

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ АКТ _____
Кафедра _____ КІТАР _____
Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми _____ освітньо-професійна _____
Освітня програма _____ Системна інженерія _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. Кафедри КІТАР

_____ (підпис)

« _____ » _____ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Студентові _____ Іщенко Владиславу Костянтиновичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування системи автоматизації універсального промислового інкубатора

Затверджена наказом університету від 03.06.2024 р. № 545 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 20.06.2024 р

3. Вихідні дані до роботи:

3.1 Мікроконтролер Arduino UNO R3

3.2 Мова програмування C++

3.3 Середовище розробки Tinker Cad

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі:

4.1 Вступ;

4.2 Аналіз існуючих конструкцій промислового інкубатора та засобів автоматизації;

4.3 Розробка апаратної архітектури системи керування промисловим інкубатором;

4.4 Розробка програмного забезпечення системи для системи керування промисловим інкубатором;

4.5 Створення макету для тестування системи керування промисловим інкубатором;

4.6 Висновки.

5. Графічний демонстраційний матеріал в форматі powerpoint(*.ppt) формату А4 –12 сторінок.

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		Підпис	Дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих конструкцій промислового інкубатора та засобів автоматизації	08.04.24 – 16.04.24	виконано
2	Розробка апаратної архітектури системи керування промисловим інкубатором. Розробка програмного забезпечення системи для системи керування промисловим інкубатором.	16.04.24 – 27.04.24	виконано
3	Створення макету для тестування системи керування промисловим інкубатором	01.05.24 – 04.05.24	виконано
6	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichesk	28.05.24 – 13.06.24	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	26.05.24 – 13.06.24	виконано
8	Подання роботи на рецензію	14.06.24 – 16.06.24	виконано
9	Подання роботи на підпис зав. Кафедри	17.06.24 – 18.06.24	виконано
11	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	19.06.24 – 20.06.24	виконано

Дата видачі завдання 08.04 2024 р.

Студент _____
(підпис)

Іщенко В.К.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

професор Цимбал О.М.
(посада, прізвище, ініціали)

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

«20» липня 2024 р.

Іщенко В.К.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 76 с., 58 рис., 1 дод., 12 джерел.

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ПРОМИСЛОВИЙ ІНКУБАТОР, АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, МАКЕТ.

Об'єкт дослідження – процес керування промисловими інкубаторами.

Предмет дослідження – система керування промисловим інкубатором.

Мета розробки – розробка автоматичної системи керування промисловим інкубатором.

Методи дослідження – моделювання роботи системи керування промисловим інкубатором за допомогою середовища Tinker Cad, а також тестування програмного та апаратного забезпечення шляхом макетування.

В кваліфікаційній роботі проведено аналіз сучасних конструкцій промислових інкубаторів та засобів їх автоматизації. Розроблено архітектуру системи керування промисловим інкубатором. Після цього було побудовано макет на базі Arduino UNO R3 та проведено тестування та оптимізацію розробленої системи.

У ході роботи було створено систему керування промисловим інкубатора. Розроблена система забезпечує точне повну автоматизацію процесу інкубації, а також реагування на аварійні ситуації для забезпечення безпеки ембріонів.

ABSTRACT

Explanatory note: 76 p., 58 pic., 1 app, 12 sources.

CONTROL SYSTEM, INDUSTRIAL INCUBATOR, HARDWARE, SOFTWARE, MODEL.

Object of the study: The process of managing industrial incubators.

Subject of the study: The control system for an industrial incubator.

Goal: Development of an automatic control system for an industrial incubator.

Research methods: Modeling the control system of an industrial incubator using Tinker Cad, and testing the software and hardware through prototyping.

The qualification work includes an analysis of modern designs of industrial incubators and their automation tools. The architecture of the industrial incubator control system was developed. Following this, a prototype based on the Arduino UNO R3 was built and the developed system was tested and optimized.

During the work, a control system for an industrial incubator was created. The developed system ensures full automation of the incubation process, as well as response to emergency situations to ensure the safety of the embryos.

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Аналіз предметної області та постановка задачі.....	10
1.1 Аналіз конструктивних особливостей промислових інкубаторів	10
1.2 Аналіз використання засобів автоматизації в промислових інкубаторах	11
1.2.1 Системи управління мікрокліматом	12
1.2.2 Автоматизація технологічних процесів	13
1.2.3 Моніторинг та діагностика.....	14
1.3 Аналіз програмних засобів для групового керування промисловими інкубаторами.....	14
1.3.1 Wonderware InTouch SCADA.....	15
1.3.2 Ignition SCADA.....	16
1.3.3 WinCC-SCADA	17
2 Розробка архітектури апаратної частини та програмного забезпечення промислового інкубатора.....	19
2.1 Порівняльний аналіз засобів автоматизації промислових інкубаторів ..	19
2.1.1 Мікроконтролери та промислові контролери.....	19
2.1.2 Апаратна платформа Arduino	21
2.1.3 Материнські та дочірні плати.....	22
2.1.4 Мікропрограмне забезпечення.....	23
2.1.5 Інші апаратні засоби.....	24
2.2 Архітектура апаратної частини промислового інкубатора	25
2.2.1 Система нагрівання	25
2.2.2 Система контролю вологості.....	28
2.2.3 Система перегортання лотків	31
2.2.4 Система внутрішньої вентиляції.....	33

2.2.5 Система зовнішньої вентиляції.....	34
2.2.6 Система реагування на аварійні ситуації.....	35
3 Розрахунок амплітудної та фазової характеристик для серводвигуна SG90	39
4 Тестування та макетування проекту.....	44
4.1 Тестування апаратного забезпечення.....	44
4.1.1 Тестування в діапазоні нормальної роботи.....	45
4.1.2 Тестування систем в умовах коли значення знаходяться в нижньому критичному діапазоні.....	47
4.1.3 Тестування систем в умовах коли значення знаходяться в верхньому критичному діапазоні.....	49
4.1.4 Тестування системи перегортання.....	50
4.2 Макетування.....	51
4.2.1 Система контролю температури.....	52
4.2.2 Система перегортання.....	56
4.2.3 Системи вентиляції.....	57
4.2.4 Програмування та тестування.....	59
4.3 Охорона праці при експлуатації промислових інкубаторів.....	65
Висновки.....	67
Перелік джерел та посилань.....	69
Додаток А.....	71

ВСТУП

Промислові інкубатори є важливим інструментом в сфері тваринництва. Автоматизація в промисловому інкубаторі є необхідним аспектом у його функціонуванні, спрямованим на забезпечення ефективності та якості виведення пташенят в масштабі промислового виробництва.

Застосування передових технологій та програмних рішень у галузі інкубації за-для автоматизації процесів контролю температури, вологості, вентиляції та обертання яєць, що є необхідними умовами для розвитку ембріонів.

Об'єктом дослідження є процеси керування промисловими інкубаторами.

Предметом дослідження є система керування промисловим інкубатором, яка забезпечуватиме повний технологічний цикл інкубації, а також буде здатна реагувати на аварійні ситуації.

Метою роботи є розробка автоматичної системи керування промисловим інкубатором на базі мікроконтролера Arduino UNO R3.

Для досягнення мети планується розв'язати наступні задачі:

- проаналізувати існуючі системи автоматизації промислових інкубаторів;
- провести аналіз апаратних засобів, що можуть бути використані для розробки системи автоматизації промислового інкубатора;
- розробити макет апаратної частини системи керування промисловим інкубатором використовуючи засоби TinkerCad та Arduino UNO R3;
- навести принципи з охорони праці при експлуатації промислових інкубаторів;
- оформити пояснювальну записку згідно ДСТУ та [1-3].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Аналіз конструктивних особливостей промислових інкубаторів

Інкубатор – це спеціальний пристрій для штучного вирощування ембріонів птахів, зазвичай курячих яєць, шляхом підтримання оптимальних умов температури, вологості та вентиляції. Інкубатори бувають різних типів:

Типи інкубаторів:

- промислові інкубатори – призначені для великомасштабного виробництва, мають відповідні розміри та потужність;
- фермерські інкубатори – використовуються на фермах для середніх обсягів виробництва;
- побутові інкубатори – невеликі за розміром, для домашнього використання.

Промислові інкубатори мають ряд особливостей, що відрізняють їх від інших типів:

- розмір та масштаб: промислові інкубатори призначені для великомасштабного виробництва та мають відповідні розміри та потужність, що відрізняє їх від менших фермерських або побутових інкубаторів;
- автоматизація: промислові інкубатори завжди мають вбудовану високу автоматизацію, що дозволяє забезпечити ефективне управління процесом інкубації на великій шкалі;
- технологічні рішення: конструктивні рішення промислових інкубаторів спеціально розроблені для оптимізації процесу інкубації на промисловому рівні, з урахуванням вимог великого обсягу виробництва.

Отже, промислові інкубатори виділяються своєю величезною потужністю, високою автоматизацією та спеціальними технологічними рішеннями, які

дозволяють їм ефективно функціонувати на промисловому рівні. Одна з можливих конфігурацій промислового інкубатора наведена нижче (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Промисловий інкубатор

1.2 Аналіз використання засобів автоматизації в промислових інкубаторах

Автоматизація промислових інкубаторів забезпечується за допомогою наступних ключових елементів [4]:

– системи управління мікрокліматом – промислові інкубатори оснащуються автоматизованими системами контролю температури, вологості та вентиляції для підтримки оптимальних умов інкубації, використовуються ПДД-регулятори, які дозволяють гнучко налаштовувати параметри мікроклімату в різних режимах роботи інкубатора;

- автоматизація технологічних процесів – процеси обробки яєць, переміщення лотків та інші операції можуть виконуватися автоматично за допомогою спеціальних механізмів та перемикачів, автоматизація дозволяє ефективно управляти технологічними процесами в промислових масштабах;
- моніторинг та діагностика – сучасні промислові інкубатори обладнуються системами моніторингу та діагностики, які відстежують роботу всіх вузлів та сигналізують про аварійні ситуації, це дозволяє оперативно реагувати на відхилення та забезпечувати безперебійну роботу інкубатора.

1.2.1 Системи управління мікрокліматом

Система управління мікрокліматом зазвичай виконує такі основні функції [5].

Контроль температури – традиційно нагрівання середовища здійснюється за допомогою інфрачервоних ламп. Лампове нагрівання забезпечує стабільну температуру, необхідну для розвитку ембріонів. Крім того, в промислових інкубаторах можуть бути використані інші види нагрівання, такі як електричні нагрівальні елементи або системи повітряного нагрівання. Автоматичні системи керування температурою дозволяють точно регулювати температуру в інкубаторі, що є особливо важливим для успішної інкубації яєць.

Контроль вологості та вентиляції – часто технологія інкубації передбачає підтримання стабільного рівня вологості повітря. Системи, що відповідають за цей параметр зазвичай складаються з трьох частин: системи зволоження повітря, системи внутрішньої вентиляції та системи зовнішньої вентиляції. Система зволоження повітря зазвичай складається з ультразвукового випарювача або пульверизатора, які вмикаються коли рівень вологості повітря падає нижче вказаної величини. За подібним принципом працює система зовнішньої вентиляції. Якщо рівень вологості всередині системи вище вказаного рівня то система вентиляції відводить частину вологого повітря тим

самим знижуючи рівень вологості. Рух повітря всередині інкубатора виконує внутрішня система вентиляції. Таким чином забезпечується постійний обдув яєць та рівномірне розподілення вологого повітря та температури.

Системи управління мікрокліматом в інкубаторах зазвичай будуються на основі ПІД-регуляторів.

1.2.2 Автоматизація технологічних процесів

Технологія інкубації потребує постійного або регулярного перегортання яєць. Основна причина перегортання полягає в тому, щоб забезпечити рівномірний розвиток ембріонів всередині яєць. Перегортання допомагає уникнути злипання ембріона до скорлупи, сприяє рівномірному розподілу поживних речовин всередині яйця та допомагає уникнути виникнення аномалій у розвитку пташенят. Також, перегортання допомагає пташенят правильно розміщуватися всередині яйця, що сприяє їхньому здоровому розвитку та успішному виведенню. Існує безліч варіантів реалізації цього процесу, але в промислових інкубаторах частіше за все використовується метод рухливих лотків (рис. 1.2). Він полягає у перегортанні лотка на в діапазоні в залежності від виду яйця від 30 до 90 градусів. Це може реалізовуватись за допомогою сервоприводів та інших рушіїв [6].



Рисунок 1.2 – Лотковий метод перегортання

1.2.3 Моніторинг та діагностика

Сучасні промислові інкубатори обладнуються системами моніторингу та діагностики, які відстежують роботу всіх вузлів та сигналізують про аварійні ситуації. Частіше за все на рівні кожного окремого інкубатора можуть використовуватись прості системи на основі датчиків та мікроконтролерів, на рівні великих комплексів можуть використовуватися системи SCADA.

Таким чином, комплексна автоматизація систем управління мікрокліматом, технологічних процесів та моніторингу є ключовою особливістю сучасних промислових інкубаторів, що дозволяє забезпечити ефективну інкубацію яєць на великих потужностях [7].

1.3 Аналіз програмних засобів для групового керування промисловими інкубаторами

Групове керування сегментами промислового інкубатора або комплексом промислових інкубаторів здійснюється за допомогою SCADA-систем.

SCADA-системи (Supervisory Control and Data Acquisition) – це програмне забезпечення для збору даних та диспетчерського управління промисловими процесами. SCADA-системи дозволяють здійснювати моніторинг та контроль параметрів інкубаторів, таких як температура, вологість, концентрація газів тощо [7]

Популярні SCADA-системи, які використовуються в промислових інкубаторах, включають:

- Wonderware – ця SCADA-система від Schneider Electric широко використовується в промислових областях, включаючи контроль і моніторинг процесів в інкубаторах;

- Ignition SCADA – це інноваційне програмне забезпечення, яке також знаходить застосування в промислових інкубаторах для автоматизації та контролю процесів;
- WinCC-SCADA – система від Siemens, яка використовується для візуалізації та керування промисловими процесами, включаючи інкубатори.

1.3.1 Wonderware InTouch SCADA

Wonderware InTouch – це потужна SCADA-система (Supervisory Control and Data Acquisition), яка використовується для моніторингу та управління промисловими процесами. Ось основні особливості та можливості InTouch:

Людино-машинний інтерфейс (HMI) – InTouch є потужним HMI для промислової автоматизації, управління технологічними процесами та диспетчерського контролю. Він надає широкі функціональні можливості для швидкого створення та розгортання спеціальних додатків автоматизації, які пов'язуються та передають інформацію в режимі реального часу.

Підключення до обладнання – InTouch дозволяє користувачам підключатися до практично будь-якого промислового пристрою контролю автоматизації, пропонуючи сотні серверів вводу-виводу та OPC для підключення до продуктів Wonderware. Це забезпечує широкі можливості для спілкування з різними типами обладнання. Технологія Wonderware SmartSymbols – ця технологія спрощує та прискорює процедури зміни, оновлення та модифікації в рамках множини додатків. Вона представляє широкі можливості для створення, розгортання та модифікації графічних елементів в рамках всього додатку (рис. 1.3).

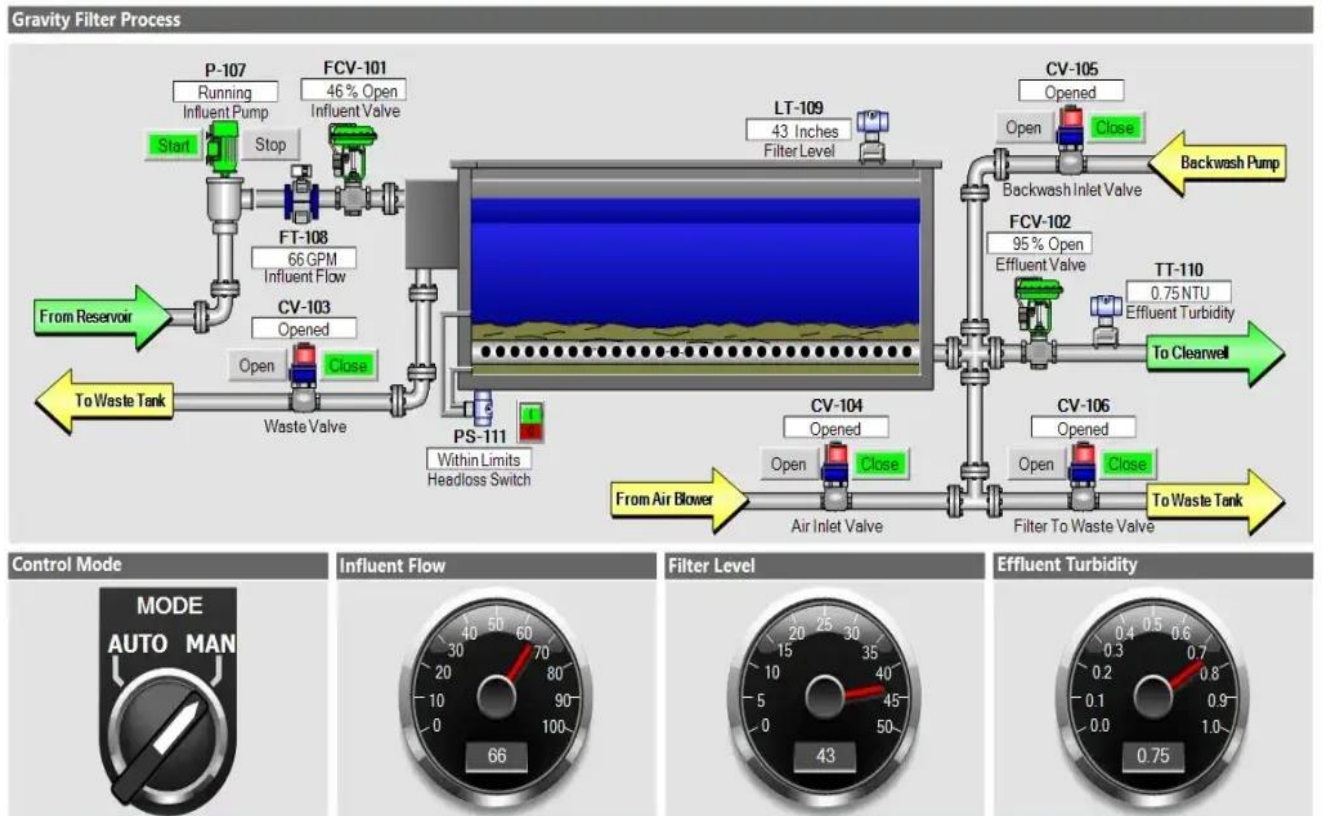


Рисунок 1.3 – Можливості візуалізації у Wonderware InTouch SCADA

Інвестиційний захист – додатки, розроблені на InTouch десятиліття тому, можуть працювати на останньому програмному забезпеченні без необхідності переробки, що забезпечує інвестиційний захист.

1.3.2 Ignition SCADA

Ignition SCADA, розроблена компанією Inductive Automation, є інтегрованою програмною платформою для систем SCADA, яка базується на архітектурі, орієнтованій на базу даних SQL. Ця система має крос-платформне веб-розгортання через технологію Java Web Start та складається з трьох основних компонентів: Ignition Gateway, Designer (рис. 1.4) та runtime clients.

Основні можливості Ignition SCADA включають реальний контроль стану, сигналізацію, звітність, збір даних, скриптування, планування, MES та підтримку мобільних пристроїв. Ця система отримала нагороду Duke's Choice

у 2011 році та Readers Choice від Automation World у категоріях SCADA та управління інформацією.

Ignition SCADA відзначається безліччю переваг, включаючи необмежену ліцензію, веб-розгортання, швидку розробку, побудову сучасних додатків SCADA та підтримку відомих стандартів ІТ, таких як SQL, Python, MQTT та OPC UA. Ця система дозволяє підключати дані з різних джерел, створювати звіти, надсилати сповіщення через SMS та багато іншого.

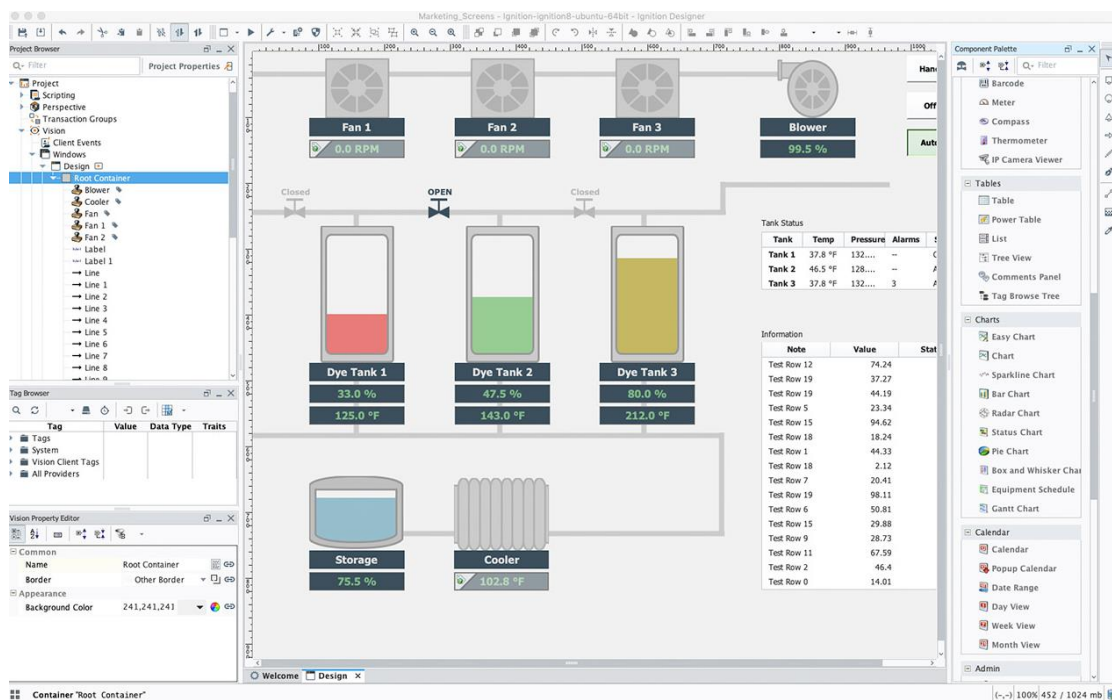


Рисунок 1.4 – Інтерфейс системи Ignition SCADA Designer

1.3.3 WinCC-SCADA

SIMATIC WinCC (рис. 1.5) є потужною універсальною системою оперативного моніторингу та керування процесами, виробничими лініями, машинами та установками.

Вона відзначається масштабованістю, що дозволяє використовувати її в різних секторах та технологіях.

WinCC володіє зручним мультиекранним інтерфейсом, що полегшує взаємодію з системою та сприяє зручності користування.

Система має структуру Сервер-Клієнт, що дозволяє ефективно організувати роботу з даними та процесами у режимі моніторингу та керування.

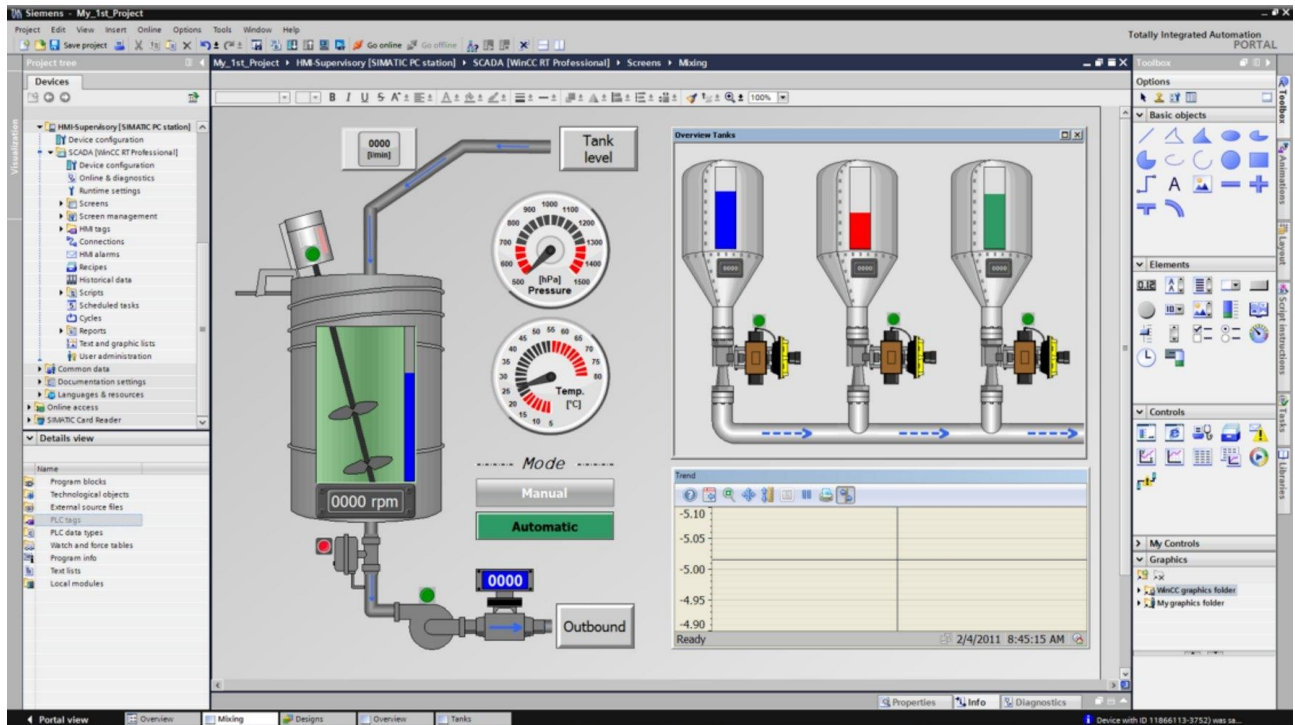


Рисунок 1.5 – Робочий простір Siemens Wincc SCADA

2 РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОМИСЛОВОГО ІНКУБАТОРА

2.1 Порівняльний аналіз засобів автоматизації промислових інкубаторів

У контексті промислових інкубаторів вибір засобів автоматизації повинен відповідати цілям процесу інкубації, спрямованим на підвищення ефективності, зменшення витрат та покращення загальної продуктивності. За допомогою сучасних технологій автоматизації промислові інкубатори можуть оптимізувати операції, підвищити точність та оптимізувати використання ресурсів, сприяючи успіху проектів та стартапів, які перебувають на інкубації.

Апаратні засоби моніторингу і керування промислових інкубаторів відіграють ключову роль у забезпеченні стабільних умов для розвитку культур. Вони дозволяють автоматизувати процеси регулювання температури, вологості, газового складу та інших параметрів мікроклімату, що є критично важливим для оптимального розвитку культур.

2.1.1 Мікроконтролери та промислові контролери

Мікроконтролери та промислові контролери є основою систем моніторингу і керування інкубаторами. Вони забезпечують непряме управління параметрами мікроклімату шляхом зчитування даних з сенсорів та подачі керуючих сигналів на виконавчі механізми. Сучасні контролери мають розвинені функції ПД-регулювання, можливість підключення до мереж, зберігання даних та інтерфейси для взаємодії з людиною-оператором. Вибір контролера залежить від розміру інкубатора, кількості контрольованих параметрів та вимог до точності регулювання.

Мікроконтролери є спеціалізованими комп'ютерами, виконаними у вигляді мікросхем, які включають мікропроцесор, оперативну та постійну

пам'ять для збереження виконуваного коду програм та даних, порти вводу-виводу та блоки зі спеціальними функціями (лічильники, компаратори, АЦП та інші). Вони можуть бути зустрінуті в багатьох сучасних приладах, таких як телефони, пральні машини, автомобілі та інші [8].

Мікроконтролери можуть бути програмовані на високому рівні з використанням спеціалізованих бібліотек та функцій, а також на низькому рівні, безпосередньо працюючи з біта-уровнем. Це дозволяє використовувати їх для різних застосувань, від простих до складних, залежно від потреби.

Промислові контролери є спеціалізованими контролерами, які використовуються в промисловій автоматизації для побудови єдиного інформаційного та керувального центру. Вони можуть бути з'єднані з різними пристроями, такими як датчики, виконавчі механізми та інші, для моніторингу та керування параметрами мікроклімату.

Промислові контролери можуть бути програмовані для виконання різних задач, таких як моніторинг параметрів, автоматичне регулювання температури та вологості, та інші. Вони можуть бути з'єднані з комп'ютерами та іншими пристроями для віддаленого моніторингу та керування.

Вибір мікроконтролерів та промислових контролерів залежить від розміру інкубатора, кількості контрольованих параметрів та вимог до точності регулювання. Мікроконтролери можуть бути вибрані з урахуванням їх продуктивності, гнучкості та вартості. Промислові контролери можуть бути вибрані з урахуванням їх можливостей з'єднання з різними пристроями та їх здатності до програмування.

2.1.2 Апаратна платформа Arduino

Arduino є популярною платформою для автоматизації підтримки мікроклімату в інкубаторах. Це відкрита апаратна платформа на базі простих у використанні апаратних засобів та програмного забезпечення. Arduino дозволяє легко підключати різноманітні сенсори та виконавчі механізми, писати програми для їх керування та моніторингу параметрів. Завдяки простоті використання та великій кількості готових бібліотек, Arduino широко застосовується в аматорських та навчальних інкубаторах.

Arduino – це торгова марка програмних засобів для роботехніки, що використовується у всьому світі для побудови та прототипування простих систем, моделей й експериментів в області електроніки, автоматики та автоматизації процесів. Компанія Arduino була заснована в Італії почавши свою роботу з навчальних курсів програмування, а після розвинулася в повноцінну велику компанію програмних засобів [8].

Апаратна частина продукції Arduino складається з набору друкованих плат, які виготовлені як самою компанією, так і іншими виробниками. Набори друкованих плат включають плати мікроконтролерів з елементами вводу/виводу, які дозволяють реалізувати різні функції, такі як зчитування даних з сенсорів, керування виконавчими механізмами та інші.

Програмна частина продукції Arduino – безкоштовна програмна оболонка (IDE) для написання й компілювання програмного забезпечення. Вона дозволяє програмувати мікроконтролери на мові програмування, що є спрощеною підмножиною мови програмування C++ [8-9].

Один з найбільших переваг продуктів Arduino – повністю відкрита архітектура системи. Це дозволяє розробникам гнучко конфігурувати та модифікувати продукти для різних задач та застосувань.

Arduino пропонує широкий вибір продуктів, від простих до складних, залежно від потреб розробника. Наприклад, Arduino Uno (рис. 2.1) – це популярна платформа для аматорського конструювання, що включає мікроконтролер з елементами вводу/виводу та середовище розробки Processing/Wiring на мові програмування.



Рисунок 2.1 – Arduino UNO R3

2.1.3 Материнські та дочірні плати

Материнські та дочірні плати є важливими елементами комп'ютерного обладнання, які забезпечують зв'язок між різними компонентами системи та передачу даних різними шинами та інтерфейсами.

Материнська плата – це основа комп'ютера, яка забезпечує зв'язок між різними компонентами системи та передачу даних різними шинами та інтерфейсами. Вона включає в себе кілька ключових елементів, таких як роз'єми процесора та оперативної пам'яті, мікросхеми чіпсета, контролери шин та їх слоти розширення, завантажувальний ПЗП та інтерфейси периферійних пристроїв.

Материнська плата може бути класифікована за різними ознаками, таких як форм-фактор та чіпсет. Форм-фактор визначає розміри та розташування роз'ємів на платі, що визначає сумісність плати з корпусом комп'ютера та іншими комплектуючими.

Дочірні плати – це додаткові плати, які можуть бути підключені до материнської плати для розширення функціональності системи. Вони можуть бути різних типів, таких як:

- плати розширення (PCI, PCIe, ISA, PCI-X), які дозволяють підключати різні пристрої, такі як відеокарти, звукові картки та інші;
- плати мережі (Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth), які дозволяють підключатися до мережі Інтернет;
- плати зв'язку (USB, UART, SPI, I2C), які дозволяють підключатися до різних пристроїв;
- плати зберігання даних (HDD, SSD, SD), які дозволяють зберігати дані. [8]

Вибір материнської та дочірніх плат залежить від конкретних потреб системи та вимог до її функціонування. При виборі материнської плати потрібно враховувати параметри, такі як процесор, оперативна пам'ять, чипсет, форм-фактор та інші. При виборі дочірніх плат потрібно враховувати їх сумісність з материнською платою та інші параметри.

2.1.4 Мікропрограмне забезпечення

Мікропрограмне забезпечення є невід'ємною частиною електронних об'єктів, оскільки воно дозволяє керувати їхньою роботою та забезпечує стабільну роботу системи. Мікропрограмне забезпечення може бути написане на різних мовах програмування, таких як C, C++, Java та інші, та може бути виконане на різних платформах, таких як мікроконтролери, мікропроцесори та інші [9].

Мікропрограмне забезпечення може виконувати різні функції, такі як:

- керування параметрами електронних об'єктів, таких як температура, вологість, газовий склад та інші;
- обробка даних, що надходять від сенсорів та інших пристроїв;

- зв'язок з іншими пристроями, такими як комп'ютери, мережеві пристрої та інші;
- керування виконавчими механізмами, такими як двигуни, клапани та інші;
- охорона та попередження несправностей у системі.

Вибір мікропрограмного забезпечення залежить від конкретних потреб електронного об'єкта та вимог до його функціонування. При виборі мікропрограмного забезпечення потрібно враховувати такі параметри, як продуктивність, гнучкість, стабільність та інші.

2.1.5 Інші апаратні засоби

Крім основних елементів, таких як контролери та плати, системи моніторингу і керування інкубаторами можуть включати й інші апаратні засоби [10]:

- сенсори для вимірювання температури, вологості, концентрації газів, рівня рідини тощо, вони перетворюють фізичні величини в електричні сигнали, зрозумілі для контролерів;
- виконавчі механізми, такі як нагрівачі, зволожувачі, вентилятори, клапани, насоси, які змінюють параметри мікроклімату за командами контролера;
- дисплеї та панелі оператора для відображення поточних значень параметрів, графіків, трендів та інших даних, вони дозволяють людині-оператору контролювати стан інкубатора;
- системи безпеки, такі як аварійні сигналізації, блокування, резервні джерела живлення, які запобігають виникненню аварійних ситуацій та мінімізують наслідки несправностей;
- інтерфейси зв'язку, такі як Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, які дозволяють підключати систему керування інкубатором до локальних мереж та Інтернету для віддаленого моніторингу та керування.

2.2 Архітектура апаратної частини промислового інкубатора

Виходячи з наведеної вище інформації макет промислового інкубатора складатиметься з таких систем:

- система нагрівання;
- система зволоження повітря;
- система перегортання лотків;
- система внутрішньої вентиляції;
- система зовнішньої вентиляції;
- система реагування аварійні ситуації.

2.2.1 Система нагрівання

Система нагрівання має виконувати функції нагріву повітря всередині інкубатора якщо температура падає нижче зазначеного значення. На макеті нагрівання ілюструється за допомогою лампи накалювання на 9V з окремим джерелом живлення, так як в реальній системі заживити інфрачервону лампу, яку імітує лампа розжарювання, через мікроконтролер неможливо.

Ввімкнення/вимкнення здійснюється через pnp-транзистор (рис. 2.2).

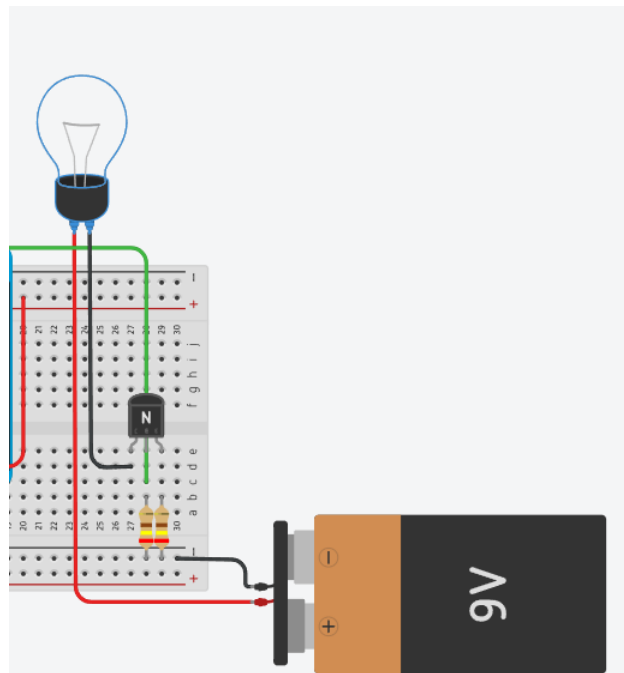


Рисунок 2.2 – Система нагріву в TinkerCad.

Контроль за рівнем температури повітря здійснюється засобами аналогового температурного датчика TMP36 (рис. 2.3).

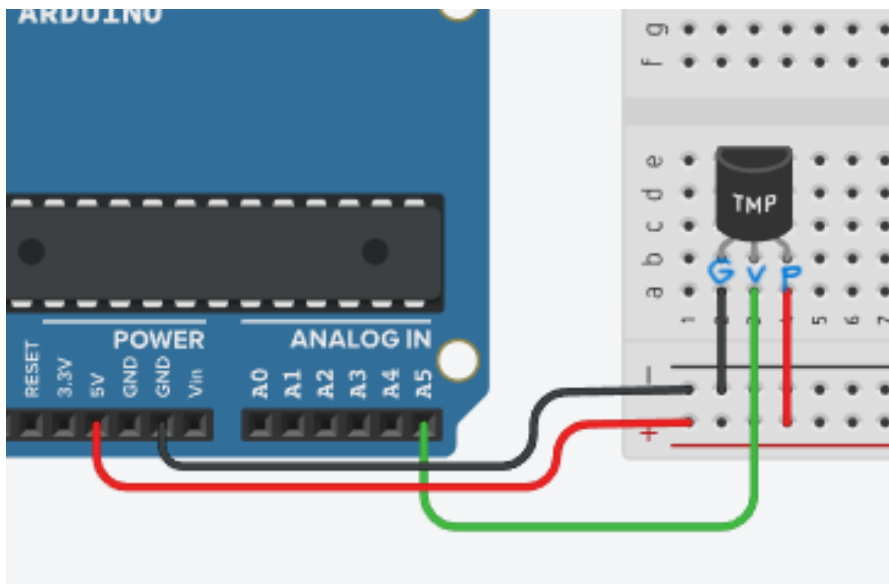


Рисунок 2.3 – Підключення датчика TMP36 в TinkerCad

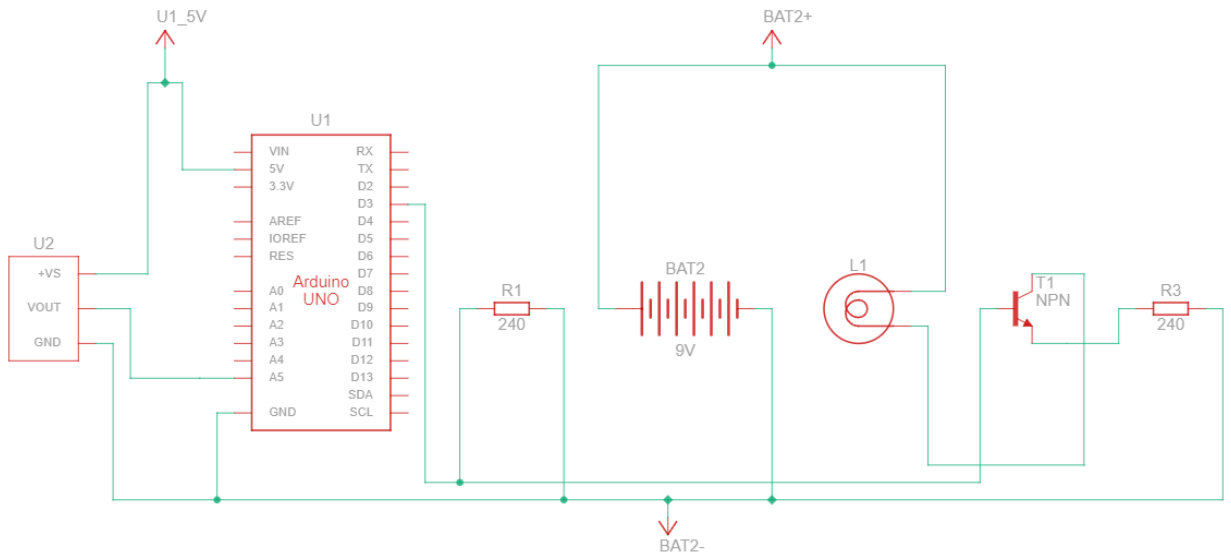


Рисунок 2.4 – Схема системи контролю температури.

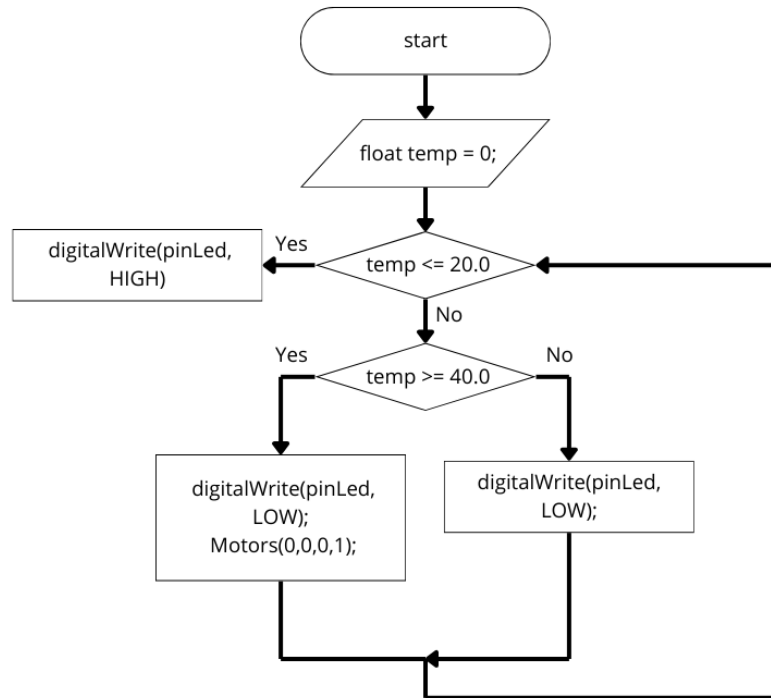


Рисунок 2.5 – Алгоритм системи контролю температури

Сегмент коду для системи контролю температури:

```
float temp = 0;

void Temperature_measurement() {
    int PIN_TMP = analogRead(A5);
    temp = (PIN_TMP * 5.0 / 1024.0 - 0.5) * 100;
    Serial.print("Temp = ");
    Serial.println(temp);
}

if(temp <= 20.0){ //парм. темп
    digitalWrite(pinLed, HIGH);
}
else if(temp >= 40.0){ //парм. темп
    digitalWrite(pinLed, LOW);
    Motors(0,0,0,1);
}
else{
    digitalWrite(pinLed, LOW);
}
```

2.2.2 Система контролю вологості

Зволоження повітря є важливою складовою процесу інкубації. Зазвичай в подібних макетах використовуються ультразвукові керамічні випарювачі, що мають окремий мікроконтролер та джерело живлення (рис. 2.6), однак через технічні обмеження робота цієї системи буде симулюватися за допомогою п'єзоелемента (рис. 2.8). Рівень вологості визначатиметься за допомогою

датчика вологості HR202L (рис. 2.7) (в TinkerCad використовуватиметься датчик вологості ґрунту).



Рисунок 2.6 – Ультразвуковий керамічний зволожувач повітря DC3.7-12V



Рисунок 2.7 – Датчик вологості HR202L з модулем

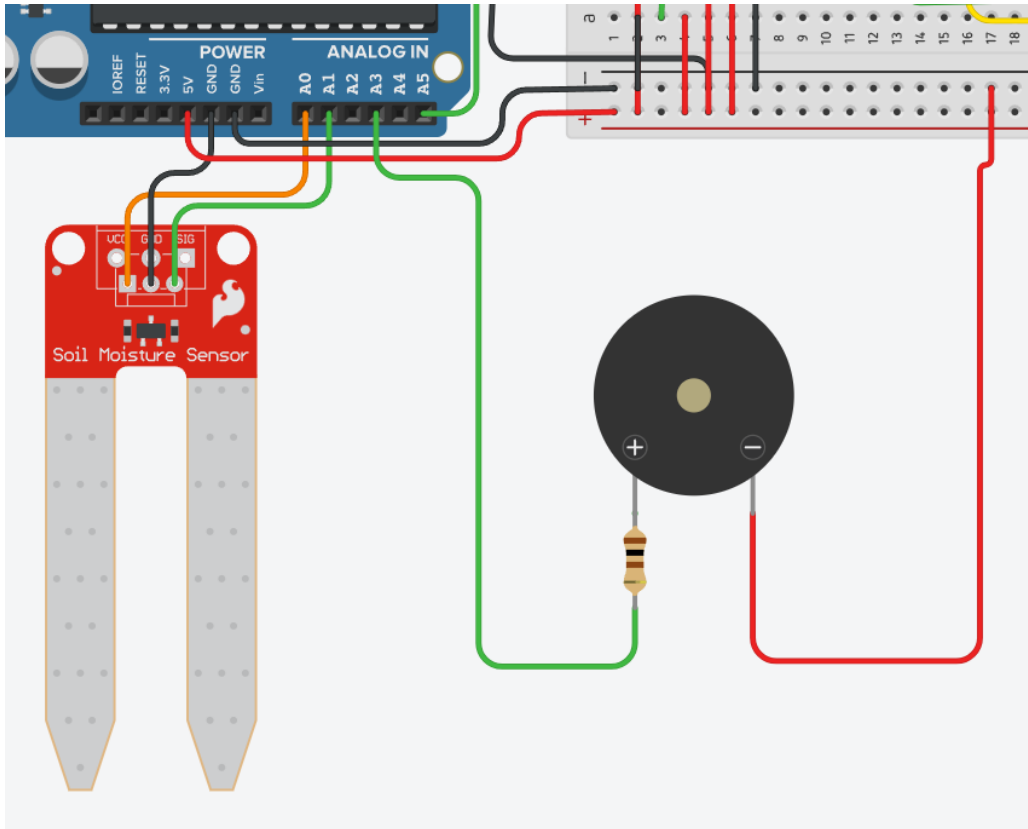


Рисунок 2.8 – Система контролю вологості в TinkerCad

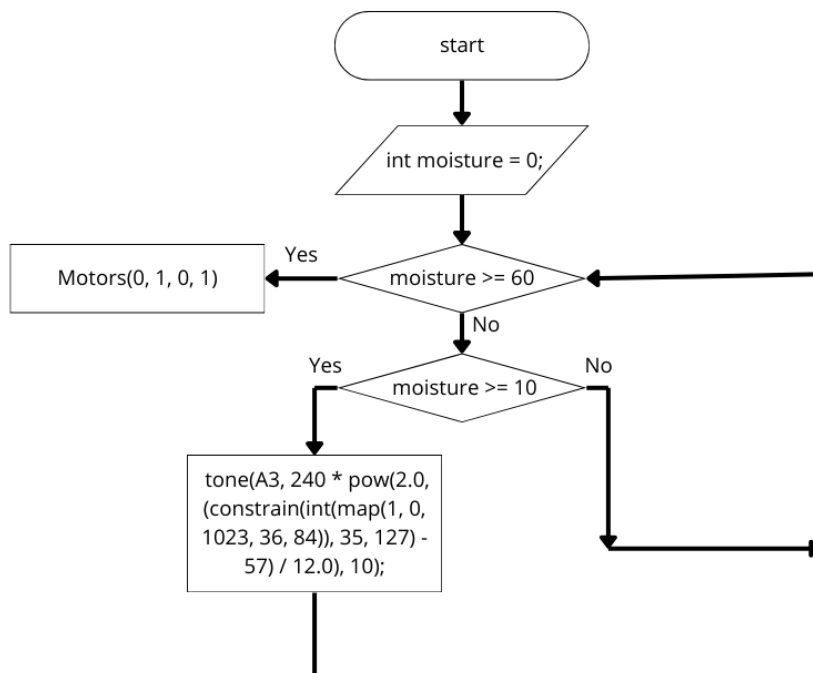


Рисунок 2.9 – Алгоритм контролю вологості

Сегмент коду що відповідає за контроль вологості:

```
int moisture = 0;

void Moisture_function() {
    digitalWrite(A0, HIGH);
    delay(10);
    moisture = analogRead(A1);
    digitalWrite(A0, LOW);
    Serial.print("Moisture = ");
    Serial.println(moisture);
}

if (moisture >= 60) {
    Motors(0, 1, 0, 1);
} else if (moisture <= 10) {
    tone(A3, 240 * pow(2.0, (constrain(int(map(1, 0, 1023, 36, 84)), 35,
127) - 57) / 12.0), 10);
}
```

2.2.3 Система перегортання лотків

Перегортання яєць є критично важливим для процесу інкубації. В макеті це буде робитись за допомогою крокового двигуна SG90 (рис. 2.10 – 2.11). Серводвигун має через рівні проміжки часу повертатись на 60 градусів в один бік і потім в зворотній. Через вказану кількість циклів сервопривід зупиняється до подальшого перезапуску програми.

Програма керування сервомотором написана із використанням бібліотеки Servo.h.



Рисунок 2.10 – Кроковий двигун SG90

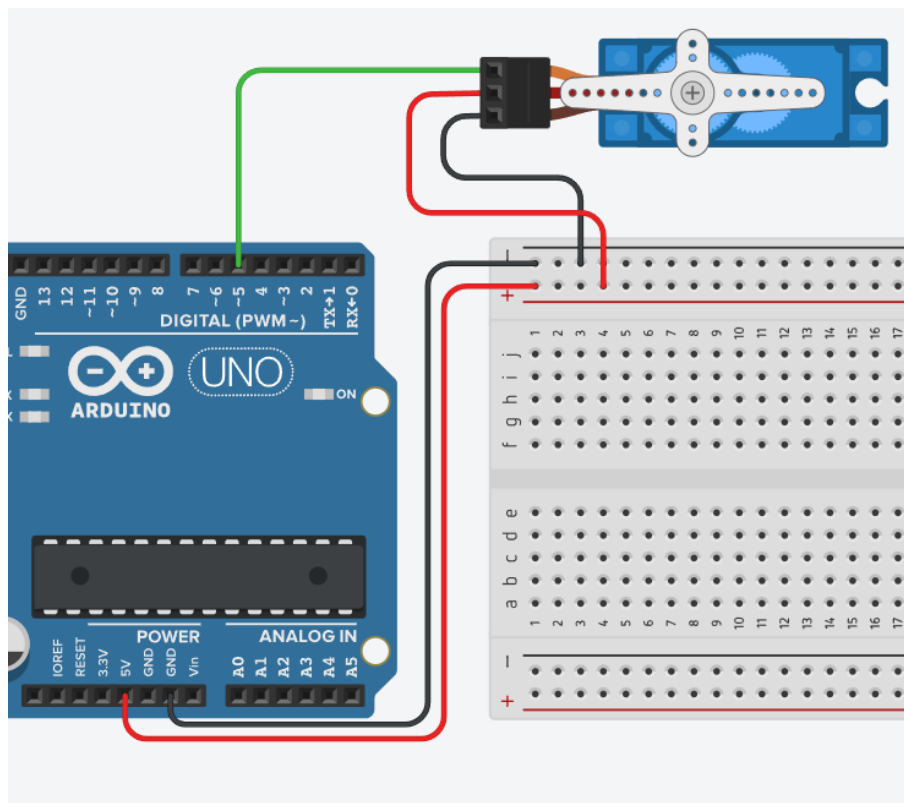


Рисунок 2.11 – Підключення крокового двигуна SG90 до Arduino

Функція керування:

```
void Servo_function() {  
    if (res == true) {  
        for (pos = 0; pos <= 90; pos += 1) {  
            servo_5.write(pos);  
            delay(15);  
        }  
        res = false;  
    } else {  
        for (pos = 90; pos >= 0; pos -= 1) {  
            servo_5.write(pos);  
            delay(15);  
        }  
        res = true;  
    }  
}
```

2.2.4 Система внутрішньої вентиляції

Система внутрішньої вентиляції призначена для рівномірного розподілу температури та вологості всередині інкубатора. Система працює постійно але має мати можливість ручного вмикання/вимикання. Кулери мають окреме джерело живлення, управління здійснюється за участі драйвера L293D (рис. 2.12).

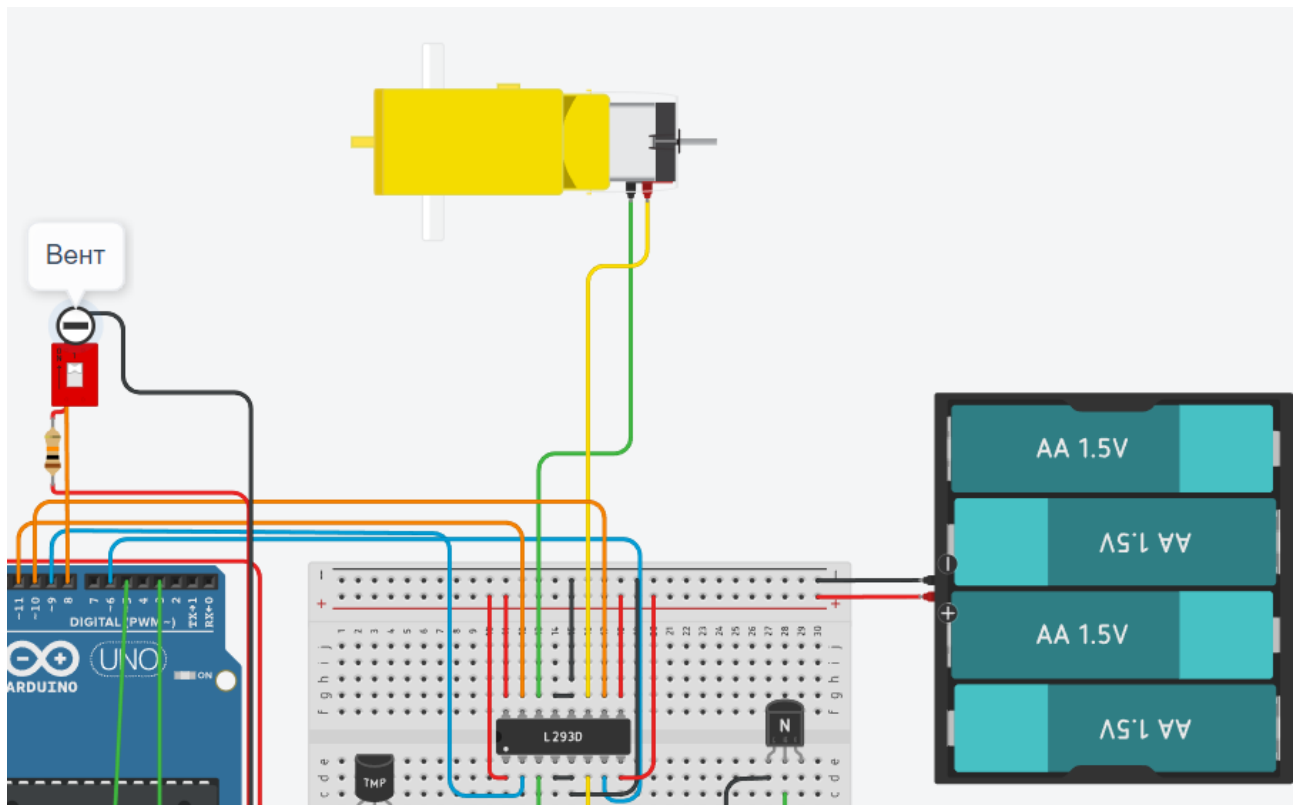


Рисунок 2.12 – Підключення кулера до Arduino через драйвер L293D в TinkerCad

2.2.5 Система зовнішньої вентиляції

Ця система вентиляції є частиною системи аварійного реагування. Вона вмикається якщо рівень температури та/або вологості наближається до критичного і виводить перегріте повітря із інкубатора. Підключення ідентичне внутрішній вентиляції і виконано через драйвер L293D (Рис 2.13).

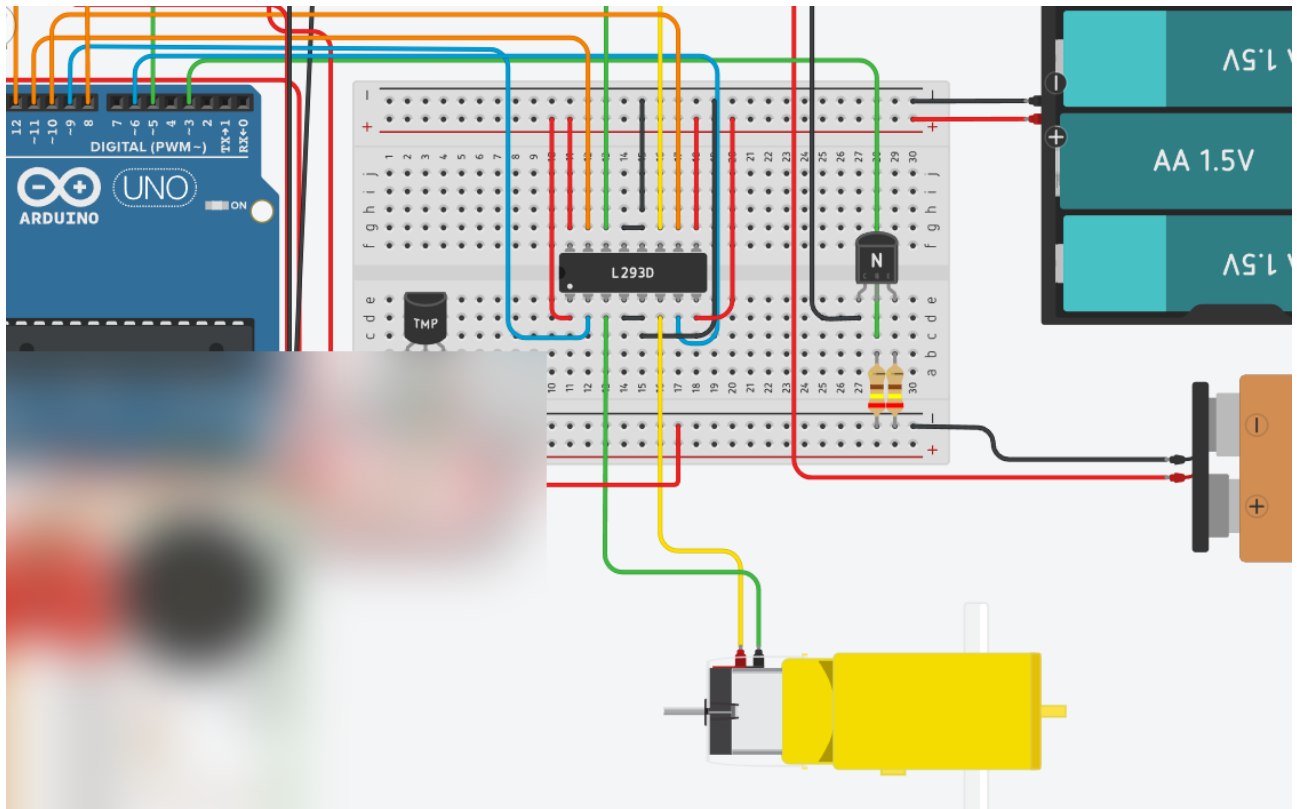


Рисунок 2.13 – Підключення кулера зовнішньої вентиляції.

Системи зовнішньої та внутрішньої вентиляції частково або повністю залучені до системи реагування на аварійні ситуації тому алгоритми їх роботи будуть надані в підрозділі про систему реакції на аварійні ситуації.

2.2.6 Система реагування на аварійні ситуації

Ця система призначена для оповіщення про критичні ситуації в інших системах шляхом контролю показників температури/вологості, а також мінімізації ризиків. В разі якщо температура або вологість наближуються до верхніх критичних значень то система вмикає зовнішню вентиляцію і запускає звуковий сигнал. Якщо температура або вологість досягають критичного значення то система зупиняє процес інкубації та подає звуковий сигнал. Повний алгоритм наведено нижче (рис. 2.14).

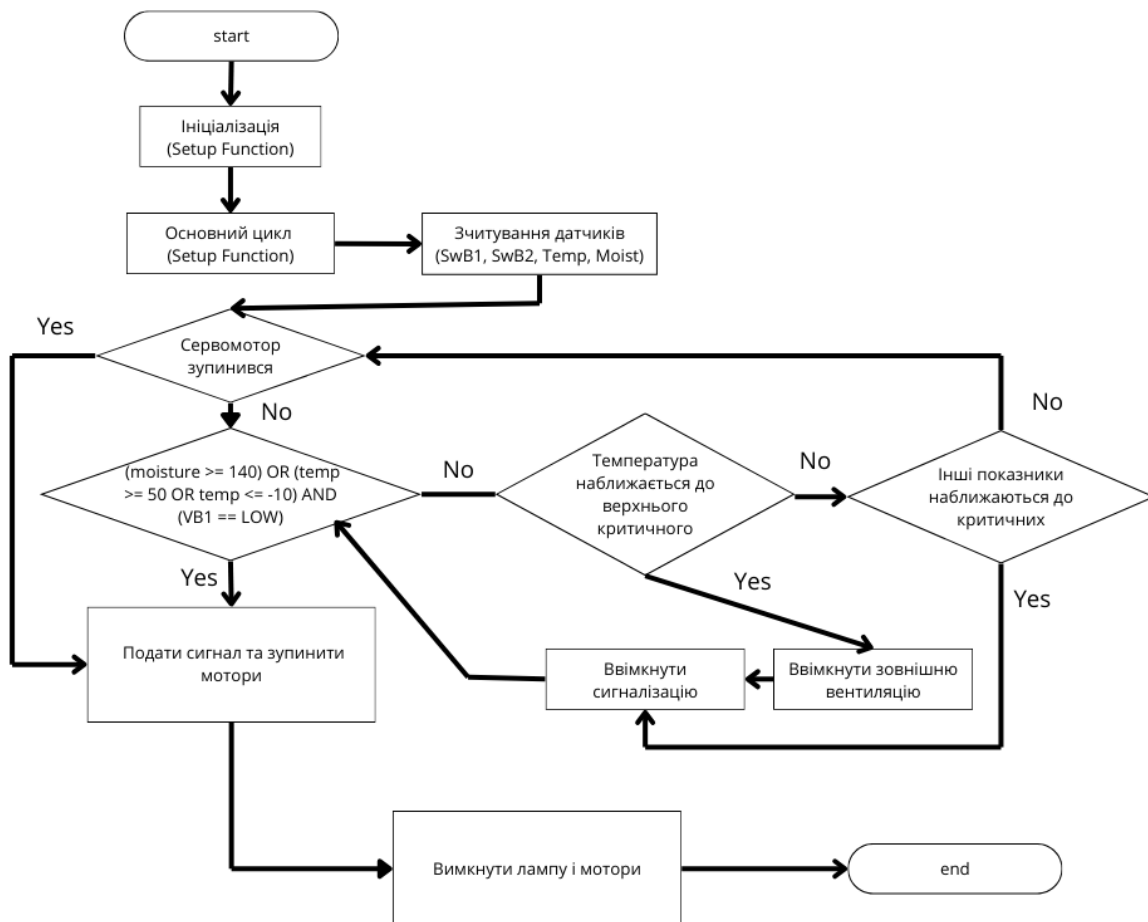


Рисунок 2.14 – Алгоритм системи аварійного реагування

Система аварійного реагування та системи вентиляції керуються в головній функції:

```

void loop()
{
  VB1 = digitalRead(SwB1);
  VB2 = digitalRead(SwB2);
  Temperature_measurement();
  Moisture_function();
  if((moisture >= 140 || temp >= 50 || temp <= -10) && VB1 == 0){ //

```

тут поменяць значення на реальные значення для инкубатора

```
tone(A2, 440 * pow(2.0, (constrain(int(map(1, 0, 1023, 36, 84)),
35, 127) - 57) / 12.0), 1000);
    digitalWrite(pinLed, LOW);
    Motors(0,0,0,0);
}
else if (VB1 == 0) {
    if(VB2 != 0){
        Motors(0,0,0,0);
    }
    else{
        Motors(1,0,0,0);
    }
    if(temp <= 20.0){ //парм. темп
        digitalWrite(pinLed, HIGH);
    }
    else if(temp >= 40.0){ //парм. темп
        digitalWrite(pinLed, LOW);
        Motors(0,0,0,1);
    }
    else{
        digitalWrite(pinLed, LOW);
    }

    if(moisture >= 60){ //парм. влажности
        Motors(0,1,0,1);
    }
    else if(moisture <= 10){ //парм. влажности
```

```
tone(A3, 240 * pow(2.0, (constrain(int(map(1, 0, 1023, 36, 84)), 35,
127) - 57) / 12.0), 10);
}
```

```
unsigned long currentTime = millis();
if (currentTime - lastServoTime >= servoInterval) {
    Servo_function();
    lastServoTime = currentTime;
}
}
else{
    digitalWrite(pinLed, LOW);
    Motors(0,0,0,0);
}
}
```

3 РОЗРАХУНОК АМПЛІТУДНОЇ ТА ФАЗОВОЇ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ СЕРВОДВИГУНА SG90

Для розрахунку амплітудної та фазової частотних характеристик сервомотора SG90 потрібно знати його динамічні характеристики, такі як передавальна функція, але для спрощення можна використовувати стандартні характеристики серводвигуна. Основні параметри, які нас цікавлять, це швидкість реакції та можливий коефіцієнт підсилення.

Нижче наведено узагальнений підхід до визначення амплітудної та фазової частотних характеристик для сервомотора SG90.

Передавальна функція серводвигуна SG90 має наступний вигляд [11]:

$$H(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (3.1)$$

де K – коефіцієнт підсилення;

τ – стала часу;

s – комплексна змінна Лапласа.

Визначення параметрів. Для сервомотора SG90 можна взяти наступні значення:

$$K \approx 1;$$

$$\tau \approx 0.1;$$

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) визначається як модуль передавальної функції при $s = j\omega$:

$$|H(j\omega)| = \left| \frac{K}{j\omega\tau + 1} \right| = \left| \frac{K}{\sqrt{\omega^2\tau^2 + 1}} \right| \quad (3.2)$$

Фазово-частотна характеристика (ФЧХ) визначається як аргумент передавальної функції при $s=j\omega$:

$$\arg(H(j\omega)) = \arctan\left(-\frac{\omega\tau}{1}\right) = -\arctan(\omega\tau) \quad (3.3)$$

Обчислення характеристик. Ми можемо обчислити ці характеристики для різних значень частоти ω

Для обчислення АЧХ та ФЧХ візьмо частоту від 0.1 до 10 рад/с:

- частоти: $\omega=0.1, 0.5, 1, 2, 5, 10$;
- амплітудна характеристика: $|H(j\omega)| = |K/(j\omega\tau+1)| = K/\sqrt{(\omega\tau)^2+1}$;
- фазова характеристика: $\arg(H(j\omega)) = \arctan(-\omega/\tau) = -\arctan(\omega\tau)$.

Проведемо розрахунок та побудову графіків за допомогою C++ та бібліотеки `matplotlibcpp.h` :

Код програми:

```
#include <iostream>
#include <cmath>
#include <vector>
#include "matplotlibcpp.h"

namespace plt = matplotlibcpp;

const double K = 1.0; // Gain
const double tau = 0.1; // Time constant

void calculateFrequencyCharacteristics(const std::vector<double>& omega,
                                       std::vector<double>& amplitude,
                                       std::vector<double>& phase) {
    for (double frequency : omega) {
```

```
double amp = K / sqrt(pow(frequency * tau, 2) + 1);
double ph = -atan(frequency * tau) * (180.0 / M_PI); // Convert to degrees

    amplitude.push_back(amp);
    phase.push_back(ph);
}
}

int main() {
    std::vector<double> omega = {0.1, 0.5, 1, 2, 5, 10};
    std::vector<double> amplitude;
    std::vector<double> phase;

    calculateFrequencyCharacteristics(omega, amplitude, phase);

    // Plotting the amplitude characteristic
    plt::figure_size(1200, 600);
    plt::subplot(2, 1, 1);
    plt::plot(omega, amplitude, "bo-");
    plt::xscale("log");
    plt::title("Амплітудно-частотна характеристика");
    plt::xlabel("Частота (рад/с)");
    plt::ylabel("|H(jω)|");
    plt::grid(true);

    // Plotting the phase characteristic
    plt::subplot(2, 1, 2);
    plt::plot(omega, phase, "ro-");
    plt::xscale("log");
```

```

plt::title("Фазово-частотна характеристика");
plt::xlabel("Частота (рад/с)");
plt::ylabel("Фаза (градуси)");
plt::grid(true);

plt::tight_layout();
plt::show();

return 0;
}

```

Результатом роботи програми є значення, показані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків

Frequency (rad/s)	$ H(j\omega) $	Phase (degrees)
0.1	0.99995	-0.57294
0.5	0.99875	-2.86241
1.0	0.99504	-5.71059
2.0	0.98058	-11.30993
5.0	0.89443	-26.56505
10.0	0.70711	-45.00000

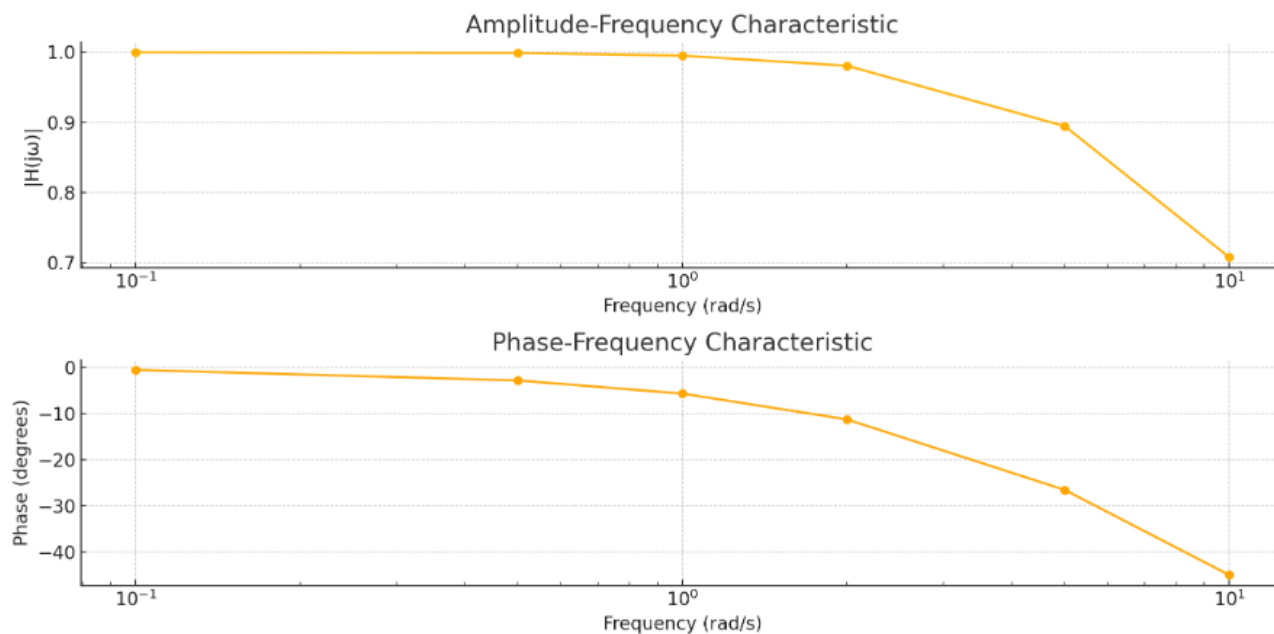


Рисунок 3.1 – Графіки амплітудної та фазової характеристики серводвигуна SG90

З аналізу АЧХ можна зазначити, що амплітуда сигналу залишається майже незмінною на низьких частотах і починає зменшуватися на високих частотах. Фазова характеристика свідчить про поступове зменшення фази з ростом частоти, що є типовим для серводвигунів із першопорядковою динамікою, яким являється SG90.

Цей аналіз може допомогти в подальших налаштуваннях двигуна для забезпечення точності при обертанні та дотриманні часових інтервалів.

4 ТЕСТУВАННЯ ТА МАКЕТУВАННЯ ПРОЕКТУ

4.1 Тестування апаратного забезпечення

Результатом проектування віртуального макета в TinkerCad є схема, що представлена нижче (рис. 4.1).

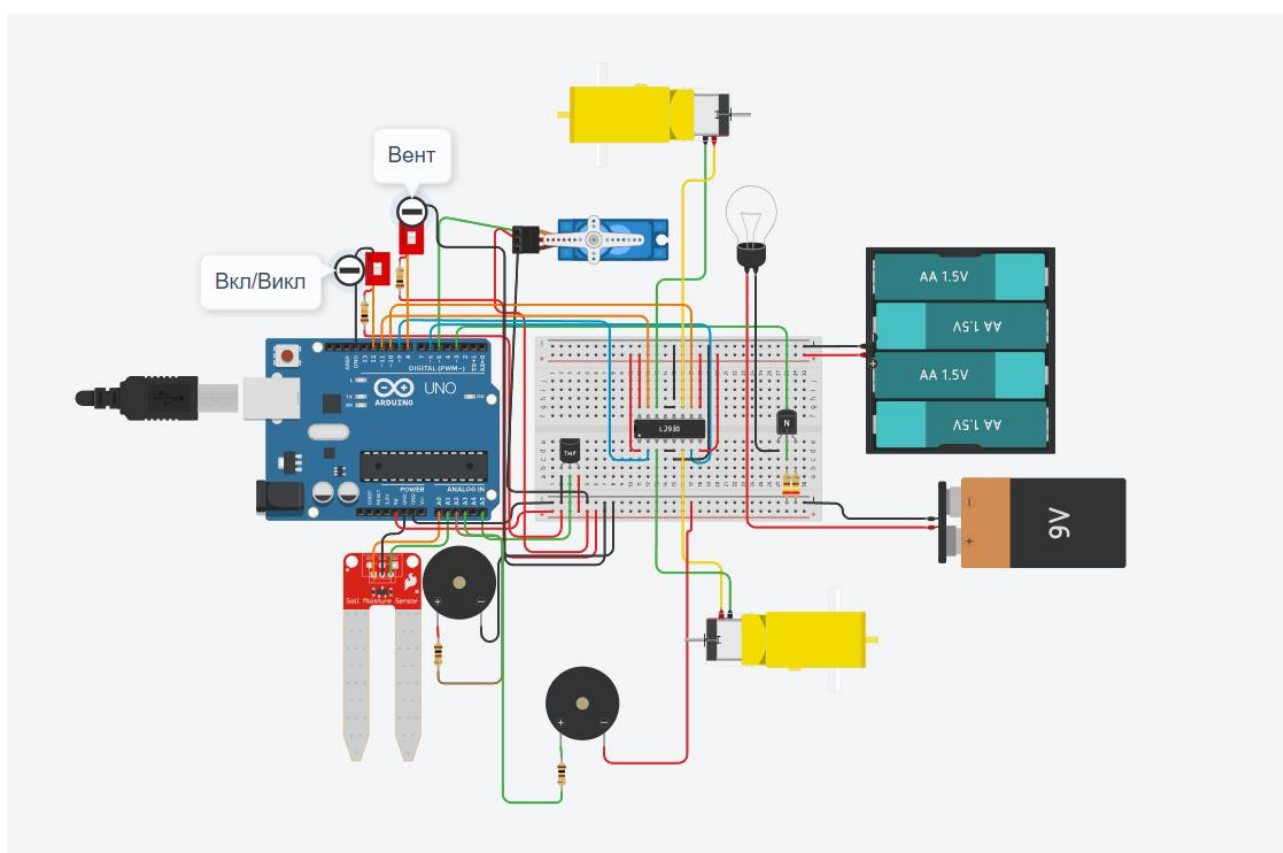


Рисунок 4.1 – Повна модель системи керування в TinkerCad

Повний код для системи керування наведено в Додатку А.

Для тестування були взяті наступні тестові значення:

- а) діапазон нормальної роботи:
 - температура: 20-40°C;
 - вологість: 10-60%.
- б) нижні критичні значення:

- температура: 10-20°C;
 - вологість: 0-10%.
- в) верхні критичні значення:
- температура: 40-50°C;
 - вологість: 60-140%.
- г) кількість циклів перегортання: 4

Наведені дані є тестовими і передбачається що вони будуть змінюватись під конкретний об'єкт інкубації.

Якщо значення температури або вологості вийдуть за межі критичного діапазону то процес інкубації має зупинитись.

4.1.1 Тестування в діапазоні нормальної роботи

Запустимо симуляцію і виставимо на датчиках дані що відповідають допустимим (рис. 4.2 – 4.3).

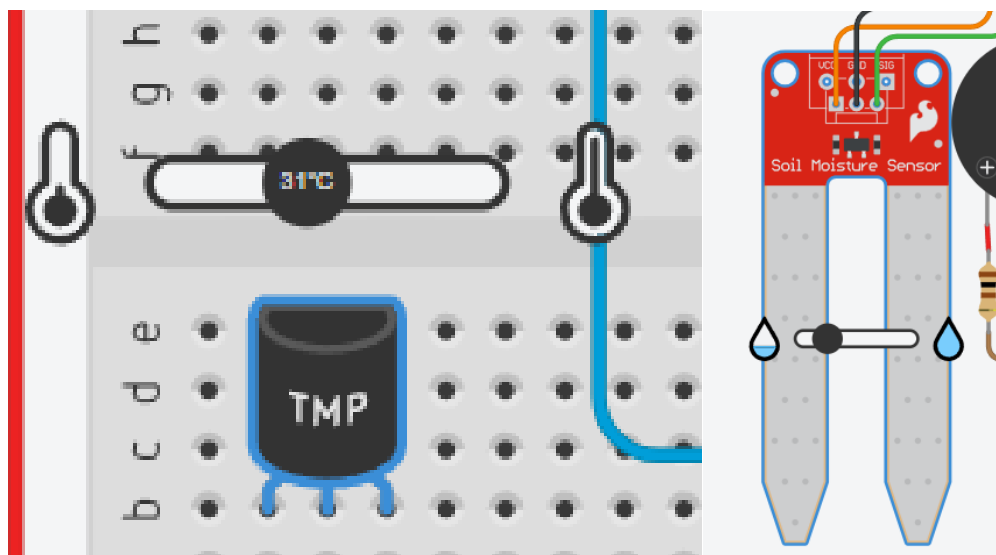


Рисунок 4.2 – Процес налаштування датчиків в симуляції TinkerCad

Temp = 32.03
Moisture = 29

Рисунок 4.3 – Дані температури та вологості в симуляції

Відповідно до наведених алгоритмів якщо показники температури і вологості знаходяться в нормі то системи нагрівання, зволоження, а також зовнішня вентиляція вимкнені. Залишаються системи що працюють незалежно від цих параметрів – внутрішня вентиляція та перегортання (рис. 4.4).

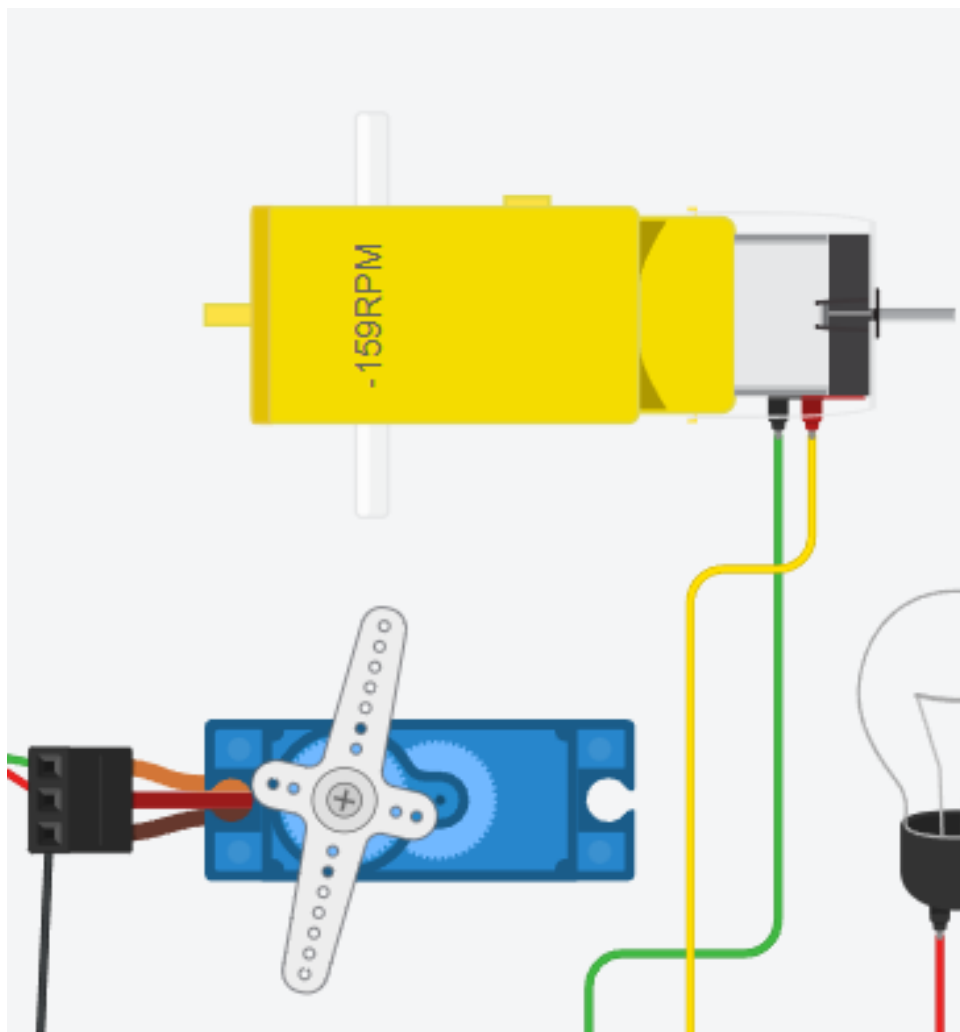


Рисунок 4.4 – Робота систем перегортання та внутрішньої вентиляції

4.1.2 Тестування систем в умовах коли значення знаходяться в нижньому критичному діапазоні

Знизимо значення температури та вологості в межах критичного діапазону (рис. 4.5).

Temp = 6.15
Moisture = 5

Рисунок 4.5 – Тестові налаштування для нижнього критичного діапазону

Згідно алгоритму якщо значення температури або вологості перебувають в нижньому критичному діапазоні то запускаються відповідні системи (рис. 4.6 – 4.7).

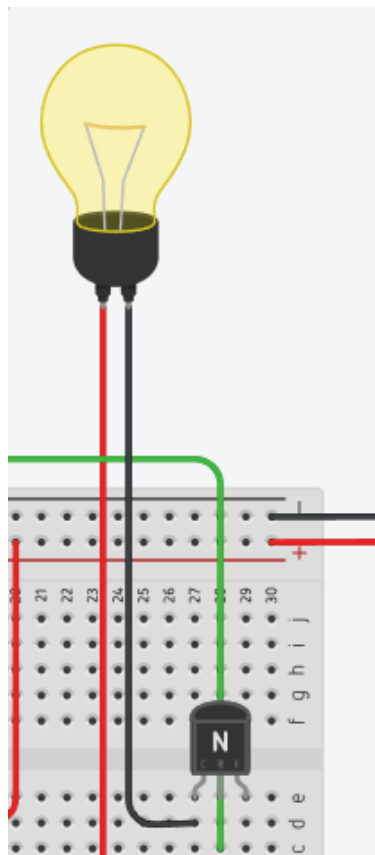


Рисунок 4.6 – Робота системи нагріву

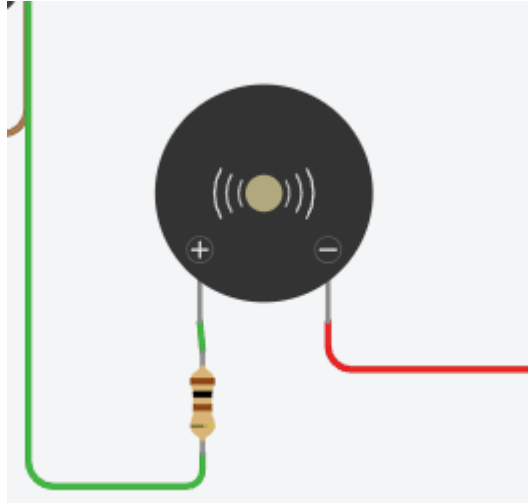


Рисунок 4.7 – Робота випарювача

При виході за межі нижніх критичних значень процес інкубації зупиняється та подається звуковий сигнал (рис. 4.8).

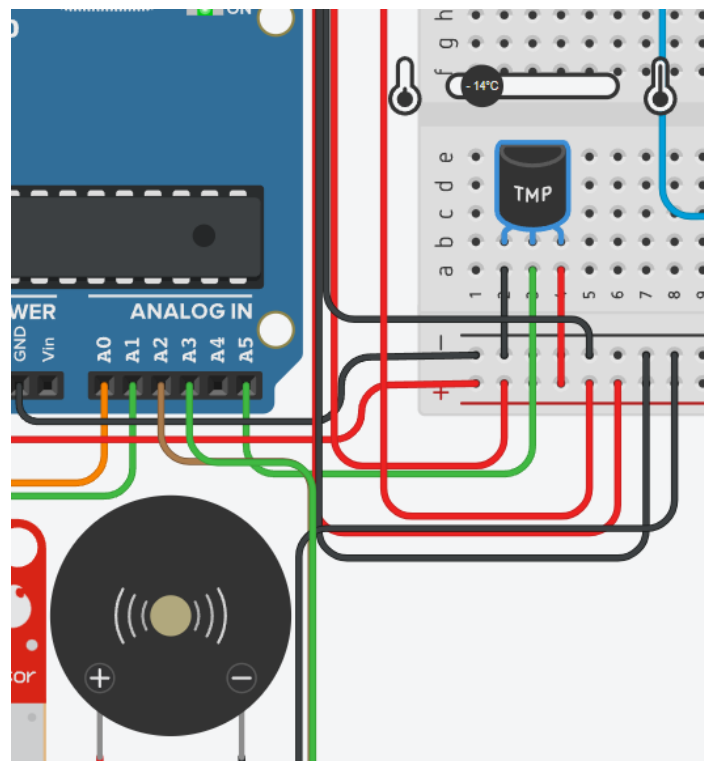


Рисунок 4.8 – Робота системи сповіщення при виході за межі критичного діапазону

4.1.3 Тестування систем в умовах коли значення знаходяться в верхньому критичному діапазоні

Згідно алгоритму якщо значення температури та/або вологості перебувають в верхньому критичному діапазоні то починає працювати зовнішня вентиляція для виводу перегрітого повітря. Перевіримо це на віртуальному макеті (рис. 4.9 – 4.10).

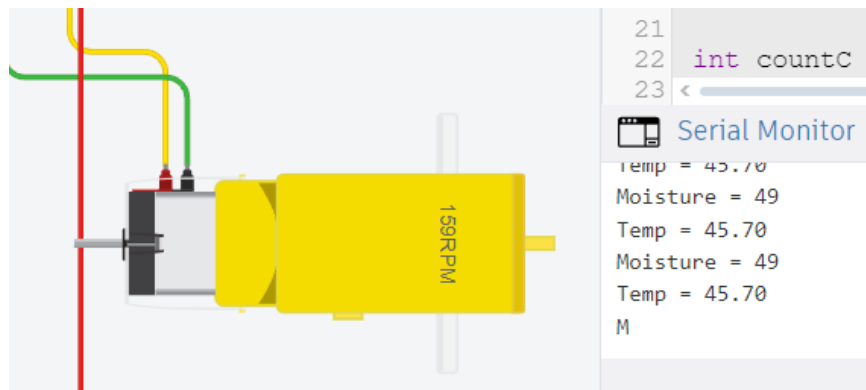


Рисунок 4.9 – Робота зовнішньої вентиляції при перевищенні допустимого значення температури

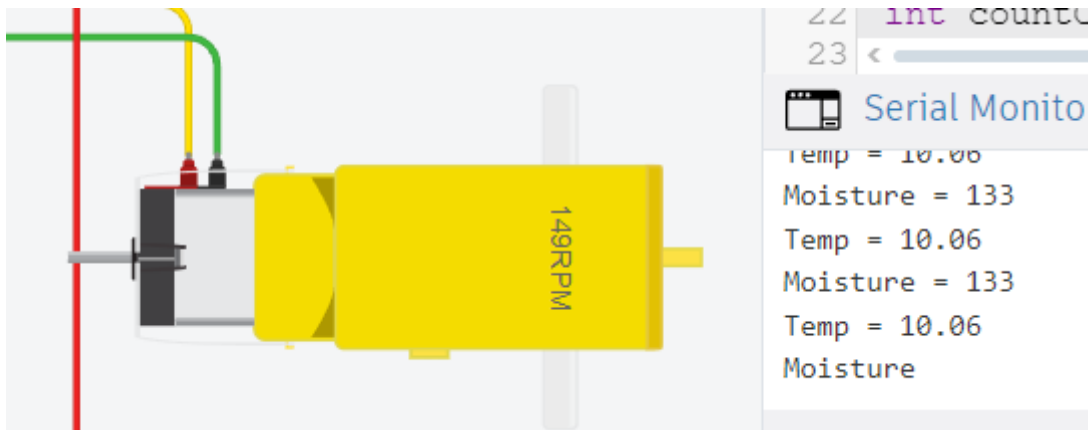


Рисунок 4.10 – Робота зовнішньої вентиляції при перевищенні допустимого значення вологості

4.1.4 Тестування системи перегортання

Проведемо тестування системи перегортання. Згідно алгоритму система перегортання має відпрацювати задану кількість циклів і зупинитись.

Згідно тестових налаштувань довжина циклу складає 5 секунд, кількість циклів – 4. Таким чином, кроковий мотор має працювати 20 секунд і зупинитись. Проведемо тестування (Рис 4.11 – 4.12).

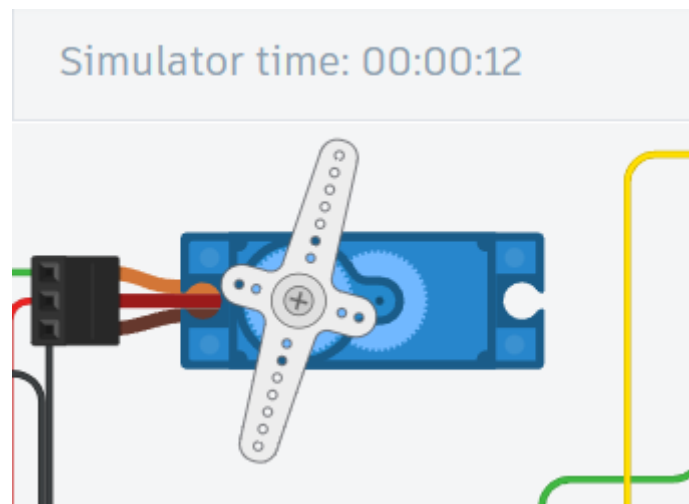


Рисунок 4.11 – Робота крокового мотору на 12-й секунді симуляції

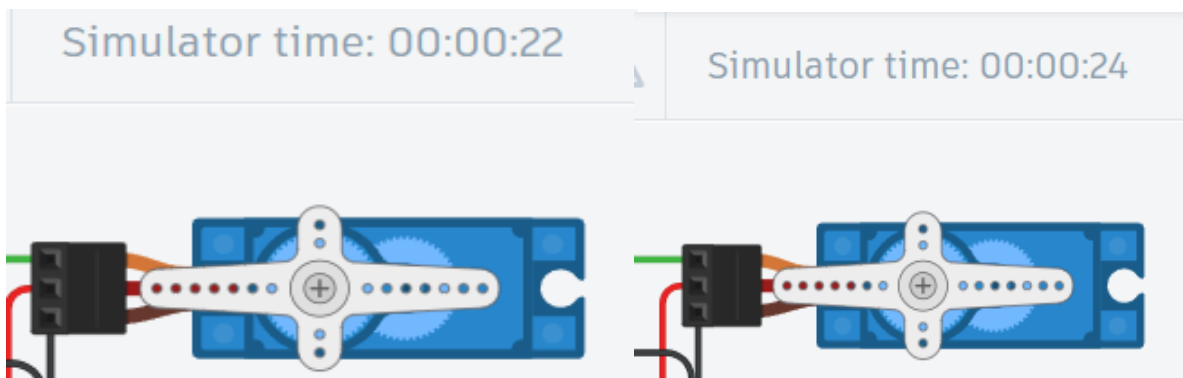


Рисунок 4.12 – Зупинка сервомотора після 20-ї секунди

4.2 Макетування

Для демонстрації працездатності системи побудуємо макет на базі Arduino UNO R3. Через фінансове обмеження а також з огляду на можливості відтворення необхідних умов в межах тестування макету для втілення в макеті було обрано наступні системи:

- система контролю температури;
- система перегортання;
- система зовнішньої вентиляції;
- система внутрішньої вентиляції.

Макетування відбудуватиметься на базі Arduino UNO R3. Збірка відбудуватиметься на макетній платі MB-102/400. Не дивлячись на те що в проекті передбачено окреме джерело живлення для кожної з систем, в макеті живлення усіх систем забезпечуватиме сам мікроконтролер через ланки живлення на макетній платі (рис. 4.13).

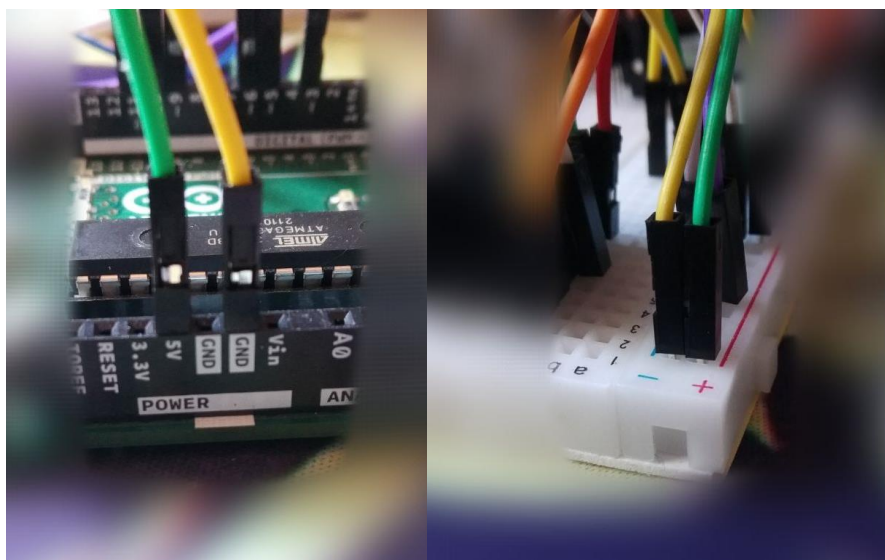


Рисунок 4.13 – Живлення макета через плату

4.2.1 Система контролю температури

Згідно схеми система контролю температури містить такі елементи:

- термодатчик;
- pnp-транзистор;
- лампа розжарювання 9V (замінена на 6V);
- 2 резистори 220Ом;
- окремий блок живлення на 9V (замінено джерелом живлення з мікроконтролера).

В якості термодатчика був обраний TMP36 (рис. 4.14 – 4.15).

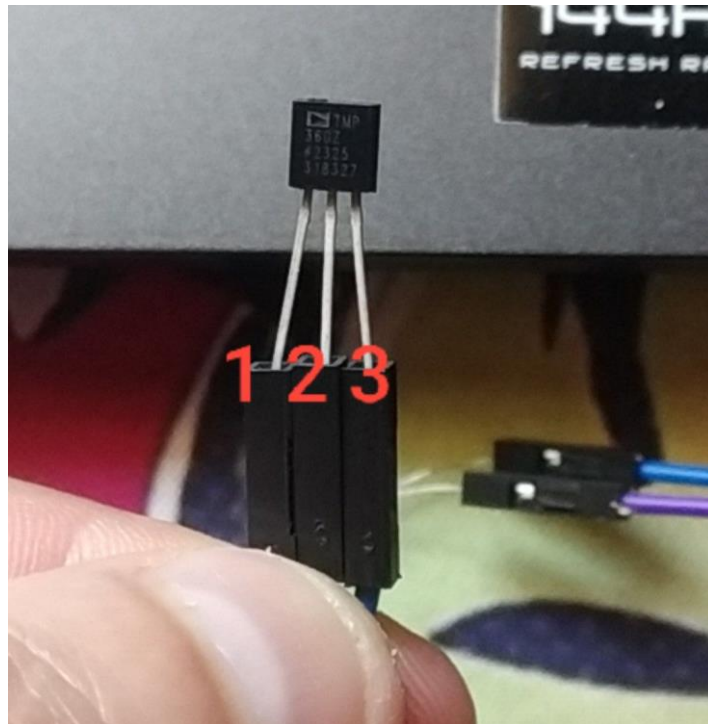


Рисунок 4.14 – Датчик TMP36: 1 – In 2.7-5.5V; 2 – Analog Output; 3 – Ground

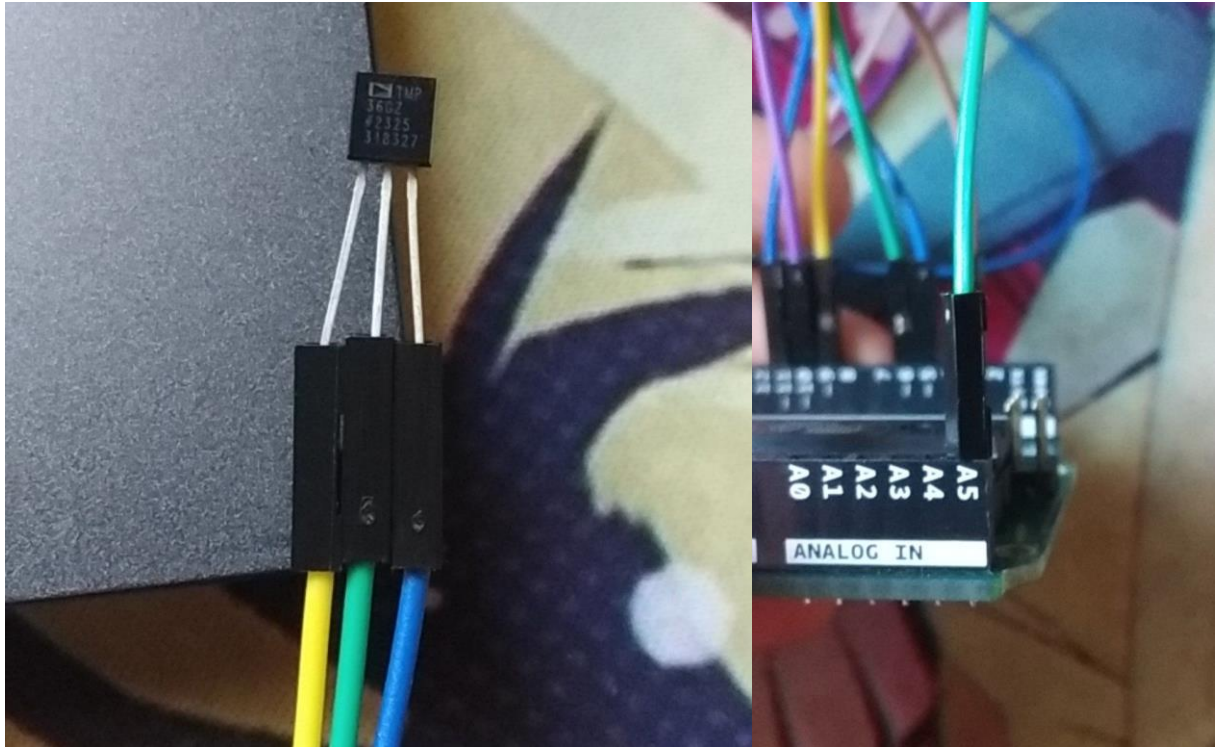


Рисунок 4.15 – Підключення датчика TMP36 до мікроконтролера

Керування лампою розжарювання виконано через pnp-транзистор 2N5551 (рис. 4.16).

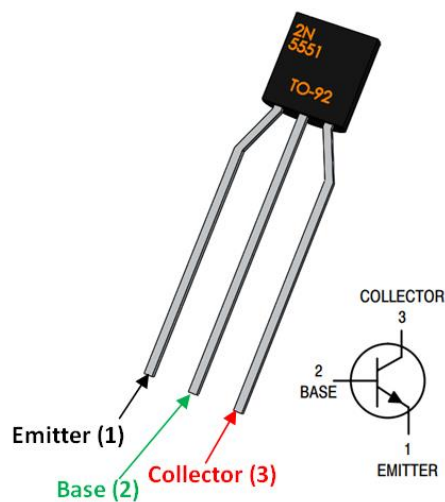


Рисунок 4.16 – NPN-транзистор 2N5551

Реалізуємо систему керування лампою (рис. 4.17 – 4.20).

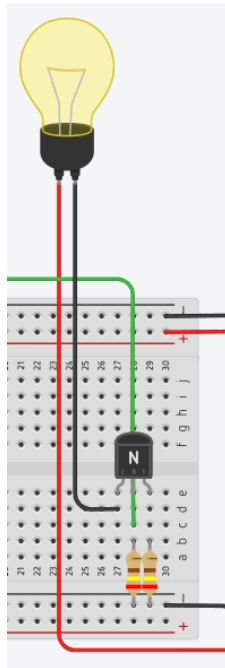


Рисунок 4.17 – Система керування лампою

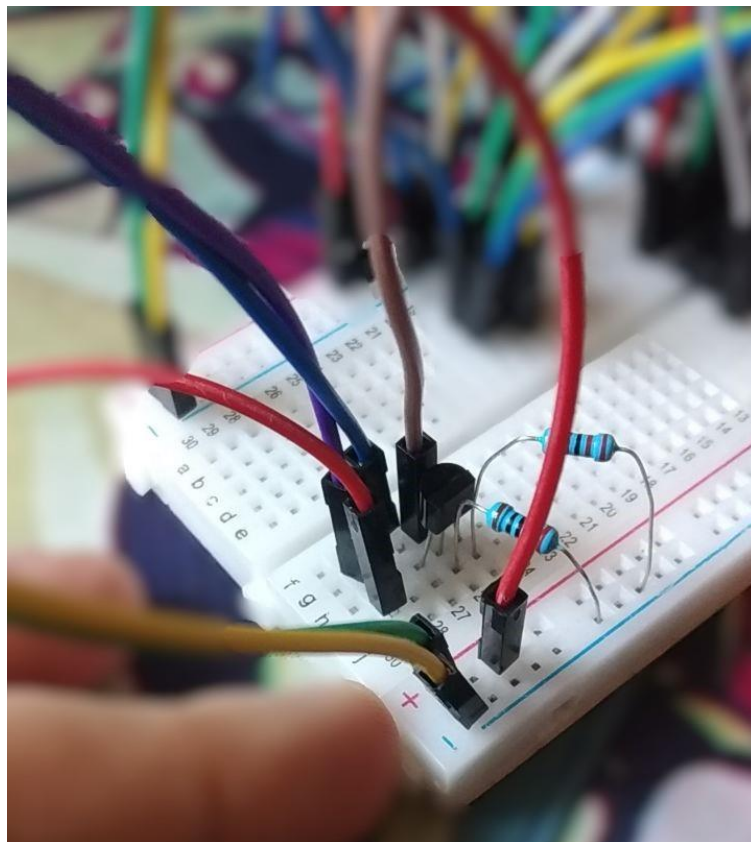


Рисунок 4.18 – Реалізація системи керування лампою через прп-транзистор
2N5551



Рисунок 4.19 – Підключення керування лампою до мікроконтролера

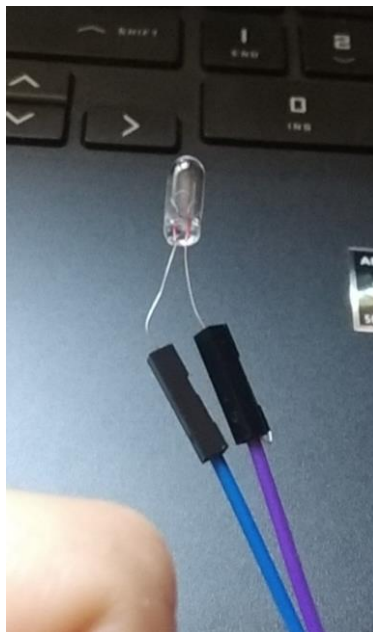


Рисунок 4.20 – Підключення лампи

4.2.2 Система перегортання

Система перегортання виконана у вигляді крокового двигуна SG90 (рис. 4.21 – 4.22).

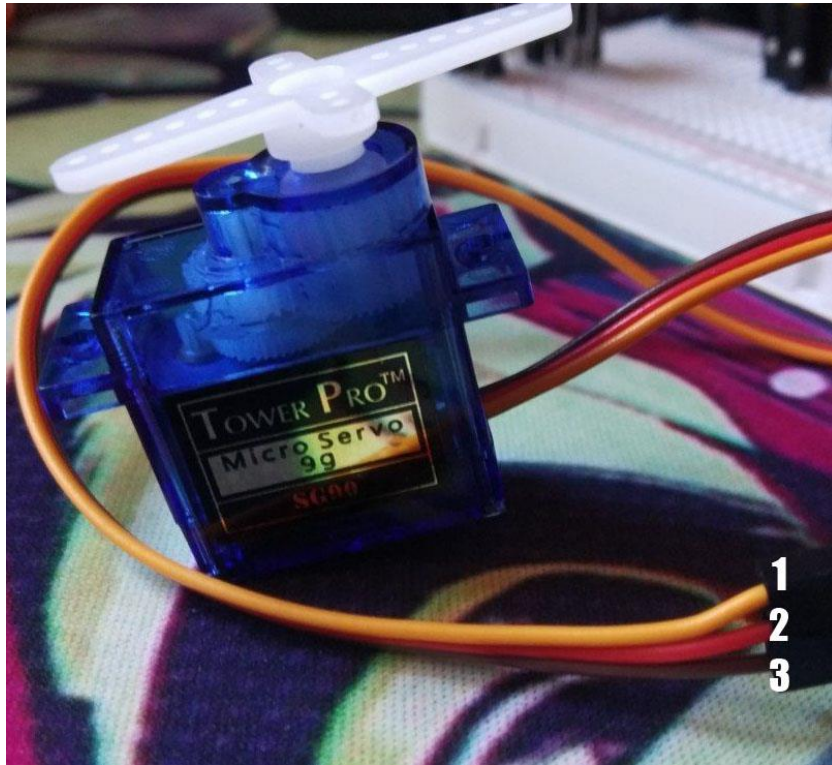


Рисунок 4.21 – SG90: 1 – Control; 2 – Power; 3 – Ground

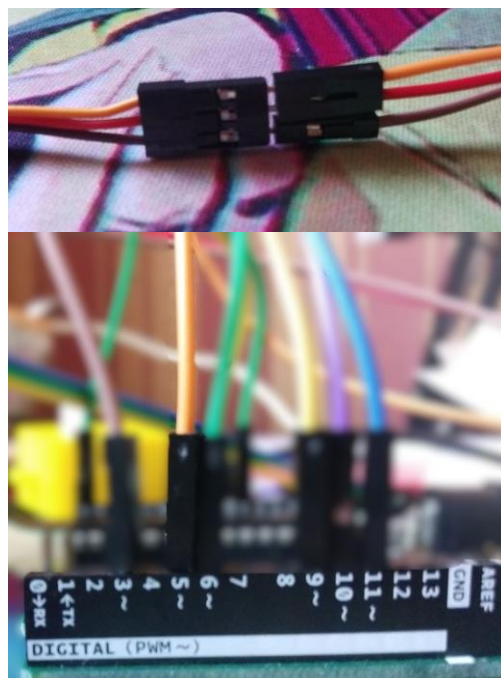


Рисунок 4.22 – Підключення SG90 до контролера

4.2.3 Системи вентиляції

Системи зовнішньої і внутрішньої вентиляції являють собою два кулери що керується через драйвер L293D. В макеті кулери імітують двигуни постійного струму ARC184 3,6V (рис. 4.23 – 4.26).



Рисунок 4.23 – Двигун постійного струму ARC184 3,6V

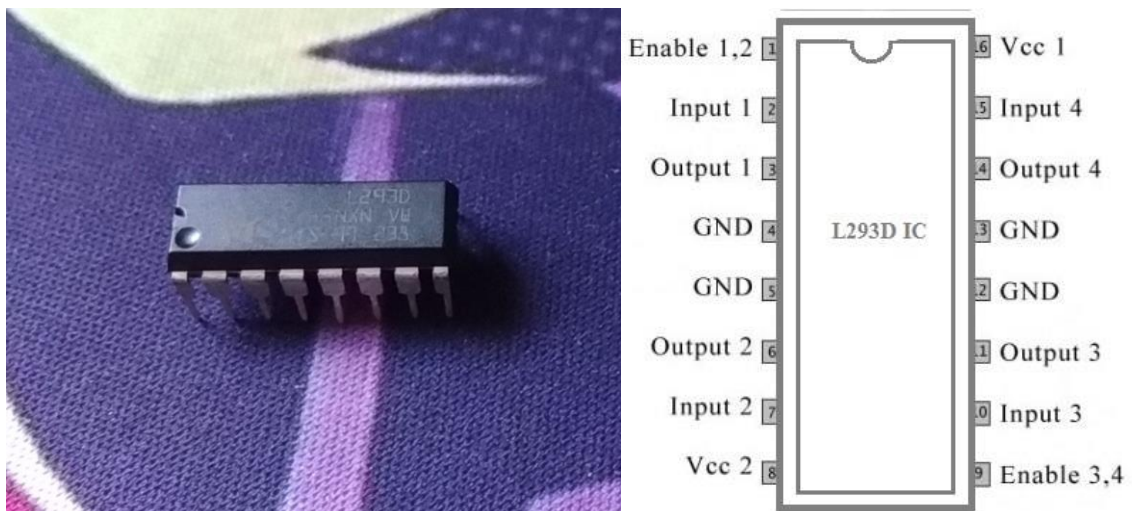


Рисунок 4.24 – Драйвер L293D

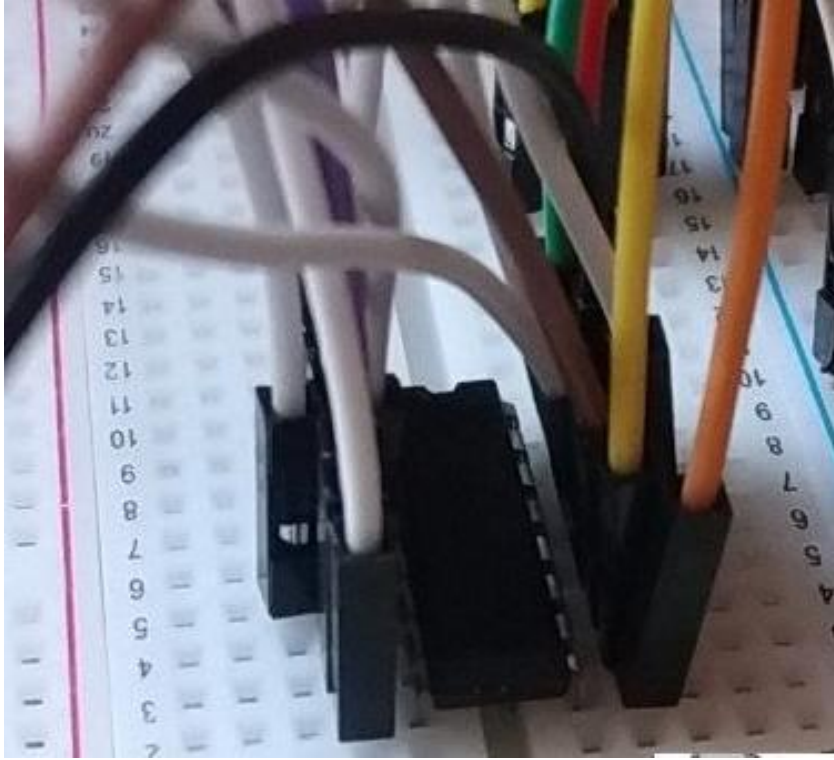


Рисунок 4.25 – Підключення драйвера L293D на макетній платі



Рисунок 4.26 – Підключення двигунів до макетної плати

Згідно схеми підключаємо зовнішню вентиляцію на pwm6 та pwm9, а внутрішню на pwm10 та pwm11 (рис. 4.27).

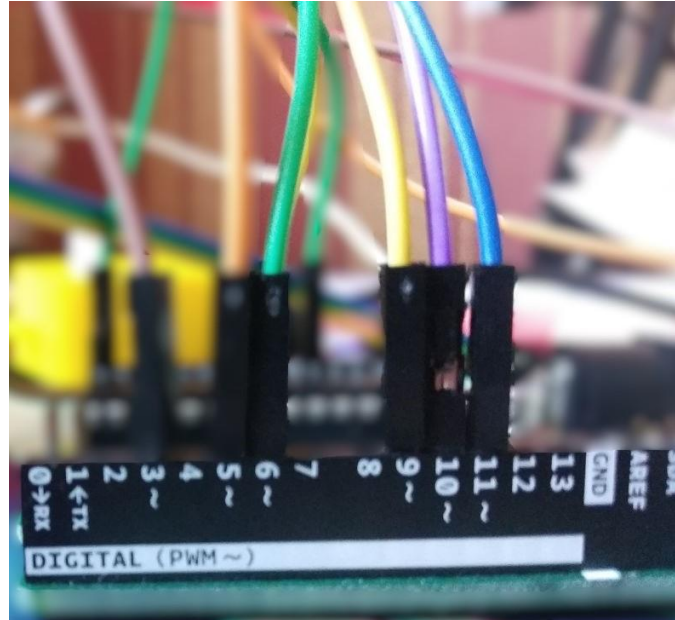


Рисунок 4.27 – Підключення системи керування вентиляцією до контролера

4.2.4 Програмування та тестування

В результаті збірки було отримано наступний макет (рис. 4.28).

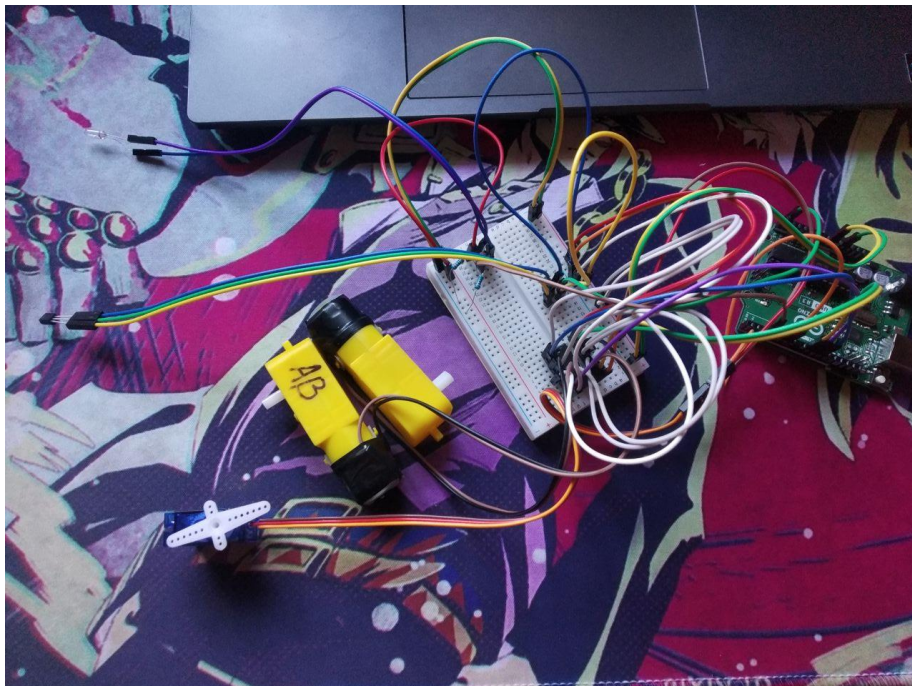
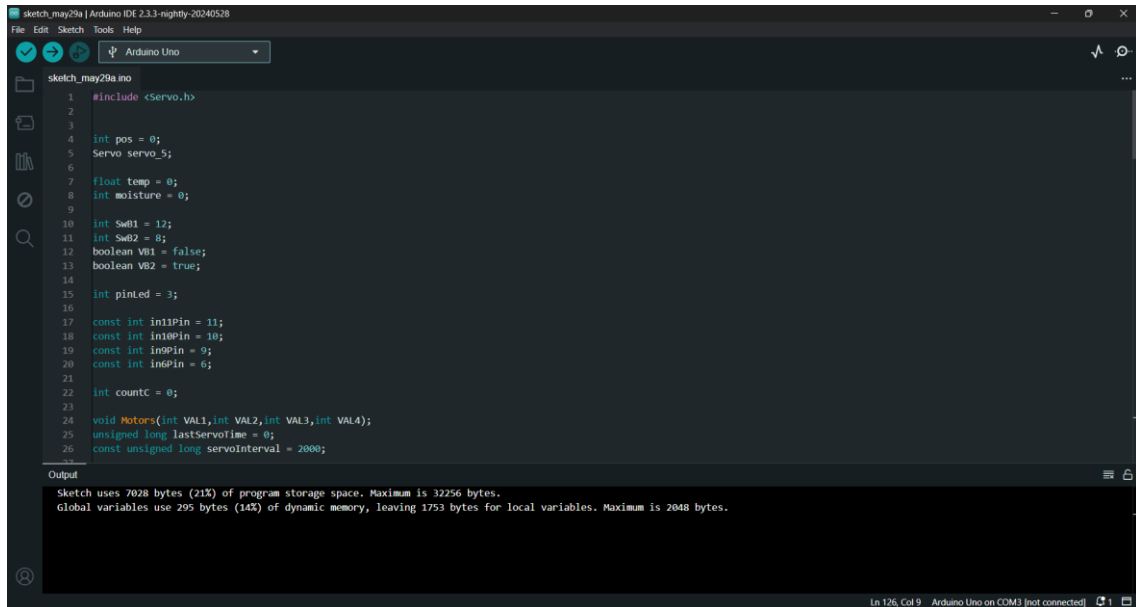


Рисунок 4.28 – Зібраний макет

Програмування макета виконується за допомогою програмного засобу Arduino IDE. Завантажуємо код що наведений в Додатку А і проводимо компіляцію (рис. 4.29).



```
sketch_may29a.ino
1 #include <Servo.h>
2
3
4 int pos = 0;
5 Servo servo_5;
6
7 float temp = 0;
8 int moisture = 0;
9
10 int SwB1 = 12;
11 int SwB2 = 8;
12 boolean VB1 = false;
13 boolean VB2 = true;
14
15 int pInLed = 3;
16
17 const int in11Pin = 11;
18 const int in10Pin = 10;
19 const int in9Pin = 9;
20 const int in6Pin = 6;
21
22 int countC = 0;
23
24 void Motors(int VAL1,int VAL2,int VAL3,int VAL4);
25 unsigned long lastServoTime = 0;
26 const unsigned long servoInterval = 2000;
```

Output

Sketch uses 7028 bytes (21%) of program storage space. Maximum is 32256 bytes.
Global variables use 295 bytes (14%) of dynamic memory, leaving 1753 bytes for local variables. Maximum is 2048 bytes.

Рисунок 4.29 – Вікно програми Arduino IDE

Після завантаження програми на контролер ми можемо спостерігати за роботою системи (рис. 4.30 – 4.31).

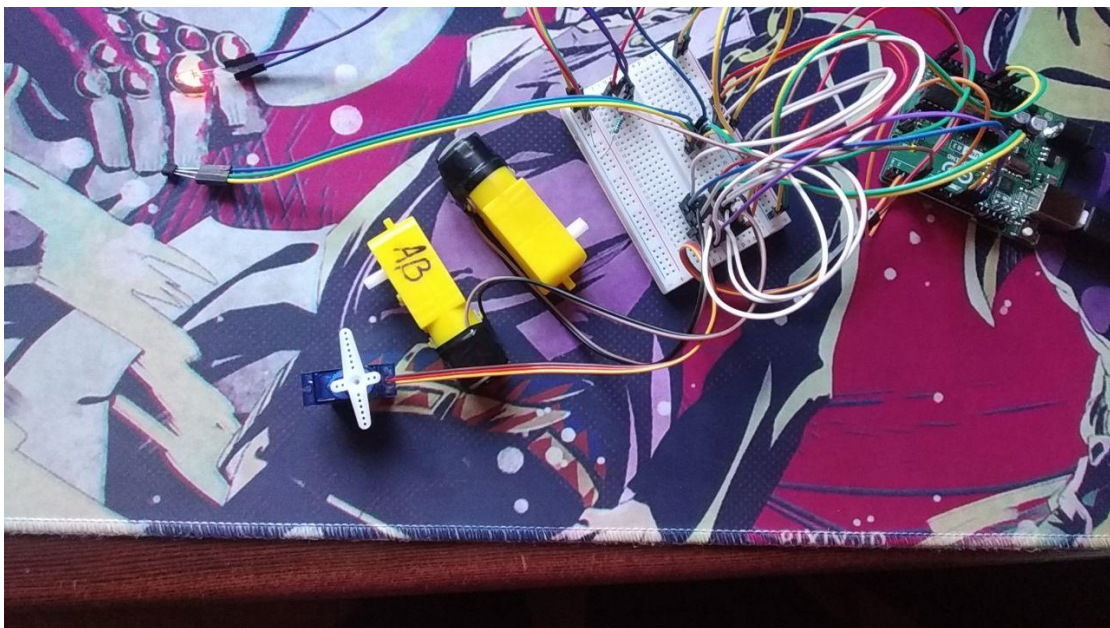


Рисунок 4.30 – Працюючий макет системи керування інкубатором

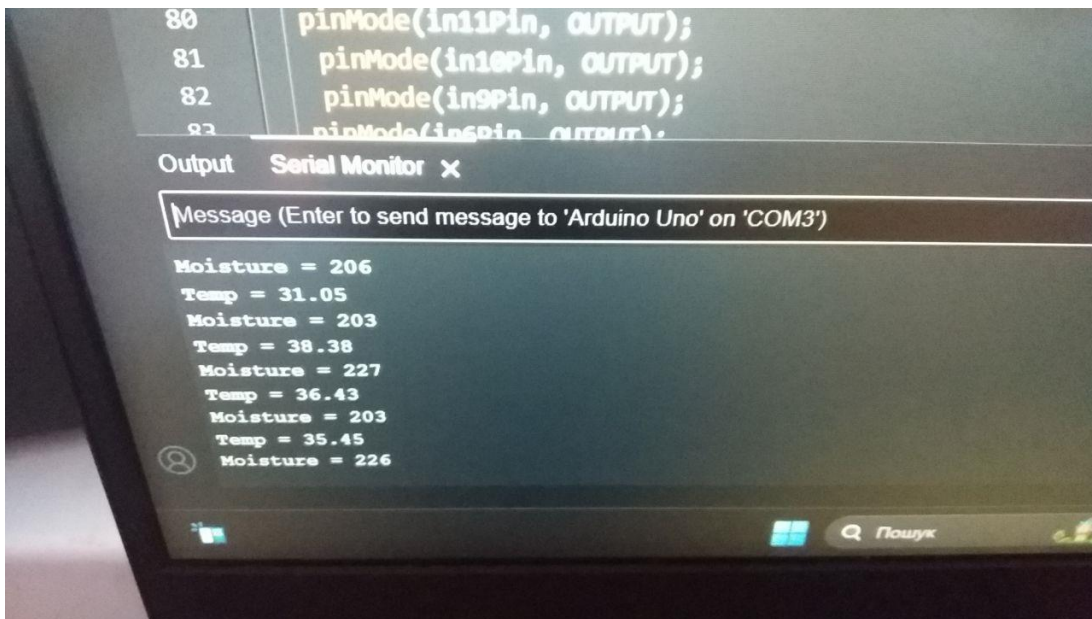


Рисунок 4.31 – Консоль програми

Проведемо тестування систем контролю температури та зовнішньої вентиляції. Через фактори зовнішнього середовища тестові дані температури були змінені наступним чином:

- нижній діапазон складає 0-40°C;
- діапазон нормальної роботи складає 40-60°C;
- верхній критичний діапазон складає 60-80°C.

Наразі кімнатна температура складає 33°C, що є в межах нижнього критичного діапазону, тож ми бачимо роботу системи нагріву (рис. 4.32 – 4.33).

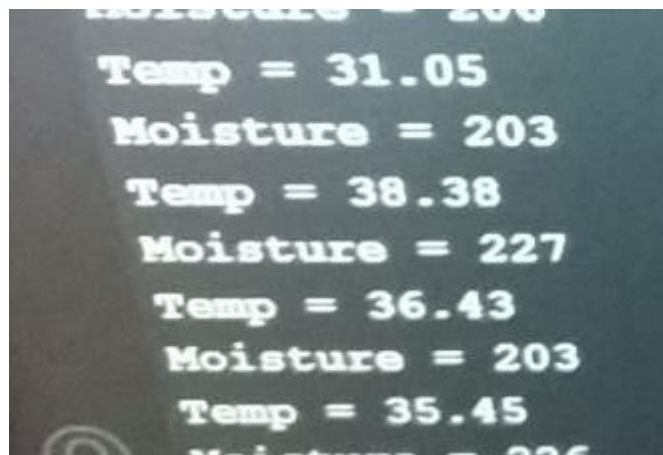


Рисунок 4.32 – Показання датчика температури


```
Temp = 48.14  
Moisture = 239  
Temp = 46.68  
Moisture = 227  
Temp = 43.26  
Moisture = 237  
Temp = 44.24  
Moisture = 226  
Temp = 46.19
```

Рисунок 4.35 – Показники датчика температури

Так як показник температури знаходиться в нормальному діапазоні, система нагріву припинила роботу (рис. 4.36).

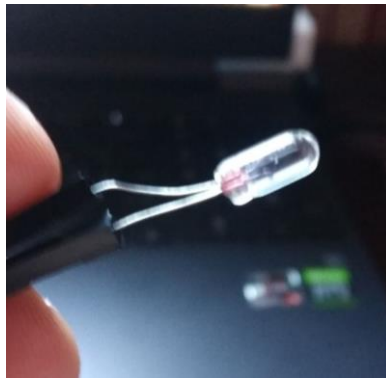


Рисунок 4.36 – Система нагріву припинила роботу

Нагріємо датчик до температури більше 60°C щоб вивести роботу системи в аварійний режим (рис. 4.37).

```
Temp = 61.33  
Moisture = 282  
Temp = 66.21  
Moisture = 269  
Temp = 62.30  
Moisture = 273  
Temp = 64.26  
Moisture = 273  
Temp = 60.84
```

Рисунок 4.37 – Показники датчика температури

Після того, як показання датчика температури перейшли межу в 60°C , почала працювати система зовнішньої вентиляції (рис. 4.38).



Рисунок 4.38 – Робота системи в умовах перевищення допустимої температури

Таким чином ми спроектували і зібрали макет ланки промислового інкубатора, який призначений для контролю температури всередині інкубатора, а також вологості при подальшому доопрацюванні, який виконує визначену кількість циклів перегортання та здатен реагувати на нештатні ситуації, такі як перевищення допустимої температури в результаті аварії. При подальшому доопрацюванні проекту можлива реалізація керування через команди з зовнішнього комп'ютера а також вивід даних на цей комп'ютер.

4.3 Охорона праці при експлуатації промислових інкубаторів

Промислові інкубатори є важливим обладнанням у тваринництві та птахівництві, однак їх експлуатація пов'язана з певними ризиками для здоров'я та безпеки працівників. Дотримання вимог охорони праці є критично важливим для забезпечення безпечних умов роботи [12].

Електробезпека. Промислові інкубатори працюють від електричної мережі, тому ризик ураження електричним струмом є одним з основних. Для запобігання нещасним випадкам необхідно:

- забезпечити надійне заземлення та занулення обладнання;
- регулярно перевіряти справність електричних з'єднань та ізоляції;
- використовувати засоби індивідуального захисту (гумові рукавички, діелектричні килимки) при обслуговуванні електрообладнання;
- проводити інструктажі з електробезпеки для персоналу.

Пожежна безпека. Через наявність нагрівальних елементів та електричних систем, інкубатори можуть становити пожежну небезпеку. Необхідно:

- забезпечити приміщення інкубаторів первинними засобами пожежогашіння;
- регулярно проводити перевірку та обслуговування електрообладнання;
- навчити персонал діям у разі виникнення пожежі.

Мікроклімат. Підтримання оптимального мікроклімату (температура, вологість, швидкість руху повітря) є критичним для успішної інкубації. Однак тривале перебування персоналу в таких умовах може призвести до перегрівання або переохолодження. Необхідно:

- забезпечити ефективну вентиляцію приміщень;
- встановити системи автоматичного контролю та регулювання мікроклімату;

- організувати раціональні режими праці та відпочинку для працівників.

Ергономіка. Робота з інкубаторами може включати важку фізичну працю, наприклад, при завантаженні/вивантаженні яєць. Це може призвести до травм опорно-рухового апарату. Необхідно:

- забезпечити працівників засобами механізації та підйомно-транспортним обладнанням;
- організувати робочі місця відповідно до ергономічних вимог;
- проводити регулярні медичні огляди персоналу.

Дотримання вимог охорони праці при експлуатації промислових інкубаторів є запорукою збереження здоров'я та працездатності персоналу, а також безперебійної роботи виробництва.

ВИСНОВКИ

Промислові інкубатори є спеціальними пристроями для штучного вирощування ембріонів птахів, які забезпечують оптимальні умови температури, вологості та вентиляції. Вони відрізняються від інших типів інкубаторів своїми розмірами, потужністю, та ступенем автоматизації, що дозволяє їх використовувати для великомасштабного виробництва. Автоматизацію промислових інкубаторів забезпечують системи управління мікрокліматом, автоматизація технологічних процесів, процесів моніторингу та діагностики. Групове керування сегментами промислового інкубатора або комплексом промислових інкубаторів здійснюється за допомогою SCADA-систем, таких як Wonderware, Ignition SCADA та WinCC-SCADA.

Апаратні засоби автоматизації здійснюють контроль над мікрокліматом всередині системи і забезпечують реагування випадку аварійних ситуацій. Вони зазвичай складають такі системи:

- система контролю температури – призначена для підтримання задовільного рівня температури всередині інкубатора;
- система зволоження – зволожує повітря для запобігання висушуванню яєць і рівномірного розподілу тепла всередині інкубатора;
- система перегортання – перегортає яйце для рівномірного розподілу поживних речовин всередині і сприяє правильному формуванню ембріона;
- система внутрішньої вентиляції – рівномірно розподіляє волого тепле повітря по інкубатору;
- система зовнішньої вентиляції – в раз аварійної ситуації виводить перегріте повітря з інкубатора запобігаючи перегріванню яєць.

Кожна з цих систем була розроблена в межах віртуальної моделі програмними засобами TinkerCad, а в подальшому реалізована і протестована на макеті на базі Arduino UNO R3.

У цілому, промислові інкубатори є важливими інструментами для ефективного вирощування птахів, і їх автоматизація та моніторинг дозволяють забезпечити стабільні умови для розвитку культур.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ТА ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. 29с.

2. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. Київ, 2018. 320 с.

3. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2022. 55 с.

4. Патрева Л. С. Технологія виробництва продукції птахівництва : курс лекцій / Л. С. Патрева, О. А. Коваль. – Миколаїв : МНАУ, 2018. – 248 с

5. Механізація та автоматизація у тваринництві і птахівництві / О.С. Марченко, О.В. Дацішин, Ю.М. Лавріненко та ін.; За ред. О.С. Марченка. – Київ : Урожай, 1995. – 416 с.

6. Цільовий ринок сільськогосподарської техніки / Н. Гронська, І. Сушко, І. Шувар; Нац. ун-т «Львів. політехніка». Л., 2010. – 238 с.

7. Микитюк П. П, Крисько Ж. Л., Овсянюк-Бердадіна О. Ф., Скочиляс С. М. Інноваційний розвиток підприємства. Навчальний посібник. – Тернопіль: ПП «Принтер Інформ», 2015. – 224 с.

8. Чернишов, П. В. Системи керування на Arduino: підручник. – Черкаси: ЧДТУ, 2021. – 270 с.

9. Петренко О. П. Основи програмування на C++. Л.: БаК, 2017. - 256с..

10. Гервас О.Г. САПР об'єктів середовища. Навчально-методичний посібник /Гервас Ольга Геннадіївна. – Умань: Візаві, 2018. - 160 с.

11. Марченко А.А., Гулий В.С. Теорія автоматичного керування. – Київ 2022. 30 с.

12. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у випускних роботах ОКР «бакалавр» усіх форм навчання [Текст] / упоряд.: Б. В. Дзюнзюк, В. А. Айвазов, Т. Є. Стиценко. – Харків: ХНУРЕ, 2012. – 28 с