

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Комп'ютерна система керування брудером

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-42
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Поліщук К.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Тини Є.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Пастух О. А.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«25» квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студента Поліщука Костянтина Ігоровича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система керування брудером

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

Затверджені наказом ректора від « 24 » квітня 2026 року № 4/9-188

2. Термін подання студентом завершеної роботи 17 червня

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

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

Вступ. 1. Аналіз технічного завдання

2. Проектна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

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

1. Структурна схема

2. Схема електрична принципова

3. Блок-схема алгоритму роботи

4. Результати розробки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>			

7. Дата видачі завдання 25.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>26.01 – 02.02</i>	
2.	<i>Робота над першим розділом «Аналіз технічного завдання»</i>	<i>03.02 – 15.02</i>	
3.	<i>Робота над другим розділом «Проектна частина»</i>	<i>20.04 – 25.04</i>	
4.	<i>Робота над третім розділом «Практична частина»</i>	<i>26.04 – 05.05</i>	
5.	<i>Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»</i>	<i>07.05 – 25.05</i>	
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>26.05 – 7.06</i>	
7.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>8.06 – 14.06</i>	
8.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>15.06 – 21.06</i>	
9.	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>24.06</i>	

Студент

_____ (підпис)

Поліщук К. І.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Луцик Н. С.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Поліщук К. І. Комп'ютерна система керування брудером: кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: комп'ютерна система, брудер, освітлення, ESP32, WebSocket, Інтернет речей, дистанційне керування, світлодіодний драйвер, димування 1–10 В.

У кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютерну систему керування брудером, призначену для автоматизації процесу керування освітленням під час вирощування молодняка птиці. Система забезпечує дистанційне налаштування параметрів освітлення, передачу даних через бездротову мережу Wi-Fi та виконання добових сценаріїв зміни яскравості.

Основою пристрою є мікроконтролер ESP32, який забезпечує підключення до зовнішньої системи керування за протоколом WebSocket, збереження налаштувань у енергонезалежній пам'яті та формування керуючого сигналу для світлодіодного драйвера. Для сумісності з промисловими системами освітлення використано інтерфейс димування 1–10В.

У роботі виконано проектування структурної схеми системи, розроблено схему електричну принципову, друковану плату та програмне забезпечення. Проведено виготовлення дослідного зразка, під час якого підтверджено коректність виконання сценаріїв, збереження налаштувань після перезапуску та дистанційного керування освітленням. Отримані результати підтверджують можливість використання розробленої системи для автоматизації керування освітленням у брудерах та інших об'єктах птахівництва.

ANNOTATION

Polishchuk K.I. Computer System for Brooder Control: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: computer system, brooder, lighting, ESP32, WebSocket, Internet of Things, remote control, LED driver, 1–10 V dimming.

The bachelor's graduation thesis is devoted to the development of a computer system for brooder control intended for automation of lighting management during poultry chick rearing. The developed system provides remote configuration of lighting parameters, wireless data transmission via Wi-Fi, and execution of daily lighting scenarios.

The system is based on the ESP32 microcontroller, which provides communication with an external control application using the WebSocket protocol, storage of settings in non-volatile memory, and generation of a control signal for an LED driver. To ensure compatibility with industrial lighting equipment, a 1–10 V dimming interface is used.

The structural diagram of the system, electrical schematic, printed circuit board, and software were developed. A prototype of the computer system was manufactured and tested. The obtained results confirmed correct execution of lighting scenarios, preservation of settings after restart, and remote control of lighting in real time.

The developed computer system can be used for automation of lighting control in brooders and other poultry facilities.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	10
1.1 Особливості вирощування молодняка птиці у брудерах.....	10
1.2 Системи освітлення брудерів	12
1.3 Аналіз сучасних систем автоматизації освітлення.....	14
1.3.1 Методи керування освітленням	15
1.3.2 Протоколи та технології передачі даних	16
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА.....	20
2.1 Розробка узагальненої структури системи керування освітленням брудера 20	
2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення.....	21
2.3 Проектування структури комп'ютерної системи керування брудером ...	24
2.4 Проектування програмно-апаратного комплексу	25
2.5 Розробка схеми електричної принципової	28
2.5.1 Блок живлення.....	29
2.5.2 Вузол гальванічної розв'язки	30
2.5.3 Вихідний вузол формування сигналу керування.....	31
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	33
3.1 Розробка апаратної частини комп'ютерної системи керуванням брудером 33	
3.1.1 Розробка схеми електричної в Altium Designer	33

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Поліщук К. І.</i>			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Луцик Н. С.</i>				6	
Реценз.		<i>Пастух О. А.</i>			ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Н. Контр.		<i>Тиш Е. В.</i>					
Затверд.		<i>Осухівська Г.М.</i>					
<i>Комп'ютерна система керування брудером</i>							

3.1.2	Проектування друкованої плати.....	33
3.2	Розробка програмного забезпечення	34
3.3	Складання зразка комп'ютерної системи керування брудером.....	42
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ..		48
4.1	Розрахунок штучного освітлення.....	48
4.2	Заходи, що забезпечують рішення питань електробезпеки	50
ВИСНОВКИ.....		53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		55
Додаток А Технічне завдання		
Додаток Б Перелік елементів		
Додаток В Лістинг коду		

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

ESP32 – Espressif 32-bit Microcontroller

GPIO – General Purpose Input/Output

IoT – Internet of Things

LED – Light Emitting Diode

NTP – Network Time Protocol

PWM – Pulse Width Modulation

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						8
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

У сучасному птахівництві значна увага приділяється автоматизації технологічних процесів, що дозволяє підвищити ефективність виробництва та забезпечити оптимальні умови утримання птиці. Використання комп'ютеризованих систем керування дає можливість зменшити вплив людського фактора, підвищити точність виконання технологічних операцій та забезпечити стабільність виробничих процесів.

Одним із важливих факторів, які впливають на ріст, розвиток та продуктивність молодняка птиці, є освітлення. На початкових етапах вирощування параметри освітлення безпосередньо впливають на споживання корму, рівень активності, формування добових біоритмів та загальний фізіологічний стан молодняка. Для забезпечення оптимальних умов утримання необхідно дотримуватися визначених режимів освітлення, які можуть змінюватися залежно від віку птиці та особливостей технології вирощування.

У багатьох господарствах керування освітленням виконується вручну або за допомогою простих таймерів, що не забезпечують достатньої гнучкості налаштувань та не дозволяють реалізовувати складні сценарії зміни освітленості протягом доби. Крім того, такі рішення ускладнюють оперативне внесення змін до режимів роботи та потребують постійного контролю з боку обслуговуючого персоналу.

У зв'язку з цим актуальним є розроблення комп'ютерної системи керування брудером, яка забезпечує автоматичне виконання сценаріїв освітлення, дистанційне налаштування параметрів роботи та збереження встановлених налаштувань. Використання такої системи дозволяє підвищити точність керування освітленням, забезпечити стабільні умови вирощування молодняка птиці та спростити експлуатацію обладнання.

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Особливості вирощування молодняка птиці у брудерах

Молодняк птиці після виведення потребує створення спеціальних умов утримання, які забезпечують його нормальний ріст, розвиток та адаптацію до навколишнього середовища. Для цього використовуються брудери - спеціалізовані конструкції або приміщення, призначені для утримання курчат, індичат, каченят та іншого молодняка в перші тижні життя. Зовнішній вигляд одного з варіантів конструкції брудера наведено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд брудера для вирощування молодняка птиці

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Поліщук К.І.</i>			<i>Аналіз технічного завдання</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>					10	
<i>Реценз.</i>		<i>Пастух О. А.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

У традиційних конструкціях брудерів часто використовуються лампи обігріву та освітлення без можливості автоматичного регулювання яскравості. Такий підхід не дозволяє реалізувати сценарне керування освітленням і призводить до менш ефективного використання електроенергії порівняно із сучасними світлодіодними системами, що підтримують функцію димування.

Основним призначенням брудера є підтримання оптимального мікроклімату, а саме освітлення. Від якості підтримання цього параметру безпосередньо залежить рівень виживання молодняка, швидкість його росту та загальний стан здоров'я.

На ранніх етапах розвитку птиця особливо чутлива до змін умов навколишнього середовища. Навіть незначні відхилення від рекомендованих параметрів можуть призвести до зниження активності, погіршення споживання корму, підвищення рівня стресу та виникнення захворювань [19]. Саме тому сучасні системи вирощування передбачають використання автоматизованих засобів контролю та керування параметрами мікроклімату.

Одним із найважливіших факторів функціонування брудера є освітлення. Світло виконує не лише функцію забезпечення видимості, а й безпосередньо впливає на фізіологічні процеси в організмі птиці. Освітлення визначає рівень активності молодняка, інтенсивність споживання корму та води, формування добових біоритмів і загальну поведінку поголів'я.

У сучасному птахівництві освітлення розглядається як окремий технологічний інструмент керування процесом вирощування. За рахунок зміни тривалості світлового дня та рівня освітленості можливо впливати на розвиток молодняка, забезпечуючи оптимальні умови його утримання на різних етапах росту.

Згідно з рекомендаціями провідних виробників бройлерної птиці Aviagen [17] та Cobb [18], у перші дні життя молодняка необхідно забезпечувати тривалий світловий день із високим рівнем освітленості. Такий режим сприяє швидкому знаходженню корму та води, рівномірному розвитку

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

поголів'я і зменшенню падежу. У подальшому тривалість освітлення та рівень яскравості поступово знижуються відповідно до віку птиці та технології вирощування. У сучасних системах утримання для реалізації таких режимів застосовуються автоматизовані системи керування освітленням, що дозволяють формувати добові сценарії роботи освітлювального обладнання.

1.2 Системи освітлення брудерів

Для забезпечення необхідних умов вирощування молодняка птиці в брудерах застосовуються різні системи освітлення, які відрізняються типом джерел світла, енергоефективністю, строком служби та можливостями керування. Вибір системи освітлення є важливим етапом проектування брудера, оскільки від нього залежать як умови утримання птиці, так і експлуатаційні витрати господарства [19].

Основними вимогами до систем освітлення брудерів є забезпечення необхідного рівня освітленості, рівномірний розподіл світла в зоні утримання молодняка, можливість зміни режимів освітлення та надійність роботи протягом тривалого часу. Крім того, сучасні системи повинні забезпечувати мінімальне енергоспоживання та підтримувати інтеграцію із засобами автоматизації.

Протягом розвитку птахівництва використовувалися різні типи освітлювального обладнання. Найбільш поширеними були лампи розжарювання та люмінесцентні лампи, які протягом багатьох років залишалися основними джерелами штучного освітлення. Однак із появою світлодіодних технологій значна частина традиційних рішень була замінена LED-системами, що мають вищу енергоефективність та розширені можливості керування.

У сучасних брудерах найбільшого поширення набули світлодіодні системи освітлення, які дозволяють реалізовувати регулювання яскравості,

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

сценарні режими роботи та автоматизоване керування параметрами освітлення.

Особливістю зорової системи птиці є здатність сприймати ширший спектральний діапазон світла порівняно з людиною. Завдяки тетрахроматичному зору птиця реагує не лише на видиму частину спектра, а й на ультрафіолетове випромінювання. Це впливає на орієнтацію в просторі, поведінку та фізіологічні процеси організму. У зв'язку з цим при організації освітлення в брудерах необхідно враховувати не лише рівень освітленості, але й характеристики світлового потоку.

Таблиця 1.1 – Вплив спектральних діапазонів світла на птицю

Спектральний діапазон	Довжина хвилі, нм	Вплив
Ультрафіолетовий	300–400	Молодняки краще знаходять їжу, сліди сечі комах або восковий наліт на фруктах та розпізнають статеві ознаки інших птахів.
Синій	400–500	Відповідає за загальну орієнтацію та правильні біологічні ритми (фотоперіодизм).
Зелений	500–560	У цій зоні знаходиться пік чутливості птиці. Заспокоює і стимулює ріст.
Червоний	600–750	Стимулює статеву зрілість, репродуктивну систему та покращує несучість дорослої птиці.

Крім спектрального складу світла, важливим параметром є відсутність мерехтіння світлового потоку. Через особливості зорової системи птиця здатна сприймати коливання освітленості, які залишаються непомітними для людини. Тому системи освітлення, що використовуються в брудерах, повинні забезпечувати стабільний світловий потік та підтримувати можливість плавного регулювання яскравості.

Тобто дослідження у сфері птахівництва свідчать, що параметри освітлення конкретно впливають на ріст молодняка, споживання корму, рівень стресу та загальну поведінку птиці. У зв'язку з цим системи освітлення розглядаються як один із засобів керування технологічним процесом вирощування.

1.3 Аналіз сучасних систем автоматизації освітлення

Сучасні системи освітлення дедалі частіше інтегруються із засобами автоматизації, що дозволяє забезпечити ефективне керування режимами роботи освітлювального обладнання. Використання автоматизованих систем керування дає можливість змінювати параметри освітлення відповідно до встановлених сценаріїв, часових графіків або поточних умов експлуатації.

У птахівництві автоматизація освітлення дозволяє реалізовувати добові цикли освітлення, плавну зміну яскравості світильників та віддалене керування параметрами роботи системи. Застосування сучасних засобів автоматизації сприяє покращенню умов утримання молодняка птиці, зниженню енергоспоживання та підвищенню надійності функціонування обладнання.

Розвиток мікроконтролерних платформ та бездротових технологій передачі даних дозволив створювати компактні та недорогі системи автоматизованого керування освітленням. Такі системи можуть забезпечувати

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						14
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

як локальне, так і дистанційне керування освітлювальним обладнанням із використанням комп'ютерів, мобільних пристроїв або вебінтерфейсів.

Для реалізації автоматизованого керування освітленням використовуються різні методи регулювання параметрів роботи світильників та технології передачі даних, які розглянуті далі.

1.3.1 Методи керування освітленням

У системах освітлення застосовуються різні методи керування, які відрізняються рівнем автоматизації, функціональними можливостями та складністю реалізації. Вибір конкретного методу залежить від вимог до технологічного процесу, необхідності зміни параметрів освітлення та умов експлуатації обладнання.

Найпростішим способом є ручне керування освітленням, при якому ввімкнення та вимкнення світильників здійснюється оператором за допомогою вимикачів або інших керувальних пристроїв. Основною перевагою такого підходу є простота реалізації, проте він не забезпечує автоматичного виконання заданих режимів роботи та потребує постійного втручання користувача.

Більш ефективним рішенням є керування за часовим графіком. У цьому випадку зміна режимів роботи освітлення відбувається автоматично відповідно до встановленого розкладу. Такий підхід дозволяє реалізувати добові цикли освітлення без участі оператора та забезпечити стабільність роботи системи.

Для задач, де необхідно змінювати не лише час роботи освітлення, а й рівень освітленості, застосовується сценарне керування. При такому підході система використовує набір часових міток, для кожної з яких задається відповідне значення яскравості. Це дозволяє формувати різні світлові режими залежно від потреб технологічного процесу та автоматично змінювати параметри освітлення протягом доби.

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						15
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Необхідність використання сценарного керування обумовлена тим, що потреби молодняка птиці змінюються залежно від віку та умов утримання. Для різних етапів вирощування можуть використовуватися різні режими освітлення, які відрізняються тривалістю світлового дня та рівнем освітленості. Автоматичне виконання таких програм дозволяє підтримувати необхідні умови утримання без постійного втручання оператора.

Важливою складовою сучасних систем освітлення є можливість регулювання яскравості світильників. На відміну від традиційного керування за принципом «увімкнено-вимкнено», димування дозволяє плавно змінювати рівень освітленості в широкому діапазоні. Завдяки цьому забезпечується більш гнучке налаштування режимів освітлення, знижується рівень стресу молодняка під час переходу між режимами та зменшується споживання електроенергії.

Для реалізації димування світлодіодних світильників використовуються різні методи, серед яких найбільш поширеними є широтно-імпульсна модуляція та керування за допомогою аналогового сигналу 1–10 В. Використання таких методів дозволяє точно регулювати яскравість освітлення та інтегрувати освітлювальне обладнання до автоматизованих систем керування.

Таким чином, використання сценарного керування та регулювання яскравості забезпечує підвищення ефективності роботи систем освітлення і дозволяє реалізувати світлові режими, необхідні для сучасних технологій вирощування молодняка птиці.

1.3.2 Протоколи та технології передачі даних

Ефективна робота сучасних систем автоматизації неможлива без надійного обміну даними між керувальними пристроями, виконавчим обладнанням та користувацькими інтерфейсами. Для цього використовуються різні технології передачі даних, які забезпечують взаємодію окремих

					КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

компонентів системи та дозволяють здійснювати локальне або віддалене керування.

У системах автоматизації освітлення можуть застосовуватися як дротові, так і бездротові технології зв'язку. До дротових рішень належать Ethernet, RS-485 та інші інтерфейси, які забезпечують високу надійність передачі даних і стійкість до зовнішніх впливів. Водночас використання дротових мереж потребує додаткових витрат на прокладання кабельних ліній та ускладнює модернізацію системи.

Бездротові технології зв'язку дозволяють значно спростити інтеграцію обладнання та забезпечити гнучкість побудови систем автоматизації. Найбільшого поширення набули Wi-Fi, Bluetooth та ZigBee. Кожна з цих технологій має свої особливості та сфери застосування.

Технологія Wi-Fi забезпечує високошвидкісний обмін даними та можливість інтеграції пристроїв у локальні комп'ютерні мережі. Завдяки широкому поширенню мережевої інфраструктури Wi-Fi активно використовується в системах дистанційного моніторингу та керування обладнанням. Крім того, дана технологія дозволяє реалізовувати взаємодію між мікроконтролерами, комп'ютерами та мобільними пристроями без застосування додаткових спеціалізованих засобів зв'язку.

Для передачі інформації через мережу використовуються різноманітні мережеві протоколи. Одним із сучасних рішень є протокол WebSocket, який забезпечує двосторонній обмін даними між клієнтом і сервером у режимі реального часу. На відміну від традиційних HTTP-запитів, WebSocket підтримує постійне з'єднання, що дозволяє оперативно передавати команди керування та отримувати інформацію про стан системи без необхідності постійного повторного підключення.

Використання технології Wi-Fi у поєднанні з протоколом WebSocket дозволяє реалізувати зручне дистанційне керування освітленням, забезпечити

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						17
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

швидкий обмін даними та спростити інтеграцію системи з вебінтерфейсами й іншими програмними засобами керування.

Окрім протоколів передачі даних між компонентами автоматизованої системи, важливу роль відіграють інтерфейси керування світлодіодними драйверами. Саме вони забезпечують зміну параметрів роботи світильників та реалізацію функції димування.

Для керування світлодіодним освітленням можуть використовуватися аналогові та цифрові інтерфейси. До найбільш поширених належать широтно-імпульсна модуляція (PWM), аналоговий інтерфейс 1–10 В, цифровий протокол DALI та протокол DMX512.

Широтно-імпульсна модуляція широко використовується в електронних пристроях та дозволяє регулювати яскравість шляхом зміни коефіцієнта заповнення імпульсного сигналу. Даний метод забезпечує високу точність регулювання, проте потребує сумісності між контролером та драйвером світильника.

Інтерфейс 1–10 В є одним із найбільш поширених способів димування світлодіодного освітлення. Регулювання яскравості здійснюється за допомогою аналогового сигналу, рівень якого визначає режим роботи драйвера. Перевагами такого підходу є простота реалізації, висока надійність та широка підтримка промисловими світлодіодними драйверами.

Протокол DALI є цифровим стандартом керування освітленням та забезпечує адресне керування окремими світильниками. Використання DALI дозволяє реалізовувати складні сценарії освітлення, проте потребує більш складного обладнання та налаштування системи.

Протокол DMX512 переважно застосовується в сценічному та декоративному освітленні. Він забезпечує швидку передачу великої кількості керувальних параметрів, однак для систем освітлення брудерів його функціональні можливості є надлишковими.

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						18
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

З огляду на вимоги до системи керування освітленням брудера доцільним є використання інтерфейсу 1–10 В, який поєднує простоту реалізації, можливість плавного регулювання яскравості та сумісність із промисловими світлодіодними драйверами.

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		19

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка узагальненої структури системи керування освітленням брудера

Для реалізації керування комп'ютерною системою освітлення брудера було розроблено узагальнену структуру, яка забезпечує дистанційне керування освітленням, виконання сценаріїв зміни яскравості та передачу керуючих сигналів до світлодіодного обладнання. На рисунку 2.1 наведено загальну схему системи керування освітленням брудера.

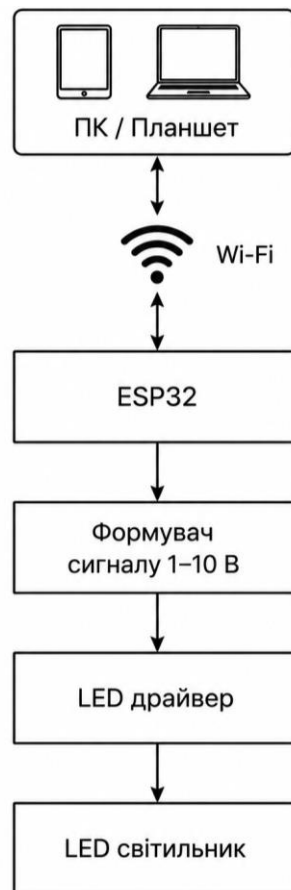


Рисунок 2.1 – Загальна схема системи керування освітленням брудера

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Поліщук К.І.</i>			<i>Проектна частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>					20	
<i>Реценз.</i>		<i>Пастух О. А.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

Система складається із зовнішньої системи керування - сервера, пристрою керування на базі мікроконтролера ESP32, вузла формування сигналу димування 1–10 В, світлодіодного драйвера та світлодіодного світильника.

Сервер керування призначений для формування сценаріїв освітлення та передачі параметрів роботи пристрою. Доступ до сервера може здійснюватися через персональний комп'ютер, вебдодаток або мобільний застосунок.

Передача даних між зовнішньою системою та пристроєм керування здійснюється через мережу Wi-Fi із використанням протоколу WebSocket. Такий підхід забезпечує двосторонній обмін даними в режимі реального часу та дозволяє оперативно змінювати параметри роботи освітлення.

Мікроконтролер ESP32 виконує приймання команд керування, обробку сценаріїв освітлення, зберігання налаштувань та формування сигналу керування яскравістю.

Для взаємодії зі світлодіодним драйвером використовується вузол формування сигналу димування 1–10 В. Даний вузол забезпечує перетворення сигналу керування мікроконтролера у стандартний аналоговий сигнал, який підтримується більшістю сучасних світлодіодних драйверів.

Світлодіодний драйвер виконує керування потужністю світильника відповідно до рівня сигналу димування, а світильник забезпечує освітлення зони утримання молодняка птиці.

Запропонована структура системи забезпечує можливість реалізації як режиму постійної яскравості, так і сценарного керування освітленням відповідно до технологічних вимог вирощування молодняка птиці.

2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення

Для реалізації пристрою керування освітленням брудера необхідно обрати апаратні компоненти, які забезпечать виконання функцій прийому команд керування, збереження налаштувань, формування керуючого сигналу

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						21
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

для світлодіодного драйвера та взаємодії із зовнішніми системами через комп'ютерну мережу. Основними вимогами до апаратного забезпечення є наявність бездротового інтерфейсу зв'язку, достатня обчислювальна потужність, підтримка аналогових виходів та можливість роботи в режимі реального часу.

Як центральний елемент пристрою було обрано мікроконтролер ESP32. Даний мікроконтролер поєднує достатню продуктивність, вбудовані засоби бездротового зв'язку та широкий набір периферійних інтерфейсів, що дозволяє реалізувати необхідний функціонал без використання додаткових мережевих модулів. В таблиці 2.1 наведено порівняння контролерів поширених для систем керування брудером.

Таблиця 2.1 – Порівняння характеристик мікроконтролерів

Характеристика	Arduino Uno	ESP8266	ESP32
Тактова частота, МГц	16	80	240
Flash пам'ять	32 КБ	4 МБ	до 16 МБ
SRAM	2 КБ	160 КБ	520 КБ
Wi-Fi	Ні	Так	Так
Bluetooth	Ні	Ні	Так
DAC	Ні	Ні	Так
PWM	Так	Так	Так
Робоча напруга, В	5	3,3	3,3
Кількість GPIO	14	17	до 34

Аналіз наведених характеристик показує, що мікроконтролер ESP32 має суттєві переваги порівняно з іншими розглянутими платформами. Наявність вбудованого модуля Wi-Fi дозволяє реалізувати обмін даними із зовнішньою системою керування без використання додаткового обладнання. Вбудований

PWM генератор забезпечує можливість формування цифрового керуючого сигналу, що є важливим для реалізації димування світлодіодних драйверів. Крім того, ESP32 має достатній обсяг пам'яті для збереження сценаріїв освітлення та підтримує виконання декількох задач одночасно.

Для забезпечення роботи пристрою використовується два незалежні джерела живлення. Такий підхід дозволяє розділити живлення цифрової та аналогової частин системи, що позитивно впливає на стабільність роботи пристрою та зменшує вплив завад.

Одне джерело живлення формує напругу 5 В та використовується для живлення мікроконтролера ESP32 і допоміжних цифрових вузлів пристрою. Друге джерело формує напругу 12 В та використовується для роботи вузла формування керуючого сигналу 1–10 В.

Використання окремого джерела живлення для аналогової частини системи дозволяє забезпечити стабільність формування керуючого сигналу та підвищити точність регулювання яскравості світлодіодного освітлення і досягнути гальванічної розв'язки керуючої та силової частини.

Для реалізації системи використовується світлодіодний драйвер із підтримкою керування за інтерфейсом 1–10 В. Драйвер забезпечує перетворення мережевої напруги в необхідний режим живлення світлодіодного світильника та виконує функцію регулювання яскравості відповідно до рівня керуючого сигналу.

Як джерело освітлення використовується світлодіодний світильник. Застосування LED-технології дозволяє отримати високу енергоефективність, тривалий термін служби та можливість плавного регулювання яскравості в широкому діапазоні.

Таким чином, було обґрунтовано вибір основних апаратних компонентів системи керування освітленням брудера. Обране обладнання забезпечує реалізацію бездротового керування, підтримку сценаріїв освітлення, формування сигналу димування 1–10 В та взаємодію зі світлодіодним освітлювальним обладнанням.

					КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Проектування структури комп'ютерної системи керування брудером

Для реалізації функцій керування освітленням було розроблено структуру пристрою керування, яка забезпечує приймання команд від сервера, обробку сценаріїв освітлення та формування керуючого сигналу для світлодіодного драйвера.

На рисунку 2.2 наведено структурну схему комп'ютерної системи керування освітленням брудером.

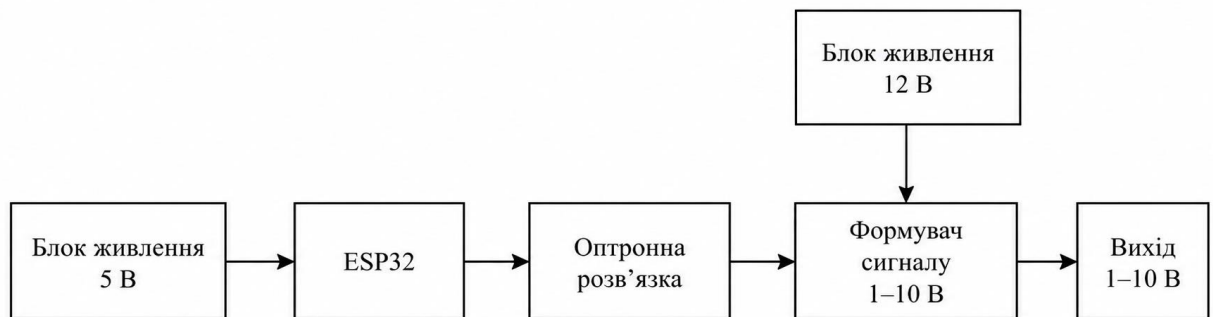


Рисунок 2.2 – Структурна схема комп'ютерної системи керування освітленням брудера

Побудова пристрою базується на використанні мікроконтролера ESP32, який виконує функції центрального керувального вузла системи.

Пристрій отримує дані від сервера через мережу Wi-Fi із використанням протоколу WebSocket. Отримані команди можуть містити як значення постійної яскравості, так і сценарії освітлення у вигляді набору часових міток та відповідних рівнів освітленості.

Після обробки отриманих даних мікроконтролер формує керуючий сигнал, який через вузол гальванічної розв'язки передається до схеми формування сигналу димування 1–10 В. Застосування оптронної розв'язки дозволяє відокремити цифрову та аналогову частини пристрою, підвищити завадостійкість та захистити мікроконтролер від можливих перенапруг.

Вузол формування сигналу 1–10 В забезпечує перетворення сигналу керування у формат, сумісний зі світлодіодними драйверами, які підтримують стандартний інтерфейс димування 1–10 В.

Для живлення системи використовуються два незалежні джерела живлення. Джерело напруги 5 В використовується для живлення мікроконтролера ESP32, а джерело напруги 12 В забезпечує роботу аналогової частини схеми формування сигналу димування.

Запропонована структура комп'ютерної системи забезпечує реалізацію дистанційного керування освітленням брудера, підтримку сценарних режимів роботи та сумісність із промисловими світлодіодними драйверами, що підтримують інтерфейс керування 1–10 В.

2.4 Проектування програмно-апаратного комплексу

Пристрій після подачі живлення виконує підключення до мережі Wi-Fi, синхронізує поточний час та встановлює з'єднання із зовнішньою системою керування через протокол WebSocket. Після встановлення з'єднання пристрій може отримувати сценарії освітлення та команди керування яскравістю світильника.

Отримані параметри зберігаються у внутрішній енергонезалежній пам'яті, що забезпечує відновлення налаштувань після перезавантаження пристрою.

Режими роботи пристрою:

- режим постійної яскравості (Коли користувач передає одне значення яскравості, пристрій формує відповідний керуючий сигнал та підтримує заданий рівень освітлення без змін у часі).
- сценарний режим (У сценарному режимі користувач передає набір часових міток та відповідних значень яскравості. Пристрій автоматично виконує зміну освітлення відповідно до встановленого розкладу).

Система підтримує до 12 часових точок протягом доби.

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						25
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Після повторного запуску система автоматично відновлює останній активний сценарій та продовжує роботу без необхідності повторного налаштування.

Для забезпечення коректного виконання часових сценаріїв у пристрої використовується вбудований модуль реального часу (RTC). Початкове встановлення поточного часу здійснюється через сервери точного часу мережі Інтернет після підключення до мережі Wi-Fi. Надалі відлік часу підтримується засобами мікроконтролера, що дозволяє виконувати зміну режимів освітлення відповідно до заданого розкладу.

Обмін даними між пристроєм та зовнішньою системою керування реалізовано за допомогою протоколу WebSocket. Використання даного протоколу забезпечує двосторонній обмін інформацією в режимі реального часу та дозволяє оперативно передавати нові сценарії освітлення, змінювати параметри роботи системи або отримувати інформацію про поточний стан пристрою.

Після завершення ініціалізації пристрій переходить у безперервний режим роботи. Основним завданням програмного забезпечення є приймання сценаріїв освітлення від зовнішньої системи керування, збереження отриманих даних та автоматичне виконання заданого режиму освітлення відповідно до поточного часу.

У процесі роботи мікроконтролер періодично визначає поточний час та виконує пошук останньої часової мітки сценарію, яка не перевищує поточне значення часу. Для знайденої часової мітки визначається відповідний рівень яскравості освітлення, після чого формується керувальний ШІМ-сигнал для подальшого регулювання світлодіодного драйвера.

У разі надходження нового сценарію через мережу Wi-Fi отримані дані зберігаються в енергонезалежній пам'яті EEPROM та одразу застосовуються до роботи системи. Завдяки цьому забезпечується автоматичне оновлення режимів освітлення без необхідності перезапуску пристрою.

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						26
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

На рисунку 2.3 наведено алгоритм роботи комп'ютерної системи керування освітленням брудера.



Рисунок 2.3 – Блок-схема алгоритму роботи комп'ютерної системи керування брудером

					КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Блок-схема відображає послідовність роботи комп'ютерної системи освітленням брудера. Після ініціалізації мікроконтролера виконується підключення до мережі Wi-Fi, синхронізація часу та завантаження збережених налаштувань із енергонезалежної пам'яті.

У процесі роботи комп'ютерна система підтримує обмін даними із зовнішньою системою керування через протокол WebSocket. Залежно від отриманих команд система може працювати в режимі постійної яскравості або виконувати сценарій освітлення, що складається з часових міток в добі та відповідних рівнів яскравості.

У сценарному режимі контролер постійно відстежує поточний час та виконує автоматичну зміну рівня освітлення відповідно до заданого розкладу. Сформований керуючий сигнал передається на вузол димування 1–10 В, який забезпечує регулювання яскравості світлодіодного драйвера.

Запропонований алгоритм дозволяє реалізувати автономну роботу системи, дистанційне налаштування режимів освітлення та автоматичне відновлення параметрів після перезапуску контролера.

2.5 Розробка схеми електричної принципової

Для реалізації комп'ютерної системи керування освітленням брудера було розроблено електричну принципову схему, яка забезпечує приймання команд керування через мережу Wi-Fi, формування PWM-сигналу керування, його гальванічну розв'язку та передачу до зовнішнього модуля димування світлодіодного драйвера.

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						28
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Схема електрична принципова комп'ютерної системи наведена на рисунку 2.4.

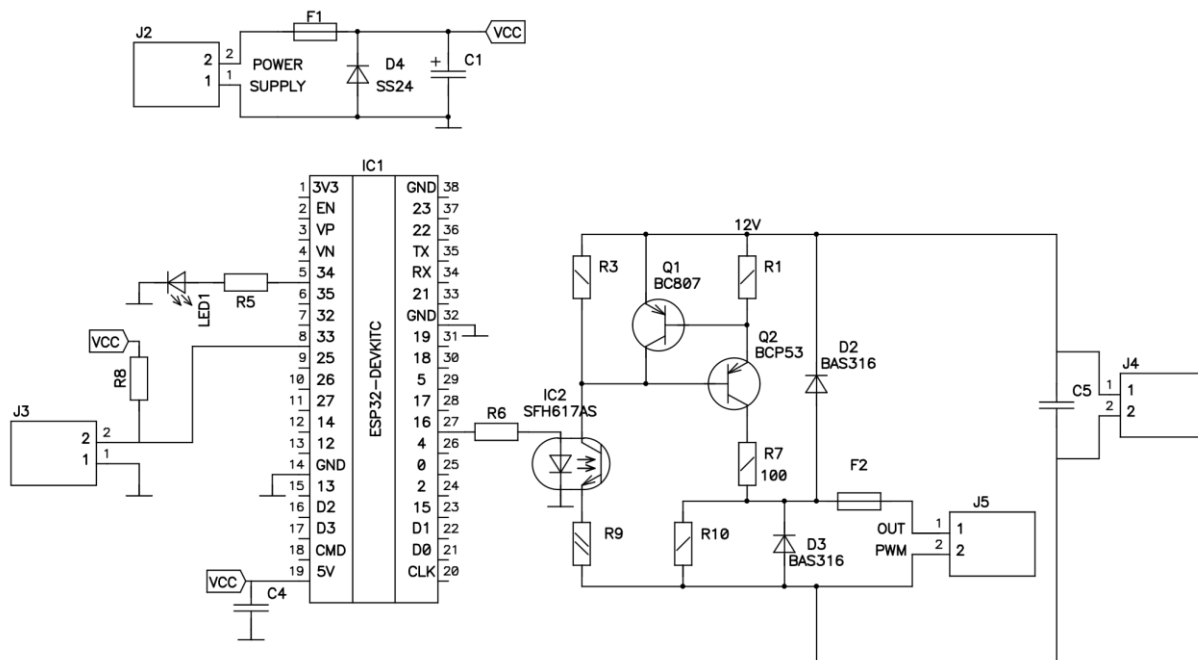


Рисунок 2.4 – Схема електрична принципова комп'ютерної системи керування освітленням брудера

Схема складається з блоку живлення, мікроконтролерного блоку на базі ESP32, вузла гальванічної розв'язки та вихідного транзисторного вузла формування PWM-сигналу керування. Взаємодія зазначених вузлів забезпечує дистанційне керування освітленням та виконання сценаріїв зміни яскравості.

2.5.1 Блок живлення

Для забезпечення стабільної роботи цифрової та аналогової частин пристрою використовується два незалежні джерела живлення.

Живлення мікроконтролера ESP32 здійснюється від джерела постійної напруги 5 В, підключеного через роз'єм J2. Для захисту від перевантажень використовується самовідновлюваний запобіжник F1 типу RXEF050-2. Захист від переполюсовки та імпульсних перенапруг реалізовано за допомогою діода

D4 типу SS24. Конденсатор C1 забезпечує згладжування пульсацій напруги живлення та підвищує стабільність роботи цифрової частини пристрою.

Для живлення вихідного транзисторного каскаду використовується окреме джерело напруги 12 В. Розділення цифрового та аналогового живлення дозволяє зменшити вплив завад та забезпечити стабільність формування керуючого PWM-сигналу.

2.5.2 Вузол гальванічної розв'язки

Для забезпечення електричного розділення цифрової та аналогової частин пристрою використовується вузол гальванічної розв'язки, побудований на оптроні SFH617AS. Фрагмент електричної схеми вузла наведено на рисунку 2.5.

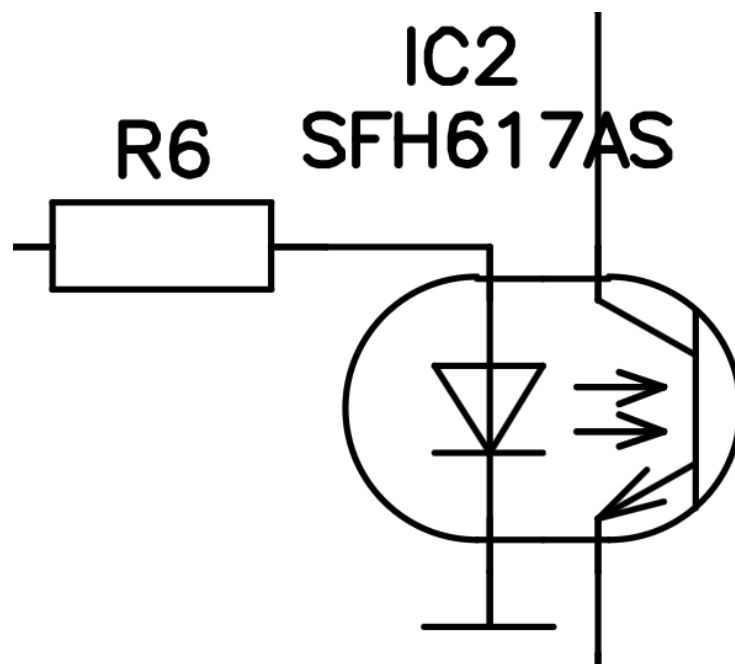


Рисунок 2.5 – Вузол гальванічної розв'язки

Керуючий сигнал формується мікроконтролером ESP32 за допомогою вбудованого PWM-генератора та через резистор R6 подається на світлодіод оптрона SFH617AS.

Оптрон забезпечує передачу сигналу між цифровою та аналоговою частинами схеми без прямого електричного з'єднання. Завдяки цьому

					КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшується вплив перешкод, виключається проходження небажаних струмів між окремими частинами пристрою та підвищується загальна надійність роботи системи.

Застосування гальванічної розв'язки є особливо важливим у системах автоматизації, де цифрові пристрої взаємодіють із зовнішніми виконавчими вузлами та джерелами живлення різних рівнів напруги.

2.5.3 Вихідний вузол формування сигналу керування

Для забезпечення керування світлодіодним драйвером у пристрої використовується вихідний вузол формування сигналу керування. Фрагмент електричної схеми вузла наведено на рисунку 2.6.

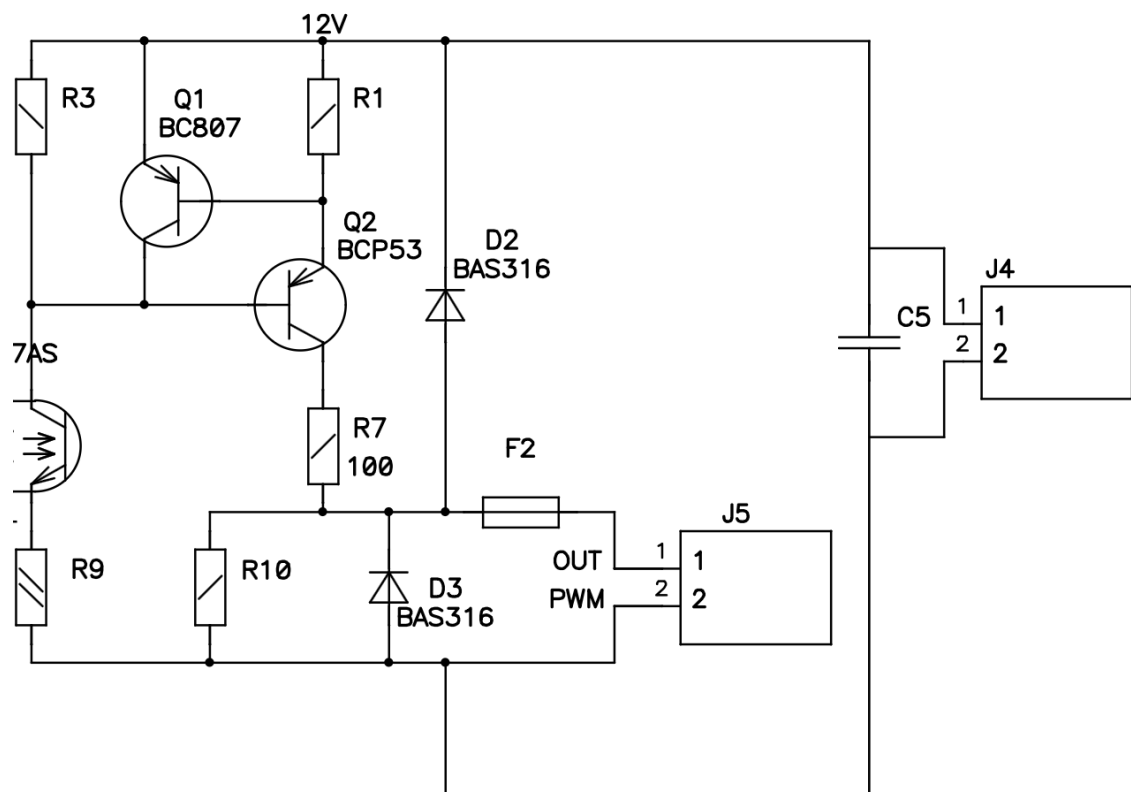


Рисунок 2.6 – Вихідний вузол формування сигналу керування

Основою вузла є транзистори Q1 типу BC807 та Q2 типу BCP53, які забезпечують формування вихідного керуючого сигналу відповідно до рівня сигналу, отриманого від вузла гальванічної розв'язки.

Сигнал від оптрона надходить на транзисторний каскад, який виконує узгодження рівнів сигналів та формування вихідного PWM-сигналу керування. Отриманий сигнал використовується для керування зовнішнім модулем димування світлодіодного драйвера. Використання транзисторного каскаду дозволяє забезпечити стабільне формування керуючого сигналу та його сумісність із зовнішніми модулями керування освітленням.

Резистори R1, R3, R7, R9 та R10 забезпечують необхідні режими роботи транзисторів, обмеження струмів та формування робочих точок схеми. Значення елементів були підібрані з урахуванням вимог до стабільності вихідного сигналу та особливостей роботи інтерфейсу димування.

Для захисту схеми від аварійних режимів роботи використовуються діоди D2 та D3 типу BAS316, які обмежують можливі перенапруги та підвищують надійність функціонування пристрою.

На виході вузла встановлено самовідновлюваний запобіжник F2 типу RXEF050-2, який забезпечує захист від перевантаження та короткого замикання у зовнішніх колах керування.

LED1 використовується для індикації роботи мікроконтролера та наявності живлення.

Сформований PWM-сигнал подається через роз'єм J5 на зовнішній модуль перетворення PWM у сигнал димування 1–10 В. Отриманий після перетворення сигнал використовується для керування світлодіодним драйвером та забезпечує регулювання яскравості освітлення відповідно до заданого режиму роботи або сценарію освітлення.

Запропонований вузол забезпечує формування керуючого PWM-сигналу, необхідного для реалізації дистанційного керування освітленням та виконання сценаріїв зміни яскравості. Використання зовнішнього модуля перетворення дозволяє забезпечити сумісність системи з промисловими світлодіодними драйверами, що підтримують інтерфейс димування 1–10 В.

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		32

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка апаратної частини комп'ютерної системи керуванням брудером

3.1.1 Розробка схеми електричної в Altium Designer

Для розробки схеми електричної принципової пристрою було використано систему автоматизованого проєктування Altium Designer. Дане програмне забезпечення дозволяє створення електричних схем, проєктування друкованих плат, перевірку коректності з'єднань та підготовку виробничої документації.

На схемотехнічному етапі було створено схему електричну принципову пристрою керування освітленням брудера, яка зображена на рисунку 2.4 До складу схеми увійшли мікроконтролер ESP32, вузол гальванічної розв'язки на базі оптрона SFH617AS, вузол формування сигналу димування 1–10 В, а також елементи живлення та захисту. Засобами Altium Designer також було генеровано необхідну інформацію для подальшого проєктування друкованої плати.

3.1.2 Проєктування друкованої плати

Після завершення розробки електричної схеми було виконано проєктування друкованої плати комп'ютерної системи. Перед початком трасування було сформовано перелік компонентів та виконано перенесення інформації зі схеми до редактора друкованих плат Altium Designer.

Для зменшення вартості виготовлення та спрощення монтажу було обрано односторонню друковану плату. Розташування компонентів та трасування провідників виконано таким чином, щоб забезпечити необхідні

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Поліщук К.І.</i>			<i>Практична частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>					33	
<i>Реценз.</i>		<i>Пастух О. А.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

електричні з'єднання без використання додаткових шарів металізації. Особливу увагу було приділено розділенню цифрової та аналогової частин схеми, оскільки пристрій містить як мікроконтролерний вузол, так і аналоговий каскад формування сигналу димування 1–10 В.

Зовнішній вигляд друкованої плати після завершення трасування наведено на рисунку 3.1.

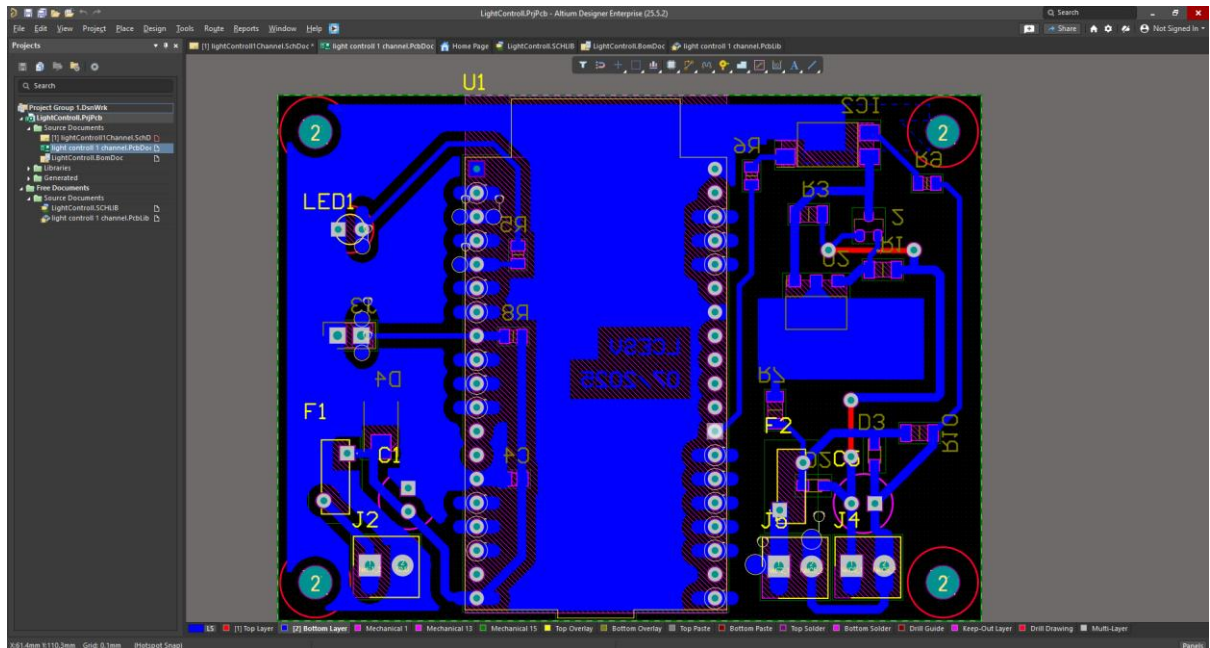


Рисунок 3.1 – Друкована плата пристрою в середовищі Altium Designer

Плата містить усі необхідні вузли для реалізації функцій керування освітленням брудера та підготовлена до виготовлення і монтажу електронних компонентів.

3.2 Розробка програмного забезпечення

Програмне забезпечення пристрою розроблено мовою програмування C++ з використанням середовища Arduino IDE. Основним призначенням програмного забезпечення є забезпечення бездротового обміну даними із зовнішньою системою керування, виконання сценаріїв освітлення, формування керуючого сигналу димування та збереження налаштувань

					КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

користувача.

Програма реалізована для мікроконтролера ESP32 та використовує вбудовані можливості бездротового зв'язку, генератор PWM сигналу і роботи з енергонезалежною пам'яттю.

Для реалізації необхідного функціоналу у програмному забезпеченні використано бібліотеки WiFi.h, WebSocketsClient_Generic.h, EEPROM.h та time.h. Використання зазначених бібліотек дозволяє забезпечити підключення пристрою до бездротової мережі, обмін даними із сервером керування за протоколом WebSocket, збереження налаштувань у енергонезалежній пам'яті та синхронізацію поточного часу.

Структура програмного забезпечення побудована за модульним принципом. Основними функціональними модулями є модуль мережевої взаємодії, модуль обробки сценаріїв освітлення, модуль формування сигналу димування та модуль збереження налаштувань. Такий підхід спрощує підтримку програмного забезпечення та подальше розширення функціональних можливостей системи.

Для забезпечення взаємодії пристрою із зовнішньою системою керування використовується бездротове підключення до мережі Wi-Fi. Після запуску мікроконтролер ESP32 виконує автоматичне підключення до попередньо налаштованої бездротової мережі, що забезпечує доступ до сервера керування та можливість подальшого обміну даними. Фрагмент програмного коду, який реалізує підключення до мережі Wi-Fi, наведено на рисунку 3.2.

```
WiFi.begin(ssid, password);
Serial.print("📶 Підключення до Wi-Fi...");
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(500);
  Serial.print(".");
}
Serial.println("\n✅ Wi-Fi підключено!");
Serial.print("🌐 IP ESP32: "); Serial.println(WiFi.localIP());
```

Рисунок 3.2 – Лістинг коду підключення до мережі Wi-Fi

Наведений фрагмент коду виконує ініціалізацію підключення до бездротової мережі та очікує успішного встановлення з'єднання. Після отримання доступу до мережі пристрій переходить до виконання наступних етапів ініціалізації програмного забезпечення.

Для забезпечення двостороннього обміну даними між комп'ютерною системою керування брудером та сервером використовується протокол WebSocket. Даний протокол дозволяє підтримувати постійне мережеве з'єднання між клієнтом та сервером і забезпечує передачу даних у режимі реального часу. Фрагмент програмного коду, який реалізує ініціалізацію WebSocket-з'єднання, наведено на рисунку 3.3.

```
websocket.begin(host, port, "/");  
websocket.onEvent(webSocketEvent);  
websocket.setReconnectInterval(5000);  
websocket.enableHeartbeat(3000, 1000, 2);
```

Рисунок 3.3 – Лістинг коду ініціалізації WebSocket-з'єднання

Наведений фрагмент коду виконує підключення до WebSocket-сервера, реєстрацію функції обробки подій та налаштування автоматичного відновлення з'єднання у випадку його втрати. Для контролю роботоздатності каналу зв'язку використовується механізм Heartbeat, який забезпечує періодичну перевірку активності з'єднання.

Після встановлення WebSocket-з'єднання комп'ютерної системи керування брудером переходить до режиму обробки команд, які надходять від сервера керування. Для цього використовується функція webSocketEvent(), яка забезпечує обробку подій підключення, відключення та отримання повідомлень. Фрагмент програмного коду наведено на рисунку 3.4.

```

// ===== WebSocket події =====
void websocketEvent(WStype_t type, uint8_t * payload, size_t length) {
    switch (type) {
        case WStype_DISCONNECTED:
            Serial.println("✂ Відключено від WebSocket сервера");
            break;
        case WStype_CONNECTED:
            Serial.println("🔗 Підключено до WebSocket сервера");
            websocket.sendTXT("channel:" + String(espTechZone));
            break;
        case WStype_TEXT: {
            String msg = String((char*)payload);
            Serial.printf("📧 Отримано: %s\n", msg.c_str());
            parseNewData(msg);
            websocket.sendTXT("OK");
            break;
        }
    }
}
}
}

```

Рисунок 3.4 – Лістинг функції обробки подій WebSocket

Функція `websocketEvent()` забезпечує обробку основних подій WebSocket-з'єднання. При встановленні з'єднання виконується реєстрація контролера на сервері шляхом передачі ідентифікатора каналу керування. У випадку втрати зв'язку фіксується подія відключення, після чого механізм автоматичного перепідключення забезпечує відновлення роботи системи.

При отриманні текстових повідомлень виконується аналіз вмісту отриманих даних. Залежно від типу повідомлення контролер може передавати інформацію про поточний стан освітлення, надсилати активний сценарій або виконувати обробку нових параметрів керування. Завдяки цьому забезпечується двосторонній обмін даними між сервером та комп'ютерною системою керування освітленням у режимі реального часу.

Основною функцією розробленого програмного забезпечення є підтримка сценарного керування освітленням. Для цього користувач може передавати набір добових часових міток та відповідних значень яскравості, які

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зберігаються у пам'яті пристрою та використовуються для автоматичної зміни освітлення відповідно до заданого розкладу. Обробка отриманих даних реалізована у функції `parseNewData()`, фрагмент якої наведено на рисунку 3.5.

```
// ===== Парсинг даних =====
void parseNewData(String data) {
    int values[24];
    int index = 0;

    while (data.length() > 0 && index < 24) {
        int commaIndex = data.indexOf(',');
        if (commaIndex == -1) commaIndex = data.length();
        String token = data.substring(0, commaIndex);

        if (token != "null") values[index++] = token.toInt();
        else values[index++] = -1;

        data = (commaIndex < data.length()) ? data.substring(commaIndex + 1) : "";
    }

    int validPairs = 0;
    for (int i = 0; i < 12; i++) {
        if (values[i * 2] >= 0 && values[i * 2 + 1] >= 0) {
            fromMin[validPairs] = values[i * 2];
            brightnessScenario[validPairs] = values[i * 2 + 1];
            validPairs++;
        }
    }
    for (int i = validPairs; i < 12; i++) {
        fromMin[i] = -1;
        brightnessScenario[i] = 0;
    }

    if (validPairs > 0) {
        saveScenarioToEEPROM();
        applyScenarioNow();
        Serial.printf("📄 Сценарій оновлено (%d пар)\n", validPairs);
    } else {
        Serial.println("⚠ Не знайдено жодної валідної пари");
    }
}
}
```

Рисунок 3.5 – Лістинг функції обробки сценарію освітлення

У функції виконується аналіз отриманих від сервера даних та визначення режиму роботи системи. Якщо повідомлення містить одне значення яскравості, пристрій переходить у режим постійного підтримання заданого рівня освітлення. У випадку отримання набору добових часових

					КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

міток та відповідних значень яскравості формується сценарій освітлення, який зберігається у пам'яті контролера для подальшого виконання.

Після обробки отриманих параметрів виконується визначення необхідного рівня освітлення відповідно до поточного часу та оновлення керуючого сигналу для світлодіодного драйвера.

Для забезпечення автоматичного відновлення параметрів роботи після вимкнення живлення у програмному забезпеченні реалізовано механізм збереження налаштувань в енергонезалежній пам'яті EEPROM. У пам'яті зберігаються поточний режим роботи комп'ютерної системи керування, значення яскравості та параметри сценарію освітлення.

Запис даних до EEPROM виконується після отримання нових параметрів від сервера керування. Фрагмент програмного коду, який реалізує збереження налаштувань, наведено на рисунку 3.6.

```
// ===== EEPROM =====  
void saveScenarioToEEPROM() {  
    for (int i = 0; i < 12; i++) {  
        uint8_t val = (fromMin[i] >= 0) ? fromMin[i] / 2 : 255;  
        EEPROM.write(i, val);  
        EEPROM.write(12 + i, brightnessScenario[i]);  
    }  
    EEPROM.commit();  
    Serial.println("📁 Сценарій збережено в EEPROM");  
}
```

Рисунок 3.6 – Лістинг функції збереження налаштувань у EEPROM

Функція `saveScenarioToEEPROM()` забезпечує запис поточних параметрів роботи контролера до енергонезалежної пам'яті. У EEPROM зберігаються часові мітки сценарію освітлення та відповідні значення яскравості, необхідні для автоматичного відновлення роботи системи після перезапуску. Після запису даних виконується команда `EEPROM.commit()`, яка завершує процес збереження інформації.

Для відновлення параметрів роботи після перезапуску контролера використовується функція `loadScenarioFromEEPROM()`, яка виконує зчитування раніше збережених даних з енергонезалежної пам'яті. Фрагмент програмного коду наведено на рисунку 3.7.

```
void loadScenarioFromEEPROM() {
    for (int i = 0; i < 12; i++) {
        uint8_t val = EEPROM.read(i);
        fromMin[i] = (val == 255) ? -1 : val * 2;
        brightnessScenario[i] = EEPROM.read(12 + i);
    }
    Serial.println("📁 Сценарій завантажено з EEPROM");
}
```

Рисунок 3.7 – Лістинг функції завантаження налаштувань з EEPROM

Функція `loadScenarioFromEEPROM ()` виконує зчитування раніше збережених параметрів із пам'яті EEPROM під час запуску контролера. Після завантаження даних система автоматично відновлює останній активний режим роботи. Функція `loadScenarioFromEEPROM()` виконує зчитування раніше збережених часових міток та значень яскравості із пам'яті EEPROM під час запуску контролера. Після завантаження даних система автоматично визначає необхідний рівень освітлення відповідно до поточного часу та продовжує виконання останнього активного сценарію.

Завдяки використанню EEPROM забезпечується збереження налаштувань навіть після повного вимкнення живлення, що підвищує автономність та зручність експлуатації системи керування освітленням.

Для керування яскравістю світлодіодного світильника у програмному забезпеченні реалізовано функцію `setBrightnessPWM()`, яка забезпечує формування сигналу керування за допомогою вбудованого PWM генератора в мікроконтролері ESP32.

					КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фрагмент програмного коду наведено на рисунку 3.8.

```
// ===== ЛОГІКА ЯСКРАВОСТІ =====  
void setBrightnessPWM(int percent) {  
    percent = constrain(percent, 0, 100);  
  
    if (percent == lastBrightness) return;  
    lastBrightness = percent;  
  
    int duty = map(percent, 0, 100, 255, 0);  
    ledcWrite(PWM_CHANNEL, duty);  
  
    if (percent <= 0)  
        Serial.println("💡 OFF");  
    else  
        Serial.printf("💡 %d%% -> PWM duty %d\n", percent, duty);  
}
```

Рисунок 3.8 – Лістинг функції формування сигналу керування яскравістю

Функція `setBrightnessPWM()` призначена для встановлення необхідного рівня яскравості освітлення. На початку роботи виконується обмеження допустимого діапазону значень від 0 до 100 %, що виключає можливість формування некоректних параметрів керування.

Сформоване значення передається на вихід GPIO-16 мікроконтролера за допомогою функції `ledcWrite()`; Отриманий сигнал надходить до вузла формування сигналу димування 1–10 В, який забезпечує керування світлодіодним драйвером відповідно до встановленого рівня освітлення. Частота PWM-сигналу становить 400 Гц, а роздільна здатність — 8 біт.

Після завершення ініціалізації всі основні функції контролера виконуються в головному циклі програми `loop()`. У даному циклі забезпечується підтримка WebSocket-з'єднання, контроль виконання сценаріїв освітлення та автоматична зміна яскравості відповідно до поточного часу.

					КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Фрагмент програмного коду наведено на рисунку 3.9.

```
// ===== LOOP =====  
void loop() {  
  websocket.loop();  
  
  static int prevMinute = -1; // Остання оброблена хвилина  
  struct tm timeinfo;  
  if (getLocalTime(&timeinfo)) {  
    int nowMin = timeinfo.tm_hour * 60 + timeinfo.tm_min;  
    if (nowMin != prevMinute) {  
      prevMinute = nowMin;  
      applyScenarioNow();  
    }  
  }  
}
```

Рисунок 3.9 – Лістинг основного циклу роботи програми

У головному циклі програми виконується обслуговування WebSocket-з'єднання та контроль виконання сценарію освітлення. У головному циклі програми виконується обслуговування WebSocket-з'єднання та періодична перевірка поточного часу. Після зміни хвилини викликається функція `applyScenarioNow()`, яка визначає необхідний рівень яскравості відповідно до активного сценарію та формує керуючий PWM-сигнал для світлодіодного драйвера.

3.3 Складання зразка комп'ютерної системи керування брудером

Після завершення розробки схеми електричної, друкованої плати та програмного забезпечення було здійснено складання зразка комп'ютерної системи керування брудера. Складання включало: монтаж електронних компонентів, встановлення джерел живлення, програмування мікроконтролера та монтаж структурних елементів в корпус.

Монтаж електронних компонентів виконувався відповідно до

					КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розробленої схеми електричної принципової. На друкованій платі було встановлено мікроконтролер ESP32, елементи вузла гальванічної розв'язки, вузла формування сигналу димування 1–10 В, а також роз'єми підключення зовнішніх кіл.

На рисунку 3.10 наведено зразок системи керування брудера.

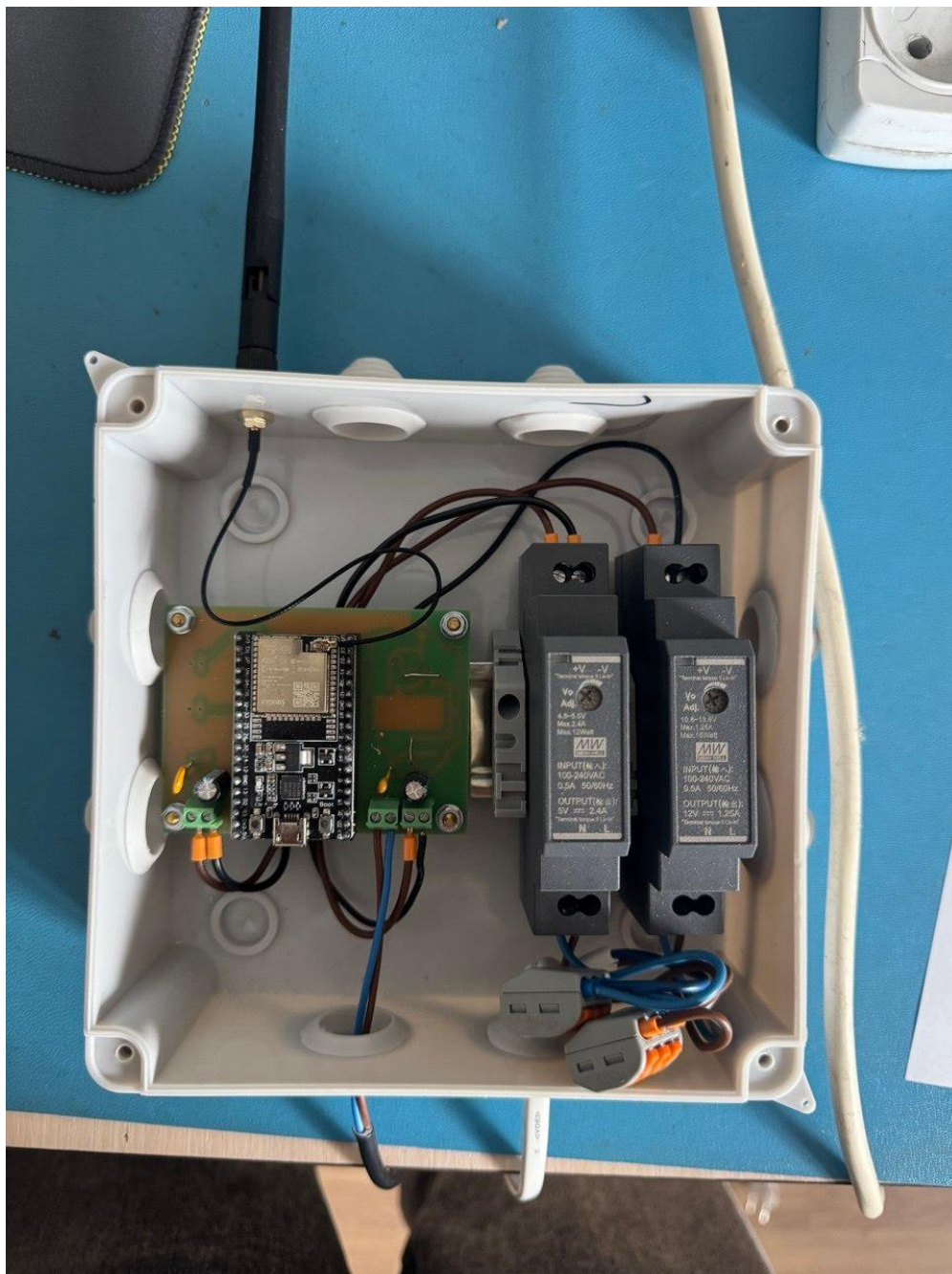


Рисунок 3.10 – Загальний вигляд зразка комп'ютерної системи брудера

Для розміщення електронних компонентів використано пластиковий

					КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

монтажний корпус. Усередині корпусу встановлено друковану плату з мікроконтролером ESP32 та два незалежні джерела живлення, які забезпечують окреме живлення цифрової та аналогової частин системи. Також використано модуль перетворення PWM-сигналу в інтерфейс керування 1–10 В.

Для забезпечення бездротового зв'язку використовується зовнішня антена Wi-Fi. Підключення зовнішніх кіл живлення та керування здійснюється через кабельні вводи та клемні з'єднання, розташовані в корпусі системи.

Після завершення складання до мікроконтролера було завантажено розроблене програмне забезпечення та виконано попередню перевірку роботоздатності основних вузлів системи. Отриманий дослідний зразок було підготовлено до проведення функціональних випробувань, результати яких наведено далі.

3.4 Тестування комп'ютерної системи керування брудером

Для проведення тестування розробленої системи було використано спеціалізований програмний застосунок, розроблений для керування системою освітлення брудера. Додаток встановлено на планшетному комп'ютері та використано для формування сценаріїв освітлення, зміни рівня яскравості та контролю роботи комп'ютерної системи. Отже було сформовано сценарій освітлення для молодняка птиці першого тижня життя. Сценарій містить 12 часових міток, які визначають моменти зміни рівня освітлення протягом доби та забезпечують плавний перехід між світлим і темним періодами. Введення параметрів сценарію здійснюється за допомогою програмного застосунку, встановленого на планшетному комп'ютері.

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						44
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Інтерфейс програмного застосунку із заданим сценарієм зображено на рисунку 3.11.

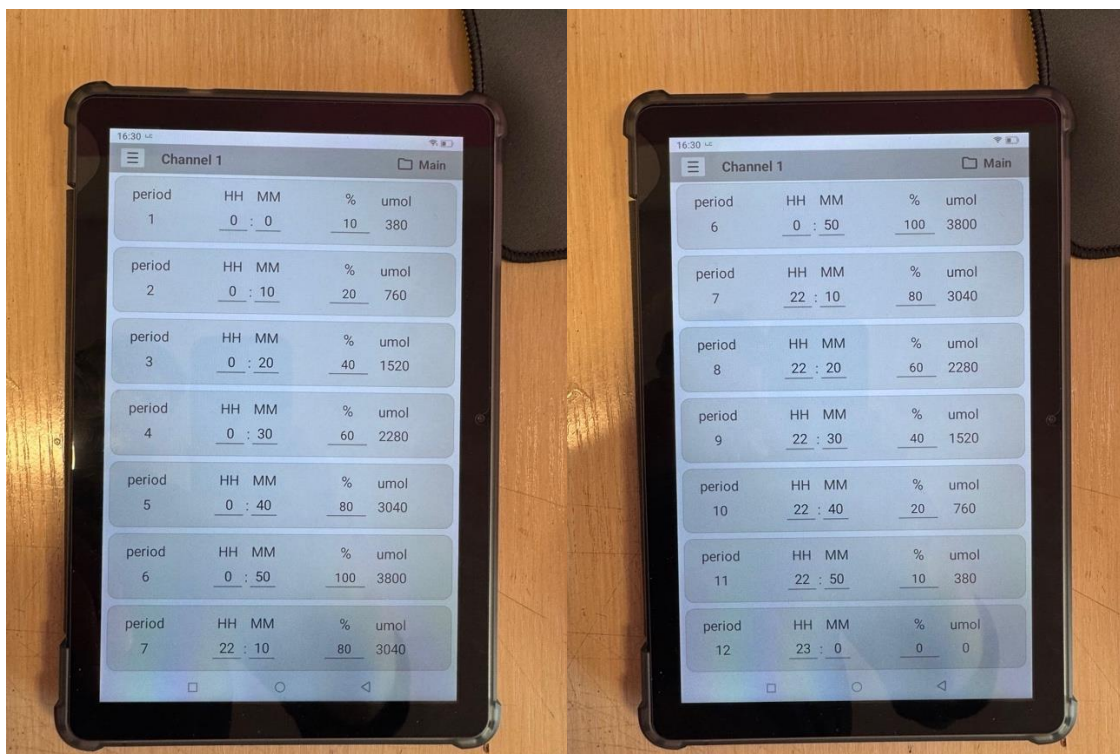


Рисунок 3.11 – Інтерфейс програмного застосунку із заданим сценарієм освітлення для молодняка птиці першого тижня життя

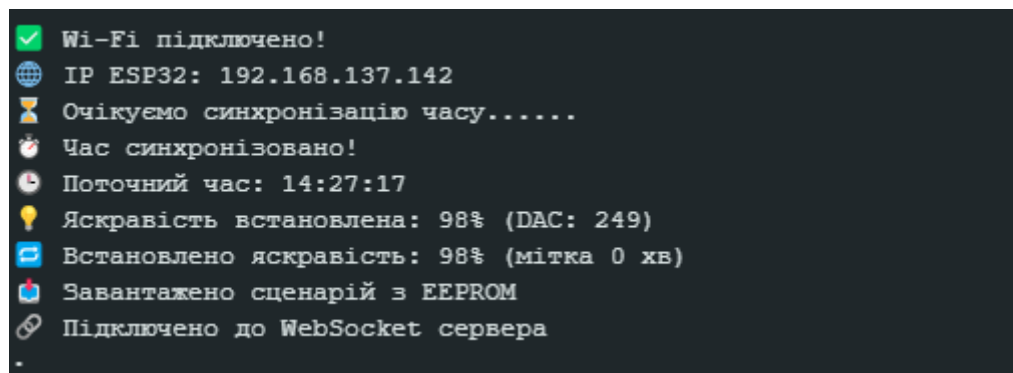
Для перевірки коректності роботи системи було виконано передачу сценарію освітлення від сервера керування до пристрою через протокол WebSocket. Під час тестування контролювалось отримання даних мікроконтролером ESP32, обробка отриманих параметрів, встановлення відповідного рівня яскравості та збереження налаштувань у пам'яті EEPROM. Після введення користувачем часових міток у форматі «години : хвилини» програмний застосунок виконує їх перетворення у формат, який використовується контролером. Кожна часова мітка переводиться у кількість хвилин від початку доби та передається разом із відповідним значенням яскравості. Таким чином сценарій освітлення формується як послідовність пар даних виду «хвилина – яскравість». Наприклад, запис 22:10 із яскравістю 80 % передається контролеру як пара значень 1330, 80.

Максимально сценарій може містити 12 пар значень «хвилина – яскравість». Під час передавання даних використовуються лише заповнені користувачем часові мітки. Якщо кількість точок сценарію менша за 12, незаповнені поля врахуються пустими і це не вплине на робоздатність системи.

У процесі тестування було підтверджено коректність обміну даними між сервером та контролером, правильність обробки отриманих параметрів і успішну активацію сценарію освітлення. Отримані результати свідчать про робоздатність розробленого програмного забезпечення та коректну взаємодію всіх функціональних модулів системи.

Для перевірки роботи механізму збереження налаштувань було виконано запис сценарію освітлення до енергонезалежної пам'яті EEPROM з подальшим вимкненням живлення пристрою. Після повторного ввімкнення системи контролювалось автоматичне відновлення раніше збережених параметрів та продовження роботи без повторного надсилання сценарію від сервера керування.

Результати тестування наведено на рисунку 3.12.



```
✓ Wi-Fi підключено!  
🌐 IP ESP32: 192.168.137.142  
🕒 Очікуємо синхронізацію часу.....  
🕒 Час синхронізовано!  
🕒 Поточний час: 14:27:17  
💡 Яскравість встановлена: 98% (DAC: 249)  
📄 Встановлено яскравість: 98% (мітка 0 хв)  
📄 Завантажено сценарій з EEPROM  
🔗 Підключено до WebSocket сервера
```

Рисунок 3.12 – Відновлення налаштувань після перезапуску системи

Як видно з рисунка 3.12, після подачі живлення контролер успішно виконує завантаження параметрів із пам'яті EEPROM та автоматично відновлює останній активний сценарій освітлення. Повторне надсилання налаштувань від сервера при цьому не потребується.

					КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час тестування було підтверджено коректність роботи механізму збереження та відновлення даних. Після перезавантаження контролер продовжив роботу з тими самими параметрами освітлення, які були встановлені до вимкнення живлення. Отримані результати підтверджують роботоздатність реалізованого механізму збереження налаштувань та забезпечують автономність роботи системи у випадку аварійного або планового відключення живлення. Графік сформованого сценарію наведено на рисунку 3.13.

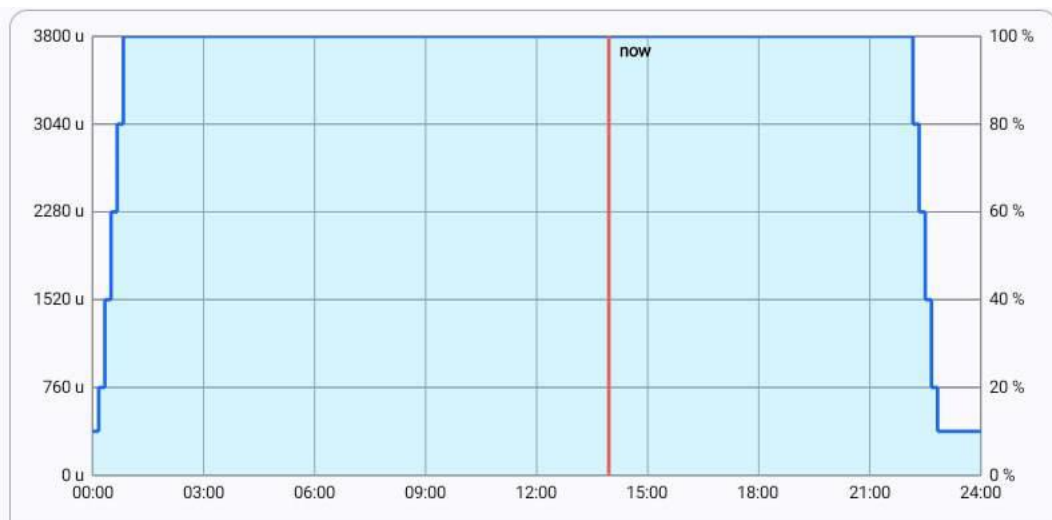


Рисунок 3.13 – Графік сценарію освітлення для молодняка птиці першого тижня життя

Після введення часових міток програмний застосунок автоматично формує графік зміни освітленості протягом доби. Отриманий графік дозволяє візуально контролювати правильність сформованого сценарію та використовується для подальшої передачі параметрів до контролера ESP32.

					КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Розрахунок штучного освітлення

Однією з основних умов забезпечення нормального росту та розвитку молодняка птиці є підтримання нормативного рівня освітленості у зоні утримання. Освітлення впливає на активність птиці, споживання корму та води, формування добових біологічних ритмів та загальний фізіологічний стан поголів'я. Недостатній рівень освітленості може призводити до зниження активності молодняка, погіршення споживання корму та порушення режимів вирощування. Згідно з рекомендаціями виробників кросів птиці Aviagen та Cobb, у перші дні вирощування освітленість у зоні розміщення молодняка повинна становити близько 30 лк [17, 18].

Під час проєктування освітлювальних установок необхідно забезпечувати не лише нормативне значення освітленості, а й достатню рівномірність її розподілу по всій площі приміщення. Відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» параметри освітлення визначаються з урахуванням геометричних розмірів приміщення, характеристик світильників, коефіцієнтів відбиття поверхонь та умов експлуатації освітлювальної установки [20]. Для попереднього визначення необхідного світлового потоку застосовано метод світлового потоку, який широко використовується під час проєктування систем внутрішнього освітлення [20].

Площа приміщення визначається за формулою:

$$S=a \cdot b \quad (4.1)$$

де S – площа приміщення (m^2), a – довжина приміщення (m), b – ширина приміщення (m).

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Поліщук К.І.</i>			<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Луцик Н.С.</i>					48	
<i>Консульт.</i>		<i>Сенчишин В.С.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

Для розрахунку прийнято: $a=1,5$ (м); $b=1,0$ (м).

$$S=1,5 \cdot 1,0=1,5 \text{ м}$$

Необхідний світловий потік визначається за формулою методу світлового потоку [20]

$$\Phi=E \cdot S \cdot K \quad (4.2)$$

де Φ – необхідний світловий потік, лм;

E – нормована освітленість, лк;

S – площа приміщення, м^2 ;

K – коефіцієнт запасу.

Коефіцієнт запасу враховує зниження світлового потоку джерел світла в процесі експлуатації, забруднення світильників та зміну світлотехнічних характеристик поверхонь приміщення. Для розрахунку прийнято $K=1,5$ [20] та $E=30$ лк [17, 18].

$$\Phi=30 \cdot 1,5 \cdot 1,5=67,5 \text{ лм}$$

Отримане значення характеризує мінімально необхідний сумарний світловий потік освітлювальної установки для забезпечення нормативної освітленості на площі брудера. Розрахунок виконано для середнього значення освітленості без врахування нерівномірності світлового поля, конструктивних особливостей світильників та їх просторового розташування.

На фактичне значення освітленості в зоні розміщення молодняка впливають висота встановлення світильника, кут розподілу світлового потоку, коефіцієнти відбиття стін, стелі та підлоги, а також наявність конструктивних елементів, які можуть створювати затінення окремих ділянок приміщення. Зі збільшенням відстані між світильником та освітлюваною поверхнею освітленість зменшується, тому під час проектування необхідно враховувати геометрію приміщення та характеристики обраного освітлювального обладнання [20].

Розроблена комп'ютерна система керування освітленням не прив'язана до конкретного типу світлодіодного світильника. Керування здійснюється шляхом формування сигналу димування 1–10 В, що дозволяє використовувати

					КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різні світлодіодні драйвери та світильники за умови підтримки відповідного інтерфейсу керування. Такий підхід забезпечує можливість застосування системи для брудерів різної площі та конфігурації без внесення змін у структуру пристрою керування.

Для більш точного визначення параметрів освітлення використовуються спеціалізовані програмні комплекси світлотехнічного моделювання, зокрема DIALux. Зазначене програмне забезпечення дозволяє виконувати тривимірне моделювання приміщення, враховувати фотометричні характеристики світильників, висоту їх встановлення, коефіцієнти відбиття поверхонь та визначати розподіл освітленості у контрольних точках. Результатом моделювання є карти освітленості, ізолінії освітлення та значення середньої й мінімальної освітленості, що дозволяє оцінити відповідність проєкту нормативним вимогам.

4.2 Заходи, що забезпечують рішення питань електробезпеки

Під час експлуатації комп'ютерної системи керування освітленням брудера необхідно забезпечити захист персоналу та обладнання від небезпечного впливу електричного струму, а також запобігти виникненню аварійних режимів роботи електрообладнання. Вимоги до забезпечення електробезпеки електронних пристроїв визначаються Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів та вимогами ДСТУ EN 61140 щодо захисту від ураження електричним струмом [25–27].

Основними небезпечними факторами під час експлуатації комп'ютерної системи є короткі замикання, перевантаження електричних кіл, перенапруги, пошкодження ізоляції провідників, нагрівання елементів електронної апаратури та виникнення пожежонебезпечних режимів роботи. Особливу увагу необхідно приділяти захисту кіл живлення та забезпеченню

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						50
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

електричного розділення вузлів, які працюють від різних джерел живлення [25].

Розроблена комп'ютерна система працює від джерел постійної напруги 5 В та 12 В. Застосування низьковольтного живлення відповідає вимогам електробезпеки для електронних пристроїв керування та дозволяє знизити ризик ураження людини електричним струмом під час монтажу, налагодження та експлуатації обладнання [27].

Для захисту вхідного кола живлення на принциповій схемі передбачено самовідновлюваний запобіжник F1 типу RXEF050-2. Запобіжник обмежує струм у випадку короткого замикання або перевантаження та запобігає пошкодженню мікроконтролера ESP32 і допоміжних електронних компонентів. Застосування засобів струмового захисту відповідає вимогам ПУЕ щодо захисту електричних кіл від надструмів [25].

Захист від переполюсовки джерела живлення реалізовано за допомогою діода D4 типу SS24. У разі помилкового підключення джерела живлення захисний діод обмежує проходження небезпечного струму через електронні компоненти схеми та знижує ймовірність виходу обладнання з ладу [22].

Однією з основних вимог електробезпеки є забезпечення електричного розділення окремих функціональних вузлів системи. Для виконання цієї вимоги у розробленому пристрої використано оптрон SFH617AS, який забезпечує гальванічну розв'язку між цифровою частиною на базі мікроконтролера ESP32 та зовнішнім колом керування світлодіодним драйвером. Використання гальванічної розв'язки виключає прямий електричний контакт між окремими колами системи та зменшує ймовірність пошкодження мікроконтролера внаслідок аварійних процесів у зовнішньому обладнанні [21, 24].

Для захисту вихідного кола керування передбачено самовідновлюваний запобіжник F2 типу RXEF050-2. Запобіжник забезпечує захист транзисторного каскаду від перевантажень та коротких замикань, які можуть виникати у зовнішніх колах керування освітленням. Додатковий захист вихідного вузла

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						51
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

реалізовано за допомогою діодів D2 та D3 типу BAS316, які обмежують перенапруги та захищають транзистори від аварійних режимів роботи [24].

Під час монтажу комп'ютерної системи необхідно використовувати провідники з неушкодженою ізоляцією та забезпечувати надійність усіх електричних з'єднань. Згідно з вимогами ПУЕ з'єднання провідників повинні забезпечувати необхідну механічну міцність та мінімальний перехідний опір контактів [25]. Пошкодження ізоляції або ослаблення контактних з'єднань можуть призводити до локального нагрівання провідників та виникнення пожежонебезпечних ситуацій.

Під час експлуатації системи необхідно періодично здійснювати візуальний контроль стану друкованої плати, з'єднувальних проводів, роз'ємів та джерел живлення. Не допускається експлуатація пристрою за наявності механічних пошкоджень корпусу, слідів перегрівання елементів, пошкодження ізоляції або нестабільної роботи джерел живлення [26].

Для зменшення ризику займання електронного обладнання необхідно використовувати сертифіковані джерела живлення із захистом від короткого замикання, перевантаження та перегріву. Розміщення пристрою повинно забезпечувати вільний теплообмін навколо електронних компонентів та виключати потрапляння вологи на струмопровідні частини схеми [25, 26].

Важливим заходом електробезпеки є захист обладнання від впливу електростатичних розрядів. Під час монтажу та налагодження електронних вузлів рекомендується використовувати антистатичні засоби захисту, оскільки мікроконтролер ESP32 та напівпровідникові компоненти схеми є чутливими до впливу статичної електрики [12, 13].

Застосування низьковольтного живлення, гальванічної розв'язки, захисту від перевантажень, коротких замикань, перенапруг та переполюсовки забезпечує необхідний рівень електробезпеки комп'ютерної системи керування освітленням брудера та підвищує надійність її експлуатації відповідно до вимог чинних нормативних документів [25–27].

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи на тему «Комп'ютерна система керування брудером» було досягнуто поставленої мети та вирішено основні завдання проєктування.

1) Проведено аналіз особливостей вирощування молодняка птиці у брудерах та визначено роль освітлення як одного з основних факторів забезпечення належних умов утримання.

2) Виконано аналіз сучасних систем освітлення, методів керування освітлювальним обладнанням та технологій передачі даних, що використовуються в автоматизованих системах керування.

3) Розроблено структурну схему комп'ютерної системи керування освітленням брудера на базі мікроконтролера ESP32 із використанням бездротового зв'язку Wi-Fi та протоколу WebSocket.

4) Розроблено схему електричну принципіву та друковану плату пристрою керування освітленням з використанням програмного середовища Altium Designer.

5) Розроблено програмне забезпечення мікроконтролера, яке забезпечує приймання сценаріїв освітлення від програмного застосунку, обробку отриманих даних, формування PWM-сигналу керування та автоматичне виконання добових сценаріїв освітлення.

6) Реалізовано механізм збереження параметрів сценарію в енергонезалежній пам'яті EEPROM, що забезпечує автоматичне відновлення роботи системи після вимкнення та повторного ввімкнення живлення.

7) Виконано складання дослідного зразка комп'ютерної системи керування брудером та проведено його функціональне тестування.

8) Під час тестування підтверджено коректність приймання сценаріїв освітлення, передачі даних через мережу Wi-Fi, збереження налаштувань у пам'яті EEPROM та виконання заданих режимів керування освітленням.

					КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримані результати підтверджують роботоздатність розробленої комп'ютерної системи та можливість її використання для автоматизованого керування освітленням брудерів у процесі вирощування молодняка птиці.

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		54

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.
2. Буров Є.В., Митник М.М. Комп'ютерні мережі. Підручник. Том другий. Львів: «Магнолія 2006», 2024. 204 с.
3. Буров Є.В., Митник М.М. Комп'ютерні мережі. Підручник. Том перший. Львів: «Магнолія 2006», 2024. 333 с.
4. Kharchenko A., Bodnarchuk I., Yatsysyn V. The Method for Comparative Evaluation of Software Architecture with Accounting of Trade-offs. American Journal of Information Systems. 2014. Vol. 2, No. 1. P. 20-25.
5. Антонюк В.І., Луцик Н.С., Паламар А.М. Комп'ютеризована IoT-система для аналізу споживання електроенергії у житлових приміщеннях. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей XIV міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 11-12 грудня 2025 року). Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2025. С. 225.
6. Луцик Н., Антонюк В., Паламар А. Структура IoT-системи для моніторингу параметрів електричних мереж житлових приміщень. Матеріали XIII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 17-18 грудня 2025 року). Тернопіль : ТНТУ, 2025. С. 205.
7. Романов Д.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Система управління зовнішнім освітленням на основі Інтернету речей. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей X міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 24-25 листопада 2021 року). Тернопіль : ТНТУ, 2021. С. 120.

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

8. Романов Д.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Функціональна схема системи керування зовнішнім освітленням на основі технології LoRa. Матеріали ІХ науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 8-9 грудня 2021 року). Тернопіль : ТНТУ, 2021. С. 124.

9. Ясінський Р.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Апаратно-програмна система для регулювання мікроклімату теплиць. Матеріали Х науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року). Тернопіль : ТНТУ, 2022. С. 102.

10. Ясінський Р.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Величко Д.В. Комп'ютерна система для контролю параметрів мікроклімату теплиць на основі інтернету речей. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей ХІ міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року). Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2022. С. 177.

11. Arduino. Arduino Documentation. URL: <https://docs.arduino.cc> (дата звернення: 20.04.2026).

12. Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual. Shanghai: Espressif Systems, 2025. 1300 p.

13. Espressif Systems. ESP32 Series Datasheet. Shanghai: Espressif Systems, 2025. 80 p.

14. Arduino. EEPROM Library Reference. URL: <https://docs.arduino.cc/learn/built-in-libraries/eeprom> (дата звернення: 20.04.2026).

15. Hoang K. WebSocketsClient_Generic Library Documentation. URL: https://github.com/khoih-prog/WebSocketsClient_Generic (дата звернення: 20.04.2026).

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						56
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

16. Altium Limited. Altium Designer Documentation. URL: <https://www.altium.com/documentation/altium-designer> (дата звернення: 25.04.2026).

17. Aviagen. Broiler Lighting Programme Guidelines. Huntsville: Aviagen Group, 2022. 16 p.

18. Cobb-Vantress. Broiler Management Guide. Arkansas: Cobb-Vantress Inc., 2022. 84 p.

19. Signify. LED Lighting for Poultry Production. Eindhoven: Signify Holding, 2021. 24 p.

20. Шеховцов В.П. Освітлювальні установки та системи. Київ : ІСДО, 1995. 320 с.

21. Ezema L. S., Okeke C. C., Nwankwo C. C. Design and Implementation of an ESP32-Based Smart Embedded Industrial Poultry Farm. European Journal of Engineering and Technology Research. 2021. Vol. 6, No. 10. P. 45–52.

22. Monk S. Programming ESP32 in Arduino IDE. New York : McGraw-Hill Education, 2022. 384 p.

23. Richardson L., Ruby S. RESTful Web Services. Sebastopol : O'Reilly Media, 2007. 448 p.

24. Susandi A. S., Pulungan A. B. Lighting Intensity Control System Using ESP32. Journal of Innovation in Applied Electrical Engineering. 2025. Vol. 5, No. 2. P. 78–86.

25. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Видання 2017 року. Київ : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017. 617 с.

26. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ : Держнаглядохоронпраці України, 1998.

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

27. ДСТУ EN 61140:2019. Захист від ураження електричним струмом.
Загальні положення щодо установок та обладнання. Київ : ДП «УкрНДНЦ»,
2019.

28. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ :
Мінрегіон України, 2018.

					<i>КС КРБ 123.193.00.00 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		58

Додаток А
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“ 2 ” лютого 2026 р.

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ БРУДЕРОМ

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 9 листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ к.т.н., доц. Луцик Н. С.

“ 2 ” лютого 2026 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІ-42

_____ Поліщук К. І.

“ 2 ” лютого 2026 р.

Тернопіль 2026

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютерна система керування брудером».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.193.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи СІ-42, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Поліщук К. І.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету №4/9-188 від 24.04.2026 р.

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 26.01.2026 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 21.06.2026 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ISO, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи. Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи – наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Комп'ютерна система керування брудером призначена для:

- втоматизованого керування освітленням у брудері;
- формування добових сценаріїв освітлення;
- дистанційного налаштування параметрів освітлення;
- збереження налаштувань користувача;
- керування світлодіодним освітленням відповідно до

технологічних вимог вирощування молодняка птиці.

2.2 Мета створення системи

Метою кваліфікаційної роботи є розробка комп'ютерної системи керування освітленням брудера на базі мікроконтролера ESP32 з можливістю дистанційного налаштування сценаріїв роботи через бездротову мережу Wi-Fi.

2.3 Характеристика об'єкту

Розроблювана система призначена для використання у брудерах під час вирощування молодняка птиці та забезпечення автоматичного виконання заданих режимів освітлення.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Комп'ютерна система керування брудером повинна складатися з:

- мікроконтролера ESP32;
- вузла формування PWM-сигналу керування;
- інтерфейсу підключення до зовнішнього світлодіодного драйвера;
- модуля бездротового зв'язку Wi-Fi;
- енергонезалежної пам'яті для збереження сценаріїв освітлення;
- джерела живлення.

3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Передача даних між програмним застосунком та контролером повинна здійснюватися через мережу Wi-Fi із використанням протоколу WebSocket.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Для системи визначено два режими функціонування:

- нормальний режим функціонування;
- аварійний режим функціонування.

Основним режимом функціонування є нормальний режим.

У нормальному режимі система повинна виконувати задані сценарії освітлення відповідно до поточного часу.

В аварійному режимі при втраті зв'язку або перезавантаженні контролера система повинна відновлювати останній збережений сценарій освітлення з енергонезалежної пам'яті EEPROM.

3.1.4 Вимоги по діагностуванню системи

Система повинна забезпечувати можливість контролю процесу підключення до мережі Wi-Fi, встановлення WebSocket-з'єднання, приймання сценаріїв освітлення та відображення службових повідомлень через послідовний інтерфейс UART.

3.1.5 Перспективи розвитку, проектування системи

Передбачається можливість подальшого розширення функціональних можливостей системи шляхом додавання датчиків температури, вологості, рівня освітленості та інших параметрів мікроклімату брудера.

3.2 Показники призначення

Система повинна забезпечувати можливість зміни сценаріїв освітлення без перепрограмування контролера та підтримувати до 12 часових міток протягом доби.

3.2.1 Вимоги до надійності

Система повинна забезпечувати роботоздатність та відновлення своїх функцій при виникненні наступних ситуацій:

- при короткочасному зникненні мережевого з'єднання;
- при вимкненні та повторному ввімкненні живлення.

Після відновлення живлення система повинна автоматично завантажувати останній збережений сценарій освітлення з EEPROM.

3.3 Вимоги до безпеки

Електричні кола системи повинні відповідати вимогам електробезпеки та забезпечувати захист від коротких замикань і перевантажень.

Світлодіодний драйвер та блок живлення повинні використовуватись відповідно до вимог виробника.

3.3.1 Вимоги до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і зберігання компонентів системи

Мікроклімат в приміщеннях повинен відповідати нормам виробничого мікроклімату по ДСН 3.3.6.042-99:

- температуру повітря в межах від +10°C до +35°C;
- відносну вологість повітря при 25°C в межах від 30% до 80%;
- атмосферний тиск 760 ± 25 мм рт. ст.

Система повинна експлуатуватися в закритих приміщеннях.

Періодичне технічне обслуговування повинно включати перевірку справності джерела живлення, світлодіодного драйвера, з'єднувальних проводів та контролера ESP32.

3.4 Вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу

Доступ до програмного застосунку повинен здійснюватися лише авторизованими користувачами.

Передача сценаріїв освітлення повинна виконуватися виключно між підключеними пристроями локальної мережі.

3.4.1 Вимоги по збереженню інформації при аваріях

Усі налаштування сценаріїв освітлення повинні зберігатися в EEPROM та автоматично відновлюватися після повторного ввімкнення системи.

3.4.2 Вимоги по стандартизації і уніфікації

Система повинна базуватися на стандартних програмних та апаратних засобах і використовувати загальнодоступні технології Wi-Fi та WebSocket.

3.4.3 Вимоги до функцій (завдань), що виконуються системою:

- формування сценаріїв освітлення;
- передача сценаріїв до контролера;
- автоматичне виконання добових сценаріїв;
- регулювання яскравості освітлення;
- збереження налаштувань у EEPROM;
- автоматичне відновлення роботи після перезапуску.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 - а) Структурна схема.
 - б) Блок схема роботи комп'ютеризованої системи.
 - в) Схема електрична принципова.
 - г) Результати роботи.

*Примітка: У комплект документації можуть вноситися зміни та доповнення в процесі розробки.

5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання
1	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>26.01 – 02.02</i>

2	<i>Робота над першим розділом «Аналіз технічного завдання»</i>	<i>03.02 – 15.02</i>
3	<i>Робота над другим розділом «Проектна частина»</i>	<i>20.04 – 25.04</i>
4	<i>Робота над третім розділом «Практична частина»</i>	<i>26.04 – 05.05</i>
5	<i>Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»</i>	<i>07.05 – 25.05</i>
6	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>26.05 – 7.06</i>
7	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>8.06 – 14.06</i>
8	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>15.06 – 21.06</i>
9	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>24.06</i>

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Додаток Б
Перелік елементів

<i>Поз. позначення</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кіл.</i>	<i>Примітка</i>
	Конденсатори		
C1,C5	Конденсатор 100uF 25V EHR 6,3x11mm	2	
C4	Конденсатор 0805 10 nF	1	
	Діоди		
D4	Діод Шотткі SS24	1	
D7, D10	BZT52Bxx	2	
	Запобіжники		
F1	Запобіжник RXEF050	1	
F2	Запобіжник RXEF010	1	
	Мікросхеми		
IC1	ESP32-DevKitC V4 WROOM-32U	1	
IC2	Оптрон транзисторний SFH617AS	1	
	Клемники		
J2, J4, J5	Клемник DG350-3.5	3	
	Транзистори		
Q1	Транзистор біполярний BC807	1	
Q2	Транзистор біполярний BCP53- 16T1G	1	
	Резистори		
R1	Резистор 1206 33 Ом 1%	1	
R3	резистор 1206 1КОМ 1%	1	
R6	резистор 1206 470ОМ 1%	1	
R7	Резистор 1206 100 ОМ 5%	1	
R8	Резистор 0805 22 КОМ 1%	1	
R9	Резистор 0805 3,9 кОм 5%	1	
R10	Резистор 1206 39 kOhm 5%	1	

					КС КРБ 123.193.00.00 ПЕ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
Розробив		Поліщук К. І.			Комп'ютерна система керування брудером	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Перевірів		Луцик Н.С.					73	73
Рецензент		Пастух О.А.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Н. Контр.		Тиш Е.В.						
Зав. каф.		Осухівська Г.М.						

Додаток В
ЛІСТИНГ КОДУ

```
// board esp32 by espressif 2.0.11
#include <WiFi.h>
#include <WebSocketsClient_Generic.h> // version 2.16.1
#include <time.h>
#include <EEPROM.h>

// ===== ПІДКЛЮЧЕННЯ Wi-Fi =====
const char* ssid = "Assembly Line 2G";
const char* password = "aqwsaqws123";

// ===== WebSocket =====
const char* host = "192.168.0.131";
const uint16_t port = 8888;
int espTechZone = 1;

// ===== EEPROM =====
#define EEPROM_SIZE 128

// ===== PWM =====
#define PWM_PIN 16
#define PWM_CHANNEL 0
#define PWM_FREQ 400 //
#define PWM_RESOLUTION 8 // 8-bit (0..255)

// Массив сценарію
int fromMin[12];
int brightnessScenario[12];
```

```

// Змінні для роботи
int lastBrightness = -1; // Остання виставлена яскравість

// WebSocket клієнт
WebSocketsClient websocket;

// ===== ЛОГІКА ЯСКРАВОСТІ =====
void setBrightnessPWM(int percent) {
    percent = constrain(percent, 0, 100);

    if (percent == lastBrightness) return;
    lastBrightness = percent;

    int duty = map(percent, 0, 100, 255, 0);
    ledcWrite(PWM_CHANNEL, duty);

    if (percent <= 0)
        Serial.println(" OFF");
    else
        Serial.printf(" %d%% -> PWM duty %d\n", percent, duty);
}

// ===== EEPROM =====
void saveScenarioToEEPROM() {
    for (int i = 0; i < 12; i++) {
        uint8_t val = (fromMin[i] >= 0) ? fromMin[i] / 2 : 255;
        EEPROM.write(i, val);
        EEPROM.write(12 + i, brightnessScenario[i]);
    }
}

```

```

EEPROM.commit();
Serial.println("Сценарій збережено в EEPROM");
}

void loadScenarioFromEEPROM() {
    for (int i = 0; i < 12; i++) {
        uint8_t val = EEPROM.read(i);
        fromMin[i] = (val == 255) ? -1 : val * 2;
        brightnessScenario[i] = EEPROM.read(12 + i);
    }
    Serial.println(" Сценарій завантажено з EEPROM");
}

// ===== ЛОГІКА СЦЕНАРІЮ =====

void applyScenarioNow() {
    struct tm timeinfo;
    if (getLocalTime(&timeinfo)) {
        int nowMin = timeinfo.tm_hour * 60 + timeinfo.tm_min;

        int closestBeforeNow = -1;
        int latestAny = -1;
        int brightnessBeforeNow = -1;
        int brightnessLatest = -1;

        for (int i = 0; i < 12; i++) {
            if (fromMin[i] >= 0) {
                if (fromMin[i] <= nowMin && fromMin[i] > closestBeforeNow) {
                    closestBeforeNow = fromMin[i];
                    brightnessBeforeNow = brightnessScenario[i];
                }
            }
        }
    }
}

```



```

        data = (commaIndex < data.length()) ? data.substring(commaIndex + 1) :
    "" ;
    }

    int validPairs = 0;
    for (int i = 0; i < 12; i++) {
        if (values[i * 2] >= 0 && values[i * 2 + 1] >= 0) {
            fromMin[validPairs] = values[i * 2];
            brightnessScenario[validPairs] = values[i * 2 + 1];
            validPairs++;
        }
    }
    for (int i = validPairs; i < 12; i++) {
        fromMin[i] = -1;
        brightnessScenario[i] = 0;
    }

    if (validPairs > 0) {
        saveScenarioToEEPROM();
        applyScenarioNow();
        Serial.printf("Сценарій оновлено (%d пар)\n", validPairs);
    } else {
        Serial.println(" Не знайдено жодної валідної пари");
    }
}

// ===== WebSocket події =====

void websocketEvent(WStype_t type, uint8_t * payload, size_t length) {
    switch (type) {

```

```

case WStype_DISCONNECTED:
    Serial.println(" Відключено від WebSocket сервера");
    break;
case WStype_CONNECTED:
    Serial.println(" Підключено до WebSocket сервера");
    websocket.sendTXT("channel:" + String(espTechZone));
    break;
case WStype_TEXT: {
    String msg = String((char*)payload);
    Serial.printf("Отримано: %s\n", msg.c_str());
    parseNewData(msg);
    websocket.sendTXT("OK");
    break;
}
}
}

// ===== Синхронізація часу =====
void syncTime() {
    configTime(10800, 0, "pool.ntp.org", "time.nist.gov");
    Serial.print("Синхронізація часу...");
    while (time(nullptr) < 100000) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println("\n Час синхронізовано!");
}

// ===== SETUP =====
void setup() {

```

```
Serial.begin(115200);
EEPROM.begin(EEPROM_SIZE);

// PWM налаштування
ledcSetup(PWM_CHANNEL, PWM_FREQ, PWM_RESOLUTION);
ledcAttachPin(PWM_PIN, PWM_CHANNEL);
ledcWrite(PWM_CHANNEL, 0);

WiFi.begin(ssid, password);
Serial.print(" Підключення до Wi-Fi...");
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
Serial.println("\n Wi-Fi підключено!");
Serial.print(" IP ESP32: "); Serial.println(WiFi.localIP());

syncTime();
loadScenarioFromEEPROM();

WebSocket.begin(host, port, "/");
WebSocket.onEvent(WebSocketEvent);
WebSocket.setReconnectInterval(5000);
WebSocket.enableHeartbeat(3000, 1000, 2);
}

// ===== LOOP =====
void loop() {
    WebSocket.loop();
```

```
static int prevMinute = -1; // Остання оброблена хвилина
struct tm timeinfo;
if (getLocalTime(&timeinfo)) {
    int nowMin = timeinfo.tm_hour * 60 + timeinfo.tm_min;
    if (nowMin != prevMinute) {
        prevMinute = nowMin;
        applyScenarioNow();
    }
}
}
```