

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## **Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи


бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розроблення системи дистанційного терморегулювання з використанням телекомунікаційних технологій»

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-ТТ  
спеціальності 172 «Телекомунікації та  
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)  
радіотехніка


Ненич Д.О.   
(прізвище та ініціали)

Керівник Шефер О.В.   
(прізвище та ініціали)

Рецензент Дрючко О.Г.  
(прізвище та ініціали)

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та  
робототехніки  
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій  
Ступінь вищої освіти Бакалавр  
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри автоматки,  
електроніки та телекомунікацій**

  
\_\_\_\_\_ О.В. Шефер  
«01» квітня 2024 р.

## **ЗАВДАННЯ** **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ** **СТУДЕНТУ**

**Неничу Дмитру Олександровичу**

1. Тема роботи **«Розроблення системи дистанційного терморегулювання з використанням телекомунікаційних технологій»**  
керівник роботи Шефер Олександр Віталійович, д.т.н., професор  
затверджена наказом вищого навчального закладу від **08.12.2023** року  
№ **1481/1-фа**
2. Строк подання студентом проекту (роботи) **10.06.2024** р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи). **Документація на електронні вузли мікроконтролера Arduino UNO, вузла Bluetooth HC-06, димера 220В для Arduino та ESP8266, термопари К-типу MAX6675. Розробити систему дистанційного терморегулятора з використанням телекомунікаційних технологій.**
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) **Засоби зв'язку (сучасний стан технологій “Bluetooth” та “Wi-Fi”). Аналіз регуляторів температури в промислових об'єктах. Особливості структури та будови термодатчиків. Створення пристрою для лінійного нагріву речовини (створення електронної схеми, програми керування нагрівачем). Висновок по проробленій роботі.**
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
  - 1) схема мікроконтролера Arduino UNO з зазначенням пінів;
  - 2) схема димера 220В для Arduino та ESP8266, з зазначеними виводів;
  - 3) схема підключення термопари К-типу (для плати термопари);
  - 4) схема підключення модуля “Bluetooth” HC-06;

Дата видачі завдання 01.04.2024 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Дата	Квартал	Відсоток	
1	Аналітична частина (засоби зв'язку)	25.04.24	I	20%	Пл.4,5,6,7
2	Аналіз регуляторів температури в промислових об'єктах та особливості структури і будови термодатчиків	25.04.24		40%	Пл.3,8,9
3	Створення пристрою для лінійного нагріву речовини, та програми до нього в середовищі Arduino IDE	23.05.24	II	80 %	Пл.10,11,12, 13
4	Висновок. Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	19.06.24	III	100 %	Пл.14

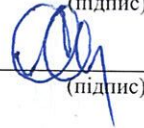
Студент

  
(підпис)

Ненич Д. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

  
(підпис)

Шефер О. В.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра «Розроблення системи дистанційного терморегулювання з використанням телекомунікаційних технологій»

Робота містить 76 сторінки, 28 ілюстрацій, 2 таблиці, 15 використаних джерел, 12 плактів, додатки.

Ключові слова: регулятор температури, нагрівальна установка, симісторне димування, димер, термопара К-типу, мікроконтролер.

Предметом дослідження кваліфікаційної роботи є дистанційний терморегулятор. Об'єктом дослідження є розроблення системи дистанційного терморегулятора для лінійного нагріву, який керується за допомогою безпроводного зв'язку.

Основною задачею є створення системи, яка забезпечить стабільне та точне підтримання температурного режиму з можливістю лінійного збільшення температури із заданою швидкістю зростання.

## **ABSTRACT**

bachelor's qualification thesis « Development of a remote thermostat system using telecommunication technologies »

The work contains 76 pages, 28 illustrations, 2 tables, 7 used sources, 12 posters.

Key words: temperature controller, heating installation, triac fumigation, dimmer, K-type thermocouple, microcontroller.

The subject of the qualification work research is a remote thermostat. The object of the research is the development of a remote thermostat system for linear heating, which is controlled using wireless communication.

The main task is to create a system that will ensure stable and accurate maintenance of the temperature regime with the possibility of a linear increase in temperature with a given growth rate.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	9
1.1 Технологія Bluetooth.....	9
1.2 Технологія Wi-Fi .....	11
1.3 Аналіз сучасних регуляторів температури в промислових об'єкта.....	14
1.4 Особливості структури та будови термодатчиків. Принципи роботи датчиків температури.....	16
1.4.1 Терморезистор.....	17
1.4.2 Термопара .....	18
1.4.3 Пірометри .....	21
2 СТВОРЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЛІНІЙНОГО НАГРІВУ РЕЧОВИНИ .....	23
2.1 Пристрій з датчиком температури та твердотільним реле .....	23
2.1.1 Короткий опис твердотільного реле .....	23
2.2 Пристрій з термопарою К-типу та твердотільним реле .....	26
2.3 Пристрій лінійного нагріву речовини на основі диммера 220В для Arduino і ESP8266 та термопари К-типу .....	27
2.4 Пристрій з можливістю віддаленого керування процесом нагріву (термопара К-типу, димер 220В для Arduino та ESP8266, модуль Bluetooth HC-06).....	34
ВИСНОВКИ.....	38
ВИКОРИСТАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА.....	40
ДОДАТКИ.....	42

## ВСТУП

Метою цього дослідження є розробка та імплементація простого та ефективного керованого регулятора температури для дослідницької нагрівальної установки лабораторного призначення. Основною задачею є створення системи, яка забезпечить стабільне та точне підтримання температурного режиму з можливістю лінійного збільшення температури із заданою швидкістю зростання. Це особливо важливо для дослідницької роботи, де точність контролю температури визначає результативність експерименту та достовірність отриманих даних.

Представлений регулятор має широкі перспективи застосування у науковій та промисловій діяльності. Він може використовуватись для дослідження теплофізичних властивостей різних матеріалів та компонентів, що є важливим у процесі розробки нових матеріалів та технологій. Також, він є необхідним для проведення теплових випробувань розроблюваних електронних пристроїв та систем, дозволяючи точно контролювати їх температурний режим.

Особлива увага приділяється інтеграції сучасних технологій зв'язку, таких як "Wi-Fi" та/або "Bluetooth", для забезпечення зручного та віддаленого керування пристроєм. Це робить регулятор більш гнучким та адаптивним до вимог сучасного світу, де віддалений доступ до управління обладнанням є ключовим аспектом забезпечення ефективності та зручності використання.

Додатково, у цьому дослідженні будуть представлені різні електричні схеми регулятора температури, які включатимуть в себе використання новітніх та сучасних елементів, таких як твердотільне реле та димер для регулювання потужності струму. Твердотільне реле забезпечує гальванічну розв'язку по струму, що покращує надійність та ефективність регулятора. Димер, базований на симісторах, дозволяє плавно регулювати потужність нагріву, забезпечуючи точний контроль температурного режиму.

За основу нашої установки, представленої в даному дослідженні, ми плануємо використати мікроконтролер Arduino Uno. Такий підхід дозволить зменшити елементну базу пристрою та спростити його конструкцію, оскільки мікроконтролер можна запрограмувати для виконання необхідних функцій. Це представляє сучасний підхід до виконання схем, оскільки дозволяє перенести частину функціоналу на програмне забезпечення.

Також варто зазначити, що завдяки прогамованій природі мікроконтролера, майбутні зміни або удосконалення пристрою можуть бути здійснені швидко та легко, не вимагаючи перероблення обладнання. Просто змінивши програмне забезпечення, ми можемо адаптувати пристрій до нових потреб або удосконалити його функціонал. Це дає можливість більш тонко налаштовувати та переробляти нашу розробку відповідно до змінюваних потреб і вимог.

Крім того, у роботі будуть наведені графіки, на яких буде показано динаміку зростання температури у різних конфігураціях та режимах регулювання.

Таким чином, проведення цього дослідження сприятиме не тільки теоретичній роботі, але й при деякому допрацюванні, дасть змогу використати цю нашу роботу в промисловості та інших виробництвах.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Технологія Bluetooth

Технологія бездротового зв'язку Bluetooth невеликого радіусу дії дозволяє двом пристроям з'єднуватися безпосередньо, без необхідності в мережевій інфраструктурі, такій як маршрутизатор або точка доступу. Сьогодні Bluetooth широко використовується по всьому світу для підключення таких пристроїв, як бездротові навушники, клавіатури, миші та динаміки, до комп'ютерів і мобільних пристроїв [1].

Технологія Bluetooth працює на частоті 2,4 ГГц і включає два стандарти: Bluetooth Classic: підтримує базову швидкість (BR) та підвищену швидкість передачі даних (EDR).

Bluetooth Low Energy (LE): оптимізований для низького енергоспоживання, використовується для додатків з обмеженим часом роботи акумулятора, не підходить для великих обсягів даних, але забезпечує високу якість аудіо.

Спеціальна група інтересів Bluetooth (SIG) контролює розвиток та ліцензування технології Назву Bluetooth запропонував Джим Кардач з Intel, натхненний шведським королем Харальдом Блютузом [2].

Сьогодні більшість комп'ютерів оснащені вбудованими мережевими картами з підтримкою Wi-Fi та Bluetooth. Це покращує продуктивність і взаємодію обох технологій, зменшуючи перешкоди та забезпечуючи високу швидкість передачі даних.

Технологія Bluetooth використовується для бездротового підключення периферійних пристроїв до мобільних телефонів, комп'ютерів і ноутбуків. Найпоширеніші аксесуари Bluetooth включають клавіатури, миші, динаміки та навушники. Багато ігрових контролерів також підключаються через Bluetooth.

Крім того, Bluetooth стає популярним у побутовій електроніці, як-от фотоапарати, телевізори та побутова техніка, наприклад, холодильники та духовки. Медичні пристрої, такі як датчики глюкози та кардіостимулятори, також використовують Bluetooth. У сучасних автомобільних інформаційно-розважальних системах Bluetooth застосовується для передачі музики або навігаційних вказівок із телефону водія [3].

Сучасні пристрої здатні підтримувати кілька з'єднань Bluetooth одночасно. Наприклад, у сценарії роботи з дому користувачі можуть синхронізувати клавіатури та миші з кількома ПК одночасно та легко перемикатися між ними одним натисканням кнопки.

З'єднання двох пристроїв Bluetooth, відоме як сполучення, є простим процесом. Багато сучасних пристроїв автоматично входять у режим сполучення при першому увімкненні. В інших випадках, можливо, доведеться вручну активувати цей режим.

Кожен пристрій зберігає інформацію про сполучення, включаючи ключ безпеки, свого партнера. Це дозволяє їм легко підключатися або автоматично повторно підключатися без повторення початкового процесу сполучення Bluetooth.

Під час початкового сполучення може знадобитися порівняти числовий код, що відображається на обох пристроях, або ввести PIN-код з одного пристрою на інший. Це допомагає запобігти випадковому сполученню з неправильним пристроєм і захистити ваші пристрої Bluetooth від доступу сторонніх осіб.

Фізичне розташування пристроїв і навколишні умови є ключовими для роботи Bluetooth. Ця технологія дозволяє підключати пристрої на відстані від 10 до 100 метрів один від одного. Радіус дії Bluetooth залежить від середовища, потужності передачі та перешкод. Пристрої, що працюють на частоті 2,4 ГГц, такі як старі ПК, планшети, телефони, Wi-Fi мережі, а також мікрохвильові печі та радіоняні, можуть створювати перешкоди для Bluetooth [4].

Bluetooth використовується для передачі невеликих пакетів даних з низькою затримкою між пристроями, але він не підходить для передачі великих файлів через обмежену швидкість передачі даних - 2 Мбіт/с.

Безпека є ключовим питанням для розробників та користувачів. Технологія Bluetooth її безпека також покращується. Специфікація Bluetooth, керована Bluetooth SIG, періодично оновлюється для підвищення безпеки.

Bluetooth використовує шифрування та автентифікацію для захисту даних. Процеси створення пари, як-от введення PIN-коду, допомагають запобігти небажаному доступу. Також Bluetooth LE має розширені функції безпеки, відомі як безпечні з'єднання LE, що включають вдосконалену генерацію ключів безпеки.

Сьогодні Bluetooth представлений у багатьох версіях і має різні профілі, які визначають набір функцій для конкретних типів пристроїв. Наприклад, профіль Device ID (DIP) дозволяє визначити клас пристрою, виробника та версію продукту, що сприяє сумісності та полегшує взаємодію між різними пристроями [5].

Bluetooth легко інтегрувати, оскільки вона не потребує багато апаратного забезпечення і дуже компактна, що робить її доступною для різних пристроїв. Також ця технологія не обмежена законодавством і не вимагає ліцензії для використання, що сприяє її поширенню в різних галузях.

Технологія Bluetooth є важливою частиною нашого сучасного життя.

## 1.2 Технологія Wi-Fi

**Wi-Fi (Wireless Fidelity)** це технологія бездротового обміну даних, яка дозволяє пристроям обмінюватися інформацією між глобальними пристроями та підключатися до інтернету без використання кабелів. Вона заснована на стандартах сімейства IEEE 802.11, які визначають, як пристрої повинні обмінюватися інформацією в мережі [6].

### Основні характеристики Wi-Fi:

1. Wi-Fi передає інформацію між пристроями за допомогою радіохвиль.. Найпоширеніші частоти в даній технології: 2,4 ГГц і 5 ГГц.
2. Діапазон дії Wi-Fi мережі становить від кількох десятків до сотень метрів, залежно від умов середовища та потужності обладнання.
3. Швидкість передачі даних у Wi-Fi залежить від стандарту і може варіюватися від кількох мегабіт до кількох гігабіт за секунду.
4. Wi-Fi мережі можуть бути захищені паролями та різними методами шифрування даних, що забезпечує високий рівень безпеки даних.
5. Майже всі сучасні пристрої підтримують технологію Wi-Fi.
6. Wi-Fi є легким у використанні, оскільки не потребує багато знань в даній галузі [7].

Принцип роботи Wi-Fi базується на використанні радіохвиль для передачі даних між пристроями в бездротовій мережі. Це відбувається так:

1. Найпоширенішими часостами є 2,4 ГГц і 5 ГГц. Ці частоти поділяються на канали, для зменшення перешкод.
2. Wi-Fi мережі складаються з точки доступу (маршрутизатора) і клієнтських пристроїв (наприклад смартфонів). Маршрутизатор діє як передавач, а клієнтські пристрої — як приймачі.
3. Дані спочатку кодуються в цифровий сигнал, а потім модулюються радіохвилі.
4. Модульований сигнал передається через антену, яка має обмежений діапазон дії.
5. Пристрій клієнта приймає радіосигнал за допомогою антени, потім сигнал демодулюється, тобто перетворюється знову в цифрові дані.
6. Після з'єднання між маршрутизатором і клієнтським пристроєм, вони можуть обмінюватися даними. Це відбувається через запити і відповіді, які передаються у вигляді пакетів інформації.

7. Wi-Fi мережі використовують різні протоколи шифрування, такі як WPA (Wi-Fi Protected Access) і WPA2. Це забезпечує безпеку даних під час передачі.
8. Роутер керує трафіком, надсилаючи дані до різних пристроїв та забезпечує оптимальну швидкість і якість з'єднання для всіх клієнтів [8].

Переваги технології Wi-Fi :

- Мережа може розгортатись без прокладки кабеля.
- Можливий доступ до мережі різних мобільних пристроїв.
- Сумісність обладнання завдяки сертифікації обладнання з логотипом Wi-Fi.
- Нема прив'язки до місця. Користування в зручний час.
- Мале випромінювання при передачі даних. Менше в 10 разів, ніж у стільникового телефону.
- В зоні Wi-Fi в інтернет можуть заходити кілька людей.

Недоліки технології Wi-Fi :

- Можуть бути наводки в діапазоні 2,4 ГГц від інших пристроїв.
- Виробниками дещо завищується швидкість передачі даних.
- Різні діапазони та обмеження у різних країнах.
- Не достатня безпека зв'язку, можливий, відносно легко, підбір шифрів.

Wi-Fi технологія може бути використана для створення бездротових мереж у промислових умовах (IWLAN), таких як управління рухомими об'єктами на складах або робота на небезпечних і віддалених об'єктах.

Пристрої Wi-Fi добре працюють у середовищах з великою кількістю металевих перешкод, які часто зустрічаються на заводах і підприємствах, і не створюють суттєвих перешкод для вузькосмугових сигналів [9].

Наш вибір припав на модуль Bluetooth. Він має кілька переваг:

1. **Низька споживана потужність:** Bluetooth пристрої споживають мало енергії, що робить його ефективним для пристроїв з обмеженим джерелом енергії, таких як батареї.
2. **Простота налаштування:** Bluetooth зазвичай простий у налаштуванні та використанні, що дозволяє швидко почати використовувати його для керування нагрівачем води без складних налаштувань.
3. **Економічна доцільність:** низька ціна модуля Bluetooth.

### 1.3 Аналіз сучасних регуляторів температури в промислових об'єктах

Терморегулятори використовуються в побутових і промислових пристроях. Вони бувають різних типів: механічні, електромеханічні, електронні з ручним налаштуванням та програмовані. Механічні регулятори дозволяють встановити фіксовану температуру, яка підтримується до ручного коригування. Такі регулятори налаштовуються шляхом обертання коліщатка на корпусі. Незважаючи на високу похибку, вони залишаються популярними завдяки своїй доступній ціні (рисунок 1.1) [10].



Рисунок 1.1 - Механічний регулятори температури з двома термодатчиками.

Електронні терморегулятори мають дисплей для відображення поточної температури (рисунок 1.2). По своїй вартості вони дорожчі, але забезпечують більш високу точність і часто підтримують програмування режимів нагріву [10].



Рисунок 1.2 – Електронний регулятор терморегулятора

Є універсальні терморегулятори, які можна підключити до будь-якого обладнання. Вони складаються з електронної плати з невеликим дисплеєм для відображення поточної температури та не мають власного корпусу. Такі терморегулятори можуть бути встановлені в різних місцях для контролю систем нагрівання або охолодження (рисунок 1.3) [10].

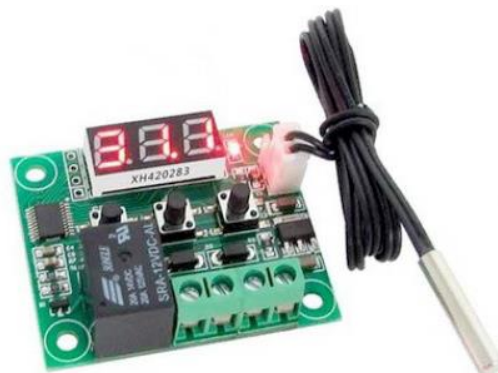


Рисунок 1.3 - Універсальний терморегулятор.

#### 1.4 Особливості структури та будови термодатчиків. Принципи роботи датчиків температури

Температура — це макроскопічна властивість системи, яка чисельно пропорційна середній кінетичній енергії молекул для кожного ступеня свободи в речовині. Термометр - це прилад, у якому при поглинанні або віддачі тепла змінюється лише один макроскопічний параметр, який називається тепловим параметром термометра [10].

У термодатчиках температура перетворюється в електричні значення, що забезпечує швидку передачу даних на великі відстані. Температуру можна перетворити в цифровий код, забезпечуючи високошвидкісні, чутливі та точні вимірювання. Температуру вимірюють контактними і безконтактними методами [10].

Для контактного вимірювання використовують:

Манометричні термометри (засновані на залежності тиску газів або насичених парів від температури);

Термометри опору (засновані на залежності електричного опору від температури);

Термометри розширення (вимірюють температуру за тепловим розширенням рідин або твердих тіл);

Термоелектричні термометри (засновані на вимірюванні термоелектрорушійної сили на контакті двох провідників).

Безконтактні методи використовують пірометри:

Яркисні пірометри (вимірюють температуру за яскравістю розжареного тіла в певному вузькому діапазоні довжин хвиль);

Кольорові пірометри (вимірюють відношення енергій, випромінюваних тілом в різних спектральних діапазонах);

Радіаційні пірометри (вимірюють температуру за сумарним випромінюванням нагрітого тіла в усьому діапазоні довжин хвиль).

Пірометри також поділяються на ті, що вимірюють температуру в точці об'єкта, і ті, що аналізують температурні поля.

#### 1.4.1 Терморезистор

Термістори – це напівпровідники, які працюють як резистори, чутливі до змін температури. Вони мають опір, який більший за провідникові матеріали, але менший за ізоляційні. Температуру можна виміряти, використовуючи електричний опір термістора, оскільки цей опір змінюється відповідно до температури середовища, в якому розташований термістор [11].

Взаємозв'язок між температурою термістора та його опором залежить від матеріалів, з яких він виготовлений. Виробники термісторів точно визначають цю характеристику, оскільки вона є важливою для споживачів. Термістори створюються з металевих оксидів, сполучних речовин і стабілізаторів, які спресовуються у пластини і нарізаються до потрібного розміру, набуваючи форми диска або іншої форми [11].

Співвідношення цих матеріалів визначає їхню "криву опору/температура", і виробники ретельно контролюють це співвідношення, оскільки воно визначає функціональність термістора. Існують два типи термісторів: з негативним температурним коефіцієнтом (NTC) і з позитивним температурним коефіцієнтом (PTC).

У NTC термісторів опір зменшується зі зростанням температури, тоді як у PTC термісторів опір збільшується з підвищенням температури. NTC-термістори переважно використовуються для вимірювання температури, а PTC-термістори – для захисту електричних ланцюгів.

NTC-термістори виготовляються з матеріалів із відомим опором, який нелінійно зменшується зі збільшенням температури, слідуючи певній "кривій". Форма цієї кривої залежить від властивостей матеріалів, з яких складається термістор.

Термістори доступні з різними базовими опорами та характеристиками залежності опору від температури. Для низькотемпературних застосувань (від

-54 до приблизно 65 °С) зазвичай використовуються термістори з опором від 2200 до 10 000 Ом. Для високотемпературних застосувань використовуються термістори з опором понад 10 000 Ом. Деякі матеріали забезпечують кращу стабільність, ніж інші. Опір термісторів зазвичай вимірюється при 25°C, а їх точність становить приблизно  $\pm 0,3^\circ\text{C}$  у визначеному діапазоні температур. Вони також характеризуються міцністю, довговічністю та невеликою вартістю [11].

Термістори з різними покриттями призначені для вимірювання температури в різних умовах. Епоксидне покриття використовується для низьких температур до 150 °С, тоді як скляне захищає термістори при високих температурах до 300 °С від вологи, корозії та механічних пошкоджень.

Термістори мають високу точність (до  $\pm 0,05^\circ\text{C}$ ) у обмеженому діапазоні близько 50 °С від базової температури. Більшість працює у діапазоні від 0°C до 100°C. Термістори класу А надають найвищу точність, тоді як термістори класу В використовуються там, де вимагається менша точність [11].

Термістори залишаються стабільними з хімічною стійкістю після виробництва. Вони знаходять широке застосування у вимогливих умовах, таких як екстремальні середовища або з високим електронним шумом.

Термістори доступні у різних формах для різноманітних застосувань, включаючи поверхневе розміщення або вбудовування у систему. Вони широко використовуються у комерційних і промислових секторах для вимірювання температури різних середовищ, включаючи поверхні, рідини і газу. Також вони застосовуються у харчовій промисловості, наукових лабораторіях і в промислових процесах, де потрібна висока міцність та стабільність.

#### 1.4.2 Термопара

Термопара - це спеціальний електричний датчик, який використовується для точного вимірювання температури. Вона складається з двох різних металів, з'єднаних разом на одному кінці для створення спаю. При зміні температури виникає електромоторна сила (ЕМС), яка залежить від різниці

температур між кінцями термопар. Цей принцип дозволяє вимірювати температуру точно і швидко [12].

Термопары використовуються у багатьох галузях, включаючи побутові пристрої, харчову промисловість, авіаційну техніку, автомобільні сенсори та інші області. Вони відомі своєю компактністю, здатністю працювати при високих температурах, швидким реагуванням і стійкістю до вібрацій.

Існує кілька типів термопар, таких як В, Е, J, N, К, R, Т і S. Наприклад, термопара типу К складається з хромелю та алюмелю і призначена для вимірювання температур від 100 до 1300 °С, особливо ефективна у нейтральних або окисних середовищах, наприклад, на нафтопереробних заводах. При використанні термопар важливо враховувати компенсацію холодного спаю, оскільки вона може впливати на точність вимірювань [12].

Також варто зазначити, що дрейф термопар виникає зношуванням матеріалів у верхній межі їхнього діапазону, що може вимагати заміни датчика для збереження точності вимірювань.

Термопары - це надійні, прості в експлуатації датчики температури, які здатні працювати в різноманітних умовах і зазвичай доступні за доступною ціною. Вони корисні для вимірювання температури навіть дуже малих об'єктів, таких як комахи, і знайшли широке застосування у вимогливих індустриальних умовах. При налаштуванні термопар важливо переконатися, що тип термопар, який використовується, відповідає типу термопар приладу. Також слід застосовувати компенсаційні кабелі або подовжувачі термопар між точкою підключення датчика і приладом [12].

Вибір місця для розташування гарячого спаю термопар вимагає особливої уваги, щоб уникнути ненавмисного випромінювання енергії від нагрівальних елементів. Гарячий спай також має бути достатньо поглибленим у процесі експлуатації, щоб запобігти помилкам провідності разом із самим датчиком температури [12].

У термопар використовуються різноманітні матеріали, такі як нікель і платина, які відомі своєю стійкістю до високих температур. Інші матеріали,

такі як хромель, алюмель, мідь, іридій, константан, залізо та родій, також використовуються у різних типах термопар для забезпечення потрібної функціональності в різних умовах експлуатації.

Типи термопар

Таблиця 1

Тип	Температурний діапазон	Матеріал
T	Від -262°C до +850°C	Мідь / мідно-нікелевий сплав (константан)
J	Від -196°C до +700°C	Залізо / константан
E	Від -268°C до +800°C	Нікель-хромовий сплав (хромель) / константан
K	Від -250°C до +1100°C	Хром / нікель-алюмінієвий сплав (алюмель)
N	Від 0°C до +1250°C	Нікель-хром кремній / нікель-кремній-магнієвий сплав
B	Від +100°C до +850°C	Платина –30% родій/платина –60% родію
S	Від 0°C до +1500°C	Платина–10% родій/платина
R	Від 0°C до +1600°C	Платина – 13% родію/платини



Рисунок 1.4 – Проста конструкція термопари (а); вид контакту термопари (б)

ЕРС термопар\*

Таблиця 2

<b>Термопара</b>	<b><math>E_{1-2}</math>, мВ</b>
Залізо – константан	5,37
Мідь – константан	4,25
Ніхром – нікель	4,1
Ніхром – константан	6,21
Платина – платинородій	0,643
Залізо – мідь	1,05

\* Для різниці температур 100К (холодний спа 0°C)

### 1.4.3 Пірометри

Пірометри вимірюють температуру шляхом аналізу теплового випромінювання, яке випускається об'єктом під час його нагрівання. Об'єкт випромінює інфрачервоні електромагнітні хвилі, інтенсивність та спектральний склад яких залежать від його температури [13].

Пірометри збирають теплове випромінювання та перетворюють його на електричний сигнал, який можна обробити і проаналізувати. Вибір конкретного типу пірометра (інфрачервоний, оптичний, двоканальний або повного спектра) залежить від його принципу роботи та конструкції. Оптичні пірометри використовують лінзи або оптичні системи для фокусування теплового випромінювання на детекторі, такому як термобатарей або фотодіод.

Детектор перетворює випромінювання в електричний сигнал, який потім підсилюється та аналізується. В оптичних пірометрах часто використовується принцип порівняння випромінювання об'єкта з випромінюванням еталонного джерела для визначення його температури [13].

Інфрачервоні пірометри використовують спеціалізовані датчики, такі як термобатарей або болометри, для безпосереднього виявлення та вимірювання інфрачервоного випромінювання, що випускається об'єктом. Ці датчики генерують електричний сигнал, пропорційний інтенсивності випромінювання, який потім обробляється для обчислення температури.

Двоколірні пірометри використовують дві різні довжини хвиль інфрачервоного випромінювання для точного вимірювання температури об'єкта. Вони враховують співвідношення цих хвиль, що залежить від температури, для отримання точних результатів.

Пірометри загального випромінювання вимірюють загальну кількість теплового випромінювання, що випускається об'єктом. Вони працюють у широкому діапазоні довжин хвиль і забезпечують високу точність, але вимагають складнішої технології [13].

Кожен тип пірометрів має свої переваги та недоліки:

Оптичні пірометри, хоча найстаріший тип, є точними, але можуть бути складними у використанні та потребують калібрування.

Інфрачервоні пірометри зазвичай більш точні, ніж оптичні, і можуть вимірювати температуру об'єктів, які не видно неозброєним оком, але часто є дорогими.

Двоколірні пірометри є точнішими за одновісильні, але можуть бути вище за ціною.

Пірометри загального випромінювання є найточнішими, але й найдорожчими.

Пірометри мають свої переваги: вимірювання температури без прямого контакту з об'єктом, швидкодію та можливість вимірювання на різних відстанях, включаючи рухомі об'єкти. Недоліками є висока вартість та чутливість до впливу пилу, диму та теплового випромінювання, які можуть впливати на точність вимірювання.

## 2 СТВОРЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЛІНІЙНОГО НАГРІВУ РЕЧОВИНИ

### 2.1 Пристрій з датчиком температури та твердотільним реле

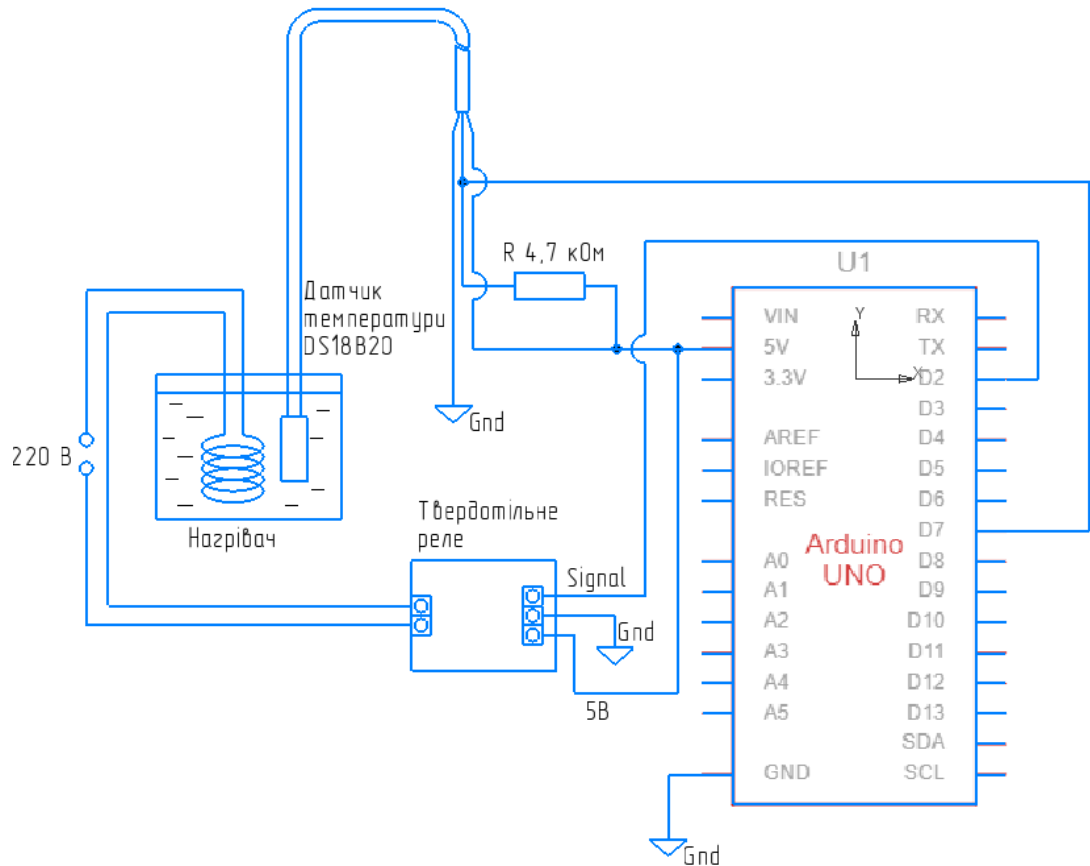


Рисунок 2.1 – Схематичне зображення пристрою з цифровим датчиком температури та твердотільним реле

#### 2.1.1 Короткий опис твердотільного реле

Твердотільне реле G3MB-202P є напівпровідниковим пристроєм, спеціально призначеним для комутації великих струмів у керуючих ланцюгах. Воно використовує симістори, транзистори і тиристори для цього. Робочий принцип полягає в тому, що керуючий сигнал активує світлодіод, який передає сигнал до фотодіодної матриці, що забезпечує гальванічну ізоляцію між комутуючими ланцюгами [14].

Управління напругою здійснюється через силовий ключ. Твердотільні реле G3MB-202P широко використовуються в сучасних системах автоматики

та управління. Вони замінюють традиційні електромагнітні реле та пускачі в автомобільній електроніці, системах зв'язку, побутовій електроніці та промисловій автоматичі [14].

Особливість твердотільних реле, таких як G3MB-202P, полягає в відсутності рухомих частин і контактів, що забезпечує їх високу надійність і безшумність роботи. Для керування реле використовується цифровий сигнал з мікроконтролера, оскільки воно вже містить в собі струмообмежувальний резистор.

Також реле оснащено схемою контролю переходу напруги через нуль, що позитивно впливає на його надійність і мінімізує перехідні перешкоди. Однак це обмеження виключає його використання в схемах з фазо-імпульсним керуванням [15].

Опис контактів:

- DC+: живлення (+)
- DC-: живлення (-)
- СН: вхід керування; при низькому рівні реле замикається, при високому - розмикається.

Характеристики модуля G3MB-202P:

- Напруга яка переключається (комутуєця): 100-240 В
- Комутований струм: до 2 А
- Напруга керування комутацією: 0-5 В
- Активний рівень сигналу управління: низький
- Максимальний струм керування: 12.5 мА
- Розміри: 24 x 32 x 21 мм



Рисунок 2.2 – Модуль твердотельного реле Arduino на один канал

Лістинг програми з цифровим датчиком температури та твердотільним реле див. додаток Б.

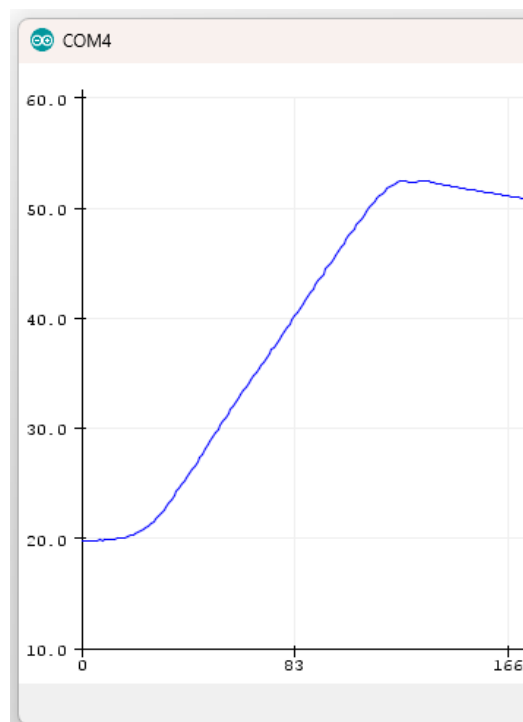


Рисунок 2.3 – Зображення графіка послідовного порту Arduino IDE (для цифрового датчика DS18B20 та твердотільного реле)

## 2.2 Пристрій з термопарою К-типу та твердотільним реле

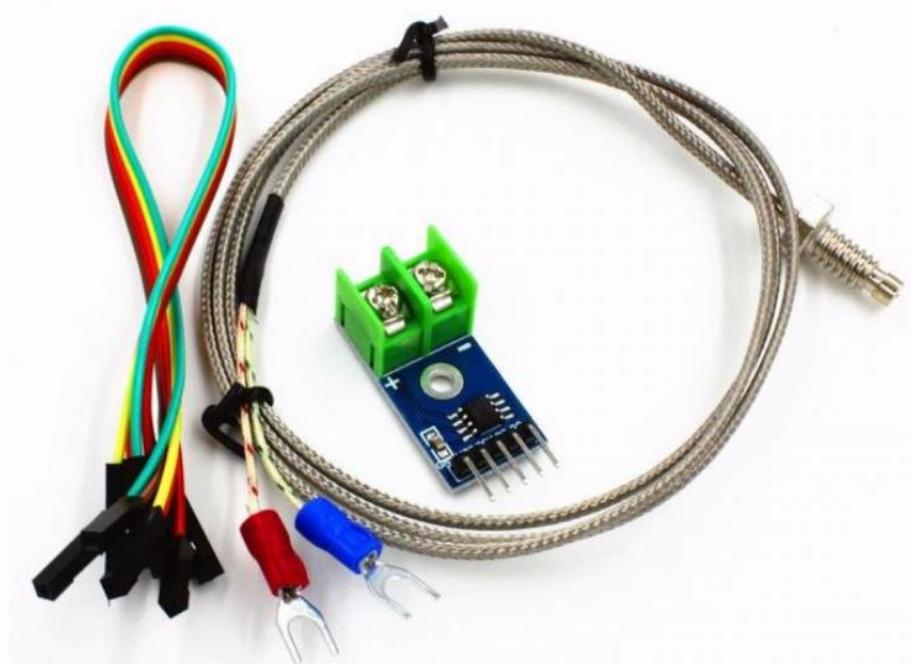


Рисунок 2.4 – Термопара К-типу с цифровим підсилювачем на MAX6675

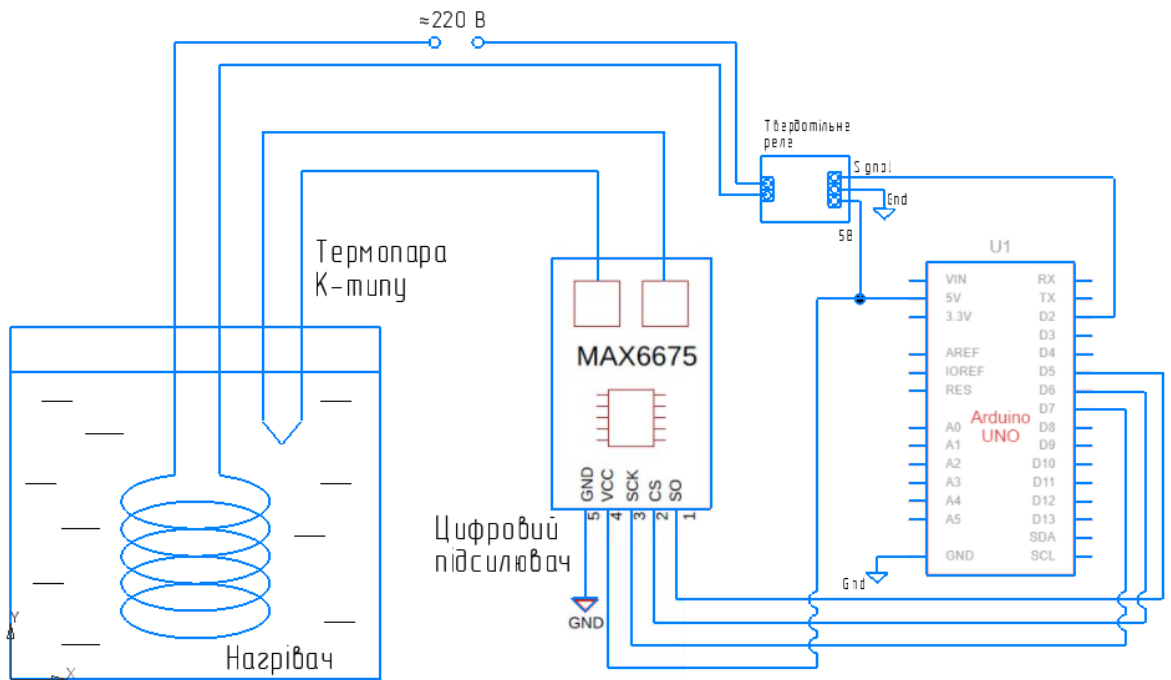


Рисунок 2.5 - Схема підключення твердотільного реле та термопари К-типу до платформи Arduino

Лістинг програми з термопарою К-типу та твердотільним реле див. додаток В.

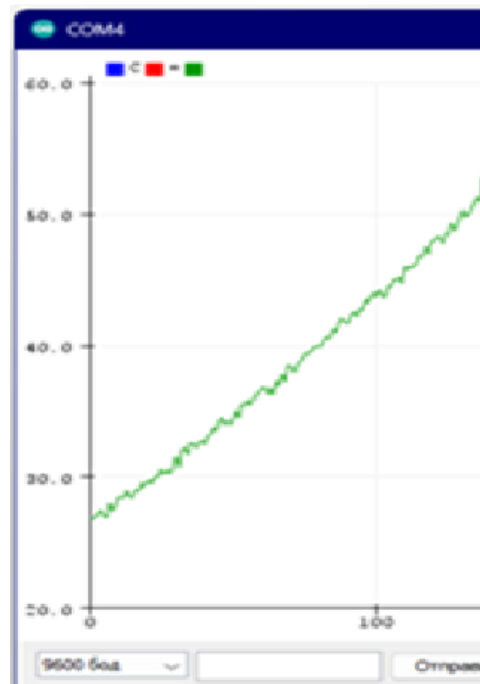


Рисунок 2.6 – Зображення графіка послідовного порту Arduino IDE (термопара К-тип та твердотільне реле)

### 2.3 Пристрій лінійного нагріву речовини на основі диммера 220В для Arduino і ESP8266 та термопари К-типу

#### Опис димера

Створимо регулюємий нагрівач на основі димера. Потужний електронний симисторний регулятор дозволяє контролювати напругу (220 В). Застосовується регулювання освітленості, швидкості обертання, температури тощо.

Димери бувають з ручним регулюванням потужності, та з електронним регулюванням (як в нашому випадку).



Рисунок 2.7 – Димер з ручним регулюванням

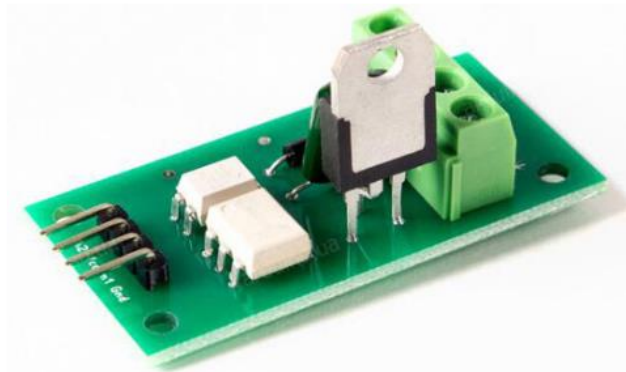


Рисунок 2.8 – Димер з електронним регулюванням

Диммер, зображений на рисунку 2.8, дає змогу керувати навантаженнями в мережі 220 В з потужністю до 2 кВт за допомогою мікроконтролера. Існують бібліотеки для різних мікроконтролерів.

Де можливе використання:

- Управління освітленням
- Управління двигунами
- Управління силовими нагрівачами тощо.

Характеристики:

- Напруга: до 280 VAC/50Hz
- Потужність, без радіатора: до 150 Вт
- Дозволена потужність із радіатором: від 150 Вт до 2 кВт
- Максимальна потужність із радіатором: 3 кВт

- Напруга падіння на ключі  $1V \pm 0.1V$

#### Переваги:

- Зручне компонування плати:
  - Невеликий розмір (50x25 мм)
  - чотири кріпильні отвори по периметру
  - Силовий ключ спрямований у бік бічної грані, що дозволяє використовувати радіатор будь-якого розміру та форми залежно від потужності
- Гальванічна розв'язка силової та слабочної частини
- Світлодіод для індикації роботи димеру
- Вбудований RC снаббер забезпечує згладжування перепадів струму на ключі при роботі з високими струмами або індуктивними навантаженнями, такими як мотори.
- Зменшено величину нагріву компонентів фазової детекції
- Зручна бібліотека:
  - робота в неблокованому режимі
  - реалізовані різні режими управління для конкретного типу навантаження
  - Можливість роботи кількох димерів одночасно від одного контролера

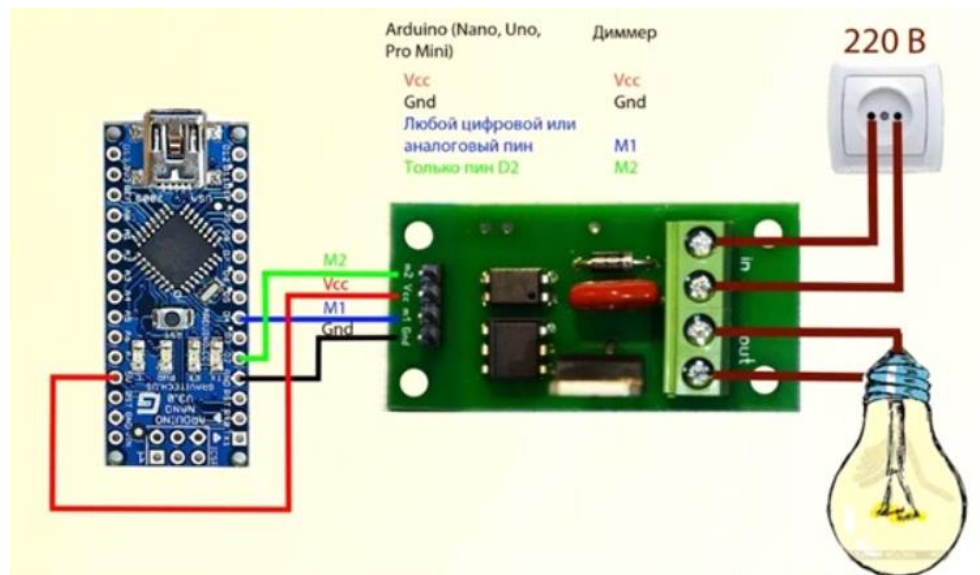


Рисунок 2.9 – Схема підключення димера до платформи Arduino

Програмні обмеження: Для контролю положення фази використовуйте лише D2 (підключіть порт M2 димера до порту D2 Arduino)! Піни D9 та D10 не можна використовувати для ШІМ з функцією `Analog.Write()`; дозволяється використовувати їх тільки як цифровий вихід/вхід з функціями `digitalWrite()` та `digitalRead()`.

Методи керування (бібліотечні функції)

1) Твердотельне реле з котролем переходу через нуль

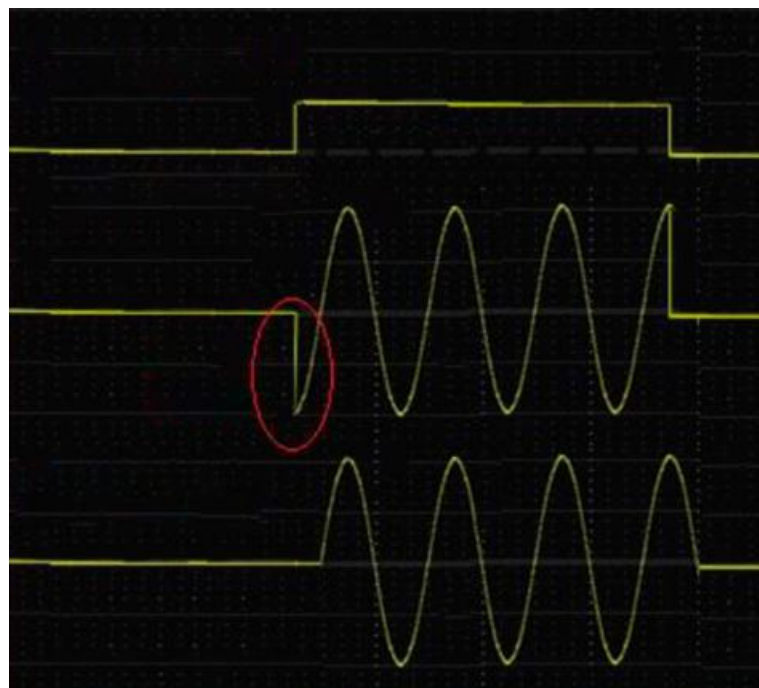


Рисунок 2.10 Котроль переходу через нуль

Цей метод реалізований за допомогою бібліотечної функції `SSR_switch`, яка забезпечує повну реалізацію твердотілого реле (SSR) з контролем переходу через нуль.

Таке реле має перевагу над звичайними, оскільки вмикає навантаження синхронно з переходом змінної напруги через нуль. Це дозволяє уникнути стрибків струму на реле, через які реле без контролю переходу через нуль часто виходять з ладу.

## 2) Традиційне симісторне димування («перетин напівхвиль»)

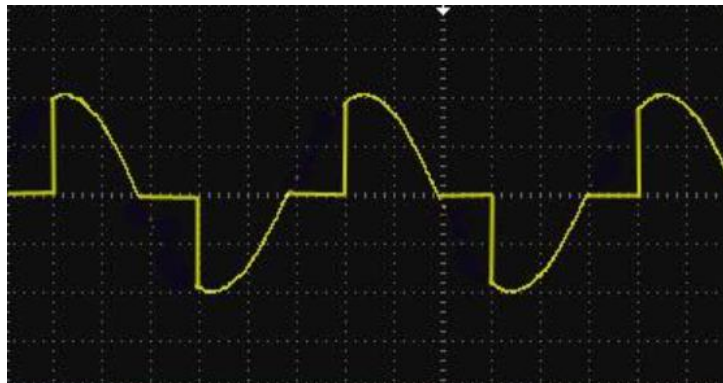


Рисунок 2.11 Відсікання від синусоїди частини струму

Цей метод реалізований за допомогою бібліотечної функції `Value`, яка працює за принципом звичайного симісторного димера. Регулювання потужності здійснюється шляхом відрізання частини струму від синусоїди. Це призводить до зменшення діючої напруги на виході, а разом з нею і вихідної потужності.

Підходить для керування освітленням та моторами.

Цей метод не рекомендовано керувати дуже потужними навантаженнями.

## 3) Дімінг напівхвилями

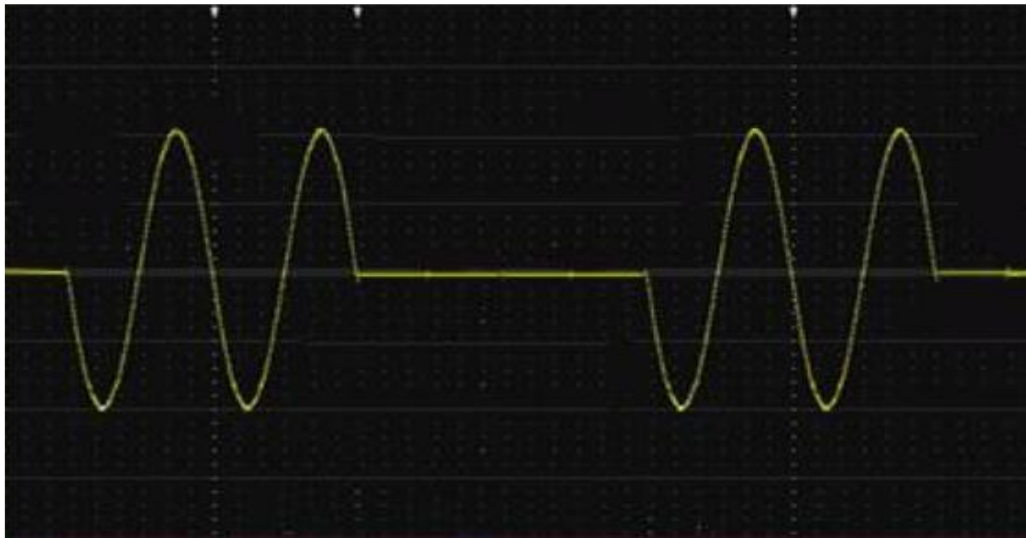


Рисунок 2.12 Включення та вимкнення навантаження відбуваються синхронно з переходами через нуль

Цей метод реалізований за допомогою бібліотечної функції `Heater` і призначений для керування потужністю силових нагрівачів або інших високоінерційних навантажень. Він відрізняється від звичайного димування за допомогою функції `Value` (як у прикладі `AC_Dimmer_FADE`) тим, що вмикання та вимикання навантаження відбуваються синхронно з переходами через нуль. Це забезпечує більш надійну роботу пристрою з дуже потужним навантаженням, аналогічно до функції `SSR_switch`.

Даний метод не підходить для керування освітленням та двигунами, оскільки період димування занадто великий для забезпечення надійної роботи з високотужними навантаженнями. Через це, якщо підключити лампочку та спробувати керувати нею за допомогою функції `Heater`, вона буде миготіти.

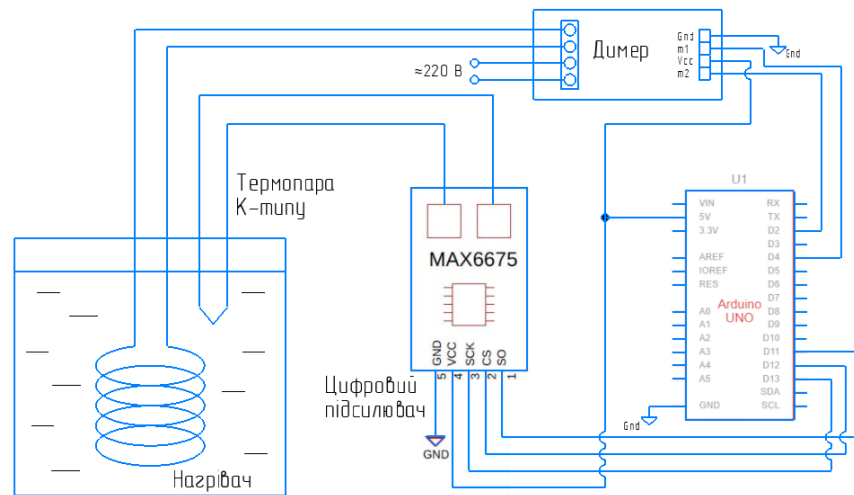


Рисунок 2.13 - Схема підключення димера та термопари К-типу до платформи Arduino

Створимо програму, на платформі Arduino, в якій лінійний нагрів реалізовано за допомогою димера

Лістинг програми з термопарою К-типу та димером див. в додатку Г.

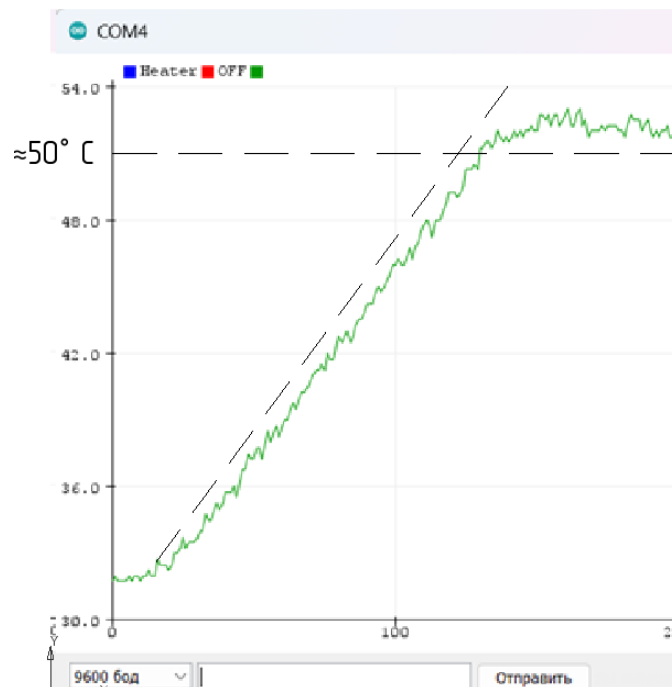


Рисунок 2.14 – Зображення графіка послідовного порту Arduino IDE (термопара К-тип та димер)

2.4 Пристрій з можливістю віддаленого керування процесом нагріву (термопара К-типу, димер 220В для Arduino та ESP8266, модуль Bluetooth HC-06)

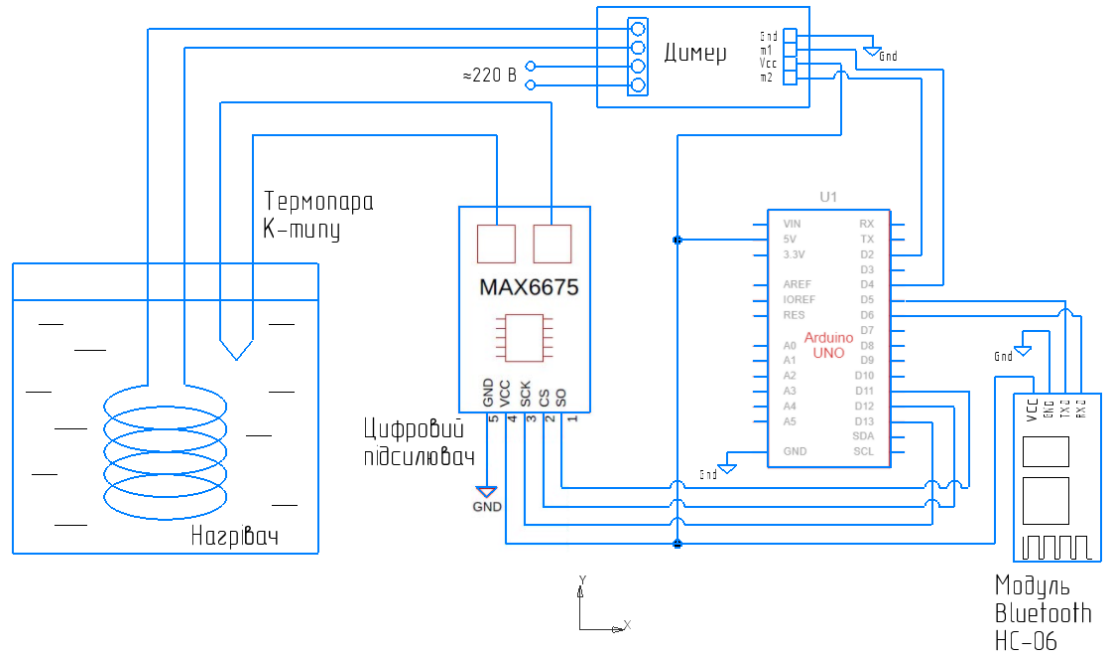


Рисунок 2.15 – Схема підключення димера, термопари К-типу, модуля Bluetooth до платформи Arduino

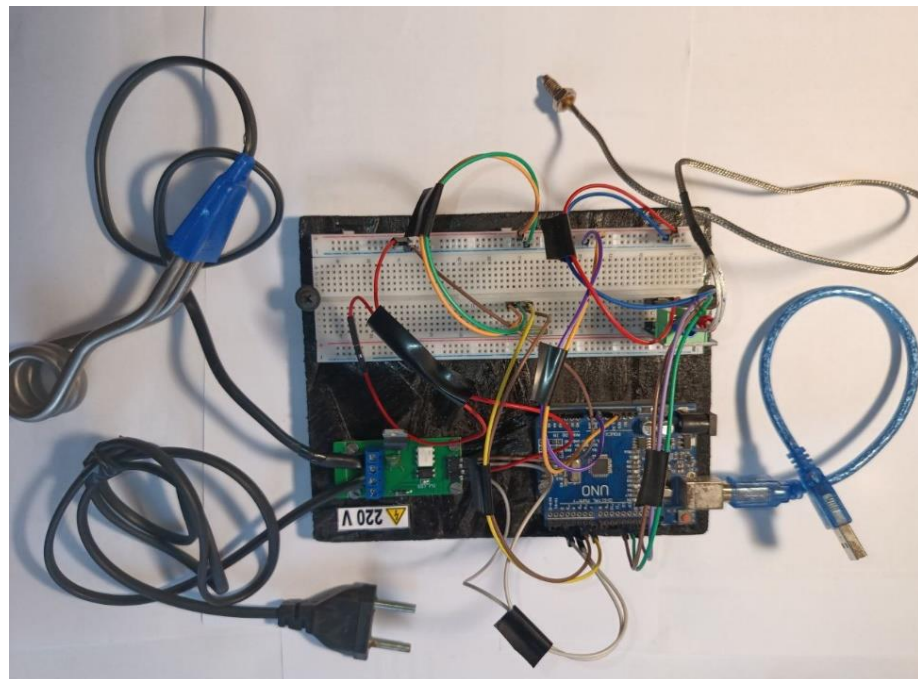


Рисунок 2.16 – Схема виконана на макетній платі

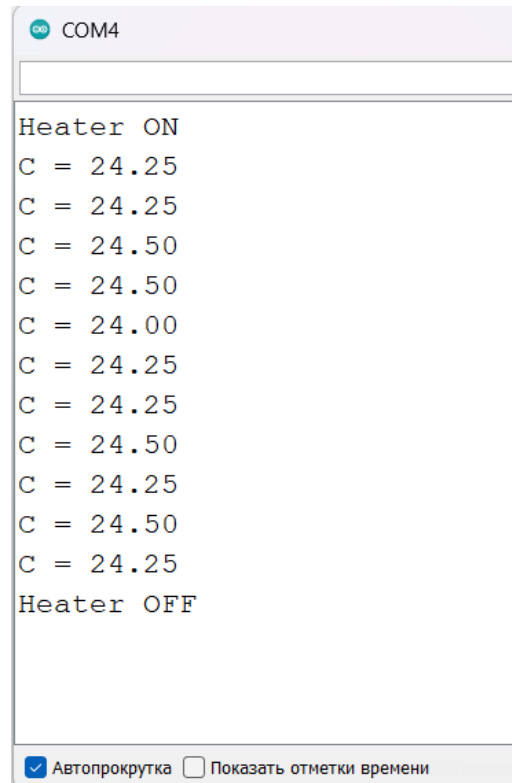


Рисунок 2.17 – Монитор порту Arduino IDE

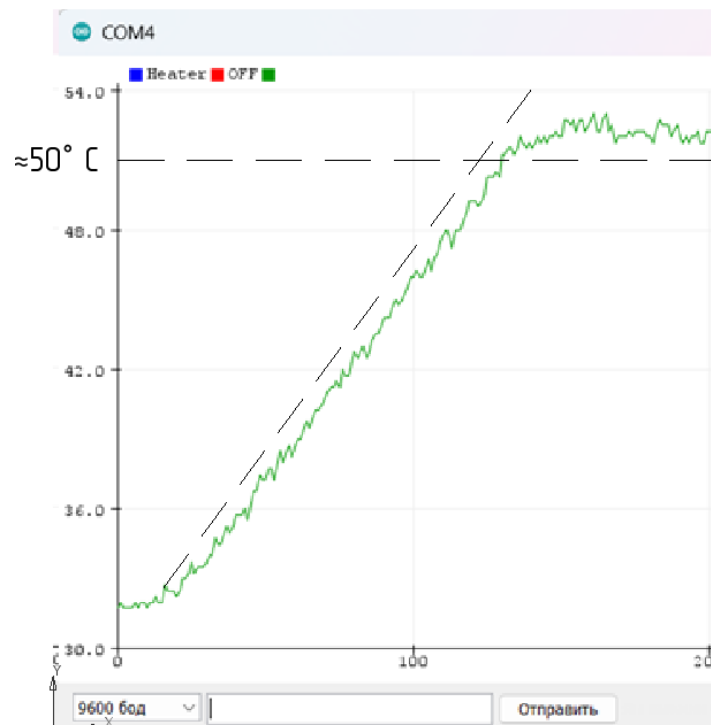


Рисунок 2.18 – Плотер по послідовному з'єднанню Arduino IDE

## Короткий опис модуля Bluetooth HC-06

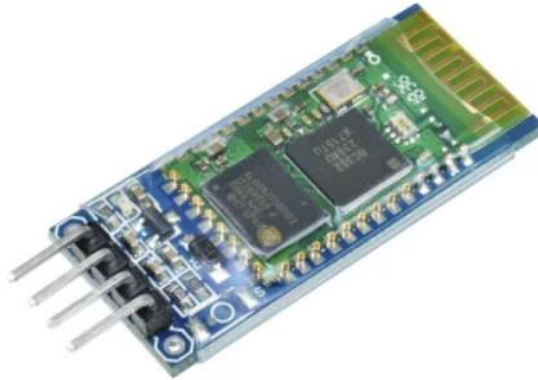


Рисунок 2.19 – Загальний вигляд модуля Bluetooth HC-06

Модуль Bluetooth HC-06 – це популярний бездротовий модуль, що забезпечує зв'язок між пристроями. Він належить до сімейства модулів Bluetooth.

HC-06 відомий своєю простотою та зручністю у використанні, що робить його популярним у багатьох електронних проектах. Його часто застосовують для створення бездротового з'єднання між Arduino та іншими мікроконтролерами, а також для керування різними електронними пристроями через Bluetooth зі смартфона або комп'ютера.

Характеристики модуля HC-06:

- **Тип Bluetooth:** HC-06 підтримує стандарт Bluetooth 2.0, який вважається дещо застарілим через наявність новіших версій Bluetooth.
- **Режими роботи:** Модуль HC-06 функціонує в режимі Slave (допоміжний пристрій), що робить його ідеальним для підключення до головного пристрою, такого як смартфон, комп'ютер або мікроконтролер.
- **Підтримка інтерфейсів:** HC-06 підтримує інтерфейс UART (універсальний асинхронний приймач-передавач), що спрощує його

використання з різними мікроконтролерами та іншими пристроями з UART.

- **Швидкість передачі:** Модуль HC-06 має обмежені швидкості передачі даних порівняно з новішими версіями Bluetooth, але для багатьох завдань цього достатньо.
- **Конфігурація:** HC-06 можна налаштувати за допомогою AT-команд, що дозволяє змінювати такі параметри, як ім'я пристрою, пароль та швидкість передачі даних.
- **Напруга живлення:** Модуль зазвичай працює від напруги 3.3 В, що робить його сумісним із більшістю мікроконтролерів та інших пристроїв.
- **Кнопка "Research":** Модуль оснащений кнопкою "Research" (ON/OFF/WAKE), що дозволяє зовнішньому виходу MCU "High level" керувати модулем для повторного пошуку.

Лістинг програми керування процесом нагріву (термопара К-типу, димер, модуль Bluetooth) див. в додатку Д.

## ВИСНОВКИ

Досліджено тему створення пристрою для лінійного нагріву речовини, який може бути застосований у промисловості для забезпечення ефективного проведення технологічного процесу. Крім того, слід зазначити, що створений пристрій може бути використаний у лабораторних дослідженнях для проведення експериментів та аналізу характеристик різних речовин за різних умов нагріву.

У даному випадку використано воду для нагріву, проте при додатковій розробці пристрою можливо застосування лінійного закону збільшення температури для інших речовин.

Створено декілька пристроїв для керування процесом нагріву, які включають:

Простий пристрій з датчиком температури та твердотільним реле.

Пристрій з термопарою типу К та твердотільним реле.

Принципова схема змінного лінійного нагріву речовини з використанням диммера 220В для Arduino та ESP8266, а також термопари типу К.

Принципова схема з можливістю віддаленого керування процесом нагріву за допомогою термопари типу К, диммера 220В для Arduino та ESP8266, та модулю Bluetooth HC-06.

Перші три пристрої використовувалися для оцінки можливостей сучасних електронних компонентів та програмного забезпечення на базі Arduino IDE. Проте, для потреб цієї роботи найбільш підходить четвертий варіант схеми, який використовує термопару типу К, диммер 220В для Arduino та ESP8266, та модуль Bluetooth HC-06 (термопара типу К дозволяє вимірювати температури до +1300 °С, що є більш прийнятним для промислового застосування).

У майбутньому планується розробка програмного забезпечення на базі четвертого варіанту схеми, яке б керувало процесом нагріву, здатне не лише включати/виключати та моніторити температуру, а й регулювати швидкість

нагріву за командою користувача. Також розглядається можливість заміни модуля Bluetooth на модуль Wi-Fi або інші засоби зв'язку для повного віддаленого керування нагрівачем, наприклад, моніторингом графіка нагріву.

## ВИКОРИСТАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА

1. Townsend K. Getting Started with Bluetooth Low Energy: Tools and Techniques for Low-Power Networking 1st Edition / Kevin Townsend., 2014. – 180 с.
2. Wireless Networking: Understanding Internetworking Challenges / Д.Бербанк, Д. Еверетт, Ю. Андрусенко, К. Вільям., 2013. – 720 с.
3. Глісіч С. Advanced Wireless Communications and Internet: Future Evolving Technologies / Саво Глісіч., 2011. – 960 с.
4. Лоренцо Б. Artificial Intelligence and Quantum Computing for Advanced Wireless Networks / Б. Лоренцо, С. Глісіч., 2022. – 864 с.
5. Перес А. VoLTE and ViLTE: Voice and Conversational Video Services over the 4G Mobile Network / Андре Перес., 2016. – 336 с.
6. Вікланд М. How Does Wi-Fi Work? / Марк Вікланд., 2021.
7. Ренні Е. Книга Wi-Fi / Еллі Ренні., 2021. – 500 с.
8. Лайд Д. Wi-Fi Telephony: Challenges and Solutions for Voice over WLANs / Д. Лайд, П. Чандра., 2006. – 288 с.
9. Tanenbaum A. Computer Networks / A. Tanenbaum, W. David., 2011. – 960 с. – (5-е вид.).
10. Засорнов О. Програмування мікроконтролерних та робототехнічних систем / О. Засорнов., 2023. – 280 с.
11. Margolis M. Arduino Cookbook: Recipes to Begin, Expand, and Enhance Your Projects 3rd Edition / M. Margolis, B. Jepson., 2020. – 800 с.
12. Monk S. Electronics Cookbook: Practical Electronic Recipes with Arduino and Raspberry Pi 1st Edition / Simon Monk., 2017. – 458 с.
13. Monk S. Raspberry Pi Cookbook / Simon Monk., 2023. – 618 с.
14. Матвієнко М. Проектування цифрових пристроїв / Микола Матвієнко., 2018. – 364 с.

15. Warden P. TinyML: Machine Learning with TensorFlow Lite on Arduino and Ultra-Low-Power Microcontrollers / P. Warden, D. Situnayake., 2020. – 501 c.

## ДОДАТКИ

## Додаток А. CREATION OF A DEVICE FOR LINEAR HEATING OF A SUBSTANCE

## 2.1 Device with temperature sensor DS18B20 and solid-state relay G3MB-202P

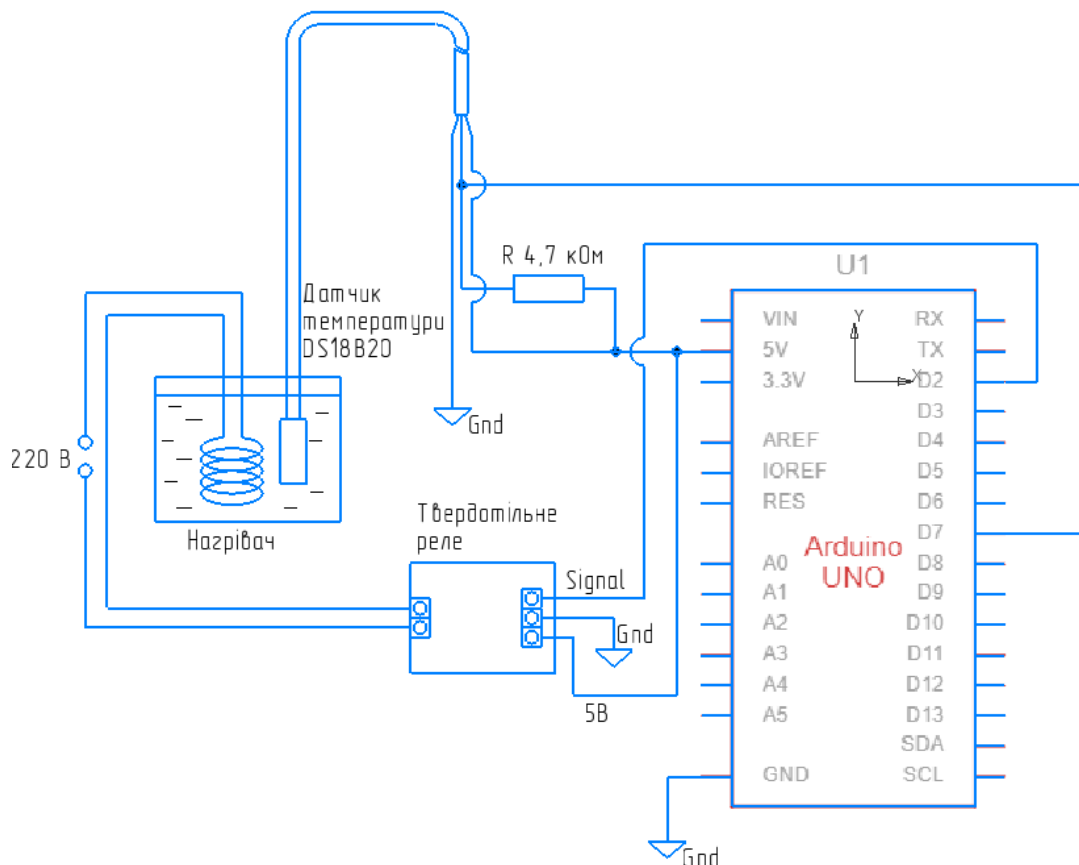


Figure 2.1 – Schematic representation of the device with a digital temperature sensor DS18B20 and a solid-state relay G3MB-202P

#### A brief description of the G3MB-202P solid-state relay

The solid-state relay G3MB-202P is a semiconductor device specially designed for switching large currents in control circuits. It uses triacs, transistors and thyristors for this. The working principle is that the control signal activates the LED, which transmits the signal to the photodiode matrix, which provides galvanic isolation between the switching circuits [14].

The voltage is controlled through a power switch. Solid-state relays G3MB-202P are widely used in modern automation and control systems. They replace traditional electromagnetic relays and starters in automotive electronics, communication systems, consumer electronics and industrial automation [14].

The feature of solid-state relays, such as G3MB-202P, is the absence of moving parts and contacts, which ensures their high reliability and silent operation. A digital signal from the microcontroller is used to control the relay, since it already contains a current-limiting resistor.

Also, the relay is equipped with a circuit for monitoring the voltage transition through zero, which has a positive effect on its reliability and minimizes transient interference. However, this limitation excludes its use in circuits with phase-pulse control [15].

Description of contacts:

- DC+: positive supply
- DC-: negative supply
- CH: control input, when a low level is supplied, the relay closes, when a high level is supplied, it opens.

Features:

- Solid-state module: G3MB-202P
- Switched voltage: from 100 to 240 V
- Switched current: max. 2A
- Control voltage: from 0 to 5V
- Active control signal level: low
- Maximum control current: 12.5 mA
- Operating control current: 2mA
- Dimensions: 24 \* 32 \* 21 mm



Figure 2.2 - 1-channel solid-state relay module Arduino

For an application listing with a DS18B20 digital temperature sensor and a solid-state relay, see appendix, diagram A.

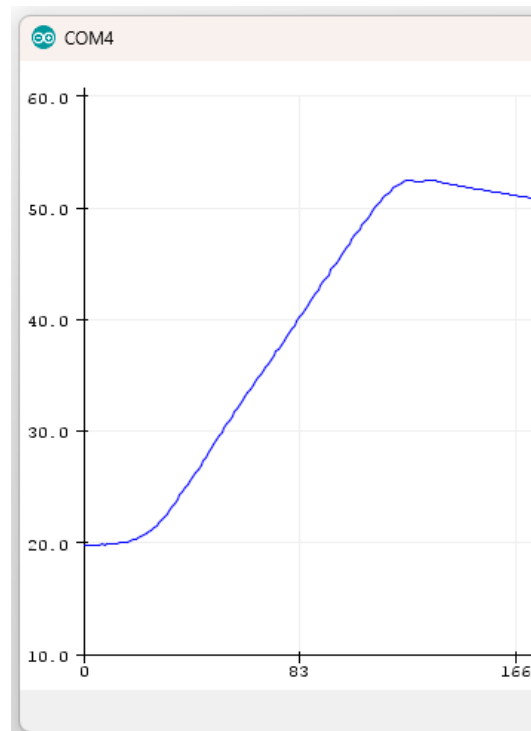


Figure 2.3 – Arduino IDE serial port graph image (for DS18B20 digital sensor and solid state relay)

## 2.2 Device with K-type thermocouple and solid-state relay G3MB-202P

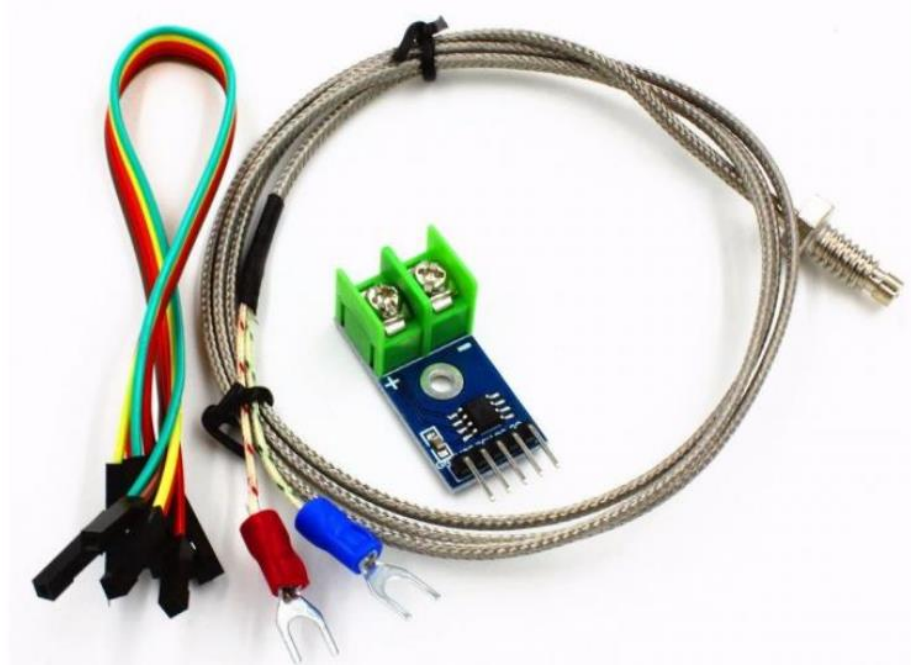


Figure 2.4 – K-type thermocouple with digital amplifier on MAX6675

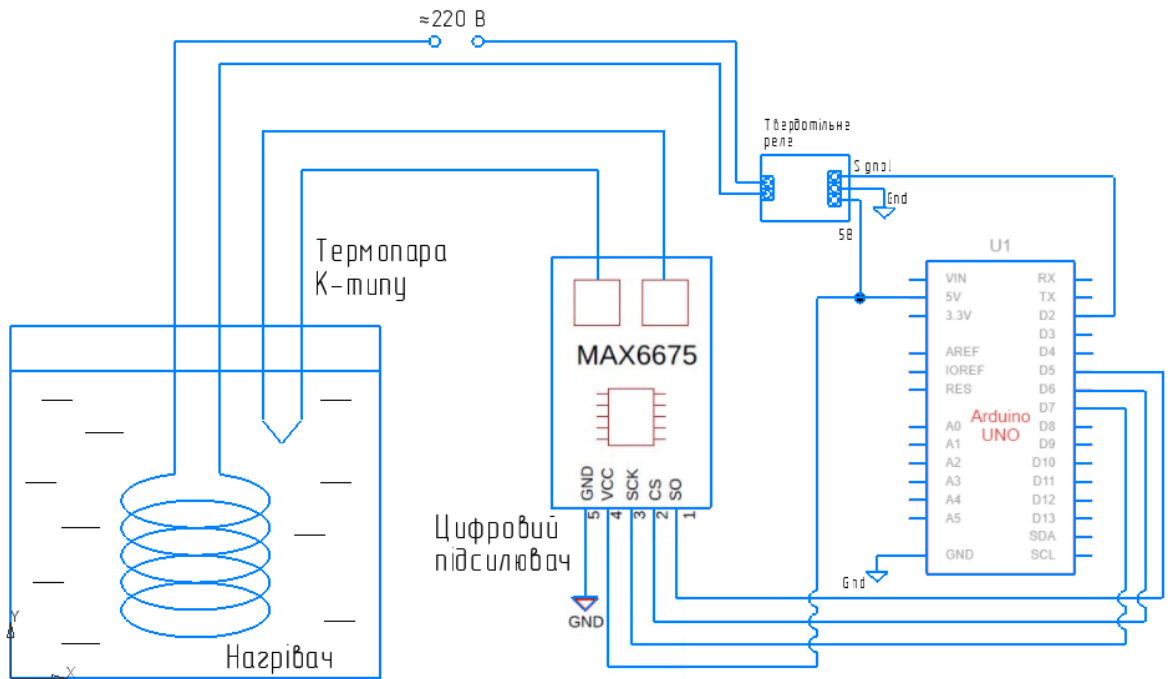


Figure 2.5 - Connection diagram of a solid-state relay and K-type thermocouple to the Arduino platform

For a listing of a program with a K-type thermocouple and a solid-state relay, see appendix, diagram B

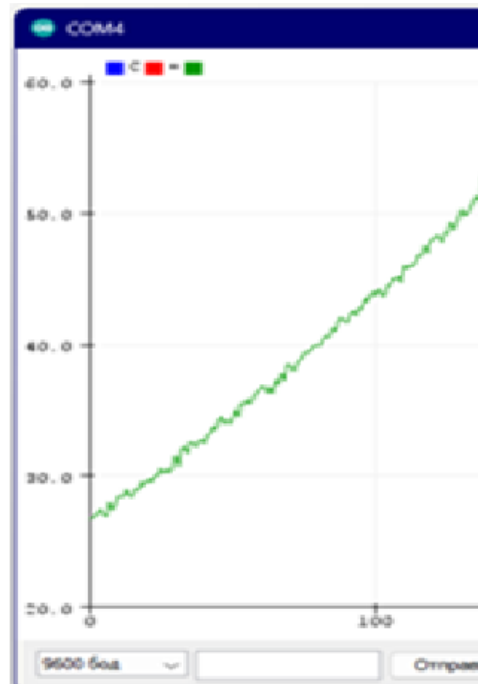


Figure 2.6 - Arduino IDE serial port graphic image (K-type thermocouple and solid state relay)

### 2.3 A device for linear heating of a substance based on a 220V dimmer for Arduino and ESP8266 and a K-type thermocouple

#### Description of the dimer

Let's create an adjustable heater based on a dimmer. A powerful electronic triac voltage regulator allows you to adjust the voltage (220 V). Adjustment of illumination, rotation speed, temperature, etc. is applied.

Dimmers are available with manual power adjustment, and with electronic adjustment (as in our case).



Figure 2.7 – Dimmer with manual adjustment

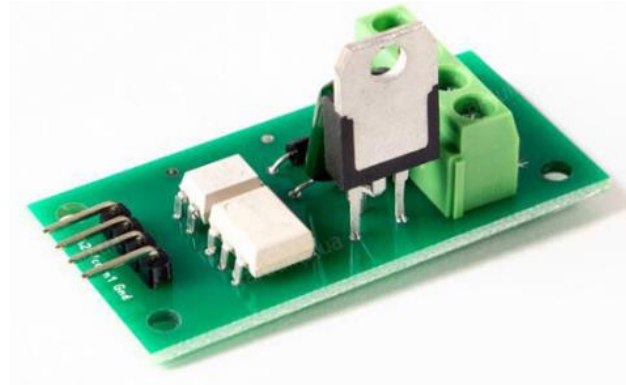


Figure 2.8 - Dimmer with electronic regulation for Arduino and ESP8266  
220V

The dimmer shown in Figure 2.8 allows you to control loads connected to the 220 V industrial network with a power of up to 2 kW using an Arduino controller. There are libraries for Arduino and ESP8266. With some restrictions, you can use the dimmer with mini-computers Raspberry Pi, Orange Pi, etc. [7]

Application:

- Lighting control
- Engine control
- Management of power heaters, etc.

Characteristics:

- Voltage: up to 280 VAC/50Hz
- Recommended power without radiator: up to 150 W
- Recommended power with radiator: from 150 W to 2000 W
- Maximum power with radiator: up to 3000 W
- The voltage drop on the key is  $1V \pm 0.1V$

### Features:

- Voltage: up to 280 VAC/50Hz
- Recommended power without radiator: up to 150 W
- Recommended power with radiator: from 150 W to 2000 W
- Maximum power with radiator: up to 3000 W
- The voltage drop on the key is  $1V \pm 0.1V$
- Complete galvanic decoupling of the power and low-current parts
- The presence of an LED to indicate the operation of the dimmer
- RC snubber is provided (for smoothing out current drops on the key, in case of operation at high currents or inductive loads such as motors)
- Reduced heating of phase detection components

### Handy library:

- work in non-blocking mode
- different control modes are implemented for a specific type of load
- Possibility of cascading (operation of several dimmers simultaneously from one controller)

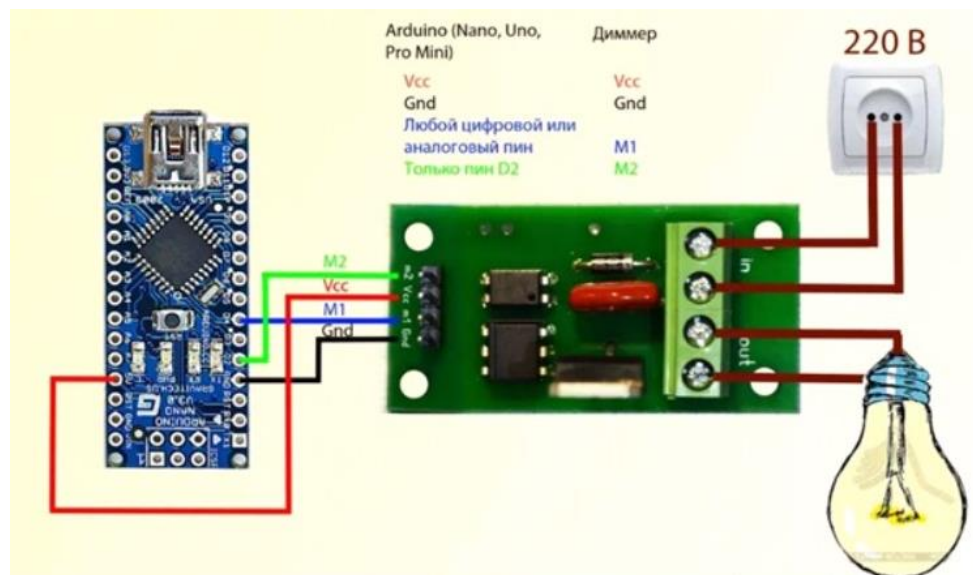


Figure 2.9 - Dimmer connection diagram to the Arduino platform

### Software restrictions:

For phase control, use only D2 (connect the M2 port of the dimmer to the D2 port of the Arduino)!

Do not use pins D9 and D10 for PWM Analog.Write()!!! digital input/output only digitalWrite() and digitalRead()

Control methods (library functions)

- 1) A solid-state relay with a zero-crossing control

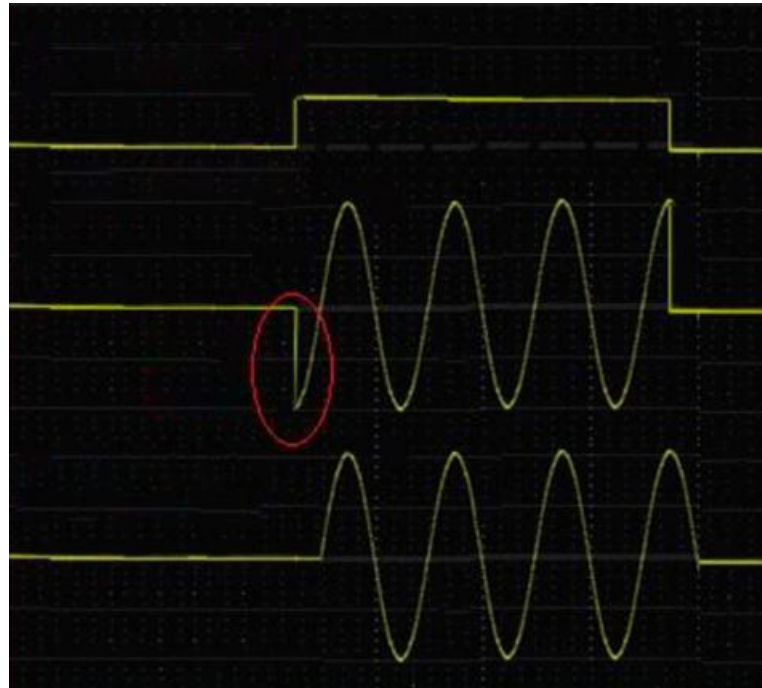


Figure 2.10 Zero crossing control

This method is implemented using the library function `SSR_switch` - this is a complete implementation of a Solid State Relay (SSR) WITH ZERO CROSSING CONTROL.

Such a relay is advantageously different from the usual one in that it turns on the load synchronously with the transition of the alternating voltage through zero, in order to avoid a current jump on the relay, which often causes relays WITHOUT zero-crossing control to fail.

- 2) Traditional triac fumigation ("half-wave crossing")

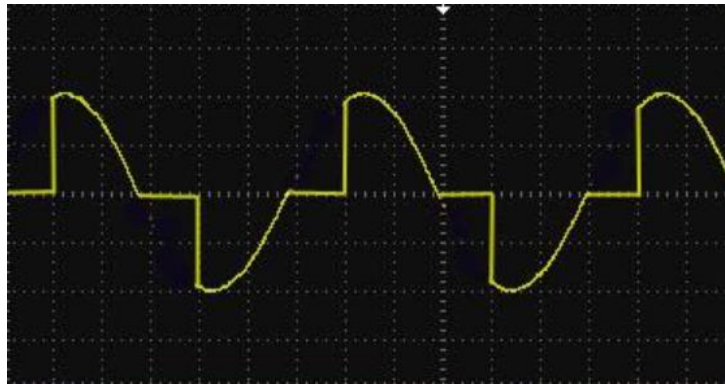


Figure 2.11 Clipping of part of the current from the sinusoid

This method is implemented using the Value library function - it works according to the principle of a conventional triac dimmer, where the power is regulated by cutting off part of the current from the sinusoid. In this way, the operating voltage at the output decreases, and with it the output power.

Suitable for lighting and motor control.

It is not recommended to drive very powerful loads.

### 3) Half-wave dimming



Figure 2.12 Switching on and off the load occurs synchronously with zero crossings

This method is implemented using the Heater library function, which is a power control method for power heaters or other high-inertia loads. Differs from

normal dimming using the Value function as in the AC\_Dimmer\_FADE example in that the load is turned on and off synchronously with zero crossings. This provides more reliable operation of the device with a very powerful load, similar to the SSR\_switch function.

Not suitable for lighting and motor control because there is a very long smoke period to ensure reliability when working with high power loads, so when you connect the bulb and try to control it with the Heater function, it will flash.

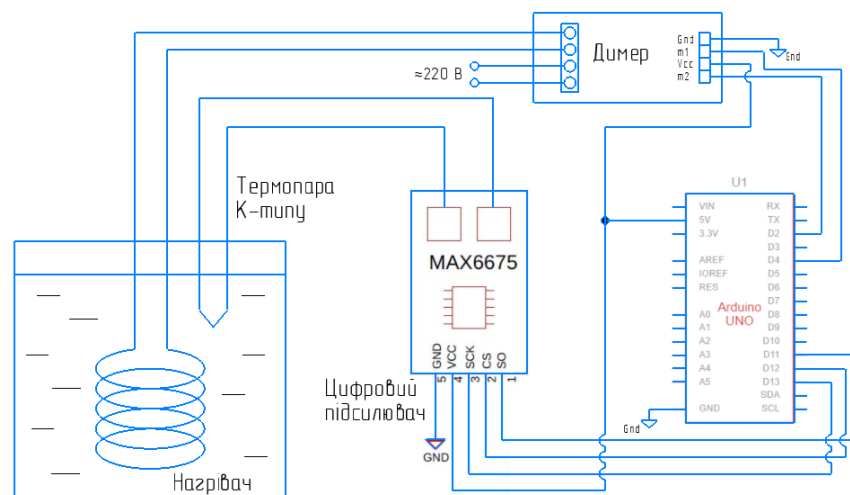


Figure 2.13 - Connection diagram of a K-type dimmer and thermocouple to the Arduino platform

Let's create a program on the Arduino platform in which linear heating is implemented using a dimmer

For a listing of a program with a K-type thermocouple and a dimmer, see in the appendix, scheme B.

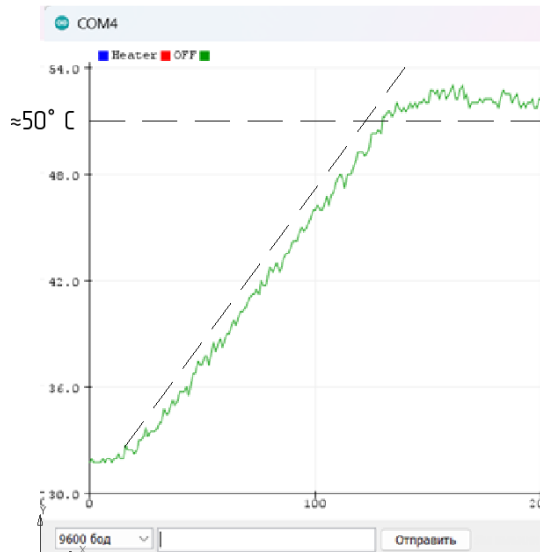


Figure 2.14 - Arduino IDE serial port graphic image (K-type thermocouple and dimmer)

2.4 A device with the possibility of remote control of the heating process (K-type thermocouple, 220V dimmer for Arduino and ESP8266, Bluetooth module HC-06)

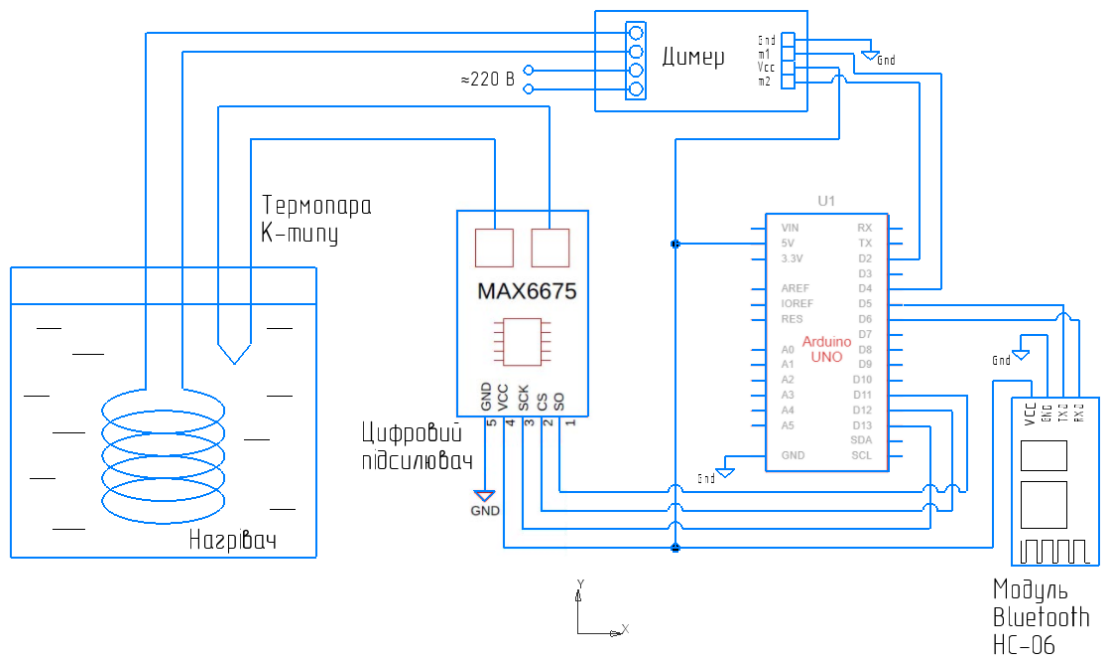


Figure 2.15 – Dimmer connection diagram, K-type thermocouple, Bluetooth module to the Arduino platform)

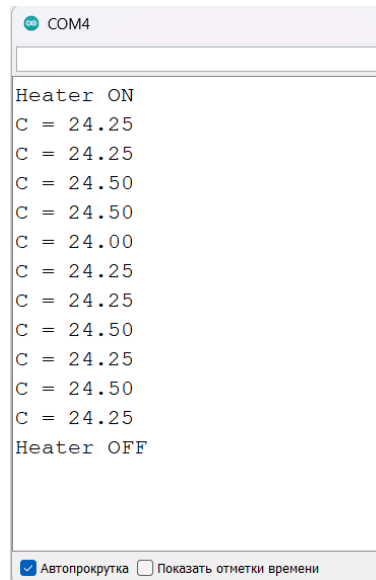


Figure 2.16 - Arduino IDE port monitor

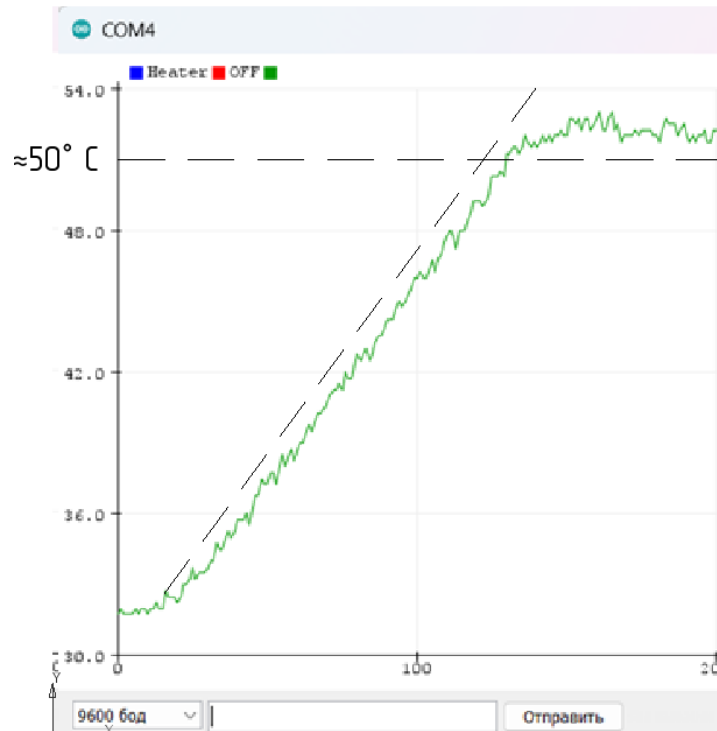


Figure 2.17 - Arduino IDE serial connection plotter

## Brief description of the HC-06 Bluetooth module

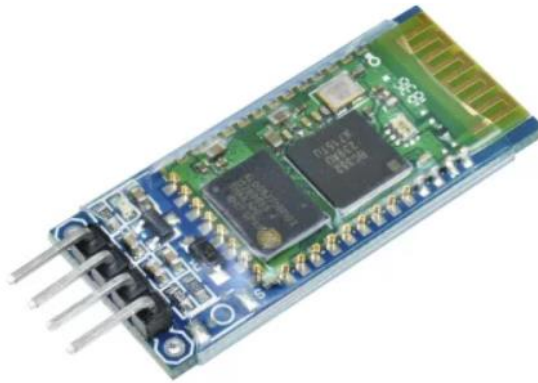


Figure 2.18 - General view of the HC-06 Bluetooth module

The HC-06 Bluetooth module is a popular Bluetooth module that provides wireless connection between devices. HC-06 is part of the Bluetooth module family.[6]

HC-06 is a simple and easy-to-use Bluetooth module that is widely used in various electronics projects. It is often used to create wireless connections between Arduino and other microcontrollers, and to control various electronic devices via Bluetooth with a smartphone or computer.

The main characteristics of the HC-06 module:

- Bluetooth Type: The HC-06 supports the Bluetooth 2.0 standard, which makes it a bit outdated because there are newer versions of the Bluetooth standard at the moment.
- Operating modes: The HC-06 module can operate in Slave mode, making it ideal for connecting to a master device such as a smartphone, computer or microcontroller.
- Interface support: HC-06 usually supports UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) interface, which makes it easy to use with various microcontrollers and other devices that have UART.
- Transmission speed: The HC-06 module usually has limited data transmission speeds compared to newer versions of Bluetooth. However, for many applications this is sufficient.

- Configuration: The HC-06 can be configured using AT (Attention) commands, which allows you to configure various module parameters such as device name, password and data rate.
- Usually the module works from a voltage of 3.3 V, which makes it compatible with most microcontrollers and other devices.
- With "Reseach" button (ON/OFF/WAKE, MCU external output "High level" can control module to re-search)

For a listing of the heating process control program (K-type thermocouple, dimmer, Bluetooth module), see in the appendix, diagram G.

Додаток Б Лістинг програми з цифровим датчиком температури DS18B20 та твердотільним реле G3MB-202P

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

const int ONE_WIRE_BUS = 7;
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

const int relayPin = 2;

const float targetTemperature = 50.0;
float currentTemperature = 0.0;
float heatingRate = 0.5; // Швидкість нагріву (градуси Цельсія за ітерацію)

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();
  pinMode(relayPin, OUTPUT);
}

void loop() {
  sensors.requestTemperatures();
  currentTemperature += heatingRate; // Збільшуємо температуру

  Serial.print("Current Temperature: ");
  Serial.println(currentTemperature);

  if (currentTemperature < targetTemperature) {
    digitalWrite(relayPin, HIGH);
  } else {
    digitalWrite(relayPin, LOW);
  }
  delay(1000);
}

```

Імпорт бібліотек

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

```

Ці дві бібліотеки потрібні для роботи з датчиками температури DS18B20, які використовують протокол OneWire.

Оголошення змінних та об'єктів

```
const int ONE_WIRE_BUS = 7;
```

```
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
```

```
DallasTemperature sensors(&oneWire);
```

- ONE\_WIRE\_BUS – пін, до якого підключений датчик температури (в даному випадку, пін 7).

- oneWire – об'єкт для роботи з протоколом OneWire.

- sensors – об'єкт для роботи з бібліотекою DallasTemperature, яка надає високорівневі функції для роботи з датчиком температури.

```
const int relayPin = 2;
```

- relayPin – пін, до якого підключено реле (в даному випадку, пін 2).

```
const float targetTemperature = 50.0;
```

```
float currentTemperature = 0.0;
```

```
float heatingRate = 0.5; // Швидкість нагріву (градуси Цельсія за ітерацію)
```

- targetTemperature – цільова температура, до якої потрібно нагріти систему.

- currentTemperature – поточна температура системи.

- heatingRate – швидкість нагріву, яка визначає, на скільки градусів збільшується температура за одну ітерацію циклу loop.

Функція setup

- Serial.begin(9600) – ініціалізація серійного порту для виведення даних у серійну консоль.

- sensors.begin() – ініціалізація датчиків температури.

- pinMode(relayPin, OUTPUT) – налаштування піна для реле як вихідного.

Основний цикл програми loop

```
void loop() {
```

```
  sensors.requestTemperatures();
```

```
  currentTemperature += heatingRate; // Збільшуємо температуру на швидкість нагріву
```

```
  Serial.print("Current Temperature: ");
```

```
  Serial.println(currentTemperature);
```

```
  if (currentTemperature < targetTemperature) {
```

```
    digitalWrite(relayPin, HIGH);
```

```
  } else {
```

```
    digitalWrite(relayPin, LOW);
```

```
}
```

```
  delay(1000);
```

```
}
```

1. `sensors.requestTemperatures()` – запит на оновлення температури з датчиків.
2. `currentTemperature += heatingRate` – симуляція збільшення температури на величину `heatingRate`.
3. `Serial.print("Current Temperature: "); Serial.println(currentTemperature);` – виведення поточної температури в серійну консоль.
4. `if (currentTemperature < targetTemperature) { digitalWrite(relayPin, HIGH); } else { digitalWrite(relayPin, LOW); }` – керування реле:

Якщо поточна температура менша за цільову, то реле включається (HIGH).

Якщо поточна температура досягає або перевищує цільову, то реле вимикається (LOW).

1. `delay(1000);` – затримка на 1 секунду перед наступною ітерацією циклу.

Загальна логіка

Програма постійно збільшує значення поточної температури на задану величину (симулюючи нагрівання) та порівнює її з цільовою температурою. В залежності від цього порівняння, вона вмикає або вимикає реле, яке може керувати, наприклад, нагрівальним елементом.

Додаток В Лістинг програми з термопарою К-типу та твердотільним реле G3MB-202P

```

#include <SPI.h>
#include <max6675.h>

const int thermoDO = 5;
const int thermoCS = 6;
const int thermoCLK = 7;

MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
const int relayPin = 2;

const float targetTemperature = 50.0;
float currentTemperature = 0.0;
float heatingRate = 0.5; // Швидкість нагріву (градуси Цельсія за ітерацію)

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(relayPin, OUTPUT);
  // Затримка для встановлення з'єднання з термопарою
  delay(1000);
}

void loop() {
  // Зчитуємо температуру з термопари
  float measuredTemperature = thermocouple.readCelsius();

  // Імітуємо збільшення температури на heatingRate за ітерацію
  if (currentTemperature < targetTemperature) {
    currentTemperature += heatingRate;
  } else {
    currentTemperature = measuredTemperature; // Оновлюємо поточну
    температуру реальним виміром, коли досягнуто цільової
  }
  // Виводимо поточну температуру через інтерфейс Serial
  Serial.print("Measured C = ");
  Serial.println(measuredTemperature);
  Serial.print("Simulated C = ");
  Serial.println(currentTemperature);

  // Встановлюємо стан реле в залежності від різниці між поточною
  температурою та цільовою температурою
  if (currentTemperature < targetTemperature) {
    digitalWrite(relayPin, LOW); // Увімкнути реле
  }
}

```

```

} else {
  digitalWrite(relayPin, HIGH); // Вимкнути реле
}

```

```

// Затримка перед наступною ітерацією
delay(1000);
}

```

Бібліотеки та ініціалізація

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <max6675.h>
```

**SPI.h:** Бібліотека для SPI зв'язку, який використовується для взаємодії з термопарою MAX6675.

**max6675.h:** Бібліотека для роботи з модулем MAX6675, який використовується для вимірювання температури за допомогою термопари.

Оголошення та ініціалізація змінних і об'єктів

```
const int thermoDO = 5;
```

```
const int thermoCS = 6;
```

```
const int thermoCLK = 7;
```

```
MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
```

```
const int relayPin = 2;
```

```
const float targetTemperature = 50.0;
```

```
float currentTemperature = 0.0;
```

```
float heatingRate = 0.5; // Швидкість нагріву (градуси Цельсія за ітерацію)
```

**thermoDO, thermoCS, thermoCLK:** Піни для підключення термопари (Data Out, Chip Select, Clock).

**thermocouple:** Об'єкт для роботи з термопарою.

**relayPin:** Пін для підключення реле.

**targetTemperature:** Цільова температура, до якої прагне система (50.0 °C).

**currentTemperature:** Поточна температура, що відстежується системою.

**heatingRate:** Швидкість нагрівання, на яку збільшується **currentTemperature** за кожну ітерацію циклу (0.5 °C).

Функція `setup()`

**Serial.begin(9600):** Ініціалізація серійного зв'язку для виводу даних на монітор.

**pinMode(relayPin, OUTPUT):** Встановлення піну для реле як вихідного.

**delay(1000):** Затримка в 1000 мс (1 секунда) для встановлення з'єднання з термопарою.

Функція loop()

```
float measuredTemperature = thermocouple.readCelsius();
```

Читання поточної температури з термопари та збереження її в змінну **measuredTemperature**.

Імітація нагрівання:

```
if (currentTemperature < targetTemperature) {
```

```
    currentTemperature += heatingRate;
```

```
} else {
```

currentTemperature = measuredTemperature; // Оновлюємо поточну температуру реальним виміром, коли досягнуто цільової

```
}
```

Якщо поточна температура (**currentTemperature**) менша за цільову (**targetTemperature**), збільшуємо **currentTemperature** на значення **heatingRate**.

Якщо поточна температура досягла або перевищила цільову, оновлюємо **currentTemperature** до фактично виміряної температури (**measuredTemperature**).

Вивід даних на серійний монітор:

```
Serial.print("Measured C = ");
```

```
Serial.println(measuredTemperature);
```

```
Serial.print("Simulated C = ");
```

```
Serial.println(currentTemperature);
```

Виводимо виміряну температуру та імітовану температуру на серійний монітор.

Контроль реле:

Якщо **currentTemperature** менше **targetTemperature**, включаємо реле (LOW).

Якщо **currentTemperature** досягла або перевищила **targetTemperature**, вимикаємо реле (HIGH).

Затримка:

```
delay(1000);
```

Ця програма використовує модуль MAX6675 для вимірювання температури та симулює нагрівання системи з постійною швидкістю (heatingRate). Якщо поточна температура менше цільової, програма включає реле для нагріву і збільшує температуру кожну ітерацію. Коли температура

досягає цільової, реле вимикається, і система зчитує реальну температуру з термopари. Програма також виводить дані про реальну та симульовану температуру на серійний монітор.

Додаток Г Лістинг програми з термопарою К-типу та димером 220В для Arduino та ESP8266

```

#include <AC_Dimmer.h>
#include <SPI.h>
#include "max6675.h"

#define thermoDO 11
#define thermoCS 12
#define thermoCLK 13

#define MAX_HEATING_RATE 1.0 // Максимальна швидкість нагріву
#define MIN_HEATING_RATE 0.1 // Мінімальна швидкість нагріву
#define CLOSE_TEMPERATURE_RANGE 5.0 // Розмах, при якому
зменшується швидкість нагріву

MAX6675 *thermocouple; // Константний вказівник на об'єкт термопари
#define Dimmer_1 0

uint8_t brightness; // Змінна, що задає потужність

float targetTemperature = 50.0;
float heatingRate = 0.5; // Початкова швидкість нагріву

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  thermocouple = new MAX6675(thermoCLK, thermoCS, thermoDO); //
Ініціалізація термопари
  Dimmer_init_begin();
  Dimmer_pin_assign(Dimmer_1, 4);
  Dimmer_init_end();
}

float mapFloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float
out_max) {
  return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}

void loop() {
  float currentTemperature = thermocouple->readCelsius(); // Зчитуємо
температуру з термопари

  // Обчислюємо різницю між поточною температурою та цільовою
температурою
  float temperatureDifference = targetTemperature - currentTemperature;

```

```

// Визначаємо нове значення heatingRate залежно від різниці
температур
if (temperatureDifference > 0) {
  if (temperatureDifference < CLOSE_TEMPERATURE_RANGE) {
    // Якщо температура наближається до цільової, зменшуємо
швидкість нагріву
    heatingRate = mapFloat(temperatureDifference, 0,
CLOSE_TEMPERATURE_RANGE, MIN_HEATING_RATE,
MAX_HEATING_RATE);
  } else {
    // В іншому випадку використовуємо максимальну швидкість нагріву
    heatingRate = MAX_HEATING_RATE;
  }
} else {
  // Якщо температура досягла або перевищила цільову, вимикаємо
нагрів
  heatingRate = 0;
}

Serial.print("C = ");
Serial.println(currentTemperature);

// Регулюємо потужність диммера
if (currentTemperature < targetTemperature) {
  brightness = 150;
} else {
  brightness = 0;
}
Dimm_value(Dimmer_1, brightness); // Встановлюємо потужність
диммера
delay(1000); // Затримка для стабільної роботи
}

```

Програма написана для керування нагрівальним елементом за допомогою диммера і термопари. Програма вимірює поточну температуру, порівнює її з цільовою температурою та регулює потужність нагріву відповідно. Ось детальний опис кожного розділу програми:

Підключення бібліотек і оголошення констант

Бібліотеки:

AC\_Dimmer.h - для керування диммером.

SPI.h - для роботи зі SPI інтерфейсом.

max6675.h - для роботи з термопарою MAX6675.

Оголошення змінних, констант та піни для підключення термопари.

```
#define thermoDO 11
#define thermoCS 12
#define thermoCLK 13
```

```
#define MAX_HEATING_RATE 1.0
#define MIN_HEATING_RATE 0.1
#define CLOSE_TEMPERATURE_RANGE 5.0
```

Константи для керування швидкістю нагріву.

```
MAX6675 *thermocouple;
#define Dimmer_1 0
uint8_t brightness;
float targetTemperature = 50.0;
float heatingRate = 0.5;
```

thermocouple - вказівник на об'єкт термопари.

Dimmer\_1 - ідентифікатор диммера.

brightness - змінна для потужності диммера.

targetTemperature - цільова температура.

heatingRate - початкова швидкість нагріву.

Функція setup()

Ініціалізація серійного зв'язку, термопари і диммера.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  thermocouple = new MAX6675(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
  Dimmer_init_begin();
  Dimmer_pin_assign(Dimmer_1, 4);
  Dimmer_init_end();
}
```

Функція mapFloat()

Функція для лінійного масштабування значень. Використовується для коригування швидкості нагріву.

```
float mapFloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float
out_max) {
  return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}
```

Функція loop()

Зчитування поточної температури з термопари.

```
void loop() {
  float currentTemperature = thermocouple->readCelsius();
  Обчислення різниці між цільовою та поточною температурами.
```

```
float temperatureDifference = targetTemperature - currentTemperature;
```

Регулювання швидкості нагріву залежно від температурної різниці.

```
if (temperatureDifference > 0) {
  if (temperatureDifference < CLOSE_TEMPERATURE_RANGE) {
    heatingRate = mapFloat(temperatureDifference, 0,
CLOSE_TEMPERATURE_RANGE, MIN_HEATING_RATE,
MAX_HEATING_RATE);
  } else {
    heatingRate = MAX_HEATING_RATE;
  }
} else {
  heatingRate = 0;
}
```

Вивід поточної температури на серійний монітор.

```
Serial.print("C = ");
Serial.println(currentTemperature);
```

Регулювання потужності диммера:

- Якщо поточна температура нижча за цільову, встановлюється потужність нагріву.
- Інакше нагрів вимикається.

Програма затримується на 1 секунду перед наступним циклом для стабільної роботи.

```
if (currentTemperature < targetTemperature) {
  brightness = 150;
} else {
  brightness = 0;
}
Dimm_value(Dimmer_1, brightness);
delay(1000);
}
```

Загальний принцип роботи

1. Програма ініціалізує необхідні компоненти.
2. У циклі `loop()` постійно зчитує поточну температуру.
3. Регулює швидкість нагріву залежно від різниці між поточною і цільовою температурами.
4. Встановлює потужність диммера відповідно до поточної температури.

Ця програма дозволяє автоматично підтримувати задану температуру, плавно змінюючи потужність нагріву.

Додаток Д Лістинг програми керуванням процесом нагріву (термопара К-типу, димер 220В для Arduino та ESP8266, модуль Bluetooth HC-06)

```
#include <AC_Dimmer.h>
#include <SPI.h>
#include "max6675.h"
#include <SoftwareSerial.h>

#define thermoDO 11
#define thermoCS 12
#define thermoCLK 13

#define MAX_HEATING_RATE 1.0
#define MIN_HEATING_RATE 0.1
#define CLOSE_TEMPERATURE_RANGE 5.0
MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
#define Dimmer_1 0

uint8_t brightness = 0;

float targetTemperature = 50.0;
float heatingRate = 0.5;

bool heaterOn = false;

SoftwareSerial Bluetooth(5, 6); // RX, TX

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Bluetooth.begin(9600);
```

```

Dimmer_init_begin();
Dimmer_pin_assign(Dimmer_1, 4);
Dimmer_init_end();
}

float mapFloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float
out_max) {
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}

void loop() {
    if (Bluetooth.available()) {
        char command = Bluetooth.read();
        if (command == '1') {
            heaterOn = true;
            Serial.println("Heater ON");
        } else if (command == '0') {
            heaterOn = false;
            Serial.println("Heater OFF");
        }
    }
    if (heaterOn) {
        float currentTemperature = thermocouple.readCelsius();

        float temperatureDifference = targetTemperature - currentTemperature;

        if (temperatureDifference > 0) {
            if (temperatureDifference < CLOSE_TEMPERATURE_RANGE) {

```

```

        heatingRate = mapFloat(temperatureDifference, 0,
CLOSE_TEMPERATURE_RANGE, MIN_HEATING_RATE,
MAX_HEATING_RATE);
    } else {
        heatingRate = MAX_HEATING_RATE;
    }
} else {
    heatingRate = 0;
}

Serial.print("C = ");
Serial.println(currentTemperature);

if (currentTemperature < targetTemperature) {
    brightness = 150;
} else {
    brightness = 0;
}
Dimm_value(Dimmer_1, brightness);
} else {
    Dimm_value(Dimmer_1, 0);
}
delay(1000);
}

```

Ця програма призначена для управління нагрівачем через Bluetooth, з використанням термопари для вимірювання температури та регулювання яскравості лампи через диммер. Детальний опис кожного блоку коду:

Підключення бібліотек та оголошення змінних

- **AC\_Dimmer.h** - бібліотека для управління диммером.
- **SPI.h** - бібліотека для роботи з SPI (послідовний периферійний інтерфейс).
- **max6675.h** - бібліотека для роботи з термопарою MAX6675.
- **SoftwareSerial.h** - бібліотека для програмної реалізації серійного порту.

#### Визначення пінів та параметрів

- Визначені пін-коди для термопари.
- Максимальна та мінімальна швидкість нагрівання, а також діапазон температури, близький до цільової.
- Ініціалізація термопари MAX6675.
- Змінні для управління яскравістю та станом нагрівача.
- Програмний серійний порт для Bluetooth (підключений до пінів 5 і 6).

#### Функція setup()

- Ініціалізація апаратного та програмного серійного порту зі швидкістю 9600 бод.
- Ініціалізація диммера та прив'язка його до піна 4.

#### Функція mapFloat()

```
float mapFloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float
out_max) {
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}
```

Ця функція масштабує значення з одного діапазону в інший. Наприклад, вона використовується для масштабування різниці температури до діапазону швидкості нагрівання.

Основний цикл loop()

- Перевіряється наявність даних з Bluetooth. Якщо отримано команду '1', нагрівач вмикається, якщо '0' - вимикається.
- Якщо нагрівач увімкнений:
  - Зчитується поточна температура з термопари.
  - Вираховується різниця між цільовою і поточною температурою.
  - Якщо різниця більше 0, розраховується швидкість нагрівання залежно від цієї різниці.
  - Якщо поточна температура нижча за цільову, встановлюється яскравість диммера на 150, інакше на 0.
  - Усі значення виводяться в серійний монітор.
- Якщо нагрівач вимкнений, яскравість диммера встановлюється на 0.
- Затримка 1 секунда між циклами.

## Додаток Є Плакати

Міністерство освіти та науки України  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматичної, електроніки та телекомунікацій

### Розробка системи дистанційного терморегулятора з використанням телекомунікаційних технологій

Кваліфікаційна робота бакалавра

Виконав:

Студент 401ТТ групи

Ненич Д.О.

Керівник:

професор д.т.н.

Шефер О.В.

Полтава 2024

2

**Актуальність теми** нашого дослідження полягає в потребі розроблення системи дистанційного терморегулятора для лінійного нагріву, який керується за допомогою безпроводного зв'язку. Основною задачею є створення системи, яка забезпечить стабільне та точне підтримання температурного режиму з можливістю лінійного збільшення температури з заданою швидкістю зростання.

Представлений регулятор має перспективи застосування у науковій та промисловій діяльності. Також він може використовуватись для дослідження теплофізичних властивостей різних матеріалів та компонентів, що є важливим у процесі розробки нових матеріалів та технологій.

Для виконання поставленої мети необхідно виконати наступні **завдання**:

- проаналізувати сучасні регулятори температури;
- дослідити елементну базу для нашого регулятора;
- вибрати пристрої для безпроводного керування;
- пропрацювати різні схеми практичної реалізації регулятора;
- обрати найбільш перспективну схему для практичної реалізації і зробити загальні висновки.

3

### Аналіз сучасних регуляторів температури в в промислових об'єктах

Промислові об'єкти, такі як фабрики, заводи та виробничі цехи, вимагають ретельного контролю та регулювання температури для забезпечення ефективності технологічних процесів та безпеки працівників. У сучасних умовах використовуються різноманітні типи регуляторів температури, які відрізняються за принципом роботи, точністю, швидкістю та енергоефективністю. Найпоширенішими є електронні термостати, мікропроцесорні системи управління температурою та програмовані логічні контролери (ПЛК).

Електронні термостати зазвичай застосовуються для підтримки заданої температури в окремих промислових приміщеннях або технологічних установках. Вони характеризуються простотою конструкції, доступною вартістю та можливістю налаштування певних температурних режимів. Мікропроцесорні системи управління забезпечують більш складні функції, такі як автоматичне регулювання, моніторинг стану обладнання та диспетчеризацію технологічних процесів. ПЛК, у свою чергу, дозволяють інтегрувати системи контролю температури в загальну автоматизовану систему управління промисловим об'єктом.

Ефективність та надійність сучасних регуляторів температури значно зросла завдяки застосуванню передових технологій, таких як інтелектуальні алгоритми управління, бездротова передача даних та інтеграція з інформаційними системами. Це дає змогу оптимізувати енергоспоживання, підвищити точність регулювання та вчасно реагувати на відхилення технологічних параметрів.



4

## Застосування технологій Bluetooth та Wi-Fi в промислових об'єктах

### Віддалений моніторинг

Технології Bluetooth та Wi-Fi дозволяють віддалено моніторити стан обладнання та параметри виробничих процесів. Це допомагає швидко реагувати на проблеми та оптимізувати роботу підприємства.

### Безпроводне керування

Бездротові технології спрощують керування промисловими пристроями, дозволяючи управляти ними дистанційно. Це підвищує гнучкість та ефективність виробничих ліній.

### Мобільність персоналу

Використання Bluetooth та Wi-Fi робить персонал більш мобільним, оскільки вони можуть отримувати інформацію та керувати процесами, не прив'язуючись до робочого місця.

## Технологія Bluetooth

**Bluetooth** - це технологія бездротового зв'язку, яка дозволяє пристроям обмінюватися даними на відстані до 100 метрів. Вона використовує радіочастотний діапазон 2,4 ГГц і забезпечує швидкість передачі даних до 24 Мбіт/с. Bluetooth застосовується для створення локальних бездротових мереж, з'єднання периферійних пристроїв та обміну даними між різними гаджетами.



5

## Технологія Wi-Fi

**Wi-Fi** - це технологія безпроводного зв'язку, яка забезпечує високошвидкісний доступ до Інтернету та передачу даних між пристроями. Вона використовує радіохвилі для створення локальної мережі, дозволяючи користувачам підключатись до неї через свої комп'ютери, смартфони, планшети та інші гаджети. Wi-Fi використовує стандарти IEEE 802.11, що визначають технічні специфікації для створення бездротових локальних мереж.



6

### Наш вибір приправ на модуль Bluetooth. Він має кілька переваг:

- **Низька споживана потужність:** Bluetooth пристрої споживають мало енергії, що робить його ефективним для пристроїв з обмеженим джерелом енергії, таких як батареї.
- **Простота налаштування:** Bluetooth зазвичай простий у налаштуванні та використанні, що дозволяє швидко почати використовувати його для керування нагрівачем води без складних налаштувань.
- **Економічна доцільність:** низька ціна модуля Bluetooth.

### Термопара К -типу

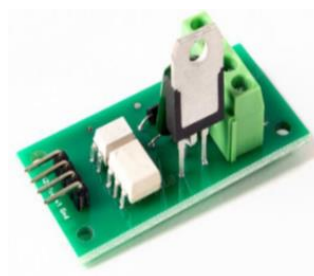
Термопари - це один із найчастіше використовуваних термодатчиків, які можуть використовувати для кількісного визначення температури. Їх широке використання для вимірювань температури пов'язане з їх низькою вартістю, надійністю та широким вимірюваним діапазоном температур.



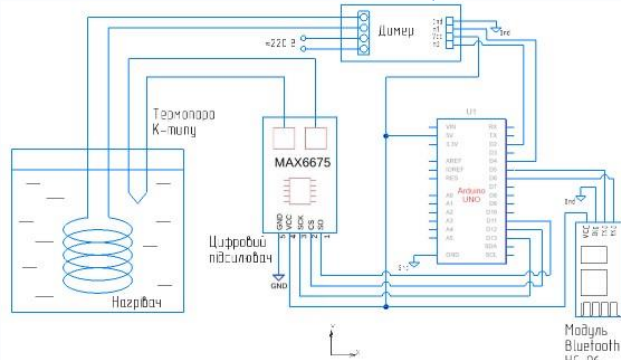
### Димер з електронним регулюванням для Arduino та ESP8266 220В

#### Характеристики:

- Напруга: до 280 VAC/50Hz
- Потужність, що рекомендується без радіатора: до 150 Вт
- Рекомендована потужність із радіатором: від 150 Вт до 2000 Вт
- Максимальна потужність із радіатором: до 3000 Вт
- Напруга падіння на ключі 1В±0.1В
- Повна гальвано-розв'язка силової та слабочотної частини
- Наявність світлодіода для індикації роботи димеру



Пристрій з можливістю віддаленого керування процесом нагріву  
(термопара К-типу, димер 220В для Arduino та ESP8266, модуль  
Bluetooth HC-06)



### Короткий опис програми

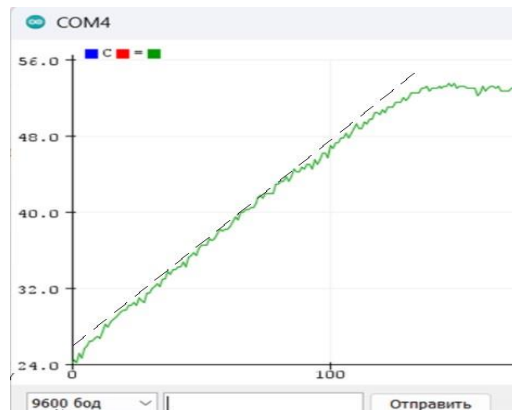
*Програма керує нагрівачем за допомогою термопар, диммера та Bluetooth.*

#### **Опис:**

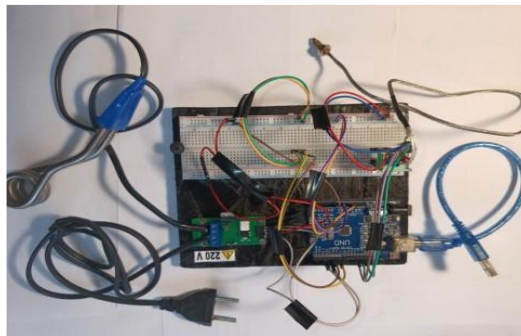
- Імпортується необхідна бібліотека та визначаються макроси для роботи з термопарою та диммером.
- Встановлюються початкові параметри, такі як цільова температура та швидкість нагріву.
- В `setup()` ініціалізується серійний зв'язок, Bluetooth, термопара та диммер.
- У `loop()` програма перевіряє наявність команд від Bluetooth для увімкнення або вимкнення нагрівача.
- Якщо нагрівач увімкнено, зчитується поточна температура з термопар.
- Визначається різниця між поточною та цільовою температурою, відповідно регулюється швидкість нагріву.
- Потужність диммера змінюється залежно від поточної температури для підтримання цільової температури.

*Таким чином, програма забезпечує автоматичне регулювання нагрівача через Bluetooth-зв'язок і підтримує задану температуру.*

### Зображення графіка послідовного порту Arduino IDE (термопара К-тип та димер)



### Схема виконана на макетній платі



### Висновки

В дипломній роботі досліджено можливість створення пристрою лінійного нагріву речовин, для застосування в промисловості та лабораторних дослідженнях. Використано воду для нагріву, але пристрій можна адаптувати для інших речовин.

Розглянуто кілька пристроїв для керування нагрівом:

- Пристрій з датчиком температури DS18B20 і твердотільним реле G3MB-202P.
- Пристрій з термопарою типу K і твердотільним реле G3MB-202P.
- Пристрій з диммером 220V для Arduino та ESP8266 з термопарою типу K.
- Пристрій з віддаленим керуванням (термопара типу K, диммер 220V для Arduino та ESP8266, Bluetooth модуль HC-06).

Останній варіант схеми, на мій погляд, найбільш підходить для промислового застосування. У планах - розробка програмного забезпечення для регулювання швидкості нагріву при віддаленому керуванні, та можливої заміни Bluetooth на Wi-Fi для більш повного функціонального контролю нагрівача.

# Дякую за увагу!