

Лабораторна робота № 9 вивчення термоелектричних перетворювачів

Мета роботи:

1. Вивчити будову та принцип дії термоелектричних перетворювачів.
2. Дослідити залежність величини *термо-е.р.с.* термопари від температури. Побудувати номінальну функцію перетворення (градувальну характеристику) вимірювального елемента та визначити його статичну чутливість в робочому інтервалі температур.
3. Виробити навички вибору термоелектричних перетворювачів для вимірювання температури певного діапазону та роботи з ними при визначенні температури нагрітих фізичних тіл.

Обладнання:

Термопара, мілівольтметр, електроплитка, два термометри, калориметр, хімічний стакан, дві пробірки з маслом, лід, вода, нагріте фізичне тіло.

Завдання:

1. Зняти залежність величини *термо-е.р.с.* термопари від температури.
2. Побудувати номінальну функцію перетворення (градувальну характеристику) термопари.
3. Визначити статичну чутливість термопари в діапазонах температур, вказаних керівником заняття.
4. Визначити температуру нагрітого тіла.

Короткі теоретичні відомості:

Термоелектричні перетворювачі (термоелементи або термопари) широко застосовуються для контролю і вимірювання температури різних фізичних об'єктів. Одержання вихідної величини у вигляді електричного сигналу створило унікальні умови для використання термопар в автоматизованих системах вимірювання, управління температурою і контролю за нею.

Термоелектричним

перетворювачем (термоелементом або термопарою) називається чутливий елемент, що складається з двох електрично з'єднаних різнорідних металевих провідників (або напівпровідників) і перетворює значення вимірюваної температури в електрорушійну силу.

Широкому поширенню термопари зобов'язані в першу чергу своїй простоті, надійності конструкції, зручності монтажу, можливості працювати в

широкому інтервалі температур ($-200^{\circ}\text{C} \div +2500^{\circ}\text{C}$) та вимірювання її локального значення навіть в агресивних середовищах. Термопари характеризуються також відносно малою інерційністю та високою точністю вимірювання ($\Delta T = 0,01\text{K}$).

Використання термоелектричних перетворювачів обмежується лише малою чутливістю їх при високих температурах та необхідністю підсилення відносно слабого сигналу постійного струму.

В основі принципу дії термоелектричних перетворювачів, що належать до перетворювачів генераторного типу, лежить *ефект Зеебека*. Суть його полягає у виникненні електричного струму в замкнутому електричному колі з різнорідних металів (див. рис. 11), внаслідок генерації так званої **термоелектрорушійної сили** (*термо-е.р.с.*) при наявності різниці температур ($\Delta T = T_2 - T_1$) їх контактів (*спаїв*) яка згідно електронної теорії та експериментальних досліджень пропорційна різниці температур спаїв:

$$E = K(T_2 - T_1), \quad (5.1)$$

де: ***K*** – **статична чутливість елемента (питома термо-е.р.с.)**, величина, що чисельно рівна е.р.с. при різниці температури спаїв в 1 K.

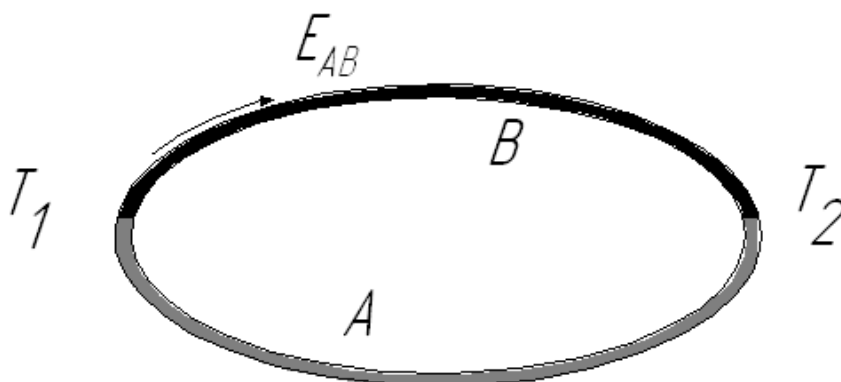


Рисунок .11. .Пояснення ефекту Зеебека.

Залежність термо-е.р.с E від різниці температур гарячого та холодного спаїв ΔT називають **номінальною функцією перетворення або градувальною характеристикою термопари**.

Виникнення термо-е.р.с. пояснюється порушенням термодинамічної рівноваги електронів провідності на контакті двох металів.

Для конкретних термопар існує певний інтервал температур, в якому статична чутливість ***K*** не залежить від температури, тобто величина термоелектрорушійної сили (5.1) прямо пропорційна різниці температур спаїв термопари.

Статична чутливість термопари залежить також від властивостей матеріалів, що її створюють і лежить в межах від кількох мкВ/К (метали) до

кількох mB/K (напівпровідники). Спай, що нагрівається до температури об'єкта T називається *гарячим* або *робочим*, а спай з постійною температурою T_0 , яка підтримується за допомогою термостата – *холодним* або *вільним* (див. рис. 11). Решта схеми має температуру навколишнього середовища.

Провідники A і B називаються *термоелектродами*.

У сполученні з електровимірювальним приладом термопара утворює *термоелектричний термометр*. Вимірювальний прилад або електронну вимірювальну систему підключають до кінців термоелектродів – **проста термопара** (див. рис. 12а), або в розрив одного з них – **диференційна термопара** (див. рис. 12б).

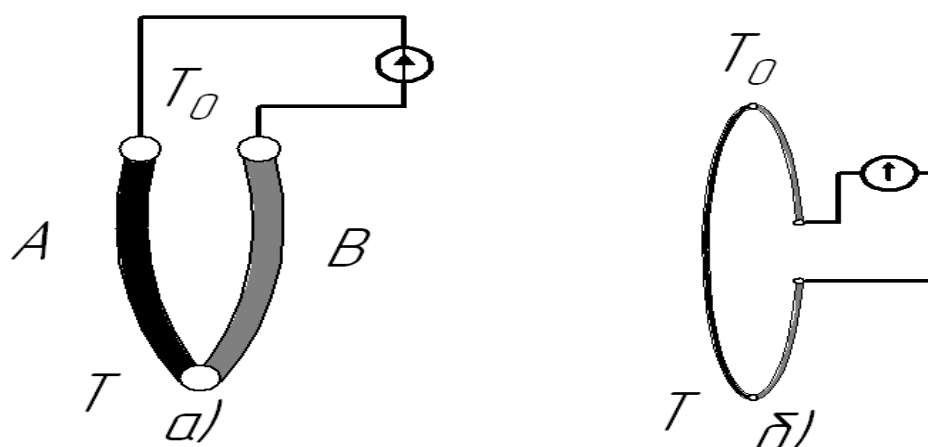


Рисунок 12. Способи підключення термопари до вимірювального приладу.

В точках підключення провідників термопари до вимірювальної системи виникають додаткові термо-е.р.с. У результаті їхньої дії на вхід вимірювальної системи фактично надходить сума сигналів від робочої термопари та від "термопар", що виникли в точках підключення (див. рис. 13).

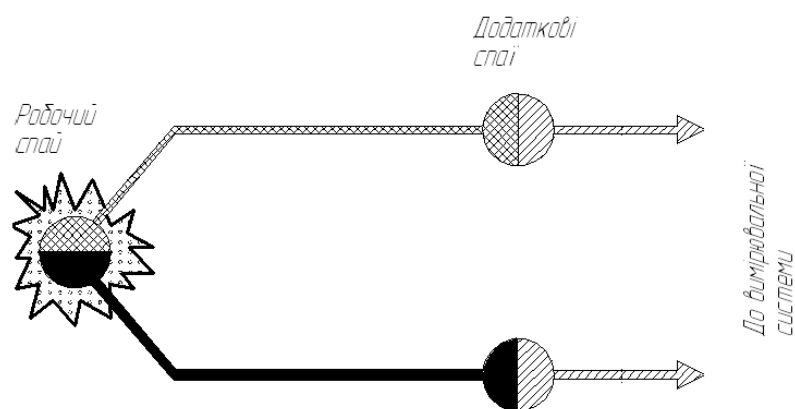


Рисунок 13. Виникнення додаткових *термо-е.р.с* в точках підключення провідників термопари до вимірювальної системи.

Найпростішим способом усунення цього ефекту є стабілізація температури холодного спаю за допомогою поміщення його в посудину з льодом у стані фазового перетворення або в термостат.

На практиці при вимірюванні температур широко використовується техніка "компенсації холодного спаю": Температура холодного спаю вимірюється іншим датчиком температури, а потім величина термо-е.р.с. холодного спаю програмно або апаратно віднімається від сигналу термопари (див. рис. 14).

Точки підключення провідників термопари до вимірювальної системи повинні мати однакову температуру з датчиком температури холодного спаю, тобто перебувати в *ізотермичній зоні*. Цю вимогу необхідно враховувати при конструюванні вимірювальних систем.

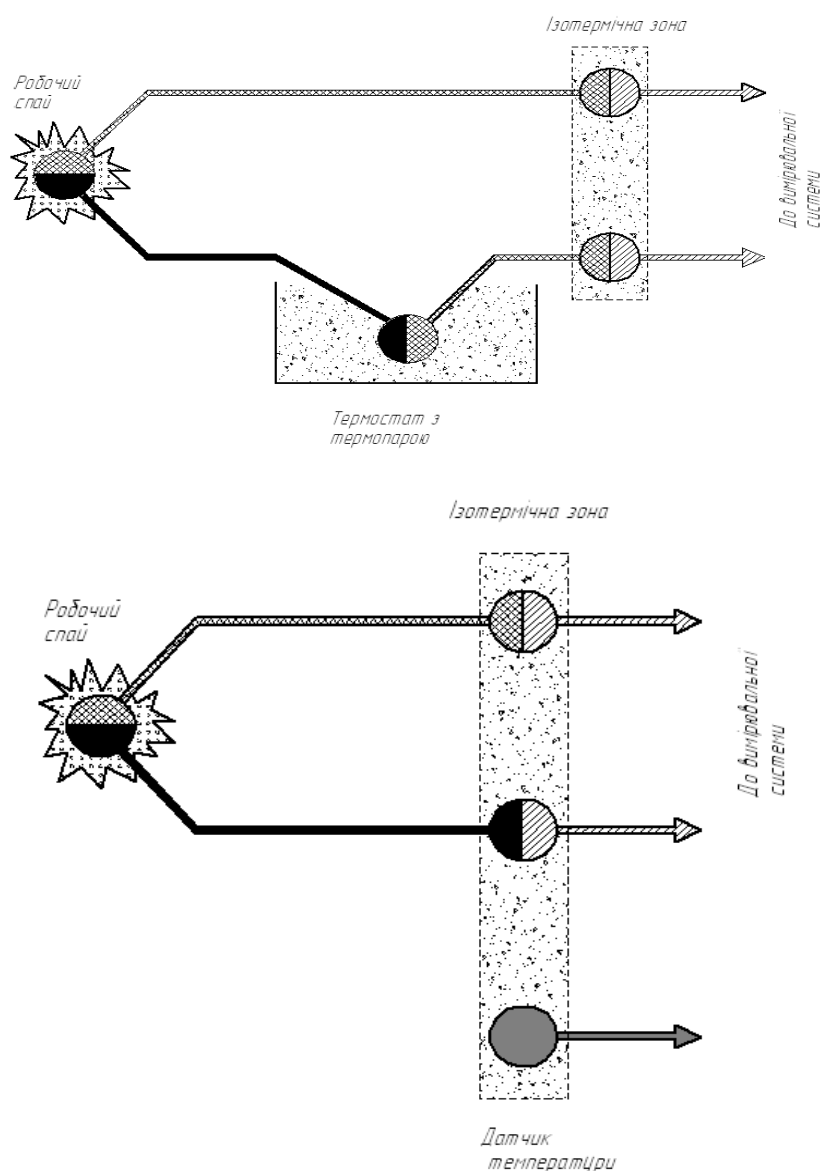


Рисунок 14. Техніка компенсації холодного спаю.

Для дистанційного підключення термопар використовуються подовжувальні або компенсаційні проводи. Подовжувальні проводи виготовляються з того ж матеріалу, що й термоелектроди. Компенсаційні ж проводи

використовуються в основному з термопарами із благородних металів. Вартість цих проводів незначна, а склад – відмінний від складу термоелектродів. Вимоги до компенсаційних проводів визначені в стандарті МЕК 60584-3.

Електроізолюючі матеріали для провідників термопар обирають залежно від робочої температури: 60–80 °С – гума; 100–120 – шовк; 150–250 – емаль; 250–700 – скляні буси, азбест; 800–1200 – порцелянові та керамічні буси, азбест, насичений розчином рідкого скла та каоліну. Зовні термопара при необхідності захищається кожухом із міді чи латуні (до 400 °С), сталі (до 700 °С), сталі з нікелевим покриттям (до 1000 °С), сталі з покриттям із вогнетривкої емалі, кварцу, порцеляни з глазурюванням (при більш високих температурах).

Залежно від робочих температур на практиці застосовують різні типи термопар, основні характеристики яких наведені в таблиці 1 додатку Б (Держстандарт 6616-94 "Перетворювачі термоелектричні"). За конструкцією та призначенням розрізняють термопари: поверхневі та ті що занурюють; зі звичайною, вибухобезпечною, вологонепроникною або іншою оболонкою, а також без оболонки; звичайні, вібростійкі та ударостійкі; стаціонарний та інш.. В якості термопар з неблагородних металів найбільше поширення отримали термопари: хромель – алюмель ($T=1300^{\circ}\text{C}$) та хромель – копель (гранична вимірювана температура $T=900^{\circ}\text{C}$). Це стандартні термопари, які серійно виготовляються на Україні. На рисунку 15. показаний зовнішній вигляд термопари, в якій термоелектроди поміщені в сталеву або керамічну захисну трубку 1, що підтримується штуцером 2. Робочий кінець термопари розташований в закритій частині кожуха. Вільні кінці термоелектродів з'єднані з двома затискачами, які закріплені в голівці 3

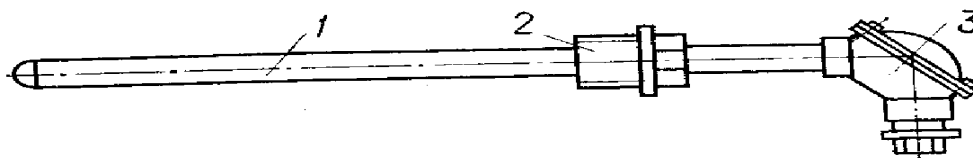


Рисунок 15.

Зовнішній вигляд термопари

На рисунку 16 представлені залежності термо-е.р.с від температури найпоширеніших типів термопар, у яких температура холодного спаю підтримується рівною 0°С. З нього видно, що термопари типу Е найбільш чутливі й генерують найбільшу термо-е.р.с при тій самій зміні температури ніж інші. З іншого боку, термопари типу S є найменш чутливими. Нажаль, у більшості термопар ці залежності в деяких діапазонах температур носять нелінійний характер.

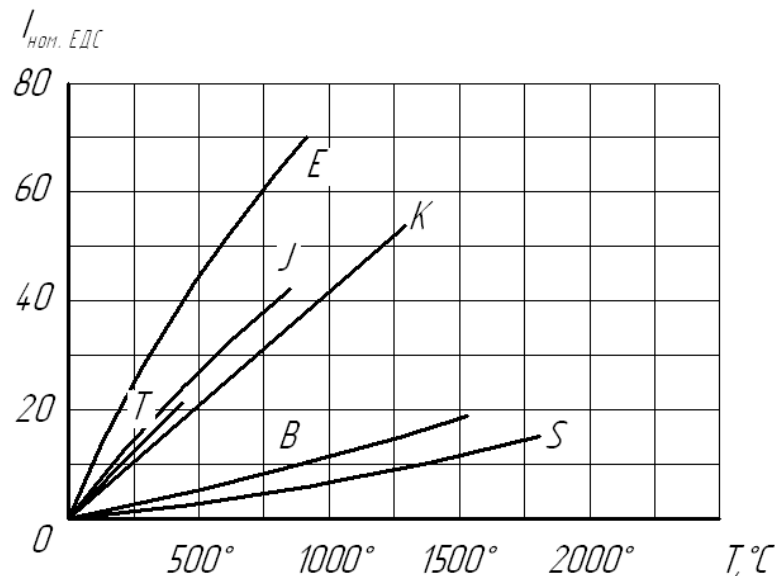


Рисунок 16. Залежність ЕДС від температури найпоширеніших типів термопар

При виборі термопар для вимірювання температури на виробництві в деякому діапазоні варто вибирати ту термопару, коефіцієнт лінійності якої не змінюється в межах цього діапазону. Похибки від нелінійності характеристик термопар сягають 5%. Крім того, джерелами похибок термопар є нестабільність температури холодних спайів, зміна опору навантаження, якщо вона співрозмірна з опором термопар, відхилення параметрів подовжувальних проводів від розрахункових.

Для досягнення високої точності вимірів термопарного термометра у всьому діапазоні робочих температур необхідне його калібрування. У ДСТУ 50431-92 «Термопар» наведені види і порядок полінома, а також коефіцієнти поліноміальної апроксимації залежності вихідної напруги термопар від температури, які визначаються по градуювальним таблицям для кожного типу термопар.

У таблиці 2 додатку Б наведені особливості й галузі застосування деяких типів термопар.

Технічні термопары характеризуються достатньо великою інерційністю. Суттєве зменшення інерційності можливе при використанні термопар спеціальних конструкцій. Наприклад, у хромель – копелевих і хромель – алюмелевих, використовується малоінерційний наконечник з нержавіючої сталі. Інерційність термопар суттєво зменшується, якщо гарячий спай безпосередньо знаходиться в фізичному контакті з робочим середовищем. В залежності від конструкції постійна часу термопар складає від кількох секунд до кількох хвилин.

Порядок виконання:

1. Зібрати схему згідно з рисунком 17. У роботі досліджується мідно-константанова термопара. Спаї термопар опускають в пробірки з мастилом, в якому знаходяться термометри. Одну пробірку розміщують в калориметрі з льодом у стані фазового перетворення (холодний спай, $t = 0^{\circ}\text{C}$), другу – в хімічному стакані з водою, що нагрівається за допомогою електроплитки.
2. Кінці провідників термопар під'єднати до мілівольтметра (гарячий спай під'єднати до клеми "+", холодний спай під'єднати до клеми "-").
3. Перед початком нагріву виміряти значення термо-е.р.с. за допомогою мілівольтметра.
4. Увімкнути плитку. Збільшуючи температуру гарячого спаю, провести вимірювання термо-е.р.с. через кожні 5°C .

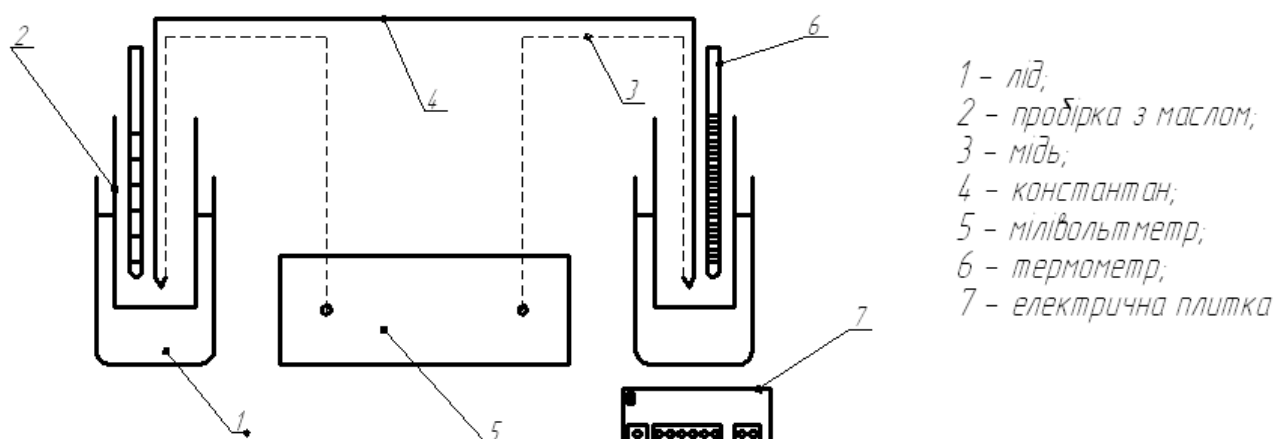


Рисунок 17. Схема експериментальної установки для градуювання термопар:

1 – посудина з льодом; 2 – пробірка з маслом; 3 – мідний провідник термопар;

4 – константановий провідник термопар; 5 – мілівольтметр;

6 – термометр; 7 електрична плитка.

5. Вимкнути електроплитку. При охолодженні води провести таку ж серію вимірювань, як і при нагріванні (процес охолодження може бути прискореним).
6. Результати вимірювань занести в таблицю 5.

Таблиця 5. Значення термо-е.р.с., одержані при нагріванні та охолодженні гарячого спаю термопар.

При нагріванні							При охолодженні						
№ п/п	$t_X,$ °C	$t_H,$ °C	$t_X-t_H,$ °C	$E,$ мВ	$K,$ мВ/°C	$\Delta K,$ мВ/°C	$t_X,$ °C	$t_H,$ °C	$t_X-t_H,$ °C	$E,$ мВ	$K,$ мВ/°C	$\Delta K,$ мВ/°C	

1													

7. За отриманими результатами побудувати графік залежності термо-е.р.с E від температури гарячого спаю T , °C (номінальну функцію перетворення – градувальну характеристику).

8. Визначити статичну чутливість термопар в діапазонах температур, вказаних керівником заняття. Обчислити абсолютну та відносну похибки.

9. Гарячий спай термопар прикласти до нагрітого тіла та виміряти термо-е.р.с. За її значенням та номінальною функцією перетворення досліджуваної термопар знайти температуру нагрітого тіла.

Контрольні питання:

1. Опишіть будову та поясніть принцип дії термопар.
2. Назвіть та дайте визначення основних характеристик термопар.
3. Запропонуйте способи зменшення та усунення впливу вимірювального приладу на вихідний сигнал термопар.
4. Назвіть матеріали, які застосовуються для виготовлення термопар та обґрунтуйте їх вибір.
5. Вкажіть температурний діапазон термопар різного типу.
6. Назвіть причини виникнення похибок при вимірюванні температури за допомогою термопар.
7. Назвіть способи компенсації температури холодних кінців.
8. Дайте означення номінальної функції перетворення термопар та поясніть суть методики її визначення.
9. Запропонуйте способи зменшення інерційності термопар.
9. Вкажіть галузі застосування термопар та наведіть конкретні приклади.