

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 некоторого 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 $\vec{E}_{\text{эл}}$ и $\vec{E}_{\text{стор}}$.

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

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

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 $A_{\text{эл}}$ 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 $A_{\text{стор}}$ к величине q :

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

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 i – х ЭДС принимается положительным, если направление обхода от точки 1 к точке 2 (рис. 3.1) соответствует перемещению внутри источника E_i от знака "-" (катод) к знаку "+"

(анод). В противном случае – отрицательным. Таким образом, на рис. 2.1 E_1 будет отрицательной, а E_2 – положительной.

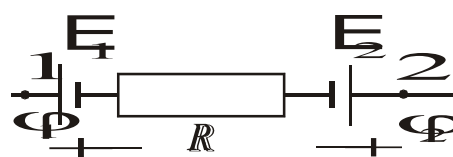


Рис. 3.1

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

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

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 $IR_{\text{п}}$ берётся положительным, если направление тока совпадает с направлением обхода контура.

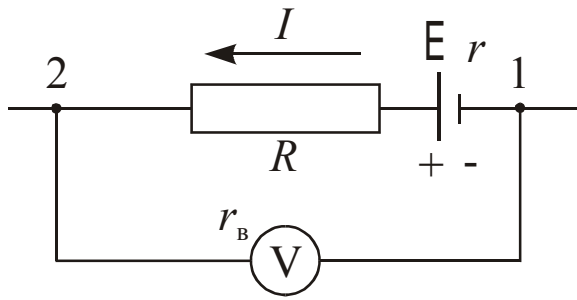


Рис. 3.2

Применим обобщённый закон Ома к участку цепи, изображённому на рис. 3.2. 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

$$I_v r_v = \varphi_1 - \varphi_2, \quad (3.3)$$

где I_v – ток, проходящий через вольтметр, r_v – сопротивление вольтметра.

Но произведение $I_v r_v$ – 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 $R_{\text{п}}$, получим

$$\varphi_1 - \varphi_2 = IR_{\text{п}} - E,$$

или

$$\varphi_2 - \varphi_1 = E - IR_{\text{п}}. \quad (3.4)$$

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,

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

а полное сопротивление участка цепи 1 – 2 равно тангенсу угла α наклона прямой (см. рис. 3.3):

$$R = \text{tg}\alpha.$$

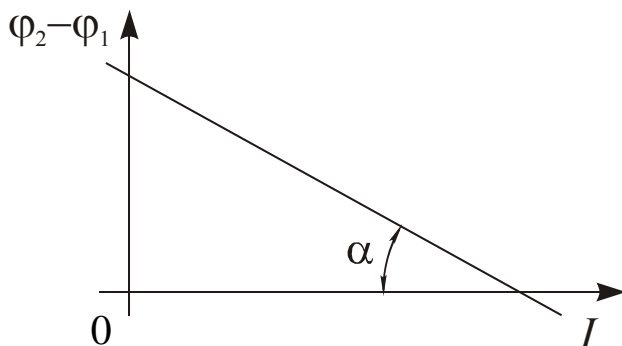


Рис. 3.3

Описание установки и методики измерений

Схема лабораторной установки приведена на рис. 3.4. 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.

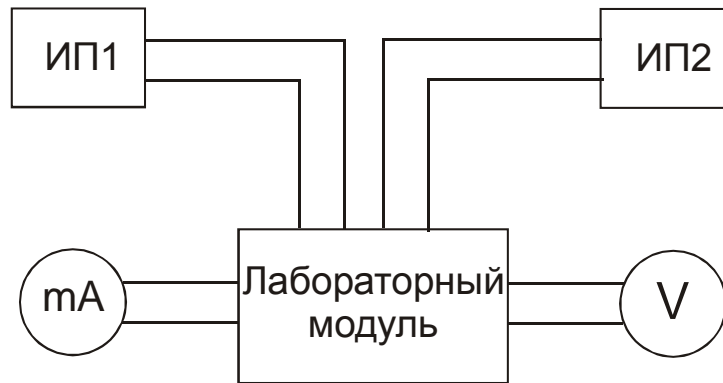


Рис. 3.4

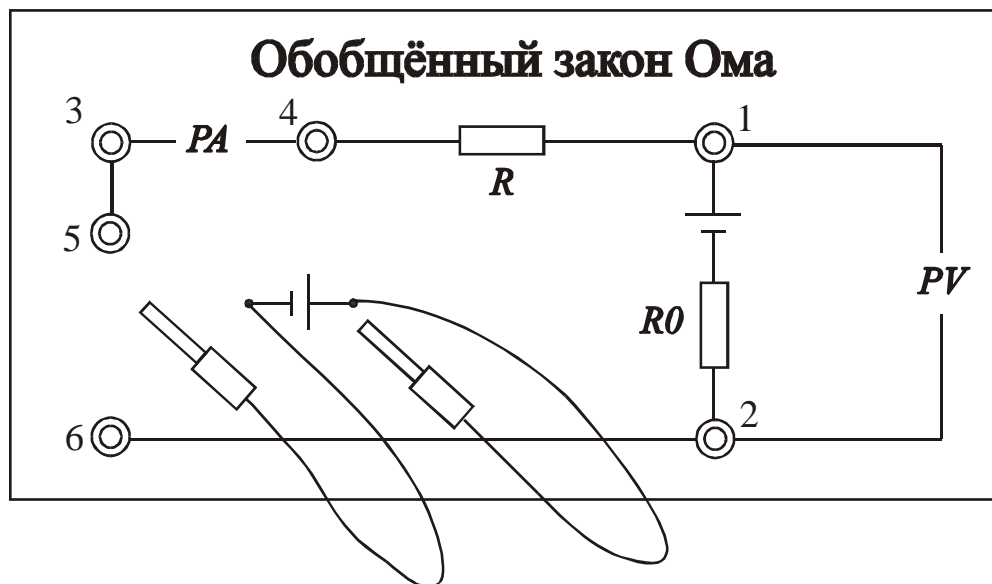


Рис. 3.5

На лицевой панели лабораторного модуля изображена электрическая схема установки (рис. 3.5) и расположены гнезда 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.

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. 3.5), 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

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

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

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

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. 3.4). Источник с ЭДС E_1 через разъёмы 5,6 включить встречно источнику с ЭДС E_2 (рис. 3.6,а). Вольтметр подключить к разъёмам 1,2, а миллиамперметр к разъёмам 3,4.

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

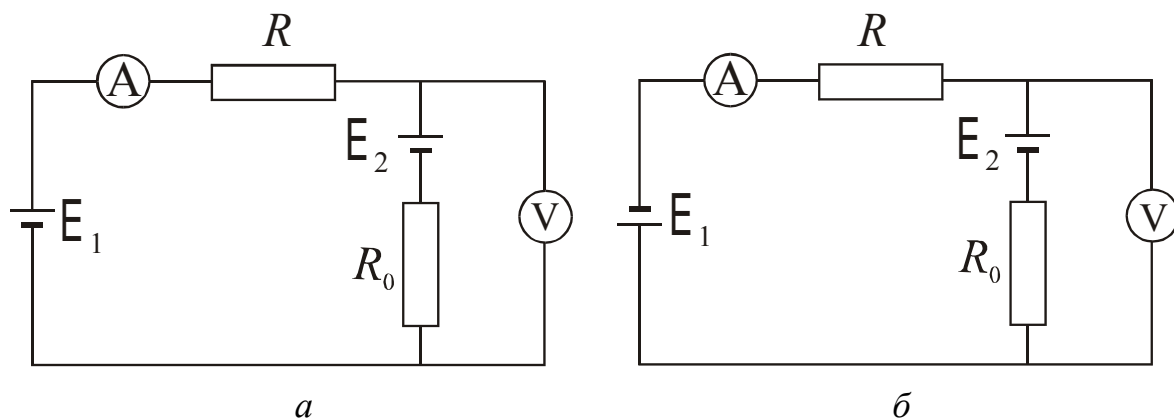


Рис. 3.6

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 , мА	$\varphi_1 - \varphi_2$, В	I , мА	$\varphi_1 - \varphi_2$, 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. 3.7).

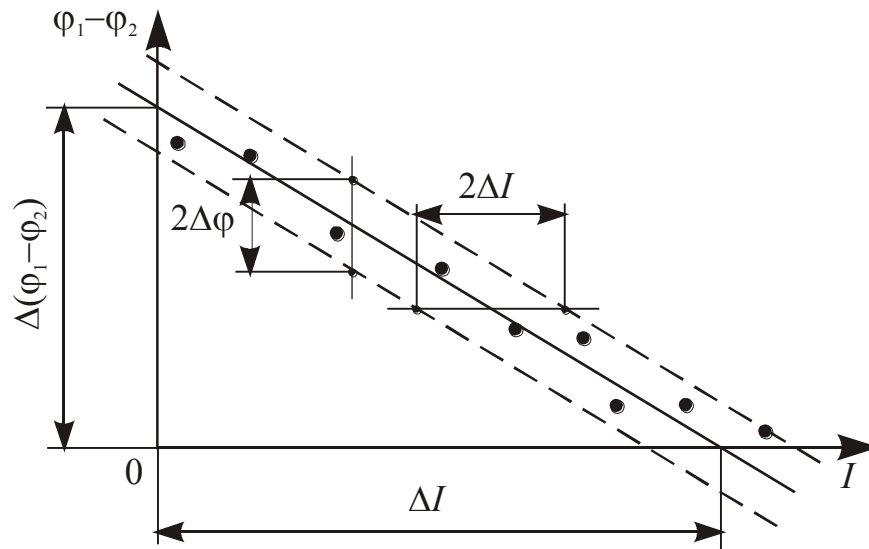


Рис. 3.7

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_0 по формуле

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

5. Определить из графика значения погрешностей определения тока ΔI 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 в цепи?
5. Как определяется знак ЭДС при расчёте электрических цепей?

Лабораторная работа

Обобщённый закон Ома

Состав работы:

- лабораторный модуль _____ 1 шт.
- источник питания типа «НУ 1803ЕD» _____ 2 шт.
- микроультиметр типа «MAS 830В» _____ 2 шт.
- адаптер типа АС DC _____ 2 шт.

Параметры работы:

- напряжение источника питания E1 _____ 5 В.
- напряжение источника питания E2 _____ 0 – 10 В.

Примечание: красный провод от модуля подсоединяется к однополюсной розетке источника со знаком “+”.