

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ОМА И КИРХГОФА

*Цель работы:* изучить законы Ома и Кирхгофа, определить сопротивление проводников, установить зависимость сопротивления проводника от температуры. Проверить закон Ома для участка цепи, первое правило Кирхгофа и законы параллельного и последовательного соединений сопротивлений.

*Приборы и принадлежности:* источник питания, вольтметр, амперметры, омметр, резисторы, ключи.

#### *Краткая теория*

**Электрическим током** называется упорядоченное движение электрических зарядов. Условились, что направление тока совпадает с направлением движения положительных зарядов.

Вокруг проводника с током возникает **магнитное поле**, существующее только вокруг *движущихся* зарядов. При движении заряженных частиц в различных средах наблюдаются тепловые, оптические и химические явления, в которых имеет место превращение электрической энергии в другие виды энергии.

Ток, возникающий в проводнике вследствие того, что в нём создаётся электрическое поле, называется **током проводимости**. Например, в металлических проводниках электрический ток представляет собой упорядоченное перемещение свободных электронов. Положительные ионы металла прочно связаны между собой в кристаллической решетке и в переносе зарядов не участвуют; вследствие этого электрический ток через металлы не сопровождается какими-нибудь изменениями их вещества. Упорядоченное движение электронов в металлических проводниках можно получить и без электрического поля, механическим путем, если быстро затормозить движущееся металлическое тело (например, вращающуюся катушку); свободные электроны некоторое время перемещаются по инерции по направлению движения и создают кратковременный электрический ток.

В некоторых твердых телах – ионных кристаллах типа NaCl, полупроводниках, в стекле и других, электрический ток обусловлен упорядоченным движением ионов. С повышением температуры эта ионная проводимость твердых

тел возрастает. Например, стекло, нагретое до размягчения, обладает хорошей проводимостью. Наблюдается также и смешанная проводимость, создаваемая одновременным движением электронов и ионов.

В жидких проводниках (электролитах) электрический ток обусловлен движением положительных и отрицательных ионов в противоположных направлениях. При отсутствии электрического поля эти ионы совершают беспорядочное тепловое движение; при наличии поля электрические силы добавляют к тепловым скоростям ионов некоторые скорости вдоль поля, вследствие чего положительные ионы постепенно перемещаются к катоду, а отрицательные – к аноду.

Кратковременные электрические токи наблюдаются и в диэлектриках. При введении их в электрическое поле происходит поляризация (поворот элементарных электрических диполей); положительные заряды смещаются в одном, отрицательные – в противоположном направлении. Следовательно, пока происходит поляризация диэлектриков, в них имеется упорядоченное движение зарядов, соответствующее некоторому электрическому току; такие токи называются **токами поляризации**. Они прекращаются, когда заканчивается поляризация диэлектрика. Если удалить электрическое поле, вызвавшее поляризацию, то под действием хаотического теплового движения элементарные электрические диполи теряют свою преимущественную ориентировку; эта деполяризация диэлектрика сопровождается также упорядоченным «возвращением» положительных и отрицательных зарядов к исходным беспорядочным ориентировкам, что соответствует току поляризации противоположного направления.

Электрические токи могут быть получены при движении зарядов вместе с какими-нибудь телами, на которых они находятся. Например, движущиеся заряженные проводники или изоляторы создают вокруг себя магнитное поле и эквивалентны некоторому электрическому току; такие токи называются **конвекционными**.

В электрической цепи электроны движутся: вне источника – от отрицательного к положительному полюсу, а внутри источника – от

положительного полюса к отрицательному. Во всех точках неразветвленной электрической цепи сила тока остается одинаковой.

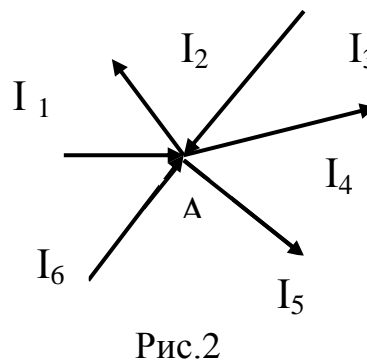
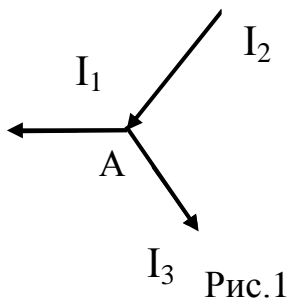
Для постоянного тока на любом участке цепи ток  $I$ , напряжение  $U$ , сопротивление участка цепи  $R$  связаны между собой **законом Ома** для участка цепи

$$I = \frac{U}{R} . \quad (1)$$

Если в цепи переменного тока отсутствуют индуктивности и ёмкости, то можно считать, что закон Ома выполняется и для переменного тока.

Закон Ома имеет место для различных значений напряжения и силы тока только при условии  $R = \text{const}$ . Если же через проводник течет переменный ток и выделяющееся джоулево тепло не отводится так. Чтобы обеспечить постоянство температуры проводника, то сопротивление проводника будет изменяться со временем в зависимости от того, как изменяется со временем сила тока.

На практике часто приходится рассчитывать сложные (разветвленные) цепи. Решение этой задачи значительно облегчается, если воспользоваться двумя правилами **Кирхгофа**.



Назовем **узлом** (A) любую точку разветвления цепи, то есть точку, в которой сходится больше двух токов (проводников). Первое правило Кирхгофа можно сформулировать следующим образом:

**в каждом узле алгебраическая сумма втекающих токов равна сумме вытекающих токов, то есть сумма токов, сходящихся в узле, равна 0**

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 \quad (2)$$

Токи, входящие в узел, считаются положительными, выходящие – отрицательными.

Для узла A (рис. 2)  $I_1 - I_2 + I_3 - I_4 - I_5 + I_6 = 0$ .

Второе правило Кирхгофа является обобщением закона Ома для разветвленных электрических цепей. Оно состоит в следующем:

*в любом замкнутом контуре, произвольно выбранном в разветвленной электрической цепи, алгебраическая сумма произведений силы токов*

*$I_i$  на сопротивление  $R_i$  соответствующих участков этого контура, равна алгебраической сумме Э.Д.С. всех источников электрической энергии, включенных в контур  $\mathcal{E}_i$*

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{i=1}^m \mathcal{E}_i, \quad (3)$$

где  $n$  – число отдельных участков, на которые контур разбивается узлами;

$m$  - число Э.Д.С. в контуре.

Уравнений составляется столько, чтобы их число было равно числу искомых величин. Для составления уравнений нужно условиться о направлении обхода контура. Выбор направления произволен. Если токи  $I_i$  текут по направлению обхода контура, то соответствующие произведения  $I_i R_i$  берут со знаком «плюс», в противном случае – со знаком «минус».

Если линия обхода контура направлена внутри источника тока от отрицательного полюса к положительному, то его э.д.с. берется со знаком «плюс», в противном случае – со знаком «минус».

Если после расчета силы токов, в каких – нибудь участках получаются отрицательными, то это означает, что направление токов в этих участках обратно намеченному до расчета.

При последовательном соединении резисторы включены один за другим так, что через каждый резистор протекает один и тот же ток.

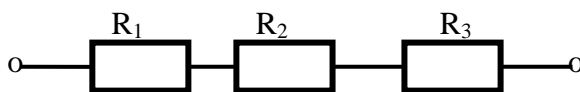


Рис.3. Последовательное соединение резисторов

Общее сопротивление всей цепи равно сумме сопротивлений отдельных участков цепи, то есть

$$R_{\text{об}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (4)$$

Ток, протекающий через все резисторы, остается постоянным, то есть  $I_1 = I_2 = I_3$ . Так как через все резисторы протекает один и тот же ток, то падение напряжения пропорционально сопротивлениям

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

При параллельном соединении величина, обратная полному сопротивлению, равна сумме величин, обратных сопротивлениям отдельных участков цепи, то есть

$$\frac{1}{R_{\text{об}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}, \quad (5)$$

где  $R_{\text{об}}$  - общее сопротивление цепи;

$R_1, R_2, R_3, \dots$  - сопротивление отдельных участков.

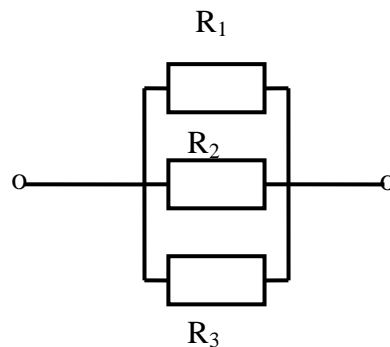


Рис. 4. Параллельное соединение резисторов

При температурах, близких к абсолютному нулю ( $-273^0$  C), некоторые металлы и сплавы переходят в так называемое *сверхпроводящее* состояние, основной особенностью этого состояния является отсутствие электрического сопротивления постоянному току.

Температура, при которой наблюдается внезапное исчезновение сопротивления, называется **критической температурой**. Такое состояние наступает у Zn при температуре 0,9 К, у Al – при 1,2 К, у Pb – при 7,19 К, у карбида ниобия NbC – при 10,1 К; самой высокой температурой перехода в сверхпроводящее состояние обладает нитрид ниобия NbN ( ~ 23 К). В проводнике в сверхпроводящем состоянии совершенно не выделяется тепло.

Вследствие отсутствия сопротивления в сверхпроводниках можно вызвать очень большие токи (до 1200 А на 1 мм<sup>2</sup>) без выделения теплоты. Если в замкнутой цепи из сверхпроводников вызвать электрический ток (например, при помощи электромагнитной индукции), то этот ток, ввиду отсутствия потерь, может существовать очень долго.

Отсутствие сопротивления является важнейшим, но не единственным отличием сверхпроводников. У них наблюдаются особые магнитные и другие свойства. Поэтому следует говорить не только о сверхпроводимости, а об особом состоянии вещества, наблюдаемом при низких температурах.

Сверхпроводники имеют большое практическое применение. Они применяются в технике связи, радиолокации, в усилителях и генераторах излучения, при исследовании очень слабых магнитных полей ( до  $10^{-18}$  Тл), для точного измерения слабых токов ( до  $10^{-10}$  А) и напряжений ( до  $10^{-15}$  В), электрических и оптических свойствах вещества, для создания быстродействующих элементов логических устройств ЭВМ и усилителей

К наиболее перспективным сверхпроводящим материалам относятся деформируемые сплавы на основе ниобия, ванадия, технеция.

## ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Собрать электрическую схему (рис. 5).
2. Измерить начальное сопротивление резисторов  $R_{01}$ ,  $R_{02}$ ,  $R_{03}$ , занести данные в таблицу 1. Начальное сопротивление определяется омметром или указано на резисторе.

3. Включить схему:

- замкнуть ключ  $K_1$ , снять показания приборов (включен один резистор),
- замкнуть ключ  $K_2$ , снять показания приборов (включены два резистора),
- замкнуть ключ  $K_3$ , снять показания приборов (включены три резистора).

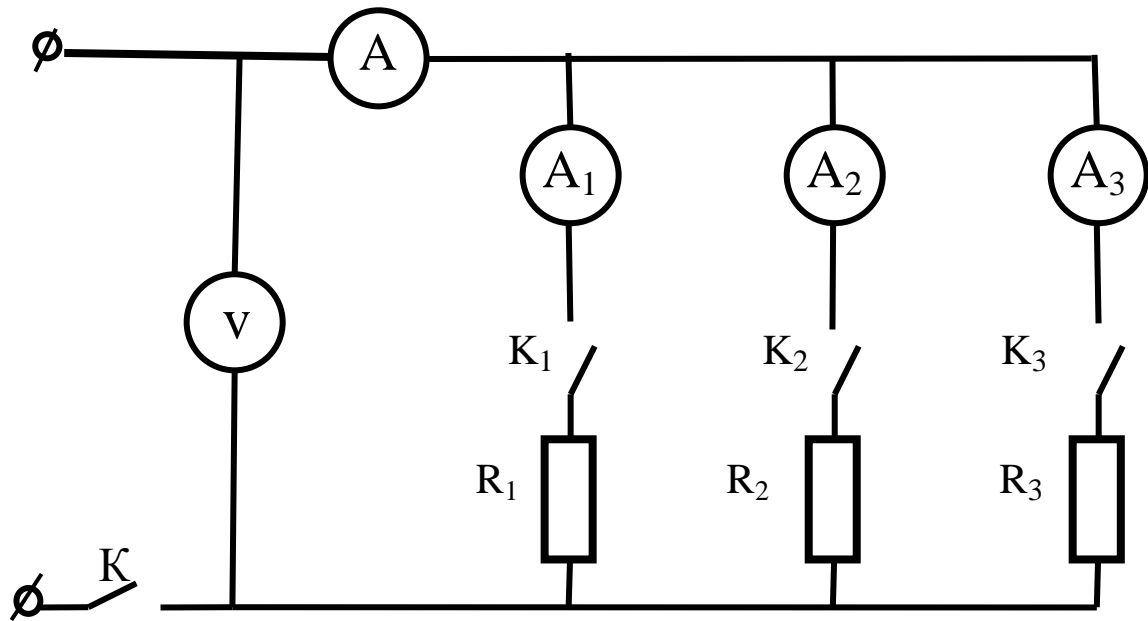


Рис. 5. Электрическая схема

4. Результаты занести в таблицу 1.

5. Используя закон Ома, определить сопротивление резисторов,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ .

6. По формуле

$$R_{1,2} = \frac{U}{I_1 + I_2}$$

определить общее сопротивление при параллельном соединении резисторов  $R_1$  и  $R_2$ .

7. По формуле

$$R_{1,2,3} = \frac{U}{I_1 + I_2 + I_3}$$

определить общее сопротивление при параллельном соединении резисторов  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ . Полученные данные занести в таблицу в ячейку «по прибору».

8. По формуле (5), определить общее сопротивление резисторов  $R_1$  и  $R_2$  и аналогично  $R_1, R_2, R_3$ . Полученные данные занести в таблицу 1 в ячейку « по расчету». Сравнить результаты.

9. По показаниям амперметров проверить первое правило Кирхгофа, используя формулу (2). Полученные данные занести в таблицу 1.

Таблица 1

		Показания приборов					Сопротивление резисторов			Общее сопротивление		Т, К	Проверка первого правила Кирхгофа
		U, В	I, А	$I_1$ , А	$I_2$ , А	$I_3$ , А	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$R_3$ , Ом				
1	Один резистор									По прибору	По расчёту		$I = I_1$
2	Два резистора						$R_{01} =$						$I = I_1 + I_2$
							$R_{02} =$						
3	Три резистора						$R_{03} =$						$I = I_1 + I_2 + I_3$

### Контрольные вопросы

1. Формулировка закона Ома для участка цепи, для замкнутого контура.
2. Дать определение узла.
3. Сформулировать 1-е и 2-е правила Кирхгофа.
4. На чем основаны правила Кирхгофа?
5. Как определить общее сопротивление трех параллельно соединенных проводников?
6. Рассказать о токах проводимости, токах поляризации, конвекционных токах.
7. В чем заключается сверхпроводимость? Применение сверхпроводников.