

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри

Ігор ЧИЧУРА

«___» _____ 2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної бакалаврської роботи

на тему:

АДАПТИВНЕ ОСВІТЛЕННЯ ТЕПЛИЦЬ

Виконав:

Михайло ГУДОВШІ

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Керівник:

к. ф.-м.наук, Михайло РЯБОЦУК

(вчене звання, ім'я та прізвище)

(підпис)

Ужгород – 2024

Ужгородський національний університет

Інженерно-технічний факультет

Кафедра приладобудування

Освітньо-кваліфікаційний рівень "БАКАЛАВР"

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри
ст. викл. Ігор ЧИЧУРА

"__" _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ студенту **Ту довші Михайлу Михайловичу** (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема КБР: Адаптоване освітлення теплиць

керівник роботи: Рябощук Михайло Михайлович, к.ф-м.н.,

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

затверджені Розпорядженням по ІТФ від "___" _____ 2024 року № ____.

2. Строк подання студентом роботи "___" _____ 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи: об'єктом розробки є адаптоване освітлення теплиць.

Умови експлуатації пристрою:

- температура навколишнього середовища від +10°C до +30 °C;
- атмосферний тиск від 720 до 780 мм.рт.ст.;
- відносна вологість повітря до 95 %;
- електроживлення – мережа 220В;

Характеристики пристрою:

- контрольовані параметри: освітлення;
- вибір режимів роботи;
- робота в автоматизованому режимі.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити):

Огляд та аналіз аналогів об'єкту проектування (аналіз сучасних автоматизованих систем освітлення теплиць; огляд аналогічних досліджень на основі сучасної схемотехніки; принципи функціонування автоматизованих систем). Проектно - конструкторський розділ (розробка структурної, принципової схем; розрахунок параметрів модулів та елементів схеми; підбір компонентів).

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

- структурна або функціональна схема пристрою (1 аркуш А3);
- принципова електрична схема (1 аркуш А3).
- алгоритм функціонування контролера (1 аркуш А3 або А2).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання " ____ " _____ 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання КБР	Строк виконання етапів проекту	П римітка
1	Аналіз сучасних систем освітлення теплиць.	30.03.2024	
2	Огляд аналогів.	20.04.2024	
3	Розробка структурної схеми.	30.04.2024	
4	Підбір елементів	10.05.2024	
5	Написання програми для контролера.	20.05.2024	
6	Розробка схем.	25.05.2024	
7	Написання пояснювальної записки.	05.06.2024	
	Оформлення роботи та креслень.	10.06.2024	

Студент

(підпис)

Ім'я ПРІЗВИЩЕ

Керівник КБР

(підпис)

Ім'я ПРІЗВИЩЕ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної бакалаврської роботи: 56 сторінки, 16 рисунків, 2 додатки, 10 джерел посилань.

ТЕПЛИЦЯ, АДАПТАЦІЯ, АРДУІНО, ОСВІТЛЕННЯ

Об'єкт дослідження – адаптоване освітлення теплиць.

Мета роботи – спроектувати автоматизовану систему адаптованого освітлення для тепличного господарства.

Методи дослідження – технічний аналіз систем освітлення та їхніх складових; аналіз аналогічних розробок на платформі ардуіно; проектування структурної і принципової схеми адаптивної системи освітлення; розробка алгоритму роботи системи.

Проведено технічний аналіз аналогів систем на основі ардуіно. За результатами аналізу спроектовано адаптивну систему освітлення і підібрано її компоненти. Розроблено структурну та принципову схеми, а також алгоритм роботи.

ABSTRACT

Explanatory note of the qualifying bachelor thesis: 56 pages, 16 figures, 2 appendices, 10 reference sources.

GREENHOUSE, ADAPTATION, ARDUINO, LIGHTING

The object of research is adapted lighting of greenhouses.

The purpose of the work is to design an automated system of adapted lighting for greenhouse farming.

Research methods – technical analysis of lighting systems and their components; analysis of similar developments on the Arduino platform; design of the structural and principle scheme of the adaptive lighting system; development of the system operation algorithm.

A technical analysis of analogues of Arduino-based systems was carried out. Based on the results of the analysis, an adaptive lighting system was designed and its components were selected. The structural and principle schemes, as well as the work algorithm, have been developed.

Зміст

ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ АНАЛОГІВ ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ.....	8
1.1 Теоретичні основи освітлення в тепличному господарстві	8
1.2 Огляд аналогів	13
1.3 Огляд аналогів фітоламп	23
2. ПРОЕКТНО - КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	25
2.1. Аналіз технічного завдання	25
2.2 Матеріали	26
2.2.1 Arduino	26
2.2.2 Рідкокристалічний дисплей	33
2.2.3 Годинник реального часу	34
2.2.4 Джерело живлення	35
2.2.5 RGB світлодіоди	36
2.3 Синтез структурної та принципової схеми	37
3 АЛГОРИТМ РОБОТИ ТА ПРОГРАМУВАННЯ КОНТРОЛЕРА	40
ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	47
ДОДАТКИ.....	48

КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Тудовші М.		
Перевірив		Рябощук М.М		
Т. контр.				
Н.Контр.				
Затв.		Чичура І.І.		
Адаптивне освітлення теплиць Пояснювальна записка				
		Літера	Аркуш	Аркушів
		У	6	56
ІТФ, кафедра ПБ, 4 курс бакалаври денна форма				

ВСТУП

Освітлення є одним із ключових факторів, що визначають успіх сільськогосподарського виробництва у теплицях. Роль освітлення стає ще важливішою в умовах сучасних кліматичних змін та зростаючого попиту на ефективні методи вирощування рослин. Традиційні системи освітлення часто не здатні задовольнити потреби сучасного сільського господарства, тому на зміну їм приходять адаптивні системи освітлення. Адаптивне освітлення, яке також відоме як інтелектуальне або динамічне освітлення, є інноваційним підходом, що дозволяє створювати оптимальні умови для росту рослин завдяки зміні світлових характеристик у реальному часі.

Актуальність теми. Сучасне сільське господарство стикається з низкою викликів, серед яких: необхідність збільшення врожайності, оптимізація використання ресурсів та зниження впливу на навколишнє середовище. У цих умовах традиційні методи освітлення теплиць, що засновані на використанні постійних джерел світла, не забезпечують необхідної ефективності. Вони часто не враховують змін у потребах рослин у різні періоди їхнього росту та розвитку, а також коливань у природному освітленні. Адаптивне освітлення дозволяє подолати ці обмеження, надаючи можливість налаштування параметрів світла, таких як інтенсивність, спектральний склад та тривалість освітлення, відповідно до поточних потреб рослин.

Мета дослідження. Метою дослідження є вивчення адаптивного освітлення у теплицях, його вплив на ріст і розвиток рослин, а також ефективність використання ресурсів. Особливу увагу буде приділено аналізу технічних аспектів таких систем, їхніх можливостей щодо оптимізації енергоспоживання та підвищення врожайності. Дослідження передбачає також огляд існуючих технологій адаптивного освітлення та перспектив їхнього впровадження у практику.

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АНАЛОГІВ ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Теоретичні основи освітлення в тепличному господарстві

Спектри світлодіодних ламп і поглинання хлорофілу А і В, які домінують у процесі фотосинтезу, є вирішальними факторами. У фотосинтезі синій і червоний спектри в основному використовуються для вирощування овочів. Проте експериментальне дослідження показало, що додавання 24% зеленого світлодіодного світла може посилити ріст овочів [1]. Таке додавання зеленого світла краще проникає в рослинний покрив і прискорює ріст овочів, потенційно покращуючи процес фотосинтезу. Таким чином, додаткове зелене світло також береться до уваги як джерело світла для росту.

Для росту кімнатного овоча потрібен певний рівень енергії, необхідний для процесу фотосинтезу. Густина потоку фотосинтетичних фотонів (PPFD) є одиницею, яка найчастіше використовується для аналізу необхідного рівня фотосинтезу. Одиницею PPFD є $\text{мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, і вона означає кількість фотосинтетично активного випромінювання (PAR), що надходить до овочів. Його також можна розглядати як кількість фотонів у мкмоль , що падають на одиницю площі за секунду. Освітленість (з одиницею люкс) є більш часто використовуваним терміном у комунікації у видимому світлі. Однак PPFD не є простим визначенням, яке можна перетворити на освітленість. Наприклад, освітленість 54 люкси дорівнює $1 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, якщо врахувати сонячне світло [1]. Однак для штучного світла з різними спектральними розподілами співвідношення слід ретельно виводити.

Розрахунок доступної фотосинтетичної енергії для овочів можливий, якщо відомий спектральний розподіл потужності (SPD) джерела світла на відповідних видимих довжинах хвиль (400–700 нм). Визначено, що 683 люмен потоку світності дорівнює 1 Вт потужності випромінювання при 555 нм. Використовуючи ці значення та функцію світлової ефективності CIE 1931, можна

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

отримати світловий потік (у люменах) [1]. Тоді спектральний потік випромінювання $\Phi(\lambda)$ у Вт/нм на люмен можна розрахувати як:

$$\frac{\Phi(\lambda)}{\text{просвіт}} = \frac{P_{rel}(\lambda)}{683 \cdot \sum_{400\text{ нм}}^{700\text{ нм}} V(\lambda) \cdot P_{rel}(\lambda) \cdot \Delta\lambda} \quad (1)$$

де $V(\lambda)$ — функція світлової ефективності на довжині хвилі λ , а $P_{rel}(\lambda)$ — відносний спектральний розподіл потужності. Знаменник вказує на загальний світловий потік. Наприклад, джерело світла з центральною довжиною хвилі ближче до 555 нм призводить до більшого світлового потоку, і навпаки. Відносний спектральний потік випромінювання використовується для перетворення PPF-люмен. Потім фотосинтетичний потік фотонів на довжину хвилі в мкмоль·с⁻¹ нм⁻¹ обчислюється як:

$$\frac{\text{PPF}}{\text{нм}} = \frac{10^{-9} \cdot \lambda \cdot \Phi(\lambda)}{N_a \cdot h \cdot c} \quad (2)$$

де λ — довжина хвилі в (м), N_a і h — постійна Авогадро ($6,022 \times 10^{23}$) і постійна Планка ($6,626 \times 10^{-34}$), відповідно, а c означає швидкість світла. Таким чином, для даного джерела світла можна отримати фотосинтетичний потік фотонів (PPF) на люмен, якщо задано його спектральний радіаційний потік ($\Phi(\lambda)$). Потім PPF джерела можна перетворити на значення освітленості (люкс = люмен/м²). У таблиці 1.1 наведено розраховані коефіцієнти перетворення Lux-PPFD для комерційних світлодіодних джерел світла, використаних у цій роботі.

Таблиця 1.1- Перетворення освітленості в PPFD тестованих світлодіодів RGB [1]

	Red LED	Green LED	Blue LED
Lux/PPFD	41.3	122.4	15.1

При проектуванні та виборі світлодіодів для досягнення необхідної освітленості та продуктивності зв'язку слід знати світлову віддачу джерела світла. У VLC освітленість є типовим обмеженням, що обмежує оптичну потужність, доступну для зв'язку. Тому важливо підібрати оптимальну світловіддачу. Світлова ефективність (η) визначається як:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \left[\frac{\text{лм}}{\text{Вт}} \right] \quad (3)$$

Світлова віддача вказує, скільки світлового потоку (Φ) включено у ват потоку випромінюваної потужності (P) і має одиницю лм/Вт. Таблиця 1.2 показує розраховану світлову віддачу для комерційних світлодіодів REB, які використовуються в цій роботі. Також важливий ламбертівський порядок (m) джерела світла, який показує ступінь розбіжності, яка визначається як:

$$m = \frac{-\ln(2)}{\ln(\cos \Phi_{1/2})} \quad (4)$$

де $\Phi_{1/2}$ – півкут для половинної інтенсивності. Для ідеального ламбертівського випромінювання порядок $m = 1$, а півкут стає $\Phi_{1/2} = 60^\circ$. Розрахунок сили світла ($R(\varphi)$) можна знайти за:

$$R(\varphi) = \Phi \cdot \left[\frac{(m+1)}{2\pi} \right] \cdot \cos^m(\varphi) \left[\frac{\text{лм}}{\text{ср}} \right] \quad (5)$$

де φ являє собою кут випромінювання. Одиницею кутової напруженості є лм/ср, що дорівнює канделі, 1 кд. Перетворення сили світла в світловий потік розраховується за:

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

$$E = R(\varphi) \cdot \frac{\cos \theta}{r^2} \text{ [люкс]} \quad (6)$$

де E – сила світла, яка визначається як кількість люменів на одиниці площі. Тут θ позначає кут між нормальним напрямком площини освітлення та напрямком поширення світла. r означає відстань між джерелом світла і площиною освітлення. Зі збільшенням відстані інтенсивність світла зменшується. Більшість овочів розміщують на в

Таблиця 1.2 - Світлова ефективність перевірених світлодіодів RGB [1].

	Red LED	Green LED	Blue LED
lm/W	217.3	543.9	58.7

Вважається, що PPFД, необхідний для росту листових овочів, становить від 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ до 300 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Цей діапазон зазвичай залежить від цільової біомаси та продуктивності. Посилання повідомляє, що прогресивне збільшення біомаси салату спостерігається до 250 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, але подальшого поліпшення після цього не спостерігається. Тому для наступного моделювання та експериментів вибрано рівень PPFД 250 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Таблиця 3 підсумовує необхідну PPFД для салату. Оптимальне співвідношення PPFД для червоного, зеленого, синього світлодіодів становить 61%, 24% і 15% відповідно. Відповідна освітленість та інтенсивність виходять за допомогою коефіцієнтів перетворення, наведених у таблиці 1.1 і таблиці 1.2.

Використовуючи автоматизоване світлодіодне освітлення, виробники теплиць можуть краще задовольнити потреби ваших рослин за допомогою регулювання спектру та інтенсивності в реальному часі та за розкладом, що дозволяє:

- покращена продуктивність рослини та здатність дотримуватися цілорічного графіку вирощування;

- менші рахунки за електроенергію;
- збільшення врожайності та ваги завдяки доповненню природного денного світла протягом коротших зимових днів або лише до щоденних піків і спадів через штори та хмарний покрив.

Таблиця 1.3 - Необхідні PPFD та освітленість та інтенсивність для листових овочів [1]

Parameters	RGB Photon Flux ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Illuminance (lux)	Intensity (W/m^2)
Total (400–700 nm)	250	14,208.6	52.1
Red (600–700 nm)	152.5	6298.3	29
Green (500–600 nm)	60	7344	13.5
Blue (400–500 nm)	37.5	566.3	9.6

Додавання штучного освітлення в теплиці забезпечує безліч переваг для рослин, діючи як доповнення в зимові місяці, коли природне освітлення обмежене, або під час дивних сезонних змін, або просто коли сонячне випромінювання низьке [2].

Як і сонячне світло, нові світлодіодні чіпи можуть відтворювати всі можливі кольори зі спектру. Використовуючи нову здатність керування світлодіодами, ви можете легко налаштувати кількість і тип світла, необхідного вашим конкретним рослинам під час кожної фази росту. Зокрема, додавання та контроль червоного: далекого червоного (R:FR) і синього:зеленого (B:G) є критично важливими для покращення та контролю якості та росту рослин.



Рисунок 1.1 – Вмощений салат під впливом різних кольорів [2]

Колір є результатом контролю спектру світла на салаті. Авторство зображення: Intravision

Світлодіоди проти систем HPS

З падінням вартості світлодіодів та їхньої енергоефективності, зменшення тепла та збільшення контролю над освітленням яскраві світлодіоди стають очевидним переможцем у порівнянні з газорозрядними лампами високої інтенсивності (HID), такими як натрієві лампи високого тиску (HPS).

Деякі виробники використовують гібридні світлодіодні та HID-рішення, щоб забезпечити переваги тепла, але при цьому отримати більшість переваг світлодіодних систем.

1.2 Огляд аналогів

Використання світлодіодних світильників для росту в системі розумного землеробства на основі оптичного бездротового зв'язку без радіочастот [1]

Деякі дослідження показали вплив радіочастотного випромінювання від маршрутизаторів Wi-Fi на проростання насіння, і ріст овочів може бути згубним. Повідомлялося, що насіння, яке протягом тривалого часу піддавалося радіочастотному випромінюванню, потребувало набагато більше часу для проростання або не виростало. Крім того, овочі які зазнали впливу радіації, мали менші та яскравіші листя та були меншими за розміром, ніж ті, що не зазнали впливу радіації. Також показано, що звичайні маршрутизатори Wi-Fi можуть впливати на життєвий цикл овочів, викликаючи зниження якості їх плодів і процесу фотосинтезу [1].

Щоб зробити систему енергоефективною, для овочів використовується добре колімований світлодіод RGB. Цей світильник забезпечує чіткий потік фотонів для вирощування листових овочів, а також дозволяє повторно використовувати відбите світло для зв'язку. Для вирощування салату, незважаючи на те, що традиційна червоно-синя комбінація світлодіодів все ще ефективна, додаткові 24% зеленого світлодіода можуть посилити ріст овоча [1]. Овочі мають свою відбивну здатність до кожного кольору. Враховуючи, що зелене світло має найвищий коефіцієнт відбиття, тут ми пропонуємо використовувати модульне

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

концентроване зелене відбите світло для висхідного зв'язку. Для повного середовища без радіочастот досліджується низхідна лінія, побудована з комбінації білих світлодіодів (стельових ліхтарів) для працівників ферми та фотодіода, встановленого в кожній інтелектуальній фермерській одиниці. Модульні інтелектуальні ферми з можливістю переміщення дозволяють вирощувати різні види овочів на одній фермі.

На рисунку 1.2 показана запропонована енергоефективна архітектура розумного фермерства. Архітектура складається з кількох переміщуваних одиниць інтелектуального землеробства, білих світлодіодів для освітлення на стелі, приймачів висхідної лінії зв'язку, периферійного комп'ютера та хмари.

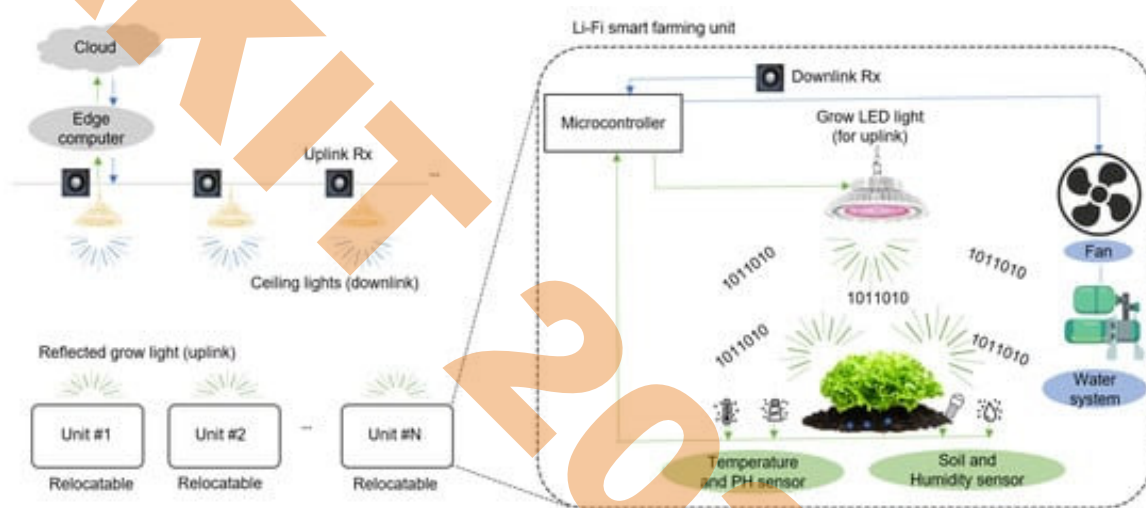


Рисунок 1.2 - Пропонована енергоефективна архітектура розумного фермерства [1]

Щоб створити середовище без радіочастот, висхідна та низхідна лінії зв'язку використовують технологію VLC. Для висхідної лінії зв'язку модульовані зелені світлодіоди від інтелектуального фермерського блоку виявляються приймачем висхідної лінії зв'язку, розміщеним над овочами біля стельових світильників. Будучи основним обчислювальним блоком, периферійний комп'ютер відстежує та керує агрегатами розумного землеробства. Відповідно до оброблених даних створюються відповідні команди, які надсилаються назад до

кожної одиниці розумного фермерства через низхідну лінію зв'язку. Для низхідної лінії зв'язку стельові світильники, встановлені для зручного робочого середовища, повторно використовуються як передавач. Приймач низхідної лінії зв'язку, розміщений біля світлодіодних ламп для вирощування, приймає сигнал. Щоб зберігати дані для тривалого використання, периферійний комп'ютер завантажує їх у хмару.

Тут для інтелектуального землеробства в приміщенні кожна одиниця розумного землеробства складається зі світлодіодних ламп для вирощування, мікроконтролера, приймача для низхідної лінії зв'язку та кількох датчиків і приводів. Добре колімований світлодіодний світильник RGB вважається освітленням для вирощування овочів. Ключовою особливістю запропонованого блоку розумного землеробства є те, що зелене модульоване світло, відбите від листових овочів після фотосинтезу, повторно використовується для зв'язку по висхідній лінії зв'язку. Датчики контролюють такі параметри, як РН, вологість, температура, ґрунт та інтенсивність. Приводи, такі як водяні насоси, вентилятори, драйвери ламп, виконують дії за командами. Усі ці датчики та виконавчі механізми підключені до мікроконтролера. У разі висхідного зв'язку мікроконтролер надсилає дані, записані кожним датчиком, на периферійний комп'ютер через висхідну лінію зв'язку, побудовану за допомогою модульованого зеленого світлодіода, відбитого від листових овочів. Цю інформацію отримує приймач висхідної лінії зв'язку, розміщений біля світильників на стелі. Граничний комп'ютер обробляє отримані дані та формує відповідні команди. У разі низхідної лінії зв'язку такі команди надсилаються назад до мікроконтролера за допомогою стельових світильників. Приймач низхідної лінії зв'язку поблизу ламп для вирощування приймає сигнал. На основі цих отриманих команд мікроконтролер активує необхідні виконавчі пристрої.

Автоматизованої системи керування тепличним господарством

Автоматизована система управління теплицею підключається до джерела живлення з вихідною напругою 12В [3]. Для керування автоматизованою системою використовується мікроконтролер ATmega168-20PU (DD1), в якому

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

датчик вимірювання температури (DA1), ємнісний датчик вимірювання вологості ґрунту (DA2), датчик визначення витрати води YF-S201(DA3), реальний Н підключається модуль таймера DS3231(DA4), ультразвуковий датчик визначення рівня води JSN-SR04T (DA5), датчик вологості та температури повітря АНТ10 (DA6), датчик освітленості TSL2561 (DA7), датчик визначення якості повітря (DA8), датчик що визначає присутність (DA9).) (рис. 1.3).

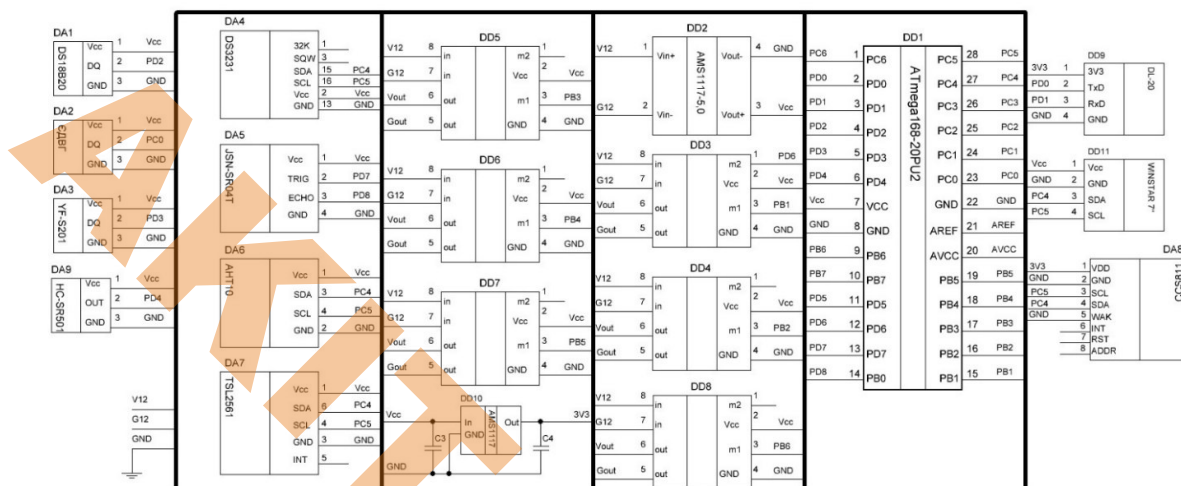


Рисунок 1.3 - Схема електрична функціональна автоматизованої системи керування тепличним господарством [3]

В автономному режимі для управління теплицею та встановлення очікуваних параметрів мікроклімату використовується 7" сенсорний екран TST0007R0G4111XXXX05 (DD11) фірми WINSTAR. Дисплей, DD11 використовує інтерфейс ІІС для взаємодії з мікроконтролером.

Для віддаленого керування застосований модуль бездротового зв'язку DL-20 (DD9), принцип роботи якого виконується за стандартом ZigBee. Оскільки мікроконтролер і датчики не можуть працювати від 12 В, вони живляться від стабілізатора AMS1117-5.0 (DD2). Для забезпечення живлення модуля DD9 використаний додатковий стабілізатор AMS1117 (DD10). Контроль вентиляції, освітлення, опалення, підтримки температури води, поливу та доступу до теплиці здійснюється за допомогою Палати мерів (DD3-DD8). Вентилятори, джерела світла, джерела тепла, водонагрівальні елементи, електромагнітний замок і

підключений до них насос працюють від 12В. Це зменшує ризик нещасних випадків через високу напругу в середовищі високої вологості корівника та зменшує витрати на обслуговування системи.

На початку система перевіряє всі ключові елементи системи. Якщо один з них несправний або не підключений до системи, система сповіщає оператора про помилку. Якщо перевірка системи пройшла успішно, вибирається режим роботи системи - автономний або віддалений. В автономному режимі система не передбачає дистанційного керування. Під час роботи використовуються або зберігаються в енергонезалежній пам'яті мікроконтролера параметри, задані оператором теплиці під час монтажу. Функція дистанційного керування дозволяє регулювати параметри керування не тільки за допомогою сенсорного екрану всередині теплиці, а й дистанційно за допомогою модуля ZigBee та програмного додатку.

Після вибору режиму роботи система починає послідовно виконувати процедури контролю мікроклімату, освітлення та поливу. Процедури будуть викликатися циклічно, доки оператор не захоче зупинити систему. Перед вимкненням системи останні встановлені значення параметрів мікроклімату зберігаються в енергонезалежній пам'яті контролера, яка буде використана при перезапуску системи до їх оновлення.

Доступ до теплиці блокується за допомогою електромагнітного замка. Якщо виникає необхідність увійти в теплицю, останні показання датчика якості повітря перевіряються натисканням кнопки. Якщо рівень якості повітря не відповідає вимогам, двері теплиці залишаються закритими, а на екрані з'являється відповідне повідомлення. Вентиляція може здійснюватися в ручному режимі. В іншому випадку замок відкривається на короткий час, щоб ви могли увійти в теплицю.

Після запуску системи та вибору режиму роботи здійснюється керування освітленням у теплиці. Для гарного росту рослини повинні отримувати світло не менше 16 годин на добу. Завдяки тому, що матеріали, з яких зроблена теплиця, дуже мало пропускають сонячне світло, штучне освітлення може працювати практично весь день. Після запуску процесу управління освітленням система

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

отримує поточні значення рівня освітленості в теплиці від датчика освітленості і виводить їх на екран. Після перевірки значень з датчиків перевіряється поточний час. Після 22 години система має вимкнути освітлення в теплиці, щоб рослини «відпочили». Освітлення повинно знову запрацювати через 5-6 годин. Оскільки система використовує диммери для керування джерелом світла, потужність ламп можна регулювати. Якщо рівень освітленості вище норми, рівень штучного освітлення слід зменшити. Якщо рівень освітленості нижче зазначеної норми, потужність штучного джерела світла збільшують за допомогою диммера.

Після включення починається контроль мікроклімату теплиці (рис. 1.3). Незважаючи на те, що конструкція і матеріали теплиці дозволяють підтримувати температуру повітря на рівні близько 15 градусів навіть без опалення, не всі рослини почуватимуться добре в такому середовищі. Тому в теплиці встановлюють системи опалення та вентиляції. Після запуску процесу управління мікрокліматом система отримує показники температури і вологості від датчика і виводить їх на екран. Якщо температура в теплиці перевищує норму, а опалення працює, його необхідно вимкнути. В іншому випадку включається вентиляція і в теплицю надходить прохолодне повітря. Якщо температура нижче норми, припиняється провітрювання теплиці і вмикається обігрів. У разі, якщо температура повітря знаходиться в межах зазначеної норми, вологість повітря в теплиці контролюють. Якщо вологість повітря перевищує зазначену норму, починають провітрювання теплиці. Надлишок вологи, що виник внаслідок випаровування з ґрунту після поливу, виходить через вентиляцію. Таке утримання мікроклімату забезпечує постійну підтримку оптимальних умов для розвитку вибраних культур.

Розробка, автоматизованого внутрішнього, вертикального гідропонічного землеробства на основі IoT [4]

Розроблена система здатна вирощувати звичайні види культур, які можна використовувати як джерело їжі в будинках без потреби у великому просторі. Проект системи був розроблений після вивчення різних типів вертикальних гідропонних систем з точки зору ціни, енергоспоживання та придатності для

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

побудови як внутрішньої автоматизованої системи. Мікроконтролер працював як мозок системи, який спілкувався з різними типами датчиків, щоб контролювати всі параметри системи та мінімізувати втручання людини. Для зберігання та відображення параметрів системи та графічного інтерфейсу для віддаленого доступу використовувалася відкрита платформа Інтернету речей (IoT).

Блок-схема автоматизованої вертикальної гідропонної системи складається з шести частин: основного джерела живлення, вимірювача потужності, системи вимірювання та контролю, вертикальної гідропонної конструкції, модуля Wi-Fi та онлайн-бази даних. Загальна блок-схема показана на рисунку 4. Усі датчики, підключені до вертикальної гідропонної системи, можна контролювати з платформи IoT на будь-якому розумному пристрої. Існує модуль вимірювача потужності для безперервного моніторингу енергоспоживання системи, щоб зробити систему енергоефективною та можливою для масштабного розширення.

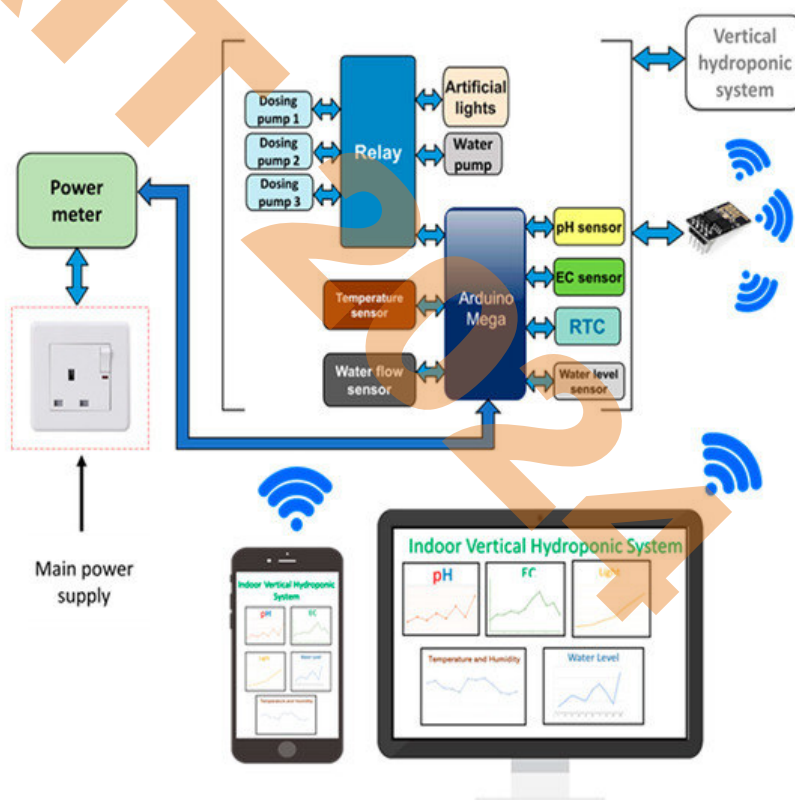


Рисунок 1.4 - Блок-схема спроектованої системи [4]

У будь-якій гідропонній системі є кілька параметрів, які слід підтримувати в певному діапазоні, наприклад рН, електропровідність (ЕС), температура навколишнього середовища та рівень води в контейнері. Автоматична гідропонна система повинна регулювати та підтримувати ці параметри в межах прийнятних

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

значення автоматично та незалежно без вимоги втручання користувача. Для моніторингу різних параметрів гідропонної системи до мікроконтролера підключаються різні датчики. Електромеханічне реле панелі використовувалося для керування штучним освітленням, водяними насосами та насосами-дозаторами, які використовувалися для додавання рН і поживних речовин у воду.

Штучне освітлення. Освітлення дуже важливо для рослин, оскільки воно відіграє важливу роль у процесі фотосинтезу. Будь-яка нестача світла обмежить фотосинтез, що впливає на ріст рослин [4]. Рослини не потребують повного спектру світла для росту. Вони поглинають лише необхідну кількість світла в спектрі. Вимоги до світла становлять від 400 до 700 нм, що лежить у межах видимого діапазону, і це також відомо як фотосинтетично активне випромінювання (PAR). Крім того, для вирощування квітучих рослин необхідна висока інтенсивність червоного та синього світла, тоді як для неквітучих рослин потрібна лише висока інтенсивність червоного світла [4].

У цьому дизайні використовувалися світлодіодні світильники компанії Koray, 3 світильники для трьох рівнів системи NFT. У цьому дослідженні використовувалися два різних типи світлодіодних ламп: 6K3R4 і K6. Специфікацію кожного набору ліхтарів можна знайти в додатковій таблиці S3. Спектр світла показує, що 6K3R4 має високу інтенсивність червоного світла, що робить його придатним для вирощування листових овочів, тоді як K6 має високу інтенсивність синього та червоного світла, що робить його придатним для вирощування квітучих рослин. Як правило, світлодіоди повинні бути включені протягом 16 годин на день, тому освітленням керували за допомогою реле з центрального мікроконтролера.

Таблиця 1.3 - Технічні характеристики гідропонних світильників [4]

Тип моделі	Домінуючий колір	Пік спектру довжини хвилі	Електричні параметри
6K3R4	Red	660 nm	V = 24 V, I = 0.7582 A, P=18.20 W
K6	Red and blue	645 nm	V = 231.5 V, I = 0.08053 A, P = 17.9 W

Різні датчики, які використовувалися в дизайні, повинні були бути відкалібровані перед їх використанням. Загальна електрична схема системи показана на рис 1.5, де представлені всі датчики та прилади змінного струму, з'єднані один з одним уздовж з'єднання контролера змінного струму та підсистеми вимірювача потужності. Використовувалися два різних типи Arduino, а саме Arduino Mega і Arduino Nano. Контролер змінного струму розроблено навколо Arduino Mega та вимірювача потужності, що використовує Arduino Nano, і обидва вони надсилають дані головному Arduino Mega через послідовний зв'язок.

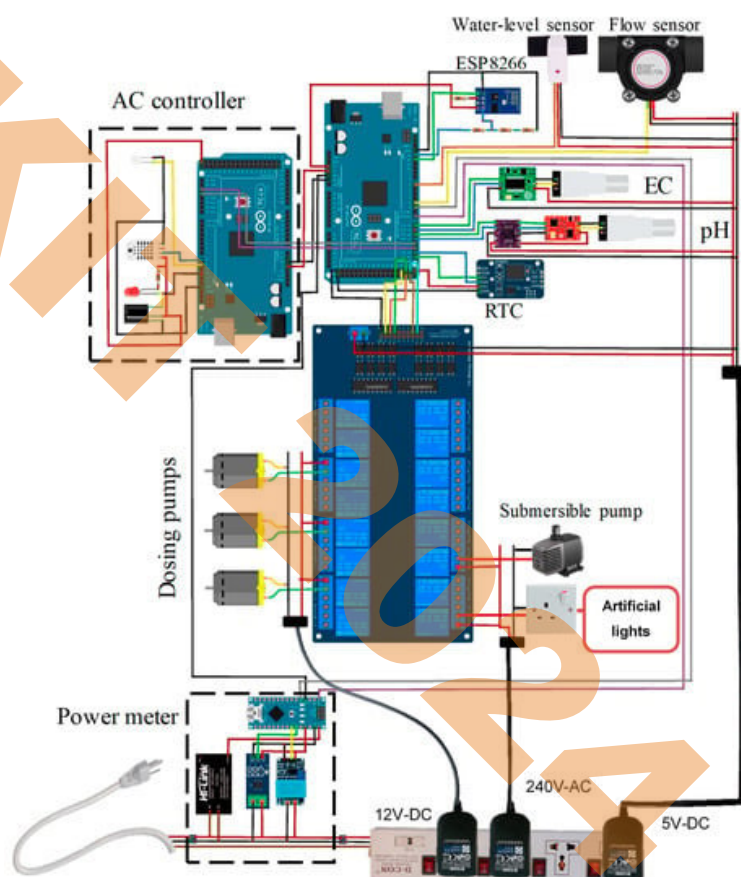


Рисунок 1.5 - Загальна електрична схема системи [4]

Контролер ATmega328p з 6 стрічками RGB LED

Управління декількома незалежними стрічками глухих світлодіодів; не для адресних розумних світлодіодів, таких як WS2811 [5.]

Використовуйте кожен контакт GPIO для 8-розрядної ШІМ, керованої перериваннями.

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

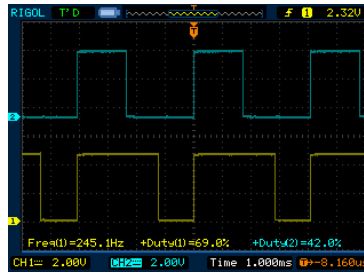


Рисунок 1.6 - Анімація ключових кадрів із використанням лінійної інтерполяції [4]

Вбудована апаратна функція ШІМ мікроконтролерів AVR дозволяє апаратному таймеру імпульсувати певні контакти GPIO, наближаючи аналоговий сигнал пропорційно до того, як довго контакт утримується на високому чи низькому рівні (швидкість навантаження). Після того, як робочий цикл налаштовано програмним забезпеченням (`analogWrite` функція з Arduino API), таймер буде постійно пульсувати на контакті незалежно від іншої активності ЦП. ATmega328p (Arduino Nano/Uno) має 3 таймера, які можуть генерувати 2 ШІМ-виходи кожен, загалом 6: достатньо, щоб керувати 2 стрічками світлодіодів RGB.

Блоки таймера AVR також можна налаштувати для виклику функції переривання після програмованої затримки. Коли таймер готовий, будь-який запущений код призупиниться, а ЦП перейде до функції переривання, відновивши попередній код після повернення функції. Бібліотека Arduino використовує цю функцію для відстеження часу для `millis` function. Операційні системи на настільних комп'ютерах використовують аналогічні таймери для перемикання між програмними потоками.

Зберігаючи список усіх контактів GPIO, відсортованих за бажаним робочим циклом, ми можемо встановити таймер так, щоб він постійно прокидався, коли наступний контакт(и) потребує зміни стану, а потім перепрограмував себе для наступного висновку після цього. Після налаштування він працюватиме повністю у фоновому режимі, прозорий для будь-якого коду, що виконується в циклі мікроконтролера. Завдяки 18 вільним контактам GPIO (резервуючи D0/D1 для послідовної передачі/приймання), наш Arduino Nano/Uno тепер може управляти 6 повністю незалежними рядками RGB-світильників.

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Принципова схема. Транзисторні матриці Дарлінгтона ULN2003 використовуються для керування світлодіодними стрічками із загальним анодом. Коли Arduino встановлює високий рівень на вхідному контакті, відповідний вихідний контакт стає шляхом із низьким опором до землі (відкритий колектор), що дозволяє струму протікати від джерела живлення 12 В через світлодіоди та ULN2003, але не через Arduino. Для інших типів світлодіодів або навантажень можуть знадобитися інші драйвери, підсилювачі або реле.

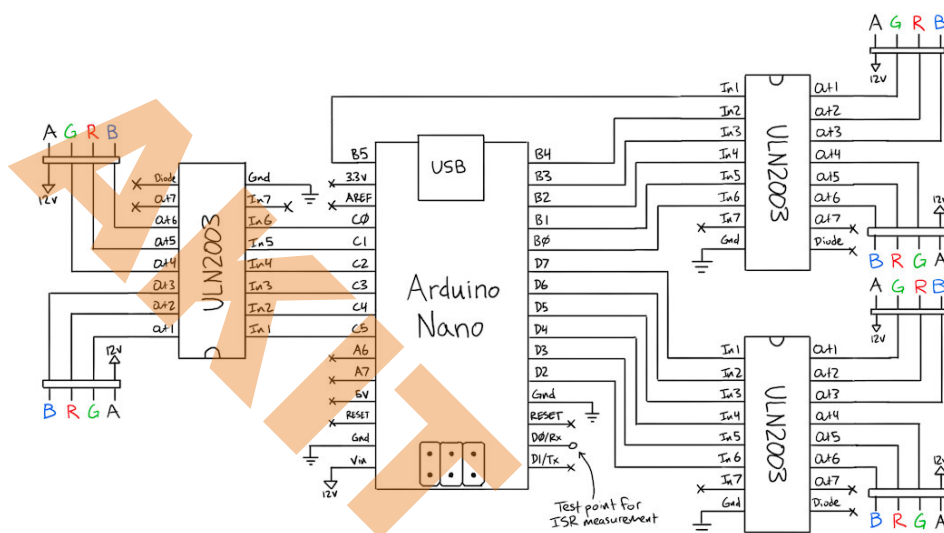


Рисунок 1.7 - Загальна електрична принципова схема [5]

1.3 Огляд аналогів фітоламп

Фітолампи - це спеціальні освітлювальні пристрої, призначені для стимулювання росту рослин шляхом випромінювання світла, яке імітує сонячне. Ось огляд популярних аналогів:

Світлодіодні фітолампи: Використовують світлодіоди для забезпечення спектру світла, що ідеально підходить для фотосинтезу. Вони енергоефективні, довговічні та забезпечують мінімальне виділення тепла.

Флуоресцентні лампи: Підходять для маленьких рослин і розсади. Вони випромінюють широкий спектр світла і добре підходять для початкових стадій росту, але споживають більше електроенергії порівняно з світлодіодами.

Натрієві лампи високого тиску: Часто використовуються в промислових масштабах для вирощування рослин. Вони забезпечують високу інтенсивність світла, але мають короткий термін служби та споживають багато електроенергії.




					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Індукційні фітолампи: Сучасні, довговічні лампи, що пропонують широкий спектр світла. Вони ефективні, але можуть бути дорогими.

Кожен з цих варіантів має свої переваги та недоліки, тому вибір фітолампи залежить від конкретних потреб і умов вирощування рослин.

У таблиці 1.4. приведено характеристики фотоламп декількох виробників. На ринку є велика кількість різноманітних ламп, а проїх ефективність можна лиш здогадуватись. У таблиці наведені промислові фітосвітильники які використовуються у тепличному господарстві.

Таблиця 1.4 – Фітолампи і їх характеристики [2]

Марка	Виробник:	Потік фотонів, мкмоль/с	Споживана потужність, Вт	Напруга, В
 Pro Series E	LumiGrow	550-1100	295 - 580	120-240 277 480 В
 Еліксія	Heliospectra	862-1011	630 або 525	312-528 В змінного струму, 47/63 Гц або 80-305 В змінного струму, 50/60 Гц
 FluxScale	GrowFlux	1340	624	120-240

2 ПРОЕКТНО –КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз технічного завдання

Світлодіодне (світлодіодне) освітлення набуває популярності в галузі сільського господарства, особливо у теплицях і закритому фермерському господарстві, де воно забезпечує ряд переваг порівняно з традиційними методами освітлення, наприклад, не потребує обслуговування та має вищу Енергоефективність. Світлодіоди перетворюють понад 80% електроенергії, яку вони споживають, у світло та споживають на 60% менше енергії за тієї ж інтенсивності освітлення.

Однак найбільшою перевагою є контроль спектра: різним культурам потрібні різні довжини хвилі світла для оптимального росту, врожайності та добробуту, а світлодіодне освітлення може забезпечити точний необхідний спектр із додатковою перевагою, оскільки цей спектр можна оптимізувати в реальному часі.

Ця можливість точного налаштування колірної температури робить світлодіодне освітлення економічно ефективним рішенням, ніж традиційний метод освітлення.

Світлодіодне освітлення забезпечує точне керування спектром, що означає, що світло можна адаптувати до конкретних потреб рослин; класичні лампи для вирощування випромінюють сильніше у пурпуровому та синьому кольорах. Однак для різних стадій росту рослин потрібні різні довжини хвилі світла, і світлодіодне освітлення може забезпечити оптимальний спектр для кожної стадії. Ще одна перевага полягає в тому, що він виробляє менше тепла та інфрачервоного випромінювання, ніж традиційні методи освітлення, таким чином зменшуючи ризик теплового стресу для рослин під високим рівнем освітлення. Це особливо важливо у закритому землеробстві та тепличному вирощуванні, де контроль температури є критичним.

Сільське господарство в закритому ґрунті передбачає вирощування сільськогосподарських культур у закритому середовищі з використанням суто штучного освітлення, що дозволяє вирощувати врожай протягом усього року.

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Вертикальне землеробство передбачає вирощування зернових культур шарами, що робить його економним варіантом для міських районів. Світлодіодне освітлення забезпечує необхідне освітлення для росту рослин у кожному шарі, зменшуючи споживання енергії та тепловіддачу. У гідропонному землеробстві рослини вирощують у багатому поживними речовинами водному розчині без ґрунту, а світлодіодне освітлення може запропонувати правильний спектр світла для фотосинтезу, дозволяючи рослинам рости швидше та давати вищі врожаї; його також можна налаштувати відповідно до конкретних вимог до освітлення різних видів рослин. Різновидом безґрунтового садівництва є аеропонне землеробство, де рослини вирощують у середовищі повітря або туману, і аквапонне землеробство, де рослини вирощують у водному середовищі з рибою. Знову ж таки, світлодіодне освітлення використовується для забезпечення необхідного спектру світла для оптимального росту рослин і для підтримки росту водних організмів. Вирощування в закритих приміщеннях стає все більш популярним, особливо в містах, де простір обмежений. Тут світлодіодне освітлення відіграє вирішальну роль, оскільки воно забезпечує необхідне світло для росту рослин, одночасно зменшуючи споживання енергії та тепловіддачу.

У більшому масштабі світлодіодне освітлення використовується в теплицях, щоб забезпечити необхідне освітлення для росту рослин, незалежно від погодних умов. Штучне освітлення також використовується для продовження вегетаційного періоду, що означає, що зернові культури можна вирощувати поза межами нормального періоду вегетації.

2.2 Матеріали

2.2.1 Arduino

Arduino — це найпопулярніша платформа з відкритим кодом, яка використовується переважно в електронних проектах, поєднуючи апаратне та програмне забезпечення. Він має широкий спектр інноваційних застосувань від індустрії IoT до освітніх інструментів STEM/STEAM [6]. Апаратне забезпечення Arduino складається з мікроконтролера Atmel AVR, встановленого на

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

материнській платі, яка обладнана відповідно до потреб системи та її взаємодії з іншими схемами. Основною причиною успіху Arduino є його просте програмування, яке виконується за допомогою програми Arduino IDE та використання кабелю USB для передачі коду з комп'ютера безпосередньо на плату, на відміну від інших платформ, які вимагають використання додаткового обладнання.

На початку 2000 року дослідницький проект в Інституті дизайну та взаємодії в Ібреа, Італія, за участю піонерів Массімо Банзі, Девіда Куартіеллеса, Тома Ігое, Джанлуки Мартіно та Девіда Мелліса став відправною точкою для створення Arduino. У 2005 році з'явилася перша плата Arduino, яка допомогла людям без досвіду в області електроніки і програмування мікроконтролерів зробити перші кроки [6]. З тих пір завдяки безперервному розвитку платформи та впровадженню нових функцій програми Arduino продовжують інновації та роблять її провідним гравцем у спільноті електроніки.

Платформа Arduino пропонує безліч плат, кожна зі своїми характеристиками та можливостями, що дає можливість вибрати оптимальну для розробки проекту. У цьому проекті ARMS була обрана модель Arduino Uno REV3, причини її вибору та її характеристики будуть проаналізовані в продовженні роботи. Кожна плата є повністю функціональною та оснащена відповідним обладнанням, але є відмінності в залежності від моделі. Окрім розміру кожної плати, існують відмінності в мікроконтролері та його частоті, робочій та вхідній напрузі, пам'яті та кількості контактів введення/виведення. На рис.2.1 показано найпоширеніші моделі Arduino.

Додаткові функції на платформі Arduino пропонуються через спеціальні розширення, також відомі як Arduino Shields, які додають такі функції, як підключення до Інтернету, бездротовий зв'язок, простір для зберігання, індикація на дисплеї тощо, залежно від вимог кожного проекту. У цьому проекті ARMS було обрано розширення Ethernet для підключення та надсилання даних до Інтернету, а причини його вибору та його характеристики будуть проаналізовані в продовженні роботи.

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27



ARDUINO LEONARDO



ARDUINO MEGA



ARDUINO MKR VIDOR



ARDUINO NANO



ARDUINO TIAN



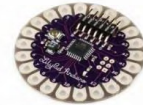
ARDUINO UNO



ARDUINO YUN



ARDUINO ZERO



ARDUINO LILYPAD

Рисунок 2.1 - Деякі з найпоширеніших моделей Arduino [6]

Ці розширення являють собою плати, розроблені відповідно до стандартів Arduino і застосовуються до кожної моделі, використовуючи необхідні з'єднання для їх роботи. На рис. 2.2 показано найпоширеніші Arduino Shields.



ARDUINO WIFI SHIELD



ARDUINO ETHERNET SHIELD



ARDUINO 9 AXIS MOTION SHIELD



ARDUINO EDUCATION SHIELD



ARDUINO GSM SHIELD



ARDUINO MOTOR SHIELD



ARDUINO PROTO SHIELD



ARDUINO RELAY SHIELD



ARDUINO SD SHIELD

Рисунок 2.2 - Деякі з найпоширеніших моделей Arduino Shields [6]

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Arduino Uno REV3 є базовою платою і була обрана через можливості, які вона пропонує для запуску проекту. Зокрема, він має мікроконтролер ATmega328P із тактовою частотою 16 МГц, 14 цифрових контактів вводу/виводу, 6 аналогових входів, USB-з'єднання для передачі даних і джерела живлення, незалежну вилку живлення тощо. Коротше кажучи, він містить усі необхідні компоненти для підтримки, програмування та керування мікроконтролером через просте USB-з'єднання з комп'ютером [7]. Детальний опис його технічних характеристик представлено на рис. 2.3 нижче.

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Рисунок 2.3 - Опис технічних характеристик Arduino Uno REV3 [7]

Щоб зрозуміти функції Arduino Uno REV3, корисно пояснити окремі структурні елементи, які з'являються на платі, які зображені на малюнку 9. Він живиться трьома способами. Або через USB-порт (1), або через штепсельну вилку (2), а також через гнізда Vin і GND із джерелом, наприклад акумулятором. Роз'єми Uno REV3 розділені, як показано на малюнку 9, де показано плату, на окремі категорії (POWER, DIGITAL, PWM, ANALOG IN, AREF, RESET) відповідно до їхніх функцій. На платі також є кнопка скидання (3), яка при натисканні перезавантажує Arduino, а потім запускає код спочатку. Крім того, є світлодіоди, які вказують на різні функції плати, наприклад світлодіод ON для вказівки джерела живлення плати.

Розетки POWER це:

- ❖ IOREF (4): контакт для подачі робочої опорної напруги мікроконтролера.
- ❖ 3,3 В (5): Клема живлення вихідної напруги 3,3 В.
- ❖ 5 В (6): Клема живлення вихідної напруги 5 В.
- ❖ GND (7): клеми заземлення.
- ❖ Vin (8): Гніздо вхідної напруги для зовнішнього джерела живлення.

Цифрові термінали Arduino, позначені DIGITAL (9), використовуються як входи, так і виходи з номінальною напругою та вихідними значеннями 5 Вольт і 20-40 мА відповідно для захисту та безперебійної роботи мікроконтролера. Деякі з цих штифтів мають спеціальні функції. Аналітично:

- ❖ ШІМ: контакти 3, 5, 6, 9, 10, 11 із (~) використовуються як звичайні цифрові контакти, але також для ШІМ. Вони по суті імітують аналогові виходи Arduino.

- ❖ Послідовний: послідовні контакти 0 (RX - прийом) і 1 (TX - передача) використовуються для отримання та надсилання послідовних даних TTL відповідно.

- ❖ Зовнішні переривання: контакти 2 і 3 можна налаштувати як ексклюзивні входи, які переривають потік програми та викликають певну попередньо визначену функцію після певного стимулу.

- ❖ SPI: 10, 11, 12 і 13 підтримують зв'язок SPI через бібліотеку SPI.

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Аналогові контакти Arduino знаходяться на платі навпроти цифрових і позначені від A0 до A5 в області ANALOG IN (10). Вони приймають вхідні значення в діапазоні значень від 0 до 5 В, зчитують сигнал і перетворюють його в цифрове число з 10 біт, яке може представляти $2^{10}=1024$ різних значень, тобто від 0 до 1023. До аналогових терміналів відноситься термінал AREF (11), тобто аналоговий опорний сигнал, за допомогою якого користувач може визначити верхню межу напруги зі значенням від 0 до 5 вольт для аналогових входів. Нарешті, штифт RESET (12) із заземленням використовується для перезапуску мікроконтролера, але ми також можемо використовувати його для перезапуску розширення (Shield).

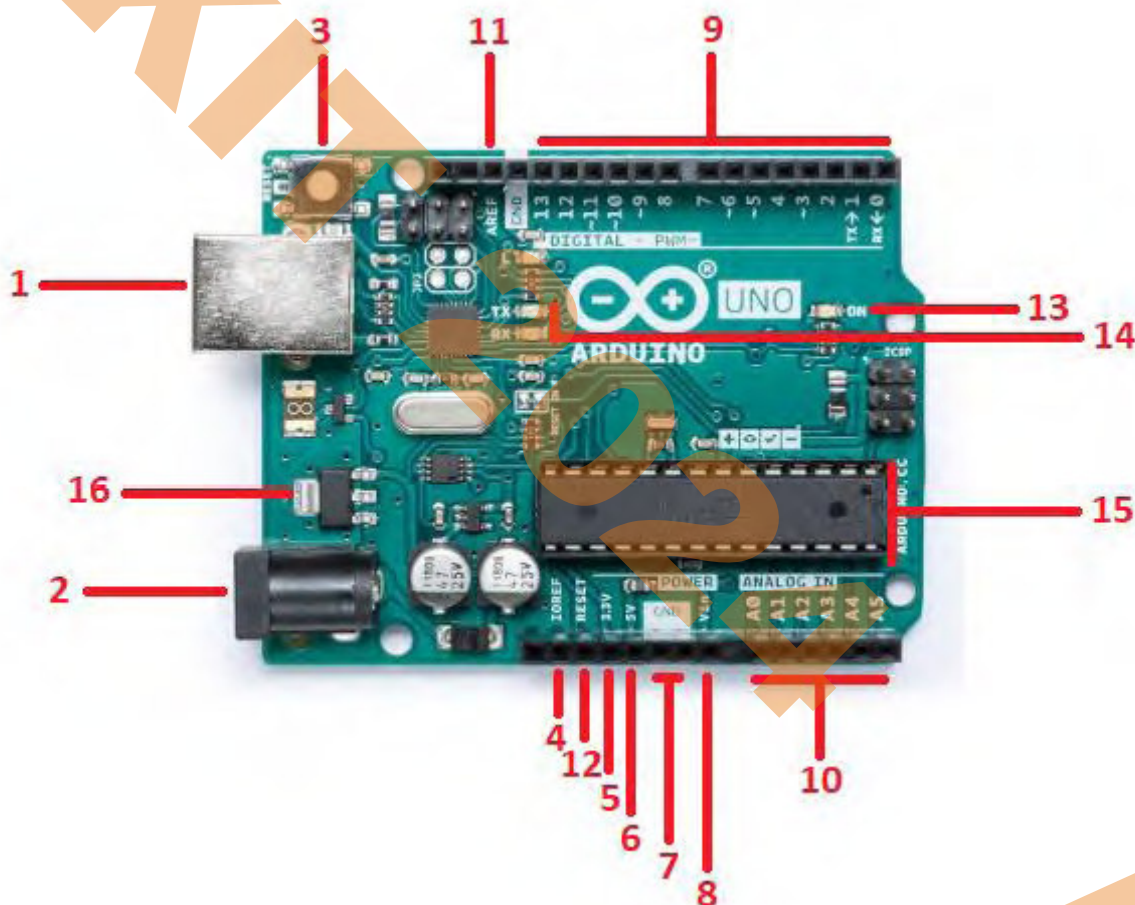


Рисунок 2.4 - Деталі плати Arduino UNO Rev3.

На платі Arduino також є світлодіодні індикатори, які вказують інформацію про її роботу в залежності від того, відкриті вони чи ні. Світлодіод з позначкою

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

ON (13) є індикатором живлення, який має світитися, коли Arduino підключено до джерела живлення. Якщо живлення є, а індикатор увімкнення не світиться, це означає, що виникла проблема, і пристрій і схему слід перевірити. Ще два світлодіоди на Arduino — TX і RX (14), які вказують, коли дані передаються (Transmit) і приймаються (Receive) за допомогою послідовного зв'язку.

Двома важливими частинами головоломки плати Arduino є мікроконтролер (15) і регулятор напруги (16). Мікроконтролер ATmega328P є мозком системи. Це 8-розрядний мікроконтролер CMOS, який поєднує в собі високу продуктивність і низьке енергоспоживання, належить до сімейства AVR ATMEL і розроблений з покращеною версією архітектури RISC. Він має три типи пам'яті: флеш-пам'ять, SRAM і EEPROM. Об'єм флеш-пам'яті становить 32 КБ, з яких 2 КБ призначено для мікропрограми Arduino, а решта 30 КБ — для зберігання програм. SRAM становить 2 КБ, а EEPROM — 1 КБ. Другим життєво важливим компонентом для безпеки та належної роботи Arduino є регулятор напруги, який гарантує, що через плату не пройде напруга, достатня для її пошкодження. Однак з боку користувача системи потрібна увага, щоб не втручатися в роботу регулятора напруги та не перевищувати обмеження в 20 Вольт на вході Arduino.

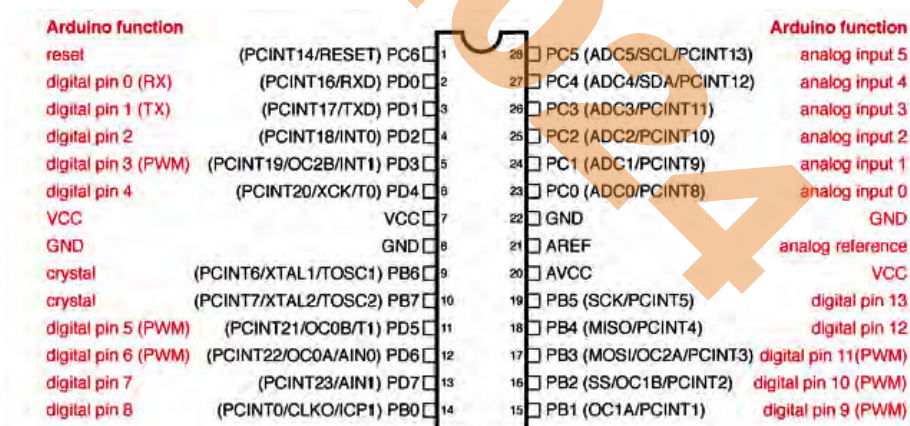


Рисунок 2.5 - Відображення контактів мікроконтролера ATmega328P [7]

Дивлячись на рис. 2.5, де представлено відображення контактів мікроконтролера ATmega328P, зрозуміло, що решта плати Arduino UNO Rev3 виконує допоміжну роль і добре розроблена для повного й оптимального

використання можливостей мікроконтролера, оскільки кожен контакт ATmega328P відповідає контакту плати. Таким чином, плата забезпечує відповідні з'єднання між мікроконтролером і терміналами, а також необхідні індикатори та порти, щоб користувач міг мати простий інтерфейс зі схемою.

2.2.2 Рідкокристалічний дисплей

Рідкокристалічний дисплей (LCD – Liquid Crystal Display) із 16 колонками по 2 рядки, що дозволяє вводити дані, пов'язані з деталями споживача під час розміщення лічильника. Використовується екран типу JHD162A, який використовує популярний драйвер HD44780U від Hitachi. Роль кожного терміналу, а також розміри екрана показано на наступних малюнках.



Рисунок 2.6 - Рідкокристалічний дисплей [8].

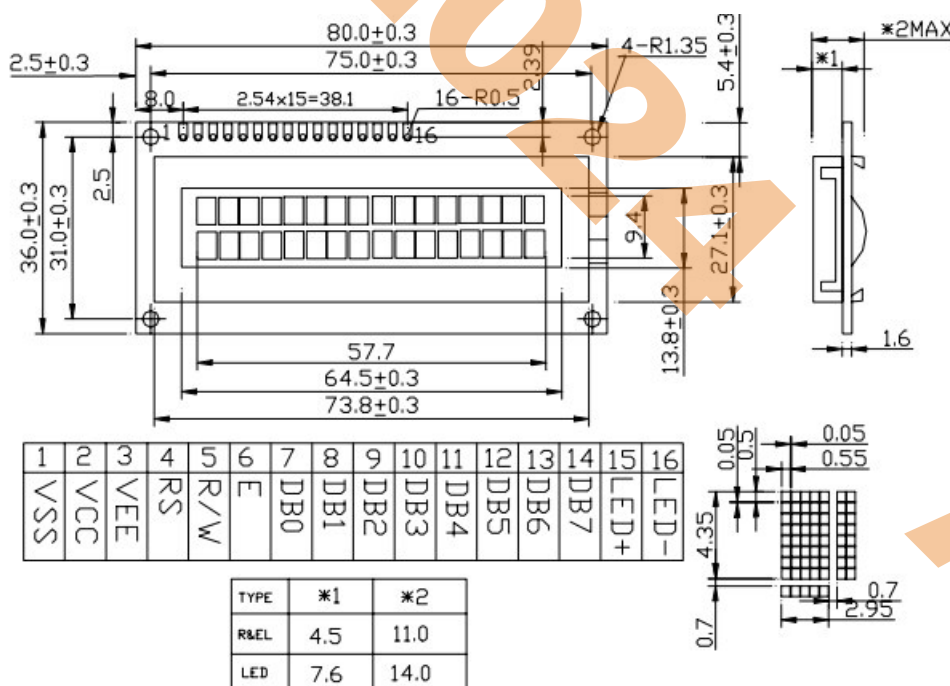


Рисунок 2.7 - Значення рідкокристалічних дисплейних терміналів [8].

2.2.3 Годинник реального часу

Цей модуль годинника реального часу (RTC) відрізняється від аналогічних модулів тим, що він побудований на унікальній мікросхемі DS3231SN. Його унікальність полягає в дуже високій точності годинника. Це було досягнуто шляхом розміщення кварцового резонатора в корпусі мікросхеми та забезпечення температурної компенсації та цифрової корекції частоти задаючого генератора.

Внутрішній датчик температури, доступний через внутрішні регістри годинника. Є два програмованих будильника.

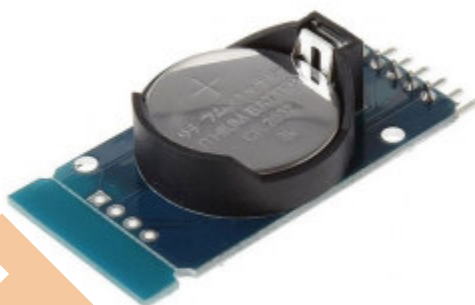


Рисунок 2.7 - Real Time Clock Модуль на DS3231SN [9]

Основні риси:

Високоточний тактовий генератор з термокомпенсацією та корекцією ходу
Лічильники секунд, хвилин, годин, днів тижня, днів, місяців і років.

Стабільність генератора ± 2 ppm в діапазоні температур від 0°C до $+40^{\circ}\text{C}$

Стабільність генератора $\pm 3,5$ ppm в діапазоні температур від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$

Точність внутрішнього цифрового датчика температури $\pm 3^{\circ}\text{C}$

Програмований вихід прямокутних імпульсів

Два програмованих будильника

Простий та розширений інтерфейс підключення

Два режими шини I2C: стандартний (100 кГц) і швидкий (400 кГц)

Дуже мале споживання від резервного вдосконалення

Робоча напруга живлення від 3.0В до 5.5В

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Діапазон робочих температур: від 0 до + 70 °С для комерційного виконання та від -40 до + 85 °С для промислового

Підключення (наприклад, до Arduino UNO R3):

SCL - A5

ПДР - A4

VCC - 5В

GND – GND

2.2.4 Джерело живлення

AC/DC, 1200,0 Вт, один вихід, роз'єм RACM1200-48SAV/ENC

Потужність до 1000 Вт без вентилятора / посилення 1200 Вт

Розроблено та виготовлено в Європі

ККД більше 90% при 15% навантаженні

Широкий діапазон робочих температур -40...+80°C



Рисунок 2.8 - RACM1200-48SAV/ENC [10]

Сертифіковано за промисловими та медичними стандартами

Функція аналогового керування та моніторингу

Індивідуальні варіанти

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ

Арк.

35

2.2.5 RGB світлодіоди

3W (3 x 1W) RGB LED загальний анод

Триколірний світлодіод 3 W (3 x 1W) RGB LED . Модель - LEDT03RGB1 .

Чотирьохвивідний із загальним анодом.



Рисунок 2.9 - RACM1200-48SAV/ENC [10]

Потужність 3 x 1W

Робоча напруга червоний колір (625 Нм) 2.0...2.4 У

Робоча напруга зелений колір (520 Нм) 3.0...3.4 У

Робоча напруга синій колір (465 Нм) 3.0...3.4 У

Робочий загальний струм 700 мА

Світловий потік червоний колір (625 Нм) 30...40 Лм

Світловий потік зелений колір (520 Нм) 50...70 Лм

Світловий потік синій колір (465 Нм) 10...20 Лм

Кут випромінювання 120 °

Виробник Epistar

Триколірний світлодіод 3W (3 x 1W) RGB LED . Модель - LEDT03RGB .

Максимальна загальна потужність – 3Вт.



Рисунок 2.10 - RACM1200-48SAV/ENC [10]

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ

Арк.

36

3W RGB LED має шестививідний корпус, тобто по суті представляє збирання з трьох окремих світлодіодів в одному корпусі. Завдяки цьому він може використовуватися в будь-яких конфігураціях схем підключення - із загальним анодом, із загальним катодом, а також із послідовним включенням діодів.

Потужність 3 x 1Вт

Робоча напруга червоний колір (625 Нм) 2.0...2.4 У

Робоча напруга зелений колір (520 Нм) 3.0...3.4 У

Робоча напруга синій колір (465 Нм) 3.0...3.4 У

Робочий загальний струм 900 мА

Світловий потік червоний колір (625 Нм) 40...80 Лм

Світловий потік зелений колір (520 Нм) 40...80 Лм

Світловий потік синій колір (465 Нм) 30...50 Лм

Кут випромінювання 120 °

Виробник Epistar

Розміри корпусу та висновків 3W RGB:

2.3 Синтез структурної та принципової схеми

З врахуванням технічного завдання та вибраних нами компонентів розробимо структурну схему. Вона має задовольняти умовам ТЗ і логічному зв'язку усфх складових системи для виконання поставленої задачі.

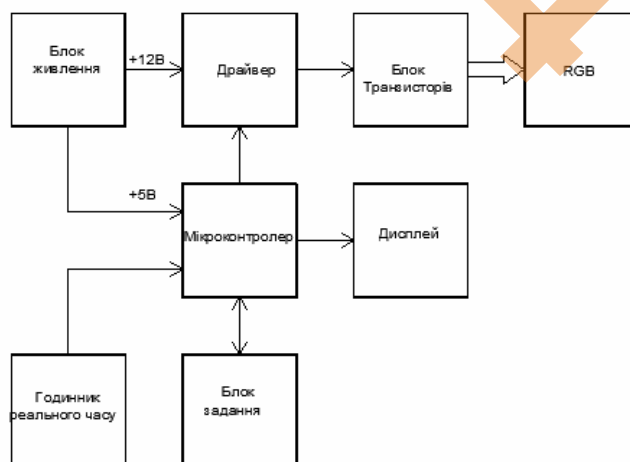


Рисунок 2.11 – Структурна схема адаптованого освітлення

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

На основі структурної схеми побудуємо принципову.

Серце системи складається з Arduino, з модулем реального часу і невеликим РК-дисплеєм, а також цифровим джерелом живлення RASM1200, здатним забезпечити 1000 Вт у герметичному, пілонепроникному корпусі без вентилятора. Та кнопок задання режиму роботи.

Структурна схема системи світлодіодного освітлення

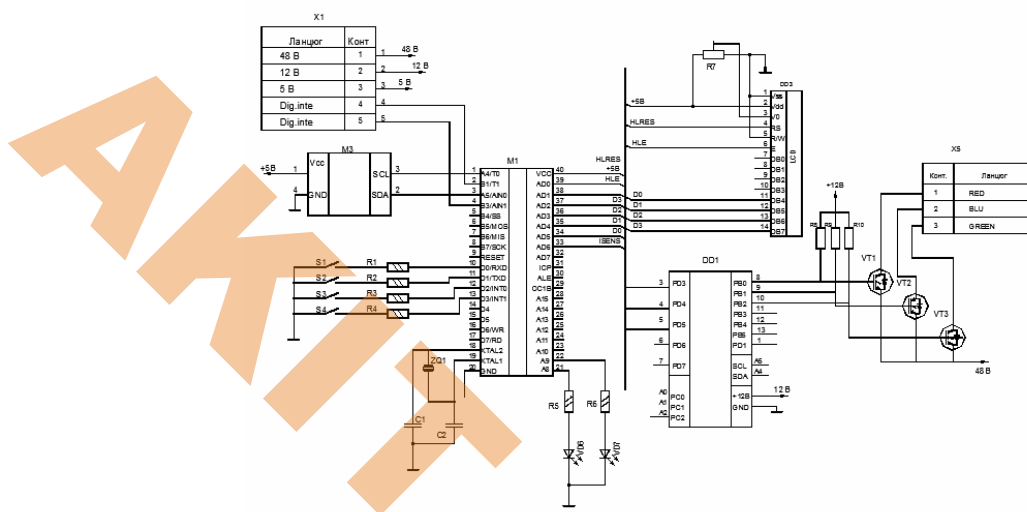


Рисунок 2.12 – Принципова схема адаптивного освітлення теплиці

Система керування світлодіодним освітленням може маніпулювати колірним спектром у режимі реального часу шляхом індивідуального затемнення різних банків світлодіодів, тоді як Arduino взаємодіє з джерелом живлення, щоб увімкнути та вимкнути світлодіодне освітлення в попередньо встановлений час або встановити загальну інтенсивність світла. Глобальне затемнення для зниження енергоспоживання можна досягти шляхом регулювання вихідної напруги за допомогою цифрового керування.

RASM1200 ідеально підходить для цієї програми, оскільки він має окремий «завжди ввімкнений» вихід 5 В, який продовжуватиме живити Arduino, навіть коли основний вихід повністю вимкнено; крім того, він включає в себе окремий вихід вентилятора 12 В, який використовується в цьому прикладі для підвищення вихідного рівня логічного рівня контактів вводу/виводу на Arduino до сигналу

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

вищої напруги, який може перемикає силові МОП-транзистори більш ефективно та на повну потужність.

Світлодіодні світильники працюють при безпечній напрузі 48 В постійного струму, що означає, що світильники можна підвісити до стелі на оптимальній висоті для рівномірного освітлення, навіть якщо вони знаходяться в межах легка доступність працівників ферми. У вертикальному землеробстві, де кожен штабель окремо освітлюється на близькій відстані у вологому або вологому середовищі з туманом, захист працівників вимагає такої безпечної електропроводки наднизької напруги. Звичайно, RASM1200 постійно захищений від короткого замикання і не буде пошкоджений, якщо замикається вихід.

Сигнали ШІМ керують світлодіодним світлом для росту рослин

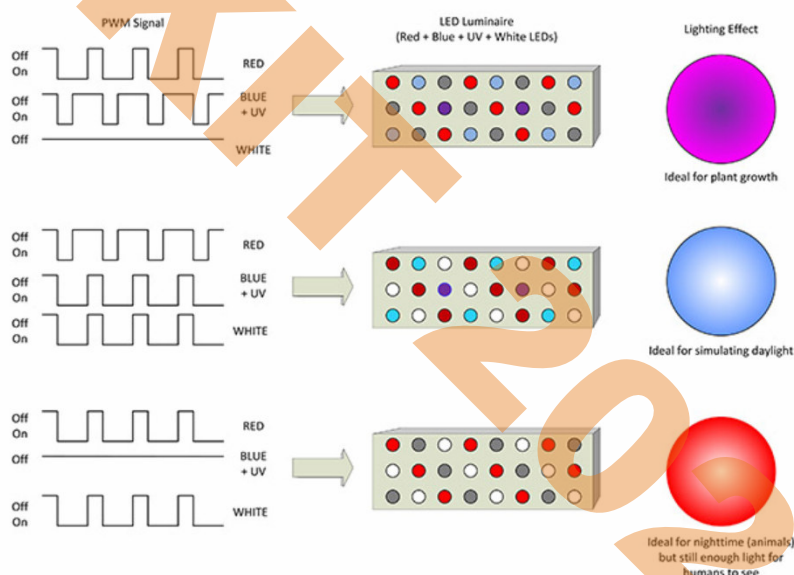


Рисунок 2.13 - Зміна сигналу ШІМ для кожного блоку змін світлодіодів

Колірна температура освітлення встановлюється шляхом зміни ШІМ-сигналу від Arduino для кожного каналу, пропонуючи більше червоного, більше синього, білішого або більше ультрафіолетового освітлення, якщо це необхідно. Світлодіоди перемикаються за допомогою ШІМ-сигналу з частотою понад 200 Гц,

Всю систему можна розмістити в корпусі розміром не більше коробки для взуття, хоча RASM1200 достатньо потужний, щоб самостійно освітлити цілий сарай або теплицю (вихідна потужність 1000 Вт без охолодження вентилятором). Ще однією перевагою є широкий діапазон вхідної напруги 80-264 В змінного струму, тому навіть нестабільне або нестабільне електропостачання віддалених

сараїв чи віддалених приміщень не становить великої проблеми.

АКТ
2024

АКТ

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КБР.АКТ.2892550.01.000 ПЗ

Арк.

40

3 АЛГОРИТМ РОБОТИ ТА ПРОГРАМУВАННЯ КОНТРОЛЕРА

Алгоритм для контролю за освітленням рослин на основі заданого періоду і часу роботи RGB лампи включає кілька основних кроків: налаштування, ініціалізацію, основний цикл, управління станом лампи освітлення. Користувач може налаштувати ці параметри через пульт управління для кожного нового виду рослин.

Логічні частини алгоритму

1. Налаштування (Setup)

- Встановлення пінів: Визначаємо пін-коди для червоного, зеленого і синього світлодіодів, які будуть керувати кольорами RGB лампи.

```
const int redPin = 9;  
const int greenPin = 10;  
const int bluePin = 11;
```

- Період освітлення: Визначаємо період освітлення у днях, протягом якого програма буде керувати лампою. Цей період конвертується в мілісекунди для зручності використання.

```
const unsigned long periodInDays = 26;  
const unsigned long periodInMillis = periodInDays * 24 * 60 * 60 * 1000;
```

- Інтервали включення/виключення: Визначаємо інтервали часу (в мілісекундах), протягом яких лампа буде включена і вимкнена. Це дозволяє створювати цикли освітлення і темряви.

```
const unsigned long onTime = 10000;  
const unsigned long offTime = 5000;
```

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

2. Ініціалізація (Initialization)

- Встановлення виходів: Налаштовуємо пін-коди для червоного, зеленого і синього світлодіодів як виходи, щоб мати можливість керувати лампою.
- Збереження початкового часу: Фіксуємо час старту програми, щоб мати можливість відслідковувати, скільки часу минуло з початку роботи.

```
void setup() {  
  pinMode(redPin, OUTPUT);  
  pinMode(greenPin, OUTPUT);  
  pinMode(bluePin, OUTPUT);  
  startTime = millis();  
}
```

3. Основний цикл (Main Loop)

- Постійна перевірка часу: Програма постійно перевіряє поточний час, використовуючи вбудовану функцію `millis()`, яка повертає кількість мілісекунд з моменту запуску контролера.
- Перевірка періоду освітлення: Перевіряється, чи минув заданий період освітлення. Якщо період закінчився, лампа вимикається, і програма припиняє свою роботу.
- Управління станом лампи: На основі заданих інтервалів часу (включення та виключення) програма перемикає стан лампи. Якщо поточний інтервал часу закінчився, стан лампи змінюється з включеного на вимкнений або навпаки.

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

```

void loop() {
    unsigned long currentMillis = millis();

    if (currentMillis - startTime >= periodInMillis) {
        turnOffLamp();
        return;
    }

    if ((lampState && currentMillis - previousMillis >= onTime) || (!lampState &&
currentMillis - previousMillis >= offTime)) {
        lampState = !lampState;
        previousMillis = currentMillis;

        if (lampState) {
            turnOnLamp(255, 0, 0);
        } else {
            turnOffLamp();
        }
    }
}

```

4. Управління станом лампи (Lamp State Management)

- Включення лампи: Використовується функція `turnOnLamp()`, яка приймає значення червоного, зеленого і синього кольорів, щоб включити лампу з відповідними значеннями RGB.
- Вимкнення лампи: Використовується функція `turnOffLamp()`, яка встановлює значення червоного, зеленого і синього світлодіодів на нуль, що вимикає лампу.

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

```
void turnOnLamp(int redValue, int greenValue, int blueValue) {  
    analogWrite(redPin, redValue);  
    analogWrite(greenPin, greenValue);  
    analogWrite(bluePin, blueValue);  
}
```

```
void turnOffLamp() {  
    analogWrite(redPin, 0);  
    analogWrite(greenPin, 0);  
    analogWrite(bluePin, 0);  
}
```

Повний код програми:

```
const int redPin = 9;  
const int greenPin = 10;  
const int bluePin = 11;  
  
const unsigned long periodInDays = 26;  
const unsigned long periodInMillis = periodInDays * 24 * 60 * 60 * 1000;  
  
const unsigned long onTime = 10000;  
const unsigned long offTime = 5000;  
  
unsigned long previousMillis = 0;  
bool lampState = false;  
unsigned long startTime;  
  
void setup() {  
    pinMode(redPin, OUTPUT);
```

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

```

pinMode(greenPin, OUTPUT);
pinMode(bluePin, OUTPUT);
startTime = millis();
}

void loop() {
    unsigned long currentMillis = millis();

    if (currentMillis - startTime >= periodInMillis) {
        turnOffLamp();
        return;
    }

    if ((lampState && currentMillis - previousMillis >= onTime) || (!lampState &&
currentMillis - previousMillis >= offTime)) {
        lampState = !lampState;
        previousMillis = currentMillis;

        if (lampState) {
            turnOnLamp(255, 0, 0);
        } else {
            turnOffLamp();
        }
    }
}

void turnOnLamp(int redValue, int greenValue, int blueValue) {
    analogWrite(redPin, redValue);
    analogWrite(greenPin, greenValue);
    analogWrite(bluePin, blueValue);
}

```

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

```
void turnOffLamp() {  
    analogWrite(redPin, 0);  
    analogWrite(greenPin, 0);  
    analogWrite(bluePin, 0);  
}
```

АКІТ 2024

АКІТ

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

ВИСНОВКИ

Адаптивне освітлення теплиць – це інноваційна технологія, яка оптимізує світловий режим для покращення умов вирощування рослин. Використання такої системи має кілька ключових переваг:

1. Підвищення врожайності. Контроль світлових параметрів (спектру, інтенсивності та тривалості освітлення) сприяє оптимальному фотосинтезу, що призводить до кращого росту та розвитку рослин. Це особливо важливо для культур, чутливих до змін освітлення.

2. Гнучкість і адаптивність. Системи адаптивного освітлення легко налаштовуються відповідно до специфічних вимог різних видів рослин і стадій їх розвитку. Це забезпечує кращий контроль за умовами вирощування і дозволяє адаптуватися до змін клімату або інших факторів.

3. Зниження витрат на обслуговування. Інтелектуальні системи освітлення автоматизують багато аспектів управління освітленням, що знижує потребу в ручному втручанні та витратах на обслуговування. Вони також можуть сигналізувати про несправності або необхідність заміни ламп, що зменшує час простою і втрати.

Впровадження адаптивного освітлення в теплицях є важливим кроком до підвищення ефективності аграрного виробництва. Це не тільки сприяє зростанню врожайності та покращенню якості продукції, але й забезпечує екологічну та економічну стійкість аграрних підприємств. Сучасні системи адаптивного освітлення можуть суттєво полегшити управління теплицями, зменшити витрати на енергію та обслуговування, а також адаптуватися до змін у зовнішніх умовах, що робить їх незамінним інструментом для сучасного сільського господарства.

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Список використаної літератури

1. Utilization of LED Grow Lights for Optical Wireless Communication-Based RF-Free Smart-Farming System. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/20/6833>. Дата звернення 01.03.2024
2. Smart Greenhouse Lighting [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.postscapes.com/smart-greenhouse-lighting/> Дата звернення 01.03.2024
3. Розробка автоматизованої системи керування тепличним господарством. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://molodyivchenyi.-ua/index.php/journal/issue/view/46> Дата звернення 01.03.2024.
4. Design, Construction and Testing of IoT Based Automated Indoor Vertical Hydroponics Farming Test-Bed in Qatar. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.postscapes.com/smart-greenhouse-lighting/> Дата звернення 01.03.2024
5. ATmega328p 6-strip RGB LED controller [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://github.com/trevor-makes/avr-soft-pwm> Дата звернення 01.03.2024
6. Офіційний веб-сайт Arduino.cc, «Про нас», [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/Main/AboutUs> Дата звернення 01.03.2024
7. Офіційний веб-сайт Store.arduino.cc, «ARDUINO UNO REV3.» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3> Дата звернення 01.03.2024
8. Символьний дисплей 1602A LCD module [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/1602-simvolniy-displey-zeleniy> Дата звернення 01.03.2024
9. Real Time Clock Модуль на DS3231SN [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod1142-real-time-clock-modyl-na-ds3231sn-bez-batareiki> Дата звернення 01.03.2024
10. RACM1200-48SAV/ENC [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://recom-power.com/en/products/ac-dc-power-supplies/ac-dc-off-board/rec-p-RACM1200-48SAV!sENC.html?2> Дата звернення 01.03.2024

					КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

ДОДАТКИ

АКТИВ 2024

АКТИВ

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

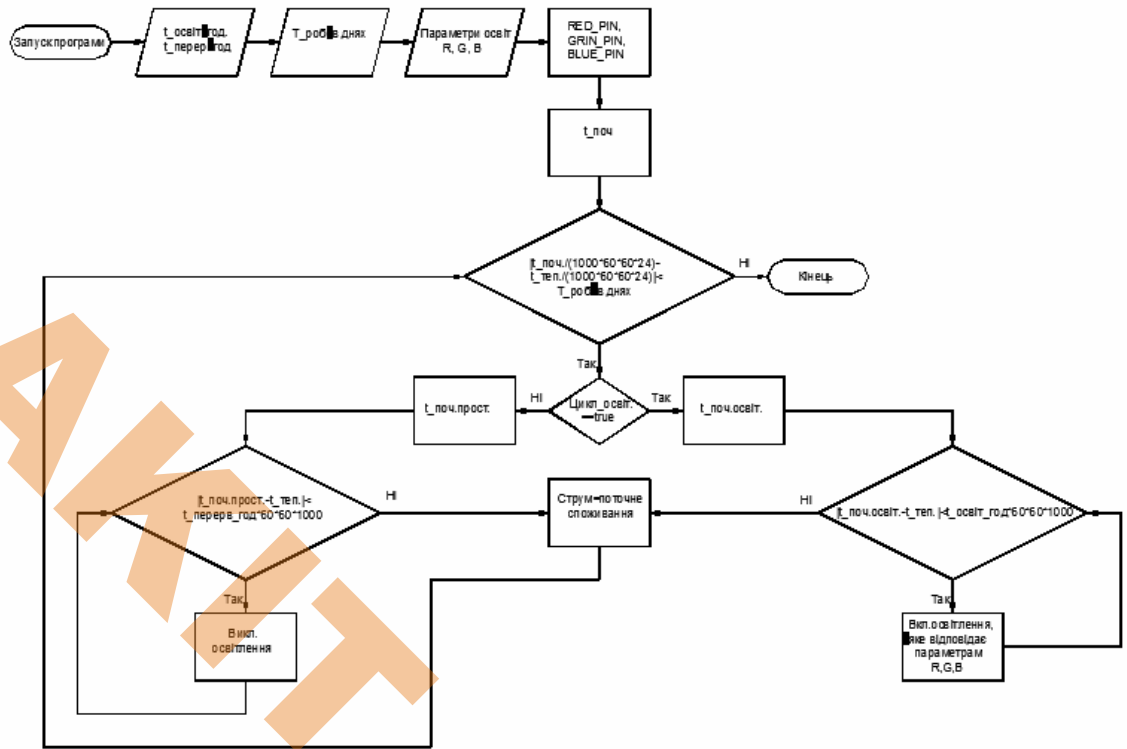
КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ

Арк.

49

Додаток А

Алгоритм



Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ

Арк.

50

Додаток Б

Лістинг програми

```
#include "Arduino.h"
#include "ChannelManager.h"

// ----- Point -----
Point::Point()
{
    _minutes = 0;
    _intensity = 0;
}

// Initialize Point with given values
Point::Point(byte h, byte m, float intensity)
{
    _minutes = (60 * (int)h) + m;
    if(intensity > 1)
    {
        _intensity = intensity / (float)255;
    }
    else
    {
        _intensity = intensity;
    }
}

long Point::GetTimeSeconds()
{
    return _minutes * 60;
}

byte Point::GetHours()
{
    return (byte)(_minutes / 60);
}

byte Point::GetMinutes()
{
    return (byte)(_minutes % 60);
}

float Point::GetIntensity()
{
    return _intensity;
}
```

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ

Арк.

51

```

byte Point::GetIntensityInt()
{
    return (byte)((float) 255 * _intensity);
}

byte Point::GetIntensityPercent()
{
    return (byte)(100 * _intensity);
}

bool Point::IsValid()
{
    return _minutes >= 0 && _minutes < 60 * 24 && _intensity >= 0 &&
_intensity <= 1;
}

bool Point::IsZero()
{
    return _minutes == 0 && _intensity == 0;
}

void Point::PrintPoint()
{
    Serial.print("Point: ");
    Serial.print(GetHours());
    Serial.print("-");
    Serial.print(GetMinutes());
    Serial.print("-");
    Serial.print(GetIntensityPercent());
    if(IsValid())
    {
        Serial.println(" VALID");
    }
    else
    {
        Serial.println(" NOT VALID");
    }
}

// ----- Channel -----

Channel::Channel() {}

// Initialize channel w. no points
Channel::Channel(int pin, int maxLength, FadeMode fadeMode, Point* m)

```

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ

Арк.

52

```

{
    _pin = pin;
    _lightValue = 0;
    _fadeMode = fadeMode;
    _maxLength = maxLength;
    _length = 0;
    _currentPosition = 1;
    _storage = m;
}

int Channel::GetPin()
{
    return _pin;
}

// Add Point to first available position (wrapper function)
void Channel::AddPoint(int h, int m, float intensity)
{
    Point p = Point(h, m, intensity);
    if(_length == 0)
    {
        _previous = p;
        _next = p;
        _currentPosition = 1;
        _length = 1;
    }
    else
    {
        _previous = p;
        _currentPosition++;
        _length++;
    }
    SetPoint(_currentPosition, p);
}

void Channel::SetPoint(int index, int h, int m, float intensity)
{
    SetPoint(index, Point(h, m, intensity));
}

void Channel::SetPoint(int index, Point p)
{
    _storage[index] = p;
}

void Channel::ClearPoint(int index)

```

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

```

    {
        SetPoint(index, Point());
    }

Point Channel::GetPoint(int index)
{
    return _storage[index];
}

void Channel::GoToCurrentPosition(long time)
{
    if(_length <= 1) return;
    while(true)
    {
        if (_previous.GetTimeSeconds() <= time && _next.GetTimeSeconds() >
time)
        {
            // Between 'previous' point and 'next'
            break;
        }
        else if (_previous.GetTimeSeconds() <= time &&
_next.GetTimeSeconds() < _previous.GetTimeSeconds())
        {
            // Between 'previous' point and 'next', currently before midnight and
'next' beeing after midnight
            break;
        }
        else if (_previous.GetTimeSeconds() > time &&
_next.GetTimeSeconds() > time && _previous.GetTimeSeconds() >
_next.GetTimeSeconds())
        {
            // Between 'previous' point and 'next', currently after midnight and
'previous' point being before midnight
            break;
        }
        else
        {
            // Better luck next time
            MoveForward();
        }
    }
}

void Channel::MoveForward()
{
    int nextPosition = 1;

```

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ

Арк.

54

```

if(_currentPosition < _length - 1)
{
    _currentPosition++;
    nextPosition = _currentPosition + 1;
}
else if(_currentPosition == _length - 1)
{
    _currentPosition++;
    nextPosition = 1;
}
else if(_currentPosition == _length)
{
    _currentPosition = 1;
    nextPosition = _currentPosition + 1;
}
_previous = _storage[_currentPosition];
_next = _storage[nextPosition];
}

int Channel::GetLightIntensityInt(long time)
{
    UpdateCurrentLightValue(time);
    return _lightValue;
}

float Channel::CorrectForFadeMode(float intensity)
{
    switch(_fadeMode)
    {
        case fademode_exponential:
            return intensity * intensity;
        default:
            return intensity;
    }
}

void Channel::UpdateData()
{
    _length = 1;
    Point _c;
    Point _n;
    for(_length; _length < _maxLength; _length++)
    {
        // End of channel has been reached if:
        _c = _storage[_length];
        // _c.PrintPoint();
    }
}

```

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

```

        if(!_c.IsValid() || _length == _maxLength)
        {
            // Current point is invalid (can only happen at the first one) or Max
length of channel has been reached
            return;
        }
        _n = _storage[_length + 1];
        if(!_n.IsValid() || _n.GetTimeSeconds() < _c.GetTimeSeconds() ||
(_c.IsZero() && _n.IsZero()))
        {
            // Next point is invalid or earlier than current point (different kind
of invalid)
            return;
        }
    }
}

int Channel::GetLength()
{
    return _length;
}

void Channel::UpdateCurrentLightValue(long time)
{
    GoToCurrentPosition(time);
    long timeDiff = 0;
    long prevPointTime = _previous.GetTimeSeconds();
    float prevPointIntensity = _previous.GetIntensity();
    long nextPointTime = _next.GetTimeSeconds();
    float nextPointIntensity = _next.GetIntensity();

    if(prevPointTime > nextPointTime) // Midnight rollover
    {
        timeDiff = (nextPointTime + 24 * 60 * 60) - prevPointTime;
    }
    else
    {
        timeDiff = nextPointTime - prevPointTime;
    }

    long progress = 0;
    if(time >= prevPointTime) // Currently before midnight
    {
        progress = time - prevPointTime;
    }
    else // Currently after midnight

```

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

```

    {
        progress = (time + 24 * 60 * 60) - prevPointTime;
    }
    float intensityDiff = nextPointIntensity - prevPointIntensity; // Difference in
light intensity between points
    float intensity = prevPointIntensity + (progress * (intensityDiff / timeDiff)); //
Current intensity
    _lightValue = 255 * CorrectForFadeMode(intensity); // Light value
}

void Channel::Reset()
{
    _currentPosition = 1;
    _previous = GetPoint(1);
    _next = GetPoint(1);
}

```

АКІТ 2024

АКІТ

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КБР.АКІТ.2892550.01.000 ПЗ

Арк.

57