

Вопросы с краткими ответами к экзамену по теоретическим основам электротехники

1 Закон Ома. Закон Джоуля-Ленца. Первый и второй законы Кирхгофа. Законы Кирхгофа для магнитных цепей.

Закон Ома: Ток в проводнике равен отношению напряжения на участке проводника к электрическому сопротивлению этого участка $I = U / R$, выражения $U = R \cdot I$ и $R = U / I$ являются производными закона Ома.

Закон Джоуля-Ленца: Количество электрической энергии, преобразуемое в проводнике в тепловую энергию, пропорционально квадрату тока и сопротивлению проводника $W = I^2 R t$.

Первый закон Кирхгофа: Сумма токов подтекающих к узлу электрической цепи равна сумме токов, утекающих от узла $\Sigma I_{\text{п}} = \Sigma I_{\text{у}}$.

Второй закон Кирхгофа: В контуре электрической цепи алгебраическая сумма падений напряжений на пассивных элементах равна алгебраической сумме ЭДС $\Sigma \pm IR = \Sigma \pm E$.

Для магнитных цепей. Первый закон Кирхгофа. Сумма магнитных потоков, подтекающих к узлу магнитной цепи равна сумме магнитных потоков, утекающих от узла $\Sigma \Phi_{\text{п}} = \Sigma \Phi_{\text{у}}$.

Второй закон Кирхгофа для магнитных цепей (закон полного тока). Сумма падений магнитного напряжения вдоль любого замкнутого контура магнитной цепи равна сумме МДС вдоль того же контура. $\Sigma HI = \Sigma IN$.

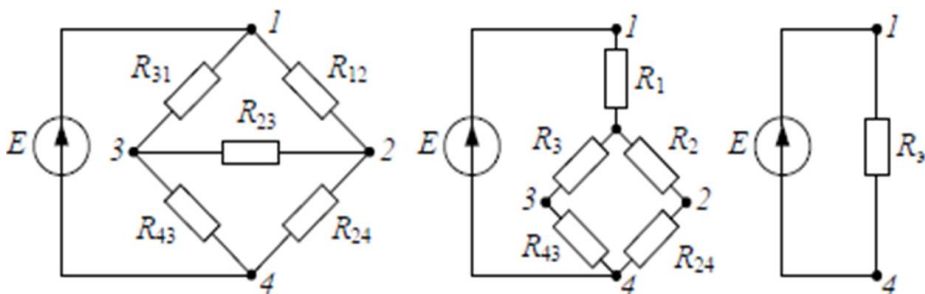
2 Эквивалентные преобразования в электрических цепях. Метод свёртывания цепи.

Цепь, содержащая один источник, свёртывается, начиная от крайних ветвей по направлению к источнику. Эквивалентные сопротивления последовательно подключенных элементов определяются как их сумма. Эквивалентные сопротивления параллельно подключенных элементов

определяются по формуле $R = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$. Таким образом, цепь преобразуется в один эквивалентный элемент R_3 . Ток источника определяется как частное от деления его ЭДС на сумму эквивалентного сопротивления цепи и внутреннего сопротивления источника. Затем схема разворачивается. Ток источника поэтапно распределяют между ветвями цепи, определяя напряжения узлов или используя формулы разброса $I_1 = I \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$; $I_2 = I \cdot R_1 / (R_1 + R_2)$. Правильность расчёта проверяется составлением баланса мощностей $P_{\text{и}} = \sum I^2 R$.

3 Преобразование треугольника сопротивлений в звезду и наоборот.

При замене верхнего треугольника сопротивлений звездой каждое сопротивление звезды получается как частное от деления произведения сопротивлений прилегающих сторон треугольника на сумму сопротивлений всех его сторон.



$$R_1 = \frac{R_{12} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; R_2 = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; R_3 = \frac{R_{23} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}.$$

Если требуется заменить звезду сопротивлений треугольником, то каждое сопротивление стороны треугольника определяется как сумма сопротивлений прилегающих лучей звезды плюс частное от деления их произведения на сопротивление противолежащего луча

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3}; R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}; R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 \cdot R_1}{R_2}.$$

4 Метод контурных токов.

Контурные токи направляются по часовой стрелке. Для каждого контурного тока составляется уравнение по 2 закону Кирхгофа – алгебраическая сумма падений напряжений на элементах контура равна алгебраической сумме действующих в этом контуре ЭДС. Сумма падений напряжений особая, так как суммируются падение напряжения от протекания контурного тока по собственным сопротивлениям контура и добавки от протекания соседних токов по общим сопротивлениям. Эти добавки берутся со знаком « – », потому что в общих сопротивлениях контуров контурные токи текут во встречных направлениях.

Число уравнений равно числу независимых контуров в схеме.

В каноническом виде система уравнений по методу контурных токов для схемы, содержащей три контура, выглядит так:

$$\begin{aligned} I_{11}R_{11} - I_{22}R_{12} - I_{33}R_{13} &= E_{11}; \\ - I_{11}R_{21} + I_{22}R_{22} - I_{33}R_{23} &= E_{22}; \\ - I_{11}R_{31} - I_{22}R_{32} + I_{33}R_{33} &= E_{33}. \end{aligned}$$

Матрица коэффициентов симметрична относительно **главной диагонали**.

После определения контурных токов находят реальные токи в ветвях.

5 Метод узловых потенциалов. Метод двух узлов.

Сначала определяют потенциалы узлов, затем токи между ними. При расчёте схемы содержащей три узла один из узлов заземляется (его потенциал равен нулю) а потенциалы остальных рассчитываются решением системы из двух уравнений

$$\begin{aligned} \varphi_1 g_{11} - \varphi_2 g_{12} &= I_{11}; \\ - \varphi_1 g_{21} + \varphi_2 g_{22} &= I_{22}. \end{aligned}$$

Здесь φ_1 и φ_2 – потенциалы узлов;

g_{11} и g_{22} – суммы проводимостей ветвей, подключенных к соответствующим узлам 1 и 2;

$g_{12} = g_{21}$ – суммы проводимостей ветвей, подключенных между узлами 1 и 2;

I_{11} и I_{22} – узловые токи узлов 1 и 2 равные алгебраической сумме токов, полученных от умножения ЭДС ветвей, подходящих к соответствующему узлу, на проводимость данных ветвей.

Далее по закону Ома определяются токи в ветвях.

Для схемы, содержащей 2 узла достаточно одного уравнения. Здесь определяется напряжения между двумя узлами

$$U_{AB} = \frac{\sum \pm E_K \cdot g_K}{\sum g_K},$$

где E_K – ЭДС в ветвях между узлами;

g_K – проводимости ветвей.

Знак «+» берётся, если ЭДС направлена к узлу a , если от узла «-».

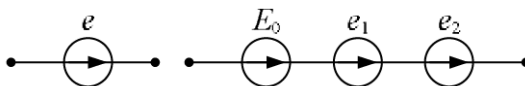
Токи в ветвях определяются по закону Ома с учётом направлений напряжения и ЭДС $I_K = (\pm U_{AB} \pm E_K) \cdot g_K$.

6 Принцип и метод наложения.

Принцип наложения заключается в том, что ток в любой ветви сложной линейной цепи с несколькими ЭДС равен алгебраической сумме токов, вызванных в этой ветви каждой ЭДС в отдельности. Поочерёдно рассчитывают токи от каждой из ЭДС, мысленно удаляя остальные из схемы, но оставляя их внутренние сопротивления. Частичные токи, вызванные действием одного источника, обозначают со штрихом I_n' ; вызванные действием другого источника обозначают с двумя штрихами I_n'' . Реальный ток равен $I_n = I_n' + I_n''$ с учётом знаков (направлений).

Принцип наложения справедлив и для напряжений $U_n = U_n' + U_n''$.

Принцип наложения используется также для расчёта мгновенных значений несинусоидального тока. Источник несинусоидальной ЭДС заменяется последовательным соединением источников постоянной и синусоидальных ЭДС, $e = E_0 + E_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + E_{2m} \sin(2\omega t + \psi_2)$,



Расчёт тока каждой гармоники ведётся символическим методом, индуктивные сопротивления для k -гармоники равны $j \cdot k \cdot \omega \cdot L$, емкостные $1 / j \cdot k \cdot \omega \cdot C$. Затем токи представляются как функции времени, мгновенные значения которых складываются $i = I_0 + i_1 + i_2$.

7 Метод эквивалентного генератора.

Применяется для определения тока в какой-нибудь одной ветви. В исследуемой цепи выделяют ветвь с сопротивлением R , в которой требуется определить ток. Остальную часть цепи представляют в виде источника ЭДС с напряжением $U_{ХХ}$ и внутренним сопротивлением $r_{вн}$. $U_{ХХ}$ это напряжение холостого хода между зажимами оставшейся части цепи при отключённой ветви, его измеряют либо рассчитывают с применением методов расчёта простых цепей. Внутреннее сопротивление эквивалентного генератора $r_{вн}$ рассчитывают как сопротивление оставшейся части цепи между её зажимами.

Для определения внутреннего сопротивления эквивалентного генератора можно предварительно измерить либо вычислить ток $I_{кз}$ короткого замыкания оставшейся части цепи. Далее рассчитывают внутреннее сопротивление, оно равно: $r_{вн} = U_{ХХ} / I_{кз}$.

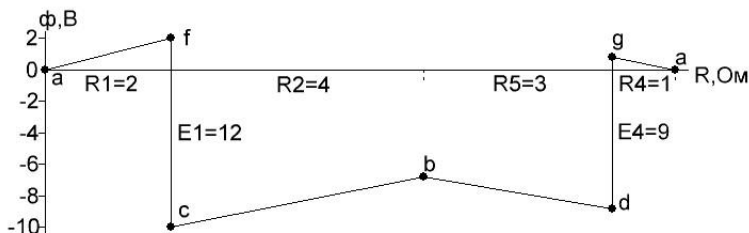
Искомый ток определяют по формуле: $I = U_{ХХ} / (R + r_{вн})$.

Если выделенная ветвь содержит источник ЭДС E с внутренним сопротивлением r_0 , искомый ток определяют по формуле

$$I = (U_{ХХ} \pm E) / (R + r_0 + r_{вн}).$$

8 Потенциальная диаграмма электрической цепи.

Потенциальная диаграмма строится для цепи постоянного тока. Она представляет собой график изменения потенциала при обходе цепи по замкнутому контуру, содержащему резисторы и источники ЭДС. По горизонтали откладывают в масштабе сопротивления, которые встречаются на пути обхода; по вертикали – потенциалы с учётом знака. Диаграмма начинается с точки, потенциал которой принят за ноль 0. При обходе по замкнутому контуру потенциал возвращается к исходному значению – нулю. Повышение потенциала означает, что мы идём против тока, понижение – по току. Крутизна линий потенциальной диаграммы показывает силу тока, а направление наклона – направление тока.



Скачки потенциала говорят о встречающихся по пути источниках ЭДС, если внутреннее сопротивление источника равно 0 скачок вертикальный, если оно не равно 0 – скачок с небольшим наклоном.

9 Построение результирующих вольт-амперных характеристик при параллельном и последовательном соединении нелинейных элементов.

При **параллельном** соединении элементов нелинейной цепи они под одним напряжением, их токи складываются, $I_1 + I_2 = I$, $ab + ac = ad$

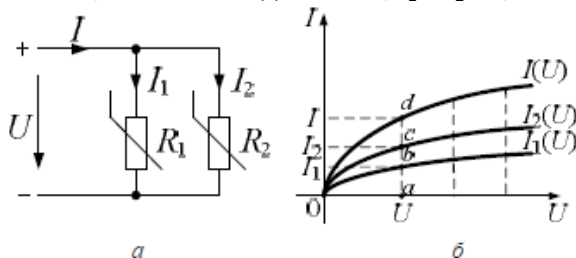


Рисунок 1 – Схема (а) и графическое построение результирующей ВАХ (б) при параллельном соединении нелинейных элементов

При **последовательном** соединении элементов нелинейной цепи по ним протекает один ток, их напряжения складываются $U_1 + U_2 = U$, $ab + ac = ad$ (рисунок 2).

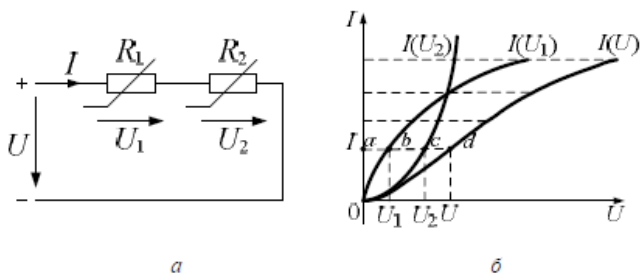


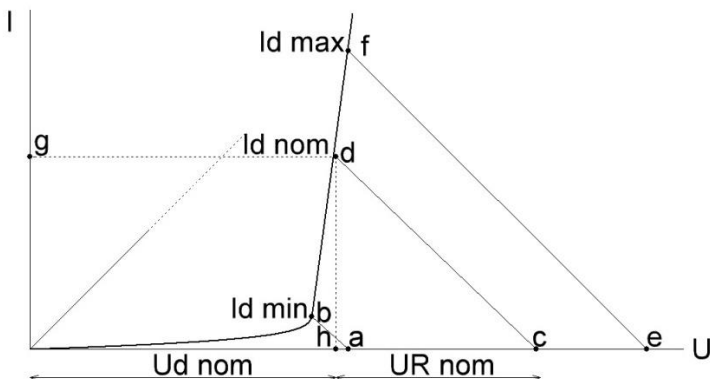
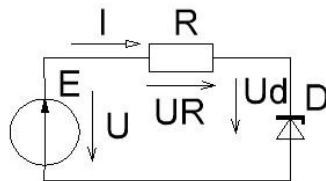
Рисунок 2 – Схема (а) и графическое построение результирующей ВАХ (б) при последовательном соединении нелинейных элементов

10 Расчёт нелинейной цепи зеркальным отражением ВАХ линейного элемента

Если цепь содержит только один нелинейный элемент, а остальные элементы линейные удобно применять **метод зеркального отражения ВАХ линейного элемента**.

При **последовательном соединении** линейного и нелинейного элементов характеристика линейного отражается относительно вертикальной оси и проводится из точки, соответствующей суммарному

приложенному напряжению. Точка пересечения ВАХ нелинейного элемента с отражённой ВАХ линейного характеризует ток и напряжения на элементах.



Расчёт последовательного соединения резистора и стабилитрона методом зеркального отражения ВАХ резистора

11 Расчёт электростатических цепей при параллельном и последовательном соединении конденсаторов.

Заряд конденсатора q равен произведению ёмкости C на напряжение U

$$q = C \cdot U, \text{ Кл (кулон)}, \quad (1)$$

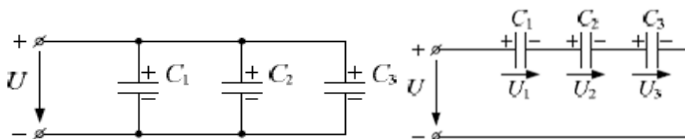
где C – ёмкость в фарадах (Ф). $1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$; $1 \text{ нФ} = 10^{-9} \text{ Ф}$; $1 \text{ пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$.

Энергия электрического поля, запасённая конденсатором

$$W = 0,5 C \cdot U^2 \text{ Дж (джоуль)}. \quad (2)$$

При **параллельном** соединении конденсаторов все они находятся под одним напряжением, их ёмкости и заряды складываются,

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad q = q_1 + q_2 + q_3.$$



При **последовательном** соединении конденсаторов заряд всех конденсаторов и каждого конденсатора в отдельности один и тот же $q = q_1 = q_2 = q_3$. Эквивалентная ёмкость $C = 1 / (1 / C_1 + 1 / C_2 + 1 / C_3)$, для случая двух конденсаторов $C = C_1 \cdot C_2 / (C_1 + C_2)$. Она меньше ёмкости любого из *последовательно* включённых конденсаторов. Напряжение распределяется между конденсаторами обратно-пропорционально их ёмкости – чем больше ёмкость конденсатора, тем меньше на нём напряжение.

12 Магнитодвижущая сила. Напряжённость магнитного поля и магнитная индукция. Магнитная проницаемость. Магнитный поток.

Магнитное поле создаётся электрическими токами. Магнитодвижущая сила F катушки с током I равна произведению этого тока на число витков N : $F = I \cdot N$ (ампер-витки). Магнитодвижущая сила распределяется по длине l , м, силовых линий поля, создавая напряжённость H А/м. Возбуждается магнитная индукция B , Тл (тесла), которая зависит от магнитной проницаемости материала $B = \mu \cdot \mu_0 \cdot H$. Относительная магнитная проницаемость μ показывает во сколько раз вещество изменяет (усиливает или ослабляет) магнитное поле по сравнению с вакуумом, проницаемость которого $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м. Поток вектора магнитной индукции через поверхность площадью S , м², в равномерном поле равен: $\Phi = B \cdot S$, Вб (вебер); он называется магнитным потоком.

13 Расчёт неразветвлённых магнитных цепей. Определение МДС по заданному магнитному потоку. Определение магнитного потока по МДС.

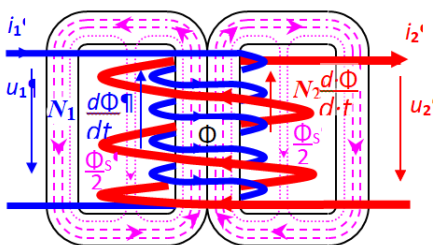
Обычно заданы конфигурация и геометрические размеры магнитопровода (длина участков l_k и площадь сечений S_k), кривые намагничивания $B(H)$ ферромагнитных материалов и магнитный поток Φ_B или магнитная индукция B_B в воздушном зазоре. Находят значение индукции на каждом участке магнитопровода $B_k = \Phi_B / S_k$. По кривым намагничивания определяют напряжённость H_k на каждом участке магнитной цепи. Напряжённость поля в воздушном зазоре рассчитывают по формуле $H_B = B / \mu_0 \approx 0,8 \cdot 10^6 \cdot B$. Искомую магнитодвижущую силу МДС определяют по второму закону Кирхгофа: $IN = \sum H_k \cdot l_k$.

Для определения магнитного потока по заданной магнитодвижущей силе сначала строят вебер-амперную характеристику $\Phi(IN)$ – зависимость магнитного потока от магнитодвижущей силы. При этом задаются значениями потока Φ и определяют МДС IN по описанной выше методике. Затем, по заданной МДС, определяют магнитный поток.

14 Явление электромагнитной индукции. ЭДС самоиндукции и взаимной индукции. Трансформатор.

При изменении магнитного потока, пронизывающего какой-либо контур, в нём наводится электродвижущая сила e . Она равна скорости изменения потокосцепления Ψ контура, взятой с отрицательным знаком $e = -d\Psi / dt$. Эта ЭДС препятствует изменению магнитного потока. На применении явления электромагнитной индукции основано взаимное преобразование механической и электрической энергий.

При изменении собственного потокосцепления возникает ЭДС самоиндукции e_L , а при изменении взаимного потокосцепления – ЭДС взаимной индукции e_M . Изменение тока в одной катушке встречает противодействие со стороны другой катушки. Наглядный пример использования явления взаимной индукции – работа трансформатора.



Пульсирующий магнитный поток Φ обеспечивает передачу энергии из первичной обмотки N_1 понижающего трансформатора во вторичную N_2 с преобразованием – уменьшением напряжения в $k = N_1 / N_2$ раза и одновременным увеличением силы тока.

15 Резистор, катушка индуктивности и конденсатор в цепи синусоидального тока.

В *резисторе* ток и напряжение совпадают по фазе. Их значения связаны законом Ома: $U_r = r \cdot I$. Мощность, потребляемая резистором, $P = r \cdot I^2$.

Напряжение на идеальной катушке индуктивности пропорционально

производной от тока

$$u_L = L \frac{di}{dt} = L \frac{d(I_m \sin \omega t)}{dt} = \omega L I_m \sin(\omega t + 90^\circ), \text{ где } L - \text{индуктивность.}$$

Напряжение на идеальной катушке индуктивности опережает ток по фазе на 90° (электрических), т. е. на четверть периода. Соответственно ток через катушку отстает от напряжения. Значения напряжения и силы тока в катушке связаны через индуктивное сопротивление x_L :

$$U_L = x_L \cdot I, \text{ где } x_L = \omega L = 2\pi f L.$$

Индуктивное сопротивление является реактивным, т. к. характеризует не потребление, а обмен энергией. Реактивная мощность Q_L обмена энергией между катушкой индуктивности и питающей цепью:

$$Q_L = x_L I^2 = \omega L I^2 = 2\pi f L I^2.$$

Напряжение на *конденсаторе* пропорционально интегралу от протекающего через него тока

$$u_C = \frac{1}{C} \int i dt = \frac{1}{C} \int I_m \sin \omega t = \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t - 90^\circ), \text{ где } C - \text{ёмкость.}$$

Напряжение на идеальном конденсаторе отстает от тока по фазе на 90° (электрических). Соответственно ток через конденсатор опережает приложенное напряжение. Значения напряжения и силы тока в конденсаторе связаны через емкостное сопротивление

$$U_C = x_C I, \text{ где } x_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}.$$

Емкостное сопротивление также является реактивным. Реактивная мощность обмена энергией между конденсатором и питающей цепью

$$Q_C = x_C I^2 = \frac{U^2}{x_C} = \omega C U^2 = 2\pi f C U^2.$$

Реактивные сопротивление и мощность катушки индуктивности считаются положительными, а конденсатора – отрицательными.

16 Представление синусоидальных тока и напряжения, сопротивления и мощности в цепи переменного тока комплексными числами.

Комплекс действующего значения тока \underline{I} может быть записан в алгебраической или в показательной форме (a – действительная часть, b – коэффициент при мнимой, I – модуль, ψ – аргумент, начальная фаза)

$$\underline{I} = a \pm jb \Rightarrow Ie^{\pm j\psi}.$$

Комплекс действующего значения напряжения \underline{U} может быть записан в алгебраической или в показательной форме (a – действительная часть, b – коэффициент при мнимой, U – модуль, ψ – аргумент, начальная фаза)

$$\underline{U} = a \pm jb \Rightarrow Ue^{\pm j\psi}.$$

Ток, напряжение и сопротивление связаны между собой законом Ома

$$\underline{I} = \underline{U} / \underline{Z}; \quad \underline{U} = \underline{I} \cdot \underline{Z}; \quad \underline{Z} = \underline{U} / \underline{I}, \text{ где } \underline{Z} \text{ – комплекс полного сопротивления.}$$

Комплекс полного сопротивления цепи \underline{Z} это число в алгебраической или показательной форме (R – активное, X – реактивное, Z – модуль, φ – аргумент, угол сдвига фаз между током и напряжением)

$$\underline{Z} = R \pm jX \Rightarrow Ze^{\pm j\varphi}.$$

Если цепь имеет активно-индуктивный характер, при j применяется знак «+», если цепь имеет активно-емкостной характер, то при j знак «-» ($-j$).

Комплекс полной мощности \underline{S} обычно записывают в алгебраической форме (P – активная мощность, Q – реактивная мощность). $\underline{S} = P \pm jQ$.

Для определения комплекса полной мощности, а, следовательно, активной и реактивной мощности необходимо умножить комплекс напряжения на комплексно-сопряжённый ток, $\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = P \pm jQ$.

Комплексно-сопряжённый ток \underline{I}^* имеет обратный знак при j .

17 Расчёт цепи переменного тока с последовательным соединением элементов. Резонанс напряжений.

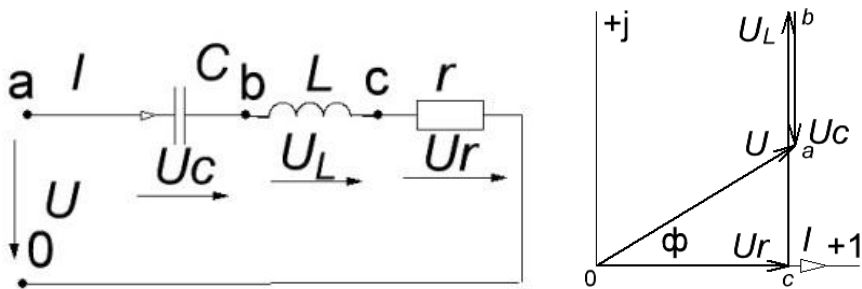
При последовательном соединении элементов складываются их сопротивления и напряжения на них. Однако это суммы комплексных чисел (действительные части отдельно, мнимые отдельно). Полное сопротивление цепи с последовательно соединёнными резистором, индуктивным элементом и конденсатором в комплексном виде

$$\underline{Z} = r + jX_L - jX_C. \text{ Модуль полного сопротивления } z = \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2}.$$

Из обеих формул видно, что индуктивное и емкостное сопротивления взаимно компенсируют друг друга. Если $x_C = x_L$, то полное сопротивление минимально и равно активному r , а сила тока I

максимальна. Обмен энергией между катушкой индуктивности и конденсатором также достигает максимума, на этих элементах наблюдаются перенапряжения. Такой режим называют резонансом напряжений. Так как $\omega L = \frac{1}{\omega C}$, резонансная частота $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$; $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$.

18 Топографическая диаграмма напряжений и векторная диаграмма токов при последовательном соединении элементов цепи переменного тока.



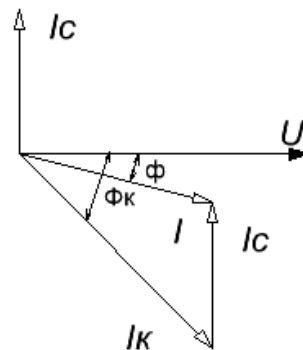
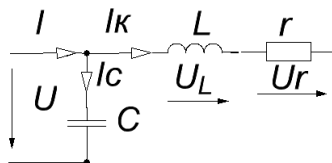
По всем элементам течёт один и тот же ток I , считаем его действительным и откладываем по горизонтальной оси. При последовательном соединении элементов электрической цепи их напряжения складываются, однако сумма напряжений не арифметическая и не алгебраическая, а геометрическая – это сумма векторов:

- напряжение на резисторе U_r совпадает по фазе с током, вектор направлен горизонтально, приходит в точку c ;
- напряжение на индуктивности U_L опережает по фазе ток на 90° , вектор направлен вертикально вверх, идёт из точки c в точку b ;
- напряжение на конденсаторе U_C отстает по фазе от тока на 90° , вектор направлен вертикально вниз, идёт из точки b в точку a .

Напряжение U равно сумме напряжений U_r , U_L и U_C . В общем случае оно сдвинуто по фазе относительно тока на угол ϕ . Сдвиг против часовой стрелки считается положительным, при этом ток отстает от напряжения, цепь имеет активно-индуктивный характер. Сдвиг по часовой стрелке считается отрицательным, при нём напряжение отстает от тока, цепь имеет активно-емкостной характер.

19 Цепь переменного тока с параллельным соединением элементов. Компенсация индуктивности катушки конденсатором (повышение коэффициента мощности $\cos\varphi$).

При параллельном соединении элементы находятся под одним напряжением U , у них складываются токи и мощности. Ток I_k в катушке rL отстаёт по фазе от приложенного напряжения U на угол φ_k ; она потребляет индуктивную мощность. Для компенсации индуктивности параллельно катушке подключается конденсатор C , ток которого I_c опережает по фазе напряжение на 90° . При этом уменьшаются угол сдвига фаз до φ и потребляемый ток до I , что снижает потери в источнике и проводах; повышается $\cos\varphi = P/S$ (коэффициент мощности, он показывает какую долю от полной мощности составляет активная).



20 Цепи со взаимной индуктивностью. Согласное и встречное включение магнитосвязанных катушек.

Если изменение тока одной катушке порождает электродвижущую силу в другой, и наоборот, такие катушки называют магнитосвязанными. Взаимная индуктивность M , как и собственная L , измеряется в Гн (генри).

Коэффициент магнитной связи двух катушек
$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

Если катушки включены последовательно-согласно ЭДС взаимоиндукции складывается с ЭДС самоиндукции, что увеличивает суммарную индуктивность катушек, а следовательно и полное сопротивление $Z_C = r_1 + jx_{L1} + r_2 + jx_{L2} + j2x_M$. При последовательно-встречном включении индуктивность и сопротивление уменьшаются $Z_B = r_1 + jx_{L1} + r_2 + jx_{L2} - j2x_M$. Отсюда можно определить $x_M = (Z_C - Z_B) / 4$ и взаимную индуктивность M .

21 Трёхфазная система питающих напряжений. Фазные и линейные напряжения. Способы подключения трёхфазных потребителей.

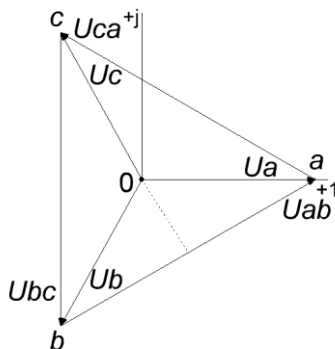
В трёхфазной питающей сети 230/400 В фазные напряжения равны по величине и сдвинуты на 120° по фазе:

$$\underline{U}_a = 230 e^{j0}, \underline{U}_b = 230 e^{-j120^\circ}, \underline{U}_c = 230 e^{j120^\circ}.$$

Линейные напряжения по величине больше фазных в $\sqrt{3}$ раза и тоже сдвинуты по фазе:

$$\underline{U}_{ab} = 400 e^{j30^\circ}, \underline{U}_{bc} = 400 e^{-j90^\circ}, \underline{U}_{ca} = 400 e^{j150^\circ}.$$

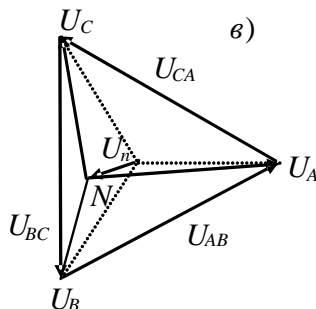
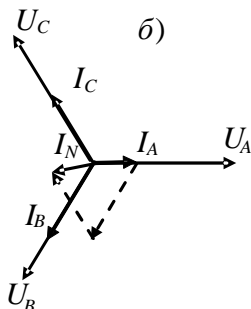
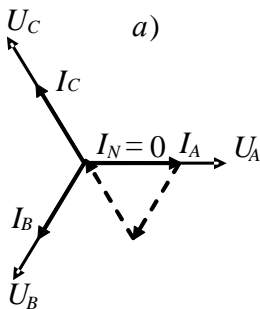
Получается равносторонний треугольник линейных напряжений и вписанная в него трёхлучевая звезда фазных напряжений.



Фазы потребителя могут подключаться к фазным напряжениям по схеме «звезда» Y с нулевым проводом или без него либо к линейным напряжениям по схеме «треугольник» Δ . При переключении тех же потребителей со звезды на треугольник токи в каждой фазе нагрузки возрастают в $\sqrt{3}$ раза, токи в линейных проводах и мощность – в 3 раза.

22 Подключение несимметричных потребителей звездой, определение тока в нулевом проводе. Векторные диаграммы.

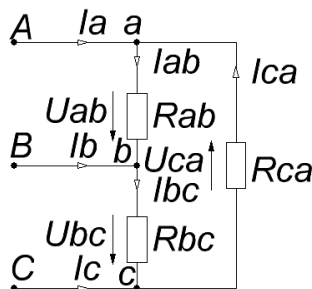
Ток в нулевом проводе равен векторной сумме фазных токов. Если нагрузка симметричная эта сумма равна 0 ($I_N = 0$, рисунок а). Для такой нагрузки (например, двигателя) нулевой рабочий провод не нужен.



Если нагрузка несимметричная в нулевом проводе появляется выравнивающий ток I_N (рисунок б). Если попытаться подключить несимметричную нагрузку без нулевого провода произойдет перекос фаз, нейтраль потребителя сместится относительно нейтрали источника (рисунок в, U_n). При этом на нагруженной фазе будет пониженное напряжение (U_B), а на разгруженной – повышенное (U_A), что недопустимо для нормальной работы приёмников. Поэтому в нулевой провод не ставят предохранители и выключатели.

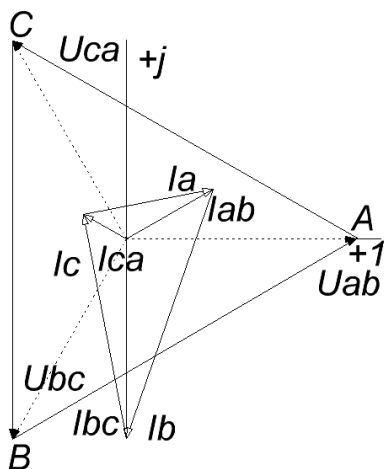
23 Подключение несимметричных потребителей треугольником, определение токов в линейных проводах. Векторные диаграммы.

Токи фаз нагрузки при соединении её треугольником I_{ab} , I_{bc} и I_{ca} определяются делением соответствующих линейных напряжений на сопротивления. Токи в линейных проводах определяются как разности соответствующих фазных токов: $I_a = I_{ab} - I_{ca}$; $I_b = I_{bc} - I_{ab}$ и $I_c = I_{ca} - I_{bc}$.



Построение векторной диаграммы начинается с равностороннего треугольника линейных напряжений $a-b-c$. Затем из центра треугольника (начала координат) откладывают векторы фазных токов I_{ab} , I_{bc} и I_{ca} . Они параллельны векторам U_{ab} , U_{bc} и U_{ca} соответствующих линейных напряжений, так как нагрузка активная. Концы фазных токов соединяют между собой, получая токи в линии I_a , I_b и I_c . Из диаграммы видно, что линейные токи немного сдвинуты по фазе относительно напряжений фаз источника, несмотря на то, что нагрузка в цепи чисто активная.

начинается с равностороннего



24 Баланс мощностей в трёхфазной цепи.

Активная мощность трёхфазной цепи равна сумме активных мощностей всех фаз $P = P_A + P_B + P_C$. Она может быть рассчитана как сумма произведений квадратов модулей действующих значений токов элементов цепи на их активные сопротивления $P_{\Sigma} = \Sigma I^2 \cdot R$.

Реактивная мощность трёхфазной цепи равна сумме реактивных мощностей всех фаз $\pm Q = \pm Q_A \pm Q_B \pm Q_C$ («+» индуктивная, «-» ёмкостная). Она может быть рассчитана как сумма произведений квадратов модулей действующих значений токов элементов цепи на их реактивные сопротивления $\pm Q_{\Sigma} = \Sigma \pm I^2 \cdot X$.

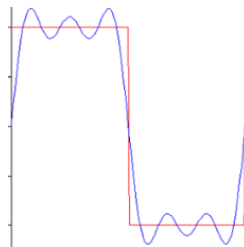
Проверка баланса полной мощности источника и потребителей:

$\underline{S} = P \pm jQ = \underline{U}_A \cdot \underline{I}_A^* + \underline{U}_B \cdot \underline{I}_B^* + \underline{U}_C \cdot \underline{I}_C^*$ должна быть равна $P_{\Sigma} \pm jQ_{\Sigma}$.

Комплексно-сопряжённые токи \underline{I}^* имеют обратный знак при «j».

25 Расчёт электрических цепей несинусоидального тока.

Несинусоидальные ЭДС раскладываются в ряд Фурье как сумма постоянной составляющей, первой гармоники и высших гармоник. Пример представления прямоугольного сигнала как суммы 1, 3 и 5 гармоник изображён на рисунке.

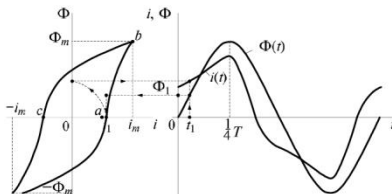


Расчёт тока каждой гармоники ведётся символическим методом, индуктивные сопротивления для k -гармоники равны $j \cdot k \cdot \omega \cdot L$, ёмкостные $1 / j \cdot k \cdot \omega \cdot C$. Затем токи представляются как функции времени, мгновенные значения которых складываются $i = I_0 + i_1 + i_2 + \dots$

Действующее значение тока каждого элемента определяют как корень квадратный из суммы квадратов токов гармоник $I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots}$ (включая нулевую гармонику – постоянный ток). Активная мощность несинусоидального тока в элементе определяется как произведение квадрата действующего значения тока на его активное сопротивление.

26 Нелинейные цепи переменного тока. Катушка с ферромагнитным сердечником в цепи переменного тока.

Нелинейные цепи переменного тока могут содержать индукционные катушки как элементы электрических машин. График тока в такой катушке зависит от вида петли гистерезиса, по которой перемагничивается материал сердечника. Нелинейная зависимость индукции от напряжённости, а, следовательно, и тока от магнитного потока является причиной несинусоидальности тока. Высшие гармоники тока тем больше, чем сильнее проявляется насыщение материала сердечника при его намагничивании. Объяснить построение кривой тока.



27 Коммутация. Переходные процессы в цепях с ёмкостью.

Коммутация это переключение электрических соединений, оно сопровождается переходными процессами. Если цепь содержит накопители энергии, то конденсаторы при коммутации могут создать сверхтоки, а катушки индуктивности – перенапряжения.

Классический метод расчёта переходных процессов заключается в определении начального и принуждённого значения тока и напряжения, а также показателя экспонент, по которым эти токи (напряжения) переходят от начального значения к принуждённому.

Второй закон коммутации. Напряжение на обкладках конденсатора сразу после коммутации равно напряжению перед коммутацией. Затем оно изменяется по экспоненте с постоянной времени $\tau = RC$. При зарядке или разрядке конденсатора через малое сопротивление возникают сверхтоки, которые могут сварить контакты или вывести из строя полупроводниковые элементы.

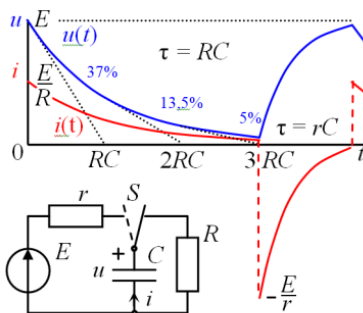


Рисунок 2 Графики разрядки и зарядки конденсатора

28 Переходные процессы в цепях с индуктивностью.

Первый закон коммутации. Ток в катушке индуктивности сразу после коммутации равен току перед коммутацией. При замыкании контакта S напряжение скачком увеличивается до E , а ток возрастает по экспоненте с постоянной времени $\tau = L/r$ приближаясь к E/r .

При размыкании контактов на них возникает импульс перенапряжения обратной полярности величиной $-ER/r$. Этот импульс может пробить

изоляцию; от него между контактами возникает дуга, которая может их расплавить. Для борьбы с импульсом обратного перенапряжения в цепях постоянного тока используют встречно-параллельно включённые диоды, а в цепях переменного тока – демпфирующие RC -цепочки.

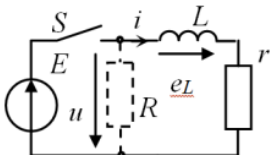
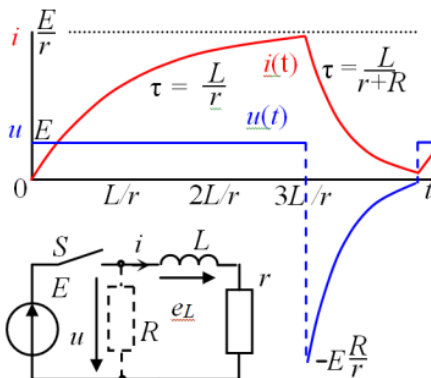


Рисунок 1 Графики напряжения и тока при подключении и отключении Lr катушки