

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра общей электротехники

Составители
Т. М. Черникова, И. П. Маслов

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания к самостоятельной работе
для студентов специальности СПО
18.02.12 Технология аналитического контроля
химических соединений

Рекомендованы цикловой методической комиссией
общепрофессиональных дисциплин
в качестве электронного издания для использования
в образовательном процессе

Кемерово 2019

Рецензент

Дабаров В. В. – кандидат технических наук, доцент
кафедры общей электротехники

Ушакова Е. С. – кандидат технических наук, председа-
тель цикловой методической комиссии общепро-
фессиональных дисциплин

Черникова Татьяна Макаровна

Маслов Иван Петрович

Электротехника и электроника: методические указания к самосто-
ятельной работе [Электронный ресурс] для студентов специальности СПО
18.02.12 Технология аналитического контроля химических соединений /
сост. Т. М. Черникова, И. П. Маслов; КузГТУ. – Электрон. издан. – Кеме-
рово, 2019.

Приведено содержание самостоятельной работы, материал, необхо-
димый для успешного изучения дисциплины.

Назначение издания – помощь студентам в получении знаний по
дисциплине «Электротехника и электроника» и организация самосто-
ятельной работы.

© КузГТУ, 2019

© Т. М. Черникова,

И. П. Маслов,

составление, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Тема 1. Электрические цепи постоянного тока. Основные теоретические положения.....	5
Тема 2. Электромагнетизм. Основные теоретические положения.....	12
Тема 3. Электрические цепи переменного тока. Основные теоретические положения.....	19
Список рекомендуемой литературы.....	32

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для выполнения самостоятельной работы студентами. Самостоятельная работа подразумевает получение и закрепление знаний по вопросам программы.

В качестве самостоятельной работы предусмотрено решение задач с целью лучшего усвоения теоретических знаний и получения навыков расчета задач, с которыми будущие специалисты могут встретиться в своей практической деятельности.

Методические указания содержат краткие теоретические положения, охватывающие основные разделы теоретического курса: линейные цепи постоянного тока, электромагнетизм, линейные цепи переменного тока. Методические указания рассчитаны на студентов, уже проработавших соответствующие разделы курса.

В ходе решения задач не следует изменять однажды принятые направления токов и наименования узлов, сопротивлений.

Тема 1

Электрические цепи постоянно тока

Основные теоретические положения

1. Электрические цепи состоят из источников и потребителей электрической энергии. Потребитель электрической энергии характеризуется сопротивлением, которое является параметром цепи и обозначается буквой R (резистор).

2. Источник электрической энергии, характеризуемый внешней характеристикой $U = f(I)$ (рис. 1.1, а), может быть представлен в виде любой из двух эквивалентных схем: схемы из последовательного включения ЭДС и внутреннего (входного) сопротивления источника (рис. 1.1, б) и схемы из параллельно включенных источников тока и внутреннего (входного) сопротивления источника (рис. 1.1, в). Величина ЭДС E в схеме (рис. 1.1, б) численно равна напряжению на зажимах источника в режиме холостого хода (при отключенной нагрузке), а ток источника J_k в схеме (рис. 1.1, в) численно равен току короткого замыкания источника.

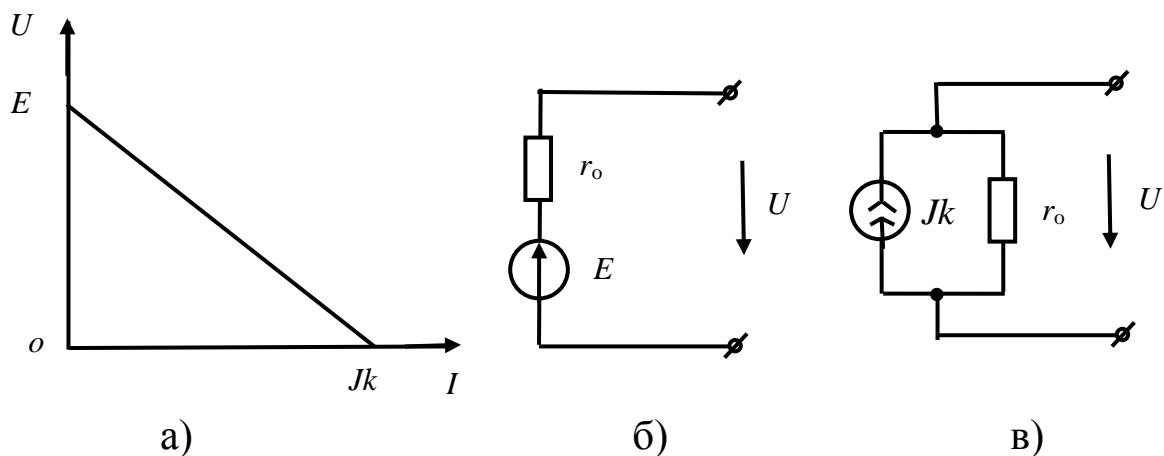


Рис. 1.1

3. Переход от схемы с источником ЭДС к схеме с источником тока и обратно осуществляется по формулам

$$J_k = \frac{E}{r_0}; \quad E = r_0 \cdot J_k.$$

4. При расчетах электрических цепей пользуются понятиями идеализированных источников: источников ЭДС и источников тока. У источника ЭДС внутреннее сопротивление $r_o = 0$, а у источника тока $r_o = \infty$. Напряжение на зажимах источника ЭДС не зависит от проходящего через источник тока и равно его ЭДС, а у источника тока ток не зависит от напряжения на зажимах источника.

5. Имеется три формы записи закона Ома.

Для замкнутой неразветвленной цепи

$$I = \frac{\Sigma E}{\Sigma R},$$

где ΣE – алгебраическая сумма ЭДС; со знаком "+" в эту сумму входят те ЭДС, направления действия которых совпадают с выбранным положительным направлением тока и со знаком "-" – остальные ЭДС; ΣR – арифметическая сумма сопротивлений цепи (в том числе внутренних сопротивлений источников ЭДС).

Для отдельной ветви без источника ЭДС в сложной электрической цепи

$$I_{ab} = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R_{ab}} = \frac{U_{ab}}{R_{ab}},$$

где φ_a, φ_b – потенциалы узлов; U_{ab} – разность потенциалов или напряжение между узлами a и b ; R_{ab} – арифметическая сумма сопротивлений в данной ветви (см. рис. 1.2).

Для ветви с источниками ЭДС

$$I_1 = \frac{\varphi_a - \varphi_c + \Sigma E_{ac}}{\Sigma R_{ac}} = \frac{U_{ac} + \Sigma E_{ac}}{\Sigma R_{ac}},$$

где $U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c$ – напряжение или разность потенциалов узлов, к которым подключена ветвь; ΣE_{ac} – алгебраическая сумма ЭДС в ветви «ac»; ΣR_{ac} – арифметическая сумма сопротивлений в ней.

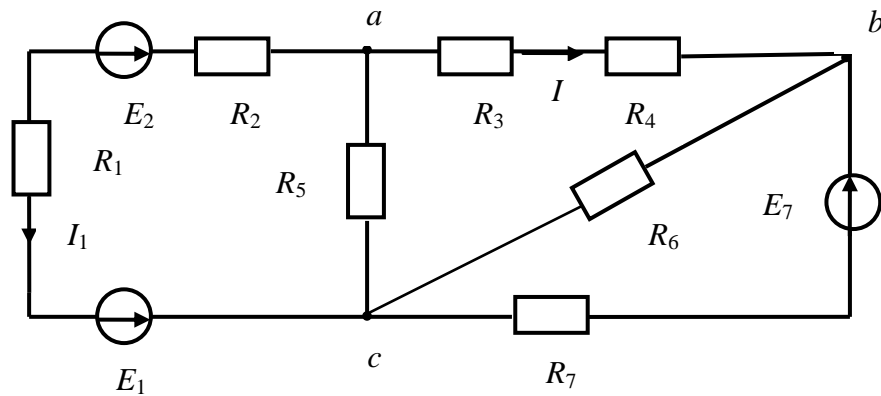


Рис. 1.2

Для ветви ac (см. рис. 1.2)

$$\Sigma E_{ac} = E_1 - E_2;$$

$$\Sigma R_{ac} = R_1 + R_2.$$

6. Первый закон Кирхгофа. Алгебраическая сумма токов, сходящихся в любом узле электрической цепи, равна нулю:

$$\Sigma I = 0.$$

Токи, подходящие к узлу, берутся с одним знаком (обычно с плюсом), отходящие от узла – с другим знаком.

7. Второй закон Кирхгофа. В любом (замкнутом) контуре электрической цепи алгебраическая сумма падений напряжения (на сопротивлениях) равна алгебраической сумме ЭДС:

$$\Sigma IR = \Sigma E.$$

8. Определение эквивалентных сопротивлений в пассивных цепях:

а) при параллельном соединении n сопротивлений эквивалентное сопротивление определяется по формуле

$$\frac{1}{R_{\text{э}}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}.$$

В частом случае параллельного соединения двух сопротивлений

$$R_{\text{э}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

При параллельном соединении трех сопротивлений

$$R_{\text{э}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3};$$

б) преобразование треугольника сопротивлений (рис. 1.3, а) в эквивалентную звезду и наоборот (рис. 1.3, б) производится по формулам

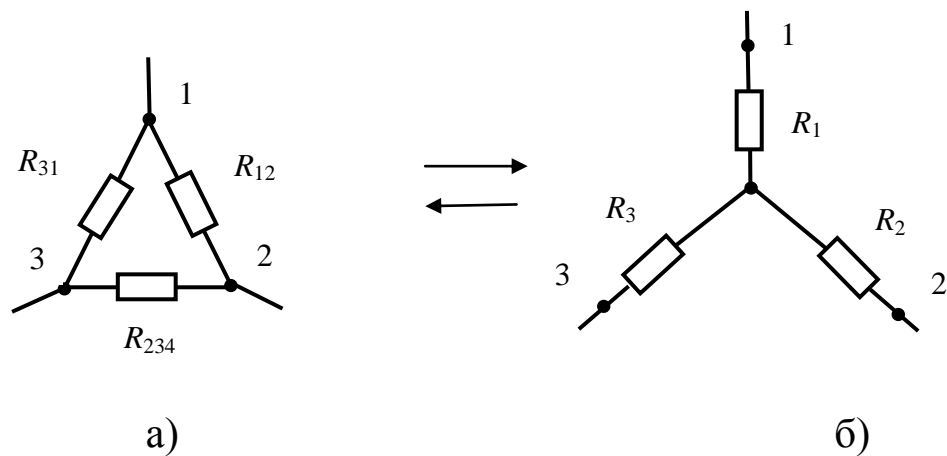


Рис. 1.3

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \frac{R_{31}R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \\ R_2 &= \frac{R_{12}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \\ R_3 &= \frac{R_{23}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \end{aligned} \right\} \Delta \rightarrow Y \quad \left. \begin{aligned} R_{12} &= R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3} \\ R_{23} &= R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1} \\ R_{31} &= R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2} \end{aligned} \right\} Y \rightarrow \Delta$$

9. При определении токов в разветвленных цепях (рис. 1.4) полезно пользоваться формулой разброса токов в параллельных ветвях

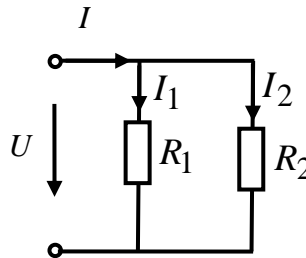


Рис. 1.4

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I; \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I$$

Контрольные вопросы

1. В чем отличие источника тока от источника напряжения?
2. Назовите единицы измерения тока, напряжения, ЭДС, сопротивления.
3. Сформулируйте закон Ома для полной цепи.
4. Сформулируйте закон Ома для участка цепи.
5. Сформулируйте второй закон Кирхгофа.
6. Чему равно эквивалентное сопротивление при последовательном включении элементов?
7. Чему равно общее напряжение при последовательно включенных элементах?

8. Чему равен ток при последовательном соединении элементов?
9. Сформулируйте первый закон Кирхгофа.
10. Чему равно эквивалентное сопротивление при параллельном соединении приемников?
11. Чему равно напряжение на параллельных ветвях?
12. Как определяются токи в ветвях при параллельном соединении сопротивлений?

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1.1.

Определить показания амперметра $I_{\text{изм}}$ пределом измерения 5 А и количеством делений на шкале 100, если стрелка прибора отклонилась до деления 45.

Ответ: 2,25 А.

Задача 1.2.

Определить напряжение на зажимах электрической машины, работающей в режиме генератора при токе 25 А. ЭДС машины 115 В, внутреннее сопротивление $r_0 = 0,2$ Ом.

Ответ: 110 В.

Задача 1.3.

Три резистора сопротивлением R каждый соединены последовательно. Параллельно одному из них подключили резистор сопротивлением $R/2$. Как изменится общее сопротивление всей цепи?

Ответ $\frac{R_2}{R_1} = \frac{7}{9}$.

Задача 1.4.

Вольтметр на 150 В, с внутренним сопротивлением 3000 Ом требуется включить в цепь постоянного тока с напряжением 450 В. Нарисовать схему включения и определить добавочное сопротивление.

Ответ: 6000 Ом.

Задача 1.5

Сколько параллельно включенных электрических лампочек, рассчитанных на 100 В и потребляющих мощность 50 Вт каждая, могут гореть полным накалом при питании их от аккумуляторной батареи с ЭДС. 120 В и внутренним сопротивлением 10 Ом?

Ответ: 4 лампы.

Задача 1.6.

Определить показания вольтметра в цепи (рис. 1.5), если $J_k = 3$ А; $R_1 = 4$ Ом; $R_2 = 1$ Ом; $R_3 = 2$ Ом; $R_4 = 8$ Ом.

Ответ: 6 В.

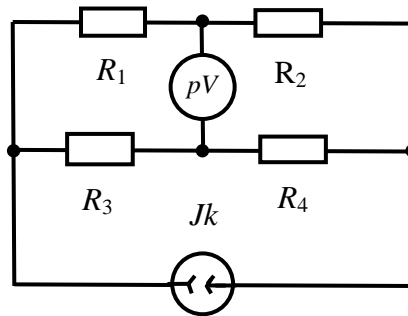


Рис. 1.5

Задача 1.7.

В цепи (рис. 1.6) вольтметр показывает 8 В. Определить подведенное к цепи напряжение, если $R_1 = R_2 = R_5 = 8$ Ом; $R_3 = 12$ Ом; $R_4 = 7$ Ом.

Ответ: 116 В.

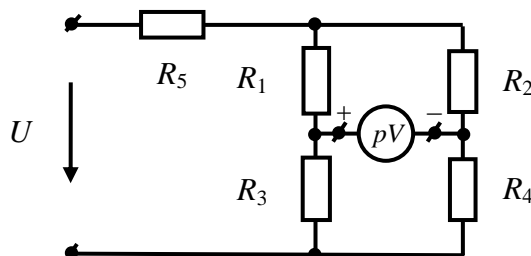


Рис. 1.6

Тема 2

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Основные теоретические положения

1. Вокруг всякого намагниченного тела возникает магнитное поле. При внесении в магнитное поле какого-либо тела оно пронизывается магнитными линиями, которые определенным образом воздействуют на поле.

Материалы, атомы которых не имеют магнитного момента и намагнитить которые невозможно, называют диамагнитными. Материалы, атомы которых обладают некоторым магнитным моментом и могут намагничиваться, называют парамагнитными. Материалы, атомы которых обладают большим магнитным моментом и которые легко поддаются намагничиванию, называются ферромагнитными.

Вокруг проводника с током образуется магнитное поле, направление магнитных линий которого определяется правилом буравчика: *если поступательное движение буравчика совпадает с направлением тока в проводнике, то вращательное движение его рукоятки указывает направление магнитных линий поля, образующегося вокруг проводника.*

Если проводник, по которому проходит электрический ток, внести в магнитное поле, то в результате взаимодействия магнитного поля и проводника с током проводник будет перемещаться в ту или иную сторону. Для определения направления движения проводника в магнитном поле пользуются правилом левой руки: *если расположить ладонь левой руки так, чтобы магнитные линии входили в неё, а вытянутые четыре пальца указывали направление тока в проводнике, то отогнутый под прямым углом большой палец укажет направление движения проводника*

2. Основной величиной, характеризующей интенсивность и направление магнитного поля, является вектор магнитной индукции B . Свойство тока возбуждать магнитное поле характеризуется магнитодвижущей силой (МДС), обозначаемой буквой F .

Магнитодвижущая сила катушки равна

$$F = Iw,$$

где I – ток в обмотке; w – число витков обмотки.

Магнитодвижущая сила, приходящаяся на единицу длины магнитной линии, называется напряженностью магнитного поля, обозначается H .

Для участка магнитной цепи магнитная индукция

$$B = \Phi/S,$$

где Φ – магнитный поток; S – поперечное сечение участка; магнитное напряжение

$$U_m = Hl = \Phi R_m,$$

где H – напряженность магнитного поля; l – средняя длина участка; магнитное сопротивление участка

$$R_m = l/\mu_r\mu_0S,$$

где μ_r – относительная магнитная проницаемость материала участка; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнитная постоянная, Гн/м.

Магнитная индукция и напряженность магнитного поля участка связаны соотношением

$$B = \mu_r\mu_0H.$$

При расчете магнитных цепей при постоянных потоках зависимость между B и H для ферромагнитных участков задается кривой намагничивания (таблица 1). Для воздуха и для воздушных зазоров $\mu_r = 1$, следовательно,

$$H = B/\mu_0 = 0,8 \cdot 10^6 B,$$

где H – в амперах на метр, а B – в теслах.

Если H измеряется в квадратных единицах, А/см, то

$$H = 0,8 \cdot 10^3 B.$$

Между величинами, характеризующими магнитные и электрические цепи, существует формальная аналогия:

Электрические цепи	Магнитные цепи
Ток I , А	Поток Φ , Вб
ЭДС E , В	МДС F , А
Сопротивление R , Ом	Магнитное сопротивление R_m 1/Гн
Проводимость g , См	Магнитная проводимость g_m , Гн
Напряжение U , В	Магнитное напряжение U_m , А

Эта формальная аналогия распространяется и на методы расчета магнитных цепей.

Первый закон Кирхгофа для магнитной цепи

$$\sum \Phi = 0$$

и второй

$$\sum F = \sum U_m = \sum Hl = \sum \Phi R_m.$$

В слабых полях $\mu_r \approx const$, следовательно, и $R_m \approx const$, поэтому магнитная цепь рассчитывается как линейная.

Для наглядности можно составить эквивалентную электрическую схему, при помощи которой выполняется расчет.

3. ЭДС электромагнитной индукции, наведенная в контуре, равна скорости уменьшения магнитного потока, пронизывающего контур.

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

Отношение потокосцепления самоиндукции к току контура или катушки при неизменной магнитной проницаемости среды постоянно и называется индуктивностью.

$$L = - \frac{\Psi_L}{I}.$$

Энергия магнитного поля

$$W_m = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Psi I}{2}.$$

Явление индуцирования ЭДС в одной цепи при изменении тока другой цепи называется взаимной индукцией.

ЭДС взаимной индукции

$$e_2 = -\frac{d\Psi_{12}}{dt} = -M \frac{di_1}{dt},$$

где M – взаимная индуктивность, Ψ_{12} – потокосцепление взаимной индукции, i_1 – ток в первой цепи.

Контрольные вопросы.

1. Как создаётся магнитное поле?
2. Перечислите основные параметры магнитного поля и поясните их физический смысл.
3. Назовите единицу измерения таких величин, как напряжённость магнитного поля, магнитный поток, магнитная индукция.
4. Какие материалы называют ферромагнитными, в чём их особенности, где они применяются?
5. Сформулируйте закон Ома для магнитной цепи.
6. Сформулируйте законы Кирхгофа для магнитных цепей.
7. Когда возникает ЭДС индукции и как определить её направление?
8. Как определяется индукция магнитного поля?
9. Как определяется магнитный поток?
10. Сформулируйте правило Ленца и поясните его.
11. Когда возникает электромагнитная сила и от чего она зависит?
12. Что называют самоиндукцией?
13. Чему равна ЭДС самоиндукции?
14. Что называют взаимной индукцией?
15. Как рассчитывается ЭДС взаимной индукции?
16. Чему равна энергия магнитного поля?

Таблица 1

Кривые намагничивания сталей 1211, 1411, 1512, 1561

Марка стали, индукция	<i>H</i> , А/см																		
	0,	0,2	0,4	1	1,4	1,8	2,4	4	6	8	10	12	14	18	22	24	40	80	120
1211, <i>B</i> , Тл	0	0,03	0,11	0,53	0,73	0,90	1,10	1,23	1,32	1,38	1,42	1,45	1,48	1,54	1,57	1,59	1,64	1,75	1,83
1411, <i>B</i> , Тл	0	0,04	0,18	0,67	0,81	0,92	1,05	1,14	1,23	1,30	1,38	1,42	1,46	1,50	1,53	1,55	1,59	1,69	1,78
1512, <i>B</i> , Тл	0	0,11	0,35	0,73	0,87	0,96	1,06	1,16	1,25	1,32	1,37	1,40	1,44	1,48	1,50	1,51	1,57	1,68	1,78
1561, <i>B</i> , Тл	0	0,20	0,44	0,75	0,88	0,98	1,11	1,20	1,27	1,32	1,37	1,40	1,42	1,44	1,46	1,47	1,54	1,65	1,74

Задачи для самостоятельного решения

Задача 2.1. В воздушном зазоре электромагнита, выполненного из стали 1411 (рис. 2.1), необходимо создать индукцию $B = 0,05$ Тл.

Определить МДС, необходимую для создания магнитного потока с заданной индукцией, если $l_c + l_{\text{я}} = 100$ см, суммарный воздушный зазор $2l_{\text{в}} = 1$ мм, сечение магнитопровода одинаково по всей длине электромагнита и равно 16 см^2 .

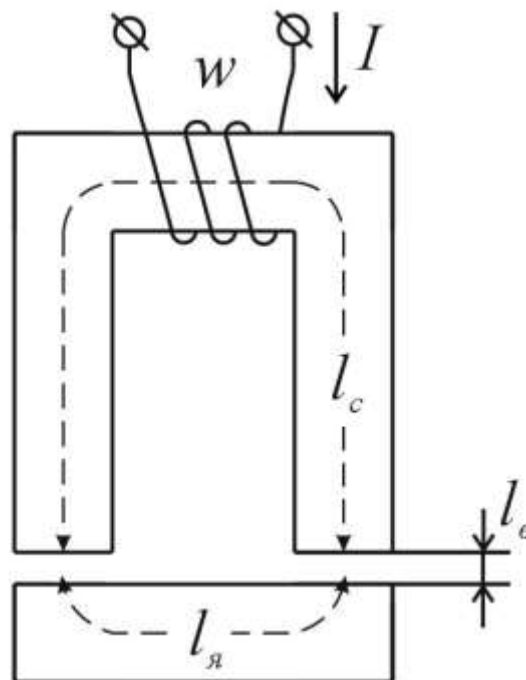


Рис. 2.1.

Ответ: $F = 1080$ А.

Задача 2.2.

Магнитная цепь (рис. 2.2) выполнена из электротехнической стали 1561 и имеет следующие размеры: $l_1 = 40$ см; $l_2 = 12$ см; $l_3 = 30$ см; $S_1 = S_3 = 4 \text{ см}^2$; $S_2 = 2 \text{ см}^2$. Магнитодвижущая сила $F = 1800$ А, поток в первом стержне

$$\Phi_1 = 5,94 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

Определить длину воздушного зазора $l_{\text{в}}$.

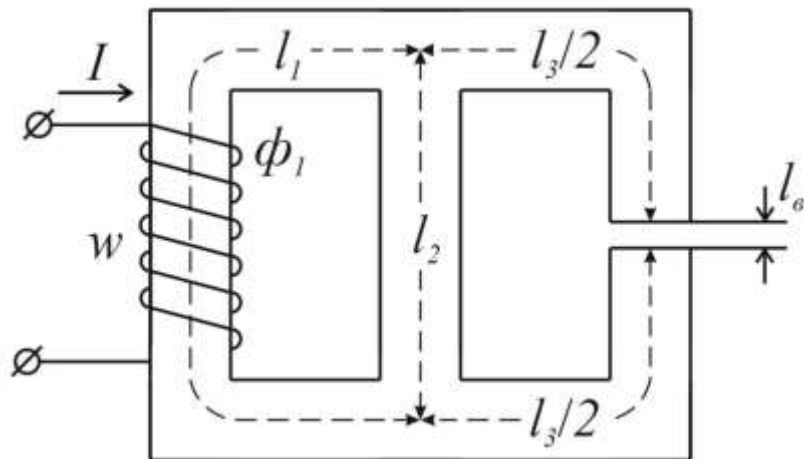


Рис. 2.2.

Ответ: $l_B = 1,3$ мм.

Задача 2.3.

Цилиндрическая катушка с сердечником из неферромагнитного материала $\mu = 1$, с числом витков 2000 имеет длину 30 см и диаметр 5 см. определить магнитный поток катушки при токе в ней 5 А.

Ответ. $\Phi = 8,1 \cdot 10^{-6}$ Вб.

Задача 2.4.

Найти скорость изменения магнитного потока через контур, в котором возбуждается индукционный ток 2 А. Сопротивление контура 0,2 Ом, число витков в контуре равно 10.

Ответ. 0,04 Вб/с.

Задача 2.5.

Определить индуктивность кольцевой катушки (тороида), размещенной на магнитопроводе из литой стали. Средняя длина силовой линии 80 см, поперечное сечение кольца 12 см^2 , число витков катушки 200, ток катушки 2 А.

Ответ: $L = 0,1$ Гн.

Задача 2.6.

Определить энергию магнитного поля катушки индуктивности с индуктивностью 20 мГн при наличии в ней постоянного тока 20 А.

Ответ: $W = 4$ Дж.

Задача 2.7.

Определить ЭДС самоиндукции катушки индуктивности с индуктивностью 0,3 Гн, активным сопротивлением 2 Ом, если при включении ее в питающую сеть постоянного тока с напряжением 110 В установившееся значение тока наступает через время 0,1 с.

Ответ: $E = 165$ В.

Тема 3**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА****Основные теоретические положения**

1. Мгновенное значение величины, синусоидально изменяющейся с течением времени.

$$a = A_m \sin(\omega t + \psi) = A_m \sin \left[\omega \left(t + \frac{\psi}{\omega} \right) \right], \quad (3.1)$$

где A_m – максимальное значение, или амплитуда;

$\omega t + \psi$ – фаза (фазовый угол);

ψ – начальная фаза (начальный фазовый угол);

$\frac{\psi}{\omega}$ – начальный фазовый сдвиг;

ω – угловая частота.

Период T , угловая частота ω и частота f связаны соотношением

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}, \quad f = \frac{1}{T}.$$

По уравнению (3.1) на рис. 3.1 построены синусоида и соответствующая векторная диаграмма (вектор A_m вращается с постоянной угловой скоростью ω против часовой стрелки).

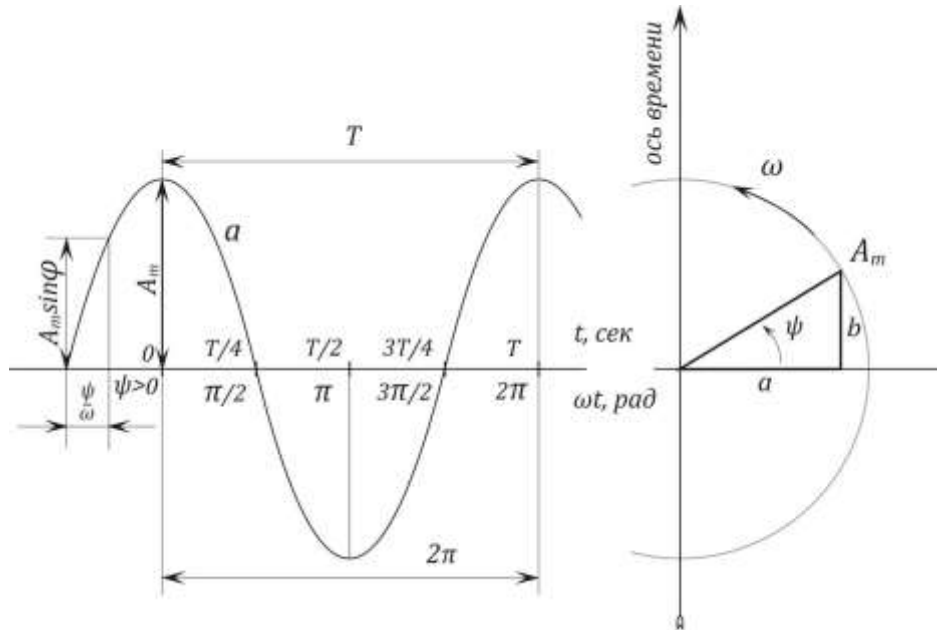


Рис. 3.1

2. Действующие значения синусоидально изменяющихся тока, ЭДС и напряжения соответственно равны:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707I_m, \quad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}, \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

3. Средние значения синусоидально изменяющегося тока, ЭДС и напряжения за положительную полуволну:

$$I_{\text{cp}} = \frac{2}{\pi} I_m = 0.637I_m, \quad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}, \quad U = \frac{2}{\pi} U_m.$$

Среднее значение синусоидально изменяющейся величины $a = A_m \sin(\omega t + \psi)$ за целый период равно нулю.

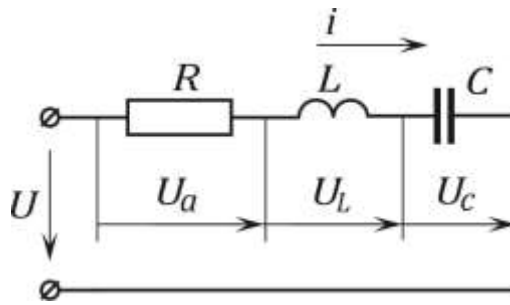


Рис. 3.2

4. Второй закон Кирхгофа. Уравнение второго закона Кирхгофа для мгновенных значений напряжений и тока, проходящих в одноконтурной цепи, состоящей из последовательно соединенных активного сопротивления R , индуктивности L и емкости C (рис. 3.2), имеет вид

$$u = u_a + u_L + u_c ,$$

где $u_a = iR$ – падение напряжения на активном сопротивлении;

$u_L = L \frac{di}{dt}$ – падение напряжения на индуктивности, причем

$u_L = -e_L$, где ЭДС самоиндукции $e_L = -L \frac{di}{dt}$,

$$i = \frac{1}{L} \int_0^t u_L dt + i(0),$$

u_c – падение напряжения на емкости, причем

$$i = C \frac{du_c}{dt}, \quad u_c = \frac{1}{C} \int_0^t i dt + u_c(0).$$

5. Цепь из последовательно соединенных элементов. Если цепь, состоящая из последовательно соединенных R , L и C , включена на синусоидально изменяющееся напряжение

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi),$$

то по ней проходит ток

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi - \varphi),$$

где

$$I_m = \frac{U_m}{z} = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}; \quad (3.2)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}, \quad -90^\circ \leq \varphi \leq +90^\circ.$$

Соотношение (3.2) является уравнением закона Ома для амплитудных значений напряжения и тока. Закон Ома для действующих значений напряжения и тока имеет вид

$$I = \frac{U}{z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}},$$

$\omega L = x_L$ – индуктивное сопротивление;

$\frac{1}{\omega C} = x_C$ – емкостное сопротивление;

$\omega L - \frac{1}{\omega C} = x = x_L - x_C$ – реактивное сопротивление;

$z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + x^2}$ – полное сопротивление;

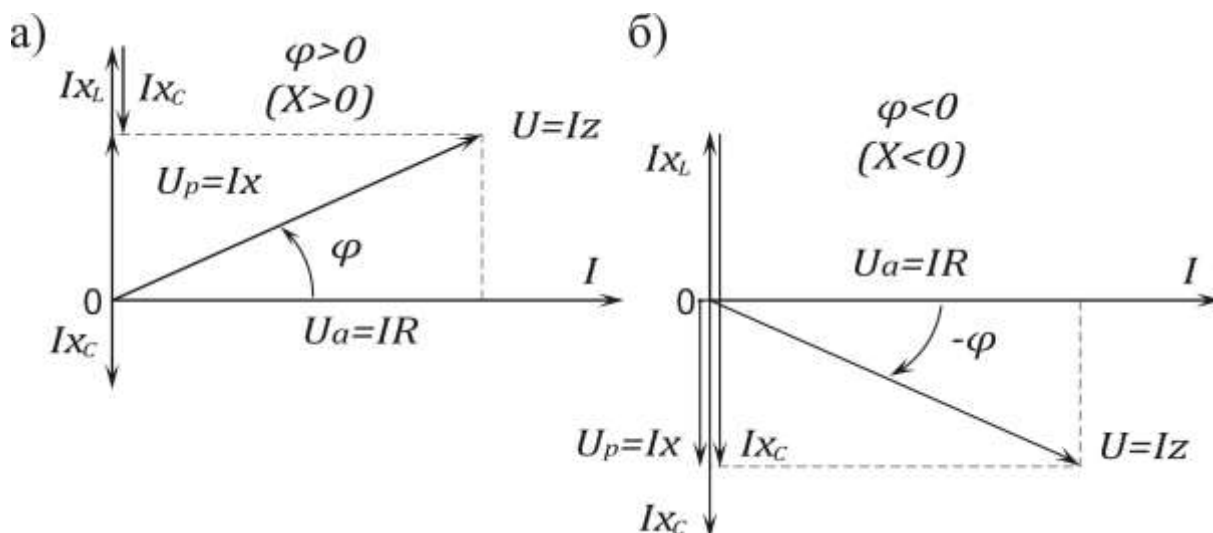


Рис. 3.3

6. Треугольник напряжений. Приложенное к цепи напряжение U может быть разложено на составляющие (рис. 3.3, а и б): $U_a = IR$ – активную, совпадающую по фазе с током, и $U_p = Ix$ – реактивную; вектор U_p опережает вектор тока I на четверть периода, если в цепи преобладает индуктивное сопротивление $x = x_L - x_C > 0$ (рис. 3.3, а); U_p отстает от I на четверть периода, если в цепи преобладает емкостное сопротивление $x = x_L - x_C < 0$ (рис. 3.3, б);

$$U_a = IR = U \cos \varphi;$$

$$U_p = Ix = U \sin \varphi;$$

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_p^2} = Iz.$$

7. Соотношения, связывающие $\cos \varphi$, $\sin \varphi$ и $\operatorname{tg} \varphi$ через сопротивления цепи. Из треугольника сопротивлений (рис. 3.4, а и б) следуют соотношения:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}, \quad \sin \varphi = \frac{x}{Z}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{R}.$$

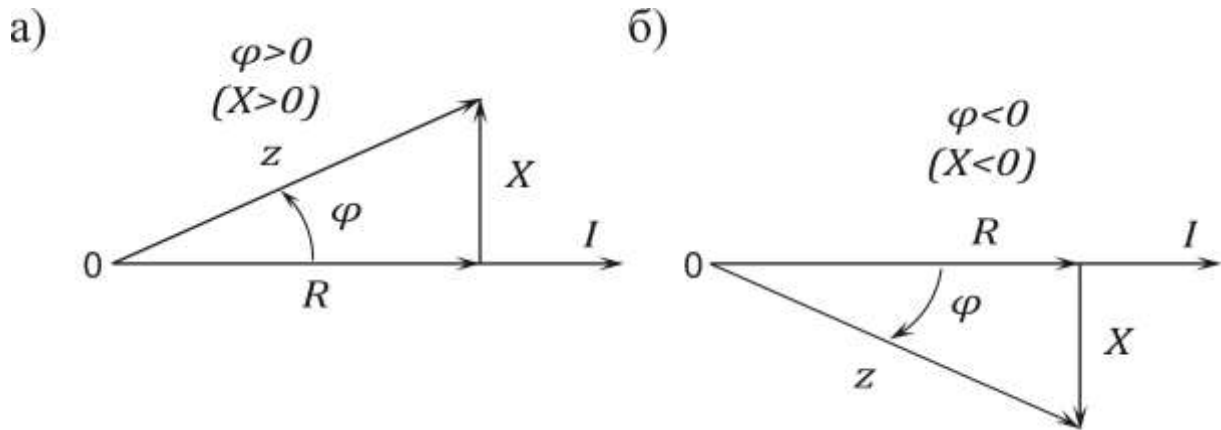


Рис. 3.4

8. Треугольник токов. Ток I , проходящий в цепи, может быть разложен на две составляющие (рис. 3.5): I_a – активную, совпадающую по фазе с приложенным напряжением, и I_p – реактивную;

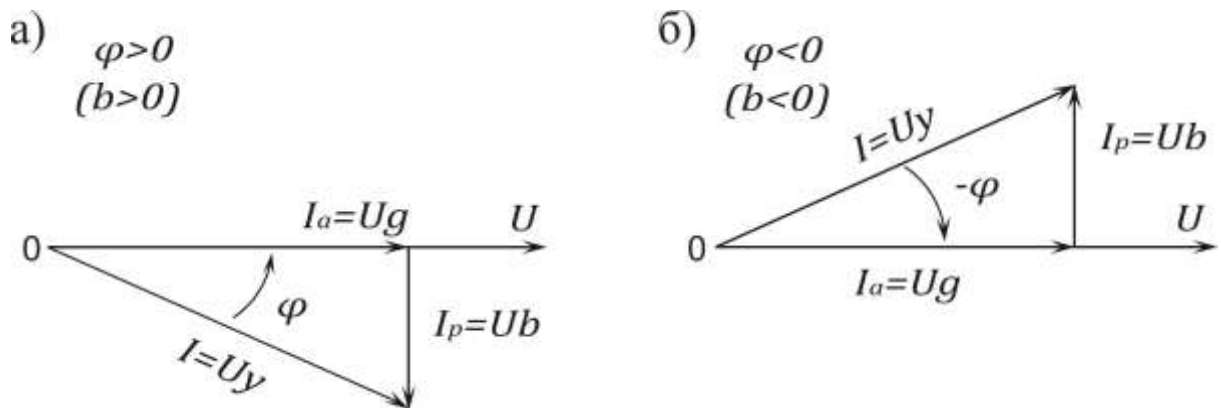


Рис. 3.5

I_p отстает от напряжения \dot{U} на четверть периода, когда в цепи преобладает индуктивное сопротивление $x = x_L - x_C > 0$ (рис. 3.5, а) и опережает \dot{U} на четверть периода при преобладании емкостного сопротивления $x = x_L - x_C < 0$ (рис. 3.5, б):

$$I_a = I \cos \varphi = Ug;$$

$$I_p = I \sin \varphi = Ub;$$

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} = Uy$$

Цепь, состоящая из последовательно соединенных активного R и реактивного сопротивлений $x = x_L - x_C$ (см. рис. 3.2), может быть заменена эквивалентной схемой, состоящей из параллельно соединенной активной проводимости g и реактивной проводимости b (рис. 3.6, а). Реактивная проводимость может быть положительной величиной ($b > 0$), если цепь имеет индуктивный характер $b = -b_L = \frac{1}{\omega L_n}$ (рис. 3.6, б), и может быть отрицательной величиной ($b < 0$), если цепь имеет емкостный характер $b = -b_C = -\omega C_n$ (рис. 3.6, в).

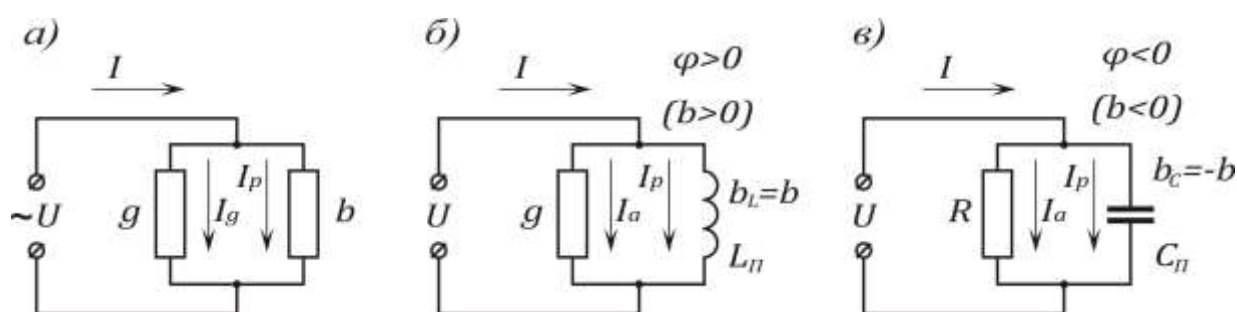


Рис. 3.6

9. **Треугольник проводимостей** (рис. 3.7, а и б) подобен треугольнику токов (см. рис. 3.5):

$$\cos \varphi = \frac{g}{y}, \quad \sin \varphi = \frac{b}{y}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{b}{g}.$$

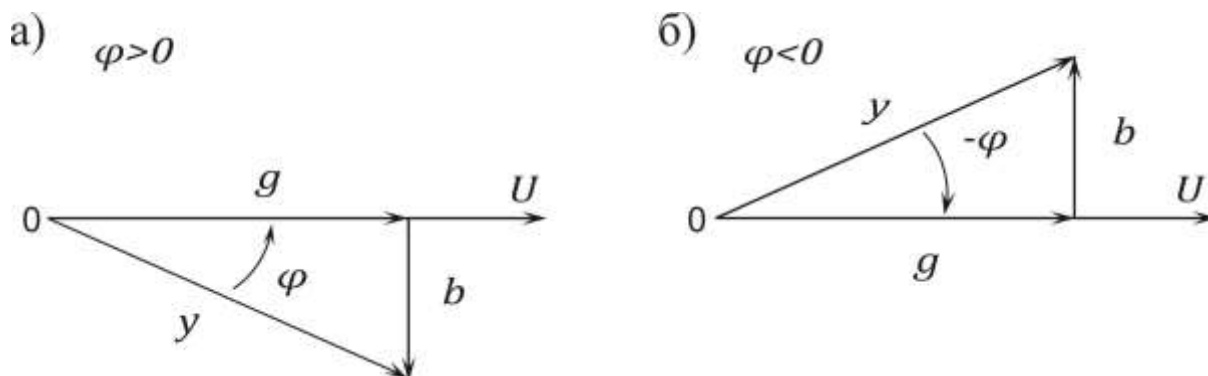


Рис. 3.7

10. Переход от последовательной схемы (см. рис. 3.2) **к эквивалентной параллельной схеме** (см. рис. 3.6) осуществляется по формулам:

$$\left. \begin{aligned} g &= \frac{R}{R^2 + x^2} = \frac{R}{z^2}, & b &= \frac{x}{R^2 + x^2} = \frac{x}{z^2}; \\ y &= \sqrt{g^2 + b^2} = \frac{1}{\sqrt{R^2 + x^2}} = \frac{1}{z}. \end{aligned} \right\}$$

При переходе от параллельной схемы (см. рис. 3.6) **к эквивалентной последовательной** (см. рис. 3.2) ее параметры определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} R &= \frac{g}{g^2 + b^2} = \frac{g}{y^2}, & x &= \frac{b}{g^2 + b^2} = \frac{b}{y^2}; \\ z &= \sqrt{R^2 + x^2} = \frac{1}{\sqrt{g^2 + b^2}} = \frac{1}{y}. \end{aligned} \right\}$$

11. Мощности. Активная, реактивная и полные мощности определяются по формулам:

$$P = I^2 R = UI \cos \varphi;$$

$$Q = I^2 x = UI \sin \varphi;$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = UI = I^2 z = U^2 y.$$

Для всякой электрической цепи справедливы следующие балансы мощностей:

$$\left. \begin{aligned} \sum P_{\text{и}} &= \sum P_{\text{п}}; \\ \sum Q_{\text{и}} &= \sum Q_{\text{п}}. \end{aligned} \right\} ,$$

где $P_{\text{И}}$ и $Q_{\text{И}}$ – мощность источников,
 $P_{\text{П}}$ и $Q_{\text{П}}$ – мощности потребителей.

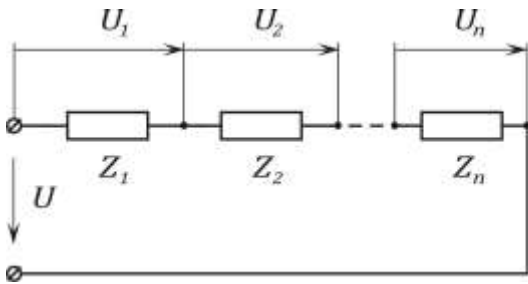


Рис. 3.3

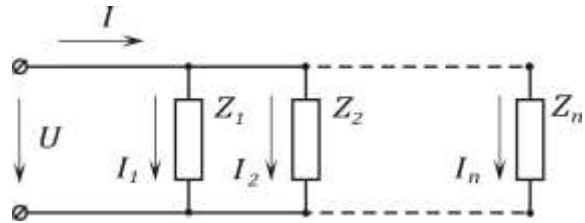


Рис. 3.4

12. Последовательное соединение сопротивлений. При последовательном соединении сопротивлений (рис. 3.8).

$$\left. \begin{aligned} U_a &= \sum_{k=1}^n U_{ka} = I \sum_{k=1}^n R_k; \\ U_p &= \sum_{k=1}^n U_{kp} = I \sum_{k=1}^n x_k; \\ U &= \sqrt{U_a^2 + U_p^2} = I \sqrt{\left(\sum_{k=1}^n R_k \right)^2 + \left(\sum_{k=1}^n x_k \right)^2} \end{aligned} \right\}$$

Сдвиг между общим напряжением U и током I :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sum_{k=1}^n x_k}{\sum_{k=1}^n R_k}$$

13. Параллельное соединение сопротивлений. При параллельном соединении сопротивлений (рис. 3.9):

$$\left. \begin{aligned} I_a &= \sum_{k=1}^n I_{ka} = U \sum_{k=1}^n g_k ; \\ I_p &= \sum_{k=1}^n I_{kp} = U \sum_{k=1}^n b_k ; \\ I &= \sqrt{I_a^2 + I_p^2} = U \sqrt{\left(\sum_{k=1}^n g_k \right)^2 + \left(\sum_{k=1}^n b_k \right)^2} . \end{aligned} \right\}$$

Сдвиг фаз между напряжением U и током I , проходящим в неразветвленной части цепи,

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sum_{k=1}^n b_k}{\sum_{k=1}^n g_k}.$$

Контрольные вопросы

1. Какие величины определяют синусоидальную функцию времени?
2. Как связаны между собой f и T ; f и ω ; T и ω ? Назовите единицы измерения этих величин.
3. Как связаны между собой амплитудные и действующие значения синусоидального тока?
4. Как определить угол сдвига фаз между напряжением и током?
5. Как определяются активная, реактивная и полная мощности цепи переменного тока?
6. Как рассчитывается индуктивное сопротивление?
7. Как рассчитывается полное сопротивление цепи переменного тока?
8. Запишите закон Ома для амплитудных и действующих значений напряжения и тока на индуктивном элементе.
9. Чему равен угол сдвига фаз между напряжением и током на индуктивном элементе?

10. Как определяются мощность индуктивного элемента?
11. Как рассчитывается емкостное сопротивление?
12. Как рассчитывается полное сопротивление?
13. Запишите закон Ома для амплитудных и действующих значений напряжения и тока для емкостного элемента.
14. Чему равен угол сдвига фаз между напряжением и током на емкостном элементе?
15. Как определяется мощность емкостного элемента?

Задачи для самостоятельного решения

Задача 3.1.

Написать уравнения, выражающие зависимость напряжения и тока от времени в электроплитке сопротивлением 60 Ом, включенной в цепь переменного тока напряжением 220 В, если его частота 50 Гц.

Задача 3.2.

Определить Амплитудные и действующие значения синусоидального напряжения, если его среднее значение 198 В.

Ответ. $U_m = 310$ В; $U = 220$ В.

Задача 3.3.

Через реостат $R_1 = 40$ Ом и катушку индуктивности $R_L = 12$ Ом, $\omega L = 18$ Ом, соединенные последовательно, проходит ток $I = 2,2$ А. Чему равно приложенное к цепи напряжение? Подсчитать активные, реактивные и полные мощности всей цепи и ее отдельных элементов. Каков сдвиг фаз между приложенным напряжением и напряжением на катушке?

Ответ. $U = 121$ В; $P_{сх} = 252$ Вт; $Q_{сх} = 87,1$ ВАр;

$S_{сх} = \quad = 266$ ВА; $P_{реост} = 193,6$ Вт; $P_{кат} = 58,4$ Вт;

$Q_{кат} = 87,1$ ВАр; $\varphi - \varphi_{кат} = 37,5^\circ$.

Задача 3.4.

По показаниям приборов, включенных в цепь (рис. 3.10), определить ток, проходящий в неразветвленном участке цепи. Построить векторную диаграмму.

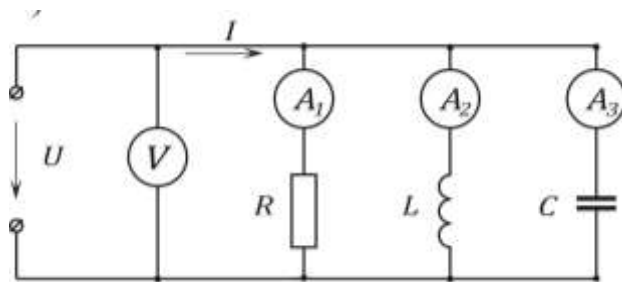


Рис. 3.10

Ответ. 5 А.

Задача 3.5.

Цепь, изображенная на рис. 3.11, подключена к источнику синусоидального напряжения $U = 96$ В. Сопротивления $R = 1$ Ом, $x_L = 5$ Ом, $x_C = 6$ Ом. Определить все токи, активную, реактивную и полную мощности. Подсчитать эквивалентные сопротивления схемы замещения, состоящей из последовательно соединенных активного и реактивного сопротивлений, и начертить ее. Построить векторную диаграмму.

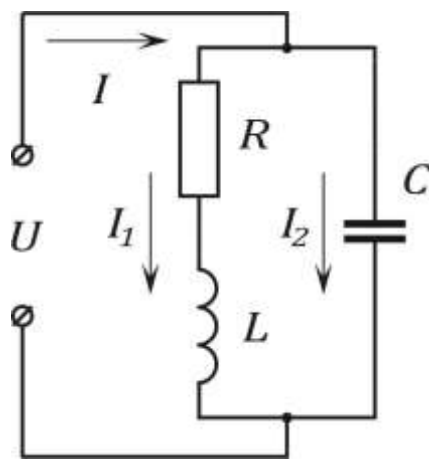


Рис. 3.11

Ответ. $I_1 = 15$ А; $I_2 = 16$ А; $I = 10,3$ А; $x = 3,9$ Ом;
 $P = 900$ Вт; $Q = 415$ ВАр; $S = 990$ ВА; $R_9 = 8,5$ Ом.

Задача 3.6.

К цепи, состоящей из последовательно соединенных активного сопротивления $R = 3 \text{ Ом}$, индуктивности $L = 8 \text{ мГн}$ и емкости $C = 15 \text{ мкФ}$ подключено напряжение $U = 20 \text{ В}$ с частотой $f = 500 \text{ Гц}$. Найти ток, напряжение на каждом элементе цепи и мощность, расходуемую в ней. Построить векторную диаграмму.

Ответ. $I = 4 \text{ А}$; $U_a = 12 \text{ В}$; $U_L = 101 \text{ В}$; $U_C = 85 \text{ В}$; $P = 48 \text{ Вт}$.

Задание 3.7.

В схеме на рис. 3.12 при напряжении $U = 100 \text{ В}$ и частоте $f = 50 \text{ Гц}$ активная мощность $P = 100 \text{ Вт}$, а реактивные $Q_L = 200 \text{ ВАр}$, $Q_C = 400 \text{ ВАр}$. Каковы будут эти же мощности при напряжении $U = 200 \text{ В}$ и частоте $f = 100 \text{ Гц}$?

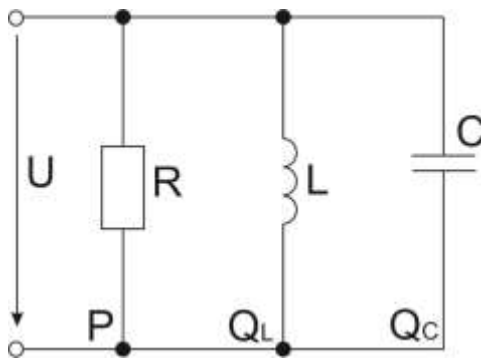


Рис. 3.12

Ответ: $P = 400 \text{ Вт}$, $Q_L = 400 \text{ ВАр}$, $Q_C = 3200 \text{ ВАр}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузовкин, В. А. Электротехника и электроника [Электронный ресурс]. – Москва: Юрайт, 2018. – 431 с. – Режим доступа: <https://biblio-online.ru/book/elektrotehnika-i-elektronika-423620>.
2. Гальперин, М. В. Электротехника и электроника. – Москва: НИЦ ИНФРА-М, 2019. – 480 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/go.php?id=987378>.
3. Миленина, С. А. Электротехника. – 2-е изд., пер. и доп. [Электронный ресурс]. – Москва: Юрайт, 2018. – 263 с. – Режим доступа: <https://biblio-online.ru/book/elektrotehnika-415282>.
4. Лунин, В. П. Электротехника и электроника: в 3 т. Том 1. Электрические и магнитные цепи. – 2-е изд., пер. и доп. [Электронный ресурс]. – Москва: Юрайт, 2018. – 255 с. – Режим доступа: <https://biblio-online.ru/book/elektrotehnika-i-elektronika-v-3-t-tom-1-elektricheskie-i-magnitnye-cep-i-425470>.
5. Киселев, В. И. Электротехника и электроника: в 3 т. Том 2. Электромагнитные устройства и электрические машины. – 2-е изд., пер. и доп. [Электронный ресурс]. – Москва: Юрайт, 2018. – 184 с. – Режим доступа: <https://biblio-online.ru/book/elektrotehnika-i-elektronika-v-3-t-tom-2-elektromagnitnye-ustroystva-ielektricheskie-mashiny-425471>.
6. Славинский, А. К. Электротехника с основами электроники. – Москва: НИЦ ИНФРА-М, 2019. – 448 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/go.php?id=989315>.
7. Миленина, С. А. Электротехника, электроника и схемотехника. – 2-е изд., пер. и доп. [Электронный ресурс]. – Москва: Юрайт, 2018. – 406 с. – Режим доступа: <https://biblio-online.ru/book/elektrotehnikaelektronika-i-shemotehnika-413623>.