

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Сумський державний університет**

**Класичний фаховий коледж**

(повна назва інституту/факультету)

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(бакалавр / магістр)

зі спеціальності 171Електроніка

(код та назва)

освітньо-професійної програми Електронні інформаційні системи

(освітньо-професійної / освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: Датчики температури в системах захисту

Здобувача групи ЕІ-91к

(шифр групи)

Литвиненко Едуард Вячеславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

(підпис)

Едуард ЛИТВИНЕНКО

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник викладач, к.ф.-м.н., доцент, Віталій БІБИК

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Консультант<sup>1)</sup>

(посада, науковий ступінь, вчене звання ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

## АНОТАЦІЯ

*Обґрунтуванням актуальності теми є:* надійність, ефективність та практичність систем захисту напругу залежать від датчиків температури, що в них використовуються.

*Мета роботи полягає у:* аналізі принципу дії різних типів датчиків, їх параметрів та способів використання в системах захисту від перегріву.

*Відповідно до мети вирішуються такі задачі:* проводився аналіз параметрів різних типів датчиків температури, їх переваг та недоліків, схем ввімкнення. Розглянули застосування PID -регулятора температури на Arduino в системах захисту від перегріву та схему регулятора температури з PID-підтримкою тощо.

*При виконанні роботи використовувалися методи:* систематизації, синтезу, узагальнення, закріплення теоретичних знань, математичного аналізу, аналізу літературних джерел.

У результаті проведених досліджень розробили приклад об'єднання температурного моніторингу плати, матриці та температури повітря в єдину схему за допомогою MAX6656, що містить «локальний» датчик температури на кристалі, може вимірювати температуру двох віддалених теплових діодів і контролювати температуру зовнішнього термістора.

*Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є:* датчики температури в системах захисту від перегріву в блоці живлення ПК, на процесорі, друкованій платі різними методами

*Предмет досліджень:* застосування PID-регулятора температури на Arduino в системах захисту від перегріву та контроль температури в блоці живлення та на процесорі за допомогою ІМС MAX6656

Робота викладена на 30 сторінках, у тому числі включає 16 рисунків, список цитованої літератури із 20 джерел.

**Ключові слова:** СЕНСОР ТЕМПЕРАТУРИ, СИСТЕМА ЗАХИСТУ ВІД ПЕРЕГРІВУ, ТЕРМОПАРА, ТЕРМІСТОР, PID -РЕГУЛЯТОР.

## ЗМІСТ

	С.
<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ОСНОВНИХ ТИПІВ ДАТЧИКІВ ТЕМПЕРАТУРИ</b> .....	6
1.1 Термопары в системах захисту .....	6
1.2 Термістор .....	9
1.3 Резистивний температурний детектор (RTD) .....	11
1.4 ІС датчики температури .....	15
<b>РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ЕКСПЕРИМЕНТУ</b> .....	17
2.1 Застосування PID -регулятора температури на Arduino в системах захисту від перегріву .....	17
2.2 Принципова схема регулятора температури з PID-підтримкою .....	19
<b>РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ВІД ПЕРЕГРІВУ</b> .....	22
3.1 Захист від перегріву в блоці живлення.....	22
3.2 Система захисту від перегріву процесора на ІМС MAX6656 .....	24
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	27
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	28
<b>ДОДАТОК А. СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ РОБОТИ</b> .....	30

## ВСТУП

Температурою називається фізична величина, яка характеризує ступінь перегріву тіла. Вона визначається середньою кінетичною енергією руху молекул в термодинамічній системі. Вимірювання температури можна проводити тільки непрямим методами, які базуються на залежності від температури таких фізичних властивостей, які піддаються безпосередньому вимірюванню.

Більшість технологічних процесів йде зараз по шляху автоматизації. Крім того, управління численними механізмами та автоматичними комплексами, а часто і машинами просто неможливе без точних вимірювань багатьох фізичних величин. Щоденне використання датчиків температури зумовлене важливістю контролю цього параметру як у виробничому процесі, промисловості, так і у побуті. Датчики температури часто використовуються в електронних системах для моніторингу температури та забезпечення захисту від надмірних коливань температури. [1-4]

Для різних систем захисту й контролю температури використовуються основні чотири типи датчиків в сучасній електроніці: термопари, RTD (резистивні датчики температури), термістори та напівпровідникові інтегральні схеми (IC). Методи вимірювання температури поділяються на контактні (наприклад, термометри опору, термоелектричні термометри, ) і безконтактні (пірометри).[5,8]

З огляду на те, що умови і діапазон вимірювань для різних систем захисту можуть сильно відрізнятися, а вимоги до вимірювання різних температурних параметрів бути різними, відповідно, і для виконання тих чи інших завдань термодатчики повинні відповідати цим вимогам. Тому вони можуть бути різними і використовувати в роботі різні властивості матеріалів. Таким чином, термосенсори бувають: напівпровідникові, терморезистивні, акустичні, термоелектричні, п'єзоелектричні, пірометри. [3]

Метою кваліфікаційної роботи є збір і аналіз даних про основні параметри, область використання, принцип дії датчиків температури, що використовуються в системах захисту від перегріву.

## РОЗДІЛ 1

## ОГЛЯД ОСНОВНИХ ДАТЧИКІВ ТЕМПЕРАТУРИ

### 1.1 Термопары в системах захисту

Термопары є найбільш поширеним типом датчика температури. Вони використовуються в промислових, автомобільних і побутових цілях. Термопары мають автономне живлення, не потребують збудження, можуть працювати в широкому діапазоні температур і мають швидкий час відгуку. [1,5]

Існує декілька типів термопар, виготовлених із різних матеріалів, що дозволяє використовувати різні температурні діапазони та різну чутливість, які позначаються літерами. Найпопулярнішим є тип К. У точці контакту між проводами створюється напруга, яка приблизно пропорційна температурі. Характеристики включають широкий температурний діапазон (до 1250°C), низьку вартість, дуже низьку вихідну напругу (порядку 40 мкВ на 1°C для типу К), розумну лінійність і помірно складне формування сигналу (компенсація холодного спаю та підсилення). [6]

Термопары виготовляються шляхом з'єднання двох різнорідних металевих дротів. Це викликає ефект Зеебека. Ефект Зеебека – це явище, при якому різниця температур двох різнорідних провідників створює різницю напруг між двома речовинами. Саме цю різницю напруг і можна виміряти та використовувати для обчислення температури. [3]

Деякі недоліки термопар включають той факт, що вимірювання температури може бути складним через їх малу вихідну напругу, яка вимагає точного підсилення, чутливість до зовнішнього шуму через довгі дроти та холодний спай. Холодний спай – це місце, де дроти термопары зустрічаються з мідними проводами сигнальної схеми. Це створює ще один ефект Зеебека, який необхідно компенсувати так званою компенсацією холодного спаю.

Принцип дії заснований на ефекті Зеебека або, інакше, термоелектричному ефекті; коли кінці провідника знаходяться при різних температурах, між ними виникає різниця потенціалів, пропорційна різниці температур. Коефіцієнт пропорційності називають коефіцієнтом термо-ЕРС. У різних металів коефіцієнт

термо-ЕРС різний і, відповідно, різниця потенціалів, що виникає між кінцями різних провідників, буде різна. Поміщаючи спай з металів з відмінними коефіцієнтами термоерс в середовище з температурою  $T_1$ , ми отримаємо напругу між протилежними контактами, які перебувають при іншій температурі  $T_2$ , яке буде пропорційно різниці температур  $T_1$  і  $T_2$ .

Найбільш поширені два способи підключення термопар до вимірювальних перетворювачів: простий (рис. 1.1,а) і диференціальний (рис.1.1, б). У першому випадку вимірювальний перетворювач підключається безпосередньо до двох термоелектродам. У другому випадку використовуються два провідника з різними коефіцієнтами термо-ЕРС, спаяні в двох кінцях, а вимірювальний перетворювач включається в розрив одного з провідників. [7, 8]

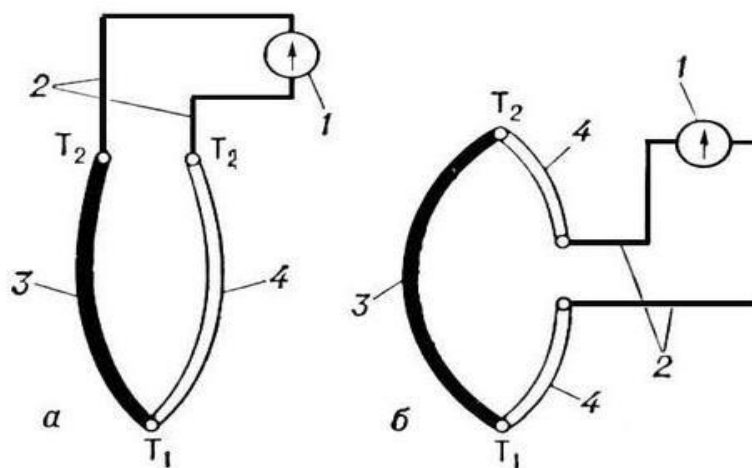


Рис.1.1. Принципові схеми включення двох термопар: простий (а), диференціальний (б) [1]

Цифрові вихідні термопар, такі як MAX31855 і MAX31856, допомагають у формуванні сигналу, використовуючи аналого-цифровий перетворювач (АЦП) високої роздільної здатності, мал шумний прецизійний каскад посилення та датчик компенсації холодного спаю. Для вимірювання різниці температур зон, в одній з яких не знаходиться вторинний перетворювач (вимірювач термо-ЕРС), зручно використовувати диференціальну термопару: дві однакових термопар, сполучених назустріч один одному (рис.1.1). Кожна з них вимірює перепад температур між

своїм робочим спаєм і умовним спаєм, утвореним кінцями термопар, підключеними до клем вторинного перетворювача, але вторинний перетворювач вимірює різницю їх сигналів, таким чином, дві термопари разом вимірюють перепад температур між своїми робочими спаями.

Для дистанційного підключення термопар використовуються подовжувальні або компенсаційні проводи. Подовжувальні дроти виготовляються з того ж матеріалу, що і термоелектроди, але можуть мати інший діаметр. Компенсаційні проводи використовуються в основному з термопарами з благородних металів і мають склад, відмінний від складу термоелектродів (рис.1.2). [3,4]

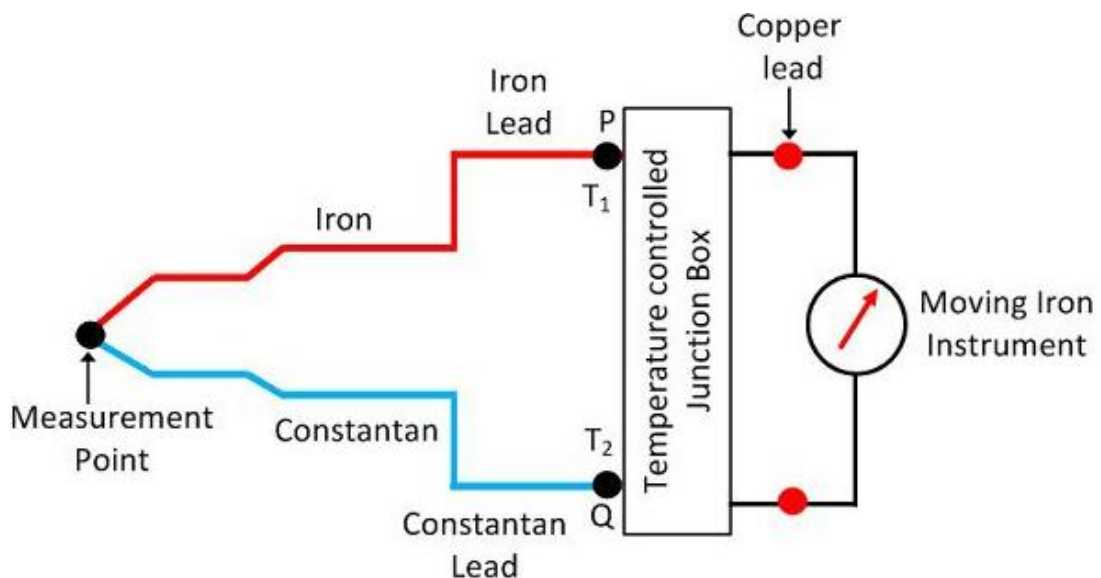


Рис.1.2. Дистанційне підключення термопар [4]

Вимоги до проводів для підключення термопар встановлені у стандарті МЕК 60584-3. Термопара МАХ6675 виконує компенсацію холодного спаю та оцифровує сигнал від термопари типу К. Цей перетворювач має чутливість температури до  $0,25^{\circ}\text{C}$ , дозволяє вимірювати показання  $+1024^{\circ}\text{C}$  і демонструє точність для температур від  $0^{\circ}\text{C}$  до  $+700^{\circ}\text{C}$ . МАХ6675 доступний у невеликому 8-контактному корпусі SO. Дані виводиться з роздільною здатністю 12 біт, SPI-сумісний, лише для читання формат. Основні характеристики термопари МАХ6675 наведені на рис. 1.3.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Temperature Error		$T_{\text{THERMOCOUPLE}} = +700^{\circ}\text{C}$ , $T_{\text{A}} = +25^{\circ}\text{C}$ (Note 2)	$V_{\text{CC}} = +3.3\text{V}$	-5		+5	LSB
			$V_{\text{CC}} = +5\text{V}$	-6		+6	
		$T_{\text{THERMOCOUPLE}} = 0^{\circ}\text{C}$ to $+700^{\circ}\text{C}$ , $T_{\text{A}} = +25^{\circ}\text{C}$ (Note 2)	$V_{\text{CC}} = +3.3\text{V}$	-8		+8	
			$V_{\text{CC}} = +5\text{V}$	-9		+9	
		$T_{\text{THERMOCOUPLE}} = +700^{\circ}\text{C}$ to $+1000^{\circ}\text{C}$ , $T_{\text{A}} = +25^{\circ}\text{C}$ (Note 2)	$V_{\text{CC}} = +3.3\text{V}$	-17		+17	
			$V_{\text{CC}} = +5\text{V}$	-19		+19	
Thermocouple Conversion Constant				10.25		$\mu\text{V}/\text{LSB}$	
Cold-Junction Compensation Error		$T_{\text{A}} = -20^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$ (Note 2)	$V_{\text{CC}} = +3.3\text{V}$	-3.0		+3.0	$^{\circ}\text{C}$
			$V_{\text{CC}} = +5\text{V}$	-3.0		+3.0	
Resolution				0.25		$^{\circ}\text{C}$	
Thermocouple Input Impedance				60		$\text{k}\Omega$	
Supply Voltage	$V_{\text{CC}}$		3.0		5.5	V	
Supply Current	$I_{\text{CC}}$			0.7	1.5	mA	
Power-On Reset Threshold		$V_{\text{CC}}$ rising	1	2	2.5	V	
Power-On Reset Hysteresis				50		mV	
Conversion Time		(Note 2)		0.17	0.22	s	
<b>SERIAL INTERFACE</b>							
Input Low Voltage	$V_{\text{IL}}$				$0.3 \times V_{\text{CC}}$	V	
Input High Voltage	$V_{\text{IH}}$		$0.7 \times V_{\text{CC}}$			V	
Input Leakage Current	$I_{\text{LEAK}}$	$V_{\text{IN}} = \text{GND}$ or $V_{\text{CC}}$			$\pm 5$	$\mu\text{A}$	
Input Capacitance	$C_{\text{IN}}$			5		pF	

Рис 1.3. Електричні характеристики термопарі MAX6675 [4]

## 1.2 Термістор

Термістор – це тип резистора, чий опір змінюється в залежності від прикладеної температури, зазвичай виготовлені з провідних матеріалів (рис.1.4). Його опір змінюється, пропускаючи невеликий виміряний постійний струм, що викликає падіння напруги. Термістори поділяється на два типи: з негативним та позитивним температурним коефіцієнтом.

Найпоширеніші термістори мають негативний температурний коефіцієнт (NTC) опору. Термістори мають нелінійну залежність опору від температури. Це вимагає значної корекції для правильної інтерпретації даних. Загальний підхід до використання термістора, показаний на рис.1.5, полягає в тому, що термістор і резистор із фіксованим значенням утворюють дільник напруги з вихідним сигналом, який оцифровується АЦП. [2-4]



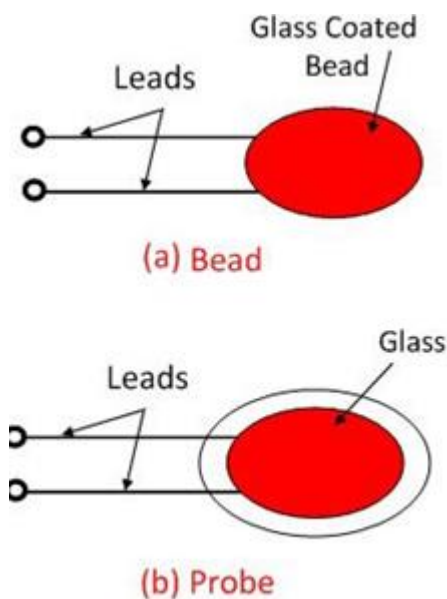


Рис. 1.4. Схеми ввімкнення термістора як датчика температури [2]

У цій схемі датчика температури використовується резистор, з'єднаний послідовно з термістором з негативним температурним коефіцієнтом (NTC), щоб утворити ділник напруги, яка лінійно залежить від температури. У схемі використовується операційний неінвертуючий підсилювач з інвертованим опорним сигналом для зміщення та посилення сигналу. Це дозволяє використовувати повну роздільну здатність АЦП і підвищити точність вимірювань. [3]

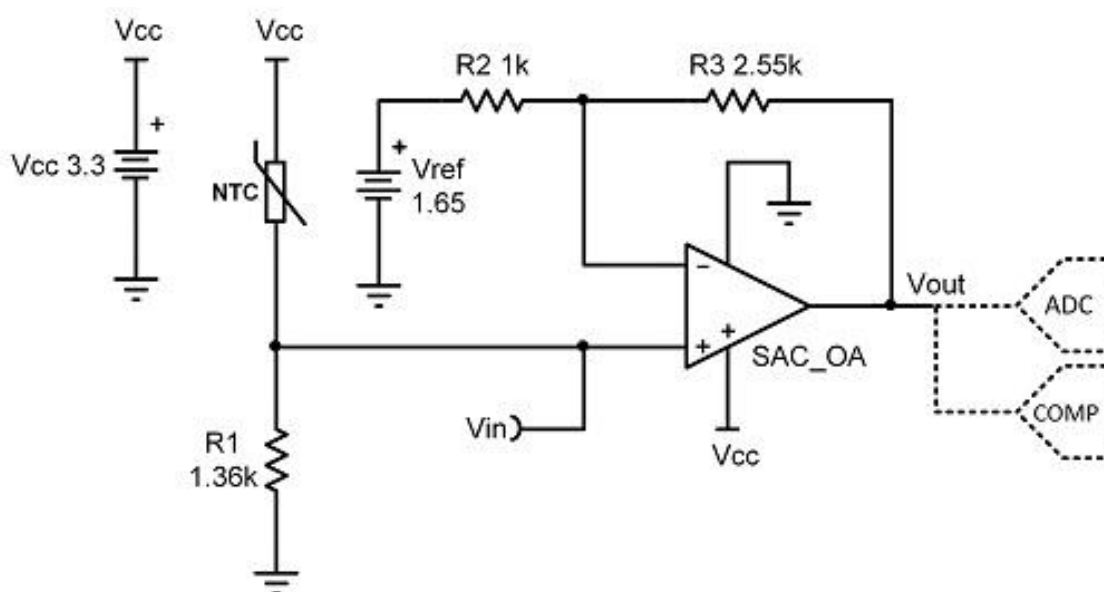


Рис. 1.5. Датчик температури, створений за допомогою ланцюга термістора NTC [3]

### 1.3 Резистивний температурний детектор (RTD)

Детектор температури опору (RTD) також можна назвати термометром опору, оскільки вимірювання температури буде мірою вихідного опору. RTD – це, по суті, резистори (часто виготовлені з платинового дроту), опір яких змінюється залежно від температури.

Характеристики включають широкий температурний діапазон (до 750°C), високу точність і повторюваність, лінійність і можливість формування сигналу. Формування сигналу для RTD зазвичай складається з прецизійного джерела струму та АЦП високої роздільної здатності. Вартість може бути високою. RTD доступні в зондах, у корпусах для поверхневого монтажу та з оголеними проводами. [2]

Основний принцип роботи RTD полягає в тому, що коли температура об'єкта збільшується або зменшується, опір також пропорційно збільшується або зменшується. Основна відмінність між RTD і термістором у матеріалі чутливого елемента, який використовується. В RTD – це метал, а термістор використовує керамічний або полімерний матеріал. Оскільки платина є найпоширенішим металом для виготовлення RTD, пристрій також можна назвати платиновими термометрами опору (PRT).

RTD-датчики широко класифікуються відповідно до різних використовуваних чутливих елементів. Платина, нікель і мідь є найбільш поширені. Платина вважається найкращою, оскільки має найширший діапазон температур. Це показано на графіку залежності опору від температури (рис.1.6). [1,8]

RTD платинового типу також відомий своєю кращою взаємозамінною здатністю, ніж мідь і нікель. Він має найвищу стабільність у часі. PRT можна використовувати в складних середовищах, які впливають на метал, Температурні перетворювачі RTD використовують в радіоактивних середовищах. Відомо, що в промисловому застосуванні вони вимірюють температуру до 1500 градусів за Фаренгейтом, тоді як мідь і нікель можуть вимірювати максимум до 400 градусів за Фаренгейтом.

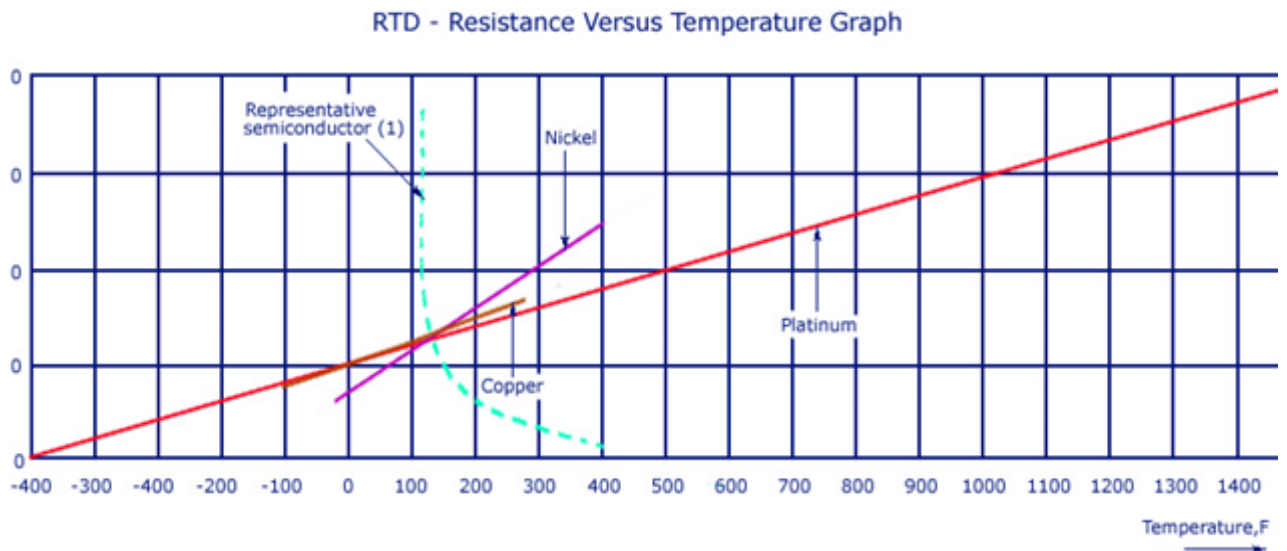


Рис. 1.6. Графік залежності опору від температури RTD датчика [1]

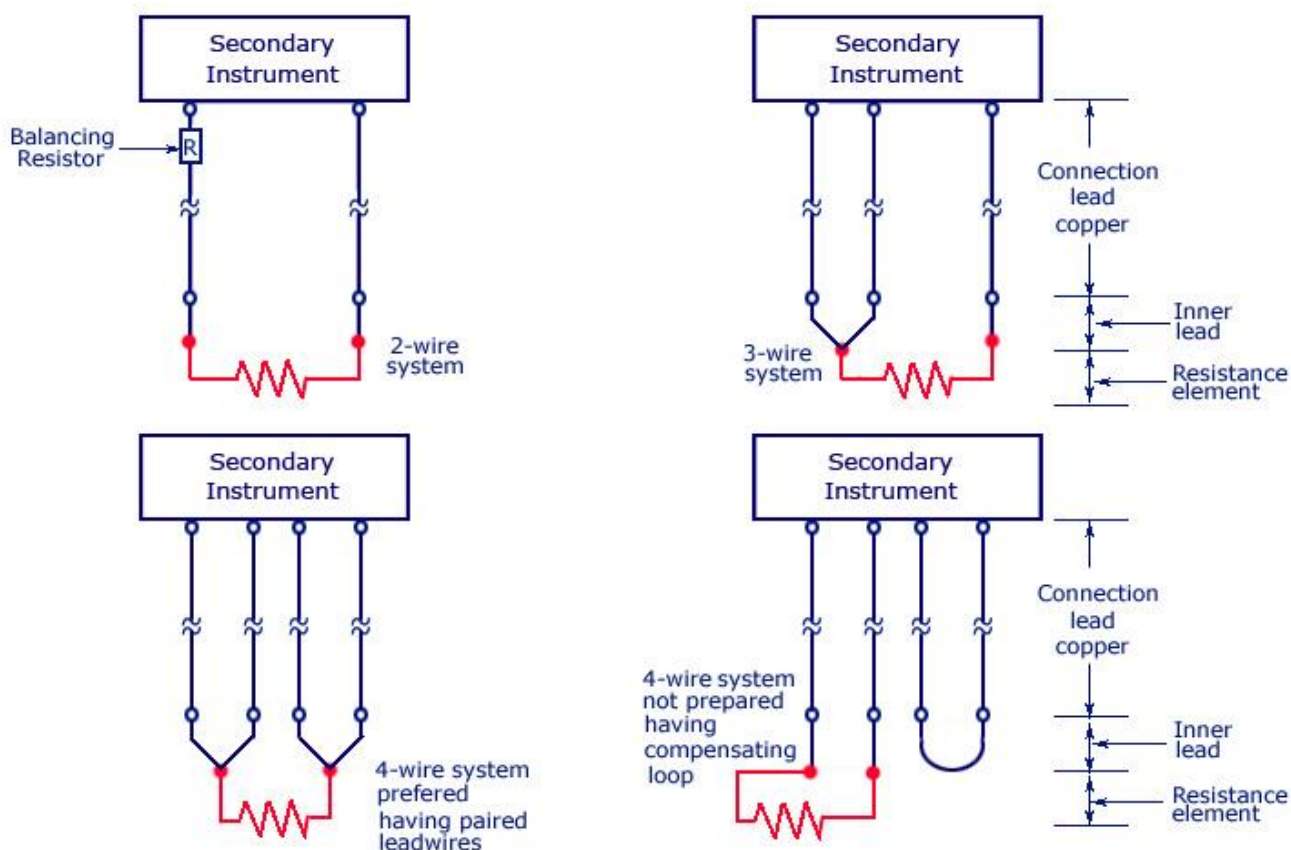
RTD доступні з одинарною, подвійною або потрійною обмотками (рис.1.7), кожна з яких електрично розділена. Використання більш ніж однієї обмотки дозволяє двом незалежним вимірювальним ланцюгам вимірювати ту саму температуру, а також дозволяє виконувати більше одного вимірювання лише з одним датчиком. Як правило, використовують або трипровідну, або чотирипровідну систему з парними проводами.

Однак додаткова маса, що вводиться в датчик шляхом додавання обмоток і пов'язаних з ними опорних та інкапсуляційних матеріалів, збільшує як час відгуку, так і похибку провідності. Використання окремих датчиків забезпечує механічну незалежність датчиків для обслуговування. RTD, як правило, повинні мати пружинну конструкцію, чутливу до наконечника, з оболонкою діаметром 1/4 дюйма. [3,4]

Мідні дроти підходять для всіх пристроїв. Для даного RTD усі провідні дроти мають бути однакового калібру та однакової довжини та прокладатися в одному каналі.

На чотири провідну систему незначно впливають зміни опору проводів, спричинені температурою, і з усіх схем на неї найменше впливають блукаючі струми. Тому він використовується для вимірювання різниці температур і, як правило, для проведення дуже точних вимірювань. [4]

## Resistance Temperature Detector (RTD) - 2-Wire,3-Wire,4-Wire Systems



For each arrangement, the secondary instrument measures the resistance of the wires drawn with a heavy line

[www.InstrumentationToday.com](http://www.InstrumentationToday.com)

Рис.1.7. Резистивний температурний детектор (RTD) - 2-, 3-, 4-провідні системи [4]

Трипровідна система, як правило, є задовільною для промислових вимірювань з використанням вторинного приладу, який віддалений, скажімо, більше ніж на 3 метри від RTD. Незважаючи на те, що похибка, спричинена зміною температури в проводах, практично усунена в 3-провідній конструкції, у ній з'являється помірна нелінійність у зміні опору.

Джерело електричного живлення постійного струму потрібне для забезпечення струму для схеми вимірювання опору. Живлення зазвичай подається через вторинний інструмент. Якщо вторинним приладом є передавач із вихідним струмом (4÷20) мА, то живлення подається двома вихідними проводами передавача. [3,8]

Принцип екранування RTD такий самий, як і екранування термопари.

Передавач є найбільш часто використовуваним інструментом для передачі сигналів RTD. Передавач може бути встановлений або на закритій стійці, або локально. Локальний передавач може бути встановлений на термогільзу та поставлятися разом із ним як повна збірка. Найбільш часто використовуваним передавачем RTD є так званий «розумний» передавач. Типовий «розумний» передавач температури надзвичайно універсальний: він підходить для платинових і нікелевих термометрів RTD; 2, 3 або 4 дроти; Платинові датчики на 100, 200 або 500 Ом тощо. Цей самий прилад також можна використовувати як передавач термопари, який підходить для будь-якої комерційно доступної комбінації термопар. [2,9]

Переваги RTD:

- дуже висока точність;
- відмінна стабільність і відтворюваність;
- взаємозамінність;
- можливість узгодження з близькими допусками для вимірювань різниці температур;
- можливість вимірювання вузького діапазону;
- придатність для дистанційного вимірювання.

Недоліки RTD:

- схильність до механічних пошкоджень;
- необхідність компенсації опору свинцевого проводу;
- висока вартість;
- схильність до помилки самонагрівання;
- сприйнятливність до сигнального шуму;
- непридатність для простого використання в електропровідній речовині;
- загалом ремонту не підлягає тощо. [9]

#### **1.4 ІС датчики температури**

Інтегральні схеми датчиків температури від ABLIC - це цифрові вихідні



Перетворювач температури ІС (ІСТ) — це двополюсна монолітна інтегральна схема, на виході якої є струм або напруга, прямо пропорційні температурі  $T/K$ . Механізм перетворення, який використовується в цьому перетворювачі, є залежністю напруги база-емітер  $V_{be}$  кремнієвого транзистора від температури навколишнього середовища  $T/K$ .

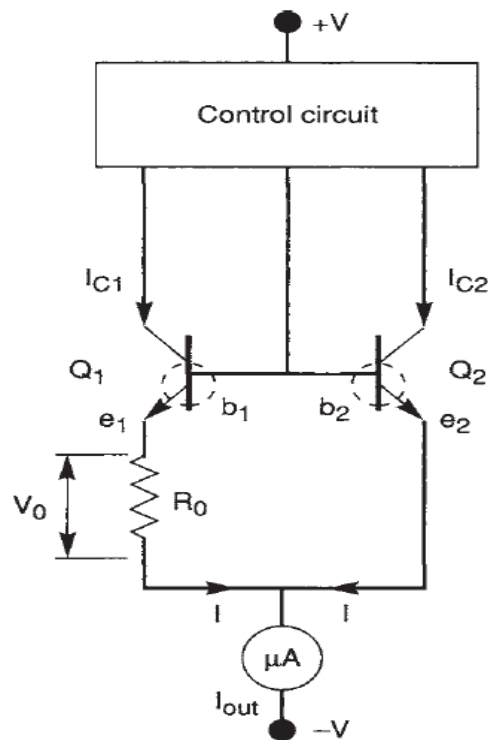


Рис.1.9. Датчик температури інтегрованої схеми, який вимірює власну температуру кристала [11]

Якщо два добре узгоджені ІС-транзистори з'єднані, як показано на рис. 1.9. тоді різниця між  $V_{be}$  транзисторів  $Q1$  і  $Q2$  пропорційна  $T$ , при постійному відношенні відповідних площ емітера.

Застосування перетворювачів температури ІС:

- для вимірювання температури друкованої плати або навколишнього повітря навколо неї;

- для вимірювання температури ПК у системах контролю температури. Високопродуктивні персональні комп'ютери та сервери використовують монолітні датчики температури на своїх материнських платах для моніторингу температури системи та попередження про збій системи. [10-14]



## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

#### 2.1 Застосування PID -регулятора температури на Arduino в системах захисту від перегріву

Розглянемо нагрівач на основі PID-регулятора (рис. 2.1), який можна використовувати для контролю температури гарячої частини 3D-принтера. При модифікації пристрою, він може контролювати температуру паяльника постійного струму дуже ефективно. При зміні налаштувань можливо контролювати температура при обертах двигуна змінного струму або нагрівального елемента змінного струму.

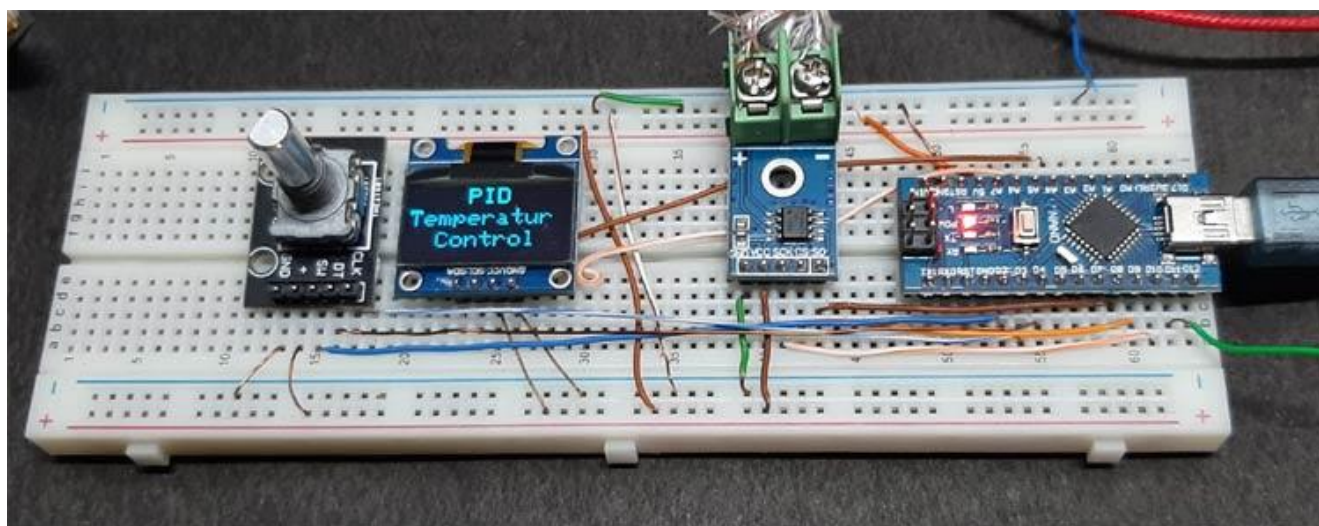


Рис.2.1. PID -регулятор температури на Arduino з використанням MAX6675 [12]

PID -контроль температури – це алгоритм керування замкнутим контуром, який покращує точність процесу. PID-контроль температури працює за допомогою математичної формули для обчислення різниці між поточною температурою та заданим значенням. Також ним підтримується необхідна потужність, щоб цільова температура залишалася постійною, це не тільки зменшує вплив на навколишнє середовище, але також зменшує перевищення температури, які можна виявити в традиційному механізмі керування. [12-14]



Як і в будь-якому PID-регулюванні, спочатку задаємо певну температуру нагрівального елемента (встановимо цю температуру за допомогою поворотного регулятора – кодера). Для підтримки температури потрібно зчитувати її, для цього використовується термопара К-типу в поєднанні з MAX6675 К-термопарою з компенсацією холодного спаю в цифровий перетворювач ІС, який може вимірювати сотні градусів Цельсія. Тоді зчитування температури від термопари діє як зворотний зв'язок. Зчитуючи значення температури в режимі реального часу, контролер може обчислити значення похибки, і за допомогою пропорційного інтегрального та похідного керування система може досягти певної точності вимірювання температури. Керування відбувається ШІМ-сигналом з обчисленим вихідним значенням. [13]

Функція термопари полягає в тому, щоб відчувати різницю в температурі між двома кінцями проводів. Гарячий спай термопари можна зчитувати від  $0^{\circ}\text{C}$  до  $+1023.75^{\circ}\text{C}$ . Холодний кінець (температура навколишнього середовища плати, на якій встановлено MAX6675) може коливатися лише від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ . Поки температура на холодному кінці коливається, MAX6675 продовжує точно відчувати різницю температур на протилежному кінці. MAX6675 виявляє та коригує зміни температури навколишнього середовища за допомогою компенсації холодного спаю. Пристрій перетворює показання температури навколишнього середовища в напругу за допомогою температурного діода. Щоб виконати фактичне вимірювання температури термопари, MAX6675 вимірює напругу на виході термопари та чутливого діода. Внутрішня схема пристрою передає напругу діода (датчик температури навколишнього середовища) і напругу термопари (датчик дистанційної температури мінус температура навколишнього середовища) до функції перетворення, що зберігається в АЦП, для обчислення температури гарячого спаю термопари (рис.2.2). [12,14]

Оптимальна продуктивність MAX6675 досягається, коли холодний спай термопари та MAX6675 мають однакову температуру. MAX6675 містить обладнання для формування сигналу для перетворення сигналу термопари в напругу, сумісну з вхідними каналами АЦП.

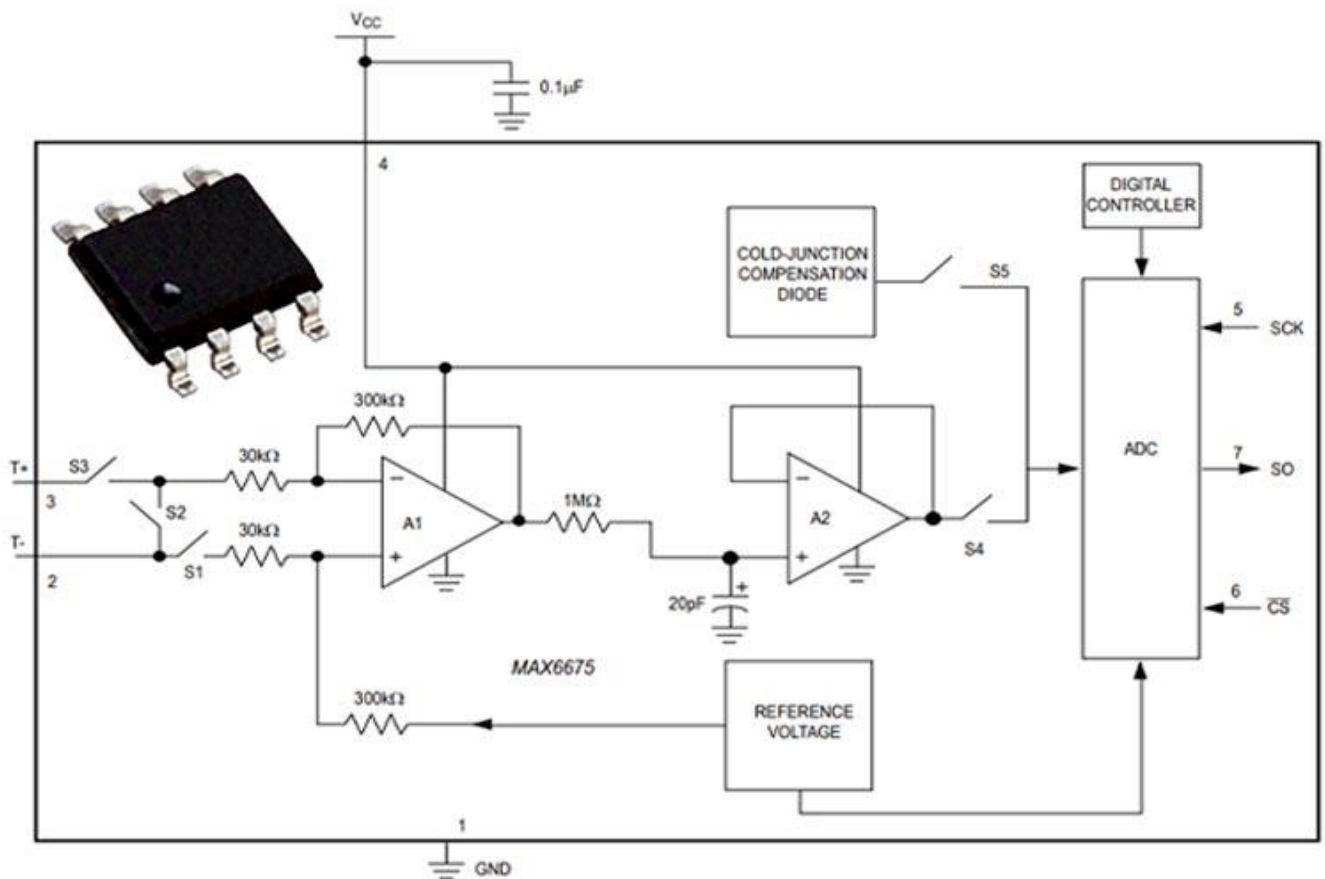


Рис. 2.2. Схема ввімкнення К-термопарі MAX6675 [14]

Входи T+ і T з'єднуються з внутрішньою схемою, яка зменшує шумові помилки від проводів термопарі. Додаткову інформацію можна знайти в таблиці даних мікросхеми MAX6675. [14]

## 2.2 Принципова схема регулятора температури з PID-підтримкою

MAX6675 – це модуль К-термопарі в цифровий перетворювач із компенсацією холодного спаю, який підключається до Arduino згідно зі схемою (рис.2.3).. Живлення схеми +5 В на Arduino. Крім того, щоб встановити температуру та змінити режими, використовуємо загальний кодер. На OLED-дисплеї 128x64, відображаються дані про температуру, а також встановлена температура. Натискаючи кнопку на поворотному регуляторі, можемо змінювати два режими: один для встановлення температури та інший для моніторингу її за допомогою термопарі. [14-17]

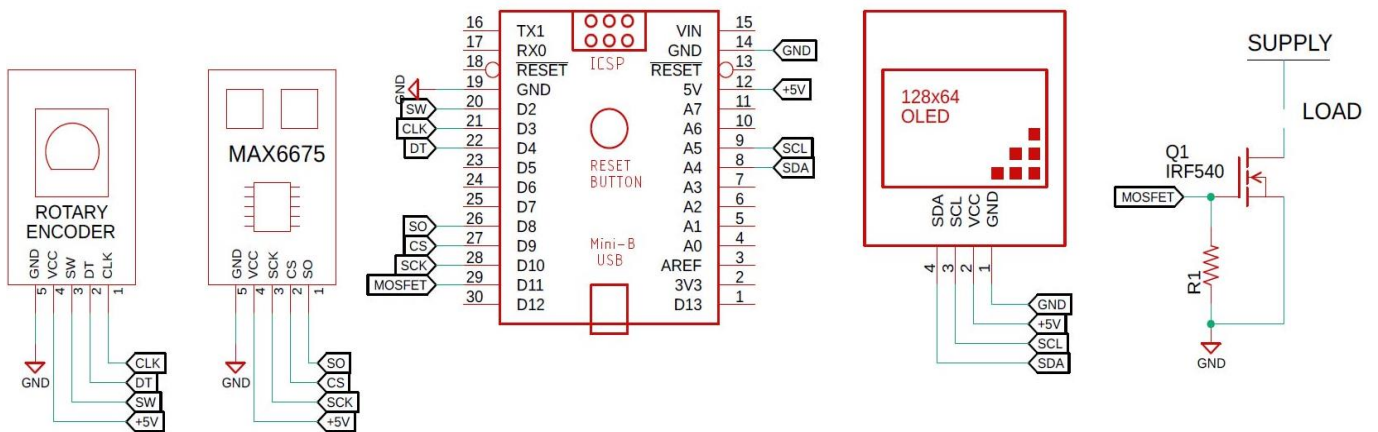


Рис. 2.3. Принципова схема регулятора температури з PID-підтримкою [14]

Для перевірки схеми використовується наступне налаштування: підключається мультиметр для відображення робочого циклу вихідного ШІМ-сигналу, який надходить від контакту 11 Arduino. Як нагрівач використовується вихід 3D-принтера, який містить нагрівальний елемент 12 В, для живлення Arduino використовується блок живлення 5 В від ПК, а для живлення нагрівального елемента - це зовнішнє джерело живлення 12 В.

Тепер, щоб встановити температуру, потрібно натиснути кнопку поворотного енодера, який встановлює задану або цільову температуру алгоритму PID - регулятора, після встановлення натискається кнопка ще раз, щоб зробити зміни постійними, і блок нагрівача почне нагріватися. Робочий цикл також може збільшуватися (рис. 2.4). [14,15]

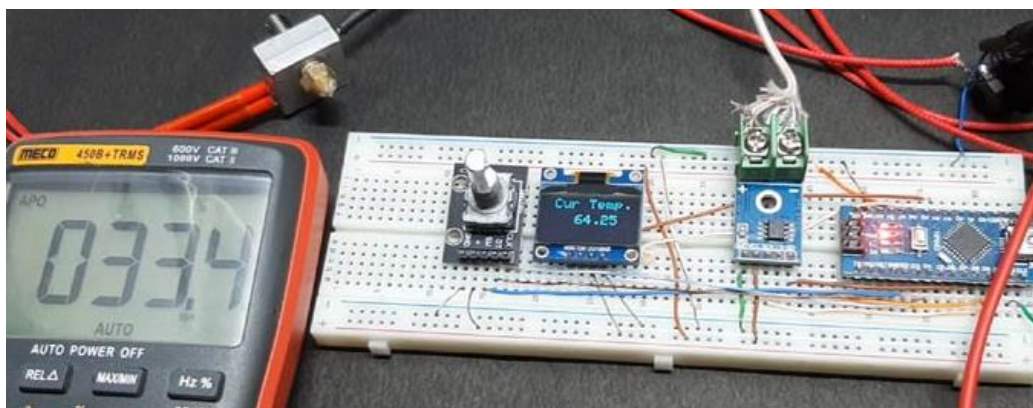


Рис. 2.4. Перевірки роботи схеми PID-регулятора [15]

Після досягнення бажаної температури робочий цикл ШІМ зменшується, і можна спостерігати певний сплеск у робочому циклі, коли контролер намагається компенсувати похибку та збільшити температуру.

Незважаючи на різноманітність принципів дії первинних перетворювачів температури, а, отже, на особливості їх параметрів і характеристик, спільними для них є:

- діапазон вимірюваних температур;
- межі зміни вихідного сигналу або вихідного параметра;
- чутливість в робочій точці або в кількох точках робочого діапазону;
- межі допустимих похибок;
- умови експлуатації;
- середній ресурс роботи або ймовірність безвідмовної роботи за певний період часу.

Крім цього, кожен тип первинного перетворювача температури має специфічні параметри і характеристики, як, наприклад, номінальний опір та максимальна розсіювана потужність для терморезисторів; максимальна генерована потужність для термопар, яка визначається її омичним опором; для діодів і транзисторних р–п-переходів – максимальна зворотна напруга та максимальний прямий струм; номінальна відстань до об'єкту вимірювання для пірометрів тощо. [16]

## РОЗДІЛ 3

### ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ВІД ПЕРЕГРІВУ

#### 3.1 Захист від перегріву в блоці живлення

Захист від перегріву в блоці живлення – це система захисту, яка вимикає джерело живлення, коли внутрішня температура перевищує безпечне значення. Схема використовується для моніторингу та генерування тригерного сигналу, який запускає процес відключення при високих температурах. Високі температури можуть виникнути в джерелі живлення через різні фактори, такі як несправні компоненти, перевантаження, перенапруга в джерелі живлення, несправна система охолодження, заблокована вентиляція або інші фактори, які впливають на компоненти. [16]

Постійно високі температури є небажаними та можуть призвести до несправності або більшого пошкодження джерела живлення, підключених ланцюгів або наступного обладнання. Таким чином, захист від перегріву гарантує, що джерело живлення працює в межах безпечної розрахункової температури, і відключає джерело живлення щоразу, коли воно перевищується.

Тепловий захист досягається завдяки зосередженню уваги на дизайні друкованої плати, корпусу та радіатора. Посилений захист від перегріву подовжує термін служби компонентів джерела живлення, що призводить до підвищення ефективності та надійності. Захист реалізується різними способами, що визначаються такими факторами, як обсяг простору, вимоги до рівня шуму, відповідність регуляторів та інших стандартів.

По суті, датчик температури, такий як термістор NTC або PTC, інтегральні схеми, вбудовані датчики або стабілітрони використовуються для захисту пристроїв у світлодіодних додатках або навіть блоків живлення від перегріву. Як тільки внутрішня температура перевищує задану межу, схема захисту від перегріву вимикає джерело живлення, таким чином запобігаючи подальшому підвищенню температури та можливному пошкодженню. [15,17]

У типовій системі захисту від перегріву пара термісторів зазвичай приєднується до радіатора. Один із термісторів підключений до схеми керування вентилятором і використовується для автоматичного регулювання швидкості вентилятора залежно від температури радіатора. Інший термістор підключений до схеми захисту від перегріву і запускає процес вимкнення, якщо температура перевищує безпечне значення (рис.3.1). [16-17]

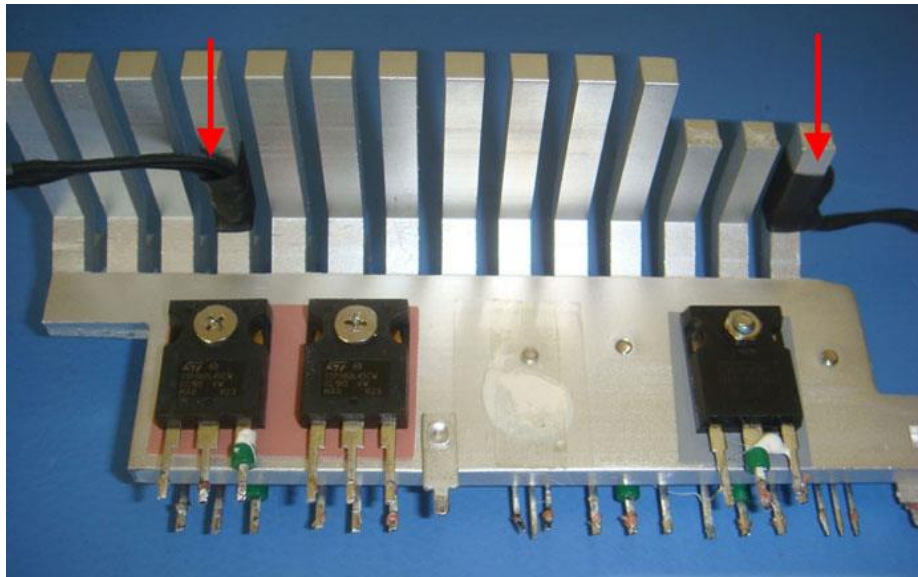


Рис. 3.1. Блок живлення з двома термісторами на радіаторі (червоні стрілки) [16]

Типова система захисту джерела живлення, що використовує мікросхему моніторингу та керування, показана на рис.3.2 нижче з одним кінцем термістора, підключеного до мікросхеми. При високих температурах опір термістора NTC зменшується, і струм буде більше. Це призведе до підвищення напруги на резисторі RT. Це визначається мікросхемою моніторингу, яка ініціює процес вимкнення, коли перевищено встановлений ліміт.

Термістори з негативним температурним коефіцієнтом (NTC) найчастіше використовуються для вимірювання температури та контролю за наявним методом захисту. Це пов'язано з їх низьким співвідношенням ціна/продуктивність і малими розмірами упаковки. Час відгуку, точність і температурний градієнт визначаються способом кріплення термістора. [16-18]

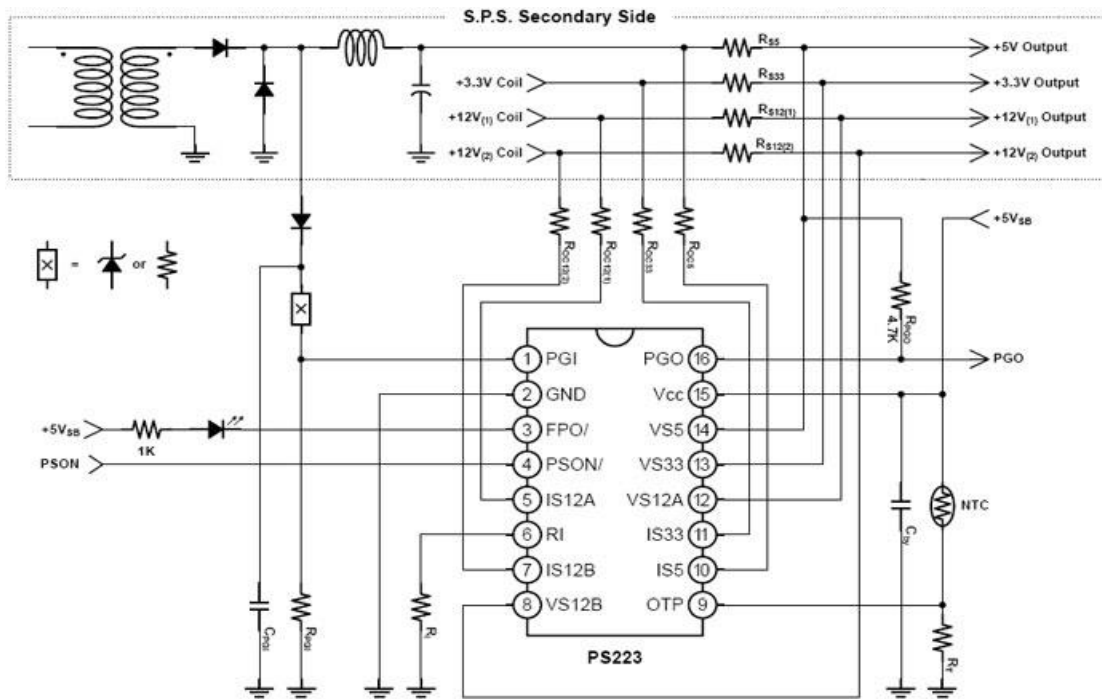


Рис.3.2. Типова схема захисту від перегріву з використанням термістора NTC [17]

### 3.2 Система захисту від перегріву процесора на ІМС MAX6656

Теплові проблеми в схемі можна виявити, вимірявши температуру друкованої плати, температуру кристала процесора або іншої мікросхеми за допомогою термочутливого транзистора та температури повітря в корпусі. Контроль температури друкованої плати допомагає виявити перегрів чіпів поблизу датчика. Моніторинг температури кристала процесора, FPGA або іншого потужного чіпа, який має вбудований датчик теплового моніторингу, може дуже швидко виявити небезпечні температурні умови до того, як вартісний пристрій буде пошкоджено перегрівом. Моніторинг температури повітря може вказувати на такі умови, як несправність або блокування вентилятора охолодження. [20]

Легкодоступні мікросхеми моніторингу температури дозволяють точно автоматизовано вимірювати температуру плати та дистанційного термодіода. Однак вони погано справляються з вимірюванням температури повітря. Вони добре вимірюють температуру плати, оскільки вони знаходяться в прямому тепловому контакті з платою через свої виводи. Але якщо температура повітря та плати не однакова, вони не можуть відчуту температуру повітря.

Одним із способів вимірювання температури повітря є використання NTC (негативного температурного коефіцієнта) термістора з довгими проводами. Довгі проводи допомагають ізолювати температуру елемента NTC від температури плати. Спеціальні датчики температури повітря з довгими проводами доступні у виробників термісторів. Щоб виміряти температуру повітря в цьому колі, з'єднується NTC і резистор послідовно, щоб утворити ділянку напруги. Вимірюється напруга на послідовному резисторі [14-20]

Простішим і надійнішим є спосіб об'єднання всього моніторингу в одну інтегровану мікросхему. Схема на рис. 3.3 вимірює та контролює температуру процесора, друкованої плати та навколишнього середовища. MAX6656 — це монітор температури та напруги, який безперервно фіксує температуру двох зовнішніх термосенсорних транзисторів, власну температуру, напругу живлення та три зовнішні напруги. Усі виміряні величини порівнюються з програмованими межами температури та напруги. Якщо значення перевищені за допустимі, то видається сигнал тривоги. [18]

Інтегральна мікросхема (ІМС) MAX6656 вимірює власну температуру матриці, а отже, і температуру плати з точністю  $1,5^{\circ}\text{C}$  від  $60^{\circ}\text{C}$  до  $100^{\circ}\text{C}$ . У тому самому температурному діапазоні зовнішні мікросхеми з транзисторами теплового датчика контролюються з точністю до  $1,0^{\circ}\text{C}$ . Зовнішні мікросхеми можуть бути двома центральними процесорами або іншою комбінацією віддалених пристроїв. Одним із транзисторів віддаленого датчика може бути дискретний транзистор, який вимірюватиме температуру плати на деякій відстані від MAX6656. Використовується конденсатор ємністю  $2,2\text{ нФ}$  на виходах ІМС MAX6656, для фільтрування зовнішнього шуму, який може викликати похибку вимірювання температури. [17,18]

Зв'язок між опором термістора та його температурою дуже нелінійний, але в обмеженому температурному діапазоні, коли використовується правильний послідовний резистор, зв'язок може бути відносно лінійним. Схема на рис.3.3 оптимізована для гарної лінійності з температурою термістора в діапазоні приблизно від  $20^{\circ}\text{C}$  до  $70^{\circ}\text{C}$ , що призводить до похибки лінійності менше  $0,8^{\circ}\text{C}$ .



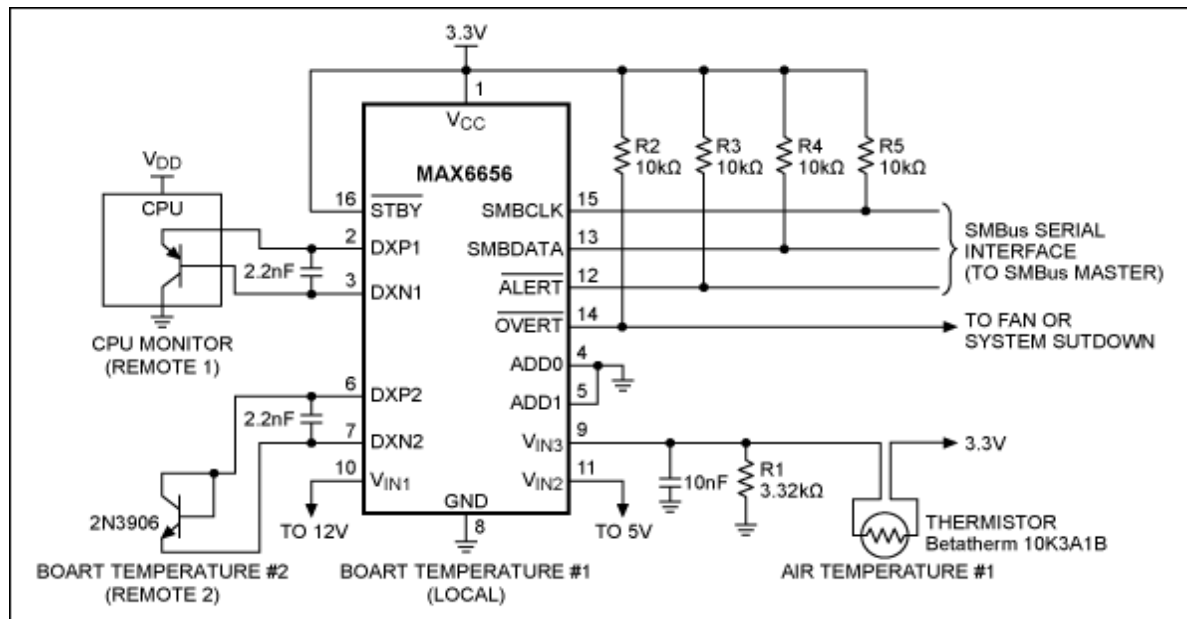


Рис.3.3. Схема контролю температури процесора, друкованої плати та повітря в ПК [20]

Середній нахил даного діапазону температур становить  $29,35 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$ , а вхід монітора напруги  $V_{IN3}$  має значення  $LSB \ 11,9 \text{ мВ}$ . Це призводить до зважування  $LSB \ 0,405^\circ\text{C}/LSB$ . При  $20^\circ\text{C}$  напруга на  $R1$  номінально становить  $693 \text{ мВ}$ , що відповідає вимірюваному коду 46 (десятковий).

Точність вимірювання температури навколишнього середовища залежить від комбінації термістор/резистор, підключеної до точної опорної напруги. Щоб мінімізувати витрати в цій схемі, термістор і  $R1$  просто підключаються до напруги живлення  $MAX6656$ . Це може спричинити похибку на кілька градусів, але,  $MAX6656$  відстежує власну напругу живлення, дозволяючи виправляти будь-які похибки напруги живлення в програмному забезпеченні. [18-20]

Через порт SMB можна встановлювати граничні значення температури та напруги. Коли будь-яка температура (або напруга) виходить за межі налаштованого діапазону, підтвержується активний низький рівень ALERT. Також є можливість встановити додаткове обмеження для кожної з локальних і віддалених температур транзистора, щоб створити активний низький вихід OVERT, який можна використовувати для активації охолоджуючого вентилятора або для вимкнення системи. [20]

## ВИСНОВКИ

1. В ході виконання кваліфікаційної роботи проаналізовано основні типи датчиків температури, які використовуються в системах захисту від перегріву. Встановлено, що використовуються найчастіше чотири типи датчиків в сучасній електроніці: термопари, RTD (резистивні датчики температури), термістори та напівпровідникові інтегральні схеми (ІС). Методи вимірювання температури поділяються на контактні (наприклад, термометри опору, термоелектричні термометри, ) і безконтактні (пірометри).

2. Термопари є найбільш поширеним типом датчика температури. Термопари мають автономне живлення, не потребують збудження, можуть працювати в широкому діапазоні температур і мають швидкий час відгуку. Найпопулярнішим є тип К. Характеристики включають широкий температурний діапазон (до 1250°C), низьку вартість, дуже низьку вихідну напругу (порядку 40 мкВ на 1°C для типу К), розумну лінійність і помірно складне формування сигналу (компенсація холодного спаю та підсилення). Термістори схожі на RTD тим, що зміна температури викликає зміну опору. Основна відмінність між RTD і термістором полягає в тому, що чутливий елемент RTD – металевий, а у термістора – керамічний або полімерний матеріал. У більшості випадків термістори дешевші, але також менш точні, ніж RTD. Перетворювач температури ІС – це двополюсна монолітна ІМС, на виході якої є струм або напруга, прямопропорційні температурі Т/К.

3. PID-контроль температури працює за допомогою математичної формули для обчислення різниці між поточною температурою та заданим значенням. Також ним підтримується необхідна потужність, щоб цільова температура системи захисту залишалася постійною.

4. Хоча мікросхеми моніторингу температури та використання термісторів NTC з довгими проводами можуть контролювати температуру плати, процесора та повітря, ефективнішим способом захисту системи від перегріву є консолідація всього моніторингу в одній інтегральній схемі MAX6656.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горват А.А Фізичні основи сенсорики. Навчальний посібник/ Горват А.А., Височанський Ю.М. Ужгород, УжНУ, 2007 - 120 с.
2. Поліщук Є.С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин. Підручник./ Поліщук Є.С. Львів: Львівська політехніка. 2000. – 360 с.
3. <https://www.digikey.com/en/blog/types-of-temperature-sensors/> - Types of Temperature Sensors, дата доступу: 05.04.2023 р.
4. [https://www.lpi.usra.edu/decadal/sbag/topical\\_wp/EdwardRMartinez.pdf/](https://www.lpi.usra.edu/decadal/sbag/topical_wp/EdwardRMartinez.pdf/) - THERMAL PROTECTION SYSTEM SENSORS, дата доступу: 12.04.2023 р.
5. <https://www.analog.com/en/design-notes/selecting-temperature-sensors-for-system-measurement-and-protection.html/>- Selecting Temperature Sensors for System Measurement and Protection, дата доступу: 15.04.2023 р.
6. <https://www.instrumentationtoday.com/resistance-temperature-detector-rtd/2011/09/> - Resistance Temperature Detector (RTD), дата доступу: 25.04.2023 р.
7. Невлюдов І.Ш. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ. 2019. 366 с.
8. <https://www.kvota.com.ua/statti/termopara/> - Термопара та принципи її застосування, дата доступу: 29.04.2023 р.
9. <https://illustrationprize.com/uk/195-temperature-transducer.html/> - Датчик температури, дата доступу: 29.04.2023 р.
10. <https://www.ablic.com/en/semicon/products/sensor/temperature-sensor-ic/intro/> Digital Output Temperature Sensor ICs, дата доступу: 05.05.2023 р.
11. <https://forumautomation.com/t/ic-integrated-circuit-temperature-transducers/3509/> -The Integrated circuit temperature sensor, дата доступу: 06.05.2023 р.
12. Сусліков Л.М. Первинні вимірювальні перетворювачі фізичних величин: Навчальний посібник/ Сусліков Л.М., Студеняк І.П., Ужгород: Видавництво УжНУ, 2018. - 311 с.
13. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/max6675>

[.pdf/](#) - Даташит МАХ6675, дата доступу: 09.05.2023 р.

14. <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-pid-temperature-controller/> - Arduino PID Temperature Controller using MAX6675 K-Thermocouple to Digital Converter IC, дата доступу: 10.05.2023 р.

15. Бурштинський М.В., Хай М.В., Харчишин Б.М. Давачі. –Львів: ТЗОВ «Простір М», 2013. – 184 с.

16. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник / Є.С. Поліщук, М.М.Дорожовець, В.О Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; за ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів:Видавництво «Бескид Біт», 2003. –544 с.

17. <https://sitemasters.com.ua/elektroobladnannja/datchiki-vologosti-i-temperaturi-dlja/> - Датчики температури, принцип дії різних типів, дата доступу: 14.05.23 р.

18. <https://www.sunpower-uk.com/glossary/what-is-temperature-protection/> - Over Temperature Protection, дата доступу: 24.05.23 р.

19. <https://www.analog.com/en/technical-articles/thermal-protection-in-lowcost-systems-part-1.html> -Thermal Protection in Low-Cost Systems, Part 1, дата доступу: 29.05.2023 р.

20. <https://www.analog.com/en/technical-articles/protect-a-system-from-overheating-by-monitoring-board-cpu-and-air-temperatures-with-a-single-circuit.html/> - Protect a System from Overheating by Monitoring Board, CPU, and Air Temperatures with a Single Circuit, дата доступу 02.06.2023 р.

**СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ ДО РОБОТИ**