

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

**Факультет робототехніки та приладобудування
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи
та технології в приладобудуванні»**

**спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»**

**на тему: «Комп'ютерно-інтегрована система енергоефективного
керування освітленням з автоматичним резервуванням живлення»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи ПМ-21

Переверзева Ксенія Романівна _____

Керівник:

доцент, к.т.н. Лисенко Юлія Юріївна _____

Рецензент:

проф., д.т.н. Тимчик Григорій Семенович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студентка _____

Київ – 2026 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП.ПМ2111.00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	67	
3	A3	ДП.ПМ2111.01.001 СхС	Схема структурна	1	
4	A1	ДП.ПМ2111.02.001 СхЕЗ	Схема електрична принципова	1	
5	A1	ДП.ПМ2111.03.001 СхА	Алгоритм роботи системи	1	
6	A1	ДП.ПМ2111.04.001 СК	Складальний кресленик	1	
7	A4	ДП.ПМ2111.05.001 СП	Специфікація	1	
8	A4	ДП.ПМ2111.06.001 ПЕЗ	Перелік елементів	1	

				ДПБ.ПМ21.11.1760.01.001		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Переверзева К.Р.			Відомість дипломного проєкту	Лист 1	Листів 1
Керівн.	Лисенко Ю. Ю.					
Консульт.					КП ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПМ-21	
Н/контр.						
Зав.каф.	Киричук Ю. В.					

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Комп'ютерно-інтегрована система
енергоефективного керування освітленням з
автоматичним резервуванням живлення»

Київ – 2026 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет робототехніки та приладобудування
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Переверзєва Ксенія Романівна

1. Тема проєкту «Комп'ютерно-інтегрована система енергоефективного керування освітленням з автоматичним резервуванням живлення», керівник проєкту Лисенко Юлія Юріївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри АНСК, затверджені наказом по університету від «26» травня 2026 р. №1905-с

2. Термін подання студентом проєкту 10.06.2026 _____

3. Вихідні дані до проєкту : Система призначена для автоматизованого керування резервним освітленням приміщення; джерело живлення — портативна зарядна станція на 283 Вт·год (12 В постійного струму); максимальна потужність LED-навантаження - 10 Вт із ШІМ-регулюванням. Система має передбачати віддалене керування через Bluetooth (BLE) та повністю автоматичну роботу на базі мікрохвильового радара присутності й датчика освітленості з використанням режимів енергозбереження. _____

4. Зміст пояснювальної записки: Огляд та аналіз існуючих рішень, розробка структурної схеми, розробка електричної принципової схеми, розробка алгоритму роботи системи _____

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо. Схема структурна(А3), схема електрична принципова(А1), алгоритм роботи системи(А1), складальний кресленик(А1), специфікація(А4), перелік елементів(А4), презентація доповіді.

6. Дата видачі завдання 06.04.2026 _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Формулювання завдання	06.04.2026-12.04.2026	
2	Огляд та аналіз літератури	13.04.2026-19.04.2026	
3	Аналіз існуючих рішень	20.04.2026-26.04.2026	
4	Розробка структурної схеми	27.04.2026-30.04.2026	
5	Розробка електричної принципової схеми	01.05.2026-08.05.2026	
6	Розробка програмного забезпечення	09.05.2026-17.05.2026	
7	Оформлення текстової частини	18.05.2026-25.05.2026	
8	Оформлення графічної частини	26.05.2026-06.06.2026	

Студент

Ксенія ПЕРЕВЕРЗЄВА

Керівник

Юлія ЛИСЕНКО

Анотація

Практична цінність роботи полягає у створенні доступного та енергоефективного рішення для дому. На відміну від великих підприємств, звичайні люди обмежені у бюджеті, тому розробка орієнтована на максимальну економічність та простоту. Головна увага приділена створенню системи, яку кожна родина зможе легко дозволити собі та використовувати в побуті під час відключень світла без значних витрат.

Метою проєкту є розробка енергоефективної системи автоматизованого керування освітленням, яка забезпечує автоматичний перехід на аварійне джерело живлення під час знеструмлення та оптимізує споживання енергії для максимального подовження часу автономної роботи.

В основі запропонованого рішення лежить принцип прямого живлення світлодіодних приладів від низьковольтних портів зарядної станції, що дозволяє уникнути неефективних втрат енергії. Для максимального заощадження заряду систему оснащено чутливими датчиками присутності та рівня світла. Пристрій автоматично аналізує умови в приміщенні та фіксує перебування людини, навіть якщо вона перебуває у абсолютно нерухомому стані. Штучне освітлення плавно вмикається лише за реальної потреби й автоматично вимикається, коли користувач залишає кімнату.

Результатом проєкту є створення надійної, комфортної та фінансово доступної побутової системи. Її впровадження дозволяє повністю автоматизувати процес керування світлом, підвищує повсякденний комфорт користувача та в кілька разів подовжує час автономної роботи освітлення від однієї зарядної станції під час тривалих аварійних знеструмлень.

Ключові слова: енергоефективність, економічність, штучне освітлення, резервне живлення, зарядна станція, датчик присутності, низьковольтне живлення, автоматизація.

Annotation

The practical value of this work lies in creating an accessible and affordable solution for home use. Unlike large enterprises, ordinary consumers are constrained by budgets, so the development is focused on maximum cost-effectiveness and simplicity. The main emphasis is on creating a system that any family can easily afford and use in daily life during power outages without significant expenses.

The aim of the project is to develop an energy-efficient automated lighting control system that ensures an automatic transition to an emergency power source during a blackout and optimizes energy consumption to maximize autonomous operation time.

The proposed solution is based on the principle of directly powering LED devices from the low-voltage ports of a portable power station, which prevents inefficient energy losses. To maximize charge conservation, the system is equipped with sensitive presence and ambient light sensors. The device automatically analyzes room conditions and detects human presence, even if a person remains completely motionless. Artificial lighting smoothly turns on only when genuinely needed and automatically turns off when the user leaves the room.

The result of the project is the creation of a reliable, comfortable, and financially affordable household system. Its implementation allows for the complete automation of the lighting control process, improves everyday user comfort, and extends the autonomous operation time of lighting from a single charging station by several times during prolonged emergency blackouts.

Keywords: energy efficiency, cost-effectiveness, artificial lighting, backup power, charging station, presence sensor, low-voltage power, automation.

Зміст

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ	10
1.1 Огляд типів освітлення та їх енергоефективності.	10
1.1.1 Лампи розжарювання	11
1.1.2 Галогенові лампи.....	12
1.1.3 Люмінісцентні лампи	13
1.1.4 Світлодіодні (або LED) лампи	14
1.2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ РЕЗЕРВУВАННЯ ЖИВЛЕННЯ ТА ЇХ АВТОМАТИЗАЦІЇ	15
1.2.1 Блоки аварійного живлення (БАЖ)	16
1.2.2 Інвертори та джерела безперебійного живлення (ДБЖ)	16
1.2.3 Зарядні станції	17
1.2.4 Автоматичне введення резерву (АВР).....	18
1.3 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ	19
1.3.1 Вимикачі	20
1.3.2 Пульт дистанційного контролю	20
1.3.3 Диммери.....	21
1.3.4 Вбудовані датчики руху	21
1.4 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ ПРИСТРОЇВ КЕРУВАННЯ.....	22
Висновок до розділу	23
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	25
2.1 СТРУКТУРНА СХЕМА.....	25
2.2.1 Вибір засобу керування.....	28
2.3.2 Вибір джерела резервного живлення. Зарядна станція	31
2.3.3 Датчики присутності та освітленості	33
2.3.4 Вибір силового комутаційного елемента.....	35
2.3.5 Освітлення. Світлодіодні рішення	37
Висновок до розділу	39
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ	41
3.1 Підключення освітлення.....	42
3.2 Підключення живлення та керування системою.....	45
Висновок до розділу	46
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОБОТИ ПРОГРАМИ	48
Висновок до розділу	55
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ	58
5.1 Розрахунок часу автономної роботи у різних режимах	58
5.2 Порівняння показників системи з альтернативними рішеннями	60
ВИСНОВОК	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65

Вступ

У сучасних умовах важливим напрямом розвитку систем автоматизації є впровадження комп'ютерно-інтегрованих систем керування освітленням, здатних автоматично реагувати на зміну параметрів електромережі та забезпечувати перехід на резервне джерело живлення. Зростання навантаження на електричні мережі та підвищення вірогідності і кількості аварійних відключень електроенергії особливої актуальності питання забезпечення безперервної або подовженої роботи систем освітлення. Використання таких систем дозволяє підвищити надійність роботи освітлення, зменшити час реагування на аварійні ситуації та забезпечити стабільне функціонування об'єкта навіть у разі відсутності основного електроживлення.

Актуальність даної роботи також полягає у необхідності створення доступних та економічно доцільних рішень для забезпечення резервного освітлення в побутових умовах. На відміну від великих підприємств, установ чи навчальних закладів, які мають більше фінансових можливостей для впровадження складних систем резервного живлення, значна частина населення обмежена у виборі технічних засобів через їх високу вартість. У зв'язку з цим особлива увага в роботі приділяється пошуку економічно вигідних, енергоефективних та практичних варіантів реалізації системи, які можуть бути доступними для більшої кількості користувачів.

Крім того, в умовах сучасних викликів молоде покоління частіше змушене самотійно адаптуватися до нестабільних умов енергозабезпечення та шукати технічні способи вирішення повсякденних проблем. Саме тому розробка більш доступних систем керування освітленням з можливістю автоматичного резервування може мати не лише практичне, а й соціальне значення, сприяючи підвищенню рівня комфорту та енергонезалежності користувачів.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Система комп'ютерно-інтегрованого керування освітленням з автоматичним резервуванням живлення концептуально складається з трьох основних блоків: підсистеми освітлення приміщення, підсистеми резервного живлення та блоку керування. Актуальність розробки такої системи зумовлена необхідністю забезпечення безперебійної роботи освітлювальних приладів при мінімізації енергоспоживання, що є критично важливим для збільшення часу автономної роботи під час довготривалих аварійних відключень електроенергії.

1.1 Огляд типів освітлення та їх енергоефективності.

Проблема енергозбереження є однією з найбільш гострих у сучасному світі. За даними Міжнародного енергетичного агентства (ІЕА), на освітлення припадає близько 15% світового споживання електроенергії [1]. Тому перехід на енергоефективні джерела світла є не просто локальним інженерним завданням, а глобальною потребою, спрямованою на зниження навантаження на електромережі[2]. Для розуміння важливості вибору світлодіодних (LED) технологій у сучасних системах з резервним живленням, доцільно провести аналіз та порівняння основних типів джерел світла, що використовувались раніше та використовуються сьогодні.

Також увагу доцільно приділити базовій характеристиці лампи, а саме світловій віддачі. Цей параметр вимірюється у Лм/Вт та показує, яку кількість світлового потоку забезпечує лампа при споживанні однієї одиниці електричної енергії. Нескладно помітити, що цей показник фактично характеризує енергоефективність лампи. Сьогодні виробники освітлювальних приладів різних типів прагнуть максимально наблизити фактичну світлову віддачу своєї продукції до теоретично можливих значень. Суть цих меж полягає в тому, що вони визначають максимальну світлову віддачу, яку можна отримати за умови повного перетворення електричної енергії у видиме світлове випромінювання необхідної інтенсивності[3].

Із давніх часів лампою називали побутовий пристрій, призначений для освітлення. Спочатку для цього використовували масляні лампи, пізніше — газові, гасові та інші лампи на основі нафтопродуктів. На початку XX століття, із широким поширенням електроенергії, значної популярності набули електричні лампи, принцип роботи яких полягає у перетворенні електричної енергії на видиме світлове випромінювання.

У сучасних побутових умовах найбільш поширеними є чотири основні типи електричних ламп: лампи розжарювання, галогенні, люмінесцентні та LED-лампи. Кожен із зазначених видів має свої особливості конструкції, принципу роботи та експлуатаційних характеристик, тому доцільно розглянути їх більш детально.

1.1.1 Лампи розжарювання

У лампах розжарювання (Рис.1.1) світло утворюється внаслідок сильного нагрівання провідникової нитки при проходженні через неї електричного струму. Нагріта до високих температур нитка випромінює як видиме світло, так і значну кількість теплової енергії, при цьому більша частина спожитої електроенергії перетворюється саме на тепло.

Сьогодні як нитку розжарювання зазвичай використовують тонку вольфрамову спіраль, оскільки цей матеріал здатний витримувати нагрівання до приблизно 3000 °C протягом тривалого часу без швидкого перегорання. Для збільшення строку служби така спіраль розміщується в скляній колбі, заповненій інертним газом, наприклад аргоном.

Варто зазначити, що більшість ламп розжарювання виходять з ладу саме в момент увімкнення. Це пояснюється різницею електричного опору нитки в холодному та робочому стані. Зменшити ймовірність перегорання та продовжити ресурс лампи можна шляхом використання димера або системи плавного запуску, які поступово підвищують напругу під час вмикання [4].

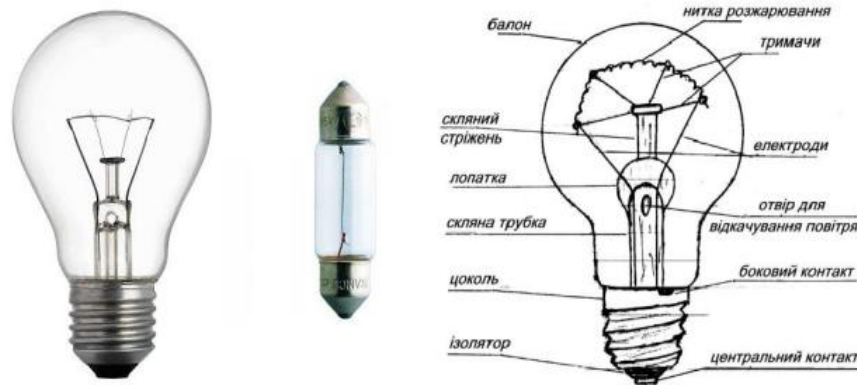


Рис. 1.1. Лампа розжарювання

1.1.2 Галогенові лампи

Галогенні лампи (Рис. 1.2) за своєю будовою багато в чому подібні до ламп розжарювання. Основна відмінність полягає у використанні інертного газу або парів галогенів, зокрема фтору, хлору, бромов чи йоду, що забезпечує покращені експлуатаційні характеристики.

Для частини галогенних ламп і світильників застосовується спеціальне дзеркальне покриття, яке відбиває світловий потік та формує вузьконаправлений пучок світла. Саме тому вони часто використовуються у переносних і стаціонарних прожекторах.

Слід враховувати, що галогенні лампи чутливі до забруднень: потрапляння пилу або дотик до колби голими руками можуть призвести до її швидкого виходу з ладу [5].



Рис. 1.2. Галогенна лампа

1.1.3 Люмінесцентні лампи

Принцип дії люмінесцентних ламп (Рис. 1.3) базується на електричному розряді в газовому середовищі. При подачі напруги між електродами виникає тліючий розряд, який проходить через пари ртуті та інертний газ. Цей розряд генерує невидиме ультрафіолетове випромінювання.

Конструкція такої лампи являє собою герметичну скляну трубку, внутрішня поверхня якої покрита спеціальною речовиною — люмінофором. Саме люмінофор поглинає ультрафіолет і перетворює його на видиме для людського ока світло. Для стабілізації розряду та запуску лампи обов'язково використовується додатковий електронний або електромагнітний баласт (пускорегулювальна апаратура).

Щодо енергоефективності, ці лампи споживають у 4-5 разів менше електроенергії порівняно з лампами розжарювання (світловіддача становить 50–80 лм/Вт). Проте вони мають критичні недоліки для систем автоматичного резервування: тривалий час розгорання до повної яскравості, різке зниження ресурсу при частих циклах увімкнення/вимкнення, екологічну небезпеку через вміст ртуті, а також технічну складність глибокого димірування [6].



Рис. 1.3. Люмінесцентні лампи

1.1.4 Світлодіодні (або LED) лампи

Принцип роботи світлодіода (LED) (Рис. 1.4) кардинально відрізняється від інших ламп, оскільки в ньому немає нагрівання нитки чи газу. Його основа - це спеціальний напівпровідниковий кристал. Коли через цей кристал у правильному напрямку проходить електричний струм, мікрочастинки всередині нього починають взаємодіяти між собою. В результаті цієї взаємодії виділяється енергія, яка одразу перетворюється на світло. Описаний процес називається електролюмінесценцією.

Конструкція світлодіодного світильника є комплексною. Вона включає напівпровідниковий чип (або матрицю чипів), встановлений на плату, систему вторинної оптики (лінзи або розсіювачі) та драйвер - електронний перетворювач, який стабілізує струм. Оскільки кристал чутливий до перегріву, невід'ємною частиною потужних LED-систем є радіатор тепловідведення. З точки зору енергоефективності LED-технології є абсолютним лідером, забезпечуючи світловіддачу від 100 до 200 лм/Вт. Практично вся спожита енергія перетворюється на світлове випромінювання. Крім того, світлодіоди миттєво вмикаються на 100% яскравості, не деградують від частих комутацій та ідеально підходять для інтелектуальних систем керування за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШИМ). Це робить їх безальтернативним вибором для енергоефективних систем з резервним живленням[7].



Рис. 1.4. Світлодіодні лампи

1.1.5 Порівняння енергоефективності

Для наочної оцінки доцільності використання різних джерел світла у системах з автономним живленням, необхідно порівняти їхні ключові показники. Головним критерієм у цьому контексті виступає світлова віддача - відношення випромінюваного світлового потоку до споживаної електричної потужності.

У таблиці 1.1 наведено порівняльні характеристики основних типів ламп для забезпечення однакового рівня освітленості [7, 8].

Таблиця 1.1 Порівняльні характеристики енергоефективності джерел світла

Тип джерела світла	Світлова віддача, лм/Вт	Споживана потужність для потоку ~1000 лм, Вт
Лампа розжарювання	10-15	75
Галогенова лампа	15-25	50-60
Люмінесцентна	50-80	15-20
Світлодіодна (LED)	100-150+	8-10

Спираючись на дані таблиці, можна зробити висновок щодо важливості енергоефективності при проєктуванні систем резервного освітлення.

Крім того, застосування LED-технологій дозволяє реалізувати інтелектуальні алгоритми керування. Наприклад, плавне керування яскравістю при відсутності людей у приміщенні, що здатне додатково збільшити час автономної роботи системи у 2–3 рази [8]. Таким чином, перехід на світлодіодні джерела світла є не просто питанням економії електроенергії в штатному режимі, а базовою умовою для забезпечення надійності та тривалості роботи комп'ютерно-інтегрованих систем освітлення під час аварійних відключень.

1.2 Аналіз методів резервування живлення та їх автоматизації

Підсистема резервного живлення є критичним вузлом комплексу керування освітленням, оскільки саме вона гарантує безперервність роботи приладів у разі зникнення напруги в основній мережі або виходу її параметрів за допустимі межі. Вибір архітектури живлення безпосередньо впливає на

загальну енергоефективність, вартість реалізації та рівень автоматизації системи.

Сучасні методи резервування можна класифікувати за рівнем централізації, принципом перетворення енергії та ступенем автономності.

1.2.1 Блоки аварійного живлення (БАЖ)

Це локальні модулі, що встановлюються безпосередньо у корпус кожного окремого світлодіодного світильника. Вони містять невеликий акумулятор та інвертор. При зникненні мережевої напруги 220 В блок автоматично перемикає живлення на батарею, зазвичай знижуючи яскравість лампи для економії заряду.

1.2.2 Інвертори та джерела безперебійного живлення (ДБЖ)

Системи резервного електропостачання змінного струму, базовим елементом яких є джерела безперебійного живлення, належать до класичних та найбільш поширених архітектурних рішень. Їхній принцип дії ґрунтується на топології подвійного перетворення енергії. У нормальному режимі експлуатації змінна напруга промислової мережі випрямляється у постійний струм для підтримки заряду акумуляторних батарей. При реєстрації аварійного режиму живлення навантаження автоматично переводиться на інвертор, який здійснює зворотне перетворення накопиченої енергії постійного струму в стандартну напругу 220 Вольт. Головною перевагою такого підходу є його висока універсальність, оскільки система дозволяє використовувати існуючу електротехнічну інфраструктуру будівлі та жити споживачів без будь-якого втручання в їхню конструкцію [9].

Водночас з точки зору енергетичної ефективності застосування архітектури змінного струму для живлення сучасних напівпровідникових приладів, зокрема світлодіодного освітлення, є концептуально неоптимальним. Проблема полягає у виникненні послідовних втрат енергії на кожному етапі зміни характеристик струму, що у технічній літературі отримали назву каскадних втрат. Оскільки сучасні енергоефективні споживачі потребують для своєї роботи постійного струму низької напруги, у системі

виникає необхідність додаткового третього етапу силового випрямлення напруги безпосередньо у внутрішніх драйверах самих світильників.

Профільні дослідження ефективності напівпровідникових перетворювачів, проведені фахівцями Інституту електродинаміки Національної академії наук України, підтверджують, що кожен ступінь перетворення неминує супроводжується тепловими та електромагнітними розсіюваннями. Відповідно до результатів їхнього аналізу, ці втрати на кожному вузлі трансформації струму в середньому складають від 10 до 15 відсотків [10]. Сумарний вплив цих багаторазових циклів випрямлення та інвертування суттєво знижує загальний коефіцієнт корисної дії всього комплексу. У масштабах автономної роботи це призводить до значних нецільових витрат акумульованої енергії та неминучого скорочення загального часу резервування освітлення.

1.2.3 Зарядні станції

Більш сучасним та високотехнологічним варіантом забезпечення резервного живлення є використання готових портативних зарядних станцій (Рис. 1.5). Принцип дії цих пристроїв базується на глибокій апаратній інтеграції ємних літій-іонних або безпечніших літій-залізо-фосфатних накопичувачів енергії, потужного двонаправленого інвертора та інтелектуальної електронної системи управління батареями. На відміну від класичних некерованих акумуляторних збірок, така керуюча плата в автоматичному режимі виконує безперервний мікропроцесорний моніторинг температури, напруги та сили струму на кожній окремій комірці. Завдяки цьому досягається точне балансування заряду та надійний апаратний захист від глибокого розряду, перезаряду чи струмів короткого замикання [11].



Рис. 1.5. Приклад портативної зарядної станції BLUETTI EB3A

Для забезпечення безперервної роботи підключених приладів такі пристрої оснащуються вбудованою функцією транзитного аварійного електропостачання. Алгоритм її роботи передбачає, що за наявності стабільної зовнішньої мережі підключене навантаження отримує живлення напряму, обходячи внутрішній інвертор, тоді як акумулятори підтримуються в режимі очікування з повним зарядом. Коли мікроконтролер станції фіксує зникнення вхідної напруги, спеціальні твердотільні ключі за кілька десятків мілісекунд переводять лінію на живлення від батареї. Висока швидкість такого перемикання дозволяє уникнути помітного мерехтіння освітлення або перезавантаження чутливої електроніки[11].

1.2.4 Автоматичне введення резерву (АВР)

Автоматичне введення резерву являє собою комплексну інженерну систему, головним призначенням якої є високошвидкісне перемикання підключеного навантаження на альтернативне джерело живлення у разі виникнення аварійних ситуацій або повної відмови основної електричної мережі. Функціонування таких пристроїв дозволяє звести до мінімуму час простою технологічного чи побутового обладнання, а також запобігає матеріальним і технічним втратам, що безпосередньо пов'язані з перебоями в електропостачанні. У своїй класичній апаратній реалізації типовий комплекс автоматичного введення резерву інтегрує три ключові компоненти, серед яких виділяють логічний контролер з блоком індикації параметрів, силову

комутаційну частину на базі автоматичних вимикачів або контакторів, а також спеціалізований релейний блок управління альтернативним джерелом енергії, наприклад генераторною установкою або інвертором [12].

Принцип роботи цієї системи побудований на безперервному циклічному моніторингу параметрів електромережі. Логічний контролер у режимі реального часу відстежує стан основної мережі, аналізуючи рівень напруги, частоту струму та безпосередню наявність електроживлення на вхідних клемах. У момент фіксації критичного відхилення показників або повного зникнення напруги генерується керівний сигнал, і система автоматики подає команду на активацію та підготовку резервного джерела енергії. Після виходу альтернативного джерела на робочий режим і підтвердження його готовності, комутаційні апарати миттєво перемикають лінію навантаження на роботу від автономного постачальника [13].

Зворотний алгоритм запускається тоді, коли параметри основної промислової мережі повністю відновлюються і стабілізуються протягом визначеного часу. У цей момент система автоматично повертає силове живлення споживачів на первинну лінію, безпечно відключає резервний контур і здійснює програмну зупинку автономного генератора або переводить інвертор у режим очікування [13].

1.3 Аналіз існуючих пристроїв керування освітленням

Сучасний ринок пропонує широкий спектр різноманітних комутаційних та інтелектуальних пристроїв керування освітленням, впровадження яких є ключовим кроком на шляху до підвищення енергоефективності об'єктів. Застосування таких засобів дозволяє суттєво мінімізувати невиправдані витрати електричної енергії та оптимізувати роботу силових мереж. Окрім прямого економічного ефекту, інтеграція подібних пристроїв відкриває широкі можливості для використання передових технологій автоматизації та інтернет-речей (IoT), що дозволяє створювати гнучкі, автономні комп'ютерно-інтегровані комплекси, здатні адаптуватися

під потреби користувача та умови довкілля. Найбільш розповсюдженими елементами керування освітленням можна зазначити:

- Вимикачі;
- Пульти дистанційного контролю;
- Диммери;
- Вбудовувані датчики руху;
- Системи керування освітленням централізованого типу. [14]

1.3.1 Вимикачі

У сучасних системах керування освітленням найважливішу роль відіграють різноманітні комутаційні та регулювальні пристрої, вибір яких безпосередньо впливає на загальну ефективність та гнучкість системи. Найбільш поширеним і традиційним рішенням на ринку залишаються класичні клавішні моделі, які складають базовий сегмент пристроїв як для внутрішніх, так і для зовнішніх електричних мереж. Конструктивно вони базуються на максимально спрощеному механічному елементі, що здійснює безпосереднє замикання та розмикання електричного ланцюга. Такі пристрої цінуються за високу надійність, довговічність, низьку собівартість та абсолютну простоту в повсякденній експлуатації, хоча їхній функціонал і обмежується лише дискретним увімкненням або вимкненням живлення.

1.3.2 Пульти дистанційного контролю

Більш прогресивним етапом розвитку комутаційної апаратури є модулі з можливістю дистанційного керування, які суттєво підвищують рівень комфорту при взаємодії з освітлювальними приладами. Вони забезпечують дубльоване адміністрування навантаження, дозволяючи користувачеві взаємодіяти як безпосередньо з фізичним інтерфейсом на корпусі, так і використовувати бездротові пульти або інтегровані канали зв'язку. Набір функцій таких моделей повністю залежить від обраної модифікації та складності мікропроцесорної платформи, проте їхній базовий інструментарій традиційно охоплює віддалену комутацію ліній живлення та можливість інтеграції пристрою в загальну автоматизовану схему будівлі.

1.3.3 Диммери

Для реалізації сучасних концепцій енергозбереження та створення комфортного світлового середовища широко застосовуються вимикачі з функцією регулювання потужності, відомі як димери. Головна особливість цих спеціалізованих пристроїв полягає в забезпеченні плавного, безступінчастого керування яскравістю ламп у широкому діапазоні від мінімального тьмяного світіння до максимальної номінальної потужності. Ця інженерна можливість дозволяє користувачеві гнучко оптимізувати параметри інтенсивності світлового потоку під індивідуальні вимоги, адаптувати освітленість кімнати під конкретний вид діяльності та, що не менш важливо, суттєво знизити загальне енергоспоживання системи. [15]

1.3.4 Вбудовані датчики руху

Окремої уваги заслуговують вимикачі світла, конструкція яких доповнена вбудованими датчиками руху або присутності. Робота таких пристроїв зазвичай базується на використанні чутливого інфрачервоного сенсора, який безперервно сканує простір і реагує на теплове випромінювання людського тіла. Як тільки людина переступає поріг кімнати, датчик миттєво фіксує рух і передає сигнал на замикання реле, що призводить до автоматичного ввімкнення світильників.

Подальша робота системи та процес вимкнення світла можуть відбуватися за двома основними сценаріями, залежно від налаштувань. Перший варіант передбачає використання інтегрованого таймера: світло залишається увімкненим протягом чітко визначеного часу (наприклад, кількох хвилин) після того, як сенсор перестав помічати будь-яку активність. Інший варіант налаштування дозволяє системі реагувати на повторні рухи користувача, підтримуючи роботу освітлення лише за умови безперервного перебування людей у зоні дії пристрою. Впровадження таких рішень є вкрай зручним для прохідних приміщень, коридорів чи санвузлів, адже повністю позбавляє потреби шукати вимикач у темряві та надійно захищає від ситуацій, коли світло забувають вимкнути.

Сучасний підхід до проектування систем резервного освітлення вимагає переходу від простих електромеханічних схем до інтелектуальних комп'ютерно-інтегрованих комплексів. Основою такої архітектури є застосування мікроконтролера, який виконує функцію центрального обчислювального ядра системи. На відміну від класичних апаратних рішень, використання мікропроцесорної техніки дозволяє реалізувати гнучкі алгоритми керування, які можна легко адаптувати під конкретні умови експлуатації об'єкта без необхідності зміни фізичної схеми пристрою. У такому комплексі мікроконтролер забезпечує безперервний збір аналогової та цифрової інформації з периферійних датчиків, її програмний аналіз у режимі реального часу та формування відповідних керівних сигналів для силової частини системи [16].

Ключовою перевагою комп'ютерної інтеграції є можливість глибокої програмної оптимізації енергоспоживання під час автономної роботи, що досягається шляхом використання технології широтно-імпульсної модуляції. Замість безперервної подачі номінальної напруги на світлодіодні матриці, мікроконтролер генерує високочастотний імпульсний сигнал зі змінною шпаруватістю, що дозволяє гнучко регулювати інтенсивність світіння без втрат енергії на нагрівання додаткових струмообмежувальних елементів. Відповідно до закладеної логіки, у разі переходу на резервне живлення система може автоматично знизити яскравість світильників до мінімально необхідного базового рівня. Таке інтелектуальне димірування дає змогу суттєво зменшити навантаження на накопичувач та в кілька разів збільшити загальний час автономного функціонування системи освітлення [17].

1.4 Сфера застосування пристроїв керування

У сучасному світі енергоефективність, автоматизація та комфорт стали основними пріоритетами при проектуванні систем. Сучасні пристрої для керування світлом активно використовуються у найрізноманітніших сферах, адже вони допомагають розумно витратити електроенергію, зменшують витрати на її оплату та роблять життя значно зручнішим. Чудовим прикладом

є житлові будинки із системою «розумний дім», де світло саме вмикається або вимикається, коли в кімнату заходять чи виходять люди. Такий самий підхід чудово працює в офісах та навчальних закладах, де освітлення підлаштовується під розклад занять чи роботу працівників. Крім того, автоматичні системи керування масштабуються під потреби заводів, фабрик, великих складів, магазинів, а також використовуються для автоматичного ввімкнення ліхтарів на вулицях та дорогах міста.

Висновок до розділу

У першому розділі проведено комплексний науково-технічний огляд та аналітичне дослідження існуючих рішень у сфері проектування комп'ютерно-інтегрованих систем керування освітленням та засобів автоматичного введення резервного живлення. За результатами огляду та систематизації зібраного матеріалу можна сформулювати наступні висновки.

На основі вивчення технічної літератури та аналізу експлуатаційних параметрів різних категорій електричних ламп підтверджено, що світлодіодні технології є найбільш перспективними за критеріями енергоефективності, оскільки вони мають найвищу світлову віддачу і повністю сумісні з сучасними цифровими системами регулювання яскравості. Огляд галогенних, люмінесцентних приладів та ламп розжарювання дозволив чітко визначити їхні конструктивні недоліки, такі як високе теплове розсіювання або тривалий час виходу на робочий режим, що робить їх неефективними для використання в умовах обмеженого заряду акумулятора.

Під час аналізу методів автономного енергозабезпечення було детально розглянуто принципи роботи блоків аварійного живлення, централізованих джерел безперебійного живлення змінного струму та сучасних портативних зарядних станцій. Встановлено, що використання класичних безперебійників призводить до виникнення послідовних каскадних втрат енергії через багаторазову трансформацію струму, а готові комерційні станції мають закриту архітектуру, яка обмежує можливості інженерної інтеграції та впровадження власних енергоощадних алгоритмів.

Завершуючи аналіз наявних комутаційних та автоматизованих пристроїв, варто зазначити, що кожен із розглянутих типів обладнання має власну раціональну сферу застосування. Водночас, концепція побудови сучасних енергоефективних мереж вимагає створення інтегрованих систем, здатних працювати автономно за гнучкими алгоритмами. Оскільки жодне з досліджених готових рішень не забезпечує повної синергії між високим рівнем автоматизації та гарантованою відмовостійкістю живлення, виникає потреба в інженерній розробці нової структури. Сформовані за результатами огляду вимоги та технічні критерії будуть покладені в основу розробки наступних розділів дипломного проєкту.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

2.1 Структурна схема

Структурною схемою називається візуалізація системи за допомогою функціональних блоків, що відображає її базові компоненти та зв'язки між ними. Вона дає чітке уявлення про будову пристрою та взаємодію його елементів. Створення таких схем допомагає швидше аналізувати систему, вдосконалювати її та легко помічати непотрібні чи відсутні вузли.

Для реалізації структурної схеми комп'ютерно-інтегрованої системи енергоефективного керування освітленням з автоматичним резервуванням живлення необхідно зобразити:

- Джерело резервного живлення
- Керуючий блок
- Блок сенсорів
- Виконавчий блок

Джерело резервного живлення розробленого проекту функціонує за принципом наскрізної трансляції енергії або Bypass та виконує роль джерела безперебійного живлення постійного струму.

За умови наявності напруги в первинній електромережі, портативна зарядна станція забезпечує живлення керуючого та виконавчого блоків транзитом, одночасно підтримуючи стовідсотковий рівень заряду власних елементів живлення. Інтегрована система керування батареями (BMS) станції автоматично балансує навантаження, уникаючи зайвих циклів заряду-розряду акумулятора, що суттєво подовжує його експлуатаційний ресурс.

У випадку аварійного знеструмлення первинної мережі, BMS-контролер зарядної станції здійснює автоматичне безшовне перемикання вихідних портів (USB 12V та USB 5V) на живлення від внутрішнього акумулятора. Час перемикання є меншим за час розряду згладжувальних конденсаторів на платі мікроконтролера ESP32, що гарантує безперервність

виконання програмного алгоритму та збереження стану хмарного підключення без необхідності перезавантаження системи.

Керуючий блок це мікроконтролер який буде керувати процесами системи. Тобто зчитувати дані з датчиків, враховувати їх та давати на основі цієї інформації завдання для джерела світла.

Резерв, враховуючи умову, що він має бути автоматичний, складається з портативної зарядної станції та додаткового елементу, а саме конденсатора, для забезпечення максимально плавного переходу між режимами роботи.

Блок джерела світла включає в себе саме джерело світла та MOSFET - транзистор.

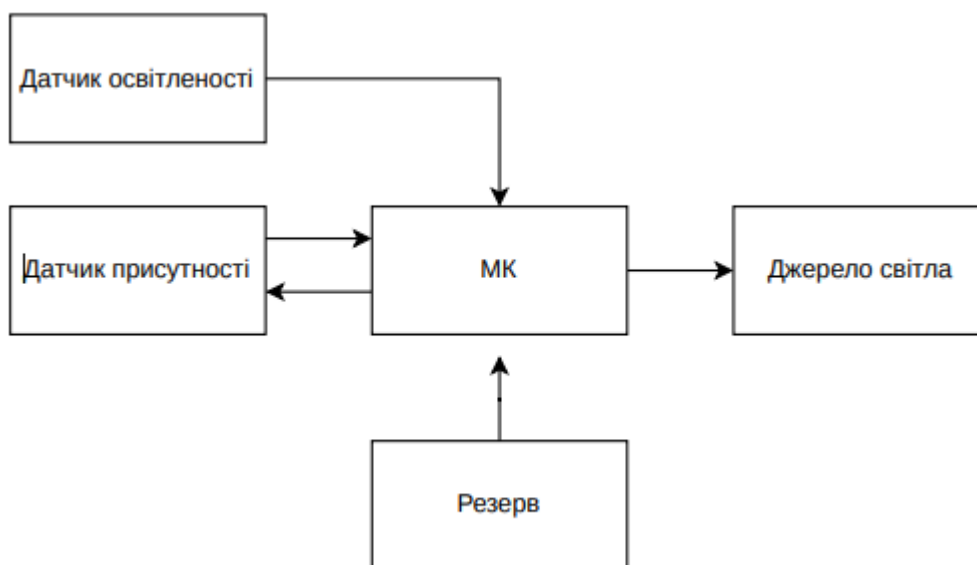


Рис 2.1 Структурна схема комп'ютерно-інтегрованої системи енергоефективного керування освітленням з автоматичним резервуванням живлення

2.2 Вибір та обґрунтування елементної бази

Розроблювана система поєднує в собі вирішення кількох важливих завдань: підвищення енергоефективності, автоматичне керування освітленням та забезпечення безперебійного живлення у разі аварійних вимкнень. Додатковими умовами, які обов'язково враховуються при розробці, є економічність, мобільність пристрою та відкритість його архітектури. Останнє

є принципово важливим, оскільки дає можливість подальшої модернізації та розширення функцій системи, якщо в цьому виникне потреба.

З попереднього розділу з'ясовано, що для забезпечення високої енергоефективності системи доцільно використовувати освітлення на основі світлодіодних ламп або світильників, які споживають мінімум енергії. Додатково знизити витрати електрики можна завдяки інтеграції датчиків освітленості, присутності. Це дозволить автоматично адаптувати роботу ламп під умови довкілля та повністю виключить роботу освітлення, коли в приміщенні нікого немає.

Щоб забезпечити зручну взаємодію з користувачем, у систему необхідно додати пристрій дистанційного керування або доступний інтерфейс для налаштування. Це дозволить легко керувати системою на відстані та обирати оптимальні режими роботи, наприклад: автоматичний (за датчиками) або ручний.

Виходячи з наведених вимог, як джерела світла у проєкті передбачено використання різноманітних світлодіодних рішень, зокрема ламп, світильників та гнучких LED-стрічок, що дозволить створити гнучку систему освітлення під різні потреби. Для оптимізації їхньої роботи безпосередньо в контур керування інтегруються датчики освітленості, руху та присутності, які забезпечуватимуть увімкнення світла лише за реальної потреби.

Особливу увагу приділено системі дистанційного керування. Оскільки в умовах тривалої відсутності електроенергії мобільний телефон може розрядитися, а також для того, щоб системою могли зручно користуватися кілька людей одночасно, базовим рішенням обрано використання смартфона користувача як бездротового пульта керування за допомогою протоколу Bluetooth Low Energy (BLE). Інтерфейс матиме мінімальну кількість елементів керування та максимально зрозумілий функціонал. Завдяки використанню стандарту BLE, такий спосіб зв'язку є абсолютно автономним, відрізняється високою енергоефективністю та мінімальним навантаженням на акумулятор смартфона користувача. Разом із цим, гнучкість розробленої архітектури

дозволяє у перспективі легко інтегрувати в систему додатковий апаратний BLE-пульс, створюючи кілька альтернативних варіантів контролю освітлення.

Що стосується блоку резервного живлення, то оскільки розробка самого накопичувача енергії не є головним завданням цієї роботи, для забезпечення надійності доцільно розглянути інтеграцію вже готового рішення, а саме - сучасної зарядної станції. Це дозволить зосередити основну увагу на комп'ютерно-інтегрованих алгоритмах автоматизації, енергоефективного керування та комутації, не витрачаючи ресурси на проєктування складних хімічних джерел живлення з нуля.

2.2.1 Вибір засобу керування

Для реалізації комп'ютерно-інтегрованої системи енергоефективного керування освітленням із резервуванням потужності до центрального керуючого мікроконтролера висувається низка специфічних технічних вимог. Вузловий обчислювач повинен забезпечувати безперервний збір даних із периферійних сенсорів, виконувати локальні алгоритми логічного аналізу та здійснювати високочастотне керування виконавчими пристроями.

Основними критеріями для вибору мікроконтролера у розроблюваній системі визначено:

- наявність інтегрованих бездротових інтерфейсів для забезпечення безперервного зв'язку речей та передачі телеметрії без використання додаткових апаратних шлюзів;
- апаратна підтримка широтно-імпульсної модуляції для плавного високочастотного регулювання яскравості світлодіодних модулів через силові ключі;
- висока енергоефективність та низьке споживання струму в робочому режимі, а також наявність режимів глибокого сну для максимального збереження ємності джерела резервного живлення в аварійних ситуаціях;

Для визначення апаратної платформи, яка виступатиме головним вузлом керування, було проведено комплексний аналітичний огляд сучасних обчислювальних архітектур. У межах цього дослідження порівнювалися технічні параметри енергоефективних систем на кристалі сімейства ESP32, класичних мікроконтролерів архітектури ARM Cortex-M від STM32 на прикладі лінійки F103, а також повнофункціональних одноплатних комп'ютерів Raspberry Pi. Порівняння базувалося на ключових експлуатаційних характеристиках, які є критичними для розроблюваної комп'ютерно-інтегрованої системи.

Таблиця 2.1 Порівняльна характеристика мікроконтролерів

Критерій порівняння	ESP32	STM32 (F103)	Raspberry Pi (Zero / Pi 4)
Архітектура системи	Мікроконтролер (SoC, Xtensa)	Мікроконтролер (ARM Cortex-M)	Одноплатний комп'ютер (SBC, ARM Cortex-A)
Вбудований Wi-Fi/Bluetooth	Є (Інтегрований)	Відсутній (потребує зовнішніх модулів)	Є (в окремих модифікаціях)
Апаратний ШІМ (PWM)	Є (до 16 каналів, LEDC)	Є (до 15 каналів)	Обмежено (переважно програмний ШІМ)
Енергоспоживання	Низьке (~100-240 мА в піку)	Дуже низьке (~30-50 мА в піку)	Високе (~500-2000 мА, відсутній глибокий сон)

На основі проведеного порівняльного аналізу (Таблиця 2.1) найбільш підходящим обчислювальним ядром для проектованої системи визначено мікроконтролер ESP32.

Також доречно провести порівняння з більш бюджетним варіантом плати, щоб довести необхідність більших витрат на даний компонент системи та підкреслити важливість такого вибору.

Таблиця 2.2 Порівняльна характеристика мікроконтролерів ESP8266 та ESP32

Характеристика	ESP8266 (напр., ESP-12E)	ESP32-WROOM-32	Перевага для системи
Процесор	1-ядерний 32-bit (Tensilica L106)	2-ядерний 32-bit (Xtensa LX6)	Виділення окремого ядра під Wi-Fi та окремого під логіку датчиків.
Оперативна пам'ять (SRAM)	~50 КБ	520 КБ	Робота з важкими веб-серверами та складними алгоритмами.
Бездротові інтерфейси	Лише Wi-Fi (802.11 b/g/n)	Wi-Fi + Bluetooth (v4.2 BR/EDR та BLE)	Можливість локального керування через Bluetooth без роутера.
ШІМ-контролер (PWM)	Програмний (завантажує процесор)	Апаратний (LEDC), 16 каналів	Апаратна підтримка частоти 5 кГц без тремтіння світла
Енергоспоживання	~20 мкА	~10 мкА + ULP-співпроцесор	Більший час автономної роботи.

Аналіз наведених характеристик підтверджує доцільність використання плати розробника ESP32 DevKit V1 (на базі модуля ESP32-WROOM-32) як головного обчислювального пристрою.

Вибір саме інтегрованої налагоджувальної плати (DevKit), а не базового модуля, є оптимальним апаратним рішенням з огляду на кілька факторів. По-перше, плата містить вбудований перетворювач інтерфейсів USB-UART (CP2102), що забезпечує пряме підключення до ПК для програмування та моніторингу без використання зовнішніх програматорів. По-друге, наявність інтегрованого лінійного стабілізатора напруги на 3,3 В дозволяє безпечно жити мікроконтролер та периферію, наприклад, мікрохвильовий радар від стандартної лінії 5 В.

Ключовою обчислювальною перевагою обраного мікроконтролера є наявність вбудованого апаратного ШІМ-контролера, що забезпечує стабільну частоту керування 5 кГц без тремтіння сигналу.

Крім того, двоядерна архітектура у поєднанні зі значним обсягом оперативної пам'яті (520 КБ) дозволяє ефективно розпаралелити процеси: одне ядро виділяється для підтримки бездротового зв'язку Bluetooth Low Energy (BLE) та прийому команд зі смартфона, тоді як інше гарантує безперервну обробку даних із датчиків.

2.3.2 Вибір джерела резервного живлення. Зарядна станція

Для забезпечення безперебійної та надійної роботи комп'ютерно-інтегрованої системи керування освітленням у разі аварійних вимкнень або нестабільності первинної електромережі необхідно правильно обрати джерело резервного живлення. До цього вузла висувається ряд вимог, що зумовлені специфікою функціонування макета та умовами його експлуатації.

Основними критеріями для вибору джерела енергорезервування у розроблюваній системі визначено:

- високий рівень мобільності, компактні габаритні розміри та низька вага для можливості зручного транспортування та інтеграції в обмежений простір лабораторного або побутового макета;
- наявність різнотипових вихідних інтерфейсів постійного струму, зокрема портів USB для низьковольтної логіки мікроконтролера та окремих виходів для живлення силового навантаження освітлювальних модулів;
- підтримка технології наскрізного живлення, яка дозволяє пристрою одночасно приймати заряд від первинної мережі або альтернативних джерел енергії та безперешкодно жити підключену периферію;
- достатня ємність вбудованого акумулятора для забезпечення автономної роботи всіх електронних компонентів та світлодіодних елементів протягом тривалого проміжку часу.

З метою обґрунтування вибору енергетичного вузла було проведено техніко-функціональне зіставлення чотирьох різних за архітектурою та

призначенням рішень: портативної зарядної станції Newell Pearl, класичного джерела безперебійного живлення, системи автоматичного введення резерву та універсальної мобільної батареї ємністю 20000 мАг.

Таблиця 2.3 Порівняння характеристика резервування

Критерій порівняння	Зарядна станція (Newell Pearl)	Джерело безперебійного живлення (ДБЖ)	Автоматичне введення резерву (АВР)
Габарити та мобільність	Висока (компактний переносний корпус)	Низька (велика вага через свинцеві АКБ)	Залежить від виконання (зазвичай стаціонарний блок)
Наскрізне живлення (Pass-through)	Підтримується в повному обсязі	Підтримується (класичний буферний режим)	Не застосовується (не є джерелом енергії)
Автономність без мережі	Висока (283 Вт·год, літій-іонний блок)	Середня (обмежена типовими внутрішніми АКБ)	Нульова (потребує підключення генератора/АКБ)
Необхідні виходи (USB 12V / USB 5V)	Інтегровані (наявні обидва типи роз'ємів)	Відсутні (переважно виходи АС 220V)	Відсутні (виконує лише функцію комутації)

На основі проведеного аналізу (Таблиця 2.2) найбільш раціональним та технічно виправданим рішенням для реалізації системи стало використання портативної зарядної станції Newell Pearl.

Портативна зарядна станція Newell Pearl поєднує в собі переваги всіх розглянутих пристроїв. Вона забезпечує необхідну ємність (283 Вт·год) у компактному та легкому корпусі, має вбудовану підтримку наскрізного керування потоками енергії та оснащена всіма необхідними інтерфейсами (USB 5V для мікроконтролера та 12V для освітлення). Це дозволяє виключити зі схеми зайві перетворювачі напруги, а також мінімізувати теплові втрати та забезпечити високу автономність і мобільність системи.

Особливістю архітектури розробленої системи є живлення головного контролера та освітлювальних LED-модулів безпосередньо від низьковольтної

шини постійного струму, а саме 5 В через відповідні порти портативної зарядної станції.

На відміну від класичного підключення через вбудований інвертор 220 В, який потребує використання апаратного реле-байпасу та має типову затримку перемикання 10–20 мс при знеструмленні, обране підключення забезпечує роботу за принципом наскрізного живлення *pass-through*. Завдяки цьому час перемикання на резервне живлення дорівнює нулю (0 мс). Це інженерне рішення дозволило гарантувати абсолютну безперебійність роботи мікроконтролера ESP32, повністю уникнути стробоскопічного кліпання світла в момент аварії та відмовитися від використання додаткових згладжувальних конденсаторів великої ємності у силовій схемі.

Застосування стандартного промислового або комп'ютерного ДБЖ є неефективним, оскільки такі пристрої орієнтовані на видачу змінної напруги 220 В. Перетворення постійної напруги акумулятора ДБЖ у змінну 220 В, а потім її повторне зниження блоками живлення макета до 12 В та 5 В призведе до критичних втрат енергії на подвійну інвертацію та ККД системи значно знизиться. Крім того, ДБЖ мають незадовільні масо-габаритні показники для мобільних систем.

Класичні системи АВР не спроможні самостійно вирішити задачу, оскільки вони є лише автоматичними перемикачами між лініями і потребують наявності зовнішнього альтернативного джерела, наприклад, другої стабільної лінії чи генератора, що неможливо забезпечити у межах автономного мобільного макета

2.3.3 Датчики присутності та освітленості

Для забезпечення інтелектуального функціонування комп'ютерно-інтегрованої системи та досягнення максимальних показників енергоефективності апаратний комплекс потребує використання двох типів сенсорів. Вони дозволяють збирати первинну інформацію про наявність людей у зоні моніторингу та поточний рівень природного освітлення приміщення в реальному часі.

Основними компонентами сенсорної підсистеми визначено такі модулі:

- Мікрохвильовий радар присутності типу HLK-LD2410, який працює у частотному діапазоні 24 ГГц. Вибір цього сенсора зумовлений його здатністю фіксувати об'єкти у абсолютно статичному положенні за рахунок детекції мікрорухів, включаючи дихальну активність людини. Це повністю вирішує проблему хибних вимкнень штучного освітлення, яка є властивою для звичайних пасивних інфрачервоних датчиків руху. Модуль має високу завадостійкість, живиться від п'ятивольтової лінії мікроконтролера і видає чіткий дискретний сигнал на цифровий порт керуючої плати.

Таблиця 2.4 Порівняння модулів виявлення присутності для систем освітлення

Характеристика	PIR HC-SR501	RCWL-0516	HLK-LD2410
Принцип роботи	Реакція на перетин теплових зон.	Реакція на зміну відбитої хвилі (макрорух).	Сканування відбитої хвилі та мікрорухів.
Виявлення нерухомої людини	Ні (світло вимкнеться, якщо людина не рухається).	Ні (потребує періодичного помаху рукою).	Так (фіксує дихання та серцебиття).
Проникна здатність	Не бачить крізь перешкоди (скло, двері).	Пробиває стіни (хибні спрацьовування на сусідів).	Легко проходить крізь пластик корпусу світильника, не пробиває капітальні стіни.
Налаштування зон чутливості	Лише загальна дальність	Немає (фіксована дальність ~5-7 м).	Гнучке програмне (через UART/Bluetooth для кожної зони окремо).

- Модуль датчика освітленості на базі фоторезистора типу GL5528.

З метою підвищення загальної енергоефективності системи передбачено функцію блокування увімкнення резервного світла у світлу пору доби. Для апаратної реалізації цієї функції замість дискретного фоторезистора

обрано інтегрований сенсорний модуль освітленості на базі компаратора LM393. На відміну від голого чутливого елемента, який потребує зовнішньої схемотехнічної обв'язки (створення прецизійного дільника напруги), готовий модуль містить усі необхідні компоненти на єдиній друкованій платі. Наявність на платі підлаштовувального резистора дозволяє апаратно відкалібрувати поріг спрацювання датчика безпосередньо під умови конкретного приміщення. Модуль формує чіткий цифровий сигнал (логічні «0» або «1») при перетині заданого порогу освітленості, що дозволяє використовувати для його опитування звичайні цифрові порти ESP32 без залучення аналого-цифрового перетворювача (АЦП), тим самим спрощуючи програмний алгоритм та підвищуючи швидкодію системи.

2.3.4 Вибір силового комутаційного елемента

Основним завданням комутаційного вузла є високочастотне перемикання струму навантаження для реалізації широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) та забезпечення автоматичного введення резерву. Для вибору оптимального компонента проведено порівняльний аналіз поширених типів комутаторів, а саме електромеханічного реле, біполярного транзистору та MOSFET-транзистора (Таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 - Порівняльні характеристики комутаційних елементів

Критерій	Електромеханічне реле	Біполярний транзистор (напр. TIP120)	Logic-Level MOSFET (напр. IRLZ44N)
Керуюча напруга	5 В / 12 В	Від 1 В	Від 2 В (сумісність із 3.3 В)
Швидкодія перемикання	10–20 мс	< 1 мкс	< 0.1 мкс
ШІМ	Відсутня	Присутня	Присутня (високочастотна)
Втрати напруги	Практично відсутні	~1.5–2 В	Мінімальні
Теплове розсіювання	Мінімальне	Високе	Дуже низьке

Аналіз таблиці засвідчує, що оптимальним рішенням для низьковольтної системи постійного струму є використання N-канального польового транзистора з логічним рівнем керування (Logic-Level MOSFET) типу IRLZ44N. Його головною перевагою є здатність повністю відкриватися від напруги 3.3 В, яку генерує мікроконтролер, без використання додаткових каскадів драйверів. Низький опір відкритого каналу (близько 0.022 Ом) гарантує проходження великих струмів без суттєвого нагрівання компонента, що зберігає енергію станції виключно для цільового освітлення.

Електромеханічне реле - це електромагнітний комутаційний пристрій, який використовує електромагніт для механічного замикання або розмикання електричних контактів. Воно дозволяє керувати потужними силовими колами за допомогою слабкого електричного сигналу, забезпечуючи при цьому надійну гальванічну розв'язку ланцюгів. Але є непридатним для реалізації енергоощадного димірування через фізичні обмеження швидкості комутації та експлуатаційний знос контактів[22].

Біполярні транзистори характеризуються високим внутрішнім опором, що призводить до значного падіння напруги і, як наслідок, втрат енергії резервного акумулятора на небажане теплове розсіювання.

Біполярний транзистор (наприклад, TIP120). Відхилено через високий внутрішній опір. При комутації потужного світлодіодного навантаження на такому транзисторі відбувається значне падіння напруги, що призводить до виділення теплової енергії. Необхідність використання масивних радіаторів та нецільове витрачання енергії резервної станції на нагрівання є неприпустимим для енергоефективної системи.

N-канальний польовий транзистор із логічним рівнем керування (Logic-Level MOSFET типу IRLZ44N). Обрано як оптимальне рішення. На відміну від стандартних MOSFET-транзисторів, які потребують керуючої напруги близько 10 В для повного відкриття переходу, серія транзисторів із логічним рівнем, наявність якого визначається маркуванням «L», здатна повністю відкриватися від напруги 3.3 В, що відповідає логічним рівням

мікроконтролера ESP32. Транзистор IRLZ44N характеризується наднизьким опором відкритого каналу, що мінімізує теплові втрати, і дозволяє здійснювати безшумну високочастотну комутацію для ідеально плавного димірування навантаження.

2.3.5 Освітлення. Світлодіодні рішення

Світлодіодні лампи або світлодіодні світильники - світлотехнічні вироби для побутового, промислового та вуличного освітлення, у яких джерелом світла є світлодіоди. Світлодіодна лампа - це набір світлодіодів і схеми живлення для перетворення мережевої енергії на постійний струм низької напруги.

Для реалізації виконавчої підсистеми комп'ютерно-інтегрованого комплексу керування освітленням необхідно визначити оптимальний тип джерела світла. Оскільки система орієнтована на енергоефективність та тривалу автономну роботу від портативної зарядної станції, до світлового модуля висуваються суворі критерії.

Основними технічними вимогами до джерела світла визначено:

- максимальна світловіддача при мінімальному споживанні електричної потужності для раціонального використання енергоресурсу акумуляторної батареї в аварійному режимі;
- сумісність із низьковольтними лініями постійного струму, що дозволяє виключити з архітектури силові інвертори підвищення напруги до 220 В та уникнути додаткових теплових втрат;
- повна апаратна підтримка високочастотного регулювання яскравості за допомогою широтно-імпульсної модуляції від мікроконтролера без виникнення видимого коефіцієнта пульсації світлового потоку;
- стійкість до частих циклів комутації, оскільки алгоритм автоматичного керування передбачає постійні увімкнення та вимкнення навантаження за сигналами від мікрохвильового радара присутності;

- низька робоча температура корпусу для забезпечення пожежної безпеки в місцях монтажу та відсутності потреби у масивних радіаторах охолодження.

Таблиця 2.4 - Порівняльні характеристики джерел світла

Критерій	Світлодіодні модулі (LED)	Лампи розжарювання	Люмінесцентні лампи (КЛЛ)
Ефективність (лм/Вт)	Висока (90 - 150)	Низька (10 - 15)	Середня (50 - 70)
Регулювання яскравості (ШИМ)	Відмінне (від 0 до 100%)	Обмежене (інерційне, змінює спектр)	Неможливе
Тип живильної напруги	Постійний струм (DC 12V/24V)	Переважно змінний (AC 220V)	Змінний струм (AC 220V)
Ресурс (годин)	50 000 і більше	До 1 000	До 10 000
Вплив частих увімкнень	Відсутній	Критичний (руйнує нитку розжарення)	Критичний (термічний знос катодів)

На основі технічного зіставлення характеристик (Таблиця 2.4) єдиним раціональним вибором для інтеграції у систему є світлодіодні модулі.

Використання класичних ламп розжарювання та галогенних ламп повністю суперечить концепції енергоефективності. Вони мають вкрай низький коефіцієнт корисної дії, оскільки понад 90% енергії перетворюють на теплове випромінювання, а не на світловий потік. Окрім високого навантаження на зарядну станцію, ці джерела мають низький експлуатаційний ресурс і швидко виходять з ладу в системах із датчиками присутності через постійні пускові струми під час частих увімкнень.

Компактні люмінесцентні лампи мають вищу світловіддачу, проте вони є абсолютно несумісними з алгоритмами цифрового димірування. Спроба керувати ними за допомогою ШІМ-сигналу призведе до згасання розряду або фізичного пошкодження пускорегулювальної апаратури. Крім того, вони потребують високої змінної напруги, що змусило б використовувати інвертор зарядної станції, створюючи зайві втрати потужності буферного акумулятора.

Світлодіодні рішення позбавлені цих недоліків і демонструють повну синергію з іншими вузлами системи. Вони штатно функціонують від напруги постійного струму 12 В, яка знімається безпосередньо з виходу станції Newell Pearl, що забезпечує максимальний ККД енергоспоживання. Напівпровідникова структура LED-елементів ідеально піддається ШІМ-керуванню через MOSFET-транзистор, дозволяючи плавно змінювати рівень освітленості приміщення залежно від показників фоторезистора. Кількість циклів увімкнення-вимкнення не впливає на стабільність і ресурс світлодіодів, що робить їх надійним виконавчим органом для автоматизації на основі мікрохвильового радара присутності.

Висновок до розділу

У другому розділі дипломного проєкту розроблено апаратну частину комп'ютерно-інтегрованої системи керування освітленням із функцією автоматичного переходу на резервне живлення. Головним керуючим елементом обрано мікроконтролер ESP32 DevKit V1. Його характеристик цілком достатньо для стабільного керування яскравістю світла за допомогою ШІМ-сигналів, а наявність вбудованого Wi-Fi модуля створює зручну базу для майбутнього підключення пристрою до Інтернету речей (IoT).

Для живлення системи обрано контур прямого підключення низьковольтного корпусного LED-світильника 12 В постійним струмом безпосередньо від виходу портативної зарядної станції, що дозволяє уникнути зайвих перетворень напруги. На основі цієї концепції в ролі силового комутаційного елемента було обґрунтовано вибір Logic-Level MOSFET транзистора IRLZ44N, який забезпечує плавне регулювання яскравості з мінімальним внутрішнім опором і відсутністю перегріву компонентів.

Для надійної реєстрації знаходження користувача в приміщенні обґрунтовано інтеграцію мікрохвильового радара присутності міліметрового діапазону (mmWave, 24 ГГц). Цей датчик здатен фіксувати мікрорухи, включно з амплітудою дихання людини. Таке рішення гарантує стабільне

утримання заданого рівня освітлення навіть за умови тривалого статичного положення користувача на робочому місці, виключаючи хибні вимкнення світла.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

Метою цього підрозділу є перехід від теоретичного планування системи під час проєктування структурної схеми до розробки конкретної фізичної та схемотехнічної реалізації пристрою. Створення електричної принципової схеми є одним із головних етапів проєктування комп'ютерно-інтегрованої системи енергоефективного керування освітленням із функцією автоматичного резервування. Вона визначає точний характер взаємодії між усіма обраними в попередньому підрозділі компонентами, забезпечує їх узгоджене живлення та гарантує загальне функціонування системи в умовах нестабільного електропостачання і роботи від автономної зарядної станції.

Попередньо проведений аналіз та сформовані технічні вимоги дозволили чітко визначити оптимальну елементну базу. Розробка схеми базується на інтеграції мікроконтролера ESP32 DevKit V1 із силовим комутаційним транзистором IRLZ44N, мікрохвильовим радаром присутності міліметрового діапазону (24 ГГц) та модулем моніторингу первинної мережі 220 В. Ключовим завданням на цьому етапі є проєктування правильної схемотехнічної обв'язки зазначених компонентів для забезпечення апаратної генерації височастотного ШІМ-сигналу, точної реєстрації мікрорухів людини та безперебійної координації роботи між мікропроцесорним ядром і периферією.

Під час формування електричних з'єднань особливий акцент робиться на створенні оптимізованого низьковольтного контуру живлення постійного струму (12 В), оминаючи зайві каскади перетворення напруги (DC-AC-DC). Побудова зв'язків розробляється з розрахунком того, щоб силовий шлях проходження струму навантаження через транзисторний ключ мав мінімальний опір, що дозволить ліквідувати теплове розсіювання та максимально зберегти заряд резервного акумулятора. А суворий підбір номіналів струмообмежувальних та стягуючих резисторів у колі затвора

транзистора гарантуватиме надійний захист цифрових портів мікроконтролера і забезпечить високу стабільність роботи приладу під час цілодобової експлуатації та тривалих аварійних відключень.

3.1 Підключення освітлення

Для забезпечення функції блокування штучного освітлення у світлу пору доби в систему інтегровано сенсорний модуль фоторезистора на базі компаратора LM393 (Рис. 3.1). Підключення модуля здійснюється за трипровідною схемою з суворим урахуванням вимог до безпеки логічних рівнів мікроконтролера.



Рис. 3.1 Вигляд модуля освітленості на базі компаратора LM393.

Контакт живлення модуля (VCC) підключається безпосередньо до стабілізованого виводу 3.3 В відлагоджувальної плати ESP32 DevKit V1. Таке схемотехнічне рішення гарантує, що амплітуда вихідного інформаційного сигналу датчика не перевищить максимально допустиму напругу для цифрових портів ESP32, повністю запобігаючи їхньому пробою або деградації. Контакт заземлення (GND) модуля надійно з'єднується зі спільною шиною заземлення (GND) усього апаратного комплексу.

Інформаційний цифровий вихід датчика (DO – Digital Output) підключається до вільного цифрового входу мікроконтролера, порту GPIO27. Завдяки апаратному компаратору мікросхеми LM393, порт мікроконтролера отримує чітко сформований дискретний сигнал (без брязкоту або перехідних станів). Якщо рівень природного світла в приміщенні вищий за встановлений поріг, який фізично калібрується підлаштовувальним резистором на платі модуля. На порту GPIO27 формується відповідний логічний рівень. Цей сигнал програмно забороняє мікроконтролеру подачу ШІМ-сигналу на силовий транзистор IRLZ44N (Рис. 3.2) навіть у разі надходження тригера про рух від радара присутності. Така інтеграція дозволяє системі уникати марнотратного використання енергії портативної зарядної станції вдень.

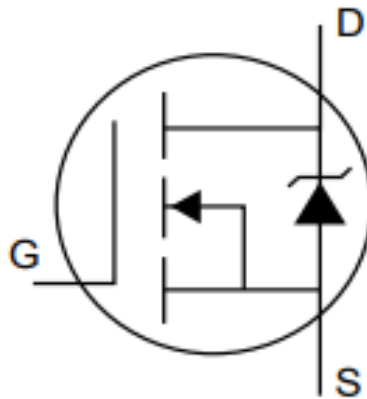


Рис. 3.2 Схема позначення транзистора IRLZ44N

Силу комутацію низьковольтного навантаження виконано за схемою з увімкненням N-канального польового транзистора IRLZ44N у розрив кола заземлення об'єкта керування. Вивід витоку (Source) транзистора підключено безпосередньо до спільної шини заземлення системи (GND). Вивід стоку (Drain) з'єднано з від'ємним полюсом живлення 12-вольтового світлодіодного світильника, тоді як позитивний полюс світильника підключено до силової лінії +12 В зарядної станції.

Керування станом напівпровідникового ключа реалізовано через цифровий порт GPIO4 мікроконтролера ESP32, який підключається до виводу затвора (Gate) через послідовний струмообмежувальний резистор номіналом

220 Ом для захисту кристала порту від динамічних струмів перезаряду ємності затвора. Для виключення неконтрольованого відкриття транзистора під час ініціалізації мікроконтролера, між затвором та шиною GND увімкнено зовнішній стягуючий резистор номіналом 10 кОм.

Інтеграція мікрохвильового радару присутності міліметрового діапазону (модуль HLK-LD2410)(Рис. 3.3) у загальну схему реалізована за класичною провідною топологією. Оскільки радіочастотний тракт сенсора вимагає стабільної напруги живлення номіналом 5 В, вивід VCC датчика підключено до вихідного контуру понижувального DC-DC перетворювача (паралельно до входу живлення мікроконтролера). Вивід GND сенсора об'єднано із загальною шиною заземлення апаратного комплексу.

Для передачі керуючого впливу інформаційний вивід датчика (OUT) з'єднано з цифровим портом GPIO14 мікроконтролера ESP32. Логічний рівень вихідного сигналу радару становить 3.3 В, що є абсолютно сумісним із вхідними цифровими каскадами ESP32 і не потребує впровадження додаткових схем узгодження логічних рівнів. Під час фіксації дихання або мікрорухів об'єкта в зоні контролю, датчик формує на цьому порту логічну одиницю. Даний сигнал обробляється мікроконтролером через механізм апаратних переривань, що дозволяє миттєво запускати алгоритм відновлення яскравості освітлення.



Рис. 3.3 Вигляд модуля HLK-LD2410 з пінами

Як об'єкт керування в системі використовується низьковольтний світлодіодний світильник постійного струму з номінальною напругою

живлення 12 В. Підключення навантаження реалізовано за топологією комутації нижнього плеча (Low-Side Switching).

Позитивний полюс світильника підключається безпосередньо до головної силової шини живлення +12 В, яка формується на виході автономної зарядної станції. Від'ємний полюс світильника підключається до виводу стоку (Drain) силового MOSFET-транзистора IRLZ44N. Таке рішення дозволяє мікроконтролеру замикати електричне коло навантаження на спільну шину заземлення (GND) через транзисторний ключ, забезпечуючи можливість високочастотного ШІМ-регулювання струму без необхідності використання складних драйверів керування верхнім плечем. Силкові провідники для підключення світильника обираються з урахуванням максимального розрахункового струму навантаження для мінімізації падіння напруги.

3.2 Підключення живлення та керування системи

Загальна архітектура пристрою побудована за принципом централізованого резервного живлення з децентралізованим розподілом напруги. Як головне джерело енергії в аварійному режимі використовується портативна зарядна станція. Для забезпечення максимальної енергоефективності та усунення втрат на інвертування напруги, розетка змінного струму AC 220V зарядної станції в даній системі не задіюється. Замість цього живлення розділено на два незалежні контури, які підключаються до відповідних низьковольтних портів станції.

Для живлення об'єкта керування задіяно штатний силовий вихід постійного струму 12V. Позитивний провід від цього порту підключається безпосередньо до світильника, утворюючи нерозривну силову магістраль. Негативний провід підключається до загальної шини заземлення системи GND, після чого комутується через силовий N-канальний транзистор IRLZ44N, забезпечуючи можливість ШІМ-регулювання струму навантаження.

Живлення плати ESP32 DevKit V1 та слабострумової сенсорної периферії здійснюється від інтегрованого порту USB зарядної станції, який

видає стабілізовану напругу 5 В. Підключення реалізується стандартним кабелем до роз'єму на платі мікроконтролера. Таке схемотехнічне рішення є оптимальним, оскільки дозволяє задіяти вбудований на відлагоджувальній платі ESP32 заводський лінійний стабілізатор напруги до 3.3 В та інтегровані фільтрувальні конденсатори. Вони ефективно згладжують динамічні просідання струму та фільтрують високочастотні завади від роботи бездротових модулів, виключаючи необхідність проєктування складного зовнішнього фільтрувального каскаду з окремих дискретних елементів.

Мікроконтролер ESP32 виступає центральним вузлом збору даних та генерування керуючих впливів. Усі периферійні пристрої отримують живлення безпосередньо від контакторних виводів мікроконтролера: радар присутності HLK-LD2410 підключається до виводу 5V (контакт шини USB), а модуль фоторезистора LM393 - до стабілізованого виводу 3V3. Така топологія забезпечує повну безпеку логічних рівнів, стабільність роботи процесора і виключає ризик пошкодження цифрових портів під час цілодобової експлуатації.

Висновок до розділу

У третьому розділі дипломного проєкту розроблено електричну принципову схему, яка забезпечує фізичну реалізацію комп'ютерно-інтегрованої системи. Для підвищення енергоефективності та усунення втрат на багаторазове інвертування напруги реалізовано контур оптимізованого живлення: мікроконтролер ESP32 DevKit V1 отримує 5 В від USB-порту зарядної станції, а LED-світильник живиться від порту постійного струму 12 В. Силу комутацію навантаження виконано на базі Logic-Level MOSFET транзистора IRLZ44N із відповідною захисною обв'язкою, що гарантує надійне ШІМ-димірування без перегріву компонентів.

Визначено та обґрунтовано схемотехнічні зв'язки сенсорної периферії. Мікрохвильовий радар присутності HLK-LD2410 підключено до порту апаратних переривань для миттєвої реакції на мікрорухи, а модуль

освітленості з фоторезистором GL5528 та компаратором LM393 інтегровано для блокування увімкнення світла у світлу пору доби.

Завершальним етапом стала розробка логічного алгоритму функціонування системи у вигляді послідовних кроків для побудови блок-схеми. Розроблена логіка забезпечує автоматичне адаптивне керування освітленням і перехід пристрою в енергоощадний режим очікування. Отримані результати схемотехнічного та алгоритмічного проєктування є повноцінною базою для написання програмного коду мікроконтролера.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОБОТИ ПРОГРАМИ

Проектування алгоритму функціонування є фінальною стадією розробки, що визначає логіку керування та взаємодії всіх елементів апаратної частини комплексу. На цьому етапі формалізується чітка послідовність обчислювальних операцій та керуючих впливів, необхідних для виконання поставлених технічних завдань. Раціонально побудована алгоритмічна база гарантує стабільність, відмовостійкість і швидкодію програмного забезпечення в режимі реального часу, а також оптимізує процес його подальшої безпосередньої трансляції у програмний код мікроконтролера.

Після подачі живлення від зарядної станції мікроконтролер одноразово виконує блок ініціалізації. На цьому етапі система визначає, які фізичні порти працюватимуть на прийом сигналів, а які на видачу напруги. Завершивши налаштування, програма входить у нескінченний цикл опитування.

Під час виконання блоку перевірки датчиків система збирає три ключові параметри: чи є напруга у міській мережі 220 В, чи достатньо природного освітлення в кімнаті, та чи присутня людина в зоні дії радара. Зібрані логічні стани передаються до обчислювального ядра, яке згідно із закладеною логікою приймає рішення про необхідний рівень штучного освітлення. Після видачі команди на силовий транзистор через ШІМ-контролер, програма миттєво повертається до збору нових даних. Завдяки високій тактовій частоті мікропроцесора (240 МГц) цей цикл повторюється тисячі разів на секунду, що забезпечує абсолютну непомітність перемикаць для людського ока та гарантує миттєву реакцію системи на зміну зовнішніх умов.

На рисунку 4.1 показано спрощений алгоритм роботи розроблюваної системи.

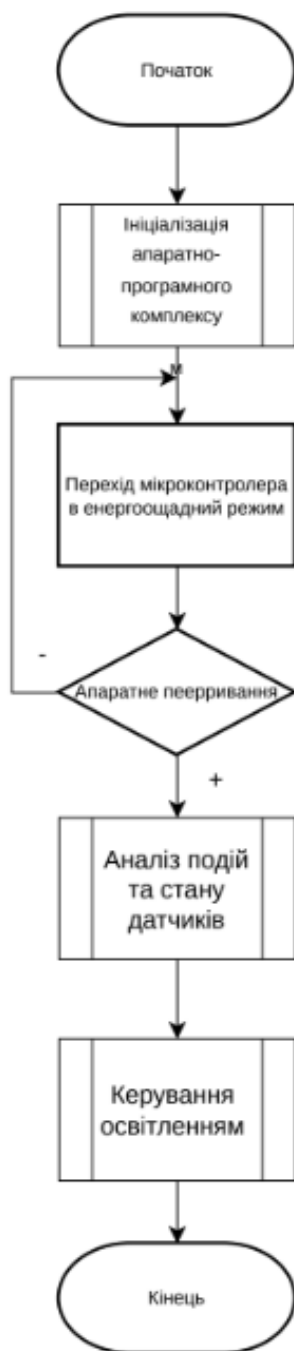


Рис. 4 1 Спрощена схема роботи алгоритму системи

Наступним етапом розглянемо блок ініціалізації та налаштування.

Графічне представлення алгоритму початкового налаштування пристрою на рисунку 4.2 ілюструє чітку лінійну послідовність операцій, яка виконується один раз під час запуску обчислювального ядра. Структура блок-

схеми відображає архітектурну послідовність підготовки апаратної периферії до роботи у безперервному циклі моніторингу.



Рис. 4 2 Алгоритм ініціалізації та налаштування

Як видно з розробленої схеми, першим виконавчим етапом після функціонального блока «Початок» є конфігурація напрямку роботи універсальних портів вводу-виводу (GPIO). Програма чітко розмежовує цифрові канали, призначаючи порт GPIO4 на роботу в режимі виходу для формування високочастотного ШІМ-сигналу, а порти GPIO5, GPIO14 та GPIO27 у режим входу для зчитування дискретних сигналів від зовнішніх модулів і сенсорів системи.

Наступний блок забезпечує апаратну безпеку силового контуру: на керуючому виводі GPIO4 примусово встановлюється низький логічний рівень (LOW). Це гарантує, що силове навантаження (світлодіодний світильник) буде гарантовано знеструмлене у процесі завантаження мікроконтролера, що виключає появу хаотичних спалахів світла.

Далі алгоритм передбачає ініціалізацію внутрішньої периферії LEDC мікроконтролера ESP32, яка відповідає за генерацію ШІМ. Задаються базові константи частоти 5 кГц та 8-бітної розрядності, а логічний канал прив'язується до фізичного виводу затвора транзистора. Після цього виконується блок конфігурації апаратних переривань для порту GPIO14, що дозволяє миттєво обробляти сигнали присутності від мікрохвильового радара позачергово.

Завершальним етапом перед переходом до основного циклу є блок ініціалізації інтегрованого бездротового модуля Bluetooth Low Energy (BLE). На цьому етапі мікроконтролер налаштовується як локальний BLE-сервер: створюються відповідні сервіси та характеристики для передачі стану датчиків і прийому керуючих команд зі смартфона. Після конфігурації запускається процес безперервної трансляції, завдяки якому мобільний пристрій користувача може виявити систему та встановити захищене з'єднання. Логічний овал «Кінець підпрограми» позначає успішне завершення налаштувань апаратної частини та передає керівний вплив головному нескінченному циклу програми.

Переходимо до перевірки стану датчиків та керування джерелом світла.(Рис.4.4)

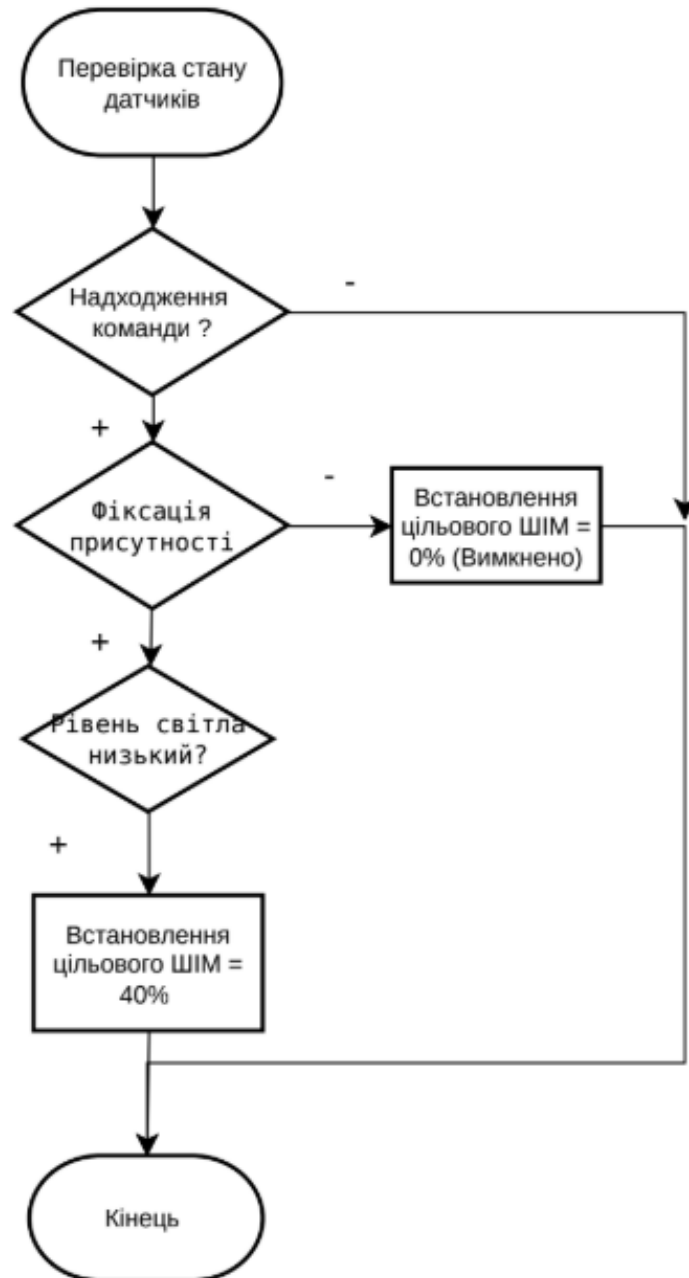


Рис. 4 4 Алгоритм перевірки стану датчиків

Логіка цього етапу побудована на принципі ієрархічної (пріоритетної) перевірки умов, що дозволяє максимально оптимізувати обчислювальне

навантаження на процесор та уникнути нецільового використання енергії портативної зарядної станції.

Графічна блок-схема основного циклу демонструє послідовну обробку станів трьох ключових інформаційних портів. Першочерговим завданням алгоритму є моніторинг стану первинної електромережі через порт GPIO5. Якщо система фіксує наявність напруги 220 В, алгоритм одразу генерує команду на встановлення нульової шпаруватості ШІМ-сигналу (вимкнення резервного освітлення). Подальше опитування інших датчиків у цій ітерації циклу блокується, оскільки об'єкт керування має бути знеструмлений у штатному режимі.

У разі реєстрації аварійного режиму (відсутності напруги 220 В), програма переходить до наступного рівня пріоритету, а саме перевірки рівня природної освітленості через порт GPIO27. Якщо компаратор модуля LM393 сигналізує про достатній рівень світла у приміщенні (світла пора доби), мікроконтролер також переводить виконавчий пристрій у вимкнений стан, ігноруючи можливі рухи користувачів задля збереження заряду акумулятора.

Лише за умови одночасного виконання двох базових критеріїв відсутності електроенергії та наявності темряви алгоритм активує гілку обробки сигналів мікрохвильового радара присутності (GPIO14). При фіксації мікрорухів обчислювальне ядро подає команду ШІМ-контролеру на плавне підвищення напруги на затворі транзистора IRLZ44N до робочого рівня та паралельно оновлює значення програмного таймера затримки.

Якщо радар перестає фіксувати присутність людини, алгоритм не вимикає освітлення миттєво. Замість цього запускається перевірка таймера бездіяльності. Доки ліміт часу (наприклад, 3 хвилини) не вичерпано, система підтримує поточний рівень освітлення, забезпечуючи комфорт користувача. Після закінчення відліку таймера мікроконтролер генерує серію ШІМ-імпульсів зі спадаючою шпаруватістю, що реалізує функцію плавного згасання світла, після чого цикл розпочинається заново.

Переходимо до останнього блоку алгоритму програми.(Рис.4.5)

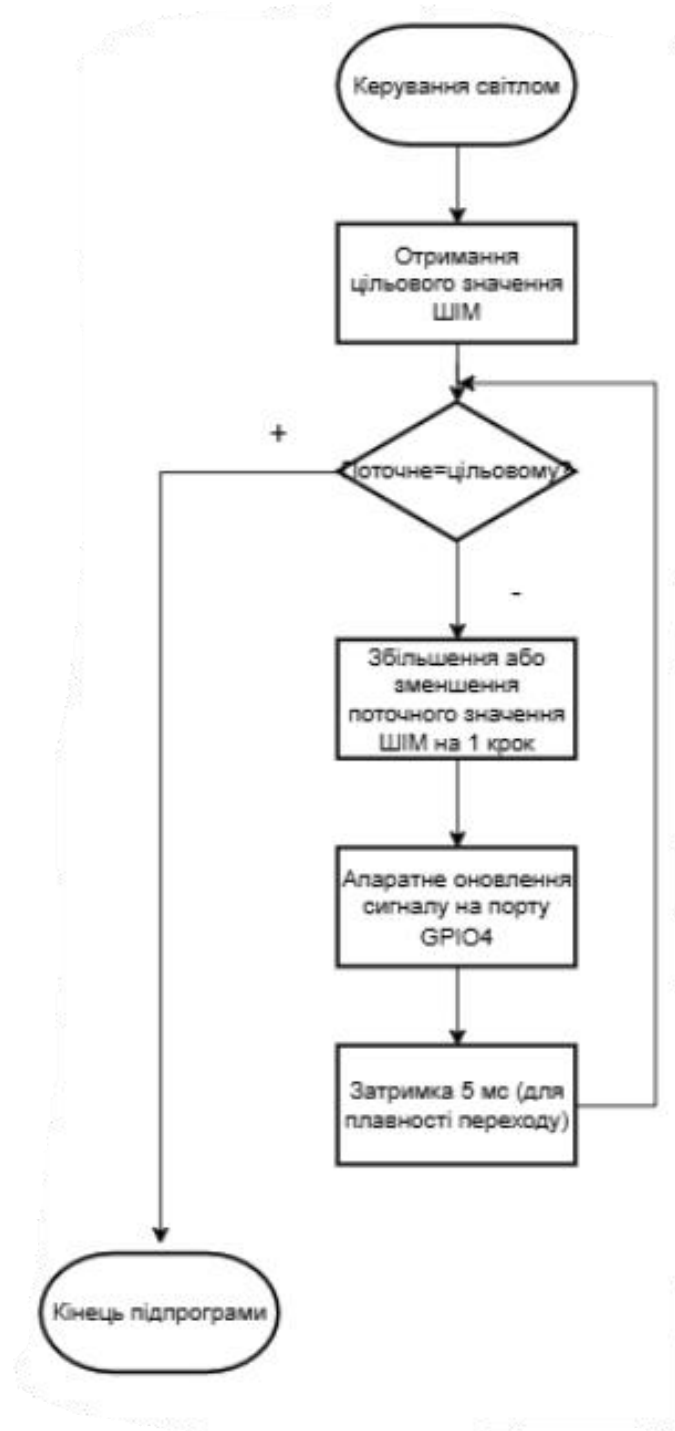


Рис. 4.5 Алгоритм керування світлом

Завершальним етапом програмної логіки є виконавчий алгоритм керування потужністю світлодіодного освітлення, який реалізується шляхом зміни параметрів широтно-імпульсної модуляції. Для забезпечення візуального комфорту користувача, а також для мінімізації пускових струмів,

що можуть негативно вплинути на ресурс портативної зарядної станції та надійність силового MOSFET-транзистора, у системі реалізовано алгоритм плавного димірування.

Прийняття рішень про необхідність зміни стану освітлення відбувається у головному циклі програми, проте безпосереднє застосування цих змін делеговано окремому виконавчому блоку. Алгоритм отримує цільове значення шпаруватості ШІМ (наприклад, 0 для вимкнення або 255 для максимальної яскравості у 8-бітному діапазоні) і порівнює його з поточним апаратним станом.

У разі виявлення розбіжності між цільовим та поточним рівнями, мікроконтролер ініціює цикл покрокового інкрементування або декрементування значення ШІМ. Кожна зміна параметрів на один біт супроводжується короткою програмною затримкою (наприклад, 5 мілісекунд). Згенерований цифровий код передається до апаратної периферії LEDC мікроконтролера ESP32, яка автоматично оновлює високочастотний сигнал на порту GPIO4.

Такий підхід розтягує процес увімкнення або вимкнення світла на 1-1.5 секунди. З технічного погляду це забезпечує поступове наростання струму в силовому контурі, повністю ліквідуючи електромагнітні перехідні процеси та знижуючи динамічне теплове навантаження на кристал транзистора IRLZ44N. Після досягнення поточним значенням ШІМ цільового показника, виконавчий алгоритм завершує свою роботу, і програма повертається до безперервного опитування сенсорної периферії.

Висновок до розділу

У цьому розділі дипломного проєкту розроблено програмно-алгоритмічне забезпечення комп'ютерно-інтегрованої системи адаптивного керування освітленням. Створена логічна структура повністю формалізує послідовність обчислювальних процесів від початкової конфігурації апаратних вузлів мікроконтролера ESP32 DevKit V1 до безперервного

моніторингу параметрів середовища та генерації керуючих впливів у режимі реального часу.

Обґрунтовано та реалізовано ієрархічний принцип опитування сенсорної периферії, безпосередньо спрямований на максимальне збереження енергоресурсу автономної зарядної станції. Впровадження пріоритетної перевірки стану промислової мережі 220 В та рівня природної освітленості на базі фоторезистора GL5528 дозволило програмно заблокувати нецільове увімкнення штучного світла у штатних умовах або у світлу пору доби, незалежно від фіксації руху. Організація обробки сигналів мікрохвильового радара присутності HLK-LD2410 за допомогою механізму апаратних переривань гарантує миттєву реакцію комплексу на появу людини та стабільне утримання освітлення при її тривалому статичному положенні.

З метою підвищення надійності та полегшення подальшого масштабування, програмне забезпечення мікроконтролера розроблено за модульним принципом (Рис. 4.1). Головний цикл програми реалізує енергоощадну подійно-орієнтовану архітектуру Event-driven. Замість ресурсомісткого безперервного опитування датчиків, мікроконтролер більшість часу перебуває у стані зниженого енергоспоживання Light Sleep. Вихід із цього стану ініціюється виключно зовнішніми апаратними перериваннями.

Логіка прийняття рішень винесена в окрему підпрограму аналізу подій (Рис. 4.3). Цей модуль працює за чіткою системою пріоритетів. Найвищий пріоритет має перевірка наявності напруги в основній електромережі: якщо мережа активна, резервне освітлення примусово деактивується. Наступним за пріоритетом є інтерфейс BLE, що дозволяє користувачу перехоплювати керування системою зі смартфона. В автономному режимі рішення про активацію силового каскаду приймається на основі логічного «І» між сигналами мікрохвильового радара (наявність присутності) та фоторезистора (недостатній рівень природної освітленості).

Завдяки використанню мікрохвильового сенсора з високою чутливістю до мікрорухів, з алгоритму було повністю вилучено програмні таймери утримання стану, які є обов'язковими для застарілих PIR-датчиків. Безпосереднє керування яскравістю LED-модулів (Рис. 4.4) реалізовано через інкрементальну зміну скважності ШІМ-сигналу, що забезпечує плавні перехідні процеси без різкого візуального навантаження на зір користувача.

Розроблений алгоритм, деталізований у вигляді послідовних етапів та графічної блок-схеми, повністю відповідає вимогам детермінованості й швидкодії. Він є вичерпною логічною архітектурою для безпосереднього переходу до практичного етапу написання програмного коду мікроконтролера та його верифікації в середовищі симуляції.

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ

Для підтвердження доцільності обраних апаратно-програмних рішень проведено комплексний енергетичний розрахунок розробленої системи керування освітленням.

5.1 Розрахунок часу автономної роботи у різних режимах

Розрахунок виконується з урахуванням коефіцієнта корисної дії (ККД) вбудованих DC-DC перетворювачів зарядної станції, який становить 0,9.

Основною метою розрахунку є визначення реального часу автономної роботи системи від обраного резервного джерела живлення портативної зарядної станції ємністю $E = 283$ Вт/год за різних сценаріїв використання, а також порівняння енергоефективності з альтернативними класичними рішеннями.

Базові показники споживання апаратних компонентів системи наведено у Таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Споживана потужність компонентів системи

Компонент	Напруга, В	Струм, А	Потужність, Вт
LED-світильник (ШИМ 100%)	12	0,833	10,00
ESP32 DevKit V1	3,3 / 5	0,080	0,10
Мікрохвильовий радар HLK-LD2410	5	0,050	0,25
Модуль фоторезистора LM393	3,3	0,015	0,05

Режим 1. Максимальне навантаження (ШИМ = 100%)

Цей режим активується або за прямою командою користувача через Bluetooth, або в автоматичному режимі. Сумарна споживана потужність усіх вузлів у піковому режимі становить:

$$P_{\max} = P_{\text{LED}} + P_{\text{ESP32}} + P_{\text{д1}} + P_{\text{д2}} \quad (5.1)$$

де:

$P_{\max}$ – сумарна споживана потужність системи у піковому режимі, Вт;

P_{LED} – максимальна споживана потужність LED – джерела (10,00 Вт);

P_{ESP32} – потужність споживання мікроконтролера ESP32 з активним модулем BLE (0,10 Вт);

$P_{\text{д1}}$ – потужність споживання датчика присутності (0,25 Вт);

$$P_{\max} = 10,00 + 0,10 + 0,25 + 0,05 = 10,40 \text{ Вт} \quad (5.2)$$

$P_{\text{д2}}$ – потужність споживання модуля освітленості (0,05 Вт).

$$T_1 = \frac{E \cdot \eta}{P_{\max}} \quad (5.3)$$

Розрахунковий час автономної роботи:

де:

T_1 – час автономної роботи в Режимі 1, год;

E – номінальна ємність портативної зарядної станції (283 Вт·год);

η – ККД вихідних DC – портів зарядної станції.

$$T_1 = \frac{283 \cdot 0,90}{10,40} \approx 24,5 \text{ год} \quad (5.4)$$

Режим 2. Базовий еко-режим (ШИМ = 40%)

Завдяки адаптивному алгоритму, система здатна обмежувати скважність ШІМ-сигналу. Цей рівень забезпечує достатню освітленість для роботи, суттєво знижуючи навантаження на акумулятор. Ефективна потужність LED-модуля та загальне споживання розраховуються як:

$$P_{\text{LED_eco}} = P_{\text{LED}} \cdot D \quad (5.5)$$

P_{LED_eco} – споживана потужність LED – джерела з урахуванням димірування, Вт;

D – скважність ШІМ – сигналу (для Режиму 2 становить 0,40);

P_{eco} – сумарна споживана потужність системи в еко – режимі, Вт.

$$P_{LED_eco} = 10,00 \cdot 0,40 = 4,00 \text{ Вт} \quad (5.6)$$

$$P_{eco} = 4,00 + 0,10 + 0,25 + 0,05 = 4,40 \text{ Вт} \quad (5.7)$$

Час автономної роботи :

$$T_2 = \frac{E \cdot \eta}{P_{eco}} = \frac{283 \cdot 0,90}{4,40} \approx 57,9 \text{ год} \quad (5.8)$$

Режим 3. Режим активного очікування (ШІМ = 0%)

Коли датчик присутності $d1$ фіксує відсутність людей, силова частина знеструмлюється. Споживання енергії йде виключно на підтримання роботи мікроконтролера та сенсорів:

$$P_{оч} = P_{ESP32} + P_{d1} + P_{d2} \quad (5.9)$$

де:

$P_{оч}$ – сумарна споживана потужність системи в режимі очікування, Вт.

Час збереження заряду в режимі очікування

$$T_3 = \frac{E \cdot \eta}{P_{оч}} = \frac{283 \cdot 0,90}{0,40} \approx 636,7 \text{ год} \approx 26,5 \text{ діб} \quad (5.10)$$

5.2 Порівняння показників системи з альтернативними рішеннями

Варто додати, що в ході розробки було прийнято рішення про перехід на керування саме через BLE, оскільки таке керування має перевагу у споживанні енергії. Зникає необхідність додаткового живлення роутера для використання Wi-Fi та сама технологія споживає менше енергії.

Користуючись формулами наведеними вище, але зі зміною значення потужності плати з 0,10 Вт на 0,25 Вт доведемо доречність такої зміни.

Режим 1 (ШІМ 100%) з Wi-Fi

Сумарна потужність зростає:

$$P_{\text{max_WiFi}} = 10,00 + 0,25 + 0,25 + 0,05 = 10,55 \text{ Вт}$$

$$T_{1_WiFi} = \frac{254,7}{10,55} \approx 24,1 \text{ год}$$

З BLE час становив 24,5 год, а це приблизна різниця у 24 хвилини.

Режим 2 (ШІМ 40%) з Wi-Fi

$$P_{\text{eco_WiFi}} = 4,00 + 0,25 + 0,25 + 0,05 = 4,55 \text{ Вт}$$

$$T_{2_WiFi} = \frac{254,7}{4,55} \approx 56,0 \text{ год}$$

З BLE час становив 57,9 год. Різниця вже майже у дві години.

Режим 3 (Очікування, ШІМ 0%) з Wi-Fi

Коли світло вимкнене, частка енергоспоживання Wi-Fi у загальному балансі стає домінуючою:

$$P_{\text{оч_WiFi}} = 0,25 + 0,25 + 0,05 = 0,55 \text{ Вт}$$

$$T_{3_WiFi} = \frac{254,7}{0,55} \approx 463 \text{ год} \approx 19,3 \text{ діб}$$

З BLE час становив 26,5 діб. Тут вже різниця понад 7 діб.

Що менше навантаження на силову частину LED, то сильніше впливає вибір протоколу зв'язку на загальну автономність. На максимальній яскравості перехід на BLE економить лише хвилини, але в режимах, де система проводить 90% свого життєвого циклу (Режим 2 та очікування), використання Wi-Fi призвело б до невиправданих втрат енергії зарядної станції.

Для доведення ефективності розробленої DC-системи проведено порівняння з традиційним підходом: використанням комп'ютерного джерела

безперебійного живлення (ДБЖ) потужністю 600 VA. Вихідні дані класичної системи:

$$\text{Ємність } E_{\text{ДБЖ}} = 12 \text{ В} \cdot 7 \text{ А} \cdot \text{год} = 84 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

$$\text{ККД інвертора при малих навантаженнях: } \eta_{\text{інв}} = 0,80.$$

$$\text{Власне споживання інвертора: } P_{\text{х.х.}} = 5 \text{ Вт}$$

$$\text{Навантаження (стандартна лампа без димірування): } P_{\text{лампа}} = 10 \text{ Вт}$$

Загальне споживання класичної системи:

$$P_{\text{ДБЖ_заг}} = P_{\text{лампа}} + P_{\text{х.х.}} \quad (5.11)$$

де:

$P_{\text{ДБЖ_заг}}$ – сумарна споживана потужність класичної системи, Вт;

$P_{\text{лампа}}$ – потужність джерела освітлення на 220 В;

$P_{\text{х.х.}}$ – втрати на холостий хід інвертора.

Час роботи класичної системи:

$$P_{\text{ДБЖ_заг}} = 10 + 5 = 15 \text{ Вт} \quad (5.12)$$

$$T_{\text{ДБЖ}} = \frac{E_{\text{ДБЖ}} \cdot \eta_{\text{інв}}}{P_{\text{ДБЖ_заг}}} \quad (5.13)$$

де:

$T_{\text{ДБЖ}}$ – розрахунковий час автономної роботи від ДБЖ, год

$$T_{\text{ДБЖ}} = \frac{84 \cdot 0,80}{15} \approx 4,48 \text{ год} \quad (5.14)$$

Розроблена комп'ютеризована DC-система в базовому режимі працює 57,9 годин проти 4,5 годин у класичного ДБЖ. Відмова від інвертора 220 В та застосування ШІМ-регулювання підвищили загальний час автономності у понад 12 разів.

ВИСНОВОК

У дипломному проєкті успішно вирішено актуальне технічне та соціально-економічне завдання з розробки та схемотехнічного проєктування комп'ютерно-інтегрованої системи енергоефективного керування освітленням з автоматичним резервуванням живлення в побутових умовах. На основі комплексного аналізу сучасних освітлювальних приладів та архітектур автономного енергозабезпечення було встановлено, що використання класичних джерел безперебійного живлення змінного струму супроводжується високими каскадними втратами потужності через топологію подвійної інвертації. Як найбільш перспективну та енергоефективну альтернативу для побутового сектору обґрунтовано інтеграцію напівпровідникових LED-джерел із прямим низьковольтним підключенням до автономних накопичувачів постійного струму.

Спроектована апаратна конфігурація пристрою базується на високоефективному мікроконтролері ESP32 DevKit V1 та раціональній топології розподілу енергії. Система підключається безпосередньо до штатних низьковольтних інтерфейсів портативної зарядної станції, де порт USB забезпечує живлення логічної частини напругою 5 В, а порт постійного струму силове світлодіодне навантаження напругою 12 В. Таке рішення дозволило повністю ліквідувати втрати на інвертування напруги, уникнути встановлення додаткових зовнішніх перетворювачів та ефективно задіяти вбудовані заводські фільтрувальні ємності відлагоджувальної плати для захисту від високочастотних завад бездротового модуля. Силу комутацію навантаження виконано за допомогою Logic-Level MOSFET транзистора IRLZ44N, увімкненого в розрив лінії заземлення світильника, із розрахунком захисної обв'язки кола затвора для запобігання динамічним перевантаженням та самовільному миготінню світла під час ініціалізації процесора.

Для інтелектуального моніторингу простору та усунення хибних спрацювань штучного світла в систему інтегровано завадостійку сенсорну

підсистему. Використання мікрохвильового радару присутності міліметрового діапазону HLK-LD2410 дозволило надійно фіксувати присутність людини за її мікрорухами та диханням навіть у абсолютно статичному положенні, а обробка його сигналів через апаратні переривання мікроконтролера забезпечила миттєву реакцію комплексу. Одночасно з цим модуль датчика освітленості на базі фоторезистора GL5528 та компаратора LM393 реалізує функцію апаратного блокування системи у світлу пору доби для максимального заощадження енергії автономного джерела.

Розроблений комплекс довів свою високу практичну та соціально-економічну доцільність для широкого кола побутових користувачів. Завдяки низькій собівартості елементної бази, простоті монтажу без необхідності глибокого втручання в існуючу домашню проводку та повному усуненню втрат на інвертування, створена система дозволяє в кілька разів подовжити час автономної роботи освітлення від однієї зарядної станції під час тривалих аварійних знеструмлень, гарантуючи користувачу високий рівень комфорту та енергонезалежності.

Список використаних джерел

1. Lighting — Energy System. *International Energy Agency (IEA)*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.iea.org/energy-system/buildings/lighting>
2. Поліщук В. М., Козак В. А. Енергозбереження та енергоефективність систем освітлення : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 142 с.
3. Порівняльний аналіз джерел світла. *5watt.ua*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://5watt.ua/uk/blog/statti/porivnyalni-analiz-dzherel-svitla>
4. Види лампочок та їх особливості. *Atmolight*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://atmolight.com.ua/vydy-lampochok/>
5. Галогенові лампи. *NVKarta*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://nvkarta.com/project/nusta/lamp>
6. Соколов В. І., Єпіфанов В. В. Електричні джерела світла та апаратура керування : навч. посіб. Харків : ХНУРЕ, 2019. 284 с.
7. Шумілін В. К. Світлодіодні системи освітлення: принципи побудови, енергоефективність та перспективи розвитку : монографія. Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2022. 180 с.
8. Довідник з освітлювальної техніки та енергозбереження / за ред. В. М. Поліщука. Київ : Політехніка, 2021. 312 с.
9. Павлов Г. В. Системи електроживлення та перетворювальна техніка : підручник. Миколаїв : НУК, 2020. 312 с.
10. Жаркін А. Ф., Палачов С. О. Енергетична ефективність каскадних напівпровідникових перетворювачів у системах гарантованого живлення. *Технічна електродинаміка*. 2022. № 4. С. 31–38.

- 11.Коваленко І. В. Інтелектуальні системи управління літійовими накопичувачами енергії: принципи побудови та алгоритми роботи. Львів : Новий Світ-2000, 2023. 198 с.
- 12.АВР (Автоматичне введення резерву): принцип роботи та переваги. *Електрик Суми*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://electric.sumy.ua/avtomatychne-vvedennia-rezervu-pryntsyp-roboty-ta-perevahy>
- 13.Манілов С. О., Попов В. А. Алгоритми функціонування мікропроцесорних пристроїв автоматичного введення резерву в локальних системах електропостачання. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. 2022. Вип. 61. С. 48–54.
- 14.Управління освітленням. *Vse-e*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://vse-e.com/ua/novosti/upravlenie-osveshcheniem-s-pomoshchiu-kakih-elementov-mozhno-upravliat-osveshcheniem-v-pomeshchenii>
- 15.Види та типи вимикачів світла. *Brille*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.brille.ua/ua/vidy-vyklyuchateley/>
- 16.Бойко В. І., Козаченко В. Ф. Мікропроцесорні системи керування в силовій електроніці та автоматиці : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 288 с.
- 17.Ковальчук О. В., Петренко І. О. Енергоощадне керування світлодіодним освітленням на базі алгоритмів широтно-імпульсної модуляції. *Технічна електродинаміка*. 2023. № 1. С. 62–68.
- 18.ESP32 Technical Reference Manual. *Espressif Systems*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://documentation.espressif.com/esp32_technical_reference_manual_en.pdf
- 19.Принцип роботи станції. *Гранд Інструмент*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://grandinstrument.ua/ua/info/zaryadnye-stancii-ispolzovanie-v-povsednevnoj-zhizni/>

- 20.Реле // Вікіпедія : вільна енциклопедія. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Реле>
- 21.AMS1117: 800mA Low Dropout Voltage Regulator. Datasheet. *Advanced Monolithic Systems*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf>
- 22.Технології теплового неруйнівного контролю. Лабораторний практикум: навчальний посібник / А.Г. Протасов, Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 90 с.
- 23.Спеціальні розділи математики: конспект лекцій : навч. посіб. / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко, В. М. Сокурено. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 192 с.
- 24.Муравйов О. В. Передача даних та сучасні методи обробки сигналів. Практикум: навчальний посібник / О. В. Муравйов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім.Ігоря Сікорського, 2022. – 55 с.
- 25.Статистичні методи визначення залежностей між випадковими величинами: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 115 с.
- 26.Комп'ютерне проєктування електронних схем. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / Р. М. Галаган ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 21,33 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 419 с.
- 27.Баженов В.Г. Електроніка. Лабораторний практикум: навчальний посібник / В. Г. Баженов, Є. Ф. Суслов, Ю. Ю. Лисенко, А.С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с.

28. Куц Ю.В. Новітні системи та технології: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко, А.С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 123 с.
29. Image Fusion as an Augmentation Method to Improve the Classification Efficiency of Thermal Images / D. Storozhyk, A. Protasov, I. Lysenko, Y. Steshenko, A. Alexiev // International Journal “NDT Days”, BSNDT: Bulgaria, 2025. – Volume 8, Issue 2. – 77-84 pp. ISSN: 2603-4018, eISSN: 2603-4646
30. Storozhyk D., A. Protasov, Y. Kuts, O. Muraviov, I. Lysenko, Y. Mirchev (2024) Enhancing neural network efficiency in automated image analysis for thermal nondestructive testing. Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Vol.54, pp. 242-252.
31. Практичний досвід застосування та аналіз ефективності різних магнітних суспензій / В.С. Якотюк, С.М. Глабець, Ю.Ю. Лисенко, А.С. Момот // Технічна діагностика і неруйнівний контроль, 2025, №4, стор. 44-48.
32. Analysis of eddy current probe signal model for structural monitoring of aircraft materials / I. Lysenko, Y. Kuts, V. Uchanin, Y. Mirchev // Transactions on Aerospace Research, Institute of Aviation: Poland, 2025. – Volume 3/2025 (280). – 1-10 pp. eISSN 2545-2835, DOI: <https://doi.org/10.2478/tar-2025-0010>.
33. Studies of EDDY current probes for inspection of aluminium alloy structure welds using smartphone-based flaw detector / G. Mook, V. Uchanin, Ju. Lysenko // The Paton Welding Journal, 2024, 12, 2024, pp. 42–48.
34. Investigation of the Impact of Limited Penetration Depth on the Effectiveness of Eddy Current Testing of Aluminum Alloys / V. Uchanin, I. Lysenko, Y. Kuts, Y. Mirchev // International Journal “NDT Days”, BSNDT: Bulgaria, 2024. – Volume 7, Issue 4. – 213-217 pp. ISSN: 2603-4018, eISSN: 2603-4646

35. Effectiveness of the technology of automated eddy current flaw detection with array probe / Iu. Lysenko, Yu. Kuts, Y. Mirchev, O.E. Levchenko, S.M. Glabets // The Paton Welding Journal, 2024, 11, 2024, pp. 30–35.
<https://doi.org/10.37434/tpwj2024.11.04>
36. Ефективність технології автоматизованої вихрострумової дефектоскопії з матричними перетворювачами / Лисенко Ю.Ю., Куц Ю.В., Мірчев Й., Левченко О.Е., Глабець С.М. // Технічна діагностика і неруйнівний контроль, 2024, №3, стор. 3-8.
37. Дослідження вихрострумових перетворювачів для контролю зварних швів конструкцій із алюмінієвих сплавів з використанням дефектоскопа на базі смартфона / Мок Г., Учанін В.М., Лисенко Ю.Ю. // Технічна діагностика і неруйнівний контроль, 2024, №3, стор. 32-38.
38. Evaluation Of Eddy Current Array Performance In Detecting Aircraft Component Defects / I. Lysenko, Y. Kuts, V. Uchanin, Y. Mirchev, O. Levchenko // Transactions on Aerospace Research, Institute of Aviation: Poland, 2024. –Volume 2/2024 (275). – 1-9 pp. eISSN 2545-2835, DOI: <https://doi.org/10.2478/tar-2024-0007>