

РАБОТА 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА

Цель работы: изучение методов измерения сопротивления проводника, определение удельного сопротивления по результатам измерений полного сопротивления проводника и его геометрических размеров.

Введение

В 1826 году немецкий физик Г. Ом экспериментально установил, что сила тока I , текущего по однородному металлическому проводнику (т. е. проводнику, в котором не действуют сторонние силы), пропорциональна напряжению U на концах проводника:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (10.1)$$

Величину R называют электрическим сопротивлением проводника или просто сопротивлением. Проводник, обладающий электрическим сопротивлением, называется резистором. Соотношение (10.1) выражает закон Ома для однородного участка цепи: сила тока протекающего по однородному проводнику, прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника.

Сопротивление проводника зависит от его природы, формы и размеров. Для однородного проводника с поперечным сечением S и длиной l

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (10.2)$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление. Удельное электрическое сопротивление является характеристикой проводника и зависит от материала проводника и температуры:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t), \quad (10.3)$$

где α - температурный коэффициент сопротивления, t - температура.

Типичные значения удельного сопротивления ρ варьируются в широком диапазоне (например, удельное сопротивление для изолятора резины ($\rho = 1-100 \cdot 10^{13}$ Ом·м), которое на 21 порядок больше, чем сопротивление для проводника из серебра ($\rho = 1.59 \cdot 10^{-8}$ Ом·м)).

В соответствии с формулой (10.2) измерение величины ρ сводится к измерению сопротивления проводника постоянному току R и геометрических размеров проводника.

Методика выполнения работы

Для измерения сопротивления R проводников применяются различные методы: технический метод – по измеренным значениям тока и напряжения; с использованием омметров; метод измерения с помощью мостовой схемы.

Технический метод осуществляется с помощью вольтметра и амперметра по схеме рис. 10.1. В данной схеме вольтметр измеряет суммарное падение напряжения на сопротивлении R и амперметре

$$U = U_R + U_A = IR + IR_A . \quad (10.4)$$

Это позволяет рассчитать неизвестное сопротивление R , если известно сопротивление амперметра R_A :

$$R = \frac{U}{I} - R_A . \quad (10.5)$$

Эту схему применяют, когда $R_A \ll R$, либо учитывают значение сопротивления амперметра. При этом сопротивление вольтметра любое.

Недостатком этого метода является внесение приборами систематической ошибки в измерениях.

В основе работы омметров обычно лежит приближенный технический метод: шкалу прибора градуируют с использованием формулы (10.5) при фиксированном напряжении U батареи элементов. Этот метод используют, когда не нужна высокая точность измерений.

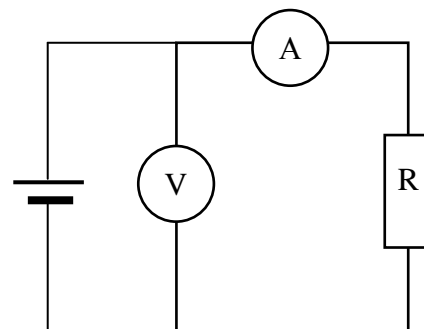


Рис. 10.1

Наиболее точным является метод измерений с помощью моста постоянного тока. Измерительные мосты – это высокоточные приборы, предназначенные для измерения электрических сопротивлений, емкостей, индуктивностей и других параметров методом уравновешенных мостовых цепей. На рис. 10.2 представлена принципиальная схема простейшего моста Уитстона, который используется для измерения величин сопротивлений.

Четыре сопротивления R_1 (100 Ом), R_2 (10 Ом), R_M (магазин сопротивлений) и R (реостат) составляют замкнутый контур $OaO'bO$. В одну из диагоналей контура через ключ 8 включается источник постоянного тока 7 , а в другую – амперметр 3 . При замкнутом ключе K ток через амперметр будет равен нулю только в том случае, если потенциалы в точках a и b равны между собой. С помощью магазина сопротивлений 1 подбирают

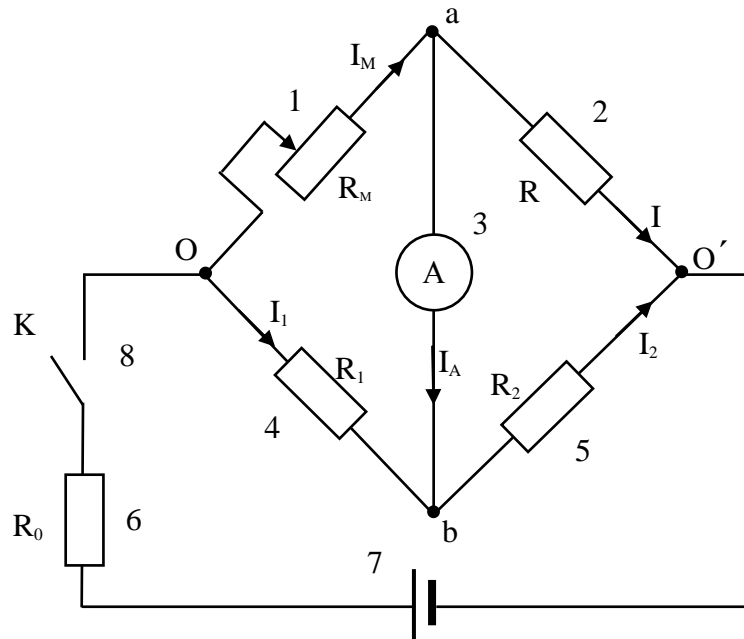


Рис. 10.2. $R_0=470 \text{ Ом}$, $R_1=100 \text{ Ом}$, $R_2=10 \text{ Ом}$

такое сопротивление R_M , чтобы ток I_A , текущий через амперметр, обратился в нуль, таким образом, достигается равенство потенциалов точек a и b . В таком уравновешенном состоянии для моста можно записать:

$$I_M R_M = I_1 R_1, \quad (10.6)$$

$$I R = I_2 R_2. \quad (10.7)$$

Поделив равенство (10.6) на (10.7) и учитывая, что при $I_A = 0$ сила тока $I = I_M$, а $I_1 = I_2$, получаем

$$R = R_M \frac{R_2}{R_1}. \quad (10.8)$$

Таким образом, зная сопротивления R_1 , R_2 , R_M можно определить значение неизвестного сопротивления R .

Для ограничения тока, протекающего через мост, используют ограничительное сопротивление R_0 (470 Ом).

Для измерения удельного сопротивления используется реостат с плотно намотанной на него проволокой. Если измерить сопротивление реостата R , длину проволоки L и ее диаметр d , то

$$\rho = R \frac{\pi d^2}{4L}. \quad (10.9)$$

Для определения диаметра проволоки и ее длины, измеряется толщина слоя проволоки l , содержащего n витков.

Тогда число витков проволоки на реостате $N = nl_0/l$, где l_0 – длина реостата. Длина проволоки реостата соответственно $L = \pi DN$, где D – диаметр трубки реостата, а $d = l/n$. Таким образом, удельное сопротивление рассчитывается по формуле:

$$\rho = R \frac{l^3}{4Dn^3l_0}. \quad (10.10)$$

Порядок выполнения работы

Задание 1. Измерение полного сопротивления реостата мостом Уитстона.

1. Соберите схему (см. рис. 10.2).
2. Запишите в таблицу 10.1 значения сопротивлений резисторов R_1, R_2 .
3. На источнике постоянного тока ручка «Current» должна находиться в среднем положении, а ручка «Voltage» в крайне правом положении. Установите на амперметре предел измерений **20mA**. Включите источник постоянного тока и амперметр, замкните собранную цепь с помощью ключа.
4. Подберите такое сопротивление R_M магазина сопротивлений, при котором амперметр будет показывать значение равное нулю. Запишите полученное сопротивление R_M в таблицу 10.1.
5. Проведите пункт 4 три раза.
6. Выключите источник питания постоянного тока и амперметр.
7. Рассчитайте по формуле (10.8) сопротивление реостата и оцените его погрешность.

Таблица 10.1

$R_1 = \dots \text{ Ом};$		$R_2 = \dots \text{ Ом.}$
$R_M, \text{ Ом}$	$\langle R_M \rangle \pm \Delta R_M, \text{ Ом}$	$R \pm \Delta R, \text{ Ом}$

Задание 2. Определение удельного сопротивления реостата.

1. Запишите полученное в задании 1 полное сопротивление реостата R в таблицу 10.2
2. Измерьте диаметр трубки D с помощью штангенциркуля.
3. Измерьте штангенциркулем толщину l слоя проволоки, содержащего $n = 20$ витков.

4. Прделайте пункты 2 и 3 не менее трех раз. Полученные значения запишите в таблицу 10.2.
5. Рассчитайте удельное сопротивление ρ реостата по формуле (10.10).
6. Рассчитайте погрешность удельного сопротивления проволоки по формуле $\Delta\rho = \rho\sqrt{E_R^2 + E_D^2 + (3E_l)^2 + E_{l_0}^2}$. Определите, что вносит основной вклад в эту погрешность.
7. Определите материал, из которого сделана проволока реостата, сравнив полученное значение ρ с табличными значениями.
8. Напишите заключение к работе, не забыв указать источник справочной информации.

Таблица 10.2

 $n = \dots$

	1	2	3
D , см			
$\langle D \rangle \pm \Delta D$, см			
l , см			
$\langle l \rangle \pm \Delta l$, см			
l_0 , см			
$\langle l_0 \rangle \pm \Delta l_0$, см			
$R \pm \Delta R$, Ом			
$\rho \pm \Delta\rho$, Ом·м			

Контрольные вопросы

1. Как зависит сопротивление проводника от его длины?
2. Как изменится сопротивление проводника круглого сечения, если его диаметр увеличится в 5 раз?
3. Выведите окончательную расчетную формулу, по которой в данной работе определяется удельное сопротивление.
4. От каких величин зависит удельное сопротивление проводника?
5. Назовите методы измерений сопротивления проводника.
6. Запишите условия равновесия для моста Уитстона.
7. Выведите формулу для определения сопротивления при измерении мостом.

8. Изменится ли условие равновесия моста, если амперметр и источник тока поменять местами?