

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО
ОПРОМІНЮВАЛЬНОГО ПРИЛАДУ ДЛЯ ОСВІТЛЕННЯ
РОСЛИН В ТЕПЛИЦЯХ

Виконав(ла): студент 6 курсу, групи ЕТм
спеціальності 141

«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Зиц В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Філюк Я.О.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Коваль В.П.

(прізвище та ініціали)

Завідувач
кафедри

(підпис)

Коваль В.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра

Електричної інженерії

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«14» жовтня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(НАЗВА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ)

за спеціальністю

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

студенту

Зицу Вячеславу Вікторовичу

(Прізвище, Ім'я, По Батькові)

1. Тема роботи

Дослідження ефективності напівпровідникового опромінювального приладу для освітлення рослин в теплицях

Керівник роботи

Філюк Ярослав Олександрович, к.т.н.

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

Затверджені наказом ректора від

« 11 » жовтня 2024 року № 4/7-988

2. Термін подання студентом завершеної роботи

грудень 2024 року

3. Вихідні дані до роботи

Розробити установку для вимірювання електричних, теплових, спектральних та колориметричних характеристики світлодіодів. Виконати моделювання поведінки світлодіодів. Розробити та провести дослідження системи світлодіодного освітлення для тепличних рослин

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

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунково-дослідницький розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці. Безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Клепчик В.М., старший викладач		
Нормоконтроль	Коваль В.П. к.т.н., зав. кафедри ЕІ		

7. Дата видачі завдання 14 жовтня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	20.10.2024	
2	Аналітичний розділ	1.11.2024	
3	Розрахунково-дослідницький розділ	10.11.2024	
4	Проектно-конструкторський розділ	25.11.2024	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	29.11.2024	
6	Висновки	01.12.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	06.12.2024	
8	Оформлення графічної частини	12.12.2024	

Студент _____
(підпис)

Зиц В.В. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Філюк Я.О. _____
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Зиц В.В. Дослідження ефективності напівпровідникового опромінювального приладу для освітлення рослин в теплицях.

Стор.62; рис.39; табл.1; креслень - ; джерел -16; додатків - 0.

Метою кваліфікаційної роботи було розробка та моделювання напівпровідникового опромінювального приладу для освітлення рослин в теплицях.

У першому розділі дається огляд літератури та теоретичної бази теми. Це також пояснює деякі концепції розуміння проблеми та деякі очікувані результати.

В другому розділі представлено експериментальну установку для вимірювання характеристик світлодіодів, включаючи електричні, оптичні, теплові та колориметричні характеристики. Проаналізовано електричні, ФАР та спектральні моделі деяких світлодіодів. Отримані результати були використані як основа для проектування світлодіодної системи освітлення для росту рослин.

У третьому розділі було розроблена спеціальна система світлодіодного освітлення. Вибрано п'ять кольорів світлодіодів: червоний, оранжевий, зелений, синій і білий в межах ФАР, щоб відповідати корисному спектру росту рослин. Представлено схему системи, принципову схему та її основні функції. Система дозволяє динамічно регулювати якість, кількість і фотоперіод світла відповідно до умов випробування.

Ключові слова: штучне джерело освітлення, контрольоване середовище, світлодіод.

ЗМІСТ

Реферат	3
ЗМІСТ	4
ВСТУП	6
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Традиційне та контрольоване середовище сільське господарство	8
1.2 Джерела світла та системи освітлення для теплиць	16
1.3. Висновок до розділу	18
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	19
2.1 Вимірювання температури на основі термостата	19
2.2 Система вимірювання освітленості для визначення характеристик світлодіодів	20
2.3 Вимірювання світлодіодів характеристики	21
2.3.1 Електричні характеристики	21
2.3.2 Теплові характеристики	23
2.3.3 Спектральні характеристики	24
2.3.4 Колориметричні характеристики	28
2.4 Моделювання поведінки світлодіодів	30
2.4.1 Електрична модель	30
2.4.2 ФАР модель	32
2.4.3 Спектральна модель	34
2.5 Вплив імпульсного світла на рослини	35
2.6 Висновки до розділу	37
3 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	38
3.1. Проектування світлодіодної системи освітлення для вирощування рослин	38
3.1.1 Модуль живлення світлодіодної системи освітлення	42
3.1.2 Модуль керування світлодіодної системи освітлення	44
3.1.3 Модуль драйвера світлодіодної системи освітлення	45
3.2 Результати дослідження світлодіодної системи освітлення для вирощування рослин	47

3.3 Висновки до розділу	51
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	53
4.1 Охорона праці	53
4.1.1 Безпека при виготовленні друкованих плат	53
4.1.2. Техніка безпеки при експлуатації електрообладнання та електромереж	55
4.2. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	57
4.2.1. Проведення планування заходів цивільного захисту на підприємстві у випадку надзвичайних ситуацій	57
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	60
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	61

ВСТУП

Актуальність теми роботи. Системи штучного освітлення можуть використовуватися для вирощування рослин у сільському господарстві з контрольованим середовищем (КС, також відоме як захищене садівництво). Їх основна функція - покращити якість та кількість сільськогосподарської продукції. Рослинні фабрики та теплиці з додатковим освітленням є проявами контрольованого середовища. Їх розробка базується на застосуванні рослинних штучних джерел освітлення (ШО), що означає, що сонячне світло не є єдиним джерелом світла для сільськогосподарського виробництва, а може бути замінено ШО. Зокрема, «Теплиці зі штучним освітленням» (ТШО) - це сучасна сільськогосподарська інноваційна технологія, яка докорінно змінює концепцію ведення сільського господарства. Вибір джерела світла та оптимізація системи освітлення для росту рослин мають велике значення.

Світлодіод (СД) відомий як новітнє джерело світла. У порівнянні з традиційними джерелами світла, він має безпрецедентні переваги, такі як висока ефективність, тривалий термін служби, гнучкий спектр, монохроматичне світло, холодний спектр, малий розмір, надійність тощо. Крім того, світлодіодні системи освітлення використовують джерела живлення постійного струму, які є більш надійними і легшими в управлінні. Тому світлодіодні системи освітлення стають все більш популярними серед дослідників, інженерів-проектувальників, виробників та біологів. Зокрема, застосування світлодіодів у сільськогосподарському виробництві також привертає широку увагу у світі в останні роки. Світлодіоди є ідеальним вибором для поширення в захищеному садівництві.

Для того, щоб сприяти застосуванню світлодіодних систем освітлення в сільському господарстві, існує нагальна потреба в розумінні світлодіодів і відповідних систем освітлення. Оптимізація світлодіодних систем освітлення для тепличних господарств має велике значення для сучасного сільського господарства.

Мета і завдання роботи: є розробка та моделювання напівпровідникового опромінювального приладу для освітлення рослин в теплицях.

Досягнення мети визначається вирішенням наступних завдань:

1. Розробити установку для вимірювання електричних, теплових, спектральних та колориметричних характеристики світлодіодів.
2. Виконати моделювання поведінки світлодіодів для аналізу електричних, ФАР і спектральних характеристик.
3. Розробити та провести дослідження спеціальної системи світлодіодного освітлення для тепличних рослин

Об'єкт дослідження: процес регулювання електричних та спектральних параметрів напівпровідникової системи випромінювання для освітлення рослин в теплицях

Предмет дослідження: Техніко-енергетичні характеристики основних показників якості напівпровідникового опромінювального приладу.

Наукова новизна отриманих результатів:

Удосконалено модель поведінки світлодіодів, для аналізу електричних, ФАР і спектральних характеристик, це дало змогу виявити, що температура переходу і прямий струм є двома ключовими параметрами для продуктивності світлодіода.

Практична цінність результатів дослідження полягає в розробці та створенні спеціальної системи світлодіодного освітлення для тепличних рослин, яка включає у собі п'ять кольорів світлодіодів: червоний, оранжевий, зелений, синій і білий, що відповідає корисному спектру для росту рослин.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні положення роботи і її результати доповідалися на XIII Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 2024 р.)

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 розділів, висновків та переліку посилань.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Традиційне та контрольоване середовище сільське господарство

Традиційне сільське господарство розвивалося на відкритому ґрунті, яке зазнало серйозних випробувань через світову кризу та соціальні проблеми. Якість і кількість сільськогосподарської продукції опинилися під питанням. На цьому тлі виникло сільське господарство з контрольованим середовищем (КС). Теплиці та заводи як два види його проявів розвиваються дуже швидко. Рослинні штучні джерела випромінювання (ФАР) є ключовим методом заміни унікального сонячного світла для росту рослин у захищеному садівництві, що може сприяти розвитку екологічного сільського господарства та бути корисним для вирішення відповідних соціальних питань.

Сільське господарство з контрольованим середовищем (КС), яке також називають захищеним садівництвом, можна визначити як сільськогосподарську технологію, при якій мікроклімат, що оточує рослини, частково або повністю контролюється за допомогою звичайних або сучасних засобів протягом періоду вегетації. Метою КС є забезпечення захисту та підтримання оптимальних умов вирощування протягом усього періоду розвитку культури. Вона включає в себе не тільки відносно прості теплиці, але й включає в себе технологічно інтенсивний завод з виробництва рослин. На сьогоднішній день КС дуже швидко розвивається в Японії, Нідерландах, Південній Кореї, Китаї, США, Литві, Іспанії та інших країнах. Нідерланди є країною з найбільш розвиненими технологіями в цьому секторі. В Іспанії найбільша концентрація теплиць знаходиться в регіоні Альмерія. Японія є однією з найрозвиненіших країн з точки зору використання теплиць [1-5].

Розвиток сільського господарства пройшов 4 етапи: традиційні незакриті сільськогосподарські угіддя, теплиця без ФАР, теплиця з ФАР і завод з виробництва рослин. КС - це тенденція до переходу сільського господарства з відкритих полів до систем закритого ґрунту, що стане конкурентоспроможною та привабливою галуззю.

Наступні глобальні кризи, з якими стикається планета, роблять КС все більш популярним:

- Зростання чисельності населення у світі
- Зростання матеріальних потреб
- Зменшення сільськогосподарських ресурсів
- Стрімко зростають проблеми забруднення навколишнього середовища
- Зміна клімату та стихійні лиха зростають з кожним роком
- Важко гарантувати системи сільськогосподарського виробництва

Традиційне сільське господарство залежить від природного середовища, а також від пестицидів, хімічних добрив, антибіотиків та інших хімічних речовин, але КС поступово позбудеться цих кайданів і в кінцевому підсумку отримає доступ до високоякісних, високопродуктивних, енергоефективних та екологічно чистих способів господарювання [4-6]. КС - це поєднання фізичних методів та сільськогосподарського виробництва. Фізичні фактори можуть регулювати умови вирощування рослин та їхній ріст, такі як температура, вологість, CO_2 , світло, поживні речовини тощо. [7]. Це також галузь з високими витратами і високою продуктивністю, а також нова виробнича система, яка вимагає високої кореляції між обладнанням, технологією та рослинами. Біологічні та фізичні фактори контролюються, щоб максимізувати врожайність і виключити використання токсичних і шкідливих хімікатів.

Нові технології є лідером і рушійною силою розвитку сучасного сільського господарства. До них відносяться біотехнології, інформаційні технології, водозберігаючі технології зрошення, агротехніка тощо. Сучасне сільське господарство робить ці технології високоінтенсивними галузями [8].

Застосування сільськогосподарської науки і технологій, по-перше, може збільшити обсяги виробництва, подруге, підвищити якість сільськогосподарської продукції, по-третє, знизити трудомісткість, по-четверте, заощадити енергію та покращити екологічне середовище за рахунок збільшення використання ресурсів та потенціалу сталого розвитку. Оскільки глобальний дефіцит ресурсів стає все більш помітним, сільськогосподарська продукція

набуватиме все більшого значення, тому переваги сільського господарства можуть стати однією з найперспективніших галузей промисловості. Сучасне екологічне сільське господарство має місію ресурсозбереження та сталого розвитку, покращення якості життя людини та навколишнього середовища.

Перед аграрним сектором стоїть складне завдання забезпечити достатню кількість продовольства та інших товарів першої необхідності. На жаль, можливості для розширення посівних площ обмежені, а загроза зміни клімату та інших стихійних лих робить це завдання ще більш складним [2]. Люди прагнуть і шукають екологічно чисті та ефективні методи виробництва, щоб протистояти сезонним змінам, невдалому географічному розташуванню, стихійним лихам, суворим погодним умовам тощо, тому були розроблені теплиці із захисними спорудами.

Теплиця - це споруда зі стінами і дахом переважно з прозорих матеріалів, в якій вирощують рослини, що потребують регульованих кліматичних умов [3]. Існує кілька видів теплиць: пластикова, скляна, тіньова, решітчаста, сітчаста та багатопролітна. За світловим режимом розрізняють теплиці без ФАР і з ФАР (рис. 1.1). Ці споруди варіюються за розміром від невеликих сараїв до будівель промислових розмірів, і конструкції повинні мати герметичну теплоізоляцію, але сприяти вентиляції та охолодженню. Раніше теплиці використовували взимку, щоб забезпечити відповідну температуру для вирощування рослин, і вони використовували лише сонячне світло як єдине джерело енергії для фотосинтезу. Пізніше штучні джерела світла почали використовувати як додаткове світло через недостатню кількість сонячного світла.



а



б

Рисунок 1.1 – Теплиця без ФАР (а) та теплиця з ФАР (б)

Теплиці зосереджені у двох географічних регіонах: на Далекому Сході (Китай, Японія та Корея) зосереджено 80% теплиць світу, а в Середземноморському басейні - близько 15%. Глобальна площа, зайнята теплицями у 1980 році, становила 100 000 га, яка збільшилася до 450 000 га до 1998 року; щорічний приріст становить близько 20%. На Азію припадає 66% цієї площі, на Європу - 26%, а на Америку та Африку - по 4%. На початок 21-го століття світова площа захищених культур становила близько мільйона гектарів; на Китай припадає приблизно 700 000 гектарів, ще 80 000 обробляється в Південній Кореї, Європі та Америці. Зростання в Європі відбувається повільно, але в Африці, Америці та на Близькому Сході зростання становить від 15 до 20% щорічно. Зокрема, Китай виріс з 4 200 га в 1981 році до понад двох мільйонів га сьогодні (30% щорічно), а є країною з найбільшою площею теплиць. Загальні площі в основних країнах-виробниках теплиць показані на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Загальні площі в основних країнах де використовуються теплиці

Деякі комерційні теплиці мають високотехнологічне обладнання для вирощування овочів або квітів. Теплиці заповнені обладнанням, включаючи установки для просіювання, опалення, охолодження, освітлення, і можуть управлятися за допомогою комп'ютера для оптимізації умов для росту рослин [5].

Для того, щоб мати більше житлового простору, люди будують багатоповерхові будинки, аналогічно, щоб задовольнити потреби матеріального життя, а також екологічного середовища, люди також можуть проектувати заводи зі штучним освітленням.

Фабрика рослин - це система закритого вертикального землеробства для ефективного виробництва якісних продуктів харчування. Вона надає інформацію про поле, яка допомагає компенсувати загрози незвичних погодних умов і нестачі землі та природних ресурсів [9]. Фабрика рослин - це також закрите підприємство з вирощування рослин, основними технологіями якого є технологія фізичного захисту, технологія екологічного контролю та біологічна технологія, що дозволяє контролювати хвороби рослин та комах-шкідників без використання пестицидів чи інших хімічних речовин, а також захищати рослини від фізіологічних розладів. В основному це фотосинтетична система, система вологості, температурна система, система циркуляції повітря, система водопостачання та удобрення, селекційні системи, центр моніторингу та управління, а також система інтернету речей (IoT). Виробничий процес дуже

інтенсивний. Завод був визнаний на міжнародному рівні як передовий етап розвитку сільського господарства; це неминуча тенденція розвитку захищеного садівництва; це також один з найважливіших показників для вимірювання рівня розвитку сільськогосподарських технологій у країнах [10].

Є багато причин, чому заводська фабрика стає новою гарячою точкою для інвестицій:

- Забруднення навколишнього середовища призводить до проблем з безпекою харчових продуктів. Наприклад, зловживання пестицидами, засобами від комах, добривами та гормонами; забруднення важкими металами та водою, спричинене промисловістю.

- Традиційне сільське господарство не може адаптуватися до змін клімату, таких як дефіцит води та опустелювання земель

- Урбанізація призвела до збільшення міського населення, тому земельні ресурси зменшуються. Попит на сільськогосподарську продукцію щороку зростає.

- Логістичні витрати на постачання міських овочів стають дедалі вищими. Ціни на сільськогосподарську продукцію також значно зростають.

- Витрати на застосування світлодіодів поступово знижуються; доступне багатосмугове світлодіодне світло.

Заводські виробничі системи мають вищу керованість і стабільність порівняно з тепличними. Це має важливе значення для вирішення проблем світових ресурсів, навколишнього середовища, продовольчої безпеки, зміни клімату та екстремальних погодних катаклізмів. Для того, щоб створити найкращі умови для навколишнього середовища та отримати більш ефективне виробництво, деякі нові характеристики рослинної фабрики представлені нижче.

Плантація - це закрита система виробництва рослин, тому на середовище вирощування не впливають або мало впливають природний клімат і родючість ґрунту. На відміну від теплиці, вона не використовує сонячне світло і не має прозорого матеріалу в якості накриття. По суті, plant factory - це технологічно інтенсивна фабрика з вирощування рослин.

Завод має можливість досягти постійного виробництва протягом усього року, а потужна продуктивність до 100 разів перевищує продуктивність польового виробництва [11], особливо вертикальні та багат шарові системи землеробства зі штучним освітленням, які можуть значно підвищити ефективність фотосинтезу та ефективність використання землі.

Заводська фабрика поєднує в собі високі технології та сучасну науку, і може здійснювати точний контроль мікроклімату за допомогою кліматичних контролерів та комп'ютерів. Фактори навколишнього середовища можна встановлювати і контролювати вручну, включаючи світло, температуру, вологість, вітер, рН, вуглекислий газ, поживні речовини і так далі. Установки можуть бути налаштовані або запрограмовані відповідно до кліматичних потреб рослин на різних стадіях росту, навіть реалізувати автоматичний контроль середовища для конкретних видів. Тобто висока ефективність використання ресурсів може бути досягнута з мінімальними викидами та екологічним ефектом.

Фабрика рослин може бути побудована де завгодно, оскільки для цього не потрібні ні сонячне світло, ні ґрунт, замість них використовуються технології штучного освітлення та безґрунтові культури (гідропоніка, глибинна технологія (DFT), технологія поживних плівок (NFT) та аеропоніка) [10]. Якщо завод будується поблизу міських територій, це зручніше і зменшує транспортні витрати.

Інтелектуальна фабрика рослин може зменшити вплив людської діяльності на виробничий простір, зменшити втручання та забруднення. Автоматичне виробництво включає в себе: контроль факторів навколишнього середовища, подачу та внесення добрив, посів, пересадку, збирання врожаю тощо. Інтелектуальний контроль виробничих факторів є найважливішою характеристикою заводу. Розвиток науки і техніки заклав хороший фундамент. Важливо відзначити такі ключові моменти, як пропозиція теорії мінерального живлення, методи безґрунтового вирощування, моніторинг факторів навколишнього середовища та поживних речовин на основі розвитку комп'ютерних та сенсорних технологій, а також розвиток напівпровідникової

технології освітлення. В даний час майже всі фактори навколишнього середовища рослинництва досягають автоматичного виявлення, зберігання, аналізу та інтелектуального контролю [9].

КС є інноваційним методом виробництва і має потенціал для вирішення соціальних проблем, забезпечення сталої сільськогосподарської системи та ліквідації голоду і недоїдання. Це також найважливіший показник екологічного сільського господарства. Сільськогосподарська галузь сама може стати добрим циклом екосистеми і стати на шлях сталого розвитку.

Існує багато причин для розробки КС:

Ефективне виробництво відновлюваної біоенергії може доповнити вичерпання викопного палива.

Для ефективного використання різних ресурсів, включаючи воду, електроенергію, поліетиленову плівку, добрива, насіння, сільськогосподарську техніку тощо, можна застосувати відповідні масштаби та інтенсивне виробництво. Таким чином, це може зменшити викиди забруднюючих речовин та покращити екологічне середовище.

На ріст рослин менше або зовсім не впливає зовнішнє середовище і клімат, тому воно здатне вирішити проблему національної продовольчої безпеки, поліпшити якість сільськогосподарської продукції, здоров'я і харчування людей, а також менше або зовсім не використовувати хімічні добрива, гормони і пестициди.

Повноцінне виробництво може забезпечити вищу загальну продуктивність, включаючи вищу ефективність використання землі та продуктивність праці.

Зробити сільське господарство висококомерціалізованою галуззю з високою часткою сільськогосподарської продукції (>90%), економічною ефективністю та ринковою конкурентоспроможністю. Знизити виробничі витрати, щоб задовольнити ринковий попит. Зменшити бідність у сільській місцевості та безпосередньо сприяти підвищенню доходів і розвитку місцевої економіки. Поступово вивести людей з бідності та голоду.

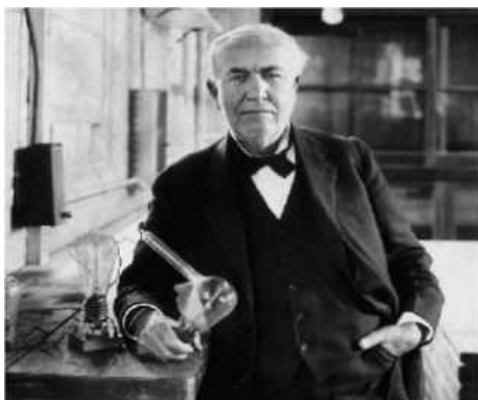
Задовольняйте новий попит на всі види продуктів харчування. Наприклад, можна запропонувати їжу в різні сезони та продукти з високою доданою вартістю.

1.2 Джерела світла та системи освітлення для теплиць

Існує три основні технології джерел світла: розжарювання (лампа розжарювання), електричний розряд (флуоресцентні) та твердотільні джерела світла (СД, ОСД). Перші дві технології відомі як "застарілі", а третя вважається сучасною технологією. Для того, щоб вибрати найкраще джерело світла для росту рослин, необхідно розуміти історію, характеристики, механізм світіння та застосування типових джерел світла.

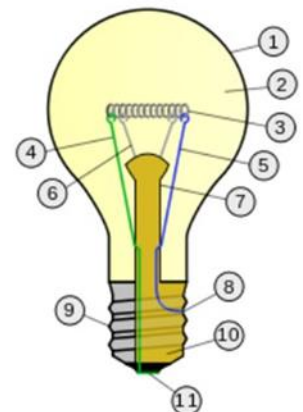
Лампа розжарювання, яку також називають лампою розжарювання або кулею розжарювання, відома як перше покоління штучних джерел світла, що стало одним з найважливіших винаходів з часів вогнищ, свічок і масляних ламп. Перша надійна і комерційна лампа розжарювання була винайдена Томасом Едісоном у 1879 році (Рис. 1.3), що налічує вже 137 років історії. Вона стала символом інновацій. Її широко використовували в

Раніше лампи розжарювання використовувалися в побуті та діловому житті, але зараз їх поступово витісняють лампи з вищою ефективністю.



а

1. Скляна колба
2. Інертний газ
3. Нитка розжарення
4. Контактний дріт (з'єднується з ніжкою)
5. Контактний дріт (з'єднується з цоколем)
6. Тримачі
7. Скляна ніжка (лопатка)
8. Вивід контакту на цоколь
9. Цоколь лампи
10. Ізоляційний матеріал
11. Контактний носик



б

Рисунок 1.3 - Томас Едісон з першою лампою розжарювання (а) і типова структура лампи розжарювання (б)

Лампи розжарювання включають стандартні лампи розжарювання, галогенні лампи та рефлекторні лампи. Вони працюють, пропускаючи електричний струм через резистивну нитку розжарення всередині скляної або кварцової колби, вакуумованої або заповненої інертним газом, і нагріваючи нитку розжарення до високої температури, доки вона не засвітиться видимим світлом (розжарення). Зазвичай матеріали світяться до досягнення температури плавлення. Але більшість матеріалів плавляться і не можуть зробити хорошу нитку розжарення при високій температурі, тому матеріали нитки розжарення були основним вузьким місцем технології [11-13]. Історія лампи розжарювання була зосереджена на розвитку типів ниток розжарювання.

У 1955 році була розроблена перша галогенна лампа. Галогенна лампа була розроблена на основі лампи розжарювання. Разюча відмінність полягає в наповнювальному газі. Галогенна лампа містить галогенний газ (бром або йод) у лампочці. Атоми вольфраму хімічно з'єднуються з молекулами галогену, і коли галоген охолоджується, вольфрам знову осідає на нитку розжарення. Цей процес називається галогенним циклом, який має здатність зупиняти почорніння і сповільнює витончення вольфрамової нитки. Ця технологія подовжує термін служби лампи і дозволяє вольфраму безпечно досягати вищих температур.

З 1908 року і до сьогодні вольфрам є найкращим матеріалом для довговічних лампочок порівняно з будь-якими іншими матеріалами. Пластична вольфрамова нитка була остаточно обрана завдяки своїй ефективності, довговічності, терміну служби лампи та можливості легко намотуватися для збільшення яскравості. Винахід також широко використовувався в багатьох інших лампах, включаючи люмінесцентні, галогенні, металогалогенні, ртутні тощо. Попередні спечені вольфрамові нитки були ефективними, але крихкими і непрактичними у використанні.

Хоча лампа розжарювання використовується в середньостатистичному домогосподарстві вже понад 130 років і неодноразово вдосконалювалася, її майбутнє не таке оптимістичне. За останні два десятиліття в рамках масштабної ініціативи з розробки більш ефективних ламп розжарювання лампи

розжарювання були замінені в багатьох сферах застосування іншими типами електричного освітлення, такими як люмінесцентні лампи, компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ), люмінесцентні лампи з холодним катодом (КЛХК), газорозрядні лампи високої інтенсивності (ГЛВІ) і світлодіодні лампи (СД). Багато країн чітко заборонили використання ламп розжарювання відповідно до правила: поетапна відмова від ламп розжарювання у 2008 році.

1.3. Висновок до розділу

У цьому розділі проведено аналітичний огляд традиційних та сучасних джерела світла, а також системи освітлення. Більшість систем освітлення мають недоліки для росту рослин, але застосування світлодіодів має безпрецедентні переваги в сільському господарстві з контрольованим середовищем. Таким чином, на першому етапі було обрано світлодіодні джерела світла.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вимірювання температури на основі термостата

Напівпровідник дуже чутливий до високої температури переходу (T_j), яка може призвести до раннього виходу з ладу і вплинути на продуктивність. Тому T_j є ключовим параметром світлодіода для тестування. Традиційний метод полягає в тому, щоб розмістити датчик температури дуже близько до напівпровідникового переходу і виміряти вихідну температуру. Однак цей метод має фізичні обмеження через скінченний розмір датчика; додаткова похибка зменшує точність результатів тестування [13]. Існують також деякі інші методи тестування T_j , такі як тепловізор, оптимальні методи тестування (ОМТ) $R_{opt} = f(T_j)$, метод зсуву довжини хвилі (ЗДХ) $\lambda = f(T_j)$, електричні методи тестування (ЕМТ), а також співвідношення білої та синьої спектральної складової [12]. Але завжди існують певні недоліки, такі як неточність, тому для перевірки T_j слід використовувати вдосконалений метод.

Зазвичай T_j і V_f світлодіодів мають лінійну залежність до 100 °С. Залежність можна описати рівнянням $T_j = a V_f + b$ [12]. Що нам потрібно, так це спланувати експеримент і отримати константи a та b .

Для знаходження залежності між T_j і V_f була розроблена спеціальна коробка для контролю температури. Матеріали стосуються металевої коробки (40*30*20 см), нагрівальних резисторів 2*200 Вт, регулятора температури (W3230), електричного вентилятора (180 м³ /год), теплоізоляційного листа (теплопровідність: 0,04 Вт/мК) і однієї пляшки з чорною фарбою. Базова конструкція показана на рис. 2.1. Коробка може створювати рівномірний і температуру можна регулювати від кімнатної до 120 °С. Ми помістили світлодіоди в коробку і підвищували температуру з інтервалом приблизно в 10 С. Кожного разу, коли коробка досягала теплової рівноваги (а також T_j світлодіода), вимірювач джерела давав імпульсний струм 10 мА з дуже коротким робочим циклом, що дозволило уникнути надмірного нагрівання світлодіодного переходу. Таким чином, точне значення V_f було легко отримано.

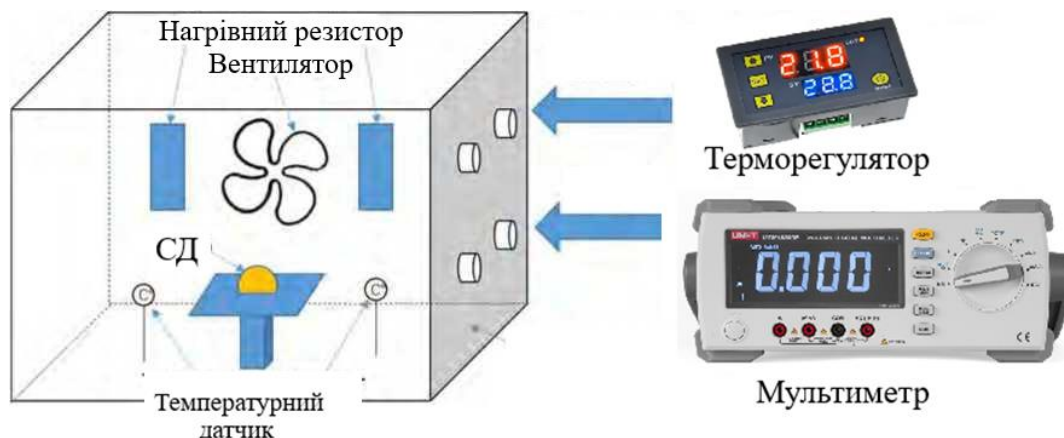


Рисунок 2.1 - Базова структура термостата

2.2 Система вимірювання освітленості для визначення характеристик світлодіодів

На рис. 2.2 показано систему вимірювання електричних, теплових, спектральних та колориметричних характеристик світлодіодів. Вона включає інтегральну кулю (діаметр 50 см), ФЕУ, вимірювальний мультиметр UNI-T UT8803E, комп'ютер та невелику систему керування температурою, що складається з датчика та контролера температури на базі терморегулятора цифрового W3230, нагрівального резистора з теплоізоляцією та тепловідводу (рис. 2.2).

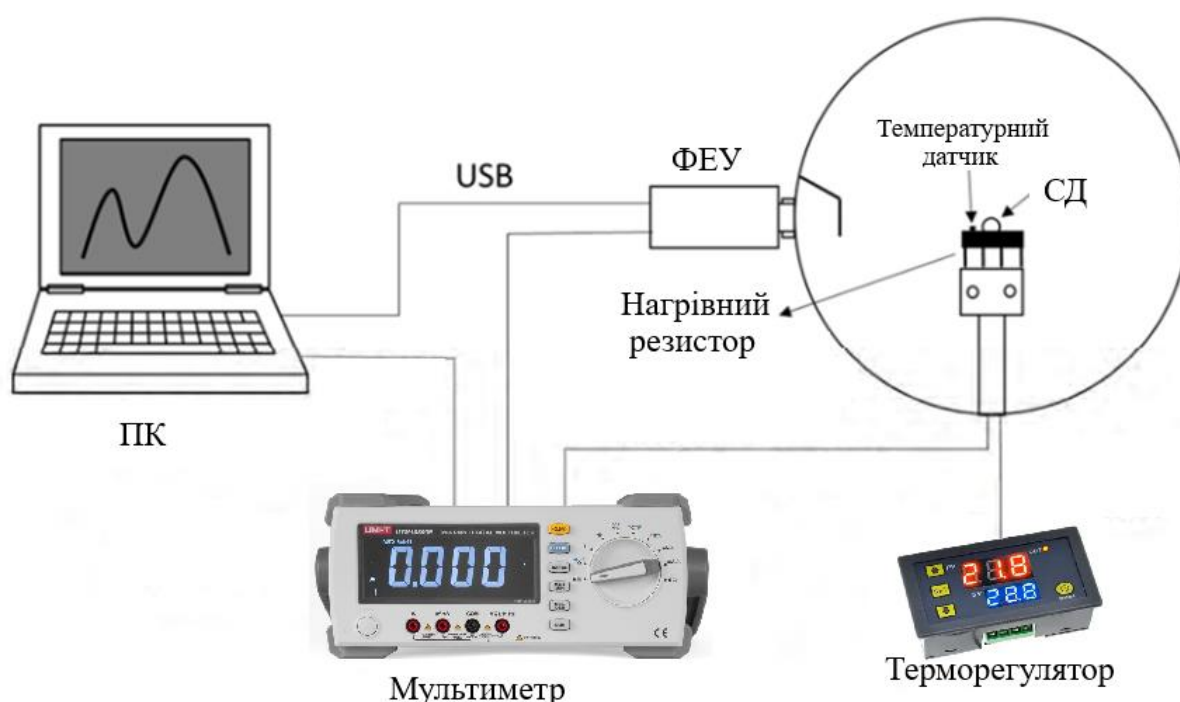


Рисунок 2.2 - Система вимірювання світлових характеристик

Функція інтегруючої кулі полягає в просторовому інтегруванні променевого потоку. Для тестування спектрального розподілу потужності та кількості використовувався ФЕУ. UNI-T UT8803E може забезпечити вимірювання точних струмів світлодіода і тестування V_j імпульсним струмом 10 мА. Невелика система контролю температури використовувалася для приблизного збільшення T_j , але не точно. Відповідно до співвідношення V_j і T_j , виміряного за допомогою температурного датчика, можна точно визначити T_j .

2.3 Вимірювання світлодіодів характеристики

2.3.1 Електричні характеристики

Перед проектуванням системи світлодіодного освітлення необхідно враховувати електричні параметри. Світлодіод може випромінювати світло, коли Р-N перехід зміщений вперед. Існує порогова напруга, вище якої через світлодіод буде проходити прямий струм (I_f). А після I_f буде зростати в геометричній прогресії, але при незначному збільшенні напруги. Тому зазвичай для живлення світлодіодних пристроїв використовується постійний струм. У більшості випадків не допускається використання світлодіодів зі зворотною напругою або струмом, що може призвести до повного пошкодження світлодіода. Малопотужні світлодіоди часто мають типовий струм 20 мА і менше 1 Вт; високопотужні світлодіоди часто мають типовий струм 350 мА і більше 1 Вт. Існує два основних способи керування струмом світлодіодів: аналогове керування і широтно-імпульсна модуляція (ШІМ). Хоча ШІМ-керування має нижчу ефективність, ніж аналогове, воно краще підходить для керування однорідними світлодіодами з однаковим кольором і прямими напругами.

Найбільш використовуваною електричною характеристикою є вольт-амперна характеристика. П'ять кольорів світлодіодів були виміряні на рис. 2.3. Порогова напруга залежить від використовуваного матеріалу. Типовий струм для червоного і оранжевого становить 400 міліампер (мА); для зеленого, синього і білого - 350 мА. Імпульсний струм для всіх становить 2-2,5 А.

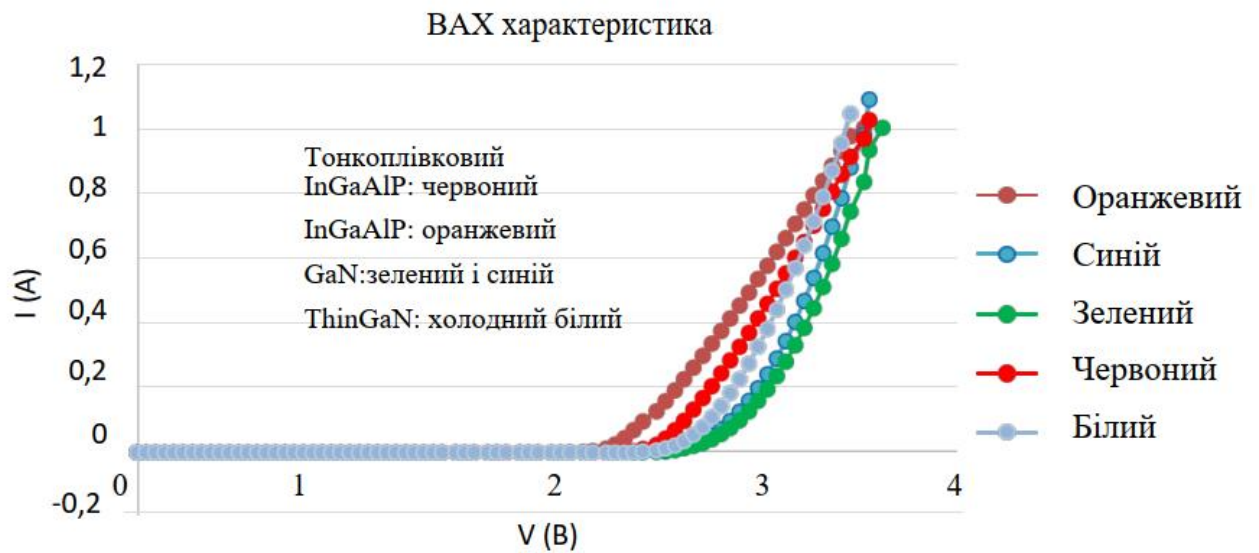


Рисунок 2.3 - Вольт-амперна характеристика для п'яти кольорів світлодіодів

Крім того, чотири червоні світлодіоди того ж типу були протестовані в однакових умовах. Існують невеликі відмінності для ВАХ характеристики (рис. 2.4). Це пов'язано з тим, що напівпровідникові матеріали та легування світлодіодів не є повністю однорідними в процесі виробництва.

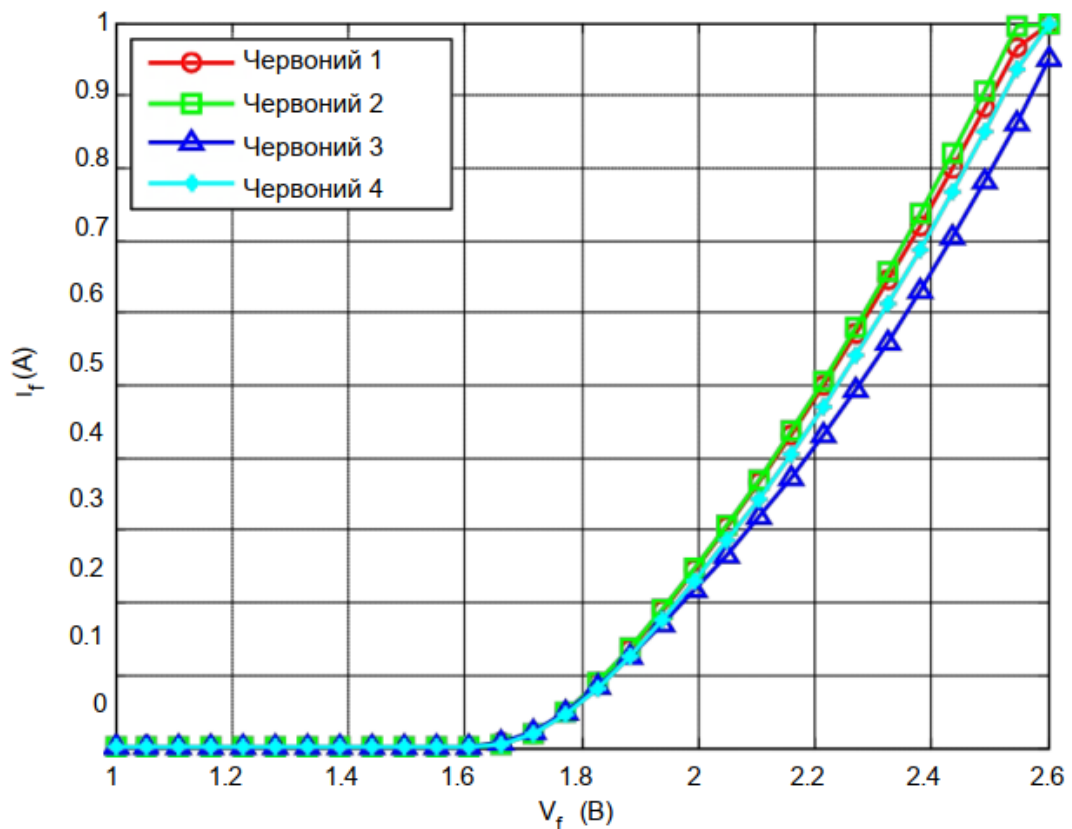


Рисунок 2.4 - ВАХ відмінності між 4 однаковими червоними світлодіодами

Було проведено два виміри зі зміною джерела збудження для одного червоного світлодіода. Одне з них було імпульсним I_f для вимірювання V_f (Імпульсний (I) Дослідження (V)), а друге - імпульсним V_f для вимірювання I_f (Імпульсна (V) Дослідження (I)). Тестові вольтамперні характеристики залишалися незмінними (рис. 2.5), а це означає, що форма джерела збудження не має значного впливу на вольтамперні характеристики.

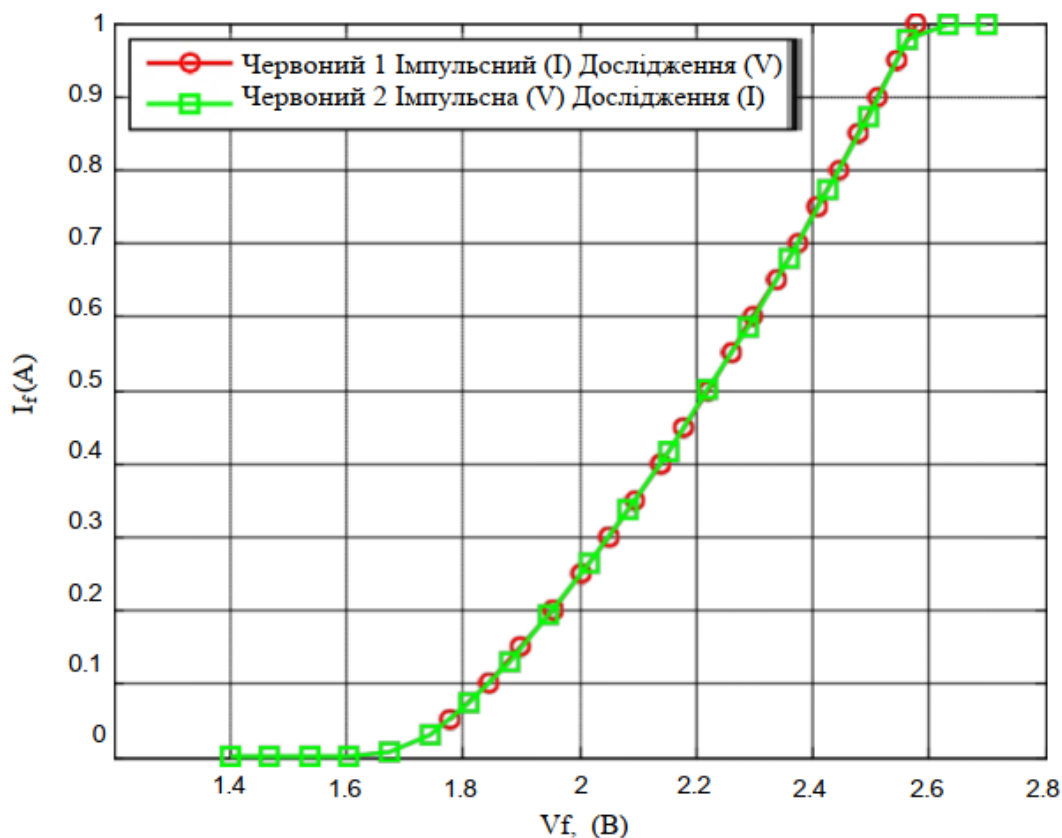


Рисунок 2.5 - Вольт-амперна характеристика для двох джерел збудження: Імпульсний (I) Дослідження (V) та Імпульсна (V) Дослідження (I)

2.3.2 Теплові характеристики

Температура переходу (T_j) є критичним параметром світлодіодів. Вона може впливати на інші параметри, такі як V_f , пікова довжина хвилі, ширина спектра, світлова віддача тощо. Для того, щоб гарантувати довший термін служби світлодіодів, необхідне терморегулювання.

У цій частині експериментальна установка використовувалася тільки для визначення T_j . Використовуючи термостат, ми протестували 4 червоні світлодіоди. Для того, щоб зменшити вплив прямого струму (що виробляє

додаткове тепло), для вимірювання V_f використовувався невеликий імпульсний струм 10 мА з робочим циклом 0,1%. Коли температура навколишнього середовища в боксі була стабільною, ми провели вимірювання. Результати показані на рис. 2.6 і в наступних рівняннях. Існує лінійна залежність між T_j і V_f . V_f зменшується зі збільшенням температури переходу. За допомогою цього методу буде легко виміряти оптичні властивості при певних T_j

$$\begin{aligned} T_{j01} &= -776.9V_{f01} + 1334 (R^2 = 0.9999) \\ T_{j02} &= -778.1V_{f02} + 1336 (R^2 = 0.9998) \\ T_{j03} &= -787.2V_{f03} + 1339 (R^2 = 0.9998) \\ T_{j04} &= -778.0V_{f04} + 1339 (R^2 = 0.9999) \end{aligned} \quad (2.1)$$

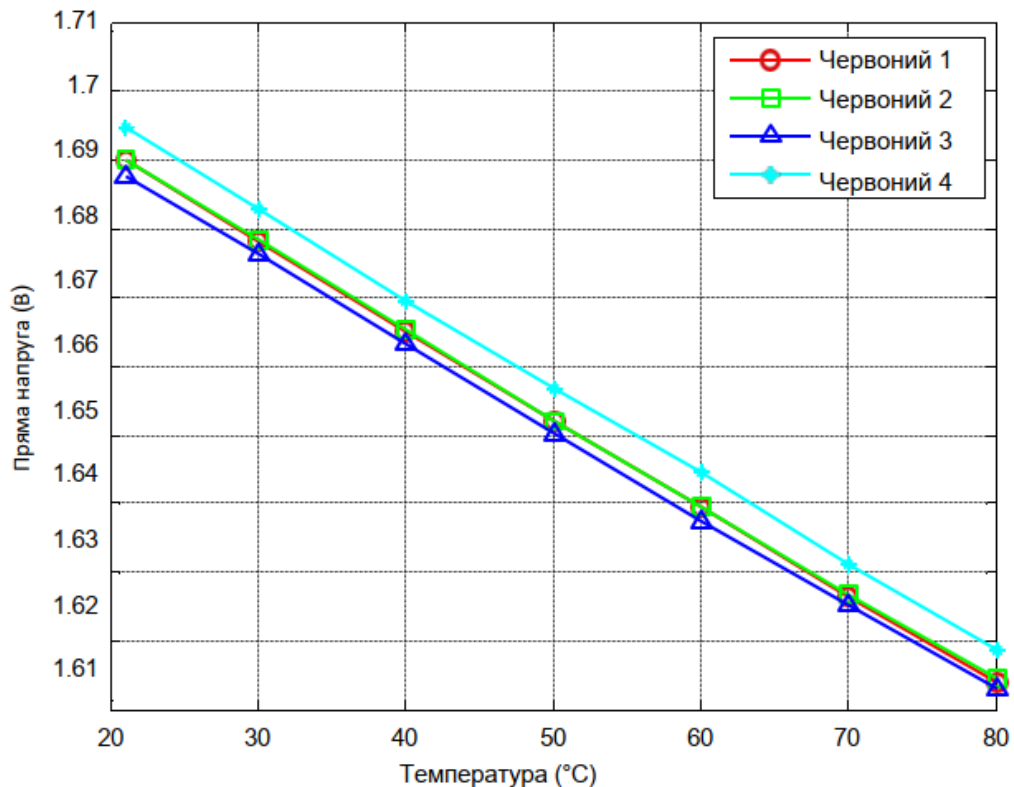


Рисунок 2.6 - Температура переходу (C) проти прямої напруги чотирьох світлодіодів

2.3.3 Спектральні характеристики

Спектральний розподіл потужності (СРП) є важливим параметром оптичних властивостей, який визначає інші радіометричні або фотометричні

величини, такі як фотосинтетично активна радіація (ФАР), променистий потік, інтенсивність випромінювання, опромінення, яскравість, світловий потік, сила світла, освітленість, яскравість тощо. СРП описує потужність на одиницю площі на одиницю довжини хвилі освітлення, але на неї сильно впливають T_j і прямий струм (I_f). На рис. 2.7 показано СРП п'яти світлодіодів при номінальних струмах.

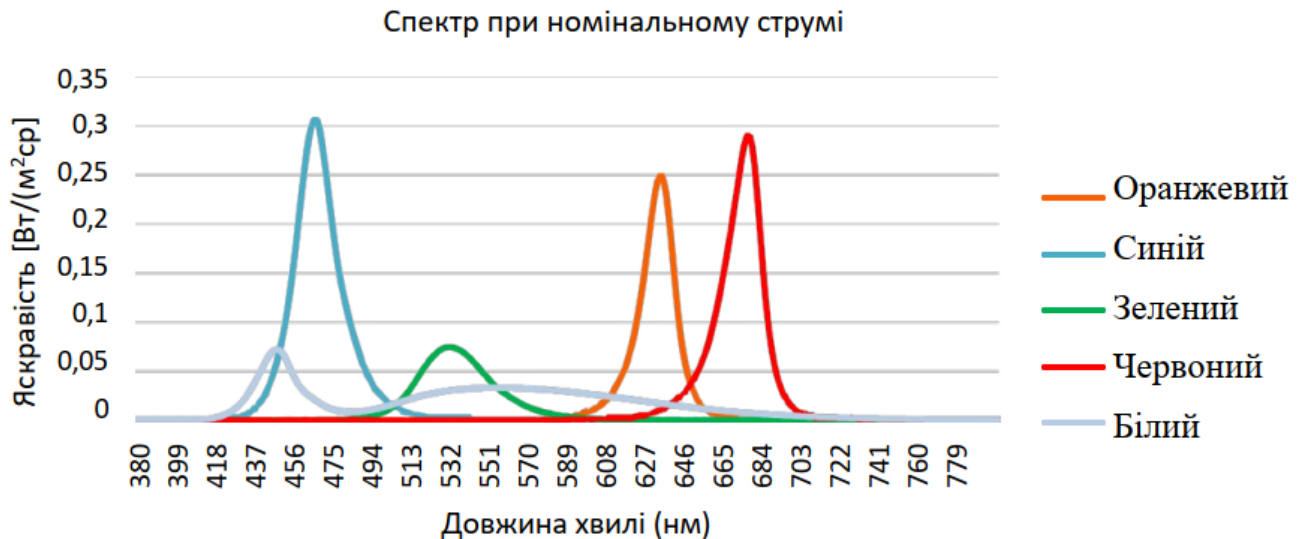


Рисунок 2.7 - Спектральний розподіл потужності для п'яти світлодіодів при номінальних струмах

На рис. 2.8 показано спектральний розподіл потужності червоного світлодіода при різних значеннях I_f (від 0,05 до 1А з інтервалом 0,05А) при кімнатній температурі. Зі спектрів видно очевидний червоний зсув. Крім того, залежність довжини хвилі піку від струму при кімнатній температурі показано на рис. 2.9. Оскільки роздільна здатність Specbos обмежена, було зроблено підгонку точок. Це вказує на загальну різницю в 5 нм від 0.05-1А, що означає близько 0.25 нм червоного зсуву для кожного інтервалу.

Ми також протестували температурну залежність пікової довжини хвилі для гіперчервоного світлодіода при $I_f = 0,3\text{А}$ (рис. 2.10). Також спостерігається червоне зміщення, загалом близько 12 нм від 21 °С до 84°С, близько 1,9 нм червоного зміщення для 10°С.

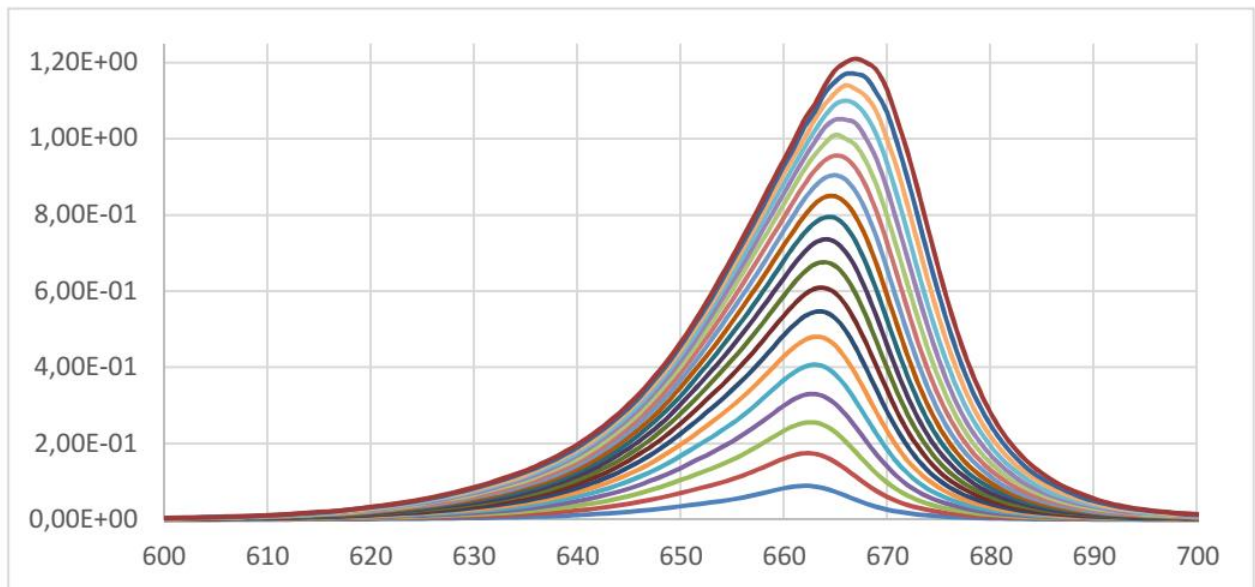


Рисунок 2.8 - Спектральний розподіл потужності червоного світлодіода при різних $I_f(0,05-1\text{A})$ при кімнатній температурі

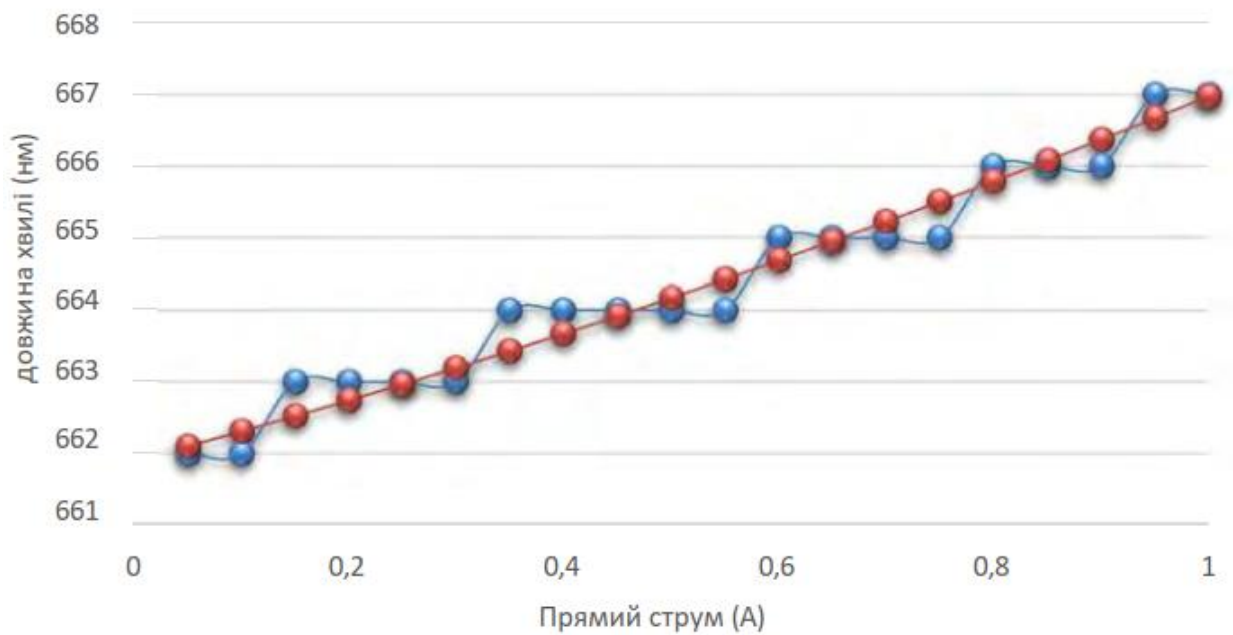


Рисунок 2.9 - Залежність струму від довжини хвилі для червоного світлодіода при кімнатній температурі

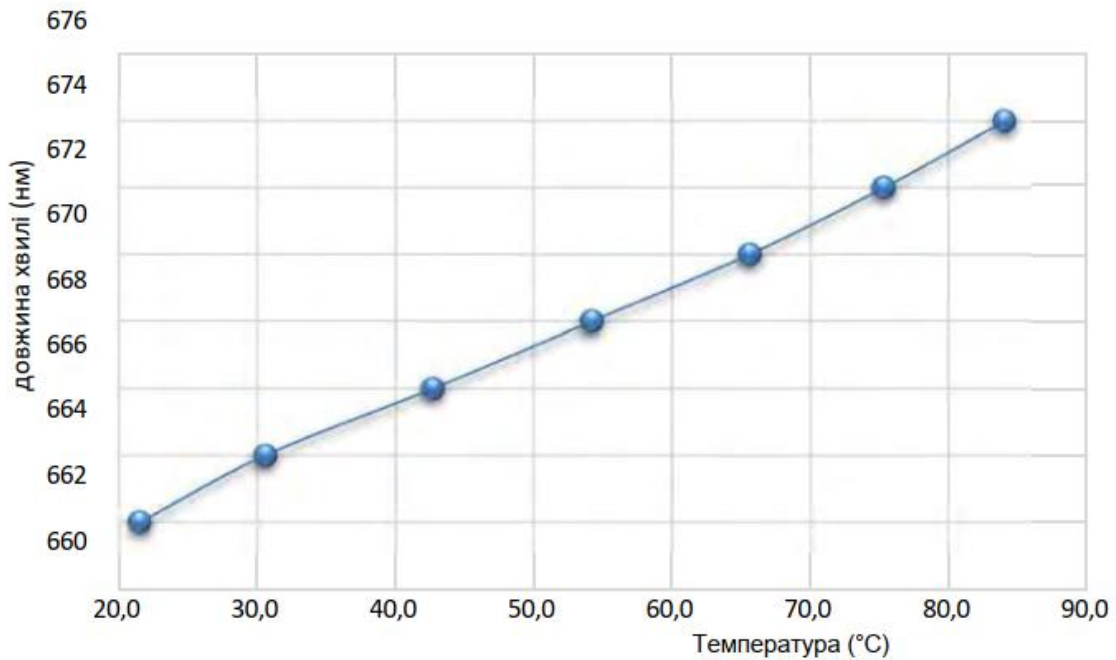


Рисунок 2.10 - Температурна залежність пікової довжини хвилі для червоного світлодіода при $I_f = 0.3A$

Коли T_j і I_f збільшуються, світловий потік (Φ_v) і ФАР (Φ_r) збільшуються, але ефективність зменшується. Різні значення I_f (0,05-1A) і T_j (21-84 °C) були використані для тестування світлового потоку і ФАР червоного світлодіода. З рисунків 2.11 і 2.12 видно, що на світловий потік більше впливають I_f і T_j . Відносний світловий потік Φ_v/Φ_v (350 мА) менше 2,5 при 1 А в порівнянні з 2,7 відносного ФАР Φ_r/Φ_r (350 мА). Насправді, відносний ФАР майже представляє лінійну функцію, але відносний світловий потік представляє квадратичну функцію. Відносний світловий потік Φ_v/Φ_v (21 °C) становить менше 0,7 при $T_j = 84^\circ\text{C}$ порівняно з більш ніж 0,9 відносного ФАР $\Phi_r/\Phi_r(21^\circ\text{C})$. Обидві криві представляють лінійну функцію. Інший висновок полягає в тому, що температура T_j впливає серйозніше, ніж I_f

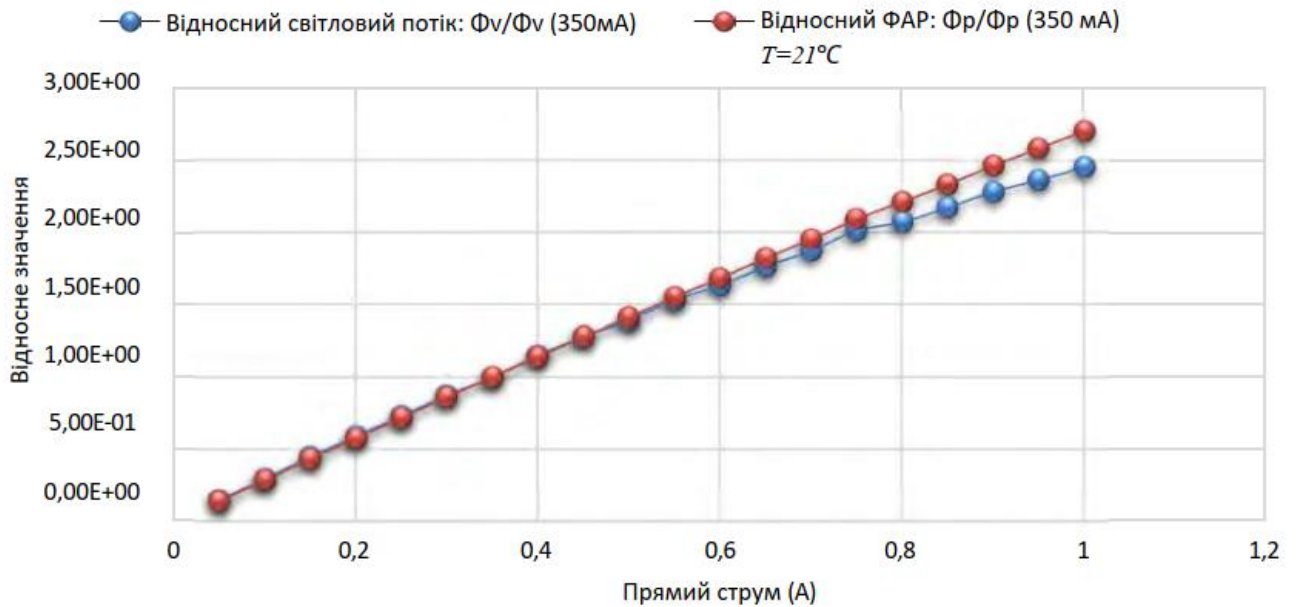


Рисунок 2.11 - Пряма залежність струму червоного світлодіода для світлового потоку та ФАР.

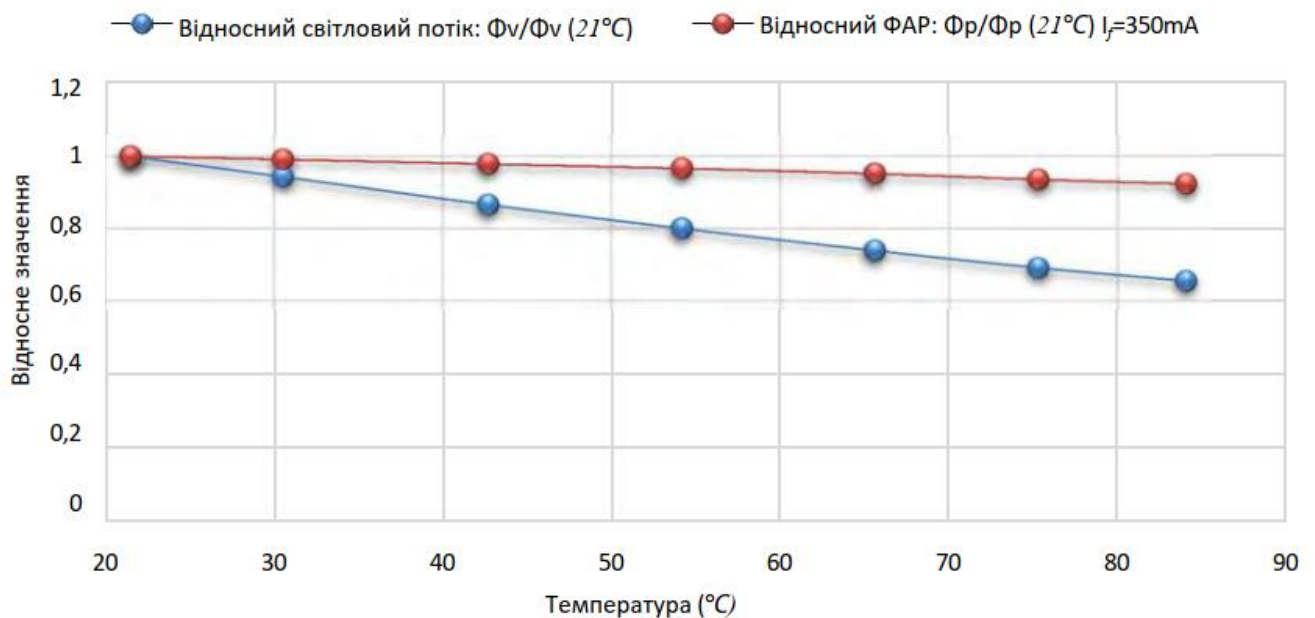


Рисунок 2.12 - Температурна залежність світлового потоку та ФАР червоного світлодіода.

2.3.4 Колориметричні характеристики

Координати кольоровості x , y та z - це відношення червоної, зеленої та синьої стимуляції світла до загальної кількості червоної, зеленої та синьої стимуляції. Сума значень RGB ($x + y + z$) дорівнює 1. Світлодіоди мають широкий діапазон кольорних температур (2700 - 12000 K). Кожен колір

світлодіода може бути представлений унікальними координатами x - y відповідно до МКО (Commission Internationale De L'eclairage (Міжнародна комісія з освітлення)). Колірні температури і планківська точка (крива чорного тіла) показують, як вони пов'язані з координатами кольоровості. Колірна температура світла дорівнює температурі поверхні ідеального випромінювача чорного тіла в Кельвінах, нагрітого тепловим випромінюванням. Коли випромінювач чорного тіла нагрівається до високих температур, нагріте чорне тіло випромінює кольори, починаючи з червоного і проходячи через помаранчевий, жовтий, білий і, нарешті, до синювато-білого.

Світлодіоди поділяються на два типи за кольором: білі світлодіоди та RGB світлодіоди. Білі світлодіоди можуть використовувати червоний/зелений/синій/помаранчевий/жовтий люмінофор з синіми світлодіодними чіпами для виробництва білого світла. Люмінофори складаються з активаторів, змішаних з домішками у відповідному положенні на кристалічній решітці. Активатори визначають рівень енергії, пов'язаний з процесом випромінювання світла, тим самим визначаючи колір випромінюваного світла. Колір визначається енергетичною щільною між основним і збудженим станами активаторів у кристалічній структурі. Світлодіодні пакети RGB включають червоні світлодіодні пакети, зелені світлодіодні пакети, сині світлодіодні пакети та світлодіодні пакети з декількома матрицями в одному пакеті, що виробляють біле світло, використовуючи комбінацію червоних, зелених та синіх світлодіодних матриць.

За допомогою тестової системи було виміряно різновид світлодіода EQ-White. Світлодіод EQ-White виробляється з синім чіпом і зеленим люмінофором. Його перевага полягає в тому, що зелений люмінофор має дуже низький коефіцієнт втрат при перетворенні і в поєднанні з синім чіпом створює дуже ефективне джерело світла (приблизно 151 лм/Вт). Крім того, він створює адекватні координати кольоровості і збалансований основний спектр. Координати кольоровості та корельована колірна температура (ККТ) були протестовані при різних I_f та T_j

На рис. 2.13 показано результати при $I_f 0,1$ і 1 A та $T_j 21^\circ\text{C}$ і 78°C . Точки кольоровості зміщуються в бік вищої колірної температури зі збільшенням I_f і T_j . Коли T_j було зафіксовано на 21°C , ККТ змінилася з 4551 при $0,1\text{ A}$ до 4641 при 1 A . Коли I_f було зафіксовано на рівні $0,3\text{ A}$, ККТ змінився з 4573 при 21°C до 4701 при 78°C . Результати узгоджуються з попередніми літературними даними. Причину можна пояснити зменшенням світлової ефективності СД.

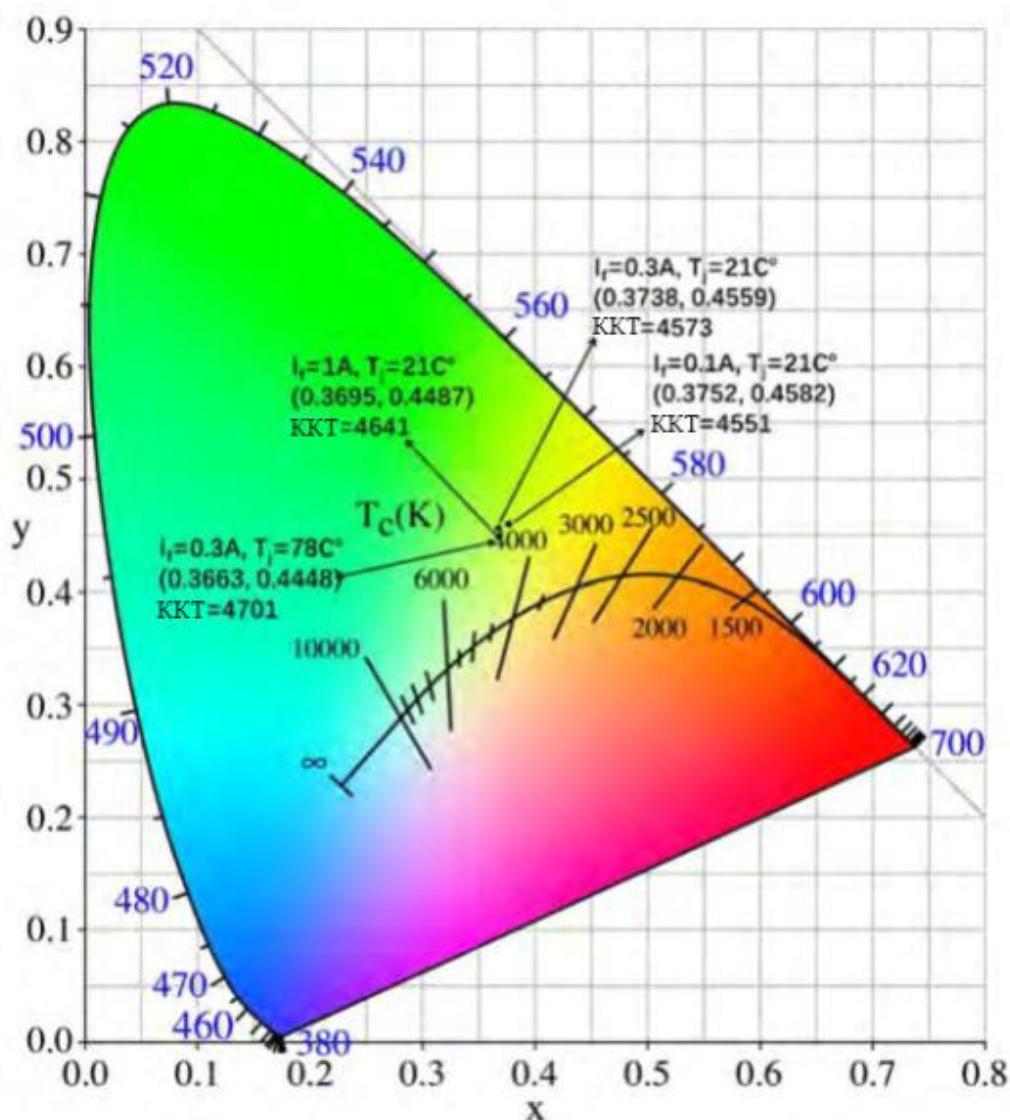


Рисунок 2.13 - Точки кольоровості білого світлодіода за різних I_f та T_j

2.4 Моделювання поведінки світлодіодів

2.4.1 Електрична модель

Електричну модель світлодіода можна вважати системою з багатьма входами та одним виходом. Вхідними параметрами є I_f і T_j , а вихідним - V_f (рис.

2.14). Тривимірне представлення електричної моделі для червоного світлодіода показано на рис. 2.15. V_f дещо зростає зі збільшенням I_f , але майже лінійно зменшується зі збільшенням T_j

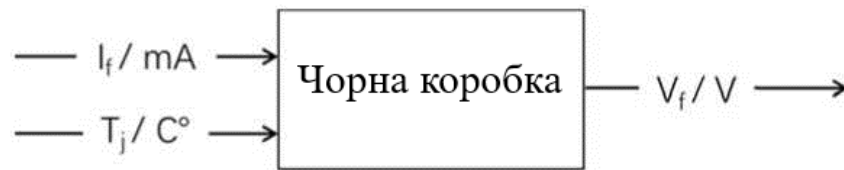


Рисунок 2.14 Система з декількома входами та одним виходом для електричної моделі світлодіода система MISO

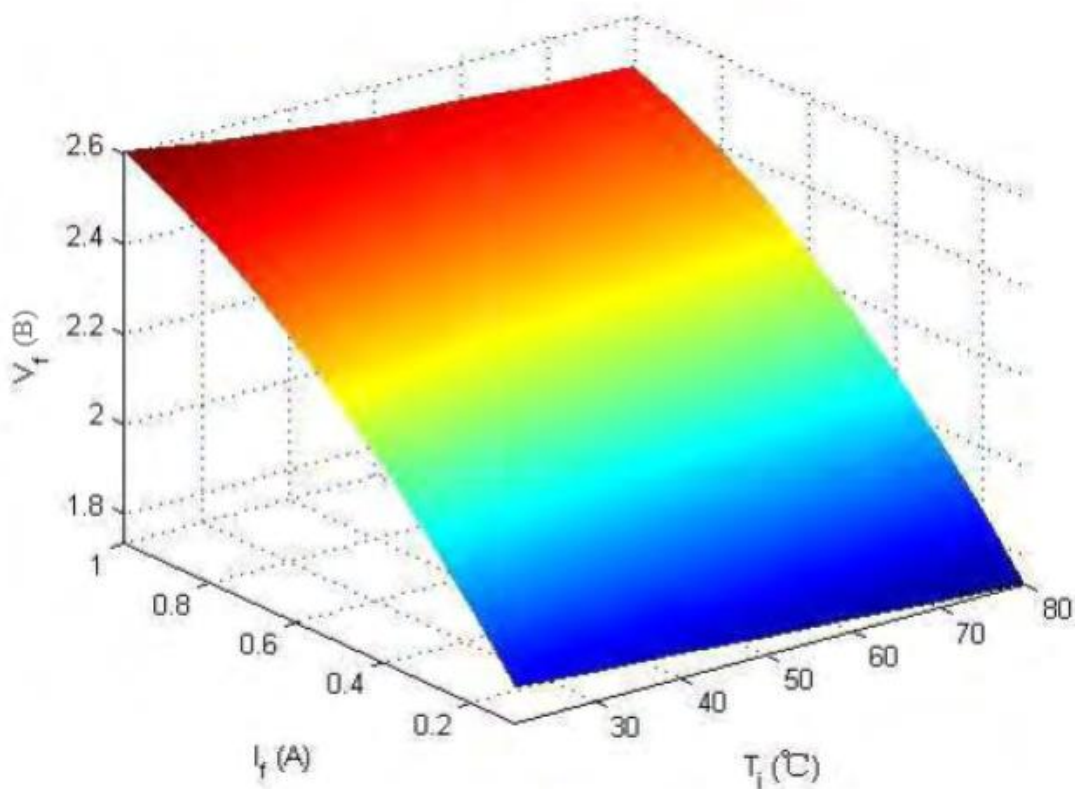


Рисунок 2.15 - Тривимірне представлення електричної моделі червоного світлодіода: зв'язок між прямою напругою (V_f , В), температурою переходу (T_j , °С) і прямим струмом (I_f , А)

Рівняння електричної моделі світлодіода було створено за допомогою інструментарію Matlab для підбору кривих (рівняння (2.2).). Параметри для червоного світлодіода наведено в таблиці 2.1. V_f і T_j мають лінійну залежність.

V_f та I_f мають квадратичну залежність. Буде зручніше проектувати систему світлодіодного освітлення за допомогою електричної моделі.

$$V_f = aT_j + bI_f^2 + cI_f + d; 0,05A \leq I_f \leq 1A, 20^{\circ}C \leq T_j \leq 90^{\circ}C \quad (2.2).$$

Таблиця 2.1 Параметри електричної моделі для червоного світлодіода (з 95% ймовірністю)

Параметри	Значення
a	-0.001533
b	-0.4898
c	1.39
d	1.715
R^2	0.993

2.4.2 ФАР модель

Відповідно до характеристик світлодіода, прямий струм (I_f) і температура переходу (T_j) є двома ключовими параметрами для отримання точного фотосинтетично активного випромінювання (ФАР). Модель ФАР також можна розглядати як систему MISO. На входи подаються I_f і T_j , а на виході - ФАР (рис. 2.16).

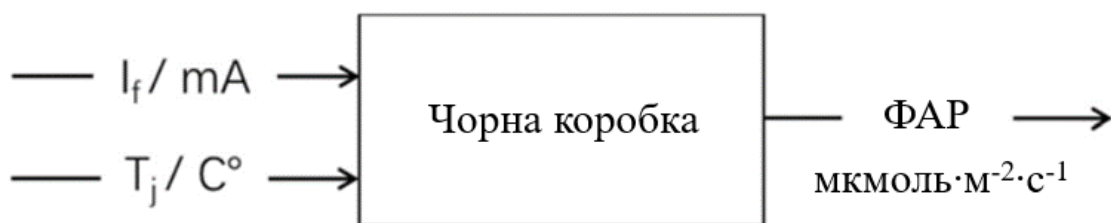
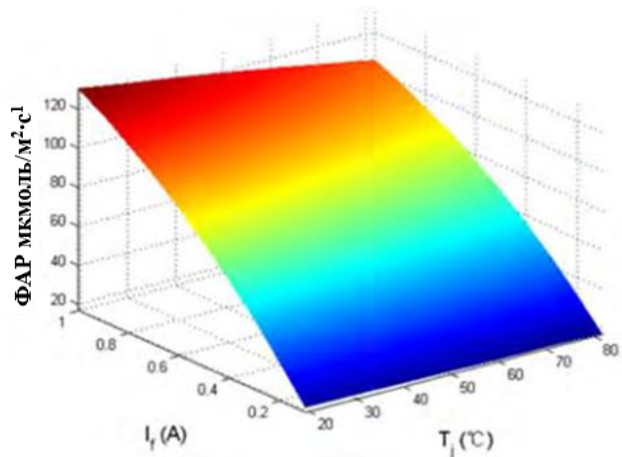


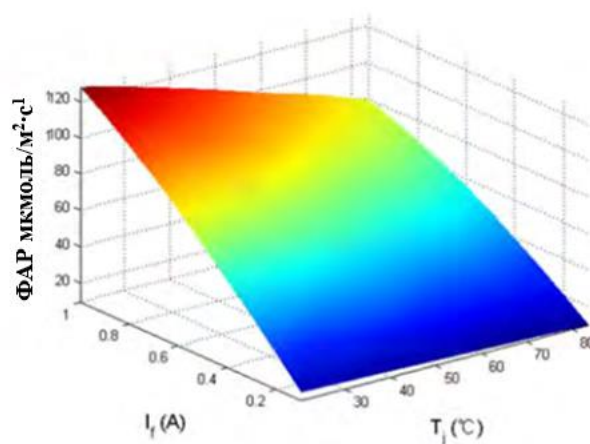
Рисунок 2.16 - Система з декількома входами і одним виходом (MISO) для моделі ФАР світлодіода

Зазвичай, T_j і пряма напруга (V_f) світлодіода мають лінійну залежність. Ми використовували імпульсний струм 10 мА, для вимірювання V_f при різних температурах в термостаті, і розраховували залежність між T_j і V_f . Потім закріпіть один світлодіод на невеликому термостаті і помістіть його в центр інтегруючої сфери. За допомогою термостата нагрійте світлодіод до стабільної

температури, а потім за допомогою калібрувального струму 10 мА виміряйте V_f . Тим часом ФАР вимірювали за допомогою UNI-T UT8803E при різних рівнях струму. Кожен інтервал вимірювання становив п'ять хвилин, щоб уникнути різниці температур T_j . На основі взаємозв'язку між T_j і V_f , справжній тестовий T_j був доступний в інтегруючій сфері. Таким чином, тривимірні залежності між ФАР, T_j і I_f були отримані для червоного і синього світлодіодів (рис. 2.17).



(а) Синій світлодіод



(б) Червоний світлодіод

Рисунок 2.17 - Тривимірна залежність фотосинтетично активного випромінювання (ФАР) ($\mu\text{моль}/\text{м}^2\cdot\text{с}^1$) від температури переходу (T_j) ($^{\circ}\text{C}$) і прямого струму I_f (А) синього (а) і червоного (б) світлодіодів

Модель ФАР також можна налаштувати за допомогою рівняння (2.3)...
Параметри для червоного та синього світлодіодів наведено в Таблиці 2-2. ФАР і T_j мають лінійну залежність. ФАР та I_f мають квадратичну залежність.

$$\Phi AP = aT_j + bI_f^2 + cI_f + d \quad (2.3)$$

Таблиця 2-2 Параметри моделі ФАР для червоних та синіх світлодіодів

	a	b	c	d	R^2
Параметри для синього світлодіода	-0.2227	-54.82	171.2	12.98	0.994
Параметри для червоного світлодіода	-0.4078	-33.8	141.7	18.84	0.977

За допомогою інструменту підбору поверхні в Matlab, функції підбору для синіх і червоних світлодіодів можуть бути більш точними, які показані у

вигляді рівнянь (2.4). і (2.5). Коефіцієнт R^2 може досягати 0,9997. Однак, функція моделі відрізняється від інтерпретації. Для експерименту точну функцію ФАР можна легко визначити, задавши I_f і перевіривши T_j

$$\text{ФАР}_{\text{синій}} = 1,141 + 0,0071 \cdot T_j + 192,7 \cdot I_f - 0,4178 \cdot T_j \cdot I_f - 54,82 \cdot I_f^2 \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} \text{ФАР}_{\text{червоний}} &= -2,585 + 0,0173 \cdot T_j + 180,7 \cdot I_f - 0,7728 \cdot T_j \cdot I_f - 33,8 \cdot I_f^2 \\ 0,05A &\leq I_f \leq 1A, 20^\circ C \leq T_j \leq 90^\circ C \end{aligned} \quad (2.4)$$

2.4.3 Спектральна модель

Спектральну модель світлодіодів можна розглядати як систему з множинним входом і множинним виходом (МІМО-систему). Вхідними параметрами є I_f та T_j , а вихідним - спектр світлодіода (рис. 2.18). Існує декілька спектральних моделей для опису спектру світлодіодів. Гаусова функція є простою моделлю для цього і використовувалася в багатьох статтях, але моделювання не є однаковим через асиметричні спектри світлодіодів. Логістичний пік потужності вважається однією з точних моделей для спектра світлодіодів, але ці моделі є відносно громіздкими і складними.

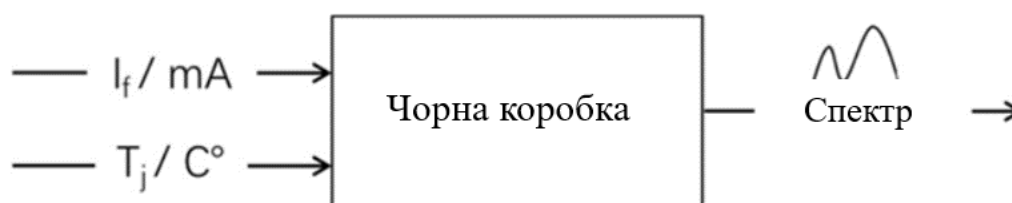


Рисунок 2.18 - Система з множинним входом і множинним виходом (МІМО) для спектральної моделі світлодіода

Спектральна модель одного світлодіода показана в рівнянні (2.5).

Вона була прийнята для наближеного моделювання спектрів світлодіодів. Відносні дані моделювання можуть бути використані як орієнтир для подальшої оптимізації спектру світлодіодів. Спектр світлодіода залежить від амплітуди піку A , довжини хвилі піку λ_p (нм) та повної ширини на половині максимуму (ПШПМ) $\lambda_{\text{ПШПМ}}$ (нм).

$$S(\lambda_p, \lambda_{\text{пшпм}}, \lambda) = A \cdot \exp\left(-\left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_{\text{пшпм}}}\right)^2\right) \quad (2.5)$$

2.5 Вплив імпульсного світла на рослини

Переривчасте світло, яке також називають імпульсним, використовується як спеціальний світловий режим для збільшення питомої швидкості росту і швидкості фотосинтезу. Важливо знати, що оптимальний спектр для росту рослин не є постійним і змінюється залежно від стадії росту рослин. Деякі роботи також показують, що імпульсне та переривчасте світло може сприяти більшому фотосинтезу і заощаджувати більше енергії [2]. Зростання продуктивності за допомогою циклів світло/темрява (L/D) можна пояснити швидкістю обертання електронів у фотосинтезі. Якщо частота L/D збігається зі швидкістю обертання, ефективність фотосинтезу буде найвищою. Імпульсний світловий режим було протестовано за допомогою розробленої нами динамічної світлодіодної системи освітлення. Вона дозволяє вивчати динамічний вплив світла на ріст рослин.

Існує багато моделей для імпульсного світла.

Густина вхідного потоку фотонів (ГПФ вх) може бути різною, але ГПФвх або коефіцієнт пропускання світла (І вих) буде постійним в одній культурі (рис. 2.19).

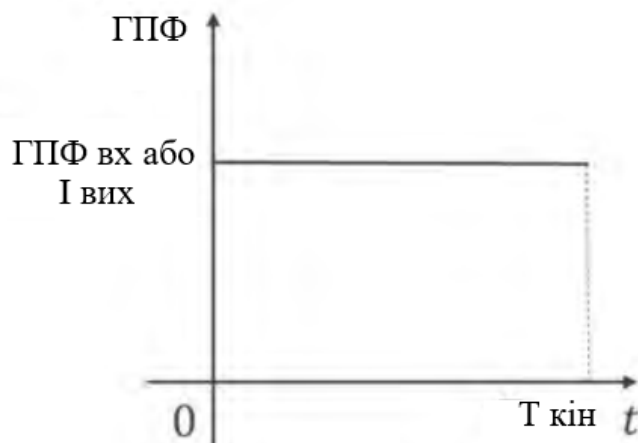


Рисунок 2.19 -Постійне освітлення

Для імпульсного освітлення (Рис. 2.20) ми визначаємо деякі параметри, такі як світловий період (T_L), темновий період (T_D), цикл світло/темрява (T_C), частота світла (f) та частка світла (ε),

$$\text{де } \varepsilon = \frac{T_L}{T_C}, \quad 0 < \varepsilon < 1$$

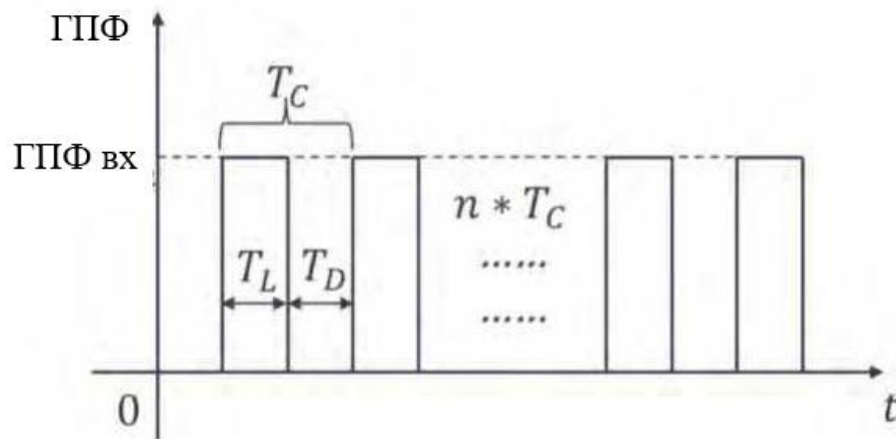
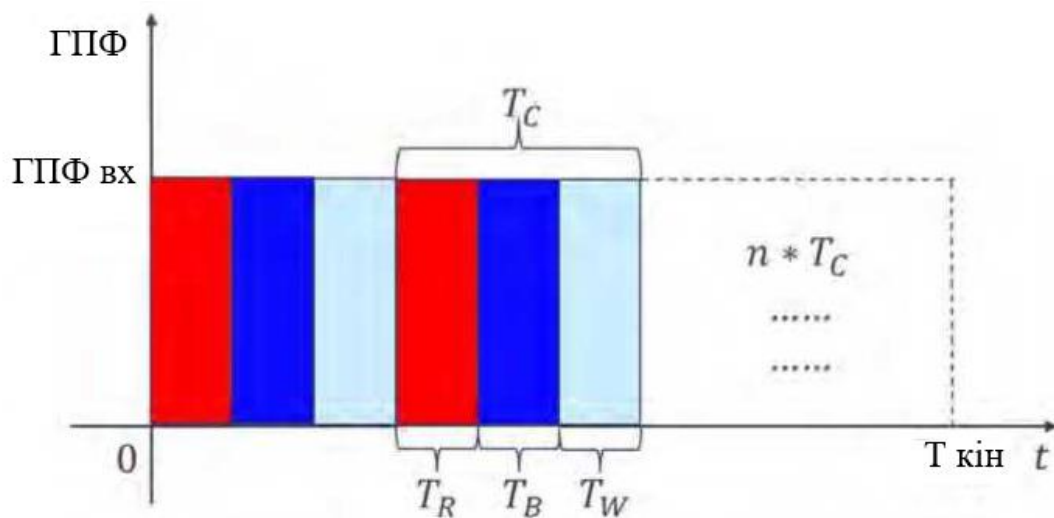
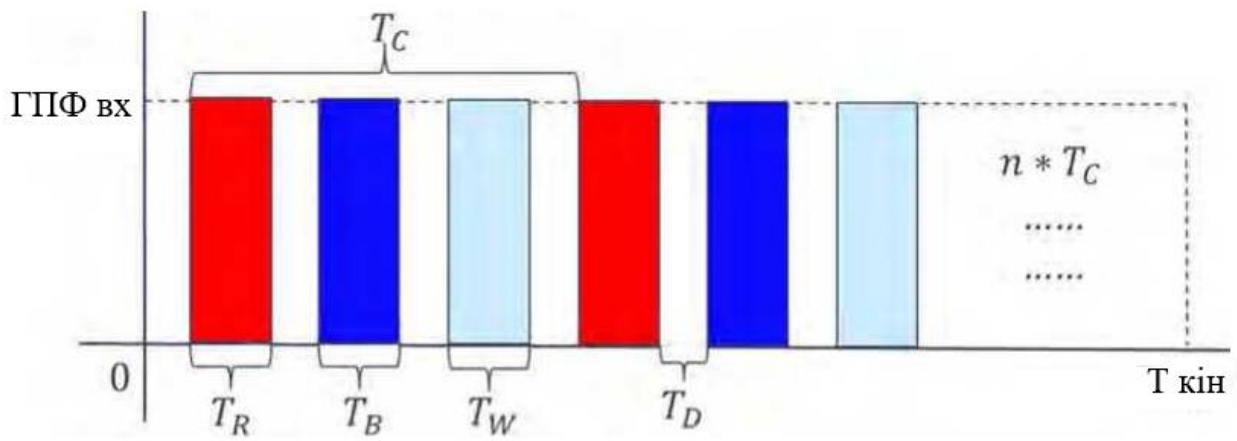


Рисунок 2.20 -Імпульсне освітлення

Імпульсне освітлення включає рівні інтервали та безперервне освітлення ($T_R = T_B = T_W$), а також нерівні інтервали та безперервне освітлення ($T_R \neq T_B \neq T_W$) (Рис. 2.21 (а)). T_R , T_B і T_W - час увімкнення червоного, синього і білого світлодіодів відповідно. Якщо освітлення не є безперервним, його можна назвати рівноінтервальним і переривчастим, а також нерівноінтервальним і переривчастим (рис. 2.21 (б)).



а



б

Рисунок 2.21 - Імпульсне освітлення рівні інтервали та безперервне освітлення ($T_R = T_B = T_W$), а також нерівні інтервали та безперервне освітлення ($T_R \neq T_B \neq T_W$) а – T_R , T_B і T_W - час увімкнення червоного, синього і білого світлодіодів відповідно; б – рівноінтервальне і переривчасте, а також нерівноінтервальне і переривчасте освітлення

2.6 Висновки до розділу

У цьому розділі було охарактеризовано кілька світлодіодів за допомогою термостата та системи вимірювання освітленості. Визначено їхні електричні, теплові, спектральні та колориметричні характеристики. Також було проаналізовано електричні, ФАР і спектральні моделі світлодіодів, з яких ми виявили, що температура переходу і прямий струм є двома ключовими параметрами для продуктивності світлодіодів. Занадто висока температура переходу погано впливає на світловіддачу і зменшує середній час напрацювання на відмову

3 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Проектування світлодіодної системи освітлення для вирощування рослин

Світлодіоди можуть житися від низьковольтного джерела постійного струму. Певні довжини хвиль можна комбінувати для отримання оптимальних спектрів відповідно до характеристик селективних спектрів поглинання для росту рослин. Крім того, інтенсивність і період світіння можна легко змінювати за допомогою аналогового диммера або за допомогою методу широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

У порівнянні з традиційними системами освітлення теплиць, світлодіодні системи освітлення (СДО) не тільки заощаджує енергію, але й має переваги в динамічному, точному і гнучкому спектральному управлінні. Лампи СДО і світлодіоди по суті є ідеальними системами і джерелами світла для тепличних рослин. Дійсно, вони мають багато переваг, таких як тривалий термін служби, монохроматичне світло, холодний спектр без інфрачервоного випромінювання та висока світлова ефективність. Завдяки своїй міцній структурі, вони надійні, а отже, мають високу довговічність. Примітно, що висока частота перемикання не впливає на їх світловий розпад і термін служби. Світлодіодне світло має вузький спектр з невеликою повною шириною при половині максимуму (ПШПМ). Холодний спектр може освітлювати рослину на невеликій відстані або перетинати рослинне полотно, не обпалюючи листя. Світлова віддача білого світлодіода збільшилася з 5 лм/Вт на початку 90-х років до близько 300 лм/Вт в лабораторії сьогодні, і може постійно зростати з розробкою нових матеріалів і конфігурацій. Таким чином, теплиці, освітлені світлодіодами (СД), стають все більш популярними.

Для вивчення впливу світла на різні рослини в циклі росту важлива і необхідна гнучка система освітлення. Системи освітлення натрій високого тиску (НВТ) є найбільш поширеними джерелами світла для теплиць, але не найкращими кандидатами. Вони виробляють непотрібний спектр, що призводить до марної втрати енергії. Невідповідне світлове середовище не може

створити оптимальний потік фотонів для ясного фотосинтезу. Крім того, вихідним світлом складно керувати порівняно з СДО. Таким чином, деякі види світлодіодних систем освітлення розроблені з різними світловими технологіями та стратегіями управління. Ці системи можуть виробляти оптимальний спектр для росту рослин і потребують подальших досліджень.

Є два аспекти, які слід добре врахувати. По-перше, СДО повинна відповідати характеристикам селективних спектрів рослин. По-друге, вона повинна бути гнучко керованою і виробляти динамічний і точний спектр, щоб досягти оптимального спектру для тепличних рослин.

Потік випромінювання світлодіода є функцією прямого струму і температури переходу, тому для СДО необхідно використовувати постійний контроль струму і тепловідвід. Потужні світлодіоди - це пристрої з низькою напругою і великим струмом, тому для забезпечення постійного струму необхідні відповідні драйвери. Невелика зміна прямої напруги викликає велику зміну прямого струму відповідно до характеристик діода IV. Занадто сильний струм призводить до ослаблення світла, а занадто малий струм - до недостатнього випромінювання. Таким чином, контроль постійної напруги не може гарантувати стабільність яскравості і впливає на надійність і термін служби світлодіода.

Для реалізації динамічного освітлення теплиць розроблено п'ять незалежних каналів, які не впливають один на одного. Застосовується аналогове та ШІМ керування. Середній вихідний струм становить від 0 до 1000 мА. Максимальний струм становить 2,5 А, оскільки для підтримки середнього струму на постійному рівні використовується стратегія PID-регулювання. Робоча частота може регулюватися в діапазоні від 0 до 100 кГц. Робочий цикл можна змінювати від 20% до 100% нижче 500 мА середнього струму. Струм слід встановлювати між відповідними діапазонами відповідно до характеристик світлодіода.

Функціональна блок-схема системи світлодіодного освітлення показана на Рисунку 3.1. Вона включає в себе світлодіодний блок (5 кольорів), модуль живлення, модуль керування (один блок керування), модуль керування (п'ять

блоків керування) та програмне забезпечення для ПК. Блок управління може зв'язуватися з програмним забезпеченням і керувати п'ятьма блоками управління. Програмне забезпечення для ПК як людино-машинний інтерактивний інтерфейс розроблено мовою програмування C++. Воно використовується для відображення робочого стану параметрів світлодіодів у реальному часі, надсилання команд на блок керування, отримання зворотного зв'язку від системи, запису та збереження нульових точок та кривих. Коли драйвери отримують команди від блоку управління, вони керують світлодіодним масивом відповідно до запиту. Команди включають встановлення струму (I_s), частоти (f), робочого циклу (D) та часової послідовності (T). Інформація зворотного зв'язку про робочий стан системи надсилається на блок керування і відображається в програмному забезпеченні ПК, наприклад, реальний струм (I_r), напруга (V_r), потужність (P_r) і вихідний поріг (O). Система освітлення працює відповідно до команд; таким чином можна досягти різних динамічних спектрів.

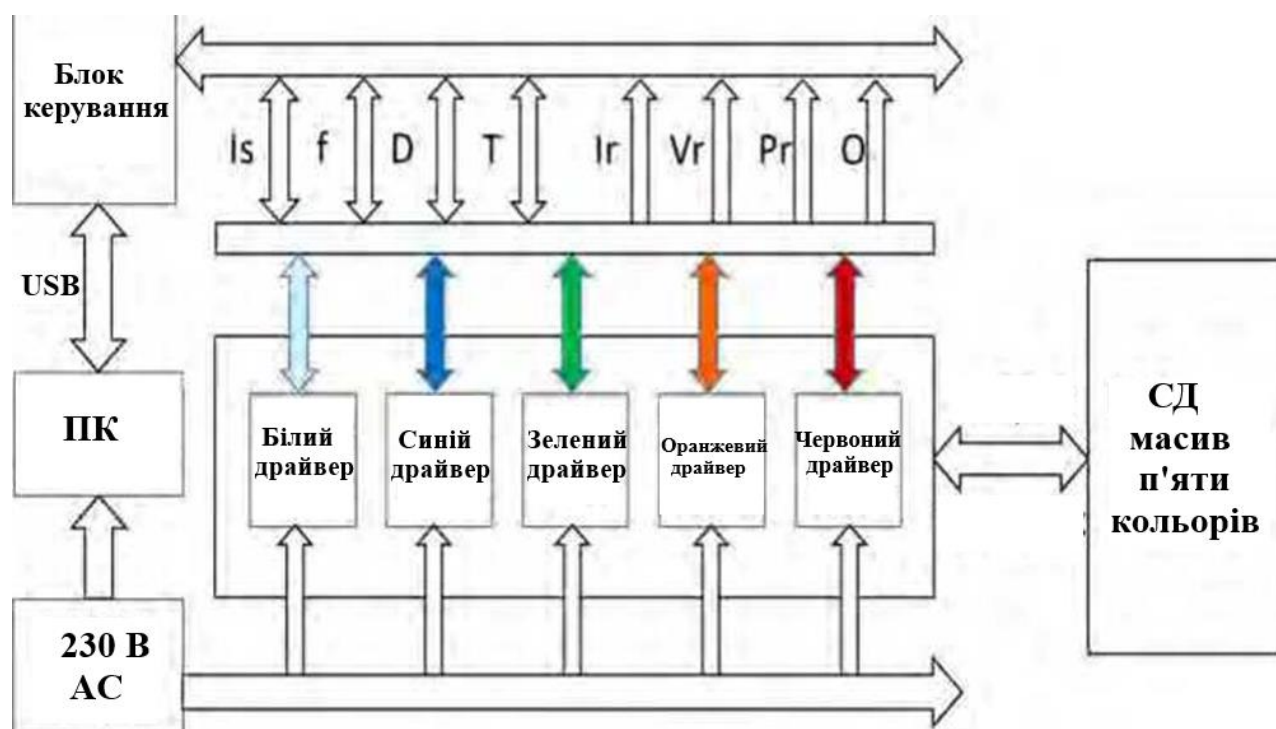


Рисунок 3.1 - Функціональна блок-схема системи світлодіодного освітлення

Відповідно до принципу проектування, спектри селективного поглинання для рослин в основному збираються в діапазоні від 400 нм до 700 нм. Таким чином, п'ять кольорів світлодіодів обрані для однієї моделі та конфігурації. Для червоного, оранжевого, зеленого та синього світлодіодів пікові довжини хвиль становлять 665 нм, 625 нм, 528 нм та 467 нм відповідно. Для білого кольору координати кольоровості становлять $x=0,31$ та $y=0,32$, а колірна температура - 6500K. Всі світлодіоди мають номінальну потужність 1 Вт, максимальний струм 1 А і кут огляду 170° при 50% значенні струму. Спектр випромінювання світлодіодів показаний на рис. 3.2.

Для отримання рівномірного освітлення використовуються два види розташування світлодіодів. Вибрано по чотири світлодіоди кожного кольору. Відстань між двома однаковими сусідніми кольорами становить $2r$ та $1,5r$ відповідно (рис. 3.3). Якщо розглядати базову одиницю як "піксель", то чим вище піксель чим більше світлодіодів, тим більш рівномірним є спектр. Кількість світлодіодів залежить від площі теплиці.

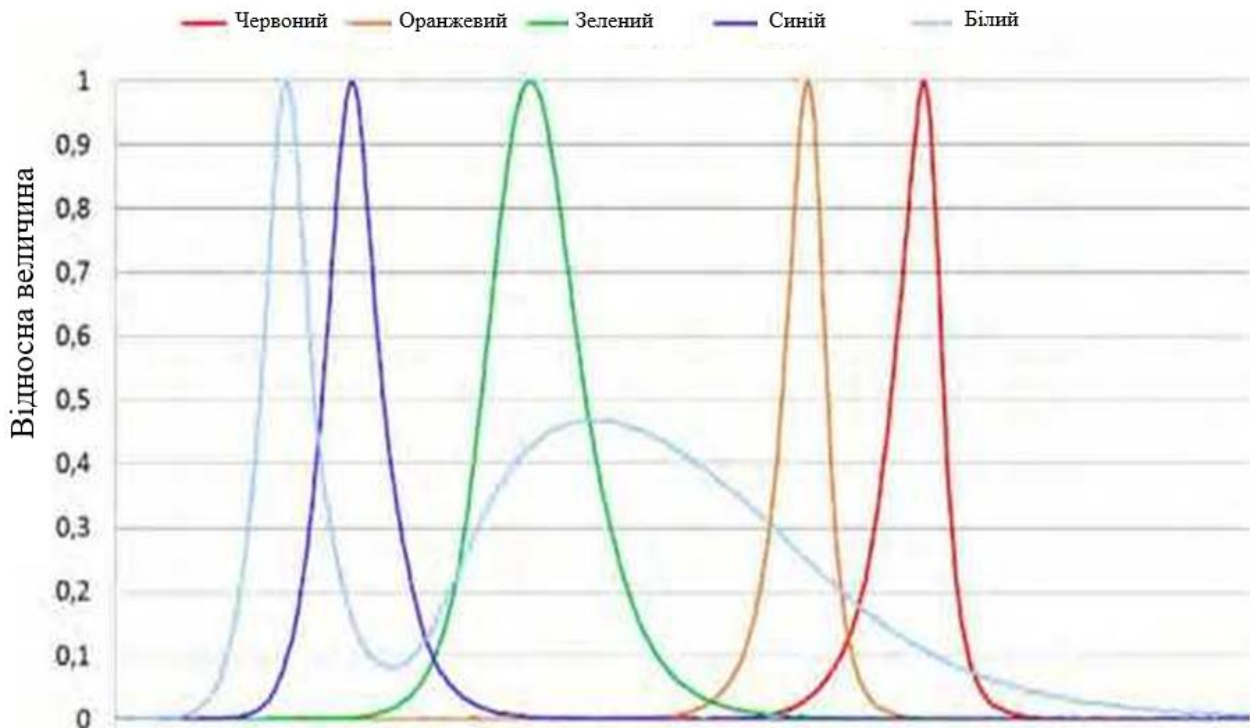


Рисунок 3.2 - Спектр світлодіодів для п'яти кольорів

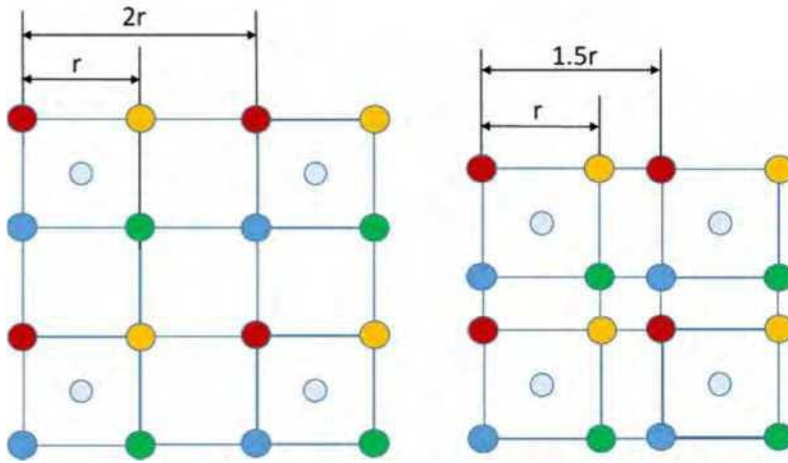


Рисунок 3.3 - Два види розташування світлодіодів

3.1.1 Модуль живлення світлодіодної системи освітлення

Щоб забезпечити точний і стабільний струм для кожного каналу, необхідне стабільне джерело живлення. Тому використовується ізольована схема зі зворотним зв'язком. Спочатку трансформатор виробляє постійну напругу на вторинній стороні, а потім пульсації напруги повертаються на первинну сторону через оптопару, таким чином вона самозбуджується і є стабільною. Такі схеми відповідають визначеним вимогам безпеки. Вихідні струми мають відносно високу точність і ефективність перетворення. Однак, через необхідність використання оптрона та вторинної схеми керування постійним струмом, система може бути складнішою, з більшим об'ємом та дорожчою вартістю. Враховуючи час проектування, ми приймаємо 24 В постійного струму, 2,5 А на виході як джерело живлення. Для запуску або закриття виходу використовується реле, кероване мікропрограмним блоком управління. Постійний струм 24В перетворюється на $\pm 12\text{В}$, 5В та 3,3В для живлення підсилювачів, мікросхем та мікроконтролера. Блок-схема структури системи живлення, електрична схема включення живлення та схема DC-DC перетворювача показана на рис. 3.4, 3.5 та 3.6 відповідно.



Рисунок 3.4 - Блок-схема структури системи живлення світлодіодного освітлення

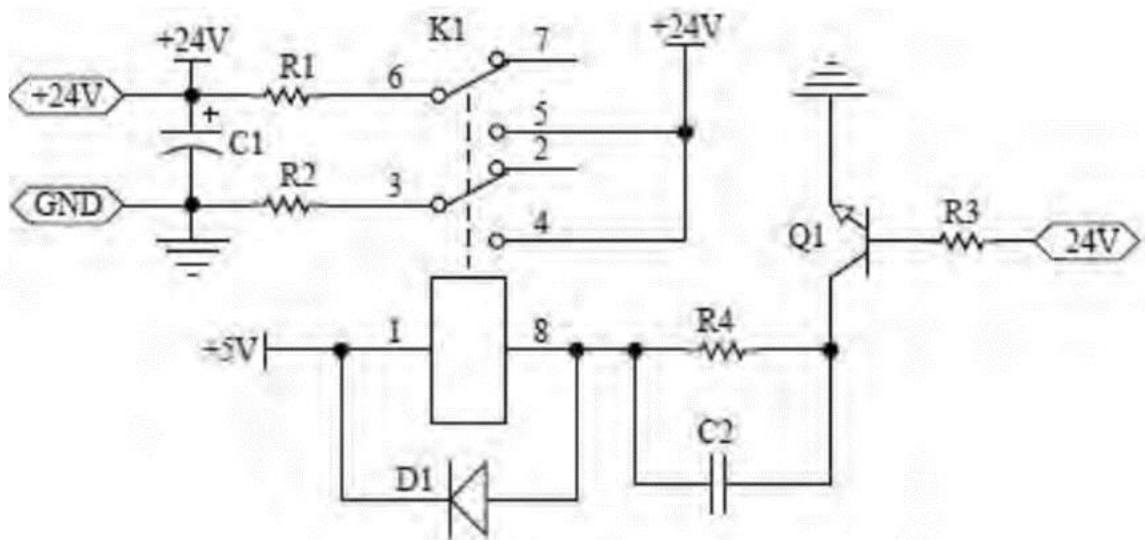


Рисунок 3.5 - Електрична схема включення живлення драйвера

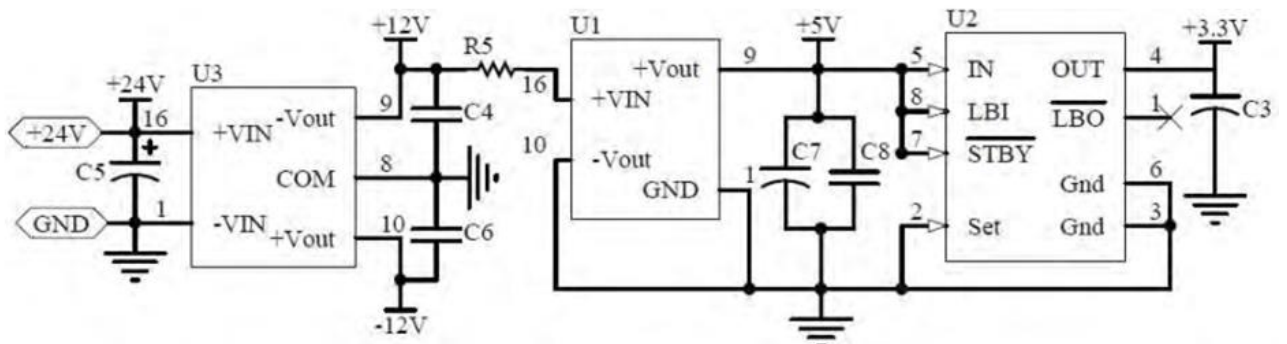


Рисунок 3.6 – Електрична схема DC-DC перетворювача на $\pm 12\text{В}$, 5В та 3,3В для живлення підсилювачів, мікросхем та мікроконтролера

3.1.2 Модуль керування світлодіодної системи освітлення

Цей модуль використовується для керування п'ятьма драйверами та зв'язку з програмним забезпеченням ПК. Програмована система на кристалі прийнята як основна мікросхема управління. Використовуються такі важливі функції, як повношвидкісний USB, таймери, входи/виходи, контролер переривань, зовнішній генератор, скидання при увімкненні, зв'язок у реальному часі (RTC) тощо. Архітектура мікросхеми підвищує продуктивність завдяки 32-розрядному процесорному ядру ARM, контролеру прямого доступу до пам'яті (DMA) та процесору цифрових фільтрів з наднизьким енергоспоживанням. Спрощена схема показана на рис. 3.7. Модуль живиться від USB. Виводи T1 - T5 призначені для надсилання команд до п'яти драйверів, а R1 - R5 - для отримання сигналів зворотного зв'язку. Перемикачі Vox_1 - Vox_5 забезпечують з'єднання між блоком керування та приводними блоками.

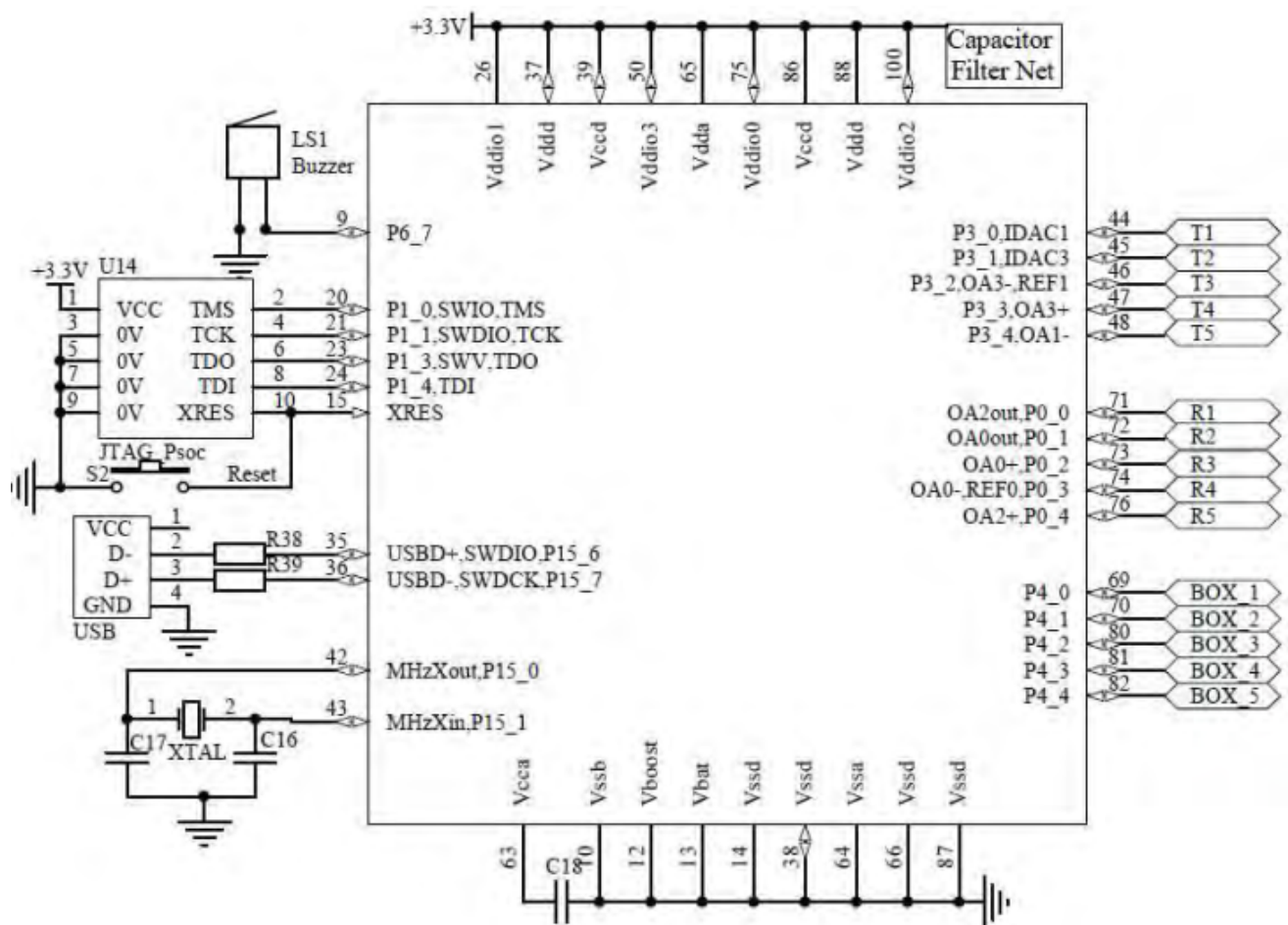


Рисунок 3.7 - Схема модуля керування світлодіодної системи освітлення

3.1.3 Модуль драйвера світлодіодної системи освітлення

Модуль драйвера складається з п'яти блоків керування. Для кожного каналу використовується однакова мікросхема PSoC. Він отримує команди від блоку управління і виконує завдання для кожного каналу, такі як функції регулювання вихідного струму, частоти, робочого циклу, вихідного порогу і періоду, виявлення прямого струму і напруги, надсилання вихідних даних до блоку управління і, нарешті, відображення в програмному забезпеченні ПК. Схема керування драйвером показана на рисунку 3-8.

Існує два режими: автоматичний і ручний. В автоматичному режимі перед приводною коробкою горить зелений індикатор "ON". Струм автоматично слідує за заданим струмом, навіть якщо інші параметри змінюються. У ручному режимі горить синій індикатор, а поріг відкривання можна встановити від 0 до 100%. Червоний індикатор також сигналізує про електричні попередження та неправильні дії.

Для отримання постійного струму використовується операційний підсилювач в режимі джерела струму. Напруга змінюється разом з навантаженням, щоб компенсувати постійний струм. Для отримання точного струму використовуються точні опори. Можна вибрати максимальний струм 2А і 2,5А. Схема постійного струму показана на малюнку 3-9.

Схема детектування призначена для тестування прямого струму і напруги світлодіода, яка показана на рисунку 3-10. Аналогові сигнали напруги і струму збираються і передаються за допомогою стабілізатора напруги і операційних підсилювачів, які перетворюють їх в цифрові сигнали. Потім дані передаються назад до MCU. Опори вибірки збирають сигнали напруги, а MCU перетворює їх на фактичні струми світлодіодів.

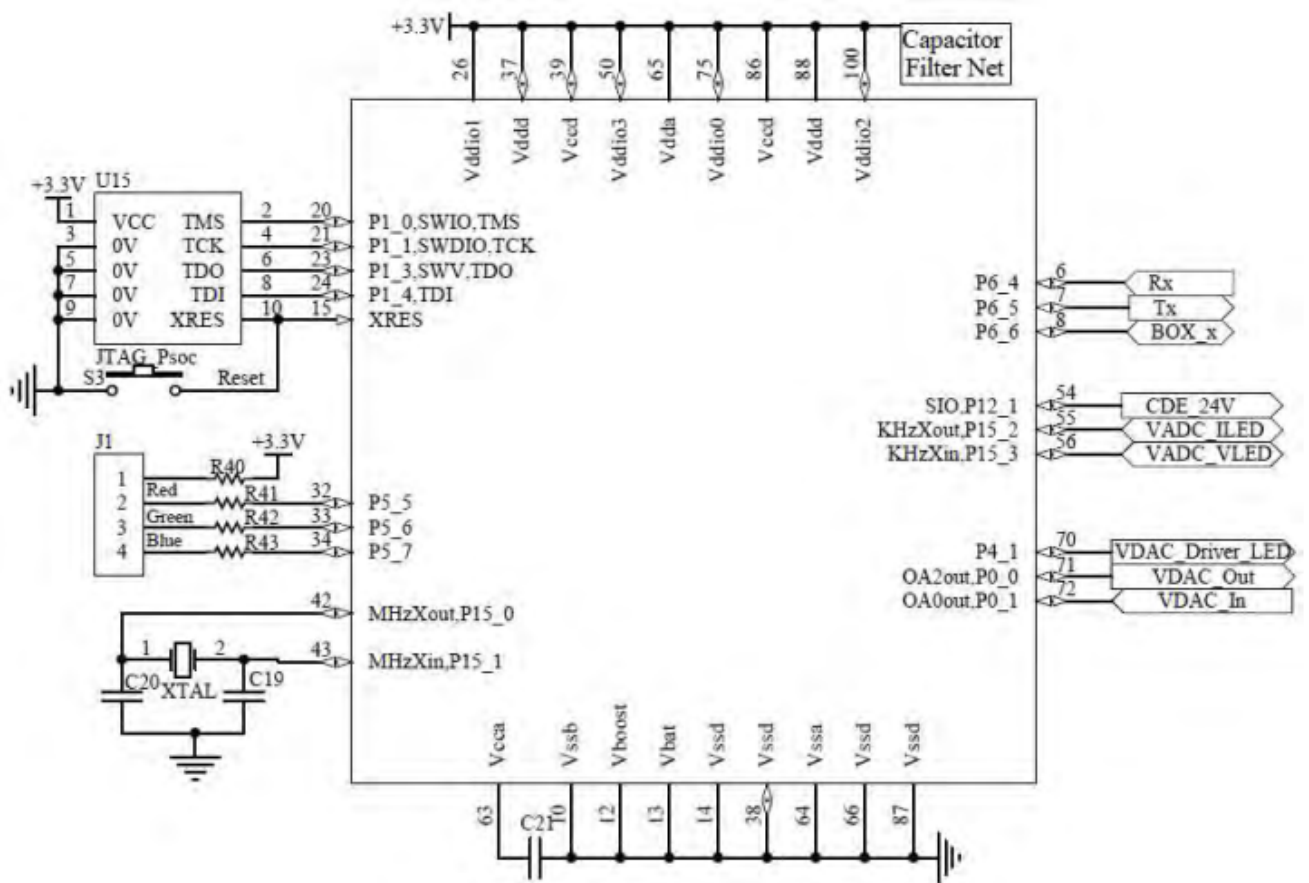


Рисунок 3.8 - Схема керування драйвером світлодіодної системи освітлення

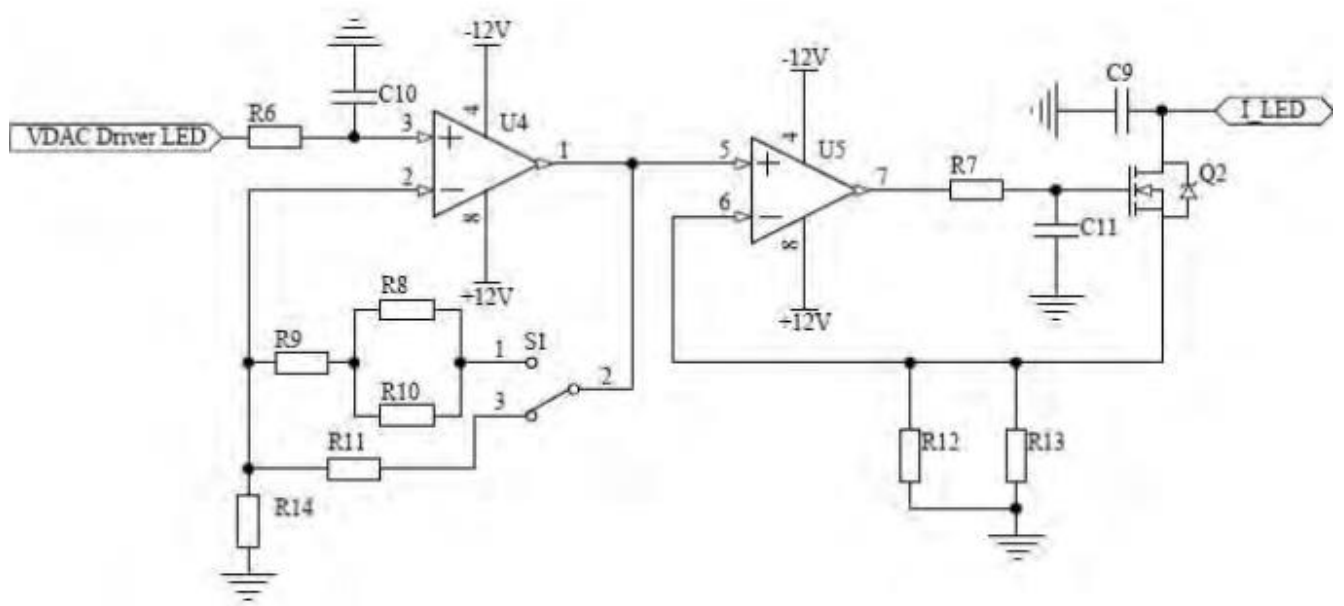


Рисунок 3.9 - Схема постійного струму світлодіодної системи освітлення

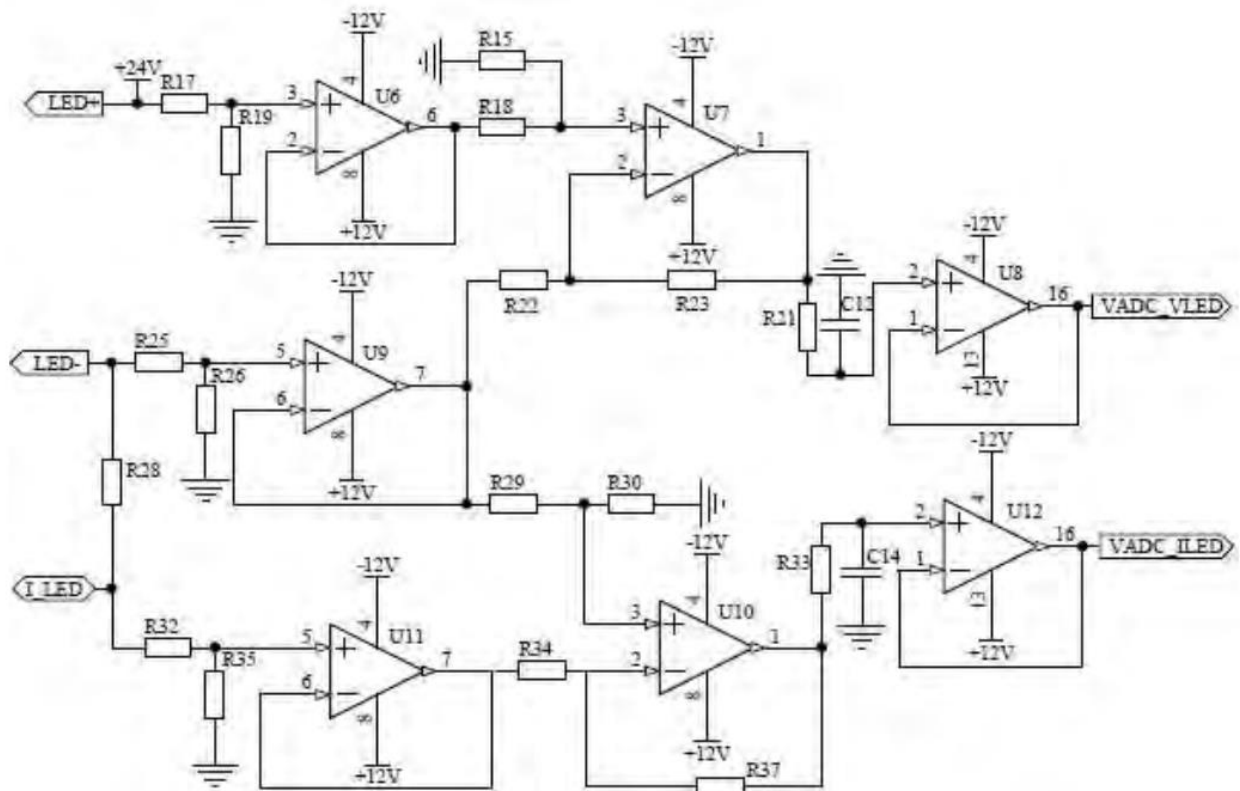


Рисунок 3-10 Схема виявлення прямого струму та напруги світлодіода

Для встановлення та виявлення параметрів світлодіодів у реальному часі використано програмне забезпечення для ПК. Воно доступне у вигляді дружнього операційного інтерфейсу, що зв'язується з блоком керування через USB. Параметри можуть відображатися в програмному інтерфейсі, включаючи поточне значення, частоту, робочий цикл, вихідний поріг і період. Вони можуть бути встановлені як для окремого каналу, так і для певної кількості каналів. Крім того, в програму можна імпортувати та відображати діаграму команд у форматі Excel. Після запуску команд система працює автоматично відповідно до параметрів і часових послідовностей. Крива в реальному часі для кожного параметра відображається в програмному забезпеченні, і дані можна легко зберегти.

3.2 Результати дослідження світлодіодної системи освітлення для вирощування рослин

Існують деякі технічні характеристики: вихідний струм 0-1A (2,5A максимум), вихідна напруга 0-24В, вихідна потужність 0-24Вт, робочий цикл

20-100% в межах 0,5А, частота 0-100кГц, відкриття драйвера 0-100%. Реальне зображення системи світлодіодного освітлення показано на рис. 3.11.



Рисунок 3.11 - Зображення системи світлодіодного освітлення

Ми протестували чотири послідовно з'єднані зелені світлодіоди. Струм встановлювався за допомогою програмного забезпечення від 0 до 0,9 А з інтервалом 0,1 А (вісь абсцис), а реальний струм вимірювався осцилографом (вертикальна вісь) (Рисунок 3.12). Одночасно ми порівняли напругу в програмному забезпеченні (вісь абсцис) і реальну напругу світлодіода (вертикальна вісь) (Рисунок 3.13). Результати показують лінійну залежність ($R^2 > 0,99$) між заданими струмами і реальними струмами, а також між напругами зворотного зв'язку в програмному забезпеченні і реальними напругами. Після калібрування, наприклад, блоку 1 (Рисунок 3.14), задані струми добре відповідають реальним струмам через світлодіоди. Крім того, на рисунку 3.15 показано вихідні співвідношення при струмі 0,1 А за різних коефіцієнтів заповнення і різних частот частот. Результати вказують на залежність вихідного

коефіцієнта від робочого циклу, а також на хорошу узгодженість при різних частотах для вихідного струму 0,1 А.

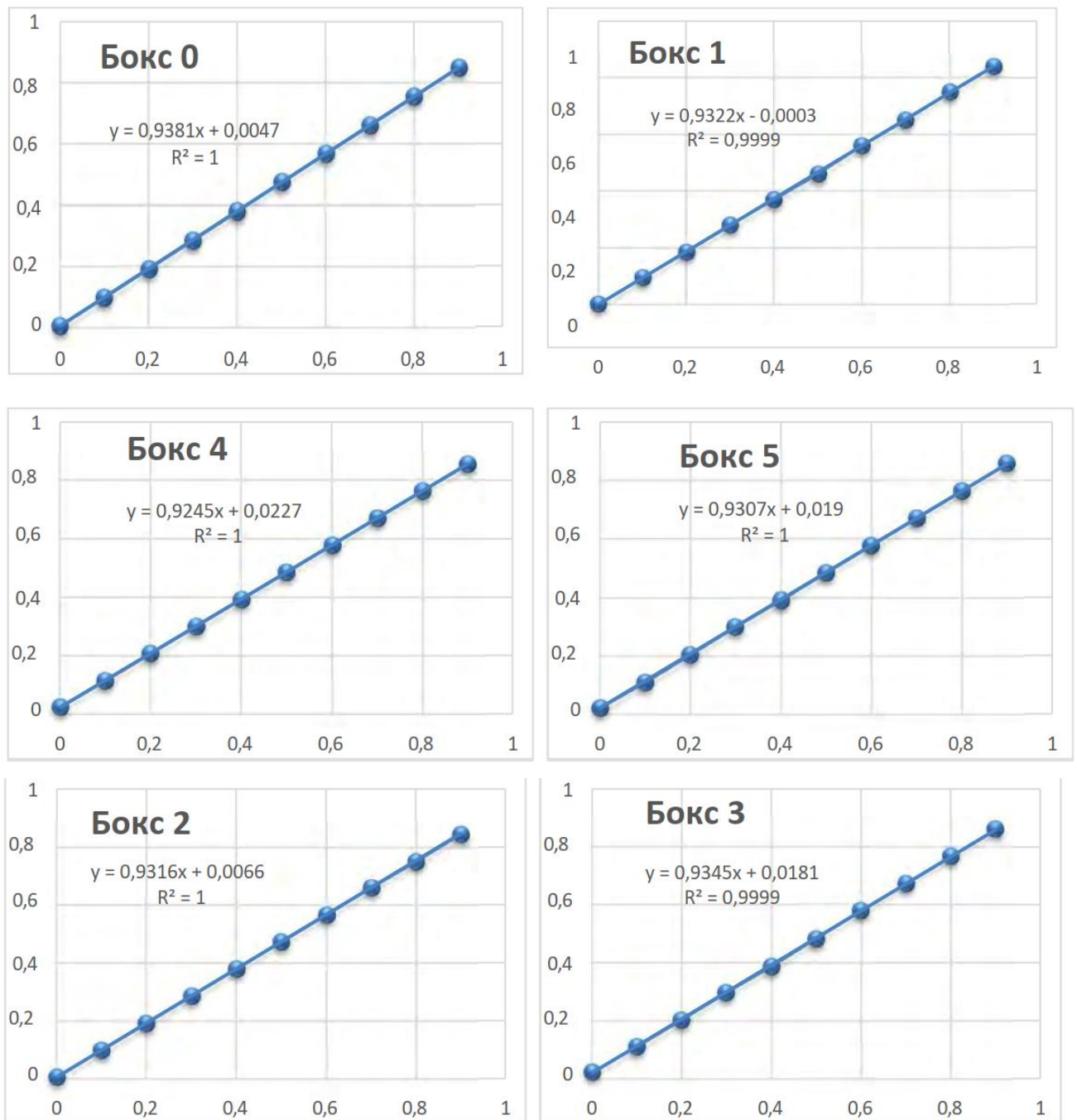


Рисунок 3.12 - Струм встановлений програмно від 0 до 0,9А з інтервалом 0,1А (вісь абсцис) та реальний струм (вертикальна вісь)

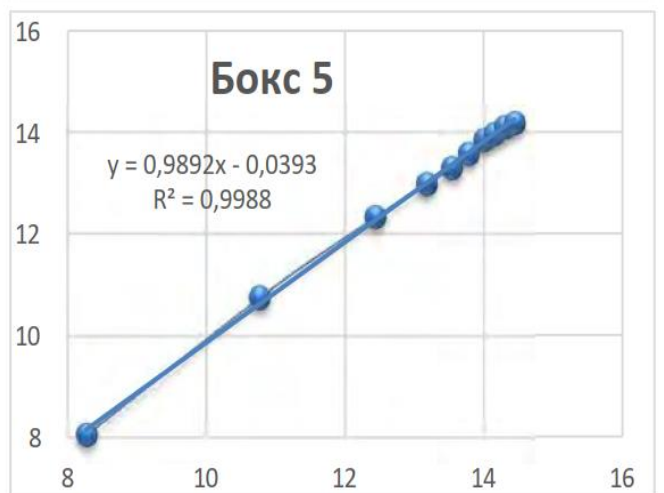
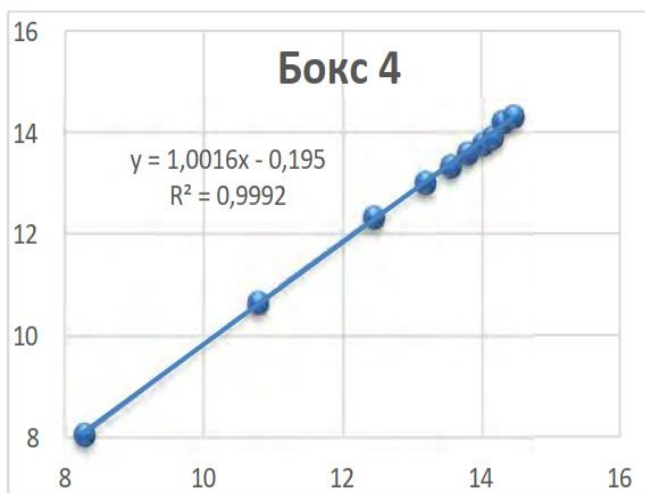
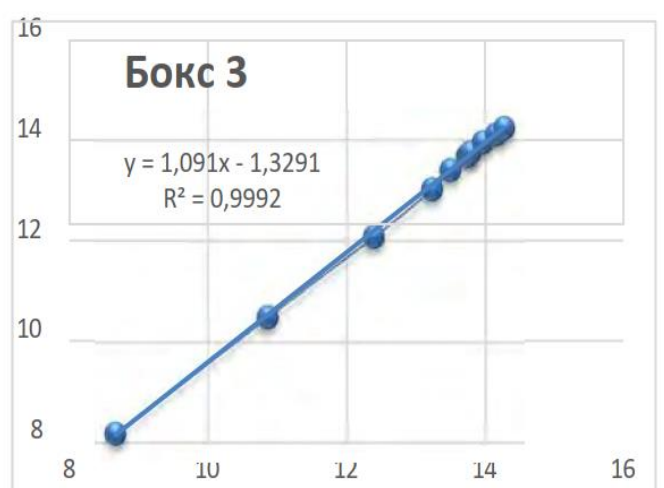
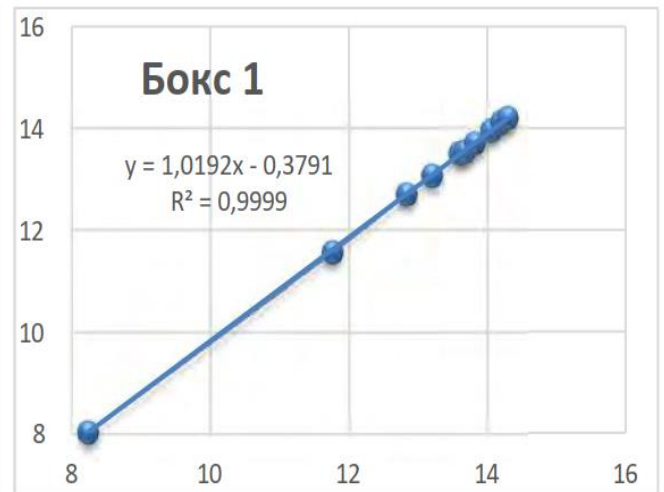
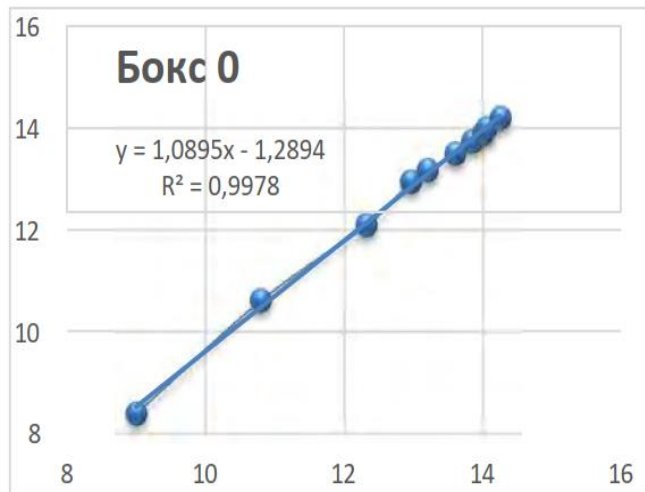


Рисунок 3.13 - Напруга встановлена програмно (вісь абсцис) та реальна напруга світлодіода (вертикальна вісь)



Рисунок 3.14 – Графік калібрування струму для боксу 1

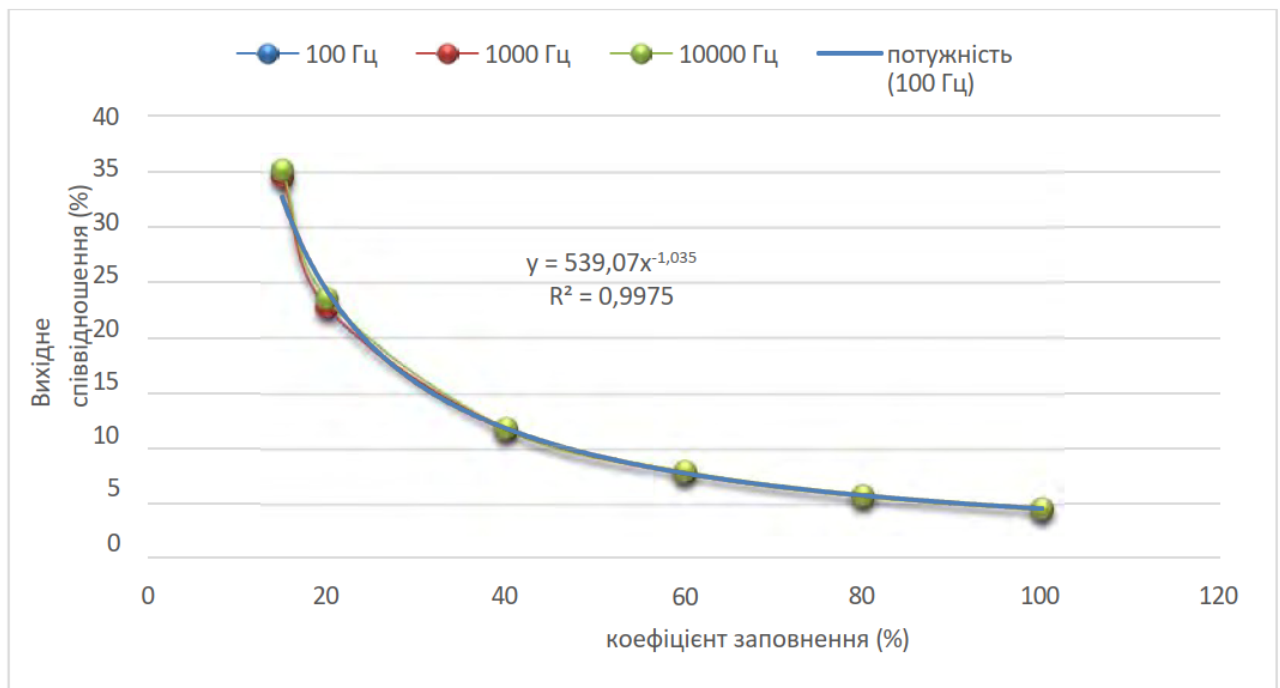


Рисунок 3.15 – Вихідні співвідношення при 0,1 А при різних коефіцієнтах заповнення і при різних частотах

3.3 Висновки до розділу

У цьому розділі була розроблена спеціальна система світлодіодного освітлення для тепличних рослин. Описано та проаналізовано принцип побудови. Детально розглянуто дизайн функцій та методи керування. Було

використано п'ять кольорів світлодіодів: червоний, оранжевий, зелений, синій і білий, щоб відповідати корисному спектру для росту рослин. Результати експериментів показують, що два режими роботи, автоматичний і ручний, дозволяють гнучко змінювати прямий струм, частоту, коефіцієнт заповнення і частоту. Завдяки цим характеристикам система світлодіодного освітлення може бути використана для забезпечення як безперервного, так і імпульсного живлення світлодіодів. Енергоспоживання також знижується завдяки ефективному світловому спектру. Система світлодіодного освітлення може динамічно регулювати якість, кількість і фотоперіод світла в практичному застосуванні. Результат тестування показує продуктивність системи СДО.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

4.1.1 Безпека при виготовленні друкованих плат

При розробці системи автоматичного повороту фотоелектричних модулів першим етапом виготовлення пристрою є витравлювання друкованих плат.

Сучасна технологія виготовлення друкованих плат складається з великої кількості різних механічних, фотохімічних і хімічних операцій.

При виконанні технологічних процесів виготовлення друкованих плат можуть виникнути наступні небезпеки і шкідливості: ураження електричним струмом, вибухо- і пожежонебезпека, термічний опіки, хімічний опік, небезпека травмування механічними пристроями, ураження шкірних покривів і отруєння, шум, вібрація, світловий вплив газорозрядних ламп.

Більшість матеріалів і речовин, що застосовуються при виготовленні друкованих плат, є небезпечними для здоров'я і життя людини. Шкідливі речовини та їх пари можуть проникати в організм людини через органи дихання, шкіру і травний тракт.

Вдихання хімічних речовин у будь-якому агрегатному стані (газ, пари, пил) призводить до ураження верхніх дихальних шляхів і до загальнотоксичного ефекту при всмоктуванні речовин в кров. У травний тракт шкідливі речовини потрапляють при вживанні води, їжі та курінні на ділянках виготовлення друкованих плат.

Нагрівання розчинів веде до інтенсивного паротворення і виділенню газів, що несуть з собою частинки розчину, а це призводить до збільшення забруднення атмосфери виробничих приміщень. Так, хлоровані вуглеводні (трихлоретилен, тетрахлоретан) при дії на них сонячного світла або відкритих джерел полум'я утворюють нову речовину – газ фосген (надзвичайно небезпечний), а при реагентному методі очищення відпрацьованих вод від сполук ціану може утворитися хлорціан. Попадання кислоти в лужний ціаністий електроліт, змішування кислих і ціаністих стоків або вентиляційних викидів може призвести до утворення ціаністого водню. Процеси знежирення,

травлення, електрохімічної обробки і хімічного фрезерування супроводжуються виділенням парів кислот і лугів і надходженням їх в зону дихання.

Багато шкідливих речовини потрапляють в організм через шкіру, особливо небезпечні хромові композиції, концентровані кислоти, луги та розчинники.

У відділеннях приготування електролітів завжди має місце висока концентрація пилу і парів токсичних речовин, особливо під час розтарування матеріалів, дозування, приготування розчинів, змішування сипучих компонентів і транспортних операцій.

При ціаністому мідненні і срібленні утворюється ціанистий водень, який надходить в атмосферу, в цих випадках відчувається запах мигдалю. Поява ціанідів у повітрі над ваннами – результат виносу дрібних крапельок електроліту бульбашками газів (водню і кисню), що виділяються на електродах при електролітичній дисоціації, а також випаровування розчинів. Ціанистий водень утворюється в результаті контакту ціанистого розчину з вуглекислотою. У ванн оксидування виявляються пари лугу, у ванн декапірування – пари соляної кислоти, у ванн освітлення алюмінію азотною кислотою – оксиди азоту, у ванн кадміювання – оксиди кадмію; при нікелювання – ціанистий водень, при хромуванні – хромовий ангідрид, при очищенні свинцевих анодів – пил свинцю.

Однією з умов забезпечення безпеки праці є потоковість виробництва у відповідності з технологічною послідовністю окремих операцій, передбачаючи автоматизацію і механізацію процесів, а також централізація приготування електроліту. Пульти оператора автоматичних ліній з програмним керуванням повинні бути віддалені від ванн на певну відстань, що виключає вплив на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

При неможливості автоматизації процесів повинна бути забезпечена комплексна механізація окремих операцій – підготовчих, транспортних, фінішних, зокрема, завантаження плат у ванни та їх вивантаження.

Особлива увага приділяється заміні токсичних речовин менш токсичними або нетоксичними, заміні шкідливих операцій менш шкідливими. Всі робочі місця обладнуються витяжною вентиляцією, а працюючі застосовувати засоби індивідуального захисту органів дихання, очей і шкірних покривів.

4.1.2. Техніка безпеки при експлуатації електрообладнання та електромереж

До обслуговування електрообладнання допускаються особи не молодше 18 років, які не мають медичних протипоказань, що заважають виконанню робіт, що отримали вступний і первинний інструктажі на робочому місці, виробниче навчання, перевірку знань.

Електромонтер повинен знати схему електропостачання об'єктів виробництва, повинен мати навички прийомів технічних методів обслуговування електроустановок. Він забезпечується усіма засобами індивідуального захисту та спецодягом. Інструменти і засоби захисту повинні бути випробувані, справні та використовуються за призначенням.

При експлуатації діючих електроустановок застосовують електрозахисті засоби та запобіжні пристосування. Ручне включення і відключення устаткування напругою понад 1000 В необхідно виконувати в діелектричних рукавичках, колошах або на килимку. Відключення виконують таким чином: відключають роз'єднувачі, знімають плавкі вставки запобіжників, від'єднують привод мережі. Після вивішування плаката перевіряють відсутність напруги на відключеній ділянці мережі. В оперативному журналі роблять запис про відключення. Включення проводять тільки після відмітки в журналі про закінчення робіт із зазначенням відповідальної особи.

Безпека виконання забезпечується також організаційними заходами. До них відноситься оформлення роботи нарядів, оформлення допуску до роботи, нагляд під час виконання роботи.

Наряд є письмовим дозволом на роботу в електроустановках, що визначає місце, час, початок і закінчення робіт; умови безпечного його проведення, склад бригади та осіб, відповідальних за безпеку. Без наряду по усному чи письмовому розпорядженню, але з обов'язковим записом в журналі можуть виконуватися такі роботи, як прибирання приміщень до огороження електрообладнання, чистка кожухів, доливка масла в підшипники, догляд за колекторами, контактними кільцями, щітками, заміна запобіжників. При роботі з електроустановками напругою до 1000 В без зняття напруги необхідно:

захистити розташовані поблизу робочого місця інші струмовідні частини, що знаходяться під напругою, до яких можливий випадковий дотик; працювати в діелектричних калошах або стоячи на ізолюючій підставці, або на діелектричному килимі; застосовувати інструмент з ізолюючими рукоятками (у викруток, крім того, повинен бути ізольований стрижень), за відсутності такого інструменту користуватися діелектричними рукавичками.

При виконанні робіт без зняття напруги на струмовідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно: тримати ізолювальні частини засобів захисту за рукоятки до обмежувального кільця; розташовувати ізолюючі частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмоведучими частинами двох фаз чи замикання на землю; користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям.

При виявленні порушення лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту користування ними має бути негайно припинене.

Щозмінні огляди електрообладнання та мереж повинен проводити черговий електрик. При огляді слід звертати увагу на наступне: відсутність змін стану електрообладнання при його функціонуванні; ступінь корозії, фарбування труб, кріпильних елементів; справність введів проводів та кабелів в електроустановку; справність заземлюючих пристроїв; наявність попереджувальних плакатів та знаків маркування на вибухонебезпечному електрообладнанні; наявність всіх передбачених конструкцією болтів, що кріплять елементи оболонки (вони повинні бути добре затягнуті); потрапляння на електрообладнання бризок, крапель і пилу.

При виявленні ненормальної роботи силового трансформатора черговий електрик повинен вивести його з роботи з обов'язковим дотриманням усіх заходів особистої безпеки, використовуючи необхідні засоби індивідуального захисту. Таке відключення проводиться при: сильному нерівномірному шумі і потріскуванні всередині трансформатора; ненормальному і постійно зростаючому нагріванні трансформатора при

номінальному навантаженні і роботі пристроїв охолодження; викид масла з розширювача або розриві діафрагми вихлопної труби; течі масла з пониженням його рівня нижче мінімально допустимого.

При цьому робиться запис в оперативному журналі і повідомляється відповідальному за електрогосподарство.

Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів і правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів вимагають проводити регулярні огляди та ремонт електромереж, а також вимірювання опору та ізоляції.

4.2. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.2.1. Проведення планування заходів цивільного захисту на підприємстві у випадку надзвичайних ситуацій

Екологічна обстановка у світі останніми роками погіршилась і вважається несприятливою. Засоби масової інформації майже щодня повідомляють про надзвичайні ситуації, що відбуваються у світі: лісові пожежі, повені, цунамі, землетруси, обвали, зсуви, селеві потоки, виверження вулканів, урагани, смерчі, снігові й пилові бурі та інші стихійні лиха, аварії і катастрофи на підприємствах і транспорті, що супроводжуються загибеллю людей, руйнуванням населених пунктів і об'єктів господарювання, у тому числі й у сільському господарстві, а часто забрудненням і зараженням довкілля.

Щорічно в нашій країні виникають надзвичайні ситуації природного та техногенного характеру, що призводить до загибелі багатьох людей і значних матеріальних збитків.

Масштаби, характер руйнувань і кількість постраждалих людей залежать від типу, масштабу і місця аварії, катастрофи або стихійного лиха, від швидкості розвитку надзвичайної ситуації, особливостей регіону, об'єктів господарювання і населених пунктів, що опинилися в районі надзвичайної ситуації. Таку ситуацію можна порівнювати з воєнними діями. Для проведення рятувальних робіт потрібне залучення великої кількості людей і матеріальних

ресурсів, а несподіваний розвиток подій скорочує час на підготовку і проведення таких заходів.

Зниження масштабів людських втрат та матеріальних збитків, запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного і природного характеру, ліквідація їх наслідків є важливою загальнодержавною проблемою і одним з найважливіших завдань органів виконавчої влади, всіх органів керування цивільної оборони, керування всіх рівнів, спеціалістів і населення. Кардинальне вирішення проблем захисту населення і територій України від НС, зменшення їх соціально-економічних і екологічних наслідків можливе лише шляхом проведення цілого комплексу заходів.

У значній мірі досягнення цієї мети залежить від уміння керівників усіх рівнів (від об'єктового до урядового), спрогнозувати усі можливі наслідки НС, чітко спланувати заходи щодо їх запобігання та ліквідації, організувати керування під час їх виконання, високого стану готовності до дій у НС органів керування, сил і населення [Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 №5403-VI, ст. 130]. Виконання всіх умінь, завдань, перш за все, буде залежати від якості планування та повноти виконання запланованих заходів на об'єктовому рівні.

Суть планування заходів ЦЗ, на випадок НС полягає в аналізі стану ЦЗ;

- оцінка обстановки, яка може скластися при виникненні аварій, катастроф і стихійних лих та застосування противником сучасних засобів ураження;
- розробка заходів, спрямованих на захист населення та підвищення стійкості функціонування в мирний час та в особливий період;
- установлення послідовності, строків, способів здійснення намічених заходів і виконавців та визначенні необхідних ресурсів для їх проведення.

Головною метою планування заходів ЦЗ є створення умов для:

- організованого і своєчасного проведення заходів захисту робітників, службовців, їх сімей і населення, яке мешкає в зоні можливого ураження;
- забезпечення успішного проведення рятувальних і невідкладних робіт (РіНР) при ліквідації наслідків НС техногенного та природного характеру;
- участі в територіальній обороні та антитерористичній діяльності в особливий період.

Планування має бути також спрямоване на те, щоб запобігти або максимально знизити людські та матеріальні втрати, а також забезпечити життєдіяльність галузі, регіону підпорядкованих їм об'єктів і населення у разі виникнення вищезазначених ситуацій.

При плануванні заходів ЦЗ на особливий період повинно забезпечуватися взаємне узгодження і ув'язка їх із заходами мобілізаційного розгортання народного господарства та заходами, які проводять військове командування та органи керування ЦЗ.

Планування повинно бути реальним, цілеспрямованим, конкретним, точним, гнучким, перспективним, базуватися на глибоко продуманих рішеннях, обґрунтованих розрахунках та враховувати специфіку і особливості діяльності. Воно повинно здійснюватися завчасно та забезпечувати своєчасний ввід планів ЦЗ в дію, особливо під час раптового виникнення НС техногенного та природного характеру і в особливий період.

Документами для планування є укази Президента України, законодавчі акти ВРУ, постанови та розпорядження КМУ, «План реагування на НС державного рівня», витяги з рішення начальника ЦЗ області, району по організації та веденню ЦЗ на території області або району, витяг з «Плану організації евакозаходів та визначення місць розміщення евакуйованого населення».

На об'єктах господарювання повинні бути розроблені два плани, а саме:

- дій з попередження та ліквідування НС (на мирний час);
- цивільного захисту (на воєнний час).

Головна мета цих планів – максимальне зниження людських та матеріальних втрат у будь-яких умовах обстановки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

З проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

Для того, щоб подолати недоліки систем штучного освітлення, в першому розділі було проаналізовано та узагальнено характеристики та механізми електролюмінесценції застарілих та сучасних джерел штучного світла. В результаті порівняння ми виявили, що світлодіод є ідеальним джерелом світла для проектування системи освітлення для росту рослин.

У розділі 2 ми побудували термостат і систему вимірювання освітленості. Було виміряно електричні, теплові, спектральні та колориметричні характеристики декількох світлодіодів. Також було проаналізовано електричні, ФАР і спектральні моделі, з яких ми виявили, що температура переходу і прямий струм є двома ключовими параметрами для продуктивності світлодіода. Результати випробувань у фотометричній кулі показують, що червоний і синій спектри мають максимальні фотосинтетичний потік фотонів, які відповідають основній області поглинання хлорофілу.

Відповідно до параметрів, які ми протестували в розділі 2, в розділі 3 була розроблена спеціальна система світлодіодного освітлення для тепличних рослин. Описано та проаналізовано принцип побудови. Детально розглянуто дизайн функцій та методи керування. Було використано п'ять кольорів світлодіодів: червоний, оранжевий, зелений, синій і білий, щоб відповідати корисному спектру для росту рослин. Результати експериментів показують, що два режими роботи, автоматичний і ручний, дозволяють гнучко змінювати прямий струм, частоту, коефіцієнт заповнення і частоту. Завдяки цим характеристикам система світлодіодного освітлення може бути використана для забезпечення як безперервного, так і імпульсного живлення світлодіодів. Енергоспоживання також знижується завдяки ефективному світловому спектру. Система світлодіодного освітлення може динамічно регулювати якість, кількість і фотоперіод світла в практичному застосуванні. Результат тестування показує продуктивність системи СДО.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. T. Kozai, "Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory," *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, vol. 89, pp. 447-461, 2013.
2. W. K. Liu and Q. C. Yang, "Intelligent Control Strategy of LED lighting in Plant Factory," *China Illuminating Engineering Journal*, vol. 25, pp. 6-8, 2014.
3. W. K. Liu and Q. C. Yang, "Development Status of Plant Photobiology with LED Monochromatic Light and Plant Factory," *Science & Technology Review*, vol. 32, pp. 25-28, 2014.
4. M.-H. Chang, D. Das, P. V. Varde, and M. Pecht, "Light emitting diodes reliability review," *Microelectronics Reliability*, vol. 52, pp. 762-782, 2012.
5. S. Chang, "LED lighting: high efficiency and environmental benefit," *Samsung Economic Research Institute Economic Focus*, Seoul, South Korea, pp. 1-10, 2008.
6. J. Chonko, "Using forward voltage to measure semiconductor junction temperature," *Keithley Instruments, Inc*, pp. 1-3, 2006.
7. B. Siegal, "Practical considerations in high power LED junction temperature measurements," in *Electronics Manufacturing and Technology*, 31st International Conference on, 2007, pp. 62-66.
8. Hui S.Y.R et al, "A novel passive offline CD driver with long lifetime", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 25, no. 10, pp. 2665-2672, 2010 Cornell Dubilier. Aluminum electrolytic capacitor application guide. Accessed 6th Sept, 2011..
9. Електропривід рухомої опромінювальної установки / Андрійчук, В. А., Наконечний, М. С., Філюк, Я. О, Костик Л. М., Козак І.Р. // Вісник Хмельницького національного університету: 2023. — №6. — С. 44-48.
10. Андрійчук В.А. Дослідження світлодіодних джерел світла у випадку імпульсного живлення / Андрійчук В.А., Наконечний М.С., Осадца Я.М., Філюк Я.О. // Технічна електродинаміка, 2021. – №1. – Стор. 68-72. <https://doi.org/10.15407/techned2021.01.068>.
11. 4. Kinetics of narrow-spectrum LED glow under pulsed power / Volodymyr Andriichuk, Myroslav Nakonechnyi, Yaroslav Filiuk // *Semiconductor*

physics, quantum electronics and optoelectronics, 2023. — Vol 26, P. 230-235. DOI: <https://doi.org/10.15407/spqeo26.02.230>

12. Дослідження кінетики свічення світлодіодних джерел світла / Андрійчук, В. А., Наконечний, М. С., і Філюк, Я. О, Костик Л. М., Осадца, Я. М. // Вісник Хмельницького національного університету: 2023. — Том 1. — №5. —С.

13. Андрійчук, В. А., Костик, Л. М., Філюк, Я. О., & Наконечний, М. С. (2024). Дослідження перехідних процесів в електричному колі з світлодіодами. Technical Electrodynamics/Tekhnichna Elektrodynamika, (2). <https://doi.org/10.15407/techned2024.02.087>

14. Microprocessor Control of the Electric Drive of Variable Radiation Installation and Ensuring of Operation Reliability // Andriychuk V., Kostyk, L., Filiuk Ya., Nakonechnyi M., Babiuk S. (2024). Science and Innovation, 2024. 20(5). Pp.62–70. ISSN 2409-9066

15. Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 51 с.

16. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.