

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА
ПРАВИЛ КИРХГОФА**

**Методические указания к лабораторной работе № 34
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2015

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Кафедра физики

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА
ПРАВИЛ КИРХГОФА**

Методические указания к лабораторной работе № 34
по дисциплине «Физика»

Уфа 2015

Составитель Е.В. Трофимова

УДК
ББК

Экспериментальная проверка правил Кирхгофа: Методические указания к лабораторной работе № 34 по дисциплине «Физика» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. Е. В. Трофимова – Уфа, 2015. – 17 с.

Цель методических указаний – закрепление и совершенствование знаний студентов по дисциплине «Физика» и формирование умений их применять для решения научно-технических задач в теоретических и прикладных аспектах, возникающих в последующей профессиональной деятельности выпускников технического университета.

Изучаются законы постоянного тока, правила расчета разветвленных цепей, их применение.

Приведены краткая теория, описание лабораторной установки, методика выполнения работы, форма отчетности.

Предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Физика» по разделу «Электричество и магнетизм» на всех направлениях подготовки бакалавров и специалистов.

Табл. 2. Ил. 7. Библиогр.: 4 назв.

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, доц. Лазарев В. В.,
канд. физ.-мат. наук, доц. Шатохин С. А.

© Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2015

Содержание

Введение	4
1. Цель работы.....	5
2. Задачи.....	5
3. Теоретическая часть.....	5
3.1. Электрический ток	5
3.2. Условия существования электрического тока.....	8
3.3. Общая формулировка правил Кирхгофа.....	10
3.4. Примеры расчета простейших цепей	10
4. Экспериментальная часть.....	12
4.1. Приборы и принадлежности	12
4.2. Описание лабораторной установки	13
5. Требования по технике безопасности	14
6. Задания.....	15
7. Методика выполнения заданий.....	15
Контрольные вопросы	16
Требования к содержанию и оформлению отчета	17
Критерии результативности выполнения лабораторной работы	17
Список литературы	17

Введение

На практике часто приходится иметь дело со сложными разветвленными цепями. Для их расчета применяют правила Кирхгофа. В электротехнике разветвленные цепи рассчитывают иным способом, но при изучении физических основ электродинамики предпочтительнее именно эти правила, т.к. они имеют прозрачный физический смысл. В предлагаемой лабораторной работе эти правила выведены из физических законов: закона сохранения электрического заряда и закона Ома. Студенты должны экспериментально проверить выполнение этих правил на примере уравновешенного моста и компенсации электродвижущей силы.

В результате выполнения данной лабораторной работы формируются следующие компетенции:

- способность демонстрировать базовые знания в области общенаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности;

- способность проводить эксперименты по заданной методике, обработку результатов, оценку погрешности и достоверности результатов опыта.

Перечисленные компетенции формируются через умения:

- работать с измерительными приборами;
- рассчитывать физические величины по экспериментальным данным;

- анализировать результаты опыта;

- оформлять отчет;

а также владения:

- теоретическим материалом;

- навыками измерения физических величин по приборам;

- технологией обработки экспериментальных данных.

Лабораторная работа № 34

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ПРАВИЛ КИРХГОФА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение законов постоянного тока, правил Кирхгофа и их экспериментальная проверка.

2. ЗАДАЧИ

1. Изучить законы постоянного тока.
2. Проверить выполнение правил Кирхгофа на примере моста Уитстона и компенсационного метода измерения ЭДС.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1. Электрический ток

Электрический ток представляет собой упорядоченное движение электрических зарядов. Эти заряды называют носителями тока. Для количественной характеристики электрического тока служат две основные величины: плотность тока и сила тока.

Плотность тока численно равна количеству электричества, прошедшего за единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную направлению движения носителей тока,

$$j = \frac{dq}{dS_{\perp} dt}. \quad (3.1)$$

Плотность тока – величина векторная. Направление вектора плотности тока \vec{j} совпадает с направлением движения положительно заряженных носителей тока в данной точке проводника.

Сила тока в проводнике равна величине заряда, проходящего за единицу времени через сечение проводника

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (3.2)$$

или, с учетом (3.1)

$$I = \int_S j \cdot dS_{\perp}. \quad (3.3)$$

Произведение $j \cdot dS_{\perp}$ можно записать как $j_n \cdot dS$, где j_n – проекция вектора \vec{j} на нормаль к поверхности dS , или как скалярное

произведение $\vec{j} \cdot d\vec{S}$, где вектор $d\vec{S} = dS \cdot \vec{n}$, \vec{n} – вектор нормали к поверхности dS .

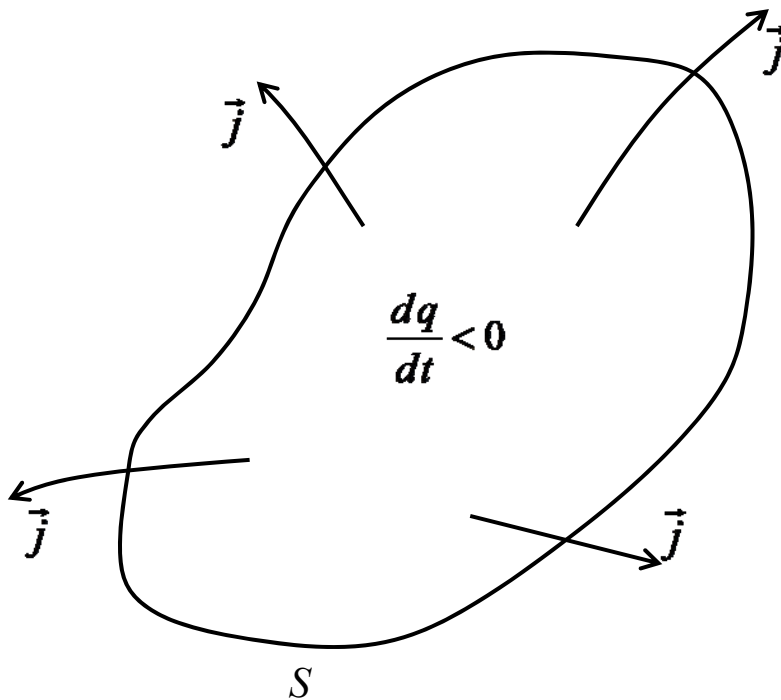


Рис. 3.1.

Воображаемая замкнутая поверхность в среде, где течет электрический ток

Рассмотрим в некоторой среде, в которой течет ток, воображаемую замкнутую поверхность S (рис. 3.1). Выражение $\oint_S \vec{j} d\vec{S}$ представляет собой заряд, выходящий за единицу времени из объема V , ограниченного поверхностью S . В силу закона сохранения заряда эта величина должна быть равна скорости убывания заряда из этого объема

$$\oint_S \vec{j} d\vec{S} = -\frac{dq}{dt}. \quad (3.4)$$

В случае постоянного (стационарного) тока потенциал, плотность заряда и другие величины во всех точках не меняются со временем. Следовательно, для постоянного тока

$$\oint_S \vec{j} d\vec{S} = 0. \quad (3.5)$$

Соотношение (3.4) представляет собой уравнение непрерывности электрического заряда, выражающее закон

сохранения электрического заряда. Соотношение (3.5) является частным случаем (3.4) для стационарных токов.

Если проводник имеет разветвления, то в качестве замкнутой поверхности S можно выбрать поверхность, охватывающую область разветвления (рис. 3.2).

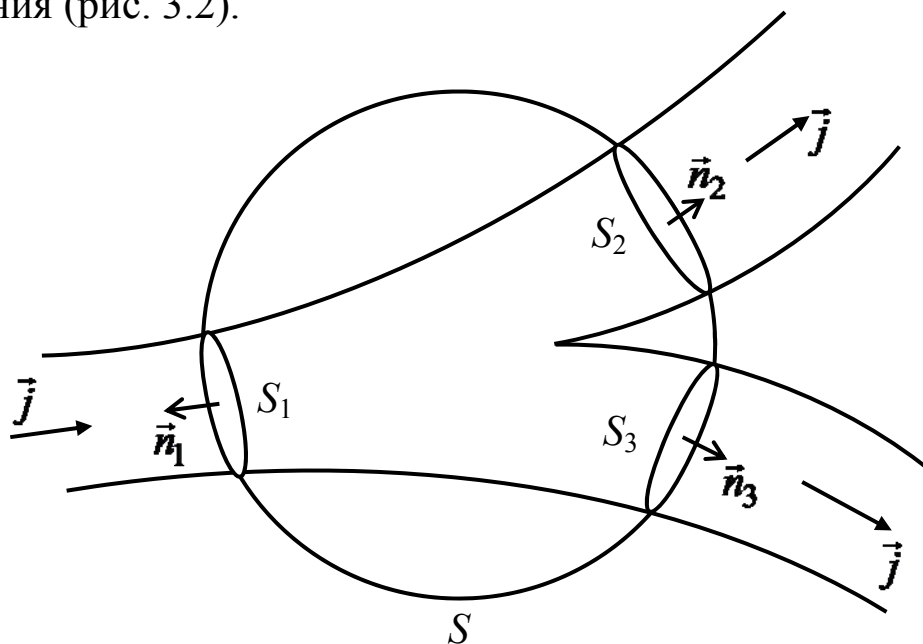


Рис. 3.2.

Воображаемая замкнутая поверхность,
охватывающая область разветвления проводников

В случае стационарного тока имеет место соотношение (3.5). Поскольку ток течет только через сечения проводников S_1 , S_2 и S_3 , то это выражение можно расписать следующим образом

$$\int_{S_1} \vec{j} d\vec{S} + \int_{S_2} \vec{j} d\vec{S} + \int_{S_3} \vec{j} d\vec{S} = 0. \quad (3.6)$$

Так как через площадь S_1 ток течет против нормали к выбранной поверхности, то $\int_{S_1} \vec{j} d\vec{S} = -I_1$, где I_1 – сила тока через сечение

проводника S_1 , через площади S_2 и S_3 ток течет в направлении нормали, и $\int_{S_2} \vec{j} d\vec{S} = I_2$, $\int_{S_3} \vec{j} d\vec{S} = I_3$.

Следовательно, выражение (3.6) превращается в следующее

$$-I_1 + I_2 + I_3 = 0. \quad (3.7)$$

Выражение типа (3.7) называют I правилом Кирхгофа, которое в общем виде будет сформулировано ниже, и выражает закон сохранения электрического заряда.

3.2. Условия существования электрического тока

Для возбуждения электрического тока необходимо существование в проводнике электрического поля. Если бы в электрической цепи действовали только электростатические силы, то протекание тока приводило бы к уменьшению напряженности электрического поля и, соответственно, разности потенциалов на концах проводника, т.к. положительные заряды движутся в направлении поля (в сторону меньшего потенциала), а отрицательные – против поля (в сторону большего потенциала). В связи с этим для поддержания постоянного тока в электрической цепи должны присутствовать устройства, под действием которых положительные носители тока движутся в сторону возрастания потенциала, т.е. против сил электростатического поля. Силы, действующие в таких устройствах, не электростатического происхождения называют *сторонними*.

Физическая величина, равная работе сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда, называется электродвижущей силой (ЭДС) источника

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{ст}}}{q}, \quad (3.8)$$

где $A_{\text{ст}}$ – работа сторонних сил, q – величина перемещаемого заряда.

Работа электростатических сил по перемещению единичного положительного заряда из точки 1 в точку 2 выражается через разность потенциалов между этими точками

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{A_{\text{эл}}}{q}, \quad (3.9)$$

где $A_{\text{эл}}$ – работа электростатических сил.

Физическая величина, равная суммарной работе электростатических и сторонних сил по переносу единичного положительного заряда, называется напряжением на участке цепи между точками 1 и 2

$$U_{12} = \frac{A_{\text{эл}} + A_{\text{ст}}}{q} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon_{12}. \quad (3.10)$$

Опыт показывает, что для многих веществ в широких пределах имеет место прямая пропорциональная зависимость между силой тока и напряжением на участке цепи

$$U_{12} = I \cdot R_{12}, \quad (3.11)$$

где величина R_{12} называется сопротивлением участка цепи.

Равенство (3.11) выражает закон Ома. Закон Ома не является фундаментальным, а выражает свойство веществ, в частности, металлов. На практике в электрических цепях используются именно такие вещества, для которых справедлив закон Ома.

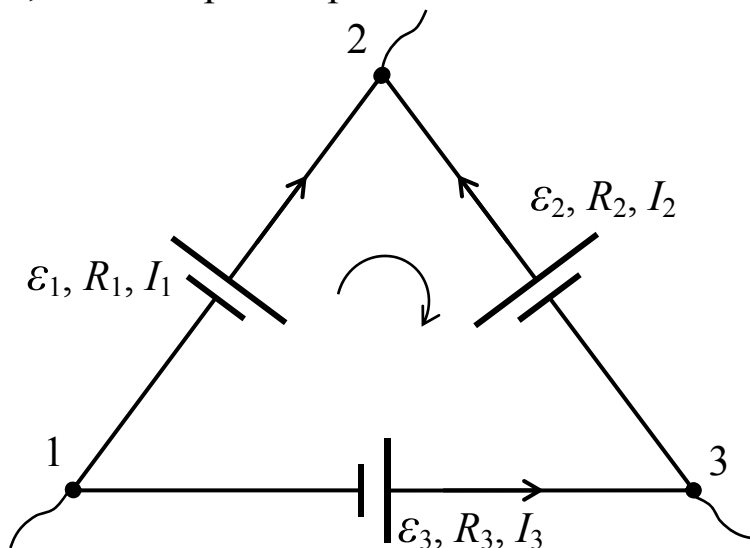


Рис. 3.3.

Замкнутый контур в цепи постоянного тока

Выделим в цепи произвольный замкнутый контур, состоящий из проводников (рис. 3.3), и запишем закон Ома для каждого участка этого контура:

$$I_1 \cdot R_1 = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_1, \quad (3.12.1)$$

$$-I_2 \cdot R_2 = \varphi_2 - \varphi_3 - \varepsilon_2, \quad (3.12.2)$$

$$-I_3 \cdot R_3 = \varphi_3 - \varphi_1 - \varepsilon_3. \quad (3.12.3)$$

На рис. 3.3 кривой линией со стрелкой показано направление обхода контура. Если выбранное направление тока на участке цепи совпадает с направлением обхода контура, то напряжение на участке берется со знаком «+» (3.12.1), в противном случае – со знаком «-» (3.12.2) и (3.12.3). Если в направлении обхода контура при прохождении источника потенциал повышается, то ЭДС берется со знаком «+» (3.12.1), в противном случае – со знаком «-» (3.12.2), (3.12.3).

Сложим уравнения для всех участков замкнутого контура (3.12.1), (3.12.2) и (3.12.3)

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 - I_3 R_3 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3. \quad (3.13)$$

Выражение типа (3.13) называют II правилом Кирхгофа, которое следует из закона Ома.

3.3. Общая формулировка правил Кирхгофа

Правила Кирхгофа позволяют рассчитывать сложные разветвленные цепи. Схема расчета состоит в следующем.

1. В сложной цепи выделяют узлы и замкнутые контуры. Узлом называют точки цепи, в которых сходится более двух токов. Замкнутый контур – это часть цепи, при переходе от одного элемента которой к следующему можно прийти в исходную точку.

2. Произвольно выбирают направление тока через каждый участок цепи, не имеющий разветвлений.

3. Записывают I уравнение Кирхгофа, согласно которому *алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле, равна нулю*

$$\sum_{i=1}^N I_i = 0, \quad (3.14)$$

где N – число проводников, сходящихся в узле. Токи, входящие в узел, и выходящие из него, берутся с противоположными знаками.

4. Произвольно выбирают направление обхода замкнутых контуров.

5. Записывают II уравнение Кирхгофа, согласно которому *в произвольном замкнутом контуре алгебраическая сумма произведений сил токов на сопротивления участков контура равна алгебраической сумме действующих в нем ЭДС*

$$\sum_{k=1}^L I_k R_k = \sum_{k=1}^L \varepsilon_k, \quad (3.15)$$

где L – число неразветвленных участков контура.

Токи считаются положительными, если они текут в направлении обхода контура, ЭДС берется со знаком «+», если в направлении обхода потенциал повышается (обход производится от отрицательного к положительному полюсу источника). В противоположных случаях берутся отрицательные знаки.

3.4. Примеры расчета простейших цепей

С помощью уравнений Кирхгофа легко рассчитываются схема уравновешенного моста, применяемая для измерения неизвестных сопротивлений и схема компенсационного метода измерения ЭДС источника тока. В данной работе предлагается экспериментальная проверка правильности этих расчетов.

3.4.1. Измерение ЭДС методом Уравновешенного моста

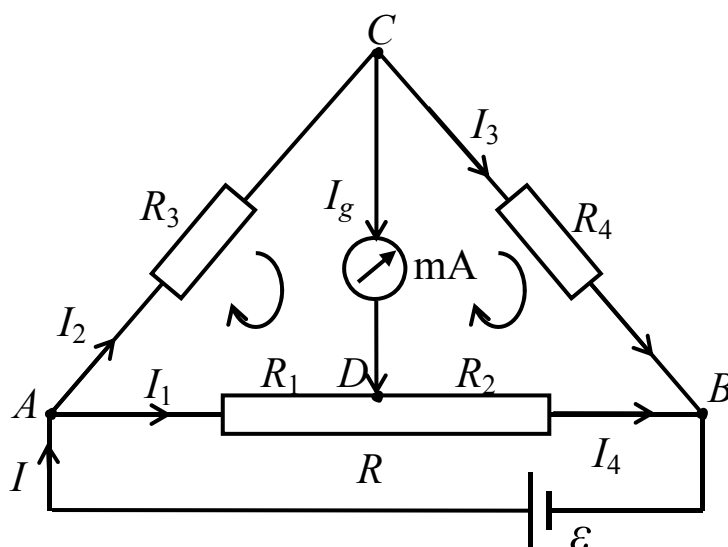


Рис. 3.4

Схема моста Уитстона представлена на рис. 3.4. Цепь состоит из источника ЭДС, сопротивлений R_3 , R_4 , R и миллиамперметра (гальванометра). Сопротивление R с помощью подвижного контакта D можно делить на две части R_1 и R_2 . Миллиамперметр включен между точками C и D . Ток I идет от источника ε к точке A , где он разветвляется на I_1 и I_2 . Ток I_2 в точке C разветвляется на ток I_3 , текущий через сопротивление R_4 , и I_g , текущий через миллиамперметр. Ток I_1 в точке D разветвляется на I_4 и I_g .

Мост называют уравновешенным, когда сила тока через прибор (на участке CD) равна нулю $I_g = 0$.

Рассмотрим узлы C и D и запишем для них I правило Кирхгофа:

$$-I_2 + 0 + I_3 = 0 \Rightarrow I_2 = I_3, \quad (3.16.1)$$

$$-I_1 + 0 + I_4 = 0 \Rightarrow I_1 = I_4. \quad (3.16.2)$$

Выберем замкнутые контуры $ACDA$ и $CBDC$. Обойдя их по часовой стрелке, получим согласно II правилу Кирхгофа:

$$I_2 R_3 - I_1 R_1 = 0 \Rightarrow I_2 R_3 = I_1 R_1, \quad (3.17.1)$$

$$I_3 R_4 - I_4 R_2 = 0 \Rightarrow I_3 R_4 = I_4 R_2. \quad (3.17.2)$$

Из (3.16) и (3.17) для уравновешенного моста получаем

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}. \quad (3.18)$$

В этом случае прибор должен показывать нулевой ток.

3.4.2. Компенсационный метод измерения ЭДС

Особенность компенсационного метода измерения ЭДС (рис. 3.5) состоит в том, что измерение ЭДС происходит при нулевом токе через миллиамперметр в нижней части схемы.

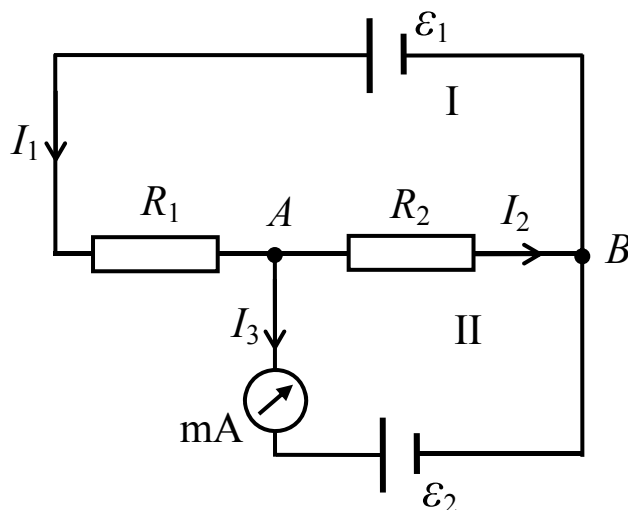


Рис. 3.5.

Схема измерения ЭДС компенсационным методом

Схема (рис. 3.5) состоит из двух замкнутых контуров I и II. Согласно I правилу Кирхгофа для узла A (или B)

$$I_1 = I_2, \text{ т.к. } I_3 = 0. \quad (3.19)$$

По II правилу Кирхгофа для контура II

$$I_2 R_2 + 0 = \varepsilon_2. \quad (3.20)$$

Отсюда следует, что при отсутствии тока через миллиамперметр величина ЭДС ε_2 компенсируется напряжением на сопротивлении R_2 .

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

4.1. Приборы и принадлежности

Для проверки правил Кирхгофа используется следующее оборудование:

1. Источник питания, дающий постоянную ЭДС $\varepsilon = 5 \text{ В}$ и регулируемую от 0 до 15 В.
2. Миллиамперметр.
3. Комбинированный прибор В7-40/5.
4. Реохорд и набор сопротивлений.

4.2. Описание лабораторной установки

А) Мост Уитстона (рис. 3.4) предлагается собрать следующим образом: в качестве сопротивления R использовать реохорд; R_4 – постоянный резистор 100 Ом; R_3 – декадный резистор $0 \div 100$ Ом. ЭДС берется от регулируемой части источника питания (справа).

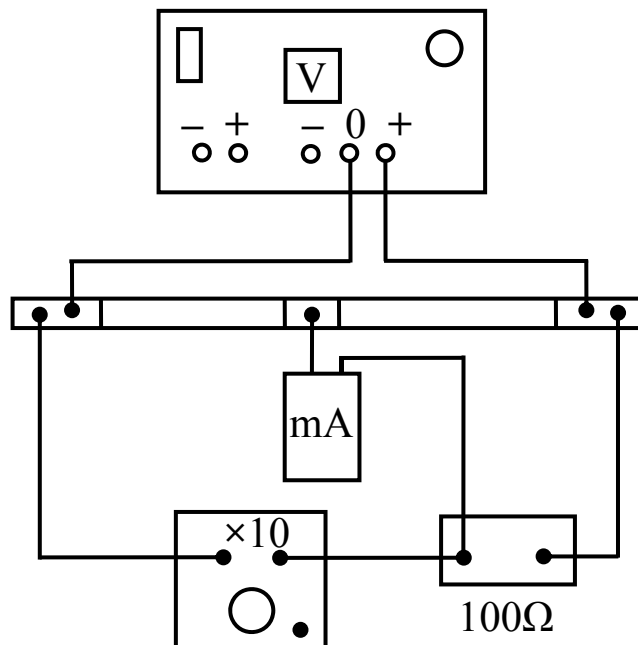


Рис. 4.1.

Блок-схема установки
для измерений методом моста Уитстона

Сопротивление проводника в виде провода с постоянным сечением пропорционально его длине, таким образом, отношение сопротивлений R_1/R_2 равно отношению длин провода реохорда l_1/l_2 ; l_1 измеряется по шкале, l_2 рассчитывается: $l_2 = 1000 - l_1$ (мм).

Б) Источник питания не является идеальным, и при подключении внешней цепи часть напряжения падает внутри источника. В левой части источника напряжение 5 В соответствует разомкнутой цепи. При подключении внешней цепи это напряжение становится иным и не измеряется. Эту ЭДС предлагается использовать в компенсационной схеме (рис. 3.5) в качестве элемента \mathcal{E}_1 . Для уменьшения падения напряжения внутри источника ЭДС сопротивление внешней цепи желательно выбрать по возможности больше. Поэтому в качестве сопротивлений R_1 и R_2 контура I (рис. 3.5) предлагается выбрать постоянный резистор 1 кОм и декадный от 0 до 1 кОм. Схема измерений составляется следующим образом.

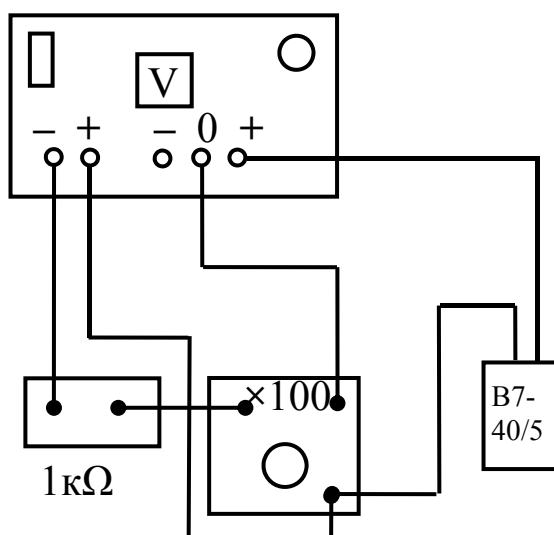


Рис. 4.2.

Блок-схема установки
для измерений ЭДС компенсационным методом

Если сравнить цепь рис. 4.2 и рис. 3.5, то сопротивление R_1 состоит из 1 кОм плюс показание декадного переключателя, умноженное на 100 Ом; а сопротивление R_2 получится, если из 1000 Ом вычесть показание декадного переключателя, умноженное на 100 Ом. Суммарное сопротивление цепи контура I « $R_1 + R_2$ » сохраняется постоянным, равным 2 кОм.

5. ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Для электропитания лабораторной установки используется сетевое напряжение 220 В. Все токоведущие части установки, кроме реохорда, закрыты, что исключает их случайное касание.

При выполнении работы необходимо:

1. Внимательно ознакомиться с заданием и оборудованием.
2. Визуально проверить целостность изоляции токоведущих проводов.
3. Не оставлять без присмотра включенную лабораторную установку.
4. Не загромождать рабочее место посторонними предметами и оборудованием, не относящимися к выполняемой работе.
5. О замеченных неисправностях сообщить преподавателю.
6. По окончании работы отключить установку от сети, привести в порядок рабочее место.

6. ЗАДАНИЯ

1. Проверить выполнение правил Кирхгофа на примере моста Уитстона.
2. Проверить правомерность компенсационного метода измерения ЭДС.

7. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ

Задание 1. Проверка моста Уитстона

1. Перед началом работы тумблер «сеть» источника питания должен быть отключен. Ручка регулировки напряжения в правой части источника должна быть выведена в крайнее левое положение.
2. Проверить правильность соединений согласно рис. 4.1 и 4.2. Переключатель на декадном резисторе ($\times 10$) поставить в положение 10. Токосъемный контакт D установить приблизительно посередине реохорда.
3. После проверки схемы преподавателем включить источник питания. Поворотом ручки регулировки напряжения установить значение 1 В.
4. Если миллиамперметр показывает ток, отличный от нуля, то перемещением контакта D добиться нулевого тока.
5. В табл. 1 занести значения $R_4 = 100$ Ом, $R_3 = 100$ Ом, l_1 (мм) – положение контакта D , $l_2 = 1000 - l_1$ (мм), а также отношения $R_1/R_2 = l_1/l_2$ и R_3/R_4 .
6. Перевести переключатель декадного резистора в положение 9. Тогда $R_3 = 90$ Ом. Повторить пп. 4-5.
7. Выполнить аналогичные измерения при $R_3 = 80, 70, 60, 50, 40, 30$ Ом.
8. Оценить погрешность определения отношений R_1/R_2 и R_3/R_4 , используя указанные на резисторах их относительные погрешности.
9. Проанализировать результаты, сведенные в табл. 1, и сделать по ним вывод.

Таблица 1

R_4	R_3	l_1	l_2	R_1/R_2	R_3/R_4
100	100				
	90				
	...				

Задание 2. Проверка компенсационного метода измерения ЭДС

1. Собрать измерительную схему согласно рис. 4.2. На декадном переключателе ($\times 100$) установить значение 9. При этом сопротивление $R_2 = 1000 - 900 = 100$ Ом (см. раздел 4Б). Ручка регулировки напряжения выведена в крайнее левое положение.

2. После проверки схемы преподавателем включить источник питания. Поворотом ручки регулировки напряжения добиться нулевого показания прибора В7-40/5. Если не удастся получить точный ноль, замечайте изменение знака с « \leftarrow » на « \rightarrow ».

3. В табл. 2 занести значения сопротивления R_2 и полученные значения ЭДС \mathcal{E}_2 , измеренные по вольтметру источника питания.

4. Вернуться к п. 1, установить на декадном переключателе значение 8. Рассчитать сопротивление R_2 и занести его в табл. 2. Повторить процедуру по п. 2 с новым значением сопротивления R_2 .

5. Повторить п. 4 при положениях переключателя 7, 6, 5. Все данные занести в табл. 2.

6. Построить график зависимости $\mathcal{E}_2(R_2)$ по результатам, сведенным в табл. 2.

7. Сделать вывод по полученной зависимости.

8. Сделать вывод по всей работе.

Таблица 2

R_2			...
\mathcal{E}_2			...

Контрольные вопросы

1. Дайте определение электрического тока и его основных характеристик. Как они связаны между собой?

2. Запишите уравнение непрерывности в общем виде и для стационарного тока. Какой закон сохранения выражает это уравнение?

3. Дайте определения ЭДС и напряжения на концах участка цепи.

4. Запишите закон Ома для участка цепи. Является ли этот закон фундаментальным?

5. Сформулируйте I правило Кирхгофа. Какой физический закон отражает это правило?

6. Сформулируйте II правило Кирхгофа. Какой физический закон отражает это правило?

7. Начертите схему моста Уитстона и объясните метод измерения.
8. Начертите схему компенсационного метода измерения ЭДС и объясните метод измерения.

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Номер, название и цель работы.
2. Краткое изложение основных теоретических положений.
3. Результаты исследований в виде таблиц и графиков.
4. Выводы по результатам работы.

Критерии результативности выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа считается выполненной, если студент:

- овладел теоретическими знаниями о переносе электрического заряда;
- правильно выполнил экспериментальную и расчетную части работы;
- составил отчет, соответствующий требованиям;
- сформулировал выводы о проделанной работе;
- грамотно ответил на все контрольные вопросы.

Список литературы

1. *Детлаф А. А., Яворский Б. М.* Курс физики. – М.: Академия, 2014.
2. *Савельев И. В.* Курс общей физики. В 4 кн. – М.: КноРус, 2012, кн. 2.
3. *Сивухин Д. В.* Общий курс физики: В 6 т. – М.: Наука, 2006, т. 3.
4. *Трофимова Т. И.* Курс физики. – М.: Академия, 2012.

Составитель ТРОФИМОВА Евгения Владимировна

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА
ПРАВИЛ КИРХГОФА

Методические указания к лабораторной работе № 34
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2015. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Печать плоская. Гарнитура Times New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отг. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 100 экз. Заказ №

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный
технический университет

Редакционно-издательский комплекс УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12