

Лабораторная работа 2.11

ИЗУЧЕНИЕ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: изучение цепей постоянного тока.

Задание: по измеренным значениям напряжения убедиться в справедливости правил Кирхгофа для электрических цепей.

Подготовка к выполнению работы: изучить правила Кирхгофа, обратив особенное внимание, на их практическое применение; изучить описание установки.

Библиографический список

1. Савельев И.В.- Курс общей физики. - М.: Наука, 1987, т.2. гл. V, §§35-36.
2. Бессонов Л.А.- Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. - 8-е изд. - М.: Высшая школа, 1984.

Контрольные вопросы

1. Что называется узлом электрической цепи?
2. Что называется контуром электрической цепи?
3. Как формулируются правила Кирхгофа?
4. Физический смысл правил Кирхгофа.
5. Сколько уравнений, соответствующих первому правилу Кирхгофа, являются линейно независимыми?
6. От чего зависит знак тока в уравнении, соответствующем второму правилу Кирхгофа?
7. От чего зависит знак ЭДС в уравнении, соответствующем второму правилу Кирхгофа?
8. Как определяется абсолютная погрешность величины падения напряжения и ЭДС источника?
9. Как определяется относительная погрешность величины тока, текущего в сопротивлении?
10. Сколько уравнений по второму правилу Кирхгофа является необходимым и достаточным для расчета цепи?

Описание аппаратуры и метода измерений

Электрические цепи имеют широкое применение в науке и технике, в том числе и бытовой. Поэтому необходимо не только понимать основные законы протекания токов в цепях, но и уметь производить расчет разветвленной цепи постоянного тока.

Разветвленные электрические цепи постоянного тока содержат, как правило, комбинации сопротивления и источников электродвижущей силы (ЭДС).

Обычно величины сопротивлений и ЭДС, входящих в различные соединения проводников, известны. Поэтому задача расчета электрической цепи заключается в определении токов, текущих через сопротивления, и падений напряжения на соответствующих сопротивлениях, входящих в цепь.

Расчет разветвленных электрических цепей значительно упрощается при использовании правил Кирхгофа. Рассмотрим, например, разветвленную цепь постоянного тока, показанную на рис. 1.

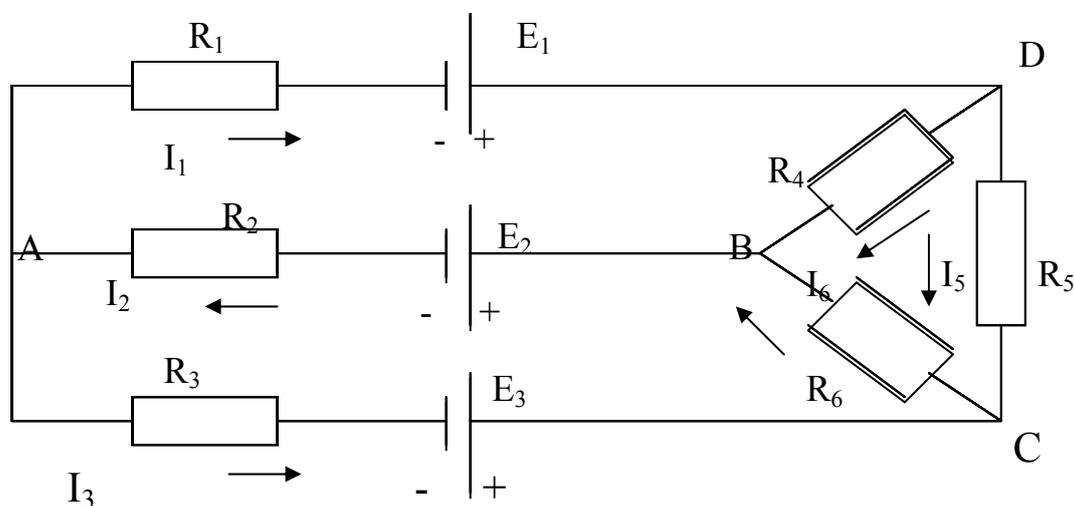


Рис. 1

Цепь состоит из участков, содержащих резисторы R и источники ЭДС, причем на рисунке отмечены положительные "+" и отрицательные "-" полюсы источников.

Первое правило относится к узлам цепи. Узлом называется точка цепи, в которой сходятся более чем два проводника.

Первое правило Кирхгофа гласит, что алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю, т.е.

$$\sum I = 0, \quad (1)$$

где I - ток, текущий в проводнике.

Каждому проводнику цепи условно приписывается величина и направление тока. Условимся для определенности считать ток, текущий к узлу, имеющим знак "+" и соответственно ток, текущий от узла, - знак "-".

Первое правило Кирхгофа является следствием сохранения электрического заряда. Действительно, если бы (1) не выполнялось, то в узле накапливался бы электрический заряд, чего на самом деле не происходит.

В цепи, изображенной на рис. 1, имеются четыре узла, отмеченные буквами А, В, С, Д, для каждого из которых можно написать уравнение (1). Например, для узла С уравнение (1) имеет вид:

$$I_3 - I_4 + I_6 = 0.$$

Отметим, что уравнение (1) можно записать для каждого из N узлов цепи, однако независимыми будут $N-1$ уравнений, а N -е уравнение будет являться следствием из них.

Необходимо также отметить, что если в каком-либо участке цепи направление тока заранее неизвестно, то его указывают произвольно. Если при дальнейшем расчете значение данного тока получается со знаком "+", то это означает, что направление тока «угадано» верно, если же оно получается со знаком "-", то реальное направление тока на данном участке цепи противоположно направлению, выбранному в начале расчета.

Второе правило относится к любому замкнутому контуру, выделенному в разветвленной цепи, и заключается в том, что в этом контуре алгебраическая сумма ЭДС, включенных в контур, равна алгебраической сумме произведений токов на сопротивления соответствующих участков этого контура, т.е.

$$\sum \varepsilon_i = \sum R_i I_i \quad . \quad (2)$$

Второе правило Кирхгофа получается из обобщенного закона Ома для разветвленных цепей с учетом независимости потенциала некоторой точки данного контура от того, обходимы ли данный контур или нет.

При применении второго правила Кирхгофа необходимо:

- отметить знаками "+" и "-" полюсы источников ЭДС;
- выбрать направление обхода выделенного замкнутого контура;
- токи, направление которых совпадает с направлением обхода контура, считать положительными, а токи, направленные навстречу обходу - отрицательными;
- ЭДС приписывать положительный знак, если при обходе выделенного контура встречается вначале отрицательный полюс источника ЭДС, а затем положительный.

В соответствии с вышеизложенным для контура AE_1BDE_2A (направление обхода совпадает с направлением движения часовой стрелки) уравнение (2) имеет вид:

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = R_2 I_2 + R_4 I_4.$$

Число независимых уравнений, составленных в соответствии с первым и вторым правилами Кирхгофа, равно числу различных токов, текущих в разветвленной цепи. При известных сопротивлениях и ЭДС, решив систему уравнений, можно определить все токи, текущие в цепи. В частности, полная система уравнений для цепи, изображенной на рис. 1, может иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} -I_1 + I_2 - I_3 &= 0; & (A) \\ I_1 - I_4 - I_6 &= 0; & (B) \\ I_3 - I_5 + I_6 &= 0; & (C) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_4 I_4 &= \varepsilon_1 - \varepsilon_2; \quad (A \varepsilon_1 BD \varepsilon_2 A) \\ -R_2 I_2 - R_3 I_3 - R_5 I_5 &= \varepsilon_2 - \varepsilon_3; \quad (A \varepsilon_2 DC \varepsilon_3 A) \end{aligned}$$

$$R_1 I_1 - R_3 I_3 + R_6 I_6 = \varepsilon_1 - \varepsilon_3; (A \varepsilon_1 BC \varepsilon_3 A)$$

Решив ее, можно найти все значения соответствующих токов.

На рис. 2 приведена схема электрических цепей, изучаемая в данной работе. Поскольку величина каждого сопротивления известна, то величина соответствующего тока определяется по закону Ома

$$I=U/R, \quad (4)$$

где U – напряжение на сопротивлении R .

Таким образом, измеряя напряжение на каждом сопротивлении, можно определить величину и направление тока в нем.

При измерении электрических величин допускаются погрешности, зависящие от класса точности измерительных приборов.

Поэтому уравнения (1) и (2) с подставленными в них измеренными величинами не будут выполняться абсолютно точно. При этом, однако, должны выполняться неравенства:

$$|\sum I_i| < \sum |\Delta I_i| \quad (5)$$

$$|\sum U_i - \sum \varepsilon_i| < \sum |\Delta U_i| + \sum |\Delta \varepsilon_i|, \quad (6)$$

где $U_i = R_i I_i$; ΔI_i , ΔU_i , $\Delta \varepsilon_i$ - абсолютные погрешности токов, напряжений и ЭДС соответственно.

Значения ΔU_i определяются в соответствии с классом точности измерительного прибора. Значение ΔI_i определяется в соответствии с правилами вычисления погрешности при косвенных измерениях. Величины ε_i указаны с точностью до $\sim 5\%$.

Для относительной погрешности $\Delta I_i / I_i$ из уравнения (4) получим $\Delta I_i / I_i = \Delta U_i / U_i + \Delta R_i / R_i$.

Тогда $\Delta I_i = I_i (\Delta U_i / U_i + \Delta R_i / R_i)$. Значение $\Delta R_i / R_i$ принять равным 0,1.

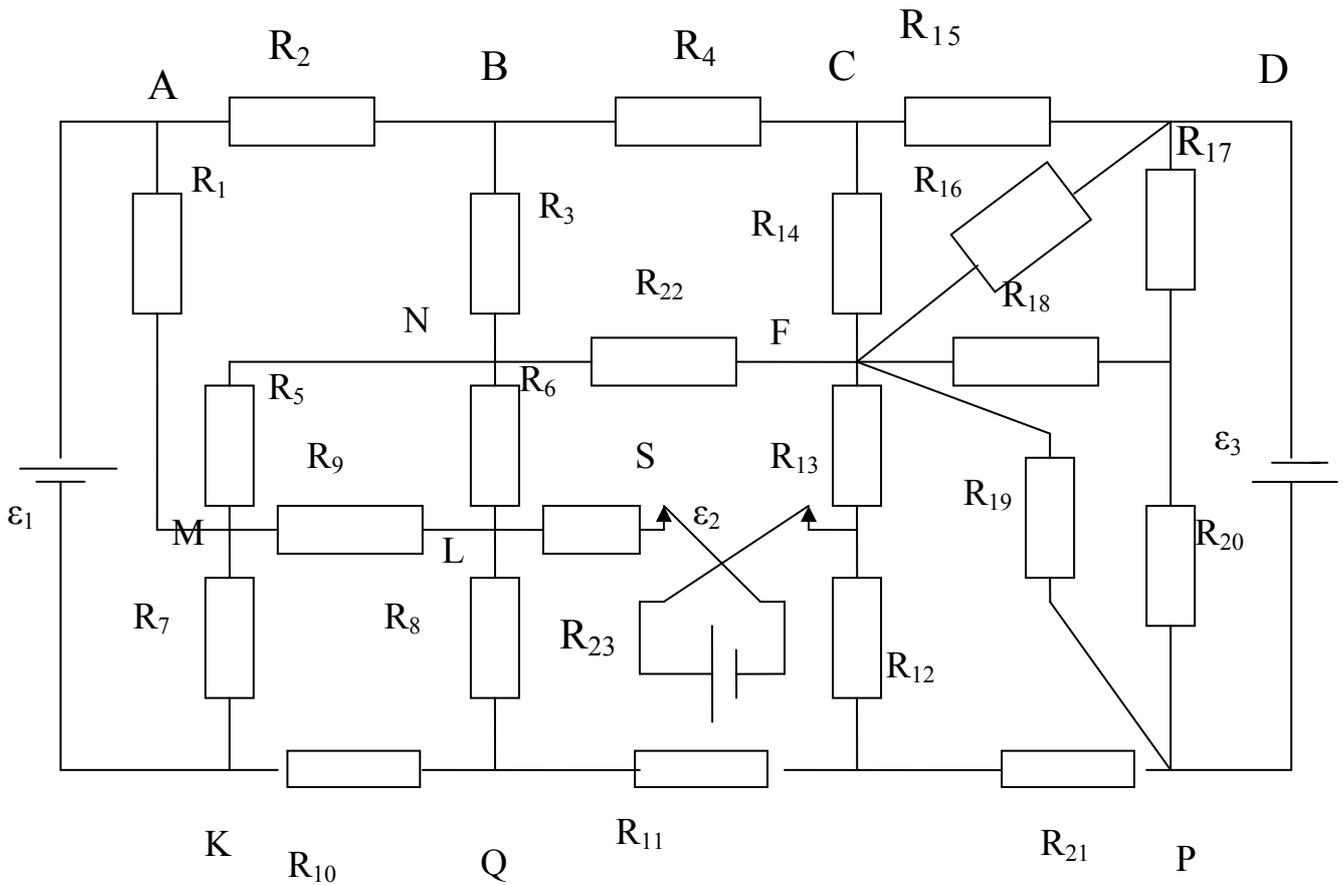


Рис.2.

$R_1 = 300 \text{ Ом}$; $R_2 = 130 \text{ Ом}$; $R_3 = 200 \text{ Ом}$; $R_4 = 180 \text{ Ом}$;
 $R_{10} = 150 \text{ Ом}$; $R_{11} = 390 \text{ Ом}$; $R_{12} = 220 \text{ Ом}$; $R_{13} = 220 \text{ Ом}$;
 $R_5 = 430 \text{ Ом}$; $R_6 = 200 \text{ Ом}$; $R_7 = 430 \text{ Ом}$; $R_8 = 47 \text{ Ом}$; $R_9 = 180 \text{ Ом}$;
 $R_{14} = 200 \text{ Ом}$; $R_{15} = 390 \text{ Ом}$; $R_{16} = 200 \text{ Ом}$; $R_{17} = 150 \text{ Ом}$;
 $R_{18} = 430 \text{ Ом}$; $R_{19} = 390 \text{ Ом}$; $R_{20} = 430 \text{ Ом}$; $R_{21} = 150 \text{ Ом}$;
 $R_{22} = 47 \text{ Ом}$; $R_{23} = 47 \text{ Ом}$.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться со схемой разветвленной электрической цепи, предварительно согласовав с преподавателем вариант ее подключения к источникам ЭДС.
2. Составить спецификацию измерительных приборов.
3. Вычертить в протоколе изучаемую электрическую схему, отмечая порядковыми номерами сопротивления, а знаками "+" и "-" - полярности источников ЭДС.
4. Подключить источники ЭДС к цепи.
5. Измерить величины падений напряжения на сопротивлениях, одновременно определяя направления тока в них. Занести данные в таблицу, а направления тока отметить на схеме стрелками.
6. Проведя измерения, отключить источники ЭДС и привести схему в исходное состояние.

Таблица

№№ п/п	R, ом	U, в	
-----------	-------	------	--

- 1.
- 2.
- 3.
- .

Обработка результатов измерений

1. Полностью заполнить таблицу, вычисляя для всех участков цепи относительные и абсолютные значения погрешностей измеряемых величин.
2. Зная направления и величины токов, записать уравнения, соответствующие первому правилу Кирхгофа для каких-либо двух узлов цепи, и убедиться в справедливости неравенства (5).
3. Записать уравнения, соответствующие второму правилу Кирхгофа для каких-либо двух контуров цепи, и убедиться в справедливости неравенства (6).
4. Составить полную систему уравнений, необходимую для нахождения всех величин токов в цепи.