

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра общей физики

М. Н. Перунова

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Методические указания
к лабораторной работе № 0

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования «Оренбургский государственный
университет» для студентов всех инженерно-технических направлений
подготовки

Оренбург
2011

УДК 537 (07)

ББК 22.33 я 7

П 27

Рецензент – кандидат технических наук, доцент Ф.Г. Узенбаев

- П 27 **Перунова, М. Н.**
Электрические измерения: методические указания к лабораторной работе № 0 / М. Н. Перунова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2011. – 23 с.

Методические указания включают изложение теории погрешностей применительно к электрическим измерениям, рекомендации по проведению электрических измерений, описание методики проведения эксперимента и обработки результата.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы № 0 «Электрические измерения» по дисциплине «Физика» для студентов всех инженерно-технических направлений подготовки .

УДК 537 (07)

ББК 22.33 я 7

© Перунова М. Н., 2011

© ОГУ, 2011

Лабораторная работа № 0. Электрические измерения

Цели работы:

- 1 Научиться определять погрешность измерений, производимых электроизмерительными приборами
- 2 Научиться выбирать схему электрических измерений, приводящую к наименьшей ошибке
- 3 Снять вольтамперную характеристику резистора
- 4 Научиться определять сопротивление резистора

Теория вопроса

1 Классификация электроизмерительных приборов

Для контроля за правильной эксплуатацией электрических установок необходимо систематически проводить измерения электрических величин, характеризующих работу этих установок. Этот контроль осуществляют электроизмерительные приборы.

Электроизмерительные приборы классифицируют по следующим признакам:

по роду измеряемой величины:

- 1) для измерения тока – амперметры, гальванометры;
- 2) для измерения напряжения – вольтметры;
- 3) для измерения мощности – ваттметры;
- 4) для измерения сдвига фаз и коэффициента мощности – фазометры;
- 5) для измерения сопротивления – омметры;
- 6) для измерения частоты – частотомеры;

по роду измеряемого тока:

- 1) для измерения постоянного ток;
- 2) для измерения переменного тока;
- 3) для измерения постоянного и переменного токов;

4) для работы в трехфазных цепях

по принципу действия:

1) магнитоэлектрические;

2) электромагнитные;

3) электродинамические;

4) электростатические;

5) индукционные;

6) тепловые и т.д.

по степени точности измеряемой величины:

инструментальные погрешности *стрелочных* электроизмерительных приборов (амперметров, вольтметров, ваттметров, потенциометров и т.п.) определяется по их классам точности.















Класс точности показывает относительную погрешность измерения (в процентах) при отбросе стрелки прибора на всю шкалу.

Например, у вольтметра с диапазоном показаний от 0 до 10 В класс точности равен 1. Это значит, что при отбросе стрелки вольтметра на всю шкалу относительная погрешность измерения составит 1% (или 0,01). Тогда абсолютная погрешность измерения составляет

$$\Delta U_{\max} = U \cdot \varepsilon = U \cdot 0,01 = 10\text{В} \cdot 0,01 = 0,1\text{В}.$$

По степени точности приборы делят на восемь классов – 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 и 4.

Таблица 1- Условные обозначения, наносимые на электроизмерительные приборы и вспомогательные части

Наименование	Условное обозначение
Обозначение по принципу действия прибора	
Магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой	
Магнитоэлектрический логометр с подвижными рамками	
Магнитоэлектрический прибор с подвижным магнитом	
Электромагнитный прибор	
Электромагнитный логометр	
Электродинамический прибор	
Ферродинамический прибор	
Электростатический прибор	
Вибрационный прибор (язычковый)	
Обозначения класса точности, положения прибора, прочности изоляции и др.	
Класс точности при нормировании погрешности в процентах от диапазона, например, 1,5	1,5
Класс точности при нормировании погрешности в процентах от длины шкалы, например, 1,5	
Горизонтальное положение шкалы	 или 
Вертикальное положение шкалы	 или 
Наклонное положение шкалы под определенным углом к горизонту, например, 60°	

Продолжение таблицы 1

Наименование	Условное обозначение
Нормальное (номинальное) значение частоты	500 Hz
Нормальная (номинальная) область частоты	45 – 550 Hz
Номинальное значение (подчеркнуто) и расширенная область частоты	20 – <u>50</u> – 120 Hz
Измерительная цепь прибора изолирована от корпуса и испытана напряжением, например, 2 кВ	☆ 2

Например, на шкале вольтметра нанесены обозначения

прибор предназначен для измерения напряжения в цепи постоянного тока

прибор магнитоэлектрической системы

измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением 2 кВ

шкала должна располагаться горизонтально

класс точности прибора 0,1



Рисунок 1 – Обозначения на шкале вольтметра

В последнее время широко используются цифровые универсальные приборы, отличающиеся высокой точностью и многоцелевым назначением. В отличие от стрелочных приборов инструментальные погрешности цифровых электроизмерительных приборов оцениваются по формулам, приводимым в инструкциях по эксплуатации. Так, например, значение относительной погрешности в процентах универсального цифрового вольтметра В7 – 34, работающего на включенном пределе 1 В, оценивается по формуле

$$\varepsilon_x = \left[0,015 + 0,02 \cdot \left(\frac{U_{\max}}{U} - 1 \right) \right] \cdot [1 + 0,1 \cdot |t - 20|],$$

где U_{\max} - конечное значение предела измерения, В;

U - значение измеряемого напряжения, В;

t - температура, при которой производится измерение, °С.

В случае измерения этим прибором напряжения величиной 0,5 В при температуре окружающей среды 30 °С значение систематической погрешности равняется:

$$\varepsilon_x = \left[0,015 + 0,02 \cdot \left(\frac{1}{0,5} - 1 \right) \right] \cdot [1 + 0,1 \cdot |30 - 20|] = 0,034 \text{ \%}.$$

При изменении предела измерения прибора (на 100 или 1000 В) или вида измерения (ток, сопротивление) структура формулы не изменяется, меняются только числа, входящие в формулу.

2 При работе с электроизмерительным прибором нужно знать...

Важно помнить, что класс точности стрелочных электроизмерительных приборов определяет максимальную (предельную) абсолютную погрешность, *величина которой не меняется вдоль всей шкалы*. Реальная абсолютная погрешность всегда меньше максимальной,

рассчитанной по классу точности прибора. Поэтому иногда допустимо абсолютную погрешность измерения принимать равной половине максимальной $\Delta \approx 0,5\Delta_{\max}$.

Вернемся к нашему примеру с вольтметром. Показания прибора всегда будут записаны с одинаковой абсолютной погрешностью 0,1 В – это максимальная погрешность, рассчитанная по классу точности. Например:

$$U_1 = 1,2 \pm 0,1 \text{ В}$$

$$U_2 = 5,0 \pm 0,1 \text{ В}$$

$$U_3 = 8,6 \pm 0,1 \text{ В}$$

Видим, что при неизменности абсолютной погрешности, относительная погрешность резко меняется при снятии показаний с разных участков шкалы:

$$\varepsilon_1 = \frac{0,1}{1,2} \approx 0,08 \quad \left(\leftarrow \% \right)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{0,1}{5,0} \approx 0,02 \quad \left(\leftarrow \% \right)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{0,1}{8,6} \approx 0,012 \quad \left(\leftarrow 2\% \right)$$

Видим, что качество измерения существенно улучшается при работе на второй половине шкалы. Отсюда следует **рекомендация: выбирать прибор** (или шкалу многопредельного прибора) **так, чтобы стрелка при измерениях всегда находилась на второй половине шкалы.**

Кроме того, надо иметь в виду, что наносить деления на шкале электроизмерительного прибора принято с таким интервалом, чтобы величина абсолютной погрешности не превышала половины цены деления. В таком случае нецелесообразно пытаться на глаз оценивать малые доли деления, если они не отмечены на шкале. Например, цена деления «нашего» вольтметра составляет 0,2 В/дел, а стрелка прибора остановилась **в любом месте между делениями** 2,4 В и 2,6 В. Результат измерения должен быть

записан как $(2,5 \pm 0,1)$ В. Пытаться с помощью это вольтметра измерять сотые доли вольта (типа 2,45 В) совершенно бессмысленно.

Еще одно важное замечание. Электроизмерительный прибор часто может иметь несколько пределов измерения при одной шкале. В этом случае **при снятии показаний прибора в таблицу записывают только число делений**, на которое отбрасывается стрелка шкалы. Это убережет вас от ошибки при записи экспериментальных данных. При обработке результата определяют цену деления прибора и высчитывают истинное значение измеренной величины.

Это правило не допускает исключений! Нужно поступать так и только так! Почему? Допустим, вы произвели перерасчет в уме в процессе выполнения измерения. При пересчете легко допустить ошибку, особенно если измерений много. При обработке результата вы никогда не обнаружите этой своей вычислительной ошибки. Последствия очевидны – недостоверный результат эксперимента.

Например, амперметр работает на пределе измерений 0,5 А. Шкала прибора во время измерения выглядит следующим образом:

Стрелка прибора установилась на делении 84. В таблицу измерения записывают это число – 84! Когда все измерения закончены, производим пересчет. Определяем цену деления прибора: при отклонении стрелки на всю шкалу, т.е. на 100 делений, прибор показывает ток 0,5 А. Следовательно,

$$\text{цена деления} = \frac{0,5\text{А}}{100 \text{ делений}} = 0,005 \frac{\text{А}}{\text{дел}}.$$

$$\text{Измеренное значение тока } I = 0,005 \frac{\text{А}}{\text{дел}} \cdot 84 \text{ дел} = 0,42 \text{ А}.$$

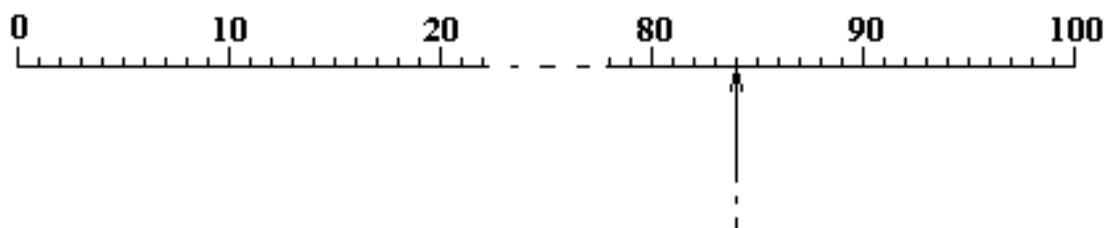


Рисунок 2 – Положение стрелки на шкале прибора

Пример 1



Рисунок 3 – Передняя панель миллиамперметра

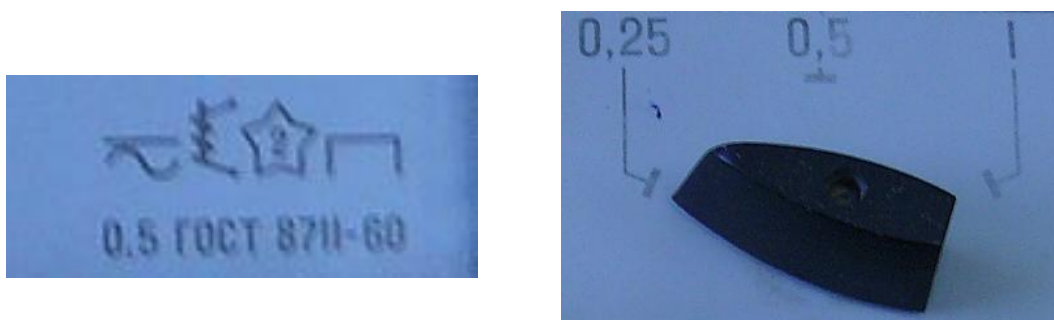


Рисунок 4 – Обозначения на шкале миллиамперметра

Характеристика прибора:

- 1 Прибор предназначен для измерения тока в цепях постоянного и переменного токов.
- 2 Прибор электромагнитной системы.

3 Измерительная цепь прибора изолирована от корпуса и испытана напряжением 2 кВ.

4 Прибор следует эксплуатировать в горизонтальном положении.

5 Класс точности прибора 0,5.

6 Шкала прибора содержит 100 делений.

Прибора может измерять напряжение в трех диапазонах.

Таблица 2 – Диапазоны измерений и цена деления миллиамперметра

Диапазон измерений	Цена деления, А/дел	Результат измерений, А (например, стрелка отклонилась на 64 деления)
0 – 0,25 А	$0,25/100= 0,0025$	$0,0025 \times 64 = 0,16$
0 – 0,5 А	$0,5/100 = 0,005$	$0,005 \times 64 = 0,32$
0 - 1 А	$1 / 100 = 0,01$	$0,01 \times 64 = 0,64$

Пример 2



Рисунок 5 – Передняя панель
вольтметра

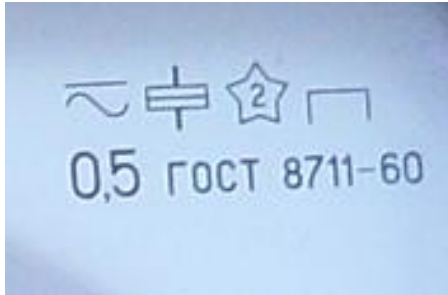


Рисунок 6 – Обозначения на шкале вольтметра

Характеристики прибора:

- 1 Прибор предназначен для измерения напряжения в цепях постоянного и переменного токов.
- 2 Прибор электродинамической системы.
- 3 Измерительная цепь прибора изолирована от корпуса и испытана напряжением 2 кВ.
- 4 Прибор следует эксплуатировать в горизонтальном положении.
- 5 Класс точности прибора 0,5.
- 6 Шкала прибора содержит 150 делений.

Прибора может измерять напряжение в четырех диапазонах.

Таблица 3 - Диапазоны измерений и цена деления вольтметра

Диапазон измерений	Цена деления, В/дел	Результат измерений, В (например, стрелка отклонилась на 112 делений)
0 – 75 В	$75/150 = 0,5$	$0,5 \times 112 = 56$
0 – 150 В	$150/150 = 1$	$1 \times 112 = 112$
0 - 300 В	$300 / 150 = 2$	$2 \times 112 = 224$

0 – 600 В	$600 / 150 = 4$	$4 \times 112 = 448$
-----------	-----------------	----------------------

3 Ошибки, возникающие при включении прибора в цепь

Рассмотрим простейшую ситуацию. Необходимо определить сопротивление проводника, используя для этих целей амперметр и вольтметр. Согласно закону Ома для однородного участка цепи сопротивление может быть рассчитано как

$$R = \frac{U}{I},$$

где U - напряжение на концах проводника,

I - сила тока.

Логично создать в проводнике ток, измерить напряжение и силу тока приборами и рассчитать сопротивление $R_{изм} = \frac{U_V}{I_A}$.

На самом деле все не так просто. Дело в том, что найденное таким образом сопротивление $R_{изм}$ не будет совпадать с истинным сопротивлением резистора R . Разберемся, почему.

Для выполнения поставленной задачи можно собрать две разные схемы:

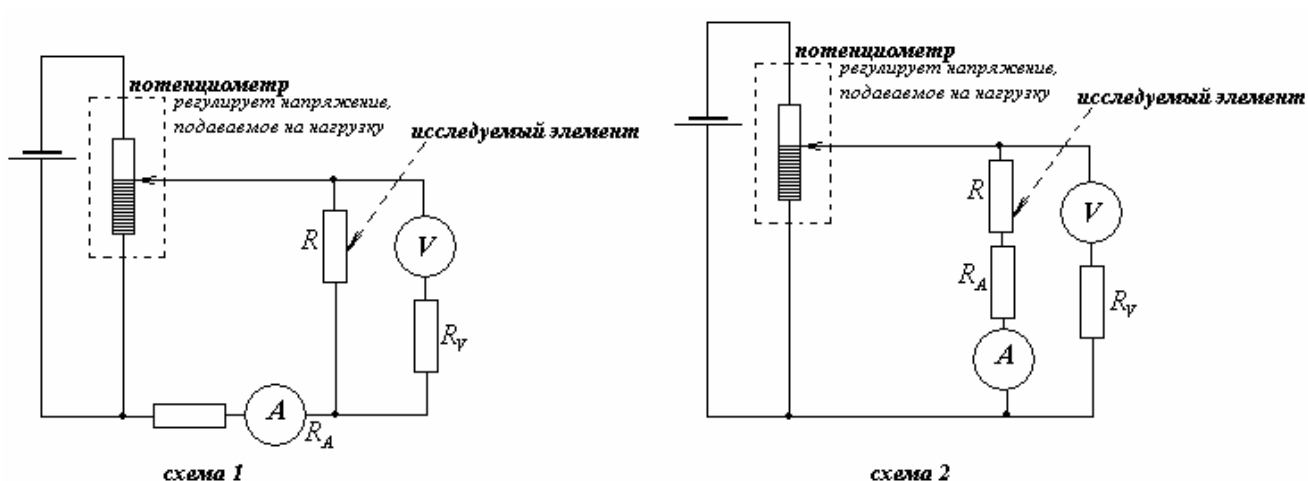


Рисунок 7 – Электрические схемы для определения сопротивления проводника при помощи амперметра и вольтметра

Обозначим U_V и I_A - показания приборов. Совершенно очевидно, что $\frac{U_V}{I_A} \neq \frac{U}{I}$ по той причине, что приборы обладают собственным внутренним сопротивлением R_A и R_V .

Рассмотрим, насколько отличается $R_{изм} = \frac{U_V}{I_A}$ от истинного значения сопротивления $R = \frac{U}{I}$.

Схема 1

Вольтметр и исследуемый резистор включены параллельно, следовательно,

$$U_V = U.$$

Амперметр показывает сумму токов, протекающих через резистор и вольтметр

$$I_A = I + I_V = \frac{U}{R} + \frac{U}{R_V}.$$

Сопротивление исследуемого резистора рассчитывается как

$$R_{изм1} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_V}{\frac{U}{R} + \frac{U}{R_V}} = \frac{U}{\frac{U}{R} + \frac{U}{R_V}} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_V}}.$$

Преобразуем выражение и найдем истинное значение сопротивления R :

$$\frac{1}{R} + \frac{1}{R_V} = \frac{1}{R_{изм1}}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{изм1}} - \frac{1}{R_V} = \frac{R_V - R_{изм1}}{R_V \cdot R_{изм1}}$$

$$R = \frac{R_{изм1} \cdot R_V}{R_V - R_{изм1}} = R_{изм1} \cdot \frac{R_V}{R_V \cdot \left(1 - \frac{R_{изм1}}{R_V}\right)} = R_{изм1} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{R_{изм1}}{R_V}\right)} = R_{изм1} \cdot \left(1 - \frac{R_{изм1}}{R_V}\right)^{-1}.$$

Как правило, сопротивление вольтметра много больше сопротивления исследуемого резистора $R_V \gg R_{изм1}$. Тогда $\frac{R_{изм1}}{R_V} \ll 1$ и мы можем применить формулу приближенного вычисления $1 + x^\alpha \approx 1 + \alpha x$ при $x \ll 1$. После преобразований для истинного значения исследуемого сопротивления имеем:

$$R = R_{изм1} \cdot \left(1 + \frac{R_{изм1}}{R_V}\right).$$

Схема 2

Амперметр соединен с исследуемым резистором последовательно, следовательно, токи, текущие через резистор и амперметр одинаковые:

$$I_A = I.$$

Вольтметр измеряет общее напряжение на резисторе и амперметре:

$$U_V = U + U_A = U + I \cdot R_A.$$

Находим сопротивление резистора:

$$R_{изм2} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U + I \cdot R_A}{I} = \frac{U}{I} + \frac{I \cdot R_A}{I} = R + R_A.$$

Истинное значение сопротивления

$$R = R_{изм2} - R_A = R_{изм2} \cdot \left(1 - \frac{R_A}{R_{изм2}}\right).$$

Подведем итоги

Для схемы 1:

$$R = R_{изм1} \cdot \left(1 + \frac{R_{изм1}}{R_V} \right). \quad (1)$$

Для схемы 2 :

$$\text{Члены, стоящие в } R = R_{изм2} \cdot \left(1 - \frac{R_A}{R_{изм2}} \right). \quad (2)$$

скобках, $\frac{R_{изм1}}{R_V}$ и $\frac{R_A}{R_{изм2}}$ определяют поправки, которые

следует внести в измерения. Хотя **поправки на сопротивления приборов в принципе могут быть рассчитаны, этого, как правило, не делают.** Расчет поправок в нашем случае оказался несложным. При измерениях в разветвленных цепях этот расчет поправок становится невероятно трудоемким и при изменении схемы должен рассчитываться заново. Таким образом, мы получаем **типичный пример систематической ошибки,** возникающей из-за упрощения расчетной формулы. Результат измерений по схеме 1 заниженный $R_{изм1} < R$. Результат измерений по схеме 2 завышенный $R_{изм2} > R$.

Рассмотрим пример 1: Пусть $R \approx 5$ Ом, $R_V = 500$ Ом, $R_A = 1$ Ом. Оценим по формулам (1) и (2) величины поправок при измерении сопротивления R :

$$\text{Для схемы 1 } \frac{R}{R_V} = \frac{5}{500} = 0,01, \text{ то есть поправка составляет } 1 \%.$$

$$\text{Для схемы 2 } \frac{R_A}{R} = \frac{1}{5} = 0,20, \text{ то есть поправка составляет } 20 \%.$$

Вывод: для измерения небольших сопротивлений меньшую ошибку дает схема 1, схемой 2 в этом случае никто не пользуется.

Пример 2: Пусть $R \approx 100$ Ом, $R_V = 500$ Ом, $R_A = 1$ Ом.

$$\text{Для схемы 1 } \frac{R}{R_V} = \frac{100}{500} = 0,20, \text{ то есть поправка составляет } 20 \%.$$

Для схемы 2 $\frac{R_A}{R} = \frac{1}{100} = 0,01$, то есть поправка составляет 1 %.

Вывод: Если сопротивление вольтметра сопоставимо с величиной сопротивления исследуемого резистора, то измерения производят по схеме 2 – она даст меньшую ошибку.

Экспериментальная часть

Задание 1 Знакомство с электроизмерительными приборами

Изучите шкалы электроизмерительных приборов, используемых в работе (амперметра и вольтметра). Заполните таблицу.

Характеристика прибора	Амперметр	Вольтметр
Прибор постоянного, переменного тока или комбинированный		
Система (электромагнитная или магнитоэлектрическая)		
Количество делений шкалы		
Цена деления шкалы		
Класс точности		
Наибольшая абсолютная погрешность Δ_{\max}		
Приборная ошибка		

$\Delta \approx 0,5\Delta_{\max}$		
Сопротивление прибора		
Рабочее положение шкалы		

Задание 2 Изучение лабораторной установки и выбор схемы для снятия вольтамперной характеристики (ВАХ)

Установка для определения сопротивления проводника показана на рисунке. В металлическом корпусе уже собраны две возможные схемы для определения сопротивления.



Рисунок 8 - Установка для определения сопротивления проводника

Исследуемый проводник – *участок* проволоки, находящийся между средним и нижним кронштейнами установки.

На лицевой панели располагаются:

- Кнопка «Сеть»;
- Кнопка «Мост»;
- Кнопка регулятор тока (в дальнейшем «Рег. тока») - позволяет изменять напряжение, подаваемое на исследуемый проводник, и, следовательно, ток в нем;
- Шкалы измерительных приборов – амперметра и вольтметра.

Перед включение установки в сеть убедитесь, что рукоятка «Рег. тока» повернута *до упора против часовой стрелки*.

1 Включите установку (включите шнур в розетку, нажмите кнопку «Сеть» - на лицевой панели загорается лампочка).

2 Нажмите кнопку «Мост».

3 Кнопка выбора схемы может находиться в любом положении

4 Подайте на исследуемый резистор произвольное напряжение.

Снимите показания вольтметра и амперметра.

По показаниям приборов оцените сопротивление исследуемого куска проволоки

$$R_{изм} = \frac{U_{изм}}{I_{изм}}.$$

Оцените относительную погрешность сопротивления (смотри страницу 8 описания работы).

Для схемы 1 $\frac{R_{изм}}{R_V} =$

Для схемы 2 $\frac{R_A}{R_{изм}} =$

Сравните систематические погрешности сопротивления, которые дают схемы 1 и 2, сопоставьте их с инструментальной погрешностью измерительных приборов. Определите, какая из возможных схем определения сопротивления дает меньшую ошибку, обоснуйте свой выбор.

Задание 3 Снятие вольтамперной характеристики (ВАХ)

Вольтамперной характеристикой какого-либо элемента цепи называется зависимость силы тока от напряжения. Знание вольтамперной характеристики принципиально важно при расчете электрической цепи. Почему?

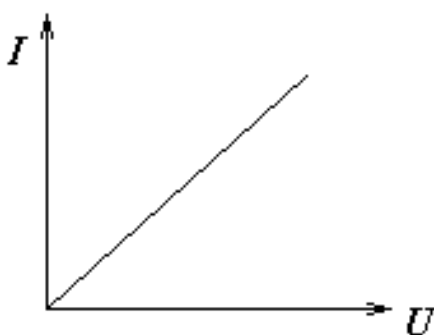


Рисунок 9 – ВАХ проводника

Если зависимость силы тока от напряжения выглядит так, как показано на рисунке 9, то говорят, что вольтамперная характеристика линейная. В этом случае сила тока в данном элементе цепи прямо пропорциональна приложенному к его концам напряжению. Прямая пропорциональность между током и напряжением – это не что иное, как закон Ома. Следовательно, *в случае прямой вольтамперной характеристики для участка цепи, содержащей данный элемент, можно использовать закон Ома.*

Если вольтамперная характеристика не является линейной, говорят, что «элемент нелинейный». При расчете цепи с нелинейным элементом **НЕЛЬЗЯ** применять закон Ома к участку цепи, содержащей нелинейный

элемент. В этом случае используют законы последовательного и параллельного соединения и строят так называемую нагрузочную прямую.

Для снятия вольтамперной характеристики собирают схему, дающую наименьшую погрешность. Этот выбор Вами уже сделан ранее. ***На лабораторной установке выставите кнопку выбора схемы в нужное положение.***

Приготовьте таблицу для снятия ВАХ.

Увеличиваем напряжение		Уменьшаем напряжение	
$U, В$	$I, А$	$U, В$	$I, А$
0,30		0,75	
0,40		0,65	
0,50		0,55	
...

1 При помощи рукоятки «Рег. тока» увеличивайте напряжение, подаваемое на исследуемый резистор с шагом 0,1 В. Показания вольтметра и амперметра заносите в таблицу.

2 Проведите измерения в обратном направлении, уменьшая напряжение с шагом 0,1 В. Результаты измерений заносите в таблицу.

3 По результатам измерений постройте на миллиметровой бумаге вольтамперную характеристику резистора. Воспользуйтесь правилами построения графиков по экспериментальным точкам.

4 По виду ВАХ сделайте вывод, является ли исследуемый проводник линейным или нелинейным элементом. Возможно ли применение закона Ома к участку цепи, содержащему данный проводник?

5 По вольтамперной характеристике резистора определите его сопротивление и рассчитайте погрешность определения сопротивления резистора:

Шаг 1 Находим среднее значение R как угловой коэффициент вольтамперной характеристики: $R_{cp} = \frac{U}{I}$, где U и I - значения тока и напряжения, взятые на прямой в некоторой точке у ее конца.

Шаг 2 Относительную погрешность R_{cp} оцениваем по формуле:

$$\varepsilon_R = \frac{\Delta R}{R_{cp}} = \sqrt{\varepsilon_U^2 + \varepsilon_I^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2}.$$

Шаг 3 Значения приборных ошибок ΔI и ΔU определены по классу точности приборов (смотри таблицу в задании № 1).

Шаг 4 Рассчитываем абсолютную погрешность измерения R_{cp} :

$$\Delta R = \varepsilon_R \cdot R_{cp}.$$

- Записываем окончательный результат в виде:

$$R = R_{cp} \pm \Delta R.$$

Контрольные вопросы

- 1 Что называют классом точности прибора. Что он позволяет определить?
- 2 Как определить приборную ошибку электроизмерительного прибора?
- 3 Почему электрические измерения рекомендуется производить на второй половине шкалы?
- 4 В чем причина систематической ошибки, даваемой различными схемами, при определении сопротивления?
- 5 Какую схему соединения приборов следует выбрать, если сопротивление исследуемого участка цепи много меньше внутреннего сопротивления вольтметра?

6 Какую схему соединения приборов следует выбрать, если сопротивление исследуемого участка цепи сопоставимо с внутренним сопротивлением вольтметра?

7 Что называют вольтамперной характеристикой?

8 Для каких элементов цепи можно применять закон Ома?

9 Как рассчитать сопротивление проводника по его ВАХ?

10 Как оценить ошибку расчета сопротивления по ВАХ?

Список использованных источников

1 Лабораторные занятия по физике / под ред. Л.Л. Гольдина. – М.: Наука, 1983. – С. 53 – 66 с.

2 Сквайрс, Дж. Практическая физика / Дж. Сквайрс – М.: Мир, 1971.

3 Лабораторный практикум по общей физике: в 2 т. Т. 1/ под ред. проф. А.Д. Гладуна. – М.: Изд-во МФТИ, 2004.- С. 17 – 50 с.

4 Зайдель, А.Н. Ошибки измерений физических величин / А.Н. Зайдель – М.-С-Пб.: Лань, 2005.