

## Лабораторная работа № 3

### ИЗУЧЕНИЕ ОБОБЩЁННОГО ЗАКОНА ОМА И ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ МЕТОДОМ КОМПЕНСАЦИИ

**Цель работы:** изучение зависимости разности потенциалов на участке цепи, содержащем ЭДС, от силы тока; расчёт ЭДС и полного сопротивления этого участка.

#### Теоретические положения

Для того чтобы поддерживать движение электрических зарядов в течение длительного времени, необходимо, кроме электрического поля, наличие в цепи сторонних полей. Сторонние поля действуют на носители тока внутри источников электрической энергии (гальванических элементов аккумуляторов, электрических генераторов и т.п.).

Для электрического и сторонних полей вводятся силовая и энергетическая характеристики. Силовыми характеристиками являются векторы напряжённости  $\vec{E}_{эл}$  и  $\vec{E}_{стор}$ .

Направление вектора напряжённости поля совпадает с направлением соответствующей силы, действующей на положительный заряд. Величина напряжённости численно равна отношению силы к величине заряда:

$$\vec{E}_{эл} = \frac{\vec{F}_{эл}}{q}, \quad \vec{E}_{стор} = \frac{\vec{F}_{стор}}{q}.$$

Энергетической характеристикой электростатического поля является разность потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2$ , стороннего поля — электродвижущая сила  $E$ . Величина разности потенциалов равна отношению работы силы электростатического поля  $A_{эл}$  при перемещении малого точечного заряда  $q$  из первой точки участка цепи во вторую к величине перемещаемого заряда, величина ЭДС - аналогична отношению работы силы стороннего поля  $A_{стор}$  величине  $q$ :

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{эл}}{q}, \quad E = \frac{A_{стор}}{q}$$

Между силовыми и энергетическими характеристиками электростатического и стороннего полей имеются сходные интегральные соотношения

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E}_{\text{эл}} d\vec{l}, \quad E = \int_1^2 \vec{E}_{\text{стор}} d\vec{l}$$

Величина, численно равная суммарной работе, совершаемой электростатическими и сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда по участку цепи, называется напряжением  $U$  на этом участке цепи и равна  $U_{1-2} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \sum E_i$ , где знак каждой ЭДС принимается положительным, если направление обхода от точки 1 к точке 2 (рис.1.) соответствует перемещению внутри источника  $E_i$  от знака "-" (катод) к знаку "+" (анод).

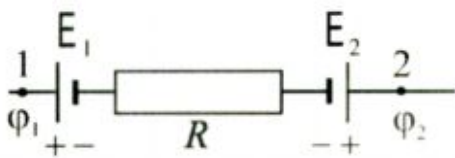


Рис1.

В противном случае - отрицательным. Таким образом, на рис.1.  $E_1$  будет отрицательной, а  $E_2$  - положительной.

Если использовать определение напряжения  $u = IR_{\Pi}$  где  $I$  — сила тока в цепи,  $R_{\Pi}$  - полное сопротивление участка, включающее внутреннее сопротивление источника ЭДС на этом участке, то закон Ома принимает вид

$$IR_{\Pi} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \sum E_i \quad (3.1)$$

Выражение (3.1) называют обобщённым законом Ома или законом Ома для неоднородного участка цепи.

Участок цепи, в пределах которого не действуют сторонние силы, называется однородным, напряжение на нём равно  $U_{1-2} = \varphi_1 - \varphi_2$ , т. е. напряжение совпадает с разностью потенциалов.

За направление электрического тока принимают направление перемещения положительных зарядов. Произведение  $IR_{\Pi}$  берётся положительным, если направление тока совпадает с направлением обхода контура.

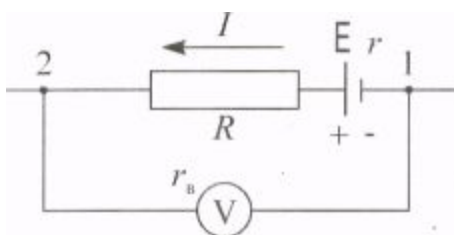


Рис2.

Применим обобщённый закон Ома к участку цепи, изображённому на рис.2. При решении задач с использованием обобщённого закона Ома направление тока, а также направление обхода контура выбираются произвольно. Выберем условно положительное направление тока, как показано на

рисунке, и направление обхода от точки 1 к точке 2. Тогда для участка цепи 1 - E - R - 2 получим

$$I(R + r) = (\varphi_1 - \varphi_2) + E \quad (3.2)$$

Обобщённый закон Ома, применённый к участку 1 - V - 2 (обход через вольтметр), имеет вид

$$I_B r_B = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (3.3)$$

где  $I_B$  - ток, проходящий через вольтметр,  $r_B$  — сопротивление вольтметра. Но произведение  $I_B r_B$  - это показание вольтметра, следовательно, показание вольтметра, подключенного к концам любого участка цепи, всегда равно разности потенциалов между точками подключения прибора.

Из выражения (3.2), обозначив полное сопротивление участка  $R + r$  через  $R_{\Pi}$ , получим

$$\varphi_1 - \varphi_2 = IR_{\Pi} - E$$

$$\text{или} \quad \varphi_2 - \varphi_1 = E - IR_{\Pi} \quad (3.4)$$

Выражение (3.4) представляет собой уравнение прямой в координатах ( $\varphi_2 - \varphi_1$  -  $I$ ), изображённой на рис. 3.3.

Из (3.4) следует, что если сила тока в цепи равна нулю, то разность потенциалов ЭДС источника, включённого в рассматриваемый участок,

$$\varphi_2 - \varphi_1 = E,$$

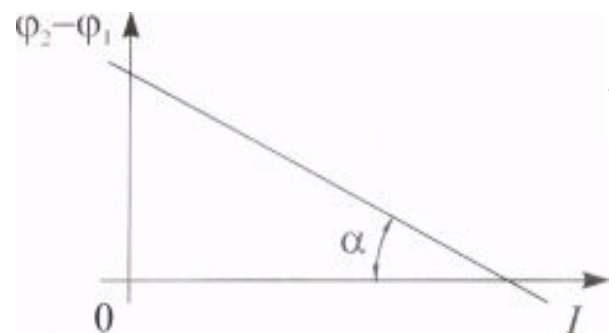


Рис.3.

а полное сопротивление участка цепи 1 - 2 равно тангенсу угла  $\alpha$  наклона прямой (см. рис.3.):  $R = \operatorname{tg} \alpha$ .

## Описание установки и методики измерений

Схема лабораторной установки приведена на рис.4. В состав установки входят лабораторный модуль, источники питания ИП1 и ИП2, а также два цифровых мультиметра марки MAS830, используемых в качестве вольтметра и миллиамперметра.

На лицевой панели лабораторного модуля изображена электрическая схема установки (рис.5.) и расположены гнёзда для подключения измерительных приборов. К панели также подведены два гибких вывода, с помощью которых можно подключать с различной полярностью ИП1 с ЭДС  $E_1$  к исследуемому контуру.



Рис.4.

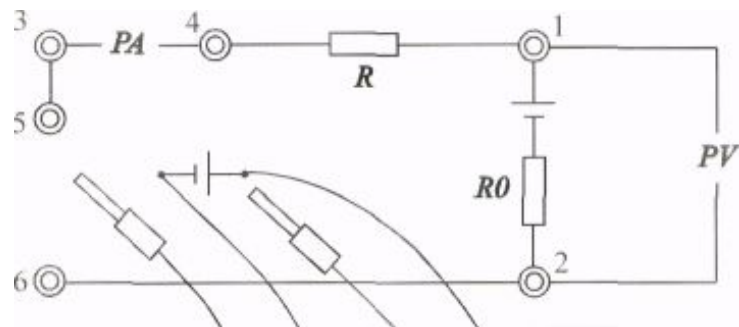


Рис.5.

Будем считать, что величина внешней регулируемой ЭДС  $E_1$  всегда известна, а постоянная величина  $E_2$ , создаваемая источником ИП2, неизвестна, как и сопротивление участка 1-2. Определим их.

Выберем направление обхода контура от точки 1 к точке 2 (см. рис.5.), а за положительное направление тока примем направление от точки 2 к точке 1, тогда в соответствии с обобщённым законом Ома для участка цепи можно записать

$$(\varphi_1 - \varphi_2) - E_2 = -IR_0 \text{ или } \varphi_1 - \varphi_2 = E_2 - IR_0 \quad (3.5)$$

а для замкнутой цепи

$$I(R + R_0) = E_2 \pm E_1 \quad (3.6)$$

Здесь знак "+" будет при согласном подключении  $E_2$  и  $E_1$ , а знак "-" при встречном.

Из (3.6) может быть найдено выражение для величины тока в цепи

$$I = \frac{E_2 + E_1}{R + R_0} \quad (3.7)$$

Как видно из (3.7), изменяя величину  $E_1$ , можно изменять и силу тока. При согласном включении  $E_2$  и  $E_1$  сила тока  $I$  растёт с ростом  $E_1$ . Из (3.5) видно, что разность

потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2$  при этом линейно уменьшается и может достигнуть нулевого значения. При дальнейшем росте тока разность потенциалов на концах участка меняет знак на противоположный.

Если  $E_1$  включена навстречу  $E_2$ , величина тока  $I$  уменьшается с ростом  $E_1$  и при  $E_2 = E_1$  становится равной нулю. При этом согласно (3.5)  $\varphi_1 - \varphi_2 = E_2$ , т. е. в момент компенсации тока вольтметр измеряет величину  $E_2$ . Вольтметр покажет положительное значение  $E_2$ , т. к.  $\varphi_2 > \varphi_1$ , а к точке 2 присоединена положительная клемма вольтметра. Дальнейший рост  $E_1$ , приводит к изменению направления тока в цепи.

### Порядок выполнения работы

1. Собрать схему лабораторной установки (см. рис.4.). Источник с ЭДС  $E_1$  через разъёмы 5,6 включить встречно источнику с ЭДС  $E_2$  (рис.6,а). Вольтметр подключить к разъёмам 1,2 (20 V), а миллиамперметр к разъёмам 3,4 (20mA).

2. Подключить к сети лабораторный модуль и источники питания. Включить измерительные приборы.

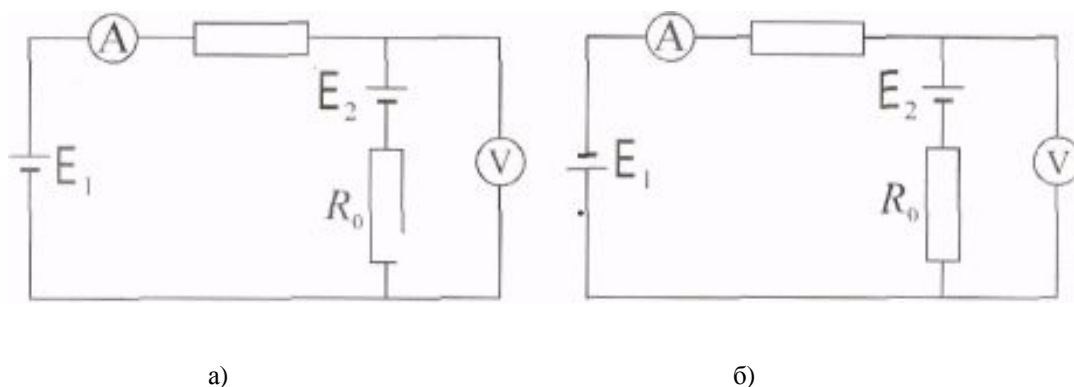


Рис.4.

3. Установить напряжение источника питания ИП2 с ЭДС  $E_2$ , равное 5 В.

4. Установить напряжение источника питания ИП1 с ЭДС  $E_1$ , равное 3 В. Изменяя напряжение  $E_1$  в пределах 3-8 В с интервалом в 1 В, измерить значения тока и разности потенциалов на участке  $E_2 - R_0$ . Занести результаты измерений в табл. 3.1.

Таблица 3.1

№	Встречное включение $E_1$ и $E_2$		Согласное включение $E_1$ и $E_2$	
	$I, \text{мА}$	$\varphi_1 - \varphi_2, \text{В}$	$I, \text{мА}$	$\varphi_1 - \varphi_2, \text{В}$
1				
..				
n				

5. Источник с ЭДС  $E_1$ , включить согласно источнику с ЭДС  $E_2$  (рис. 3.6, б) и проделать измерения п. 4. При записи показаний измерительных приборов следует учитывать знаки соответствующих величин.

### Обработка результатов измерений

1. Используя данные табл. (3.1), построить зависимость  $\varphi_1 - \varphi_2 = f(I)$  (рис.7.).

2. Выделить пунктирными линиями на графике полосу разброса экспериментальных данных.

3. Определить из графика значение разности потенциалов  $\Delta(\varphi_1 - \varphi_2)$ ,

соответствующее значению  $I = 0$ , а также ток  $I_K$  при условии  $\Delta(\varphi_1 - \varphi_2) = 0$ .

4. Рассчитать значение сопротивления  $R_t$  по формуле

$$R_0 = \frac{\Delta(\varphi_1 - \varphi_2)}{I_K} = \text{tg} \alpha .$$

5. Определить из графика значения погрешностей определения тока  $\Delta I$  и разности потенциалов  $\Delta \varphi$ .

6. Сравнить значение  $\Delta(\varphi_1 - \varphi_2)$  со значением  $E_2$ , проверив соотношение

$$(\varphi_1 - \varphi_2) - \Delta \varphi \leq E_2 \leq (\varphi_1 - \varphi_2) + \Delta \varphi .$$

### Контрольные вопросы

1. Каков физический смысл ЭДС? В каких единицах измеряется ЭДС?

2. В чём сущность измерения ЭДС методом компенсации?

3. Какой физический смысл имеет электрический потенциал?

4. Какое направление принимают за положительное направление тока

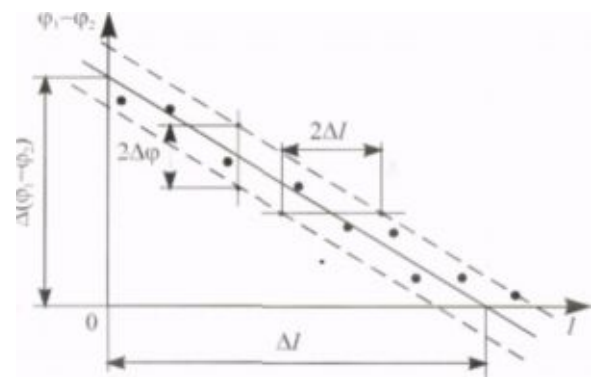


Рис.7.

в цепи?

5. Как определяется знак ЭДС при расчёте электрических цепей?

### **Лабораторная работа №3 Обобщённый закон Ома**

Состав работы:

- лабораторный модуль 1 шт.
- источник питания типа «Марс» 2 шт.
- микромультиметр типа «MAS 830B» 2 шт.

Параметры работы:

- напряжение источника питания E1 5 В.
- напряжение источника питания E2 0 — 10 В.

Примечание: белый провод от модуля подсоединяется к однополюсной розетке источника со знаком " + ".