

**Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Уфимский государственный авиационный технический университет**

**ИЗУЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА**

**Методические указания  
к лабораторной работе № 33  
по дисциплине «Физика»**

**Уфа 2010**

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Уфимский государственный авиационный технический университет

Кафедра физики

## ИЗУЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Методические указания  
к лабораторной работе № 33  
по дисциплине «Физика»

Уфа 2010

Составители: Е.В. Трофимова, Р.А. Халфин

УДК  
ББК

Изучение энергетических характеристик постоянного электрического тока: Методические указания к лабораторной работе № 33 по дисциплине «Физика» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост.: Е.В. Трофимова, Р.А. Халфин – Уфа, 2010. – 13 с.

Приведены краткая теория, метод измерения, описание лабораторной установки, порядок выполнения работы и требования к оформлению отчета.

Предназначены для студентов технических университетов, изучающих дисциплину «Физика».

Табл. 1. Ил. 6. Библиогр.: 2 назв.

Рецензенты: канд. тех. наук, доцент Строкина В.Р.,  
канд. тех. наук, доцент Хасанов З.М.

© Уфимский государственный  
авиационный технический университет, 2010

Составители: ТРОФИМОВА Евгения Владимировна,  
ХАЛФИН Раис Ахуньянович

## ИЗУЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Методические указания  
к лабораторной работе № 33  
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2010. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 300 экз. Заказ №

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет  
Центр оперативной полиграфии УГАТУ  
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12

## Содержание

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическая часть .....	4
2.1. Постоянный электрический ток.....	4
2.2. Мощность тока .....	8
3. Экспериментальная часть .....	10
3.1. Требования по технике безопасности .....	10
3.2. Физическая основа метода .....	10
3.3. Приборы и принадлежности.....	11
3.4. Порядок выполнения работы .....	11
4. Требования к отчету .....	12
5. Контрольные вопросы.....	13
Список литературы.....	13

## Лабораторная работа № 33

### Изучение энергетических характеристик постоянного электрического тока

#### 1. Цель работы

1. Получить экспериментальную зависимость мощности источника тока от сопротивления нагрузки.

2. Получить экспериментальную зависимость КПД источника тока от сопротивления нагрузки.

#### 2. Теоретическая часть

##### 2.1. Постоянный электрический ток

Электрическим током называется любое упорядоченное направленное движение электрических зарядов. Для возникновения и существования электрического тока необходимо, с одной стороны, наличие свободных носителей тока (заряженных частиц), способных перемещаться, а с другой стороны – наличие электрического поля, под действием которого движение этих частиц упорядочивается. В проводнике под действием приложенного электрического поля электрические заряды перемещаются: положительные – по полю, отрицательные – против поля (рис. 2.1), т.е. в проводнике возникает электрический ток, называемый током проводимости. За направление тока принимают направление движения положительных зарядов.

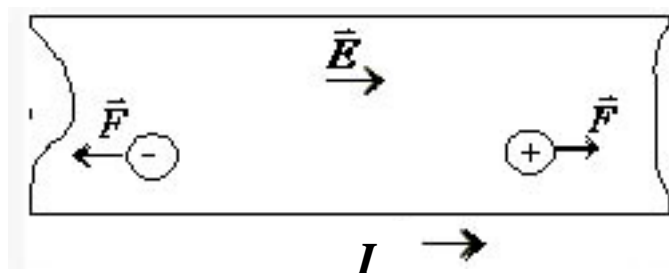


Рис. 2.1. Проводник в электрическом поле

Количественной мерой электрического тока служит сила тока. Сила тока – скалярная физическая величина, определяемая электрическим зарядом, проходящим через поперечное сечение проводника за единицу времени

$$I = \frac{dq}{dt}. \quad (2.1)$$

Если сила тока и его направление не изменяются со временем, то такой ток называется постоянным. Величина постоянного тока определяется по формуле

$$I = \frac{q}{t}, \quad (2.2)$$

где  $q$  – электрический заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время  $t$ .

Чтобы в проводнике протекал постоянный электрический ток, необходимо на его концах поддерживать постоянную разность потенциалов. Под действием электрического поля положительные заряды движутся к концу проводника с низким потенциалом, а отрицательные – к концу проводника с высоким потенциалом. Таким образом, если в проводнике действуют только электростатические силы, то при протекании электрического тока разность потенциалов будет убывать. Поэтому необходимы специальные устройства, источники тока, которые поддерживают постоянную разность потенциалов за счет работы внешних сил неэлектростатического происхождения.

Силы неэлектростатического происхождения, действующие на заряды со стороны источников тока, называются сторонними. Природа сторонних сил может быть различной (например, в гальванических элементах заряды распределяются в результате химических реакций между электролитами и электродами, возможно разделение зарядов в магнитном поле и т.п.).

Под действием сторонних сил электрические заряды движутся внутри источника тока против сил электростатического поля, благодаря чему на концах проводника поддерживается постоянная разность потенциалов и постоянный электрический ток (рис. 2.2).

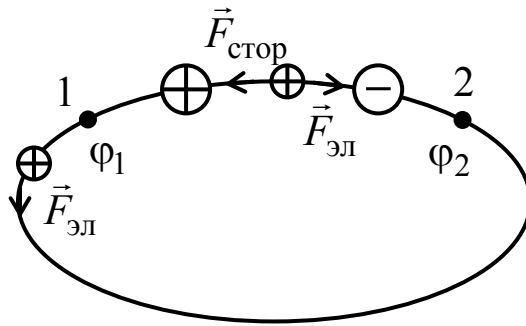


Рис. 2.2. Электрическая цепь с источником сторонних сил

Электродвижущей силой (ЭДС) называется работа сторонних сил по перемещению положительного единичного заряда

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{ст}}}{q}. \quad (2.3)$$

Работа сторонних сил над зарядом на участке проводника 1-2 равна

$$A = \int_1^2 \vec{F}_{\text{ст}} d\vec{l} = q \int_1^2 \vec{E}_{\text{ст}} d\vec{l}, \quad (2.4)$$

где  $E_{\text{ст}}$  – напряженность поля сторонних сил.

Подставив работу на участке 1-2 в формулу (2.3), получим электродвижущую силу, действующую на участке 1-2 (рис. 2.2),

$$\varepsilon_{12} = \int_1^2 \vec{E}_{\text{ст}} d\vec{l}. \quad (2.5)$$

### Закон Ома

Опыт показывает, что для многих веществ (в том числе для металлов) в широких пределах имеет место прямо пропорциональная зависимость между силой тока и работой электростатических и сторонних сил, действующих на носители тока,

$$I \cdot R = \frac{A_{\text{ст}} + A_{\text{эл}}}{q}, \quad (2.6)$$

где величина  $R = \int (\rho dl / S)$  называется электрическим сопротивлением участка 1-2. Здесь  $\rho$  – удельное сопротивление,  $S$  – площадь поперечного сечения,  $dl$  – элемент длины проводника.

### Замкнутая цепь



Связь силы тока с ЭДС выражается законом Ома для замкнутой цепи (рис. 2.3)

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}, \quad (2.7)$$

где  $R + r$  – полное сопротивление цепи,  $R$  – сопротивление внешней цепи,  $r$  – внутреннее сопротивление источника тока.

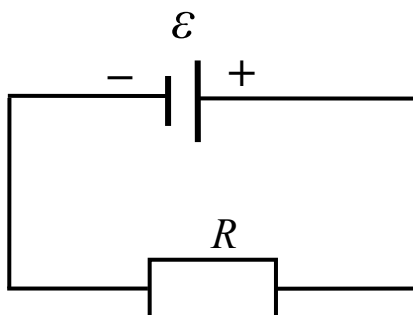


Рис. 2.3. Замкнутая цепь

### Неоднородный участок цепи

Неоднородным участком цепи (рис. 2.4) называется участок, на котором действуют сторонние и электростатические силы

$$A_{12} = A_{\text{ст}} + A_{\text{эл}} = q \varepsilon_{12} + q(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (2.8)$$

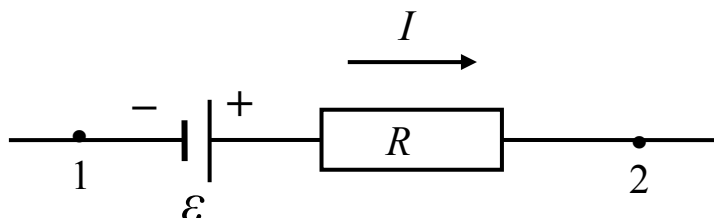


Рис. 2.4. Неоднородный участок цепи

Напряжением на неоднородном участке цепи 1-2 называется физическая величина, определяемая работой электростатических и сторонних сил по перемещению положительного единичного заряда,

$$U_{12} = \frac{A_{12}}{q} = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12} = I R. \quad (2.9)$$

### Однородный участок цепи

Однородным участком цепи (рис. 2.5) называется участок, на котором не действуют сторонние силы, поэтому напряжение на нем равно разности потенциалов.

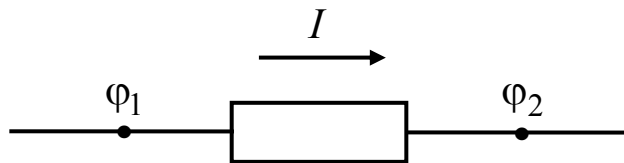


Рис. 2.5. Однородный участок цепи

Закон Ома для однородного участка цепи:

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = IR. \quad (2.10)$$

Таким образом, напряжением на однородном участке проводника 1-2 называется физическая величина, определяемая работой электростатических сил по перемещению положительного единичного заряда.

## 2.2. Мощность тока

В настоящей работе изучаются энергетические характеристики постоянного тока, т.е. те характеристики электрической цепи, которые связаны с выделением энергии в проводниках при протекании электрического тока.

Рассмотрим неоднородный участок цепи постоянного тока, к концам которого приложено напряжение  $U$  (рис. 2.4). За время  $t$  через каждое сечение проводника проходит заряд

$$q = It. \quad (2.11)$$

Это равносильно тому, что заряд  $q$  переносится за время  $t$  с одного конца проводника на другой. При этом электростатическое поле и сторонняя сила, действующие на данном участке, совершают работу

$$A = Uq = UIt. \quad (2.12)$$

Подставив в данную формулу выражение (2.8), получим

$$A = ((\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon_{12})It = (I(\varphi_1 - \varphi_2) + I\varepsilon_{12})t. \quad (2.13)$$

Мощностью называется работа электрического тока, произведенная за единицу времени,

$$P = \frac{A}{t}. \quad (2.14)$$

Из выражений (2.13) и (2.14) следует, что мощность, развиваемая током на неоднородном рассматриваемом участке цепи (рис. 2.4), равна

$$P = I(\varphi_1 - \varphi_2) + I\varepsilon_{12}. \quad (2.15)$$

Из выражения (2.15) при  $\varphi_1 = \varphi_2$  можно выразить мощность источника тока, которая будет называться полной (затраченной) мощностью

$$P_{\text{полн}} = I\varepsilon. \quad (2.16)$$

С учетом закона Ома (2.7) это выражение можно представить в нескольких эквивалентных формах:

$$P_{\text{полн}} = \varepsilon \frac{\varepsilon}{R+r} = \frac{\varepsilon^2}{R+r}, \quad (2.17)$$

$$P_{\text{полн}} = I(IR + Ir) = I^2R + I^2r. \quad (2.18)$$

Из выражения (2.18) следует

$$P_{\text{полн}} = P_{\text{полезн}} + P_{\text{потер}}, \quad (2.19)$$

где  $P_{\text{полезн}} = I^2R, \quad (2.20)$

$$P_{\text{потер}} = I^2r. \quad (2.21)$$

Мощность  $P_{\text{полезн}}$  выделяется во внешней цепи, а  $P_{\text{потер}}$  – в источнике тока.

Коэффициентом полезного действия источника тока называется физическая величина, определяемая отношением полезной мощности источника тока к полной мощности,

$$\text{КПД} = \frac{P_{\text{полез}} \cdot 100 \%}{P_{\text{полн}}}. \quad (2.22)$$

Если ток проходит по неподвижному проводнику, то вся работа тока идет на нагревание проводника

$$A = Q = UIt = RI^2t, \quad (2.23)$$

здесь  $Q$  – количество теплоты, выделившееся при протекании тока в проводнике за время  $t$ . Выражение (2.23) представляет собой закон Джоуля-Ленца в интегральной форме.

### 3. Экспериментальная часть

#### 3.1. Требования по технике безопасности

1. Во избежание поражения электрическим током все электрические приборы должны быть заземлены.

2. Проверить правильность сборки схемы до включения электрических приборов; в случае сомнения обратиться к преподавателю.

3. Во время работы запрещается прикасаться к оголенным участкам электрооборудования, предварительно их не обесточив.

#### 3.2. Физическая основа метода

Рассмотрим цепь постоянного тока. Источник ЭДС создает в цепи ток. Мощность, развиваемая источником тока  $P = I\varepsilon$ , является полной.

С увеличением внешнего сопротивления от 0 до бесконечности напряжение на нагрузке возрастает от 0 до значения ЭДС, а ток в цепи при этом уменьшается до 0. Полная мощность будет изменяться от максимального значения до 0. Полезная мощность при увеличении  $R$  сначала возрастает, а потом убывает.

Максимальное значение полезной мощности достигается при  $R = r$  (режим согласования)

$$P_{\text{полез}}^{\text{max}} = \frac{\varepsilon^2}{4R} = \frac{\varepsilon^2}{4r}. \quad (3.1)$$

Полная мощность в режиме согласования определяется по формуле

$$P = \frac{\varepsilon^2}{2r}, \quad (3.2)$$

а при  $R = 0$  полная мощность составляет

$$P = \frac{\varepsilon^2}{r}. \quad (3.3)$$

Внешнее напряжение источника в режиме согласования равно  $\frac{\varepsilon}{2}$ , КПД источника равен 0,5.

### 3.3. Приборы и принадлежности

Блок-схема измерительной установки (рис. 3.1) состоит из источника питания (1), электроизмерительного прибора В7-40 (2) и моста постоянного тока (3), который в данной работе употребляется в качестве магазина сопротивлений. Чтобы получить сопротивление нагрузки, мост подключается таким образом, как указано на рисунке. Сопротивление нагрузки вычисляется как сумма сопротивлений 10 Ом (при указанном на рисунке соединении) и показания декадных резисторов (магазина сопротивлений).

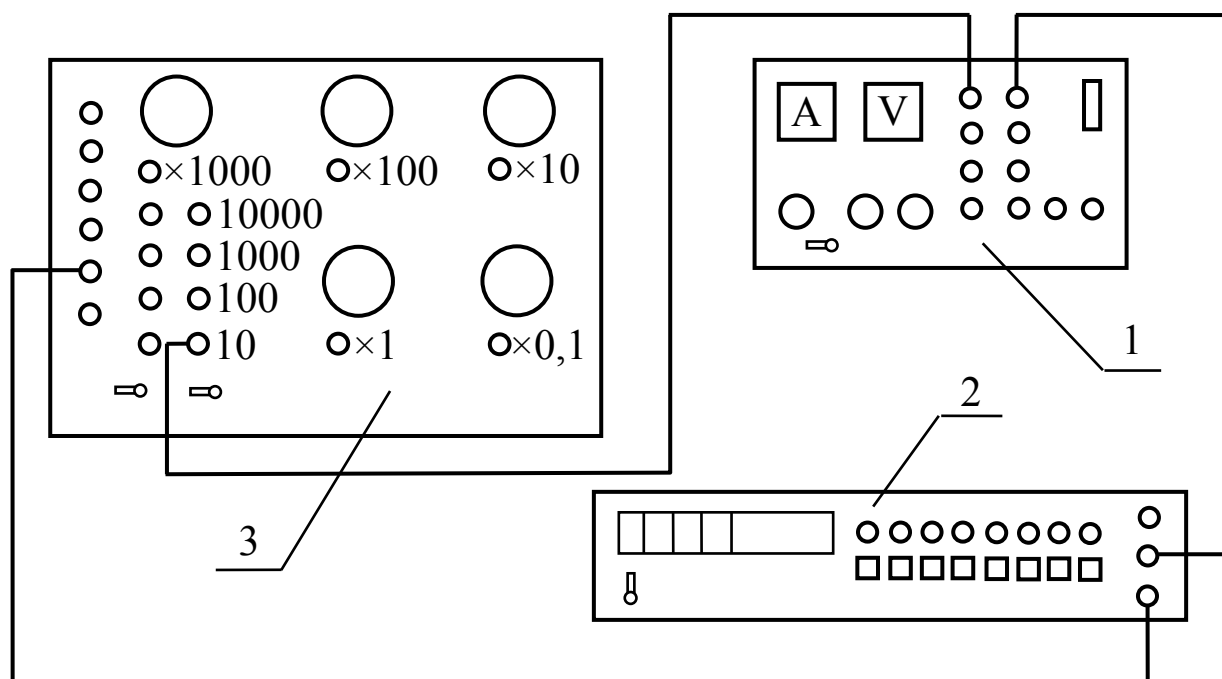


Рис. 3.1. Схема экспериментальной установки

### 3.4. Порядок выполнения работы

Определение коэффициента полезного действия источника тока

1. Вывести в крайнее левое положение ручку «регулировка тока» на источнике питания.

2. Подключить экспериментальную установку к сети с напряжением 220 В.

3. На измерительном приборе нажать кнопки « $I =$ » и «АВП». Кнопка « $I =$ » означает измерения постоянного тока, а кнопка «АВП» – автоматический выбор предела измерения.

4. Изменяя внешнее сопротивление от 10 до 50 Ом через 5 Ом, снять зависимость силы тока от этого сопротивления. Сопротивление

определяется по формуле  $R = 10 \text{ Ом} + R_{\text{маг}}$ , где  $R_{\text{маг}}$  устанавливается декадными переключателями (см. 3.3).

5. Результаты измерений занести в таблицу.

6. Выбрать из набора значений  $I(R)$  две пары  $I_1, R_1$  и  $I_2, R_2$  и, составив систему уравнений типа (2.7), решить ее относительно ЭДС  $\varepsilon$  и внутреннего сопротивления  $r$ . Результаты занести в таблицу.

7. Повторить п. 6 для других пар значений  $I$  и  $R$ , а также для третьих пар.

8. Усреднить полученные в пп. 6, 7 значения  $\varepsilon$  и  $r$  и оценить погрешность их определения.

9. Вычислить величины полезной мощности для всех пар значений силы тока и сопротивления нагрузки по формуле (2.20) и записать в таблицу.

10. Построить график зависимости  $P_{\text{полезн}}(R)$ .

11. По формуле (2.16) вычислить в каждом случае полную мощность и записать в соответствующий столбец таблицы.

12. Во всех случаях вычислить КПД ( $\eta$ ) по формуле (2.22) и записать в последний столбец таблицы.

13. Построить график зависимости  $\eta(R)$ .

Таблица

№	$R, \text{ Ом}$	$I, \text{ А}$	$\varepsilon, \text{ В}$	$r, \text{ Ом}$	$\Delta\varepsilon, \text{ В}$	$\Delta r, \text{ Ом}$	$P_{\text{полезн}}, \text{ Вт}$	$P_{\text{полн}}, \text{ Вт}$	$\eta, \%$
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									
7.									
8.									
9.									
10.									

#### 4. Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Номер, название и цель работы.
2. Краткий конспект теоретической части, включая расчетные формулы.

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

4. Графики зависимости полезной мощности от сопротивления внешней нагрузки и КПД источника от этого сопротивления.

5. Вывод по результатам проведенного эксперимента.

### **5. Контрольные вопросы**

1. Какие физические величины называются силой тока и плотностью тока?

2. Какие условия необходимы для поддержания тока в цепи?

3. Что называют ЭДС источника тока?

4. Что называется напряжением: а) на однородном участке цепи? б) на неоднородном участке цепи?

5. Как записывается закон Ома для замкнутой цепи?

6. Как сформулировать закон Джоуля-Ленца?

7. Что называется: а) мощностью тока, б) полезной мощностью, в) полной мощностью, г) мощностью потерь?

8. Что называется КПД источника тока?

9. Как выглядит зависимость КПД от сопротивления нагрузки?

### **Список литературы**

1. *Савельев И.В.* Курс физики. Т.2. – М.: Наука, 2007.

2. *Трофимова Т.И.* Курс физики. – М.: Академия, 2007.