

## Лабораторная работа 2.1

### Основные электрические измерения и обработка их результатов

**Цель работы:** проведение измерений основных электрических величин при помощи цифровых и стрелочных электроизмерительных приборов и определение точности этих измерений.

#### Введение

Устройства, предназначенные для измерения электрических величин, называются электроизмерительными приборами. Основными величинами, характеризующими физические процессы, протекающие в электрических цепях, являются: сила тока (обозначается –  $I$ ), разность потенциалов между двумя точками электрической цепи или электрическое напряжение ( $U$ ) и электрическое сопротивление ( $R$ ). Они связаны между собой законом Ома:  $I = U / R$ .

Сила тока численно равна заряду, протекающему через поперечное сечение проводника в единицу времени, и измеряется в амперах ( $1\text{А}=1\text{Кл}/1\text{с}$ ) или в производных единицах – миллиамперах ( $10^{-3}\text{А}$ ), обозначаемых как мА или mA, микроамперах ( $10^{-6}\text{А}$ ), обозначаемых как мкА или  $\mu\text{А}$  и др. Приборы для измерения силы тока называются амперметрами (милли-, микроамперметры и т.д.).

Разность потенциалов (напряжение) между двумя точками цепи численно равна работе по перемещению между этими точками единичного положительного заряда ( $q=+1\text{Кл}$ ) и измеряется в вольтах ( $1\text{В}=1\text{Дж}/1\text{Кл}$ ). Соответствующие измерительные приборы называются вольтметрами (кило-, милливольтметрами и т.д.).

Электрическое сопротивление участка цепи (по закону Ома) равно отношению разности потенциалов на его концах к силе тока, протекающего по этому участку, и измеряется в Омах ( $1\text{Ом}=1\text{В}/1\text{А}$ ). Приборы, предназначенные для измерения сопротивления, называются омметрами (милли-, мегомметрами и т.д.).

Приборы для измерения этих трех электрических величин, называют авометрами (ампервольтметрами). Они часто служат для проверки электрических схем и элементов цепи. Поэтому их ещё называют тестерами. Современные электронные цифровые приборы с расширенным перечнем измеряемых величин (например, добавлена возможность измерять ёмкость, индуктивность, частоту, параметры транзисторов и диодов) называют мультиметрами.

Измерительные приборы имеют клеммы (зажимы) или «гнезда», к которым присоединяются концы проводов, предназначенных для подключения прибора к электрической цепи. Вторые концы этих проводов часто заканчиваются металлическими наконечниками - щупами или раздвижными зажимами типа «крокодил». **Соединительные провода, а также щупы и наконечники обязательно должны быть с внешней изоляцией, чтобы обеспечить безопасность пользователя при проведении электрических измерений.**

**Выбор прибора** для измерений осуществляется по следующим критериям.

- 1) Соответствие измеряемой величины (ток, напряжение, сопротивление и т.п.) типу прибора (обычно указывается в виде надписи «А», «V», «Ω» и т. п.).
- 2) Соответствие вида измеряемого тока или напряжения (переменный или постоянный) возможностям прибора (указывается значками «~» или «—», либо сочетанием латинских букв «AC» (alternative current) или «DC» (direct current), соответственно).
- 3) Соответствие значения измеряемой величины пределу измерения прибора, который определяется по цифрам в конце измерительной шкалы или по положению переключателей режима работы прибора. Поэтому желательно предварительно провести расчет (оценку) значения измеряемой величины.
- 4) Точность измерений, которая определяется, прежде всего, точностью самого прибора, что указывается в паспорте прибора или на его шкале (см. далее в тексте).

Необходимо отметить, что для выполнения измерений измерительный прибор должен подключаться к измеряемой цепи, и таким образом он становится дополнительным элементом этой цепи. Как элемент цепи, измерительный прибор характеризуется собственным сопротивлением  $R_{np}$ . Поэтому его подключение всегда изменяет сопротивление исследуемой цепи и, следовательно, величину протекающего в ней тока по сравнению с истинной величиной, т.е. до подключения прибора. Это приводит к ошибкам измерения, вызванным самим фактом осуществления этих измерений. Для устранения этих ошибок необходимо знать сопротивление прибора, которое указывается в паспорте прибора или на его шкале. Одному из методов непосредственного измерения сопротивления приборов посвящена работа 2.2. Полностью учесть все виды ошибок измерения можно с помощью определенных методик, с которыми студенты знакомятся при выполнении работы 2.4.

### **Часть 1. Измерения с использованием цифрового мультиметра**

Для выполнения заданий лабораторной работы используется следующее оборудование: цифровой мультиметр **UT70A**, источник постоянного тока **BC 4-12**, реостат, набор соединительных проводов.

Принцип действия цифровых мультиметров основан на измерении напряжения постоянного тока, поступающего на вход электронного устройства, то есть они, по сути, являются вольтметрами.

Для измерения силы тока в них встроено эталонное сопротивление - резистор  $R_{эм}$ , величина которого известна с высокой точностью. Прибор фиксирует величину падения напряжения  $U_{np}$  на этом резисторе. Тогда сила тока может быть определена как  $I = U_{np} / R_{эм}$ . Такой пересчет осуществляется электронным устройством, которое входит в состав прибора, и отображает на его дисплее значение силы тока в цифровом виде.

Возможность проведения измерений других величин определяется конструкцией электронного устройства прибора. Так, для измерения параметров переменного тока в составе прибора имеется дополнительный выпрямитель. В

режиме измерения сопротивлений в мультиметре последовательно соединены амперметр и внутренний источник питания. Подключение измеряемого сопротивления приводит к образованию замкнутой цепи и появлению тока, величина которого обратно пропорциональна измеряемому сопротивлению, что позволяет показывать на дисплее прибора численное значение сопротивления.

К мультиметру прилагается два комплекта измерительных проводов – два длинных провода со щупами на концах и два коротких с зажимами типа «крокодил». Другие концы этих проводов имеют специальные наконечники, которые вставляются в гнезда на панели мультиметра. Обычно провода и (или) наконечники различаются по цвету. В изучаемом мультиметре провод черного цвета должен быть всегда вставлен в гнездо «СОМ», а красный – в гнездо, соответствующее виду измерений.

Прежде чем подключать прибор к измеряемому участку электрической цепи, рекомендуется проверить исправность прибора. Для этого нужно включить питание прибора и убедиться в наличии нулевых показаний на его дисплее (или нулевого положения стрелки стрелочного прибора). Чтобы осуществить такую проверку перед измерениями сопротивления, нужно на короткое время замкнуть между собой концы измерительных проводов. «Корректировка нуля» в цифровых приборах происходит автоматически. В стрелочных приборах может понадобиться ручная корректировка.

### З а д а н и е 1. Измерение переменного напряжения городской электросети.

Для измерения напряжения на некотором участке электрической цепи вольтметр всегда присоединяется к концам этого участка, то есть параллельно ему. При необходимости это подключение может быть выполнено без отключения напряжения в цепи с помощью щупов, прилагаемых к прибору.

Как известно, напряжение в электросети составляет 220 В. Поэтому установите переключатель мультиметра в то положение сектора «V<sub>?</sub>», которое наиболее соответствует этому значению, но больше его, то есть «750». **Если Вы будете проводить измерение на пределе «200», то либо на дисплее высветится символ «OL» - перегрузка, либо дисплей погаснет – прибор перегорел!**

Включите прибор кнопкой «power». На дисплее высветится символ «V». Так как, измеряемое напряжение является переменным, то на дисплее должен высвечиваться символ «АС». Если он не высвечивается, переведите прибор в режим измерений в цепях переменного тока нажатием кнопки «-».

Вставьте специальные наконечники на концах длинных измерительных проводов в гнезда «СОМ» и «V/Ω» прибора в соответствии с их цветом. Щупы на концах измерительных проводов вставьте в электрическую розетку на лабораторном столе.

Запишите в тетради  $U_{изм}$  по показаниям дисплея и отсоедините щупы от розетки.

Выключите мультиметр (в конструкции мультиметра с целью экономии энергии внутреннего источника питания предусмотрено его автоматическое выключение, если в течение 5 мин с ним не проводилось никаких действий).

Конечный результат измерения должен быть записан в виде  $U = U_{изм} \pm \Delta U$ , где  $\Delta U$  - абсолютная ошибка измерения.

Для определения  $\Delta U$  выпишите из паспорта прибора данные о величине погрешности измерения, которые приведены в виде  $\pm(A\% + B)$ , где  $A\%$  - ошибка в % от измеренной величины и  $B$  - ошибка индикации в виде определенного количества единиц младшего разряда цифрового дисплея.

Например, если прибор показывает переменное напряжение 22,4 В и из паспорта прибора определена погрешность как  $\pm(0,8\% + 3)$ , то  $A\% = 0,8\%$ ,  $B = 3$  и единица младшего разряда равна 0,1В.

Тогда:  $\Delta U = 22,4 \times A / 100 + 0,1 \times B = 22,4 \times 0,8 / 100 + 0,1 \times 3 = 0,48$  В и  
 $U = 22,4$  В  $\pm 0,48$  В.

Проведите расчет абсолютной ошибки  $\Delta U$  Вашего измерения и запишите полученный результат в тетради.

Определите относительную ошибку измерения  $\varepsilon = \Delta U / U_{изм}$ , выразите ее в % и запишите в тетради.

### З а д а н и е 2. Измерение напряжения на выходе источника постоянного тока.

Источник постоянного тока (ВС 4-12) работает от городской электросети. На лицевой панели источника расположены: тумблер включения устройства, сигнальная лампочка – индикатор включения, переключатель выходного напряжения, зажимы (клеммы) с обозначением полярности для подключения элементов внешней цепи.

Установите переключатель мультиметра в положение «20V», что соответствует пределу измерений, который наиболее близок к максимальному напряжению на выходе источника. Включите прибор кнопкой «power». На дисплее должен высветиться символ «V». Переведите прибор в режим измерений в цепях постоянного тока нажатием кнопки « $\rightarrow$ ». При этом на дисплее должен исчезнуть символ «AC».

Включите источник постоянного тока тумблером на его панели. Щупами на концах измерительных проводов коснитесь одновременно выходных клемм источника, соблюдая полярность – черный щуп к «-», красный к «+». При неправильном подключении цифрового прибора на его дисплее высвечивается значок « $\rightarrow$ » перед цифрами отсчета измеряемой величины.

Запишите в тетради результат измерения  $U$  по показаниям дисплея, отсоедините щупы от клемм источника, выключите источник тока и мультиметр.

Используя методику расчетов погрешности измерения, приведенную в Задании 1, проведите соответствующие вычисления и запишите в тетради результаты измерения  $U$ , вычислений абсолютной и относительной ошибок измерения.

### З а д а н и е 3. Измерение сопротивления реостата.

Реостат представляет собой катушку, на которую намотана проволока с высоким удельным сопротивлением. На реостате имеется подвижный контакт, который скользит по катушке. В свою очередь, этот контакт закреплен на ползунке, который

перемещается по направляющему стержню. Реостат имеет три клеммы – на концах катушки и на одном из концов этого стержня. Величина сопротивления между клеммой ползунка и любым из концов (клемм) катушки зависит от положения скользящего контакта на катушке.

Электрическое сопротивление (в отличие от напряжения и силы тока) является характеристикой элементов электрических цепей, а не процессов, которые в них протекают. Поэтому для измерения сопротивления элемент (в нашем случае реостат) не нужно подключать к электрической цепи.

Запишите в тетради значение сопротивления реостата, указанное в табличке на его ползунке или корпусе. Установите переключатель мультиметра в то положение сектора «Ω», которое наиболее соответствует этому значению. Включите прибор кнопкой «power». На дисплее должен высветиться символ «Ω».

Установите движок реостата примерно в среднее положение. Щупами на концах измерительных проводов коснитесь одновременно клемм на корпусе реостата.

Запишите в тетради значение сопротивления  $R$  по показаниям дисплея, отсоедините щупы от реостата и выключите мультиметр.

Используя методику проведения расчетов и форму записи результатов вычислений и измерений, приведенных в Задании 1, запишите в тетради результаты измерения  $R$  и вычислений абсолютной и относительной ошибок измерения.

Повторите измерения для каждой из половин реостата. Убедитесь в том, что  $R = R_{насч} = R_1 + R_2$ .

#### З а д а н и е 4. Проверка исправности электрической цепи с помощью мультиметра.

Омметр можно использовать для проверки целостности проводников и других элементов (ламп, обмоток различных устройств и т.п.). При подключении омметра к концам проверяемой цепи при отсутствии в ней обрыва омметр должен показывать какое-то сопротивление. Если сопротивление равно «∞», то это говорит о наличии обрыва в цепи. Аналогичную проверку можно осуществить более простым способом, заменив омметр последовательно соединенными батарейкой и лампочкой. При целостности проводника, к концам которого присоединена такая цепочка, лампочка должна светиться. Можно вместо лампочки присоединить к батарейке звонок. Тогда, если проводимость проверяемого проводника не нарушена, мы услышим звонок. Это часто упрощает проверку, так как не нужно одновременно подключать прибор, и смотреть на его шкалу. Исправность проверяемого участка цепи воспринимается на слух. Поэтому такой простейший способ проверки электрических цепей получил название «прозвонка». В некоторых мультиметрах такая возможность тоже предусмотрена. В одном из положений переключателя рода работы при замыкании измерительных проводников между собой (а, значит, и при подключении их к концам участка цепи с ненарушенной проводимостью) слышен звуковой сигнал.

Получите у инженера устройство, которое необходимо проверить.

Включите мультиметр. Подключая прибор к различным участкам предложенного Вам устройства, определите и запишите в тетради, какой из участков цепи поврежден.

### З а д а н и е 5. Измерение частоты переменного тока в городской электросети (выполняется по усмотрению преподавателя).

Для выполнения этого задания необходимо использовать понижающий трансформатор, так как напряжение на входе мультиметра в режиме измерения частоты не должно превышать 30 В.

Установите поворотный переключатель в положение «10MHz». При этом виде измерений, как только Вы прикоснетесь концами щупов к выводам тестируемого элемента цепи, на дисплее высвечивается измеряемая частота, так как диапазон измерений прибор выбирает автоматически.

Проведите измерение частоты на выходе понижающего трансформатора. Вычислите абсолютную и относительную ошибки измерения частоты, запишите в тетради полученные результаты.

## **Часть 2. Измерения при помощи стрелочного прибора**

Угол отклонения стрелки у большинства стрелочных приборов зависит от взаимодействия магнитных полей неподвижного и подвижного (к которому, собственно, и прикреплена стрелка) магнитов. Один из них является электромагнитом, величина магнитного поля которого зависит от силы измеряемого тока, протекающего через его обмотку. Таким образом, по принципу действия эти приборы измеряют силу тока и являются амперметрами.

Но поскольку обмотка электромагнита обладает сопротивлением, то в соответствии с законом Ома каждому положению стрелки может быть поставлено в соответствие определенное значение напряжения на концах обмотки. Поэтому эти приборы могут быть использованы и в качестве вольтметров с пределом измерения, равным  $U_{\text{макс}} = I_{\text{макс}} \times R_{\text{пр}}$ .

Наличие дополнительных элементов (шунты и добавочные сопротивления) позволяет изменять пределы измерений приборов. Изучению этого вопроса посвящена лабораторная работа 2.2.

При измерении в цепях постоянного тока важно соблюдать полярность подключения приборов, чтобы не вывести его из строя. В противном случае, стрелка будет отклоняться в обратную сторону и может сломаться. Обычно значками «-», «\*» или надписью «общ» обозначают ту клемму прибора, к которой должен подключаться провод со стороны отрицательного полюса источника питания.

Класс точности прибора указывается на его шкале (часто обводится кружком) в виде одного из чисел:  $\gamma = 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0$ . Это число равно относительной ошибке прибора в процентах для выбранного предела измерений. С его помощью можно определить абсолютную ошибку для любого значения отсчёта.

Например, если предел измерения прибора  $I_{max} = 200$  мА и  $\gamma = 0,5$ , то абсолютная ошибка любого измерения на данном пределе измерений:  $\Delta I = \gamma \times I_{max} = (0,5\%/100\%) \times 200 = 1,0$  мА. Для  $I_{изм} = 40$  мА относительная ошибка составит:  $\varepsilon = (\Delta I / I_{изм}) \times 100\% = (1,0/40) \times 100\% = 2,5\%$ . Если же  $I_{изм} = 160$  мА, то, по-прежнему,  $\Delta I = 1,0$  мА, но относительная ошибка измерения будет значительно меньше:  $\varepsilon = 0,625\%$ . Этот пример показывает, что для повышения точности измерений предел измерений прибора  $I_{max}$  следует выбирать по возможности ближе к значению  $I_{изм}$ .

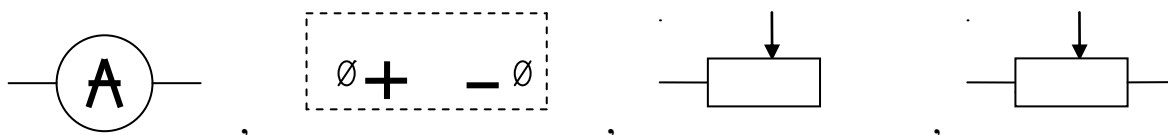
Во многих случаях паспортная точность прибора обеспечивается лишь при правильном положении прибора в пространстве – вертикальном или горизонтальном, что указывается на шкале прибора в виде значков « $\perp$ » или « $\leftarrow$ », соответственно.

При измерениях силы тока амперметр включают в электрическую цепь последовательно, то есть в разрыв одного из проводов цепи. В нашем случае это обеспечивается уже при сборке цепи. Но если необходимо выполнить измерение силы тока в реальной цепи, то следует действовать в следующей последовательности:

- выключить в измеряемой цепи источник тока;
- создать разрыв в цепи, отсоединив один из проводов цепи;
- подключить измерительный прибор в разрыв цепи;
- включить источник тока;
- провести измерения;
- вновь выключить источник тока, отключить амперметр;
- восстановить электрическую цепь.

### З а д а н и е 6. Измерение силы тока в электрической цепи, состоящей из выпрямителя и реостата.

Нарисуйте в тетради под руководством преподавателя электрическую схему лабораторной установки, которая состоит из последовательно соединенных амперметра, источника тока и реостата, используя общепринятые условные обозначения амперметра, источника тока, реостата и потенциометра, соответственно:



Ознакомьтесь с предложенным Вам измерительным прибором – расположением клемм и переключателей. Надписи около них обычно соответствуют виду измеряемой величины и пределу измерений. Иногда в виде цифры со значком « $\times$ » указывается значение множителя, увеличивающего предел измерений прибора.

Убедитесь, что прибор предназначен для измерений в цепях постоянного тока, о чем свидетельствует отсутствие значка « $\sim$ » на шкале прибора.

На основе данных, полученных в предыдущих заданиях, рассчитайте по закону Ома ожидаемое значение силы тока в цепи  $I_{изм}$ . Установите переключателями

измерительного прибора нужный предел измерений ( $I_{max}$ ) такой, чтобы  $I_{изм}$  был как можно ближе к  $I_{max}$ , но  $I_{max} \geq I_{изм}$ .

Обратите внимание, что для повышения точности отсчёта показаний приборы снабжены зеркальной шкалой. Отсчёт нужно проводить, располагая глаза так, чтобы стрелка «совпадала» с её отражением.

Соберите установку по нарисованной схеме, соблюдая полярность подключения измерительного прибора. Включите источник и запишите в тетради показание прибора в делениях шкалы. Отключите источник. Запишите предел измерений прибора, определите цену одного деления для выбранного предела измерений в миллиамперах и получите результат измерения  $I_{изм}$  в миллиамперах.

Выпишите значение класса точности прибора, вычислите абсолютную и относительную ошибки измерения  $I_{изм}$  и запишите в тетради результаты вычислений и измерения  $I_{изм}$ .

Сравните результат измерений с расчетным значением силы тока.

Определите внутреннее сопротивление прибора. Для этого воспользуйтесь таблицей, которая помещена в нижней части его шкалы. В ней в верхней строке указаны пределы измерений прибора  $I_{пр}$ , а в нижней – значения падения напряжения на приборе  $U_{пр}$  для каждого предела измерений..

Выберите нужное Вам значение  $U_{пр}$  для используемого Вами предела и измерений, запишите его в тетради и рассчитайте  $R_{пр}$ , используя закон Ома.

### Вопросы и упражнения

1. Опишите порядок действий при измерениях электрического напряжения.
2. Опишите порядок действий при измерениях силы тока в собранной цепи.
3. Объясните принцип измерения сопротивлений омметром.
4. Опишите порядок действий при измерениях сопротивлений в собранной цепи.
5. Как проверить исправность омметра?
6. Объясните способ проверки целостности электрических цепей при помощи омметра.
7. Что такое класс точности прибора?
8. Как рассчитать максимальную абсолютную погрешность прибора?
9. Как рассчитать максимальную относительную погрешность прибора при любом положении стрелки?
10. Почему предел измерений стрелочных приборов выбирается таким, чтобы во время измерений стрелка прибора устанавливалась как можно ближе к концу шкалы?
11. Как изменится сила тока в цепи, при подключении к ней амперметра?
12. Почему сопротивление амперметра должно быть как можно меньше?
13. Как изменится сила тока в цепи при подключении к какому-либо ее участку вольтметра?
14. Почему сопротивление вольтметра должно быть как можно больше?