

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Фізико-математичний факультет

Лабораторна робота № 2-7

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРОРУШІЙНОЇ
СИЛИ**

Виконана студ. групи _____

Київ-2025

Лабораторна робота № 2-7

Дослідження термоелектрорушійної сили

Мета роботи: вивчити залежність величини термоЕРС від температури та визначити коефіцієнт термоЕРС термопари.

Прилади та пристрої: установка для дослідження термоЕРС, блок живлення (УІП-2); потенціометр ПП-63; міст постійного струму.

Теоретичні відомості

У 1821 р. Зеебек установив: в замкненому електричному колі, що складається з різнорідних провідників, виникає електрорушійна сила, якщо місця контактів підтримувати мають різні температури. Це явище дістало назву явища Зеебека, а вказана електрорушійна сила – термоЕРС. У найпростішому випадку, коли електричне коло складається з двох різних провідників, воно називається термоелементом або термопарою.

ТермоЕРС залежить тільки від температури гарячого T_1 , холодного T_2 спаїв (контактів), а також від природи матеріалів (провідників або напівпровідників), що утворюють термопару.

У невеликому інтервалі температур термоЕРС \mathcal{E} можна вважати пропорційною різниці температур $\Delta T = T_1 - T_2$ і деякому коефіцієнту α , який називається коефіцієнтом термоЕРС або чутливістю термопари:

$$\mathcal{E} = \alpha T. \quad (7.1)$$

Коефіцієнт термоЕРС α залежить від роду обох матеріалів і від інтервалу температур, в якому досліджується або використовується термопара. Порядок величини коефіцієнта α для металів і сплавів знаходиться в інтервалі $10^{-4} - 10^{-1}$ мВ/К.

Поява в колі термопари струму при створенні різниці температур між спаями означає, що в колі виникають сторонні сили, які діють на носії струму. Ці сторонні сили виникають у місцях спаїв термопари, тому ЕРС термопари є різницею ЕРС у гарячому й холодному контактах:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}(T_1) - \mathcal{E}(T_2). \quad (7.2)$$

З'ясуємо фізичну природу виникнення термоЕРС у спаях термопари. ТермоЕРС обумовлена, в основному, двома причинами.

1. На межі між двома різними металами виникає різниця потенціалів, яка називається внутрішньою контактною різницею потенціалів. Її виникнення можна пояснити, скориставшись моделлю вільних електронів. Розглянемо два різних метали 1 і 2 (рис. 7.1), що знаходяться в контактній за однакової температури, тобто розглянемо один

спай термопари.

Через те, що концентрація електронів у металах різна, виникає, переважно, дифузний потік електронів у напрямі до металу з меншою концентрацією електронів. Припустимо, що концентрація електронів у металі 1 більша, ніж у металі 2. Тоді, внаслідок дифузії, метал 2 зарядиться негативно. Електрони, що перейшли у метал 2, будуть локалізовані біля контакту, оскільки вони утримуються некомпенсованим позитивним зарядом металу 1. Внаслідок цього у місці контакту утвориться подвійний електричний шар (рис. 7.1.а).

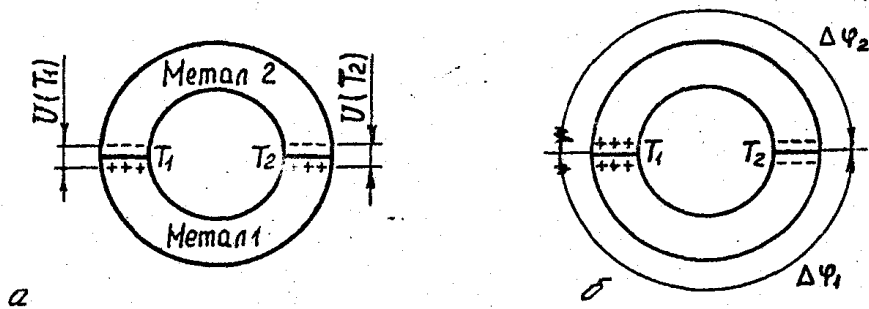


Рис. 7.1

Електричне поле подвійного електричного шару спрямоване так, що перешкоджає подальшій дифузії електронів із першого металу в другий. Дифузія припиняється при деякому значенні різниці потенціалів U між металами. Ця різниця відповідає стану рівноваги між металами і є внутрішньою контактною різницею потенціалів. Контактна різниця потенціалів зосереджена в дуже тонкому приграничному шарі. Для даної пари металів внутрішня контактна різниця потенціалів залежить від температури контакту T :

$$U = U(T).$$

У термопарі виникають дві контактні різниці потенціалів: на гарячому кінці $U(T_1)$ і на холодному $U(T_2)$. Якщо вибрати напрям обходу кола термопарі за годинниковою стрілкою як додатний, то повний приріст потенціалу на спаях

$$\mathcal{E}_{\text{конт}} = U(T_2) - U(T_1).$$

Ця величина називається контактною складовою термоЕРС. Отже, наявність контактної складової термоЕРС зумовлена температурною залежністю контактної різниці потенціалів.

2. Якщо існує перепад температур уздовж провідника, то електрони на гарячому кінці мають вищі швидкості й енергії, ніж на холодному. Внаслідок цього виникає потік електронів від гарячого кінця до холодного, і на холодному кінці збирається додатковий негативний заряд, а на гарячому – залишається некомпенсований позитивний (рис.7.1.б). Цей процес накопичення заряду триватиме доти, доки різниця потенціалів $\Delta\phi$, що виникає при цьому, не стане на перешкоді подальшому стоку, внаслідок чого у провіднику встановиться стаціонарний стан. Різниця потенціалів $\Delta\phi$ між кінцями

провідника буде пропорційною різниці температур:

$$\Delta\varphi = \beta(T_1 - T_2),$$

де β – коефіцієнт пропорційності, який залежить від роду провідника. У термопарі є два метали, в кожному з них є градієнт температур і, отже, виникають дві різниці потенціалів: $\Delta\varphi_1$ та $\Delta\varphi_2$ (рис. 7.1.б). Ці різниці потенціалів дорівнюють

$$\Delta\varphi_1 = \beta_1(T_1 - T_2); \quad \Delta\varphi_2 = \beta_2(T_1 - T_2).$$

Повний приріст потенціалу всередині провідника при обході контуру термопарі за годинниковою стрілкою (раніше цей напрямок було вибрано як додатний) становитиме

$$\mathcal{E}_{об} = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 = \beta'(T_1 - T_2),$$

де $\beta' = \beta_2 - \beta_1$. Величина $\mathcal{E}_{об}$ називається об'ємною складовою термоЕРС.

Повна ЕРС термопарі є алгебраїчною сумою контактної та об'ємної складових:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{конт} + \mathcal{E}_{об} = U(T_2) - U(T_1) + \beta'(T_1 - T_2).$$

Цей вираз можна подати ще й так:

$$\mathcal{E} = (\beta T_1 - U(T_1)) - (\beta T_2 - U(T_2)).$$

Одержаний вираз для термоЕРС доводить справедливість формули (7.2), причому

$$\mathcal{E}(T) = \beta'T - U(T).$$

Опис експериментальної установки та методика вимірювання

Експериментальна установка для вивчення залежності величини термоЕРС від температури складається з нагрівника, всередині якого знаходиться термоопір ТО і один спай термопарі ТП (рис.7.2). Термоопір служить для вимірювання температури гарячого спаю термопарі (при цьому використовується залежність опору термістора від температури).

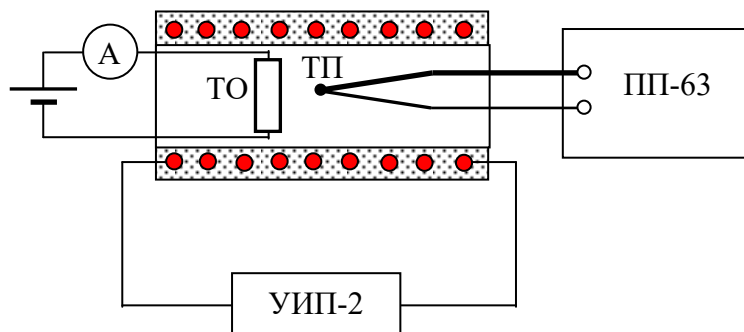


Рис. 7.2

При зміні температури нагрівника величина термоопору змінюється, що зумовлює зміну струму в колі, яка фіксується амперметром А. У лабораторії на робочому столі знаходиться графік відношення сили струму при даній температурі I_t до сили струму при кімнатній температурі $I_t/I_0(t)$ залежно від температури. Гарячий спай термопарі знаходиться безпосередньо біля термоопору, тому його температура практично дорівнює температурі термоопору.

Електрорушійна сила термопарі вимірюється компенсаційним методом за допомогою потенціометра ПП-63. Температуру всередині нагрівника можна плавно змінювати, регулюючи силу струму, що проходить через нього. Напруга для живлення нагрівника подається з виходу "20...300 В" джерела живлення УИП-2.

Порядок виконання роботи

1. Установити ручку регулятора напруги виходу "20...300 В" УИПа в крайню ліву позицію, а перемикач діапазонів цього виходу в позицію "70 В". Увімкнути УИП у мережу та дати прогрітись протягом 5...10 хв.

2. Увімкнути потенціометр ПП-63 (див. Додаток). Зафіксувати значення I_0 – струму термоопору при кімнатній температурі.

3. Установити на виході "20...300 В" напругу близько 5 В. Виміряти за допомогою амперметра струм через термістор R. Повторюючи вимірювання струму через 2...3 хв., встановити момент, коли струм не буде більше змінюватися, що відповідатиме стаціонарному тепловому режиму нагрівника. Записати в таблицю значення струму I_t в усталеному режимі.

4. Виміряти за допомогою потенціометра ПП-63 ЕРС термопарі і занести результати до табл. 7.1.

5. Збільшити напругу в колі нагрівника на 5 В через 2...3 хв повторити вимірювання, вказані у пп. 3, 4.

6. Виконати 10-12 дослідів, збільшуючи кожного разу напругу в колі нагрівника на 5 В (не подавати напругу більшу за 70...80В). Результати дослідів занести до табл. 7.1.

7. Побудувати графік залежності $\mathcal{E}(T)$.

8. Користуючись побудованим графіком $\mathcal{E}(T)$, область зміни температури поділити на 10-15 невеликих однакових інтервали шириною ΔT і визначити в кожному інтервалі відповідний приріст термоЕРС $\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}(T + \Delta T) - \mathcal{E}(T)$. Обчислити для кожного інтервалу коефіцієнт термоЕРС термопари, користуючись формулою $\alpha(T) \approx \Delta \mathcal{E} / \Delta T$. Дані занести до табл. 7.2.

9. Побудувати графік залежності $\alpha(T)$ за даними табл.7.2.

Потенціометр постійного струму ПП-63

ПП-63 є приладом, який призначений для вимірювання напруги, чи ЕРС компенсаційним методом. У даній роботі за допомогою ПП-63 вимірюється ЕРС термопари.

Підготовка приладу до вимірювань

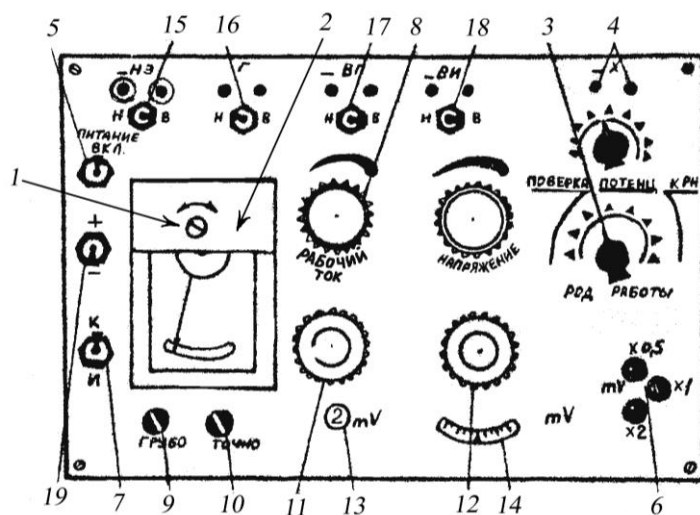


Рис. 7.3

1. Коректором 1 встановити стрілку гальванометра 2 на нуль.
2. Перемикач 3 ("Род работы") виставити в позиції "потенціометр".
3. Підімкнути джерело вимірюваної ЕРС (термопари) до клем 4 ("x"), враховуючи полярність.
4. Перемикач 5 ("Питание") перевести в позицію "Вкл."
5. Перемикач діапазонів 6 поставити в позицію "x 0.5" або "x 1".
6. Провести перевірку робочого струму потенціометра. Для цього необхідно:
 - а) перемикач 7 ("К-И") перевести в позицію "К" (контроль);

Табл. 7.2

T_i , К	293	303	313	323	333	343	353	363	373	383	393
ΔT_i , К		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$\Delta \mathcal{E}_i$, мВ											
$\alpha(T)$, мВ/К											
T_i , К		298	308	318	328	338	348	358	368	378	388

Контрольні запитання

1. У чому полягає явище Зеєбека? Як залежить термоЕРС від температури?
2. Що таке коефіцієнт термоЕРС термопари, і від чого він залежить?
3. Чому виникає контактна різниця потенціалів? Що таке контактна складова термоЕРС?
4. Чому виникає різниця потенціалів між кінцями провідника, в якому існує градієнт температур? Що таке об'ємна складова термоЕРС?
5. Що таке сторонні сили й електрорушійна сила?
6. У чому полягає суть мостового методу вимірювання опору?
7. Як формулюється перше правило Кірхгофа? Друге правило Кірхгофа?
8. У чому полягає компенсаційний метод вимірювання ЕРС і напруги?
9. Як користуватися потенціометром ПП-63 для вимірювання ЕРС?

Література

1. Бушок Г. В. Венгер. Курс фізики : у 3 кн. Кн. 2. Електрика і магнетизм: Навч. посіб. – К: Вища школа, 2003. §§35-37. С. 95 – 103.
https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2015/Byshok_P2_2003_278.pdf
2. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. В 3 т. Т.2 Електрика і магнетизм. К.: Техніка, 2001 р.