

ЛЕКЦИЯ 1

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. Электрические цепи и их элементы

Электрическим током называется направленное перемещение зарядов. Величина, характеризующая электрический ток, называется **силой тока**, или просто током.

Под силой тока понимают количество электричества, которое проходит через поперечное сечение проводника в единицу времени.

Сила тока определяется выражением

$$I = \frac{Q}{t}, [\text{A}]$$

где Q – количество электричества, которое проходит через поперечное сечение проводника за время t .

Чтобы поддерживать электрический ток в течение продолжительного времени, необходимо создать круговорот зарядов, при котором они двигались бы по замкнутому кругу. Для этого необходимо в течение всего времени выполнять работу по разделению зарядов, поддерживая избыток электронов в одном месте и недостаток – в другом.

Устройства, выполняющие работу по разделению зарядов, называются источниками электрической энергии.

Источники осуществляют преобразование различных видов энергии в электрическую энергию. Например, генераторы преобразуют механическую энергию в электрическую, аккумуляторы – химическую, термогенераторы – тепловую.

Источник тока характеризуется величиной и направлением электродвижущей силы (ЭДС) и величиной внутреннего сопротивления.

ЭДС источника определяется по формуле

$$E = \frac{A}{Q}, [\text{В}]$$

где A – работа, выполняемая в источнике в процессе разделения зарядов;
 Q – величина заряда (количество электричества, перемещенного во время разделения).

Устройства и приборы, в которых создают электрический ток, чтобы иметь тот или иной эффект, называются приемниками электрической энергии.

Приемники – устройства, преобразующие электрическую энергию в другие виды энергии. Так, электродвигатели преобразуют электрическую энергию в механическую, электронагревательные приборы – в тепловую.

Таким образом, основными элементами электрической цепи являются источники и приемники (потребители) электрической энергии, соединенные проводами.

Условные обозначения некоторых элементов электрических цепей:



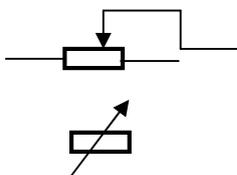
Аккумуляторный или гальванический элемент



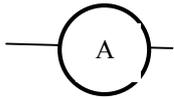
Ротор (якорь) генератора или двигателя постоянного тока



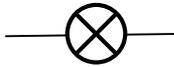
Резистор нерегулируемый



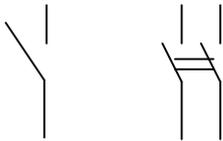
Резистор регулируемый



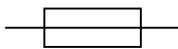
Электроизмерительные приборы



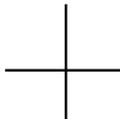
Лампы осветительные



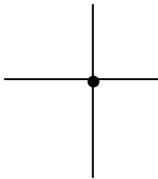
Выключатели однополюсный и двухполюсный



Предохранитель плавкий



Два не соединенных проводника



ва пересекающихся соединенных проводника

2. Основные законы электрических цепей

Закон Ома. В середине XIX века немецкий ученый Ом обосновал теоретически и подтвердил экспериментально закон, который устанавливает связь между силой тока, напряжением и сопротивлением.

По закону Ома, сила тока на каком-либо участке замкнутой цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению, т.е.

$$I = \frac{U}{R}.$$

На рис. 1 приведена простейшая электрическая цепь постоянного тока, которая содержит источник электроэнергии с ЭДС E и внутренним сопротивлением R_0 и приемник – резистор с сопротивлением R , соединенные между собой. Участок цепи, состоящий из приемника и соединенных проводов, называется внешней. Источник электрической энергии – внутренняя часть цепи. Ток во внешней цепи направлен от большего потенциала φ к меньшему, во внутренней – наоборот.

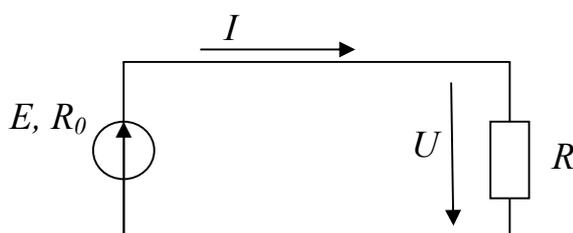


Рисунок 1

Соотношение между ЭДС, сопротивлением и током в замкнутой цепи определяется законом Ома

$$I = \frac{E}{R + R_0},$$

где I – сила тока в цепи, А;

E – величина ЭДС, В;

R – сопротивление резистора, Ом;

R_0 – внутреннее сопротивление источника, Ом.

Напряжение на зажимах источника, т.е. на приемнике U отличается от ЭДС на величину падения напряжения во внутреннем сопротивлении источника

$$U = E - \Delta U = E - IR_0,$$

где $\Delta U = IR_0$ – падение напряжения на внутреннем сопротивлении источника.

Рассмотрим закон Ома для участков цепи, которые не содержат ЭДС, и для участков, содержащих ЭДС разных направлений.

Участок цепи, не содержащий ЭДС

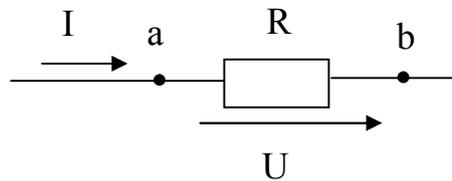


Рисунок 2

$$\varphi_a = \varphi_b + IR;$$

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = \varphi_b + IR - \varphi_b = IR.$$

Закон Ома в этом случае имеет вид

$$I = \frac{U_{ab}}{R} = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R}.$$

Участок цепи, в котором направление ЭДС совпадает с направлением тока

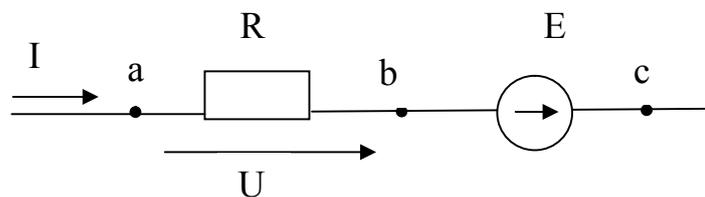


Рисунок 3

$$U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c;$$

$$\varphi_a = \varphi_b + IR;$$

$$\varphi_b = \varphi_c - E.$$

Тогда

$$U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c = \varphi_b + IR - \varphi_c = \varphi_c - E + IR - \varphi_c = IR - E.$$

Закон Ома

$$I = \frac{U_{ac} + E}{R}.$$

Участок цепи, в котором ЭДС направлена против направления тока

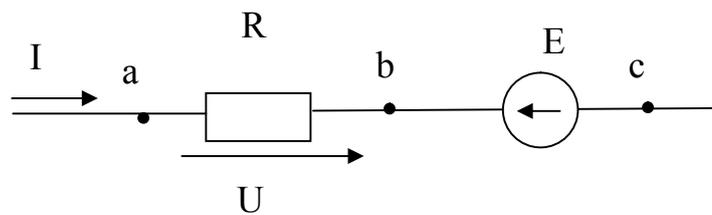


Рисунок 4

$$U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c;$$

$$\varphi_a = \varphi_b + IR;$$

$$\varphi_b = \varphi_c + E;$$

$$U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c = \varphi_b + IR - \varphi_c = \varphi_c + E + IR - \varphi_c = IR + E.$$

Закон Ома

$$I = \frac{U_{ac} - E}{R}.$$

Первый закон Кирхгофа

Узловой точкой (узлом) электрической цепи называется место соединения трех и более проводов. В узле электрической цепи не могут скапливаться электрические заряды. Поэтому электрические заряды, приходящие к узлу в единицу времени, равны зарядам уходящим за то же время.

Исходя из этого, формулируется первый закон Кирхгофа: *алгебраическая сумма токов в узле равна нулю*

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0.$$

При этом приходящие к узлу токи считаются положительными, а уходящие – отрицательными. Для узла на рис. 5

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0.$$

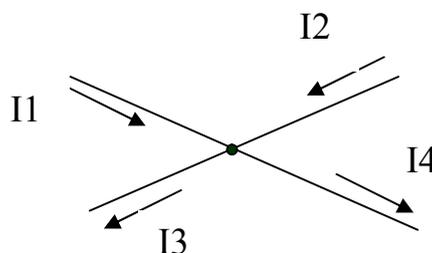


Рисунок 5

Второй закон Кирхгофа

В замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжений на отдельных участках этого контура

$$\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^m I_i R_i.$$

При составлении уравнения выбирают направление обхода контура и произвольно задают направления токов.

Составим уравнение для схемы рис. 6. Выбираем направление обхода цепи по часовой стрелке. Направление тока выбираем совпадающим с направлением ЭДС E_1 .

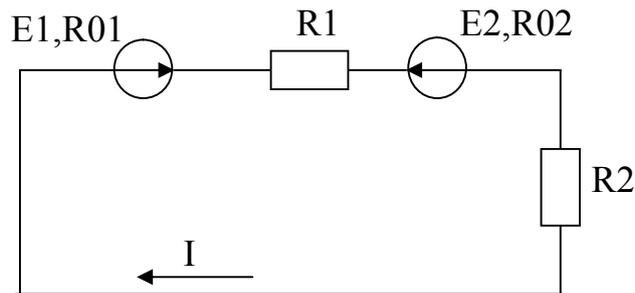


Рисунок 6

Тогда уравнение имеет вид

$$E_1 - E_2 = IR_{01} + IR_1 + IR_{02} + IR_2 = I(R_{01} + R_1 + R_{02} + R_2).$$

3. Вольтамперные характеристики (ВАХ)

Зависимость тока, протекающего по сопротивлению, от напряжения на этом сопротивлении называется вольтамперной характеристикой.

Вольтамперные характеристики изображают графически. При этом по оси абсцисс откладывается напряжение, а по оси ординат – ток.

Различают два принципиально отличных типа ВАХ. В первом из них ВАХ представляет собой прямую линию (рис. 7, б), во втором – некоторую кривую линию (рис. 7, в).

Сопротивления, ВАХ которых являются прямыми линиями, называют линейными сопротивлениями, а электрические цепи с входящими в них только линейными сопротивлениями принято называть линейными электрическими цепями.

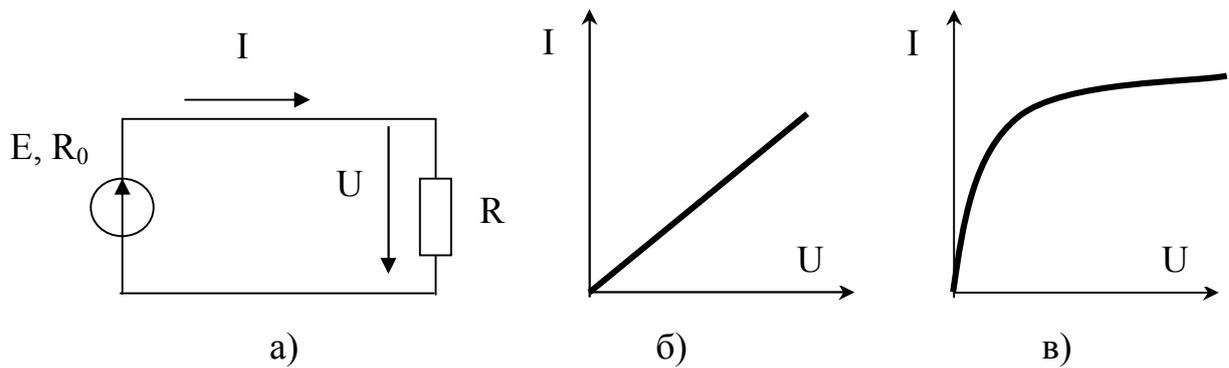


Рисунок 7

Сопротивления, ВАХ которых не являются прямыми линиями (т.е. нелинейные), называют нелинейными сопротивлениями, а электрические цепи с входящими в них нелинейными сопротивлениями называют нелинейными электрическими цепями.

4. Мощность электрической цепи. Баланс мощностей

Мощность (работа в единицу времени) определяется зависимостью

$$P = \frac{A}{t} = \frac{UI t}{t} = UI,$$

где U – напряжение, В

I – ток, А

P – мощность, Вт.

$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3600000 \text{ Дж}$; $1 \text{ Вт} \cdot \text{с} = 1 \text{ Дж}$; $1 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Вт} \cdot \text{с} = 3600 \text{ Дж}$.

Для участка цепи, содержащего резистор

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

В любой электрической цепи должен соблюдаться энергетический баланс – баланс мощности. Согласно закону сохранения энергии *алгебраическая сумма мощностей, вырабатываемых всеми источниками электрической энергии в цепи, равна арифметической сумме мощностей, потребляемых всеми приемниками, и мощностей, которые теряются на внутренних сопротивлениях источников*

$$\Sigma P_{\text{в}} = \Sigma P_{\text{п}}.$$

Для схемы на рис. 6 баланс мощностей имеет вид

$$E_1 I - E_2 I = I^2 R_{01} + I^2 R_1 + I^2 R_{02} + I^2 R_2 = I^2 (R_{01} + R_1 + R_{02} + R_2).$$

Мощность источника следует считать положительной, если положительное направление тока I совпадает с направлением действия ЭДС. В противном случае мощность считается отрицательной и записывается в уравнение со знаком минус. Например, аккумуляторные батареи работают либо в режиме разряда (направление тока совпадает с направлением ЭДС) либо в режиме заряда (направления I и E не совпадают). Также в качестве примера можно привести работу электрических машин, которые являются обратимыми. Если направление тока электрической машины совпадает с направлением ее ЭДС – машина работает в режиме генератора (источника), а если не совпадает – то в режиме двигателя (приемника электрической энергии).

5. Режимы работы элементов электрической цепи

Наиболее характерными являются следующие режимы работы: номинальный, согласованный, холостого хода (ХХ), короткого замыкания (КЗ).

Номинальным называется режим, при котором данный элемент электрической цепи работает со значениями различных величин (тока,

напряжения и т.д.), на которые он рассчитан заводом-изготовителем и которые называются его номинальными (или техническими) данными. Номинальные данные указываются в справочной литературе, технической документации и на самом элементе. Для различных элементов электрической цепи указываются различные номинальные данные. С учетом номинальных напряжений и токов источников и приемников производится выбор проводов и других элементов электрических цепей.

Согласованным называется режим, при котором мощность, отдаваемая источником или потребляемая приемником, достигает максимального значения. Это возможно при определенном соотношении (согласовании) параметров электрической цепи, откуда и вытекает название данного режима.

Под режимом **холостого хода** понимается такой режим, при котором приемник отключен от источника. При этом источник не отдает энергию во внешнюю цепь, а приемник не потребляет ее. Режимом ХХ двигателей считается режим, возникающий при работе двигателей без механической нагрузки на валу.

Режимом **короткого замыкания** называется режим, возникающий при соединении между собой выводов источника, приемника или соединительных проводов, а также иных элементов электрической цепи, между которыми имеется напряжение. При этом сопротивление в месте соединения оказывается практически равным нулю.

Режим КЗ является следствием выхода из строя изоляции, обрыва проводов, поломки деталей и т.д. При КЗ могут возникнуть недопустимо большие токи, электрическая дуга, возможно резкое снижение напряжения. Поэтому режим КЗ рассматривают как аварийный.