

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри електронної техніки

_____ Олександр ВОВНА
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2021 р.

Випускна кваліфікаційна робота

_____ магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка та дослідження електронної системи контролю параметрів
штучного доосвітлення теплиць на базі нечіткої логіки»

Виконав (ла) студент (ка) 2 курсу, групи ЕЛТм-20
(шифр групи)

(шифр і назва напрямку підготовки)

спеціальності 171 Електроніка
(шифр і назва спеціальності)

_____ Боричевський Владислав Валерійович

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник проф. каф. ЕТ, д.т.н., професор _____ Анатолій ЗОПІ
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

*Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.*

Студент _____
(підпис)

Покровськ – 2021 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____

Секретар ДЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота
_____магістра_____

Тема: «Розробка та дослідження електронної системи контролю параметрів штучного доосвітлення теплиць на базі нечіткої логіки»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент (ка)

гр. ЕЛТм – 20

_____Владислав БОРИЧЕВСЬКИЙ
(підпис, дата, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

_____Анатолій ЗОРІ
(підпис, дата, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

_____Олександр ВОВНА
(підпис, дата, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____Олександр ШТЕПА
(підпис, дата, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____Іван ЛАКТИОНОВ
(підпис, дата, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтроль

_____Олександр ВОВНА
(підпис, дата, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Покровськ – 2021

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації

Кафедра Електронна техніка

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ магістр

Галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації

(шифр і назва)

Спеціальність 171 Електроніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електронної техніки

Олександр БОВНА

« 2021 року

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Боричевський Владислав Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка та дослідження електронної системи контролю параметрів штучного доосвітлення теплиць на базі нечіткої логіки

керівник проекту (роботи) Зорі Анатолій Анатолійович, д.т.н., проф

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 22.09.2021 року № 570

2. Строк подання студентом проекту (роботи)

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

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

аналіз та узагальнення відомих результаті у предметній області досліджень; розробка структурної схеми електронного пристрою; математичний розрахунок електронної системи вимірювання рівня освітленості в приміщеннях закритого ґрунту; керування мікропроцесорною частиною електронного пристрою.

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 4	проф. каф. ЕТ., д.т.н., проф. Зорі А.А.		
2	зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф., Вовна О.В.		
3	проф. каф. ЕТ, доц., д.т.н., Лактіонов І.С.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз технологічних процесів контролю та управління режимами штучного доосвітлення теплиць	25.09.2021	
2	Обґрунтування компонентної бази, структури та математичної моделі досліджуваної електронної системи	21.10.2021	
3	Розробка та тестування імітаційної моделі досліджуваної електронної системи	14.11.2021	
4	Реалізація та експериментальні випробування макетного зразка досліджуваної електронної системи	01.12.2021	

Студент _____
(підпис)

Владислав БОРИЧЕВСЬКИЙ
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи _____
(підпис)

Анатолій ЗОРІ
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Боричевський, В.В. Розробка та дослідження електронної системи контролю параметрів штучного доосвітлення теплиць на базі нечіткої логіки / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» зі спеціальності 171 Електроніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2021.

Пояснювальна записка: 106-- стор., 50 рис., 6 табл., 12 посилання.

В результаті розробки створено модель, яка реалізується на базі нечіткої логіки для керуванням спектральним складом світлодіодного освітлення в теплицях.

Проведено моделювання системи з використанням записаної бази правил. Проведено практичне дослідження. Представлено макет системи штучного освітлення тепличних культур. Одна з найважливіших переваг, які може надати ця система, є можливість зменшення виробничих витрат. Використання автоматизованої системи надає велику перевагу для агропромислового комплексу.

Автоматичне управління освітленням, допомагає підтримувати штучне освітлення, відповідно до потреб різних культур без необхідності постійного моніторингу та регулювання.

Основна мета магістерської роботи полягає в розробці наукових підходів до створення системи штучної досвітки рослин в умов закритого ґрунту.

Об'єкт дослідження - Автоматизоване керування штучним освітленням на базі Matlab & Simulink for fuzzy logic Toolbox з використанням цифрового потенціометру.

Предмет дослідження – способи, апаратно-програмні компоненти та методи їх вдосконалення, контроль мікроклімату приміщення закритого ґрунту.

Методи дослідження - аналіз існуючих методів розробок, математичне моделювання, апаратно-програмне моделювання системи за допомогою програмного забезпечення Proteus.

В представленій роботі на здобуття освітнього ступеня «Магістр», вирішено актуальну проблему агропромислового комплексу системи штучної досвітки тепличних культур для підвищення врожайності.

Ключові слова: досвічування, нечітка логіка, математична модель, спектральний склад, інтенсивність освітлення, моделювання, макет, програмне забезпечення, споруда, модель, закритий ґрунт, електрона система.

Список публікацій:

1. Лактіонов І., Вовна О., Боричевський В., Лактіонова Г. Комп'ютеризована система моніторингу та керування штучним досвічуванням рослин у теплицях на базі нечіткої логіки. Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних та комп'ютерних систем: тези доп. IV; всеукр. наук. - практ. конф.(м. Дніпро 27-29 листопада 2019 р.). Дніпро, 2019. – С. 69 – 70.

2. Боричевський В, Лактіонов І.. Мікропроцесорна система моніторингу й керування штучним досвічуванням тепличних культур на базі Matlab & Simulink for Fuzzy Logic Toolbox, VI Всеукраїнська науково – технічна конференція молодих учених, аспірантів та студентів «Автоматизація, контроль та управління: пошук ідей та рішень» (АКУ – 2020). (м. Покровськ 21 травня 2020 р.). Покровськ, 2020. – С. 29 - 32

ABSTRACT

Borichevskiy, V. Development and research of electronic system of control of parameters of artificial additional lighting of greenhouses on the basis of fuzzy logic / Final qualification work for obtaining the educational degree "master" in the specialty 171 Electronics. - SHEI "DonNTU", Pokrovsk, 2021.

Explanatory note: 100 pages, 50 figures, 6 tables, 12 references.

As a result of the development, a model was created, which is implemented on the basis of fuzzy logic for controlling the spectral composition of LED lighting in greenhouses.

The system was modeled using the recorded rule base. A practical study was conducted. The model of the system of artificial lighting of greenhouse crops is presented. One of the most important benefits that this system can provide is the ability to reduce production costs. The use of an automated system provides a great advantage for the agro-industrial complex.

Automatic lighting control, helps to maintain artificial lighting, according to the needs of different cultures without the need for constant monitoring and regulation.

The main purpose of the master's work is to develop scientific approaches to creating a system of artificial lighting of plants in closed soil.

Object of research - Automated control of artificial lighting based on Matlab & Simulink for fuzzy logic Toolbox using a digital potentiometer.

Subject of research - Methods, hardware and software components and methods of their improvement, control of the microclimate of the closed ground.

Research methods: analysis of existing development methods, mathematical modeling, hardware and software modeling of the system using Proteus software.

In the presented work for the degree of "Master", the topical problem of the agro-industrial complex of the system of artificial lighting of greenhouse crops to increase yields is solved.

Key words: illumination, fuzzy logic, mathematical model, spectral composition, light intensity, modeling, layout, software, structure, model, closed ground, electronic system..

List of publications:

1. Laktionov I., Vovna O., Borichevskiy V., Laktionova G.. Computerized system for monitoring and control of artificial lighting of plants in greenhouses based on fuzzy logic. Perspektivni napryamki suchasnoyi elektroniki, informatsiynih ta komp'yuternih sistem: tezi dop. IV; vseukr. nauk. - prakt. konf.(m. Dnipro 27-29 listopada 2019 r.). Dnipro, 2019. – S. 69 – 70.

2. Borichevskiy V, Laktionov I.. Microprocessor system for monitoring and control of artificial lighting of greenhouse crops based on Matlab & Simulink for Fuzzy Logic Toolbox, VI Vseukrayinska naukovo – tehnicna konferentsiya molodih uchenih, aspirantiv ta studentiv «Avtomatizatsiya, kontrol ta upravlinnya: poshuk idey ta rishen» (AKU – 2020). (m. Pokrovsk 21 travnya 2020 r.). Pokrovsk, 2020. – S. 29 -

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДЛЯ ДОСВІЧУВАННЯ ТЕПЛИЧНИХ КУЛЬТУР.....	10
1.1 Параметри рівня освітленості приміщення.....	11
1.2 Аналіз існуючих методів вимірювання рівня освітленості.....	11
1.3 Аналіз спектрального поглинання рослинами.....	20
1.4 Аналіз існуючих розробок на базі Matlab & Simulink for Fuzzy Logic Toolbox та використання цифрового потенціометру	22
1.5 Розробка електронного пристрою моніторингу електричної освітленості споруд захищеного ґрунту.....	30
1.6 Аналіз існуючих розробок з використанням цифрового потенціометра.....	34
1.7 Висновки	41
2 ОБҐРУНТУВАННЯ КОМПОНЕНТНОЇ БАЗИ, СТРУКТУРИ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ.....	42
2.1 Підбір компонентної бази для відтворення проекту	42
2.2 Розробка структурної схеми.....	46
2.3 Математична модель інтенсивності випромінювання.....	48
2.4 Висновки.....	54
3 РОЗРОБКА ТА ТЕСТУВАННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ.....	55
3.1 Моделювання Fuzzy Logic на базі програмного забезпечення Proteus.....	55
3.2 Побудова бази правил в Matlab & Simulink.....	56
3.3 Результати отриманих випробувань з моделювання системи.....	58

3.4 Висновки.....	63
4 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ МАКЕТНОГО ЗРАЗКА ДОСЛІДЖУВАНОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ.....	64
4.1 Проектування макетного корпусу системи штучної досвітки.....	64
4.2 Результати розробки та реалізації фізичної моделі спектральної досвітки тепличних культур.....	65
4.3 Аналіз розробленої системи.....	68
4.4 Висновок проведеної роботи.....	69
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	72
ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на підприємстві.....	74
ДОДАТОК Б – Лістинг розрахунку математичної моделі в програмному забезпеченні MATHCAD.....	81
ДОДАТОК В – Лістинг програми системи штучної досвітки тепличних культур.....	88

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. для підвищення врожайності культур стоїть гостре запитання у введенні автоматизованої системи управління параметрами мікроклімату. Автоматичне управління допомагає підтримувати штучне керування параметрами мікроклімату без втручання людини. Це надає змогу моніторингу параметрів у реальному часі для більш чіткого розрахунку отримання сприятливого врожаю. На теперішній час в агропромислову комплексі стоїть проблема з автоматизованим досвічуванням тепличних культур. Кожного року якість врожаю не є стабільною, через недостачу природного освітлення та добової норми поглинання світла в приміщеннях закритого ґрунту. Для підвищення врожайності потрібно підвищити умови мікроклімату для вирощування різних видів культур. Автоматизоване керування штучним освітленням в приміщеннях закритого ґрунту надає перевагу у моніторингу системи, встановленні певного спектрального складу для кожної культури, що впливає на стрімкий ріст рослин.

Мета і завдання досліджень. Основна мета магістерської роботи полягає в розробці наукових підходів до створення електронної системи штучної досвітки рослин в умов закритого ґрунту.

Об'єкт дослідження – процес автоматичного контролю штучного доосвітлення на базі Matlab & Simulink for fuzzy logic Toolbox з використанням цифрового потенціометру.

Предмет дослідження - способи, апаратно-програмні компоненти та методи їх вдосконалення, контроль мікроклімату приміщення закритого ґрунту.

Методи дослідження - аналіз існуючих методів розробок, математичне моделювання, апаратно-програмне моделювання системи за допомогою програмного забезпечення Proteus.

Для досягнені поставленої мети поставлено та виконані наступні задачі:

1. Проведено аналіз існуючих методів і засобів для досвітки тепличних культур.
2. Проведено обґрунтування компонентної бази, структури та математичної моделі досліджуваної електронної системи.
3. Розроблено та протестована імітаційна модель досліджуваної електронної системи.
4. Реалізація та експериментальні випробування макетного зразка досліджуваної електронної системи.

Наукова новизна одержаних результатів магістерської роботи:

Розроблено математичну модель досліджуваної електронної системи. Представлено функціональне моделювання в програмному забезпеченні Proteus. Розроблена нечітка база правил за допомогою Matlab & Simulink for fuzzy logic Toolbox.

Практична значущість представленої роботи на здобуття освітнього ступеня «Магістр»:

Розроблено макетно-апаратну частину роботи. Представлено її функціонування в різних світлових та температурних режимах. Представлено, що система справна та надає заданий результат.

Розроблено нечітку базу правил в програмному забезпеченні Matlab & Simulink for fuzzy logic Toolbox, проведено модулювання блокового програмування. Обрано бюджетну компонентну базу, для мінімальних витрат на розробці проекту.

Особистий внесок здобувача.

Автором кваліфікаційної роботи самостійно було вирішено мету й дослідження поставленої задачі. Проведено експериментальні дослідження розробленої мікропроцесорної системи керування освітленням зони вирощування тепличних культур у видимому діапазоні, що було отримано на підставі методів та розрахунків структурних блоків електронних систем; методики математичного планування; методів імітаційного моделювання

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДЛЯ ДОСВІЧУВАННЯ ТЕПЛИЧНИХ КУЛЬТУР

Попит на використання тепличних культур з кожним роком збільшується, у зв'язку з погіршенням екології, природних умов, це призводить до необхідності впровадження технологічного розвитку у сільськогосподарську діяльність.

На теперішній час проводиться безліч розробок з удосконалення тепличного виробництва.

Найгостріше питання стоїть в побудові автоматизованої системи керування штучним освітленням рослин.

Оскільки в зимовий період денна норма світла коротше за літній, культури не отримують добову норму світла.

Будь-яка рослина потребує від 12 до 16 годин норму світлового дня. Система штучного досвічування використовується для продовження світлого дня в незалежності від випромінювання сонячного світла.

Інтенсивність сонячного світла визначає швидкість зростання та розвитку тепличної культури.

На швидкість росту й стрімкого розвитку впливають 2-а основні фактори: сумарна потужність та спектральний склад.

Для добового й нічного освітлення існує 2 типу освітлення теплиць:

1. Освітлювальні прилади, які забезпечують необхідне аналогове природному, кількість світла в теплиці. Щільність енергії світла при цьому може коливатися у діапазоні 400-1000 ммоль/м².

2. Освітлення фотоперіодичне, використовується виключно у нічний час. при виборі такого методу щільність складає 5 – 10 ммоль/м².

Для економії світла й робочого ресурсу встановлюється автоматизована системи включення та виключення штучної досвітки в залежності від сприятливих умов мікроклімату.

1.1 Параметри рівня освітленості приміщення

Вирощування тепличних культур відбувається згідно ДСТУ[1]. Світловий режим в теплицях які займаються розсадженням, мінімальна сумарна(природна та штучна) опромінювання повинно складати не менше ніж 25 Вт/м^2 ФАР. Добова кількість ФАР не менше ніж 250 Вт*г/м^2 ФАР.

У овочевих теплицях опромінювання повинна складати не менше ніж 70.0 Вт/м^2 ФАР, добова кількість ФАР для овочевих культур в період плодоношення складає не менше ніж 900 Вт*г/м^2 ФАР. При розробці тепличної продукції враховується добова кількість природної ФАР, яке проходить в теплицю. Якщо добова кількість ФАР, складає менше ніж 0.9 мінімального фізіологічного критерію, то теплиця потребує встановлення додаткового штучного освітлення. При розсадженні культур в умовах штучного освітлення рекомендовано приймати випромінювання $80\text{-}160 \text{ Вт/м}^2$ ФАР.

1.2 Аналіз існуючих методів вимірювання рівня освітленості

Фотоелектричний метод

Принцип дії полягає в перетворенні енергії оптичного вимірювання на електричну. Фотодіод – це тип фотодетектора, який здатен перетворювати світла в електричний струм. Напівпровідниковий діод, стан якого під впливом потоку оптичного випромінювання використовується для оцінки цього випромінювання, називається напівпровідниковим фотодіодом. В його основі закладено збільшення електропровідності напівпровідника під дією електромагнітного випромінювання. Фотони світла вибивають електрони з валентних зон та переміщують їх у зону провідності. Внаслідок чого отримано збільшення кількості електронів провідності та дірок. Повний струм через фотодіод дорівнює потоку оптичного випромінювання.

Фотоелектронний помножувач.

Принцип дії полягає в перетворенні енергії оптичного вимірювання в електричну внаслідок зовнішнього фотоефекту. Склад цього методу складається з фотокатода, який має світлочутливу поверхню, серію додаткових електродів (динодів) та анода. Ці електроди, які живляться від великої напруги, розміщені в циліндричній скляній колбі, в якій знаходиться вакуум. Під впливом світла з фотокатода вириваються електрони з поверхні динодів завдяки вторинній емісії.

Фотоелектронні помножувачі характерні високим підсиленням слабких сигналів (до 108%), низьким рівнем шуму, високою чутливістю в ультрафіолетовій зоні, видимій та близький до інфрачервоної області спектру

Фотометр – прилад для вимірювання фотометричних величин, таких як: освітленість, сила світла, світловий потік, яскравість, тощо.

Фотометр – призначення якого є вимірювання рівня освітленості в люксах, називається люксметр (див. рис. 1.1)

У роботі автора [2], описано спосіб вимірювання рівня освітленості. Одним з основних застосувань люксметр є вимірювання рівня освітленості на робочому місці або в житловому приміщенні. Санітарно-гігієнічні норма для рівня освітленості відповідає:

- при люмінісцентному освітлені – 300 лк.
- при освітленні лампами розжарювання – 150 лк.

У люксметра дуже широкий спектр використання на різних підприємствах, наприклад: у школах, бібліотеках, музеях, наукових центрів – скрізь де потрібно правильно розподіляти рівень освітленості й для створення комфортних умов працездатності людини. Крім того, у музеях та бібліотеках, є необхідність підтримання та контролювання освітленості на рівні, де знаходяться старинні речі, для безпечного їх зберігання та не допустити їх вицвітання та руйнування.

Люксметр містить лінзи. Завдяки світлофільтрам спектрально складова фотоелементу максимально наближена до чутливості людського ока.

Для забезпечення допустимого рівня освітлення в теплиці, необхідно постійно вимірювати рівень освітленості, адже недостатній рівень освітленості, впливає на плодоношення культур. Тому, контроль рівня освітлення в теплиці, є

найважливішим параметром під час створення автоматизованого мікроклімату в теплиці.



Рисунок 1.1 – Люксметр ТМ – 208

Піроелектричний метод

В основу цього методу закладено використання залежності поляризації піроактивного кристалу від зміни його температури при опромінюванні.

Піроелектричний матеріал має широке використання в якості сенсорних пристроїв різного призначення, детекторів й приймачів випромінювання. Цей матеріал має особливу властивість – будь-який вид радіації, що потрапляє на піроелектричний зразок, викликає різку зміну температури й відповідну зміну поляризації.

Піроелектричний пристрій характерний своєю швидкодією, високою чутливістю та великим діапазоном енергії, яка вимірюється.

Наприклад – піргеліометр, цей пристрій має металеву циліндричну форму, на дні якого знаходиться детектор, системи діафрагм для потрапляння на детектор лише прямого сонячного випромінювання. Приймач вимірюваної радіації складається з манганінових пластинок. Розміри цих пластинок зазвичай від 19 мм, 2 мм, 0,02 мм. Кріпляться вони на струмовводи в ебонітовій рамі і з боку, зверненого до джерела випромінювання, затемнені поверх платинової

черні сажею товщиною не більше 0,01 мм. З задньої, неосвітленої сторони до кожної пластини на ізоляційному лаку наклеюються спаї диференціальної термопари. У деяких випадках спаї термопари приварюються до мідних смужок, які приклеюються до манганінових пластинок.

Пластинки разом з рамкою кріпляться на ебонітовий корпусі за допомогою струмовводних стрижнів і розташовуються в трубчастому мідному кожусі. З приймальної сторони кожух закритий мідною рамкою з двома щілиноподібними отворами розміром 23 мм, 5 мм.

Відстань між рамкою і прийомними пластинами перевищує 50 мм. Оскільки розміри щілин рамки більше розмірів прийомних пластин, прилад має допуск по куту установки при вимірюванні по вертикалі 13° і по горизонталі 5° .

У деяких випадках рамки робляться з меншими допусками. За рамкою знаходиться затвор, керований гачком. За допомогою затвора можна відкрити доступ вимірювальному потоку одночасно на обидві прийомні пластини або на кожну з них окремо.

Для балансних випробувань необхідно закривати обидві пластини загальною кришкою.

Знаючи кількість тепла й площу приймального отвору, виконується розрахунок інтенсивності сонячної радіації в абсолютну величину.

Зовнішній вигляд піргеліометра наведено на рис. 1.2.

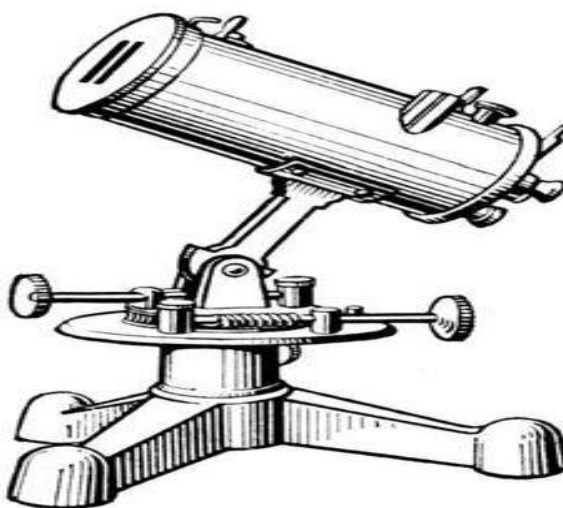


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд піргеліометру

Метод вимірювання сумарного випромінювання.

Для вимірювання сонячного випромінювання, що потрапляє на поверхню з цілої півсфери використовується піранометр (див рис 1.3). Даний пристрій поділяють на два типи:

- з реєстрацією вертикальної теплової різниці між поверхню детектор та його оточенням.
- Горизонтальна тепла різниця між чорною та білою поверхнею елементів детектора, розміщеною в одній площі.

Піранометри поділяють на класи, залежно від їх чутливості:

- перший ($\pm 0,1\%$);
- другий ($\pm 0,5\%$);
- третій ($\pm 1,0\%$).

Даний пристрій характеризують з високою лінійністю й дають відлік в абсолютних одиницях. Недоліком є невисока чутливість й велика інерційність. Пристрій потребує належної чистоти поверхні півсфери та якості осушувальної рідини між ними.

Вимірювання сумарного випромінювання можливо здійснювати піранометрами, які містять квантові детектори. Класичний приклад є кремнієвий фотодіод.

Принцип дії такого детектора полягає в перетворенні енергії оптичного випромінювання в електричну завдяки внутрішньому фотоефекту.

Перевагою фотодіода є невисока вартість, стабільність отриманих результатів та слабка залежність від стрімкого зміння температури.

Точність вимірювання з квантовими детекторами складає $\pm 5\%$.

Даний метод дає можливість визначити сумарний потік сонячного випромінювання.

Піранометри використовують в метеорології, кліматології, а також для визначення кута встановлення сонячних панелей.

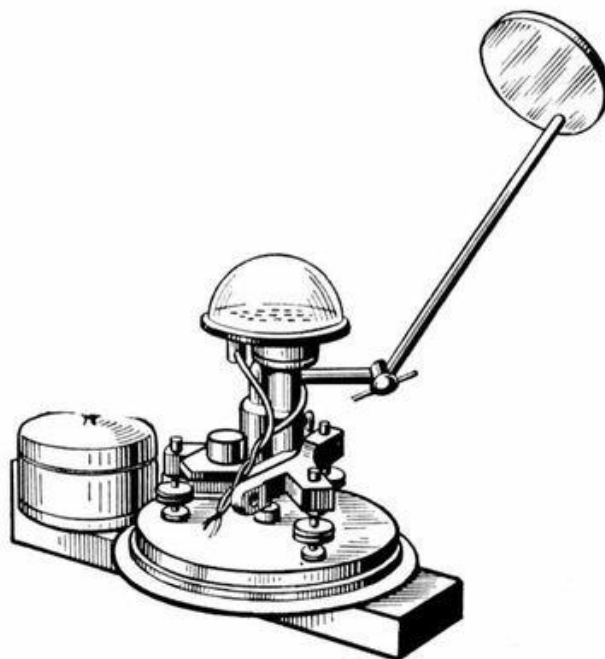


Рисунок 1.3 – Піранометр

Засіб вимірювання альбедо.

Альбедо – частка сумарного випромінювання, що відбивається природною поверхнею.

Для вимірювання альбедо необхідно мати два піранометри(див рис. 1.3) – один спрямований на вимірювання сумарного випромінювання, другий спрямований до земної поверхні для вимірювання відбитого випромінювання.

Обидва піранометри можуть бути об'єднані на одній механічній оправі, така система має назву альбедометр(див рис. 1.4).

Альбедометр призначений для вимірювання актинометричних характеристик. Даний пристрій обчислює альбедо. Вимірювання відбувається кожним датчиком який розміщено в приборі, та обчислює значення відношення цих вимірювань.

Детектор цього пристрою має термобатарю. Щоб уникнути потрапляння води під час ранкової роси або дощу, детектор обдувають повітряним потоком за допомогою вентилятора.

Звичайно альбедометр розміщується на висоті 1-2 м над землею поверхнею.



Рисунок 1.4 – Альбедометр

Вимірювання рівня освітленості за допомогою цифрових датчиків.

У роботі автора [3], описано принцип роботи датчиків.

На даний час в серії є три типи датчиків: HSDL-9000, HSDL-9001, APDS-9002/3 (див рис 1.5).

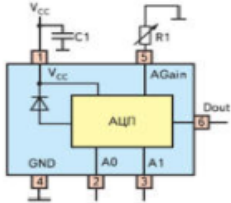
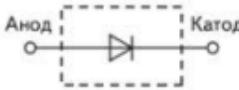
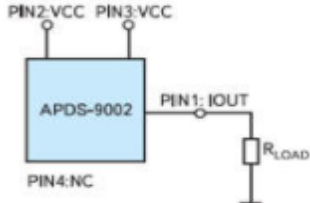
Дані пристрої призначені для визначення рівня освітленості, якщо рівень недостатній до норми, подається сигнал для включення додаткового освітлення, наприклад:

- Підвищити яскравість екрану;
- Індикаторів;
- Клавіатури;
- Підвищення рівня освітленості в приміщенні.

Датчики створенні на основі фотодіоду (фототранзистор) з його максимальною спектральною чутливістю, яка приближена до людського ока, що становить 550 нм.

В таблиці 1.1, представлений загальний вид та характеристика кожного типу датчику.

Таблиця 1.1 - Типи датчиків

Параметр	HSDL-9000	HSDL-9001	APDS-9002/3
Розмір(h*w*d), мм та тип корпусу	1,10*4,00*3,20 PLCC	0,60*2,00*1,50 QFN	APDS-9002:0,8*2,00*1,25 APDS-9003:0,55*1,6*1,5 стандартний chipLed
Вид			
Схема			
Тип вихідного сигналу	Цифровий	Аналоговий	Аналоговий
Напруга живлення, В	2,7-3,6	2,7-3,6	2,4-5,5
Робоча температура	-25...+85	-25...+85	-40...+85
Ток	Режим чергування: <10mk А	Темновой ток: 5нА(макс.)	Темновой ток: 160нА(тип.)
	Режим очікування: 30mkА	Світловий ток: 5нА до 500нА, 125нА(тип.) при 100 Люкс	Світловий ток: 10mkА до 400mkА 250mkА(тип.) при 100 люкс

В планах компанії Avago Technologies, виробництво датчиків рівня освітленості другого та третього покоління – APD8-9005, APD8-9007.

Ці датчики матимуть можливість працювати в індустріальному температурному режим з великим діапазоном рівня освітленості від 3 лк до 50

клк. Основна різниця між конкурентами маленький корпус, низький рівень енергоспоживання, більша чутливість, менша залежність фототока від температури.

ВН1750 – Цифровий датчик рівня освітленості.

Цифровий датчик GY-302 на базі чіпу ВН1750(див. рис 1.5) призначений для вимірювання фонового освітлення. Даний чіп має 16-ти бітний датчик з інтерфейсом I2C. Дана мікросхема добре підходить для отримання даних навколишнього середовища рівня освітлення. Фотодіод на чіпу визначає інтенсивність світла, яка перетворюється в вихідну напругу за допомогою влаштованого операційного підсилювача. Вбудований АЦП видає 16-ти бітові цифрові дані. Даний модуль повністю позбавляє від необхідності будь-яких додаткових складних обчислень, оскільки він виводить значущі цифрові дані в люксах (лк). Згідно його характеристик, ВН1750 чутливий до видимого світла й практичного не схильний до впливу інфрачервоного випромінювання, тобто він має той же спектральний склад, що і людське око.

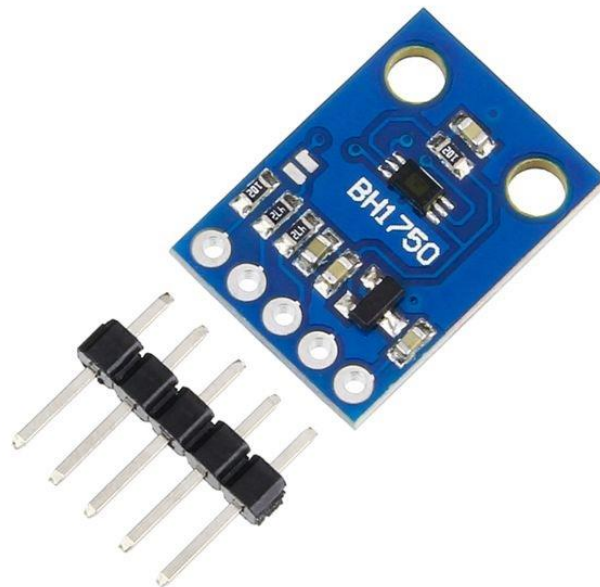


Рисунок 1.5 – Цифровий датчик освітленості ВН1750

Вимірювання рівня освітленості є найважливішим параметром при створенні параметрів регулювання мікрокліматом в тепличній сфері.

Найпоширенішим датчиком вимірювання рівня освітленості у Arduino є фоторезистор, він має аналоговий сигнал, який змінює опір в залежності від інтенсивності світла, проте він має велику похибку вимірювання й значення видає не в люксах. На відміну від нього, модуль GY302 на базі BH1750, являє собою високоточний цифровий датчик інтенсивності світла, завдяки вбудованому АЦП видає результат вимірювання одразу в люксах. Він має не високу вартість та низький рівень енерговитрат.

1.3 Аналіз спектрального поглинання рослинами

В роботі автора [4], автори детально вивчили вплив оптичного випромінювання на розвиток й продуктивність рослин. В роботі доведено, що для стабільного розвитку необхідним є світло в певному спектральному діапазоні впродовж визначеного часу.

Було визначено, що для нормального розвитку є життєвою необхідністю в червоному й помаранчевому діапазоні хвилі. Саме вони є головними джерелами енергії під час процесу фотосинтезу й суттєво впливають на розвиток рослини. Встановлено, що кількість додаткових пігментів у зелених видів рослин не постійні. Пігментна система змінюється від умов освітлення і має адаптацію шляхом зміни співвідношення між пігментами, забезпечуючи рослину оптимальним поглинанням сонячної енергії. Молекули пігменту у кінці цепі реакції переходить в свій початковий стан й може поглинати квант випромінювання.

Крім пігментів у рослин також знайдено фоторецептори, які активізуються при низьких рівнях випромінювання й впливають на розвиток. Кожна рослина представляє складну систему пігментів, реакція котрих визначає усі біологічні процеси, при цьому процеси, найчастіше не взаємозв'язані між собою. На теперішній час існує три класи основних фотосинтетичних пігментів:

- хлорофіл,
- каротиноїди,

- антоціани.

Пігменти – речовини, виключно які поглинають випромінювання у діапазоні ФАР(фотосинтетична активна радіація). Фотосинтетичні пігменти представлені як молекули, здатні поглинати кванти світла. Оскільки при цьому поглинається випромінювання лише вибіркової довжини хвилі, частка світлових хвиль відбивається. В залежності від спектрального складу відбитого світла, пігменти набувають окраску – зелену, червону, жовту и тд.

Хлорофіл – один з найпоширеніших й найбільш важливий фотосинтетичний пігмент, який має практично кожна рослина. Хлорофіл має найважливішу участь у складному механізмі поглинання енергії випромінювання та перетворення для вживання живими організмами. Хлорофіл в рослинах поглинає фотони видимого світла й переходить у збуджуючий електронний стан. Ця енергія має можливість ініціювати певний порядок хімічних реакцій. Одну з найважливіших ролей в рості рослини приймають хлорофіл (а й b).

Молекула хлорофіла при поглинанні світла, переходить в інше процес збудження. Цей процес відрізняється від теплової активації молекул, оскільки кожен квант породжує збудження лиш однієї молекули хлорофіла, передаючи їй свою енергію. При цьому квант поглинається не всією молекулою, а лише одним з її електронів. Квант світла який потрапив, електрон тимчасово переходить зі свого основного рівня на більш високий. При цьому на основному рівні місто електрона залишається вакантним й вся молекула стає збудженою.

Фотосинтез – це найважливіший біологічний процес на планеті, визначаючих життя не тільки рослин, но й усіх живих організмів. Для зелених рослин, завдяки фотосинтезу виконується передача енергії рослині, накопичення біомаси й виділення кисню в атмосферу.

В залежності с теперішніми реаліями, представлення фотосинтезу в живій рослині дуже складний процес, представляючи багато реакцій. Зазвичай сумарну реакцію фотосинтезу, під дією області фотосинтетичних активних радіацій – ФАР).

Перетворення енергії в потенційну хімічну енергії продуктів фотосинтезу, являє собою основний й найважливіший фактор формування продуктивності рослин. Потрібно розрізняти два фактори:

- спектр поглинання пігментів й спектр дії процесу.
- пояснення може являтися для пігментів й процесів фотосинтезу(див рис. 1.6.)

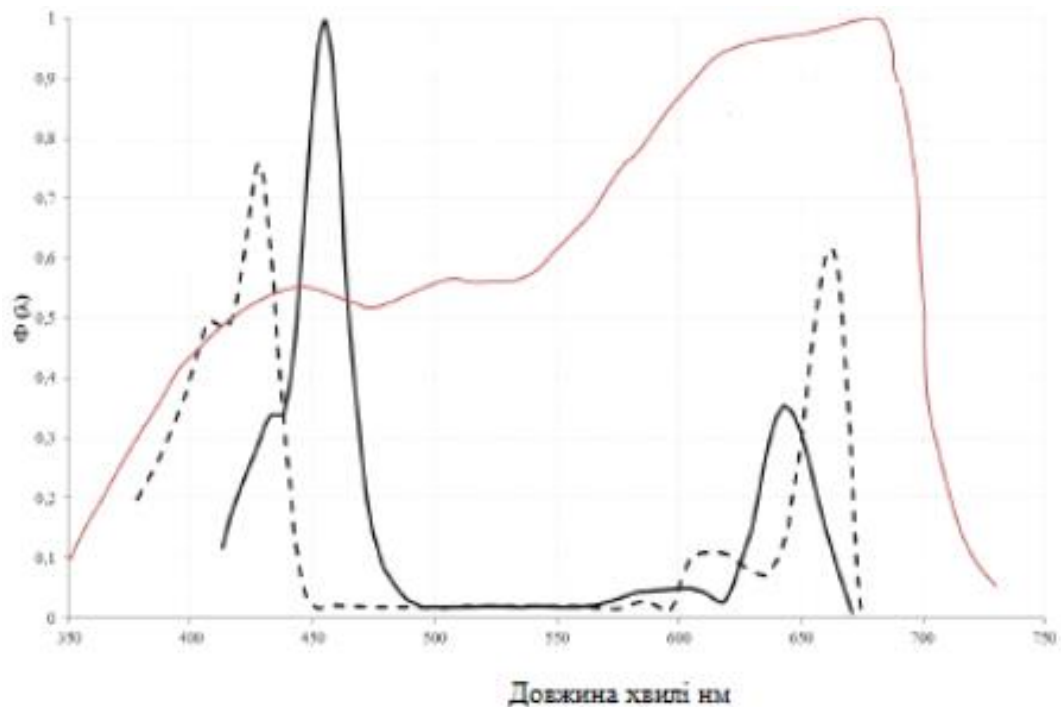


Рисунок 1.6 – Спектр поглинання пігменту хлорофіла а та b, спектр дії фотосинтезу

1.4 Аналіз існуючих розробок на базі Matlab & Simulink for Fuzzy Logic Toolbox та використання цифрового потенціометру

Актуальне питання на сьогодні є повна автоматизація під час різних змін технологічних процесів. Застосування технологій забезпечує підвищений рівень автоматизації та контролю різними процесами.

Тепличні культури тісно пов'язані з необхідністю підтримання мікроклімату технологічного приміщення: температура повітря, вологість повітря, спектральна складова освітлення, вентиляція приміщення.

Аналіз досліджень на базі Matlab & Simulink for Fuzzy Logic Toolbox.

Fuzzy Logic Toolbox – пакет розширення програмного забезпечення MATLAB, який містить інструменти для проектування системи нечіткої логіки. За допомогою цього пакету, користувач може виконувати необхідні дії в розробці й використання нечітких моделей в одному з наступних режимів:

- інтерактивному режимі за допомогою графічних інструментів й візуалізації усіх компонентів системи нечіткого виводу;
- режим команд за допомогою вводу назв певних функцій з необхідними аргументами.

Приклад системи керування мікрокліматом на базі Matlab & Simulink for fuzzy logic Toolbox

Автор статі [5], створив модель керування рівнем освітленості та поливом. Систему керування проведено в Matlab, представлено на рис. 1.7

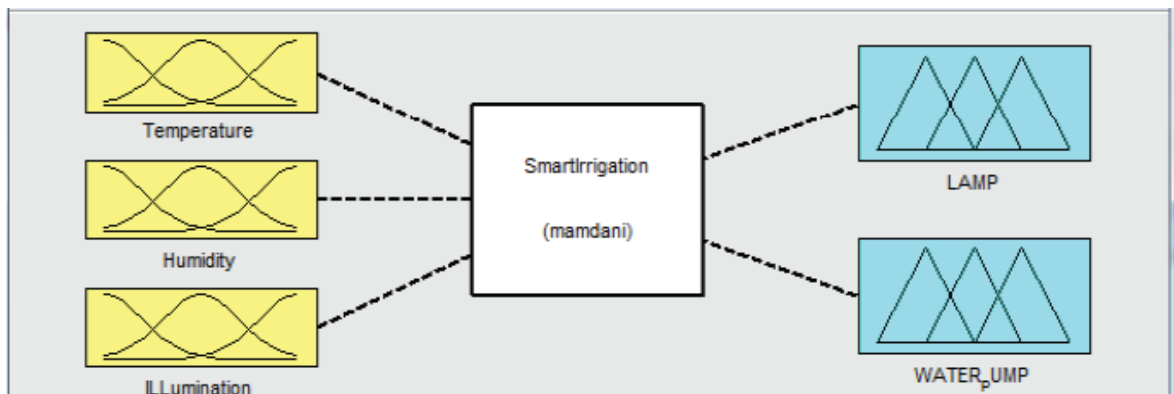


Рисунок 1.7 – Нечіткий логічний контролер

Блок Temperature має три функції приналежності (див. рис. 1.8). Вони мають позначення Low, Medium, High. Автор задав діапазон вимірювань від 0 до 100 C°. Low - задан діапазон від 0 до 30 C°, Medium – від 30 до 40 C°, High – від 40 до 100 C°. Функції приналежності, Low, High мають трапецієподібну форму, а функція Medium – трикутну.

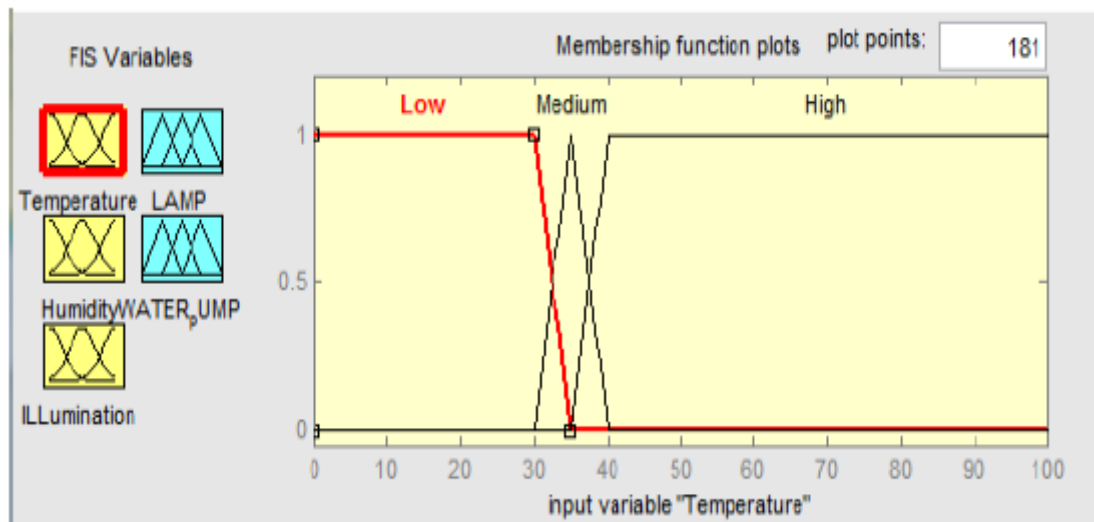


Рисунок 1.8 – Функція залежності для правила температури

Функція Humidity – має три функції залежності, які представлено на рис 1.9. Автор задав діапазон вимірювань від 0 до 100%. Вимірювання проводиться на різних рівнях, наприклад параметр Dry має діапазон вимірювань від 0 до 33%, Normal – від 35 до 70%, а Moist від 70 до 100%. Dry и Moist мають трапецієподібну форму, а тип Normal – трикутну.

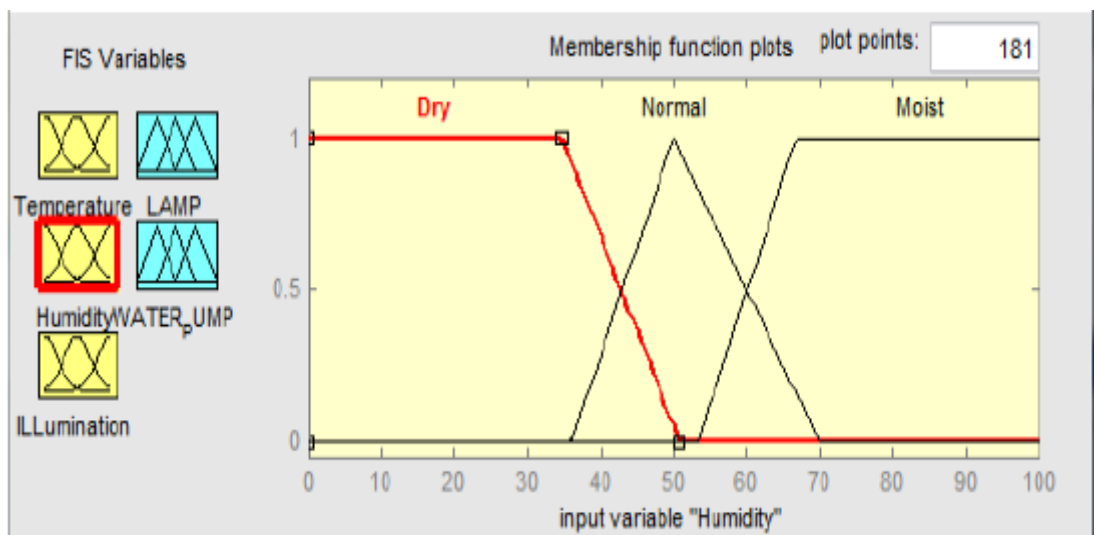


Рисунок 1.9– Функція залежності для правила вологисть

Функція ILLumination має три параметри приналежності(див рис 1.10). Вони представлені як Dark, Normal, Bright. Автор поставив діапазон вимірювань від 0 до 500 одиниць. Параметр Dark має діапазон вимірювання від 0 до 160

одиниць. Normal – 160-340, а Bright – 340-500. Тип функції Dark і Bright має трапецієподібну форму вимірювання, а Normal – трикутну.

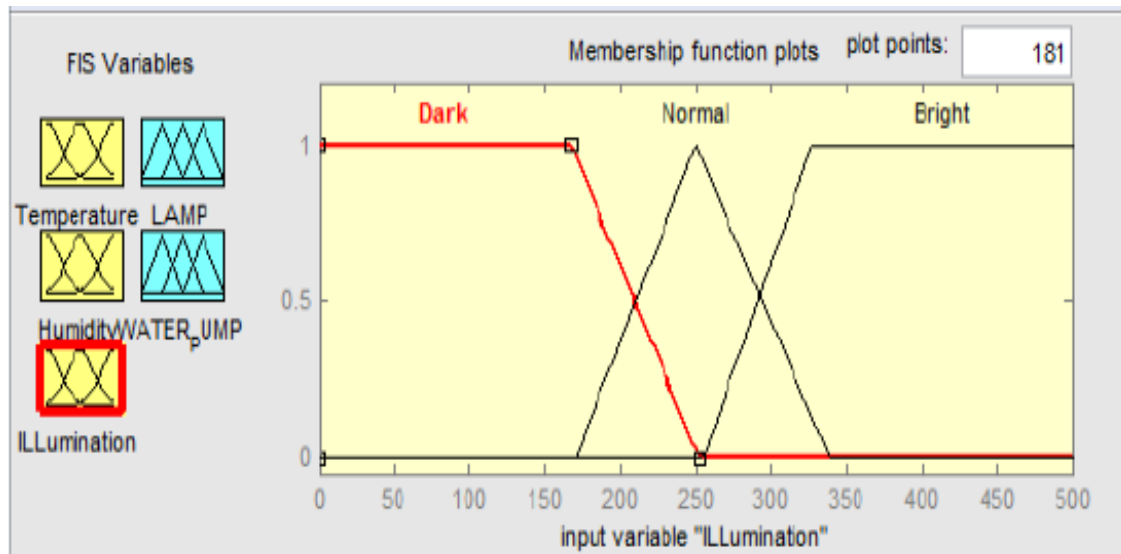


Рисунок 1.10 – Функція залежності для правила освітлення

На вихідні змінні автор будує систему правил, наприклад для змінної LAMP, див. рис. 1.11, будується правило, що дозволяє включати додаткове освітлення на різних рівнях потужності в залежності від параметрів температури, вологості, та рівня освітлення в приміщенні.

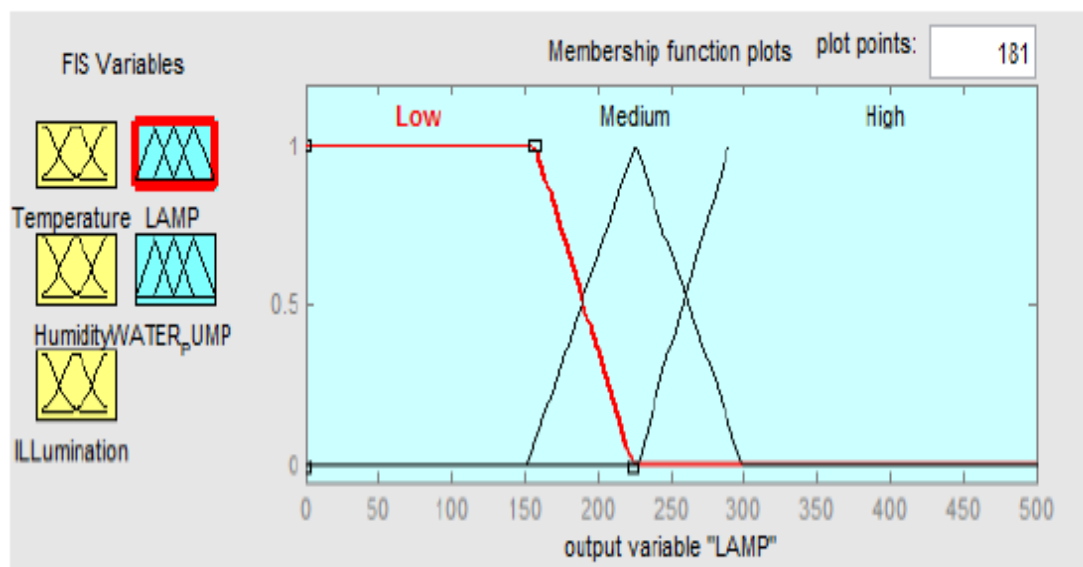


Рисунок 1.11 – Функція керування лампою

Вихідна змінна водяного насоса побудована за простим алгоритмом, вона повинна вмикатися та вимикатись в залежності від параметрів мікроклімату, див. рис. 1.12.

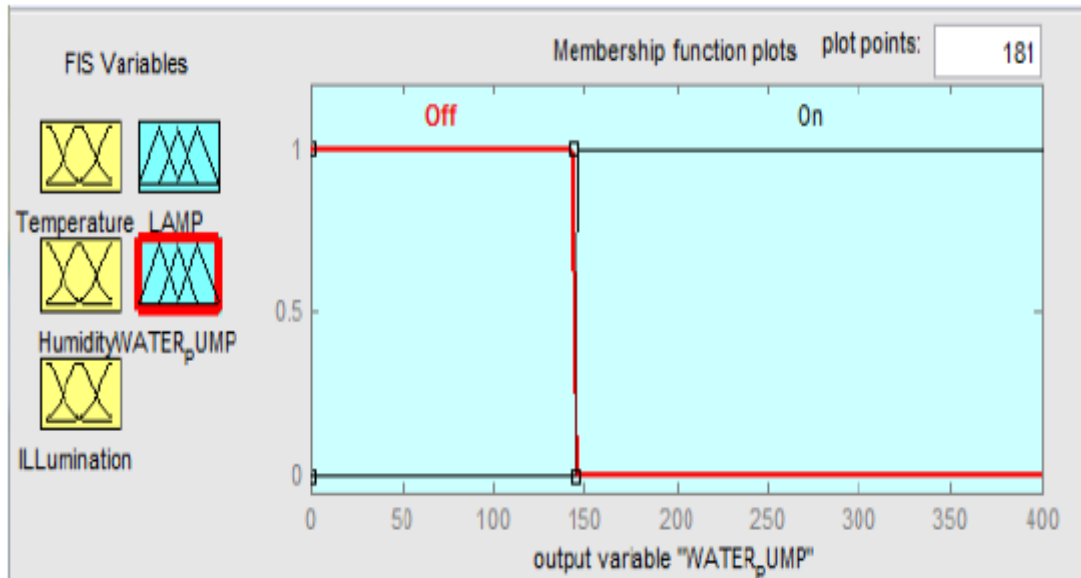


Рисунок 1.12– Вихідна змінна водяної помпи

Автор роботи описав свій проект який побудований на базі MATLAB & SIMULINK FOR FUZZY LOGIC TOOLBOX, створив чітку базу правил яку представлено на рис. 1.13 (а), також представлено результат модулювання бази правил в ПО Matlab, див. рис. 1.13(b).

1. If (Temperature is Low) and (Humidity is Dry) and (ILluminat is Dark) then (LAMP is Medium)(WATER_PUMP is Off) (1)
2. If (Temperature is Low) and (Humidity is Normal) and (ILluminat is Dark) then (LAMP is High)(WATER_PUMP is Off) (1)
3. If (Temperature is Low) and (Humidity is Moist) and (ILluminat is Dark) then (LAMP is High)(WATER_PUMP is Off) (1)
4. If (Temperature is Low) and (Humidity is Dry) and (ILluminat is Normal) then (LAMP is Medium)(WATER_PUMP is Off) (1)
5. If (Temperature is Low) and (Humidity is Moist) and (ILluminat is Normal) then (LAMP is High)(WATER_PUMP is Off) (1)
6. If (Temperature is Low) and (Humidity is Dry) and (ILluminat is Bright) then (LAMP is Medium)(WATER_PUMP is Off) (1)
7. If (Temperature is Low) and (Humidity is Normal) and (ILluminat is Bright) then (LAMP is Medium)(WATER_PUMP is Off) (1)
8. If (Temperature is Low) and (Humidity is Moist) and (ILluminat is Bright) then (LAMP is Medium)(WATER_PUMP is Off) (1)
9. If (Temperature is Medium) and (Humidity is Dry) and (ILluminat is Dark) then (LAMP is Medium)(WATER_PUMP is Off) (1)
10. If (Temperature is Medium) and (Humidity is Normal) and (ILluminat is Dark) then (LAMP is High)(WATER_PUMP is Off) (1)
11. If (Temperature is Medium) and (Humidity is Moist) and (ILluminat is Dark) then (LAMP is High)(WATER_PUMP is Off) (1)
12. If (Temperature is Medium) and (Humidity is Dry) and (ILluminat is Normal) then (LAMP is Medium)(WATER_PUMP is Off) (1)
13. If (Temperature is Medium) and (Humidity is Moist) and (ILluminat is Normal) then (LAMP is Medium)(WATER_PUMP is Off) (1)
14. If (Temperature is Medium) and (Humidity is Dry) and (ILluminat is Bright) then (LAMP is Low)(WATER_PUMP is Off) (1)
15. If (Temperature is Medium) and (Humidity is Normal) and (ILluminat is Bright) then (LAMP is Medium)(WATER_PUMP is Off) (1)
16. If (Temperature is Medium) and (Humidity is Moist) and (ILluminat is Bright) then (LAMP is Medium)(WATER_PUMP is Off) (1)
17. If (Temperature is High) and (Humidity is Dry) and (ILluminat is Dark) then (LAMP is Medium)(WATER_PUMP is On) (1)
18. If (Temperature is High) and (Humidity is Normal) and (ILluminat is Dark) then (LAMP is Medium)(WATER_PUMP is On) (1)
19. If (Temperature is High) and (Humidity is Moist) and (ILluminat is Dark) then (LAMP is Medium)(WATER_PUMP is On) (1)
20. If (Temperature is High) and (Humidity is Dry) and (ILluminat is Normal) then (LAMP is Low)(WATER_PUMP is On) (1)
21. If (Temperature is High) and (Humidity is Moist) and (ILluminat is Normal) then (LAMP is Medium)(WATER_PUMP is On) (1)
22. If (Temperature is High) and (Humidity is Dry) and (ILluminat is Bright) then (LAMP is Low)(WATER_PUMP is On) (1)
23. If (Temperature is High) and (Humidity is Normal) and (ILluminat is Bright) then (LAMP is Low)(WATER_PUMP is On) (1)
24. If (Temperature is High) and (Humidity is Moist) and (ILluminat is Bright) then (LAMP is Low)(WATER_PUMP is On) (1)
25. If (Temperature is High) and (Humidity is Dry) and (ILluminat is Bright) then (LAMP is Low)(WATER_PUMP is On) (1)
26. If (Temperature is High) and (Humidity is Normal) and (ILluminat is Bright) then (LAMP is Low)(WATER_PUMP is On) (1)
27. If (Temperature is High) and (Humidity is Moist) and (ILluminat is Bright) then (LAMP is Medium)(WATER_PUMP is On) (1)

Рисунок 1.13(a) – База правил

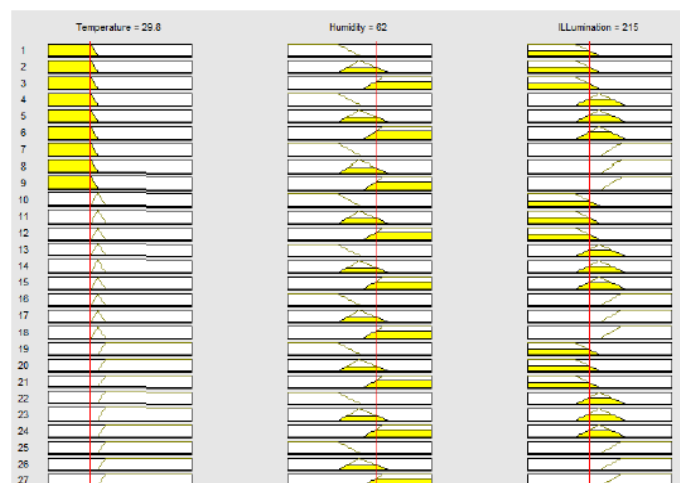


Рисунок 1.13(b) – Модулювання бази правил

Розробка нечіткого регулятора вентиляції в теплицях для вирощування томатів.

У роботі автора [6] описано спосіб роботи нечіткого логічного контролера для вирощування томатів в приміщеннях закритого ґрунту. Автором проекту було обрано підхід розробки контролера на базі нечіткої логіки. Даний метод має перевалу в тому, що має просту математичну концепцію, на відміну від інших методів керування. Дана система створена за будь яким набором вхідних параметрів, вихідні дані засновані на практиці людей різними способами використання у даній сфері. Мета дослідження: розробка системи на базі Fuzzy logic, яка підтримує та забезпечує оптимальні умови для розвитку рослин в теплицях. Вихідні дані контролюють вентиляційний потік та вмикання додаткового освітлення для стрімкого розвитку культури.

Контроль здійснюється за допомогою контролю параметрів мікроклімату(див. рис. 1.14):

- температури;
- відносної вологості;
- концентрація CO₂;

Вихідні параметри відповідають за своєчасне ввімкнення вентиляції й флуоресцентне освітлення.

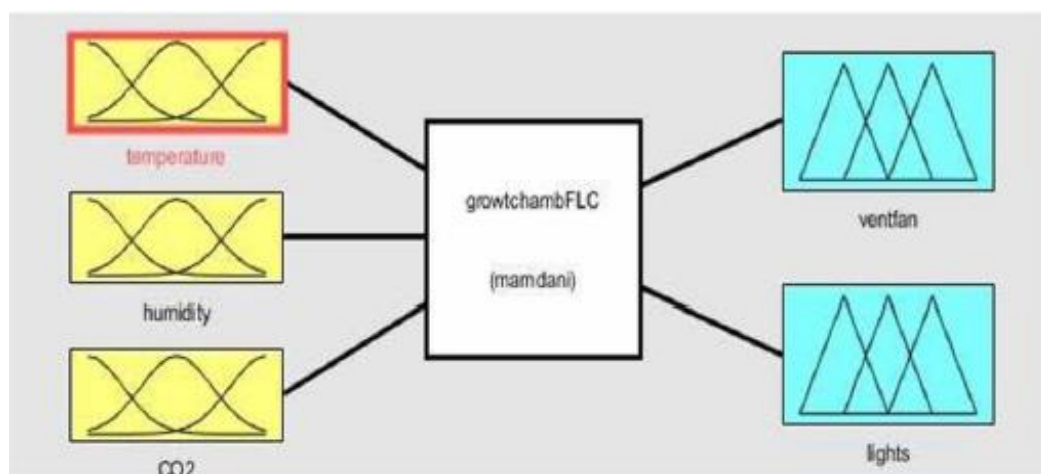


Рисунок 1.14 – Функції вводу та виводу на базі алгоритму Mamdani

Автор задав діапазон вимірювання температури від 0 °C до 40 °C і підрозділяється на 5 вхідних значень, для створення оптимального температурного режиму.

Параметр, вологість, поділений 3 вхідні параметри(сухий, оптимальний , вологий). Суха зона має градацію вимірювання від 0 до 40%. Ідеальна градація вологості складає від 30% до 90%, а дуже волога зона у діапазоні від 80% до 100%.

Якщо збільшити рівень концентрації CO₂, збільшиться фотосинтез. Ідеальний діапазон складає 200-1500 мкмоль.

Автором було задано на виході контроль вентиляції та рівня досвічуваності. Контроль за параметром вентиляції поділяється на 4 рівня(вимкнено, низький, середній, високий). Рівень освітлення задано за часовим інтервалом. Автор задав параметр на роботу штучного досвічування приблизно до 10 год. на добу. На виході задано функцію включення та виключення, де 0 – off, 1 – on, див. рис. 1.15.

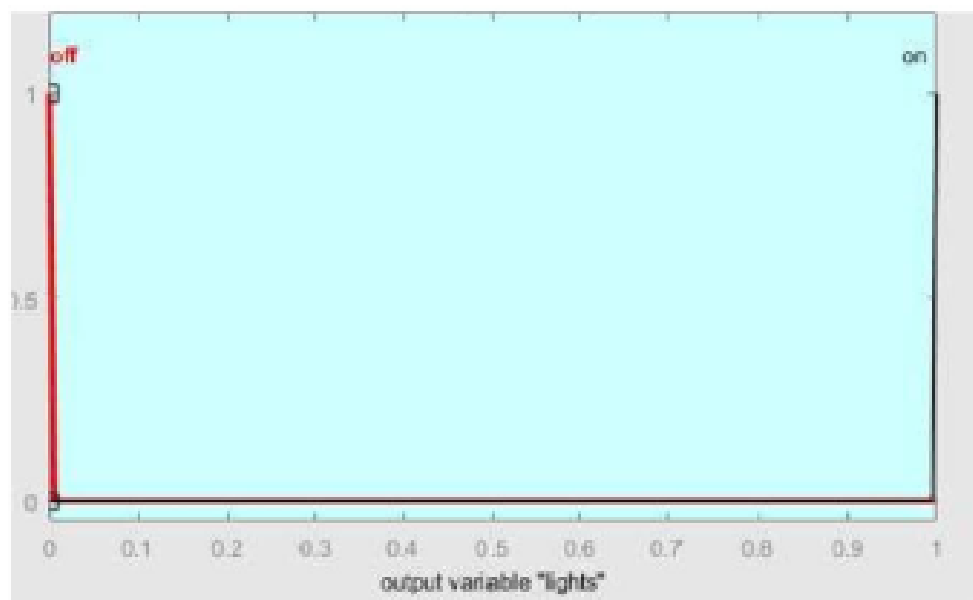


Рисунок 1.15 – Вихідна функція штучного досвічування

Автором було розроблено систему нечітких логічних правил, за допомогою яких встановлюється алгоритм роботи системи, та можливо провести

модуляцію системи, для відображення працездатності правил в залежності від різних діапазонів заданих параметрів.

Модуляцію розроблених автором правил представлено на рис. 1.16.

Кожен вихідний параметр залежить від даних які були задані вхідними вимірюваннями. Наприклад: при температурі у 20 °C, відносної вологості у 50%, та концентрації CO2 – на виході отримуємо

- Ввімкнення вентиляційних вузлів на 50%;
- Ввімкнення додаткового освітлення не потрібно.

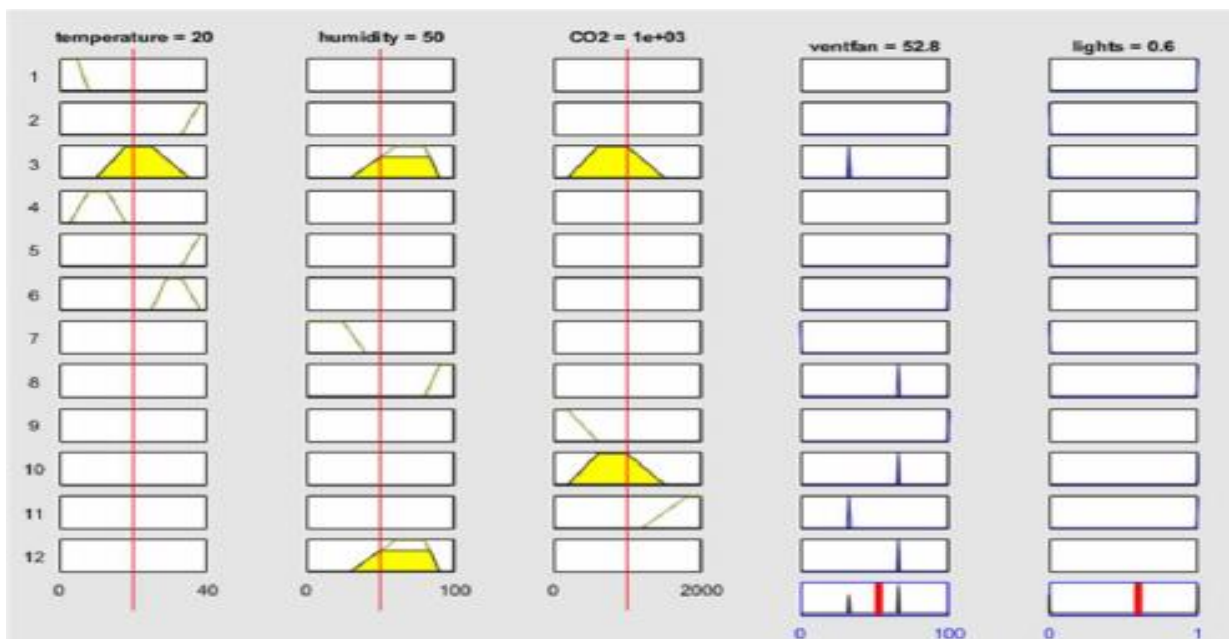


Рисунок 1.16– Логічна робота бази правил з отриманих результатів вимірювання

За допомогою програмного забезпечення Matlab, проведено модуляцію у тривимірній площині(див. рис. 1.17).

Можливо побачити залежність вихідних параметрів від вхідних.

Крива поверхні дає можливість побачити два вхідних параметра які впливають на один вихідний. На графіку представлено, що вихідний параметр залежить від введення в дію певного параметру.

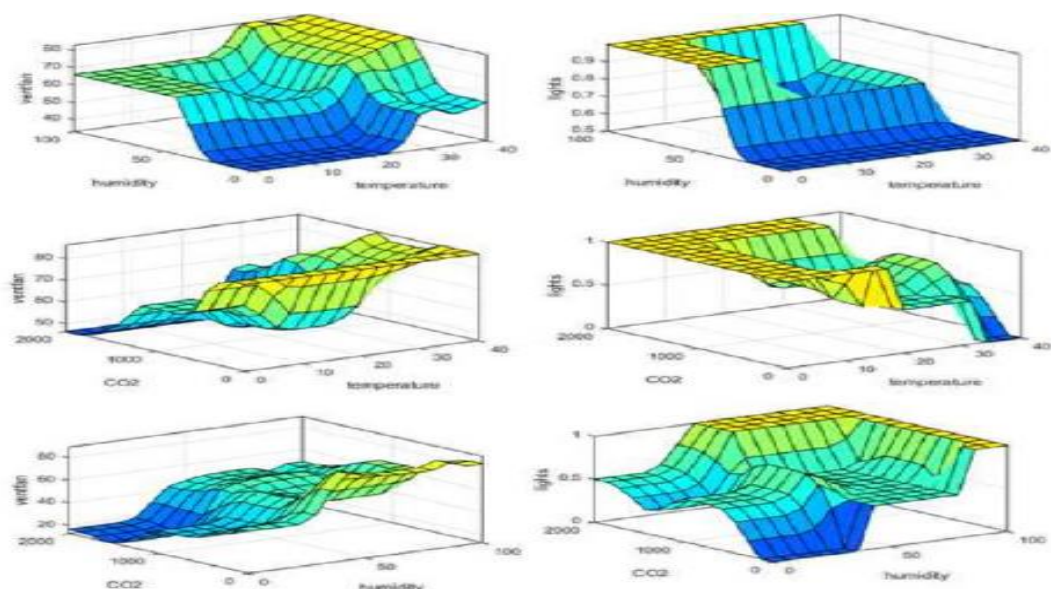


Рисунок 1.17– Тривимірні криві впливу вхідних параметрів на вихідні функції

1.5 Розробка електронного пристрою моніторингу електричної освітленості споруд захищеного ґрунту

Темою бакалаврської роботи [7] була «Розробка електронного пристрою моніторингу електричної освітленості споруд захищеного ґрунту». Розроблена система була побудована на базі Matlab & Simulink. Керування логічними функціями, яке представлено на рис 1.18 реалізовано на алгоритмі роботи Mamdani.

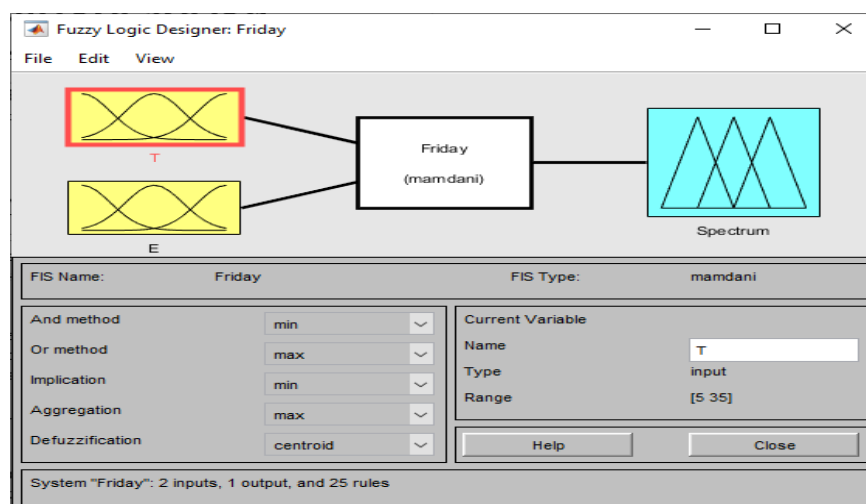


Рисунок 1.18 – Стартівна сторінка Fuzzy Logic Designer

На вході відбувається зчитування інформації з датчиків (датчик рівня освітлення, датчик температури). На виході отримуємо керування спектральним світлодіодним освітленням, виходячи з отриманих даних мікроклімату, система логічно будує рівень освітлення в теплиці згідно з нормами[8].

Під час побудови моделі використано технологію п'ятирівневої системи трикутних вхідних функцій. Дана система дозволяє проводити зняття показників з датчиків максимально чітко, виключаючи можливі похибки вимірювань, та має плавний перехід між різними вхідними показаннями, для керування вихідним сигналом. Приклад реалізованої системи представлено на рис. 1.19.

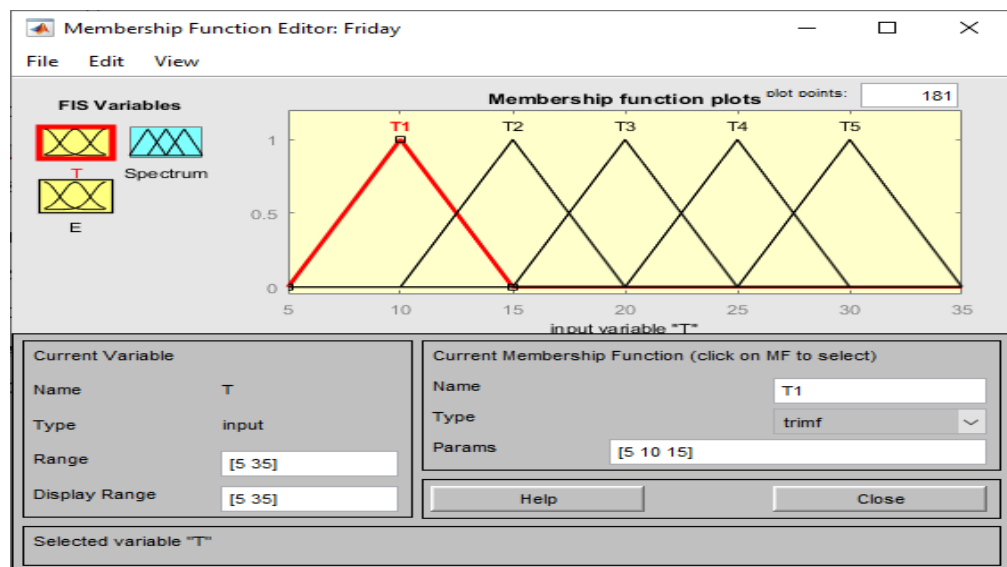


Рисунок 1.19 – Приклад побудови підсистеми для вимірювання температури

Кожен вхідний параметр записується в базу правил для визначення сприятливих умов для подальшого керування спектральною складовою теплиці. На виході, використовуємо систему Гауссових функцій(рис. 1.20). Це дозволяє отримати на виході плавний перехід між режимами роботи освітлення відповідно до записаних правил стосовно кожного параметру, що дозволить зробити плавний перехід між режимами заданих функцій.

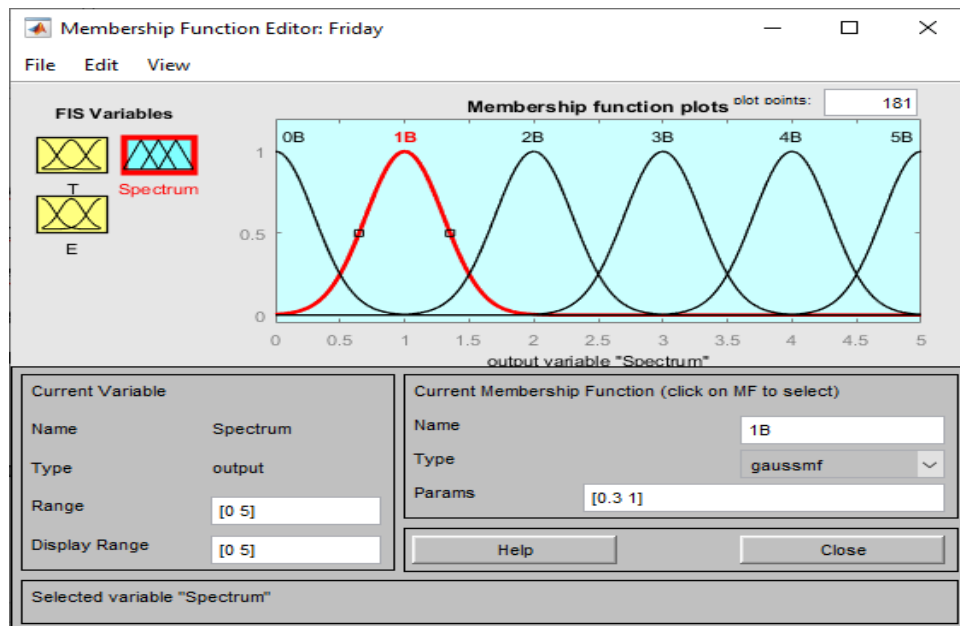


Рисунок 1.20 – Вихідна система Гауссових функцій

Кожне правило обумовлено параметрами й даними, які отримані з вхідних параметрів вимірювання. В табл. 1.2, наведено залежність вихідної функції від вхідної. Згідно записаної бази правил відбувається переключення параметрів в залежності від мікроклімату.

Таблиця 1.2 – Матриця станів вхідних та вихідної змінних

T/E	Night	Dawn	Morning	Noon	After-noon
T ₁ (20 °C)	Medium	Low	Off	Off	Off
T ₂ (21 °C)	More Medium	Medium	Off	Off	Off
T ₃ (22 °C)	High	More medium	Low	Off	Off
T ₄ (23 °C)	More medium	Medium	Off	Low	Low
T ₅ (24 °C)	Medium	Low	Off	Low	Low

Згідно отриманих даних створено базу правил, яка записана у Matlab & Simulink (див. рис. 1.21), Записані правила регулюють ввімкнення додаткового освітлення виходячи з поточних значень вхідних параметрів: температури й рівень освітлення зони вирощування.

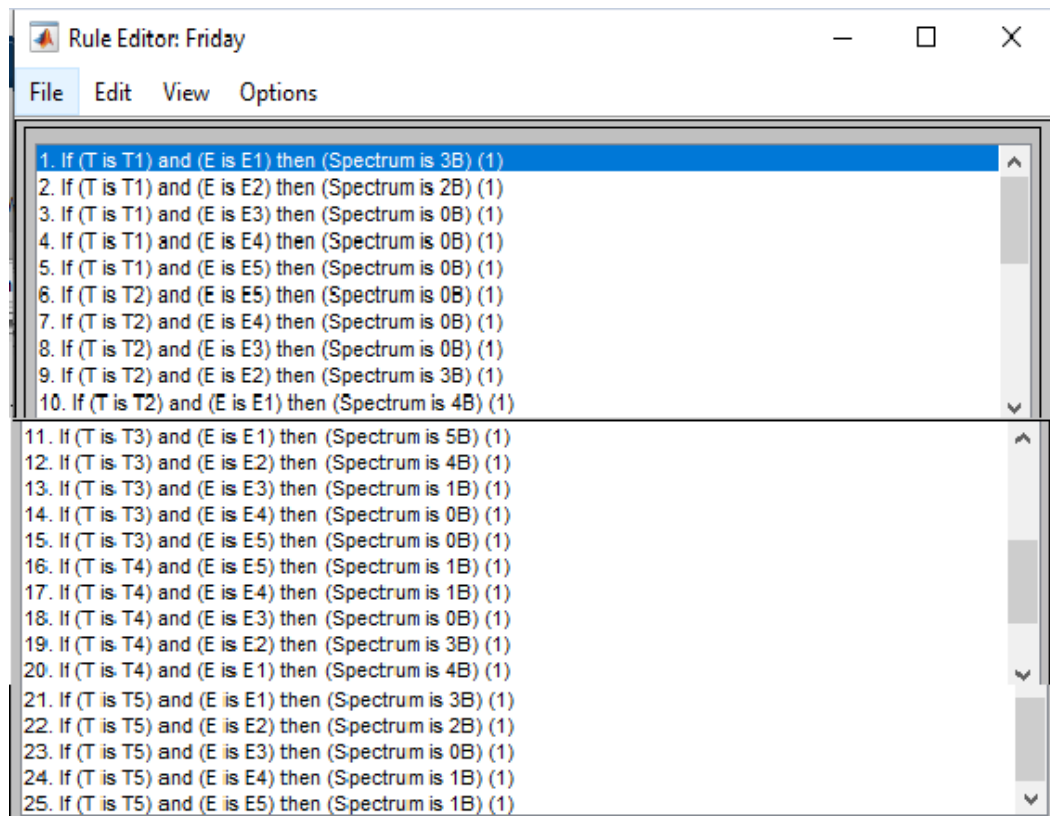


Рисунок 1.21 – Представлена база правил в Matlab & Simulink®

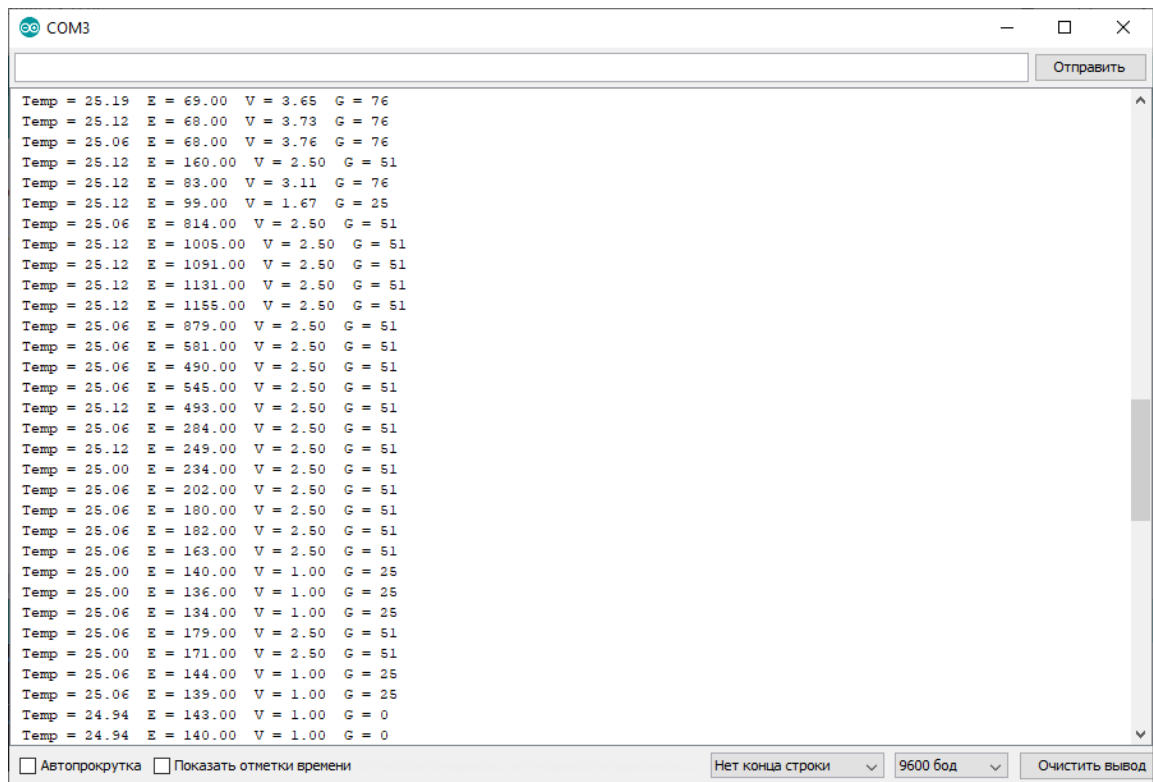
Робота була реалізована на базі мікроконтролеру Arduino.

В програмному забезпеченні встановлено спектральний склад джерела штучного досвічування, в певному відсотковому співвідношенні спектра кожного типу світлодіодів: у діапазоні від 380 до 490 нм, де R - (40%), B – (20%), G – (40%) [9].

Вихідні дані представлено на рис. 1.22, представлено наглядну реалізацію й контроль регульованих параметрів. Показано принцип роботи системи, яка побудована на базі нелогічних правил в різних умовах освітлення з квазі – незмінною кімнатною температурою.

Представлено функціональну систему, яка надає можливість спростити автоматизації мікроклімату в приміщеннях закритого ґрунту.

Реалізовано моделювання спектрального співвідношення на кожному світлодіоді в залежності від загальноприйнятих норм для кожного типу культур.



Temp	E	V	G
Temp = 25.19	E = 69.00	V = 3.65	G = 76
Temp = 25.12	E = 68.00	V = 3.73	G = 76
Temp = 25.06	E = 68.00	V = 3.76	G = 76
Temp = 25.12	E = 160.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.12	E = 83.00	V = 3.11	G = 76
Temp = 25.12	E = 99.00	V = 1.67	G = 25
Temp = 25.06	E = 814.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.12	E = 1005.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.12	E = 1091.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.12	E = 1131.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.12	E = 1155.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.06	E = 879.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.06	E = 581.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.06	E = 490.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.06	E = 545.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.12	E = 493.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.06	E = 284.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.12	E = 249.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.00	E = 234.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.06	E = 202.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.06	E = 180.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.06	E = 182.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.06	E = 163.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.00	E = 140.00	V = 1.00	G = 25
Temp = 25.00	E = 136.00	V = 1.00	G = 25
Temp = 25.06	E = 134.00	V = 1.00	G = 25
Temp = 25.06	E = 179.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.00	E = 171.00	V = 2.50	G = 51
Temp = 25.06	E = 144.00	V = 1.00	G = 25
Temp = 25.06	E = 139.00	V = 1.00	G = 25
Temp = 24.94	E = 143.00	V = 1.00	G = 0
Temp = 24.94	E = 140.00	V = 1.00	G = 0

Рисунок 1.22 – Результати вимірювання

В результаті розробки системи отримано результати:

1. Розроблено модель в Matlab & Simulink for Fuzzy Logic toolbox.
2. Розроблено базу правил для можливості корегування мікрокліматом.
3. Реалізовано роботу на бюджетному мікроконтролері Arduino, що значно спрощує реалізацію.

1.6 Аналіз існуючих розробок з використанням цифрового потенціометра

Аналіз розробки контролеру для робота – гуманоїда за допомогою цифрового потенціометру.

Автором роботи [10], поставлено ціль в розробці й втілення контролеру з використанням цифрового потенціометра.

Цифровий потенціометр буде передавати значення напруги й струму в залежності від цифрового рівня через послідовний зв'язок для передачі інструкції по керуванню робота.

Автор вибрав саме цифровий потенціометр завдяки його плюсів:

- невеликий розмір;
- просте й чітке налаштування;
- дистанційне керування та налаштування;

Цифрові потенціометри також можуть бути використанні у ЦАП в якості заміни механічних потенціометрів й реостати.

Також використовуються у ЖК – дисплеї, регулювання екранів, регулювання гучності, автоматичній калібровці, й інші механізми які потребують заміни механічних потенціометрів. Функції цифрового потенціометру дозволяють регулювати значення опору для створення напруги.

Автор побудував апаратну частину, наступним чином: визначив положення контактів цифрового потенціометру для підключення до Arduino. Контролер з потенціометром будуть інтегровані з'єднання обох контактів.

На рис. 1.23 показана інтеграція між Arduino й цифровим потенціометром з оригінальною віддаленою платформою.

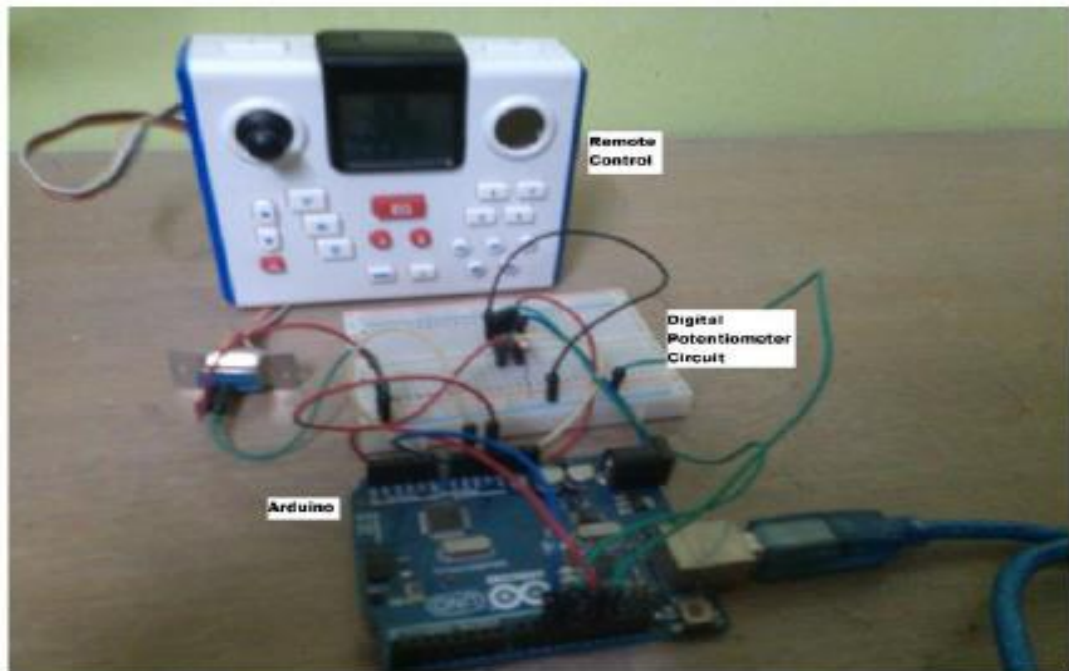


Рисунок 1.23 – Інтегральна схема з платформою віддаленого керування.

Для перевірки роботи змінного потенціометра, автор провів три експерименти.

Значення параметрів схеми цифрового й змінного потенціометра були виміряні з використанням мультиметру для отримання значення напруги й струму. При використанні синього світлодіода у якості індикатора процес вимірювання напруги й струму буде змінним.

Середнє вимірюване значення для обох параметрів буде визначатися на основі трьох повторювань кількості тестів.

Автор провів тести які представлені в табл. 1.3, 1.4, 1.5, 1.6.

Таблиця 1.3 - Вимірювання поданої напруги на світлодіод

Parameter	Measured voltage (V)			
Digital Level	1	2	3	Avg
250	2.84	2.84	2.84	2.84
200	2.63	2.63	2.63	2.63
150	2.53	2.53	2.53	2.53
100	1.971	1.971	1.971	1.971
50	0.994	0.994	0.994	0.994
0	0.0247	0.0247	0.0247	0.0247

Таблиця 1.4 - Вимірювання струму на світлодіод

Parameter	Measured voltage (mA)			
Digital Level	1	2	3	Avg
250	8.37	8.42	8.43	8.407
200	1.87	1.87	1.88	1.873
150	1.03	1.03	1.04	1.033
100	0.7	0.67	0.69	0.697
50	0.5	0.5	0.51	0.503
0	0.07	0.07	0.07	0.07

Таблиця 1.5 – Вимірювання змінного потенціометру, подана напруга

Direction	Measured voltage (mA)			
Up	3.28	3.3	3.31	3.3
Down	0.0092	0.0096	0.0072	0.0086
Left	2.03	2.03	2.03	2.03
Right	2.03	2.03	2.03	2.03

Таблиця 1.6 – Вимірювання змінного потенціометру, вимірювання струму

Direction	Measured voltage (mA)			
Up	127.4	126.5	125.7	126.5
Down	0.05	0.06	0.06	0.057
Left	0.86	0.086	0.86	0.86
Right	0.86	0.86	0.86	0.86

Автором [10], розроблено систему з використанням цифрового потенціометра, яка здатна керувати роботом-гуманоїдом, використовуючи функції цифрового потенціометру.

Плата інтегрована з дистанційним керуванням.

Робот-гуманоїд, здатен пересуватися за допомогою простих рухів: вперед, назад, направо й наліво. Апаратна інтеграція буде перевірена на функціональність й можливість підключення за допомогою пульта дистанційного керування.

Крім того, данні отримані в результаті роботи можуть бути використані для визначення керування напрямлень робота.

Аналіз посилення калібрування перетворювача постійного струму та регулювання за допомогою цифрового потенціометру.

Автором роботи [11] була написана інструкція калібрування постійного струму за допомогою цифрового потенціометру, мета цієї примітки щодо застосування – показати приклад того, як цифровий потенціометр можливо використовувати у контур зворотного зв'язку поступового перетворювача

постійного струму для забезпечення калібрування або його регулювання. Автор розробив схеми використання перетворювача постійного струму MAX 5025, у поєднанні з цифровим потенціометром див. рис. 2.20.

Для цього прикладу бажана вихідна напруга становить 32В, яка генерується від вхідного джерела живлення 5В.

Вихідну напругу можливо регулювати з кроком 35мВ(близько 32В) й охоплює діапазон, достатньо широкий, щоб врахувати опір, потенціометр та DC/DC перетворювач перетворюють постійний струм від 27,6 В до 36,7 В).

У схемі яка представлена роботі автора [11], вихідна напруга V_{out} , визначається співвідношенням нерухомих резисторів R1, R2.

Ці два резистори утворюють дільник напруги, який подає частину вихідної напруги назад на штифт FB, створюючи систему із замкнутою петлею.

Систему на рівновагу, коли V_{out} генерує потрібну вихідну напругу, а дільник напруги подається назад, 1,25В на шифт FB.

Коли V_{out} нижче бажаної вихідної напруги, мікросхема перетворювача постійного струму намагається подавати додаткову потужності, поки FB не досягне 1,25 В. V_{RFF} задане значення FB, становить 1,25В.

Автор провів розрахунок резисторів. V_{out} – це функція декількох змінних й існує безліч рішень. Вибір оптимального рішення для конкретного застосування передбачає пристойну суму помилок.

З цієї причини електрона таблиця є найціннішим інструментом, оскільки дозволяє налаштувати й миттєво побачити його вплив на V_{out} для одного положення потенціометра, а також розгортку всього діапазону потенціометрів.

Нижче описано процес, який використовується для обчислення значень для приклад схеми генерації 32В.

Передбаченні для цієї конструкції були $R_{Pot} = 10 \text{ кОМ}$, 256 позицій, $V_{Ref} = V_{FB} = 1,25\text{В}$, й вихідна напруга становитиме 32В, коли ползунок встановлено в середнє положення (127).

Розрахунок співвідношення між R1 й R2:

$$\frac{V_{out}}{V_{REF}} - 1 = \frac{R1 + 5019.6}{R2 + 4980.4} = \frac{32}{1.25} - 1 = 24,6 \quad (1.1)$$

У паспорті MAX5025, запропоновано вибрати R2 у діапазоні 5кОм до 50кОм, а потім обчислити R1.

Для вибору діапазону опору була створена таблиця яка представлена на рис. 1.24.

Вводимо значення R2, а значення R1 автоматично розраховується, щоб отримати співвідношення.

Крім того виконується тисячі інших обчислень, а потім V_{out} порівняно з позицією ползунка.

Графік V_{out} проти положення ползунка показує очікувану вихідну напругу для всіх 256 позицій потенціометра. Лінійність, діапазон й нахил.

Порівнюючи графіки R2 = 5кОм й R2 = 50кОм(див. рис. 1.24) можливо побачити, що менші значення R2 виробляють набагато більший діапазон випуску, хоча й нелінійний і з крутим нахилом.

Більші значення R2, з іншого боку, дають лінійний вихід й набагато менший кут нахилу.

Чим менший нахил, тим менший розмір кроку.

Недолік складає, полягає в тому, що R1 й R2 мають допуск $\pm 1\%$, існує ймовірність, що жодне налаштування потенціометру не досягне 32В.

Це можливо побачити дивлячись на верхній слід на рис. 1.25(b), коли потенціометр встановлено в положення 0, вихідна напруга $\sim 37,5В$, й коли потенціометр встановлено в положення 255, вихід зменшується лише до 32,3В.

Після вибору значень для R1 та R2 важливо перевірити, чи V_H не перевищує максимум специфікації ($V_{CC} + 0,5V$ для DS1845). V_H можливо обчислити за допомогою рівняння (1.2).

$$V_H = \frac{V_{out}}{R1 + R2 + R_{POT}} * R2 + R_{POT} \quad (1.2)$$

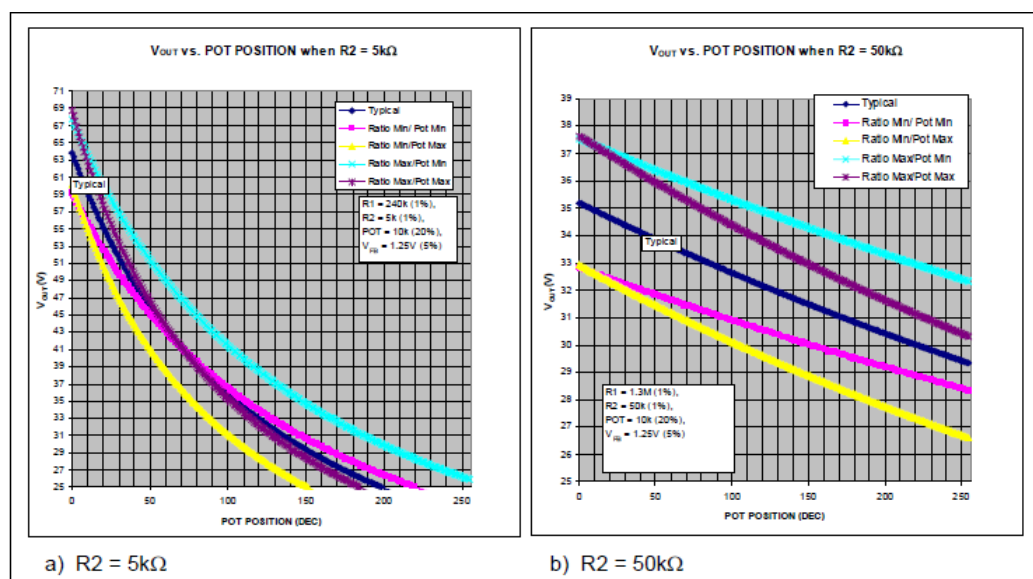


Рисунок 1.25 – Порівняння значень R2

Автор роботи провів аналіз помилок розрахунку використання типових значень. Важливо, можливі похибки у розрахунку варіації вихідної напруги через допуски компонентів, температурні коливання та будь-які інші джерела помилок й гарантують, що потрібна вихідна напруга завжди може бути отримана.

1.7 Висновки

Проведено аналіз існуючих методів вимірювання рівня освітленості в приміщеннях. Встановлено, який з методів найбільш ефективний з мінімальною кількістю похибок. Аналізовано існуючі методи розробки на базі Fuzzy logic, з використанням цифрового потенціометру. Проведено аналіз з урахуванням усіх недоліків які були допущені авторами для запобігання подібних помилок у власній роботі.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ КОМПОНЕНТНОЇ БАЗИ, СТРУКТУРИ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ

2.1 Підбір компонентної бази для відтворення проекту

Цифровий датчик ВН-1750.

Цифровий датчик(див. рис. 2.1), має широкий спектральний діапазон вимірювання від 1 до 65535 лк й спектр чутливості, максимально наближений до людського ока.

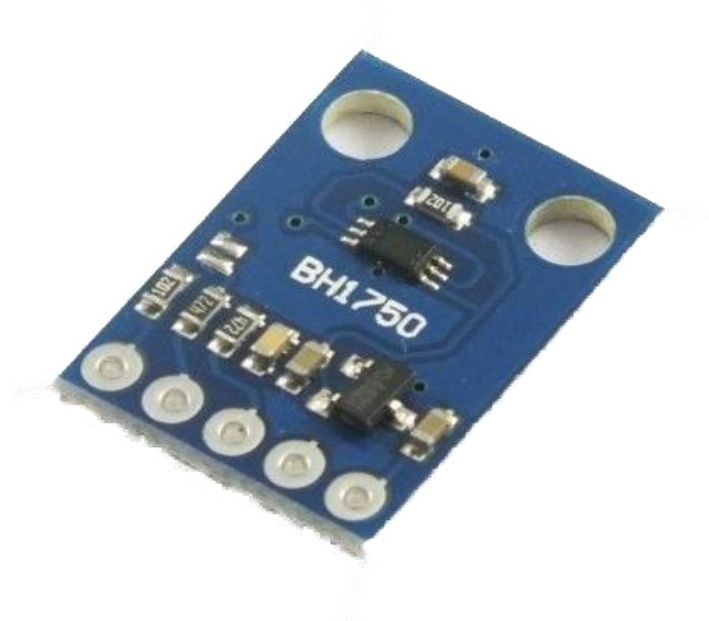


Рисунок 2.1 – Цифровий датчик рівня освітленості

Основні характеристики датчика:

- тип: GY-30;
- чіп: BH1750FVI;
- вбудований сенсор і цифровий перетворювач;
- інтерфейс передачі сигналу – I²C;
- відсутня похибка до фонового кольору;
- спектральна характеристика близька до спектральної складової людського ока;

- широкий діапазон вимірювань;
- напруга живлення – 3..4,5 В.

Цифровий датчик температури BME280.

Цифровий датчик температури BME280(див. рис. 2.2), призначений для вимірювання температури приміщення.

Має діапазон вимірювання температури від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$. Отриманий сигнал передається за протоколом I2C, з 12- бітною роздільною здатністю.

Протокол I2C, дозволяє підключити значну кількість таких же типів датчиків під час використання одного порту контролера. BME280, має три канали: живлення, загальний, цифровий сигнал.

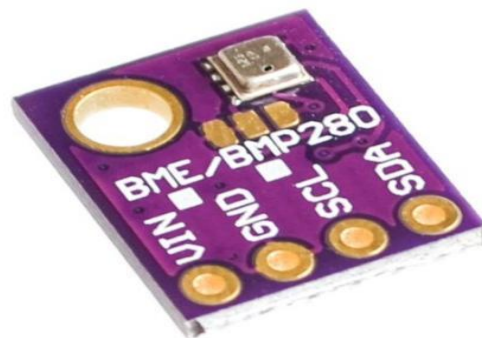


Рисунок 2.2 – Датчик вимірювання рівня температури BME280

Основні характеристики:

- діапазон вимірювання температури -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$.
- абсолютна похибка вимірювання $\pm 0,5$ до 1°C ;
- час передачі сигналу по протоколу I2C: 3.4 МГц
- напруга живлення від 3 до 5.5 В.

Цифровий потенціометр X9C104.

Цифровий потенціометр (див. рис. 2.3) функціонує як традиційний механічний потенціометр, котрий змінює свій опір, за виключенням того, цифровий потенціометр представляє з себе інтегральну мікросхему та змінює свій опір через взаємодію електричного сигналу на канал зв'язку. Цифровий потенціометр має більш високе розширення, точність й більшу стабільність.

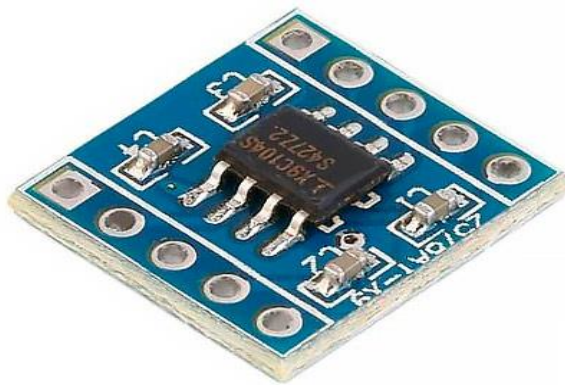


Рисунок 2.3 – Цифровий потенціометр X9C104

Характеристики:

- Робоча напруга: 5 В;
- Повний опір: 100 кОм;
- Напруга на регульованому боці: від -5 В до 5 В;
- Кількість градацій зміни опору: 100;
- Сигнали інтерфейсу: CS, U/D, INC;
- Режим збільшення опору: лінійний;
- Робочій струм: 3 мА;
- Тип корпусу; SOIC – 8;
- Робоча температура: від -40 до +85 °С.

Цифровий потенціометр має безліч переваг та мінімальну кількість недоліків. Його можливо використовувати у сфері програмованих джерел живлення, фільтрах, вимірювальних пристроях.

Для зміни коефіцієнта підсилення операційних підсилювачів.

Макетна реалізація проекту була здійснена на бюджетному програмованому контролері Arduino Uno(див. рис 2.4)

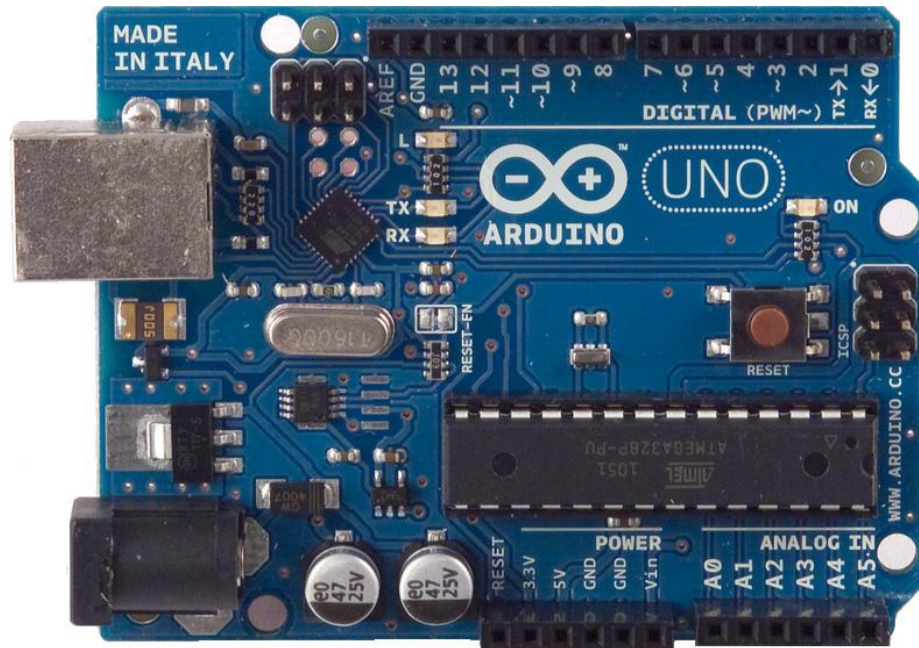


Рисунок 2.4 – Мікроконтролер Arduino Uno

Мікроконтролер має 14-ть цифрових входів/виходів(6 з яких мають регулювання ШІМ – сигналом), 6 аналогових входів, кварцовий резонатор, роз'єм USB, роз'єм живлення, кнопка сброса.

Обсяг флеш – пам'яті 32кб. Arduino Uno в якості перетворювача інтерфейсів USB-UART використовує мікроконтролер ATmega328.

Характеристики:

- Мікроконтролер: ATmega328;
- Робоча напруга: 5 В;
- Напруга живлення(рекомендована): 7-12 В;

- Напруга живлення (гранична): 6-20 В;
- Цифрові входи/виходи: 14(6 з яких використовується в якості ШІМ – виходи);
- Аналогові входи: 6;
- Максимальний струм одного виводу: 40мА;
- Максимальний вихідний струм виводу 3.3 В: 50мА;
- Flash-пам'ять: 32 КБ(ATmega328) з котрих 0.5 КБ використовується завантажувачем;
- SRAM: 2 КБ(ATmega328);
- EEPROM:1 КБ(ATmega328);
- Тактова частота: 16 МГц;

2.2 Розробка структурної схеми

В області світло-культури тепличних рослин, на підставі аналізу результатів експериментальних й теоретичних досліджень, встановлено, що функціонування системи штучного досвічування повинен бути адаптивним, в залежності до типів вирощуваних культур й періодів зростання.

Наприклад, для огірка рекомендованим є співвідношення енергій по спектру: в діапазоні хвиль від 380 до 490 нм ($\Delta\lambda$ син.) – 20 %, від 490 до 590 нм ($\Delta\lambda$ зел.) – 40 %, від 590 до 760 нм ($\Delta\lambda$ чер.) – 40 %; для томата: ($\Delta\lambda$ син.) – 20 %, ($\Delta\lambda$ зел.) – 15 %, ($\Delta\lambda$ чер.) – 65 %.

Рівень енергетичної освітленості змінюється у діапазоні від 150 до 300 Вт/м² й залежить від періоду вегетації флори.

Для реалізації коригування параметрів мікроклімату теплиці, що впливає на рівень врожайності, необхідно виконувати вимірювання рівня освітленості в видимому спектральному діапазоні, з подальшим автоматичним регулюванням рівня освітленості для отримання сприятливих умов мікроклімату.

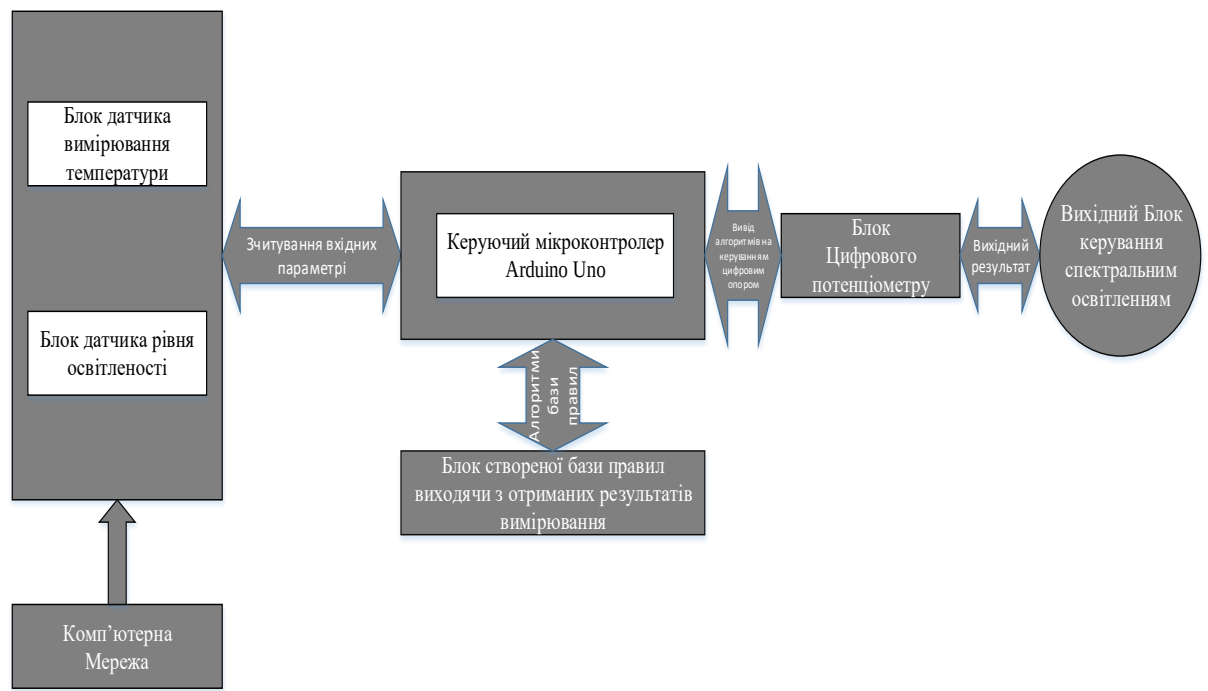


Рисунок 2.5 – Структурна схема

На підставі розробленої структурної схеми, реалізація автоматичного керування технологічними процесами забезпечення ефективного фотосинтезу є неможлива без розробки адаптивних методів й засобів контролю ефективності системи штучного досвічування, з урахуванням природного освітлення.

Відносна похибка вимірювання рівня освітлення в технологічній теплиці не повинна перевищувати $\pm 20\%$.

На підставі результатів розробки, розроблено блок-схему адаптивного контролю й управління рівнем освітленості з подальшим корегуванням технологічних процесів(див. рис.2.6).

Кількість точок вимірювання, а також топологія розміщення чутливих елементів, підбирається на основі наявних рекомендацій, виходячи з існуючих тепличних комплексів.

Даний функціонал відображає спосіб використання кожного блоку в реалізованій програмі.

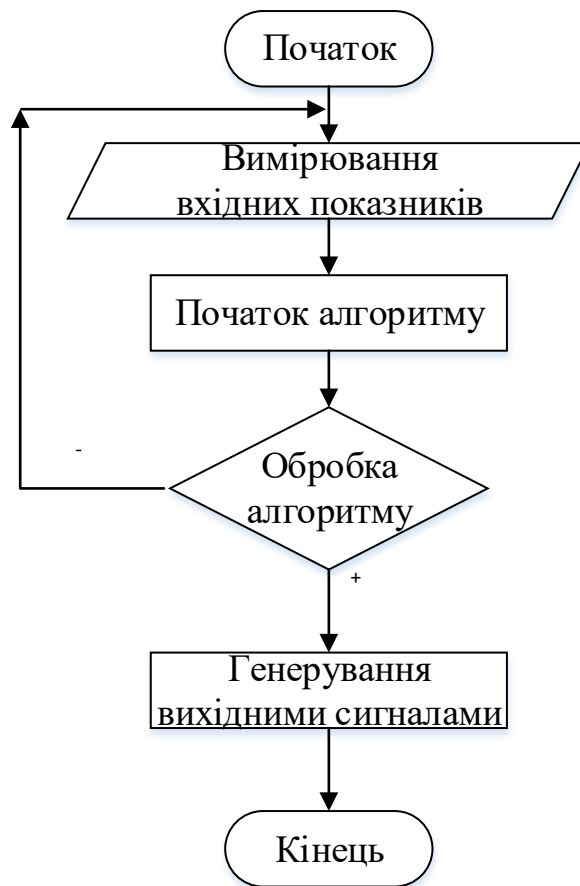


Рисунок 2.6 – Блок схема функціонування системи

2.3 Математична модель інтенсивності випромінювання

Для необхідного досвічування тепличних рослин, використовується фото-світлодіоди, які мають безліч переваг щодо інших типів ламп штучного освітлення. З аналізу характеристик, запропоновано використовувати світлодіоди типу Samsung LM561C. Даний модуль чудово підходить для створення фітоламп з розширеним спектром й боковою досвіткою. Спектральну характеристику потужності випромінювання даного модулю потрібно, апроксимувати функціональною залежністю, з відносною похибкою апроксимації не більше $\pm 10\%$:

$$S_{\text{СВД}}(\lambda) = S_0 S_{\text{СВД}}(\lambda) = S_0 e^{-r^2(\lambda - \lambda_0)^2} \quad (2.1)$$

де, $S_{\text{свд}}$ – спектральна щільність потужності випромінювання.

S_0 – спектральна щільність потужності при довжині хвилі λ_0 ;

$S_{\text{свд}}$ – нормована спектральна щільність потужності випромінювання світлодіоду;

γ – параметр, який визначає півширину спектру випромінювання;

λ – довжина хвилі оптичного випромінювання ;

λ_0 – центральна довжина хвилі випромінювання.

На рис 2.7 представлено апроксимовану функціональну залежність сонячного випромінювання в період активного випромінювання.

З 10:00 ранку до 15:00. Дані були зняти в зимовий час.

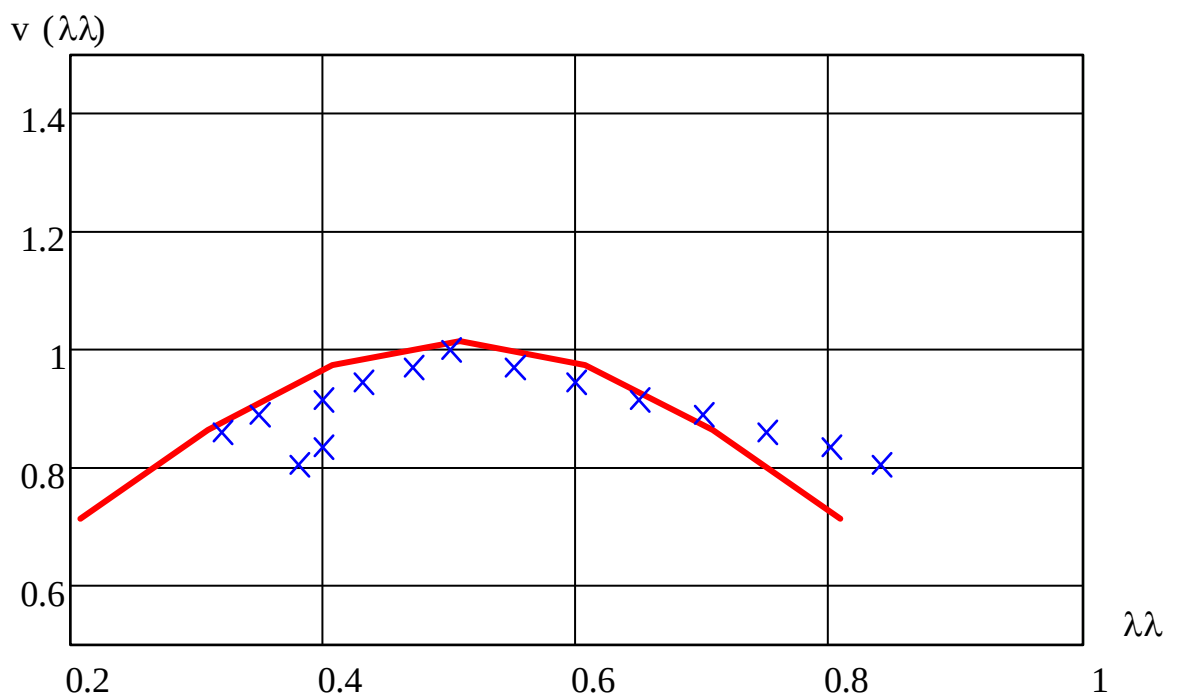


Рисунок 2.7 – Апроксимована функціональна залежність сонячного випромінювання

Отриманий результат апроксимованої залежності(див. рис. 2.7) було отримано за формулою (2.2)

$$\text{delta} = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{k=0}^n (Z_k - EE_k)^2} \quad (2.2)$$

n – кількість заданих масивів;

k – перерахунок масивів з 0 до 14;

Z_k – перерахунок залежності λ з апроксимованого результату.

EE_k – не апроксимоване значення випромінювання.

Виходячи з даної формули, отримано результат апроксимації (2.3)

$$\text{del_otn} = \frac{\text{delta}}{\frac{1}{n} * \sum_{k=0}^n EE_k} * 100\% = 7,88\% \quad (2.3)$$

delta – апроксимація випромінювання;

n – кількість заданих масивів;

k – перерахунок масивів з 0 до 14;

EE_k – не апроксимоване значення випромінювання.

Згідно підбору світлодіодів, було обрано світлодіод типу Samsung LM561C.

Даний світлодіод повністю перекриває функціональну залежність сонячного випромінювання, що представлено згідно розрахунків математичної моделі світлодіоду та сонячного випромінювання.

Результати математичних розрахунків представлено в Додаток Б.

Для вирощування культур томатів, згідно норм [8], сприятливий спектральний колір випромінювання є синій та червоний, апроксимацію синього кольору світлодіоду представлено на рис 2.8.

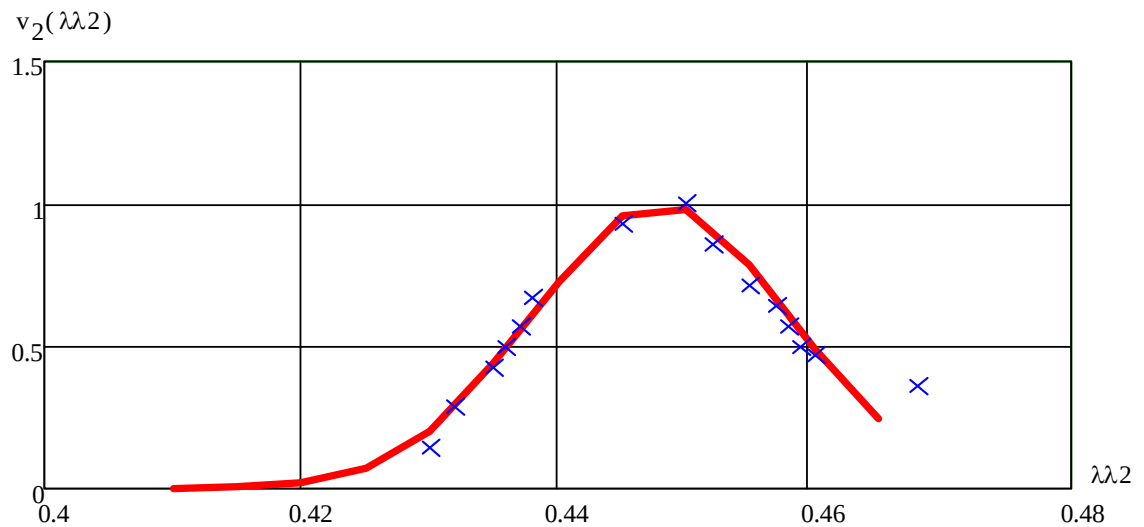


Рисунок 2.8 – Апроксимована функціональна залежність синього спектру світлодіоду

Отриманий результат апроксимованої залежності (див. рис. 2.8) було отримано за формулою (2.4):

$$\text{delta}2 = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{k=0}^n (Z2_k - EE2_k)^2} \quad (2.4)$$

n – кількість заданих масивів;

k – перерахунок масивів з 0 до 14;

$Z2_k$ – перерахунок залежності λ з апроксимованого результату.

$EE2_k$ – не апроксимоване значення випромінювання синього спектру.

Виходячи з даної формули, отримано результат апроксимації (2.5):

$$\text{del_otn}2 = \frac{\text{delta}2}{\frac{1}{n} * \sum_{k=0}^n EE2_k} * 100\% = 8,99\% \quad (2.5)$$

$\text{delta}2$ – апроксимація випромінювання;

n – кількість заданих масивів;

k – перерахунок масивів з 0 до 14;

$EE2_k$ – не апроксимоване значення випромінювання синього спектру.

Для вирощування культури томатів, згідно [8], культура потребує приближений до сонячного випромінювання спектр.

На рис 2.9 представлено апроксимовану залежність червоного за зеленого спектру світлодіоду.

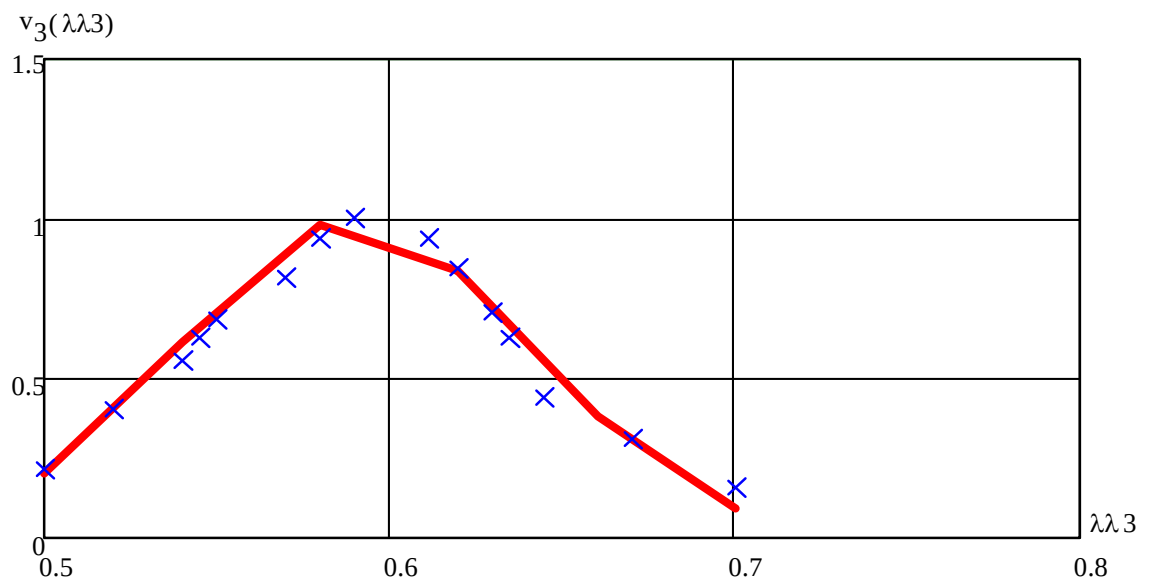


Рисунок 2.9 – Апроксимована функціональна залежність зеленого та червоного спектру

Отриманий результат апроксимованої залежності(див. рис. 2.9) було отримано за формулою (2.6)

$$\text{delta}3 = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{k=0}^n (Z3_k - EE3_k)^2} \quad (2.6)$$

n – кількість заданих масивів;

k – перерахунок масивів з 0 до 14;

$Z3_k$ – перерахунок залежності λ з апроксимованого результату.

$EE3_k$ – не апроксимоване значення випромінювання зеленого та червоного спектру

Виходячи з даної формули, отримано результат апроксимації (2.7)

$$del_otn3 = \frac{delta3}{\frac{1}{n} * \sum_{k=0}^n EE3_k} * 100\% = 9,05\% \quad (2.7)$$

delta3 – апроксимація випромінювання;

n – кількість заданих масивів;

k – перерахунок масивів з 0 до 14;

EE3_k – не апроксимоване значення випромінювання синього спектру.

Виходячи з представлених графіків апроксимації спектрального складу світлодіоду Samsung LM561C, було отримано спектральний склад світлодіодного освітлення, що представлено на рис. 2.10

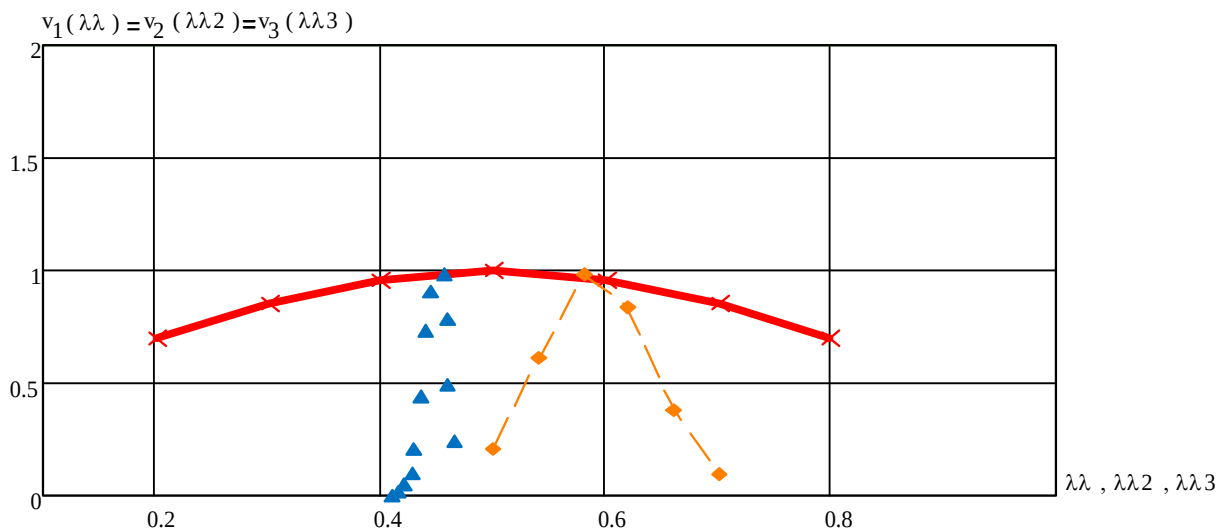


Рисунок 2.10 – Результати досліджень математичного моделювання

З представленого графіку, видно залежність того, що обраний світлодіод повністю перекриває сонячне випромінювання, що сприяє заміні нестачі сонячного випромінювання в зимовий період, та надає можливість активно використовувати даний модуль, в системі штучної досвітки різних тепличних культур.

На базі даного модуля можливо побудувати фітолампу певного спектрального складу.

Таким чином, на підставі проведених результатів досліджень була розроблена методика вибору спектрального складу випромінювання, для контролю спектральним складом фітолампи, для сприятливого росту певної культури.

2.4 Висновки

У ході розробки було отримано наступні результати:

1. Проаналізовано та обрано бюджетно-компонентну частину проекту.
2. Розроблено структурну схему.
3. Розроблено блок – схему роботи для побудови програмної частини проекту.
4. Проведено математичний аналіз інтенсивності випромінювання залежності сонячного випромінювання від світлодіодного.
5. Побудовано математичну модель системи штучної досвітки в залежності від спектрального складу кожного кольорового діапазону

3 РОЗРОБКА ТА ТЕСТУВАННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ

3.1 Моделювання Fuzzy Logic на базі програмного забезпечення Proteus

В роботі автора [12], описано процес моделювання системи. Для отримання результатів перед макетним представленням, проведено програмне моделювання в програмному забезпеченні Proteus.

Структурна схема моделі представлено на рис. 3.1. На вході підсумовується значення випадкових значень, для аналізу похибки моделі.

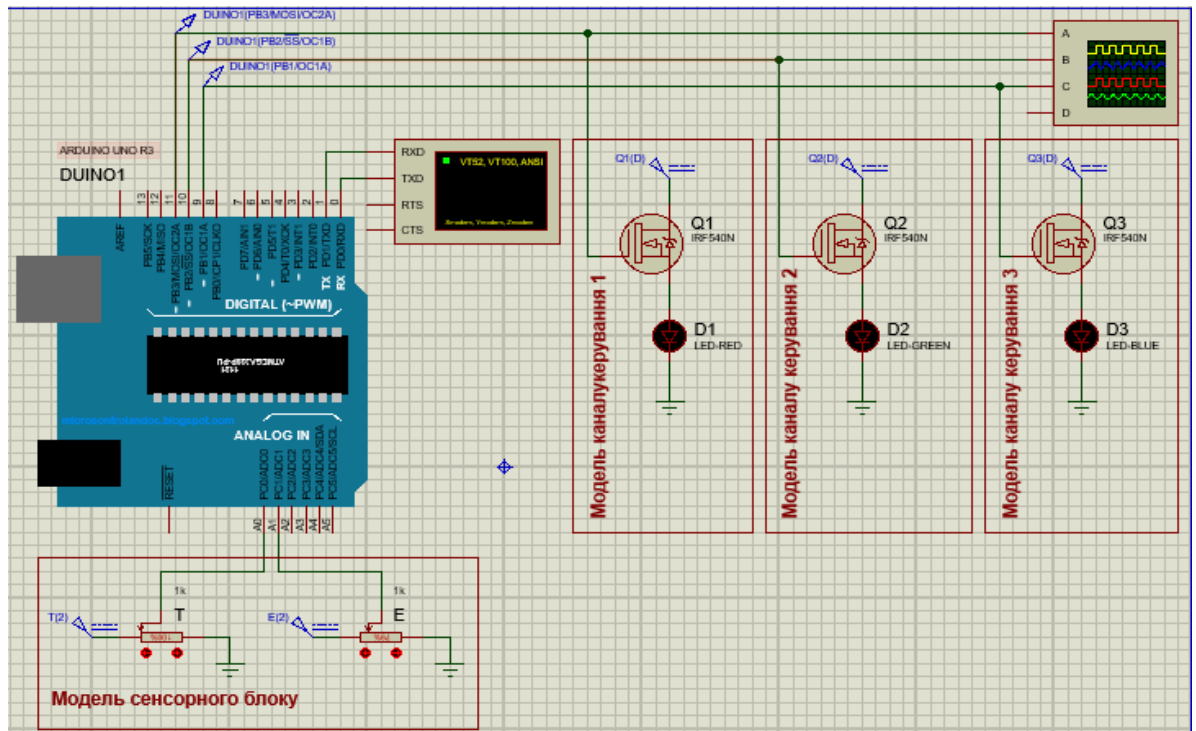


Рисунок 3.1 – Моделювання в програмному забезпеченні Proteus

В програмному забезпеченні Proteus, відсутні цифрові потенціометри для проведення моделі, так, як ці потенціометри побудовані на транзисторній логіці, зміним компонентом в моделюванні будуть, транзистори n-p-n.

В макетному представленні будуть використані цифрові потенціометри X9C104.

На кожному каналі світлодіодної матриці, встановлено транзистори для корегуванням спектрального складу світлодіодів.

3.2 Побудова бази правил в Matlab & Simulink

На підставі фазифікацій вхідних та вихідних змінних які представлені на рис. 1.21 та визначення функції нечіткого регулятора, згідно вимог до технології [1], вирощування овочевих культур в приміщеннях закритого ґрунту, сформовано логічну базу правил вимірювання й виведення на спектральну складову світлодіодного освітлення:

1. ЯКЩО $T=T1$ та $E=E1$, то $SPECTRUM = 3B$;
2. ЯКЩО $T=T1$ та $E=E2$, то $SPECTRUM = 2B$;
3. ЯКЩО $T=T1$ та $E=E3$, то $SPECTRUM = 0B$;
4. ЯКЩО $T=T1$ та $E=E4$, то $SPECTRUM = 0B$;
5. ЯКЩО $T=T1$ та $E=E5$, то $SPECTRUM = 0B$;
6. ЯКЩО $T=T2$ та $E=E5$, то $SPECTRUM = 0B$;
7. ЯКЩО $T=T2$ та $E=E4$, то $SPECTRUM = 0B$;
8. ЯКЩО $T=T2$ та $E=E3$, то $SPECTRUM = 0B$;
9. ЯКЩО $T=T2$ та $E=E2$, то $SPECTRUM = 3B$;
10. ЯКЩО $T=T2$ та $E=E1$, то $SPECTRUM = 4B$;
11. ЯКЩО $T=T3$ та $E=E1$, то $SPECTRUM = 5B$;
12. ЯКЩО $T=T3$ та $E=E2$, то $SPECTRUM = 4B$;
13. ЯКЩО $T=T3$ та $E=E3$, то $SPECTRUM = 1B$;
14. ЯКЩО $T=T3$ та $E=E4$, то $SPECTRUM = 0B$;
15. ЯКЩО $T=T3$ та $E=E5$, то $SPECTRUM = 0B$;
16. ЯКЩО $T=T4$ та $E=E5$, то $SPECTRUM = 1B$;
17. ЯКЩО $T=T4$ та $E=E4$, то $SPECTRUM = 1B$;
18. ЯКЩО $T=T4$ та $E=E3$, то $SPECTRUM = 0B$;
19. ЯКЩО $T=T4$ та $E=E2$, то $SPECTRUM = 3B$;
20. ЯКЩО $T=T4$ та $E=E1$, то $SPECTRUM = 4B$;

- 21.ЯКЩО $T=T5$ та $E=E1$, то $SPECTRUM = 3B$;
- 22.ЯКЩО $T=T5$ та $E=E2$, то $SPECTRUM = 2B$;
- 23.ЯКЩО $T=T5$ та $E=E3$, то $SPECTRUM = 0B$;
- 24.ЯКЩО $T=T5$ та $E=E4$, то $SPECTRUM = 1B$;
- 25.ЯКЩО $T=T5$ та $E=E5$, то $SPECTRUM = 1B$;

Розроблена база правил нечіткої логіки, задовольняє технічним вимогам вирощування тепличних культур, там використовується під час розробки програмного блоку досліджуваної системи.

На рис. 3.2 представлено моделювання записаної бази правил в графічному вигляді на певних діапазонах вимірювання входних параметрів.

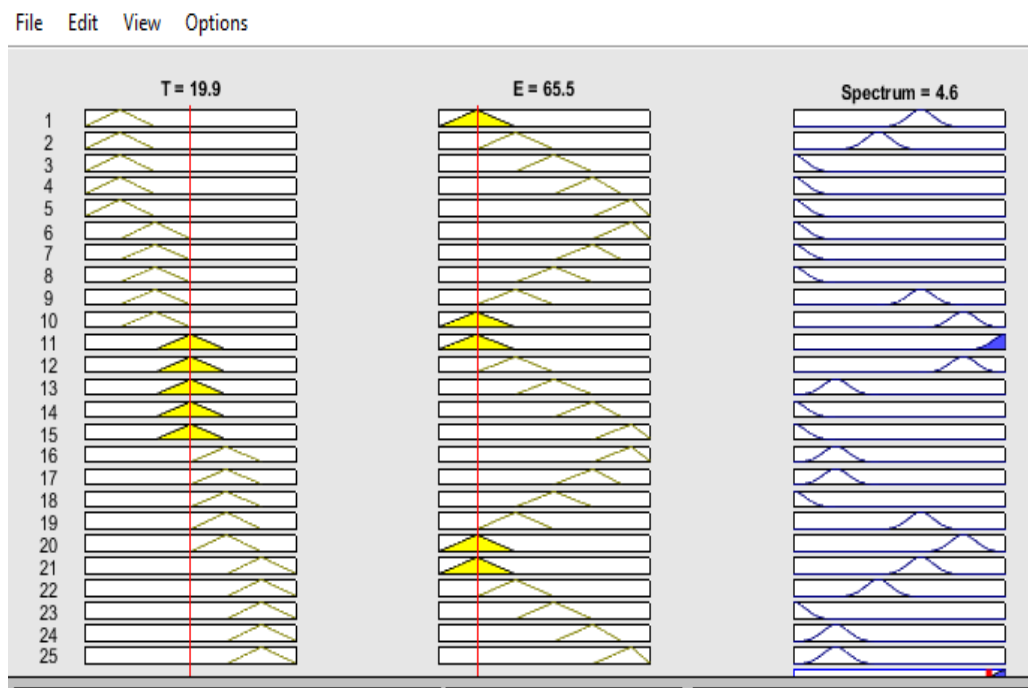


Рисунок 3.2 – Моделювання бази правил в нічний час

Виходячи з моделювання системи в нічний час, спостерігається ввімкнення системи штучної досвітки у зв'язку з сприятливими умовами температурного режиму теплиці, та недостатньої кількості освітлення для формування пігментів та фотосинтезу культури.

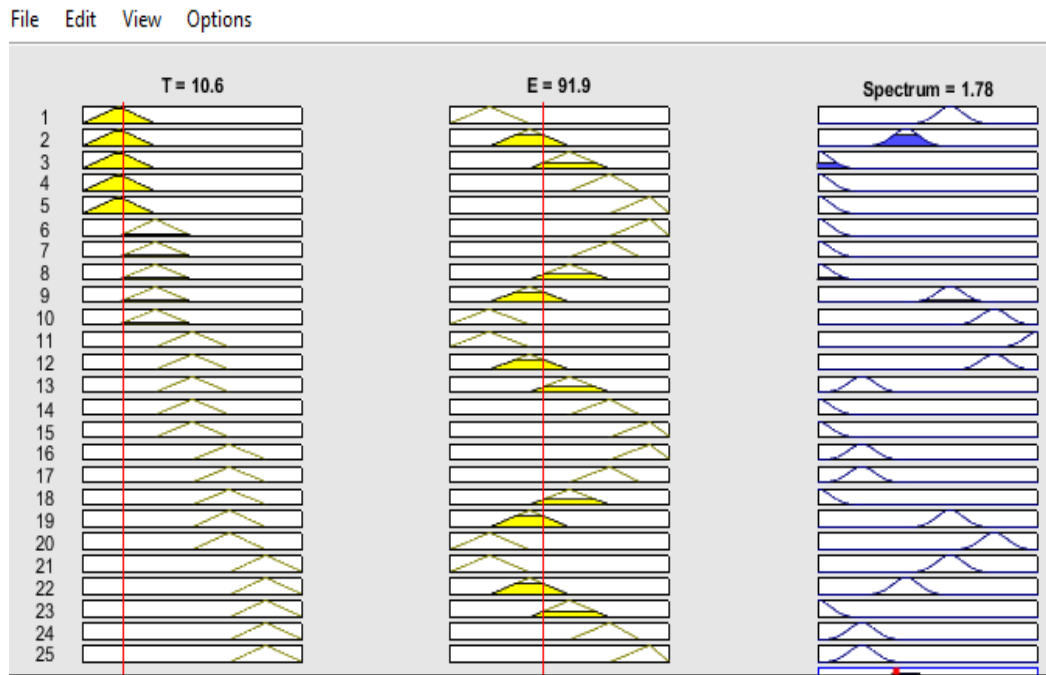


Рисунок 3.3 – Моделювання бази правил в вечірній час

Проведено модуляцію бази правил в вечірній час(див. рис. 3.3). Температурний режим знаходиться на відмітці 10,6 C°, що є низькою температурою для тепличних культур, та рівень освітлення 91,9 люкс. Система вмикається на 3 рівні записаної бази правил, у зв'язку з тим, що сприятлива температура приміщення не досягнута на заданий сприятливий рівень.

3.3 Результати отриманих випробувань з моделювання системи

У зв'язку з відсутністю бібліотек датчиків освітлення й температури, для моделювання використано потенціометри.

Зі зміною вхідних даних, змінюється вихідний параметр.

На виході віртуального терміналу, видно дані, які зчитуються з кожного вхідного параметру(Т – температура, Е – рівень освітленості, в приміщенні), див. рис 3.4. Зі зміною одного с параметрів мікроклімату, згідно записаної бази правил, змінюється вихідний спектральний склад на кожному з світлодіоду.

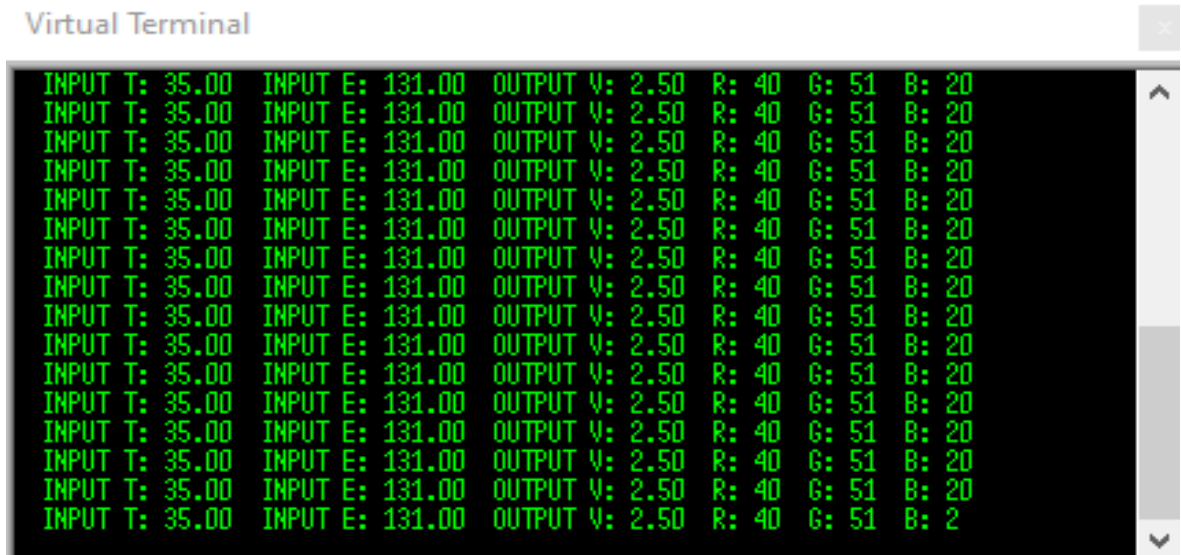


Рисунок 3.4 – Вивід результатів в віртуальному терміналі

Встановлення значення показників вхідних змін $T - 35^{\circ}\text{C}$, та E-131лк. Згідно записаної бази правил отримуємо на виході регулювання спектральним значенням кожного світлодіода в певному спектрально складі. За висновками проведення моделювання отримано осцилограми роботи, див. рис. 3.5.

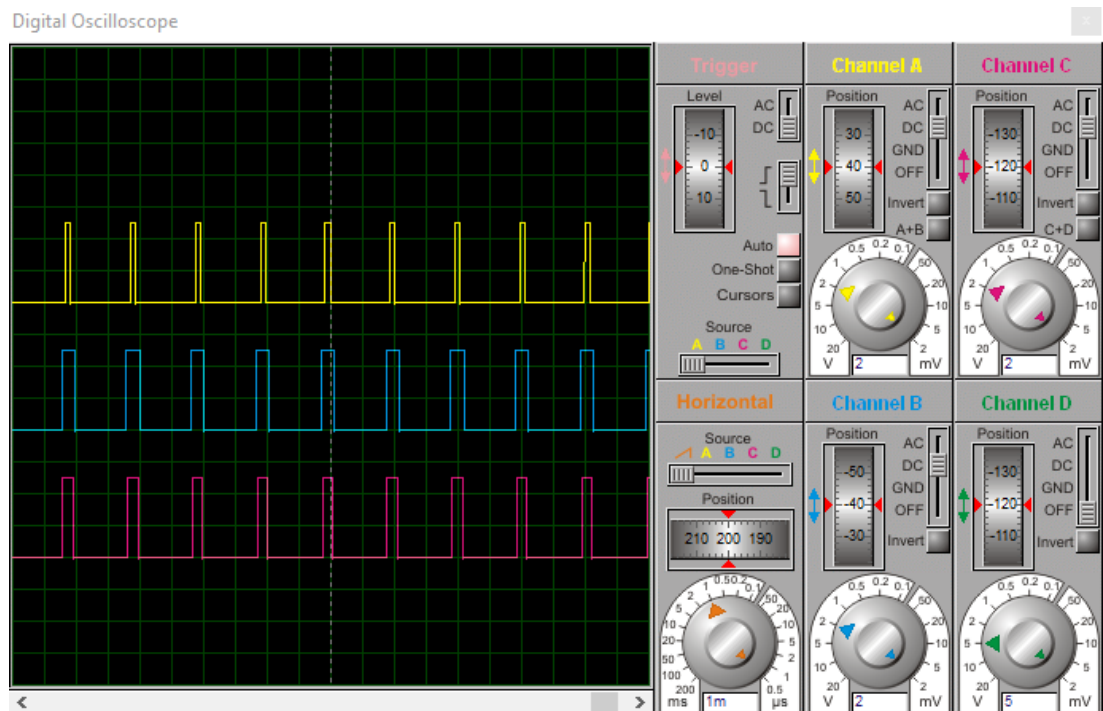


Рисунок 3.5 – Осцилограма роботи згідно отриманих вхідних результатів

Було проведено моделювання згідно встановлення інших показників, для перевірки всього діапазону бази правил.

Отримано результати на осцилограмі та віртуальному порту, див. рис. 3.6. З осцилограм роботи видно, що кожний світлодіод вмикається в залежності в його заданій базі правил.

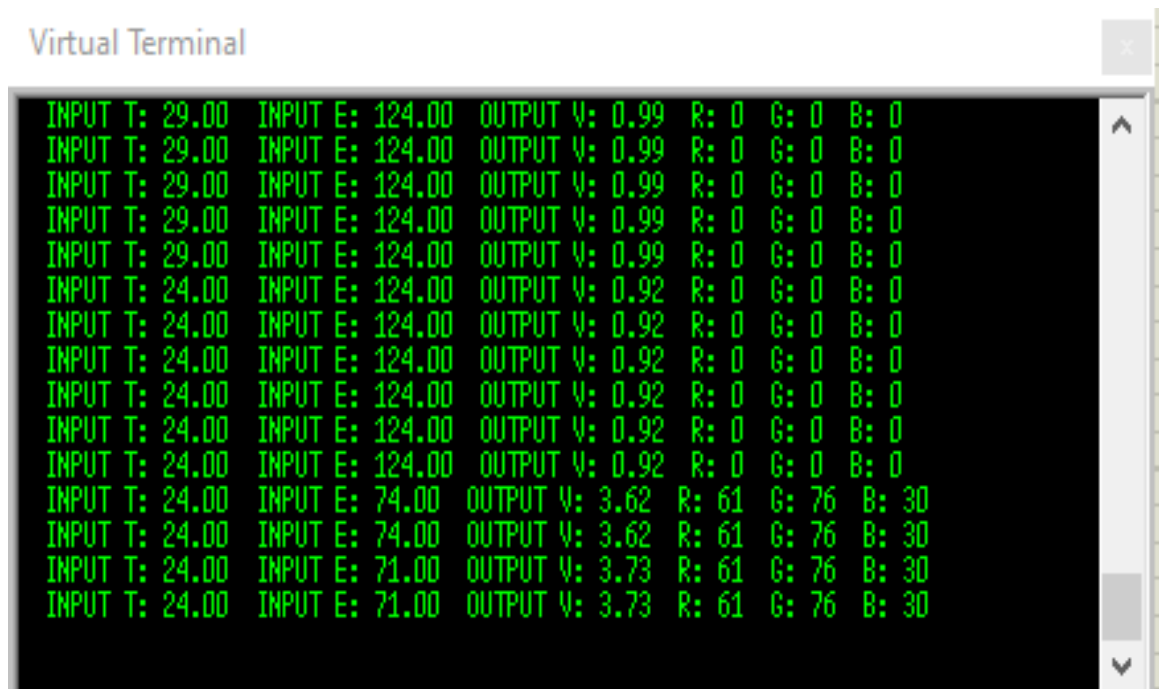


Рисунок 3.6 – Проведення аналізу на різних рівнях кліматичних умов

Результат проведеного моделювання представлено на рис.3.7. З осцилограми роботи, спостерігається ввімкнення спектрального складу світлодіодів згідно записаної бази правил.

Тобто, система вмикає світлодіодне освітлення майже на максимальний рівень, для підвищення рівня освітленості в приміщеннях закритого ґрунту, та підтримки мікроклімату. З осцилограми роботи спостерігається, що максимальна напруга на керування спектральним складом, припадає на червоний та синій спектр згідно загальноприйнятих норм [9], керуванням спектральним складом освітлення.

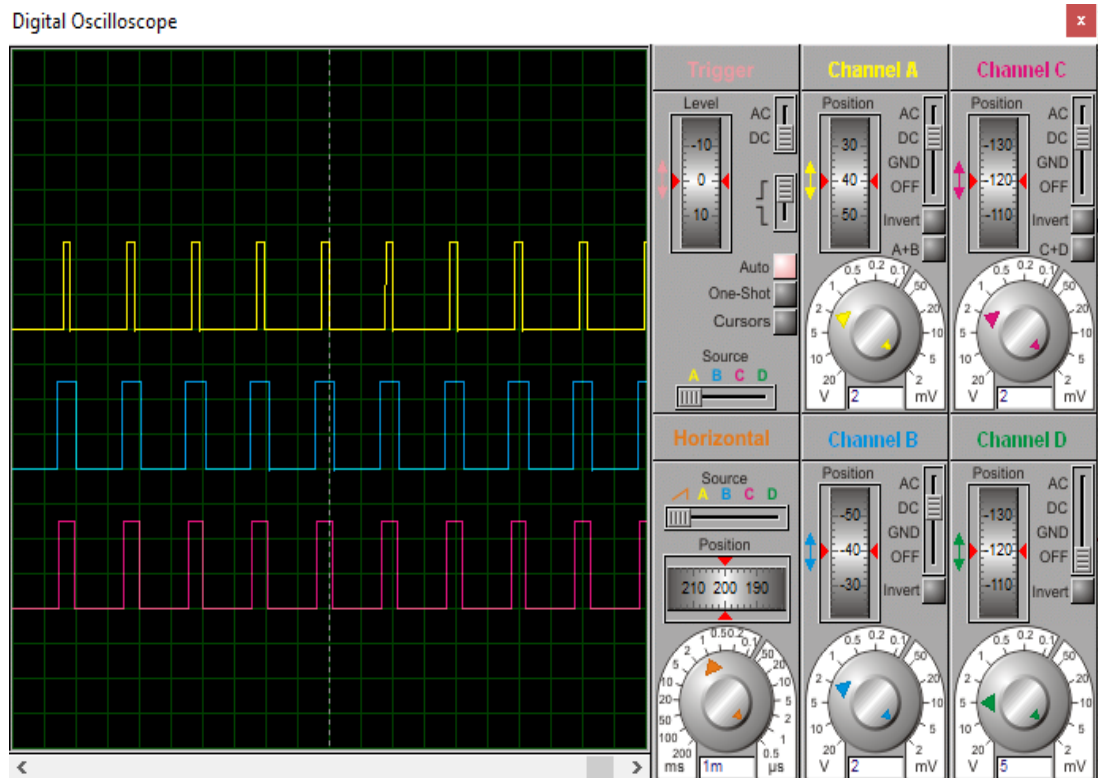


Рисунок 3.7 – Осцилограми роботи

З представленої осцилограми видно, що світлодіодне освітлення працює майже в максимальному діапазоні, тобто ввімкнення системи штучної досвітки відбувається на максимальних її значеннях.

Також було проведено моделювання в умовах недостатньої кількості сонячного світла, та задовільної температури повітря, осцилограми роботи представлено на рис. 3.9.

Також на рис.3.8 представлено задані дані з умов недостатнього рівня освітленості. З отриманого графіку видно, що на виході маємо спектральну складову кожного світлодіоду.

Тобто, спектр світлодіода R – складає 61%, G – 76%, B – 30%. Виходячи з отриманого результату, спостерігаємо, що записана база правил в Matlab & Simulink, працює згідно свого алгоритму.

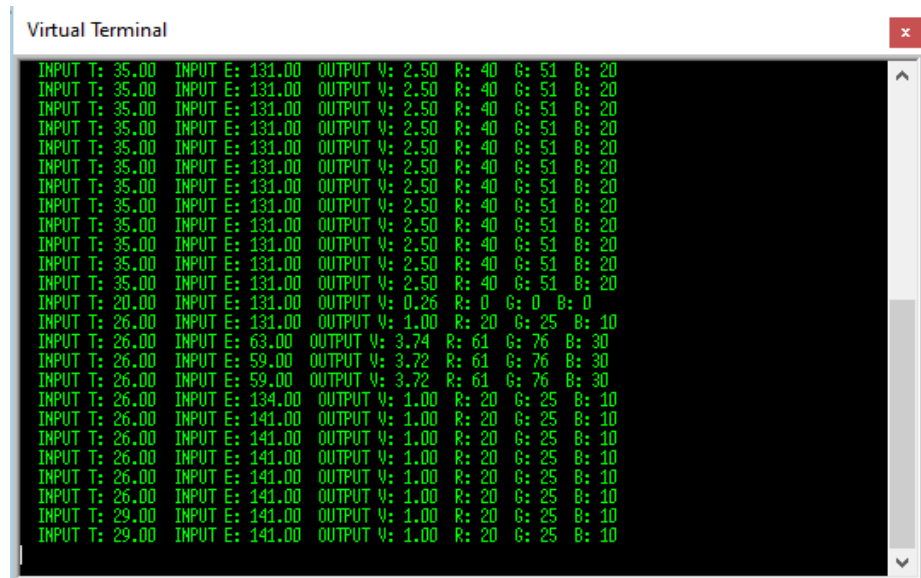


Рисунок 3.8 – Результат вимірювання в недостатньому рівні освітленості

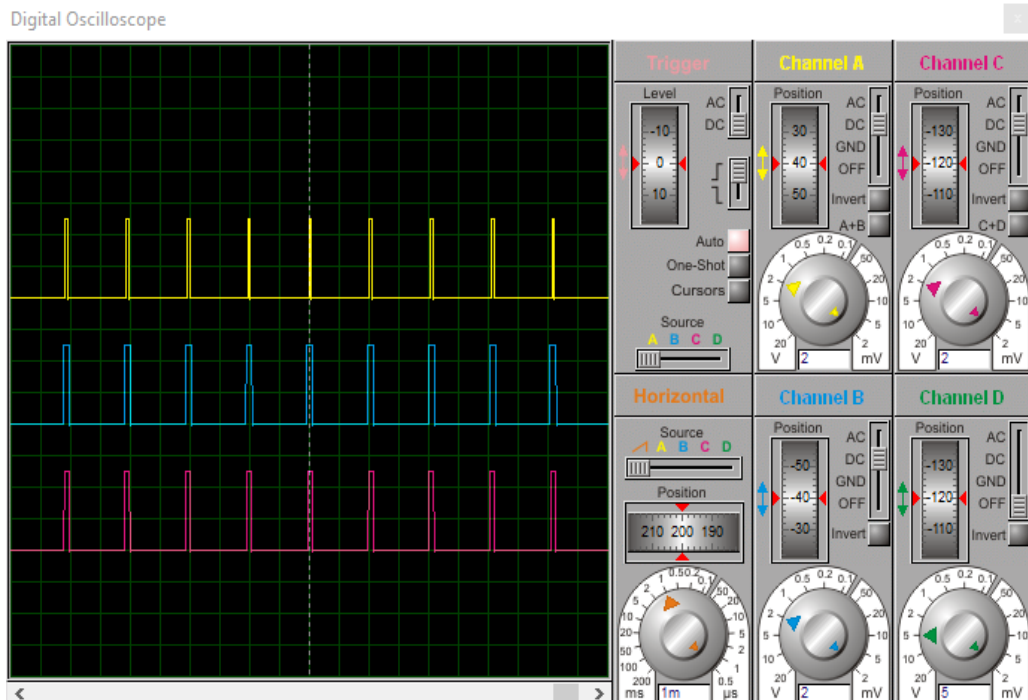


Рисунок 3.9 – Осцилограми роботи на виході

З осцилограми роботи спостерігається різні світлові рівня кімнатного рівня освітленості, на що система реагує та проводить потрібний рівень спектральної досвітки різних типів культур.

3.4 Висновки

У ході розробки моделювання виконано:

- Проведено моделювання системи Fuzzy logic моделі в програмного забезпеченні Proteus, із заміною основних компонентів на спрощену логічну альтернативу, для перевірки працездатності системи.

- Виходячи з моделювання, база правил працює стабільно, з мінімальною похибкою. Було проведено дослідження в різних мікрокліматичних умовах. Світлодіодне освітлення працює згідно заданої системи, в певному спектральному складі.

Для отримання більш стабільного результату буде проведено макетне дослідження з використанням датчик рівня температури, освітленості в приміщенні, цифровим потенціометром.

Отримано задовільні результати моделювання, що дозволяє проводити макетно-апаратну частину з використанням повної бази компонентів, що описані в проекті.

4 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ МАКЕТНОГО ЗРАЗКА ДОСЛІДЖУВАНОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ.

4.1 Проектування макетного корпусу системи штучної досвітки

Розроблений пристрій складає з себе, 2 основних блоків.

- блок контролеру;
- блок апаратної частини (цифровий потенціометр, перетворювач напруги);

Відображення інформації буде відбуватися на моніторі оператора. Схема розробленої конструкції представлено на рис. 4.1.

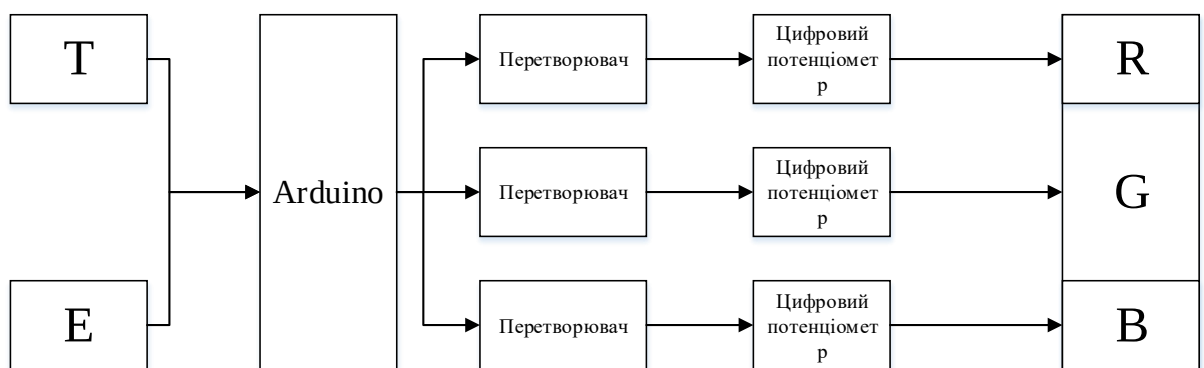


Рисунок 4.1 – Схема розробки конструкції

Виходячи з даної схеми :

Т – датчик температури;

Е – датчик рівня освітленості приміщення;

Arduino – використаний мікроконтролер в роботі;

З схеми спостерігається зчитування з датчиків температури та освітлення, подається сигнал на мікроконтролер та відбувається генерування записаної бази правил, для відтворення можливості корегування спектральним освітленням згідно заданих норм.

4.2 Результати розробки та реалізації фізичної моделі спектральної досвітки тепличних культур

Розроблено систему з урахування розмірів та вирощуваних культур в теплиці.

Таким чином, при побудові системи були враховані всі зміни в мікрокліматі приміщення.

Модель логічних правил побудовано з необхідністю досвічування тепличних культур, через недостатню кількість проникнення світлових потоків сонячної енергії в приміщення закритого ґрунту.

У зв'язку з цим, спостерігається отримання неякісного врожаю.

В результаті аналізу отриманих даних, встановлено необхідність в штучному світлодіодному освітленні.

Останнім часом, рекомендується використовувати саме світлодіодне освітлення, за для запобігання обгорання листків рослини, та отримання певного джерела енергії в потрібному спектральному співвідношенні.

Проектування основних правил було здійснено на підставі аналізу світлового потоку, згідно нормативних документів.

Таким чином, наведений макетний зразок, представлено на рис. 4.2.

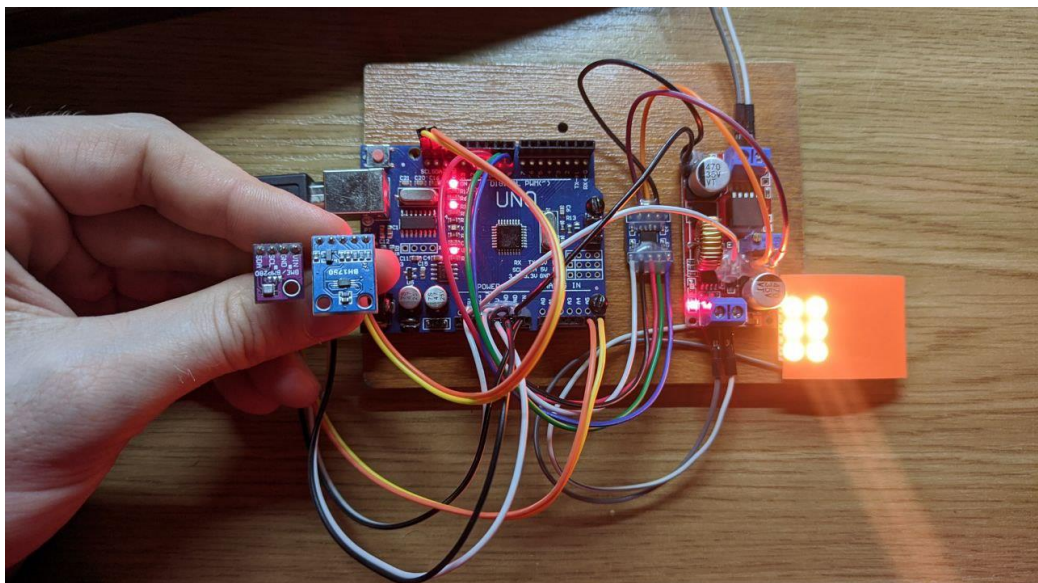


Рисунок 4.2 – Розроблений макетний зразок системи штучної досвітки

Динаміку вимірювання з вхідних параметрів на роботу проекту представлено з даних які виходять на цифровий COM – порт, та спостерігається динаміка регулюючого вихідного сигналу, див. рис.4.3.

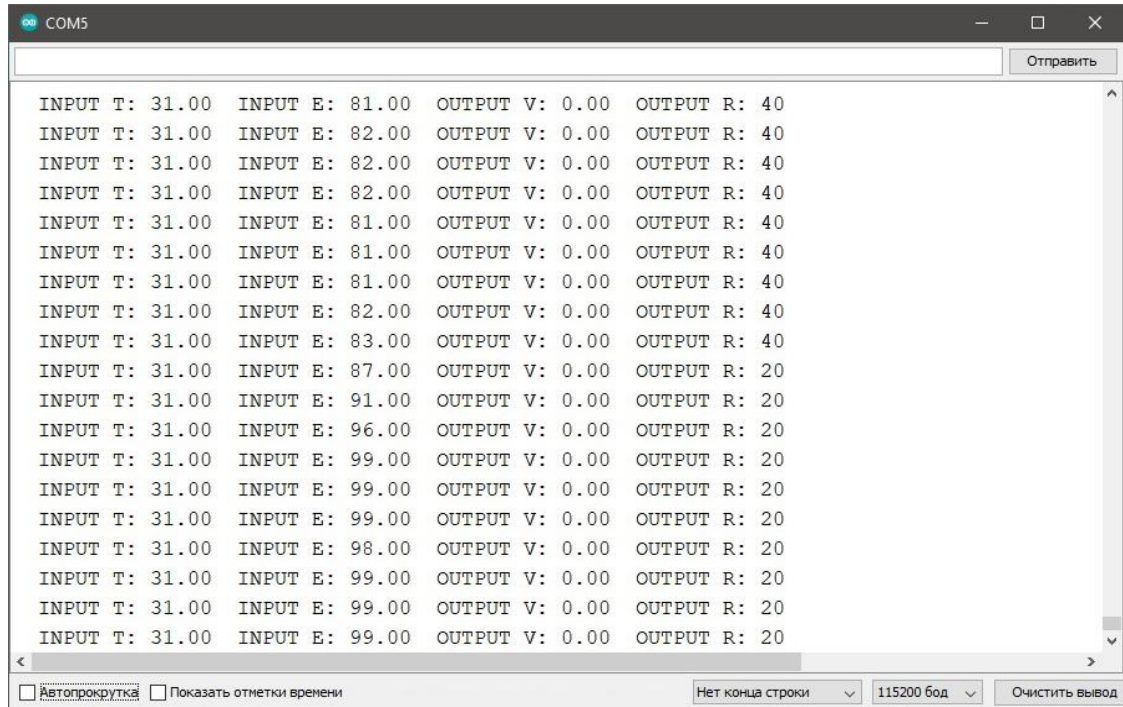


Рисунок 4.3 – Відображення функціональності системи

Також проведено дослідження з різною динамікою вимірювання показників які приходять на два входи.

Система провела аналіз записаних результатів на протязі доби, результат представлений на рис. 4.4.

На вході зчитується параметри температури та рівня освітленості, на виході маємо регульований спектральний склад.

З рис.4.4 спостерігається відносний приріст температурного режиму, та відносно добову норму рівня освітленості в % співвідношенні, на виході маємо повне вимкнення систему у зв'язку з підвищеними показниками мікроклімату приміщення.

Виходячи з проведеного аналізу спостерігається функціональність системи та записаної бази нечітких правил.

Дані представлено в COM порту програмного забезпечення Arduino IDE.

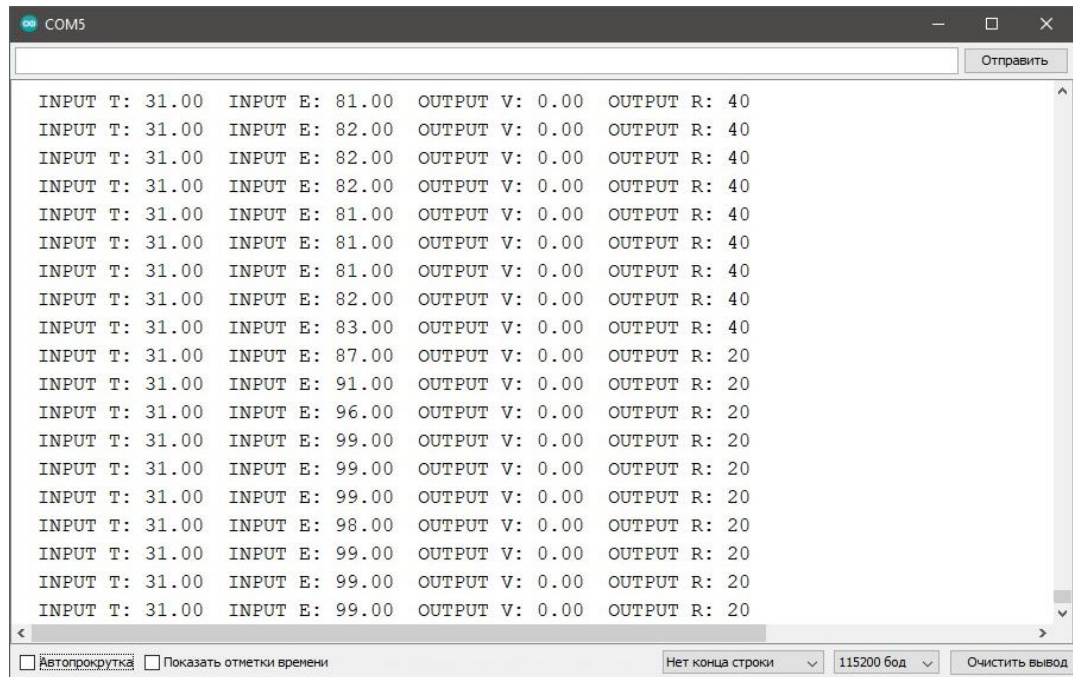


Рисунок 4.4 – Відображення функціональності системи через COM – порт

З отриманих даних можливо робити висновок, що система працездатна на виконанні заданих їй функціонал.

З результату маємо відображення роботи бази правил на використаному мікроконтролері, база правил працює згідно записаних даних. Згідно отриманих даних, та проведення експерименту, отримано таблицю записаних даних, що відображається графічно, див. рис 4.5.

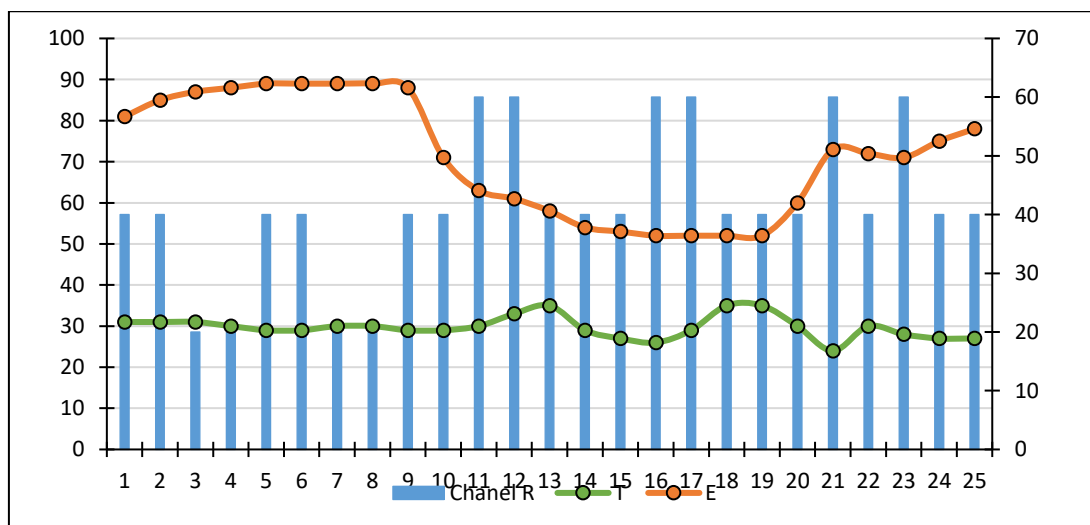


Рисунок 4.5 – Графічне відображення таблиці записаних даних

4.3 Аналіз розробленої системи

Апаратна частина створена з урахуванням мінімальних економічних витрат на обладнання, за умови збереження функціональних показників на потрібному технічному рівні, яка складається з наступних компонентів:

- мікроконтролер Arduino:
- датчик температури BME 280:
- датчик вимірювання рівня освітленості (лк) BH1750:
- цифровий потенціометр X9C104:

На підставі аналізу проведеної роботи, що реалізований функціонал побудови системи штучного досвічування на базі мікроконтролеру Arduino, та побудови моделі нечіткої бази правил на базі Matlab & Simulink for Fuzzy Logic Toolbox.

Можливо визначити подальші наукові дослідження з вивченням мікроклімату теплиці; по виявленню закономірностей взаємного впливу параметрів на показники вирощування тепличної продукції; вдосконалення існуючої й створення нової системи досвітки з використанням системи віддаленого керування та моніторингу системи дистанційно. Представлено результати макетного зразка у вигляді даних які виходять з вхідних параметрів Т- температури, Е – рівня освітленості. Дані представлено в COM порту програмного забезпечення Arduino IDE.

Реалізація заявлених напрямів досліджень дозволить поліпшити показники врожайності в автоматичному режиму без участі людини, як об'єкту контролю та втручання в процес врожайності. Буде підвищено рівень врожайності тепличних культур. Забезпечення врожайності тепличних культур згідно ДСТУ.

4.4 Висновок проведеної роботи

В результаті розробки проекту на базі Matlab & Simulink for Fuzzy Logic Toolbox з використанням цифрового потенціометру, було отримані наступні результати:

1. Розроблено модель в програмному забезпеченні Matlab з використанням 5-ти рівневих гаусових функцій для плавного переходу між заданими діапазонами.
2. Розроблено принципову схему для візуального сприйняття схеми в схемо - технічному рішенні.
3. Розроблено схему конструкції, що відображає кожний блок макетного зразка.
4. Апаратна частина була розроблена на базі бюджетного мікроконтролеру Arduino Uno. Розроблено макетний зразок системи штучної досвітки на базі нечіткої логіки.

На базі даного макету можливий подальший розвиток, з використанням бездротової системи та передачею даних по мережі Wi-fi.

ВИСНОВКИ

Було проведено аналіз методів вимірювання рівня інтенсивності.. Проведено аналіз основних параметрів освітлення. Встановлено, який параметр є найбільш інформативним з точки зору розробки агротехнічних прийомів по догляду за рослинами. Виконано аналіз теплиць як об'єкту контролю. Проведено аналіз існуючих пристроїв вимірювання рівня освітлення.

Виконано аналіз спектрального поглинання рослинами. Виконано аналіз основних переваг та недоліків існуючих розробок на базі Matlab & Simulink for Fuzzy Logic Toolbox. Виходячи з аналізу були визначені основні напрямки розробки моделі електронного пристрою електричної освітленості в умовах тепличних культур. Проведено аналіз розробок з використанням цифрового потенціометру. Задані задачі на наступні розробки. Проведено аналіз розрахунку потенціометра у схеми включення схеми.

Згідно проведеного аналізу, автори проектів не врахували такі факти, як спектральний склад.

Вдосконалення розробки мого проекту дозволить підвищити рівень врожайності тепличних культур. Буде відбуватися регулювання світлових потоків за допомогою цифрового потенціометра. Було розроблено модель електронного пристрою на базі Matlab & Simulink for Fuzzy Logic Toolbox. Розроблена база правил задовольняє загальноприйнятим нормам та дозволяє виконувати подальші розробки на базі нечіткої бази правил.

Підібрано компоненти бюджетного профілю для економічних витрат. Було проведено моделювання системи. Згідно результатів моделювання, розроблено макетно-апаратну частину.

Наукова новизна одержаних результатів магістерської роботи:

Розроблено математичну модель досліджуваної електронної системи. Представлено функціональне моделювання в програмному забезпеченні Proteus. Розроблена нечітка база правил за допомогою Matlab & Simulink for fuzzy logic Toolbox.

Практична значущість представленої роботи на здобуття освітнього ступеня «Магістр»:

Розроблено макетно-апаратну частину роботи. Представлено її функціонування в різних світлових та температурних режимах. Представлено, що система справна та надає заданий результат.

Розроблено нечітку базу правил в програмному забезпеченні Matlab & Simulink for fuzzy logic Toolbox, проведено модулювання блокового програмування. Обрано бюджетну компонентну базу, для мінімальних витрат на розробці проекту.

Було вирішено мету й дослідження поставленої задачі. Проведено експериментальні дослідження розробленої мікропроцесорної системи керування освітленням зони вирощування тепличних культур у видимому діапазоні, що було отримано на підставі методів та розрахунків структурних блоків електронних систем; методики математичного планування; методів імітаційного моделювання

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Б.В.Вередченко, А.Я.Мазуров, В.И.Бондарев, В.П.Шарупич, Т.С.Шарупич, Т.И.Федорищева. Нормы технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады. 01.07.1996
2. Люксметри і принцип їх роботи. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://simvolt.ua/sovremennye-lyuksmetry-nadezhnyy-kontrol-osveschennosti-v-lyubyyh-usloviyah.html>. – Загл. з екрану.
3. Датчик рівня освітленості. [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://www.kit-e.ru/articles/sensor/2006_7_68.php. – Загл. з екрану.
4. Л. Червінський, Т. Книжка, О. Романенко. Обґрунтування ефективного світлодіодного освітлення у спорудах закритого ґрунту. Науковий вісник НУБП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. Київ, 2017. С.111-118.
5. T.A. Izzuddin, M.A. Johari, M. Z. A Rashid and M. H Jali: smart irrigation using fuzzy logic method. ARPN J. of Eng. and App. Sc. – 2018. Vol. 13, No. 2. – P. 1 – 6.
6. Arvin H. Fernando, Argel A. Bandala, Laurence A. Gan Lim, Archie B. Maglaya, Nadine Ledesma, Ryan Rhay Vicerra, Jeremias Gonzaga, University Manila 2401 Taft Ave. Manila Philippines. – 2017.
7. Боричевський В.В., Лактіонов І.С., Розробка електронного пристрою моніторингу електричної освітленості споруд захищеного ґрунту. Випускна кваліфікаційна робота. Покровськ 2020
8. O. Vovna, I. Laktionov, S. Sukach, M. Kabanets, E. Cherevko. Method of adaptive control of effective energy lighting of greenhouses in the visible optical range. Bulg. Journal of Agricultural Science. Vol. 24, no. 2. (2018). P. 335–340.
9. 12. A.J. Both, L. Benjamin, J. Franklin, G. Holroyd, L.D. Incoll, M.G. Lefsrud, G. Pitkin. Guidelines for measuring and reporting environmental parameters for experiments in greenhouses. Plant Methods. 2015. Vol. 11. P. 1–18
10. Hairol Nizam Mohd Shah, Mohd Fairus Abdollah , Zalina Kamis , Mohd Shahrieel Mohd Aras , Mohd Rizuan Baharon , Muhammad Zakwan Akmal

Sallehoddin: Develop and implementation of PC based controller for humanoid robot using digital potentiometer, Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science Vol. 15, No. 1, July 2019, P. 104-112

11. Application Note 226 Step-Up DC-DC Converter Calibration and Adjustment Using a Digital Potentiometer. . [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/app-notes/2/225.html> - Загл. з екрану.

12. Боричевський В, Лактіонов І.. Мікропроцесорна система моніторингу й керування штучним досвічуванням тепличних культур на базі Matlab & Simulink for Fuzzy Logic Toolbox, VI Всеукраїнська науково – технічна конференція молодих учених, аспірантів та студентів «Автоматизація, контроль та управління: пошук ідей та рішень» (АКУ – 2020). (м. Покровськ ,21 травня 2020 р.). Покровськ, 2020. – С. 29 - 32.

ДОДАТОК А

Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу й організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення в якому знаходиться робоче місце з ПК повинно мати природне освітлення, бажано з одnobічним розміщенням світопрорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світопрорізами. Віконні прорізи в приміщенні з ПК повинні мати регульовані жалюзі чи занавеси або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць із ПК у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з ПК рекомендується розміщати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з ПК повинна складати 6 м², об'єм – 20 м³. Неприпустиме розташування ПК, при якому працюючий звернений обличчям, або спиною до вікон чи кімнати задньої частини ПК, у яку монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень із ПК полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені в «Перелік дозволених», МЗ» 1977-1985 р.

В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами складає 3 м. Екрани відеомоніторів ПК знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення (S=21 м², V=73,5 м³) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 метрів від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-

поворотнім пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння і спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

A.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентильовання. Витрату повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)}, \quad (\text{A.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.; c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг);

p – обсягова вага повітря (1,226 кг/м³);

t_B – температура витяжного повітря (30°C);

t_H – температура приточного повітря (20°C).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла за наступною формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{A.2})$$

де $Q_{\text{УСТ}}$ – виділення тепла від устаткування;

$Q_{\text{ПЕР}}$ – виділення тепла робітниками;

$Q_{\text{ОСВ}}$ – надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{\text{СР}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_o \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95);

K_o – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{уст} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_o \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год} \end{aligned}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{пер} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год} \quad (\text{A.4})$$

де n – кількість працюючих;

g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{осв} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год} \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк;

g_1 – питоме тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для / люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.);

S – площа приміщення, м².

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна за наступною формулою:

$$Q_{сп} = F \cdot g_2 \cdot K_{осл} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год} \quad (\text{A.6})$$

де F – площа віконних прорізів ($3 \times 2,5 = 7,5 \text{ м}^2$);

g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м^2 віконного прорізу (65 ккал/год.);

$K_{осл}$ – коефіцієнт ослаблення, приймаємо $0,4$.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{НАД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{ОСВ} + Q_{СР} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{НАД}}{c \cdot \rho \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{ год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність $2200 \text{ куб. м./годину}$, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати $(22 - 24)$ градуса за Цельсієм, $0,1$ метра в секунду та $40-60 \%$ відповідно. При збереженні всім параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати $(23 - 25)$ градусів Цельсія, рухливість повітря $(0,1 - 0,2)$ метрів секунду, вологість $(40 - 60) \%$. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

А.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($h=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{стелі} = 70 \%$, $P_{стін} = 50 \%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути у межах (2,5–4,0) м, залежно від характеристики світильника. В лабораторії виміральної техніки та науково-дослідному відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,5 - 0,4 = 2,8 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,8 = 2,0 \text{ м.}$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{2^2} = 6.$$

Приймаємо 6 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 3 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк;

K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15);

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 (при $i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

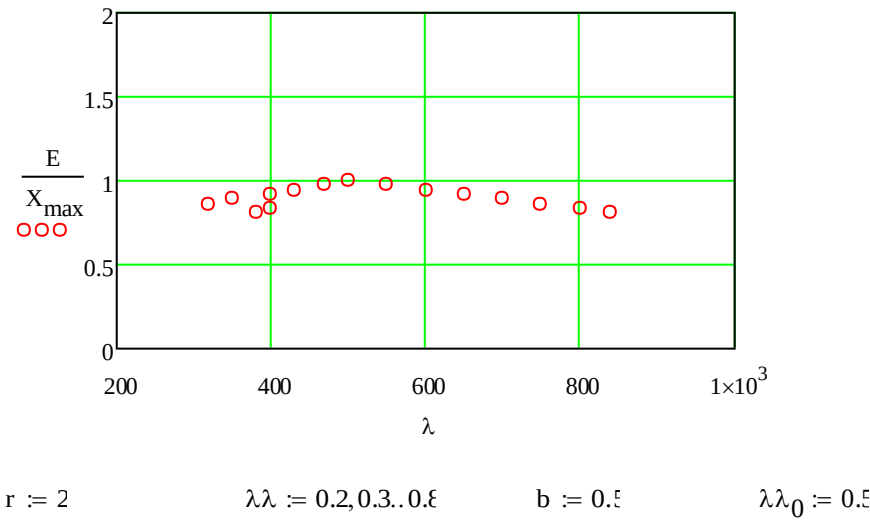
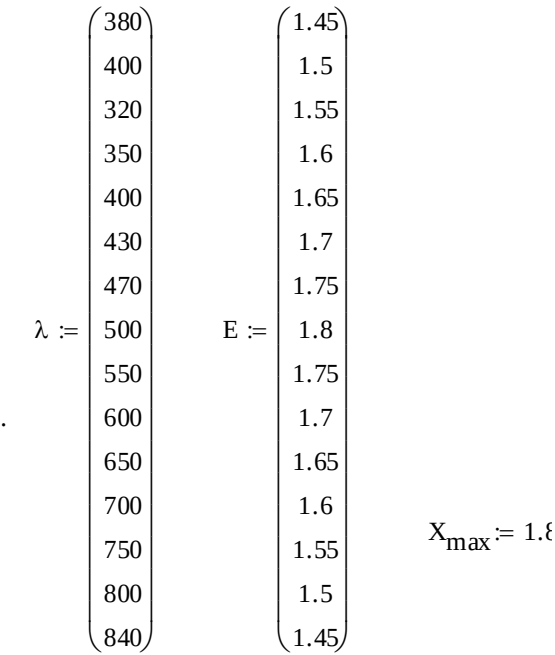
9) обираємо лампу Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої становить 2100 лм. Хоча це значення на 18% більше розрахованого, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 6 = 900 \text{ Вт.}$$

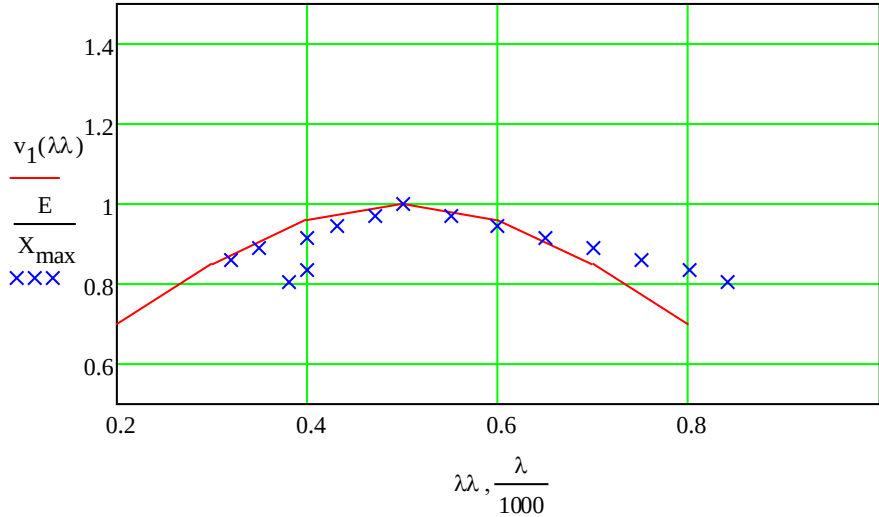
ДОДАТОК Б

Лістинг розрахунку математичної моделі в програмному забезпеченні

MATCHAD



$$v_1(\lambda\lambda) := e^{-r^2(\lambda\lambda - \lambda\lambda_0)^2}$$



$Z :=$

$v_1(0.28)$
$v_1(0.3)$
$v_1(0.32)$
$v_1(0.35)$
$v_1(0.4)$
$v_1(0.43)$
$v_1(0.47)$
$v_1(0.50)$
$v_1(0.55)$
$v_1(0.6)$
$v_1(0.65)$
$v_1(0.7)$
$v_1(0.75)$
$v_1(0.8)$
$v_1(0.85)$

$Z =$

	0
0	0.824
1	0.852
2	0.878
3	0.914
4	0.961
5	0.981
6	0.996
7	1
8	0.99
9	0.961
10	0.914
11	0.852
12	0.779
13	0.698
14	0.613

$$EE := \frac{E}{X_{\max}}$$

$EE =$

	0
0	0.806
1	0.833
2	0.861
3	0.889
4	0.917
5	0.944
6	0.972
7	1
8	0.972
9	0.944
10	0.917
11	0.889
12	0.861
13	0.833
14	0.806

$k := 0..14 \qquad n := 15$

$$\text{delta} := \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{k=0}^{14} (Z_k - EE_k)^2}$$

$$\text{del_om} := \frac{\text{delta}}{\left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{k=0}^{14} EE_k\right)} \cdot 100 = 7.87\%$$

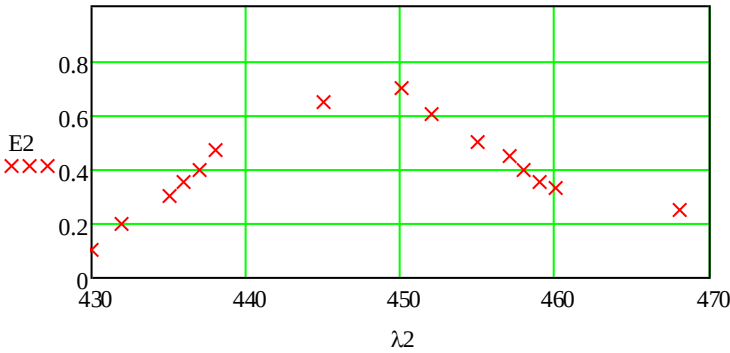
Значение для полноспектрального светодиода

Samsung LM561C

Для синего спектра

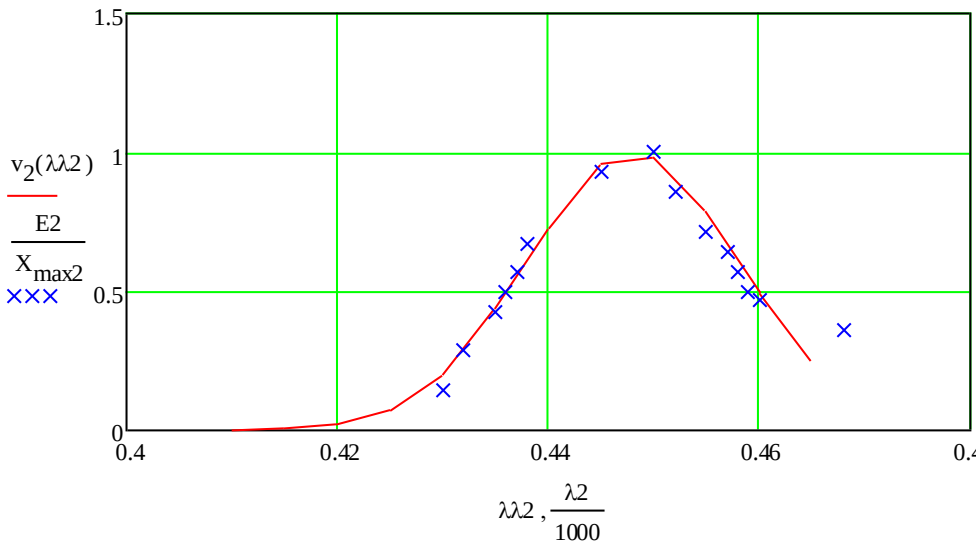
$\lambda_2 :=$	$E2 :=$	
430	0.1	
432	0.2	
435	0.3	
436	0.35	
437	0.4	
438	0.47	
445	0.65	
450	0.7	
452	0.6	
455	0.5	
457	0.45	
458	0.4	
459	0.35	
460	0.33	
468	0.25	

$X_{\max 2} := 0.7$



$r2 := 70 \quad \lambda\lambda2 := 0.410, 0.415, 0.460 \quad \lambda\lambda2_0 := 0.440$

$$v_2(\lambda\lambda2) := e^{-r2^2(\lambda\lambda2 - \lambda\lambda2_0)^2}$$



$$Z2 := \begin{pmatrix} v_2(0.430) \\ v_2(0.432) \\ v_2(0.435) \\ v_2(0.436) \\ v_2(0.437) \\ v_2(0.438) \\ v_2(0.445) \\ v_2(0.450) \\ v_2(0.452) \\ v_2(0.455) \\ v_2(0.457) \\ v_2(0.458) \\ v_2(0.459) \\ v_2(0.460) \\ v_2(0.465) \end{pmatrix}$$

	0
0	0.204
1	0.285
2	0.437
3	0.494
4	0.553
5	0.613
6	0.957
7	0.981
8	0.925
9	0.787
10	0.672
11	0.613
12	0.553
13	0.494
14	0.243

$$EE2 := \frac{E2}{X_{\max2}}$$

	0
0	0.143
1	0.286
2	0.429
3	0.5
4	0.571
5	0.671
6	0.929
7	1
8	0.857
9	0.714
10	0.643
11	0.571
12	0.5
13	0.471
14	0.357

$$EE2 =$$

$k := 0..14$ $n := 15$

$$\text{delta2} := \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{k=0}^{14} (Z2_k - EE2_k)^2}$$

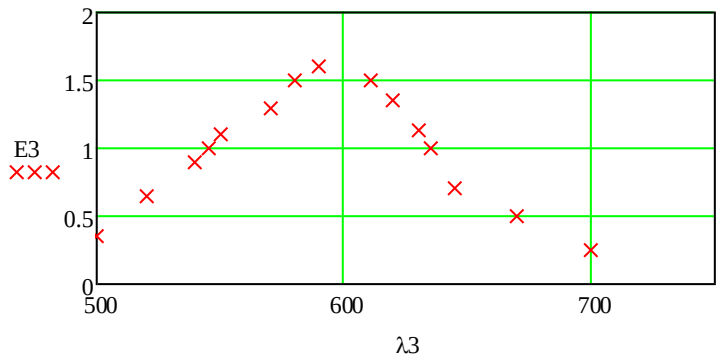
$$\text{delta_otn2} := \frac{\text{delta2}}{\left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{k=0}^{14} EE2_k\right)} \cdot 100 = 8.995$$

Значение для полноспектрального светодиода

Samsung LM561C

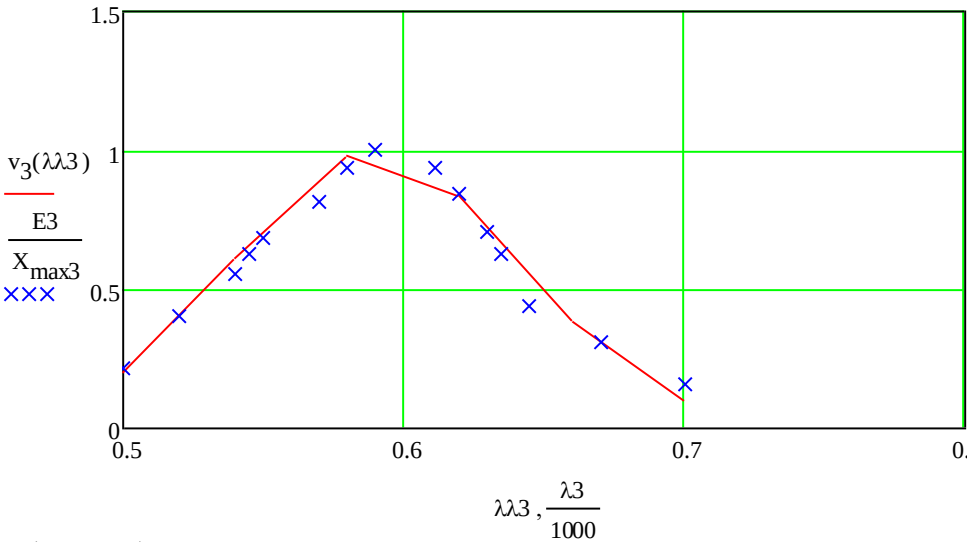
Зеленый та червоний спектр

$\lambda_3 :=$	$E3 :=$	
500	0.35	
520	0.65	
540	0.89	
545	1	
550	1.1	
570	1.3	
580	1.5	
590	1.6	
611	1.5	
620	1.35	$X_{\max 3} := 1.6$
630	1.13	
635	1	
645	0.7	
670	0.5	
700	0.25	



$r_3 := 14 \quad \lambda_3 := 0.5, 0.54, 0.700$ $\lambda_{30} := 0.59$

$$v_3(\lambda_3) := e^{-r_3^2(\lambda_3 - \lambda_{30})^2}$$



$Z_3 := \begin{pmatrix} v_3(0.50) \\ v_3(0.520) \\ v_3(0.540) \\ v_3(0.545) \\ v_3(0.550) \\ v_3(0.570) \\ v_3(0.580) \\ v_3(0.590) \\ v_3(0.611) \\ v_3(0.620) \\ v_3(0.630) \\ v_3(0.635) \\ v_3(0.645) \\ v_3(0.670) \\ v_3(0.700) \end{pmatrix} =$

	0
0	0.204
1	0.383
2	0.613
3	0.672
4	0.731
5	0.925
6	0.981
7	1
8	0.917
9	0.838
10	0.731
11	0.672
12	0.553
13	0.285
14	0.093

EE3 =

	0
0	0.219
1	0.406
2	0.556
3	0.625
4	0.688
5	0.813
6	0.938
7	1
8	0.938
9	0.844
10	0.706
11	0.625
12	0.437
13	0.313
14	0.156

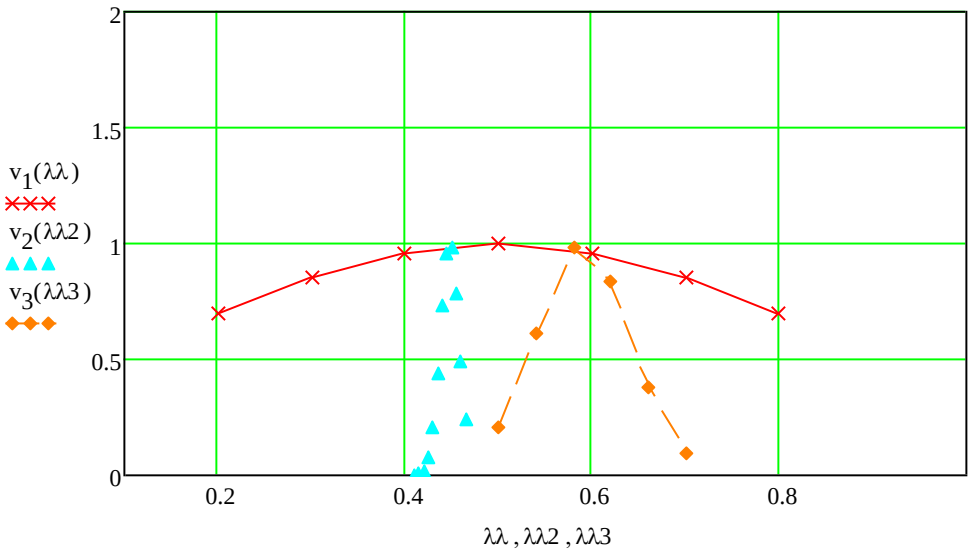
$$EE3 := \frac{E3}{X_{\max}}$$

$$k := 0..14 \quad n := 15$$

$$\text{delta3} := \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{k=0}^{14} (Z3_k - EE3_k)^2}$$

$$\text{delta_otn3} := \frac{\text{delta3}}{\left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{k=0}^{14} EE3_k \right)} \cdot 100 = 9.05\%$$

Фінальний графік усьох трьох функцій



ДОДАТОК В

Лістинг програми системи штучної досвітки тепличних культур

```

#include "Wire.h"
#include "BH1750-HD.h"
#include "Adafruit_Sensor.h"
#include "Adafruit_BME280.h"

#define FIS_TYPE float
#define FIS_RESOLUTION 101
#define FIS_MIN -3.4028235E+38
#define FIS_MAX 3.4028235E+38

#define CS 8
#define UD 9
#define INC 10

BH1750 light(0x23);
Adafruit_BME280 bme280;

typedef FIS_TYPE(*_FIS_MF)(FIS_TYPE, FIS_TYPE*);
typedef FIS_TYPE(*_FIS_ARR_OP)(FIS_TYPE, FIS_TYPE);
typedef FIS_TYPE(*_FIS_ARR)(FIS_TYPE*, int, _FIS_ARR_OP);

const int fis_gcI = 2; //
Number of inputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcO = 1; //
Number of outputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcR = 25; //
Number of rules to the fuzzy inference system

```

```

FIS_TYPE g_fisInput[fis_gcI];
FIS_TYPE g_fisOutput[fis_gcO];

void setup() //
Setup routine runs once when you press reset:
{
    Serial.begin(115200);
    light.begin(BH1750_AUTO_MODE);
    bme280.begin();
    pinMode(CS , OUTPUT);
    pinMode(UD , OUTPUT);
    pinMode(INC , OUTPUT);
    resist(0);
}

void loop() //
Loop routine runs over and over again forever:
{
    float T = bme280.readTemperature(); //
Read Input: T
    T = constrain(T, 5, 35);
    g_fisInput[0] = map(T, 5, 35, 5, 35);
    Serial.print(" INPUT T: "); Serial.print(g_fisInput[0]);

    float E = light.readLightLevel(); //
Read Input: E
    E = constrain(E, 0, 65000);
    g_fisInput[1] = map(E, 0, 65000, 45, 155);

```

```

    Serial.print(" INPUT E: "); Serial.print(g_fisInput[1]);

    g_fisOutput[0] = 0;
    Serial.print("          OUTPUT          V:          ");
    Serial.print(g_fisOutput[0]);

    fis_evaluate();

    int R = map(g_fisOutput[0], 0, 5, 0, 100);          //
Set output vlaue: RED
    resist(R);
    Serial.print(" OUTPUT R: "); Serial.print(R);
    int G = map(g_fisOutput[0], 0, 4.8, 0, 102);        //
Set output vlaue: GREEN
    analogWrite(10, G);
    Serial.print(" OUTPUT G: "); Serial.print(G);
    int B = map(g_fisOutput[0], 0, 5, 0, 51);          //
Set output vlaue: BLUE
    analogWrite(11, B);
    Serial.print(" OUTPUT B: "); Serial.print(B);

    Serial.println("");
}

FIS_TYPE fis_trmf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)             //
Triangular Member Function
{
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2];
    FIS_TYPE t1 = (x - a) / (b - a);

```

```

FIS_TYPE t2 = (c - x) / (c - b);
if ((a == b) && (b == c)) return (FIS_TYPE) (x == a);
if (a == b) return (FIS_TYPE) (t2 * (b <= x) * (x <= c));
if (b == c) return (FIS_TYPE) (t1 * (a <= x) * (x <= b));
t1 = min(t1, t2);
return (FIS_TYPE) max(t1, 0);
}

```

```

FIS_TYPE fis_gaussmf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)           //
Gaussian Member Function

```

```

{
    FIS_TYPE s = p[0], c = p[1];
    FIS_TYPE t = (x - c) / s;
    return exp(-(t * t) / 2);
}

```

```

FIS_TYPE fis_min(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return min(a, b);
}

```

```

FIS_TYPE fis_max(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return max(a, b);
}

```

```

FIS_TYPE fis_array_operation(FIS_TYPE *array, int size,
_FIS_ARR_OP pfnOp)
{

```

```

    int i;
    FIS_TYPE ret = 0;

    if (size == 0) return ret;
    if (size == 1) return array[0];

    ret = array[0];
    for (i = 1; i < size; i++)
    {
        ret = (*pfnOp)(ret, array[i]);
    }

    return ret;
}

// Pointers to the implementations of member functions
_FIS_MF fis_gMF[] =
{
    fis_trimf, fis_gaussmf
};

int fis_gIMFCount[] = { 5, 5 }; //
Count of member function for each Input

int fis_gOMFCount[] = { 6 }; //
Count of member function for each Output

// Coefficients for the Input Member Functions
FIS_TYPE  fis_gMFI0Coeff1[] = { 5, 10, 15 };
FIS_TYPE  fis_gMFI0Coeff2[] = { 10, 15, 20 };

```



```

FIS_TYPE    fis_gMFI0Coeff3[] = { 15, 20, 25 };
FIS_TYPE    fis_gMFI0Coeff4[] = { 20, 25, 30 };
FIS_TYPE    fis_gMFI0Coeff5[] = { 25, 30, 35 };
FIS_TYPE*    fis_gMFI0Coeff[]    = {  fis_gMFI0Coeff1,
fis_gMFI0Coeff2,          fis_gMFI0Coeff3,          fis_gMFI0Coeff4,
fis_gMFI0Coeff5 };

FIS_TYPE    fis_gMFI1Coeff1[] = { 45, 65, 85 };
FIS_TYPE    fis_gMFI1Coeff2[] = { 65, 85, 105 };
FIS_TYPE    fis_gMFI1Coeff3[] = { 85, 105, 125 };
FIS_TYPE    fis_gMFI1Coeff4[] = { 105, 125, 140 };
FIS_TYPE    fis_gMFI1Coeff5[] = { 125, 145, 155 };
FIS_TYPE*    fis_gMFI1Coeff[]    = {  fis_gMFI1Coeff1,
fis_gMFI1Coeff2,          fis_gMFI1Coeff3,          fis_gMFI1Coeff4,
fis_gMFI1Coeff5 };

FIS_TYPE**   fis_gMFICoeff[]      = {  fis_gMFI0Coeff,
fis_gMFI1Coeff };

```

```

// Coefficients for the Output Member Functions
FIS_TYPE    fis_gMF00Coeff1[] = { 0.3, 1 };
FIS_TYPE    fis_gMF00Coeff2[] = { 0.3, 3 };
FIS_TYPE    fis_gMF00Coeff3[] = { 0.3, 2 };
FIS_TYPE    fis_gMF00Coeff4[] = { 0.3, 4 };
FIS_TYPE    fis_gMF00Coeff5[] = { 0.3, 5 };
FIS_TYPE    fis_gMF00Coeff6[] = { 0.3, 0 };
FIS_TYPE*    fis_gMF00Coeff[]    = {  fis_gMF00Coeff1,
fis_gMF00Coeff2,          fis_gMF00Coeff3,          fis_gMF00Coeff4,
fis_gMF00Coeff5, fis_gMF00Coeff6 };

FIS_TYPE**   fis_gMF0Coeff[]      = {  fis_gMF00Coeff };

```

```

// Input membership function set
int  fis_gMFI0[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
int  fis_gMFI1[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
int* fis_gMFI[]  = { fis_gMFI0, fis_gMFI1};

// Output membership function set
int  fis_gMFO0[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1 };
int* fis_gMFO[]  = { fis_gMFO0};

// Rule Weights
FIS_TYPE fis_gRWeight[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };

// Rule Type
int fis_gRType[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };

// Rule Inputs
int  fis_gRI0[]  = { 1, 1 };
int  fis_gRI1[]  = { 1, 2 };
int  fis_gRI2[]  = { 1, 3 };
int  fis_gRI3[]  = { 1, 4 };
int  fis_gRI4[]  = { 1, 5 };
int  fis_gRI5[]  = { 2, 5 };
int  fis_gRI6[]  = { 2, 4 };
int  fis_gRI7[]  = { 2, 3 };
int  fis_gRI8[]  = { 2, 2 };
int  fis_gRI9[]  = { 2, 1 };
int  fis_gRI10[] = { 3, 1 };

```

```

int  fis_gRI11[] = { 3, 2 };
int  fis_gRI12[] = { 3, 3 };
int  fis_gRI13[] = { 3, 4 };
int  fis_gRI14[] = { 3, 5 };
int  fis_gRI15[] = { 4, 5 };
int  fis_gRI16[] = { 4, 4 };
int  fis_gRI17[] = { 4, 3 };
int  fis_gRI18[] = { 4, 2 };
int  fis_gRI19[] = { 4, 1 };
int  fis_gRI20[] = { 5, 1 };
int  fis_gRI21[] = { 5, 2 };
int  fis_gRI22[] = { 5, 3 };
int  fis_gRI23[] = { 5, 4 };
int  fis_gRI24[] = { 5, 5 };

int* fis_gRI[]  = { fis_gRI0, fis_gRI1, fis_gRI2, fis_gRI3,
fis_gRI4, fis_gRI5, fis_gRI6, fis_gRI7, fis_gRI8, fis_gRI9,
fis_gRI10,  fis_gRI11,  fis_gRI12,  fis_gRI13,  fis_gRI14,
fis_gRI15,  fis_gRI16,  fis_gRI17,  fis_gRI18,  fis_gRI19,
fis_gRI20, fis_gRI21, fis_gRI22, fis_gRI23, fis_gRI24 };

// Rule Outputs
int  fis_gR00[]  = { 2 };
int  fis_gR01[]  = { 3 };
int  fis_gR02[]  = { 6 };
int  fis_gR03[]  = { 6 };
int  fis_gR04[]  = { 6 };
int  fis_gR05[]  = { 6 };
int  fis_gR06[]  = { 6 };
int  fis_gR07[]  = { 6 };

```

```

int  fis_gR08[]  = { 2 };
int  fis_gR09[]  = { 4 };
int  fis_gR010[] = { 5 };
int  fis_gR011[] = { 4 };
int  fis_gR012[] = { 1 };
int  fis_gR013[] = { 6 };
int  fis_gR014[] = { 6 };
int  fis_gR015[] = { 1 };
int  fis_gR016[] = { 1 };
int  fis_gR017[] = { 6 };
int  fis_gR018[] = { 2 };
int  fis_gR019[] = { 4 };
int  fis_gR020[] = { 2 };
int  fis_gR021[] = { 3 };
int  fis_gR022[] = { 6 };
int  fis_gR023[] = { 1 };
int  fis_gR024[] = { 1 };

int* fis_gR0[]  = { fis_gR00, fis_gR01, fis_gR02, fis_gR03,
fis_gR04, fis_gR05, fis_gR06, fis_gR07, fis_gR08, fis_gR09,
fis_gR010,  fis_gR011,  fis_gR012,  fis_gR013,  fis_gR014,
fis_gR015,  fis_gR016,  fis_gR017,  fis_gR018,  fis_gR019,
fis_gR020, fis_gR021, fis_gR022, fis_gR023, fis_gR024 };

FIS_TYPE fis_gIMin[] = { 5, 45 };      // Input range Min
FIS_TYPE fis_gIMax[] = { 35, 155 };    // Input range Max
FIS_TYPE fis_gOMin[] = { 0 };          // Output range Min
FIS_TYPE fis_gOMax[] = { 5 };          // Output range Max

```

```

FIS_TYPE fis_MF_out(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, FIS_TYPE x,
int o)
{
    FIS_TYPE mfOut;
    int r;
    for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
    {
        int index = fis_gR0[r][o];
        if (index > 0)
        {
            index = index - 1;
            mfOut = (fis_gMF[fis_gMF0[o][index]])(x,
fis_gMF0Coeff[o][index]);
        }
        else if (index < 0)
        {
            index = -index - 1;
            mfOut = 1 - (fis_gMF[fis_gMF0[o][index]])(x,
fis_gMF0Coeff[o][index]);
        }
        else
        {
            mfOut = 0;
        }
        fuzzyRuleSet[0][r] = fis_min(mfOut,
fuzzyRuleSet[1][r]);
    }
    return fis_array_operation(fuzzyRuleSet[0], fis_gcR,
fis_max);
}

```

```

    }

    FIS_TYPE fis_defuzz_centroid(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, int
o)
    {
        FIS_TYPE step = (fis_gOMax[o] - fis_gOMin[o]) /
(FIS_RESOLUTION - 1);
        FIS_TYPE area = 0;
        FIS_TYPE momentum = 0;
        FIS_TYPE dist, slice;
        int i;

        // calculate the area under the curve formed by the MF
outputs
        for (i = 0; i < FIS_RESOLUTION; ++i)
        {
            dist = fis_gOMin[o] + (step * i);
            slice = step * fis_MF_out(fuzzyRuleSet, dist, o);
            area += slice;
            momentum += slice * dist;
        }
        return ((area == 0) ? ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2)
: (momentum / area));
    }

void fis_evaluate()
{
    FIS_TYPE fuzzyInput0[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE fuzzyInput1[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };

```

```

    FIS_TYPE*   fuzzyInput[fis_gcI]      = {   fuzzyInput0,
fuzzyInput1, };

    FIS_TYPE   fuzzyOutput0[]            = { 0, 0, 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE*   fuzzyOutput[fis_gcO]     = { fuzzyOutput0, };
    FIS_TYPE   fuzzyRules[fis_gcR]      = { 0 };
    FIS_TYPE   fuzzyFires[fis_gcR]      = { 0 };
    FIS_TYPE*   fuzzyRuleSet[]           = { fuzzyRules, fuzzyFires
};

    FIS_TYPE   sW                        = 0;

    // Transforming input to fuzzy Input
    int i, j, r, o;
    for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
    {
        for (j = 0; j < fis_gIMFCount[i]; ++j)
        {
            fuzzyInput[i][j]              =
(fis_gMF[fis_gMFI[i][j]])(g_fisInput[i], fis_gMFICoeff[i][j]);
        }
    }
    int index = 0;
    for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
    {
        if (fis_gRType[r] == 1)
        {
            fuzzyFires[r] = FIS_MAX;
            for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
            {
                index = fis_gRI[r][i];

```

```

        if (index > 0)
            fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r],
fuzzyInput[i][index - 1]);
        else if (index < 0)
            fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1 -
fuzzyInput[i][-index - 1]);
        else
            fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1);
    }
}
else
{
    fuzzyFires[r] = FIS_MIN;
    for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
    {
        index = fis_gRI[r][i];
        if (index > 0)
            fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r],
fuzzyInput[i][index - 1]);
        else if (index < 0)
            fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 1 -
fuzzyInput[i][-index - 1]);
        else
            fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 0);
    }
}
fuzzyFires[r] = fis_gRWeight[r] * fuzzyFires[r];
sW += fuzzyFires[r];
}

```



```

if (sw == 0)
{
    for (o = 0; o < fis_gc0; ++o)
    {
        g_fisOutput[o] = ((fis_g0Max[o] + fis_g0Min[o]) / 2);
    }
}
else
{
    for (o = 0; o < fis_gc0; ++o)
    {
        g_fisOutput[o] = fis_defuzz_centroid(fuzzyRuleSet,
o);
    }
}
}

```

```

void resist(byte value)
{
    static int8_t last_value = 100;
    if (value > 100)
    {
        value = 100;
    }
    int8_t result = value - last_value;
    if (result != 0)
    {
        if (result < 0)
        {

```

```
        result *= -1;
        digitalWrite(UD, false);
    }
    else
    {
        digitalWrite(UD, true);
    }
    digitalWrite(CS, LOW);
    for (int i = 0; i < result; i++)
    {
        digitalWrite(INC, HIGH);
        delay(1);
        digitalWrite(INC, LOW);
        delay(1);
    }
    digitalWrite(INC, HIGH);
    digitalWrite(CS, HIGH);
}
last_value = value;
}
```