

ВВЕДЕНИЕ.

Основные понятия и определения электротехники.

Рассчитать режим в заданной электрической цепи – значит получить расчётным путем ток, напряжение, мощность в ее отдельных, интересующих нас участках. С этой целью необходимо составить и решить систему уравнений, связывающих искомые токи и напряжения с параметрами заданной электрической цепи.

1.1. Электрическая цепь – совокупность устройств, предназначенная для создания в них электрического тока.

1.2. Схема электрической цепи – графическое изображение цепи с помощью условных обозначений её элементов и их соединений.

1.3. Элементы электрической цепи – источники энергии, приемники энергии и соединяющие их провода.

Источники энергии преобразуют тепловую, механическую, химическую энергию в электрическую.

Приемники электрической энергии преобразуют электрическую энергию в другие виды энергии.

Элементы электрической цепи делятся на двухполюсные и многополюсные. **Двухполюсные элементы** имеют два выхода (зажима). **Многополюсные элементы** имеют больше двух выходов (зажимов).

Элементы электрической цепи описываются алгебраическими или дифференциальными уравнениями, которые связывают напряжение и ток на их зажимах. Если эти уравнения линейные, то элемент – **линейный**, если уравнения нелинейные, то элемент – **нелинейный**.

Электрические цепи, в состав которых включены только линейные элементы, называются **линейными электрическими цепями**.

Электрические цепи, в состав которых входит хотя бы один нелинейный элемент, называются **нелинейными электрическими цепями**.

Пассивные элементы электрической цепи (способны лишь накапливать или преобразовывать электрическую энергию в другие виды энергии) – резистор, индуктивность, емкость.

Активные элементы электрической цепи – источник э.д.с (напряжения) и источник тока.

1.4. Электрический ток, ампер (А) – упорядоченное движение электрических зарядов под воздействием электрического поля.

Электрический ток может быть постоянным или переменным:

$i(t)$ – переменный ток, I – постоянный ток.

Ток считается известным, если известны его величина и направление движения. Ток считают положительным

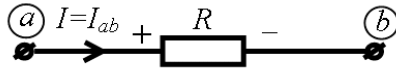


Рис. 1. 1

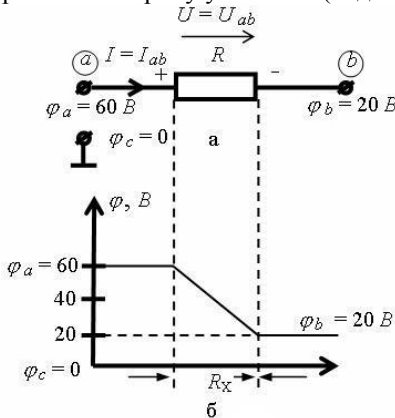
(например, $I = I_{ab} = 5A$, рис. 1. 1), если направление его движения совпадает с заранее выбранным направлением отсчета от т. (a) к т. (b) и соответственно – отрицательным (например, $I = I_{ab} = -3A$), если направление его движения не совпадает с заранее выбранным направлением отсчета от т. (a) к т. (b).

1.5. Электродвижущая сила (э. д. с.) E , вольт (В) – скалярная величина, характеризующая способность стороннего поля вызывать электрический ток.

1.6. Электрическое напряжение (напряжение) U , вольт (В) – разность потенциалов между двумя точками электрической цепи.

Напряжение считают известным, если известны его величина и направление отсчета (полярность). Направление отсчета напряжения задают последовательностью индексов, соответствующих заданным точкам схемы, например, $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$.

На электрических схемах направление отсчета напряжения задают стрелкой в сторону убывания (падения) напряжения (рис. 1. 2, а).



$$\begin{cases} U = U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = 60 - 20 = 40 \text{ B} \\ U = U_{ba} = \varphi_b - \varphi_a = 20 - 60 = -40 \text{ B} = -U_{ab} \end{cases}$$

Рис. 1. 2

Напряжение U_{ab} считают положительным, если потенциал т. (a) (пер - вый индекс) больше потенциала т. (b) (второй индекс).

Ток в резисторе $I = I_{ab}$ течет из точки $\textcircled{a}$ с большим потенциалом в точку $\textcircled{b}$ с меньшим потенциалом (рис. 1. 2, а).

Потенциал на резисторе $\varphi(R_x) = \varphi_a - IR_x = 60 - \frac{40}{R} R_x$ убывает (падает) в направлении движения тока от т. $\textcircled{a}$ к т. $\textcircled{b}$ (рис. 1. 2, б).

1.7. Мощность на входе пассивной электрической цепи P , ватт (Вт) – скорость поступления электрической энергии в цепь, равная произведению напряжения и тока на входе этой цепи (рис. 1. 3).

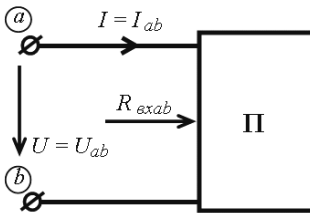


Рис. 1. 3

$$P = U_{ab} I_{ab} = UI$$

Если известно входное сопротивление цепи $R_{вх ab} = R$, то мощность, потребляемую цепью, можно рассчитать и по другим формулам

$$P = UI = \begin{cases} (IR)I = I^2 R \\ U\left(\frac{U}{R}\right) = \frac{U^2}{R} \end{cases}.$$

$p = iu$ – мгновенная мощность

$P = IU$ – постоянная мощность

Для обозначения основных физических величин в теории электротехники используют определенные символы. Приведем их краткий перечень:

- постоянный ток принято обозначать символом I ,
- переменный ток $i(t)$,
- постоянную э.д.с E ,
- переменную э.д.с $e(t)$,
- напряжение постоянного тока U ,
- напряжение переменного тока $u(t)$,
- сопротивление R ,
- проводимость G ,
- индуктивность L ,
- емкость C .

В международной систем единиц (СИ) ток измеряют в амперах (А), напряжение в вольтах (В), мощность в ваттах (Вт). К единицам измерения параметров электрических цепей относятся:

- ом (Ом) единица сопротивления,
- сименс (См) единица проводимости,
- генри (Гн) единица индуктивности,
- фарада (Ф) единица емкости.

1.8. Источники электрической энергии и их схемы замещения

В теории электрических цепей отвлекаются от природы источника и считают достаточным получить его математическую модель (схему замещения), отображающую свойства данного источника (генератора) (рис. 1. 4, а):

с источником э. д. с. E (рис. 1. 4, б) и с источником тока J (рис. 1. 4, в).

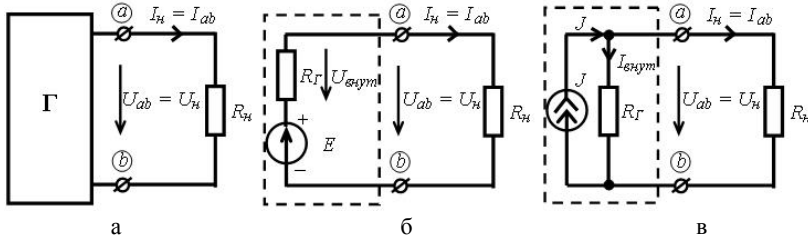


Рис. 1. 4

1.8.1. Источник э. д. с. E , вольт (В) – такой идеальный источник электрической энергии, напряжение на зажимах которого не зависит от протекающего по нему тока.

Источник э. д. с. обозначают кружком со стрелкой внутри (рис. 1. 5, а). Острые стрелки указывает положительный полюс источника (+). Ток, создаваемый этим источником во внешней пассивной цепи, течет от (+) к (-).

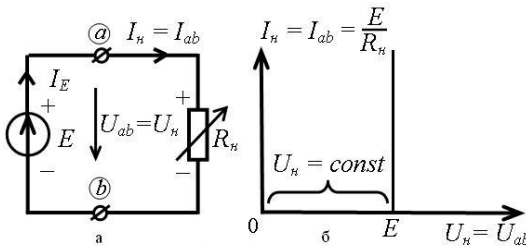


Рис. 1. 5

– Постоянство напряжения на зажимах источника э. д. с обусловлено тем, что внутреннее сопротивление источника э.д.с. считают равным нулю и при любом токе нет падения напряжения внутри источника ($R_{вн} E = 0$).

– При изменении сопротивления нагрузки от $R_n = \infty$ до $R_n = 0$ теоретически предполагается, что ток источника э. д. с изменяется от 0 до ∞ (нагрузочная характеристика на рис. 1. 5, б). Для каждого источника существует предельно допустимый ток.

Мощность, отдаваемая источником э. д. с., равна произведению э. д. с. и тока источника

$$P_E = E \cdot I_E$$

что следует из баланса мощностей, отдаваемой источником и потребляемой нагрузкой (рис. 1. 5, а)

$$P_E = P_H = I_H^2 R_H = (I_H R_H) I_H = U_H I_H = E I_E.$$

Заметим, что:

1. Формула мощности источника э. д. с. $P_E = +E \cdot I_E$ справедлива в случае, если направления э. д. с. E и тока I_E совпадают, как на рисунке 1. 5, а. В противном случае (рис. 1. 5, б), когда направление тока I_E выбрано в противоположную э. д. с. сторону, в формуле мощности должен стоять знак $(-)$, т. е. $P_E = -E \cdot I_E$.

2. Если в результате расчета мощность P_E оказалась положительной, то источник отдает энергию; если – отрицательной, то источник потребляет энергию, т. е. заряжается.

1.8.2. Источник тока J , ампер (А) – такой идеальный источник электрической энергии, ток через который не зависит от величины приложенного к нему напряжения.

Источник тока изображают кружком с двойной стрелкой внутри (рис. 1. 6, а). Острые стрелки указывает направление тока в ветви с источником тока $I_{ab} = J$.

Напряжение на зажимах источника тока в случае пассивной нагрузки зависит от сопротивления нагрузки

$$U_J = U_{ab} = U_H = J \cdot R_H$$

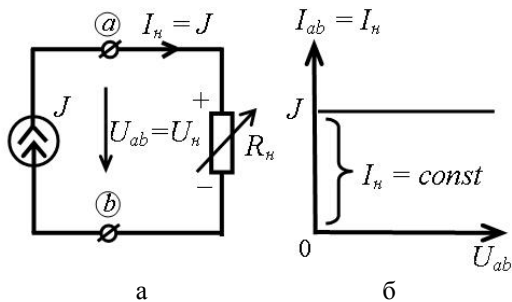


Рис. 1. 6

– Постоянство тока источника можно объяснить, представив источник тока как источник электрической энергии с бесконечно большой э. д. с. E_J и с бесконечно большим внутренним сопротивлением $R_{вн} J = \infty$. В таких условиях при любом конечном сопротивлении нагрузки R_H ток в цепи остаётся неизменным

– При изменении сопротивления нагрузки от $R_H = 0$ до $R_H = \infty$ теоретически предполагается, что напряжение на зажимах источника тока изменяется от 0 до ∞ (нагрузочная характеристика на рис. 1. 6, б).

$$I_n = \frac{E_J}{R_J + R_n} = \frac{E_J}{R_J} = J = \text{const}.$$

Мощность, отдаваемая источником тока, равна произведению напряжения U_{ab} и тока J на его зажимах

$$P_J = U_{ab} \cdot J,$$

что следует из баланса мощностей: отдаваемой источником и потребляемой нагрузкой (рис. 1. 7, а)

$$\begin{aligned} P_J &= P_n = I_n^2 R_n = J^2 R_n = \\ &= (J R_n) J = U_n J = U_{ab} J. \end{aligned}$$

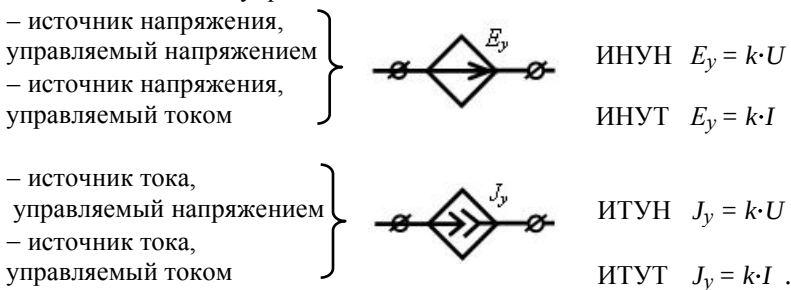
Заметим, что если в результате расчета мощность P_J оказалась положительной, то источник отдает энергию; если – отрицательной, то источник потребляет энергию, т. е. заряжается.

Отметим, что в схемах замещения электронных цепей имеют место зависимые (управляемые) источники. Поэтому источники электрической энергии разделяют на независимые и зависимые.

Независимым называют источник, интенсивность которого не зависит от режима работы и остается постоянной.

Зависимым (управляемым) называют источник, величина которого зависит от тока в какой-либо части схемы или от напряжения между какими-либо зажимами схемы.

Зависимых или управляемых источников 4 вида:



Коэффициент « k » называют **коэффициентом управления**. Его размерность определяется видом источника. Для отличия от независимых управляемые источники на схемах обозначают квадратом или ромбом.

1.9. Пассивные элементы электрических цепей и их параметры. Соотношения электрических величин в идеальных элементах.

Электрическая цепь согласно ее функциональному назначению может содержать пассивные элементы: резисторы, индуктивные катушки и конденсаторы. Физические элементы на принципиальных схемах и величины их параметров обозначаются одинаковыми символами: R , L , C .

Резистором называют элемент электрической цепи, предназначенный для использования его сопротивления, т.е. для преобразования электромагнитной энергии в тепло. Резисторы могут быть линейными и нелинейными.

Сопротивление резистора устанавливает связь между напряжением и током в нем по закону Ома $R = \frac{U_R}{I_R}$ и является главным параметром резистора. Напряжение на резисторе обусловлено работой сторонних сил по перемещению заряда через него.

Сопротивление резистора при переменном токе из-за поверхностного эффекта больше, чем при постоянном токе, и его называют активным. Сопротивление резистора на постоянном токе называют электрическим сопротивлением.

Индуктивной катушкой называют элемент электрической цепи, предназначенный для использования его индуктивности, т.е. для накопления энергии магнитного поля.

Сумму всех магнитных потоков, пронизывающих каждый виток катушки называют потокосцеплением катушки

$$\Psi = \sum_{k=1}^n \Phi_k [\text{Вебер}].$$

Индуктивность катушки устанавливает связь между потокосцеплением катушки и током в ней $L = \frac{\Psi}{I}$ [Генри] и является главным параметром катушки. Напряжение на катушке обусловлено изменением собственного потокосцепления и равно э.д.с. самоиндукции $U_L = \frac{d\Psi}{dt} = \frac{d}{dt} [I_L] = L \frac{dI_L}{dt}$.

Индуктивность накапливает энергию магнитного поля. На постоянном токе индуктивность представляет собой провод.

Конденсатором называют элемент электрической цепи, предназначенный для использования его емкости, т.е. для накопления энергии электрического поля. Сумма электрических зарядов всех пластин конденсатора составляет его полный электрический заряд

$$q = \sum_{k=1}^n q_k, [\text{Кулон}].$$

Емкость конденсатора устанавливает связь между зарядом и напряжением на нем $C = \frac{q}{u_C}, [\text{Фарад}]$ и является главным параметром конденсатора.

Напряжение на конденсаторе обусловлено накопленным зарядом и соответственно напряженностью электрического поля

$$u_C = \frac{q}{C}, [\text{Вольт}].$$

Ток в конденсаторе (ток смещения) обусловлен изменением заряда на его обкладках $i_C = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt}[Cu_C] = C \frac{du_C}{dt}$.

Емкость накапливает энергию электрического поля. Емкость на постоянном токе представляет собой разрыв.

Если параметры элементов R, L, C не зависят от режима, то такие элементы называют линейными:

$$u_R = R \cdot i_R, \psi = L \cdot i_L, q = Cu_C.$$

В противном случае элементы называют нелинейными и их свойства описывают вольт-амперными $U_R(I_R)$, вебер-амперными $\psi(I_L)$ и кулон-вольтными $q(U_C)$ характеристиками.

Основные сведения об элементах и соотношениях для них приведены в таблице 1.

Стандартные размеры на схемах: для R – прямоугольник (10×4) мм, для C – $(8 \times 1,5)$ мм, для L – три полуокружности $r = (1,5 \div 4)$ мм.

1.10. Электрическая схема и её элементы

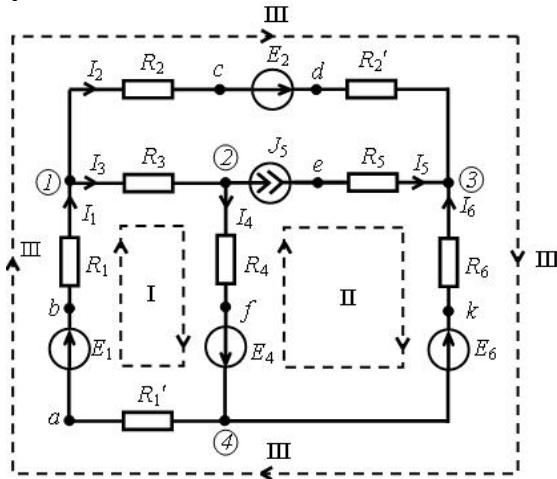


Рис. 1. 7

Схема электрической цепи – графическое изображение цепи с помощью условных обозначений её элементов и их соединений.

Ветвь электрической цепи – участок электрической цепи, содержащий хотя бы один элемент и вдоль которого протекает один и тот же ток.

Узел – место соединения 3-х и более ветвей.

Путь – непрерывная последовательность элементов схемы без их повторения.

Контур – замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям.

На рис.1.7 представлена схема электрической цепи, содержащая $n_b = 6$ ветвей и $n_y = 4$ узла.

Ветви и узлы схемы нумеруют с первого до последнего, как правило, слева, вниз, направо. Элементам и токам присваивают номер соответствующей ветви. Обозначения элементов и токов располагают сверху посередине или справа посередине элемента. Направления токов в ветвях можно выбрать произвольно, но в ветви с источником тока оно известно по определению, а в ветвях с источником э. д. с. направление тока лучше брать совпадающим с э. д. с.

Граф электрической цепи – изображение схемы электрической цепи, в котором ветви схемы представлены отрезками – ветвями графа, а узлы представлены точками – узлами графа.

На рис. 1.8 показан граф электрической цепи, схема которой приведена на рис.1.7. На графе сохранены и все $n_y = 4$ узла, и все $n_e = 6$ ветвей схемы с указанием их номеров и направлений. Ветви графа разделяют на ветви дерева n_{ed} и на ветви связи n_{ec} .

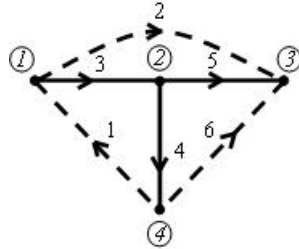


Рис. 1. 8

Ветви дерева составляют **дерево графа**. Ветви дерева изображают сплошными линиями. Очевидно, что число ветвей дерева на единицу меньше числа узлов ($n_{ed} = n_y - 1$). В самом деле, если, например, 4-я ветвь дерева соединяет два узла (2-ой и 4-ый), то каждая следующая ветвь дерева образуется соединением с одним новым узлом.

Ветвями связи называют все остальные ветви графа, кроме ветвей дерева. Их изображают пунктирными линиями. Число ветвей связи

$$n_{ec} = n_e - n_{ed} = n_e - (n_y - 1)$$

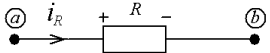
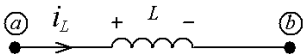
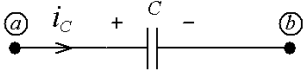
Добавление к дереву по одной ветви связи образует контур. Поскольку в каждом новом контуре обязательно содержится одна новая ветвь (ветвь связи), то все полученные таким способом контуры являются независимыми и их число равно числу ветвей связи

$$n_k = n_{ec} = n_e - (n_y - 1)$$

Задача анализа: по заданной схеме и параметрам цепи (E, J, R, L, C) требуется рассчитать режим в цепи (i, u).

Задача синтеза: по заданному режиму требуется определить схему и её параметры.

Основные соотношения в элементах R, L, C

Элементы	Напряжение	Ток	Мощность	Энергия
<u>Резистор</u>  <u>Преобразует:</u> - электрическую энергию в тепловую.	$u_R = u_{ab} = i_R \cdot R$ — Закон Ома.	$i_R = \frac{u_R}{R} = \frac{u_{ab}}{R}$ — Закон Ома.	$p_R = u_R \cdot i_R = i_R^2 \cdot R = \frac{u_R^2}{R}$ $p_R > 0, \quad \text{если } i_R \neq 0$ $p_R = 0, \quad \text{если } i_R = 0.$	$W_R = \int_0^t p_R dt.$ W_R растет с течением времени t, если $i_R \neq 0$.
<u>Индуктивная катушка</u>  <u>Накапливает:</u> - Энергию $W_M = \frac{L \cdot i_L^2}{2}$, - Магнитное потокоцепление $\psi = \sum_{k=1}^n \Phi_k = L \cdot i_L = \int u_L dt$, - Ток $i_L = \frac{\psi}{L}$. Φ_k - магнитный поток k-го витка.	$u_L = u_{ab} = \frac{d\psi}{dt} = \frac{d}{dt} L \cdot i_L = L \cdot \frac{di_L}{dt}$ -Дифференциальное соотношение (Не закон Ома). 1. Если $i_L = const$, то $u_L = 0$. 2. Ток i_L растет, если $u_L > 0$: $i_L' = \frac{u_L}{L}.$	$i_L = \frac{\psi}{L} = \frac{1}{L} \cdot \int_0^t u_L dt + i_L(0)$ -Интегральное соотношение (Не закон Ома). $i_L(0)$ – ток в начальный момент времени. Ток в катушке $i_L(t)$ при конечном напряжении ($u_L \neq \infty$) изменяется <u>плавно</u>, без скачков.	$p_L = u_L \cdot i_L = L \cdot i_L \frac{di_L}{dt}$ Если $i_L = const$, то $p_L = 0$. Если i_L по модулю растет, то $p_L > 0$ (энергия запасается)	$W_M = \int_0^t p_L dt = \frac{L \cdot i_L^2}{2}$ Энергия накоплена, если $i_L \neq 0$. i_L, W_M, ψ возникают при воздействии напряжения u_L.
<u>Конденсатор</u>  <u>Накапливает:</u> - Энергию $W_3 = \frac{C \cdot u_c^2}{2}$, - Электрический заряд $q = \sum_{k=1}^n q_k = C \cdot u_c = \int i_c dt$, - Напряжение $u_c = \frac{q}{C}$. q_k - эл. заряд k-ой пластины.	$u_c = u_{ab} = \frac{q}{C} = \frac{1}{C} \cdot \int_0^t i_c dt + u_c(0)$ -Интегральное соотношение (Не закон Ома) $u_c(0)$ – напряжение в начальный момент времени. Напряжение на конденсаторе при конечном токе ($i_c \neq \infty$) изменяется <u>плавно</u>, без скачков.	$i_c = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} (C \cdot u_c) = C \cdot \frac{du_c}{dt}$ -Дифференциальное соотношение (Не закон Ома) 1. Если $u_c = const$, то $i_c = 0$. 2. Напряжение растет, если $i_c > 0$: $u_c' = \frac{i_c}{C}.$	$p_c = u_c \cdot i_c = C \cdot u_c \cdot \frac{du_c}{dt}$ Если $u_c = const$, то $p_c = 0$. Если u_c по модулю растет, то $p_c > 0$ (энергия запасается).	$W_3 = \int_0^t p_c dt = \frac{C \cdot u_c^2}{2}$ Энергия накоплена, если $u_c \neq 0$. u_c, W_3, q возникают при воздействии тока i_c.

