

**Введение. Основные понятия, определения и законы теории электрических цепей. Основные понятия топологии электрических цепей. Законы Ома и Кирхгофа. Потенциальная диаграмма.**

**Теория электрических цепей** изучает электромагнитные явления в технических системах, предназначенных для производства, передачи и распределения электрической энергии, распространения, преобразования и переработки информации. Интегральные величины применяемые в теории электрических цепей являются ток, напряжение, мощность, которые уже рассматривались в курсе физики.

**Электрический ток** – это явление направленного движения заряженных частиц. Величину тока определяют как скорость изменения заряда во времени:

где  $q$  – заряд.

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} ,$$

Ток измеряют в амперах (А). Французский академик Андре Мари Ампер ввел понятие электрического тока. Человек начинает ощущать ток в своем теле при его величине 0,005 А. Ток 0,05 А опасен для жизни.

Ток в люминесцентной лампе 0,15 А, в лампе накаливания – 0,2–1 А, в холодильнике – 0,5–0,8 А, в бытовых нагревательных приборах – 2–8 А, в электродвигателе трамвайного вагона – от 100 А и выше, в индукторе печи для плавления алюминия – 18000 А.

**Напряжение** – количество энергии, затраченной на перемещение единичного заряда из одной точки электромагнитного поля в другую:

где  $W$  – энергия.

$$u = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta q} = \frac{dW}{dq},$$

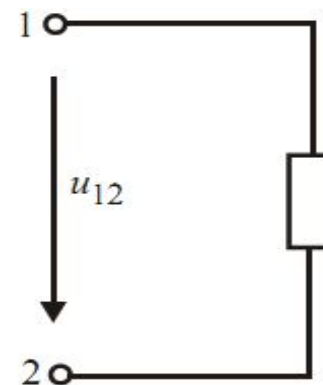


Рис. 1.1

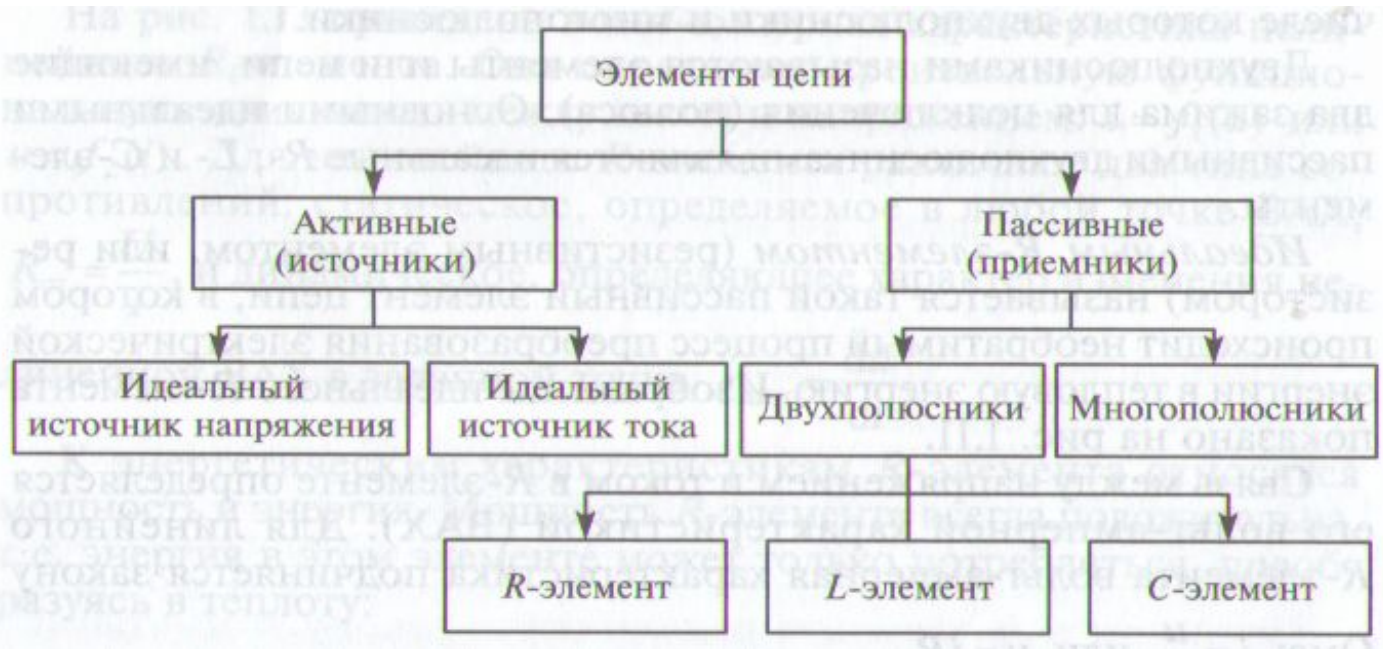
**Потенциал** – количество энергии, затраченной на перемещение единичного заряда из бесконечности в какую-либо точку электромагнитного поля. Отсюда напряжение – это разность потенциалов. Может быть положительной и отрицательной. Напряжение положительно, если потенциал точки 1, из которого направлена стрелка  $u_{12}$  (см. рис. 1.1), выше потенциала точки 2.

**Мощность** – это скорость изменения энергии во времени:

$$dW = u dq = u i dt, W = \int_0^q u dq = \int_{-\infty}^t u i dt = \int_{-\infty}^t p dt, p = u i = \frac{dW}{dt}.$$

Следовательно, мощность – это произведение напряжения на ток.

**Электрической цепью** называется совокупность устройств, предназначенных для протекания по ним электрического тока. Эти устройства называются элементами цепи. Элементы цепи можно условно объединить в группы, как это показана на рис 1.2



## Элементы схем замещения электрических цепей

**Электрическая цепь** – совокупность источников электроэнергии, ее потребителей и соединительных проводов. Основными элементами являются источники и приемники электроэнергии, соединительные провода, измерительные приборы, коммутационная и защитная аппаратура.

В источниках электроэнергии различные виды энергии, например, химическая (гальванические элементы), механическая (электромеханические генераторы), тепловая (термопары), световая (солнечные батареи) преобразуются в электрическую. Важнейшим параметром источника электроэнергии является его электродвижущая сила ЭДС ( $E$ ). В приемниках электрической энергии происходит обратное преобразование – электрическая энергия преобразуется в другие виды энергии, например, в химическую, механическую, тепловую, световую.

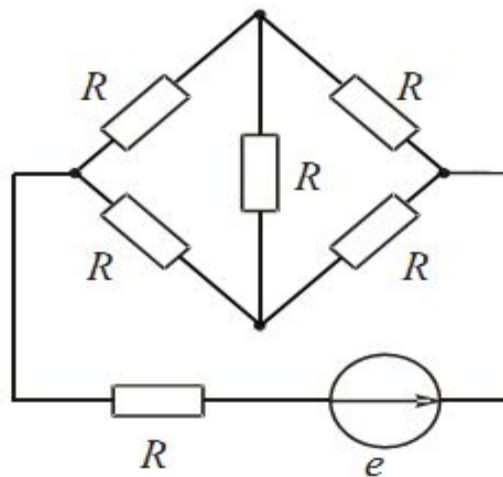
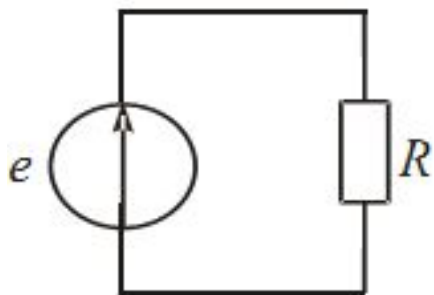
Электрические цепи классифицируются по нескольким признакам.

**По виду тока** делят на цепи постоянного и переменного тока;

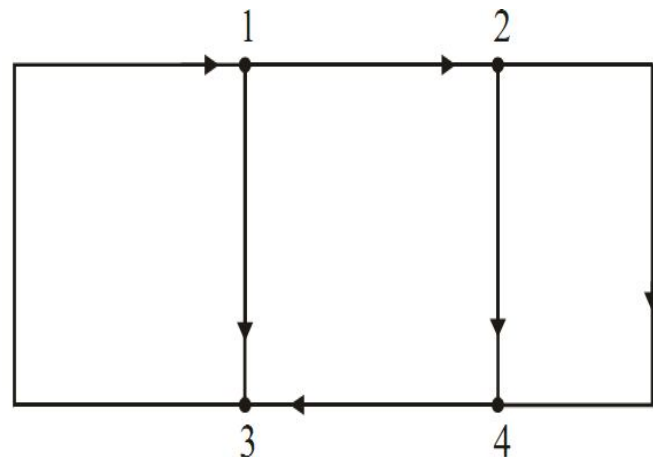
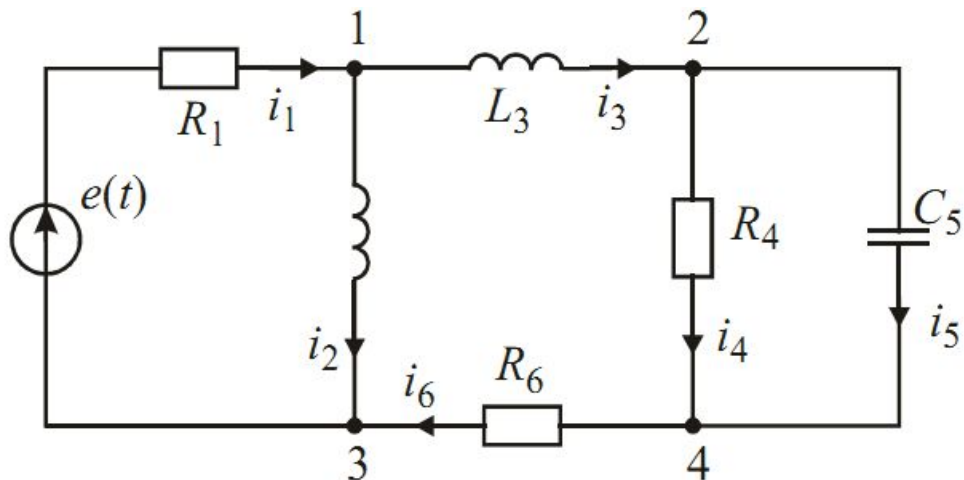
**По характеру параметров** переменных цепи разделяют на линейные (к линейным относят цепи, у которых электрическое сопротивление  $R$  каждого участка не зависит от значений и направлений тока и напряжений) и нелинейные;

**По сложности** – цепи бывают простые (все элементы соединены последовательно, по всем элементам протекает один и тот же ток) и сложные (разветвленные цепи с одним источником энергии и с несколькими источниками).

**Схема электрической цепи** – графическое изображение электрической цепи, содержащие условные изображения элементов и показывающее их соединение. Различают структурную и принципиальную схему замещения. Схема может быть одноконтурной и многоконтурной.



Пусть дана электрическая схема в виде:



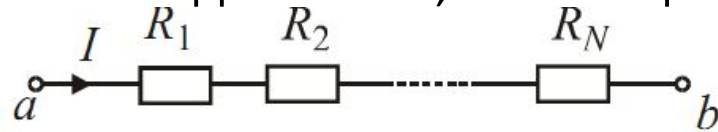
Основные понятия и определения в топологии цепей:

1. **Узел** – это точка в схеме, где сходятся не менее трех ветвей.
2. **Ветвь** – часть электрической схемы, состоящая из одного или нескольких последовательно соединенных источников и приемников энергии, ток в которых один и тот же. Ветви могут быть активными, содержащими источники энергии, и пассивными, состоящими из одних приемников.
3. **Контур** – любой путь вдоль ветвей электрической цепи, начинающийся и заканчивающийся в одной и той же точке.

# Законы Ома и Кирхгофа.

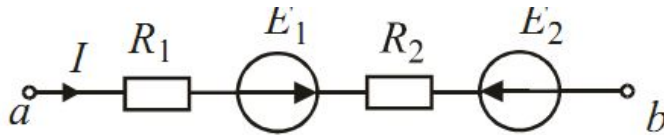
**Закон Ома** применяется для ветви или для одноконтурной замкнутой цепи. При написании закона Ома следует выбрать произвольно положительное направление тока.

1. Закон Ома для ветви, состоящей только из резисторов:



$$I = \frac{V_a - V_b}{\sum_{n=1}^N R_n} = \frac{U_{ab}}{R_{ab}}.$$

2. Закон Ома для ветви, содержащей источники ЭДС и резисторы:



$$I = \frac{V_a - V_b + E_1 - E_2}{R_1 + R_2},$$

В общем случае:

$$I = \frac{V_a - V_b + \sum E}{\sum R_{ab}}.$$

Для замкнутого контура:

$$I = \frac{\sum E}{\sum R}.$$

**I закон Кирхгофа** – алгебраическая сумма всех токов, сходящихся в любом узле, равна 0:  $\sum_{k=1}^n I_k = 0$ .

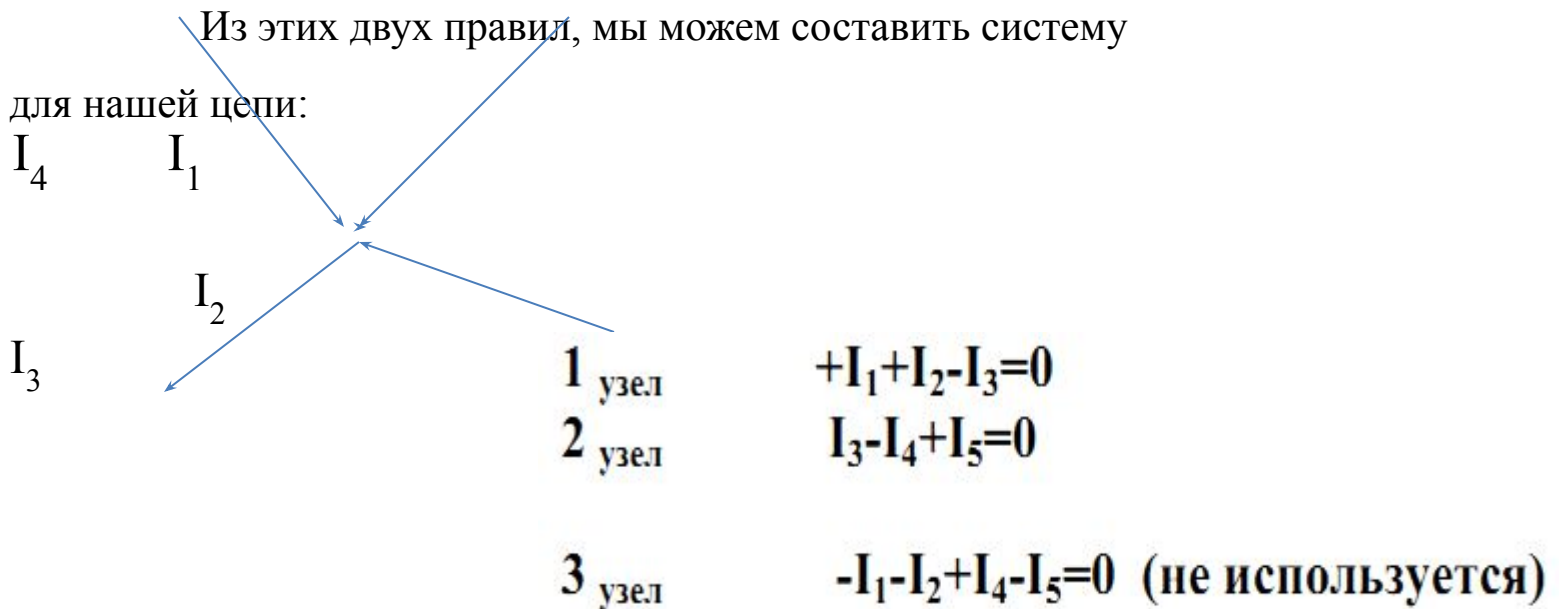
Количество независимых уравнений, составляемых по первому закону Кирхгофа равно  $n_y - 1$ , где  $n_y$  количество узлов схемы.

**Правило знаков:** токи, направленные к узлу берутся с одним знаком, а от узла с противоположным.  $I_4 + I_1 + I_2 - I_3 = 0$ .

Иногда используют другую формулировку первого закона Кирхгофа:

сумма подходящих токов к узлу равна сумме отходящих.  $I_4 + I_1 + I_2 = I_3$ .

Из этих двух правил, мы можем составить систему уравнений для нашей цепи:





**II закон Кирхгофа** – алгебраическая сумма ЭДС замкнутого контура равна алгебраической сумме падений напряжений. Количество независимых уравнений по второму закону Кирхгофа  $n_B - n_Y + 1$ , где  $n_B$  - число ветвей схемы.

Напряжения, совпадающие с обходом контура, берутся со знаком «+», а не совпадающие со знаком «—». Пользуясь законом Кирхгофа, можно найти напряжение между любыми двумя точками.

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^n R_k I_k.$$

Другая формулировка (рабочая) - алгебраическая сумма напряжений в контуре равна алгебраической сумме ЭДС.

## Потенциальная диаграмма

Распределение потенциала вдоль неразветвленной электрической цепи можно представить при помощи графика. На рис. Изображена схема простейшей неразветвленной цепи с тремя э.д.с. и сопротивлениями.

Пусть дано:  $E_1 = 1\text{В}$ ,  $E_2 = 2\text{В}$ ,  $E_3 = 8\text{В}$ ,  $R_1 = 4\text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2\text{ Ом}$ ,  $R_3 = 2\text{ Ом}$

Составим уравнение для контура абвгде, производя обход контура по часовой стрелке. Э.д.с.  $E_3$  больше э.д.с.  $E_1$  и  $E_2$ . В этом случае начинаем с  $E_3$ :

1. Используя закон Ома находим ток цепи:

$$I = \frac{E_3 - E_2 - E_1}{R_1 + R_2 + R_3} = 0,5 \text{ А.}$$

2. Для определения потенциала каждой точки рассматриваемой цепи возьмем потенциал точки а равным нулю ( $\varphi_a = 0$ , заземление).

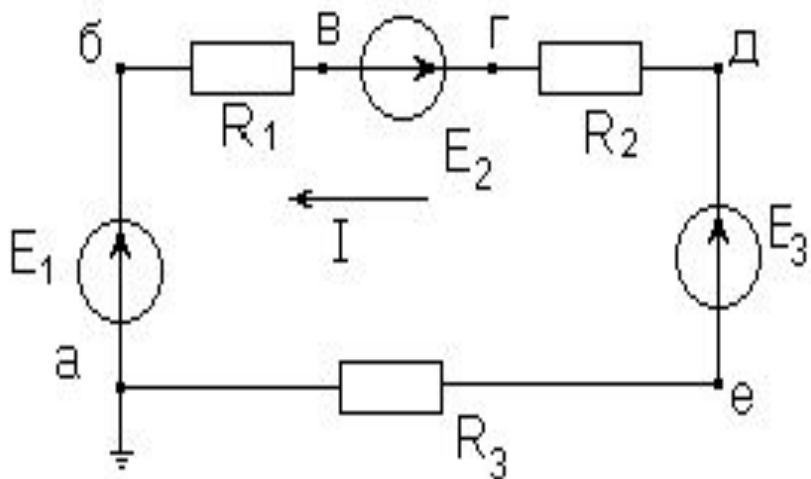
Теперь можем найти потенциалы остальных точек.

3. Потенциал точки б меньше потенциала точки а:

$$\varphi_b = \varphi_a - E_1 = 0 - E_1 = -E_1,$$

4. При переходе через первый источник энергии потенциал повышается на значение э.д.с.  $E_1$ .

Если по оси абсцисс отложить в выбранном масштабе сопротивления участков в той последовательности, в которой они включены в цепь, а по оси ординат потенциалы соответствующих точек, то получится **график распределения потенциала** вдоль неразветвленной цепи.



$$\varphi_{\hat{A}} = \varphi_b + I \cdot R_1 = 1 + 0,5 \cdot 4 = 3 \text{ В},$$

$$\varphi_{\hat{A}} = \varphi_{\hat{A}} + E_2 = 3 + 2 = 5 \text{ В},$$

$$\varphi_{\text{д}} = \varphi_{\text{г}} + I \cdot R_2 = 5 + 0,5 \cdot 4 = 7 \text{ В},$$

$$\varphi_e = \varphi_{\text{д}} - E_3 = 7 - 8 = -1 \text{ В},$$

$$\varphi_a = \varphi_e + I \cdot R_3 = -1 + 0,5 \cdot 2 = 0.$$