

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

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭДС ИСТОЧНИКА ТОКА  
С ПОМОЩЬЮ ЗАКОНА ОМА**

**Методические указания к лабораторной работе № 45  
по дисциплине «Физика»**

**Уфа 2016**

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

Кафедра физики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭДС ИСТОЧНИКА ТОКА  
С ПОМОЩЬЮ ЗАКОНА ОМА

Методические указания к лабораторной работе № 45  
по дисциплине «Физика»

Уфа 2016

Составитель Е.В. Трофимова

УДК  
ББК

Определение ЭДС источника тока с помощью закона Ома: методические указания к лабораторной работе № 45 по дисциплине «Физика» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. Е. В. Трофимова – Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2016. – 14 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.

Приведены краткие сведения о классической теории электропроводности металлов, даны описания экспериментальной установки, порядок выполнения работы и контрольные вопросы.

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

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, доц. Афанасьева А.М.,  
канд. физ.-мат. наук, доц. Шатохин С. А.

© Уфимский государственный  
авиационный технический университет, 2016

## Содержание

Введение .....	4
1. Цель работы.....	5
2. Задачи.....	5
3. Теоретическая часть.....	5
3.1. Закон Ома.....	5
3.2. Элементарная классическая теория электропроводности металлов.....	9
4. Экспериментальная часть.....	11
5. Требования по технике безопасности .....	11
6. Задания.....	12
7. Методика выполнения заданий.....	12
Контрольные вопросы .....	13
Требования к содержанию и оформлению отчета .....	14
Критерии результативности выполнения лабораторной работы .....	14
Список литературы .....	14

## Введение

С электрическим током приходится сталкиваться ежедневно, без него немыслима современная жизнь. В предлагаемой лабораторной работе даются определения основных характеристик постоянного тока, условия его существования, основной закон протекания тока в металлах и его теоретическое обоснование.

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 № 45

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭДС ИСТОЧНИКА ТОКА С ПОМОЩЬЮ ЗАКОНА ОМА

### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучение закона Ома для однородного и неоднородного участков цепи.
2. Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока.

### 2. ЗАДАЧИ

1. Усвоить смысл характеристик электрического тока и закон Ома для различных случаев.
2. Экспериментально получить значения неизвестных ЭДС.

### 3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1. Закон Ома

Электрическим током называется направленное движение электрических зарядов. Количественной мерой электрического тока служит сила тока – скалярная величина, определяемая электрическим зарядом, проходящим через поперечное сечение проводника в единицу времени

$$I = \frac{dq}{dt}. \quad (3.1)$$

Ток, сила и направление которого с течением времени не изменяются, называется постоянным или стационарным. Для постоянного тока

$$I = \frac{q}{t}. \quad (3.2)$$

Единица силы тока – ампер (А),  $1 \text{ А} = \text{Кл/с}$ . Физическая величина, определяемая силой тока, проходящего через единицу площади поперечного сечения проводника, перпендикулярной направлению тока, называется плотностью тока

$$j = \frac{I}{S}. \quad (3.3)$$

Плотность тока – величина векторная. Направление вектора  $\vec{j}$  совпадает с направлением тока. За направление тока принимается направление движения положительных зарядов. Сила тока через произвольную поверхность  $S$  определяется как поток вектора  $\vec{j}$  через нее

$$I = \int_S \vec{j} d\vec{S}. \quad (3.4)$$

Ток возникает при условии, что внутри проводника существует электрическое поле, под действием которого положительные заряды будут смещаться по направлению вектора напряженности  $\vec{E}$  поля, отрицательные – против поля. Таким образом, наличие свободных электрических зарядов и электрического поля – два необходимых условия для возникновения тока. Однако если на носители тока действуют только силы электростатического поля, то происходит перемещение положительных носителей тока от точек с большим потенциалом к точкам с меньшим потенциалом, что приводит к выравниванию потенциалов во всех точках цепи и к исчезновению электрического поля. Поэтому для существования постоянного тока необходимо наличие устройства, способного создавать и поддерживать разность потенциалов за счет работы сил не электростатического происхождения. Такие устройства называются источниками тока. Силы не электростатического происхождения, действующие на заряды со стороны источника тока, называются сторонними.

Природа сторонних сил может быть различной. В гальванических элементах они возникают за счет энергии химических реакций между электродами и электролитами; в генераторе – за счет механической энергии вращения ротора генератора и т.д.

Сторонние силы, перемещая электрические заряды против действия сил электростатического поля, совершают работу. Физическая величина, определяемая работой сторонних сил при перемещении единичного положительного заряда, называется электродвижущей силой (ЭДС)  $\varepsilon$ , действующей в цепи,

$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q}, \quad (3.5)$$

где  $A_{\text{ст}}$  – работа сторонних сил,  $q$  – величина перемещаемого заряда. В системе СИ единицей измерения ЭДС служит вольт (В),  $1\text{В} = \text{Дж/Кл}$ .

Эта работа совершается за счет энергии, затрачиваемой в источнике тока, поэтому величину  $\varepsilon$  называют также электродвижущей силой источника тока, включенного в цепь.

Сторонние силы, так же как электростатические, можно описывать с использованием понятия напряженности поля. Напряженность поля сторонних сил  $\vec{E}_{\text{ст}}$  определяется аналогично напряженности поля электрических сил

$$\vec{E}_{\text{ст}} = \frac{\vec{F}_{\text{ст}}}{q}, \quad (3.6)$$

где  $\vec{F}_{\text{ст}}$  – величина сторонней силы.

Работа сторонних сил над зарядом на участке 1-2 равна

$$A_{12} = \int_1^2 \vec{F}_{\text{ст}} d\vec{l} = \int_1^2 q \vec{E}_{\text{ст}} d\vec{l}. \quad (3.7)$$

Разделив эту работу на  $q$ , получим ЭДС, действующую на данном участке

$$\varepsilon = \frac{A_{12}}{q} = \int_1^2 \vec{E}_{\text{ст}} d\vec{l}. \quad (3.8)$$

Аналогичный интеграл, вычисленный для замкнутой цепи, дает ЭДС, действующую в этой цепи

$$\varepsilon = \oint \vec{E}_{\text{ст}} d\vec{l}. \quad (3.9)$$

Таким образом, ЭДС, действующая в замкнутой цепи, может быть вычислена как циркуляция вектора напряженности поля сторонних сил по замкнутому контуру.

Участок цепи, на котором действуют сторонние силы, называют неоднородным. Кроме сторонних сил на таком участке на заряд действуют силы электростатического поля. Следовательно, результирующая сила, действующая в каждой точке цепи на заряд  $q$ , равна

$$\vec{F} = \vec{F}_{\text{эл}} + \vec{F}_{\text{ст}} = q(\vec{E} + \vec{E}_{\text{ст}}). \quad (3.10)$$

Работа, совершаемая этой силой над зарядом  $q$  на участке цепи 1-2, определяется выражением

$$A_{12} = q \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} + q \int_1^2 \vec{E}_{\text{ст}} d\vec{l} = q(\varphi_1 - \varphi_2) + q\varepsilon_{12}. \quad (3.11)$$

Физическая величина, численно равная работе, совершаемой электростатическими и сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда, называется падением напряжения или просто напряжением  $u$  на данном участке цепи. Разделив последнее соотношение на  $q$ , получим

$$u_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon_{12}. \quad (3.12)$$

В замкнутой цепи  $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ , и напряжение равно ЭДС в данной цепи

$$u = \varepsilon. \quad (3.13)$$

Участок цепи, на котором не действуют сторонние силы, называется однородным. Для однородного участка цепи

$$u_{12} = \varphi_1 - \varphi_2, \quad (3.14)$$

т.е. напряжение совпадает с разностью потенциалов на концах участка.

С другой стороны, напряжение на участке цепи равно произведению силы тока на электрическое сопротивление участка – закон Ома в интегральной форме

$$u_{12} = I R_{12}. \quad (3.15)$$

Сопротивление проводника зависит от его размеров и формы, а также от материала, из которого изготовлен проводник. Для проводника с постоянной площадью поперечного сечения сопротивление определяется соотношением

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (3.16)$$

где  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление,  $l$  – длина проводника,  $S$  – площадь его поперечного сечения. Величина  $G = 1/R$  называется электропроводностью проводника.

Закон Ома можно представить в дифференциальной форме. Подставив в выражение (3.15) соотношение (3.16), получим

$$\frac{I}{S} = \frac{1}{\rho} \frac{u}{l}. \quad (3.17)$$

Величина  $\sigma = 1/\rho$  носит название удельной электропроводности вещества. Учитывая, что  $\frac{u}{l} = E$  – напряженность электрического

поля в проводнике, а  $\frac{I}{S} = j$  – плотность тока, соотношение (3.17)

можно представить в виде

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}. \quad (3.18)$$

Последнее выражение представляет собой закон Ома в дифференциальной форме, связывающий плотность тока в любой точке внутри проводника с напряженностью электрического поля в этой же точке. В случае неоднородного участка цепи в соотношении (3.17) под  $\vec{E}$  понимается суммарная напряженность электростатического поля и поля сторонних сил.

### 3.2. Элементарная классическая теория электропроводности металлов

Основателями классической электронной теории проводимости металлов являются Друде и Лоренц, которые, основываясь на экспериментальных данных, предполагали, что внутри пространственной решетки, образованной ионами металла, имеется значительное количество свободных электронов. Участвуя в тепловом движении, электроны образуют электронный газ, заполняющий пространство между ионами, и ведут себя подобно молекулам идеального газа. В отсутствие электрического поля электроны перемещаются в проводнике с некоторой средней тепловой скоростью  $\langle v \rangle$ . В промежутке между соударениями они движутся свободно, пробегая путь  $\langle \lambda \rangle$  (средняя длина свободного пробега). Однако, в отличие от молекул идеального газа, длина свободного пробега электронов определяется не соударениями их друг с другом, а столкновениями с ионами кристаллической решетки металла.

При включении электрического поля на хаотическое движение электронов со скоростью  $\vec{v}$  накладывается упорядоченное перемещение зарядов в направлении электрического поля, происходящее со скоростью  $\vec{j}$ . Причем средний модуль скорости теплового движения  $\langle v \rangle$  на несколько порядков превышает среднюю скорость упорядоченного движения. Поскольку тепловые скорости электронов направлены хаотично, то усреднение вектора  $\vec{v}$  дает ноль.

Таким образом, электроны будут перемещаться под действием электрического поля со скоростью  $\langle \vec{u} \rangle$ .

Со стороны электрического поля на электроны действует сила  $F = eE$ , поэтому в промежутке между двумя столкновениями с ионами кристаллической решетки электроны движутся с постоянным ускорением, равным  $a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m}$ , и к концу пробега приобретают скорость  $u_{\max}$ .

При соударении с ионом вся приобретенная электроном энергия передается иону, и скорость электрона при этом падает до нуля. Если  $\langle \tau \rangle$  – время между двумя последовательными соударениями электрона с ионами решетки, то

$$u_{\max} = a \langle \tau \rangle = \frac{eE}{m} \langle \tau \rangle.$$

Так как  $\langle \tau \rangle = \frac{\langle \lambda \rangle}{\langle v \rangle}$ , то

$$u_{\max} = \frac{eE \langle \lambda \rangle}{m \langle v \rangle}.$$

Скорость направленного движения электронов  $\vec{u}$  изменяется за время пробега линейно. Поэтому среднее значение ее равно половине максимального

$$\langle u \rangle = \frac{u_{\max}}{2} = \frac{eE \langle \lambda \rangle}{2m \langle v \rangle}.$$

Направленное движение электронов образует ток, плотность которого равна

$$j = n e \langle u \rangle = \frac{n e^2 \langle \lambda \rangle}{2m \langle v \rangle} E,$$

где  $n$  – концентрация электронов. Плотность тока оказалась пропорциональной напряженности поля, таким образом, мы получили закон Ома в дифференциальной форме (3.18)

$$j = \sigma E,$$

где  $\sigma = \frac{n e^2 \langle \lambda \rangle}{2m \langle v \rangle}$  – удельная электрическая проводимость металла.

#### 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Электрическая схема установки изображена на рис. 4.1. Установка включает в себя набор источников напряжения  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\varepsilon_3$ , набор известных сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ , неизвестное сопротивление  $R_x$  и электроизмерительные приборы – вольтметр и миллиамперметр.

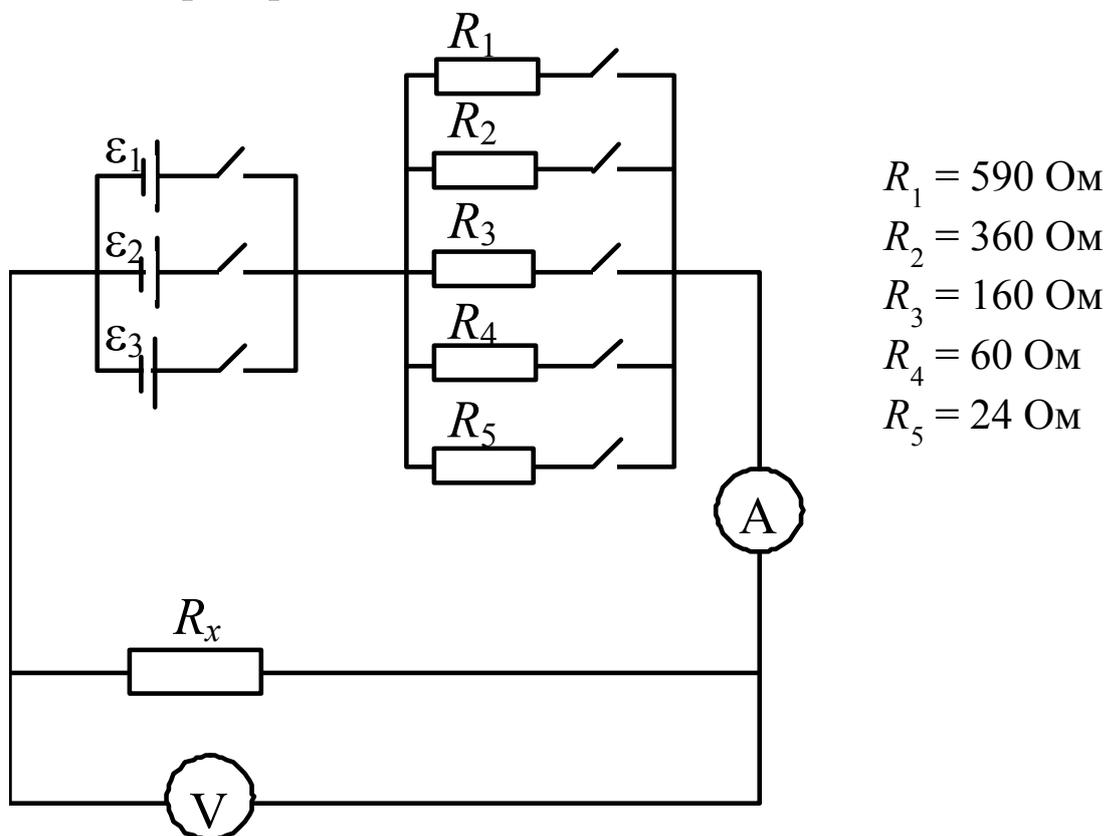


Рис. 4.1

#### 5. ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Прежде чем приступить к работе, внимательно ознакомьтесь с электрической схемой, оборудованием и заданием.

2. Перед включением установки в сеть проверьте, чтобы источники питания были отключены (крайнее левое положение переключателей).

3. По окончании работы отключите питание установки и приведите в порядок рабочее место.

4. Не оставляйте без присмотра лабораторную установку.

5. Об обнаруженных неисправностях доложите преподавателю.

## 6. ЗАДАНИЯ

1. Определить неизвестное сопротивление  $R$
2. Определить ЭДС и внутренние сопротивления источников.

## 7. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ

### Задание 1. Определение неизвестного сопротивления

1. Установить пределы измерений тока и напряжения 500 мА и 20 В, для чего нажать соответствующие кнопки на панели прибора.
2. Включить прибор, для чего повернуть верхний переключатель на панели прибора вправо в положение «источник 1», нижний переключатель «нагрузка» поставить в положение 5 (к схеме подключено сопротивление  $R_5$ ).
3. Снять показания амперметра и вольтметра и по закону Ома для однородного участка цепи (3.15) найти неизвестное сопротивление  $R_x$ . Данные занести в табл. 4.1.
4. Аналогично провести измерения  $R_x$  при включенных источниках 2, 3. Данные занести в табл. 4.1.
5. Рассчитать среднее значение  $R_x$ , а также относительную и абсолютную погрешности измерения  $R_x$ . Класс точности приборов  $\gamma = 0,5$ ,  $I_{\max} = 500$  мА,  $U_{\max} = 20$  В.

Таблица 4.1

Источник	$R$ , Ом	$I$ , А	$U$ , В	$R_x$ , Ом	$R_{\text{ср}}$ , Ом	$\Delta R_x$ , Ом
1						
2						
3						

### Задание 2. Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источников

1. Включить источник 1. Последовательно подключать к схеме сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ , измеряя каждый раз ток в цепи. Данные занести в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Нагрузка	I, А		
	Источник 1	Источник 2	Источник 3
$R_1$			
$R_2$			
$R_3$			
$R_4$			
$R_5$			

2. Взять пару любых комбинаций сопротивлений  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$  (например,  $R_1$  и  $R_2$ ), записать дважды закон Ома для замкнутой цепи и решить полученную систему уравнений относительно  $\varepsilon_1$  и  $r_1$ :

$$I_1 = \frac{\varepsilon_1}{R_1 + R_x + r_1} \quad \text{и} \quad I_2 = \frac{\varepsilon_1}{R_2 + R_x + r_1}$$

В качестве  $R$  использовать величину, полученную в первом задании.

3. Взять другие пары сопротивлений и рассчитать при этих сопротивлениях значения  $\varepsilon_1$  и  $r_1$ . Всего получить не менее трех значений  $\varepsilon_1$  и  $r_1$ , усреднить полученные значения и занести их табл. 4.3.

4. Прodelать то же самое для источников 2 и 3. Данные занести в табл. 4.3.

5. Рассчитать относительную погрешность измерений.

Таблица 4.3

$\varepsilon_1$	$\varepsilon_2$	$\varepsilon_3$	$r_1$	$r_2$	$r_3$

### Контрольные вопросы

1. Какая физическая величина называется силой тока, плотностью тока? Каковы единицы их измерения?

2. Какие условия необходимы для поддержания тока в цепи?

3. Дайте определение электродвижущей силы источника. В каких единицах она измеряется?

4. В чем состоит физический смысл напряжения на данном участке цепи?

5. Дайте определение однородного и неоднородного участков цепи. Как записать для них закон Ома?

6. От каких величин зависит сопротивление проводника? Запишите формулу для расчета сопротивления.

7. Каковы основные положения классической теории электропроводности металлов?

8. Как записывается закон Ома в дифференциальной форме?

### **Требования к содержанию и оформлению отчета**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Номер, название, цель работы и краткий конспект теоретической части.

2. Схему экспериментальной установки.

3. Таблицы с результатами измерений и вычислений, а также сами вычисления.

4. Вывод по проделанной работе.

### **Критерии результативности выполнения лабораторной работы**

Лабораторная работа считается выполненной, если студент:

- овладел теоретическими знаниями о переносе электрического заряда;

- составил отчет, соответствующий требованиям;

- сформулировал выводы о проделанной работе;

- грамотно ответил на все контрольные вопросы.

### **Список литературы**

1. *Савельев И. В.* Курс общей физики. В 4 т. Т. 2 – М.: КноРус, 2012.

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

Составитель ТРОФИМОВА Евгения Владимировна

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭДС ИСТОЧНИКА ТОКА  
С ПОМОЩЬЮ ЗАКОНА ОМА

Методические указания к лабораторной работе № 45  
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2016. 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