

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки

_____ Касаткін Д.Ю., к. пед.н., доц.

підпис

ПІБ, вчене звання і ступінь

«__» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

На тему: « Розробка системи управління інфрачервоним сушінням продуктів
на основі комп'ютерних технологій »

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Гарант освітньої програми: _____

Керівник дипломного проекту: _____ / Лахно В.А. /
підпис ПІБ

Виконав: _____ / Нечаєв В.О.
підпис ПІБ

КИЇВ-2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
завідувач кафедри
комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки
/ Касаткін Д.Ю., к.п.н., доц. /
підпис ПІБ, вчене звання і ступінь
«__» _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ СТУДЕНТУ

Нечаєв Владислав Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність (напрямок підготовки): комп'ютерна інженерія

Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи: «Розробка системи управління інфрачервоним сушінням продуктів на основі комп'ютерних технологій»

затверджена наказом ректора НУБіП України від “__” _____ 202_ р. № _____

Термін подання завершеної роботи на кафедру

Вихідні дані до кваліфікаційної бакалаврської роботи

Для моделювання онлайн макету системи використано програму Tinkercad, для моделювання повноцінного макету - мікропроцесор Arduino Uno R3, датчик вологості та температури підвищеної точності DHT - 22, одноканальний модуль реле 5В 10А, ЖК екран 16x2 з модулем I2C, інфрачервоний нагрівальний елемент E27.

Перелік питань, що підлягають розробці:

1. Аналіз технічного завдання
2. Практичні рішення
3. Реалізація системи
4. Тестування системи і оцінка вартості

Дата видачі завдання “__” _____ 2024 р.

Керівник бакалаврської роботи _____
(підпис)

Лахно В.А., д.т.н., професор
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

Нечаєв В.О
(прізвище та ініціали студента)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту(роботи)	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	14.04.2025 р.	Виконано
2	Дослідження практичних рішень	18.04.2025 р.	Виконано
3	Реалізація системи	28.04.2025 р.	Виконано
4	Тестування системи	11.05.2025 р.	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	23.05.2025 р.	Виконано
6	Оформлення графічного матеріалу	24.05.2025 р.	Виконано

Студент

(підпис)

Владислав Нечасв

(ініціали та прізвище)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Валерій Лахно

(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 76 сторінок, 15 рисунків, 2 таблиці, 1 лістинг, 22 джерела.

Об'єкт аналізу - процес моніторингу та керування температурним режимом за допомогою мікроконтролера Arduino. Система здійснює зчитування показників температури та вологості, виводить їх на екран і автоматично керує нагрівальним елементом відповідно до заданих умов.

Мета роботи – розроблення системи управління інфрачервоним сушінням продуктів на основі комп'ютерних технологій.

Проект складається з 4 розділів.

Перший розділ присвячено аналізу технічного завдання.

У другому розділі досліджувалися практичні рішення по побудові системи.

У третьому розділі реалізувалася система - аналізувалося та підготовлювалося обладнання, будувався та досліджувався онлайн макет системи.

У четвертому розділі тестувався макет, перевірялася робота компонентів, вираховувалася повна вартість системи.

У результаті було розроблено повноцінну самостійну систему для керування інфрачервоним сушінням продуктів на основі мікроконтролера Arduino, датчика температури та вологості, модуля реле та самого нагрівального елемента.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	7
1.1. Постановка задачі	7
1.2. Дослідження і аналіз об'єкту розробки	9
1.3. Огляд технологій сушіння.....	14
1.4. Визначення вимог до апаратного та програмного забезпечення	16
РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНІ РІШЕННЯ.....	21
2.1. Вибір апаратної складової.....	21
2.2. Архітектура системи.....	37
2.3. Програмна складова	40
2.4. Сценарії використання та аналіз можливих проблем.....	42
РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ	45
3.1. Аналіз та підготовка обладнання.....	45
3.2. Побудова онлайн-макету системи.....	53
РОЗДІЛ 4 ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ І ОЦІНКА ВАРТОСТІ.....	62
4.1. Методи тестування.....	62
4.2. Перевірка роботи компонентів.....	65
4.3. Зведена таблиця показників вартості.....	69
4.4. Висновки за результатами.....	72
ВИСНОВКИ.....	73
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ	75

ВСТУП

У сьогоднішню епоху потреба в ефективних, екологічно чистих та енергоощадних методах зберігання та обробки сільськогосподарських товарів зростає. Однією з таких методик є інфрачервоне сушіння, яке забезпечує відмінну якість продукції з низьким використанням енергії. Але для максимізації ефективності цього процесу потрібний точний контроль температури, вологості та тривалості сушіння, що можливо лише за умови реалізації сучасних комп'ютерних технологій.

Важливість створення системи управління інфрачервоним сушінням впливає з необхідності підвищення точності контролю процесів, зменшення участі людини та кращого використання джерел енергії. Впровадження такої системи покращить якість сушіння та забезпечить збір, обробку та зберігання технологічних даних для подальшого аналізу та оптимізації виробництва.

Мета цього проекту створити систему для управління інфрачервоним сушінням за допомогою комп'ютерних технологій, мікроконтролерів та датчиків для температури та вологи, а також програмного забезпечення для моніторингу та управління цими умовами в режимі реального часу. Система повинна забезпечити налаштування, автоматичне вмикання та вимикання сушіння та відображення інформації у зручному для користувача вигляді.

Для дипломного проекту апаратне забезпечення системи включатиме мікроконтролер, датчик температури та вологості, інфрачервоний нагрівальний компонент, реле для управління нагрівальним елементом, також буде додано дисплей для системи, щоб перевіряти ефективність її роботи та оцінювати досягнуті результати.

У першому розділі буде проведено огляд предметної області, розглянуто принципи інфрачервоного сушіння продуктів та існуючі системи керування,

визначено вимоги до програмно-апаратного комплексу та обґрунтовано вибір технічних засобів і середовища розробки.

Другий розділ буде присвячений дослідженню практичних рішень, опису алгоритмів управління, структурі апаратної та програмної частини, а також процесу взаємодії між компонентами.

Третій розділ присвячено безпосередньо реалізації системи. Тут треба детально описати, яка підготовка до роботи, що за обладнання потрібне і для чого. Буде створено онлайн-макет у Tinkercad, який дозволить наочно показати, як все працює.

Четвертий розділ зосереджено на тестуванні системи. Треба розписати, як перевіряється, чи всі компоненти працюють так, як планувалося. Це важливий етап, адже без ретельної перевірки неможливо бути впевненим у якості роботи системи. Треба навести дані про вартість виготовлення як апаратної частини, так і програмної, щоб дати уявлення про значні фінансові витрати на проект. Наприкінці підсумувати всі висновки і розмірковування щодо ефективності роботи.

Для реалізації поставленої задачі було обрано мову програмування C++ у зв'язі з Arduino IDE, що дозволяє швидко створювати вбудовані системи реального часу.

Ця дипломна робота має на меті продемонструвати можливість створення ефективної, доступної та зручної у використанні системи керування інфрачервоним сушінням продуктів, що відповідає сучасним вимогам аграрної галузі та харчової промисловості.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1. Постановка задачі

Сушіння – це важлива частина зберігання та переробки сільськогосподарських і харчових продуктів. Один з найперспективніших методів – інфрачервоне сушіння. Він допомагає видалити вологу з продуктів, не погіршуючи їх структуру, колір і поживність. Але щоб отримати якісний кінцевий результат, треба точно контролювати температуру, вологість і час сушіння, що потребує хороших автоматизованих систем.

На практиці ще багато підприємств покладаються на ручне управління або слабо автоматизовані системи. Це призводить до надмірних витрат енергії, нерівномірного сушіння, псування продуктів і втрати якості. Тому існує потреба в комп'ютеризованій системі, яка автоматично регулювала б параметри сушіння, збирала і аналізувала дані, а також дозволяла б користувачу зручно взаємодіяти з нею.

Отже, мета цієї дипломної роботи – розробити систему управління інфрачервоним сушінням, яка включатиме апаратну та програмну частини, забезпечуючи автоматичний контроль основних параметрів і можливість їх реального управління.

Щоб досягти поставленої мети, потрібно вирішити кілька завдань:

1. Проаналізувати фізичні принципи інфрачервоного сушіння, розглянути особливості сушіння різних продуктів і оглянути вже існуючі технічні рішення.

2. Визначити, які вимоги потрібні для системи управління: що потрібно контролювати, які має бути діапазони вимірювань і режими роботи.

3. Розробити структурну схему апаратної частини системи, яка буде включати:

- Мікроконтролер (в даному випадку, Arduino Uno R3);
- Датчик температури й вологості(DHT-22);
- Інфрачервоний нагрівальний елемент та модуль реле для нього;

- Індикаційні та керуючі елементи (дисплей з підключенням до керуючого блоку на платі).

4. Реалізувати програмну частину:

- Написати мікропрограму для управління обладнанням та автоматичного вимкнення нагрівального елемента;

- Підключити екран та налаштувати відображення інформації про температуру та вологість.

5. Провести моделювання чи тестування системи з реальними або експериментальними даними, щоб оцінити точність і стабільність роботи.

В результаті виконання цих задач повинна вийти система управління, яка забезпечуватиме ефективний та простий процес інфрачервоного сушіння різних типів продуктів.

1.2. Дослідження і аналіз об'єкту розробки

Система управління інфрачервоним сушінням продуктів на основі комп'ютерних технологій - це інструмент, створений з метою забезпечення ефективного та простого сушіння продукту, аналізу інформації з датчиків та забезпечення ефективного використання енергії(якщо надто висока температура - автоматичне вимкнення).

1. Функціональність: апаратне та програмне забезпечення повинно включати засоби для збору та відображення інформації, контролювання роботи нагріву та безпечного та простого сушіння. Насамперед, головний функціонал - стабільне та правильне сушіння, то ж потрібно правильно підібрати апаратну частину, а потім тестувати її на різних продуктах.

2. Ефективність: апаратне та програмне забезпечення має забезпечувати швидкий, простий та ефективний процес сушіння(лампа горить та сушить).

3. Безпека: апаратне та програмне забезпечення повинно мати заходи безпеки для забезпечення автоматичного вимкнення системи при низькій вологості або ж високій температурі.

4. Сумісність: система повинна бути невелика та проста у встановленні та використанні, щоб навіть людина, яка не дуже розбирається у технологіях, могла спокійно використовувати прилад.

5. Самостійність: суть створення даної системи - автоматизація сушіння, тобто під час роботи даного приладу не потрібна участь людини. Отже, система повинна бути повністю самостійна - суть людини тут тільки в тому, щоб класти та збирати вже готові висушені продукти. Система ж вимірює вологість та температуру і показує інформацію на екран.

В цілому, систему управління інфрачервоним сушінням продуктів на основі комп'ютерних технологій можна розглядати як складну систему, що об'єднує функціональність, ефективність, безпеку, сумісність та самостійність.

На сьогоднішній день існує безліч аналогів даної системи для різних людей та компаній з різним оформленням та для різної цільової аудиторії. Ці системи

можуть мати різне оформлення, інтерфейс, використовуватися для різних цілей, проте суть майже однакова. Починаючи від звичайної решітки з лампочками знизу, що не вимірює нічого, а просто вмикається та вимикається вручну у розетку, та закінчуючи великими інфрачервоними сушильними шафами, що дозволяють за декілька годин сушити тонни продукту - проте всі вони працюють на технології зменшення вологості потрібного продукту шляхом впливу на нього інфрачервоного випромінювання.

Зазвичай, у домашніх цілях використовують інфрачервоні дегідратори - маленькі компактні та швидкі сушильні камери, як от Concept SO4000 Infra (Рисунок 1.1)



Рисунок 1.1 - Concept SO4000 Infra - інфрачервоний дегідратор

Однак, такі дегідратори - це доволі дорогий ціновий сегмент, то ж для зовсім невеликих, або ж “домашніх” масштабів використовують звичайні сушки (Рисунок 1.2)



Рисунок 1.2 - Сушка для овочів та фруктів Gorenje fdk24dw

Для промислових же цілей, використовують інфрачервоні камери - шафи, ззовні схожі на холодильники, в яких стоять і датчики, і лампи, і екранчики, які показують всю потрібну інформацію - вологість, температуру, час початку сушіння, час у даний момент, дату та навіть погоду (Рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 - Сушарка для харчових продуктів Profi Line, 10 полиць -
229026 Hendi

Або ж, для масштабних промислових компаній, використовуються великі сушильні камери (Рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 - Професійна енергоефективна сушильна камера

То ж, на основі проведеного аналізу аналогів нашого продукту, можна скласти перелік вимог до результату роботи:

Функціональні вимоги:

- Вимірювати температуру
- Вимірювати вологість
- Показувати інформацію на екран
- Через модуль реле контролювати роботу інфрачервоного елемента нагріву(у нашому випадку, лампи типу E27)
- Вимикати лампу, коли вологість опускається нижче за вказаний поріг, або ж коли температура піднімається вище заданого порогу

Нефункціональні вимоги:

- Зручність і простота використання
- Доступна ціна
- Зрозумілість роботи

Отже, у результаті повинна вийти проста, дешева, але ефективна система, проста у використанні, зрозуміла у роботі та зручна у експлуатації.

1.3. Огляд технологій сушіння

Сушіння, безсумнівно, є важливим етапом у зберіганні та переробці їжі. Це допомагає продуктам залишатися свіжими довше, зменшити їх вагу та об'єм. І, що найголовніше, при цьому зберігаються смакові, харчові та ароматичні якості. У чому ж суть сушіння? Воно полягає в тому, що з продуктів витягують вологу за допомогою тепла. Коли волога зникає, активність води падає, що перешкоджає розвитку мікробів та різних ферментів.

Є кілька способів здійснити сушіння, які залежать від джерела тепла та методу передачі енергії. Серед основних методів можна виділити конвекційне, кондуктивне, сублімаційне, мікрохвильове, вакуумне та інфрачервоне сушіння.

Говорячи про конвективне сушіння, варто зазначити, що це один з найпоширеніших підходів. У цьому процесі продукти обдуваються гарячим повітрям. Хоча метод простий, часто він призводить до нерівномірного висушування, перегріву та високих витрат енергії, а також може погіршити якість їжі.

Кондуктивне сушіння працює завдяки безпосередньому контакту продукту з гарячою поверхнею. Цей метод дозволяє досить добре передавати тепло, але є й свої недоліки. Наприклад, може статися пригорання продукту до поверхні, і це створює скоринку, яка заважає подальшому випаровуванню вологи.

А от сублімаційне, або ліофілізаційне, сушіння — це щось особливе. Спочатку потрібно заморозити їжу, а потім вивести лід у вакуумі. Так можна максимально зберегти якість продуктів, але цей спосіб коштує досить дорого і вимагає багато енергії, тому його зазвичай використовують у медицині та фармацевтиці.

Наступний метод, мікрохвильове сушіння, стає популярним завдяки використанню електромагнітних хвиль. Ця технологія прогріває їжу з середини, що значно скорочує час. Проте в цьому випадку потрібно точно контролювати процес, щоб уникнути перегріву та погіршення якості.

Про вакуумне сушіння можна сказати, що воно поєднує зниження тиску та помірне нагрівання. Це дозволяє зменшити температуру, запобігти окисленню та

зберегти вразливі складові. Проте метод потребує складного обладнання і може бути доволі дорогим.

Наш же головний інтерес викликає інфрачервоне сушіння, що набуває все більшої популярності. У цьому процесі енергія в інфрачервоному діапазоні поглинається поверхнею продукту і перетворюється на тепло. Цей метод дозволяє швидко та рівномірно видаляти вологу та не підвищує сильно температуру навколишнього повітря, що робить його енергоефективним. Однією з переваг також є можливість точного контролю температури, що допомагає зберегти більше корисних речовин.

Існує кілька видів інфрачервоних випромінювачів — кварцові, керамічні, галогенні. Вибір конкретного типу залежить від продукту, його товщини та бажаної швидкості сушіння, бажаної ціни обладнання та ще дуже багатьох критеріїв.

З автоматизацією виробництва інфрачервоне сушіння стає ідеальним для створення розумних систем управління. Це дозволяє точно налаштувати всі процеси за допомогою мікроконтролерів та датчиків температури і вологості. В результаті можна підвищити ефективність, зменшити витрати на енергію та покращити стабільність якості отриманого продукту.

Тож, підсумовуючи, можна сказати, що існуючі методи сушіння дозволяють зрозуміти, чому інфрачервона технологія так популярна. Вона поєднує в собі високу ефективність, можливість комп'ютерного управління та простоту впровадження. Це робить її важливим елементом для розробки сучасних автоматизованих систем.

1.4. Визначення вимог до апаратного та програмного забезпечення

Перед тим, як розпочати створення будь-якої автоматизованої системи, дуже важливо чітко визначити, які вимоги будуть до її апаратної частини. Це потрібно для того, щоб зрозуміти, які функції у системі повинні бути реалізовані. Завдяки цьому можна зробити кращу компоновку елементів, забезпечити стабільну роботу пристрою в реальних умовах, а також не забути про енергоефективність, точність і надійність.

Коли справа доходить до розробки автоматизованої системи для інфрачервоної сушки на основі мікроконтролера, вимоги зазвичай ділять на кілька категорій: функціональні та технічні.

Функціональні вимоги:

Перше, про що слід подумати, це яку роботу повинна виконувати наша апаратна система.

1. Зчитування параметрів середовища: Система повинна вміти вимірювати температуру об'єкта, який сушимо, або ж повітря навколо нього в реальному часі. Для цього використовують різні датчики, наприклад, DHT22 (Рисунок 1.5).

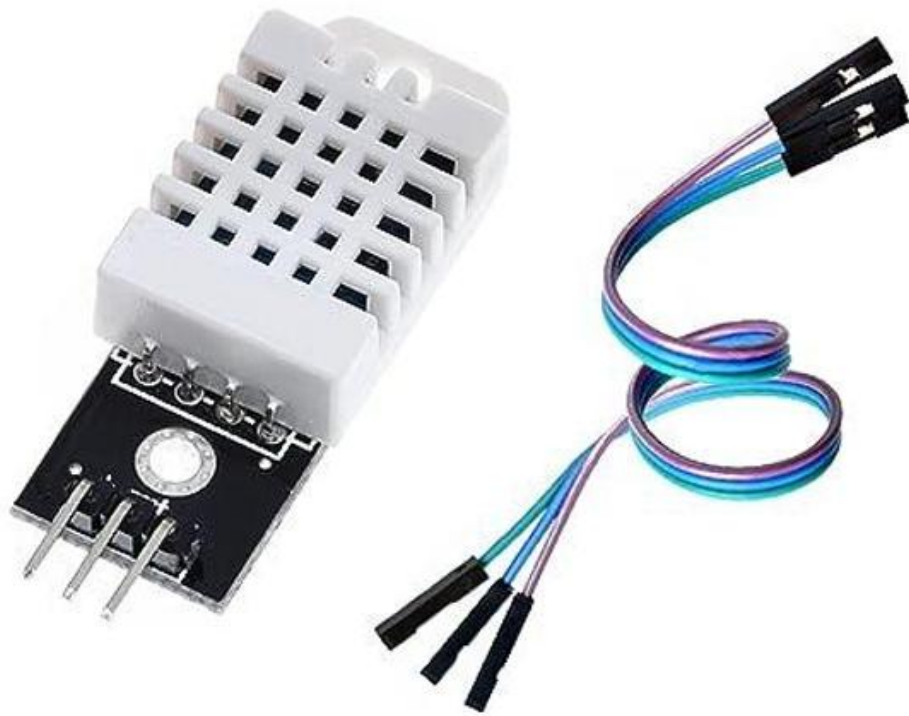


Рисунок 1.5 - Датчик вологості та температури DHT22

2. Управління нагрівальним елементом: Мікроконтролер повинен керувати інфрачервоними лампами або іншими нагрівальними елементами через одноканальний модуль реле (Рисунок 1.6).

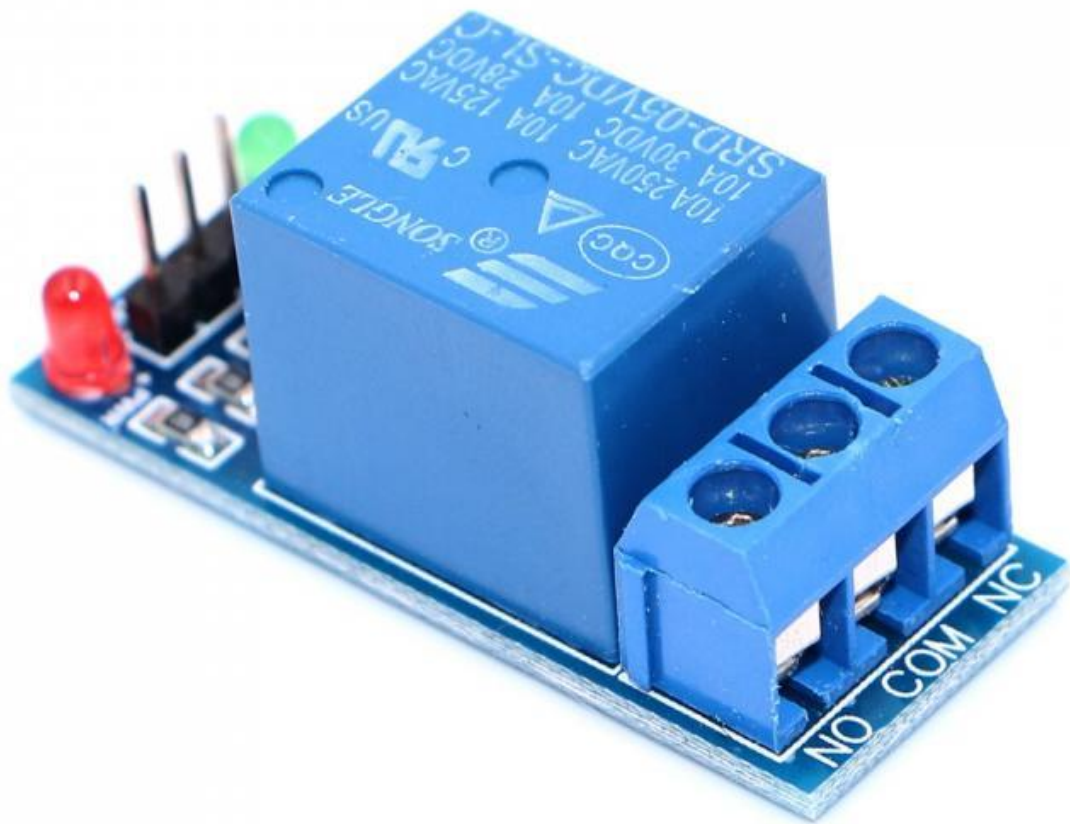


Рисунок 1.6 - Модуль реле 5В 10А низького рівня

3. Візуалізація стану системи: Система має відображати актуальні параметри, такі як температура, вологість, а відображати ці параметри можна за допомогою дисплея, як, наприклад, LCD 1602 (Рисунок 1.7).

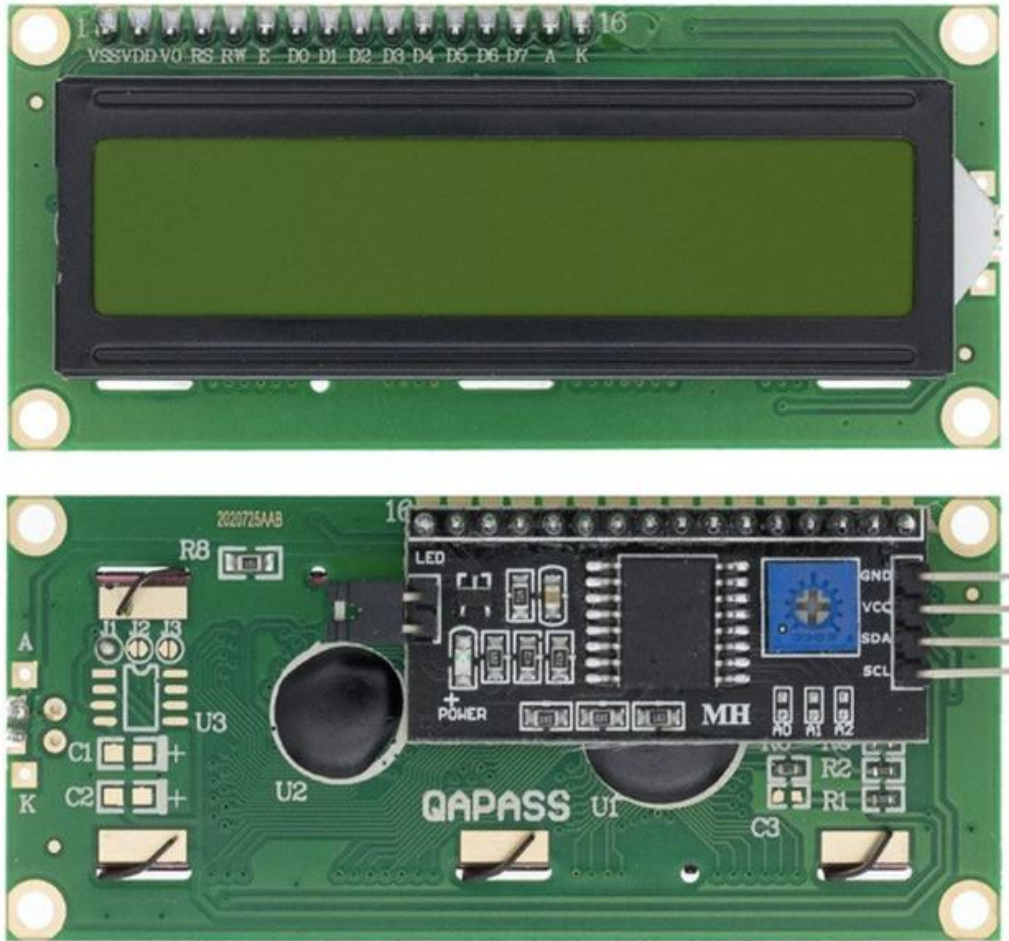


Рисунок 1.7 - ЖК LCD 1602

4. Захист від перегріву: У разі небезпечної ситуації система повинна автоматично вимкнути нагрів.

Технічні вимоги:

Тут вимоги спрямовані на те, щоб функції були реалізовані якісно.

1. Продуктивність і швидкість: Вибраний мікроконтролер повинен мати достатню тактову частоту та оперативну пам'ять, щоб обробляти дані датчиків в реальному часі.

2. Масштабованість: Архітектура має дозволяти підключення нових датчиків, а також можливість розширення функціональності, наприклад, через

Wi-Fi чи Bluetooth, тобто потрібна підтримка даних технологій, та місце для підключення нових модулів.

3. Енергоефективність: Система повинна споживати мінімум енергії в режимах очікування і роботи. Це особливо важливо для мобільних установок.

4. Сумісність: Вибрані компоненти повинні підтримувати відкриті бібліотеки та працювати з популярними платформами, такими як Arduino IDE.

5. Надійність і довговічність: Усі елементи повинні витримувати температурні та механічні навантаження, а з'єднання повинні захищати від пилу і вологи.

6. Безпека: Нагрівальні елементи повинні бути ізольованими, а електроживлення має проходити через захищені схеми.

7. Інтерфейс підключення: Має бути передбачено стандартні порти для програмування, живлення та підключення датчиків, зручно для монтажу — наприклад, на DIN-рейку.

8. Вартість: Вартість компонентів повинна бути доступною, щоб зробити проект економічно доцільним для освітніх або малих виробничих умов.

Завдяки чіткому визначенню цих вимог, ми можемо перейти до етапу схемотехнічного проєктування, де починаємо розробляти програмне забезпечення та інтегрувати апаратну і програмну частини системи. Якщо ми будемо дотримуватись цих умов, система для управління процесом сушіння працюватиме стабільно й безпечно.

РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНІ РІШЕННЯ

2.1. Вибір апаратної складової

Для початку створення системи потрібно здійснити аналіз можливих складових системи.

Виходячи з того, що було визначено щодо того, як має працювати система автоматичного управління сушінням і які технічні характеристики нам потрібні, було вибрано апаратуру. Отже, в систему ввійшли такі основні компоненти:

1. Мікроконтролер — Arduino UNO R3

Arduino UNO R3 — це, по суті, універсальна плата для створення різних вбудованих систем. В основі лежить мікроконтролер моделі ATmega328P, який робить цю плату дуже популярною. Вона є частиною відкритої платформи, яка дозволяє не лише створювати проекти у технічних сферах, а й у освітньому процесі, що робить її ідеальною для студентів і початківців.

Технічні характеристики Arduino UNO R3:

- Мікроконтролер: ATmega328P
- Тактовий частота: 16 МГц
- Flash-пам'ять: 32 КБ (все 0,5 КБ зайняте завантажувачем)
- Оперативна пам'ять (SRAM): 2 КБ
- EEPROM: 1 КБ
- Число цифрових входів/виходів: 14 (6 з яких підтримують ШІМ)
- Аналогові входи: 6
- Інтерфейси: UART, SPI, I2C

- Напруга логіки: 5 В
- Вхідна напруга: 7–12 В (через живлення)
- Максимальний струм на вихід: 40 мА на пін

Чому так багато людей обирають Arduino UNO R3?

Перш за все, це дуже зручний інструмент для програмування, особливо завдяки програмному забезпеченню Arduino IDE. Можна знайти багато ресурсів і бібліотек, що значно спрощує роботу над проектами. Плюс, плата має просту схему з'єднань, тому можна без проблем підключити сенсори, реле, дисплеї та інші модулі. Постійна підтримка громади Arduino — це ще один величезний плюс. Вона давно зарекомендувала себе у проектах, пов'язаних з автоматизацією, такими як контроль поливу, обігріву, вентиляції тощо.

Що робить її зручною:

- Висока надійність під час простих проектів.
- Простота запуску — просто підключаєте та працюєте, без зайвих додатків.
- Можливість живлення з USB або зовнішнім джерелом.
- Багато навчальних матеріалів, що полегшують процес освоєння.

Порівняння з іншими платами

1. ESP8266 NodeMCU

Ця плата чудово підходить для проектів, де потрібен Wi-Fi. Вона базується на модулі ESP8266 і дозволяє створювати різноманітні онлайн-проекти, наприклад, керування системами дистанційно.

Основні характеристики:

- Мікроконтролер: ESP8266EX
- Тактова частота: до 160 МГц
- Flash-пам'ять: 4 МБ
- SRAM: 80 КБ
- Логіка: 3.3 В
- Інтерфейси: UART, SPI, I2C, Wi-Fi
- GPIO: близько 10
- Переваги:
- Вбудований Wi-Fi, що дуже зручно.
- Вища продуктивність.
- Компактні розміри.
- Недоліки:
- Логіка 3.3 В — для 5В пристроїв потрібні перетворювачі.
- Складніше програмувати, особливо для початківців.
- Менше GPIO.

Висновок: В цілому, NodeMCU має хороші можливості, але для простих проектів, які не вимагають Wi-Fi, це може бути зайвим.

2. Arduino Mega 2560

Ця плата — потужніша версія Arduino, що має більше пам'яті і портів. Ідеально підходить для великих проектів з багатьма периферійними пристроями.

Основні характеристики:

- Мікроконтролер: ATmega2560

- Тактова частота: 16 МГц
- Flash-пам'ять: 256 КБ
- SRAM: 8 КБ
- EEPROM: 4 КБ
- Цифрові входи/виходи: 54
- Аналогові входи: 16
- UART-порти: 4
- Переваги:
- Багато портів — це добре для складних проектів.
- Об'ємна пам'ять для великих програм.
- Підходить для роботи з Arduino IDE.
- Недоліки:
- Велика плата, яка займає більше місця.
- Вище співвідношення ціни, особливо якщо працюєте над простими проектами.
- Може бути надмірною для тих, хто просто контролює теплицю.

Висновок: Arduino Mega — це класний варіант для великих систем, але для простих задач може бути обтяжливим.

3. STM32F103C8T6 (Blue Pill)

Ця плата орієнтується на високопродуктивні проекти. Вона побудована на 32-бітному мікроконтролері ARM.

Основні характеристики:

- Мікроконтролер: STM32F103C8T6
- Тактова частота: 72 МГц
- Flash-пам'ять: 64 КБ
- SRAM: 20 КБ
- Інтерфейси: UART, SPI, I2C, CAN, USB
- Логіка: 3.3 В
- Переваги:
- Висока продуктивність.
- Багато можливостей підключення.
- Менше споживання енергії.
- Недоліки:
- Складна для початківців екосистема.
- Потрібен зовнішній програматор.
- Середовище розробки не таке зручне для новачків.

Висновок: Blue Pill може працювати швидше, але через його складність варто задуматись, чи буде він зручним для тих, хто тільки починає.

Загальний висновок

Якщо створюється проект для контролю мікроклімату у теплиці, Arduino UNO R3 — вибір, який має сенс. Він добре поєднує в собі функції, простоту в користуванні та сумісність з безліччю модулів, таких як DHT22, реле, LCD тощо. Ця плата дозволить зосередитись на автоматизації без потреби занурюватись у складності налаштувань, що робить її чудовим варіантом, тим більше для навчальних цілей.

Далі сенсор температури та вологості DHT-22. Це такий цифровий пристрій, який може заміряти температуру і вологість в повітрі водночас. Люди часто використовують його для моніторингу клімату, оскільки він простий у використанні, доволі точний і має зручний спосіб передачі даних.

Отже, які ж параметри у DHT-22?

- Температура: він працює в діапазоні від -40 до +80 градусів за Цельсієм. Це означає, що його можна використовувати майже в будь-яких умовах.

- Точність при вимірюванні температури становить ± 0.5 градусів. Це непогано для домашніх умов.

- Що стосується вологості, DHT-22 вимірює її від 0 до 100%. Тут точність близько $\pm 2\%$ (при вологості від 25% до 80%).

- Частота вимірювання – раз на дві секунди. А з електрикою він споживає не багато, всього від 3.3 до 6 вольт, та й струму потрібно не так багато.

- Ще один приємний момент – простота підключення до Arduino, адже не потрібно шукати різні компоненти, все необхідне є на сенсорі.

Звісно, DHT-22 має свої плюси, якщо говорити про використання в системах контролю клімату в теплицях:

- Він більш точний, ніж деякі бюджетні аналоги, такі як DHT11.

- Широкий діапазон температури та вологості дозволяє працювати в різних кліматичних умовах, навіть у тих, що можуть бути агресивними для інших сенсорів.

- Завдяки цифровому формату сигналу, він менш вразливий до перешкод, що особливо актуально, коли ви працюєте в умовах високої вологості.

- Легко інтегрується в проекти на Arduino, адже існує безліч готових бібліотек, таких як Adafruit DHT.

Тепер подивимось, як DHT-22 виглядає у порівнянні з іншими сенсорами.

Перший у списку – DHT11. Це бюджетний варіант, часто його використовують у навчальних проектах.

- Його температурний діапазон обмежений від 0 до +50 °С, точність складає ± 2 °С.

- Вологість він вимірює лише в межах 20–80% з точністю $\pm 5\%$ RH, і дані оновлює раз на секунду.

- Він дешевший і споживає менше енергії, але якщо потрібна більша точність і широкий діапазон, його можливостей буде недостатньо.

Наступний – AM2301. Він за характеристиками схожий на DHT-22 і підійде для більш складних проектів, де важлива механічна міцність і стабільність.

- Температура варіюється від -40 до +80 °С, точність така ж, як у DHT-22 (± 0.5 °С), а з вологою все трохи краще, він здатен вимірювати від 0% до 99.9% RH.

- Цей сенсор більш витривалий до впливу електромагнітних хвиль, але може бути трохи дорожчим і габаритнішим.

Тепер про BME280. Це продукт компанії Bosch, який, окрім температури та вологості, ще й записує атмосферний тиск.

- Він працює в діапазоні від -40 до +85 °С та має точність ± 0.5 °С, а також вимірює тиск з точністю ± 1 гПа.

- Однак підключення тут трохи складніше (I2C або SPI), він дорожчий та вимагає адаптації до 5V Arduino.

Таким чином, DHT-22 чудово підходить для проектів, де важливі точність, стабільність та простота підключення без зайвих витрат. У порівнянні з бюджетним DHT11 він гідно витримує тест на точність, а в порівнянні з AM2301

та ВМЕ280, він пропонує баланс вартості та можливостей. Якщо планується контролювання клімату в теплицях – DHT-22 буде одним з найбільш розумних виборів.

Далі дисплей — LCD 1602 із модулем I2C.

LCD 1602, або проста рідкокристалічна панель, відома і популярна серед хобістів, коли потрібно показувати інформацію на екрані. Цей дисплей може показувати 2 рядка по 16 символів кожен. У даному випадку версія, яка вже має вбудований I2C-модуль на базі мікросхеми PCF8574. Завдяки цьому підключення стає набагато легшим, адже економляться виводи мікроконтролера.

Тепер розглянемо основні характеристики дисплея LCD 1602 I2C:

- Тип: Символьний LCD
- Кількість символів: 16 на 2
- Напруга живлення: 5 В
- Інтерфейс: I2C, а це означає, що потрібно всього два дроти — SDA і SCL
- Адреса за замовчуванням: Зазвичай це 0x27 або 0x3F
- Контрастність: Регулюється за допомогою змінного резистора на платі I2C
- Підсвічування: Є LED-підсвічування, яким можна управляти через програму
- Бібліотеки: Підтримує LiquidCrystal_I2C для Arduino

Так чому саме LCD 1602 I2C має сенс у системі моніторингу мікроклімату?

1. Вільні порти: Вам не потрібно використовувати 6-7 пінів, як у стандартної версії. Потрібно лише 2, це дозволяє задіяти більше різних модулів, таких як сенсори або реле.

2. Легке підключення: Для цього дисплея вже є бібліотеки, так що вам не доведеться витратити багато часу на налаштування.

3. Зручність для очей: Шрифт виглядає чітко, а підсвічування робить його читабельним навіть у темряві.

4. Надійність: Це пристрій нормально працює в різних умовах температури і вологості, що робить його практичним у багатьох ситуаціях.

5. Ціна: Це один з найдоступніших дисплеїв, що робить його чудовим вибором для проектів з обмеженим бюджетом.

Тепер порівняємо його з версією без модуля I2C.

1. LCD 1602 без I2C модуля

Це базовий варіант дисплея, який потрібно підключати безпосередньо до мікроконтролера, використовуючи 6 або 7 пінів (RS, E, D4-D7, VSS, VDD та інші).

Плюси:

- Легко знайти в стандартних стартових наборах Arduino.
- Можна краще контролювати режим роботи.
- Мінуси:
- Використовує багато портів з обмеженого Arduino UNO.
- Підключити та налаштувати його потрібно більше часу, дротів і зусиль.
- Обмежить можливості розширення системи через брак пінів.

Отже, в порівнянні з I2C-версією, базова LCD 1602 є менш практичною для складних проектів. Якщо вам потрібно зберегти порти, краще обрати версію з I2C.

2. OLED дисплей 0.96 (I2C)

Цей маленький OLED-дисплей має розмір 0.96 дюйма і показує 128 на 64 пікселі. Як і LCD 1602, він також використовує I2C для підключення.

Плюси:

- Дуже виразних, контрастних зображень та текстів.
- Можливість показувати як текст, так і графіку.
- Економить енергію.
- Мінуси:
- Має маленький розмір — текст може бути занадто дрібним.
- Для роботи з графікою потрібно використовувати додаткові бібліотеки, як-от U8g2.
- Може займати більше оперативної пам'яті, що для Arduino UNO може бути проблемою.

Таким чином, OLED-дисплей крутий для проектів із графікою, але, якщо ви просто хочете виводити текст, то LCD 1602 залишається зрозумілішим і простішим в використанні.

3. TFT дисплей 1.8 (SPI)

Це кольоровий TFT-дисплей, який показує 128 на 160 пікселів і підключається через SPI. Це досить потужний пристрій, якщо ви плануєте робити щось кольорове.

Плюси:

- Може показувати кольори, графіку та анімації.
- Дає можливість створювати круті інтерфейси.

Мінуси:

- Програмувати його трішки складніше, вам знадобиться бібліотека Adafruit GFX.
- Споживає більше оперативної пам'яті, і Arduino UNO не завжди справляється.
- Підключення може бути складніше через SPI і перетворення рівнів напруги.

Словом, TFT дисплеї — це хороший вибір для наочних проектів, але для простих завдань на зразок Arduino UNO вони можуть бути обмежені через брак ресурсів.

Тепер про реле. Модуль реле - це пристрій, що має один канал і працює від 5 вольт, здатний витримувати навантаження до 10 ампер. Його основна мета - вирішити питання керування різними потужними приладами, які зазвичай функціонують від мережі змінного струму на 220 вольт. Наприклад, це можуть бути інфрачервоні лампи, обігрівачі, вентилятори та інші подібні пристрої. У нашій системі цей модуль використовується, щоб вмикати і вимикати інфрачервону лампу, яка, в свою чергу, контролює температурні умови.

Цей модуль легко підключається. Він працює на принципі низькорівневої активації, що означає, що потрібно подати логічний нуль на керуючий пін. Це має свої переваги, адже модуль без проблем сумісний з платами Arduino UNO, оскільки вони використовують логіку, де 0 вольт відповідає LOW, а 5 вольт - HIGH.

Ось його технічні характеристики:

- Він є електромеханічним реле.
- Має один канал для управління.
- Працює від живлення 5 вольт.
- Струм активації варіюється від 15 до 20 міліамперів.
- Максимально може комутувати струм до 10 ампер при 250 вольтах змінного струму або 30 вольтах постійного струму.
- Рівень активації - LOW.
- Спеціальна оптопара забезпечує ізоляцію, так що мікроконтролер не постраждає від стрибків напруги.
- Підключення включає три дроти: IN, GND і VCC.
- На модулі є світлодіод, який показує його статус.

Використання такого модуля має безліч переваг. Він працює з логікою на 5 вольт, тому не виникає потреба в додаткових перетворювачах напруги. Оптоізоляція, що є в модулі, забезпечує захист мікроконтролера від небажаних збоїв, допомагаючи пережити можливі перепади електрики. Підключити модуль зовсім просто, а світлодіод дозволяє миттєво побачити, в якому стані зараз реле.

Крім того, цей модуль відрізняється хорошою механічною надійністю та здатністю витримувати досить високі струми, що робить його ідеальним для приєднання тих же інфрачервоних ламп.

Як цей модуль порівнюється з іншими аналогами:

По-перше, твердотільне реле (або SSR) - це модуль без рухомих частин, який виконує ті ж функції. Основна перевага твердотільного реле в тому, що воно

працює практично безшумно, у нього довший термін служби, оскільки немає механічного зносу. Також в твердотільних реле швидкість перемикання значно вища.

Проте треба врахувати, що твердотільні реле дорожчі, і в певних ситуаціях їм може знадобитися охолодження, коли йдеться про великі навантаження. Ще важливо пам'ятати, що не всі твердотільні реле працюють з логікою 5 вольт Arduino, без підсилювача сигналу можуть бути проблеми.

Далі йде реле, яке працює на 12 вольт. Його також можна використовувати в аналогічних системах, але з невеликими нюансами. Ці реле більш надійні в умовах 12 вольт і менше схильні до електричних шумів, ніж 5-вольтні. Але тут є свій мінус: їх безпосередньо підключити до Arduino UNO буде непросто, а ще потрібен зовнішній стабілізатор або транзистор для управління.

Зрештою, якщо ви плануєте використовувати Arduino UNO, 12-вольтне реле не буде кращим вибором, адже це ускладнить вашу схему і додасть зайвих компонентів.

Є також модулі з двома або чотирма каналами. Вони дозволяють керувати кількома пристроями одночасно. Хоча принцип роботи схожий на одноканальний модуль, такі рішення можуть бути вигідні, якщо використовуєте різні виконавчі пристрої, як, наприклад, вентилятори і лампи. Але якщо вам потрібно контролювати лише одну лампу, то це стане зайвим у вашій системі.

Загалом, одноканальний релейний модуль на 5 вольт з низьким рівнем активації - це вдалий вибір для контролю мікроклімату, якщо ви використовуєте Arduino UNO. Він легко підключається, забезпечує необхідну потужність для побутових потреб, таких як інфрачервоні лампи, і в нього вже є елементарний захист у вигляді оптоізоляції, що робить його надійним і придатним для використання в автоматизованих системах, наприклад, у сільському господарстві.

Інфрачервона лампа E27:

Інфрачервона лампа з цоколем E27 стає все популярнішою для використання в системах, що контролюють мікроклімат. Її основна функція — виробляти тепло під час роботи. Це досягається шляхом випромінювання тепла у вигляді інфрачервоного світла, яке нагріває об'єкти у своєму радіусі дії, а не просто повітря навколо них.

Як вона працює?

Лампа ставиться у звичайний патрон E27, що робить установку дуже простою. Підключається вона до мережі з напругою 220 В і управляється через релейний модуль. Це означає, що ви можете легко замінити її іншими типами джерел тепла, якщо це необхідно.

Технічні характеристики

Ось основні технічні характеристики цієї лампи:

- Тип: Інфрачервона лампа розжарювання
- Цоколь: E27
- Напруга: 220 В
- Потужність: Зазвичай від 100 до 250 Вт
- Кут розсіювання: близько 60°
- Час досягнення робочої температури: менше ніж 1 секунда
- Колір світіння: червоний або темно-червоний, залежно від моделі
- Термін служби: приблизно 5000 годин

Чому вона така зручна?

Використання інфрачервоної лампи має багато переваг:

- Пряме тепло: Лампа відправляє тепло прямо до об'єкта, без нагріву великої кількості повітря. Це може бути дуже корисно у вузьких або маленьких просторах.
- Швидкий старт: Вмикаєте лампу — і вона починає працювати буквально відразу, так що не доводиться чекати, поки вона прогріється.
- Легкість установки: Стандартний цоколь E27 дозволяє швидко і без зусиль підключити лампу.
- Індикатор роботи: Світіння лампи демонструє, що вона активна, що може бути корисним, щоб контролювати, чи все працює.

Також, варто звернути увагу на варіанти альтернативних нагрівальних елементів:

1. Трубчасті електронагрівачі (ТЕН):
 - a. Застосовуються у багатьох побутових обігрівачах і електропечах.
 - b. Плюси: Висока теплова інерція, можуть досягати температури до 700–800 °С.
 - c. Мінуси: Нагрівають повітря, а не предмети, і потребують складнішого монтажу.
2. Керамічні інфрачервоні нагрівачі:
 - a. Служать довше, можуть працювати до 10,000 годин.
 - b. Плюси: Працюють без шуму і не світять.
 - c. Мінуси: Зазвичай дорожчі і їх важче встановити.
3. Галогенні лампи:
 - a. Використовуються в професійних обігрівачах і теплицях.
 - b. Плюси: Висока температура нагріву і компактний розмір.

с. Мінуси: Високий ризик опіків, короткий термін служби.

Загальний висновок

Інфрачервона лампа з цоколем E27 — це дуже практичний варіант для теплових систем. Вона проста в підключенні, має достатню потужність, щоб ефективно обігрівати, і не потребує особливих зусиль у монтажі. Якщо ви шукаєте надійне і безпечне рішення для локального нагріву, ця лампа точно заслуговує на увагу. Особливо це важливо в ситуаціях, коли потрібно сушити продукти або рослинні сировини, адже вона допомагає зберегти їх структуру, не перегріваючи повітря.

2.2. Архітектура системи

У нашій сушильній установці було створено автоматизовану систему контролю температури, яка працює на основі мікроконтролера Arduino Uno R3. Розглянемо основні елементи цієї системи.

1. Мікроконтролер Arduino Uno R3 — це мозок нашої системи. Він відповідає за отримання інформації з сенсорів, обробку даних і прийняття рішень. Завдяки йому ми можемо включати або вимкнути нагрівальний елемент, а також розміщувати всю інформацію на дисплеї.

2. Датчик температури та вологості DHT-22 — цей датчик вимірює умови в сушильній камері. Він передає точні дані про температуру та вологість на Arduino, дозволяючи системі працювати на основі реальних умов.

3. LCD-дисплей 16×2 з модулем I2C — це екран, на якому ми можемо бачити температуру, вологість і стан нагрівального елемента. Модуль I2C дозволяє підключити дисплей з використанням всього лише двох пінів, що зручно.

4. Одноканальний релейний модуль 5V/10A — цей модуль дозволяє Arduino управляти потужними навантаженнями, такими як інфрачервона лампа. Він приймає слабкий сигнал від мікроконтролера і вмикає або вимикає лампу.

5. Інфрачервона лампа E27 — це наш основний нагрівальний елемент, який створює тепле, інфрачервоне випромінювання для сушіння продуктів. Вона працює разом з реле, щоб нагрівати камеру, коли це потрібно.

Схема підключення системи

Arduino Uno має багато цифрових і аналогових пінів, які ми використовуємо, щоб підключати різні пристрої. Ось як все з'єднано:

1. DHT-22
 - a. VCC до 5V (для живлення)
 - b. GND до GND (для заземлення)

c. DATA до цифровий пін D2 на Arduino

2. LCD 1602 з I2C (на основі PCF8574)

a. VCC до 5V

b. GND до GND

c. SDA до A4

d. SCL до A5 Використання модуля I2C дозволяє зменшити кількість пінів, які нам потрібно підключити, що дуже важливо, коли є обмеження по ресурсах.

3. Релейний модуль (5V, активний при низькому рівні)

a. VCC до 5V

b. GND до GND

c. IN до цифровий пін D7 Коли сигнал на вхід IN низький (LOW), реле замкнеться, що дозволяє подати напругу на ІЧ лампу.

4. Інфрачервона лампа E27

a. Підключається до електричної системи через реле.

- Один провід лампи підключається до загального контакту реле (COM);
- Інший — до джерела змінного струму.
- Контакт NO (нормально розімкнутий) – підключається до фази живлення. Це забезпечує контроль над подачею напруги на лампу через реле.

Принцип роботи системи

1. Коли система запускається, Arduino починає зчитувати дані з датчика DHT-22.

2. Виміряні значення температури та вологості обробляються, а температура відображається на LCD.

3. Якщо температура нижча за заданий рівень (наприклад, 30°C), система увімкне реле, що накаже подати напругу на інфрачервону лампу.

4. Коли температура досягає або перевищує встановлений поріг, реле вимкнеться, і лампа перестане нагріватися.

5. Таким чином, ми підтримуємо стабільну температуру всередині сушильної камери.

Пояснення логіки побудови

Рішення про вибір компонентів залежить від простоти підключення, надійності та забезпечення підтримки платформи Arduino. DHT-22 надає точні вимірювання, дисплей з I2C економить пін ресурси, а реле дозволяє безпечно займатися навантаженням. Інфрачервона лампа ж створює м'яке тепло, яке ідеально підходить для процесу сушіння.

Ця система проста, але надійна, вона може бути корисна як для навчання, так і для створення простих і компактних мікрокліматів. Іншими словами, ви маєте можливість створити просту, але ефективну систему контролю температури в сушильному середовищі, яка може бути дуже корисною для різних застосувань.

2.3. Програмна складова

У цій системі основною функцією програмного забезпечення є автоматичне управління мікрокліматом під час сушіння. Ми використовуємо мікроконтролер Arduino Uno R3, який виконує завдання на зчитування даних з сенсорів, обробку цих даних, прийняття рішень, а також управління різними елементами, такими як інфрачервона лампа через реле. Також програма виводить потрібну інформацію на екран.

Код пишеться в середовищі Arduino IDE. Це офіційна платформа, де можна створювати, компілювати та завантажувати програми для мікроконтролерів. В Arduino IDE використовується мова C/C++, і вона підтримує спеціальні бібліотеки, створені для роботи з Arduino.

Перед тим як взятися за написання коду, потрібно виконати кілька підготовчих кроків:

1. Скачати та встановити Arduino IDE з офіційного сайту.
2. Встановити необхідні бібліотеки:
 - DHT, для роботи з датчиком температури та вологості DHT-22.
 - LiquidCrystal_I2C, щоб виводити дані на LCD-дисплей через I2C.
 - Wire – основна бібліотека для I2C-зв'язку, яка вже є у стандартному наборі Arduino IDE.

Функції, які виконує код, досить прості, але важливі.

Першим ділом, у блоці `setup()` буде ініціалізація всіх компонентів:

- Налаштовуємо зв'язок з дисплеєм.
- Включаємо датчик DHT-22 для збору даних.
- Налаштовуємо піни реле та індикаторів як вихідні.

Потім переходимо до циклу loop(). Тут постійно зчитуються дані з датчика DHT-22, видаючи нам температуру в градусах Цельсія та вологість повітря у відсотках.

Після того як значення отримуються, вони аналізуються. Якщо температура піднімається вище 60 або вологість знижується нижче 20%, лампа автоматично вмикається. Якщо умови не критичні, вона залишиться увімкненою або, якщо потрібно, буде включена знову.

Коли нам потрібно керувати реле тоді Arduino вирішує, подавати сигнал на управлінський пін чи не подавати. Цей сигнал вмикає або вимикає інфрачервону лампу в залежності від ситуації.

Важливо також виводити інформацію на дисплей, щоб користувач отримував актуальні дані. На екрані з'являється поточна температура (наприклад: Temp: 24.5), вологість (Hum: 55%), і статус лампи (Heating: ON/OFF).

Загалом, логіка програми виглядає так: щораз на секунду Arduino перевіряє дані про температуру та вологість, оцінює ситуацію, щоб зрозуміти, чи потрібно активувати нагрівання, а потім виводить інформацію на екран і керує лампою. Цей цикл триває безперервно, забезпечуючи автоматичний контроль мікроклімату.

Програмна частина системи є надзвичайно важливою. Вона визначає, як все буде працювати на практиці. Від того, наскільки якісно написано програмне забезпечення, залежить, наскільки точно будуть зчитуватись дані, чи адекватно система реагуватиме на зміни умов навколишнього середовища, як стабільно вона працюватиме і наскільки зручно буде отримувати цю інформацію для користувачів.

2.4. Сценарії використання та модель загроз

Ця система була розроблена для моніторингу та автоматичного регулювання мікроклімату під час сушіння. Вона може використовуватись в різних умовах, таких як лабораторії, теплиці, сушильні камери або навіть прості домашні пристрої.

Система постійно контролює температуру й вологість у приміщенні. Якщо температура падає нижче нормального рівня, вона автоматично вмикає нагрівальний елемент, наприклад інфрачервону лампу. Це допомагає підтримувати необхідний рівень тепла. Якщо ж температура або вологість підвищуються надто сильно, лампа автоматично вимикається, щоб не допустити перегріву чи пересушування.

Коли система працює в режимі довгої роботи, вона може підтримувати стабільний рівень вологості та температури без необхідності втручання користувача. Всі дані виводяться на екран, так що ви завжди бачите, які значення показують датчики, і можете бути впевненими, що все йде добре.

Цю систему можна також використовувати в навчальних закладах. Вона допомагає продемонструвати, як працюють автоматизовані системи та основи електроніки. Це чудова можливість показати студентам, як можна керувати різними механізмами, залежно від даних, які отримуються з сенсорів.

Оскільки система є мікро контролерною, їй потрібно враховувати різні загрози, які можуть вплинути на її роботу, безпеку чи точність.

1. Апаратні Загрози

- Перегрів Елементів: Іноді можуть бути зближення у контролі, і лампа залишається ввімкненою, що може призвести до перегріву.

- Коротке Замикання: Якщо помилково підключити реле або лампу, це може призвести до поломки системи.
- Відмова Датчика DHT-22: Якщо сенсор не працює, система не отримає точних даних і не зможе правильно регулювати нагрів.
- Збій Живлення: Якщо раптово вимкнеться живлення, дані можуть бути втрачені, а нагрівальний елемент залишиться у неправильному стані.

2. Програмні Загрози

- Програмні Помилки: Використання неправильних бібліотек або логіки може викликати неполадки в керуванні.
- Зависання Мікроконтролера: Як правило, при великій кількості запитів може статись зависання плат, таких як Arduino.
- Неправильне Оброблення Нульових Значень: Якщо відбудеться обрив проводу, сенсори можуть давати небажані значення, які система прийме як правильні.

3. Фізичний Доступ

- Несанкціоноване Втручання: Доступ до плати може призвести до неполадок або навіть навмисної перевірки роботи системи.
- Механічне Пошкодження: Якщо компоненти будуть вражені чи впадуть, це може спричинити поломки.

Щоб зменшити кількість загроз, можна впровадити кілька простих рішень:

- Використання захисного корпусу для оберігання електроніки від механічних впливів.

- Перевірка даних датчиків на коректність, щоб уникнути проблем із несправними показниками.
- Додати функцію автоматичного перезапуску (Watchdog Timer) для мікроконтролера в разі зависання.
- Забезпечити апаратний захист, наприклад, за допомогою запобіжників.
- Можливість ручного відключення нагрівального елемента для екстрених випадків.

Цей розділ показує, що навіть для простої автоматизованої системи важливо не лише розглядати її функціональність, але й передбачати ризики, з якими може зіштовхнутися система або її користувач. Дбайливий підхід до розробки призводить до більш надійного і безпечного продукту.

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ

3.1. Аналіз та підготовка обладнання

Для нашого проєкту автоматизованої системи контролю мікроклімату ми провели аналіз вимог до обладнання і вибрали потрібні електронні компоненти. Важливо, щоб вони були точними, надійними, сумісними з Arduino і легко інтегрувалися.

Що нам потрібно від системи:

- Зчитування температури та вологості в реальному часі.
- Автоматичне керування нагрівальним елементом за отриманими даними.
- Виведення інформації на дисплей.
- Постійне живлення (5В).
- Легкість складання для моделювання в Tinkercad та в реальному житті.

Вибір і підготовка обладнання:

1. Arduino Uno R3

1.1. Загальний опис

Arduino Uno R3 — це мікроконтролерна плата, яка базується на чіпі ATmega328P. Це одна з найпоширеніших плат для початківців і тих, хто вже має досвід у розробці. Дуже зручна в використанні, адже підтримує відкриту апаратну архітектуру і програмується через просту програму Arduino IDE.

1.2. Причини вибору

По-перше, це дуже популярна плата, і її можна легко знайти в магазинах. Багато людей встигли поділитися своїми знаннями про неї, тому завжди можна знайти відповіді на свої запитання.

Плата також дуже зручна у використанні. Підключається до комп'ютера через USB, і програмувати її можна прямо в середовищі Arduino IDE. Це справді просто, навіть якщо ви новачок.

Документації до Arduino Uno так багато, що ви можете знайти готові приклади коду і бібліотеки для роботи з різними датчиками та модулями. Це істотно полегшує процес розробки.

Крім того, Arduino Uno R3 працює з безліччю різних компонентів. Ви можете підключати різні датчики, модулі та дисплеї, в результаті чого ваш проєкт стане більш різноманітним і цікавим.

1.3. Технічні характеристики, важливі для проєкту

Тепер давайте поговоримо про деякі важливі технічні характеристики. Arduino Uno має 14 цифрових входів і виходів, з яких 6 підтримують ШІМ (широтно-імпульсну модуляцію), що корисно для керування різними елементами, такими як реле і світлодіоди.

Також є 6 аналогових входів, які можна використовувати для підключення аналогових датчиків, наприклад, TMP36, що може бути використаний у Tinkercad для моделювання.

Щодо пам'яті, в Arduino Uno є 32 КБ флеш-пам'яті для зберігання коду, 2 КБ оперативної пам'яті (SRAM) і 1 КБ EEPROM, що дуже корисно для зберігання налаштувань.

Для живлення плати потрібно 5V, яке можна отримати або через USB, або з зовнішнього джерела в межах 7-12V.

Тактова частота становить 16 МГц, що дозволяє здійснювати обробку простих алгоритмів моніторингу та керування без проблем.

1.4. Призначення в системі

Але що насправді робить Arduino в нашій системі? Вона контролює всю систему: зчитує дані температури і вологості з датчика DHT-22.

Arduino приймає рішення про те, коли вмикати чи вимикати нагрівальний елемент, наприклад, лампу, залежно від заданих порогів. Це дуже корисно для підтримки комфортних умов у приміщенні.

Ще Arduino передає дані на LCD-дисплей, підключений через I2C. Це дозволяє зручно відображати всю необхідну інформацію.

Вона також забезпечує живлення для інших модулів через пін 5V і GND, що дозволяє легко інтегрувати різні компоненти в проект.

1.5. Підготовка до використання

Спершу треба підключити плату до комп'ютера за допомогою USB-кабелю типу B.

При першому підключенні система може автоматично встановити драйвери, але краще буде перевірити це самостійно.

Далі потрібно завантажити Arduino IDE, якщо у вас його ще немає. І не забудьте вибрати плату Arduino Uno в меню Інструменти, інакше програма не зможе зрозуміти, з чим працює.

Нарешті, для підключення модулів можна використовувати макетну плату, а можна просто підключати їх безпосередньо до пінів вашої Arduino.

2. Датчик температури та вологості DHT-22

2.1. Опис

DHT-22 – це цифровий сенсор, який має здатність вимірювати температуру і вологість з високим ступенем точності. Цей датчик вважається одним з найпопулярніших виборів для домашніх систем автоматизації через свою доступність і простоту у використанні.

2.2. Причини вибору

- **Висока точність:** Датчик може вимірювати температуру в діапазоні від -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$, причому точність становить $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Щодо вологості, він охоплює від 0% до 100% і має точність в межах $\pm 2-5\%$. Це робить його чудовим вибором для різноманітних умов.
- **Надійність:** Цей датчик чудово працює як в теплицях, так і в сушарках, тому його можна сміливо використовувати в різних проектах.
- **Простота підключення:** Щоб підключити DHT-22, вам знадобиться лише один цифровий пін, що робить процес простим і зрозумілим.

2.3. Підключення

Підключення DHT-22 до Arduino:

Вивід датчика	Призначення	Підключення до Arduino
1 (VCC)	Живлення (+)	5V
2 (DATA)	Сигнальний вивід	D2 (або інший цифровий)

3 (NC)	Не підключається	—
4 (GND)	Земля	GND

Також треба встановити підтягуючий резистор на 10 кОм між VCC і DATA для того, щоб забезпечити стабільність сигналу.

2.4. Підготовка

Щоб почати роботу з DHT-22, вам варто завантажити бібліотеку DHT sensor library від Adafruit. Після цього знадобиться ініціалізувати об'єкт DHT і викликати методи для читання температури та вологості.

3. LCD дисплей 16×2 з інтерфейсом I2C (на базі PCF8574)

3.1. Опис

Цей ЖК-дисплей має дві рядки по 16 символів і використовує інтерфейс I2C, що дозволяє передавати дані всього через два дроти - SDA і SCL.

3.2. Причини вибору

- Економія пінів Arduino: Замість того, щоб підключати стандартний LCD з шістьма пінів, вам знадобляться лише A4 (для SDA) і A5 (для SCL) – це дуже зручно.

- Зручне відображення: На дисплей можна виводити всі важливі показники, такі як температура, вологість або статус системи обігріву.

3.3. Підключення

Підключення LCD до Arduino:

Пін LCD	Призначення	Підключення до Arduino
VCC	Живлення	5V
GND	Земля	GND
SDA	Дані	A4
SCL	Тактування	A5

3.4. Адреса модуля

У Tinkercad використовується адреса 0x27, але в деяких випадках, особливо на базі MCP23008, вона може бути 0x20. У даному випадку, 0x27.

3.5. Підготовка

Потрібно підключити бібліотеку LiquidCrystal_I2C. Ініціалізація буде виглядати так: `LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);` для адреси 0x27.

4. Модуль реле 5В

4.1. Опис

Фізично цей релейний модуль дає можливість керувати навантаженням у 220В, наприклад, безпечно вмикаючи інфрачервоно лампу.

4.2. Причини вибору

- Безпечне керування: Розділення високої напруги забезпечується завдяки оптоізоляції.
- Простота: Для його роботи достатньо одного цифрового сигналу з Arduino.

- Симуляція: Оскільки Tinkercad не підтримує модуль реле, можна скористатись світлодіодом з резистором 220 Ом для імітації роботи.

4.4. Підключення у реальній схемі

В реальному підключенні сигнал з Arduino йде на IN модуля реле. Від VCC реле під'єднано до 5V, а GND – до GND. Лампа або інше навантаження підключається через релейний комутатор (NO/COM).

5. Інфрачервона лампа (імітація — світлодіод)

5.1. Опис

ІЧ-лампа призначена для точкового нагріву повітря або предметів у теплиці чи сушарці. Вона має стандартне цокольне з'єднання E27, що робить її універсальною для використання.

5.2. У моделюванні

Так як Tinkercad не підтримує високовольтні пристрої, у цьому випадку використовується світлодіод, що сигналізує про ввімкнення та вимкнення нагріву.

5.3. Реальне підключення

Живлення лампи також подається через релейний модуль, а Arduino керує лампою, вмикаючи або вимикаючи ланцюг, надсилаючи сигнал на IN реле.

Загальний принцип роботи

Датчик DHT-22 зчитує дані, які потім передаються на LCD 16x2 для виведення. Якщо температура перевищить 60 або вологість впаде нижче 20, лампа вимкнеться, а в імітації згасне світлодіод. За інших умов лампа

працюватиме, і світлодіод світлитиметься. Це забезпечує просту, але ефективну автоматизацію для контролю клімату.

3.2. Побудова онлайн-макету системи

Для перевірки, як працюють апаратні та програмні частини, було вирішено створити макет системи в Tinkercad. Це віртуальне середовище для моделювання дало можливість зібрати все необхідне без фізичних компонентів.

При роботі було підбрано базові елементи, які допомогли реалізувати основну ідею контролю температури і вологості, а також управління нагрівальним елементом. Оскільки в Tinkercad немає можливості використовувати реле та інфрачервоні лампи, було зімітовано роботу лампочки та обрано світлодіод, щоб тимчасово їх замінити. Хоча це не зовсім те, що було потрібно, але все ж дає уявлення про те, як працює схема.

Усі компоненти було з'єднано за допомогою плати на макет, з якою було зручно працювати. Arduino Uno R3 став основою нашого проекту, і завдяки цьому можна легко налаштувати усі елементи. В цілому, цей процес дав можливість перевірити базову логіку управління і отримати відчуття від того, як усе працює разом. Це був досить корисний досвід, який дозволив зв'язати теоретичні знання з практикою.

1. Макетна плата

Макетна плата (breadboard) - це справжній помічник для тих, хто займається електронікою. Вона дозволяє легко підключати різні елементи, як-от датчики чи мікроконтролери, без потреби в пайці. Це дуже зручно, особливо коли потрібно швидко протестувати ідею або внести якісь зміни до схеми.

У Tinkercad, онлайн платформі для створення схем, макетні плати дуже корисні. Вони дозволяють швидко проводити експерименти, адже ви можете змінювати компоненти в один клік, і це економить багато часу. Крім того, макетка забезпечує стабільне підключення для живлення та сигналів, що важливо для коректної роботи проекту.

Структура цієї плати досить проста. З боків є два ряди, які відповідають за живлення. Один з них відзначений червоною лінією, а інший синьою. А в середині місце для підключень - там розташовані ряди з п'яти отворів з кожного боку. Ця частина поділена вертикальною прорізю, куди зазвичай можна вставити мікросхему.

Макетна плата робить створення схем доступнішим для всіх, від початківців до досвідчених електронщиків. Можливість вільно експериментувати з підключеннями без облаштування постійних з'єднань дозволяє швидше все підключати та відключати.

Подача живлення на шини макетної плати(Рисунок 3.1):

- 5V з Arduino підключено до червоної шини макетної плати.
- GND з Arduino підключено до синьої шини макетної плати.

Це забезпечує подачу живлення до всіх компонентів, які підключені через макетну плату.

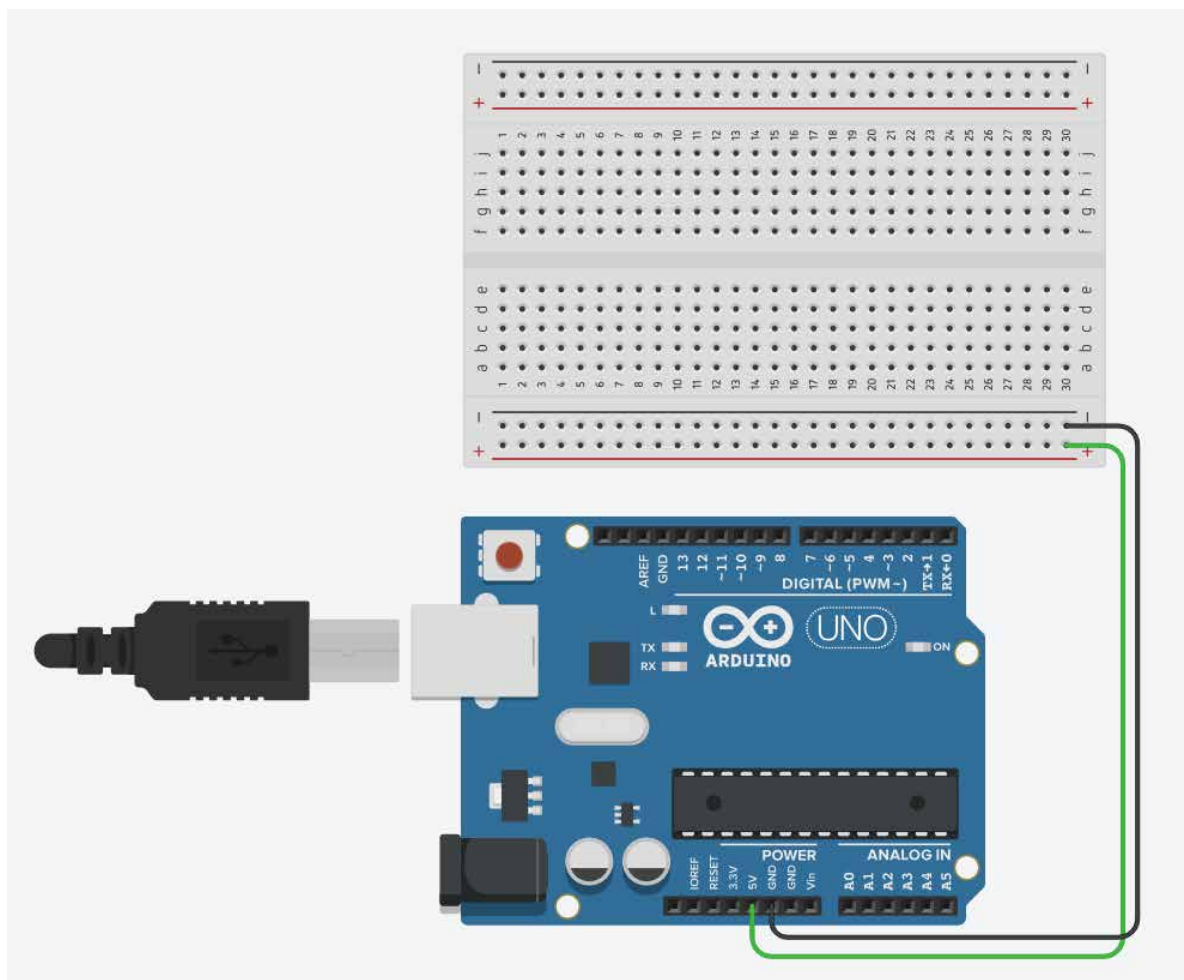


Рисунок 3.1 - Підключення макетної плати

2. Датчик температури

В Tinkercad немає цифрового датчика температури та вологості DHT-22, тож вирішено використати аналоговий датчик TMP36 для заміни у нашому онлайн проекті. TMP36 доступний у Tinkercad і дозволяє вимірювати температуру за допомогою аналогового сигналу. Це робить його хорошим варіантом для цього моделювання.

Хоча б хотілося мати DHT-22, щоб моделювати такий самий онлайн макет, як і в житті, але й TMP36 добре підійшов. Він простий у використанні і не вимагає якихось складних налаштувань. Завдяки цьому датчику, ми сміливо можемо працювати над контролем температури у нашій моделі, і це дуже зручно. Тож, TMP36 зможе впоратися з температурою. У результаті, цю ідею можна реалізувати, і ми зможемо побачити, як все працює в дії.

Підключення датчика TMP36 до плати Arduino Uno(Рисунок 3.2).

По-перше, взяти ліву ніжку датчика, яка позначена як VCC. Її потрібно підключити до червоної шини, яка відповідає за 5 вольт. Це дає датчику живлення, щоб він міг працювати.

Далі беремо середню ніжку, позначену як Vout. Це вихідний сигнал температури. Підключаємо цю ніжку до однієї з внутрішніх ліній на платі. Після цього, за допомогою дроту, приєднуємо її до A0 на Arduino. Це дозволить мікроконтролеру отримувати показання температури.

Права ніжка, яка має маркування GND, підключається до синьої шини, що, звісно, відповідає за заземлення. Це важливий крок, адже без правильного з'єднання заземлення, датчик може не працювати.

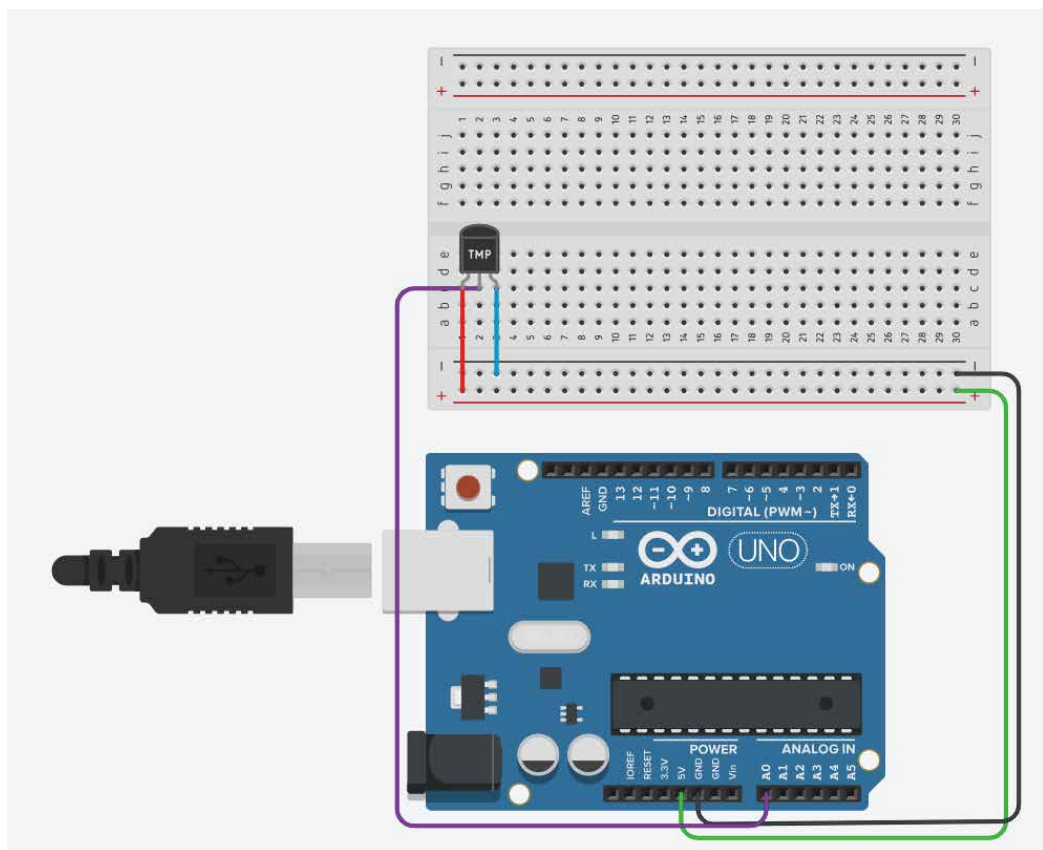


Рисунок 3.2 - Підключення датчика TMP36

3. Підключення світлодіода з резистором (імітація реле/ІЧ-лампи)(Рисунок 3.3).

Перше, знадобиться світлодіод. Він має дві ніжки: анод і катод. Анод – це довша ніжка, а катод – коротша. У нашому випадку, анод світлодіода підключаємо до резистора, а його вже потім до макетної плати. Це дозволяє світлодіоду нормально працювати, адже з'єднання з макетною платою надає йому електричний сигнал.

Другим етапом є підключення резистора. Візьмемо резистор на 220 Ом і підключимо його між анодом світлодіода та контактом D7 на Arduino. Це важливо, бо резистор допомагає захистити світлодіод від надмірного струму, що може його зламати.

Катод підключаємо до шини GND (синя шина) на макетній платі. Це забезпечить коректну роботу світлодіода в нашій схемі.

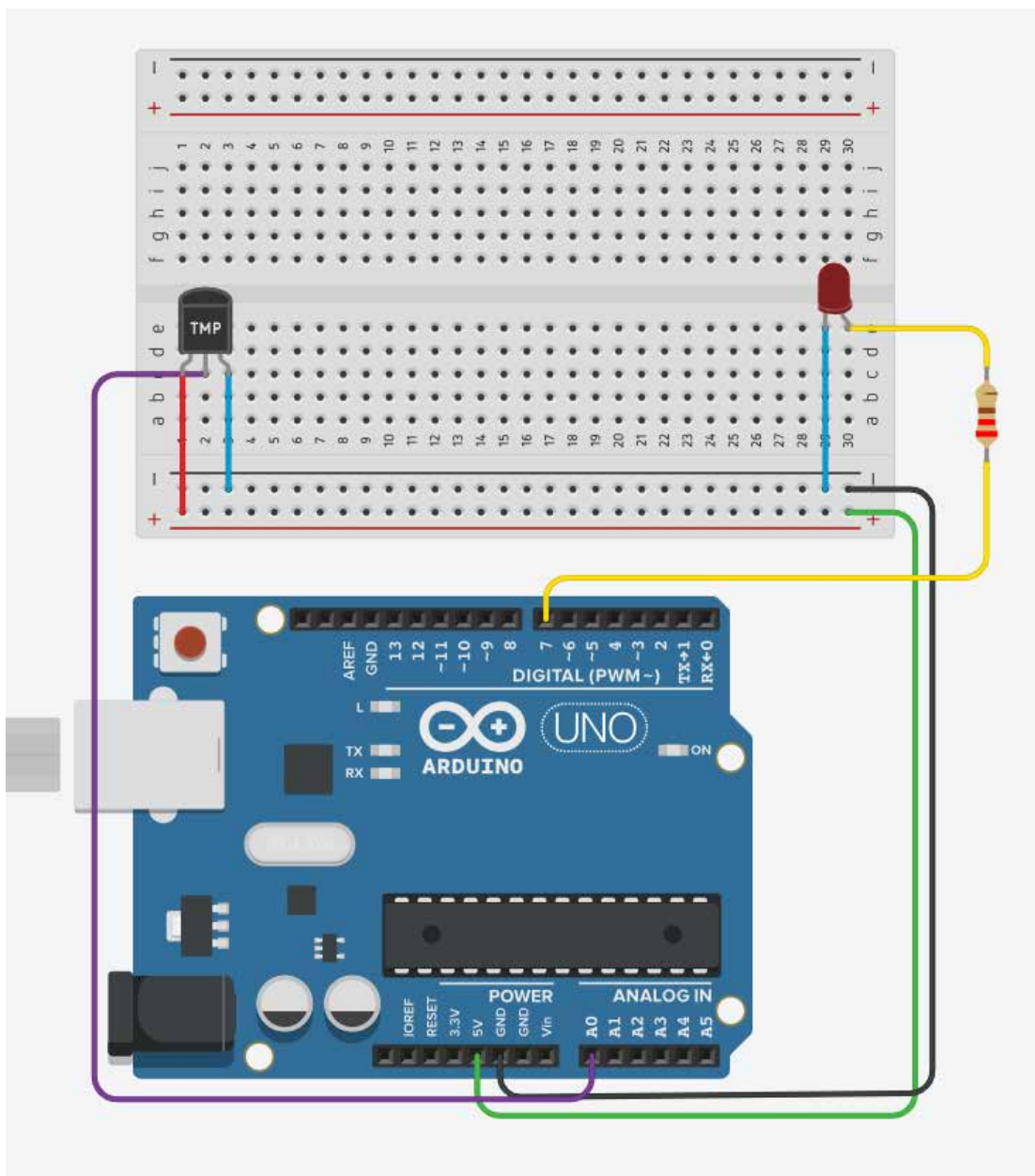


Рисунок 3.3 - Підключення діода та резистора

4. Жидкокристалічний екран 16x2 з I2C(Рисунок 3.4).

LCD 16×2 з I2C (на базі PCF8574) - це дуже зручний модуль для роботи з Arduino. Модуль LCD має свій власний роз'єм, що складається з чотирьох контактів. Це значно спрощує процес підключення.

Почнемо з приєднання модулю живлення. Для цього потрібно взяти дріт від контакту VCC на модулі і підключити його до виходу 5V на Arduino. Це забезпечить живлення для LCD.

Далі йде зв'язок з землею, або GND. Треба підключити цей контакт до будь-якого GND на Arduino. Це важливо, щоб система працювала правильно.

Перейдемо до контактів, які відповідають за дані. Контакт SDA на модулі підключається до контакту A4 на Arduino. Цей контакт дозволяє передавати дані між потужним модулем і вашою Arduino.

Останній контакт — це SCL. Його потрібно приєднати до A5 на Arduino. Цей контакт також важливий для передачі даних, але більшою мірою він відповідає за синхронізацію.

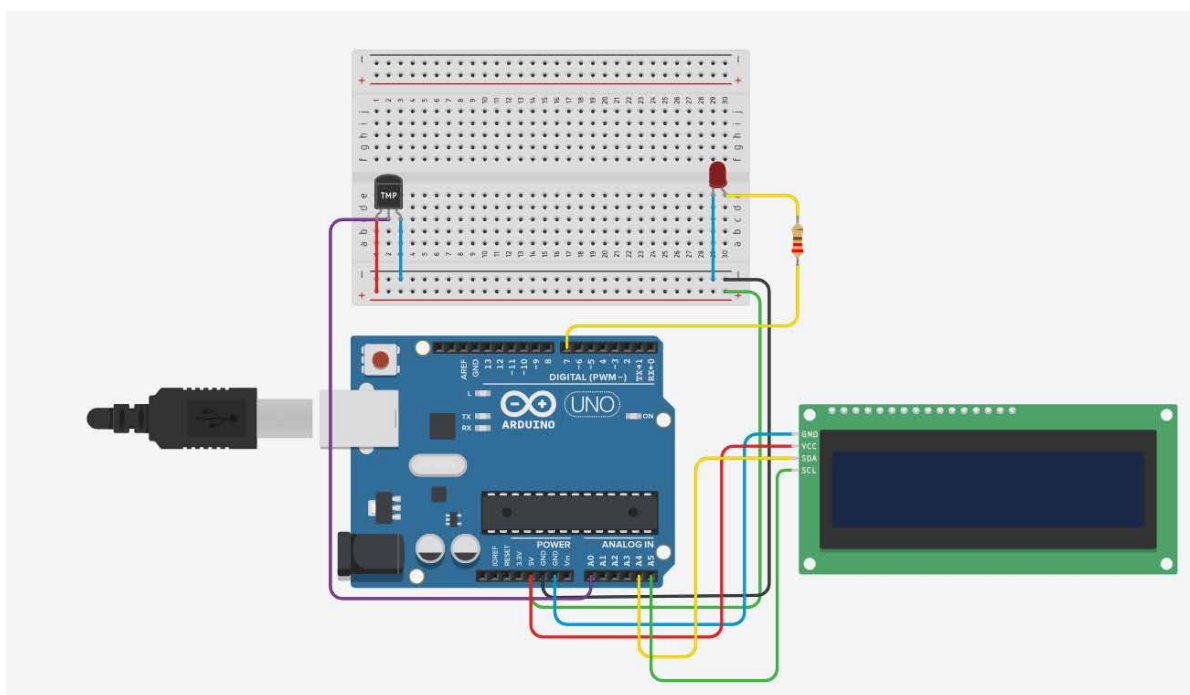


Рисунок 3.4 - Підключений екран

Далі прошивка. У Tinkercad прошивки немає - потрібний код треба просто вставити у вікно, або ж побудувати з логічних блоків. Потрібний нам код повинен зчитувати дані з датчика температури, передавати їх на екран, а якщо температура вища заданого значення(тестово - 30 градусів Цельсія) - то лампа вимикається. Якщо нижча - вмикається.

Код роботи тестового макету:

```
#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
const int tempPin = A0;
const int ledPin = 7;
const float thresholdTemp = 30.0;

void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Temperature:");
}

void loop() {
  int analogValue = analogRead(tempPin);
  float voltage = analogValue * 5.0 / 1023.0;
  float temperatureC = (voltage - 0.5) * 100.0;
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Temp: ");
  lcd.print(temperatureC, 1);
  lcd.print((char)223);
  lcd.print("C ");
```

```
if (temperatureC < thresholdTemp) {  
    digitalWrite(ledPin, HIGH);  
} else {  
    digitalWrite(ledPin, LOW);  
}  
delay(1000);  
}
```

РОЗДІЛ 4 ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ І ОЦІНКА ВАРТОСТІ

4.1. Методи тестування

Щоб перевірити, як працює система контролю мікроклімату, було використано Tinkercad. Це зручний інструмент для моделювання різних електронних проектів. Головне в тестуванні - впевнитись, що система правильно зчитує дані з сенсора. Якщо вона зможе обробити ці дані і показати результати на дисплеї, значить, все працює правильно.

Також важливо, щоб система адекватно реагувала, коли показники доходять до певних меж. Наприклад, якщо температура стає занадто високою або низькою, треба бути впевненими, що система дасть знати про це. Все це допомагає зрозуміти, чи можна довіряти цій системі у реальних умовах. Отже, тестування - це важливий крок на шляху до перевірки працездатності проекту.

Перевірка живлення та базового підключення

Першим ділом, перевіримо подачу живлення на макетну плату; це робиться через шини 5V і GND. Якщо все на місці, LCD-дисплей повинен загорятися з підсвічуванням, отже, він працює.

Далі TMP36. Він повинен підключений відповідно до документації: VCC, GND і Vout, який повинен йти до A0.

Далі світлодіод. Перевіримо, чи він правильно підключений через резистор.

Тестування дисплея

Наступним кроком буде перевірка, чи LCD 16×2 I2C дисплей в порядку. Для цього можна використати простий тестовий скетч, де на дисплей виводяться фрази на кшталт «Test LCD» або «Hello».

Якщо раптом виникнуть якісь проблеми, варто перевірити адресу дисплея. Найчастіше вона буде 0x27 або 0x3F, і в Tinkercad це зазвичай PCF8574 з адресою 0x27.

Тестування зчитування температури

Переконаємось, що сенсор TMP36 справно передає дані та що вони правильно підраховуються, щоб відображати температуру. У Tinkercad є можливість вручну змінювати значення температури в мілівольтах.

Ось, що повинно трапитись: на дисплеї повинно з'являтися актуальне значення температури. Коли змінюється значення в мілівольтах, температура у градусах Цельсія також має змінюватись.

Тестування логіки увімкнення лампи

Далі перевіримо, чи правильно працює логіка керування «нагрівальним елементом», який у нашому випадку — світлодіод.

Для цього потрібно встановити кілька температурних значень. Якщо температура опустилась нижче за певний поріг (30 °C), світлодіод повинен загорітись. Якщо температура вища - він має вимикатись.

Тестування граничних умов (для сценарію з DHT-22)

Для цього етапу ми вже повинні мати фізичний пристрій, або, принаймні, модуль DHT. Тут ми тестуємо умови, за яких світлодіод вимикається. Так, якщо температура перевищує 60 °C або вологість опускається нижче ніж 20 %, ми хочемо, щоб лампа вимикалась.

У Tinkercad ці умови можна перевірити, імітуючи TMP36 як температурний датчик. Частина логіки з вологості не можна умовно перевірити в коді, то ж реалізуватиметься буде в майбутній фізичній версії.

Висновок

Тестування в Tinkercad — це чудовий спосіб перевірити, як працює система в умовах моделювання. Воно дозволяє оцінити, як схема обробляє аналогові дані, відображає їх на екрані і керує світлодіодом. Так можна впевнитися, що структура, логіка і готовність до фізичної реалізації на висоті.

4.2. Перевірка роботи компонентів

1. LCD дисплей 16×2 з I2C інтерфейсом

Перше, що ми перевіряємо, це LCD дисплей. Ми впевнилися, що адреса пристрою правильна - це 0x27 або 0x3F, якщо чіп PCF8574(Рисунок 4.1). Виводимо на дисплей статичний текст або дані з нашого сенсора. Коли температура змінюється, дисплей оновлює значення в реальному часі.



Рисунок 4.1 - Відображення значення температури на дисплеї

2. Датчик температури TMP36 (Рисунок 4.2)

Далі перейдемо до датчика температури. Підключення виглядає наступним чином:

- VCC до 5V
- GND до GND
- Vout до A0

У Tinkercad ми можемо задати рівень напруги, щоб симулювати температуру.

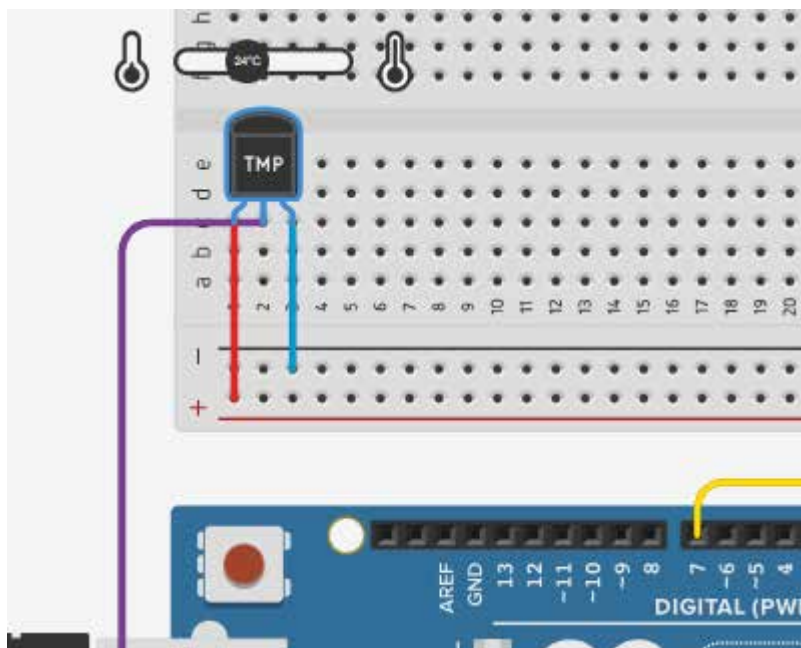


Рисунок 4.2 - Налаштування датчика

3. Світлодіод (імітація ГЧ-лампи)

Наступним в перевірці є світлодіод, що працює як ГЧ-лампа. Підключення виконується просто:

- Анод (+) через резистор 220 Ом до піню D7
- Катод (-) до GND

Коли температура нижча за 30 °C, світлодіод включається(Рисунок 4.3). Якщо температура вища, він вимикається(Рисунок 4.4).

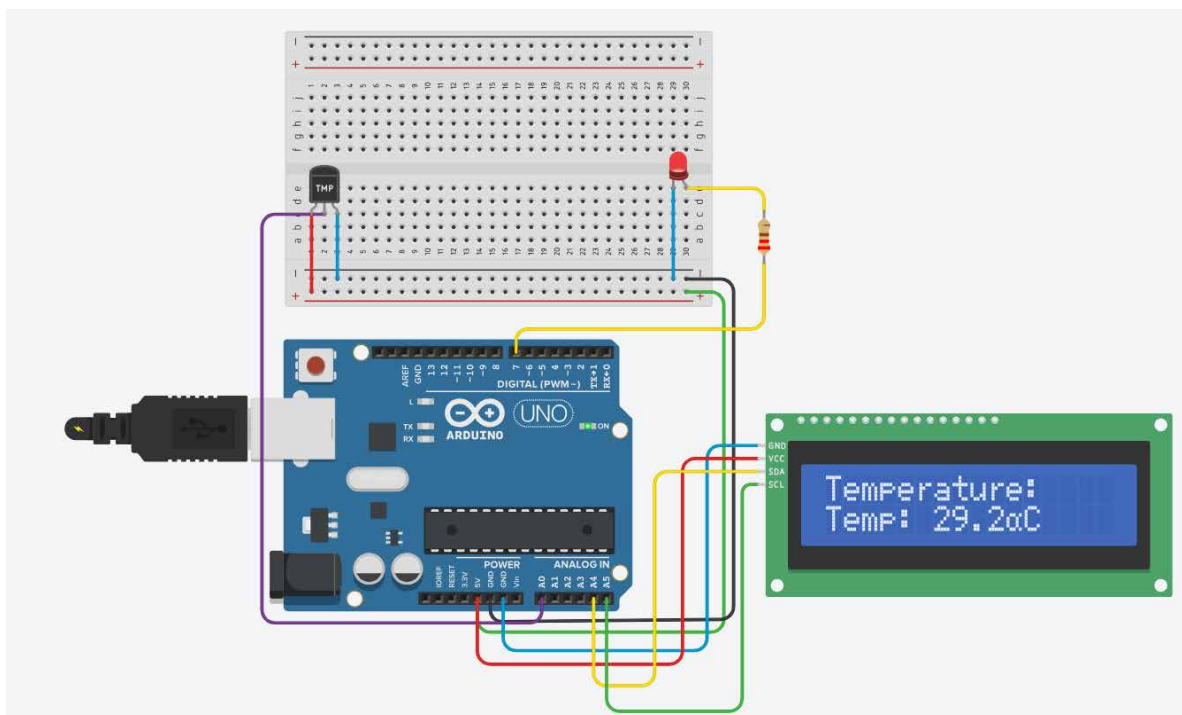


Рисунок 4.3 - Температура нижча 30, діод увімкнений

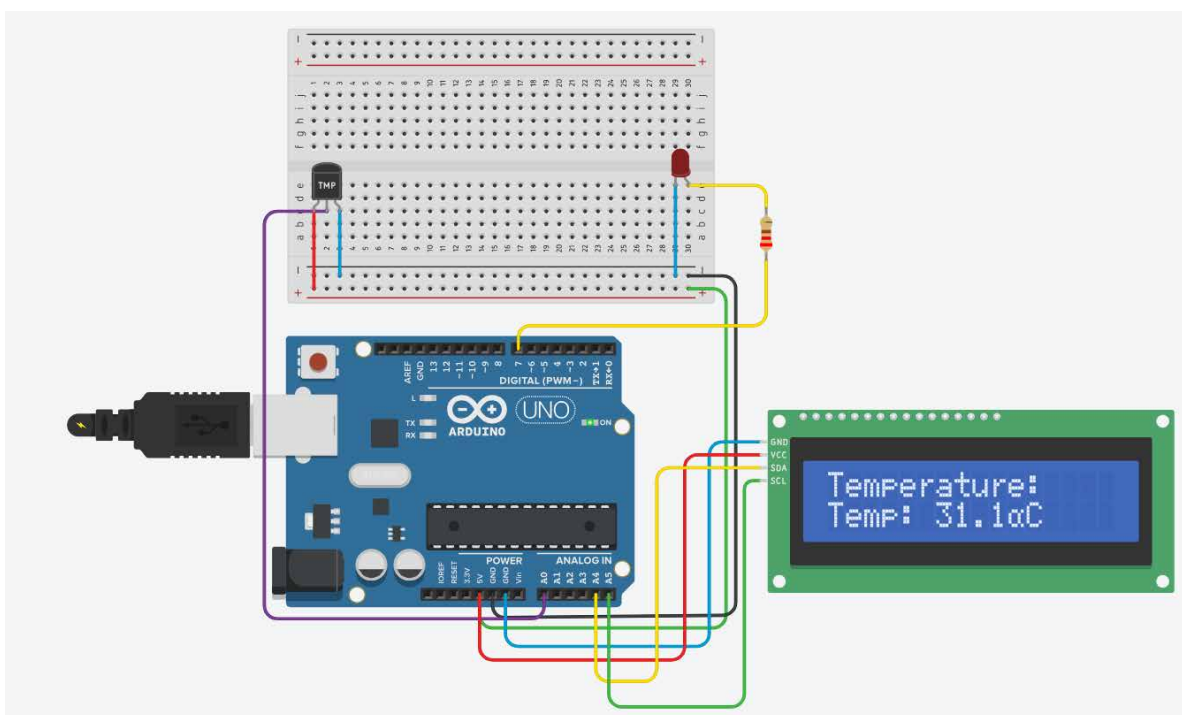


Рисунок 4.4 - Температура вища 30, діод вимкнений

Висновок:

Перевірка в Tinkercad показала, що всі компоненти підключені правильно, і логіка системи працює, як і планувалося. Всі частини системи взаємодіють, реагуючи на зміни даних.

4.3. Зведена таблиця показників вартості

1. Вартість апаратної складової

При створенні системи контролю мікроклімату та імітації процесу сушіння було використано певний набір компонентів. Внизу наведено їхній перелік та ціни.

Таблиця 4.1 - Вартість компонентів

№	Компонент	Кількість	Вартість за одиницю	Загальна вартість
1	Інфрачервона лампа (E27)	1	180 грн	180 грн
2	Модуль реле 5В (одноканальний)	1	50 грн	50 грн
3	Arduino Uno R3	1	350 грн	350 грн
4	Датчик температури та вологості DHT-22	1	150 грн	150 грн
5	LCD дисплей 16×2 з інтерфейсом I2C	1	200 грн	200 грн
6	Набір з'єднувальних проводів (Dupont)	1 комплект	50 грн	50 грн
	Загальна вартість			980 грн

- Ця вартість не включає джерело живлення, корпус або інші додаткові монтажні елементи.
- Вибір компонентів проводився з урахуванням того, щоб вони були доступні, сумісні з Arduino і відповідали вимогам проекту. Таким чином, ми змогли зібрати ефективну систему, яка відповідає всім нашим потребам.
- У вартість не включено доставку елементів.

Було проаналізовано варіанти перед тим, як придбати ці елементи, аби не витратити зайві кошти і забезпечити хорошу роботу всього проекту.

2. Вартість програмної складової

Коли мова йде про оцінку вартості програмної частини проекту, потрібно враховувати кілька важливих моментів. Перш за все, це зарплата програміста, який має відповідну кваліфікацію, і час, який йде на розробку, тестування та моделювання. Це допоможе зрозуміти, скільки приблизно коштуватиме вся ця робота.

З відкритих статистичних джерел було взято, що в Україні середня зарплата програміста з трьома роками досвіду становить близько 1945 доларів на місяць. Якщо ми розділимо цю суму на кількість робочих годин в місяці, з'ясуємо, скільки програміст отримує за годину. Середня тривалість робочого місяця - це 180 годин, отже:

1945 поділити на 180 виходить близько 10.8 доларів на годину.

Тепер перейдемо до оцінки витрат часу на конкретні задачі в проєкті. Наприклад, написання коду займе всього одну годину. Побудова та тестування макету, припустимо, в Tinkercad, а потім і в житті потребуватиме двох годин. У підсумку це становитиме три години роботи в цілому.

Тож, щоб отримати вартість програмного забезпечення, потрібно помножити кількість годин на погодинну ставку:

3 години помножити на 10.8 доларів на годину виходить 32.4 долари.

Отже, загальна орієнтовна вартість програмної частини системи складає приблизно 32.4 долари США. У цю суму входять всі складові, пов'язані з написанням, налагодженням та тестуванням програмного коду, а також створенням візуальної моделі в онлайн-симуляції, а далі й побудова апарату в цілому.

По курсу НБУ 1 долар США = 41.44 гривні.

Отже, орієнтовна вартість програмної складової системи становить 1342.66 гривні.

3. ПДВ

Розрахунок ПДВ, коли стандартна ставка - 20%. Для цього спочатку потрібно визначити, з якої суми ми будемо рахувати податок, а потім підрахувати сам ПДВ.

1. Спершу підрахуємо загальну вартість всього, що ми купуємо:

- Апаратура - 980 грн.

- Програмне забезпечення - 1342.66 грн.

Складаємо ці дві суми: $980 + 1342.66$. Разом 2322.66 грн.

2. Тепер потрібно обчислити ПДВ. Беремо загальну суму і множимо її на 20%.

$$2322.66 \times 0.20 = 464.53 \text{ грн.}$$

Повну вартість всієї складової наведено у таблиці 4.2:

Таблиця 4.2 - Зведена таблиця показників

Найменування показника	Сума, грн.
Вартість апаратної складової	980
Вартість програмної складової	1342.66
ПДВ	464.53
Ціна програмного продукту	2787.19

4.4. Висновки за результатами

Було зроблено практичну реалізацію та тестування системи управління мікрокліматом для сушильного пристрою на основі Arduino.

1. Методи тестування

Систему протестували в Tinkercad, де змодельовали роботу основних компонентів. Перевірили, як система зчитує температуру з датчика TMP36 (використовували його замість DHT-22), як дані передаються на LCD-дисплей через інтерфейс I2C, а також логіку роботи світлодіода, що імітує інфрачервону лампу при досягненні певних температурних порогів. Усі сценарії працювали відповідно до заданих умов.

2. Перевірка роботи компонентів

Компоненти підключили до віртуальної макетної плати в Tinkercad. Для кожного модуля перевірили стабільність сигналу, правильність підключень та логіку роботи. Результати підтвердили, що система працює: температурні дані відображаються на екрані, а нагрівальний елемент (світлодіод) реагує на зміни температури.

3. Зведена таблиця показників вартості

Оцінили загальну вартість системи. Апаратна частина коштує 980 грн, програмна — 1 342,66 грн, а ПДВ — 464,53 грн. Це дає уявлення про вартість створення прототипу системи автоматичного контролю мікроклімату та може допомогти розрахувати її ціну при розгортанні у виробництві.

Система працює, її легко реалізувати, вона економічно виправдана і може знайти застосування в тих областях, де потрібне автоматичне регулювання температури та вологості.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи було створено проєкт, який полягає у розробці автоматизованої системи контролю мікроклімату для сушильних установок на основі мікроконтролера Arduino Uno R3. Основна мета полягала у створенні доступного та надійного засобу для вимірювання температури і вологості повітря, а також автоматичного управління інфрачервоною лампою, щоб підтримувати оптимальні умови під час сушіння.

Коли було розпочато роботу, першим кроком було вивчення технічного завдання. Було виявлено, які функції повинна мати система, проведено аналіз об'єкта, який вивчається, і досліджено сучасні технології сушіння. Це дало чітке уявлення про мету проєкту та допомогло визначити, які апаратні та програмні рішення підійдуть найкраще.

У практичній частині спочатку вирішено, які компоненти знадобляться. Було вибрано датчик DHT-22 для вимірювання температури та вологості, хоча в редакції моделювання він був замінений на TMP36. Також використано LCD-дисплей з I2C-інтерфейсом, модуль реле та симульовано інфрачервону лампу. Далі було складено архітектуру системи, розроблено сценарії її використання та оцінено потенційні ризики. Програмування проведено у середовищі Arduino IDE, що стало зручним інструментом для написання та налагодження коду.

Далі у розділі реалізації системи створено онлайн-макет у Tinkercad. Оскільки DHT-22 був недоступний у віртуальному середовищі, було обрано TMP36, щоб змодельовати основні функції системи. Підключено усі компоненти за технічними вимогами, протестована їх працездатність та сумісність.

На завершальному етапі, у четвертому розділі, проведено детальне тестування системи. Перевірено, як працює кожен компонент, і проаналізовано витрати на апаратуру та програмне забезпечення, з урахуванням податку на додану вартість. Результати показали, що система є економічно вигідною та може бути використана у сфері автоматизованих агротехнологій.

В результаті реалізації дипломного проєкту було не лише створено повноцінну систему для керування мікрокліматом, але й здобуто значний досвід роботи з мікроконтролерами, сенсорами, модулями реле та виводу інформації. Знання та результати, які було отримано, можуть бути корисні для подальших розробок у напрямку автоматизації тепличних, сушильних та інших технологічних процесів. Це був цікавий і корисний досвід, який допоміг зрозуміти, як багато нових можливостей відкривають сучасні технології.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ

1. Стеценко С.І., Плахтій В.М. Мікропроцесорні системи управління: навчальний посібник. – Київ: НАУ, 2020
2. Бендерська О.І. Основи робототехніки та мікроконтролерного програмування. – Харків: ХНУРЕ, 2021
3. Плотніков В.В. Автоматизовані системи керування технологічними процесами. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019
4. Lady Ada. Adafruit DHT22 Temperature and Humidity Sensor Guide [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://learn.adafruit.com/dht>
5. Arduino.cc. Arduino UNO Rev3 Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>
6. Circuit Basics. How to Set Up an LCD with I2C [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.circuitbasics.com/how-to-set-up-an-lcd-with-arduino/>
7. Tinkercad by Autodesk. Official Simulation Platform for Arduino Circuits [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tinkercad.com/>
8. Datasheet. TMP36 Temperature Sensor Analog Devices [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/tmp35_36_37.pdf
9. Технічна документація: Модуль реле 5В для Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://randomnerdtutorials.com/guide-for-relay-module-with-arduino/>
10. Мельниченко С.М. Системи автоматичного регулювання: Підручник. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 312 с.
11. Arduino IDE. Офіційна документація середовища розробки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/software>
12. DHT Sensor Library by Adafruit. Офіційна бібліотека Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>
13. Ігнатенко О.В., Степаненко С.Ю. Проектування вбудованих систем на базі Arduino. – Харків: ХНУРЕ, 2020

14. Гуржій А.М., Козачок О.В. Інформаційні технології в автоматизованих системах управління. – Київ: КНЕУ, 2019
15. Петрів І.В. Мікроконтролери AVR та Arduino в задачах автоматички. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2021
16. Ковальчук С.В. Цифрова схемотехніка з Arduino: Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2022
17. Nuno Santos. Arduino Step-by-Step Projects. – Tech Explorations, 2021. – ISBN: 978-1-0983-1220-6.
18. Simon Monk. Programming Arduino: Getting Started with Sketches. – 2nd Edition. – McGraw-Hill, 2016. – ISBN: 978-1259641633.
19. Розробка прототипів на Arduino: Практичний посібник для студентів технічних спеціальностей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://edu.cvu.edu.ua/arduino-manual.pdf>
20. IT-курс з Arduino від Prometheus [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://courses.prometheus.org.ua/>
21. Random Nerd Tutorials. Arduino Project Hub: Практичні приклади [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://randomnerdtutorials.com/>
22. All About Circuits. Arduino Projects and Tutorials [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.allaboutcircuits.com/projects/tag/arduino/>