

# Тема 1. Электрические измерения

## Лабораторная работа № 1 (2.1)<sup>1</sup>

### Основные электрические измерения и обработка их результатов

#### 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 ( $R$ ).

Сила тока численно равна заряду, протекающему через поперечное сечение проводника в единицу времени, и измеряется в амперах ( $1 \text{ А} = 1 \text{ Кл/1с}$ ) или в производных единицах – миллиамперах ( $10^{-3} \text{ А}$ ), обозначаемых как мА, микроамперах ( $10^{-6} \text{ А}$ ), обозначаемых как мкА и др. Приборы для измерения силы тока называются амперметрами (миллиамперметрами, микроамперметрами 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 ( $1 \text{ В} = 1 \text{ Дж/1Кл}$ ). Соответствующие измерительные приборы называются вольтметрами (киловольтметрами, милливольтметрами и т.д.).

Сила тока и напряжение связаны между собой законом Ома:  $I = U / R$ , где электрическое сопротивление  $R$  является характеристикой электрической цепи (или ее участка). Оно равно отношению разности потенциалов на его концах к силе тока, протекающего по этому участку, и измеряется в Омах ( $1 \text{ Ом} = 1 \text{ В/1А}$ ). Приборы, предназначенные для измерения сопротивления, называются омметрами (мегаомметрами и т.д.).

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

1) Соответствие типа прибора (обычно указывается в виде надписи «А», «V», «Ω» и т.д. на шкале прибора или на его лицевой панели) измеряемой величине (сила тока, напряжение, сопротивление 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 предела измерения прибора предполагаемому значению измеряемой величины.

4) Соответствие приборной погрешности требуемой точности измерений.

---

<sup>1</sup> Лабораторная работа проводится фронтально под руководством преподавателя.

5) При выполнении прецизионных измерений необходимо также учитывать внутреннее сопротивление прибора. Это связано с тем, что при выполнении измерений прибор становится дополнительным элементом исследуемой цепи, а это меняет условия прохождения тока в цепи.

6) Безопасность при использовании.

Широкое применение на практике находят многофункциональные и многопредельные приборы. Приборы для измерения  $I$ ,  $U$  и  $R$  называют ампервольтметрами или сокращенно авометрами. Они часто служат для проверки (тестирования) электрических цепей и элементов. 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.

**Внимание!** При работе с такими приборами необходимо предварительно провести расчет (оценку) значения измеряемой величины, при помощи соответствующих переключателей установить требуемые вид и предел измерений и только затем переходить к подключению приборов, как правило, после отключения напряжения питания в исследуемой цепи.

#### *Экспериментальные задачи, поставленные в работе:*

- измерения основных электрических величин при помощи электроизмерительных приборов разного типа;
- определение ошибок измерений электрических величин;
- поиск неисправностей электрических цепей при помощи электроизмерительных приборов;
- оценка погрешности, вносимой подключением измерительного прибора к электрической цепи.

Для выполнения заданий лабораторной работы используется следующее оборудование: цифровой мультиметр **UT70A**, стрелочный прибор серии **M4200**, источник постоянного тока (выпрямитель) **BC4-12**, реостат, набор соединительных проводов.

#### **Подготовка протокола к работе**

Запишите в тетради номер и название работы.

Запишите в тетради номер и название задания 1.

#### **Измерения и обработка результатов**

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

##### ***Задание 1. Измерение переменного напряжения городской электросети***

*Проверьте работоспособность мультиметра.* Для этого ознакомьтесь с расположением и назначением элементов управления прибора: кнопок, основного переключателя режимов и гнездами подключения. Вставьте специальные наконечники на концах длинных измерительных проводов в гнезда «**COM**» и «**V/Ω**» прибора в соответствии с их цветом.

**Внимание!** В целях безопасности при выполнении измерений прикасаться руками к металлическим щупам на концах проводов категорически запрещается. Разрешается братья руками только за изолированную часть наконечников.

Включите питание прибора желтой кнопкой «power» и убедитесь в наличии индикации на дисплее: значения измеряемых величин в виде крупных цифр в центре экрана и единиц измерений в верхнем правом углу. Проверьте соответствие индикации виду измерений при различных положениях переключателя. В большинстве режимов работы на дисплее должно отобразиться нулевые показания. В режиме омметра на дисплее должна появиться индикация «OL», что соответствует бесконечности. Обратите внимание на то, что в приборе используются как основные, так и производные единицы измерений с приставками: М - мега, к - кило, м - милли, μ - микро. Выключите прибор желтой кнопкой «power» (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).

*Подготовьте мультиметр к выполнению нужного вида измерений.* Как известно, напряжение в городской электросети составляет 220В. Поэтому установите переключатель мультиметра в то положение сектора «V», 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. В верхнем правом углу дисплея высветится символ единицы измерений - «V». Так как измеряемое напряжение является переменным, то на дисплее должен также появиться символ «AC» (в левом нижнем углу). Если он не высвечивается, переведите прибор в режим измерений в цепях переменного тока нажатием кнопки « $\simeq$ ».

Проведите измерения. Вольтметр, как следует из определения понятия «напряжение», подключается к двум разным точкам цепи, то есть параллельно (!) измеряемому участку. Поэтому, чтобы измерить напряжение городской электросети, вставьте щупы измерительных проводов в разные гнезда электрической розетки на лабораторном столе. Запишите в тетради  $U_{изм}$  по показаниям дисплея и выньте щупы из розетки.

Выключите мультиметр.

Для определения абсолютной ошибки измерений  $\Delta U$  получите у инженера паспорт прибора и выпишите из него данные о величине погрешности измерения для нашего случая, то есть для «измерения переменных напряжений с пределом измерения 750В». Они приведены в виде  $\pm (a\% + b)$ , где  $a\%$  - ошибка в процентах от измеренной величины и  $b$  - ошибка индикации. Значение  $b$  указано в виде определенного количества единиц младшего разряда цифрового дисплея, значение единицы младшего разряда записано в паспорте как «разрешение».

Например, прибор показывает переменное напряжение 224В и в паспорте прибора указано, что погрешность составляет  $\pm (0,8\% + 3)$  и единица младшего разряда равна 1В. Тогда:

$$\Delta U = 0,8\% \times 224\text{В} / 100\% + 3 \times 1\text{В} \approx 1,8\text{В} + 3\text{В} = 4,8\text{В} \text{ и } U = 224\text{В} \pm 4,8\text{В}.$$

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

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

Запишите результат измерения в виде:  $U = U_{\text{изм}} \pm \Delta U$ ,

Запишите в тетради номер и название следующего задания.

### ***Задание 2. Измерение постоянного напряжения на выходе источника тока***

Ознакомьтесь с лицевой панелью источника постоянного тока **ВС 4-12**. На ней 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 (12 В). Включите прибор кнопкой «power». На дисплее должен высветиться символ «V». Переведите прибор в режим измерений в цепях постоянного тока нажатием кнопки « $\approx$ ». При этом на дисплее должен исчезнуть символ «AC».

Вставьте вилку на конце шнура питания источника в сетевую розетку. Включите источник тумблером на его панели. Наконечниками щупов измерительных проводов *коснитесь* одновременно выходных клемм источника, соблюдая полярность – черный щуп к «-», красный к «+». При неправильном подключении цифрового прибора на его дисплее высвечивается значок «-» перед цифрами отсчёта измеряемой величины.

Запишите в тетради результат измерения  $U_{\text{изм}}$  по показаниям дисплея, отсоедините щупы от клемм источника, выключите источник и мультиметр.

Запишите в тетради паспортные данные о погрешности измерений и значение единицы младшего разряда. Используя методику расчетов погрешности измерения, приведенную в **Задании 1**, проведите соответствующие вычисления и запишите в тетради результаты вычислений абсолютной  $\Delta U$  и относительной  $\varepsilon_U$  ошибок измерения, а также результат измерения в виде:

$$U = U_{\text{изм}} \pm \Delta U.$$

Запишите в тетради номер и название следующего задания.

### ***Задание 3. Определение неисправности электрической цепи***

Одним из способов выявления неисправностей электрических цепей является измерение напряжений на различных участках электрических цепей и

сравнение их с заранее известными значениями. Но этот способ применим только при наличии тока в цепи, что представляет значительную опасность. Поэтому основным способом выявления неисправности является измерение сопротивления различных участков цепи, например, 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 бесконечности (на дисплее символ «OL»), 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 метод «прозвонки». В используемом мультиметре такая возможность тоже предусмотрена.

Включите мультиметр. Установите переключатель мультиметра в положение, при котором в верхнем правом углу дисплея высветится условное обозначение диода. Замкните между собой концы измерительных проводов: должен зазвучать звуковой сигнал, свидетельствующий о наличии замкнутой цепи на входе прибора. Разомкните концы проводов и выключите мультиметр.

Получите у лаборанта устройство, в котором заведомо имеется неисправность в виде разрыва электрической цепи. Определите эту неисправность (обрыв обмотки трансформатора, неисправность лампочки, обрыв проводника, отсутствие контакта в патроне и т.п.) методом «прозвонки». Результат запишите в тетради.

Запишите в тетради номер и название следующего задания.

#### ***Задание 4. Измерение сопротивления реостата***

**Внимание!** 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 исследуемый элемент не нужно подключать к электрической цепи (или, если он входит в состав цепи, то его необходимо отсоединить от нее).

Реостат представляет собой цилиндр, выполненный из изоляционного материала, на который намотана проволока с высоким удельным сопротивлением. На реостате имеется подвижный контакт, который скользит по этой обмотке. Контакт закреплен на ползунке, который перемещается по направляющему стержню. Реостат имеет три клеммы – на концах обмотки и на одном из концов этого стержня. Величина сопротивления между клеммой

ползунка и любым из концов (клемм) обмотки зависит от положения скользящего контакта ползунка.

Запишите в тетради значение сопротивления реостата, указанное в табличке на его ползунке или корпусе.

Убедитесь в том, что измерительные провода подключены к нужным гнездам мультиметра. Установите переключатель мультиметра в то положение сектора « $\Omega$ », которое наиболее соответствует сопротивлению реостата.

Включите прибор кнопкой «power». В правом верхнем углу дисплея должен высветиться значок единиц измерения ( $\Omega$ ,  $k\Omega$ ,  $M\Omega$ ), а на индикаторе буквы «OL» (переполнение или бесконечность).

Проверьте исправность прибора. Для этого замкните на короткое время между собой концы измерительных проводов. На дисплее должны высветиться нули.

Установите ползунок реостата вблизи среднего положения.

Проведите измерения сопротивления  $R$  между ползунком и одним из крайних зажимов реостата. Запишите в тетради результат измерения  $R_{изм}$  и выключите мультиметр.

Запишите в тетради паспортные данные о погрешности измерений и значение единицы младшего разряда. Используя методику расчетов погрешности измерения, приведенную в *Задании 1*, проведите соответствующие вычисления и запишите в тетради результаты вычислений абсолютной  $\Delta R$  и относительной  $\varepsilon_R$  ошибок измерения, а также результат измерения в виде:  $R = R_{изм} \pm \Delta R$ .

**Внимание!** Не меняйте положение ползунка реостата, так как он будет использован во второй части работы.

### *Задание 5. Измерение силы тока в электрической цепи*

На основе данных, полученных в заданиях 2 и 4, рассчитайте по закону Ома и запишите в тетради ожидаемое значение силы тока в цепи,  $I_{ож}$ , а также погрешность расчетного значения силы тока как  $\Delta I_{ож} = I_{ож} \cdot (\varepsilon_u + \varepsilon_R)$ .

Установите переключатель мультиметра в режим измерения силы тока с пределом измерений, соответствующему максимальному ожидаемому значению силы тока  $I_{ож} + \Delta I_{ож}$ . Включите прибор кнопкой «power». На дисплее должен высветиться символ единиц измерений силы тока. Переведите прибор в режим измерений в цепях постоянного тока нажатием кнопки « $\square$ ». При этом на дисплее должен исчезнуть символ «АС».

Нарисуйте в тетради, используя общепринятые условные обозначения, схему электрической цепи: соединенные последовательно амперметр, источник тока и часть реостата (между ползунком и одним из концов его обмотки).

Соберите установку по составленной Вами схеме, соблюдая полярность подключения измерительного прибора.

При измерениях силы тока амперметр включают в электрическую цепь последовательно (!), то есть в разрыв одного из проводов цепи.

**Внимание!** Подключение амперметра **всегда (!)** следует выполнять при **выключенных источниках тока в измеряемой цепи.**

Включите источник питания и проведите измерения с записью в тетради показаний дисплея. Выключите источник питания и мультиметр.

Проведите расчет  $\Delta I$  и  $\varepsilon_I$  по уже известной методике.

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

Ознакомьтесь с предложенным Вам измерительным прибором серии М2000. Он является многофункциональным и многопредельным. Вид измеряемой величины и предел измерений определяется тем, через какие зажимы прибор подключается к цепи, и в каких положениях установлены ручки переключателей на лицевой панели прибора.

Шкала прибора отградуирована в условных единицах (единицах шкалы). При выполнении измерений вначале проводится отсчет и запись показаний в единицах шкалы. Затем определяется цена единицы шкалы - коэффициент пересчета измеряемой величины в единицы измерения (амперы, вольты и т.п.). Он равен отношению установленного предела измерений к числу единиц шкалы, соответствующих максимальному отклонению стрелки прибора. После этого значение измеряемой величины получают, умножая отсчет в единицах шкалы на этот коэффициент.

Например, если выбран предел измерений 200мА и на шкале прибора указано, что максимальному отклонению стрелки прибора соответствует 100 единиц шкалы, то цена этой единицы будет равна 2мА/ед. Тогда, если стрелка остановилась в положении 62 единицы, то измеренное значение силы тока будет равно 124мА.

Приборная ошибка стрелочных приборов определяется их классом точности, который указывается на 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 абсолютной ошибке прибора в процентах от выбранного предела измерений.

Например, если предел измерения прибора  $I_{max} = 200\text{мА}$  и  $\gamma = 0,5$ , то абсолютная ошибка любого измерения на данном пределе измерений равна:

$$\Delta I = \gamma \times I_{max} = (0,5\% / 100\%) \times 200\text{мА} = 1,0\text{мА}.$$

Но, если для  $I_{изм} = 40\text{мА}$  относительная ошибка составит:

$$(\Delta I / I_{изм}) \times 100\% = (1,0\text{мА} / 40\text{мА}) \times 100\% = 2,5\%,$$

то для  $I_{изм} = 160\text{мА}$  она будет значительно меньше:

$$\varepsilon = (1,0\text{мА} / 160\text{мА}) \times 100\% = 0,625\%.$$

Этот пример показывает, что для повышения точности измерений предел измерений прибора  $I_{max}$  следует выбирать по возможности ближе к значению  $I_{изм}$ .

Запишите в тетради номер и название следующего задания.

### **Задание 6. Измерение силы тока стрелочным прибором**

Убедитесь, что прибор предназначен для измерений в цепях постоянного

тока, о чем свидетельствует отсутствие значка «~» на шкале прибора.

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.

Установите переключателями измерительного прибора нужный предел измерений так, чтобы он был как можно ближе к  $I_{ожс} + \Delta I_{ожс}$ , но больше его. Величина предела измерений определяется по надписи напротив соответствующего положения ручки переключателя режимов прибора с учетом положения другого переключателя, где в виде цифры со значком «x» указывается значение множителя, увеличивающего предел измерений прибора.

Подключите прибор к цепи вместо мультиметра. После проверки собранной цепи преподавателем, включите источник и запишите в тетради показание прибора в единицах шкалы. Обратите *внимание*, что для повышения точности отсчёта приборы снабжены зеркальной шкалой. Отсчёт нужно проводить, располагая глаза так, чтобы стрелка «совпадала» с её отражением.

Отключите источник. Запишите предел измерений прибора, определите цену одной единицы шкалы для выбранного предела измерений и запишите результат измерения  $I_{изм}$  в миллиамперах.

Выпишите значение класса точности прибора, вычислите абсолютную и относительную ошибки измерения *силы тока* и запишите их в тетради.

Запишите результат измерения в виде  $I = I_{изм} \pm \Delta I$ .

Сравните результаты измерений силы тока цифровым и стрелочным прибором с учетом абсолютных погрешностей измерений.

Запишите в тетради номер и название следующего задания.

### ***Задание 7. Оценка погрешности, вносимой подключением измерительного прибора к электрической цепи***

Подключение амперметра приводит к уменьшению силы тока в цепи по сравнению с истинным (без подключения прибора) значением. Это обусловлено наличием внутреннего сопротивления прибора.

Для определения внутреннего сопротивления амперметра воспользуйтесь одной из таблиц в нижней части его шкалы. Выберите таблицу, в которой в верхней строке указаны пределы измерений прибора, а в нижней – соответствующие значения падения напряжения на приборе.

Выберите нужные вам значения этих величин, запишите их в тетради и рассчитайте  $R_{np}$  в соответствии с законом Ома как  $U_{np} / I_{max}$ .

Вычислите и запишите в тетрадь погрешность, вносимую подключением прибора:

$$\varepsilon_{вн} = R_{np} / (R_{np} + R)\%,$$

где  $R$ - измеренное сопротивление используемой части реостата.

## Лабораторная работа № 2 (2.2)

### Расширение пределов измерения электроизмерительных приборов

#### Введение

Как было отмечено в работе 1 (2.1), внутреннее сопротивление электроизмерительных приборов  $R_{np}$  является одной из их важных характеристик. Это связано с тем, что при выполнении измерений прибор становится дополнительным элементом исследуемой цепи и его подключение может заметно изменить параметры цепи. Поэтому при последовательном подключении прибора, как в случае с амперметром, его сопротивление должно быть невелико, чтобы минимизировать падение напряжения на приборе. При параллельном подключении, как в случае с вольтметром, сопротивление прибора должно быть большим, чтобы минимизировать ток, который протекает через прибор. Сопротивление прибора указывается в паспорте прибора или на его шкале.

При непосредственном измерении  $R_{np}$  обычным омметром исследуемый прибор может быть выведен из строя из-за того, что сила тока в измерительной цепи довольно велика. Поэтому для определения  $R_{np}$  разработаны специальные схемы, одна из которых называется мостиковой схемой («мостика Уитстона»).

Чтобы проанализировать работу мостика Уитстона, рассмотрим простейшую электрическую цепь (см. рис. 2.1).

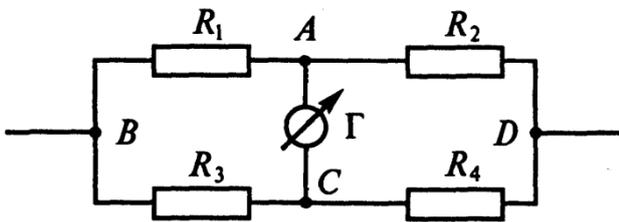


Рис. 2.1.

резисторами пропорционально их сопротивлениям. Поэтому такие цепочки называют делителями напряжения.

Мостик Уитстона представляет собой два делителя напряжения, соединённых параллельно (рис. 2.1). Точки соединения резисторов в цепочках ( $A$  и  $C$ ) замкнуты перемычкой (мостиком), содержащей чувствительный микроамперметр – гальванометр ( $\Gamma$ ). Состояние, при котором потенциалы точек  $A$  и  $C$  одинаковы и, следовательно, ток через гальванометр равен нулю, называют балансом моста. Очевидно, что условием баланса моста является равенство отношений резисторов  $R_1/R_2 = R_3/R_4$ .

Если одно из сопротивлений неизвестно, например,  $R_1$ , то подбором остальных резисторов можно добиться баланса моста, фиксируя его гальванометром, после чего произвести расчет по формуле  $R_1 = R_2 R_3 / R_4$ .

Важным достоинством этой схемы является то, что полученное таким образом значение  $R_1$  не зависит от величины резисторов  $R_3$  и  $R_4$  нижней

Она состоит из двух резисторов, соединённых последовательно. Так как сила тока через резисторы одинакова, то в соответствии с законом Ома  $I = U_1/R_1 = U_2/R_2$  или  $U_1/U_2 = R_1/R_2$ , то есть напряжение, приложенное к концам этой цепочки, делится между этими

половины моста, а только от их отношения. Поэтому эти резисторы можно подобрать таким образом, чтобы ток через неизвестное сопротивление был бы минимален, что очень удобно для измерения сопротивления электроизмерительных приборов.

Полученное тем или иным способом значение сопротивления прибора  $R_{np}$  может быть использовано для повышения точности измерений, (изучению этого вопроса посвящена лабораторная работа 2.4), а также используется для расчётов дополнительных элементов, подключение которых к измерительному прибору позволяет расширить его пределы измерения.

Для амперметра таким элементом служит шунт (ответвление) – резистор, включаемый параллельно измерительному механизму, чтобы «избыточный» ток проходил мимо прибора (см. рис. 2.2а).

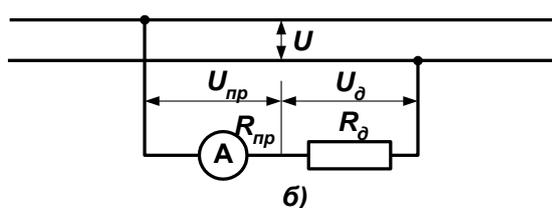
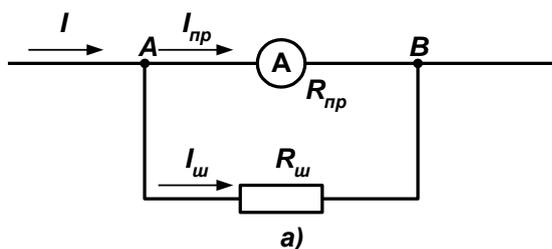


Рис.2.2.

Так как амперметр и  $R_{ш}$  подключены к точкам А и В, то напряжение на них одинаково:  $U_{np} = U_{ш} = I_{макс} R_{np} = I_{ш} R_{ш}$ . Откуда  $R_{ш} = I_{макс} R_{np} / I_{ш}$ . Но  $I_{ш} = I - I_{макс}$ , где  $I$  – общий ток. Подставив  $I_{ш}$  в формулу для  $R_{ш}$  и разделив числитель и знаменатель на  $I_{макс}$ , получим  $R_{ш} = R_{np} / (n - 1)$ , где  $n = I / I_{макс}$  – число, которое показывает, во сколько раз ток, который необходимо измерить, больше максимального тока через прибор (или во сколько раз «новый» предел измерений больше исходного). Отметим, что и сопротивление «нового» амперметра

всегда будет меньше сопротивления исходного прибора в  $n$  раз.

Таким образом, в комплекте с шунтом измерительный прибор превращается в «новый» прибор с увеличенным пределом измерений. В этом случае необходима новая разметка шкалы или пересчет показаний прибора, так как вместе с пределом измерений изменится и цена деления его шкалы.

Проверить правильность выбора шунта можно, подключая последовательно с испытуемым прибором другой – контрольный или эталонный, предназначенный для измерений в требуемом диапазоне токов.

Этот же измерительный механизм может быть использован и как вольтметр, если его подключить параллельно выбранному участку электрической цепи. Предел измерений такого вольтметра можно вычислить как  $U_{макс} = I_{макс} R_{np}$ . Естественно, что при использовании амперметра в качестве вольтметра необходимо изменить разметку шкалы или проводить пересчет показаний по формуле  $U_{изм} = I_{изм} R_{np}$ .

Чтобы расширить предел измерений вольтметра до  $U_{нов}$ , необходимо подключить к нему последовательно так называемое добавочное сопротивление (рис. 2.2б), которое подбирается таким образом, чтобы

напряжение на приборе не превышало  $U_{\max}$ , а «избыточное» напряжение, равное  $U_{\text{нов}} - U_{\max}$ , гасилось добавочным сопротивлением. Поскольку эти напряжения пропорциональны соответствующим сопротивлениям, то обозначив  $U_{\text{нов}} / U_{\max}$  как  $n$ , получим  $R_{\text{доб}} = R_{\text{пр}} (n - 1)$ .

Таким образом, в комплекте с добавочным сопротивлением исходный вольтметр превращается в «новый» прибор с увеличенными в  $n$  раз пределом измерений и внутренним сопротивлением, что соответствует требованиям, предъявляемым к вольтметрам. Для этого прибора необходима новая разметка шкалы или пересчет показаний прибора при каждом измерении.

Проверить правильность выбора добавочного сопротивления можно, подключая параллельно испытуемому прибору другой – контрольный или эталонный, предназначенный для измерений в требуемом диапазоне напряжений.

В многопредельных амперметрах имеется набор шунтов, которые поочередно подключаются к одному измерительному механизму для получения разных пределов измерения. В многопредельных вольтметрах имеется набор добавочных сопротивлений, которые поочередно подключаются к одному измерительному механизму для получения разных пределов измерения.

Многофункциональные приборы, объединяющие амперметр и вольтметр, содержат как набор добавочных сопротивлений, так и набор шунтов.

### ***Экспериментальные задачи, поставленные в работе:***

- измерение внутреннего сопротивления микроамперметра при помощи мостика Уитстона;
- расчет шунта и проведение испытаний амперметра с расширенным пределом измерений на основе микроамперметра;
- расчет добавочного сопротивления и проведение испытаний вольтметра с расширенным пределом измерений на основе микроамперметра.

### **Описание экспериментальных установок**

Схема установки для измерения сопротивлений на основе мостика Уитстона показана на рис. 2.3.

Верхняя половина моста составлена из микроамперметра (**мкА**), сопротивление которого  $R_{\text{пр}}$  необходимо измерить, и магазина сопротивлений  $R_{\text{м}}$ , который представляет собой набор высокоточных резисторов. С помощью переключателей можно подобрать значение  $R_{\text{м}}$ , при котором достигается баланс моста.

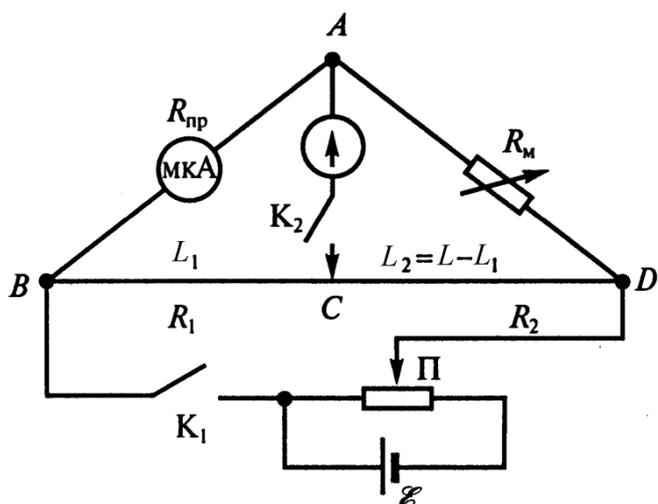


Рис. 2.3.

В качестве нижней половины моста (точки *B* и *D*) используется реохорд, который представляет собой отрезок тонкой проволоки из материала с высоким удельным сопротивлением, натянутый на деревянной подставке. Это как бы вытянутый в длину реостат. На той же подставке спереди расположена металлическая шина в виде отрезка толстой проволоки с зажимами, которая используется в качестве точки *A* при монтаже установки.

Вдоль реохорда может перемещаться подвижный контакт (ползун). Ползун делит нижнюю половину моста на два плеча. Уравнение баланса для данной конструкции моста тогда можно записать как  $R_{пр} / R_M = R_1 / R_2$ , где  $R_1$  и  $R_2$  сопротивления левой и правой частей реохорда, соответственно. Как известно, для однородной проволоки ее сопротивление пропорционально длине. Это позволяет заменить отношение сопротивлений плеч моста отношением их длин. Тогда  $R_{пр} = R_M(L_1/L_2)$ , где  $L_1$  и  $L_2$  – длина соответствующих плеч реохорда. Длину левого плеча  $L_1$  и всего реохорда  $L$  можно при помощи линейки с делениями, расположенной вдоль реохорда. Тогда длина правой части реохорда  $L_2 = L - L_1$ . Применение реохорда позволяет добиваться баланса моста для совершенно различных  $R_{пр}$  при помощи одного и того же магазина сопротивлений, подбирая оптимальное положение ползуна.

Состояние баланса моста фиксируется по гальванометру – чувствительному микроамперметру с «нулём» посередине шкалы, который включен между ползунком реохорда (точка *C*) и точкой *A* через ключ  $K_2$ .

Для ограничения силы тока через исследуемый прибор схема мостика питается через потенциометр  $\Pi$ , который представляет собой регулируемый делитель напряжения. В качестве потенциометра используется уже известный реостат, включаемый в цепь тремя точками. Питание установки осуществляется от выпрямителя **ВС4-12**.

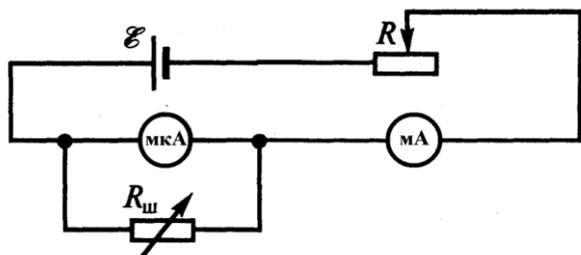


Рис. 2.4.

Схема **второй** установки, которая служит для проверки точности подбора шунта, представлена на рис. 2.4. Исследуемый прибор на рисунке показан слева (**мкА**) К нему подключен уже известный магазин сопротивлений, который используется в качестве шунта ( $R_{ш}$ ). Контрольным прибором (правым прибором на рисунке) является мультиметр. Величина силы тока регулируется при помощи реостата  $R$ . Питание

установки ( $\mathcal{E}$ ) осуществляется от выпрямителя **ВС4-12**. Включение установки осуществляется тумблером выпрямителя на его передней панели.

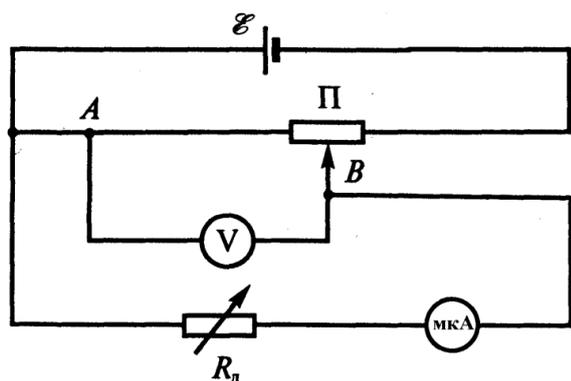


Рис. 2.5.

Схема **третьей** установки, которая служит для проверки точности подбора добавочного сопротивления, представлена на рис. 2.5. В качестве контрольного прибора в ней также используется мультиметр или цифровой прибор **Щ4000**, обозначенный как «V». Величина напряжения, соответствующая различным

точкам шкалы исследуемого прибора (**мкА**), устанавливается потенциометром **П** (реостатом, включенным тремя точками). В этой установке используются те же выпрямитель и магазин сопротивлений в качестве добавочного сопротивления (**R<sub>д</sub>**), что во второй установке.

### Подготовка протокола к работе

(Выполняется заранее до получения допуска к работе).

Запишите в тетради номер и название работы.

Запишите заголовок: «**Задание 1. Измерение сопротивления микроамперметра**».

Зарисуйте (карандашом!) схему измерения сопротивления прибора (рис. 2.3).

Выпишите формулу для вычисления  $R_{np}$ . Запишите расшифровку всех обозначений в формуле. Подготовьте табл. 1 для записи условий эксперимента и результатов измерений:

Таблица 1.

№ измерения	$L_1$ , см	$R_M$ , Ом	$L_2=L-L_1$ , см	$L_1/L_2$	$R_{np}$ , Ом	$\Delta R$ , Ом
1						
2						
3						
Средние значения $R_{np}$ и $\Delta R$						

Оставьте место в тетради для записи вычислений.

Запишите заголовок: «**Задание 2. Расчет и подбор шунта**».

Зарисуйте (карандашом) схему проверки подбора шунта (рис. 2.4).

Выпишите формулы для расчёта  $R_{ш}$ ,  $n_{расч} = I_n / I_{max}$ ,  $n_{эксп} = I_k / I_{np}$ , отклонения экспериментального значения  $n$  от расчетного  $\delta n = n_{эксп} - n_{расч}$  и

$\varepsilon_n = \delta n / n_{расч}$  (в %) с расшифровкой всех буквенных обозначений.

Подготовьте табл. 2 для записи результатов измерений:

Таблица 2.

№ измерения	$I_{пр}$		$I_k, \text{мА}$	$n_{эксп}$	$\delta n$	$\varepsilon_n, \%$
	ед. шкалы	мкА				
1						
2						
3						
Средние значения $n_{эксп}$ , $\delta n$ и $\varepsilon_n$						

Оставьте место в тетради для записи вычислений.

Запишите заголовок: «**Задание 3. Расчет и подбор добавочного сопротивления**».

Зарисуйте схему проверки подбора добавочного сопротивления (рис. 2.5).

Выпишите формулы для расчёта  $U_{макс}$ ,  $R_{доб}$ ,  $n_{расч}$ ,  $n_{эксп}$ ,  $\delta n$  и  $\varepsilon_n$  с расшифровкой всех буквенных обозначений.

Подготовьте табл. 3 для записи результатов измерений:

Таблица 3.

№ измерения	$U_{пр}$		$U_k, \text{В}$	$n_{эксп}$	$\delta n$	$\varepsilon_n, \%$
	ед. шкалы	В				
1						
2						
3						
Среднее значения $n_{эксп}$ , $\delta n$ и $\varepsilon_n$ .						

Оставьте место в тетради для записи вычислений.

## Измерения и обработка результатов

### Задание 1. Измерение сопротивления микроамперметра

Получите у лаборанта комплект соединительных проводов и соберите установку в соответствии со схемой рис 2.3. Рекомендуется использовать провода с разным цветом изоляции. Для провода, подключаемого к (+) источника (его еще называют «горячим» выводом), стандартным считается красный цвет; для провода, подключаемого к (-) – белый или черный. После подключения каждого проводника рекомендуется обводить его на схеме в тетради ручкой и указывать цвет проводника. Это поможет избежать ошибок

при сборке лабораторной установки.

Схема установки довольно сложная и разветвленная. Поэтому сборку цепи рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- Соберите цепь питания. Для этого подключите выходные зажимы источника питания к зажимам на корпусе реостата.
- Подключите к цепи питания нижнюю половину моста (реохорд – точки *B* и *D* на рис.2.3). Для этого сначала определите визуально, нажимая на кнопку двойного ключа, какая пара контактов замыкается первой. Используйте ее в качестве  $K_1$ . Это необходимо для того, чтобы исключить броски тока через гальванометр при включении установки. Подключите один из зажимов этой пары к зажиму "+" источника, а второй зажим ключа  $K_1$  к левому концу реохорда (т. *B*). Правый конец реохорда (т. *D*) подключите к движку реостата.
- Соберите цепь верхней половины моста. Для этого соедините "положительный" зажим реохорда с "плюсом" исследуемого прибора. Второй вывод прибора подключите к левому зажиму «точки *A*». К правому зажиму «точки *A*» подключите зажим (\*) магазина сопротивлений, а зажим «9999,9» магазина сопротивлений соедините со вторым концом реохорда.
- Средний зажим «точки *A*» соедините с ползуном реохорда через гальванометр и оставшиеся зажимы двойного ключа, используя их в качестве  $K_2$ .

Установите ползун реохорда посередине его шкалы, движок потенциометра в левое по схеме положение, а переключатели магазина сопротивлений в положение 200 Ом. Запишите в таб. 1 значения  $L_1$  и  $L_2$  с учетом того, что длина реохорда  $L = 1$  м.

После получения практического допуска от инженера или преподавателя приступайте к выполнению **Задания 1**.

Включите источник питания. Замокните только ключ  $K_1$  неполным нажатием на двойной ключ, и помощью потенциометра установите ток через изучаемый микроамперметр на уровне  $0,5 - 0,8 I_{\max}$ .

Замокните на короткое время оба ключа и посмотрите, в какую сторону отклонится стрелка гальванометра. Разомкните ключи и установите переключатели магазина сопротивлений в положение 300 Ом.

Снова замкните оба ключа. Отклонение стрелки в ту же сторону, но слабее, означает, что Вы приближаетесь к состоянию баланса моста. В этом случае следует разомкнуть ключи и увеличить сопротивление магазина, установив его, например, на 400 Ом.

Снова замкните оба ключа. Отклонение стрелки в ту же сторону означает, что для достижения баланса следует продолжить увеличивать сопротивление

магазина до тех пор, пока отклонение стрелки гальванометра после нажатия на ключ не прекратится. Это будет свидетельствовать о балансе моста. Для точной балансировки моста используйте переключатели, которые изменяют сопротивление магазина через 10 и 1 Ом.

Если при положении переключателя 300 Ом отклонение стрелки от нуля увеличилось, или если Вы «проскочили» положение баланса, то это означает, что следует уменьшить сопротивление магазина.

Запишите в табл. 1 значение  $R_M$ , соответствующее достигнутому состоянию баланса моста.

Сдвиньте ползун реохорда на 10 см влево и повторите процедуру балансировки моста. Запишите в таб. 1 новые значения  $L_2$  и  $R_M$ .

Сдвиньте ползун реохорда на 10 см вправо от середины и повторите процедуру балансировки моста, записав в таблицу новые значения  $L_2$  и  $R_M$ .

Для каждого измерения рассчитайте  $R_{np}$ . По данным трех измерений определите среднее значение сопротивления прибора, рассчитайте модуль отклонения каждого результата от среднего  $\Delta R = |R_i - R_{cp}|$ , а также среднюю погрешность измерений  $\Delta R_{np}$ . Результаты запишите в таб. 1.

После проверки инженером правильности полученного результата, отключите все провода от элементов установки. Используйте их при выполнении *Задания 2*.

### ***Задание 2. Расчет и подбор шунта***

Запишите в тетради (на свободном месте после табл. 2) необходимые паспортные данные прибора. В данном случае это предел измерений исследуемого прибора  $I_{\max}$  в единицах шкалы и в мкА.

Запишите по указанию инженера или преподавателя «новое» значение предела измерения прибора  $I_n$ .

Рассчитайте величину  $R_{ш}$ , используя для этого известное из выполнения *Задания 1* значение  $R_{np}$  и полученное от инженера значение нового предела измерений  $I_n$ .

Подготовьте мультиметр к измерениям силы тока. Для этого используйте короткие измерительные провода с зажимами типа «крокодил» на концах. Вставьте черный провод в гнездо «COM», а красный – в гнездо « $\mu\text{AmA}$ » на панели мультиметра. Установите центральный переключатель мультиметра в положение, позволяющее измерять силу тока, заданную инженером.

Соберите установку в соответствии со схемой рис 2.4. Для этого соедините последовательно выход выпрямителя, реостат, исследуемый микроамперметр и мультиметр, соблюдая полярность. Вместо ключа при этом используется выключатель выпрямителя. Подключите параллельно микроамперметру магазин сопротивлений в качестве шунта.

Установите переключатели на магазине сопротивлений в положения,

соответствующие рассчитанному значению  $R_{ш}$ .

Установите движок реостата в положение максимума его сопротивления.

После проверки собранной цепи инженером или преподавателем включите контрольный прибор и выпрямитель. При помощи реостата установите стрелку микроамперметра на максимальное деление его шкалы. Запишите в таблицу 2 показания мультиметра как  $I_k$  и микроамперметра в единицах шкалы.

Повторите измерения, устанавливая стрелку микроамперметра на  $\frac{3}{4}$  и середину его шкалы.

Выключите выпрямитель.

Рассчитайте и запишите в табл. 2  $I_{np}$  в микроамперах по формуле:

$$I_{np}(мкА) = I_{np}(ед.шк.) (I_{макс}(мкА) / I_{макс}(ед.шк.);$$

а также  $n_{эксн}$ ,  $\delta n$  и их средние значения и  $\varepsilon_n$ .

После проверки полученных результатов инженером разберите установку. Используйте освободившиеся элементы и провода при выполнении **Задания 3**.

### **Задание 3. Расчет и подбор добавочного сопротивления**

Рассчитайте и запишите в тетради предел измерений  $U_{макс}$  и цену единицы шкалы в вольтах исследуемого микроамперметра при использовании его в качестве вольтметра.

Получите у инженера или преподавателя и запишите «новое» значение предела измерения прибора  $U_n$  при использовании его в качестве вольтметра.

Рассчитайте величину  $R_{доб}$ , используя значение  $R_{np}$ , известное по результатам выполнения **Задания 1**, а также рассчитанное значение  $U_{макс}$  и значение  $U_n$ , полученное от инженера.

Соберите схему в соответствии с рис. 2.5. Для этого подключите выход выпрямителя к крайним точкам реостата. Соедините последовательно исследуемый микроамперметр и магазин сопротивлений, который в этом случае играет роль добавочного сопротивления. Подключите эту цепочку между одним из выводов обмотки реостата и его движком, соблюдая полярность. Подключите мультиметр параллельно этой цепочке.

Подготовьте мультиметр к измерениям. Для этого переключите красный измерительный провод в гнездо «V» на его панели и при помощи центрального переключателя установите нужный предел измерений напряжения.

Установите переключатели на магазине сопротивлений в положения, соответствующие рассчитанному значению  $R_{доб}$ .

Установите движок реостата в левое по схеме положение.

После проверки собранной цепи инженером или преподавателем включите контрольный прибор. Переведите мультиметр в режим измерений в цепях постоянного тока. Включите выпрямитель. При помощи реостата установите

стрелку микроамперметра на максимальное деление его шкалы. Запишите в табл. 3 показания микроамперметра ( $I_{np}$ ) в единицах шкалы и контрольного прибора ( $U_k$ ). Повторите измерения, устанавливая стрелку микроамперметра на  $\frac{3}{4}$  и середину его шкалы.

Выключите выпрямитель.

Рассчитайте и запишите в табл. 3  $I_{np}$  в мкА,  $U_{np}$  в вольтах,  $n_{эксн}$ ,  $\delta n$ , а также их средние значения и  $\varepsilon_n$ .

После проверки полученных результатов инженером получите подпись о выполнении работы, разберите собранную электрическую цепь и наведите порядок на рабочем месте.

### *Дополнительный материал по теме 1*

Принцип действия цифровых мультиметров основан на измерении напряжения, 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. Входные цепи прибора фиксируют величину падения напряжения  $U_{np}$  на этом резисторе, а пересчетное электронное устройство, которое входит в состав прибора, осуществляет пересчет этого напряжения в силу тока по закону Ома как  $I = U_{np} / R_{эм}$  и отображает значение силы тока в цифровом виде на дисплее прибора.

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 после пересчета показывать на дисплее прибора численное значение сопротивления.

Угол отклонения стрелки у большинства стрелочных приборов зависит от величины магнитного потока, который создаётся электрическим током в обмотке измерительного механизма. Поэтому такие приборы, по своей сути, являются амперметрами. Физические законы, на основе которых работают эти приборы, изучаются в теме 4.

При измерениях силы тока амперметр включают в электрическую цепь последовательно, то есть в разрыв одного из проводов цепи.

**Внимание!** Подключение амперметра **всегда (!)** следует выполнять при **выключенных источниках тока в измеряемой цепи.**

Измерительный механизм амперметра можно использовать и для измерения напряжений, если его подключить параллельно соответствующему участку

электрической цепи. Тогда величина тока через прибор будет пропорциональна напряжению на концах этого участка в соответствии с законом Ома, то есть  $I=U/R_{np}$ , где  $R_{np}$  – сопротивление обмотки прибора. После соответствующей градуировки, прибор можно использовать в качестве вольтметра.

Тот же измерительный механизм можно использовать в качестве омметра, подключая к нему последовательно дополнительный внутренний источника питания. Тогда при подключении измеряемого сопротивления создается замкнутая цепь, сила тока в которой обратно пропорциональна измеряемому сопротивлению. Поэтому шкала прибора может быть отградуирована в единицах сопротивления. Важно отметить, что в стрелочных омметрах максимальное отклонение стрелки соответствует нулевому значению сопротивления, а нулевое отклонение стрелки – бесконечному значению сопротивления или разрыву цепи. В таких приборах перед измерениями обычно необходимо провести корректировку нуля, замыкая на короткое время концы измерительных проводов между собой и устанавливая с помощью потенциометра «Уст. О» стрелку прибора на ноль шкалы. В цифровых приборах такая корректировка происходит автоматически.

При выполнении измерений необходимо учитывать, что паспортная точность прибора обеспечивается лишь при правильном положении прибора в пространстве – вертикальном или горизонтальном, что указывается на шкале прибора в виде значков «↑» или «→», соответственно.

### **Рекомендуемая литература:**

1. Е.М. Гершензон, Н.Н. Малов, А.Н. Мансуров. Курс общей физики. Электродинамика. § 5.4. – М., Академия, 2001.
2. С.Г. Калашников. Электричество. § 58. 7-е изд., стереот. - М.: Физматлит, 2008.
3. Д.В. Сивухин. Общий курс физики, т.3, § 45. Электричество. М.: Физматлит, 2006.

### ***Вопросы к защите работ по теме 1***

1. По каким критериям выбирается прибор для электрических измерений?
2. Что такое класс точности прибора? Где он указан?
3. Как рассчитать абсолютную ошибку измерений при использовании цифрового мультиметра?
4. Как рассчитать абсолютную ошибку измерений при использовании стрелочных приборов?
5. Почему рекомендуется выбирать предел измерения так, чтобы показания стрелочного прибора были во второй половине шкалы?

6. Каким должно быть расположение глаз наблюдателя относительно шкалы измерительного прибора?
7. Как определить правильное (вертикальное или горизонтальное) положение стрелочного прибора в пространстве?
8. Как обычно указывается полярность подключения прибора?
9. Как установить нужный вид измерений и предел измерений в многофункциональных многопредельных приборах?
10. Как определить цену единицы шкалы стрелочного прибора?
11. Как определить цену деления шкалы стрелочного прибора?
12. Опишите порядок действий при измерениях электрического напряжения.
13. Опишите порядок действий при измерениях силы тока в собранной цепи.
14. Опишите порядок действий при измерениях сопротивлений в собранной цепи.
15. Можно ли измерить силу тока вольтметром?
16. Можно ли измерить напряжение амперметром?
17. Объясните устройство омметра.
18. Как проверить исправность омметра?
19. Как изменится сила тока в цепи при подключении к ней амперметра?
20. Почему сопротивление амперметра должно быть как можно меньше?
21. Как изменится сила тока в цепи при подключении к какому-либо ее участку вольтметра?
22. Почему сопротивление вольтметра должно быть как можно больше?
23. Как определить внутреннее сопротивление измерительного прибора?
24. Объясните назначение шунта. Выведите формулу для расчета сопротивления шунта  $R_{ш}$ . Как шунт подключается к амперметру?
25. Сравните сопротивление амперметра без шунта и вместе с шунтом.
26. Объясните назначение добавочного сопротивления. Выведите формулу для расчета добавочного сопротивления  $R_{д}$ . Как добавочное сопротивление подключается к вольтметру?
27. Сравните сопротивление вольтметра без добавочного сопротивления и с добавочным сопротивлением.
28. Объясните работу потенциометра (делителя напряжения).