



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

**Лабораторный практикум**  
«Исследование работы источника тока в  
замкнутой цепи»  
по дисциплине

**«Физика»**

Авторы  
Шкиль Т.В.,  
Мардасова И.В.,  
Беликова Т.С.

Ростов-на-Дону, 2018

## Аннотация

Указания содержат краткую теорию по теме «Постоянный электрический ток»; описание лабораторной установки и методику экспериментального исследования работы источника тока и его характеристик.

Методические указания предназначены для студентов инженерных специальностей всех форм обучения, в программу учебного курса которых входит выполнение лабораторных работ по физике (раздел «Электричество и магнетизм»).

## Авторы

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»

Шкиль Т. В.,

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»

Мардасова И. В.,

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»

Беликова Т. С.



## Оглавление

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э-8</b> .....                        | <b>4</b>  |
| ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА ТОКА В<br>ЗАМКНУТОЙ ЦЕПИ..... | 4         |
| <b>Литература</b> .....                                     | <b>11</b> |

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э-8

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА ТОКА В ЗАМКНУТОЙ ЦЕПИ

**Цель работы:** определить эдс источника тока и его внутреннее сопротивление; исследовать работу источника тока.

**Оборудование:** источник тока, амперметр и вольтметр, реостат, соединительные провода.

#### Краткая теория

*Источник тока* – устройство, внутри которого происходит непрерывное разделение разноименных зарядов и перенос их к соответствующим полюсам источника.

Очевидно, что разъединение разноименных зарядов происходит под действием сил неэлектростатического происхождения, которые называют сторонними силами.

*Сторонние силы* – это силы неэлектростатического происхождения, действующие на заряды внутри источников тока и поддерживающие разность потенциалов между полюсами.

Природа сторонних сил в различных источниках тока различна: в гальванических элементах эти силы возникают за счет энергии химической реакции между электродами и электролитом; в электрических генераторах работа сторонних сил совершается за счет механической энергии, затрачиваемой на вращение ротора генератора и т. д.

Сторонние силы, перемещая электрические заряды, совершают работу.

Физическая величина, равная работе сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда, называется электродвижущей силой (эдс), действующей в цепи или на ее участке:

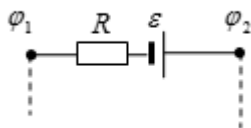


Рис. 1

$$\varepsilon = \frac{A_{cm}}{q}, \Rightarrow A_{cm} = q \cdot \varepsilon$$

Эта работа производится за счет энергии, затрачиваемой в источнике тока, поэтому величину  $\varepsilon$  называют *эдс источника тока*.

Рассмотрим некоторый участок цепи (рис. 1), содержащий эдс  $\varepsilon$ ;  $R$  – сопротивление участка,  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – разность потенциалов между его концами.

Работа по перемещению заряда  $q$  на этом участке со-

## Физика

вершается как кулоновскими, так и сторонними силами:

$$A = A_k + A_{cm}.$$

Как известно из электростатики, работа кулоновских сил при перемещении заряда из точки с потенциалом  $\varphi_1$  в точку с потенциалом  $\varphi_2$  определяется выражением

$$A_k = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Т.к.  $A_{cm} = q \cdot \varepsilon$ , следовательно  $A = q(\varphi_1 - \varphi_2) + q \cdot \varepsilon$ .

Физическая величина, равная работе, совершаемой электростатическими и сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда по некоторому участку цепи, называется напряжением на данном участке цепи:

$$U = \frac{A}{q}.$$

Участок цепи, на котором действуют сторонние силы, т.е. содержащий эдс, называется *неоднородным*.

$U = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon$  – напряжение на неоднородном участке цепи.

Участок цепи, на котором не действуют сторонние силы, т.е. не содержащий эдс, называется *однородным*.

$U = \varphi_1 - \varphi_2$  – напряжение на однородном участке цепи равно разности потенциалов между его концами.

В 1826 году немецкий ученый Георг Ом экспериментально установил, что сила тока  $I$ , текущего по однородному участку цепи, прямо пропорциональна напряжению на этом участке:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Т. к. для неоднородного участка

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon,$$

закон Ома для неоднородного участка цепи имеет вид:

$$I = \frac{U}{R_{12}} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon}{R_{12}},$$

где  $R_{12}$  – общее сопротивление участка, включая внутреннее сопротивление эдс  $r$ .

Если цепь замкнута (рис. 2),

$$\varphi_1 = \varphi_2, \quad \varphi_1 - \varphi_2 = 0, \quad R_{12} = R + r,$$

Физика

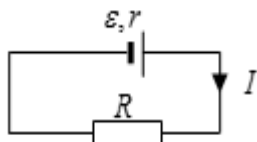


Рис. 2

где  $r$  – внутреннее сопротивление источника тока;  $R$  – внешнее сопротивление или сопротивление нагрузки.

Сила тока в замкнутой цепи, содержащей эдс, определяется законом Ома:

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r}. \quad (1)$$

Сила тока в замкнутой цепи прямо пропорциональна эдс источника тока и обратно пропорциональна сумме сопротивлений внутреннего и внешнего участков цепи.

Напряжение  $U$  на внешнем сопротивлении можно найти из закона Ома для однородного участка цепи:

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow U = IR. \quad (2)$$

Полная мощность источника тока определяется формулами

$$P = \varepsilon I = I^2(R+r) = \frac{\varepsilon^2}{R+r}, \quad (3)$$

а полезная мощность, т.е. мощность, расходуемая на нагрузке

$$P_n = UI = I^2 R = \frac{\varepsilon^2 R}{(R+r)^2}. \quad (4)$$

Поскольку  $\varepsilon$  и  $r$  для источника тока являются постоянными величинами,  $P_n$  является функцией внешнего сопротивления,  $P_n = f(R)$ .

Для выяснения условия, при котором  $P_n$  будет максимальной, исследуем функцию (4) на экстремум:

$$\begin{aligned} \frac{dP_n}{dR} &= 0. \\ \frac{dP_n}{dR} &= \frac{\varepsilon^2(R+r-2R)}{(R+r)^3}, \\ R+r-2R &= 0 \Rightarrow R=r, \end{aligned} \quad (5)$$

т. е. полезная мощность  $P_n$  максимальна, если внешнее сопротивление равно внутреннему сопротивлению источника тока.

В этом случае, в соответствии с формулой (4),

## Физика

$$P_{n \max} = \frac{\varepsilon^2}{4R} = \frac{\varepsilon^2}{4r}. \quad (6)$$

Важной энергетической характеристикой источника тока является его коэффициент полезного действия – КПД, равный отношению полезной мощности  $P_n$  к его полной мощности  $P$ :

$$\eta = \frac{P_n}{P}. \quad (7)$$

Фактически,  $\eta$  есть доля общей мощности источника тока, отдаваемая на нагрузку. В соответствии с (3) и (4),

$$\eta = \frac{I^2 R}{I^2 (R + r)} = \frac{R}{R + r}. \quad (8)$$

Если полезная мощность максимальна, согласно (5)

$$\eta = \frac{R}{R + R} = 0,5. \quad (9)$$

Если внешнее сопротивление  $R = 0$ , в цепи возникает короткое замыкание, ток источника резко возрастает и достигает своей максимальной величины; согласно (1)

$$I_{к.з.} = \frac{\varepsilon}{r}.$$

При эксплуатации источников тока такая ситуация недопустима.

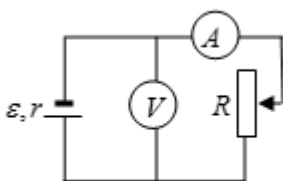


Рис. 3

Значения  $\varepsilon$  и  $r$  можно определить экспериментально, используя схему, приведенную на рис. 3. В качестве изменяющегося внешнего сопротивления используется реостат.

Для двух различных значений сопротивления реостата  $R_i$  и  $R_k$  согласно (1) и (2) можно записать:

$$\varepsilon = I_i (R_i + r) = I_i R_i + I_i r = U_i + I_i r, \quad (10)$$

$$\varepsilon = I_k (R_k + r) = I_k R_k + I_k r = U_k + I_k r. \quad (11)$$

Приравняв правые части выражений (10) и (11), получим формулу для нахождения величины  $r$ :

$$U_i + I_i r = U_k + I_k r,$$

$$U_i - U_k = r(I_k - I_i) \Rightarrow r = \frac{U_i - U_k}{I_k - I_i}. \quad (12)$$

Зная  $r$ , величину  $\varepsilon$  можно найти из соотношения (10):

$$\varepsilon = U_i + I_i r. \quad (13)$$

### Порядок выполнения работы

Экспериментальная установка (рис. 3) состоит из источника питания  $\varepsilon$ , амперметра  $A$ , вольтметра  $V$  и реостата  $R$ .

1. Подключить электрическую цепь к источнику тока.
2. С помощью реостата установить на амперметре первое значение силы тока (по указанию преподавателя) и определить по вольтметру соответствующее значение напряжения; показания приборов записать в табл. 1
3. Постепенно увеличивая силу тока с определенным интервалом (по указанию преподавателя), повторить п. 2 10 раз.
4. Отключить источник тока.

**Задание 1.** Определение внутреннего сопротивления  $r$  и ЭДС источника тока  $\varepsilon$ .

1. Используя различные пары соответствующих друг другу значений  $I$  и  $U$  (номера  $i$  и  $k$  указаны в табл. 2), рассчитать по формулам (12) и (13) значения  $r$  и  $\varepsilon$ , записать их в табл. 2. Например,  $i = 1, k = 4, r = \frac{U_4 - U_1}{I_1 - I_4}$ ,

$$\varepsilon = U_1 + I_1 r.$$

2. Вычислить и записать в табл. 2

$$\langle r \rangle = \frac{r_1 + r_2 + \dots + r_n}{n}, \quad \Delta r_i = |\langle r \rangle - r_i|,$$

$$\langle \Delta r \rangle = \frac{\Delta r_1 + \Delta r_2 + \dots + \Delta r_n}{n}, \quad \delta r = \frac{\langle \Delta r \rangle}{\langle r \rangle} \cdot 100\%.$$

3. Записать окончательный результат в виде  $r = \langle r \rangle \pm \langle \Delta r \rangle$ .
4. Вычислить и записать в табл. 2

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n}{n}, \quad \Delta \varepsilon_i = |\langle \varepsilon \rangle - \varepsilon_i|,$$



## Физика

$$\langle \Delta \varepsilon \rangle = \frac{\Delta \varepsilon_1 + \Delta \varepsilon_2 + K + \Delta \varepsilon_n}{n}, \quad \delta \varepsilon = \frac{\langle \Delta \varepsilon \rangle}{\langle \varepsilon \rangle} \cdot 100\%.$$

5. Записать окончательный результат в виде  $\varepsilon = \langle \varepsilon \rangle \pm \langle \Delta \varepsilon \rangle$ .

**Задание 2.** Исследование работы источника тока.

1. Используя данные табл. 1 и средние значения  $\langle \varepsilon \rangle$  и  $\langle r \rangle$ , для каждого значения  $I$  вычислить и записать в табл. 1:

а) внешнее сопротивление  $R = \frac{U}{I}$ ;

б) полную мощность  $P = \langle \varepsilon \rangle I$ ;

в) полезную мощность  $P_n = UI$ ;

г) коэффициент полезного действия  $\eta = \frac{U}{\langle \varepsilon \rangle}$ .

2. На одном чертеже построить графики зависимостей  $P_n = f(R)$ ;  $\eta = f(R)$ .

3. По графику определить значение максимальной полезной мощности  $P_{n \max}$  и соответствующие ей значения  $R$  и  $\eta$ ; данные занести в табл. 3.

4. Записать в табл. 3 рассчитанные теоретически по формулам (6), (5) и (9) значения этих величин:

$$P_{n \max} = \frac{\langle \varepsilon \rangle^2}{4 \langle r \rangle}; \quad R = \langle r \rangle, \quad \eta = 0,5.$$

5. Оценить погрешность эксперимента:

$$\delta P_{n \max} = \frac{|P_T - P_{\text{э}}|}{P_T} \cdot 100\%; \quad \delta R = \frac{|R_T - R_{\text{э}}|}{R_T} \cdot 100\%;$$

$$\delta \eta = \frac{|\eta_T - \eta_{\text{э}}|}{\eta_T} \cdot 100\%.$$

6. Рассчитать силу тока короткого замыкания для исследуемого источника тока:  $I_{\text{к.з.}} = \frac{\langle \varepsilon \rangle}{\langle r \rangle}$ .

**Таблица 1**

| №  | $I, A$ | $U, B$ | $R, Ом$ | $P, Вт$ | $P_{\text{п}}, Вт$ | $\eta$ |
|----|--------|--------|---------|---------|--------------------|--------|
| 1  |        |        |         |         |                    |        |
| 2  |        |        |         |         |                    |        |
| 3  |        |        |         |         |                    |        |
| 4  |        |        |         |         |                    |        |
| 5  |        |        |         |         |                    |        |
| 6  |        |        |         |         |                    |        |
| 7  |        |        |         |         |                    |        |
| 8  |        |        |         |         |                    |        |
| 9  |        |        |         |         |                    |        |
| 10 |        |        |         |         |                    |        |

**Таблица 2**

| №       | Номера $i$ и $k$ | $r, Ом$ | $\Delta r, Ом$ | $\delta r, \%$ | $\varepsilon, B$ | $\Delta \varepsilon, B$ | $\delta \varepsilon, \%$ |
|---------|------------------|---------|----------------|----------------|------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1       | 1; 4             |         |                | X              |                  |                         | X                        |
| 2       | 2; 5             |         |                |                |                  |                         |                          |
| 3       | 3; 6             |         |                |                |                  |                         |                          |
| 4       | 4; 7             |         |                |                |                  |                         |                          |
| 5       | 5; 8             |         |                |                |                  |                         |                          |
| среднее |                  |         |                |                |                  |                         |                          |

**Таблица 3**

|                        | Экспериментальное значение | Теоретическое значение | Относительная погрешность, % |
|------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------------|
| $P_{\text{полез}}, Вт$ |                            |                        |                              |
| $R, Ом$                |                            |                        |                              |
| $\eta$                 |                            |                        |                              |

### Контрольные вопросы

1. Что представляет собой электрический ток?
2. Что называется силой тока?
3. Что называется эдс источника тока? В каких единицах она измеряется?
4. Какие силы называются сторонними?
5. Запишите и сформулируйте закон Ома для однородного участка цепи и замкнутой цепи.
6. Как определяется сила тока короткого замыкания?
7. Чему равна полная мощность источника тока? Полезная мощность?
8. Как определяется КПД источника тока? В чем заключается его физический смысл?
9. При каком условии полезная мощность источника тока

максимальна и чему равен при этом КПД?

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Т. И. Трофимова, «Курс физики», – М: Академия, 2013 г.