

## Лабораторная работа № 3.4

### ЗАКОН ОМА ДЛЯ НЕОДНОРОДНОГО УЧАСТКА ЦЕПИ

#### 3.4.1. Цель работы

Целью работы является знакомство с компьютерным моделированием цепей постоянного тока и экспериментальное подтверждение закона Ома для неоднородного участка цепи.

#### 3.4.2. Краткая теория

*Электрический ток* – это направленное движение электрических зарядов.

*Сила тока* – скалярная физическая величина, численно равная заряду, перенесённому через поперечное сечение проводника в единицу времени,

$$I = \frac{dq}{dt}. \quad (3.4.1)$$

*Однородный участок цепи* – такой участок, где на свободные электрические заряды действуют только силы электрического поля.

*Закон Ома для однородного участка цепи в интегральной форме:* сила тока, текущего по однородному металлическому проводнику, прямо пропорциональна разности потенциалов на концах участка и обратно пропорциональна сопротивлению проводника  $R$ .

$$I = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R}. \quad (3.4.2)$$

*Удельное сопротивление*  $\rho$  – это сопротивление проводника длиной 1 м и площадью сечения 1 м<sup>2</sup>.

$$R = \rho \frac{l}{S}. \quad (3.4.3)$$

*Закон Ома для однородного участка цепи в дифференциальной форме:* плотность тока  $\vec{j}$  в данной точке проводника пропорциональна напряжённости  $\vec{E}$  электрического поля в этой же точке

$$\vec{j} = \frac{\vec{E}}{\rho}. \quad (3.4.4)$$

*Резистором* называется устройство, обладающее заданным постоянным сопротивлением.

*Реостатом* называется переменное сопротивление.

*Неоднородный участок цепи* – такой участок, где на свободные электрические заряды одновременно действуют как силы электрического поля, так и сторонние силы.

Сторонние силы – силы, разделяющие заряды в проводниках.

На рис. 3.4.1 изображен неоднородный участок цепи (содержит источник тока).

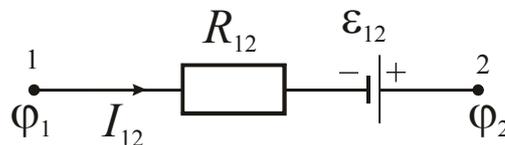


Рис. 3.4.1. Неоднородный участок цепи

По закону Ома для неоднородного участка цепи, сила тока прямо пропорциональна напряжению на этом участке и обратно пропорциональна его полному сопротивлению:

$$I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12})}{R} = \frac{U_{12}}{R}, \quad (3.4.5)$$

где  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – потенциалы концов участка;

$\varepsilon_{12}$  – ЭДС, действующая на данном участке;

$U_{12}$  – напряжение на участке 1–2;

$R$  – полное сопротивление цепи.

Разность потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2$  характеризует работу силы электрического поля по переносу единичного положительного заряда из точки 1 в точку 2.

ЭДС характеризует работу сторонних сил по переносу единичного положительного заряда из точки 1 в точку 2.

Совместную работу сил электрического поля и сторонних сил на участке цепи 1–2 характеризуют напряжением на этом участке  $U_{12}$ .

Применяя закон Ома для неоднородного участка цепи, необходимо помнить о *правиле выбора знаков*: произведение  $IR$  следует брать со знаком «+», если направление обхода совпадает с направлением тока на этом участке; ЭДС  $\varepsilon_{12}$  будет иметь знак «+», если её направление (от минуса к плюсу) совпадает с направлением обхода. При этом надо иметь в виду, что вольтметр, подключённый к концам любого участка цепи, будет показывать разность потенциалов между точками подключения прибора, направление отклонения стрелки прибора будет определяться параметрами внешней цепи.

Таким образом, закон Ома для полной цепи можно записать в виде:

$$I = \frac{\pm V + \varepsilon_{12}}{R + r}, \quad (3.4.6)$$

где  $r$  – внутреннее сопротивление источника тока;

$V$  – показание вольтметра.

### 3.4.3. Порядок выполнения работы

Запустите программу «Открытая физика 1.1». Выберите «Электричество и магнетизм» и «Цепи постоянного тока». Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

В данной лабораторной работе изучается модель электрической цепи, содержащей на одном из своих участков источник электродвижущей силы (ЭДС). На этом участке, в зависимости от соотношений между параметрами цепи, разность потенциалов между его крайними точками может менять знак, переходя через 0.

1. Соберите на экране опыта замкнутую цепь, показанную на рис. 3.4.2. В компьютерной модели ЭДС источников тока обозначены буквой  $E$ , а в теоретической части –  $\varepsilon$ .

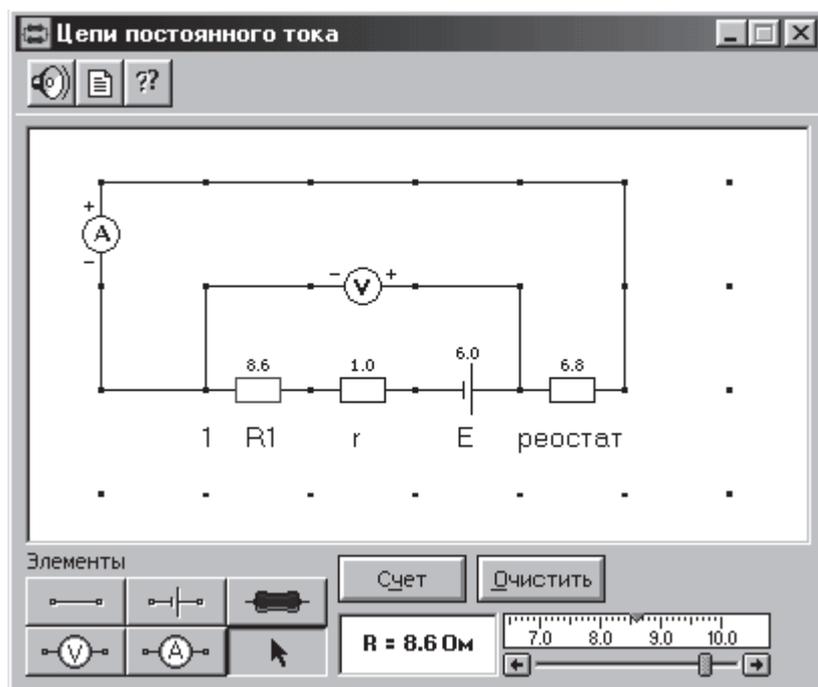


Рис. 3.4.2. Замкнутая цепь с одним источником ЭДС

Для этого сначала щелкните левой кнопкой мыши на кнопке ЭДС  в нижней части экрана. Переместите маркер мыши на рабочую часть экрана, где расположены точки. Щелкните левой кнопкой мыши между точками, где должен быть расположен источник ЭДС.

Разместите далее последовательно с источником резисторы, выполняющие функции его внутреннего сопротивления  $r$  и сопротивления неоднородного участка  $R_1$  (нажав предварительно кнопку  в нижней части экрана), и амперметр (кнопка  там же). Затем расположите резистор нагрузки (реостат) и последовательно соединенный с ним амперметр. Над участком цепи расположите вольтметр , измеряющий разность потенциалов на этом неоднородном участке цепи.

Соедините все указанные приборы в замкнутую цепь. Для этого нажмите кнопку соединительного провода  внизу экрана, после чего переместите маркер мыши в рабочую зону схемы. Щелкайте левой кнопкой мыши между точками в необходимых местах рабочей зоны и сформируйте замкнутую цепь (см. рис. 3.4.2).

2. Установите заданные значения электродвижущей силы  $E_1$ , сопротивлений  $R_1$  и  $r$ . Для этого щелкните левой кнопкой мыши по кнопке со стрелкой . Затем щелкните на нужном элементе. Подведите маркер мыши к движку появившегося регулятора, нажмите на левую кнопку мыши и, удерживая ее в нажатом состоянии, установите значения, указанные в табл. 3.4.1 для вашей бригады. Запишите установленные значения в табл. 3.4.2.

3. Заполните таблицу регулируемых величин (см. с. 6).

4. Установите сопротивление реостата  $R = 1$  Ом. Щелкните мышью по кнопке «Счет» и запишите в табл. 3.4.2 показания амперметра  $A$  (сила тока  $I$ ) и вольтметра  $V$  (разность потенциалов  $V$ ).

5. Увеличивая сопротивление реостата  $R$  каждый раз на 1 Ом, повторите измерения силы тока и разности потенциалов по п. 4 и заполните табл. 3.4.2.

6. Включите в схему второй источник тока, как показано на рис. 3.4.3, установите значение  $E_2$ , соответствующее номеру вашей бригады (см. табл. 3.4.1), и запишите его в табл. 3.4.3.

7. Проведите на второй схеме все измерения по пунктам 4, 5.

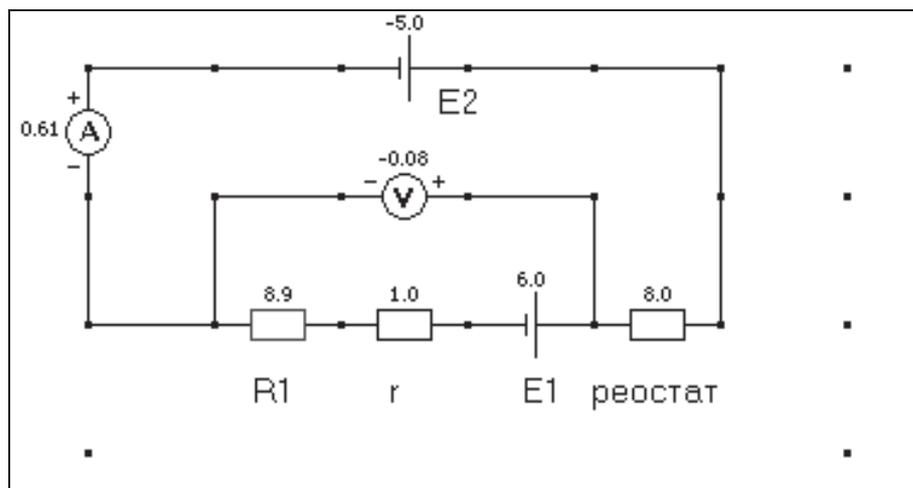


Рис. 3.4.3. Замкнутая цепь с двумя источниками ЭДС

Таблица 3.4.1

**Значения ЭДС ( $E_1$  и  $E_2$ ), внутреннего сопротивления источника ( $r$ ) и  $R_1$**

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
$E_1$ , В	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
$E_2$ , В	-2,5	-3,5	-4,0	-3,5	-3,0	-4,5	-5,0	-5,5
$r$ , Ом	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
$R_1$ , Ом	8,0	7,5	7,0	6,5	8,5	9,0	9,5	10,0

Таблица 3.4.2

**Результаты измерений**

Номер измерения	$E_1 = \underline{\hspace{1cm}}$ В, $R_1 = \underline{\hspace{1cm}}$ Ом, $r = \underline{\hspace{1cm}}$ Ом			$E_1 = \underline{\hspace{1cm}}$ В, $E_2 = \underline{\hspace{1cm}}$ В, $R_1 = \underline{\hspace{1cm}}$ Ом, $r = \underline{\hspace{1cm}}$ Ом		
	$R$ , Ом	$U$ , В	$I$ , А	$R$ , Ом	$U$ , В	$I$ , А
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

### 3.4.4. Обработка результатов измерений

1. Постройте график зависимости показаний вольтметра  $V$  (ось ординат) от силы тока  $I$  (ось абсцисс) для первой и второй схем.

2. Продолжите оба графика до пересечения с осью ординат и определите экспериментальное значение ЭДС ( $E_1$ ) источника тока ( $E_1 = V$ , если  $I = 0$ ). Сравните полученное значение со значением, указанным в табл. 3.4.1 для вашей бригады.

3. По тангенсу угла наклона прямой (см. с. 7) определите полное сопротивление участка для двух схем по формуле

$$R_1 + r = \frac{\Delta V}{\Delta I} \quad (3.4.7)$$

и сравните полученные значения со значениями, заданными в табл. 3.4.1.

4. Рассчитайте среднюю абсолютную и относительную погрешности измерений ЭДС полного сопротивления ( $R_1 + r$ ) и запишите окончательный результат (см. с. 8).

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется электрическим током?
2. Что такое сила тока?
3. Какой участок цепи называется однородным и неоднородным?
4. Сформулируйте и запишите закон Ома для однородного участка цепи в интегральной форме.
5. Сформулируйте закон Ома для однородного участка цепи в дифференциальной форме.
6. Что называется удельным сопротивлением проводника?
7. Что называется сторонней силой? Какова её природа?
8. Закон Ома для неоднородного участка цепи.
9. Дайте определение понятий: разность потенциалов, ЭДС источника тока, напряжение на участке цепи.