

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.05

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ С ПОМОЩЬЮ МОСТА УИТСТОНА

#### *Цель работы*

Целью работы является изучение законов постоянного тока на примере классического метода измерения сопротивления проводников с помощью мостовой схемы и определение удельного сопротивления материала проводника.

#### *Краткая теория*

**Электросопротивление проводника** – это скалярная физическая величина, характеризующая его электропроводящие свойства. Сопротивление проводника зависит от его формы, размеров и электропроводящих свойств материала, из которого изготовлен проводник. В простейшем случае однородного проводника с постоянным поперечным сечением, сопротивление проводника определяется следующим образом:

$$R = \rho \frac{\ell}{S}, \quad (2.05.1)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление материала проводника,  $\ell$  – длина проводника;  $S$  – площадь его поперечного сечения.

Из формулы (2.05.1) можно выразить удельное сопротивление:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{\ell}, \quad (2.05.2)$$

откуда видно, что удельное сопротивление численно равно сопротивлению проводника единичной длины, имеющего площадь поперечного сечения, равную единице площади. В системе СИ удельное сопротивление измеряют в омметрах (Ом·м).

Одним из методов измерения сопротивления является метод моста Уитстона.

Мост Уитстона состоит из четырех сопротивлений – плеч  $R_x$ ,  $R_H$ ,  $R_{AD}$ ,  $R_{ДВ}$ , которые соединены между собой так, что образуют замкнутый четырехугольник. К двум противоположным его углам  $A$  и  $B$  подключают полюса источника постоянного тока  $E$ , а к двум другим  $C$  и  $D$  подсоединяют чувствительный гальванометр или измеритель разности потенциалов. Принципиальная схема моста Уитстона изображена на рис. 10.

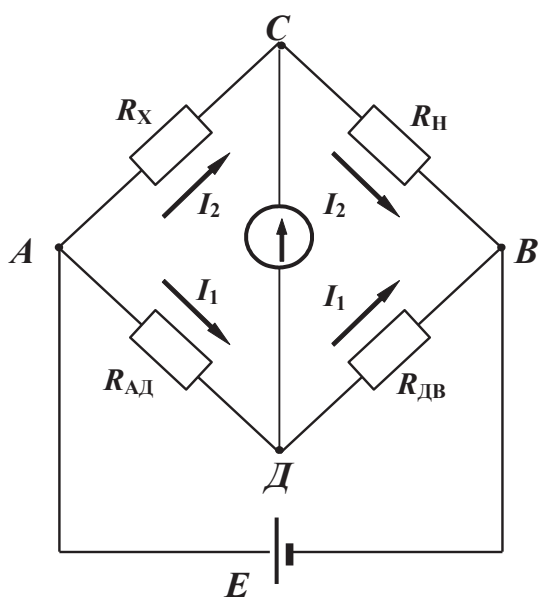


Рис. 10. Принципиальная схема моста Уитстона

Если мост подключен к источнику  $E$ , по участку моста  $CD$  вследствие неравенства потенциалов точек  $C$  и  $D$  может протекать электрический ток и стрелка гальванометра отклонится. Для того, чтобы на участке  $CD$  ток отсутствовал, необходимо равенство потенциалов точек  $C$  и  $D$  (условие равновесия моста).

Изменять разность потенциалов между точками  $C$  и  $D$  можно таким способом: в качестве участка  $ADB$  включается калиброванная проволока (реохорд) со скользящим контактом  $D$ . Реохорд снабжен шкалой. Перемещая движок реохорда, можно добиться отсутствия тока на участке  $CD$ , что будет зарегистрировано гальванометром. Обозначим силу тока, текущего на участке  $ADB$  через  $I_1$ , а на участке  $ACB$  – через  $I_2$ . Для каждого из четырех плеч реохорда запишем уравнения по закону Ома:

$$\begin{aligned} \varphi_A - \varphi_C &= R_x \cdot I_2, & \varphi_C - \varphi_B &= R_H \cdot I_2, \\ \varphi_A - \varphi_D &= R_{AD} \cdot I_1, & \varphi_D - \varphi_B &= R_{ДВ} \cdot I_1, \end{aligned} \quad (2.05.3)$$

где  $\varphi_A$ ,  $\varphi_C$ ,  $\varphi_B$ ,  $\varphi_D$  – потенциалы точек  $A$ ,  $C$ ,  $B$ ,  $D$  соответственно.

При отсутствии тока через гальванометр  $\varphi_C = \varphi_D$ . Следовательно, можно записать:

$$R_x \cdot I_2 = R_{AD} I_1, \quad R_H \cdot I_2 = R_{ДВ} I_1, \quad (2.05.4)$$

откуда

$$\frac{R_x}{R_H} = \frac{R_{AD}}{R_{ДВ}}. \quad (2.05.5)$$

Таким образом, условие равновесия моста определяется только соотношением плеч реохорда и не зависит от электродвижущей силы источника, питающего цепь.

Так как проволока, из которой изготовлен реохорд *ADB*, однородна и имеет по всей длине одинаковое сечение, то сопротивления  $R_{AD}$  и  $R_{ДВ}$  пропорциональны соответствующим длинам плеч  $\ell_1$  и  $\ell_2$  реохорда. Поэтому (2.05.5) можно переписать в виде:

$$\frac{R_x}{R_H} = \frac{\ell_1}{\ell_2}, \quad (2.05.6)$$

откуда неизвестное сопротивление:

$$R_x = R_H \frac{\ell_1}{\ell_2}. \quad (2.05.7)$$

С другой стороны, сопротивление проводника можно выразить, зная его форму, размер и материал, из которого изготовлен проводник.

$$R_x = \rho \frac{\ell}{S} = \rho \frac{4\ell}{\pi d^2}, \quad (2.05.8)$$

где  $d$  – диаметр проводника.

Отсюда удельное сопротивление исследуемого проводника:

$$\rho = \frac{\pi d^2 R_x}{4\ell}. \quad (2.05.9)$$

В табл. 5.1 приведены значения удельного сопротивления некоторых проводников при комнатной температуре.

## Удельное сопротивление проводников

Материал проводника	$\rho$ , $10^{-6}$ Ом·м
Серебро	0,016
Медь	0,017
Алюминий	0,028
Вольфрам	0,055
Цинк	0,060
Латунь	0,071
Свинец	0,120
Никелин	0,420
Манганин	0,459
Константан	0,500
Ртуть	0,958
Нихром	1,100

Удельное сопротивление горных пород изменяется в широких пределах. Наиболее низкое удельное сопротивление имеют самородные металлы: золото, платина, серебро, медь. Наиболее распространенные минералы (кварц, полевой шпат, слюда, каменная соль) имеют удельное сопротивление  $10^{10} \div 10^{14}$  Ом·м. Они являются хорошими изоляторами.

Горные породы в условиях естественного залегания содержат в порах и трещинах токопроводящие минерализованные или пресные воды, иногда нефть и газы. Поэтому удельное сопротивление пород зависит не только от удельного сопротивления минералов, их слагающих, но и от степени трещиноватости, а также от удельного сопротивления жидкостей и газов, заполняющих поры.

Это обстоятельство позволяет по данным измерений удельного сопротивления выделять в разрезах скважин коллекторы, содержащие воду, газ и нефть, определять пористость пород и нефтегазонасыщенность.

Данные этого метода широко используются при подсчетах запасов нефти и газа. Весьма низкие значения удельного сопротивления многих рудных минералов и очень высокие природных солей позволяют выделять наличие этих ископаемых в разрезах скважин.

### Выполнение работы

**Необходимые приборы:** круговой реохорд, цифровой вольтметр, источник постоянного тока напряжением  $4\text{ В}$ , проводник с известным сопротивлением  $R_x$  (длина проводника  $\ell = (20,00 \pm 0,01)\text{ м}$ , диаметр проводника  $d = (0,10 \pm 0,01)\text{ мм}$ , набор известных сопротивлений ( $R_1 = 470\text{ Ом}$ ,  $R_2 = 680\text{ Ом}$ ,  $R_3 = 820\text{ Ом}$ ). Все элементы схемы, кроме цифрового вольтметра, смонтированы внутри лабораторного стенда. Рабочая схема опыта показана на рис. 11 и на панели лабораторного стенда.

### Порядок выполнения работы

1. Подготовьте к работе цифровой вольтметр в соответствии с инструкцией по эксплуатации, находящейся на лабораторном столе.

2. Подключите цифровой вольтметр к клеммам  $C$  и  $D$ .

3. Включите реохорд с помощью перемычек (соедините попарно клеммы  $A-A$ ,  $D-D$ ,  $B-B$  на реохорде и в измерительной цепи). Включите лабораторный стенд тумблером, расположенным в левой части передней стенки.

4. С помощью перемычки закоротите сопротивления  $R_2$  и  $R_3$ , оставив включенным  $R_1$  (клеммы 1 - 3).

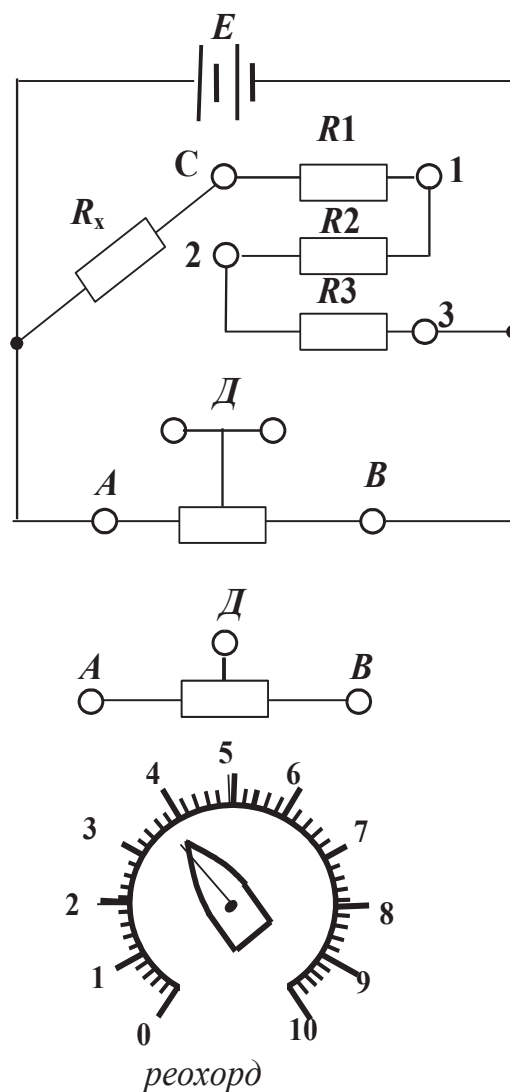


Рис. 11. Рабочая схема опыта

5. Вращением ручки кругового реохорда добейтесь нулевого показания вольтметра и по шкале реохорда отсчитайте длину левого плеча  $\ell_1$  (слева от стрелки) и правого  $\ell_2$ . Результаты запишите в табл. 5.2.

6. Опыт повторите еще два раза: при двух сопротивлениях:  $(R_1 + R_2)$ , для чего закоротите только сопротивление  $R_3$ , (клеммы 1 - 2) и  $(R_1 + R_2 + R_3)$ , для чего перемычка убирается совсем.

По результатам измерений по формуле (2.05.7) три раза вычислите сопротивление исследуемого проводника, затем его среднее значение  $\bar{R}_x$ , среднюю абсолютную и среднюю относительную погрешности.

Таблица 5.2

### Результаты измерений

$R_n$ , Ом	$\ell_1$	$\ell_2$	$R_x$ , Ом	$\Delta R_x$ , Ом
	деления шкалы			
$R_1 =$				
$R_1 + R_2 =$				
$R_1 + R_2 + R_3 =$				
Среднее значение			$\bar{R}_x =$	$\Delta \bar{R}_x =$

Вычислите среднее значение удельного сопротивления материала проводника по формуле (2.05.9). Сравнив результат с табличными значениями (см. табл. 5.1), определите материал, из которого изготовлен проводник.

Вычислите относительную и абсолютную погрешности удельного сопротивления по формулам:

$$E_\rho = \frac{\Delta \bar{\rho}}{\bar{\rho}} = 2 \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta \bar{R}_x}{\bar{R}_x} + \frac{\Delta \ell}{\ell}. \quad (2.05.10)$$

$$\Delta \rho = E_\rho \cdot \bar{\rho}. \quad (2.05.11)$$

Окончательный результат запишите в виде:

$$R_x = \bar{R}_x \pm \Delta \bar{R}_x; \quad (2.05.12)$$

$$\rho = \bar{\rho} \pm \Delta \bar{\rho}. \quad (2.05.13)$$

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое электросопротивление проводника? Отчего оно зависит?
2. Что такое удельное сопротивление проводника, в каких единицах оно измеряется?
3. От чего зависит удельное сопротивление проводника?
4. Начертите схему моста Уитстона и опишите способ измерения сопротивления с его помощью.
5. Выведите расчетную формулу для определения сопротивления неизвестного проводника.
6. Как вычисляются относительная и абсолютная погрешности измерения сопротивления  $R_x$  и удельного сопротивления  $\rho$ ?

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

*Зисман Г. А., Тодес О. М.* Курс общей физики. Т 2. М.: Наука, 1974. 336 с.

*Физический практикум.* Электричество и оптика /Под ред. В. И. Иверновой. М.: Наука, 1968. 815 с.