

Федеральное агентство по образованию
Нижнекамский химико-технологический институт (филиал)
Государственного образовательного учреждения
Высшего профессионального образования
«Казанский государственный технологический университет»

Составители С.С. Амирова
Н.И. Чекунов
С.И. Степанов

В краткой и доступной форме даны теоретические основы курса «Электротехника и электроника», методические указания к лабораторным и практическим работам. Даны задания к контрольным работам, а также задания для переаттестации.

Предназначена для студентов заочного отделения по специальности 140106 «Энергообеспечение предприятий»

Электротехника и электроника
(методические указания для заочников по специальности
140106
«Энергообеспечение предприятий»)

Рецензент проф. С.К. Козырев

Нижнекамск 2007 г.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

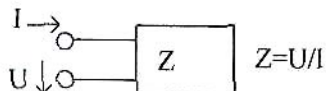
Топологические понятия и основные величины

1. **Ветвь** – участок электрической цепи с одним и тем же током.

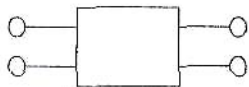
2. **Узел** – место соединения трех и более ветвей.

3. **Контур** – замкнутый путь, проходящий через несколько ветвей и узлов.
 замкнутая цепь начинающаяся и заканчивающаяся в одной точке.

4. **Двуполюсник** – часть электрической цепи с двумя выделенными выводами



5. **Четырехполюсник** – часть электрической цепи с двумя парами выделенных выводов.



Электрический ток I (ампер, А) – явление направленного движения свободных носителей электрического заряда.

Электродвижущая сила E (вольт, В) – работа, совершаемая сторонними полями (химическими, механическими, тепловыми, атомными) при переносе единицы заряда.

Напряжение, падение напряжения U (вольт, В) – работа сил поля, затрачиваемая на перенос единицы заряда.

Электрическое сопротивление R (Ом) – величина, характеризующая противодействие проводящей среды движению электрических зарядов, т.е. току.

Электрическая проводимость $G = \frac{1}{R}$ (сименс, См) –

величина, обратная сопротивлению.

Энергия источника $W_{\text{и}} = EIt$ (Джоуль, Дж) – работа, совершаемая источником электрической энергии за время t . Энергия приемника $W_{\text{п}} = UIt = RI^2 \cdot t = U^2t/R$ (Дж).

Мощность источника $P_{\text{и}} = EI$ (Ватт, Вт) – интенсивность преобразования энергии из одного вида в другой в единицу времени. Мощность источника $P_{\text{и}} = UI = RI^2 = U^2/R$ (Вт).

Математическое выражение баланса мощностей

$$\sum EI = \sum RI^2$$

Коэффициент полезного действия (КПД) электрической цепи $\zeta = \frac{P_{\text{п}}}{P}$ – отношение мощности приемника (полезной) к мощности, потребляемой из сети.

Фундаментальным понятием электротехники является понятие электрической цепи: совокупность устройств, предназначенных для получения, передачи, преобразования и использования электрической энергии. Любая электрическая цепь характеризуется током (I , А) электродвижущей силой (E , В), напряжением (U , В).

Основные виды электрического тока:

– **ток проводимости** (явление направленного движения свободных носителей электрического заряда в веществе или вакууме, например, в проводниках, полупроводниках);

– **ток переноса** (явление переноса электрических зарядов заряженными частицами или телами, движущимися в свободном пространстве, например, движение свободных электронов в электронной лампе);

– **ток смещения** (упорядоченное движение связанных носителей электрических зарядов, например, в диэлектриках).

Различают линейные и нелинейные цепи. В линейной цепи сопротивления нагрузки не зависят ни от тока, ни от напряжения. Нелинейная цепь содержит один или несколько нели-

нейных элементов (электронные, полупроводниковые и ионные приборы).

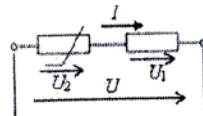
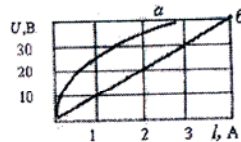
При изучении материала раздела необходимо уяснить особенности нелинейных элементов и их отличия от линейных.

Электрическая цепь, у которой электрические напряжения и электрические токи связаны друг с другом нелинейными зависимостями, называется *нелинейной электрической цепью*.

Если сопротивление элемента зависит от тока или приложенного напряжения, то такой элемент называется *нелинейным*.

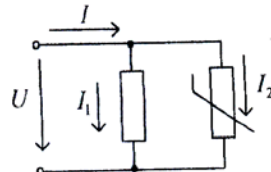
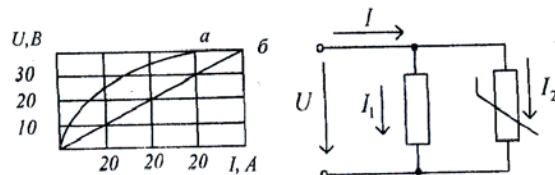
Расчет нелинейных цепей производится графическим методом.

1. При последовательном соединении линейного и нелинейного сопротивлений с характеристиками *б* и *а* характеристика эквивалентного сопротивления пройдет **выше характеристики *а***,



так как общее напряжение равно сумме напряжений на участках.

2. При параллельном соединении линейного и нелинейного сопротивлений с характеристиками *б* и *а* характеристика эквивалентного сопротивления пройдет **ниже характеристики *б***,



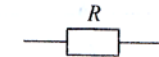
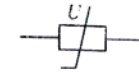
так как общий ток равен сумме токов на отдельных участках.

Задание 1

Из приведенных элементов линейным является **резистор**

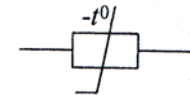
1) варистор

2) резистор



3) выпрямительный диод

4) терморезистор



Задание 2

В нелинейных инерционных элементах нелинейность ВАХ обусловлена изменением **температуры**

1) температуры

2) *p-n* переходом

3) времени

4) внешнего магнитного поля

Задание 3

Для приведенной матрицы число ветвей, присоединенных к одному узлу, составляет **3**

+1	0	0	+1	0	-1
-1	+1	0	0	+1	0
0	-1	-1	0	0	+1

1) 18

2) 6

3) 3

4) 4

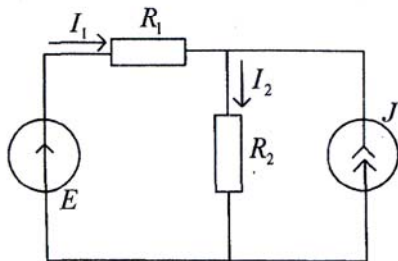
Задание 4

Верным выражением для определения сопротивления R_a эквивалентной звезды (*а*) через сопротивления R_{ab} , R_{bc} , R_{ca} треугольника (*б*) является

$$\frac{R_{ab} R_{ca}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}$$

Задание 8

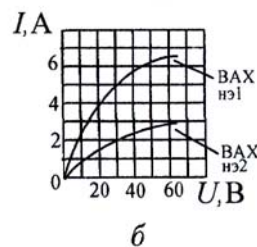
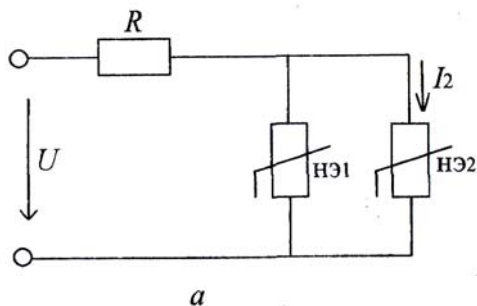
Частичные токи I_1' и I_2' , вызываемые отдельным действием источника ЭДС, равны $I_1' = I_2' = \frac{E}{R_1 + R_2}$



- 1) $I_1' = \frac{E}{R_1}; I_2' = 0$ 2) $I_1' = I_2' = \frac{E}{R_1 + R_2}$
 3) $I_1' = \frac{E}{R_1}; I_2' = J$ 4) $I_1' = I_2' = \frac{J}{2}$

Задание 9

В схеме (а) заданы: ВАХ нелинейных элементов (б); $R = 2 \text{ Ом}$; $I = 2 \text{ А}$. Напряжение U на входе цепи равно 44

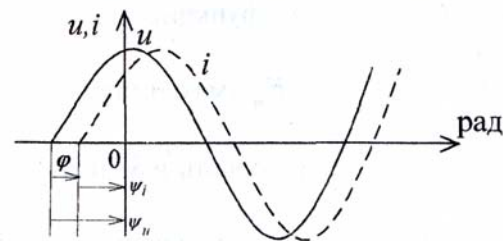


- 1) 30 В 2) 60 В
 3) 34 В 4) 44 В

2. ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Основные понятия

Ток, изменяющийся во времени по синусоидальному закону, называется **синусоидальным**. Ниже приведено графическое представление синусоидальных величин.



П.Н. Яблочков (1876 г.) создал генератор и трансформатор синусоидального тока.

М.О. Доливо-Добровольский (1891 г.) разработал систему трехфазного синусоидального тока.

Простейший генератор синусоидальной ЭДС – проводник в виде прямоугольной рамки, вращающийся с постоянной угловой скоростью ω в постоянном однородном магнитном поле. При вращении рамки в последнем согласно закону электромагнитной индукции наводится ЭДС $e = B l v_n$, где B – магнитная индукция (Тл), l – длина проводника (м), v_n – скорость пересечения магнитных силовых линий (м/с).

В цепях синусоидального тока напряжение, ЭДС и ток являются синусоидальными функциями времени:

$$i_{(t)} = I_m \sin(\omega t + \psi_i),$$

$$u_{(t)} = U_m \sin(\omega t + \psi_u),$$

$$e_{(t)} = E_m \sin(\omega t + \psi_e),$$

где $i_{(t)}, u_{(t)}, e_{(t)}$ – мгновенные значения

$$\left. \begin{array}{l} \omega t + \psi_i \\ \omega t + \psi_u \\ \omega t + \psi_e \end{array} \right\} - \text{фаза или фазовый угол}$$

Мгновенное значение однофазного синусоидального тока $i_{(t)}$ записывается выражением $i_{(t)} = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$.

Каждая синусоидальная функция времени определяется тремя параметрами:

амплитудой I_m , U_m , E_m (максимальное значение синусоидальной функции);

угловой частотой ω (скорость изменения аргумента синусоидальной функции, рад/с);

начальной фазой ψ_u , ψ_i , ψ_e (значение аргумента синусоидальной функции в момент начала отсчета времени, т.е. при $t = 0$, рад. или град.).

В выражении для мгновенного значения однофазного синусоидального тока $i_{(t)} = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ начальной фазой является ψ_i .

Величины, характеризующие синусоидальные функции:

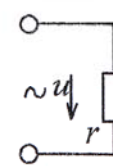
1. Сдвиг фаз $\varphi = \psi_u - \psi_i$ (разность начальных фаз).
2. Период $T = 2\pi/\omega$ (наименьший интервал времени, по истечении которого мгновенное значение повторяется).
3. Частота $f = 1/T$ (число периодов в секунду, Гц, $1\text{Гц} = 1\text{с}^{-1}$).
4. Действующее или среднеквадратичное I , U , E .

$$I = I_m/\sqrt{2} = 0,707I_m; \quad U = U_m/\sqrt{2} = 0,707U_m; \quad E = E_m/\sqrt{2} = 0,707E_m.$$

5. Среднее I_{cp} , U_{cp} , E_{cp} :

$$I_{cp} = 0,637I_m; \quad E_{cp} = 0,637E_m; \quad U_{cp} = 0,637U_m.$$

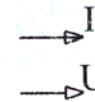
Угол сдвига фаз φ между напряжениями $u_{(t)} = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$ и током $i_{(t)} = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ определяется как $\varphi = \psi_u - \psi_i$.



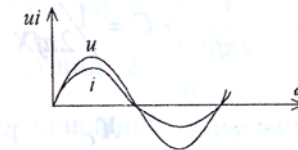
Сопротивление проводников \sim току больше их сопротивления постоянному току из-за поверхностного эффекта, поэтому оно называется *активным*, или *резистивным*, элементом.

В цепях постоянного тока сопротивление называется *омическим*. Фазы тока и напряжения совпадают.

$$I = \frac{U}{r}$$



$$\varphi = 0$$



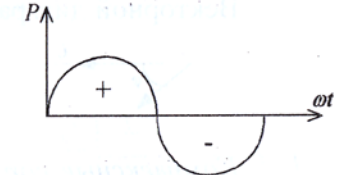
$$\cos \varphi = 1$$



$$P = UI \cos \varphi$$

$$P = UI \text{ или}$$

$$P = I^2 r \text{ (при } \cos \varphi = 1)$$



Напряжение $u_L(t)$ опережает ток $i_L(t)$ на $\pi/2$ рад. (обмен энергией).

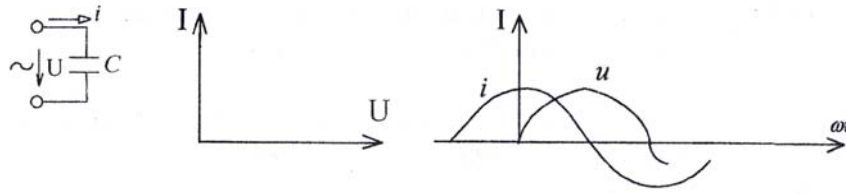
$$P = UI \cos \varphi,$$

$$\varphi = 90^\circ, \quad \cos 90^\circ = 0$$

$P = 0$ – расхода мощности нет.

$$I_m = \frac{U_m}{\omega L} = \frac{U_m}{2\pi f L} \text{ — по закону Ома,}$$

$\omega L = x_L$ — индуктивное сопротивление при угловой частоте $\omega = 314$ рад/с и величине $L = 0,318$ Гн составит 100 Ом.



Ток $i_c(t)$ опережает $u_c(t)$ на $-\pi/2$ рад.

Закон Ома $I = U/X_C$ $X_C = \frac{1}{2\pi f c} \rightarrow C = \frac{1}{2\pi f X_C}$ $X_C = U/I$

Емкостное сопротивление X_C рассчитывается как $X_C = 1/\omega C$.

Угловая частота ω определяется в соответствии с выражением $\omega = 2\pi f$.

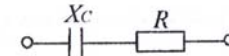
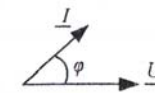
Векторной диаграмме соответствует схема



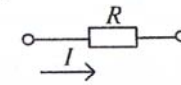
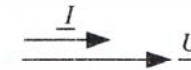
Комплексные сопротивления приведенной цепи Z определяются выражением $Z = R + j\omega L$.

Угол сдвига фаз φ между напряжением и током на входе приведенной цепи определяется как $\varphi = \arctg(\frac{\omega L}{R})$.

Векторной диаграмме соответствует схема



Векторной диаграмме соответствует схема

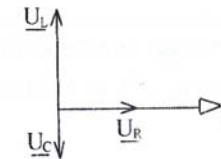
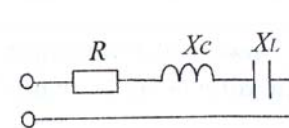
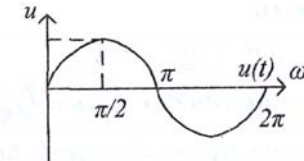


Выражение для падения напряжения на данном участке будет иметь вид: $U = RI$.

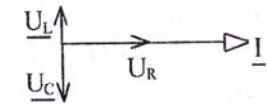
Амплитудное значение тока $i_{(t)}$ при напряжении $u_{(t)} = 100 \sin(314t + \pi/4)$ В и величине $R = 50$ Ом составит 2А.

Составленное по закону Ома выражение для последнего участка цепи имеет вид: $I = \frac{U}{R}$.

Величина начальной фазы синусоидального напряжения $u_{(t)}$, заданного графически, составит 0 рад.



$$X_L > X_C$$



$$X_L < X_C$$

Полное сопротивление:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}, \quad Z = \frac{U}{I};$$

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} \text{ — сдвиг фаз.}$$

Под *активной* мощностью P в цепи синусоидального тока понимается среднее значение мгновенной мощности за период

$$P_{cp} = P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = UI \cos \varphi, \text{ Вт.}$$

Под *реактивной* мощностью Q в цепи синусоидального тока понимается мощность колеблющейся энергии:

$$Q = UI \cdot \sin \varphi, \text{ В·А.}$$

Для индуктивного элемента Q_L . Для емкостного элемента Q_C .

При последовательном соединении индуктивного и емкостного элементов

$$Q = Q_L - Q_C.$$

Полная мощность:

$$S = UI, \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \text{ В·А.}$$

Коэффициент мощности $\cos \varphi = P/S$ показывает, какая часть электрической энергии необратимо преобразуется в другие виды.

Режим РН (резонанс напряжений) может возникнуть в цепи синусоидального тока, когда катушка и конденсатор включены последовательно:

$$\varphi = 0, \quad X_L = X_C, \quad \omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Сопротивление реактивного элемента при ω_p называется характеристическим сопротивлением:

$$\rho = \omega_p L = \frac{1}{\omega_p C} = \sqrt{L/C}.$$

Усиление напряжения – важная особенность резонанса напряжений.

Добротность последовательного контура $Q = \rho/R$.

$$Z_p = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = R$$

$$I_p = \frac{U}{Z_p} = \frac{U}{R} \text{ — максимален}$$

$$U_R = RI_p, \quad U_L = X_L I_p, \quad U_C = X_C I_p$$

$$P = RI_p^2 \text{ — максимальна}$$

Режим PI (резонанс токов) возможен в цепи синусоидального тока, когда катушка и конденсатор включены параллельно с источником:

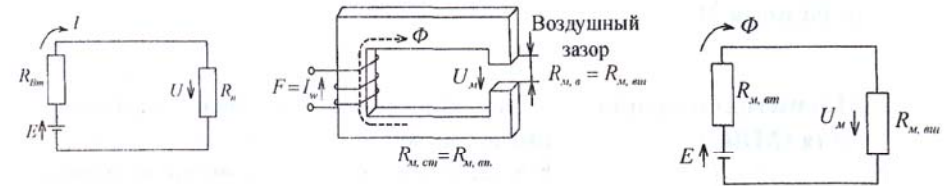
$$\varphi = 0, \quad \cos \varphi = 1.$$

Y – общая проводимость минимальна;

I – в неразветвленной части минимальный, усиление тока – важная особенность.

Совокупность устройств, содержащих ферромагнитные тела и образующих замкнутую цепь, в которой при наличии магнитодвижущей силы образуется магнитный поток и вдоль которой замыкаются линии магнитной индукции, называют *магнитной цепью*.

Магнитное поле подобно электрическому характеризуется параметрами, среди которых основными являются магнитный поток и магнитная индукция.



Магнитный поток

$$\Phi = \int_S B dS \text{ (Вебер, Вб) – скалярная}$$

величина, равная потоку вектора магнитной индукции через поверхность S

Магнитная индукция

$$B = \frac{d\Phi}{dS} \text{ (Тесла, Тл) – плотность}$$

магнитного потока Эта характеристика является основной характеристикой магнитного поля, так как определяет электромагнитную силу, а также ЭДС индукции в проводнике, перемещающемся в магнитном поле.

$$H = \frac{dU_m}{dl} \left(\frac{A}{M} \right) \text{ – отношение магнитного}$$

напряжения dU_m вдоль малого отрезка магнитной линии dl к длине этого отрезка. H – векторная величина, которая не зависит от свойств среды и определяется только токами в проводниках, создающими магнитное поле.

Величина напряженности магнитного поля H

– используется при описании магнитного поля.

Магнитодвижущая сила (МДС)

– способность катушки возбуждать магнитное поле
 $F = \Sigma I = IW$ (А), где W – число витков катушки. МДС аналогична ЭДС электрической цепи.

Магнитное напряжение U_m

$\Sigma U_m = F = \Sigma I$ – аналогично электрическому напряжению U на участке электрической цепи

Магнитное сопротивление R_m

$R_m = \frac{U_m}{\Phi}$ – аналогично электрическому сопротивлению

Закон полного тока

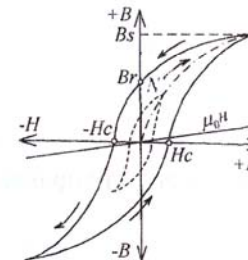
– интеграл от напряженности магнитного поля по замкнутому контуру равен алгебраической сумме токов, охватываемых этим контуром: $\oint H dl = \Sigma I$.

Фундаментальное уравнение Максвелла

$-e = -\frac{d\Phi}{dt}$ применяется для описания электромагнитного поля.

Площадь потери гистерезиса

– пропорциональна потерям возникающим при перемагничивании материала. Эти потери называют потерями на перемагничивание (потери на гистерезис).



Зависимость $B = f(H)$ называется кривой намагничивания

Остаточная магнитная индукция B_r

– это такое значение магнитной индукции, которое сохраняется в магнитном материале после того, как напряженность намагничивающего поля H становится равной нулю при токе, равном нулю.

Значение напряженности поля, равное H_c , — называется коэрцитивной силой.

Кривая, проведенная через вершины семейства гистерезисных кривых, — называется основной кривой намагничивания.

При расчете магнитной цепи материал, форма и размеры магнитопровода должны быть заданы, причем различают так называемые прямую и обратную задачи.

В случае прямой задачи по заданному в какой-либо части магнитной цепи магнитному потоку Φ или индукции B определяют необходимую МДС F . При обратной задаче, наоборот, по заданной МДС $I\omega$ определяют магнитный поток Φ или магнитную индукцию B .

Задания для перееаттестации

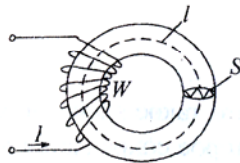
Задание 1

Выражением для определения реактивной мощности является $UI\sin\varphi$

- | | |
|---------------------------------|--------------------|
| 1) $UI\operatorname{tg}\varphi$ | 2) $UI\sin\varphi$ |
| 3) $UI\cos\varphi$ | 4) UI |

Задание

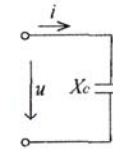
При заданном направлении тока I магнитный поток Φ направлен против часовой стрелки



- | | |
|---------------------------|-----------------------|
| 1) «к нам» | 2) по часовой стрелке |
| 3) против часовой стрелки | 4) «от нас» |

Задание 3

Если приложенное напряжение $u(t) = 220\sin(\omega t)$ В и $X_c = 10$ Ом, то ток $i(t)$ равен $22\sin(\omega t + 90^\circ)$ А



- | | |
|------------------------------------|---------------------------|
| 1) $22\sin(\omega t + 90^\circ)$ А | 2) $2200\sin(\omega t)$ А |
| 3) $22\sin(\omega t - 90^\circ)$ А | 4) $22\sin(\omega t)$ А |

Задание 4

Векторная диаграмма соответствует схеме, содержащей только емкостной элемент



- | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 1) резистивный и индуктивный элементы | 2) резистивный и емкостной элементы |
| 3) только емкостной элемент | 4) только индуктивный элемент |

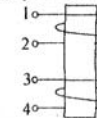
Задание 5

В электрической цепи возможен резонансный режим, если цепь содержит катушки индуктивности и конденсаторы

- | | |
|---|------------------------------------|
| 1) катушки индуктивности и конденсаторы | 2) только резисторы |
| 3) только резисторы и катушки индуктивности | 4) только резисторы и конденсаторы |

Задание 6

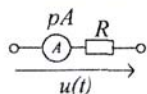
Одноименными зажимами двух катушек являются зажимы 2 и 4



- | | |
|----------|----------|
| 1) 1 и 3 | 2) 2 и 3 |
| 3) 2 и 4 | 4) 3 и 4 |

Задание 7

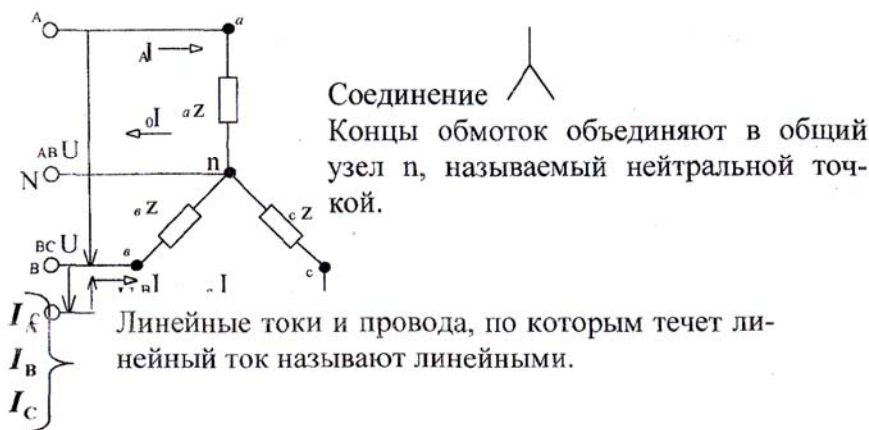
При $u(t) = 30 - 40\sqrt{2}\sin(\omega t)$ В и $R = 10$ Ом показание pA амперметра электромагнитной системы составит $3 + 4\sqrt{2}$ А



- 1) $3 + 4\sqrt{2}$ А
- 2) 5 А
- 3) $\sqrt{41}$ А
- 4) 3 А

3. ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ

При изучении материала данного раздела следует обратить внимание на следующие особенности: соотношения между напряжениями и токами в приемнике зависят от схемы соединения его фаз, параметров приемника и симметрии системы; при симметричной нагрузке действующие значения напряжений и соответственно токов всех фаз одинаковы, а сдвиги по фазе относительно друг друга равны 120° , поэтому можно вести расчеты для одной фазы (аналогично расчету однофазной цепи); несимметричной нагрузке требуется отдельный расчет режима каждой фазы.



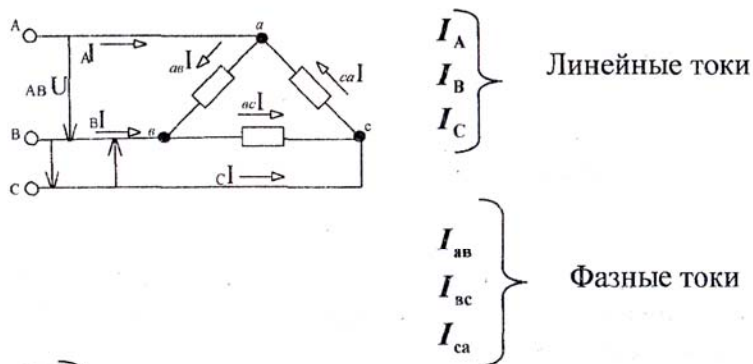
$I_{\text{л}} = I_{\Phi}$, так как фаза и провод соединены последовательно.

$\left. \begin{matrix} U_{AB} \\ U_{BC} \\ U_{CA} \end{matrix} \right\}$ Линейные напряжения – напряжения между началами двух фаз или линейными проводами.

$U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\Phi}$. Ток в нейтральном проводе равен сумме токов трех фаз: $I_0 = I_a + I_b + I_c$.

Если в трехфазной цепи с нейтральным проводом отключить фазу «а», то I_N увеличится, а токи I_b и I_c не изменятся.

При соединении обмоток **треугольником** начало одной фазы совпадает с концом другой фазы.



$\left. \begin{matrix} U_{AB} \\ U_{BC} \\ U_{CA} \end{matrix} \right\}$ Линейные напряжения между линейными проводами или началами двух фаз

$I_{\text{л}} = \sqrt{3}I_{\Phi}$ (для симметричной нагрузки)

$U_{\text{л}} = U_{\Phi}$

$$I_A - I_{ab} + I_{ca} = 0$$

$$I_B - I_{bc} + I_{ab} = 0$$

$$I_C - I_{ca} + I_{bc} = 0$$

Мощность трехфазной цепи



$$U_{\phi} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \quad I_{\phi} = I_n$$



$$U_{\phi} = U_n \quad I_{\phi} = \frac{I_n}{\sqrt{3}}$$

$$P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi = 3 \frac{U_n}{\sqrt{3}} I_n \cos \varphi \quad P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi = 3U_n \frac{I_n}{\sqrt{3}} \cos \varphi$$

$$P = \sqrt{3} U_n I_n \cos \varphi$$

$$P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi$$

Симметричная трехфазная цепь $U_n = 220, I_n = 5 \text{ A}, \cos \varphi = 0,8$. Определить P в (кВт).

$$P = \sqrt{3} U_n I_n \cos \varphi = 1,73 \cdot 220 \cdot 5 \cdot 0,8 = 1522,4 \text{ Вт} = 1,52 \text{ кВт}$$

Задания для переаттестации

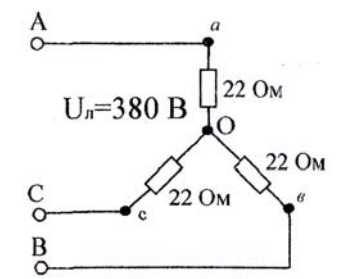
Задание 1

В трехфазной цепи при соединении по схеме «звезда-звезда с нейтральным проводом» ток в нейтральном проводе равен нулю при несимметричной нагрузке

- 1) никогда не равен нулю
- 2) может равняться нулю
- 3) всегда равен нулю
- 4) равен нулю при несимметричной нагрузке

Задание 2

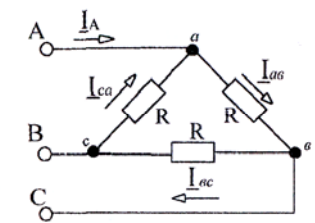
Значения фазных токов равны **10 А**



$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\phi}} = \frac{220}{22} = 10 \text{ A}$$

Задание 3

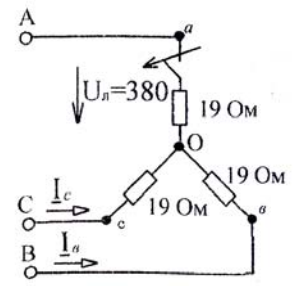
Для узла «а» данной схемы комплексы фазных и линейных токов связаны уравнением ... $\underline{I}_A = \underline{I}_{av} - \underline{I}_{ca}$



«а»: $\underline{I}_A - \underline{I}_{av} + \underline{I}_{ca} = 0$ по первому закону Кирхгофа.

Задание 4

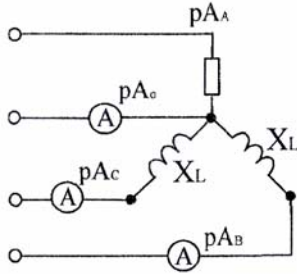
Если в данной трехфазной цепи отключить фазу «а» нагрузки, то значения токов I_b и I_c будут соответственно равны **10А, 10А**



$$I = \frac{380}{38} = 10 \text{ A}$$

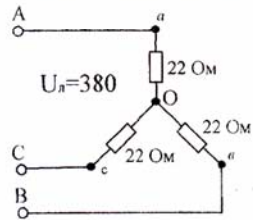
Задание 5

Если $R = X_L = 22 \text{ Ом}$ и показания амперметра $pA_A = 10 \text{ А}$, то амперметры pA_B , pA_C , pA_O соответственно покажут **10 А, 10 А, 0**.



Задание 6

Значения фазных токов равны ... **10 А**



$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\phi}} = \frac{220}{22} = 10 \text{ А}$$

Задание 7

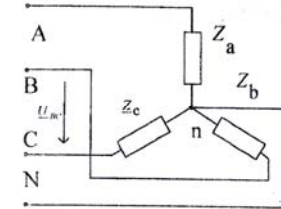
Активная P , активная Q и полная S мощности цепи синусоидального тока связаны соотношением ... $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$.

Задание 8

Напряжения между линейными проводами в трехфазной цепи называются линейными напряжениями.

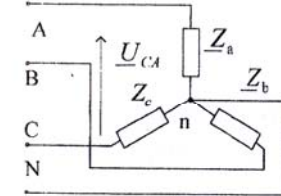
Задание 9

Напряжение U_{BC} в представленной схеме называется линейным напряжением.



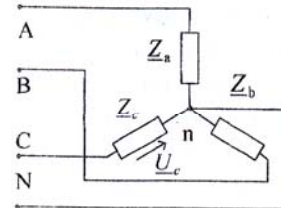
Задание 10

Напряжение U_{CA} в представленной схеме называется линейным напряжением.



Задание 11

Напряжение U_c в представленной схеме называется фазным напряжением.

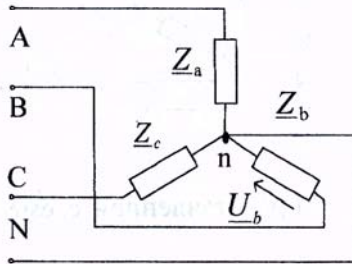


Задание 12

Индуктивное сопротивление X_L рассчитывается как $X_L = \omega L$.

Задание 13

Напряжение U_b в представленной схеме называется фазным напряжением.



4. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

При изучении данной темы следует обратить особое внимание на законы коммутации и связанные с ними начальные условия, способы определения свободного и установившегося режимов, методику расчета переходных процессов в цепях с R , L – и R, C – элементами, необходимо также выявить основные закономерности, происходящие в этих цепях во время переходных процессов, и смысл понятия «постоянная времени», связанного с определением длительности переходного процесса.

Коммутация (включение, выключение отдельных участков, подключение отдельных элементов) обуславливает переход одного режима работы к другому. Процессы, происходящие в цепи в этом период времени, называется переходными.

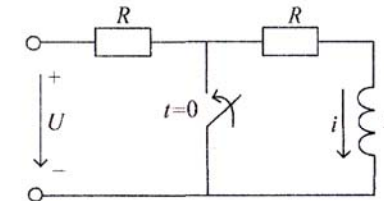
Изучение переходных процессов имеет большое практическое значение, так как позволяет определить повышение токов

и напряжений сверх номинальных значений из-за коммутации в цепях с различными электротехническими устройствами (двигателями, трансформаторами, реле и т.п.). Во время переходного процесса токи и напряжения могут быть в несколько раз больше, чем в установившемся режиме, и привести к аварии. Подбирая значения параметров отдельных элементов и применяя специальные схемы их включения, можно ускорить или замедлить время переходного процесса, а также ограничить скачки тока и напряжения во время переходного процесса.

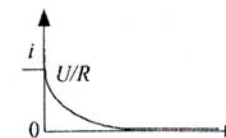
Задания для переаттестации

Задание 1

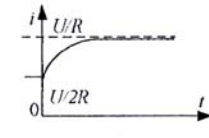
Закону изменения тока i соответствует кривая 1



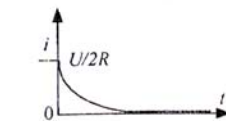
1)



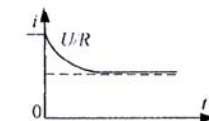
2)



3)

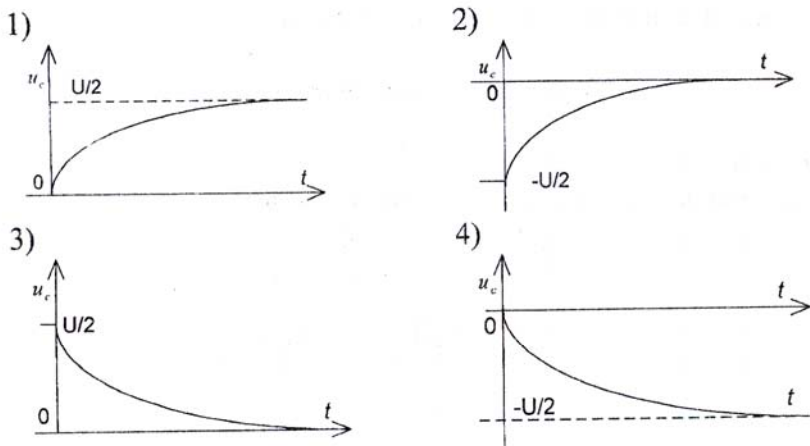
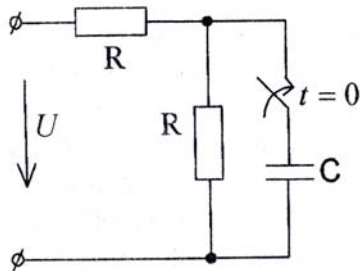


4)



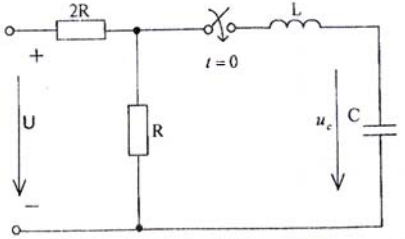
Задание 2

Для незаряженного конденсатора закону изменения напряжения u_c соответствует кривая 1



Задание 3

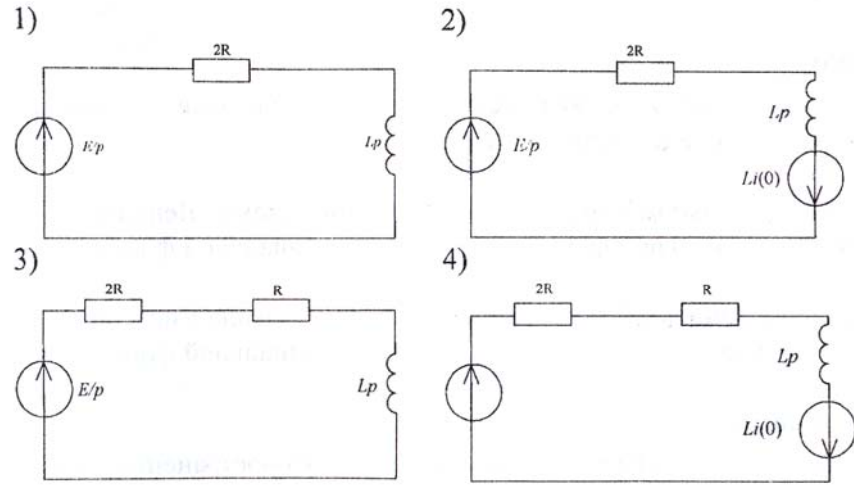
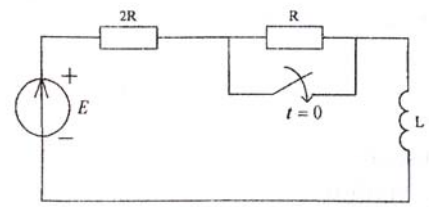
При одинаковых действительных отрицательных корнях характеристического уравнения составляющая напряжения $u_{Cg}(t)$ запишется в виде $u_{Cg}(t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}$



- 1) $u_{Cg}(t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 t e^{p_1 t}$
- 2) $u_{Cg}(t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 t e^{p_2 t}$
- 3) $u_{Cg}(t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 t e^{p_1 t} + A_3 t^2 e^{p_1 t}$
- 4) $u_{Cg}(t) = A_1 e^{-p_1 t} + A_2 t e^{-p_1 t}$

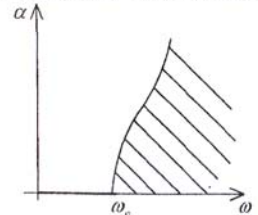
Задание 4

Схеме цепи после коммутации соответствует операторная схема замещения 2



Задание 5

Фильтр, для которого на рисунке показана зависимость коэффициента затухания α от частоты ω , является **низкочастотным**



- 1) низкочастотным
- 2) высокочастотным
- 3) полосовым
- 4) заграждающим

ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задание 6

Электромагнитная волна проходит расстояние, равное длине волны λ за время, равное одному периоду синусоидального напряжения на входе длинной линии

- | | |
|--|--------------|
| 1) за 1 с | 2) за 3,14 с |
| 3) за время, равное одному периоду синусоидального напряжения на входе длинной линии | 4) за 1 мин |

Задание 7

Уравнение $\operatorname{div} \vec{\delta} = 0$ является математической записью закона Джоуля-Ленца в дифференциальной форме

- | | |
|---|---|
| 1) второго закона Кирхгофа в дифференциальной форме | 2) закона Джоуля-Ленца в дифференциальной форме |
| 3) закона Ома в дифференциальной форме | 4) первого закона Кирхгофа в дифференциальной форме |

Задание 8

Если $\underline{\gamma} = 1000 + j1000 \text{ м}^{-1}$ – коэффициент распространения электромагнитной гармонической волны в проводнике, то длина волны λ равна 3,14 мм

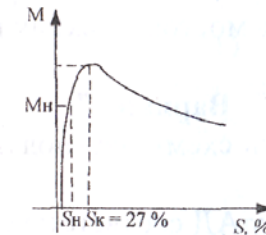
- | | |
|------------|------------|
| 1) 6,28 мм | 2) 15,7 мм |
| 3) 3,14 мм | 4) 31,4 мм |

Вариант 1

1. Понятие электрической и магнитной цепей.
2. Основные узлы МПТ и их назначение.
3. Задача

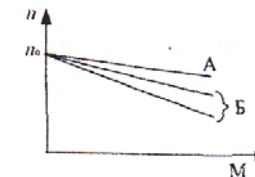
Вариант 2

1. Начертить схему генератора со смешанным возбуждением.
2. В результате увеличения механической нагрузки на валу асинхронного двигателя скольжение увеличилось до 27%, при этом характер режима работы двигателя ...
3. Задача



Вариант 3

1. Если естественная механическая характеристика двигателя постоянного тока параллельного возбуждения – прямая А, то группе искусственных характеристик Б соответствует способ регулирования вращения ротора...



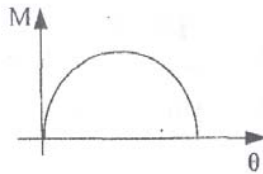
2. Устройство и принцип работы асинхронной машины.
3. Задача

Вариант 4

1. Начертить схему двигателя параллельного возбуждения.
2. Если скорость вращения поля статора синхронной машины 3000 об/мин, то номинальная скорость вращения ротора...

Вариант 5

1. На рисунке изображена угловая характеристика двигателя...



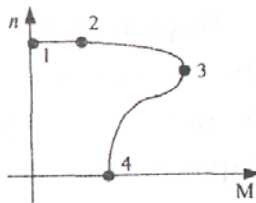
2. Устройство и принцип работы однофазного трансформатора.
3. Задача

Вариант 6

1. Величина скольжения при работе асинхронной машины в двигательном режиме определяется по формуле...
2. Начертить и объяснить мостовую схему выпрямителя.

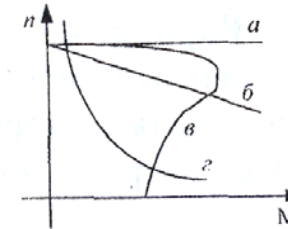
Вариант 7

1. Начертить и объяснить схему двухполупериодного выпрямителя.
2. Номинальному режиму АД соответствует точка механической характеристики номер...
3. Задача



Вариант 8

1. Начертить и объяснить схему однополупериодного выпрямителя.
2. Асинхронному двигателю принадлежит механическая характеристика...
3. Задача



Вариант 9

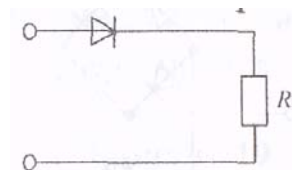
1. Начертить и объяснить схему трехфазного выпрямителя.
2. Если номинальная частота вращения асинхронного двигателя составляет $n_{ном} = 1420$ об/мин, то частота вращения магнитного поля статора составит...
3. Задача

Вариант 10

1. Сердечник статора асинхронного двигателя изготавливается из...
2. Полупроводниковым диодом называют полупроводниковый прибор с двумя выводами и одним...
3. Задача

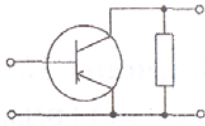
Вариант 11

1. Сердечник статора АМ аналогичен сердечнику статора ...
2. На рисунке изображена схема выпрямителя...

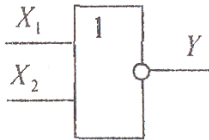


Вариант 12

1. На рисунке приведена схема включения транзистора с...



2. На рисунке изображено условное обозначение элемента, выполняющего логическую операцию...



3. Задача

Вариант 13

1. На рисунке изображено условно графическое обозначение ...

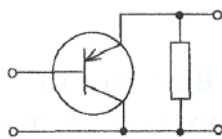


2. Двигатель с фазным ротором снабжают контактными кольцами и щетками... для соединения

3. Задача

Вариант 14

1. На рисунке приведена схема включения транзистора с...

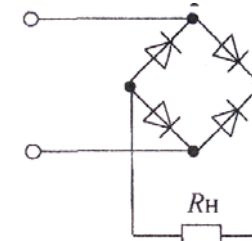


2. В СМ в режиме двигателя поля статора и ротора вращаются с ...

3. Задача

Вариант 15

1. На рисунке приведена схема выпрямителя ...

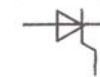


2. Обмотка возбуждения, расположенная на роторе СМ, подключается к...

3. Задача

Вариант 16

1. На рисунке представлено условно-графическое изображение ...

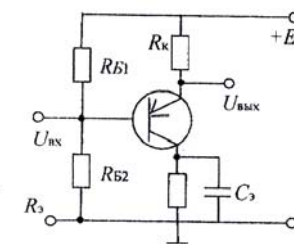


2. Максимальная частота вращения магнитного поля статора асинхронного двигателя при промышленной частоте 50 Гц составляет...

3. Задача

Вариант 17

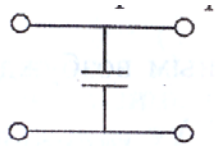
1. На рисунке приведена схема усилителя ...



2. Частота вращения асинхронного двигателя n_2 при уменьшении механической нагрузки на валу...
3. Задача

Вариант 18

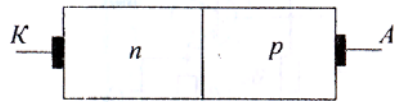
1. На рисунке изображена схема фильтра...



2. Ступенчатое регулирование скорости вращения АД с короткозамкнутым ротором осуществляется...
3. Задача

Вариант 19

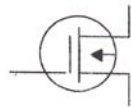
1. На рисунке изображена структура...



2. Потери в меди при увеличении нагрузки АД ...
3. Задача

Вариант 20

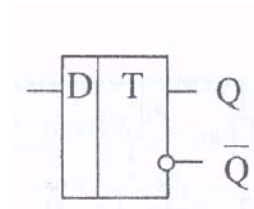
1. На рисунке приведено условное обозначение ...



2. Потери в стали при увеличении нагрузки АД...
3. Задача

Вариант 21

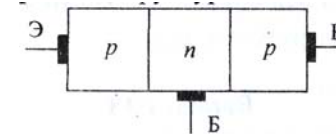
1. Приведенное условное обозначение соответствует ...



2. В СМ изменение тока статора...
3. Задача

Вариант 22

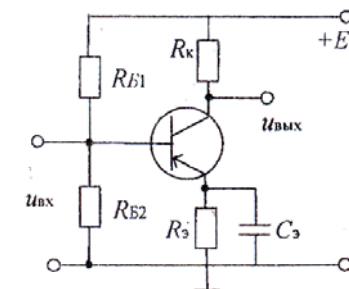
1. На рисунке изображена структура ...



2. Двигателю со смешанным возбуждением принадлежит механическая характеристика...
3. Задача

Вариант 23

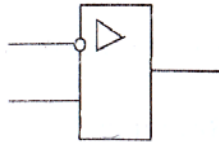
1. На рисунке приведена схема ...



2. Максимальная частота вращения магнитного поля статора асинхронного двигателя при промышленной частоте 50 Гц составляет...
3. Задача

Вариант 24

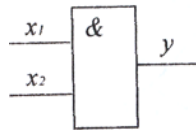
1. На рисунке приведено обозначение ...



2. Двигателю с последовательным возбуждением принадлежит механическая характеристика...
3. Задача

Вариант 25

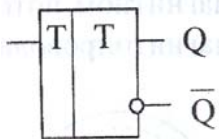
1. На рисунке изображено условное обозначение элемента, выполняющего логическую операцию...



2. В МПТ наименее надежной частотой является...
3. Задача

Вариант 26

1. Приведенное условное обозначение соответствует...



2. Основной магнитный поток машины в МПТ создается...
3. Задача

Вариант 27

1. Приведенная таблица истинности соответствует элементу, выполняющему логическую операцию...

x_1	x_2	y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

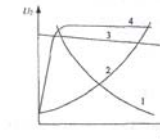
2. Трансформатор не предназначен для преобразования.
3. Задача

Вариант 28

1. Приведенной таблице истинности соответствует схема...

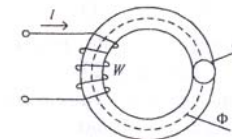
x_1	x_2	y
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

2. Внешняя характеристика трансформатора представлена на графике кривой, обозначенной цифрой ...
3. Задача



Вариант 29

1. Если при неизменном магнитном потоке увеличить площадь поперечного сечения S магнитопровода, то магнитная индукция ...

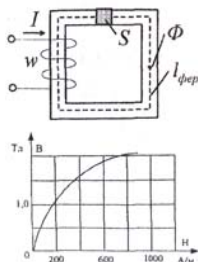


2. Значения напряженности поля, равные H_e , называют...

3. Задача

Вариант 30

1. Если заданы величины МДС $F = 200$ А, длина средней линии $l_{\text{фер}} = 0,5$ м, площадь поперечного сечения $S = 10 \cdot 10^{-4}$ м² магнитопровод и основная кривая материала сердечника, то магнитный поток Φ составит...



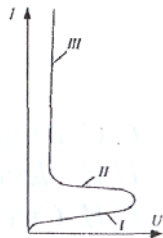
2. Относительной погрешностью называется...

3. Задача

Вариант 31

1. Измерение мощности в цепи постоянного тока методом амперметра и вольтметра относится к ...

2. Неустойчивому режиму работы тиристора соответствует участок его вольт-амперной характеристики...

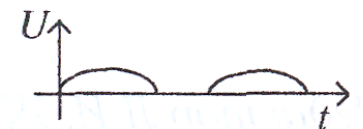


3. Задача

Вариант 32

1. Представить схему измерения активной мощности фазы А с помощью ваттметра

2. На рисунке изображена временная диаграмма напряжения на выходе выпрямителя...



3. Задача

Вариант 33

1. Прибор электромагнитной системы имеет неравномерную шкалу. Отсчет невозможен в ...

2. Кривая, проведенная через вершины семейства гистерезисных кривых называется...

ЗАДАЧИ

Задача 1

В электрической цепи, изображенной на рис.1, известны показания ваттметра P , а также даны сопротивления резисторов. Рассчитать токи во всех ветвях цепи и напряжения на резисторах, а также напряжение питания U_0 .

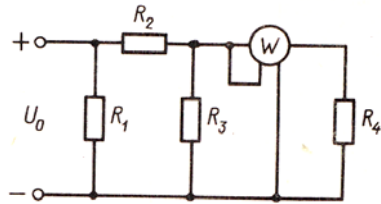


Рис.1

Данные к задаче 1

Вариант	P, Вт	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	R ₄ , Ом
1	75	2	6	3	3
2	80	10	15	10	20
3	45	8	16	3	5
4	144	3	12	2	4
5	15	8	10	5	15
6	24	2	2	4	6
7	72	10	20	2	8
8	250	3	15	5	10
9	48	2	10	2	3
10	16	10	36	8	4
11	24	8	12	5	6
12	95	15	18	12	14
13	28	10	22	35	16
14	120	80	40	25	30
15	80	15	35	18	8
16	55	30	18	24	16
17	34	8	6	14	12
18	22	14	18	9	15
19	40	8	12	12	8
20	25	18	9	15	9

Задача 2

В цепи переменного тока частотой 50 Гц (рис. 2) известны X_C , X_L , R_1 , R_2 . Рассчитать напряжение U , ток I_2 через резистор R_2 и ток в неразветвленной части цепи I . Начертить векторную диаграмму.

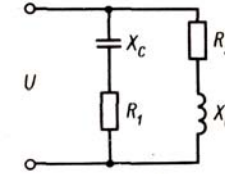


Рис.2

Вариант	X_C , Ом	X_L , Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом	I_1 , А
1	8	12	5	8	5
2	4	16	10	6	3
3	6	4	8	15	8
4	15	10	20	25	2
5	40	20	15	20	3
6	16	8	6	8	4
7	24	16	18	14	6
8	10	14	24	20	5
9	110	200	120	240	1
10	10	20	30	22	20
11	200	85	100	120	2
12	100	150	95	180	1
13	65	100	110	70	3
14	150	80	180	100	2
15	35	14	18	40	10
16	15	40	30	20	15
17	7	12	21	8	25
18	120	90	200	150	2
19	160	200	100	80	3
20	30	10	40	8	11

Задача 3

В цепи переменного тока частотой 50 Гц (рис. 3) известны U_C , L , C , R_1 и R_2 . Рассчитать напряжение на каждом элементе схемы, ток и общее напряжение. Построить топографическую векторную диаграмму.

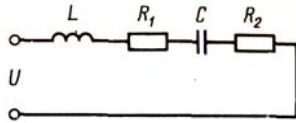


Рис.3

Данные к задаче 3

Вариант	U_C , В	L , мГн	C , мкФ	R_1 , Ом	R_2 , Ом
1	20	40	100	20	30
2	50	60	150	40	60
3	12	20	1000	50	80
4	25	5	2000	3	4
5	15	100	500	15	20
6	40	150	50	40	70
7	18	50	200	15	25
8	30	80	180	20	30
9	20	120	400	25	20
10	15	45	90	18	32
11	10	65	180	35	50
12	25	120	600	18	28
13	8	80	60	40	55
14	14	8	1500	60	70
15	22	25	1000	45	90
16	10	100	550	12	22
17	15	12	750	10	16
18	20	60	250	35	50
19	6	200	200	70	60
20	25	10	500	50	35

Задача 4

Трехфазный АД имеет следующие данные: $P_H = 10$ кВт; $U_H = 380$ В; $n_H = 1420$ об/мин; $\eta = 0,84$; $\cos \varphi_H = 0,85$; $I_n/I_H = 6,5$; $\lambda = 1,8$.

Определить: потребляемую мощность, номинальный и максимальный вращающие моменты, пусковой ток I_n , S_H , S_K . построить механическую характеристику $n(M)$.

Решение: $P_{1H} = P_H / \eta = 10 / 0,84 = 11,9$ кВт.

$$M_H = 9550 \frac{P_H}{n_H} = 10 / 1420 = 67,3 \text{ Нм.}$$

$$M_K = \lambda M_H = 1,8 \cdot 67,3 = 121 \text{ Нм.}$$

$$I_H = P_{1H} / \sqrt{3} U_H \cos \varphi_H = 11,9 \cdot 10^3 / 1,73 \cdot 380 \cdot 0,84 = 21,2$$

$$I_n = 6,5 I_H = 138 \text{ А.}$$

$$S = (n_1 - n_2) / n_1 = 1500 \cdot 1420 / 1500 = 0,053.$$

Ближайшее большее значение n находим по табл.

p	1	2	3	4	5
об/мин	3000	1500	1000	750	600

$$S_K = S_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,175.$$

Задаваясь скольжением S от 0 до 1, подсчитаем момент:

$$M = 2M_K / (0,175 / S + S / 0,175), \text{ Нм.}$$

Частоту вращения определяем из уравнения $n_2 = n_1 (1 - S)$.

По полученным данным строим механическую характеристику.

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, номинальная мощность которого P_H , включен в сеть под номинальным напряжением U_H с частотой $f = 50$ Гц.

Определить: номинальный I_H и пусковой I_n токи, номинальный M_H и пусковой M_n , максимальный M_M моменты. Построить механическую характеристику. Данные для расчета приведены в табл.7.

Вариант	U_H В	P_H кВт	S_H %	η_H	$\cos \varphi_H$	p	$\frac{M_M}{M_H}$	$\frac{M_n}{M_H}$	$\frac{I_n}{I_H}$
1	220	0,8	3,0	0,78	0,86	1	2,2	1,9	7,0
2	220	1,1	3,0	0,795	0,87	1	2,2	1,9	7,0
3	220	1,5	4,0	0,805	0,88	1	2,2	1,8	7,0
4	220	2,2	4,5	0,83	0,89	1	2,2	1,8	7,0
5	220	3,0	3,5	0,845	0,89	1	2,2	1,7	7,0
6	220	4,0	2,0	0,855	0,89	1	2,2	1,7	7,0
7	220	5,5	3,0	0,86	0,89	1	2,2	1,7	7,0
8	220	7,5	3,5	0,87	0,89	1	2,2	1,6	7,0
9	220	10	4,0	0,88	0,89	1	2,2	1,5	7,0
10	220	13	3,5	0,88	0,89	1	2,2	1,5	7,0
11	220	17	3,5	0,88	0,90	1	2,2	1,2	7,0
12	220	22	3,5	0,88	0,90	1	2,2	1,1	7,0
13	220	30	3,0	0,89	0,90	1	2,2	1,1	7,0
14	220	40	3,0	0,89	0,91	1	2,2	1,0	7,0
15	220	55	3,0	0,90	0,92	1	2,2	1,0	7,0
16	220	75	3,0	0,90	0,92	1	2,2	1,0	7,0
17	220	100	2,5	0,915	0,92	1	2,2	1,0	7,0
18	380	10	3,0	0,885	0,87	2	2,0	1,4	7,0
19	380	13	3,0	0,885	0,89	2	2,0	1,3	7,0
20	380	17	3,0	0,89	0,89	2	2,0	1,3	7,0

Лабораторная работа №1

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАЗВЕТВЛЕННОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

Цель работы: 1) изучить процессы в цепи переменного тока, состоящей из последовательно соединенных катушки и конденсатора; 2) изучить явление резонанса напряжений и условия, при которых оно наблюдается; 3) освоить методику построения векторных диаграмм для цепи с последовательным соединением элементов; 4) расширить умения по сборке электрических схем; 5) научиться моделировать и проектировать условия задачи по разделу резонанс напряжений.

Пояснение к работе

Исследуемая цепь состоит из последовательно соединенных катушки с ферромагнитным сердечником (дроссель Др), в котором имеется воздушный зазор и батареи конденсаторов (рис. 1).

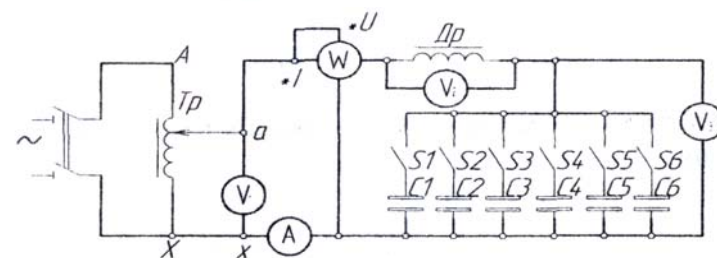
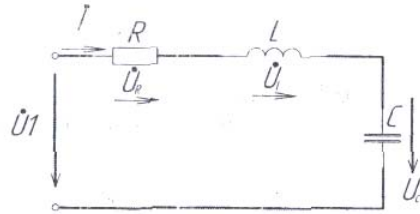


Рис. 1

На схеме замещения (рис. 2) дроссельная катушка представлена резистивным R и индуктивным L элементами, батарея конденсаторов - емкостным элементом C.



Если к этой цепи подвести синусоидальное напряжение, то по второму закону Кирхгофа можно записать:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_{\text{лп}} + \dot{U}_C = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C = Z_1 \cdot \dot{I},$$

где $Z_1 = Z_{\text{лп}} + Z_C$;

$$Z_{\text{лп}} = R + j \cdot X_L = R + j \cdot \omega \cdot L;$$

$$Z_C = -j \cdot X_C = -j \cdot \frac{1}{\omega \cdot C}.$$

Комплексный ток определяется по закону Ома через комплекссы напряжения и полного сопротивления цепи:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_1}{Z_1},$$

а модуль тока - через модули напряжения и полного сопротивления цепи:

$$I = \frac{U_1}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}},$$

угол сдвига фаз φ между векторами тока \dot{I} и напряжения \dot{U}_1 может быть определен по формуле

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R}.$$

Разность индуктивного X_L и емкостного X_C сопротивлений представляет собой реактивное сопротивление, зависящее не

только от параметров дросселя и конденсатора, но и от частоты питающей сети f .

При изменении числа подключенных конденсаторов будут изменяться величины емкостного, реактивного и полного сопротивлений, а следовательно, и ток цепи (I), потребляемая мощность P и коэффициент мощности $\cos\varphi$. Кривые, выражающие изменения тока, напряжений на элементах цепи и мощности в зависимости от частоты или параметров цепи, называются резонансными кривыми.

При минимальной емкости включенных конденсаторов в цепи преобладает емкостное сопротивление ($X_C > X_L$), реактивное сопротивление велико и ток относительно мал. По мере увеличения емкости реактивное сопротивление уменьшается, при $X_L = X_C$ полное сопротивление цепи становится минимальным, а ток - максимальным. При дальнейшем увеличении емкости реактивное сопротивление по модулю увеличивается, а ток уменьшается. Примерный ход резонансных кривых показан на рис. 3.

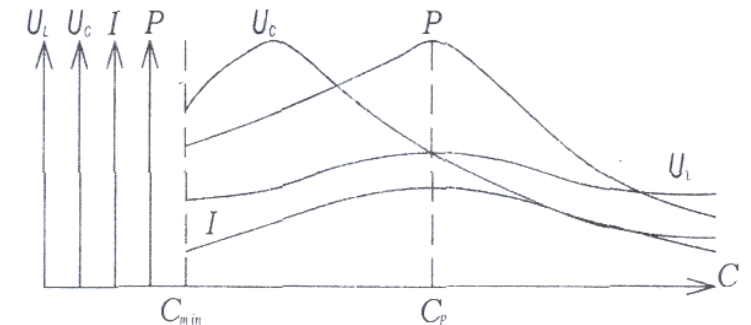


Рис.3

Не совпадение максимумов напряжений U_C и U_L обусловлено наличием активного сопротивления. Форма резонансных

План работы

кривых зависит от величины затухания цепи ($d = \frac{R}{\sqrt{L/C}}$). Чем

больше d , тем шире резонансные кривые.

Режим, при котором индуктивное сопротивление равно емкостному, называется резонансом напряжений.

Характерными особенностями режима резонансного напряжения являются:

1) $X_L = X_C$ - равенство индуктивного и емкостного сопротивлений;

2) $Z_1 = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ - полное сопротивление цепи минимально и равно активному R ;

3) $I = \frac{U_1}{Z_1}$ и $P = R \cdot I^2$ - ток и активная мощность максимальны;

4) ток I и напряжение U совпадают по фазе, а напряжение на участках с реактивными элементами X_L и X_C могут значительно превышать подводимое напряжение U_1 .

Резонанс напряжений получают не только путем изменения параметров цепи, но и изменением частоты питания сети f , которая рассчитывается по формуле

$$f_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L \cdot C}}$$

Изменяющиеся при исследовании величины изображают с помощью векторной диаграммы, построение которой удобно начать с вектора I .

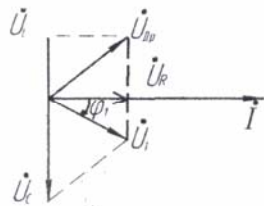


Рис.4

Построение векторной диаграммы (рис.4) осуществляют в соответствии со вторым законом Кирхгофа, вычислив необходимые составляющие напряжений, и методом засечек по показаниям вольтметров V_1, V_2, V_3 .

1. Ознакомиться со стендом, собрать электрическую цепь по схеме (см. рис. 9)
2. После проверки схемы преподавателем включить питание и установить с помощью автотрансформатора напряжение, заданное преподавателем.
3. Поддерживая постоянным напряжение U_1 и изменяя емкость от минимальной до максимальной, записать показания измерительных приборов в табл. 1

Таблица 1

Измеренные величины					Вычисленные величины								
U_1	$U_{дp}$	U_C	I	P	Z_1	$Z_{дp}$	R	X_L	X_C	L	U_L	$\cos \varphi$	C
В	В	В	А	Вт	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Гн	В		мкФ

4. По данным опыта:

- а) вычислить $Z_1, Z_2, R, X_L, L, C, \cos \varphi$;
- б) построить в одних осях графики зависимостей $I, P, U_C, U_L, Z_1, \cos \varphi$ от C ;
- в) построить в одном масштабе векторные диаграммы цепи для случаев $X_C > X_L; X_C = X_L, X_C < X_L$;
- г) сделать выводы, записать их в отчет.

Примечания:

1. Если из-за дискретного изменения емкости цепи не удастся добиться настройки в резонанс, необходимо рассчитать величины, характерные для этого режима, из условия $X_C = X_L$ и использовать их при построении векторных диаграмм и графиков.

Формулы для расчета

$$Z_I = \frac{U_I}{I} - \text{полное сопротивление цепи};$$

$$Z_{Др} = \frac{U_{Др}}{I} - \text{полное сопротивление дросселя};$$

$$R = \frac{P}{I^2} - \text{активное сопротивление цепи (дросселя)};$$

$$X_L = \sqrt{Z_{Др}^2 - R^2} - \text{индуктивное сопротивление дросселя};$$

$$U_L = X_L \cdot I - \text{падение напряжения на индуктивности дросселя};$$

$$X_C = \frac{U_C}{I} - \text{емкостное сопротивление конденсатора};$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{U \cdot I} - \text{коэффициент мощности цепи}.$$

Вопросы для самопроверки

1. Начертить схему замещения последовательной цепи и объяснить, какие процессы отражают элементы цепи.
2. Почему в цепи переменного тока с последовательным соединением L и C элементов могут создаваться условия, невозможные для цепей постоянного тока?
3. Написать и объяснить выражения закона Ома для участка цепи и для всей цепи.
4. Изменением каких параметров можно настраивать цепь в режим резонанса напряжений?
5. При каком условии возникает резонанс напряжений, и чем он сопровождается?

6. Объяснить порядок построения векторных диаграмм для данной цепи?
7. От чего зависит угол сдвига фаз между векторами напряжения и тока?
8. Записать все выражения, по которым можно рассчитать активную мощность в цепи синусоидального тока.
9. Объяснить ход кривых I, P, U_C , U_L , Z и $\cos\varphi$, полученных в данной работе.
10. Объяснить, почему при резонансе напряжений ток максимальный?
11. Какому уравнению соответствует векторная диаграмма (рис. 12)?
12. Показать на векторной диаграмме активную, индуктивную и емкостную составляющие напряжений.
13. Рассчитать неизвестное напряжение питания в цепи с последовательным соединением R, L, C, если известен ток и сопротивления элементов цепи.
14. Что понимают под треугольником сопротивлений, напряжений, мощностей?
15. Где используется явление резонанса напряжений?
16. Спроектировать условные задачи и реальный резонансный контур, используя результаты лабораторной работы.

Лабораторная работа №2

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. РЕЗОНАНС ТОКОВ

Цель работы: 1)изучить процессы в цепи переменного тока, состоящей из катушки и конденсатора, соединенных параллельно; 2) изучить явление резонанса токов и условия, при которых оно наблюдается; 3)освоить методику построения векторных диаграмм для цепи с параллельным соединением элементов; 4) формировать умения по сборке параллельной цепи переменного тока и проектирование задач по разделу резонанс токов.

Пояснения к работе

Параллельное соединение широко применяется для приемников переменного тока (двигателей, осветительных устройств, бытовых приборов и т.д.). Они подключаются к общей сети переменного тока, напряжение в которой поддерживается почти постоянным.

Исследуемая цепь состоит из дроссельной катушки Dp , соединенной параллельно с батареей конденсаторов (рис. 5).

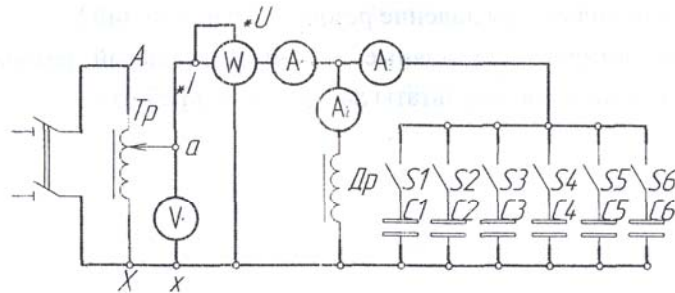


Рис.5

Схема замещения (рис. 1 1) этой цепи представлена индуктивным элементом с проводимостью B_L , резистивным элементом с проводимостью G и емкостным элементом с проводимостью B_C

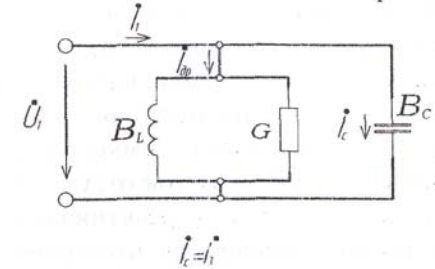


Рис.6

Ток в дросселе представляем как сумму активной и реактивной составляющих:

$$\dot{I}_{дp} = \dot{I}_a + \dot{I}_L = \underline{Y}_2 \cdot \dot{U},$$

где $\underline{Y}_2 = G + j \cdot B_L$ - полная проводимость дроссельной катушки.

Наличие активной составляющей объясняется потерями мощности в обмотке и сердечнике дросселя.

Потери в конденсаторе можно пренебречь, поэтому ток в неразветвленной части цепи по первому закону Кирхгофа равен геометрической сумме токов ветвей:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{дp} + \dot{I}_C = \underline{Y}_1 \cdot \dot{U}.$$

Модуль тока в неразветвленной части цепи может быть определен по формуле

$$I_1 = \sqrt{I_a^2 + (I_L - I_C)^2} = U \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2},$$

а угол сдвига фаз между векторами напряжения U и тока I - следующим образом:

$$\varphi = \arctg \frac{B_L - B_C}{G}.$$

При измененном действующем значении напряжения U и

постоянной частоте ω действующее значение общего тока I изменяется при варьировании параметров дросселя или батареи конденсаторов. При этом изменяются и другие величины: полная проводимость Y , коэффициент мощности, а также ток в ветви дросселя или конденсатора. Кривые зависимости тока I , $\cos\varphi$, Y от параметров цепи называются резонансными кривыми. В данной работе изменяется емкость конденсаторов.

При минимальной емкости емкостная проводимость B_C меньше индуктивной B_L , поэтому ток отстает по фазе от напряжения. По мере увеличения емкости реактивная проводимость цепи $B = B_L - B_C$ по модулю уменьшается, что приводит к уменьшению полной проводимости и общего тока. При $B_L = B_C$ проводимость цепи и общий ток будут минимальны, и ток будет совпадать по фазе с напряжением. При дальнейшем увеличении емкости реактивная проводимость по модулю будет возрастать, что приведет к увеличению общего тока. Примерный вид резонансных кривых показан на рис.15. Форма кривых зависит от величины затухания цепи.

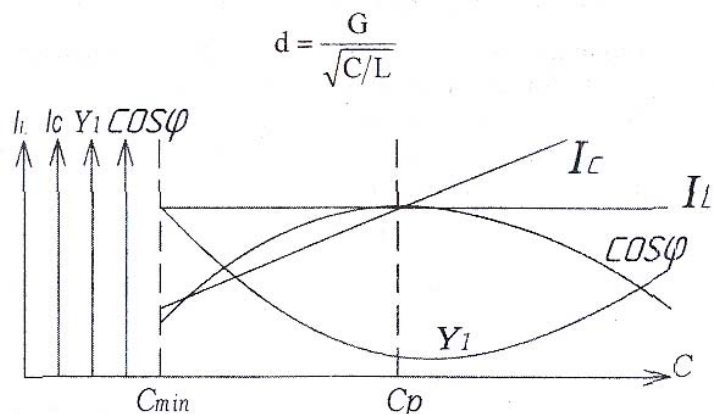


Рис.7

Чем меньше d , тем острее резонансные кривые и тем резче выражен резонанс.

Режим, при котором $B_L = B_C$ – называется резонансом токов. В этом режиме ток в неразветвленной части цепи минимален и становится чисто активным. Токи I_L и I_C равны друг другу, т.е. дроссель и батарея конденсаторов обмениваются друг с другом запасенной энергией. Реактивный ток не идет в общую цепь. Этот режим применяется для повышения коэффициента мощности промышленных предприятий, что в конечном итоге ведет к уменьшению потерь энергии в линиях электропередачи.

Векторная диаграмма исследуемой цепи может быть построена по показаниям амперметров A_1, A_2, A_3 методом засечек.

План работы

1. Ознакомиться с рабочим местом, собрать электрическую цепь по схеме (см. рис. 13).
2. После проверки схемы преподавателем включить питание и установить с помощью автотрансформатора напряжение U , заданное преподавателем.
3. Поддерживая $U = \text{const}$ и изменяя емкость от минимальной до максимальной, записать показания измерительных приборов. Данные занести в табл 2

Таблица 2

Измеренные величины					Вычисленные величины								
U, B	I_L, A	$I_{др}, A$	I_C, A	$P, Вт$	$Z_1, Ом$	$Y_1, См$	$G, См$	$Y_{др}, См$	$B_L, См$	$B_C, См$	I_L, A	$\cos\varphi$	$C, мкФ$

4. По данным опыта:

а) вычислить $Z_1, Y_1, G, Y_{др}, B_L, B_C, \cos\varphi, C$;

б) построить в одних осях графики зависимостей:

$I_L, I_C, Z_1, Y_1, \cos\varphi$ от C . В случае, если из-за дискретного из-

менения емкости не удастся добиться точной настройки цепи в резонанс, необходимо рассчитать из условия $B_L = B_C$ величины, характерные для этого режима и использовать их при построении графиков;

в) построить векторные диаграммы цепи для $B_L > B_C$, $B_L = B_C$, $B_L < B_C$ (в одном масштабе);

г) сделать выводы и записать их в отчет.

Формулы для расчета

$$Z_1 = \frac{U}{I_1} - \text{полное сопротивление цепи};$$

$$Y_1 = \frac{I_1}{U} - \text{полная проводимость цепи};$$

$$G = \frac{P_1}{U^2} - \text{активная проводимость катушки};$$

$$Y_{др} = \frac{I_{др}}{U} - \text{полная проводимость катушки};$$

$$B_L = \sqrt{Y_{др}^2 - G^2} - \text{индуктивная проводимость катушки};$$

$$I_L = B_L \cdot U - \text{индуктивная составляющая катушки};$$

$$B_C = \frac{I_C}{U} - \text{емкостная проводимость конденсатора};$$

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{U \cdot I_1} - \text{коэффициент мощности всей цепи};$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f, \quad f = 50 \text{ Гц.}$$

Вопросы для самопроверки

1. Объяснить, в каком контуре и при каких условиях возможен резонанс токов.

2. Почему при резонансе токов ток в неразветвленной цепи минимален?

3. Объяснить порядок построения векторных диаграмм для данной цепи.

4. Объяснить ход кривых I_1 , I_L , I_C , Z_1 , Y_1 , $\cos \varphi$, полученных в данной работе.

5. Какое практическое значение имеет резонанс токов, и где он используется?

6. Показать на векторной диаграмме активную, индуктивную и емкостную составляющие тока.

7. По каким формулам может быть определен угол сдвига фаз между током и напряжением?

8. Что понимают под треугольником мощностей, токов и проводимостей?

9. Как изменяются проводимости ветвей при изменении частоты, емкости и индуктивности?

10. Спроектировать идеальный параллельный резонансный контур.

11. Спроектировать векторную диаграмму для идеального параллельного контура.

12. Спроектировать векторную диаграмму для резистивного элемента.

13. Спроектировать векторную диаграмму для емкостного элемента.

14. По результатам лабораторной работы спроектировать условия задачи и резонансный контур.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы: 1) ознакомиться с устройством и принципом действия однофазного трансформатора; 2) изучить основные режимы работы трансформатора; 3) освоить методику опытного определения основных параметров трансформатора.

Пояснения к работе

Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, преобразующий переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения без изменения частоты. Основными частями трансформатора являются магнитопровод и обмотка. Магнитопровод выполняется из листовой электротехнической стали, на нем располагаются обмотки, количество которых может быть различно. В работе рассматривается двухобмоточный трансформатор. Первичная обмотка подключается к источнику переменного тока с напряжением U_1 , к вторичной обмотке подключают потребитель. Ток i_1 , возникающий в первичной обмотке, создает переменный магнитный поток Φ . Замыкаясь в магнитопроводе, этот поток сцепляется с обеими обмотками и индуцирует в них ЭДС e_1 и e_2 . ЭДС, во вторичной обмотке e_2 создает ток нагрузки i_2 . Если в первичной обмотке w_1 витков, а во вторичной w_2 , то действующие значения ЭДС каждой обмотки определяются по формуле

$$E_1 = 4,44 w_1 f \Phi_m,$$

$$E_2 = 4,44 w_2 f \Phi_m,$$

где Φ_m - амплитуда магнитного потока Φ ; f - частота переменного тока.

Отношение $\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = n$ называется коэффициентом трансформации.

Уравнения электрического состояния первичной и вторичной

торы в режимах холостого хода и короткого замыкания. Почему пренебрегают электрическими потерями энергии трансформатора при холостом ходе, а также, почему в опыте короткого замыкания можно пренебречь магнитными потерями? Разобраться, какие потери энергии возникают при различных режимах работы трансформатора, уяснить причины их возникновения и методику расчета КПД. Ознакомиться с устройством и принципом работы автотрансформаторов и измерительных трансформаторов и схемами их включения.

Приборы и оборудование

Работа выполняется на рабочем стенде, в котором установлен лабораторный автотрансформатор Т1 и необходимые приборы. Однофазный двухобмоточный трансформатор Т2, ваттметр и реостат устанавливаются на столе. Электрическая цепь собирается в соответствии с приведенными схемами с помощью комплекта проводов.

План работы

Провести опыт холостого хода

1. Ознакомиться со схемой проведения опыта холостого хода (рис.41), подобрать необходимые приборы и записать их технические данные.

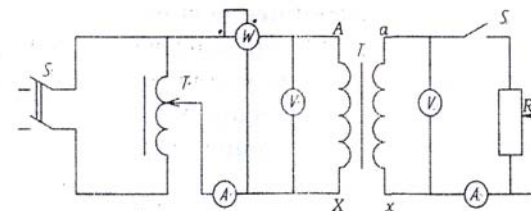


Рис. 41

2. Собрать схему и показать ее преподавателю.
3. Отключить нагрузку выключателем S2. Поскольку сопротивление катушки вольтметра V большое его присутствие в схеме не влияет на показание остальных приборов.
4. Включить питание и установить с помощью автотрансформа-

тора Т1 номинальное напряжение на первичной обмотке $U_{ном} = 220$ В (вольтметр V_1).

5. Измерить ток холостого хода I_{10} , напряжение U_{20} на зажимах вторичной обмотки и мощность P_0 , потребляемую трансформатором при холостом ходе.

6. Снизить автотрансформатором первичное напряжение до нуля и отключить схему.

7. По данным опыта вычислить коэффициент мощности при холостом ходе $\cos\phi_0$ и коэффициент трансформации n .

8. Показания приборов и результаты вычислений внести в табл. 3.

Таблица 3

Измеренные величины				Вычисленные величины	
$U_{ном}, В$	$U_{20}, В$	$I_{10}, А$	$P_0, Вт$	$\cos \phi_0$	n

Провести опыт с включением нагрузки.

1. Ознакомиться со схемой проведения опыта нагрузки, подобрать необходимые приборы и записать их технические данные (опыт проводится на схеме, приведенной на рис.41).

2. Включить питание и установить автотрансформатором номинальное напряжение на первичной обмотке $U_{ном} = 220$ В.

3. Изменяя с помощью реостата ток нагрузки от нуля до номинального значения через $1А$ при $U_{1ном} = 220В$, измерить токи первичной I_1 и вторичной I_2 обмоток, напряжение U_2 вторичной обмотки и мощность P_1 , потребляемую трансформатором.

4. Снизить автотрансформатором напряжение до нуля и выключить схему.

5. По данным опыта вычислить мощность P_2 коэффициент мощности $\cos\phi$ и КПД.

6. Показания приборов и результаты вычислений внести в табл.9

Таблица 4

Измеренные величины					Вычисленные величины		
$U_1, В$	$U_2, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$P_1, Вт$	$P_2, Вт$	$\cos\phi_0$	кпд, %

По полученным результатам построить: внешнюю характеристику $U_2(I_2)$, зависимость $\cos\phi_1(I_2)$, график КПД(P_2), КПД(I_2).

Провести опыт короткого замыкания.

1. Ознакомиться со схемой проведения опыта короткого замыкания (рис.42), подобрать необходимые приборы и записать их технические данные.

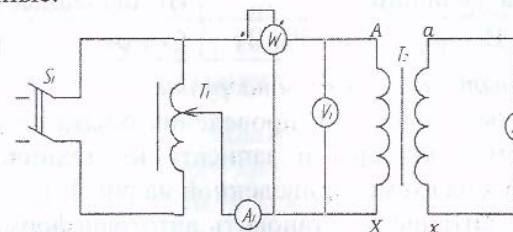


Рис.9

2. Собрать схему и показать ее преподавателю.

3. Поставить рукоятку лабораторного автотрансформатора в крайнее левое положение.

4. Включить питание и, медленно вращая ручку регулятора напряжения автотрансформатора Т1, установить на первичной обмотке трансформатора напряжение $U_{1к}$, составляющее 5 % от $U_{1ном}$ так, чтобы ток $I_{2к}$, имел номинальное значение 4 А.

5. Измерить напряжение, ток первичной обмотки и мощность, потребляемую трансформатором при коротком замыкании.

6. Снизить автотрансформатором напряжение до нуля и выключить схему.

Контрольные вопросы

7. По данным опыта вычислить коэффициент мощности при коротком замыкании $\cos\varphi_k$, полное Z_k , активное r_k и реактивное X_k сопротивления.

8. Показания приборов и результаты вычислений внести в табл.10.

Таблица 5

Измеренные величины				Вычисленные величины			
$U_1, В$	$I_{1к}, В$	$I_{2к}, А$	$P_{к}, Вт$	$\cos \varphi_k$	$Z_k, Ом$	$r_k, Ом$	$X_k, Ом$

9. По данным опытов холостого хода и короткого замыкания определить номинальный КПД трансформатора для случая активно-индуктивной нагрузки, приняв $\cos\varphi=0,8$.

Формулы для расчета

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{U_1 I_1} \text{ - коэффициент мощности трансформатора;}$$

$$\eta = \frac{U_{ном}}{U_{20}} \text{ - коэффициент трансформации;}$$

$$P_2 = U_2 I_2 \cos\varphi_2 \text{ - мощность нагрузки;}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 I_2 \cos\varphi_2}{U_1 I_1 \cos\varphi_1} = \frac{\beta S_{ном} \cos\varphi_2}{\beta S_{ном} \cos\varphi_2 + \beta^2 P_{ном} + P_0} \text{ - КПД трансформатора,}$$

где β - коэффициент загрузки, т. е. отношение заданной полной мощности $S_2 = U_2 I_2$ к номинальной $S_{ном} = U_{ном} I_{ном}$ трансформатора по паспорту.

1. Объяснить устройство и принцип действия трансформатора.
2. Написать формулы ЭДС обмоток трансформатора.
3. Что такое коэффициент трансформации, в каком опыте и как он определяется?
4. Написать и объяснить уравнение электрического состояния первичной обмотки.
5. Написать и объяснить уравнение электрического состояния вторичной обмотки.
6. Написать уравнение намагничивающих сил и токов.
7. Объяснить порядок построения векторной диаграммы нагруженного трансформатора.
8. Нарисовать и объяснить схему замещения нагруженного трансформатора.
9. Какими потерями можно пренебречь в опыте холостого хода?
10. Какими потерями можно пренебречь в опыте короткого замыкания?
11. Изменится ли величина магнитного потока Φ_m в сердечнике трансформатора при переходе от опыта нагрузки к опыту короткого замыкания?
12. Объяснить причины и характер изменения вторичного напряжения трансформатора при изменении нагрузки и внешнюю характеристику трансформатора.
13. Как определяются потери в обмотках и в сердечнике трансформатора?
14. Каким образом определяется КПД силовых трансформаторов?
15. Назначение и особенности устройства измерительных трансформаторов тока и напряжения.
16. Особенности устройства, достоинства и недостатки авто-трансформаторов.

