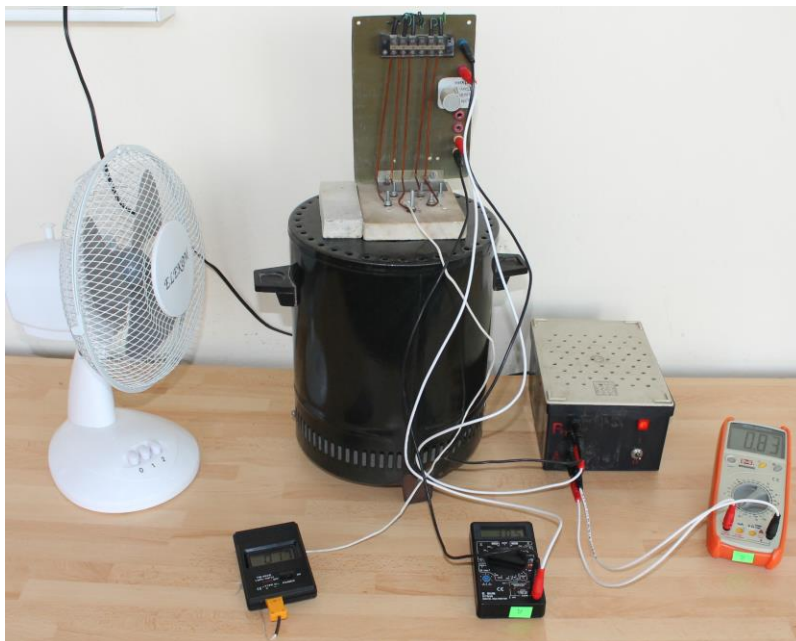


УПРАЖНЕНИЕ № 3

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОВОДНИКОВИ МАТЕРИАЛИ



3.1. Основни понятия и определения

Като проводници на електричен ток се използват твърди тела, течности, а при подходящи условия и газове. Най-голямо значение за практиката имат металите и сплавите им. Тяхната електропроводимост е електронна.

Важни параметри, характеризиращи свойствата на проводниковите материали, са: *специфично електрично съпротивление* ρ и обратната му величина - *специфична електрична проводимост* γ ; *температурен коефициент на специфичното съпротивление* TK_ρ ; *термоелектродвижещо напрежение* E_T .

За проводник със съпротивление R , площ на напречно сечение S и дължина l специфичното съпротивление се определя по уравнение (3.1)

$$\rho = R \frac{S}{l}. \quad (3.1)$$

Дименсията за специфично съпротивление е $\Omega.m$.

Стойността на ρ за проводниковите материали е в границите $10^{-8} \div 10^{-5} \Omega.m$.

Съгласно класическата електронна теория:

$$\rho = \frac{2mv_T}{e^2 n_o \lambda}, \quad (3.2)$$

където m и e са маса и заряд на електрона, v_T – средна скорост на топлинното движение на свободните електрони n_o - тяхната концентрация (брой в единица обем), λ - средна дължина на свободния им пробег.

С повишаване на температурата концентрацията n_o остава практически постоянна. Обаче при загряване се увеличава амплитудата на колебание на йоните, разположени във възлите на кристалната решетка, което води до интензивно разсейване на електроните при тяхното насочено движение, съответно намалява λ и нараства ρ .

Влиянието на температурата върху съпротивлението на проводниковите материали се характеризира посредством температурния коефициент на специфичното съпротивление:

$$TK_\rho = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{d\theta}. \quad (3.3)$$

Дименсията на TK_ρ е $\frac{1}{^\circ C}$ или K^{-1}

За повечето чисти метали в твърдо състояние $TK_\rho \approx 1/273 = 0,0037, K^{-1}$. Някои метали (в това число феромагнитните) се характеризират с повишени стойности на TK_ρ .

В техниката широко се използват метални сплави от типа твърд разтвор. Всички те имат повишено специфично съпротивление в сравнение с техните компоненти. То може да се изрази като сума от две съставлящи: $\rho = \rho_T + \rho_{доб}$, където ρ_T е специфичното съпротивление, обусловено от разсейването на електроните поради топлинното колебание на кристалната решетка, а $\rho_{доб}$ - добавъчно специфично съпротивление, свързано с разсейването на електроните от нееднородности в структурата на сплавта. Колкото е по-голямо специфичното съпротивление, толкова по-малък е температурният коефициент, като за някои сплави е отрицателна величина.

При неголеми температурни изменения, зависимостта $\rho(\theta)$ е линейна: $\rho_\theta = \rho_o(1 + TK_\rho\theta)$, където ρ_o е специфичното съпротивление при 0C , а ρ_θ - специфичното съпротивление при θ^0C .

Съответна зависимост е валидна и за съпротивлението:

$$R_\theta = R_o(1 + TK_R\theta) \quad (3.4)$$

където TK_R е температурен коефициент на съпротивлението. Връзката между TK_ρ , TK_R и TK_l (температурен коефициент на линейно разширение) е:

$$TK_\rho = TK_R + TK_l \quad (3.5)$$

Стойностите на ρ , TK_ρ и TK_l за някои често използвани проводникови материали са приведени в Приложение.

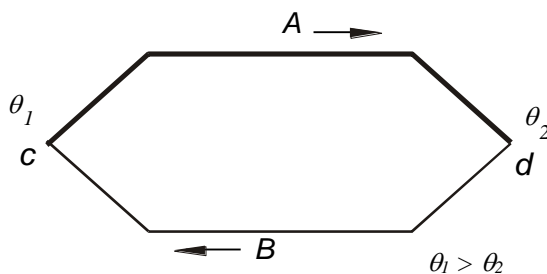
Ако R_1 и R_2 са съпротивленията, измерени при температури θ_1 и θ_2 , TK_R се изчислява по уравнение (3.6)

$$TK_R = \frac{R_2 - R_1}{R_1\theta_2 - R_2\theta_1} \quad (3.6)$$

Когато два разнородни проводника или полупроводника A и B образуват затворен контур (фиг.3.1) и в двете места на съприкосновение се поддържат различни температури θ_1 и θ_2 , то между проводниците (полупроводниците) възниква термоелектродвижещо напрежение E_T (ТЕДН), което за дадена двойка материали е функция на температурната разлика $\theta_1 - \theta_2$:

$$E_T = \alpha_T(\theta_1 - \theta_2) = \alpha_T\Delta\theta \quad (3.7)$$

където α_T се нарича коефициент на ТЕДН. Явлението се нарича ефект на Зеебек или термоелектричен ефект, а апаратът основан на неговото действие - термодвойка.



Фиг. 3.1

Ако студеният край на термодвойката се разкъса и към двата електрода се свърже трети проводник, големината и посоката на ТЕДН не се променят. Обикновено в мястото на разкъсване се поставя измервателен уред. При постоянна температура θ_2 на студения край, наречен свободен, ТЕДН

зависи от температурата θ на горещия край, наречен работен.

Измерването на ТЕДН се извършва с милivolтметър, градуиран в mV или $^{\circ}C$.

3.2. Задачи за изпълнение

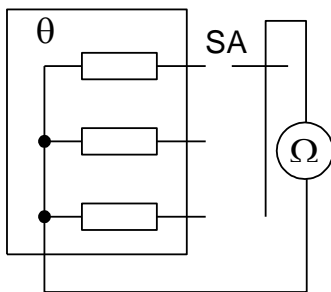
1. Определяне на специфичното електрично съпротивление на различни проводници при нормална температура ($20^{\circ}C$).

2. Изследване на изменението на съпротивлението на различни проводникови материали във функция от температурата и определяне на температурния коефициент на специфичното съпротивление TK_{ρ} .

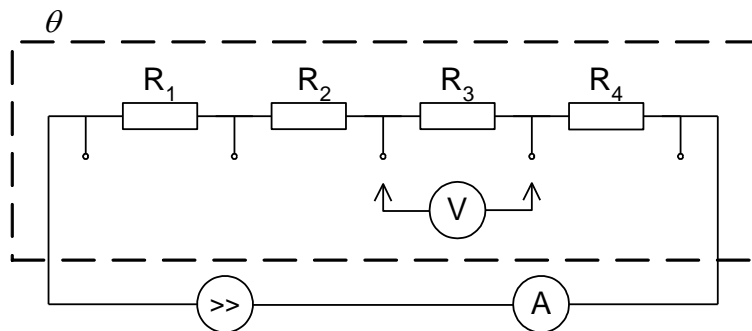
3. Изследване на температурната зависимост на термоелектродвижещото напрежение.

3.3. Методични указания за провеждане на изпитванията

За изпълнение на задача 1 се използва опитна постановка със схема, показана на фиг.3.2. Изследваните образци са поместени в термостат. Включването на всеки един от тях към измервателния уред (омметър) се осъществява посредством превключвателя SA.



Фиг. 3.2



Фиг. 3.3

Специфичното съпротивление се изчислява по уравнение (3.1)

Задача 2 се изпълнява с опитната постановка, посочена на фиг.3.3. Опитните образци R_1 , R_2 , R_3 и R_4 са поместени в термостат. Те са включени последователно към източник на ток I . Волтметърът V се превключва към всеки образец, посредством ключа SA.

Последователност на работа: включва се нагревателят на термостата и температурата на изпитваните образци се повишава до $250^{\circ}C$; След изключване на нагревателя при изстиване през $50^{\circ}C$ се измерва напрежението U върху всеки образец и по закона на Ом ($R=U/I$) се пресмятат стойностите на съпротивлението; чрез използване на резултатите, получени при най-ниската и най-високата температура ($\theta = 50^{\circ}C$, $\theta = 250^{\circ}C$ и съответните съпротивления R_1 и R_2), се определя TK_R по уравнение (3.6). Въз основа на уравнение (3.4) се изчислява съпротивлението при $0^{\circ}C$:

$$R_o = \frac{R_1}{1 + TK_R \theta_1} = \frac{R_2}{1 + TK_R \theta_2} \quad (3.8)$$

По уравнение (3.4), след заместване в него на получените числени стойности за TK_R и R_o за всяка температура се определя съпротивлението \hat{R} и се прави оценка на относителната разлика δ между експериментално получените и изчислени стойности на съпротивлението:

$$\delta = \frac{|R - \hat{R}|}{R} \cdot 100\%$$

Определя се температурният коефициент на специфичното съпротивление по уравнение (3.5). За чисти метали

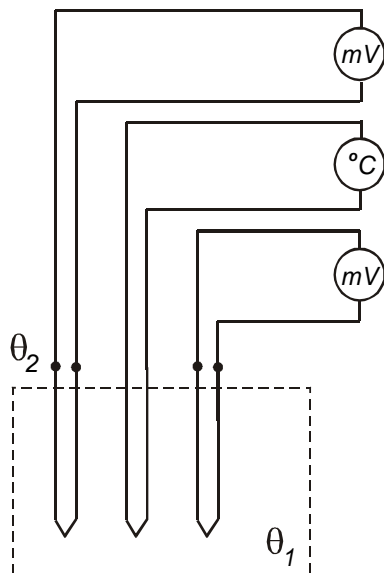
$$TK_R \gg TK_I$$

и от (3.5) следва

$$TK \rho \approx TK_R$$

За сплави TK_R и TK_I са от един и същ порядък, поради което в уравнение (3.5) TK_I не бива да се пренебрегва.

Задача 3 се изпълнява с опитна постановка, чиято схема е показана на фиг.3.4. Работните краища на изследваните термодвойки се поместват в термостат, а свободните се свързват с милivolтметри. Снема се зависимостта $E_T = f(\theta_1 - \theta_2) = f(\Delta\theta)$.



Фиг. 3.4

Температурата θ_1 се измерва с еталонен термоелектричен термометър, а θ_2 се отчита от спиртен термометър.

Определят се коефициентите на ТЕДН на изследваните термодвойки по уравнение (3.9).

$$\alpha_T = \frac{\sum_{i=1}^n E_{Ti}}{\sum_{i=1}^n \Delta\theta_i} \quad (3.9)$$

където n е брой измервания

Резултатите от измерванията и изчисленията по точка 1 от заданието се представят в табличен вид, а от точки 2 и 3 - в табличен и графичен вид.

3.4. Тест за самопроверка

1. Посочете правилното уравнение, изразяващо зависимостта на електричното съпротивление R на проводници от геометричните размери (l - дължина, S - площ на напречното сечение, ρ - специфично електрично съпротивление

а) $R = \rho \frac{S}{l}$; б) $R = \frac{1}{\rho} \frac{l}{S}$;

$$\text{в) } R = \rho \frac{l}{S}; \quad \text{г) } R = \frac{1}{\rho} \frac{S}{l}.$$

2. Коя е дименсията за специфично електрично съпротивление на проводник?

$$\text{а) } \Omega; \quad \text{б) } \Omega \cdot \text{m}; \quad \text{в) } \frac{\Omega}{\text{m}}; \quad \text{г) } \Omega \cdot \text{m}^2.$$

3. Как се изменя специфичното електрично съпротивление на металите при повишаване на температурата и какво е обяснението на това изменение?

а) При повишаване на температурата специфичното електрично съпротивление на металите намалява вследствие увеличаване на топлинната скорост на свободните електрони, която се наслагва към скоростта на насоченото им движение.

б) При повишаване на температурата специфичното електрично съпротивление на металите намалява, защото се увеличава концентрацията (брой в единица обем) на свободните електрони.

в) С повишаване на температурата специфичното електрично съпротивление на металите нараства, защото се усилват колебанията на положителните йони, намиращи се във възлите на кристалната решетка и това затруднява насоченото движение на свободните електрони.

4. Посочете правилното уравнение, изразяващо зависимостта на специфичното електрично съпротивление на металите от температурата (ρ_θ - специфично електрично съпротивление при $\theta^\circ\text{C}$, ρ_0 - специфично съпротивление при 0°C , TK_ρ - температурен коефициент на специфичното съпротивление).

$$\begin{array}{ll} \text{а) } \rho_\theta = \rho_0 (1 + TK_\rho \theta); & \text{б) } \rho_\theta = \rho_0 (1 - TK_\rho \theta); \\ \text{в) } \rho_\theta = \rho_0 (TK_\rho \theta - 1); & \text{г) } \rho_\theta = \rho_0 (\theta + TK_\rho). \end{array}$$

5. Посочете правилното уравнение за температурния коефициент на специфичното електрично съпротивление TK_ρ (Т- температура).

$$\begin{array}{ll} \text{а) } TK_\rho = \rho \frac{d\rho}{dT}; & \text{б) } TK_\rho = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}; \\ \text{в) } TK_\rho = \frac{1}{\rho} \frac{dT}{d\rho}; & \text{г) } TK_\rho = \rho \frac{dT}{d\rho}. \end{array}$$

6. Кое твърдение за температурния коефициент на специфичното електрично съпротивление TK_ρ е вярно?

- а) TK_ρ за чистите метали има по-голяма стойност, отколкото за сплавите.
- б) TK_ρ за немагнитните метали е по-голям, отколкото на магнитните.
- в) TK_ρ за чистите метали има по-малка стойност, отколкото за сплавите.

7. Ако R_1 и R_2 са електрични съпротивления на образец от проводников материал при температури съответно θ_1 и θ_2 , температурният коефициент на съпротивлението TK_R се определя по уравнението

$$\begin{array}{ll} \text{а) } TK_R = \frac{R_1 - R_2}{R_1\theta_1 - R_2\theta_2}; & \text{б) } TK_R = \frac{R_2 - R_1}{R_1\theta_2 - R_2\theta_1}; \\ \text{в) } TK_R = \frac{R_2 - R_1}{R_2\theta_1 - R_1\theta_2}; & \text{г) } TK_R = \frac{\theta_2 - \theta_1}{R_2\theta_1 - R_1\theta_2} \end{array}$$

8. Посочете връзката между температурните коефициенти на специфичното електрично съпротивление (TK_ρ), на електричното съпротивление (TK_R) и на линейно разширение (TK_l).

$$\begin{array}{l} \text{а) } TK_\rho = TK_l - TK_R \\ \text{б) } TK_\rho = TK_R + TK_l \\ \text{в) } TK_\rho = TK_R - TK_l \end{array}$$

9. Кое от следващите твърдения за термодвойка е вярно?

а) Термодвойката е лента (пластина), съставена от два споени един за друг метала с различни температурни коефициенти на линейно разширение. Промяната на температурата води до огъване на лентата.

б) Термодвойката е електрична верига от два проводника, образуващи затворен контур. Когато двете места на съприкосновение имат различни температури, между проводниците възниква напрежение

в) Термодвойката се състои от два проводника, които се намират в контакт. Когато от единия към другия проводник протича електричен ток, мястото на съприкосновение между тях се загрева.

10. От какво зависи големината на термоелектродвижещото напрежение (ТЕДН)?

а) От вида на двата проводника на термодвойката и от температурната разлика между двете места на съприкосновение на проводниците.

б) От вида на двата проводника на термодвойката и от техните температури.

в) От електричните съпротивления на двата проводника на термодвойката и от начина на свързването им (допир, усукване, запояване или заваряване).