

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

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

**Методические указания к лабораторной работе № 32
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

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Методические указания к лабораторной работе № 32

по дисциплине «Физика»

Уфа 2015

Составитель Е. В. Трофимова

УДК
ББК

Изучение законов постоянного тока: Методические указания к лабораторной работе № 32 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.

Знакомят студентов с законами постоянного тока и методами измерения сопротивления проводников. Студентам предлагается измерить сопротивление проводника различными методами и сравнить результаты.

Приведены краткая теория, методика измерений, описание лабораторной установки, порядок выполнения работы по определению неизвестного сопротивления, форма отчетности.

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

Табл. 1. Ил. 5. Библиогр.: 2 назв.

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

© 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. Электродвижущая сила. Напряжение	6
3.3. Законы постоянного тока	7
3.4. Методы измерения сопротивления проводников	9
4. Экспериментальная часть.....	12
5. Требования по технике безопасности	14
6. Задания.....	14
7. Методика выполнения заданий	15
Контрольные вопросы	16
Требования к содержанию и оформлению отчета	16
Критерии результативности выполнения лабораторной работы	17
Список литературы	17

Введение

Для многих проводников в широких пределах сила тока прямо пропорциональна приложенному напряжению. Такая зависимость силы тока от напряжения носит название закона Ома и характерна для металлов, особенно часто используемых в электрических цепях. Важной характеристикой проводников является их электрическое сопротивление.

Существуют различные методы измерения сопротивления проводника. В предлагаемой работе рассматриваются наиболее часто применяемые методы: метод амперметра-вольтметра и мостовой метод и разбираются их достоинства и недостатки.

Выполнение работы позволит студентам уяснить особенности применения этих методов измерения, провести измерения и сравнить результаты с теоретически ожидаемыми.

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, обрабатывать результаты, оценивать их погрешность и достоверность.

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 № 32

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение законов постоянного тока и методов измерения сопротивления проводников.

2. ЗАДАЧИ

1. Усвоение законов протекания электрического тока в проводниках.

2. Усвоение теории методов измерения сопротивления проводников.

3. Приобретение навыков правильной эксплуатации электроизмерительных приборов и оборудования современной физической лаборатории, получение результатов измерения сопротивления различными методами.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1. Электрический ток

Электрическим током называют упорядоченное движение электрических зарядов. Эти заряды называют носителями тока. Линией тока называют такую линию, направление касательной к которой в каждой точке совпадает с направлением скорости положительных зарядов. За положительное направление тока принято считать направление скорости положительно заряженных частиц.

Для количественной характеристики электрического тока служат две основные величины: плотность тока и сила тока.

Плотность тока есть вектор, направленный по касательной к линии тока, модуль которого численно равен количеству заряда, прошедшего за единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную направлению движения носителей

$$\vec{j} = \frac{dq}{dS_{\perp} dt} \vec{\tau}, \quad (3.1)$$

где $\vec{\tau}$ – единичный вектор, касательный к линии тока.

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

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

Зная вектор плотности тока \vec{j} в каждой точке проводника, можно выразить через него силу тока

$$I = \int_S j_n dS, \quad (3.3)$$

где j_n – составляющая вектора \vec{j} , нормальная к элементу поверхности dS .

3.2. Электродвижущая сила. Напряжение

Одним из главных способов возбуждения электрического тока в телах является создание и поддержание в них электрического поля. Электростатические силы всегда переносят положительный заряд к меньшему потенциалу, и таким образом его повышают, уменьшая разность потенциалов и соответственно напряженность поля. Поэтому, если бы источниками электрического поля в проводниках были только электрические заряды, то при прохождении тока непрерывно происходила бы убыль зарядов. В связи с этим для поддержания электрического тока необходимы силы неэлектростатического происхождения, называемые сторонними. Полная сила, действующая на носитель тока, включает электрическую и стороннюю силу.

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

$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q}. \quad (3.4)$$

Физическая величина, равная суммарной работе сторонней и электростатической сил по переносу единичного положительного заряда, называется напряжением

$$U = \frac{A_{ст} + A_{эл}}{q}. \quad (3.5)$$

В то же время работа электростатических сил по переносу единичного положительного заряда есть разность потенциалов между концами проводника, поэтому

$$U = \varepsilon + (\varphi_1 - \varphi_2), \quad (3.6)$$

т.е. напряжение между точками 1 и 2 проводника равно сумме ЭДС на данном участке и разности потенциалов между точками 1 и 2. Участок цепи, содержащий ЭДС, называется неоднородным.

Если на участке цепи отсутствует источник ЭДС, то участок называется однородным, и тогда $U = \varphi_1 - \varphi_2$.

Для замкнутой цепи, когда $\varphi_1 = \varphi_2$, $U = \varepsilon$.

3.3. Законы постоянного тока

3.3.1. Закон Ома

Опыт показывает, что для многих тел в широких пределах сила тока в проводнике пропорциональна напряжению между концами этого проводника. Эта пропорциональность выражает закон Ома

$$I = \frac{U}{R}, \quad (3.7)$$

где R – характеристика проводника, называемая сопротивлением.

Величина, обратная сопротивлению, $G = \frac{1}{R}$, называется электропроводностью проводника: $I = GU$. Для однородного проводника постоянного сечения S сопротивление равно

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (3.8)$$

где ρ – постоянная для данного материала величина, называемая удельным сопротивлением, l – длина проводника.

Для замкнутой цепи закон Ома примет вид

$$I = \frac{\varepsilon}{R}, \quad (3.9)$$

где R – полное сопротивление цепи, включающее внутреннее сопротивление источника тока.

Для однородного участка цепи

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R}, \quad (3.10)$$

где R – сопротивление данного участка.

Физическая величина, равная произведению силы тока I , протекающего по проводнику сопротивлением R , на величину этого сопротивления, называется падением напряжения IR на сопротивлении. Можно дать другую формулировку закона Ома

$$I R = U, \quad (3.11)$$

падение напряжения на сопротивлении проводника равно напряжению, действующему в этом проводнике.

3.3.2. Закон Джоуля-Ленца

При протекании тока проводник нагревается. Носители тока, ускоренные электрическим полем, при столкновениях с атомами проводника отдают им свою энергию, что приводит к повышению температуры проводника. Закон Джоуля-Ленца позволяет рассчитать количество выделившегося за время dt тепла dQ , если величина тока I остается постоянной в течение этого времени,

$$dQ = I^2 R dt. \quad (3.12)$$

Если же сила тока будет меняться со временем, то количество тепла Q можно рассчитать по формуле

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} I^2(t) R(t) dt. \quad (3.13)$$

Величина сопротивления зависит от времени, т.к. с течением времени проводник нагревается, а его сопротивление зависит от температуры.

3.3.3. Правила Кирхгофа

Правила Кирхгофа позволяют рассчитывать токи, протекающие в сложных разветвленных цепях. Первое правило отражает закон сохранения электрического заряда и утверждает, что алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле, равна нулю

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0. \quad (3.14)$$

Токи, входящие в узел, и выходящие из него, берутся с противоположными знаками.

Второе правило Кирхгофа отражает закон Ома и формулируется для замкнутого контура в цепи: алгебраическая сумма падений напряжений на всех участках контура равна алгебраической сумме действующих в контуре ЭДС

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{i=1}^k \mathcal{E}_i. \quad (3.15)$$

Расчет цепи производят следующим образом:

1. В сложной цепи выделяют узлы и замкнутые контуры. Узлом называется точка цепи, в которой сходится более двух проводников. Замкнутый контур – это часть цепи, переходя по которой от одного элемента к следующему, можно прийти в исходную точку.

2. Произвольно выбирают направление тока через каждый неразветвленный участок цепи.

3. Токам, входящим в узел, приписывают один знак, выходящим – противоположный.

4. Для каждого узла записывают уравнение по первому правилу Кирхгофа (3.14).

5. Произвольно выбирают направление обхода контуров.

6. Для каждого контура записывают уравнение по второму правилу Кирхгофа (3.15).

7. При написании уравнений (3.15) падение напряжения берется со знаком «+», если выбранное направление тока совпадает с направлением обхода контура. ЭДС ε_i берется со знаком «+», если в направлении обхода потенциал повышается (обход от отрицательного к положительному полюсу источника). В противоположных случаях ставятся знаки «-».

8. При написании уравнений (3.14) и (3.15) необходимо, чтобы каждое следующее уравнение содержало новый элемент цепи.

3.4. Методы измерения сопротивления проводников

3.4.1. Метод амперметра-вольтметра

В электрических цепях, схемы которых приведены на рис. 3.1, с помощью амперметра и вольтметра измеряют соответственно силу тока и напряжение на участке цепи, содержащем неизвестное сопротивление R_x .

Считая, что сопротивление амперметра очень мало, а вольтметра – достаточно велико, можно в соответствии с законом Ома найти приближенное значение сопротивления по формуле

$$R_x = \frac{U}{I}, \quad (3.16)$$

где U – показание вольтметра, I – амперметра.

Для точного определения неизвестного сопротивления необходимо учесть собственные сопротивления амперметра и вольтметра.

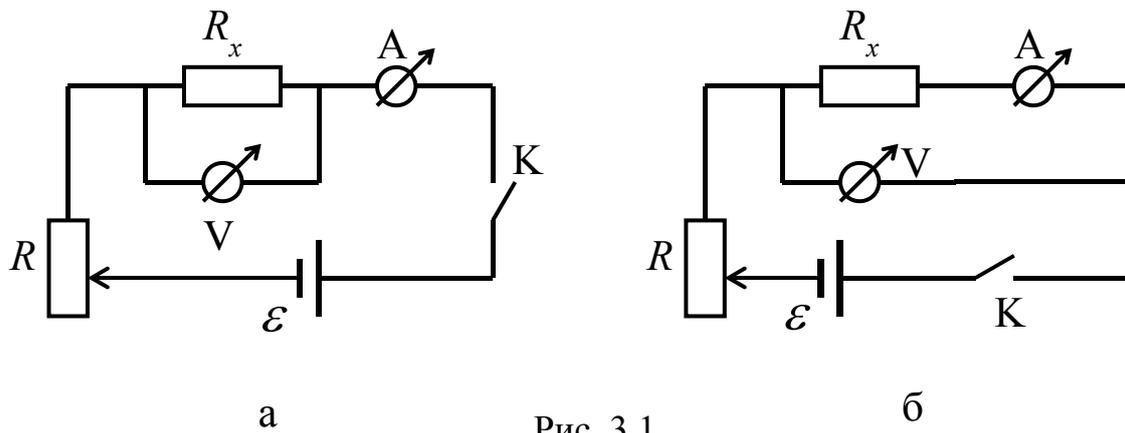


Рис. 3.1

Рассмотрим схему на рис. 3.1 (а). Амперметр показывает суммарный ток I , который далее разделяется на два тока: ток I_R , текущий через неизвестное сопротивление R_x и ток I_V , текущий через вольтметр, сопротивление которого R_V , то есть

$$I = I_R + I_V. \quad (3.17)$$

Вольтметр показывает напряжение U , равное как падению напряжения $I_R R_x$ на неизвестном сопротивлении, так и падению напряжения $I_V R_V$ на самом вольтметре, так как эти элементы цепи подключены параллельно, то есть

$$U = I_R R_x = I_V R_V. \quad (3.18)$$

Из уравнений (3.17) и (3.18) можно найти неизвестное сопротивление

$$R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}}. \quad (3.19)$$

Если измерения проводят по схеме рис. 3.1 (б), то ток, регистрируемый амперметром, равен току через неизвестное сопротивление, а вольтметр измеряет суммарное напряжение на измеряемом сопротивлении и на амперметре.

Таким образом,

$$\begin{aligned} U &= I R_x + I R_A, \\ R_x &= \frac{U}{I} - R_A, \end{aligned} \quad (3.20)$$

где R_A – сопротивление амперметра.

3.4.2. Метод компенсации

Другие названия этого метода – метод моста Уитстона или метод уравновешенного моста. Это наиболее точный метод.

Он позволяет исключить влияние электроизмерительных приборов на результат измерения.

Рассмотрим этот метод на примере моста Уитстона, схема которого приведена на рис. 3.2. Электрическая цепь состоит из источника питания \mathcal{E} , ключа K , сопротивлений R , R_x , R^* и гальванометра g . Гальванометром называют чувствительный амперметр с нулем посередине, он может измерять токи в двух направлениях.

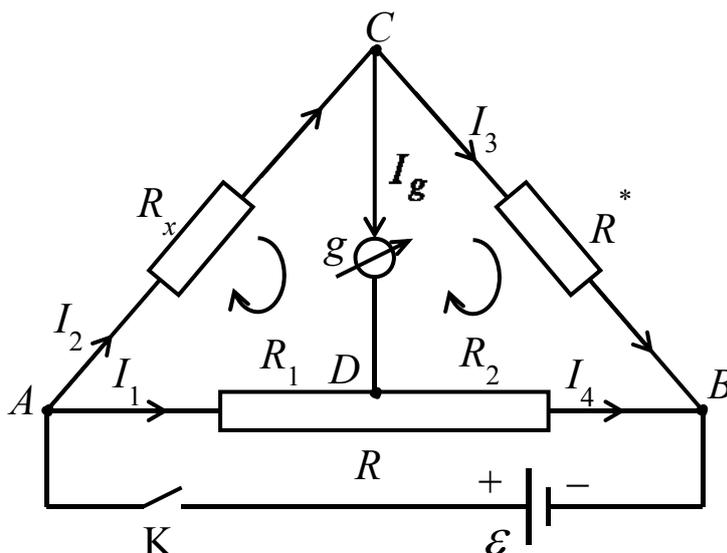


Рис. 3.2

Сопротивление R с помощью подвижного контакта D можно делить на две части R_1 и R_2 , величины которых зависят от положения контакта D . Гальванометр включен между точкой D и точкой C – общей для сопротивлений R^* и R_x . При замыкании ключа K ток идет от источника \mathcal{E} к точке A , где он разветвляется на два – I_1 и I_2 . Ток I_2 , дойдя до точки C , снова делится на ток I_3 и ток, протекающий через гальванометр к точке D (допустим, что ток через гальванометр течет от точки C к точке D). Ток I_1 проходит через сопротивление R_1 , в точке D он складывается с током I_g и далее через сопротивление R_2 течет ток I_4 . Показание гальванометра и направление тока через него зависит от соотношения этих токов. Перемещая движок D , можно добиться того, что ток $I_g = 0$, то есть мост будет уравновешен.

Рассчитать мост Уитстона можно, используя правила Кирхгофа.

Рассмотрим узлы C и D и замкнутые контуры $ACDA$ и $CBDC$. Направления токов через сопротивления и направление обхода

контуров показаны на рис. 3.2.

Запишем уравнения Кирхгофа для уравновешенного моста Уитстона:

$$\begin{aligned} I_2 - I_3 = 0, \quad I_2 R_x - I_1 R_1 = 0, \\ I_1 - I_4 = 0, \quad I_3 R^* - I_4 R_2 = 0. \end{aligned} \quad (3.21)$$

Решая систему уравнений, можно найти неизвестную величину

$$R_x = \frac{R^* R_1}{R_2}. \quad (3.22)$$

Формула (3.22) не содержит показаний электроизмерительных приборов, тем самым исключаются ошибки, связанные с их внутренним сопротивлением.

Действительно, поскольку при уравновешенном мосте ток через гальванометр равен нулю, то и напряжение на нем нулевое, и его присутствие не влияет на результат измерения.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Блок-схема лабораторной установки показана на рис. 4.1.

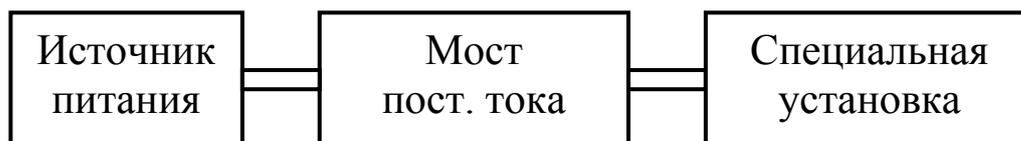


Рис. 4.1

Специальная установка ФПМ 01 (рис. 4.2) состоит из основания 1 с регулируемыми ножками 2, к которому крепится блок питания 3 и стойка 4. На стойке 4 установлены два неподвижных кронштейна 5 и 6, к которым крепится тонкий провод 7. Токосъемный контакт 8 ограничивает длину провода, сопротивление которого измеряется. Длина провода отсчитывается по линейке 9, нанесенной на стойке 4. Цена деления линейки – 1 мм, отсчет берется по положению визирной метки 10. Контакт 8 может свободно перемещаться по стойке 4 при ослабленном винте 11. Переместив контакт 8, винт 11 необходимо снова закрепить.

На лицевой панели блока питания расположена кнопка 12 переключения метода измерения сопротивления: моста или амперметра-вольтметра. Здесь же находятся кнопка 13 для включения схемы (а) или (б) рис. 3.1, вольтметр 14, амперметр 15, регулятор тока 16, тумблер 17 включения установки в сеть и

сигнальная лампочка 18. Выходные клеммы 19 служат для подключения измеряемого сопротивления к внешней цепи.

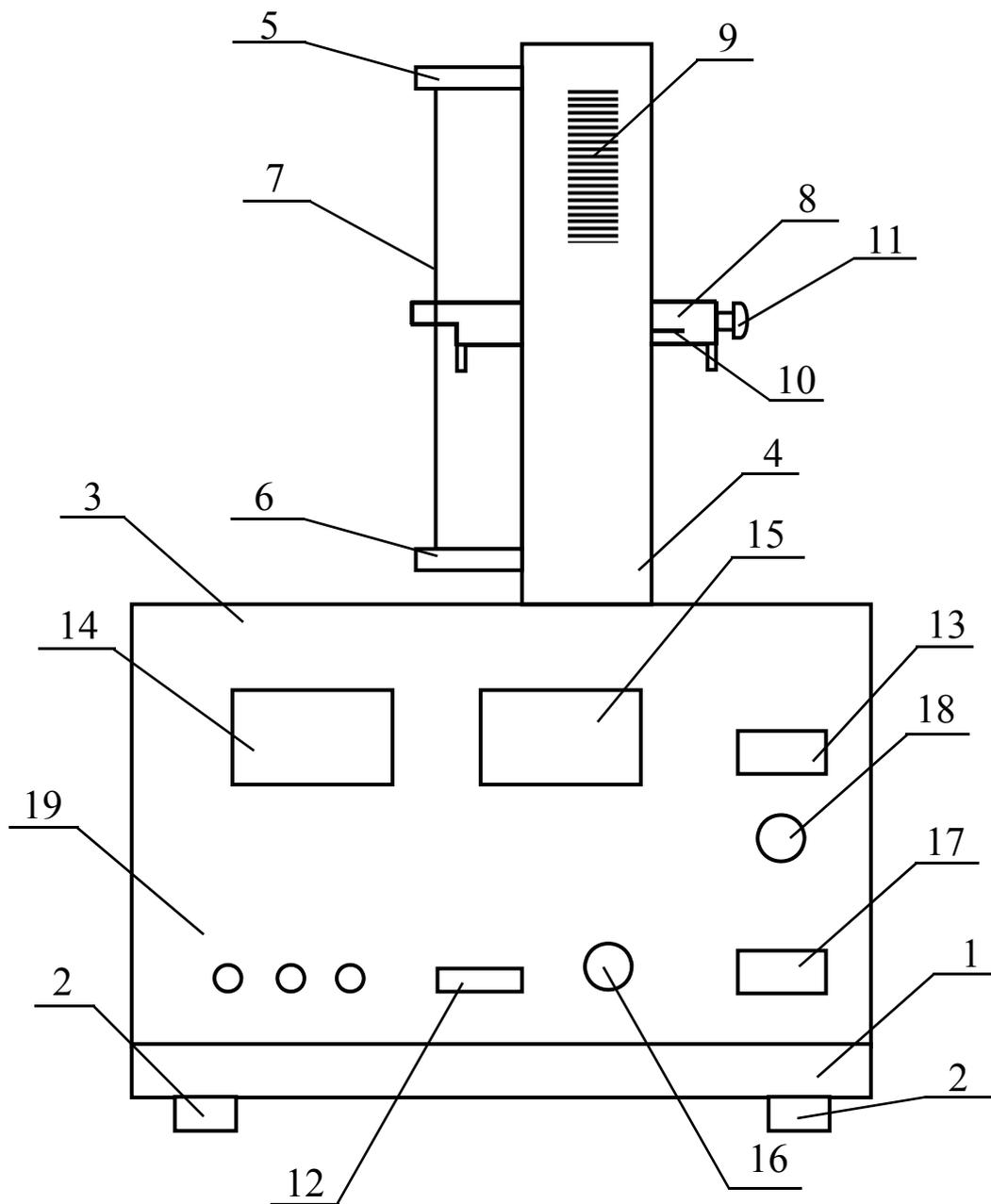


Рис. 4.2

Источник питания (рис. 4.1) служит для питания моста постоянного тока. Он подключается к специальным клеммам 1 моста (рис. 4.3). Измеряемое сопротивление подключается к клеммам R_x .

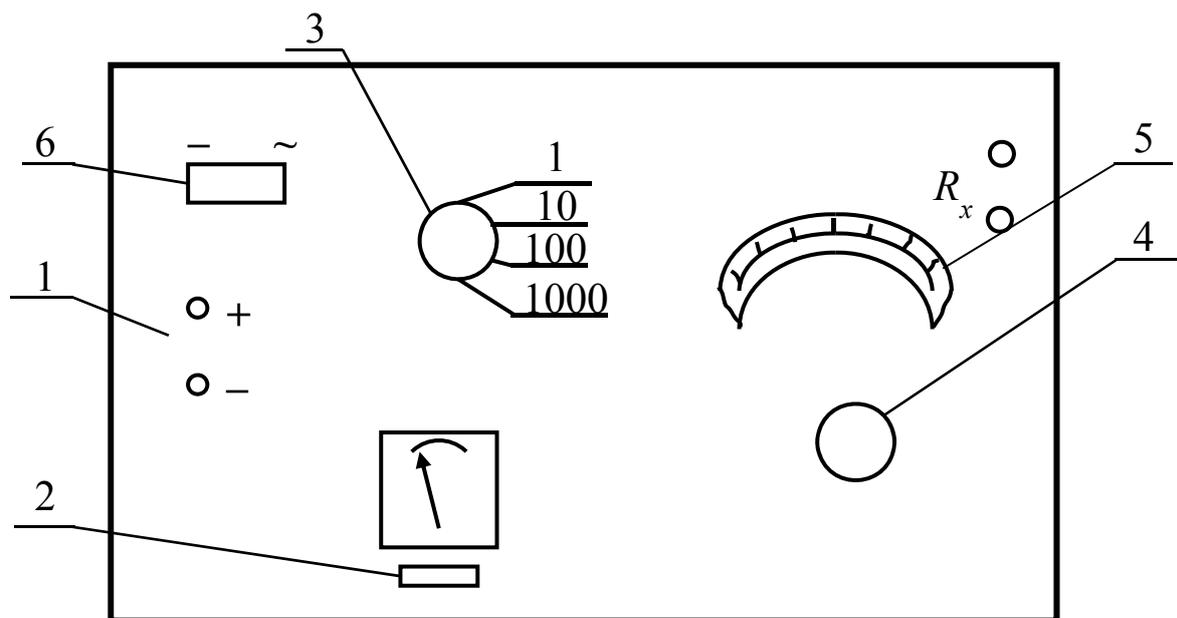


Рис. 4.3

5. ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Для электропитания лабораторной установки используется сетевое напряжение 220 В. Все токоведущие части установки 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 относящимся к выполняемой работе;
- 5) о замеченных неисправностях немедленно сообщить преподавателю или лаборанту;
- 6) по окончании работы отключить установку от сети, привести в порядок рабочее место.

6. ЗАДАНИЯ

1. Измерить неизвестное сопротивление методом компенсации.
2. Определить неизвестное сопротивление методом амперметра-вольтметра.

7. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ

Задание 1. Измерить сопротивление методом компенсации

1. Включить тумблеры «СЕТЬ» блока питания установки ФМП 01 и источника питания.

2. Переключатель 12 (рис. 4.2) расположить в положение «мост». Кнопка отжата.

3. Поворотом переключателя 6 (рис. 4.3) в положение (–) подключить в схему моста источник питания.

4. Подключить в цепь моста гальванометр, расположив переключатель 2 (рис. 4.3) в положение «грубо».

5. Заметив отклонение стрелки, изменяя положение переключателя 3 (рис. 4.3), добиться ее отклонения в противоположную сторону. Когда отклонение стрелки гальванометра будет лежать в пределах шкалы прибора или меняться на противоположные при соседних положениях переключателя 3, добиться нулевого показания гальванометра, вращая рукоятку 4 кругового реохорда 5. Тумблер 2 перевести в положение «точно» и снова уравновесить мост. Величина измеряемого сопротивления равна показанию шкалы кругового реохорда 5, умноженному на показание переключателя 3. Записать значение измеренного сопротивления.

6. Отключить гальванометр и питание моста Уитстона. Выключить источник питания.

Задание 2. Определить сопротивление методом амперметра-вольтметра

1. Переключатель 12 (рис. 4.2) на лицевой панели блока питания ФПМ-01 установить в положение V-A. Кнопка нажата.

2. Переключатель 13 установить в положение «СХЕМА а» рис. 3.1 (а). Кнопка нажата.

3. Изменяя ручкой «Регулировка тока» величину тока, провести измерения напряжения для пяти различных значений тока.

Результаты занести в таблицу.

4. Провести подобные измерения для «СХЕМЫ б» рис. 3.1 (б), для чего переключатель 13 установить в соответствующее положение. Кнопка отжата (рис. 4.2).

5. Отключить блок питания от сети.

6. Рассчитать неизвестное сопротивление по формулам (3.19) для схемы а или (3.20) для схемы б, приняв $R_V = 19750 \text{ Ом}$ и

$R_A = 0,29 \text{ Ом}$.

7. Рассчитать относительную ошибку ε полученного значения R , используя класс точности амперметра и вольтметра, указанный на лицевой панели приборов.

8. Рассчитать мощности N_a и N_b , выделяемые на сопротивлении R_x при включении его в цепь по схемам (а) и (б) рис. 3.1. Формулы для расчета величин N_a и N_b вывести самостоятельно.

Таблица

схема	№	I	U	U/R_V	U/I	R_x	$\varepsilon, \%$
(а)	1				X		
	2						
	...						
	5						
(б)	1			X			
	2						
	...						
	5						

Контрольные вопросы

1. Что понимается под силой тока, плотностью тока, ЭДС источника и напряжением?
2. Сформулируйте законы Ома и Джоуля-Ленца.
3. Сформулируйте правила Кирхгофа.
4. Почему метод компенсации более точен, чем метод амперметра-вольтметра?
5. Для чего гальванометр, используемый в мосте постоянного тока, имеет двустороннюю шкалу?
6. Докажите справедливость соотношения (3.22).
7. Выведите формулы для расчета мощности, выделяемой на сопротивлении R_x , при его включении в цепь по схемам (а) и (б) рис. 3.1.

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет должен содержать:

1. Номер, название и цель работы.
2. Краткий конспект теоретической части, включая расчетные формулы.
3. Схематическое описание лабораторной установки и метода измерений.

4. Таблицу с результатами измерений по методу амперметра-вольтметра.

5. Результат измерений мостовым методом, расчеты мощности выписать отдельно.

6. Выводы по результатам работы.

Критерии результативности выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа считается выполненной, если студент:

- овладел знаниями о законах протекания постоянного электрического тока в проводниках;

- правильно выполнил экспериментальную и расчетную части работы;

- правильно вывел формулы для расчета мощности;

- 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, 2009.

2. *Трофимова Т. И.* Курс физики – М.: Академия, 2012.

Составитель ТРОФИМОВА Евгения Владимировна

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Методические указания к лабораторной работе № 32
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2015. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman.
Усл. печ. л. 0,9. Уч-изд.л. 0,8. Тираж 100 экз. Заказ №
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный
технический университет»
Редакционно-издательский комплекс УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12