

Лабораторная работа №6 Изучение правил Кирхгофа¹

Цель работы: изучение правил Кирхгофа; расчёт простых электрических цепей.

Приборы и принадлежности:



амперметр 3514 – 3 шт.



вольтметр M45MOM3 – 3 шт.



переключатель (ключ) – 1 шт.



магазин сопротивлений P33 – 2 шт.



реостат РПШ-2 15 Ом 5А



реостат 30 Ом 5 А



источник ВС 4-12 – 2 шт.



соединительные провода



вольтметр M45M
(«0» в центре шкалы)

¹ 1 и 2 эксперименты работы подготовлены в рамках выполнения ВКР студентом факультета МФИИ. Научный руководитель Басалова Т.Ф.

Теоретическое введение

Расчёт простейших схем, как правило, производится постепенным упрощением цепи (простейшими называют цепи, в которых проводники, резисторы, «нагрузки» соединяются последовательно или параллельно). Также относительно просто решаются задачи с симметрией.

Расчёт разветвлённых цепей постоянного тока, если сопротивления разные, проводится с помощью правил Кирхгофа.

Рассмотрим произвольную разветвлённую цепь, часть которой изображена на рис. 6.1.

Первое правило Кирхгофа относится к узлам, то есть точкам, в которых сходится более двух проводников. Вследствие закона сохранения заряда в любой точке цепи, в том числе и в узле, при прохождении постоянного тока не должно происходить накопления электрического заряда.

Поэтому сумма входящих в узел токов должна равняться сумме исходящих. Если условиться считать входящие в узел токи положительными, а исходящие из узла – отрицательными, то алгебраическая сумма сил токов в узле равна нулю

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0, \quad (6.1)$$

где n обозначает число проводов, сходящихся в узле.

Второе правило Кирхгофа относится к произвольным замкнутым контурам, которые можно выделить в рассматриваемой замкнутой цепи.

Рассмотрим контур $ABCA$ на рис. 6.1. Поскольку при расчёте будем использовать закон Ома для неоднородного участка цепи, то направление токов на каждом участке можно задать произвольно, например так, как на рис. 6.1 (напомним, что если в результате расчёта какой-либо из токов окажется отрицательным, то это означает, что в действительности ток на этом участке течёт в противоположную сторону). Запишем закон Ома для каждого участка контура $ABCA$. Обозначив потенциалы узлов φ_A , φ_B и φ_C , получим

$$\begin{aligned} -I_1 R_1 &= \varphi_A - \varphi_B + \varepsilon_1, \\ I_2 R_2 &= \varphi_B - \varphi_C + \varepsilon_2, \\ -I_3 R_3 &= \varphi_C - \varphi_A + \varepsilon_3. \end{aligned} \quad (6.2)$$

В этих формулах через R_k обозначено полное сопротивление участка, по которому течёт ток I_k . Сложив все три уравнения, получаем

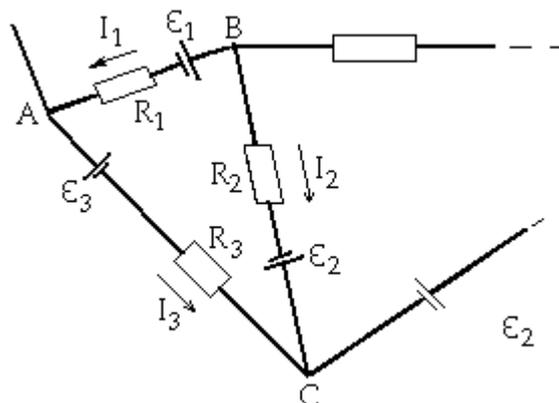


Рис. 6.1. Пример цепи

$$-I_1R_1 + I_2R_2 - I_3R_3 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3. \quad (6.3)$$

Это равенство можно получить и непосредственно: нужно выбрать определённое направление обхода замкнутого контура (например, по часовой стрелке) и приравнять алгебраическую сумму произведений сил токов на сопротивления соответствующих участков алгебраической сумме ЭДС, встречающихся в этом контуре. При этом ток считается положительным, если его направление совпадает с направлением обхода контура, и отрицательным в противоположном случае; ЭДС берется со знаком «+», если источник при обходе проходится от «-» к «+», и наоборот. Это и есть второе правило Кирхгофа, которое можно коротко записать так

$$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{i=1}^m \varepsilon_i, \quad (6.4)$$

где n – число неразветвленных участков в контуре, а m – число источников ЭДС, действующих в контуре.

Общие правила расчёта произвольных разветвлённых цепей постоянного тока с использованием правил Кирхгофа:

1. Обозначить на схеме токи во всех неразветвлённых участках, произвольно задавая им направление.
2. Написать первое правило Кирхгофа для всех узлов, кроме одного (уравнение для последнего узла является следствием предыдущих).
3. Записать второе правило Кирхгофа для всех контуров, в цепи, кроме одного, используя правила знаков.
4. Если в результате решения получившейся системы уравнений какие-либо токи окажутся отрицательными, то в действительности их направление противоположно выбранному на схеме.

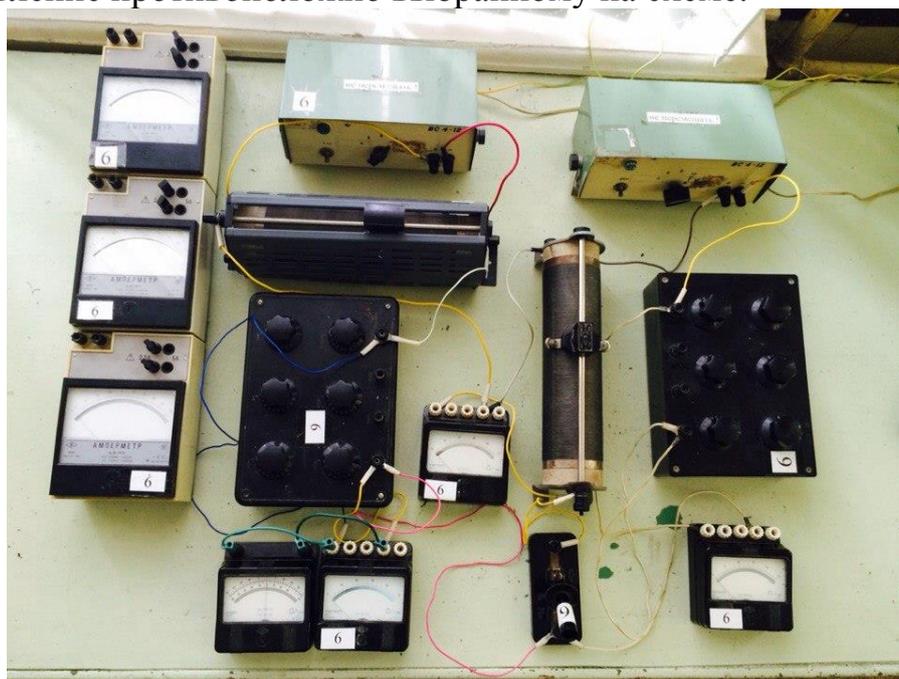


Рис. 6.2. Общий вид установки

Лабораторная работа №6 Изучение правил Кирхгофа

Выполнил студент _____
 Факультет _____ курс _____ группа _____
 Проверил _____
 Показания сняты _____
 Зачтено _____

Методика выполнения работы

I. Изучение первого правила Кирхгофа

1. Собрать электрическую цепь по схеме 6.3. В качестве R_1 и R_2 используются магазины сопротивлений. В качестве источника ЭДС используется ВС 4-12, переключатель в положении «10». (Это не означает, что действительное напряжение или ЭДС равны этому значению!) Реостат 30 Ом.

2. Определить предел измерения, цену деления и класс точности приборов, используемых в схеме.

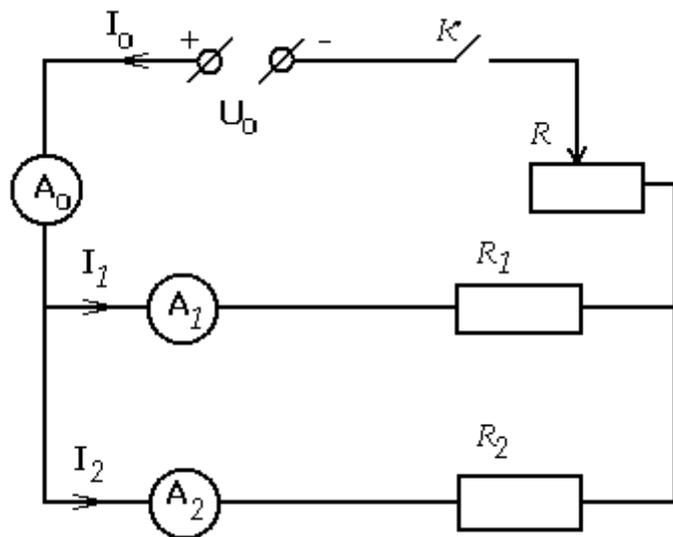


Схема 6.3

$I_{max} =$ А, $c_A =$ А/дел, класс точности –

3. С помощью магазинов сопротивлений три раза изменить сопротивление в цепи (значения сопротивлений задаются преподавателем – единицы Ом). Показания амперметров занести в таблицу №1.

Таблица 1

№ опыта	I ₀ , А	I ₁ , А	I ₂ , А	(I ₁ + I ₂), А	ΔI, %
1					
2					
3					

4. Оценить относительную погрешность результатов измерений

$$\Delta I = \left| \frac{I_0 - (I_1 + I_2)}{I_0} \right| \cdot 100\% = \quad \%$$

Примечание: Для студентов физических специальностей провести сравнение показаний более корректно, с расчётом погрешностей.

5. Вывод:

II. Изучение второго правила Кирхгофа

1. Собрать электрическую цепь по схеме 6.4. Если используются приборы магнитоэлектрической системы, то строго **соблюдать полярность**.

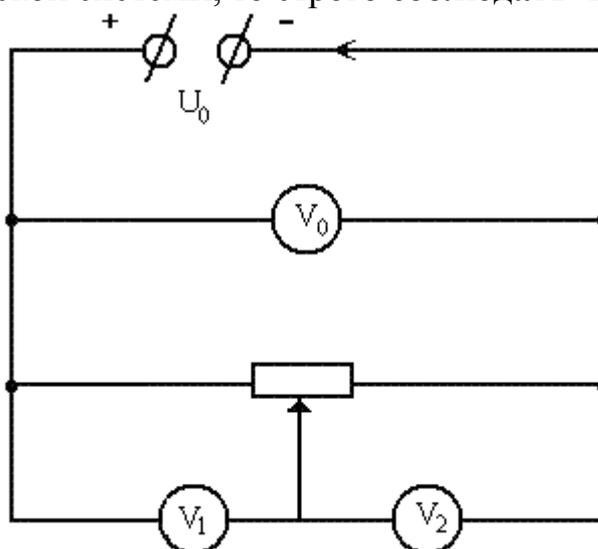


Схема 6.4

2. Определить предел измерения, цену деления и класс точности приборов, используемых в схеме.

$$U_{max} = \quad \text{В}, \quad c_V = \quad \text{В/дел}, \quad \text{класс точности} -$$

3. При трёх различных положениях ползунка реостата измерить напряжения. Показания вольтметров занести в таблицу №2.

Таблица № 2

№ опыта	U_0 , В	U_1 , В	U_2 , В	$(U_1 + U_2)$, В	δU , %
1					
2					
3					

4. Оценить относительную погрешность результатов измерений.

$$\delta U = \left| \frac{U_0 - (U_1 + U_2)}{U_0} \right| \cdot 100\% = \quad \%$$

Примечание: Для студентов физических специальностей провести сравнение показаний более корректно, с расчётом погрешностей.

5. Вывод:

III. Разветвленные цепи¹

(Дополнительное задание для студентов физических специальностей)

1. Так как источник ЭДС ВС 4-12 из-за конструктивных особенностей непригоден для данной лабораторной работы, то необходимо самостоятельно изготовить один «регулируемый источник ЭДС» по схеме 6.5, используя реостат 15 Ом 5 А. В дальнейшем одним из «источников ЭДС» (левым по схеме) считать эту конструкцию. На ВС 4-12 переключатель в положение «12». (Это не означает, что действительное напряжение или ЭДС равны этому значению!) Установить ползунок реостата в произвольное положение.

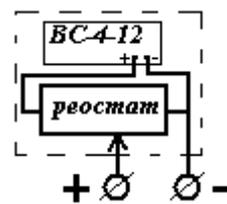


Схема 6.5

2. Собрать электрическую цепь по схеме 6.6. **Соблюдать полярность!** В качестве R_1 и R_2 использовать магазины сопротивлений. Значения сопротивлений задаёт преподаватель. Занести значения сопротивлений R_1 и R_2 в таблицу. Ползунок реостата R_R находится в произвольной точке.

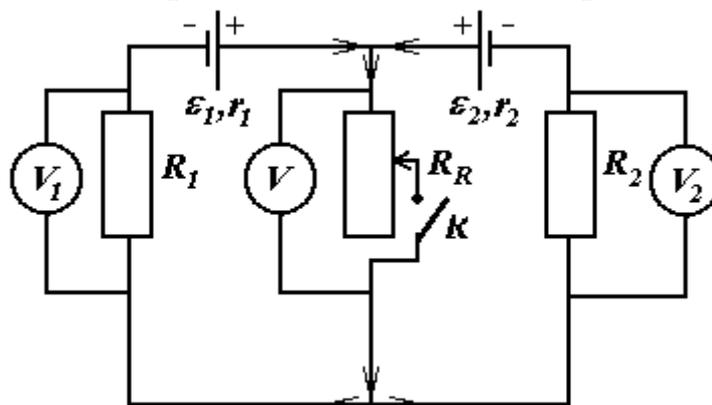


Схема 6.6

3. Включить схему и показания вольтметров занести в таблицу. Выбрать оптимальные пределы для вольтметров.

4. По полученным данным рассчитать сопротивление реостата

$$R_R = \frac{U}{\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}}. \quad (6.3.1)$$

5. Изменить положение ползунка реостата. Повторить пункты 3 – 4.

6. Зная полное сопротивление реостата, оценить разумность полученных результатов. Использовать мультиметр для непосредственного измерения сопротивления. Сделать вывод.

7. Записать правила Кирхгофа и закон Ома для данной схемы. Применить их для двух экспериментов и выразить неизвестные величины: ЭДС источников и их внутренние сопротивления.

¹ Задание подготовлено Р.В.Романовым. 2014 год

Внутренние сопротивления

$$r_1 = R_1 \left(\frac{U_1 - U_2}{U_{21} - U_{11}} - 1 \right), \quad r_2 = R_2 \left(\frac{U_1 - U_2}{U_{22} - U_{12}} - 1 \right). \quad (6.3.2)$$

ЭДС

$$\varepsilon_1 = \frac{U_1 U_{21} - U_2 U_{11}}{U_{21} - U_{11}}, \quad \varepsilon_2 = \frac{U_1 U_{22} - U_2 U_{12}}{U_{22} - U_{12}}. \quad (6.3.3)$$

Во всех конечных формулах U_1 и U_2 – напряжения на реостате в первом и втором опытах, U_{11} и U_{21} – напряжения на 1-м магазине в первом и втором опытах, U_{12} и U_{22} – напряжения на 2-м магазине в первом и втором опытах.

8. Выполнить расчёты, результаты занести в таблицу.

9. Измерить непосредственно ЭДС источников с помощью мультиметра. Сравнить результаты, сделать выводы.

$R_1 =$ Ом		$R_2 =$ Ом	
<i>1-й эксперимент</i>		<i>2-й эксперимент</i>	
$U_{11} =$	В	$U_{21} =$	В
$U_{12} =$	В	$U_{22} =$	В
$U_1 =$	В	$U_2 =$	В
расчёт	заданные	расчёт	измеренные
$R_{R1} =$ Ом	$R_{R1} =$ Ом	$R_{R2} =$ Ом	$R_{R2} =$ Ом
$r_1 =$ Ом		$r_2 =$ Ом	
$\varepsilon_1 =$ В	$\varepsilon_1 =$ В	$\varepsilon_2 =$ В	$\varepsilon_2 =$ В

10. Рассчитать значение сопротивления реостата, при котором ток через 1-й магазин станет равным нулю.

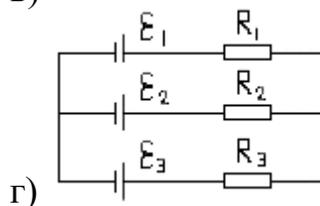
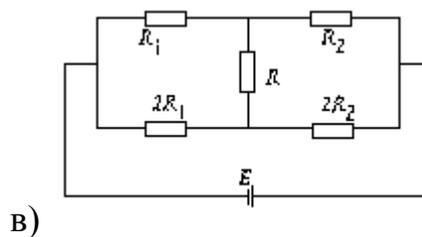
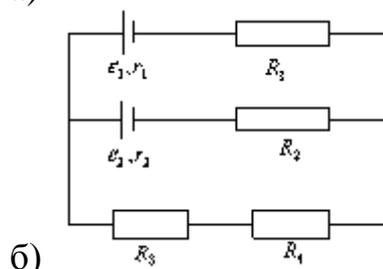
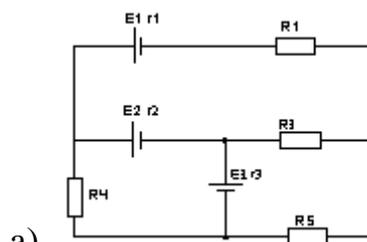
$$R_R = \frac{R_2 + r_2}{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} - 1}, \quad R_R = \text{Ом}. \quad (6.3.4)$$

11. Меняя сопротивление реостата вблизи указанного значения, убедиться, что ток при этом изменяет направление. Подключить вольтметр с центральным положением нулевого значения. Показать эксперимент преподавателю. Измерить мультиметром сопротивление реостата.

12. Сравнить результаты. Сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Что называют разветвленной электрической цепью?
2. Что называют узлом электрической цепи?
3. Что называют ветвью электрической цепи?
4. Сформулируйте первое правило Кирхгофа.
5. Сформулируйте второе правило Кирхгофа.
6. Какова методика применения правил Кирхгофа при расчёте разветвлённой электрической цепи?
7. Для электрических цепей, схемы которых показаны на рисунке, найти токи на всех участках.



Литература

(см. основной список литературы)