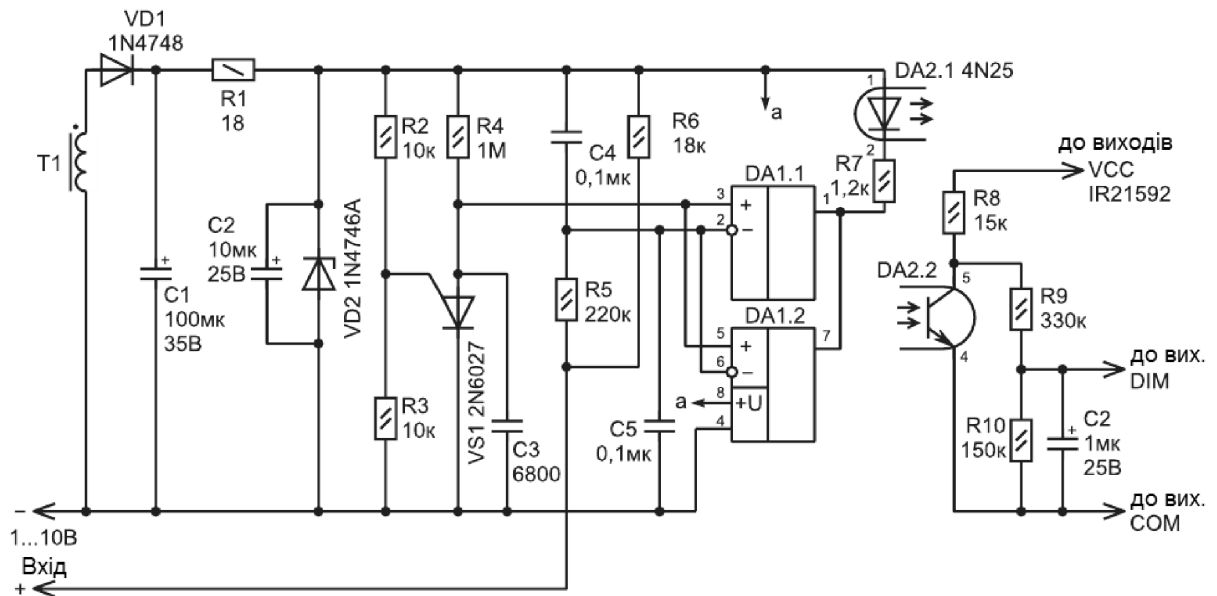


Рисунок 2.1 – Приклад інтерфейсу «1–10 В» для керування яскравістю люмінесцентних ламп

Однак інтерфейс «1–10 В» вимагає підведення окремих дротів від центрального органу управління до кожного зі встановлених світильників. Якщо світильників багато, мережа керування стає заплутаною, незручною в обслуговуванні та модернізації. Крім того цей інтерфейс не підтримує можливості управління розетками та іншими потужними споживачами.

### 2.1.2 Цифровий інтерфейс адресації DALI

Ідеї мережевих технологій було втілено в середині 90-х рр. минулого століття в інтерфейсі DALI (Digitally Addressable Lighting Interface), який було розроблено провідними світовими світлотехнічними фірмами – Helvar, Nisco, Philips, Osram, Tridonic, Trilux, Vossloh-Schwabe та затверджено у стандарті Міжнародної Електротехнічної Комісії (МЕК) IEC-60929. Цей інтерфейс стрімко розвивається, до випуску продукції на його основі підключається все більша кількість фірм.

Перша версія інтерфейсу DALI була розроблена лише для управління освітленням і його використання в інших областях електронної техніки не передбачається. Однак з виходом інтерфейсу DALI-2 у 2014 році ситуація дещо змінилась оскільки ця модифікація інтерфейсу стандартизує роботу таких пристроїв, як датчики руху, контролери освітлення та інші елементи, завдяки чітким вимогам до їхньої взаємодії. А реліз інтерфейсу DALI-3 дозволяє зробити висновок, що розробники планують нарешті реалізувати підтримку більш складних систем, таких як управління енергозбереженням та глибша інтеграція з іншими протоколами.

Основні принципи побудови DALI-системи показано на рис. 2.2. В системі присутні люмінесцентні лампи (також тут можуть бути лампи розжарювання і LED-лампи) з електронним пуско-регулюючим апаратом, оснащеними інтерфейсами DALI. Усі електронні пуско-регулюючі апарати об'єднуються за допомогою 5-провідного кабелю (рис. 2.3) в єдину систему з контролером DALI, до якого підключений пульт керування. Пульт керування нагадує класичний вимикач, але дозволяє оперативно задіяти 4 світлових сценарії, а також налаштувати кожен з них. Для комутації системи DALI зазвичай вибирають кабель марки NYM з п'ятьма провідниками: L (коричневий) – фазний провід; N (синій) – нейтраль; PE (жовто-зелений) – заземлення; DALI (чорний) – два дроти інтерфейсу управління. Для відстаней до 100 м вибирають переріз провідників 0,5 мм<sup>2</sup>; для відстаней 100 ...150 м – 0,75 мм<sup>2</sup>, для відстаней 150 ... 300 м – 1,5 мм<sup>2</sup>.

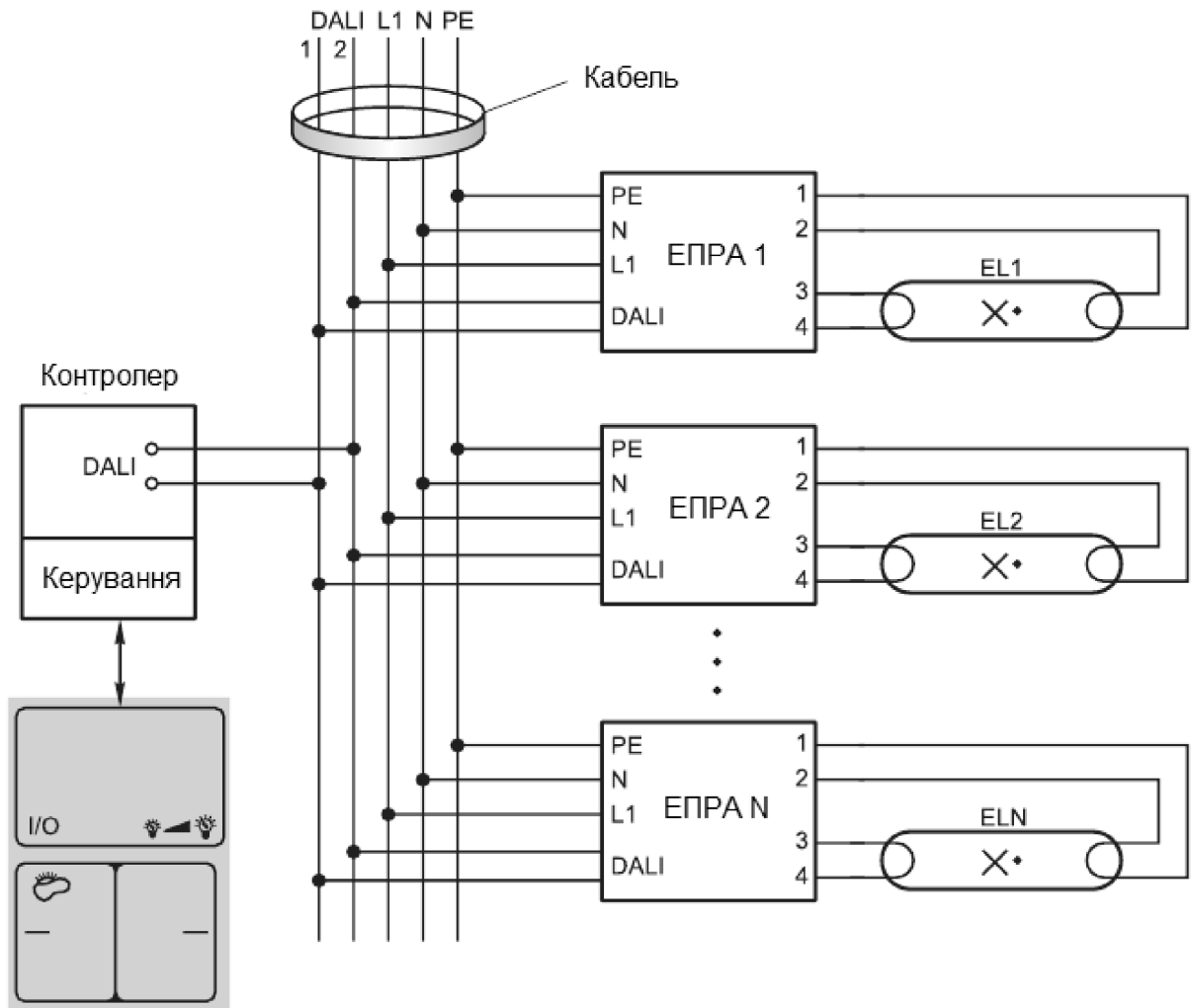


Рисунок 2.2 – Приклад побудови DALI-системи

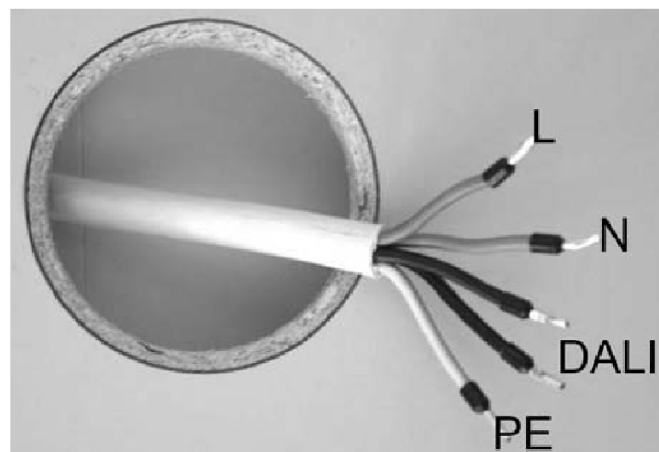


Рисунок 2.3 – Кабель для DALI-системи

Стандарт не допускає експлуатацію DALI-абонентів на відстанях понад 300 м між двома послідовно з'єднаними пристроями. Не допускається також з'єднувати кабелі інтерфейсу «кільцем», але можна не стежити за полярністю – DALI абсолютно байдуже, які контакти інтерфейсу підключаються до нього. Швидкість передачі даних по шині DALI становить 1200 біт/с.

### **2.1.3 Цифровий стандарт комутації елементів «розумного будинку» KNX**

Стандарт KNX з'явився шляхом з'єднання декількох Європейських шинних систем. Серед них добре відома Європейська інсталяційна шина EIB (European Installation Bus), яка з 1992 року успішно почала завойовувати ринок. Популярність стандарту EIB привела до того, що саме на його базі в травні 1999 року відбулося злиття трьох європейських систем: EIB, VatiBus, EHS в один стандарт KNX.

Стандарт KNX об'єднує десятки провідних європейських виробників електротехнічної продукції. І тому пристрої різних виробників здатні працювати в одній KNX-інсталяції. Продукція KNX / EIB випускається під різними торговими марками - i-bus® EIB (ABB), instabus® (Gira, Siemens ін.), Domotik® (Bosch).

Шина KNX є єдиним загальносвітовим відкритим стандартом в області автоматизації управління різноманітних приміщень: від квартири до групи будівель. Сьогодні KNX займає лідируючі позиції серед світових систем «розумних споруд».

Шина KNX підтримує досить багато каналів передачі даних:

- вита пара – спеціальний кабель з фіксованою швидкістю передачі 9600 біт/с;
- силова лінія, швидкість передачі 1200 біт/с;
- IP-мережа (EIB.net) – наприклад, Ethernet;

- радіоканал – для обміну використовуються два частотних вікна 868 і 433 МГц.

Інсталяційна шина KNX/EIB є розподіленою системою, тобто для її функціонування немає потреби у залученні центрального комп'ютера. Всі шинні пристрої в електроінсталяції будівлі з'єднуються в мережу одним каналом зв'язку.

Принцип передачі інформації простий: передача проводиться модулюванням напруги в мережі, причому логічний нуль пересилається у вигляді імпульсу, з амплітудою приблизно  $\pm 6$  В. Відсутність імпульсу інтерпретується як логічна одиниця. Телеграми (команди) пересилаються пакетами по 8 інформаційних байт. Пересилання синхронізується старт і стоп-бітами. Є біт контролю парності (контрольний біт для перевірки цілісності пакету).

Для усунення «зіткнень» команд в мережі застосовується метод CSMA/CA. Цей метод гарантує випадковий, безпроблемний доступ пристроїв до шини, при цьому без істотного зниження її максимальної пропускної здатності. При цьому гарантується, що спочатку будуть передані повідомлення з найвищим пріоритетом.

Для того, щоб система запрацювала, необхідно не тільки встановити пристрої і з'єднати їх необхідними кабелями між собою і з силовою мережею, але і запрограмувати пристрої за допомогою програмного забезпечення ETS. До завантаження слід виконати такі дії: призначити пристроям індивідуальні фізичні адреси, вибрати і налаштувати (параметризувати) прикладні програми пристроїв, створити структуру групових адрес і об'єднати у них об'єкти зв'язку, взявши один об'єкт в датчику, а інший у виконавчому пристрої.

Пристрої, що входять до мережі KNX, поділяються на 3 категорії:

1. Датчики – пристрої, які генерують керуючі команди (вимикачі, сенсори освітленості, вологості, температури, таймери і т.д). Ці пристрої фіксують «появу» зовнішніх подій, і в залежності від типу подій посилають

команди на ті чи інші виконавчі пристрої (наприклад, температура в кімнаті опустилася нижче заданих 20 градусів – датчик температури відправляє сигнал на включення опалення).

2. Виконавчі пристрої – пристрої, які виконують команди датчиків: різні регулятори і релейні модулі. Вони змінюють свій стан (включено-виключено, відкрито-закрито і т.п.) відповідно до команд, які надходять від сенсорів, тим самим керуючи різним електроустаткуванням.

3. Системні пристрої – блоки живлення, інтерфейсні модулі, шинні з'єднувачі, повторювачі і інші, включаючи панелі і логічні модулі. Системні пристрої забезпечують працездатність і можливість настройки мережі KNX.

Сама система є як децентралізованою (датчики і виконавчі пристрої можуть обмінюватися даними безпосередньо, без участі додаткового контролера), так і централізованою (є керуючий контролер).

Шина KNX підтримує 3 види топології з'єднання пристроїв в мережу.

Для простих систем використовується топологія «лінія» (або шина). Вона передбачає послідовне з'єднання пристроїв. Також є можливість створення розгалужень і з'єднань в одній точці – така топологія називається «зірка». У сегмент лінії можна встановити не більше 64 пристроїв. В одній лінії може бути до 4-х сегментів. Основний мінус використання такої топології полягає у тому, що в разі обриву лінії перестає працювати вся мережа.

Якщо пристроїв більше, то рекомендується використовувати топологію «область». При такій топології лінія з номером 0 стає головною лінією області, і до неї можна приєднати до 15 додаткових ліній.

Найскладніша «деревоподібна» топологія реалізується при об'єднанні областей за допомогою магістральної лінії. Таких областей може бути до 15. Таким чином, максимальне число пристроїв в мережі може досягати 58000.

Отже технологія KNX дозволяє:

- реалізувати повністю автоматичне керування електросистемою будівлі в залежності від часу доби, дня тижня, пори року, погодних умов або конкретних зовнішніх умов;
- економити енергію;
- управляти системами будівлі локально, тобто в окремому приміщенні, централізовано – з диспетчерського пульта або комп'ютера та віддалено – з мобільного телефону або через інтернет.
- створити виключно комфортні умови в будинку;
- попередити і локалізувати різні аварійні ситуації.

Отже технологія KNX є однією з найбільш універсальних сучасних технологій комутації обладнання «розумного будинку», що, у поєднанні з відкритим стандартом, надає їй значні конкурентні переваги. Однак усі елементи мережі KNX повинні підтримувати цей стандарт, що суттєво підвищує вартість виконуваних робіт, адже сьогодні у лінійці продуктів відсутні модулі, які б дозволяли підключати «стандартні» датчики світла, температури, руху тощо. Тому, незважаючи на ряд функціональних переваг технології KNX над технологією DALI, для подальших досліджень обрано останню.

## **2.2 Обґрунтування вибору системи керування та відповідних програмних засобів**

### **2.2.1 Функціональні можливості та принципи керування систем DALI**

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) – протокол, призначений для керування та комутації електрообладнання. Його створено австрійською компанією Tridonic з використанням манчестерського кодування: кожен біт даних кодується перепадом від низького сигналу до високого або навпаки.



Специфікація DALI допускає підключення до однієї двухпровідної шини не більше 64 пристроїв, при цьому пристрої можуть довільно компонуватись в 16 груп з керуванням за єдиним сценарієм групи. Наприклад, у приміщенні є 64 світильника, кожному з яких призначено унікальну адресу. Частина світильників можна об'єднати в групу і керувати ними однаково, наприклад, одночасно встановити половинний світловий потік. Групи можна оперативнo формувати – для цього не потрібно фізично переставляти обладнання. Досить перепризначити номер групи на пульті управління. Також DALI-протокол передбачає зберігання в пам'яті DALI-абонентів до 16 світлових сценаріїв.

Ці сценарії можуть включати налаштування яскравості, кольору світла або інших параметрів освітлення, що дозволяє швидко адаптувати систему до змін у потребах користувачів чи умовах роботи приміщення. Наприклад, можна створити окремі сценарії для роботи, презентацій чи відпочинку, які активуються натисканням однієї кнопки. Завдяки цьому DALI забезпечує не лише зручність управління, але й оптимізацію енергоспоживання.

Передача даних у мережі DALI йде на швидкості 1200 біт/с. Напруга для логічної одиниці становить  $16 \pm 6,5$  В, а для логічного нуля  $0 \pm 4,5$  В. Шина DALI завжди знаходиться під напругою 16 В, в іншому випадку всі освітлювальні прилади, підключені до шини, переходять в аварійний режим і включаються. Живлення шини забезпечує контролер.

Повідомлення від контролера до кінцевого пристрою бувають:

1. Широкомовні (broadcast) – призначені для всіх абонентів.
2. Групові (groUP\_DA) – призначені для абонентів групи.
3. Індивідуальні (device) – призначені конкретному абоненту.

Системні повідомлення в DALI складаються з 16 біт і одного стартового біта (рис. 2.4). Деякі команди необхідно передаватися двічі з інтервалом не більше 100 мс. На певні команди, наприклад запит поточної яскравості або тип пристрою, освітлювальний прилад надсилає у відповідь повідомлення.

### Команда контролера шини DALI

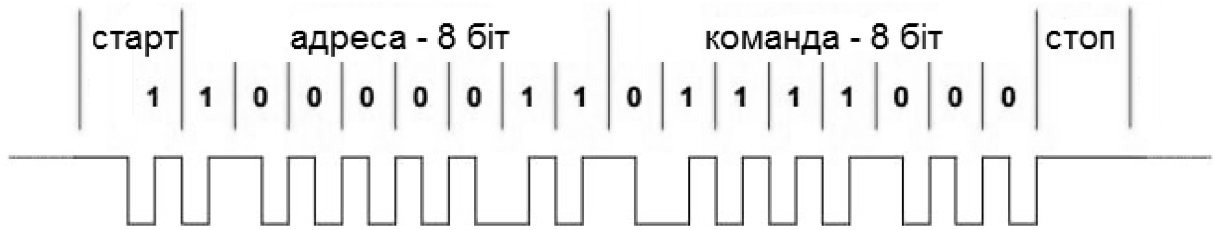


Рисунок 2.4 – Структура системного запиту в мережі DALI

Повідомлення від кінцевого пристрою до контролера складається з 8 біт і одного стартового біта (рис. 2.5).

### Відповідь виконавчого пристрою шини DALI



Рисунок 2.5 – Структура відповіді кінцевого пристрою в мережі DALI

Типові повідомлення DALI-протоколу наступні:

- set light level – установка освітленості;
- go to minimum level – установка мінімальної освітленості;
- turn lamp off – вимкнути лампу;
- set light at predefined level – встановити світло з передвстановленим рівнем;
- return light level – повернення до встановленого рівня освітленості;
- return status – запит статусу DALI-абонента;
- query status – запит про увімкнений стан пристрою;
- query power failure – запит стану живлення пристрою;
- over failure – виявлення несправності живлення.

Рівні освітленості (light levels) задається одним байтом даних та визначаються логарифмічною кривою (рис. 2.6) в діапазоні від 0,1 до 100 %, що задається 8-бітовим числом відповідно до рівняння:

$$f(n) = 10^{\frac{3(n-1)}{254}} - 1 \quad (2.1)$$

Тобто рівень освітленості може регулюватись в діапазоні від 0 до 255 та сягає максимального значення, якщо біт керування набуває значення 254. Такий вид регулювальної кривої пристосований до особливостей сприйняття освітленості людським оком.

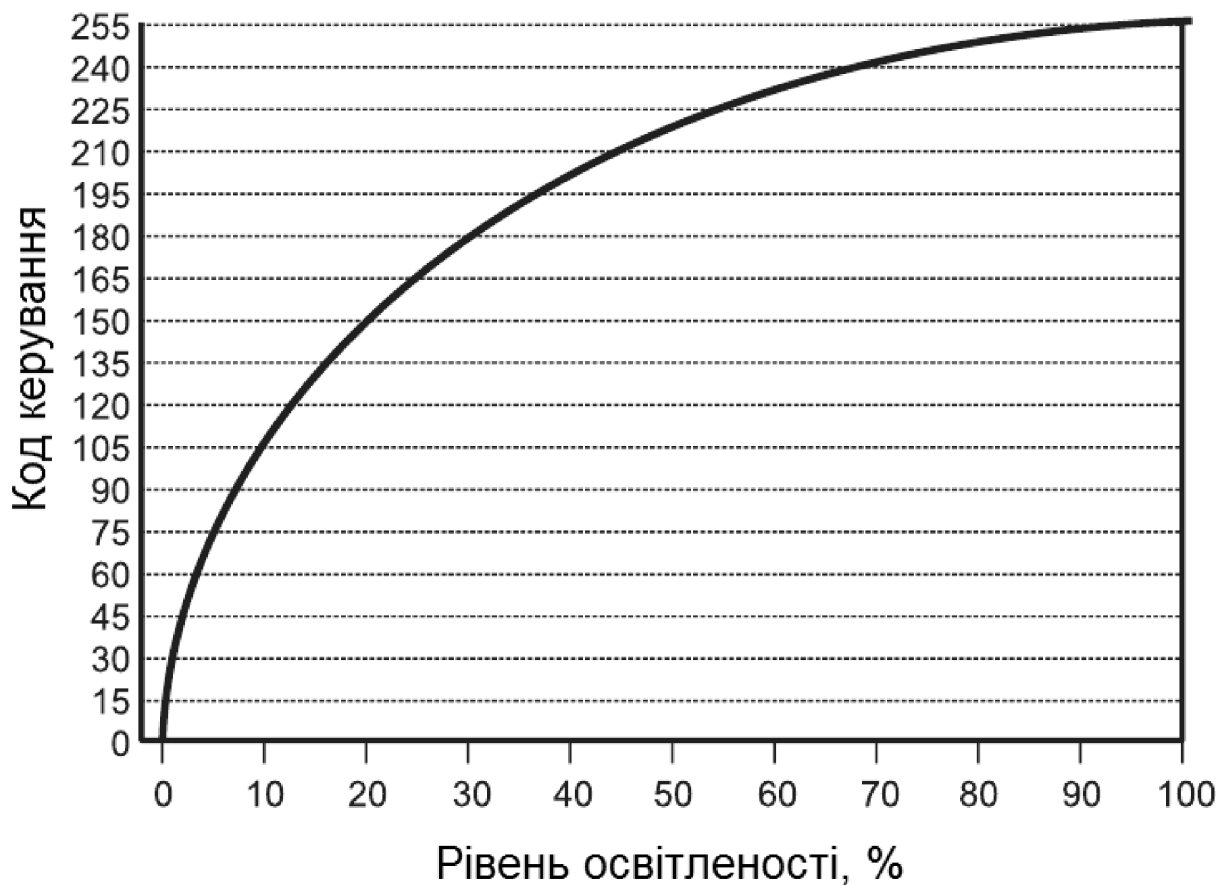


Рисунок 2.6 – Регулювальна крива рівня освітленості в DALI-системах

Дуже важлива функція централізованої діагностики стану ламп. DALI-інтерфейс дозволяє запросити статус будь-якої лампи і вивести на керуючу панель повідомлення (alarm) про несправності. Це, поза всяким

сумнівом, ефективно, оскільки дозволяє збільшити інтервал між профілактичними обходами електрогосподарства.

Перед початком роботи кожному пристрою необхідно присвоїти «коротку адресу» від 1 до 63. Якщо приладу в мережі не задано коротку адресу, то виконувати персональні команди він не зможе. Такі світильники реагують тільки на широкомовні команди.

Для того щоб призначити пристрою коротку адресу необхідно його ініціалізувати. За замовчуванням у кожного пристрою в мережі є випадкова адреса, що складається з 24 біт (3 рази по 8 біт). Тобто повна адреса пристрою може приймати значення в діапазоні від 1 до 16777216. Імовірність підключення пристрою з однаковими адресами мінімальна і становить 1 випадок з 266144.

Процес ініціалізації пристрою відбувається за наступною схемою:

- від контролера двічі передається широкомовна команда DALI\_INIT\_UNIT (0b1010010100000000) з інтервалом не більше 100 мс, яка переводить всі світильники в режим ініціалізації;
- від контролера двічі передається широкомовна команда RAND\_OMICE (0b1010011100000000) з інтервалом не більше 100 мс, після якої всі пристрої присвоюють собі нову випадкову адресу;
- від контролера передається значення випадкової адреси (24 біт) трьома повідомленнями по 8 біт (0b10110001NNNNNNNN, 0b10110011MMMMMMMM, 0b10110101LLLLLLLL);
- від контролера передається широкомовна команда COMPARE (0b1010100100000000);
- якщо контролер фіксує відповідь, значить є пристрої з меншими адресами. Таким чином адреса у запиті знижується до тих пір, поки пристрої перестануть відповідати;
- якщо відповіді від пристроїв не було отримано, адреса збільшується на одну одиницю і таким чином визначається пристрій з найменшою випадковою адресою;

- після визначення адреси пристрою контролер задає йому коротку адресу (0b10110111AAAAAAAA) і посилає команду WITHRAW (0b1010101100000000), яка виключає пристрій з процесу подальшого пошуку;
- далі контролер переходить до пошуку наступного пристрою з більшою випадковою адресою;
- після завершення процесу ініціалізації контролер посилає команду TERMINATE (0b1010000100000000), і пристрої виходять з режим ініціалізації.

Одним з найпоширеніших прикладів реалізації електронного баласту з DALI-інтерфейсом є мікроконтролер PIC16F628 [28]. Взаємозв'язок між DALI-інтерфейсом і мікросхемою електронного баласту IR21592 здійснюється за допомогою мікроконтролера. Сам баласт побудовано за класичною схемою, описаною раніше, і особливостей не має. Мікроконтролер відстежує стан лампи (справна/несправна), а також формує ШІМ-сигнал управління яскравістю, що згладжується RC-ланкою і надходить на мікросхему баласту.

Особливий інтерес становить фізичний інтерфейс DALI, схема якого наведена на рис. 2.7. Діодний міст VD1-VD4 усуває чутливість інтерфейсу до полярності на лінії зв'язку. Мікросхеми опторозв'язки DA1 і DA2 виконують гальванічну розв'язку лінії керування від силових кіл. Обробку сигналів веде мікроконтролер DD1. Для нього сформовано чотири ідентифікаційних сигнали: ENABLE (включення DALI-інтерфейсу), TX-DALI (передача даних від баласту до пристрою управління), RX-DALI (прийом даних від пристрою управління), RECEIVE (ідентифікація стану прийому/передачі).

Існують системи у яких обробка даних здійснюється мікроконтролером програмно. Однак оскільки DALI-інтерфейс має великі перспективи в майбутньому, вже зараз фірма Atmel випустила мікроконтролер серії AVR типу AT90PWM2, оснащений апаратним DALI-інтерфейсом. Прийом, передача та обробка даних в цьому мікроконтролері

здійснюється апаратно, тобто за допомогою спеціального периферійного пристрою. Очевидно, що в найближчому майбутньому число таких мікроконтролерів розшириться. Напевно з'являться і спеціалізовані мікросхеми DALI-інтерфейсів, які не потрібно буде програмувати.

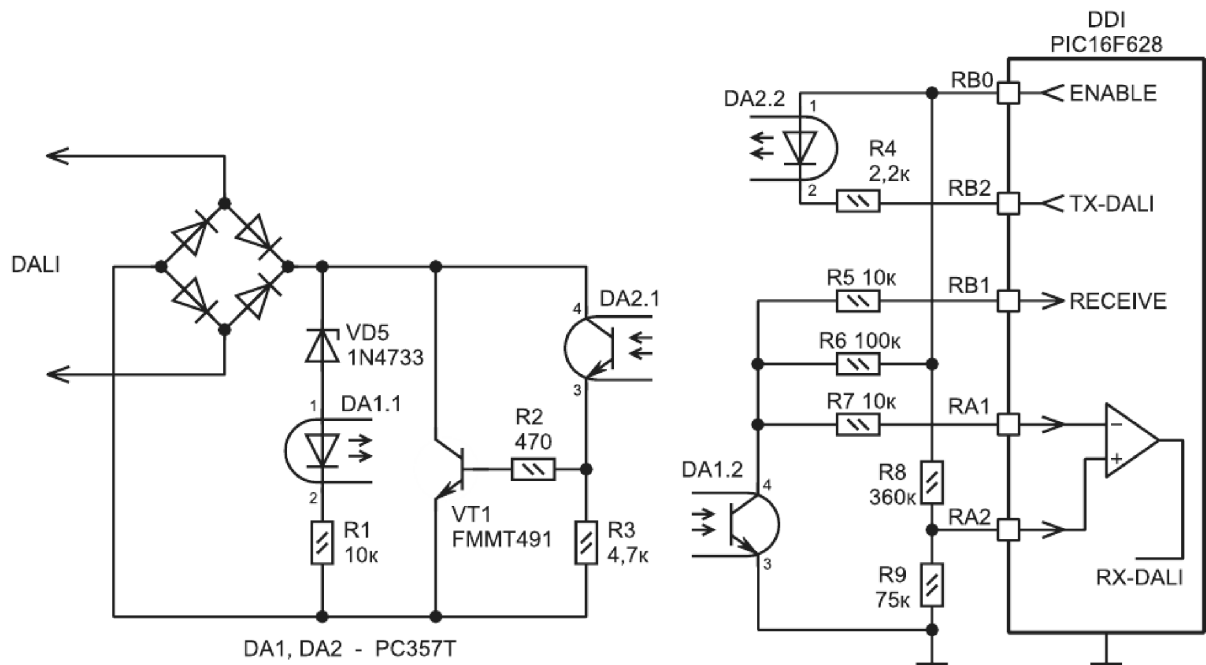


Рисунок 2.7 – Фізичний інтерфейс DALI

### 2.2.2 DALI-сумісне промислове обладнання

На рис. 2.8 показано зовнішній вигляд центрального блоку управління DALI BASIC SO, що випускається фірмою Osram. Він дозволяє визначати присутність з заданою користувачем затримкою (1–30 хв) та керувати чотирма довільними світловими сценами (одна з яких розрахована на автоматичне управління вуличним освітленням), Пристрій обладнано трьома входами для підключення шести світильників або датчиків присутності та п'ятьма входами з контактами для запуску/експлуатації.

Крім клем, до яких здійснюється підключення лінії зв'язку і пульта управління, блок має світлодіоди, що сигналізують про працездатність системи. Зелений світлодіод сигналізує про готовність системи до

використання, жовтий показує, що по DALI-шині йде обмін даними. Червоний світлодіод повідомляє про пошкодження. Крім цього блок обладнано загальним «плаваючим» контактом сигналізації, який може керувати, наприклад, дзвінком або зумером. Габарити блоку керування 140×90×60 мм, вага 0,55 кг.



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд блоку управління DALI BASIC SO

Приклад промислового димера наведено на рис. 2.9. Це серія HF-REGULATOR DALI, що випускається фірмою Philips.

Високочастотний електронний баласт з функцією зменшення яскравості освітлення з використанням цифрового протоколу DALI або протоколу кнопочового контакту Touch and Dim, призначений для керування режимами роботи люмінесцентних ламп. Пристрій відповідає вимогам стандарту A1BAT. Модуль дозволяє відстежити енергоспоживання системи освітлення, а за допомогою службових команд можна дізнатися номінальну та питому потужності підключених ламп. У поєднанні з системами управління забезпечує підвищену економію електроенергії.

Інтелектуальний баласт HF-R самостійно визначає тип підключених ламп (T5 HE, HO, ECO, TL-D, PL-L), і вибирає відповідний режим роботи.

Баласт забезпечує плавний пуск освітлення без мерехтіння та попередній прогрів лампових електродів, за рахунок якого

включення/виключення ламп не скорочує терміну їх експлуатації. Тривалість пуску не перевищує 1 секунди.

Інтелектуальне автоматичне керування забезпечує безперервність освітлення, незалежно від стрибків напруги у мережі, плавне зменшення яскравості світла від 1 до 100 % та освітлення без ефекту або стробоскопічного ефекту.

В разі поломки лампи пристрій реалізовує зупинку освітлювального обладнання протягом п'яти секунд (аварійна зупинка) та автоматичне перезавантаження баласту після заміни ламп.

Допускає програмування сценарних режимів роботи з використанням технології Philips MultiOne: випробування на відмову, режим коридорного освітлення та аварійне включення постійного струму в разі зменшення яскравості. Габаритні розміри димера 111×79×33 мм.



Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд промислового димера HF-REGULATOR DALI

Датчик SENSOR DALI-2 light/presence-8 infrared ceiling integration (рис. 2.10) — це сучасний пристрій, який поєднує функції детекції присутності та вимірювання рівня освітленості для автоматизації систем освітлення. Його основна мета — забезпечити енергоефективне управління освітленням у приміщеннях, використовуючи можливості протоколу DALI-2.



Датчик встановлюється на стелі й використовує інфрачервоні технології для виявлення руху, що дозволяє вмикати або вимикати світло залежно від присутності людей у зоні його дії. Додаткова функція вимірювання освітленості дозволяє регулювати яскравість світильників, адаптуючи її до змін природного освітлення, що значно знижує енергоспоживання.

Завдяки підтримці протоколу DALI-2, цей датчик забезпечує двосторонню комунікацію з іншими пристроями системи освітлення, такими як контролери або драйвери світильників. Протокол дозволяє налаштовувати сценарії освітлення, групувати пристрої та інтегрувати датчик у складніші системи автоматизації будівель. Використання DALI-2 забезпечує сумісність із широким спектром сертифікованих пристроїв, а також надає можливість отримувати дані про стан датчика та його роботу в реальному часі. Ця функціональність особливо важлива для моніторингу та діагностики, що спрощує обслуговування та підвищує надійність системи.



Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд сенсора руху Sensor DALI-2 light/presence-8

Датчик SENSOR DALI-2 light/presence-8 підходить для офісів, конференц-залів, навчальних приміщень та інших об'єктів, де важливо автоматизувати освітлення для зручності та енергоефективності. Завдяки використанню протоколу DALI-2, він не тільки виконує базові функції, але й інтегрується в масштабовані системи «розумного будинку» чи автоматизації будівель, забезпечуючи сучасний підхід до управління освітленням.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБЛЕННЯ DALI-СУМІСНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ

#### 3.1 Апаратні засоби взаємодії мікропроцесорної системи Arduino з шиною DALI

Враховуючи, що для зв'язку мікроконтролера з шиною даних достатньо лише два піни, то для реалізації поставленої задачі було використано один з найпростіших представників сімейства Arduino – Arduino Nano V3.0 (рис. 3.1).

Основною проблемою, яку необхідно розв'язати для підключення платформи Arduino до шини DALI є узгодження напруги живлення та величини логічного рівня. Для вирішення цієї задачі використано сторонній блок живлення на 12 В та 250 мА, який дозволяє одночасно працювати стандартному протоколу DALI та жити мікроконтролер без залучення додаткових засобів.

Рівень логічного сигналу мікроконтролера Arduino Nano V3.0 становить 3,3–5 В, тому для узгодження логічних рівнів використано резистор R1, номіналом 62 Ом, підключений на цифровий вхід мікроконтролера D3, та дільник напруги R3-R4, номіналом 30 КОм та 20 КОм відповідно, підключений перед аналоговим входом A0. Аналоговий вхід A0 служить для зчитування інформації з шини, а цифровий вихід D3 через обмежувальний резистор R2, номіналом 100 Ом, передає сигнал керування на n-p-n транзистор Q1, який і передає безпосередній сигнал у шину зв'язку. Для реалізації поставленої задачі використано транзистор BC549C, зі струмом емітер-колектор 200 мА та робочою напругою 12 В.

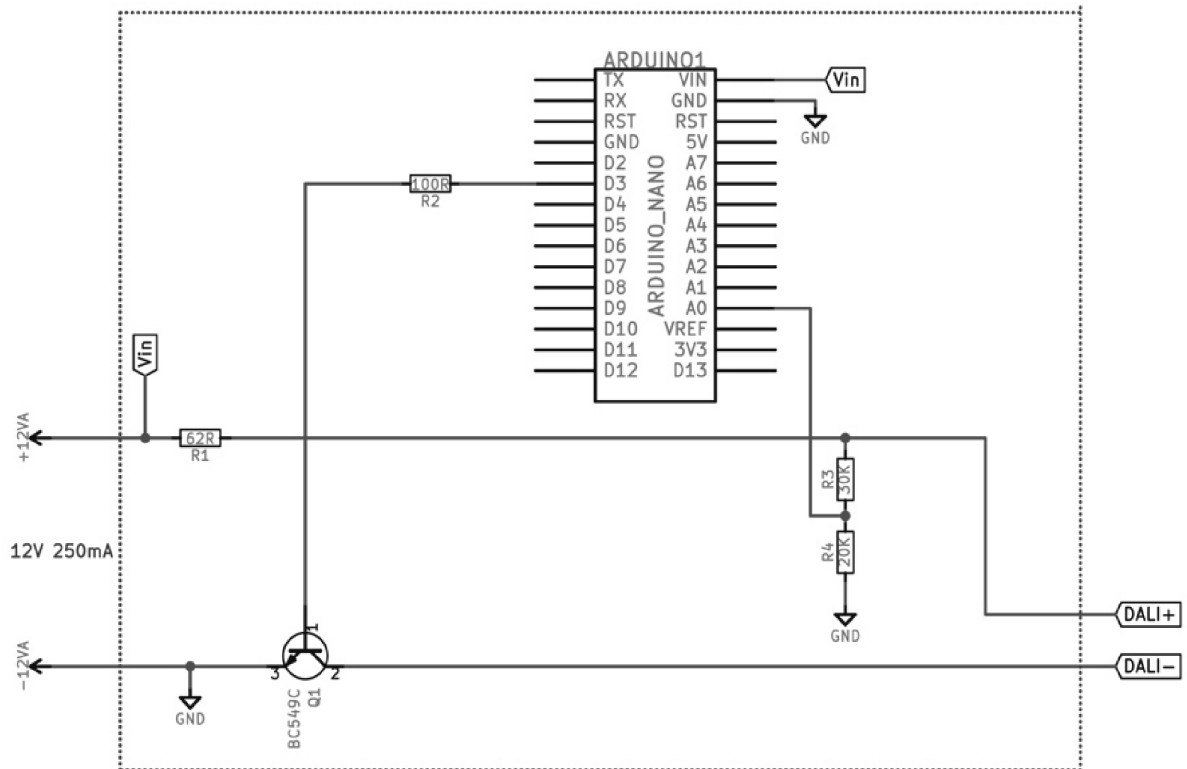


Рисунок 3.1 – Електрична схема контролера шини DALI на базі мікроконтролера Arduino Nano

На рис. 3.2 наведено схему керування шиною DALI з підключеними у неї драйверами освітлювальних пристроїв: LCM-600A-D7 та LP7-QAP-04. Контакти мікроконтролера D4, D5, D6 та D7 використано для підключення елементів керування (кнопок), які відповідають за різні режими включення/виключення електроосвітлювальних пристроїв.

Також до мікроконтролера (контакт A1 та A2) підключено два потенціометри RV1 та RV2 номіналом 10 КОм, які призначені для регулювання рівня яскравості освітлювальних пристроїв. Кожен з потенціометрів відповідає за власний драйвер. Драйвери LCM-600A-D7 та LP7-QAP-04 безпосередньо до мікроконтролера не підключаються, а керуються лише через два дроти шини DALI.

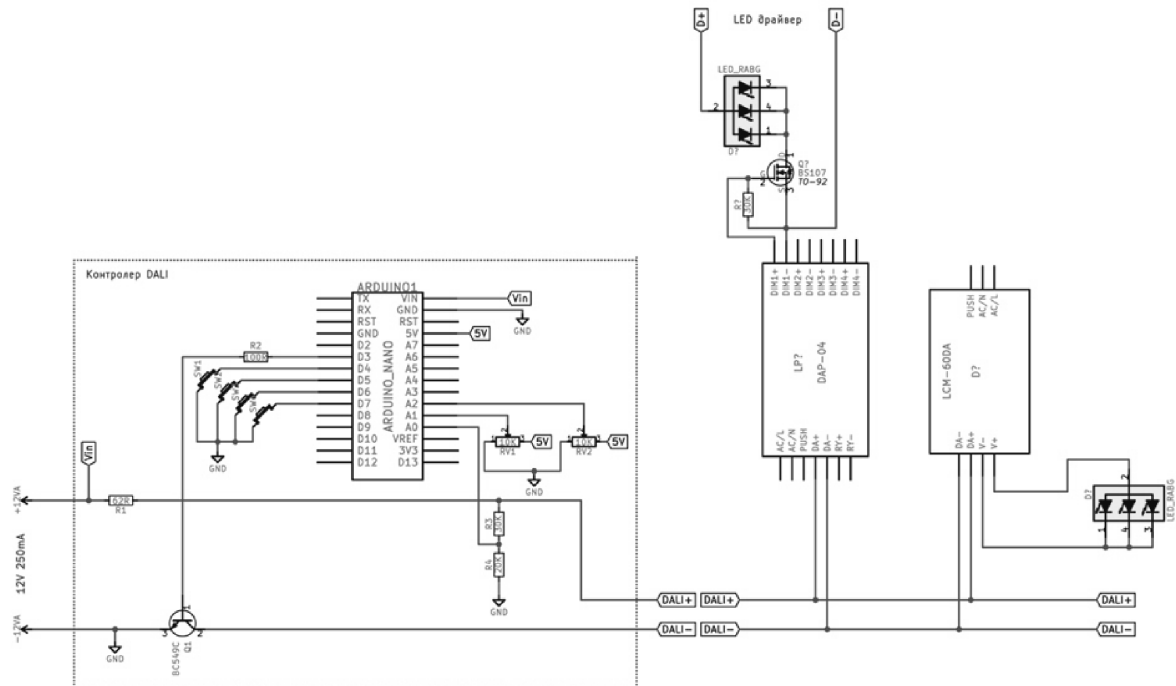


Рисунок 3.2 – Електрична схема взаємодії контролера шини DALI на базі мікроконтролера Arduino Nano з драйверами електроосвітлювальних пристроїв

### 3.2 Програмні засоби взаємодії мікропроцесорної системи Arduino з шиною DALI

На першому етапі налаштування мережі DALI необхідно виконати ініціалізацію всього підключеного обладнання і присвоїти йому короткі адреси.

Розглянемо програмний код мікроконтролера Arduino Nano для ініціалізації коротких адрес освітлювальних приладів за стандартом DALI.

Код визначення задіяних у роботі мікроконтролера портів, початкових значень констант, що відповідають за адресацію та часовий регламент виконання програми наведено на рис. 3.3.

---

```

#define DALI_CONTACT_TEXT 3
#define DALI_CONTACT_READ A0
#define LED_PIN 13
#define RESET 0b00100000
#define DALI_INIT_UNIT 0xA5
#define RAND_OMICE 0xA7
#define SEARCH_ADDRESH 0xB1
#define SEARCHRADDRENDM 0xB3
#define SEARCHADDORRL 0xB5
#define PROGRAM_SHORT_ADDRESS 0xB7
#define COMPARE 0xA9
#define WITHDE_RAW 0xAB
#define TERMINATE 0xA1
#define STT_SHORT_NEW_ADDR 2
#define LEVEL_OF_ANALOG_DALI 650
#define DALI_HALF2_BITE_TIME 416 //мікросекунд
#define DALI_TW2O_PACKECH_DEL 10 //мілісекунд
#define DALI_RESPONSE_DELAY_COUNT 15 //кількість напівбітів
uint8_t ShortAddr = STT_SHORT_NEW_ADDR;

```

---

Рисунок 3.3 – Визначення початкової конфігурації

Функція setup (рис. 3.4) налаштовує режим роботи портів та визначає швидкість передачі даних у монітор послідовного порту.

---

```

void seup()
{pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(LED_PIN, LOW);
  pinMode(DALI_CONTACT_TEXT, OUTPUT);
  digitalWrite(DALI_CONTACT_TEXT, HIGH);
  Serial.begin(115200);
  DaliInit();}

```

---

Рисунок 3.4 – Код функції setup

Циклічна функція loop (рис. 3.5) залишається порожньою, адже ініціалізація адрес виконується лише один раз:

---

```
void loop()
{
}
```

---

Рисунок 3.5 – Код функції loop

Функція DalInit (Додаток А) виконує ініціалізацію пристроїв у мережі DALI, забезпечуючи їх ідентифікацію, присвоєння коротких адрес та підготовку до подальшої роботи. На початку виконується скидання всіх пристроїв за допомогою команди RESET, яка надсилається двічі з затримками для стабільної передачі даних. Це дозволяє перевести всі підключені пристрої у початковий стан. Після цього викликається команда DALI\_INIT\_UNIT, яка тричі надсилається для підготовки пристроїв до налаштування. На цьому етапі додаються затримки для запобігання конфліктам у мережі.

Далі функція переходить до процесу пошуку пристроїв. Для цього використовується команда RAND\_OMICE, яка генерує випадкові 24-бітові адреси. Ці адреси дозволяють унікально ідентифікувати кожен пристрій у мережі. Пошук виконується за допомогою циклу, в якому перевіряється наявність пристроїв через функцію SearchAndCompare. Якщо пристрій виявлено, система починає визначати його точну адресу методом поділу діапазону адрес на половини. Це забезпечує ефективність процесу пошуку, скорочуючи час для ідентифікації кожного пристрою.

Після визначення унікальної адреси пристрою виконується присвоєння короткої адреси (від 0 до 63) за допомогою команди PROGRAM\_SHORT\_ADDRESS. Ця адреса необхідна для подальшого управління пристроєм у мережі. Після цього пристрій переводиться у звичайний режим роботи за допомогою команди WITHDE\_RAW, а система

переходить до пошуку наступного пристрою. Якщо пристрої в мережі не виявлені, цикл завершується, і виводиться відповідне повідомлення через серійний порт.

На завершення функція надсилає команду TERMINATE, яка завершує процес ініціалізації, і виводить повідомлення "Init complete". Ця функція забезпечує автоматичне налаштування до 64 пристроїв у мережі DALI, що є ключовим етапом для підготовки системи освітлення до роботи. Завдяки використанню серійного порту, весь процес можна відстежувати в реальному часі, що спрощує діагностику та налаштування.

Функція SearchAndCompare (Додаток Б) призначена для пошуку та перевірки відповідності унікальної 24-бітової адреси пристрою в мережі DALI. Вона приймає параметр SearchAddr, що містить 24-бітову адресу, яку потрібно перевірити. На початку адреса розбивається на три байти: старший, середній і молодший, які будуть поетапно передані через шини DALI. Для кожного байта команда надсилається тричі за допомогою функції DaliTransmitCMD, щоб забезпечити надійність передачі даних. Після кожного надсилання додається затримка, що визначається значенням DALI\_TW2O\_PACKET\_DEL, для уникнення конфліктів у мережі.

Після передачі трьох байтів адреси викликається команда COMPARE, яка запускає перевірку, чи відповідає зазначена адреса якому-небудь пристрою в мережі. Для цього функція аналізує зворотний сигнал від пристрою, використовуючи analogRead для зчитування напруги на контактній лінії DALI. Якщо рівень сигналу нижчий за поріг, визначений параметром LEVEL\_OF\_ANALOG\_DALI, функція встановлює значення Response у true (1), що вказує на відповідність адреси. У цьому випадку також активується світлодіодний індикатор, підключений до пін LED\_PIN, для візуального підтвердження.

Якщо жоден пристрій не відповідає зазначеній адресі, функція повертає false (0). Таким чином, SearchAndCompare виконує ключову роль у процесі пошуку пристроїв, забезпечуючи можливість перевірки відповідності

унікальної адреси в мережі DALI, що є основою для подальшої ідентифікації та налаштування пристроїв.

Функція `DaliTransmitCMD` (Додаток В) відповідає за присвоєння короткої адреси шляхом передачу двобайтової команди через шину DALI. Вона приймає два параметри: `Part1` і `Part2`, які є частинами команди. Ці параметри об'єднуються в масив `DALI_CMD`, що містить повну команду для подальшої передачі. Передача виконується відповідно до протоколу DALI, який вимагає використання стартового біта, послідовної передачі бітів даних та завершення команди.

На початку функція генерує стартовий біт, встановлюючи лінію `DALI_CONTACT_TEXT` у низький стан на половину біта, після чого перемикає її у високий стан на іншу половину. Це сигналізує пристроям у мережі про початок передачі. Потім функція переходить до послідовної передачі двох байтів команди. Для кожного байта виконується побітова передача, починаючи з найстаршого біта. Кожен біт передається як манчестерський код: якщо біт дорівнює 1, спочатку передається низький стан, потім високий, і навпаки, якщо біт дорівнює 0. Час для кожної половини біта визначається значенням `DALI_HALF2_BITE_TIME`, яке забезпечує точність синхронізації відповідно до стандарту DALI.

Після передачі обох байтів команда завершується встановленням лінії `DALI_CONTACT_TEXT` у високий стан, що сигналізує пристроям про закінчення передачі. Функція `DaliTransmitCMD` забезпечує точну та синхронізовану передачу команд у мережі DALI, що є основою для управління пристроями освітлення. Вона виконує критично важливу роль у комунікації між контролером і пристроями, забезпечуючи передачу даних у відповідності до вимог протоколу.

Після ініціалізації відбувається перепрограмування мікроконтролера для роботи у режимі керування DALI-шиною. В цьому режимі необхідно задіяти низку цифрових контактів для підключення кнопок керування ввімкненням та вимкненням освітлювальних пристроїв та сценаріями їх



роботи. Для плавного регулювання рівня яскравості освітлювальних пристроїв до мікроконтролера підключено два градуйованих потенціометри, які дозволяють зчитувати бажаний рівень освітленості.

У програмі також передбачено функцію запам'ятовування останнього вибору та її запис у енергонезалежне сховище, на випадок тимчасового незапланованого знеструмлення системи.

Розроблений код також реалізує режим автоматичної діагностики підключеного освітлювального обладнання, та індикацію його стану стандартними засобами плати Arduino Nano – світлодіодом, підключеним до контакту D13.

Розглянемо приклад відповідного програмного коду, необхідного для налаштування мікроконтролера Arduino Nano для роботи в режимі управління освітлювальними приладами за стандартом DALI з коментарями.

Код визначення задіяних у роботі мікроконтролера портів, початкових значень констант, що відповідають за ардесачію та часовий регламент виконання програми наведено на рис. 3.6.

---

```
#define DALI_CONTACT_TEXT 3
#define DALI_CONTACT_READ A0
#define BROADCAST_CMD 0b11111111
#define DOWN_DA 0b00000010
#define UP_DA 0b00000001
#define DALI_CHNL_COUNT 4
#define LAMP_OFF_VALUE 0
#define DALI_HALF2_BITE_TIME 416 // мікросекунд
#define DALI_TW2O_PACKET_DEL 10 //мілісекунд
uint8_t AnalogPins[DALI_CHNL_COUNT] = {A1, A2, A3, A4, }; //аналогові
uint8_t KeyPins[DALI_CHNL_COUNT] = {4, 5, 6, 7, }; //кнопки
uint8_t DALIPrevVals[DALI_CHNL_COUNT] = {0, 0, 0, 0};
uint8_t LampState[DALI_CHNL_COUNT] = {0, 0, 0, 0};
```

---

Рисунок 3.6 – Визначення початкової конфігурації

Функція setup (рис. 3.7) налаштовує режим роботи портів.

---

```

void setup()
{
  pinMode(DALI_CONTACT_TEXT, OUTPUT);
  digitalWrite(DALI_CONTACT_TEXT, HIGH);
  for(uint8_t i = 0; i < DALI_CHNL_COUNT; i++)
  {
    pinMode(KeyPins[i], INPUT);
    digitalWrite(KeyPins[i], HIGH);
  }
}

```

---

Рисунок 3.7 – Код функції setup

Циклічно повторювана функція loop (Додаток Г) забезпечує управління станом пристроїв у мережі DALI, зчитуючи значення з аналогових входів і обробляючи сигнали з кнопок. Її робота поділяється на два етапи: обробка значень для кожного каналу та обробка команд від кнопок.

На першому етапі функція проходить по всіх каналах, перевіряючи стан кожного підключеного пристрою. Якщо пристрій активний, функція зчитує поточне значення аналогового сигналу з відповідного входу, нормалізує його (обмежуючи максимум до 1016 і масштабуючи до діапазону 0–255), і порівнює з попереднім значенням яскравості. Якщо зміна яскравості перевищує заданий поріг, це значення оновлюється в масиві DALIPrevVals, і команда з новим рівнем яскравості надсилається через функцію DalitransmitCMD. Це дозволяє забезпечити плавне регулювання яскравості в реальному часі. Якщо пристрій було вимкнено, його стан змінюється на активний, і додається затримка для стабільності передачі.

На другому етапі функція обробляє натискання кнопок, підключених до цифрових входів. Якщо кнопка виявляється натиснутою, виконується невелика затримка для усунення дзенькоту контактів. Далі, залежно від натисненої кнопки, може бути надіслана команда на підвищення або зниження яскравості для всіх ламп (команди UP\_DA або DOWN\_DA), або змінено стан окремого пристрою. Якщо лампа вимкнена, вона вмикається з рівнем яскравості, що відповідає аналоговому сигналу. Якщо ж лампа увімкнена, надсилається команда вимкнення (LAMP\_OFF\_VALUE). Після кожної дії додається затримка, щоб уникнути повторного оброблення того самого натискання. Якщо ж команда стосується розетки, то система контролює стан її активності і просто змінює його на протилежний. При цьому розетка, що не споживає енергію через визначений проміжок часу переходить у неактивний режим.

Ця функція забезпечує інтерактивне управління підключеними пристроями та освітленням у системі DALI, дозволяючи регулювати яскравість як автоматично, так і вручну через кнопки. Вона також оптимізована для мінімізації затримок та плавного оновлення яскравості, що робить її зручною для інтеграції в системи реального часу.

### **3.3 Вивчення рівня затухання керуючого сигналу у шині DALI**

Відповідно до стандарту протоколу DALI значення логічного нуля коливається в межах від  $-6,5\text{ В}$  до  $+6,5\text{ В}$ , а логічна одиниця розташована в межах від  $9,5\text{ В}$  до  $22,5\text{ В}$  (рис. 3.8). Однак, під час визначення максимальної відстані між контролером шини DALI та виконавчим пристроєм слід врахувати, що відповідно до вимог протоколу DALI спад напруги у лініях зв'язку не повинен перевищувати  $2\text{ В}$ . Отже внаслідок зменшення напруги

живлення у шині до 12 В мінімально допустиме значення напруги на виконавчому пристрої не повинно бути менше від 10 В.

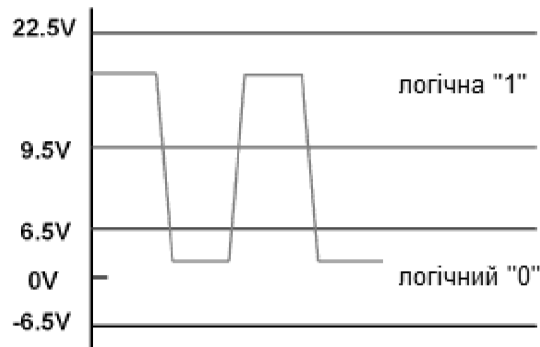


Рисунок 3.8 – Допустимі значення напруги, що відповідає логічному нулю та логічній одиниці

Оскільки для керування пристроями, підключеними до шини DALI застосовують постійну напругу, але у імпульсному режимі, для визначення величини втрат  $\Delta U$  використано співвідношення:

$$\Delta U = \frac{2}{10\gamma U_{max}} \cdot \frac{\sum I_{max} l}{F}, \quad (3.1)$$

де  $\gamma$  – питома провідність матеріалу провідників, м/(Ом·мм<sup>2</sup>);

$U_{max}$  – номінальна напруга мережі, В;

$F$  – переріз дротів, мм<sup>2</sup>;

$l$  – довжина дротів, м;

$I_{max}$  – активний струм, А.

Результати обчислення для лінії 16 В та 12 В наведено на рис 3.9 та рис 3.10 – відповідно. Хоча принципів відмінностей у абсолютному значенні загасання не виявлено, зменшення напруги живлення до 12 В призводить до швидшого виходу напруги за межі допустимого діапазону напруг логічної одиниці.

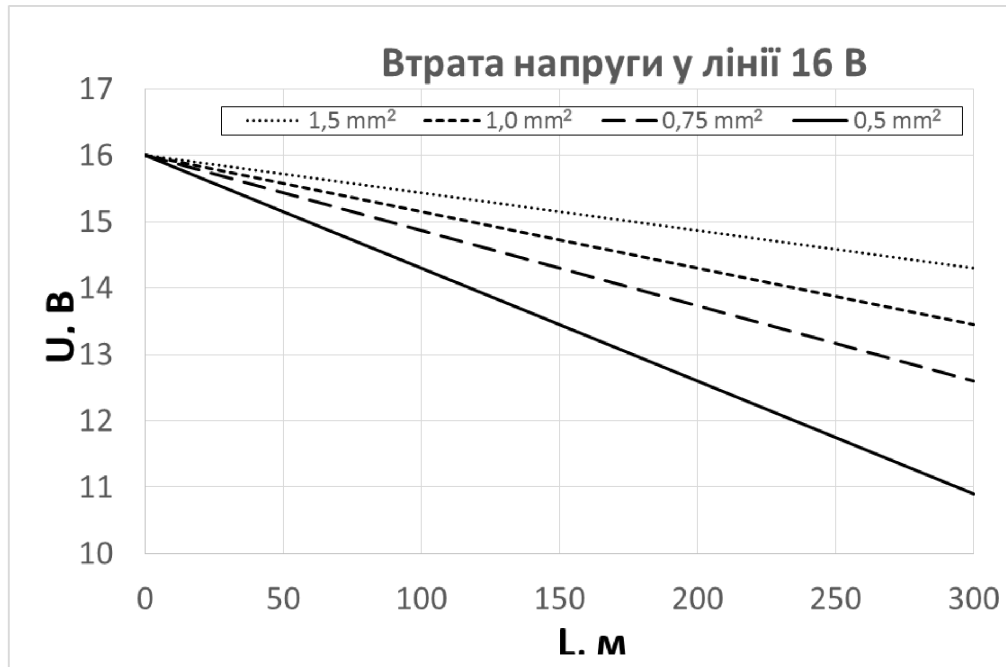


Рисунок 3.9 – Зменшення напруги керуючого сигналу у лінії 16 В

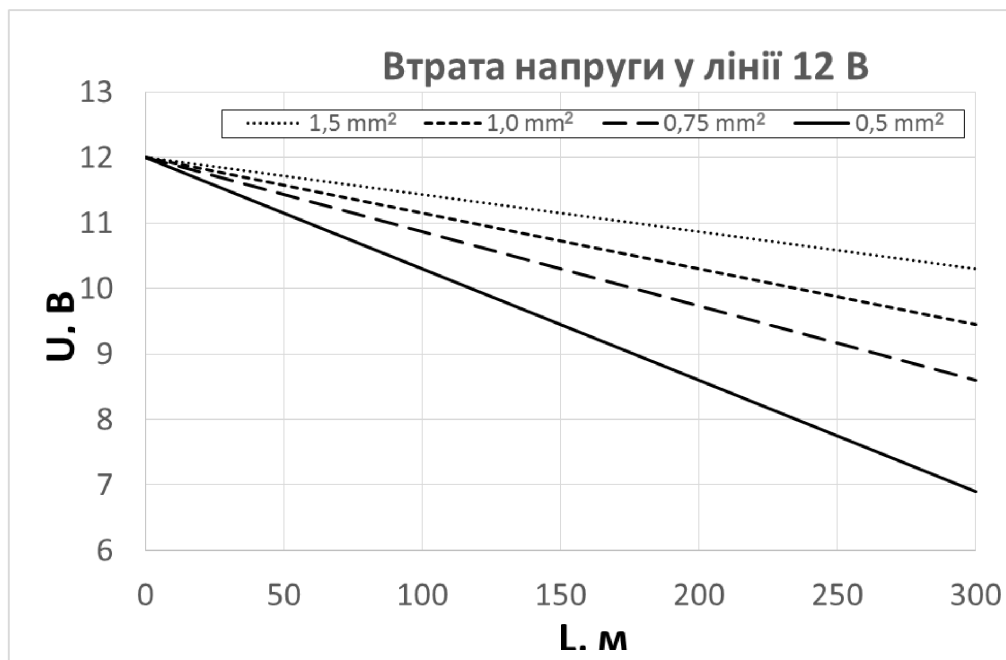


Рисунок 3.10 – Зменшення напруги керуючого сигналу у лінії 12 В

Водночас підвищення рівня напруги понад 15 В накладатиме додаткові обмеження щодо роздільного живлення шини DALI та самого мікроконтролера. Тож таке ускладнення системи доцільно реалізовувати лише у випадку крайньої необхідності.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 4.1 Аналіз умов праці під час монтажу та обслуговування освітлювальних приладів

Заходи з охорони праці спрямовані на створення безпечних і здорових умов праці та відпочинку. Залежно від характеру виконуваної роботи на працівника можуть впливати найрізноманітніші поля та фактори впливу: механічні, хімічні, електричні, теплові, електромагнітні, біологічні, радіаційні тощо.

Тривалість та інтенсивність такого впливу виробничого середовища на організм людини визначає рівень його небезпеки та ймовірність настання незворотних уражень.

За межами допустимих рівнів і тривалості виникає пошкодження організму, яке при певних інтенсивностях класифікується як нещасний випадок або травма. Безпосереднім джерелом таких пошкоджень може виступати кожен з компонентів виробничого середовища.

Ушкодження організму можуть виникати внаслідок безпосередньої контактної дії (механічного, хімічного або електричного походження) або дистанційного впливу (світлового, теплового). Проявляться такі ушкодження можуть одразу після дії або через деякий проміжок часу (наприклад, у разі радіоактивного опромінення).

Серед різних факторів виробництва, що можуть спричинити певні дії на людину, можна виділити шкідливі та небезпечні виробничі фактори. В процесі виконання роботи на електромонтажника можуть впливати, в основному, такі небезпечні і шкідливі виробничі фактори:

- електричний струм, шлях якого в разі замикання може пройти через

- тіло людини;
- розташування робочого місця на висоті, наприклад, при роботі з драбини;
- виліт пороху та твердих частинок (наприклад, при пробиванні отворів);
- гострі кромки, задирки і шорсткість на поверхні інструментів, вузлів, механізмів, устаткування, інструменту;
- незручна робоча поза, наприклад, при монтажі освітлювальної системи;
- недостатня освітленість робочої зони;
- відсутність огорожень і запобіжних поясів при роботі на висоті;
- робота без спецодягу та засобів індивідуального захисту;
- експлуатація несправного інструменту;
- незадовільне утримання робочого місця.

Електромонтажнику слід пам'ятати про те, що основна небезпека ураження електричним струмом полягає в тому, що людина не здатна своєчасно виявити електричний струм до початку його дії і, отже, реально усвідомити наявну небезпеку і застосувати запобіжні заходи.

Для попередження нещасних випадків електромонтажник під час роботи повинен користуватися спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Крім того електромонтажнику забороняється виконувати роботи, до яких він не допущений в установленому порядку, а також користуватися інструментом і устаткуванням, з якими він не має навичок безпечного поводження.

Умови праці на робочому місці, технологічний стан обладнання, машин і механізмів, санітарно-побутові умови тощо повинні відповідати вимогам діючих нормативних актів про охорону праці.

Працівник має право відмовитися від виконання робіт, якщо

склалась виробнича ситуація, потенційно небезпечна для його життя чи здоров'я, або для життя чи здоров'я оточуючих людей та навколишнього середовища.

Належним чином організована робота з охорони праці – одна з основних умов зниження травматизму на виробництві, професійних захворювань і підвищення продуктивності праці.

Аналіз статистичних даних щодо виробничого травматизму показує, що більшість нещасних випадків під час проведення електромонтажних робіт відбулися внаслідок порушення правил та інструкцій з техніки безпеки.

#### **4.2 Заходи безпеки під час проведення електромонтажних робіт**

Правилами техніки безпеки при монтажі освітлювальних приладів дозволено виконання таких робіт особами, які пройшли спеціальне навчання, вступний інструктаж і перевірку знань. Світильники повинні відповідати правилам безпечного використання: якість матеріалів лампи, електропроводки, кріплень і плафона.

При монтажі світильників різного типу необхідно дотримуватися наступних рекомендацій:

1. Перед проведенням монтажу світильників робітники повинні перевірити наявність справного робочого інструменту і додаткового оснащення (рукавиці, вимірювальні прилади тощо).

2. Перед установкою світильників необхідно ознайомитися з інструкцією і, дотримуючись рекомендацій виробника, приступити до монтажу, оскільки різні виробники пред'являють індивідуальні вимоги до процесу установки. Також на безпечність робіт впливає складність і масштаб виконуваних операцій.



3. Після монтажу світильників робочий персонал зобов'язаний проводити регулярний огляд стану приладів у встановлені терміни. У процесі перевірки проводиться аналіз цілісності скла, цоколя, доступних електромереж, щитка. У разі монтажу обладнання в особливо забруднених зонах перевірка проводиться за попередньо підготовленим графіком.

4. Установка світильників повинна проходити при повному знеструмленні мережі.

5. Заборонено вести електромонтажні роботи увімкнених слабкострумних кабельних мереж в приміщенні з високою вологістю.

6. Робоча напруга підводних світильників не повинна перевищувати 12 В.

7. Допускається використання драбин і приставних драбин при монтажі на висоті не більше 5 метрів. У разі перевищення даного показника необхідно використовувати крани та інші висотні установки.

8. Для якісного виконання своїх обов'язків працівники (електрики, монтажники) повинні регулярно проходити інструктаж з техніки безпеки і охорони праці.

9. У разі внесення змін до рекомендації по установці освітлювального обладнання бригадир повинен донести це нововведення до початку виконання робіт.

10. До роботи з електрифікованим і пневматичним інструментом допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли спеціальне навчання, склали відповідні іспити і мають запис про це у посвідченні з техніки безпеки.

11. У приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних, а також в зовнішніх установках напруга електроінструменту не повинно перевищувати 42 В. В особливо небезпечних приміщеннях робота цим інструментом дозволяється тільки із застосуванням захисних засобів (рукавичок, килимків та ін.).

12. Для продзвонки кабелів і проводів забороняється застосовувати напругу понад 42 В.

Технічне обслуговування мереж електричного освітлення виконує спеціально навчений персонал. Як правило, чищення арматури і заміну перегорілих ламп проводять в денний час із зняттям напруги з ділянки. Якщо з електроустановки напругою до 500 В зняти напругу можна, допускають виробництво робіт під напругою. В цьому випадку сусідні струмоведучі частини огорожують ізолюючими накладками, працюють інструментом з ізольованими рукоятками, в захисних окулярах, головному уборі і з застебнутими рукавами, стоячи на ізолюючій підставці або в діелектричних калошах.

У цехах промислових підприємств чистку і обслуговування високо розташованої освітлювальної апаратури проводить бригада в складі не менше двох електромонтерів, при цьому виконавець робіт повинен мати III кваліфікаційну групу. Обидва виконавці повинні бути допущені до верхолозних робіт. При роботі дотримуються запобіжних заходів від попадання під напругу, від падіння з висоти, від випадкового пуску крана.

### **4.3 Розробка заходів зменшення травматизму під час проведення електромонтажних робіт**

Навіть незначна травма на виробництві може трактуватись як нещасний випадок, що потягне за собою розслідування, виплату компенсацій потерпілому працівнику, а можливо, і перевірку трудової інспекції. Тому працівники, відповідальні за рівень охорони праці на підприємстві повинні сконцентрувати свої зусилля на запобігання нещасному випадку.

На зниження виробничого травматизму безпосередньо впливають:

- вибір відповідного приміщення і якісного обладнання для роботи;

- грамотний підбір працівників, навчання правильним прийомам роботи;
- забезпечення працівників засобами індивідуального захисту;
- своєчасне проведення оцінки умов праці на робочих місцях;
- надання співробітникам встановлених пільг;
- своєчасне проходження працівниками медичних оглядів;
- роз'яснення працівникам правил охорони праці, наочна демонстрація, чому важливо їх дотримуватися;
- контроль засвоєних знань і перевірка виконання встановлених вимог тощо.

Вищенаведені напрямки профілактики нещасних випадків на виробництві підходять практично до будь-якої організації і не залежать від сфери діяльності. Однак деякі з них відіграють найбільше значення для профілактики травматизму під час проведення електромонтажних робіт.

Для підбору робочого приміщення необхідно визначити:

- площу, необхідні для розміщення виробничого обладнання, зони відпочинку і харчування тощо;
- можливість розміщення в приміщеннях засобів колективного захисту працівників, пожежної сигналізації;
- можливість модернізації приміщень або їх складових частин, в разі розширення виробництва.

Ще одним важливим чинником є якість та різноманіття виробничого обладнання. Очевидно, що краще віддати перевагу сучасному, автоматизованому, безпечного і надійного устаткування. Якою б великою не була б спокуса заощадити, подальші витрати на ремонт і технічне обслуговування обладнання будуть дуже відчутними. Крім того, використання застарілого обладнання безпосередньо впливає на ймовірність виникнення аварійних ситуацій і травм персоналу. Це може швидко звести до нуля вигоду від початкової економії.

Якщо підприємство працює не перший рік і питання виробничого травматизму стоїть гостро, слід задуматися про модернізацію виробничого процесу. При обмеженому бюджеті її проводять поступово: наприклад, можна почати з системи вентиляції та освітлення, які поліпшать умови праці, а значить, знизять ймовірність нещасних випадків. Потім планомірно покращувати і інші аспекти умов праці: оновлювати виробничі технології та обладнання.

Ще одним заходом щодо профілактики нещасних випадків на виробництві є ретельний підбір персоналу. Практика показує, що з кваліфікованими працівниками нещасні випадки відбуваються набагато рідше, ніж з їх менш підготовленими колегами.

Проте навчати доведеться навіть кваліфікованих співробітників. Вирішальну роль у цьому питанні відіграє фаховість працівника з охорони праці. Він проводить вступний інструктаж з новими співробітниками незалежно від їх посади. Важливо не зводити вступний інструктаж до формального збору підписів, а проводити повноцінне навчання з кожним конкретним співробітником. Саме на цьому етапі у працівників закладається подальше ставлення до охорони праці.

Після вступного інструктажу з охорони праці працівники направляються в структурні підрозділи організації, де з ними проводять первинний інструктаж на робочому місці.

Після первинного інструктажу для працівників, які будуть працювати у шкідливих умовах, необхідно провести стажування на робочому місці. В ході стажування співробітник отримує практичні навички необхідні для майбутньої роботи. Таке навчання знижує ймовірність нещасного випадку, оскільки акцентує увагу працівника на тих особливостях виробництва, які несуть реальну загрозу його життю та здоров'ю.

Отже кваліфіковане проведення вступного, на робочому місці, періодичного (повторний), позапланового та поточного інструктажів

працівників з техніки безпеки також відносять до ефективних заходів профілактики нещасних випадків та виробничого травматизму.

#### **4.4 Розробка заходів щодо безпеки у надзвичайних ситуаціях**

Освітлення, є одним з найважливіших факторів, які впливають на безпеку населення під час виникнення різноманітних надзвичайних ситуацій, отже аварійне освітлення повинно бути невід'ємною частиною загального комплексу освітлення «розумних» споруд.

Розрізняють запасне або допоміжне освітлення з одного боку, і аварійне освітлення з іншого боку. Запасне освітлення виконує функції загального освітлення в разі відсутності електропостачання і забезпечує, таким чином, подальше проведення основних робіт. Для таких цілей використовують запасні електрогенератори, які подають електроенергію до тих самих світильників. Відповідно до діючих норм запасне освітлення повинно забезпечити мінімум 10 % від звичайної рекомендованої для даної діяльності освітленості.

У свою чергу аварійне освітлення поділяються на:

- освітлення для рятувальних шляхів. Для того щоб забезпечити освітлення шляхів евакуації необхідна мінімальна освітленість в розмірі 1 лк на кожні 0,2 м висоти приміщення;
- фонове освітлення, яке запобігаю розвитку паніки, забезпечуючи мінімальну освітленість, достатню для того, щоб люди могли безпечно дістатись запасних виходів у великих приміщеннях;
- освітлення для особливо небезпечних робочих місць, наприклад, біля агрегатів з рухомими частинами, де в разі вимкнення освітлення виникає безпосередня небезпека виникнення аварії і небезпека для життя працівників.

На рис. 4.1 та рис. 4.2 наведено класифікацію аварійного освітлення за стандартом EN 1838 та СНіП23-05-95.



Рисунок 4.1 – Класифікація аварійного освітлення за стандартом EN 1838



Рисунок 4.2 – Класифікація аварійного освітлення за СНіП23-05-95

## РОЗДІЛ 5

### ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

#### 5.1 Розрахунок витрат на впровадження запропонованих оптимізаційних рішень

Для проведення економічного розрахунку ефективності впровадження запропонованих апаратних рішень необхідно виконати розрахунок структури витрат на виготовлення розробленого модуля керування DALI-шиною, яка складається з прямих виробничих витрати, зокрема витрати на передбачені виробничим процесом матеріали, а також витрати на заробітну плату працівників, безпосередньо задіяних у виробничому процесі і амортизаційні витрати.

Розрахунок технологічної собівартості ( $CT$ ) виконано за формулою:

$$CT = MO + MC + TP + A + E + ZO + CZ, \text{ грн.}, \quad (5.1)$$

де  $MO$  – витрати на основні матеріали;

$MC$  – супутні матеріали;

$TP$  – транспортні витрати;

$A$  – амортизаційні відрахування;

$E$  – оплата за енергоресурси;

$ZO$  – оплата праці основних працівників;

$CZ$  – страхові відрахування.

У таблиці 5.1 представлено перелік витрат, необхідних для придбання матеріальних цінностей та супутніх послуг для виготовлення модуля керування DALI-шиною на базі мікроконтролера Arduino Nano.

Таблиця 5.1 – Базова структура витрат на матеріали для виготовлення модуля керування DALI-шиною

Стаття витрат	Розмір витрат, грн.
Основні матеріали (МО)	
Мікроконтролер Arduion Nano V3.0 (аналог)	155
Блок живлення Zaim43LP: 12 В, 4 А	420
Монтажна плата	90
Елементи керування (кнопки)	18
Елементи керування (регулятори)	60
Елементи інформування (зумер)	21
Резистори	5
Конденсатор	2
Транзистор	15
Клемна колодка	4
Корпус	49
Всього:	839

Закладемо вартість супутніх матеріалів (МС), необхідних для виробництва контролера DALI-шини у розмірі 4 % від вартості основних матеріалів:

$$MC = MO \cdot 4\% = 839 \cdot 0,04 \approx 33,6 \text{ грн.} \quad (5.2)$$

Враховуючи незначні габаритні розміри та вагу необхідних матеріальних цінностей, транспортні витрати пов'язані з придбанням основних матеріальних цінностей не перевищуватимуть 120 грн.



Для безпосереднього виготовлення запропонованого модуля буде задіяно (не враховуючи етап програмування) виключно малоцінні та швидкозношувані предмети тому рівень амортизаційних відрахувань  $A$  можна визначити за формулою:

$$A = \frac{B \cdot A_n}{100} = \frac{(839 + 33,6) \cdot 2}{100} = 17,45 \text{ грн.}, \quad (5.3)$$

де:  $B$  – базова вартість основних та супутніх матеріалів, , грн.;

$A_n$  – норма амортизаційних відрахувань, %.

Для визначення витрат енергоносіїв  $E$  врахуємо питомі витрати електроенергії, необхідної для обслуговування виробничих приміщень ( $ПВЕ$  – 0,8 кВт·год), затрати людино- та машино-годин ( $Гл$  – 5 год,  $Гм$  – 3 год ) та тариф на використання енергоносіїв  $Ц$ . У розрахунку використано усереднене значення питомих витрат електроенергії як для людської так і для машинної праці.

$$E = (Гл + Гм) \cdot ПВЕ \cdot Ц = (5+3) \cdot 0,8 \cdot 4,32 \approx 27,7 \text{ грн.} \quad (5.4)$$

Визначення рівня оплати праці працівників, залучених до безпосереднього виробництва модуля контролю DALI-шиною здійснено за формулою:

$$ЗО = Гл \cdot ПОп = 5 \cdot 48,0 = 240,0 \text{ грн}, \quad (5.5)$$

де  $ПОп$  – тарифна ставка погодинної оплати праці працівника 16-того тарифного розряду, що відповідає посаді провідного інженера.

Страхові відрахування  $СЗ$  приймемо у розмірі 38 % від заробітної плати працівників, залучених у виробництві:

$$СЗ = \frac{ОЗ \cdot СН}{100} = \frac{240 \cdot 38}{100} = 91,2 \text{ грн}, \quad (5.6)$$

де  $СН$  – коефіцієнт страхових відрахувань.

Узагальнений розрахунок технологічної собівартості модуля керування DALI-шиною представлено у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Технологічна собівартість виробництва контролера DALI-шини на базі мікроконтролера Arduino Nano V3

<b>Показник</b>	<b>Позначення</b>	<b>Сума, грн</b>
Витрати на основні матеріали	<i>МО</i>	839
Супутні матеріали	<i>МС</i>	33,6
Транспортні витрати	<i>ТР</i>	120
Амортизаційні відрахування	<i>А</i>	17,46
Оплата за енергоресурси	<i>Е</i>	27,7
Оплата праці основних працівників	<i>ЗО</i>	240
Страхові відрахування	<i>СЗ</i>	91,2
Разом:	<i>СТ</i>	1368,96

Подальший розрахунок виробничої та повної собівартості запропонованої системи не проводився, оскільки рішення щодо доцільності власного виробництва чи придбання необхідних ресурсів приймаються саме на основі технологічної собівартості.

## **5.2 Оцінювання економічної ефективності впровадження запропонованих оптимізаційних рішень**

У якості альтернативи розроблюваній системі розглянемо наявні на світовому ринку аналоги промислового виробництва. Аналіз існуючої продукції серійного виробництва показав, що основними виробниками DALI-сумісних контролерів електроосвітлювального обладнання є компанії

OSRAM (Німеччина), Philips (Нідерланди), ABB(Німеччина), LEGrand (Франція), EGLO (Австралія), Massive (Бельгія).

У таблиці 5.3 проведено порівняння найрозповсюдженіших в Україні контролерів DALI-шин з різним функціоналом.

Таблиця 5.3 – Технологічні та економічні показники промислових зразків контролерів DALI-шин

Назва виробу	DALI BASIC SO	DDBC320-DALI	DCBM2-1608 DALI Line Control	Розроблена модель
<b>Виробник</b>	Osram, Німеччина	Philips, Нідерланди	Schneider, Франція	
<b>Підключення сторонніх датчиків</b>	цифрових та аналогових	–	аналогових	цифрових та аналогових
<b>Вбудований захист</b>	температурний	силовий	температурний	програмний
<b>Споживана потужність</b>	9 Вт	7,5 Вт	2,4 Вт	3 Вт
<b>Сценарії роботи</b>	4	9	–	не менше 15
<b>Входи/виходи</b>	3/5	5/5	16/8	4/8
<b>Ціна</b>	33093 грн	13840	59800 грн	1387 грн

\*ціни наведено у перерахунку за офіційним курсом Національного банку України

З отриманих результатів видно, що впровадження запропонованих оптимізаційних рішень є економічно обґрунтованим оскільки технічна собівартість виробництва розробленого модуля керування DALI-шиною у 10 разів менша від найдешевшого аналога. Водночас запропонована система підтримує не менший, порівняно з розглянутими аналогами функціонал, а рівень її споживаної потужності менший на 40 % від представлених аналогів.

## ВИСНОВКИ

1. Показано, що переважна більшість сучасних систем керування електрозабезпеченням використовують шинні, або мережеві технології для об'єднання у спільну мережу з єдиним центром керування. Сучасні стандарти побудови мереж електричних пристроїв базуються на відкритих цифрових протоколах зв'язку, які підтримують відкриту топологію.

2. Використання промислових модулів керування обмежує можливість підключення сенсорів від сторонніх виробників, не завжди відповідає вимогам замовників та суттєво підвищує вартість готової мережі.

3. Відкритий двоканальний протокол зв'язку DALI дозволяє реалізувати керування підключеним обладнанням на базі будь-якого мікроконтролера з тактовою частотою не гірше від 1 ГГц за умови узгодження рівня логічного сигналу.

4. Програмування мікропроцесорної системи необхідно виконувати у два етапи: ініціалізація підключеного обладнання з присвоєнням йому короткого номера та безпосереднє керування обладнанням, враховуючи, що часова затримка між командами не повинна перевищувати 100 мс.

5. Використання запропонованої системи керування електрозабезпеченням розумного будинку дозволяє суттєво скоротити витрати на розгортання електромережі, зберігаючи при цьому усі переваги концепції DALI – мобільність, взаємоузгодженість усіх елементів та високофункціональний зворотній зв'язок.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. S. Tsyurulnyk, Mobile applications and online WI-FI monitoring platforms of weather stations, Open educational e-environment of modern University, volume 9, 2020, pp. 181–192.
2. S. Tsyurulnyk, M. Tsyurulnyk, Temperature and humidity monitoring system on the IOT module, in: Proceedings of the II NPK. Computer Technologies of Data Processing (CTDP-2021), Vinnytsia, 2021, pp. 105-108
3. V. Vychuzhanyyn, S. Maliuta, Digital device for determining the thermodynamic parameters of air on the FPGA company Altera, Circuit design, 4, 2005, pp. 30-33.
4. Arduino - Temperature Humidity Sensor. Онлайн: <https://arduinogetstarted.com> – Дата доступу: 03.12.2024
5. S. Tsyurulnyk, V. Tromsyuk, M. Tsyurulnyk, P. Rymar, Energy Monitoring System based on IoT, in: CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org). 2021. Vol. 3039. P. 136–153.
6. A. Javed, Building Arduino Projects for the Internet of Things, Experiments with Real-World Applications. United States of America: Apress Media, LLC, 2016, pp. 15-34.
7. K. Küçük, C. Bayılmış, D. L. Msongaleli, Designing real-time IoT system course: prototyping with cloud platforms, laboratory experiments and term project, IJEEE, 58(3), 2021, pp. 743-772.
8. V. Kucheruk, I. Kolomiichuk, The use of recursive filters to reduce random measurement errors, Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine, 1, 2013, pp. 251-254.
9. Arduino IoT Cloud, Онлайн: <https://create.arduino.cc/iot> – Дата доступу: 03.12.2024.
10. Kurniawan, Arduino IoT Cloud, in: Beginning Arduino Nano 33 IoT. Apress, Berkeley, CA, 2021.

11. Hao Xu, Chul-Won Kim. "Design and implementation of LED lighting control system using Arduino Yun and cloud in IoT". The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences 11.10 (2016): 983-988.
12. Getting Started With the Arduino IoT Cloud, Онлайн: <https://docs.arduino.cc/arduinocloud> – Дата доступу: 03.12.2024.
13. D. Karabekova, P. Kissabekova, V. Kucheruk, E. Mussenova, S. Azatbek. Main characteristics of the heat flow meter, Eurasian Physical Technical Journal, 19.2(40), 2022, pp. 71-74.
14. Electric shock first aid treatment Онлайн: [www.safetyfirstaid.co.uk](http://www.safetyfirstaid.co.uk). – Дата доступу: 03.12.2024.
15. Основи охорони праці. В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников — Вид. 4-е, Львів: Афіша, 2015.
16. Laurenson C. (2021). "Smart Home Choices Wired vs. Wireless." – [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.tltechsmart.com> . – Дата доступу: 01.12.2024.
17. Shea S. (2020). "Smart Home or Building (home automation or domotics)." [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com> – Дата доступу: 02.12.2024.
18. Simonet A. C., Noyce A. J. (2021). "Domotics, Smart Homes, and Parkinson's Disease." Journal of Parkinson's Disease 11(s1):1-9.
19. Your helpful home starts here (Google Home app)." Онлайн: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com> – Дата доступу: 02.12.2024.
20. Smart Home Essentials. Онлайн: [www.apple.com](http://www.apple.com). – Дата доступу: 02.12.2024.
21. CONTROL4 SMART HOMES. Онлайн: <https://www.control4.com> – Дата доступу: 02.12.2024.
22. This is Home Automation. Онлайн: <https://hubitat.com> – Дата доступу: 05.12.2024.
23. Arduino Documentation. Онлайн: <https://www.arduino.cc> – Дата доступу: 02.12.2024.

## **ДОДАТКИ**

### Код функції DaliInit

Функція DaliInit відповідає за ініціалізацію усіх пристроїв підключених до шини DALI та визначення їх повних адрес (адрес визначених заводом виробником):

```
void DaliInit()
{
    Serial.println("Initialization...");
    DaliTransmitCMD(RESET, 0x00);
    delay(2*DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
    DaliTransmitCMD(RESET, 0x00);
    delay(2*DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
    delay(100);
    DaliTransmitCMD(DALI_INIT_UNIT, 0x00);
    delay(DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
    DaliTransmitCMD(DALI_INIT_UNIT, 0x00);
    delay(DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
    DaliTransmitCMD(DALI_INIT_UNIT, 0x00);
    delay(DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
    delay(100);
    DaliTransmitCMD(RAND_OMICE, 0x00);
    delay(DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
    DaliTransmitCMD(RAND_OMICE, 0x00);
    delay(DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
    delay(100);
    while(ShortAddr < 64)
    {
        long SearchAddr = 0xFFFFFFFF;
        bool Response = 0;
        long LowLimit = 0;
```



```

long HighLimit = 0x1000000;
Response = SearchAndCompare(SearchAddr);
delay(DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
if(Response)
{
    digitalWrite(LED_PIN, LOW);
    Serial.println("Device detected, address searching...");
    if(!SearchAndCompare(SearchAddr - 1))
    {
        delay(DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
        SearchAndCompare(SearchAddr);
        delay(DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
        DaliTransmitCMD(PROGRAM_SHORT_ADDRESS, ((ShortAddr << 1) | 1));
        delay(3*DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
        DaliTransmitCMD(WITHDE_RAW, 0x00);
        Serial.print("24-bit address found: 0x");
        Serial.println(SearchAddr, HEX);
        Serial.print("Assigning short address ");
        Serial.println(ShortAddr);
        break;
    }
}
else
{
    Serial.println("No devices detected");
    break;
}
while(1)
{
    SearchAddr = (long)((LowLimit + HighLimit) / 2);
    Response = SearchAndCompare(SearchAddr);

```

```

delay(DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
if (Response)
{
    digitalWrite(LED_PIN, LOW);
    if ((SearchAddr == 0) || (!SearchAndCompare(SearchAddr - 1)))
        break;
    HighLimit = SearchAddr;
}
else
    LowLimit = SearchAddr;
}
delay(DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
SearchAndCompare(SearchAddr);
delay(DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
DaliTransmitCMD(PROGRAM_SHORT_ADDRESS, ((ShortAddr << 1) | 1));
delay(5*DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
DaliTransmitCMD(WITHDE_RAW, 0x00);
delay(DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
Serial.print("24-bit address found: 0x");
Serial.println(SearchAddr, HEX);
Serial.print("Assigning short address ");
Serial.println(ShortAddr);
ShortAddr++;
//break; // виконувати лише для одного модуля
}
delay(DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
DaliTransmitCMD(TERMINATE, 0x00);
delay(DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
Serial.println("Init complete");
}

```

### Код функції SearchAndCompare

Функція SearchAndCompare відповідає за пошук виконавчого пристрою з мінімальним повним номером адресації:

```
bool SearchAndCompare(long SearchAddr)
{
    bool Response = 0;
    uint8_t HighByte = SearchAddr >> 16;
    uint8_t MiddleByte = SearchAddr >> 8;
    uint8_t LowByte = SearchAddr;
    for(uint8_t i = 0; i < 3; i++)
    {DaliTransmitCMD(SEARCH_ADDRESH, HighByte);
      delay(DALI_TW20_PACKECH_DEL);
      DaliTransmitCMD(SEARCHRADDRENDM, MiddleByte);
      delay(DALI_TW20_PACKECH_DEL);
      DaliTransmitCMD(SEARCHADDORRL, LowByte);
      delay(DALI_TW20_PACKECH_DEL);}
    DaliTransmitCMD(COMPARE, 0x00);
    delayMicroseconds(7 * DALI_HALF2_BITE_TIME);
    for(uint8_t i = 0; i < DALI_RESPONSE_DELAY_COUNT; i++)
    {
        if (analogRead(DALI_CONTACT_READ) < LEVEL_OF_ANALOG_DALI)
        {
            Response = 1;
            digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
            break;
        }
        delayMicroseconds(DALI_HALF2_BITE_TIME);
    }
    return Response; }
```

**Код функції DaliTransmitCMD**

Функція DaliTransmitCMD відповідає за присвоєння короткої адреси:

```
void DaliTransmitCMD(uint8_t Part1, uint8_t Part2)
{
    uint8_t DALI_CMD[] = { Part1, Part2 };
    digitalWrite(DALI_CONTACT_TEXT, LOW); //Стартовий біт
    delayMicroseconds(DALI_HALF2_BITE_TIME);
    digitalWrite(DALI_CONTACT_TEXT, HIGH);
    delayMicroseconds(DALI_HALF2_BITE_TIME);
    for (uint8_t CmdPart = 0; CmdPart < 2; CmdPart++) //команда
    {
        for(int i = 7; i >= 0; i--)
        {
            bool BitToSend = false;
            if ((DALI_CMD[CmdPart] >> i) & 1)
                BitToSend = true;
            if (BitToSend)
                digitalWrite(DALI_CONTACT_TEXT, LOW);
            else
                digitalWrite(DALI_CONTACT_TEXT, HIGH);
            delayMicroseconds(DALI_HALF2_BITE_TIME);
            if (BitToSend)
                digitalWrite(DALI_CONTACT_TEXT, HIGH);
            else
                digitalWrite(DALI_CONTACT_TEXT, LOW);
            delayMicroseconds(DALI_HALF2_BITE_TIME);}}
    digitalWrite(DALI_CONTACT_TEXT, HIGH);}
```

### Код функції loop

Циклічно повторювана функція loop здійснює неперервне опитування периферійного обладнання та елементів керування. Відповідно до обраного сценарію роботи функція виконує передачу відповідних команд:

```
void loop()
{
  for(uint8_t PWM = 2; PWM < DALI_CHNL_COUNT; PWM++)
  {if (LampState[PWM] == 1)
    {
      uint16_t ADCValue = analogRead(AnalogPins[PWM]);
      if (ADCValue > 1016)
        ADCValue = 1016;
      ADCValue /= 4;
      uint8_t PWMVal = ADCValue;
      if (abs(DALIPrevVals[PWM] - PWMVal) >= 1)
        {DALIPrevVals[PWM] = PWMVal;
          DaliTransmitCMD(PWM << 1, PWMVal);
          if (LampState[PWM] == 0)
            LampState[PWM] = 1;
          delay(DALI_TW2O_PACKECH_DEL); }
        }
    }
  for(uint8_t KEY = 0; KEY < DALI_CHNL_COUNT; KEY++)
  {
    if (digitalRead(KeyPins[KEY]) == LOW)
    {
      delay(70);
      if (KEY == 0)
```

```

{
  DaliTransmitCMD(BROADCAST_CMD, UP_DA);
  delay(DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
  break;
}
else if (KEY == 1)
{
  DaliTransmitCMD(BROADCAST_CMD, DOWN_DA);
  delay(DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
  break;
}
if (digitalRead(KeyPins[KEY]) == LOW)
{
  if (LampState[KEY] == 0)
  {LampState[KEY] = 1;
    uint16_t ADCValue = analogRead(AnalogPins[KEY]);
    if (ADCValue > 1016)
      ADCValue = 1016;
    ADCValue /= 4;
    uint8_t PWMVal = ADCValue;
    DaliTransmitCMD(KEY << 1, PWMVal);}
  else
  {LampState[KEY] = 0;
    DaliTransmitCMD(KEY << 1, LAMP_OFF_VALUE);}
  delay(DALI_TW2O_PACKECH_DEL);
}
delay(500);
}
}
}

```