

### Лабораторная работа № 3

## Изучение обобщённого закона Ома и измерение электродвижущей силы методом компенсации

### ЦЕЛИ РАБОТЫ

1. Изучение зависимости разности потенциалов на участке цепи, содержащем ЭДС, от силы тока;
2. Расчёт ЭДС и полного сопротивления этого участка.

### ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

1. Лабораторный модуль
2. Источник питания типа «Марс» (2 шт.)
3. Мультиметр (2 шт.)

**Примечание:** белый провод от модуля подсоединяется к однополюсной розетке источника со знаком «+».

### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Энергетической характеристикой электростатического поля является **разность потенциалов**  $\varphi_1 - \varphi_2$ , стороннего поля – **электродвижущая сила**  $\mathcal{E}$  (ЭДС).

**Разность потенциалов**  $\varphi_1 - \varphi_2$  – величина, равная отношению работы силы электростатического поля  $A_{эл.стат.}$  при перемещении единичного точечного заряда  $q$  из первой точки участка цепи во вторую к величине перемещаемого заряда.

**ЭДС**  $\mathcal{E}$  (**электродвижущая сила**) – величина, равная отношению работы силы стороннего поля  $A_{сторон.}$  к величине  $q$ .

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{\text{эл.стат}}}{q}; \quad \varepsilon = \frac{A_{\text{сторон}}}{q} \quad (1)$$

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

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \mathbf{E}_{\text{эл.стат}} d\mathbf{l}; \quad \varepsilon = \int_1^2 \mathbf{E}_{\text{сторон}} d\mathbf{l}$$

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

$$U = (\varphi_1 - \varphi_2) + \sum \varepsilon_i \quad (2)$$

Выразим напряжение из закона Ома

$$U = IR_n,$$

где  $I$  – сила тока в цепи,

$R_n$  – полное сопротивление участка, включающее внутреннее сопротивление  $r$  источника ЭДС на этом участке.

Тогда закон Ома принимает вид

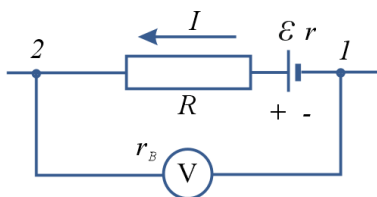
$$IR_n = (\varphi_1 - \varphi_2) + \sum \varepsilon_i \quad (3)$$

Выражение (3) 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  $U = (\varphi_1 - \varphi_2)$ , т. е. напряжение совпадает с разностью потенциалов.

За **направление электрического тока** принимают направление перемещения положительных зарядов. Произведение  $IR_n$  берётся положительным, если направление тока совпадает с *направлением обхода контура*.

Применим обобщённый закон Ома к участку цепи, изображённому на **рис. 1**. При решении задач с использованием обобщённого закона Ома направление тока, а так же направление обхода контура выбираются произвольно.



**Рис. 1.**

Выберем условно положительное направление тока, как показано на рисунке, и направление обхода от *точки 1 к точке 2*.

Тогда для участка цепи  $1-\varepsilon-R-2$  получим

$$I(R + r) = (\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon \quad (4)$$

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

$$I_B r_B = (\varphi_1 - \varphi_2), \quad (5)$$

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.

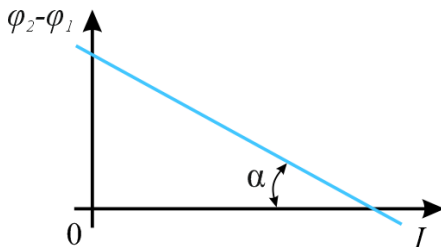
Из выражения (4), обозначив полное сопротивление участка  $R + r$  через  $R_n$ , получим

$$\varphi_1 - \varphi_2 = IR_n - \varepsilon \quad \text{или} \quad \varphi_1 - \varphi_2 = \varepsilon - IR_n \quad (6)$$

Выражение (6) представляет собой уравнение прямой в координатах  $(\varphi_1 - \varphi_2, I)$ , изображённой на **рис. 2**.

Из (6) следует, что если сила тока в цепи равна нулю, то разность потенциалов ЭДС источника, включённого в рассматриваемый участок,  $\varphi_1 - \varphi_2 = \varepsilon$ , а полное сопротивление участка цепи  $1-2$  равно тангенсу угла  $\alpha$  наклона прямой (**рис. 2**):

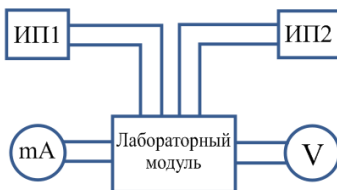
$$R = \operatorname{tg} \alpha$$



**Рис.2**

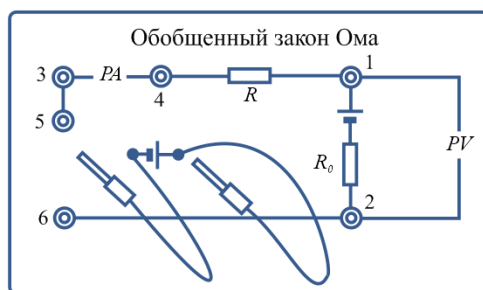
### ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ

Схема лабораторной установки приведена на **рис. 3 и 4**. В состав установки входят лабораторный модуль, источники питания *ИП1* и *ИП2*, а также два цифровых мультиметра марки М-92А, используемых в качестве вольтметра и миллиамперметра.



**Рис.3.** Принципиальная схема установки

На лицевой панели лабораторного модуля изображена электрическая схема установки (рис. 4) 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  $\varepsilon_1$  к исследуемому контуру.



**Рис.4.** Лицевая панель лабораторного модуля

Будем считать, что величина внешней регулируемой ЭДС  $\varepsilon_1$  всегда известна, а постоянная величина  $\varepsilon_2$ , создаваемая источником *ИП2*, неизвестна, как и сопротивление участка 1–2. Определим их.

Выберем направление обхода контура от *точки 1* к *точке 2* (рис.4), 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

$$(\varphi_1 - \varphi_2) - \varepsilon_2 = -IR_0 \quad \text{или} \quad (\varphi_1 - \varphi_2) = \varepsilon_2 - IR_0 \quad (7)$$

$$I(R + R_0) = \varepsilon_2 \pm \varepsilon_1 \quad (8)$$

Здесь знак «+» будет при согласном подключении  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ , а знак «-» при встречном.

Из (8) может быть найдено выражение для величины тока в цепи.

$$I = \frac{\varepsilon_2 \pm \varepsilon_1}{R + R_0} \quad (9)$$

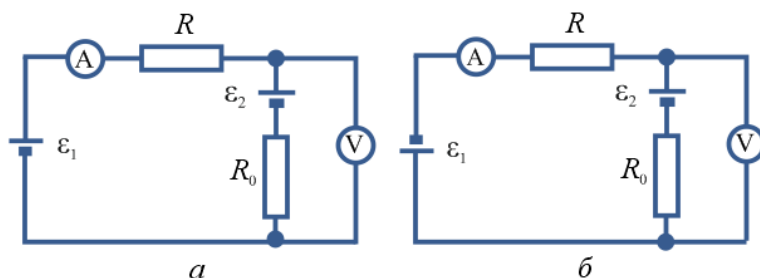
Как видно из (9), изменяя величину  $\varepsilon_1$  можно изменять и силу тока. При согласном включении  $\varepsilon_2$  и  $\varepsilon_1$  сила тока  $I$  растёт с ростом  $\varepsilon_1$ . Из (7) видно, что разность потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2$  при этом линейно уменьшается и может достигнуть нулевого значения. При дальнейшем росте тока разность потенциалов на концах участка меняет знак на противоположный.

Если  $\varepsilon_1$  включена навстречу  $\varepsilon_2$ , величина тока  $I$  уменьшается с ростом  $\varepsilon_1$  и при  $\varepsilon_2 = \varepsilon_1$  становится равной нулю. При этом согласно (7)  $\varphi_1 - \varphi_2 = \varepsilon_2$ , т. е. в момент компенсации тока вольтметр измеряет величину  $\varepsilon_2$ . Вольтметр покажет положительное значение  $\varepsilon_2$ , т.к.  $\varphi_1 > \varphi_2$ , а к *точке 2* присоединена положительная клемма вольтметра. Дальнейший рост  $\varepsilon_1$  приводит к изменению направления тока в цепи.

### ХОД РАБОТЫ

1. Собрать схему лабораторной установки (**рис. 4**).
2. Источник с ЭДС  $\varepsilon_1$  через *разъёмы 5 и 6* включить встречно источнику с ЭДС  $\varepsilon_2$  (**рис.5.а**). Вольтметр подключить к *разъёмам 1 и 2*, а амперметр к *разъёмам 3 и 4*.
3. Подключить к сети лабораторный модуль и источники питания. Включить измерительные приборы.
4. Установить ЭДС источника питания ИП2  $\varepsilon_2 = 5В$ .
5. Изменяя ЭДС источника питания ИП1  $\varepsilon_1$  в пределах  $3-8В$  с интервалом в  $1В$ , измерить значения тока и разности потенциалов на участке  $\varepsilon_2 - R_0$ .
6. Занести результаты измерений в **Таблицу**.
7. Источник с ЭДС  $\varepsilon_1$  включить согласно источнику с ЭДС  $\varepsilon_2$  (**рис.5.б**) и проделать измерения *п.4*.

При записи показаний измерительных приборов следует учитывать **знаки** соответствующих величин.



**Рис.5.** Встречное (а) и согласное (б) включение источников тока

Таблица

$\varepsilon_1, \text{В}$	Встречное включение $\varepsilon_1$ и $\varepsilon_2$		Согласное включение $\varepsilon_1$ и $\varepsilon_2$	
	$I, \text{мА}$	$\varphi_1 - \varphi_2, \text{В}$	$I, \text{мА}$	$\varphi_1 - \varphi_2, \text{В}$
3				
4				
5				
6				
7				
8				

### ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

- Используя данные таблицы, построить зависимость  $\varphi_1 - \varphi_2 = f(I)$  (рис. 6).
- Выделить пунктирными линиями на графике *полосу разброса* экспериментальных данных.
- Выбрать **две произвольные точки**  $A$  и  $B$  на графике (как можно дальше друг от друга, но в пределах экспериментальных значений)
- Определить из графика значение разности потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2$ , соответствующих точкам  $A$  и  $B$ , а также токи  $I_A$  и  $I_B$ .
- Рассчитать значение сопротивления  $R_0$  по формуле
 
$$R_0 = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)_A - (\varphi_1 - \varphi_2)_B}{I_A - I_B} = \frac{\Delta(\varphi_1 - \varphi_2)}{\Delta I} = \text{tg } \alpha,$$
- Сравнить значение разности потенциалов  $(\varphi_1 - \varphi_2)_0$ , соответствующее  $I = 0$ , со значением  $\varepsilon_2$ . Сделать вывод.



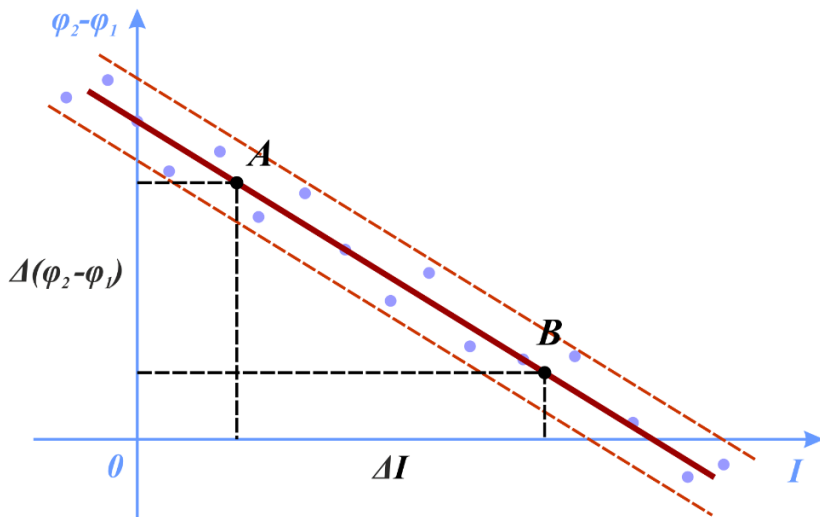


Рис.6

### 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 в цепи?
5. Как определяется знак ЭДС при расчёте электрических цепей?
6. Сформулируйте обобщённый закон Ома?

### ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1990. С. 159–162.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1989. С.205–208.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1988. – Т.2, С.102–112.