

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ТВЕРДИХ ТІЛ

МЕТА РОБОТИ: дослідити залежність опору терморезистора від температури.

7.1 Теорія

Терморезистор – це прилад, опір R якого залежить від температури. Терморезистор виготовляється з напівпровідникової кераміки. Оскільки опір напівпровідників зменшується з ростом T за законом

$$R = R_0 \exp\left(\frac{\Delta E_g}{2kT}\right), \quad (7.1)$$

де ΔE_g – ширина забороненої зони, то і опір терморезистора також різко зменшується при його нагріванні. Коли по терморезистору пропускають значний струм, то він нагрівається і його опір зменшується. Це приводить до ще більшого зростання струму і відповідно температури. Процес набуває характеру лавини. Тому в мережах, де знаходиться терморезистор, послідовно з ним вмикають додатковий (баластовий) опір. Це захищає електричну мережу від перевантаження. При нагріванні терморезистор перестає бути лінійним опором і закон Ома для нього не виконується (тобто не існує прямо пропорційної залежності між напругою та струмом $U=I \cdot R$). Якщо ж пропускати через терморезистор відносно невеликий струм, то його температура T залишається сталою і сталим буде також опір R . В цьому випадку залежність $I=f(U)$ буде лінійною.

7.2 Завдання 1

- 1 Побудувати вольт-амперну характеристику (ВАХ) терморезистора.
- 2 Знайти опір терморезистора при різних температурах (T) в діапазоні від кімнатної температури до 120°C .
- 3 Побудувати залежність опору R терморезистора від температури.
- 4 Побудувати залежність $\ln R = f(1/T)$. Знайти енергію активації E_a .
- 5 По графіку залежності $R = f(T)$, або по таблиці експериментальних даних визначити температурний коефіцієнт опору (ТКО) α для 6÷8 різних температур T в діапазоні $20 \div 120^\circ \text{C}$, та побудувати графік залежності $\alpha=f(T)$.
- 6 Зробити висновки.

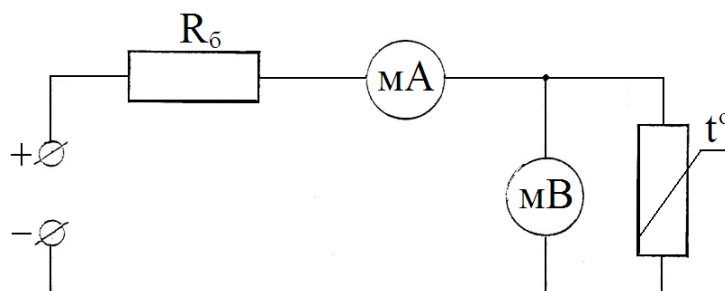
Прилади і обладнання

1. Джерело постійного струму В-24М (чи інше).
2. Мідний дріт.
3. Вольтметри-амперметри М-2015 та М-2018.
4. Термопара.
5. Електрична пічка.
6. Провідники.

Порядок виконання роботи

Терморезистор разом з термопарою ХК (хромель-копель) розташовується у вертикальній електричній пічці, яка вмикається в мережу $\sim 220 \text{ В}$.

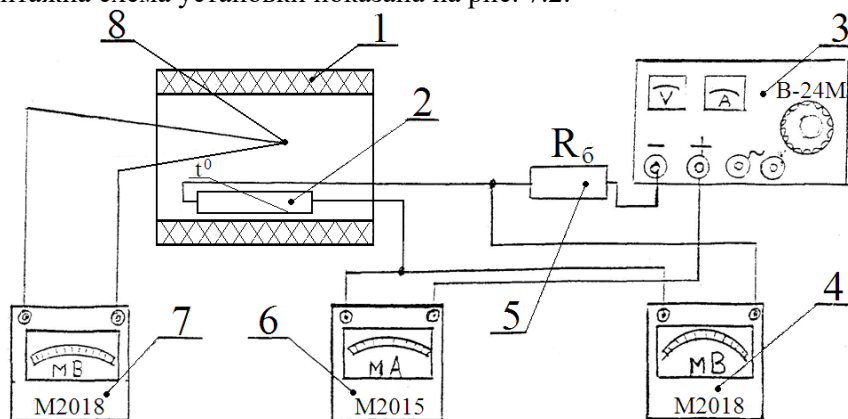
Опір терморезистора визначають, використовуючи закон Ома для ділянки кола $R = U / I$. Принципова електрична схема лабораторної установки показана на рис. 7.1.



“+ -” – джерело постійного струму; R_0 – баластовий опір ($\sim 13 \text{ кОм}$); (мА) – міліамперметр для вимірювання струму через терморезистор (прилад М-2015); (мВ) – вольтметр для вимірювання напруги на терморезисторі (прилад М-2018); терморезистор (опір при кімнатній температурі $\sim 1300 \text{ Ом}$).

Рисунок 7.1

Електромонтажна схема установки показана на рис. 7.2.



1 – електропіч (живлення від мережі змінного струму 220 В); 2 – досліджуваний терморезистор; 3 – джерело постійного струму; 4 – вольтметр для вимірювання напруги на терморезисторі (прилад М-2018, шкала 0,75 В, множник $\times 1$); 5 – баластовий опір (близько 13 кОм); 6 – міліамперметр для вимірювання струму через терморезистор (прилад М-2015, шкала 0,75 мА); 7 – мілівольтметр для вимірів ЕРС термопарі 8 (прилад М-2018, шкала 15 мВ, опір мілівольтметра 21 Ом, опір термопарі $\sim 1,6$ Ом); 8 – термопара.
Рисунок 7.2

1. Спочатку знімаємо ВАХ терморезистора, при кімнатній температурі. Для цього збільшуємо напругу на терморезисторі від 0 В до $0,6 \div 0,7$ В, повертаючи ручку регулятора напруги на джерелі постійного струму.
2. Побудувати графік залежності струму через терморезистор від прикладеної напруги $I = f(U)$. Якщо буде отримано лінійну залежність, то це буде означати, що терморезистор таким струмом практично не нагрівається.
3. Встановити струм через терморезистор близько $0,6 \div 0,7$ мА, ввімкнути нагрівання електропічки і відмічати напругу та струм приблизно через кожні 15° С. Показання всіх приладів заносимо до таблиці 7.1.
4. Коли буде досягнута температура близько $120 \div 130^\circ$ С (по термопарі це 7 мВ) пічку необхідно вимкнути і записати показання приладів при охолодженні в оберненому порядку.

Увага! Категорично забороняється нагрівати пічку вище 8 мВ. Також забороняється робити будь які перемикачів між приладами та перемикачів на самих приладах. Це може привести до виходу приладів з ладу, а винні будуть нести досить вагому матеріальну відповідальність.

5. Після закінчення вимірів, обчислити R , $1/T$ і $\ln R$. Для обчислень опору R треба брати середні значення напруги та сили струму. Для обчислення $1/T$, T необхідно брати по абсолютній шкалі. Її знайти за формулою $T = t_{\text{кім.}}^\circ \text{C} + \Delta t^\circ \text{C} + 273 \text{ K}$ ($1^\circ \text{C} = 1 \text{ K}$). Всі результати обчислень занести до таблиці 7.1.

Таблиця 7.1

№ п/п	T, мВ	$\Delta t, ^\circ \text{C}$ вище від кімнат.	Напруга на терморезисторі U, В		Сила струму через терморезистор I, А		Опір терморезистора R, Ом	1/T, К ⁻¹	lnR
			при нагрів.	при охолод.	при нагрів.	при охолод.			
1	0								
2	1								
...	...								
7	7								

6. Використовуючи дані таблиці побудувати графіки $R=f(T)$, та $\ln R=f(1/T)$. Якісний вигляд цих графіків показаний на рис. 7.3 та 7.4.

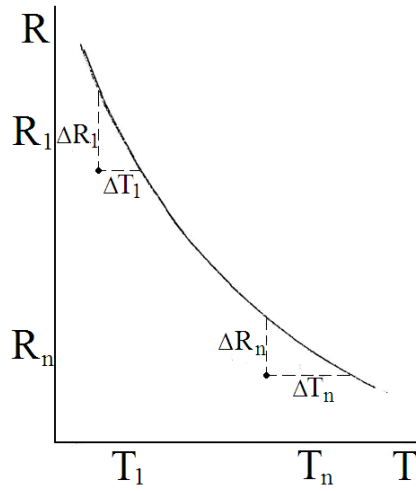


Рисунок 7.3

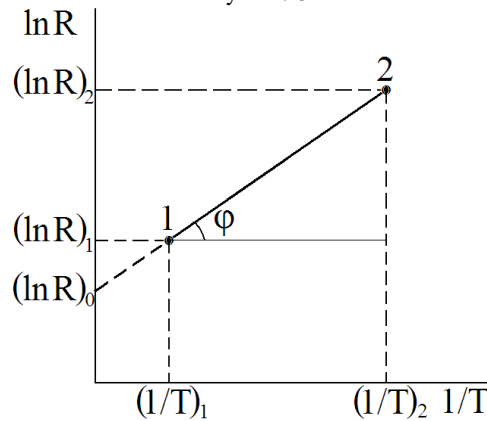


Рисунок 7.4

7. Користуючись графіком (рис. 7.3) знайти температурний коефіцієнт опору (ТКО) терморезистора для температур 20, 40, 60, 80, 100° С.

По визначенню ТКО α : дорівнює:

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} \approx \frac{1}{R} \frac{\Delta R}{\Delta T}. \quad (7.2)$$

Із (7.1), отримаємо, для dR/dT такий вираз:

$$\frac{dR}{dT} = R_0 \exp\left(\frac{\Delta E_g}{2kT}\right) \left(-\frac{\Delta E_g}{2kT^2}\right). \quad (7.3)$$

Враховуючи, що $R_0 \exp\left(\frac{\Delta E_g}{2kT}\right) = R$, маємо:

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = -\frac{\Delta E_g}{2kT^2}. \quad (7.4)$$

8. Побудувати графік залежності $\alpha = f(T)$.

9. Для знаходження енергії активації E_a побудувати графік залежності $\ln R = f(1/T)$ (див. рис. 7.4). Згідно з формулою (7.1):

$$\ln R = \ln R_0 + \frac{\Delta E_a}{2k} \cdot \frac{1}{T}, \quad (7.5)$$

тобто залежність $\ln R = f(1/T)$ є лінійною.

З формули (7.5) та рис. 7.4 легко бачити, що:

$$\frac{\Delta E_a}{2k} = \operatorname{tg} \varphi = \frac{(\ln R)_2 - (\ln R)_1}{(1/T)_2 - (1/T)_1}, \quad (7.6)$$

звідси знаходимо E_a . Розрахувати E_a в еВ та порівняти отриманий результат з тим, який можна отримати, поєднуючи (7.4) та (7.2).

10. Зробити висновки по температурній залежності опору та ТКО терморезистора.

7.3 Завдання 2

- 1 Дослідити залежність опору терморезистора від температури.
- 2 Визначити температурний коефіцієнт опору (ТКО) α для декількох значень температури T .

Прилади і обладнання

1. Цифровий мультиметр DT-838 з термопарою – 1шт.
2. Цифровий мультиметр DT-830В – 1шт.
3. Досліджуваний терморезистор ММТ – 1 шт.
4. Дротяна піч – 1 шт.
5. Джерело постійного струму AC-DC з вихідною напругою 6 В – 1 шт.
6. З'єднувальні провідники.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати робочу схему згідно з монтажною, рис. 7.5.
2. Розташувати у циліндричній порожнині дротяної печі спай термопари та терморезистор.
3. Виставити межі вимірювань на приладах: DT-838 (прилад 1) – „TEMP °C”, DT-830В (прилад 2) – „200 Ω ”.
4. Ввімкнути джерело постійного струму до мережі.
5. Після розігріву печі при досягненні температури 85° С вимкнути джерело струму від мережі.
6. Омметром DT-830В (прилад 2) через кожні 5° С знімати значення опору R терморезистора, який остигає та заносити до табл. 7.2:

Таблиця 7.2

№, п/п	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	T, K	$1/T, \text{K}^{-1}$	R, Om	$\ln R$

7. За результатами експерименту побудувати графіки залежностей $R = f(T)$ та $\ln R = f\left(\frac{1}{T}\right)$.

8. З графіка $R = f(T)$ знайти ТКО α для декількох значень температури T .

9. Зробити висновки.

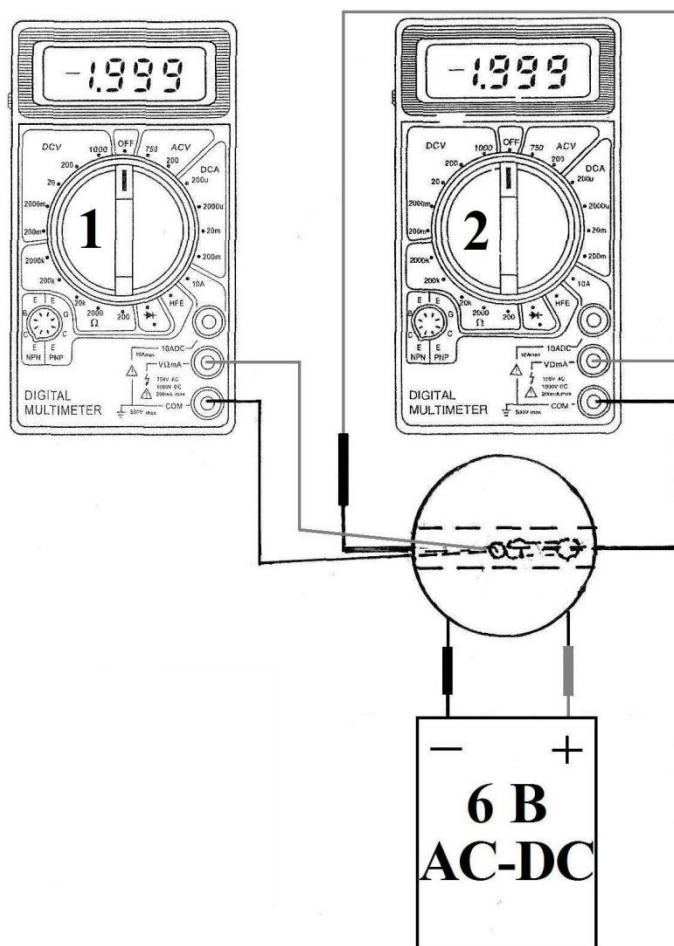


Рисунок 7.5
Контрольні запитання

1. Що таке терморезистор?
2. Як змінюється опір терморезистора при нагріванні?
3. Як залежить ТКО терморезистора від температури?
4. При яких температурах (високих чи низьких) чутливість терморезистора до зміни температури буде більшою?
5. Як зонна теорія пояснює зміну опору терморезистора з температурою?

Література

1. Говорун Т.П. Фізика конденсованого стану матеріалів / Т.П. Говорун, В.О. Пчелінцев, В.М. Радзівський, Л.В. Носонова. навч. посіб. - Суми: СумДУ, 2015. - 236 с.
2. Поплавко Ю. М. Фізичне матеріалознавство , Ч. 3. Провідники та магнетики. /Ю. М. Поплавко, С. О. Воронов, Ю. І. Якименко.. Навчальний посібник. К.: НТУУ «КПІ», 2011. - 372 с.
3. Подопригора Н.В., Садовий М.І., Трифонова О.М.. Фізика твердого тіла / Н.В. Подопригора, М.І. Садовий, О.М. Трифонова: навчальний посібник для студентів фізичних спеціальностей педагогічних університетів, – Кіровоград: ПП «Центр оперативної поліграфії «Авангард», 2014. – 416 с. Д
4. Кшнякин, В.С. Основи фізичного матеріалознавства [Електронний ресурс] / В.С. Кшнякин, А.С. Опанасюк, К.О. Дядюра. - Електронне вид. каф.: Електроніки і комп'ютерної техніки; ПМіТКМ. - Суми: СумДУ, 2015. - 466 с.