

ВВЕДЕНИЕ

Общая характеристика требований к работе в лаборатории по электричеству

Лабораторные работы помогают студентам глубже изучить основные физические закономерности, овладеть навыками экспериментирования и различными методами физических исследований, ознакомиться с измерительной аппаратурой и приборами.

Выполнение каждой лабораторной работы предусматривает:

1) Теоретическую подготовку; 2) ознакомление с приборами, необходимыми для проведения измерений в данной работе; 3) сдачу допуска к данной лабораторной работе; 4) наблюдения и измерения; 5) обработку результатов измерения; 6) сдачу зачёта по лабораторной работе.

Теоретическая подготовка состоит в ознакомлении с описаниями работы, проработке соответствующих разделов учебника и подготовке ответов на контрольные вопросы. Она проводится до выполнения лабораторной работы, так как время, отведённое на работу в лаборатории, предназначено только на сборку установки, проведение и обработку измерений. Ознакомление с приборами и принадлежностями происходит на рабочем месте. Некоторые приборы находятся у лаборанта и выдаются на время работы.

Перед выполнением каждой лабораторной работы преподаватель, ведущий данное занятие, проверяет знания студентом основных физических законов и явлений, рассматриваемых в данной работе; умение объяснить схему установки и последовательность измерений; способность указать измеряемые величины и соответствующие измерительные приборы; знание и умение пользоваться основными расчётными формулами. После этого студент считается допущенным к выполнению лабораторной работы.

Наблюдения и измерения являются наиболее ответственным этапом работы и требуют должного внимания и аккуратности при снятии отсчётов и записи измерений. Обработка результатов измерений заключается в проведении необходимых вычислений и оценке погрешности в полученном результате.

Сдача зачёта по выполненной работе предусматривает предъявление студентом полностью оформленной работы, умение объяснить полученные результаты и знать материал, связанный с данной темой.

Оформление отчёта о выполнении проделанной работы

Все записи связанные с выполнением лабораторных работ, необходимо вести в специальном журнале или тетради.

По каждой лабораторной работе в журнале должно быть записано:

1. Наименование работы.
2. Краткое описание используемого в данной работе метода с необходимыми схемами и формулами, перечень приборов.

3. Таблицы записи результатов измерений.
4. Расчётная формула с пояснением физического смысла всех входящих в неё величин.
5. Математическая обработка проведённых измерений для оценки погрешности полученных результатов.
6. Графики.
7. Вывод по результатам работы.

Выполнение всех работ связано со сборкой электрических схем. Каждая схема содержит: 1) источник тока; 2) электроизмерительные приборы; 3) вспомогательные приборы и принадлежности; 4) соединительные провода.










Источник тока. При выполнении работ приходится пользоваться источниками постоянного и переменного тока. Источниками постоянного тока могут быть аккумуляторы и элементы, или выпрямители, от которых ток подаётся к щиткам, находящимся у каждого рабочего стола. Источником переменного тока служит сеть, от которой ток поступает к рабочим столам через щитки или розетки.

Для пользования постоянным или переменным током на щитках имеются соответствующие клеммы и к ним выключатели. Клеммы постоянного тока отмечены знаками «+» и «-», а клеммы переменного тока – синусоидой с указанием напряжения, например $\sim 220\text{В}$.

Электроизмерительные приборы. По принципу действия электроизмерительные приборы разделяются на четыре наиболее употребляемые системы:

- а) **магнитоэлектрические**, действие которых основано на повороте рамки с током в поле постоянного магнита;
- б) **электродинамические**, отличающиеся от магнитоэлектрических заменой постоянного магнита катушкой с током;
- в) **электромагнитные**, основанные на явлении втягивания магнитного сердечника внутрь соленоида;
- г) **тепловые**, основанные на явлении удлинения проволоки, нагреваемой током.

Краткая таблица условных обозначений на электроизмерительных приборах

-  - прибор для измерения в цепях постоянного тока;
 -  - прибор для измерения в цепях переменного тока;
 -  - прибор для измерения в цепях постоянного и переменного тока;
 -  - прибор употребляется для работы в вертикальном положении,
 -  - прибор употребляется для работы в горизонтальном положении,
 - 1,5 - класс точности прибора,
 -  - класс электроизоляции, (2 кВ)
 -  - прибор магнитоэлектрической системы,
 -  - электромагнитный прибор,
 -  - электродинамический прибор
-

К вспомогательным приборам и принадлежностям относятся ключи, переключатели и коммутаторы направления тока, реостаты и магазины сопротивлений, потенциометров, конденсаторы и т. д.

Соединительные провода должны быть изолированы. Концы их при отсутствии специальных наконечников следует зачищать для обеспечения хорошего контакта.

Правила сборки схем и работа с ними.

1. Контакты должны быть всюду плотные. Концы приборов либо вставляются в отверстия клемм и прижимаются сверху винтами, либо загибаются и подкладываются под клемму по ходу завинчивания.

2. Источники тока подключаются в последнюю очередь. При разборке схемы прежде всего отключается источник тока.

3. «Плюс» источника постоянного тока соединяется с «плюсом» прибора (полярность источника переменного тока значения не имеет).

4. Перед включением собранной схемы или стенда, все реостаты устанавливаются на максимум сопротивления, а потенциометры – на ноль подаваемого в контур напряжения.

5. Все ключи и коммутаторы при сборке цепи должны быть разомкнуты. Ток включается только на время отсчёта.

Для соблюдения техники безопасности при работе с электрическими схемами обязательно выполнение следующих требований:

1. Не подключать к собранной схеме источники тока до проверки её преподавателем или лаборантом

2. Не производить подключение цепей, находящихся под напряжением. Не прикасаться к неизолированным частям цепей.

3. Не оставлять без присмотра включённые схемы и стенды.

Лабораторная работа № 201а

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ ПРИБОРАМИ.

ЧАСТЬ 1. Целью настоящей работы является ознакомление с электроизмерительными приборами, составление спецификации электроизмерительных приборов с помощью тех условных обозначений, которые указаны на шкале прибора, а так же определение погрешности электроизмерительных приборов по их классу точности. Это составляет содержание первой части работы. Во второй части предлагается изучить различные схемы включения переменного сопротивления.

Составление спецификации электроизмерительных приборов.

Изучив электроизмерительные приборы, находящиеся на рабочем месте, заполняют таблицу 1.

Спецификация

Таблица 1.(пример заполнения таблицы)

№ п/п	Наименование прибора	Завод. номер.	Система	Пределы измерений		Цена деления	Класс точности
				В делениях	В единицах измерения		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Вольтметр Тип М45М	14111 2	Магнитоэлектрич.	75 дел	30 В 15 В 7,5 В 3 В 0,04В	1,0

В случае многопредельных приборов нужно указать в таблице 1 значения всех пределов, а так же цену деления шкалы каждого предела.

Цена деления прибора равна измеряемой величине, соответствующей одному делению шкалы.

Цена деления шкалы прибора C рассчитывается по формуле:

$$C = \frac{A_{\max}}{N} \quad (1)$$

Где A_{\max} - предел измерения, N – число делений.

Например, многопредельный амперметр обладает пределами для измерения тока 1А и 2А и имеет число делений, равное 100. Цена деления соответственно равна:

$$C_1 = \frac{1 \text{ А}}{100} = 0,01 \text{ А/дел.} \quad \text{и} \quad C_2 = \frac{2 \text{ А}}{100} = 0,02 \text{ А/дел.}$$

Определение погрешности электроизмерительных приборов.

а) Нахождение абсолютной погрешности электроизмерительных приборов.

Абсолютная погрешность электроизмерительных приборов определяется по классу точности приборов.

Класс точности «К» выражается в процентах и обозначается на шкале прибора соответствующей цифрой в кружке (или без него): 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 и 4.

Абсолютная погрешность электроизмерительных приборов определяется следующим образом:

$$\Delta A = \frac{K \cdot A_{\max}}{100} \quad (2)$$

Например, миллиамперметр 0,2 класса, шкала которого рассчитана на 75 мВ, имеет абсолютную погрешность

$$\Delta U = \frac{0,2 \cdot 75 \text{ мВ}}{100} = \pm 0,15 \text{ мВ}$$

Если прибор многопредельный, то абсолютную погрешность требуется определить для каждого предела.

б) Нахождение относительной погрешности электроизмерительных приборов.

Относительную погрешность определяют по формуле:

$$\eta = \frac{\Delta A}{A} \cdot 100\% \quad (2a)$$

Где ΔA - абсолютная погрешность прибора, A – значение измеряемой величины (тока или напряжения).

Так как абсолютная погрешность одинакова по всей шкале данного прибора, то относительная погрешность будет зависеть от значений измеряемой величины и тем больше, чем эта величина меньше.

Например, вольтметром, класс точности которого $K=1,0$ с пределом измерения $U_{\max} = 3\text{В}$, измеряют два значения напряжения $U_1=0,5 \text{ В}$ и $U_2=2,5 \text{ В}$. Относительная погрешность соответственно равна:

$$\eta_1 = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U_1} = \frac{0,03}{0,5} \cdot 100\% = 6\%$$
$$\eta_2 = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U_2} = \frac{0,03}{2,5} \cdot 100\% = 1,2\%$$

Прежде чем приступить к описанию измерительной части работы необходимо указать на **основные правила сборки электрических цепей.**

1) Соединение используемых приборов следует производить так, чтобы избежать переплетения и скрещивания проводов.

2) Схема собирается без источника тока.

3) Если неизвестен порядок измеряемой величины, то приборы включаются на максимальный предел измерения.

4) Реостаты следует ставить на самое большое сопротивление. Движок потенциометра должен быть в таком положении, чтобы снимаемое с него напряжение равнялось нулю.

5) Целесообразно в первую очередь соединить все приборы, требующие последовательного включения, а затем основные приборы соединить параллельно.

6) Подключать схему к источнику напряжения без проверки преподавателем категорически запрещается.

7) После проверки схемы включить источник.

8) При разборке схемы в первую очередь отключают источник.

Часть 2. Знакомство с элементами электрических цепей. Изучение потенциометра.

Следует различать понятия: резистор и сопротивление.

Резистор – это элемент, обладающий сопротивлением, например, кусок проволоки, катушка, реостат. Любой участок электрической цепи имеет сопротивление.

Сопротивление – это физическая величина, характеризующая способность проводника препятствовать прохождению электрического тока. На электрических схемах обозначается буквой R .

Различают резистор с постоянным сопротивлением (рис.1а) и переменный резистор (рис.1б). Конструктивно переменный резистор может быть выполнен линейным или круговым.

Примечание: большинство ручек управления радиоприёмников, телевизоров и т.п. связано с переменным сопротивлением.

Реостат и потенциометр – это схемы включения переменного сопротивления.

Включение переменного сопротивления по схеме реостата показано на рис.2. Реостат служит для изменения силы тока в цепи. В схеме на рис.2 реостатом регулируется яркость лампы с сопротивлением $R_{л}$.

Включение переменного сопротивления по схеме потенциометра показано на рис.3. Потенциометр служит для плавного регулирования напряжения на участке цепи. Он играет роль делителя напряжения (подробнее ниже).

Следует различать «вход» и «выход» потенциометра. Клеммы «А» и «В» являются входом потенциометра, клеммы «С» и «В» (или «С» и «А») – выходом. Источник тока присоединяется к потенциометру к клеммам «А» и «В». Регулируемое напряжение U снимается со скользящего контакта «С» и одной из нижних клемм, например «В» (или «А»), к которой присоединён источник. При таком включении напряжение может изменяться от нуля до максимального значения, определяемого ЭДС источника.

В данной работе используется переменное сопротивление линейного типа. **Исследуется зависимость напряжения, снимаемого с потенциометра, от длины x введенной его части при различных сопротивлениях внешней цепи (сопротивление нагрузки) $R_{н}$.** На рис.3: E – ЭДС источника питания;

R_{Π} – сопротивление потенциометра; x – длина введенной части потенциометра; L – полная длина потенциометра;

Покажем, что потенциометр является идеальным делителем входного напряжения только, если сопротивление нагрузки отсутствует ($R_{\Pi} = \infty$) или много больше сопротивления введенной части потенциометра.

Рассмотрим рис.3 и рис.4. Пусть R_{Π} нет и скользящий контакт «С» стоит посередине, т.е. $x=L/2$. Тогда сопротивление потенциометра R_{Π} можно представить состоящим из двух равных частей: R_1 и R_2 ; $R_{\Pi} = R_1 + R_2$. Очевидно, что напряжение U на этих сопротивлениях будет делиться пополам (см. рис.6), т.е. потенциометр будет идеальным делителем.

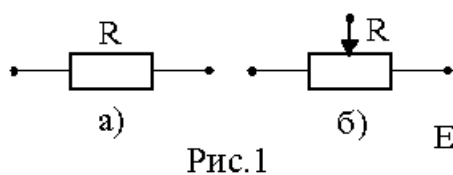


Рис.1

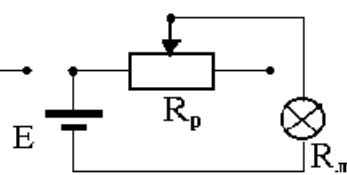


Рис.2

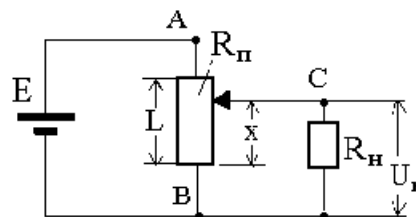


Рис.3

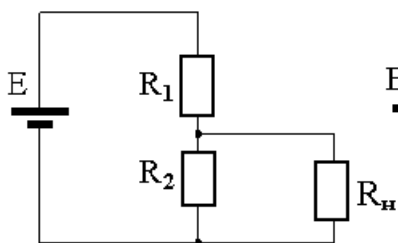


Рис.4

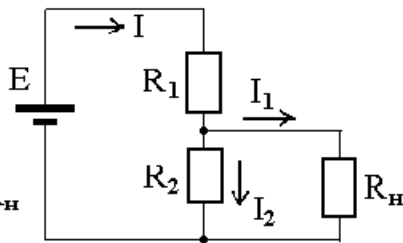


Рис.5

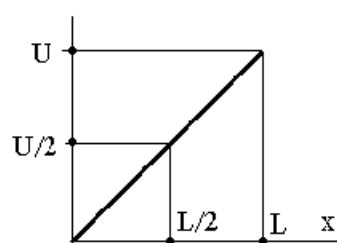


Рис.6

Теперь рассмотрим как изменяется напряжение на выходе потенциометра при наличии R_{Π} . Расчет напряжения на этом сопротивлении можно выполнить двумя способами: с помощью законов Ома и с помощью правил (законов) Кирхгофа.

Рассмотрим первый способ. Напомним, что существует 3 вида записи закона Ома в зависимости от вида участка цепи постоянного тока. На рис.7 показаны три основных вида участков:

1. Участок, содержащий только сопротивление R , т.н. однородный участок – рис.7 а). Закон Ома для этого случая имеет вид:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R}. \quad (3)$$

2. Закон Ома для замкнутой (одноконтурной) цепи с источником тока рис.7 б):

$$I = \frac{E}{R+r} \quad \text{или} \quad I(R+r) = E \quad (4)$$

3. Закон Ома для участка цепи, содержащей ЭДС и сопротивление $R_0 = R+r$, т.н. неоднородный участок –рис.7 в) имеет вид:

$$IR_0 = \varphi_1 - \varphi_3 + E, \quad \text{или} \quad I = \frac{\varphi_1 - \varphi_3 + E}{R_0} \quad (5)$$

Выражение (5) является наиболее общей формой закона Ома, из которой следуют два предыдущих случая.

Примечание. Участок на рис.7 в) выбран из некоторой произвольной электрической цепи. В ней могут быть другие ЭДС, не входящие в выделенный участок, под действием которых ток по данному участку может течь и навстречу данной ЭДС E . Если ЭДС E направлена встречно току, текущему по данному участку, то в формуле (5) ее надо взять со знаком минус. За направление ЭДС принято направление от «-» к «+» (внутри ЭДС).

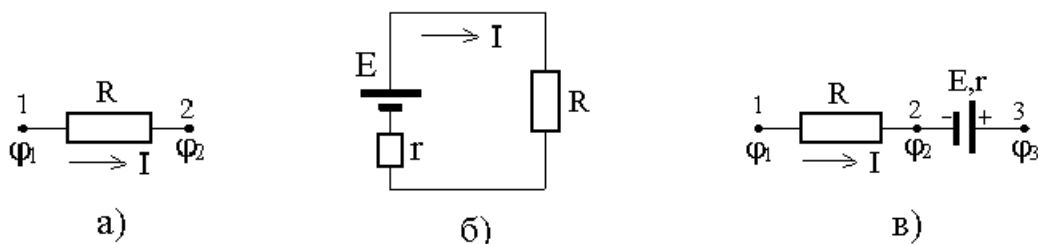


Рис.7

Рассмотрим конкретный пример расчета напряжения на нагрузке, показывающий как изменяется напряжение на выходе потенциометра при небольших величинах R_n .

Пример. Пусть $x = L/2$, $R_n = 200$ Ом, тогда $R_1 = R_2 = 100$ Ом, $E = 10$ В, $R_n = 10$ Ом. Для расчета напряжения на нагрузке U_n воспользуемся схемой на рис.4. Чтобы можно было использовать закон Ома в виде (4) надо преобразовать схему на рис.4 к одноконтурной. Для этого необходимо заменить параллельно соединенные сопротивления R_2 и R_n одним, общим – R_0 . По формуле $1/R_0 = 1/R_2 + 1/R_n$, подставив численные значения, найдём $R_0 \approx 9,1$ Ом.

Внимание! Для самоконтроля: общее сопротивление двух параллельно соединенных сопротивлений должно быть меньше меньшего.

Далее, по формуле (4) найдем ток в контуре состоящем из источника тока с э.д.с. E и сопротивлений R_1 и R_0 : $I = E / (R_1 + R_0) = 10 / (100 + 9,1) = 0,09$ А.

Теперь найдём напряжение на нагрузке U_n : $U_n = I \cdot R_0 = 0,09 \cdot 9,1 = 0,82$ В. Обратите внимание: после подключения к потенциометру $R_n = 10$ Ом напряжение на выходе потенциометра уменьшилось более чем в 5 раз.

Вывод: Чем меньше сопротивление нагрузки R_n (шунтирующее выходное сопротивление потенциометра), тем меньше напряжение на нагрузке. Характеристика потенциометра (зависимость выходного напряжения от длины x введенной части потенциометра) становится нелинейной. Нелинейность тем больше, чем меньше R_n .

Второй способ определения напряжения на R_n заключается в применении правил (законов) Кирхгофа. Это не сложная задача. Начало её решения

показано на рис.5. Необходимо выбрать направления токов в ветвях и составить систему уравнений. Сделайте это самостоятельно. Соответствующий теоретический материал по правилам Кирхгофа можно найти в лаб. работе №204 или в учебнике Т.И.Трофимовой.

Порядок выполнения работы и обработки результатов измерений

Лабораторная работа расположена на специальном стенде.

1. Составить спецификацию для электроизмерительного прибора (вольтметра), заполнив таблицу 1.
2. Для вольтметра рассчитать по формуле (2) абсолютную погрешность.
3. Электрическая схема установки показана на рис.8. Собрать цепь согласно рис.8.

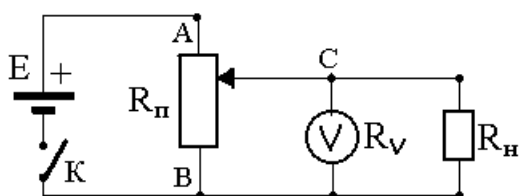


Рис.8. Схема установки

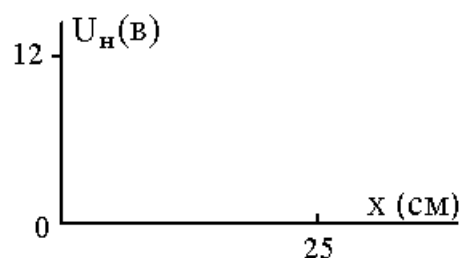


Рис.9

Таблица 2

N	$R_n = R_v$		$R_n = (R_v < R_1)$ $R_1 \approx 800 \text{ Ом}$		$R_n = (R_v > R_2)$ $R_2 \approx 30 \text{ Ом}$	
	$U_n(\text{В})$	$x(\text{см})$	$U_n(\text{В})$	$x(\text{см})$	$U_n(\text{В})$	$x(\text{см})$
1						
2						
3						
·						
·						
·						

На схеме: E – э.д.с. источника тока, R_n – сопротивление потенциометра; R_n – сопротивление нагрузки, K – ключ, V – вольтметр (его сопротивление R_v). Запишите величину сопротивления потенциометра.

После включения схемы может оказаться так, что нулевому показанию вольтметра соответствует максимальное отклонение потенциометра (или наоборот). В этом случае нужно поменять местами провода в точках A и B или выполнить другие коммутации.

Последовательность действий при выполнении работы такова:

1. Сначала к выходу потенциометра (к клеммам B и C) присоединяют только вольтметр. Изменяя положение движка потенциометра, снять

несколько значений напряжения при разных x (точек 8 - 10). Напряжение U между клеммами В и С измеряют с помощью вольтметра.

Совет: Удобнее, перемещая движок потенциометра, устанавливать на вольтметре целые значения в вольтах: 2; 4; 6,.... и записывать в таблицу соответствующие им значения x .

2. Присоединяют к клеммам вольтметра (т.е. параллельно ему) наибольшее по величине сопротивление, имеющееся на вашем стенде ($R_1 \approx 800-900 \text{ Ом}$), и выполнить действия аналогичные п.1 (изменять показания вольтметра и записывать соответствующие x).

3. Отсоединить сопротивление R_1 и присоединить к вольтметру другое сопротивление $R_2 \approx 30 \text{ Ом}$. Выполнить действия аналогичные п.1.

4. Построить на одном графике, (рис.9, длину осей выбрать не менее 10-12 см) зависимости $U_H = f(x)$ для трех сопротивлений нагрузки: R_V , R_1 , R_2 . Экспериментальные точки для каждой серии обведите специальным символом, например, кружком, треугольником, квадратом и т.п.

Контрольные вопросы:

1. Предел измерения вольтметра 100 В, класс точности равен 2. Чему равна относительная погрешность при измерении этим вольтметром напряжения 30 В?
2. Запишите три вида закона Ома и приведите для каждого из них электрическую схему.
3. Объясните, почему полученные экспериментально графики для $R_H = R_V$ и $R_H = R_1$ почти совпадают? Можно ли оценить величину сопротивления вольтметра?
4. В схеме на рис.2: $E=10 \text{ В}$, сопротивление реостата равно 100 Ом, лампы – 2 Ом. В каких пределах будет изменяться ток в контуре при изменении сопротивления реостата от 0 до 100 Ом?
5. В схеме на рис.5: $E=10 \text{ В}$, $R_1 = R_2 = 20 \text{ Ом}$, $R_H = 10 \text{ Ом}$. Найдите напряжение на нагрузке с помощью правил Кирхгофа.

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. –М., Высшая школа (все издания).
2. Скорохватов Н.А. Курс лекций по электромагнетизму.-М.,МИИГАиК, 2006.

Лабораторная работа № 201 б.

Определение удельного сопротивления проводника

Приборы и принадлежности:

Цель работы: ознакомление с электроизмерительными приборами, определение удельного сопротивления нихромовой проволоки.

Краткая теория:

(Рекомендуем вначале ознакомиться с теоретической частью работы 201а.)

В этой работе определяется удельное сопротивление нихромовой проволоки ρ , которое определяется по формуле:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l}, \quad (1)$$

где R – сопротивление отрезка проволоки, l – его длина, S – площадь поперечного сечения проволоки.

Для нахождения площади поперечного сечения S измеряют микрометром диаметр проволоки d . Отсчет ее длины l производится по метрической стойке, закрепленной на стойке прибора. Для определения сопротивления проволоки по формуле $R = \frac{U}{I}$ (закон Ома для участка цепи), измеряют напряжение U на концах проволоки и ток I , текущий при этом через нее.

Для измерения силы тока служат амперметры, которые включают в цепь последовательно, а для измерения напряжения пользуются вольтметрами, которые включают параллельно исследуемому участку.

Различие в способах включения вольтметра и амперметра в электрическую цепь приводит к совершенно различным требованиям, которым должно удовлетворять внутреннее сопротивление этих приборов. Включение любого измерительного прибора в цепь всегда приводит к некоторому перераспределению токов и напряжений в исследуемой цепи. Желательно, чтобы это перераспределение было, по возможности, незначительным. Поэтому необходимо, чтобы амперметр обладал малым сопротивлением, а вольтметр – большим по сравнению с сопротивлением исследуемой цепи или её участка.

При изменениях тока I и напряжения U возможны два способа включения амперметра и вольтметра. Допустим, что мы используем эталонные амперметр и вольтметр, т.е. приборы, не имеющие собственных погрешностей. Но и в этом случае при обоих способах включения приборов мы будем допускать систематическую погрешность, обусловленную выбором схемы.

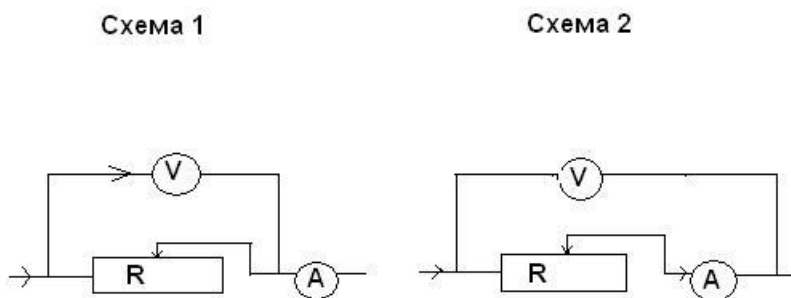


Рис. 1

Действительно, в первой схеме на рис.1 эталонный вольтметр точно измеряет напряжение U_R тогда как эталонный амперметр измеряет суммарный ток I через вольтметр I_V и сопротивление I_R

$$U = I_R \cdot R = U_R, \quad I = I_V + I_R \quad (2)$$

Так как $I_R \cdot R = I_V \cdot R_V$, то $I = I_R \left(1 + \frac{R}{R_V}\right)$, и измеренное значение сопротивления R_1 для первой схемы включения амперметра и вольтметра равно:

$$R_1 = \frac{U}{I} = \frac{U_R}{I_R} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R}{R_V}} \approx R \cdot \left(1 - \frac{R}{R_V}\right) \quad (3)$$

Здесь $R = \frac{U_R}{I_R}$ - сопротивление проволоки, $\eta_1 = \frac{R}{R_V} \cdot 100\%$ - систематическая относительная погрешность при измерениях сопротивления по первой схеме (соотношение (3) справедливо при малых значениях $\frac{R}{R_V}$). В случае использования второй схемы (см. рис.1) измеряемое вольтметром напряжение U равно:

$$U = U_R + U_A = I \cdot R + I \cdot R_A = I \cdot (R + R_A) \quad (4)$$

Следовательно, измеренная величина сопротивления равна:

$$R_2 = \frac{U}{I} = R + R_A = R \left(1 + \frac{R_A}{R}\right) \quad (5)$$

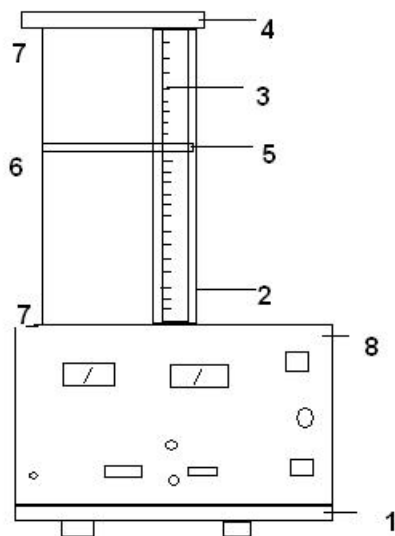
Величина $\eta_2 = \frac{R_A}{R} \cdot 100\%$ - систематическая относительная погрешность при измерениях сопротивления по второй схеме.

Таким образом, чтобы добиться минимальной систематической погрешности в определении R , нужно сначала приблизительно оценить величину R и затем найти значения

$$\eta_1 = \frac{R}{R_V} \cdot 100\% \quad \text{и} \quad \eta_2 = \frac{R_A}{R} \cdot 100\% \quad (6)$$

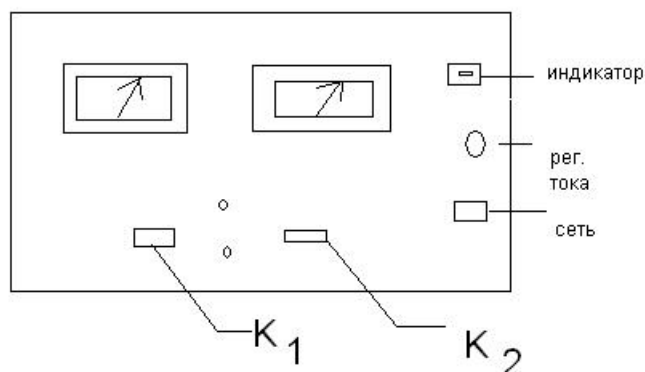
При измерениях сопротивления на практике, разумеется, лучше пользоваться той схемой, где погрешность минимальна.

Описание установки:



Основание 1 оснащено регулируемыми ножками, которые позволяют произвести выравнивание положения прибора. К основанию прикреплена стойка 2 с нанесенной метрической шкалой 3. На стойке смонтированы два неподвижных кронштейна 4 и один подвижный кронштейн 5, который может передвигаться вдоль стойки и фиксироваться в любом положении. Между верхним и нижним кронштейнами натянут измеряемый проводник 6, который прикреплен к кубикам 7 с помощью винтов. Через контактный зажим на подвижном кронштейне обеспечивается хорошее гальваническое соединение с измеряемым проводником. На подвижном кронштейне нанесена стрелка, которая определяет на шкале длину отрезка измеряемого проводника. Нижний, верхний и центральный контакты подведены при помощи проводов низкого сопротивления к измерительной части прибора 8, которая помещена в центральном корпусе и при помощи винтов прикреплена к основанию.

Вид лицевой панели измерительного блока представлен на рисунке:



Лицевая панель установки

Включение прибора производится нажатием кнопки «сеть», при этом в правом верхнем углу лицевой панели начинает светиться лампочка – индикатор. Кнопка K_1 «мост» - переключатель рода работы. В ненажатом состоянии кнопка обеспечивает режим согласования прибора с мостом постоянного тока. При выполнении работы эта кнопка всегда должна быть нажата. В таком режиме прибор обеспечивает стабилизацию тока, идущего по нихромовой проволоке, т.е. при измерении длины проволоки величина идущего по ней тока будет поддерживаться постоянной. В таком режиме прибор обеспечивает стабилизацию тока, идущего по нихромовой проволоке, то есть при изменении длины включенной в сеть проволоки величина идущего по ней тока будет поддерживаться постоянной.

Кнопка K_2 служит для перехода от измерения сопротивления по схеме 1 (кнопка нажата), к схеме 2 (кнопка не нажата).

Для регулировки величины стабилизированного тока служит ручка «Рег. тока».

Измерения и обработка результатов

Техника безопасности:

- прибор допускается к эксплуатации только при наличии заземления;
- в случае каких-либо неполадок обращаться к преподавателю или лаборанту.

Измерения:

Прибор готов к измерениям непосредственно после включения напряжения цепи (кнопка «сеть») и не требует времени для прогрева.

1. Определите диаметр проволоки с помощью микрометра не менее чем в пяти точках по всей ее длине.
2. Установите подвижный кронштейн на отметку 15 см и ручкой «Рег. тока» установите по миллиамперметру ток 200 мА.

3. Снимите зависимость напряжения на проволоке U от ее длины по схеме 1 (кнопка K_2 нажата). Измерения произвести для пяти значений длины проволоки l , начиная от значения $l_1 = 0.3 \cdot l_0$, до $l_5 = l_0$, где l_0 - полная длина проволоки.
4. Для каждого значения l_i - рассчитайте соответствующее значение сопротивления R_i по формуле:

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} \quad (7)$$

5. Для значений l_1 и l_5 рассчитайте относительную приборную погрешность по формуле:

$$\eta = \sqrt{\eta_i^2 + \eta_U^2}, \quad (8)$$

где η_i и η_U - относительные погрешности вольтметра и амперметра. (Как определить относительные погрешности амперметра и вольтметра читайте во Введении к лабораторным работам.)

Для этих же значений l_i рассчитайте по формуле 6 относительную погрешность η_1 , связанную с выбранной схемой измерения (внутреннее сопротивление вольтметра 2500 Ом).

Сравните полученные значения η и η_1 и оцените, какой из них можно пренебречь в данном случае.

6. Для каждого значения l_i рассчитайте соответствующие значения ρ_i по формуле (1) с учетом того, что $S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$. Вычислите среднее значение $\bar{\rho}$. Результаты занесите в таблицу:

№	l_i	U_i	I_i	R_i	η	η_1	ρ_i	$\bar{\rho}$
1								
2								
3								
4								
5								

7. Снимите зависимость напряжения на проволоке от ее длины по схеме 2 (кнопка K_2 не нажата). Расчеты и измерения проводятся аналогично предыдущим пунктам. Только вместо систематической погрешности η_1 рассчитывается погрешность η_2 по формуле (6). Внутреннее сопротивление амперметра берется равным 0.15 Ом. Результаты занести в таблицу:

№	l_i	U_i	I_i	R_i	η	η_2	ρ_i	$\bar{\rho}$
1								
2								
3								
4								
5								

8. Для вычисленных значений сопротивления построить графики $R = f(l)$.

Контрольные вопросы

1. На основе рассчитанных значений погрешностей η_1 и η_2 определите, какая схема дает минимальную ошибку в определении сопротивления проволоки?
2. От чего зависит систематическая погрешность при измерении сопротивления по схемам 1 и 2?
3. Как должны включаться в схему вольтметр и амперметр и каковы при этом требования к их внутренним характеристикам?

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики. – М., 1977, т.2
2. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике.- М., Наука, 1985

Лабораторная работа № 202

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Приборы и принадлежности: электролитическая ванна с электродами, осциллограф, лабораторный стенд с электрической схемой.

Краткая теория:

Характеристики электростатического поля.

Всякий заряд изменяет свойства пространства вокруг себя - создает электромагнитное поле. Вокруг покоящегося заряда существует электростатическое поле. Оно характеризуется вектором напряженности \vec{E} и потенциалом φ . Вектор \vec{E} является силовой характеристикой электрического поля и определяется как отношение силы \vec{F} действующей на некоторый "пробный" (точечный) заряд q_0 , помещенный в данную точку пространства, к величине этого заряда:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

Потенциал φ электрического поля является энергетической характеристикой и определяется как отношение потенциальной энергии W , которой обладает точечный заряд, помещенный в данную точку пространства, к величине этого заряда:

$$\varphi = \frac{W}{q_0}$$

И напряженность поля и потенциал характеризуют только поле, и не зависят от величины пробного заряда. Проекция E_l вектора напряженности \vec{E} на произвольную ось l и потенциал φ связаны соотношением:

$$E_l = -\frac{\partial \varphi}{\partial l}$$

или в векторной форме

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi$$

Отсюда

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 (\vec{E} d\vec{l}) = \int_1^2 E_l dl$$

Таким образом, если известна одна характеристика поля (\vec{E} или φ), то можно найти и другую (φ или \vec{E}).

Для графического изображения электростатических полей используются силовые линии и эквипотенциальные поверхности. Силовые линии проводятся таким образом, чтобы выполнялись следующие условия:

1. Направление касательной к силовой линии в каждой точке пространства совпадает с направлением вектора \vec{E} в этой точке.
2. Число силовых линий, проходящих через перпендикулярную к ним

площадку единичной площади, пропорционально модулю вектора напряженности.

Силовые линии электрического поля незамкнуты. Они начинаются и заканчиваются на зарядах или в бесконечности. В силу однозначного направления вектора напряженности в каждой точке поля силовые линии нигде не пересекаются.

Эквипотенциальная поверхность - это поверхность, все точки которой имеют одинаковый потенциал. Вектор \vec{E} перпендикулярен, к эквипотенциальной поверхности в любой ее точке и направлен в сторону уменьшения потенциала.

Основной задачей электростатики является нахождение напряженности и потенциала. Опыт показывает, что напряженность поля, создаваемого системой N точечных зарядов, равна векторной сумме напряженностей, создаваемых каждым из зарядов в отдельности:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i$$

Это утверждение носит название принципа суперпозиции электрических полей.

Потенциал результирующего поля, образованного системой из N точечных зарядов, определяется путем алгебраического суммирования потенциалов:

$$\varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i$$

Принцип суперпозиции позволяет достаточно просто определить напряженность поля лишь для небольшого числа точечных зарядов. В более сложных случаях, в частности, для заряженных тел, обладающих симметрией (плоскость, цилиндр, шар и т.д.), напряженность поля может быть найдена с помощью теоремы Гаусса:

$$\Phi_E = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon} \sum_{i=1}^N q_i$$

Поток вектора напряженности $\Phi_E = \oint_S E_n dS$ через некоторую замкнутую поверхность S пропорционален сумме зарядов, находящихся в объеме, ограниченном данной поверхностью. Символ \oint означает интеграл по замкнутой поверхности S ; E_n - нормальная составляющая E для элементов интегрирования dS .

Аналитический расчет поля заряженного тела произвольной формы представляет собой непростую задачу, поэтому электростатические поля сложной конфигурации исследуются экспериментально.

Моделирование электростатического поля (метод электролитической ванны)

Одним из методов исследования в физике является модельный эксперимент, который имеет две разновидности - физическое и мате-

математическое моделирование. В процессе физического моделирования наиболее существенные закономерности в поведении исследуемого объекта воспроизводятся по модели, сохраняя при этом свою физическую природу. В основе математического моделирования лежит тождественность математического описания различных по своей природе физических явлений.

Известно, что потенциалы электростатического поля в вакууме и поля тока в электролите удовлетворяют одному и тому же виду дифференциального уравнения. Граничные условия для зарядов на поверхности проводника в вакууме и для токов в проводящей среде с малой проводимостью также совпадают. Это обстоятельство позволяет использовать электролитическую ванну для моделирования электростатического поля, поскольку проведение непосредственных электростатических измерений представляет технически достаточно сложную задачу.

Для определения поля заряженных проводников заданной формы их помещают в ванну, заполненную слабопроводящей жидкостью, и подают на них потенциалы, равные натуральным или уменьшенные. Следует отметить, что работа электростатического поля при перемещении заряда определяется разностью потенциалов $\Delta\varphi$, поэтому в лабораторной работе определяется величина $\Delta\varphi$, а не абсолютные значения потенциалов.

Напряжением U на данном участке цепи называется величина, равная суммарной работе электростатических и сторонних сил при перемещении единичного положительного заряда. При отсутствии источников тока напряжение на участке цепи совпадает с разностью потенциалов, т.е. $\Delta\varphi = U = JR$.

В настоящей работе экспериментально изучается распределение потенциала в пространстве между электродами, где $\Delta\varphi = U$, а силовые линии изучаемого поля строятся как ортогональные к найденным экспериментально линиям равного потенциала.

Описание лабораторной установки

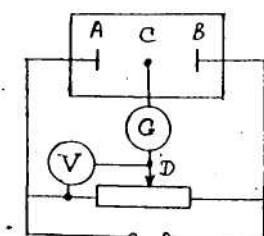


Рис. 1. Принципиальная схема измерений

Принципиальная схема измерений показана на рис. 1. В ванне, заполненной водой, расположены электроды А и В. Для измерения потенциалов в пространстве между электродами в жидкость вводится зонд С, соединенный с движком потенциометра. При наличии разности потенциалов между точками С и D через прибор G пройдет ток. Перемещая движок потенциометра, можно добиться отсутствия тока на участке CD. В этом случае потенциалы точек С и D равны. Заметим, что прибор G служит не для измерения разности потенциалов, а для ее обнаружения, поскольку в момент измерения $\varphi_C - \varphi_D = 0$. Для измерения потенциалов в исследуемом пространстве служит вольтметр V, подключенный между движком потенциометра и одним из электродов.

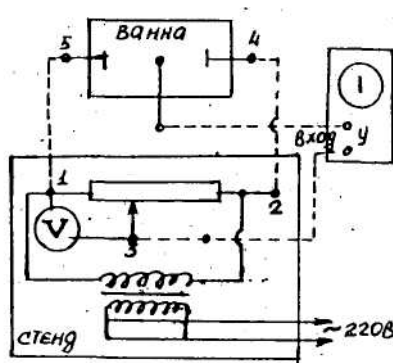


Рис. 2. Схема лабораторной установки.

В лабораторной установке, схема которой представлена на рис.2, для предотвращения эффектов, связанных с поляризацией электродов, используется переменный ток промышленной частоты. Трансформатор служит для понижения напряжения на электродах.

В качестве устройства, позволяющего обнаружить разность потенциалов, используется осциллограф. Горизонтальная развертка осциллографа должна быть выключена. В этом случае, при наличии напряжения на входе У на экране видна вертикальная прямая линия.

Пунктирными линиями на рис. 2 показаны провода, которые необходимо подключить при сборке лабораторной установки. К входу У осциллографа подключаются провода от зонда и от клеммы 3 потенциометра. Контакты 4 и 5 электродов соединяются с клеммами 1 и 2 потенциометра.

Техника безопасности:

- осциллограф допускается к эксплуатации только при наличии заземления;
- в случае каких-либо неполадок обращаться к преподавателю или лаборанту.

Порядок выполнения работы

1. Соберите схему согласно рис. 2.
2. Включите стенд и осциллограф в сеть 220 В.
3. Поместите зонд на расстоянии 2-3 см от одного из электродов. Перемещая движок потенциометра, добейтесь, чтобы вертикальная линия на экране осциллографа имела минимальную высоту. Добиться нулевой высоты луча, как правило, не удастся из-за наводок переменного тока на аппаратуру и сдвига фаз, возникающего между напряжением на зонде и движке потенциометра.
4. Смещая зонд от осевой линии, найдите положение еще 7-9 точек, принадлежащих данной эквипотенциальной линии φ_1 . Запишите показание вольтметра ($U_1 = \varphi_1$).
5. На листе миллиметровой бумаги отметьте положение электродов и постройте эквипотенциальную линию φ_1 . Укажите соответствующее ей показание вольтметра ($U_1 = \varphi_1$).
6. Переместите движок потенциометра и найдите положение следующей эквипотенциальной линии φ_2 . Снимите данные для 6-8 эквипотенциальных линий.
7. Постройте график зависимости потенциала φ в ванне от расстояния, отсчитываемого от одного из электродов по осевой линии. Для построения используйте показания вольтметра ($U_i = \varphi_i$), соответствующие снятым эквипотенциальным линиям.

Контрольные вопросы

1. Что такое силовые линии и эквипотенциальные поверхности электрического поля?
2. Докажите, что силовые линии ортогональны к эквипотенциальным поверхностям.
3. Рассчитайте напряженность поля бесконечной плоскости, заряженной с поверхностной плотностью σ .
4. Почему для исследования электростатических полей используется метод электролитической ванны?
5. Каково назначение осциллографа в данной работе?

Литература

Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. -М.:Высшая школа, 1989.

Лабораторная работа № 203

ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА БАЛЛИСТИЧЕСКИМ ГАЛЬВАНОМЕТРОМ

Приборы и принадлежности: источник напряжения, лабораторный стенд, баллистический гальванометр.

Краткая теория

Емкостью проводника называется физическая величина, численно равная отношению заряда, сообщенного проводнику, к его потенциалу: $C = \frac{q}{\varphi}$,

где C - емкость проводника, q - количество электричества (заряд), φ - потенциал. Емкость, является характеристикой самого проводника и зависит от его формы и размеров. Геометрически подобные проводники обладают емкостями, прямо пропорциональными их линейным размерам. Емкость прямо пропорциональна диэлектрической проницаемости среды, окружающей проводник. Ни от материала проводника, ни от наличия полостей внутри проводника емкость не зависит. Это связано с тем, что заряды распределяются только на внешней поверхности проводника.

За единицу емкости в СИ принят фарад - емкость проводника, имеющего потенциал 1 вольт при сообщении ему заряда в 1 кулон, то есть

$$1\text{Ф} = \frac{1\text{Кл}}{1\text{В}}$$

Если вблизи проводника имеются другие тела, то его емкость будет больше, чем у такого же, но уединенного проводника.

Система из двух проводников, имеющих такую форму и такое расположение относительно друг друга, что создаваемое ими электрическое поле при сообщении им разноименных и одинаковых по модулю зарядов практически полностью сосредоточено между ними, называется конденсатором. Емкость конденсатора определяется отношением:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2},$$

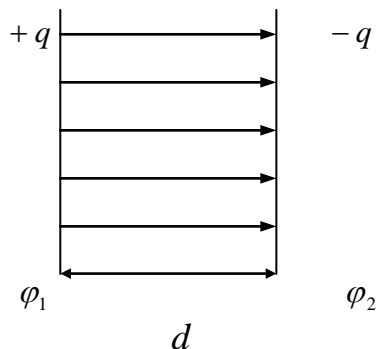
где q - заряд одной из пластин конденсатора, $\varphi_1 - \varphi_2$ - разность

потенциалов или напряжение между пластинами конденсатора.

а) рассмотрим плоский конденсатор:

Обозначим разность потенциалов между обкладками конденсатора

$$\varphi_1 - \varphi_2 = U$$



Тогда из определения емкости следует: $q = CU$.

Напряженность поля между обкладками плоского конденсатора создается

двумя пластинами и равна: $E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}$

Рассчитаем разность потенциалов между обкладками плоского конденсатора:

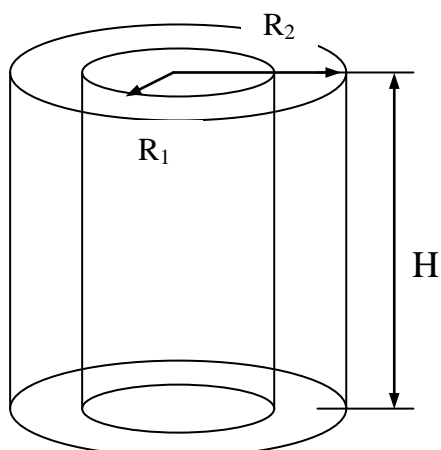
$$\varphi_1 - \varphi_2 = U = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = \int_1^2 \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0} dl = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0} d = \frac{qd}{\epsilon\epsilon_0 S}$$

Окончательно получаем формулу для емкости плоского

конденсатора: $C = \frac{q}{U} = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$.

б) рассмотрим цилиндрический конденсатор (поле между пластинами такого конденсатора имеет цилиндрическую симметрию)

Внешняя обкладка внутри конденсатора поля не создает.



Напряженность поля внутри конденсатора создается зарядом на внутренней обкладке и равна:

$$E = \frac{\sigma_1 R_1}{\epsilon \epsilon_0 r} = \frac{q}{2\pi H \epsilon \epsilon_0 r}; \quad q = \sigma_1 \cdot 2\pi R_1 H;$$

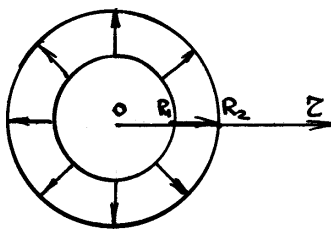
Тогда разность потенциалов на обкладках цилиндрического конденсатора равна:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = U = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = \int_1^2 E dl = \int_1^2 \frac{q}{2\pi H \epsilon \epsilon_0 r} dr = \frac{q}{2\pi H \epsilon \epsilon_0} \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r} = \frac{q \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{2\pi H \epsilon \epsilon_0};$$

Следовательно, емкость цилиндрического конденсатора:

$$C = \frac{q}{U} = \frac{2\pi H \epsilon \epsilon_0}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}.$$

с) рассмотрим сферический конденсатор (поле между обкладками такого конденсатора имеет сферическую симметрию).



Напряженность поля внутри конденсатора создается зарядом на внутренней сферической обкладке и равна: $E = \frac{q}{4\pi \epsilon \epsilon_0 r^2}$.

Тогда разность потенциалов на обкладках сферического конденсатора:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = \int_{R_1}^{R_2} \frac{q}{4\pi \epsilon \epsilon_0 r^2} dr = \frac{q}{4\pi \epsilon \epsilon_0} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{q(R_2 - R_1)}{4\pi \epsilon \epsilon_0 R_1 R_2}$$

Следовательно, емкость сферического конденсатора равна:

$$C = \frac{q}{U} = \frac{4\pi \epsilon \epsilon_0 R_1 R_2}{R_2 - R_1}.$$

Баллистический гальванометр - прибор для измерения малых быстропротекающих количеств электричества (заряда). Его устройство совпадает с устройством обычного прибора магнитоэлектрической системы, однако подвижная рамка имеет большой момент инерции, и при протекании через рамку короткого импульса тока на нее действует вращающий момент

сил, пропорциональный силе тока через рамку: $M \sim I$ (при этом время протекания тока должно быть много меньше периода собственных колебаний рамки). Согласно основному уравнению динамики вращательного движения: $I \cdot \varepsilon = M$, но так как $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$, то момент импульса рамки будет пропорционален интегралу от тока по времени, то есть количеству протекшего через рамку заряда: $I \cdot \omega = \int M dt \sim q$, где: I - момент инерция рамки, ω - ее угловая скорость.

Первое наибольшее отклонение стрелки гальванометра пропорционально максимальной угловой скорости рамки в начале движения, это следует из закона сохранения механической энергии : $\frac{1}{2}k\varphi_{\max}^2 = \frac{1}{2}I\omega_{\max}^2$, где: k - постоянный коэффициент, φ_{\max} - угол максимального отклонения рамки.

Следовательно, наибольшее отклонение стрелки гальванометра $n \sim \varphi_{\max} \sim \omega_{\max} \sim q$ или $q = A \cdot n$, где: A - баллистическая постоянная гальванометра.

Для определения баллистической постоянной через гальванометр пропускают известный заряд, например, разряжают через гальванометр конденсатор известной емкости, заряженный до разности потенциалов U и определяют отклонение стрелки гальванометра (число делений n по шкале).

Баллистическая постоянная равна в этом случае: $A = \frac{q}{n} = \frac{C_{pd}U}{n}$.

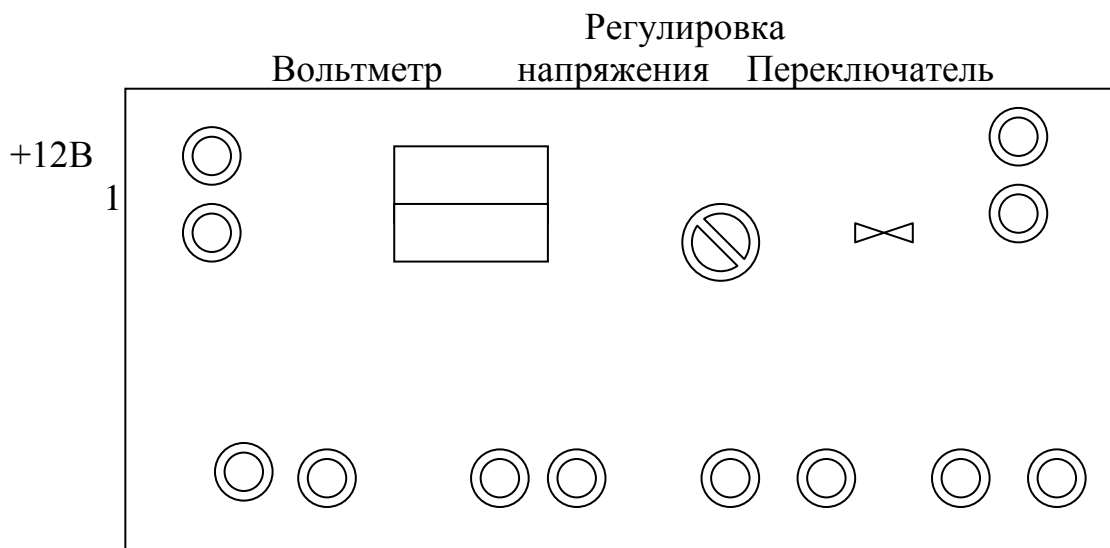


Рис.1 Внешний вид лабораторного стенда.

ВНИМАНИЕ! Питание стенда производится от источника постоянного напряжения 12 В. Собранный схема должна быть проверена преподавателем

или лаборантом, после чего можно включить источник напряжения. Если в работе используется гальванометр со световой индикацией, то он включается в сеть 220 В, а его вход - к клеммам 2 на стенде (см. рис. I) .

Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений:

1. Ознакомившись с лабораторным стендом, собирают схему по рисунку, подключив с помощью соединительных проводов к клеммам 3 конденсатор известной емкости, имеющийся на стенде (клеммы $C_{изв}$).
2. Установив переключатель в левое положение (конденсатор заряжается) подают напряжение на конденсатор с помощью потенциометра. Напряжение измеряется вольтметром.
3. Установив переключатель в правое положение (конденсатор разряжается на гальванометр), наблюдают отклонение стрелки гальванометра и измеряют первое наибольшее отклонение. Результаты заносят в таблицу 1.
4. Опыт повторяют 10 раз, изменяя напряжение на конденсаторе в пределах 1-10 Вольт.
5. На основе проведенных измерений строят градуировочный график, откладывая по оси абсцисс отклонение стрелки гальванометра n , а по оси ординат - величину заряда q .
6. Подключают к клеммам 3 конденсатор неизвестной емкости C_1 и выполняют действия, указанные в пунктах 1-3 для трех различных напряжений. Результаты заносят в таблицу 2.
7. Те же действия повторяют с другим конденсатором неизвестной емкости C_2 .
8. Проводят измерения для последовательного, а затем параллельного соединения конденсаторов C_1 и C_2 . Все измерения по пунктам 6, 7, 8 повторяют по 3 раза (для трех различных значений напряжения U , таких, которые дают достаточно большие отклонения стрелки гальванометра, но в пределах градуировочного графика).
9. По показаниям гальванометра, полученным в опытах с конденсаторами неизвестных емкостей, определяют по калибровочному графику их заряд q_i . Величину неизвестной емкости находят по формуле $C_i = \frac{q_i}{U_i}$ и заносят в

таблицу 2.

10. Для каждого случая находят среднее значение емкости: $C_{эки} = \bar{C} = \frac{\sum C_i}{N}$ и среднеквадратичную погрешность ее измерения: $m_c = \sqrt{\frac{\sum (C_i - \bar{C})^2}{N(N-1)}}$, далее определяют доверительный интервал: $[\bar{C} - \varepsilon_{cl}, \bar{C} + \varepsilon_{cl}]$, где: $\varepsilon_{cl} = t \cdot m_{cl}$, коэффициент Стьюдента для числа опытов $N=3$ равен $t=4.3$, результаты расчетов заносят в таблицу 2.

II. Определяют емкость последовательного и параллельного соединения конденсаторов по теоретическим формулам: $\frac{1}{C_{посл}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ и $C_{парал} = C_1 + C_2$ и проверяют совместимость вычислений, то есть попадает ли результат теоретического расчета в доверительный интервал.

Таблица I. Градуировка гальванометра.

№	$C_{изв}(\Phi)$	Напряжение U (В)	Число делений n	$Q = C_{изв} U$ (Кл)
1		1		
2		2		
3		3		
4		4		
5		5		
6		6		
7		7		
8		8		

9		9		
10		10		

Таблица 2. Измерение емкостей конденсаторов

	№	U	n	Q	C_i	\bar{C}	$\varepsilon_{случ.}$
Конденсатор C_1	1						
	2						
	3						
Конденсатор C_2	1						
	2						
	3						
Последовательное соединение	1						
	2						
	3						
Параллельное соединение	1						
	2						
	3						

Контрольные вопросы:

1. Выведите формулу для емкости параллельного и последовательного соединения конденсаторов.
2. Как должны быть связаны период собственных колебаний рамки

гальванометра и время протекания заряда, чтобы показание гальванометра было пропорционально величине протекшего заряда?

3. Воздушный конденсатор заряжен и отключен от источника. Как и почему изменится разность потенциалов на нем при введении диэлектрика между обкладками?

4. Воздушный конденсатор подключен к источнику постоянного напряжения. Изменится ли заряд на конденсаторе после введения диэлектрика между обкладками? Почему?

5. Конденсатор с диэлектриком заряжен и отключен от источника напряжения. Будет ли совершена работа внешними силами, если удалить диэлектрик? Почему?

Литература:

1. И.В. Савельев. Курс физики, М.: Наука., 1973-2006г.
2. Т.И. Трофимова. Курс физики, М.: Высшая школа., 1985-2006г.
3. Н.А. Скорохватов. Курс лекций по электромагнетизму, М.: МИИГАиК., 2006г.

Лабораторная работа № 204

ПРОВЕРКА ПРАВИЛ КИРХГОФА

Приборы и принадлежности: лабораторная установка с собранной разветвленной электрической цепью и стенд с двумя измерительными приборами (миллиамперметром и вольтметром).

Цель работы: 1) Знакомство с одним из основных методов расчета токов и напряжений в разветвленных электрических цепях. 2) Проверка правил Кирхгофа путем экспериментального определения токов, ЭДС и напряжений в установке, электрическая схема которой показана на рис. 1а.

Краткая теория

Правила Кирхгофа применяются для расчета токов и напряжений в разветвленных электрических цепях. На рис.1а дан пример такой цепи, состоящей из двух замкнутых взаимосвязанных контуров ABCDA и AKMDA, поэтому ток, например, через резистор R_2 нельзя определить, воспользовавшись только законом Ома для полной (замкнутой) цепи в виде $I = \varepsilon / (R + r)$.

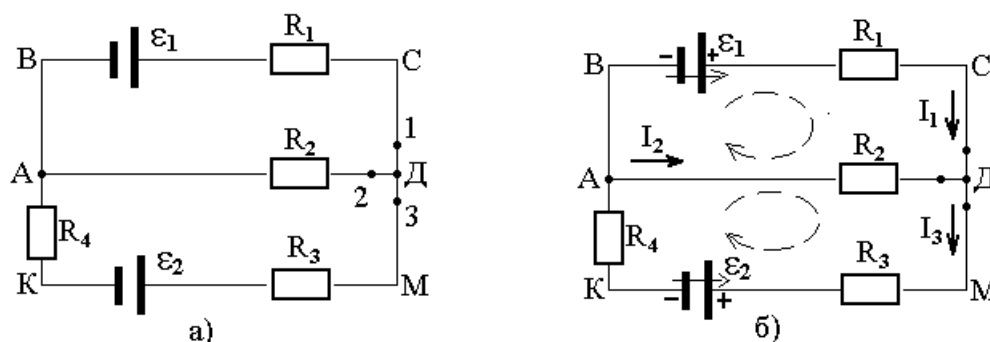


Рис.1. Разветвленная электрическая цепь:
а) общий вид; б) схема для расчета токов

При рассмотрении разветвленных электрических цепей используют понятия: узел, ветвь, контур.

Определения:

- 1) Узлом называется точка цепи, в которой сходится не менее трех проводников. В схеме на рис.1 это точки А и Д.
- 2) Ветвью называется участок цепи, заключенный между двумя узлами. На рис.1 это участки ABCD, АД, АКМД.
- 3) Контуром называется любой замкнутый участок цепи. В схеме на рис.1 могут быть выделены следующие контуры: ABCDA, АДМКА, ABCMKA.

Правил Кирхгофа два.

Первое правило Кирхгофа может быть сформулировано двояко. Первая формулировка: алгебраическая сумма токов в любом узле схемы равна нулю, т.е. $\sum_{i=1}^n \pm I_i = 0$. Обычно токи, направленные к узлу, считают положительными, а выходящие из него – отрицательными. Вторая формулировка: сумма токов, входящих в узел, равна сумме выходящих из него.

Физически первое правило Кирхгофа означает, что движение электрических зарядов в цепи происходит так, что ни в одном из узлов они не скапливаются, т.е. является следствием закона сохранения электрического заряда.

Второе правило Кирхгофа: в любом замкнутом контуре сложной цепи алгебраическая сумма произведений токов на сопротивления (по которым они протекают) равна алгебраической сумме ЭДС, действующих в этом контуре, т.е. $\sum_{i=1}^n \pm I_i R_i = \sum \pm \varepsilon_i$. Это правило является следствием закона Ома для полной цепи.

Если значение всех элементов схемы (ε_i, R_i) известны, то неизвестные токи можно рассчитать с помощью правил Кирхгофа. При этом необходимо иметь в виду, что в каждой ветви течет свой ток. Число токов равно числу ветвей схемы. Таким образом, число необходимых уравнений должно быть равно числу неизвестных токов. В схеме на рис.1а три неизвестных тока. Обозначим число ветвей схемы через ν , число узлов через y . Для того чтобы получить линейно-независимые уравнения, по первому правилу Кирхгофа необходимо составить $y - 1$ уравнение, а по второму правилу $[\nu - (y - 1)]$ уравнений. Например, в схеме на рис.1 $y = 2, \nu = 3$. Следовательно, по первому правилу Кирхгофа необходимо составить только одно уравнение (для любого узла), а по второму правилу - два уравнения.

Последовательность действий при составлении уравнений следующий (она иллюстрируется схемой на рис.1б):

а) произвольно выбрать направления токов в ветвях и обозначить их. Если истинное направление тока в ветви противоположно выбранному, то после решения соответствующей системы уравнений значение тока получится отрицательным. В схеме на рис.1б показаны направления токов I_1, I_2, I_3 , выбранные произвольно;

б) показать полярность источников ЭДС ε_i на схеме знаками „+” и „-“. За направление ЭДС принято направление от „-“ к „+“ внутри источника ЭДС; В схеме на рис.1б оно показано короткой стрелкой на обозначениях ε_1 и ε_2 .

в) произвольно выбрать замкнутые контуры и направления их обхода (например, по часовой стрелке). В схеме на рис.1б выбраны контуры ABCDA и АДМКА. Пунктиром показано направление их обхода. Можно выбрать контуры ABCDA и ВСМКВ или другую комбинацию. Важно

следить, чтобы в каждый новый контур, для которого составляется уравнение, входила хотя бы одна новая ветвь;

г) составить необходимые уравнения по первому и второму правилу Кирхгофа. При составлении уравнений по второму правилу величины $I_i R_i$ берутся со знаком плюс, если направление обхода контура совпадает с выбранным направлением тока в сопротивлении R_i .

ЭДС ε_i берется со знаком плюс, если направление обхода контура совпадает с направлением источника ЭДС. Для схемы на рис.1б соответствующие уравнения имеют вид:

1) $I_1 + I_2 = I_3$ (для узла А)

2) $I_1 R_1 - I_2 R_2 = \varepsilon_1$ (для контура ABCDA)

3) $I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_4 R_4 = -\varepsilon_2$ (для контура АДМКА)

Решая эту систему уравнений, найдем неизвестные токи.

Рекомендация. Для успешной защиты работы необходимо приведенную выше «последовательность действий...» выучить наизусть.

Техника безопасности.

При выполнении работы необходимо соблюдать известные меры безопасности при работе с приборами, включенными в сеть 220В. Специальных мер безопасности не требуется.

Порядок выполнения работы

Внимание! Для выполнения работы необходимы 2 провода со специальными наконечниками.

Работа состоит из трех заданий.

Задание 1. Проверка правил Кирхгофа.

1. Включите установку в сеть 220В.

2. Для получения значений токов в ветвях при проверке первого правила Кирхгофа необходимо в каждую ветвь последовательно включить миллиамперметр. Он включается в цепь с помощью соединительных проводов с наконечниками. Вставив один из наконечников в гнездо Д, а другой в гнездо 1, нажимают на кнопку микропереключателя, находящегося между гнездами. При нажатии кнопки микропереключателя цепь разрывается и ток исследуемой ветви протекает через измерительный прибор. Затем провод из гнезда 1 переставляют в гнездо 2 и 3. Если при измерениях токов наконечник в центральном гнезде Д не вынимать, то при отклонении стрелки измерительного прибора вправо ток можно считать положительным, влево отрицательным. Таким образом, необходимо измерить токи во всех ветвях и данные записать в таблицу 1. Погрешность измерения тока

$$\Delta I = I_{\max} \cdot K \cdot 10^{-2},$$

где К- класс точности прибора (в %), I_{\max} - максимальное значение тока, которое может быть измерено данным прибором (К и I_{\max} указаны на приборе).

Первое правило Кирхгофа выполняется, если:

$$\sum_{i=1}^3 I_i < \sum_{i=1}^3 |\Delta I_i|$$

3. Измерение токов провести при двух полярностях ε_1 (полярность ε_1 изменяется переключателем на измерительном лабораторном стенде).

4. При проверке второго правила Кирхгофа в качестве измерительного прибора используют вольтметр. Для этого соединительные провода с наконечниками соединяют с клеммами вольтметра. Выбрав один из контуров, измерить ε_1 и $U_i = I_i R_i$, имеющиеся в данном контуре, обходя его по часовой стрелке (можно и против). Если при обходе положение наконечников проводов относительно направления обхода не изменяется (один и тот же всегда впереди при обходе), то при отклонении стрелки вольтметра вправо напряжения U_i можно считать положительным, а ЭДС ε_i – отрицательными. Измеренные значения U_i и ε_i заносятся в таблицу 2.

Погрешности U и ε одинаковы и равны:

$$\Delta U = \Delta \varepsilon = U_{\max} \cdot K \cdot 10^{-2} = \varepsilon_{\max} \cdot K \cdot 10^{-2},$$

где К – класс точности вольтметра (в %); U_{\max} , ε_{\max} – максимальное значение напряжения или ЭДС, которое может быть измерено данным прибором (значения К и U_{\max} указаны на приборе).

5. Измерения величин U_i и ε_1 проделать для двух других контуров, занося данные в таблицу 2.

6. Изменить полярность источника ε_1 и повторить измерения величин U_i и ε_1 во всех контурах. Второе правило Кирхгофа выполняется, если для каждого контура выполняется неравенство:

$$\left| \sum_{i=1}^n U_i - \sum_{j=1}^m \varepsilon_j \right| < \left(\sum_{i=1}^n |\Delta U_i| + \sum_{j=1}^m |\Delta \varepsilon_j| \right)$$

Таблица 1

Положение переключателя полярности ε_1	I_1	I_2	I_3	ΔI	$\sum_{i=1}^3 I_i$	$\sum_{i=1}^3 \Delta I_i $	$\left \sum_{i=1}^3 I_i - \sum_{i=1}^3 \Delta I_i \right $
1							
2							

Вывод (заключение):

Таблица 2

Положение переключателя полярности ε_1	Обозначение контура	U_1 В	U_2 В	U_3 В	U_4 В	ε_1 В	ε_2 В	$\Delta U = \Delta \varepsilon$	$ \sum U_i - \sum \varepsilon_j $	$\sum \Delta U_i + \sum \Delta \varepsilon_j $
1	1) ABCDA 2) АДМКА 3)									
2	1) ABCDA 2) АДМКА 3)									

Вывод (заключение):

Задание 2. Расчет величин R_i

Используя полученные экспериментальные значения токов и напряжений, вычислить значения сопротивлений в данной схеме. При этом необходимо учитывать, что значения токов получены в мА.

Задание 3. Расчет разности потенциалов $\Delta \varphi_1$. Используя экспериментальные данные и формулу закона Ома для однородного участка цепи ($IR = \varphi_1 - \varphi_2 \pm \varepsilon$), вычислите значение разности потенциалов между точками А и Д в схеме на рис.1, рассматривая отдельно участки цепи ВС, АД и КМ. Сравните полученные результаты.

Контрольные вопросы

1. Как формулируются правила Кирхгофа, в чем заключается их смысл ?
2. Составьте алгоритм последовательности действий при составлении уравнений по правилам Кирхгофа.
3. Все ли токи и напряжения изменяются в цепи, используемой в установке, когда переключателем изменяется полярность одной из ЭДС?
4. Как определяется погрешность измеряемых токов и напряжений ?

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. –М, Высшая школа (все издания).
2. Скорухатов Курс лекций по электромагнетизму М.:МИИГАиК.,2006г.

Внимание! Для успешной защиты этой работы необходимо дополнительно к её описанию проработать по учебнику Трофимовой Т.И. "Курс физики" главу 12 «Постоянный электрический ток»; §§96 –101.

Лабораторная работа № 205

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ МОСТОВОЙ СХЕМЫ

Приборы и принадлежности: лабораторный стенд, источник питания,

Цель работы: ознакомление с одним из методов измерения сопротивлений.

Краткая теория

Одним из наиболее точных методов измерения сопротивлений является мостовой метод, при котором неизвестное измеряемое сопротивление сравнивают с тремя известными. На рис. 1 показана схема моста постоянного тока. Четыре сопротивления: R_1 , R_2 , R_3 и R_x соединены в замкнутый четырехугольник, стороны которого образуют плечи моста. В одну из диагоналей моста включают источник тока, в другую - магнитоэлектрический индикатор высокой чувствительности. Если в цепи прибора тока нет, мост считается уравновешенным. Это может быть только при равенстве потенциалов

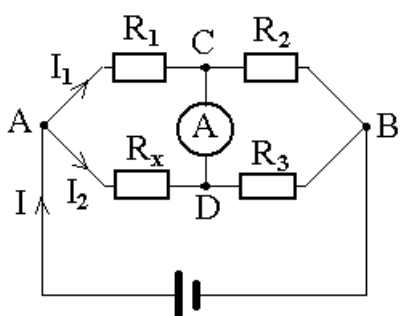


Рис. 1. Мостовая схема

моста):

в точках С и D т.е. $\varphi_C - \varphi_D = 0$.

Уравновешивают мост, подбирая сопротивления R_2 или R_3 . В уравновешенном мосте произведения сопротивлений противоположных плеч равны: $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_x$.

Докажем это соотношение, пользуясь вторым правилом Кирхгофа. Для замкнутых контуров ACDA и CBDC можно записать следующие уравнения (при условии равновесия

$$I_1 R_1 - I_2 R_x = 0 \quad \text{и} \quad I_1 R_2 - I_2 R_3 = 0.$$

Решая эту систему уравнений, получим:

$$R_x = R_1 \left(\frac{R_3}{R_2} \right)$$

Из этого соотношения видно, что равновесие моста может быть получено двумя способами: при постоянном отношении постоянных сопротивлений R_3/R_2 изменением сопротивления R_1 , или при постоянном сопротивлении одного плеча R_1 изменением соотношения сопротивлений двух других плеч R_3/R_2 .

В зависимости от способа получения равновесия моста существуют различные его конструкции. На рис. 2 показана мостовая схема, в которой равновесие моста достигается вторым способом. Эта схема называется мостом Уитстона.

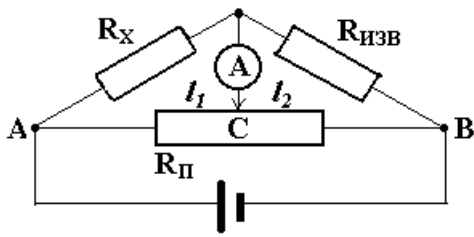


Рис.2. Мост Уитстона

Так как сопротивления плеч потенциометра $R_{П}$: $R_{АС}$ и $R_{СВ}$ пропорциональны их длинам l_1 и l_2 , тогда

$$R_X = R_{ИЗВ} (l_1 / l_2) \quad (1)$$

Если длина потенциометра l , то $l_2 = l - l_1$

и

$$R_X = R_{ИЗВ} (l_1 / (l - l_1)) \quad (2)$$

Таким образом, процесс измерения сопротивления с помощью моста Уитстона сводится к балансировке моста и измерению длин плеч l_1 и l_2 потенциометра $R_{П}$. Последнее может осуществляться с помощью линейки или шкалы, смонтированной на потенциометре.

Точность измерения сопротивлений определяется точностью уравновешенности моста, которая существенно зависит от чувствительности индикатора и величины напряжения питания.

Мостовые схемы образуют обширный класс измерительных цепей, широко используемый в радиотехнике, автоматике и других областях техники.

Описание установки, измерения и обработка результатов измерений

Электрическая схема передней панели лабораторной установки приведена на рис.3.

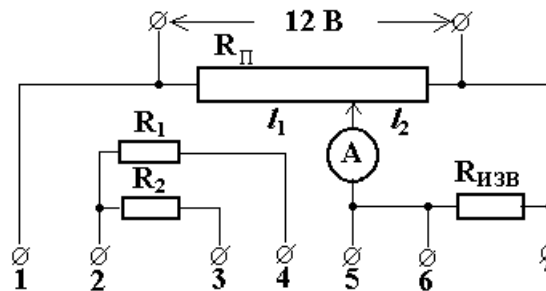


Рис.3

ВНИМАНИЕ! В установке для данной лабораторной работы используется высокоточный круговой потенциометр, который размещен горизонтально на передней панели установки. Его шкала расположена впереди, а ручка вращения сзади. Максимальный угол поворота ручки потенциометра 330° . Шкала потенциометра разбита на 33 части (по 10^0) Внимательно изучите шкалу потенциометра.

Работу выполняют в следующем порядке:

1. С помощью проводов собирают на лабораторном стенде схему моста Уитстона, включив в нее резистор с неизвестным сопротивлением R_1 . Для этого необходимо соединить клеммы 1 и 2, а также 4 и 5.

2. Подключают **источник питания 12 В** и балансируют мост, перемещая движок потенциометра до тех пор, пока стрелка индикатора (миллиамперметра А) не установится на отметке "0".

3. Измеряют длины плеч потенциометра и результат заносят в таблицу 1.

ВНИМАНИЕ! При использовании кругового потенциометра длины плеч l_1 и l_2 необходимо представить в угловой мере, как: φ_1 и φ_2 . В этом случае формулы (1),(2) будут иметь вид:

$$R_x = R_{изв} (\varphi_1 / \varphi_2) = R_{изв}(\varphi_1 / (\varphi_{max} - \varphi_1)) \quad (3)$$

где $\varphi_{max}=330^\circ$, φ_1 отсчитывается от 0.

Измерения повторяют не менее 3 раз. При каждом последующем измерении (для снятия второго и следующих отсчетов) необходимо повернуть ручку переменного резистора (расположен в левом верхнем углу на передней панели лабораторной установки) на угол $\approx 10-20^\circ$, а затем выполнить балансировку моста.

4. В той же последовательности измеряют сопротивление резистора R_2 , а затем сопротивление последовательно и параллельно соединенных резисторов R_1 и R_2

5. Результаты всех измерений и вычислений заносят в таблицу I.

Таблица I

	$R_{изв}$ Ом	φ_1 град	φ_2 град	R_x Ом	\bar{R}_x Ом	ΔR_x Ом	$\Delta R_x / \bar{R}_x$
Резистор R_1							
Резистор R_2							
Последовательное соединение R_1 и R_2							
Параллельное соединение R_1 и R_2							

6. Погрешность измерений вычисляют по формуле:

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta R_{\text{изв}}}{R_{\text{изв}}} + \frac{\Delta \varphi_1}{\varphi_1} + \frac{\Delta \varphi_1}{\varphi_m - \varphi_1} + \frac{\Delta \varphi}{\varphi_m - \varphi_1} \quad (4)$$

В формуле (4): $\Delta R_{\text{изв}}/R_{\text{изв}}$ принять равным 5% , $\Delta \varphi = 2,5^0$ (половина наименьшего деления шкалы кругового потенциометра).

Формулу (4) можно упростить, полагая $\varphi_1 = \varphi_m/2$ (в этом случае точность измерений наибольшая) и $\Delta \varphi_1 = \Delta \varphi$. Сделайте это самостоятельно.

7. Результаты измерений сопротивлений при их последовательном и параллельном соединениях сравнивают с величинами, рассчитанными по известным формулам: $R_{\text{ПОСЛ}} = R_1 + R_2$ и $R_{\text{ПАРАЛ}} = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$.

Вывод записать письменно.

Контрольные вопросы

1. Выведите условие равновесия моста.
2. Изменится ли условие равновесия моста, если индикатор и источник тока поменять местами?
3. Почему в мосте Уитстона применяется индикатор с нулем в середине шкалы?
4. Какие факторы влияют на точность измерения сопротивлений мостом Уитстона?
5. Определите мощность, потребляемую мостом Уитстона, при условии равновесия.

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. –М, Высшая школа (все издания).
2. Скорохватов Курс лекций по электромагнетизму
М.:МИИГАиК.,2006г.

Внимание! Для успешной защиты этой работы необходимо дополнительно к её описанию проработать по учебнику Трофимовой Т.И. ”Курс физики” главу 12 «Постоянный электрический ток»; §§96 –101.

Лабораторная работа № 210

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ОМА ДЛЯ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: изучение закона Ома для участков цепи, содержащих и не содержащих ЭДС, а также для замкнутой цепи.

Приборы и принадлежности: установка для данной работы.

Краткая теория

Обобщённый закон Ома.

Рассмотрим участок электрической цепи, изображенный на рис.1.

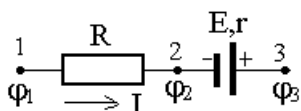


Рис.1

Подчеркнём, что нами выбран участок из некоторой произвольной электрической цепи. В ней могут быть другие ЭДС, не входящие в выделенный участок, под действием которых ток по данному участку может течь и навстречу данной ЭДС E .

Примечание. 1) На рис.1 вертикальными линиями показано изображение **источника тока**, имеющего характеристики: ЭДС E и внутреннее сопротивление r . Часто вместо слов источник тока говорят: ЭДС. 2) **Терминология:** участок цепи, содержащий ЭДС и сопротивление R называется **неоднородным**, а содержащий только сопротивление R – **однородным**.

Найдем взаимосвязь между величинами I , E , φ_1 , φ_2 , φ_3 для рассматриваемого участка. Обозначим общее сопротивление между точками 1-3 через R_0 : $R_0=R+r$, где R -сопротивление внешнего участка цепи, r -внутреннее сопротивление источника ЭДС.

Выразим потенциал точки 1 через потенциал точки 3.

При перемещении от точки 3 к точке 2 идем встречно ЭДС, поэтому потенциал точки 2 оказывается ниже (меньше), чем потенциал точки 3 на величину ЭДС E , т.е.

$$\varphi_2 = \varphi_3 - E.$$

Так как на участке без ЭДС ток течет от более высокого потенциала к более низкому, то потенциал точки 1 выше, чем потенциал точки 2, на величину напряжения в сопротивлении R_0 : $\varphi_1 = \varphi_2 + IR_0$.

Таким образом, имеем: $\varphi_1 = \varphi_3 - E + IR_0$ или $IR_0 = \varphi_1 - \varphi_3 + E$, откуда

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_3 + E}{R_0} \quad (1) \quad \text{Запомнить!}$$

Если ЭДС E направлена встречно току, текущему по данному участку, то в формуле (1) ее надо взять со знаком минус.

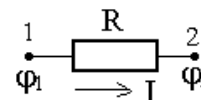
За направление ЭДС принято направление от «-» к «+» (внутри ЭДС).

Выражение (1) является наиболее общей формой закона Ома, из которой следуют известные **частные случаи**:

1. Если участок цепи не содержит ЭДС: $E=0$, $r=0$, тогда из формулы (1) имеем

$$IR = \varphi_1 - \varphi_2 = U_{12} \equiv U, \quad \text{откуда} \quad I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R}.$$

Это закон Ома для однородного участка цепи, т.е. участка цепи, содержащего только сопротивление R .



2. Замкнем точки 1 и 3, тогда $\varphi_1 = \varphi_3$ и формула (1) будет иметь вид:

$$IR_0 = I(R+r) = E \quad \text{или} \quad I = \frac{E}{R+r}.$$

Это закон Ома для замкнутой цепи с источником тока.

3. Если внешняя цепь разомкнута (т.е. $I=0$), то $\varphi_1 = \varphi_2$ и $\varphi_2 - \varphi_3 = E$.

Таким образом, разность потенциалов на концах разомкнутого источника тока равна ЭДС.

Говоря о напряжении, необходимо рассматривать два случая:

1. Напряжение на участке цепи равно разности потенциалов на концах этого участка лишь тогда, когда в нем нет источника тока, т.е.

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = IR$$

Иногда величину называют U_{12} падением напряжения (т.к. $\varphi_1 > \varphi_2$).

В общем случае, если участок цепи содержит ЭДС, то напряжение на этом участке выражается формулой:

$$U_{13} = \varphi_1 - \varphi_3 \pm E.$$

Полезно иметь в виду, что $U_{13} = -U_{31}$.

Дополнение. Разность потенциалов, Э.Д.С, напряжение – физический смысл.

Для участка цепи, изображенного на рис.1 очевидно, что при перемещении заряда между точками 1-3 работа совершается не только кулоновскими силами, но и сторонними силами, поэтому полная работа равна:

$$A_{\text{пол}} = A_{\text{кул}} + A_{\text{стор}}.$$

Разделим обе части равенства на величину перемещаемого положительного заряда q , получим:

$$\frac{A_{\text{пол}}}{q} = \frac{A_{\text{кул}}}{q} + \frac{A_{\text{стор}}}{q}$$

По определению разность потенциалов равна отношению работы, которую совершают кулоновские силы при перемещении заряда, к величине этого заряда:

$$\Delta\varphi_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{\text{кул}}}{q}$$

Электродвижущей силой (ЭДС) на данном участке называется физическая величина, равная отношению работы, совершаемой сторонними

силами при перемещении положительного заряда q , к величине этого заряда:

$$E = \frac{A_{\text{стоп}}}{q}.$$

Напряжением на участке цепи 1-3 называют физическую величину, равную отношению суммарной работы, совершаемой при перемещении положительного заряда q , к величине этого заряда:

$$U_{13} = \frac{A_{\text{пол}}}{q}.$$

Таким образом,

$$U_{13} = \varphi_1 - \varphi_3 + E.$$

Описание установки, измерения и обработка результатов измерений

Описание установки.

Вид передней панели показан на рис.2. На ней расположены: вольтметр, амперметр, сопротивления R_1 , R_2 ($R_2 > R_1$), реостат R_p , источник тока с ЭДС E и кнопка K .

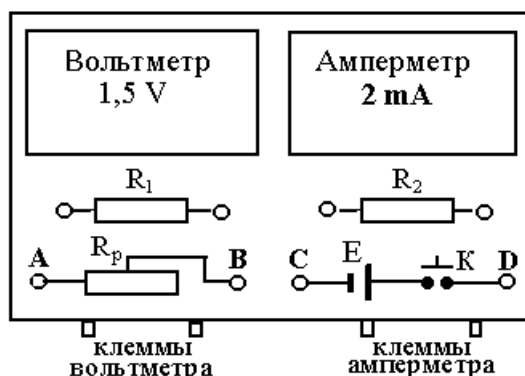


Рис.2

Величины внутренних сопротивлений амперметра и вольтметра указаны на передней панели.

Измерения и обработка результатов

Работу выполняют в следующем порядке:

Задание 1. Измерение электрических сопротивлений методом вольтметра-амперметра.

Измерение сопротивления можно выполнить двумя способами, используя схемы, показанные на рис.3 и рис.4.

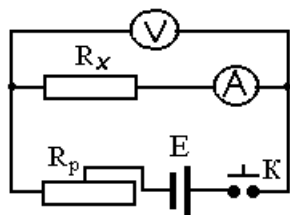


Рис.3. Схема 1

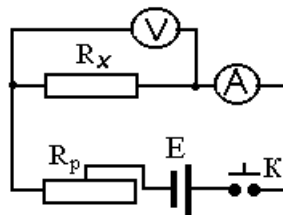


Рис.4. Схема 2

Введем расчетные формулы для неизвестного сопротивления R_x в каждом из указанных способов. Для схемы 1 на рис. 3 можно записать:

$$IR_x + IR_A = U_V, \quad \text{откуда} \quad R_x = \frac{U_V}{I} - R_A \quad (2)$$

В схеме 2 на рис.4 для постоянных токов справедливы следующие три уравнения с тремя неизвестными: R_x ; I_x ; I_V :

$$I_V R_V = U_V, \quad I_x R_x = U_V, \quad I_x + I_V = I, \quad (3)$$

из решения которых, получим:

$$R_x = \frac{U_V}{1 - \frac{U_V}{R_V}} \quad (4)$$

При выполнении задания 1 используйте обе схемы, приведенные на рис.3 и рис.4

Сначала с помощью проводов собирают на лабораторном стенде схему на рис.3. Найдите сопротивление каждого из двух предложенных резисторов R_1, R_2 методом вольтметра-амперметра двумя способами. Измерения R на каждой из схем проведите не менее 3 раз для разных значений силы тока. Силу тока в цепи изменяйте реостатом.

Результаты измерений токов и напряжений и вычислений текущих и средних значений R_1, R_2 для каждой схемы запишите в соответствующие таблицы для схем 1 и 2 (рис.3 и рис.4). Для удобства различения величин R_1 и R_2 в таблицах для схемы 1 и схемы 2 их целесообразно обозначить так: R_{1-1}, R_{1-2} и R_{2-1}, R_{2-2} (первый индекс- сопротивление, второй –схема).

!!!Таблицы составить самостоятельно ДОМА при подготовке к лабораторной работе ДО её выполнения.

Должно быть 2 таблицы для схемы 1; одна со столбцами: I_A, U_V, R_{1-1} и \bar{R}_{1-1} , другая – со столбцами I_A, U_V, R_{2-1} и \bar{R}_{2-1} . Ещё 2 аналогичные таблицы должны быть для схемы 2. Отдельно должны быть выписаны данные по R_A и R_V .

Оценка погрешности определения R с помощью схем 1 и 2.

Схема 1 и схема 2 отличаются различной систематической относительной погрешностью η определения величины сопротивления R . Для схемы 1 $\eta_1 = (R_A / R)100\%$. Для схемы 2 $\eta_2 = (R/R_V)100\%$. Найдите величины η_1 и η_2 для сопротивлений R_1 и R_2 . Заключение о точности измерения R_1 и R_2 сделать письменно.

Задание 2. Определение ЭДС E источника тока и его внутреннего сопротивления r .

Используя данные приборы и резисторы, сопротивление которых вы нашли, найдите ЭДС E источника тока и его внутреннее сопротивление r .

Для этого соберите схему, приведенную на рис. 5. В качестве R возьмите сначала один резистор R_1 , затем другой резистор R_2 . Последовательно с реостатом R_p включите резистор R_1 и измерьте ток I_1 , а

затем включите резистор R_2 и измерьте ток I_2 . Запишите полученные данные.

ВНИМАНИЕ. В обоих случаях сопротивление реостата ($R_p=1$ кОм) должно быть максимальным (для этого поверните его ручку до упора против часовой стрелки и не вращайте её больше).

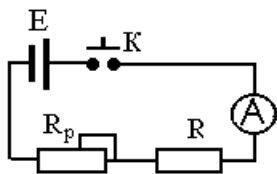


Рис.5

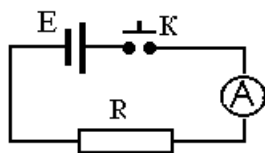


Рис.6

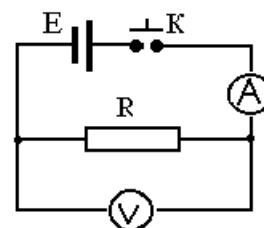


Рис.7

Для определения двух неизвестных E и r необходимо составить два уравнения ($E=IR+Ir$) для значений R_1, I_1 и R_2, I_2 . Численные значения R_1 и R_2 взять как полученные среднее арифметические значения в задании 1.

Решая совместно указанные уравнения, найдем:

$$E = [I_1 \cdot I_2 (R_2 - R_1)] / (I_1 - I_2) \quad \text{и} \quad r = (I_2 R_2 - I_1 R_1) / (I_1 - I_2)$$

Результаты расчета записать в журнал.

Задание 3. Выполняется по указанию преподавателя.

Соберите неразветвленную замкнутую цепь (Рис.6), состоящую из миллиамперметра, источника и резисторов (сначала R_1 , затем R_2). Данные источника (E, r) и сопротивлений R_1, R_2 уже найдены. Рассчитайте силу тока в этой цепи и сравните ее с показанием прибора. Результаты анализа записать в журнал.

Соберите неразветвленную замкнутую цепь (Рис.7). Данные источника (E, r), сопротивлений R_1, R_2 и величины сопротивлений амперметра и вольтметра вам известны. Сравните результаты измерений с расчетами для этого случая (используя R_1 и R_2). Результаты анализа записать в журнал.

Контрольные вопросы:

1. Каков физический смысл разности потенциалов, ЭДС, напряжения?
2. Запишите три вида закона Ома и приведите для каждого из них электрическую схему.
3. Влияет ли на точность определения величины сопротивления методом вольтметра-амперметра вид схемы, которая используется (см.рис.3 и рис.4)?
Зависит ли она от величины сопротивления?
4. Почему невозможно точное измерение ЭДС при подключении вольтметра к полюсам источника тока?
5. При подключении одинаковыми проводами к зажимам источника тока поочередно двух вольтметров первый показывает напряжение, несколько большее, чем второй. Почему? Ответ обосновать.

6. При измерении силы тока в цепи поочередно двумя амперметрами оказалось, что один из них показывает меньшую силу тока, чем другой. Почему?

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. –М., Высшая школа (все издания).
2. Скорохватов Н.А. Курс лекций по электромагнетизму.-М.,МИИГАиК, 2006.

Лабораторная работа № 211

Изучение амперметра и вольтметра. Многопредельные приборы.

Цель работы: Изучение амперметра и вольтметра.

Приборы и принадлежности: Установка для данной работы.

Краткая теория

В настоящее время различают два типа электроизмерительных приборов: аналоговые и цифровые. Ниже рассматриваются аналоговые электроизмерительные приборы для измерения постоянного тока и напряжения.

Приборы, показания которых зависят от силы тока, получили общее название гальванометров. В основе их принципа действия могут лежать различные действия тока: магнитное, тепловое и другие.

Наиболее распространенными являются гальванометры магнитоэлектрической системы, основанные на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита с рамкой (катушкой) с током, по которой протекает измеряемый ток. Более подробные данные об их конструкции можно найти во многих учебниках, например, школьном.

Гальванометр является высокочувствительным электроизмерительным прибором. С его помощью измеряют очень малые величины силы тока порядка миллиампера и менее. Так как катушка гальванометра имеет некоторое сопротивление, то протекающий по ней ток создает на нем небольшое напряжение. Его величину можно найти воспользовавшись законом Ома: $U = IR$.

Гальванометр является основой амперметра и вольтметра. Подключая к нему дополнительные сопротивления различными способами: параллельно или последовательно, получаем амперметр или вольтметр соответственно. Ниже рассматриваются способы расчета указанных сопротивлений.

Внимание! В настоящее время термин «гальванометр» в технике практически не употребляется. Исторически, его возникновение связано с именем Луиджи Гальвани (1737-1797). Как известно, электрический ток измеряется в амперах, миллиамперах и микроамперах. Около шкал указанных приборов (посередине) ставят следующие соответствующие символы: **A** , **mA** , **μA**. Обычно термин «гальванометр» отождествляется с термином микроамперметр.

Измерение токов. Амперметры включаются в цепь последовательно и для того, чтобы не изменять величину измеряемого тока, их изготавливают с возможно малым внутренним сопротивлением. Для

расширения пределов измерений к амперметру параллельно присоединяется проводник, называемый **шунтом**.

Расчет шунта. По закону Кирхгофа в разветвленной цепи сумма токов равна току до разветвления (Рис.1.):

$$I = I_a + I_{ш} \quad (1)$$

Если разность потенциалов между точками А и В равна U, то по закону Ома для однородного участка цепи:

$$U = I_a R_a = I_{ш} R_{ш} \quad (2)$$

где R_a – сопротивление амперметра, $R_{ш}$ – сопротивление

Подставляя $I_{ш}$ в формулу (2), найденное из выражения (1), получим: $I_a R_a = (I - I_a) R_{ш}$,

откуда

$$I = I_a \left(\frac{R_a}{R_{ш}} + 1 \right) \quad (3)$$

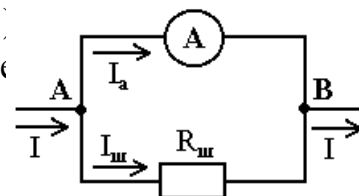


Рис.1.

Таким образом, по формуле (3) сила тока I может быть легко вычислена, если известны R_a , $R_{ш}$ и I_a – показание амперметра.

Из формулы (3) вытекает также условие для выбора шунта. Пусть вся шкала измерительного прибора рассчитана на ток I_a и нам необходимо присоединить шунт, чтобы пределы измерения увеличить в N раз, т.е. так, чтобы

$$I = I_a N \quad (4)$$

Сравнивая формулу (4) с выражением (3), получим

$$N = \frac{R_a}{R_{ш}} + 1 \quad (5)$$

откуда
$$R_{ш} = \frac{R_a}{N - 1} \quad (6)$$

При включении шунта, рассчитанного таким образом, цена деления прибора возрастает в N раз.

Измерение напряжений.

Вольтметр включается параллельно и поэтому изготавливается с максимально большим внутренним сопротивлением. Для увеличения пределов измерения вольтметра пользуются добавочным сопротивлением R_d , включенным последовательно (рис.2).

По закону Ома разность потенциалов между точками А и В

$$U = I (R_d + R_v).$$

Так как $I R_v = U_v$, где U_v – показание вольтметра, то

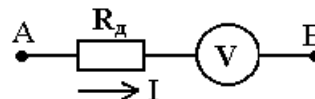


Рис.2.

$$U = U_v \left(\frac{R_d}{R_v} + 1 \right) \quad (7)$$

Таким образом, измеряемое напряжение U может быть вычислено, если известны R_d , R_v и U_v . Из формулы (7) вытекает также условие для выбора добавочного сопротивления. Пусть вся шкала прибора рассчитана на напряжение U_v и нам необходимо присоединить

добавочное сопротивление, чтобы пределы измерения увеличились в N раз:

$$U = U_V \cdot N \quad (8)$$

Сравнивая выражение (7) с формулой (8), найдем

$$N = \frac{R_d}{R_v} + 1 \quad (9)$$

откуда $R_d = R_v (N - 1)$.

При подключении добавочного сопротивления, рассчитанного таким образом, цена деления возрастает в N раз.

Примечание. Приведённый вывод R_d справедлив так же в случае, если вместо вольтметра используется гальванометр (микроамперметр) с сопротивлением R_G . В этом случае, очевидно, максимальное напряжение на нем будет равно $I \cdot R_G$.

В заключение отметим, что на практике большинство электроизмерительных приборов многопредельные, т. е. путем набора 2-5 шунтов или добавочных сопротивлений один и тот же гальванометр может быть использован для изменения токов и напряжений в широком диапазоне их изменения.

Описание установки

Установка выполнена в отдельном корпусе. Вид передней панели установки показан на рис.3. Функционально установка состоит из двух частей, схемы которых приведены на рис.3а и 3б. Первая часть представляет собой микроамперметр с двумя шунтами ($R_{ш1}$ и $R_{ш2}$), подключаемые с помощью переключателя Π_1 и двух добавочных сопротивлений ($R_{д1}$ и $R_{д2}$). Вторая часть состоит из блока питания и трех сопротивлений нагрузки $R_{н1}$, $R_{н2}$, $R_{н3}$. Она предназначена для испытания сформированных амперметра и вольтметра.

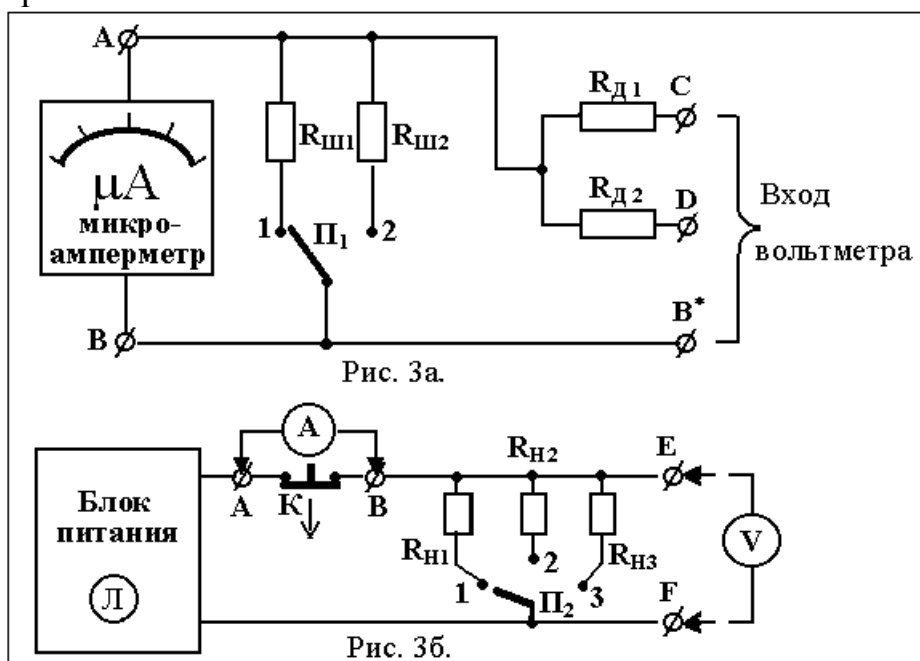


Рис.3. Вид передней панели установки

На установке указаны величины сопротивлений: R_A , $R_{ш1}$, $R_{ш2}$, $R_{д1}$, $R_{д2}$, $R_{н1}$, $R_{н2}$, $R_{н3}$ и напряжение U на выходе блока питания.

Установка питается от сети 220 В. При включении её в сеть в блоке питания загорается индикаторная лампа Л.

Порядок выполнения работы.

Шунтирование гальванометра (микроамперметра).

Расчётная часть работы

1. Определяют цену деления прибора по току $k_i = I_a / N_0$, где I_a – максимальное значение тока через микроамперметр, N_0 – число делений всей шкалы.

2. Для каждого из шунтов $R_{ш1}$ и $R_{ш2}$ рассчитывают по формуле (5) величины N_1 и N_2 увеличения цены деления прибора, а затем по формуле (4) – максимальные значения токов I_{a1} и I_{a2} , которые могут быть измерены при наличии шунтов. Обозначим амперметр с шунтом $R_{ш1}$ как A_1 , а с шунтом $R_{ш2}$ – A_2 .

3. Рассчитывают по закону Ома для каждого сопротивления нагрузки соответствующую силу тока: I_1, I_2, I_3 (см. рис. 3б.).

Данные всех расчётов занесите в самостоятельно составленную таблицу.

Экспериментальная часть работы

Цель – измерить токи в схеме на рис.3б для каждого из сопротивлений нагрузки, выбрав соответствующий сформированный амперметр A_1 или A_2 , и сравнить их с расчётными.

1. Соединяют проводами клеммы **А** и **В** (в схеме на рис.3а) с соответствующими клеммами **А** и **В** (в схеме на рис.3б).

2. Сравнивают данные расчётов I_{a1} , I_{a2} с токами I_1, I_2, I_3 .

3. Устанавливают переключатель Π_2 в положение 1; затем, исходя из ожидаемой величины тока I_1 , устанавливают переключатель Π_1 амперметра в положение 1 или 2.

4. Включают установку в сеть 220 В.

Правило. Переключатель многопредельного прибора первоначально устанавливают на максимальное значение предела измерения (чтобы прибор не вышел из строя; не сгорел), а затем в процессе измерения подбирают такое положение переключателя, чтобы отклонение стрелки прибора было, по возможности, во второй половине шкалы.

5. Для измерения тока I_1 необходимо нажать кнопку К и держать её на время снятия отсчета. Запишите полученное значение тока.

6. Определяют токи I_2 и I_3 , проделав необходимые действия, указанные выше в п.4 и п.5.

7. Все экспериментальные данные занесите в самостоятельно составленную таблицу.

8. Выключите установку из сети 220 В.

9. Оцените абсолютную и относительную погрешность измерения тока амперметрами A_1 и A_2 . Соответствующие формулы приведены в лаб. работе № 201а.

Увеличение пределов измерения вольтметра.

Расчётная часть работы

1. Микроамперметром можно измерить максимальное напряжение $U_M = I_{a(max)} \cdot R_a$, где R_a – внутреннее сопротивление микроамперметра. Определяют цену деления по напряжению k_v такого вольтметра: $k_v = U_M / N_0$, где N_0 – число делений всей шкалы.

2. Для каждого из добавочных сопротивлений $R_{д1}$ и $R_{д2}$ рассчитывают по формуле (9) величины N_1 и N_2 увеличения цены деления прибора, а затем по формуле (8) – максимальные значения напряжений U_1 и U_2 , которые могут быть измерены при наличии добавочных сопротивлений. Обозначим вольтметр с $R_{д1}$ как V_1 , а с $R_{д2}$ – V_2 .

3. Рассчитывают по закону Ома для каждого сопротивления нагрузки соответствующее напряжение $U_{н1}$, $U_{н2}$, $U_{н3}$ (зная силу тока: I_1 , I_2 , I_3 из п.3 предыдущих расчетов).

Данные всех расчётов занесите в самостоятельно составленную таблицу.

Экспериментальная часть работы

Цель- измерить напряжения в схеме на рис.3б для каждого из сопротивлений нагрузки, выбрав соответствующий сформированный вольтметр V_1 или V_2 , и сравнить их с расчётными.

1. Сравнивают данные расчётов $U_{н1}$, $U_{н2}$, $U_{н3}$ с напряжениями U_1 и U_2 , которые можно измерить вольтметрами V_1 и V_2 .

2. Соединяют проводами выход вольтметра в схеме на рис.3а с клеммами **Е** и **Г** в схеме на рис.3б. Целесообразно соединить клемму **В*** с клеммой **Г**, а клемму **Е** – клеммой **С** или **Д**, оценив предварительно какой вольтметр (V_1 или V_2) рассчитан на большее напряжение.

Ещё раз прочтите, приведенное выше Правило.

3. Включают установку в сеть 220 В.

4. Устанавливают переключатель Π_2 в положение 1; затем, исходя из ожидаемой величины напряжения $U_{н1}$, соедините проводом клемму **Е** с клеммой **С** или **Д**. Запишите полученное значение $U_{н1}$.

5. Определяют напряжения $U_{н2}$ и $U_{н3}$, проделав необходимые действия, указанные выше в п.4.

6. Все экспериментальные данные занесите в самостоятельно составленную таблицу.

7. Выключите установку из сети 220 В.

8. Оцените абсолютную и относительную погрешность измерения напряжения вольтметрами V_1 и V_2 . Соответствующие формулы приведены в лаб. работе № 201а.

Контрольные вопросы

1. Можно ли гальванометром (микроамперметром) измерить напряжение? Если да, то какое?
2. Запишите три вида закона Ома и приведите для каждого из них электрическую схему.
3. Шкала микроамперметра имеет 300 делений, $R_a=660$ Ом. Рассчитайте шунт для измерения тока в 0,3а.
4. Из амперметра на 1А с внутренним сопротивлением 500 Ом нужно сделать прибор на 50А. Какой величины необходим шунт?
5. Какое добавочное сопротивление нужно присоединить к амперметру на 500mA, ($R_a=120$ Ом)? Чтобы им можно было измерять напряжение в 100 В?

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. –М., Высшая школа (все издания).
2. Скорохватов Н.А. Курс лекций по электромагнетизму.-М.,МИИГАиК, 2006.