

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ И ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. За время изучения курса электротехника и электроника студент–заочник должен представить в учебное заведение одну контрольную работу.
2. Номера задач, которые студент должен включить в свою контрольную работу, определяются по таблице вариантов (см. ниже). Номер варианта соответствует последней цифре номера зачетной книжке студента–заочника.
3. Контрольная работа может быть оформлена, как в рукописном, так и в печатном виде на листах формата А4 (210х297), 14 шрифтом Times New Roman. **При рукописном оформлении контрольной работы необходимо обращать особое внимание на аккуратность и разборчивость подчерка.** На обложке необходимо привести сведения по следующему образцу:

Государственное бюджетное образовательное учреждение Астраханской области высшего образования «Астраханский государственный архитектурно – строительный университет» Кафедра _____	
Заочное отделение КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № _____	
По _____	/Наименование дисциплины/
Студента _____	курса, специальность _____
Факультет _____	группа _____
Шифр _____	Ф.И.О. _____
Дата сдачи контрольной работы « ____ » _____ 20 ____ г.	
Домашний адрес _____	
Результаты проверки Контрольной работы _____ (зачтено, не зачтено)	
Дата « ____ » _____ 20 ____ г.	
Преподаватель _____	/Подпись, Ф.И.О/

4. **Условия задач с числовыми исходными данными и электрической схемой в контрольной работе надо переписать полностью без**

сокращений. Для замечаний преподавателя на страницах тетради оставлять поля (не менее 3 см).

5. В конце контрольной работы указать, каким учебником или учебным пособием студент пользовался при выполнении контрольной работы (название учебника, автор, год издания). Это делается для того, чтобы рецензент в случае необходимости мог указать, что следует студенту изучить для завершения контрольной работы.
6. **Если контрольная работа при рецензировании не зачтена, студент обязан представить ее на повторную рецензию, включив в нее те задачи, решения которых оказались неверными. В этом случае задача переписывается полностью с учетом исправлений.** Повторную работу необходимо представить вместе с не зачтенной.
7. **Решения задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями;** в тех случаях, когда это необходимо, сделать **чертеж, выполненный с помощью чертежных принадлежностей.**
8. **Решать задачу надо в общем виде,** т.е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи. При таком способе решения не производятся вычисления промежуточных величин.
9. После получения расчетной формулы для проверки правильности ее следует подставить в правую часть формулы вместо символов величин обозначения единиц этих величин, произвести с ними необходимые действия и убедиться в том, что полученная при этом единица соответствует искомой величине. Если такого соответствия нет, то это означает, что задача решена неверно.
10. Числовые значения величин при подстановке их в расчетную формулу следует выражать только в единицах СИ. В виде исключения допускается выражать в любых, но одинаковых единицах числовые значения однородных величин, стоящих в числителе и знаменателе дроби и имеющих одинаковые степени.
11. При подстановке в расчетную формулу, а также при записи ответа числовые значения величин следует записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 3520 надо записать $3,52 \cdot 10^3$, вместо 0,00129 записать $1,29 \cdot 10^{-3}$ и т.п.
12. Вычисления по расчетной формуле надо проводить с соблюдением правил приближенных вычислений. Как правило, окончательный ответ следует записывать с тремя значащими цифрами. Это относится и к случаю, когда результат получен с применением калькулятора.

1.1. Принятые буквенные обозначения основных электрических величин

u, e, i, p	- мгновенные значения напряжения, ЭДС, тока и мощности;
U, E, I	- постоянные или действующие значения напряжения, ЭДС и тока;
U_m, E_m, I_m	- амплитудные значения напряжения, ЭДС и тока;
P, Q, S	- активная, реактивная и полная мощности;
R, X, Z	- активное, реактивное и полное сопротивления;
G, B, Y	- активная, реактивная и полная проводимости;
$\dot{U}, \dot{E}, \dot{I}$	- комплексы действующих значений напряжения, ЭДС и тока;
$\dot{U}_m, \dot{E}_m, \dot{I}_m$	- комплексы амплитудных значений напряжения, ЭДС и тока;
jQ, \tilde{S}	- комплексы реактивной и полной мощности;
\dot{Z}, \dot{Y}	- комплексы полного сопротивления и проводимости;
$u_u, u_i,$	- начальные фазы напряжения и тока;
j	- разность фаз;
f, ω, T	- частота, угловая частота, период.

1.2 Условные графические обозначения в цепях постоянного и синусоидального токов



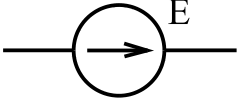


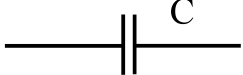

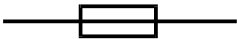
	- источник синусоидальной ЭДС E .
	- резистивный элемент (линейный),
	- идеальный источник ЭДС, условно положительное направление ЭДС принято от отрицательного полюса к положительному (и совпадает с положительным направлением тока)
	- нелинейный элемент,
	- индуктивный элемент,
	- емкостной элемент,
	- полупроводниковый диод,
	- плавкий предохранитель

ТАБЛИЦА ВАРИАНТОВ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ №1

№ варианта	Номера заданий				
0	110	210	310	410	
1	101	201	301	401	
2	102	202	302	402	
3	103	203	303	403	
4	104	204	304	404	
5	105	205	305	405	
6	106	206	306	406	
7	107	207	307	407	
8	108	208	308	408	
9	109	209	309	409	

ТЕМА 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Краткая теория

Электрической цепью называют совокупность устройств и объектов, образующих путь для электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий об ЭДС, токе и напряжении.

Линейная электрическая цепь — цепь, все элементы которой являются линейными.

Электрическая схема — графическое изображение электрической цепи, содержащее условные обозначения ее элементов и способы их соединения.

Сложная электрическая цепь характеризуется следующими понятиями: ветвь, узел, контур.

Ветвь — участок электрической цепи, по которому протекает один и тот же ток.

Узел — место соединения не менее трех ветвей электрической цепи.

Контур — замкнутый путь, проходящий по ветвям электрической цепи.

Первый закон Кирхгофа. Алгебраическая сумма токов ветвей, сходящихся в узле, равна нулю:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0. \quad (1.1)$$

Для электрической цепи, содержащей y узлов, по первому закону Кирхгофа (1.1) составляется $y - 1$ независимых уравнений для любых выбранных $y - 1$ узлов. Для последнего узла уравнение является зависимым, т. е. его можно получить из предыдущих уравнений. Направление токов в ветвях цепи выбирают произвольно; токи, направленные к узлу, берут с одним знаком, например плюс (+), а токи, направленные от узла, — с другим знаком, например, минус (–).

Первый закон Кирхгофа является следствием непрерывности тока и неизменности зарядов в узлах электрической цепи.

Второй закон Кирхгофа. Алгебраическая сумма напряжений на резистивных элементах замкнутого контура равна алгебраической сумме ЭДС в этом контуре:

$$R_n \cdot I_n = \sum E_n. \quad (1.2)$$

В каждом контуре произвольно выбирают направление обхода контура. Напряжения и ЭДС в уравнении (1.2) берут с положительным знаком, если направление напряжений, ЭДС и токов совпадает с направлением обхода контура.

При расчете электрической цепи число неизвестных токов равно числу ветвей в цепи b . Составив по первому закону Кирхгофа $y - 1$ уравнение, по второму закону Кирхгофа остается составить $k = b - y + 1$ уравнений (по числу независимых контуров). Независимыми контурами называются такие контура, в которые входит хотя бы одна ветвь, не входящая в предыдущие контура.

Разность напряжений в начале и конце линии $U_1 - U_2$, равная падению напряжения в линии, называют *потерей напряжения в проводах линии электропередачи*:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = IR_{\text{пр}},$$

где $R_{\text{пр}}$ – сопротивление проводов в линии: $R_{\text{пр}} = \rho \frac{2l}{S}$ (l – длина одного провода двухпроводной линии, S – сечение провода).

Мощность потерь в линии

$$\Delta P = I \Delta U = I^2 R_{\text{пр}}.$$

Коэффициент полезного действия линии

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = \frac{U_1 I - \Delta U I}{U_1 I} = 1 - \frac{\Delta U}{U_1},$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\%,$$

где P_1 – мощность в начале линии, P_2 – мощность в конце линии.

Алгоритм решения задач методом уравнений Кирхгофа

1. Определить число узлов, ветвей, независимых контуров в схеме (число ветвей соответствует числу неизвестных токов);
2. Произвольно выбрать положительные направления токов в ветвях и обозначить их на схеме (удобнее, в тех ветвях, где есть источники ЭДС и указано их направление, направление тока взять совпадающим с направлением ЭДС);
3. Произвольно выбрать положительные направления обхода контуров для составления уравнений по II закону Кирхгофа;
4. Составить систему уравнений, количество которых должно быть равно количеству неизвестных токов, причем учесть, что число независимых уравнений, составленных по I закону Кирхгофа, должно равняться: $n = q - 1$, где q – число узлов в схеме;
5. Остальные недостающие уравнения составить по II закону Кирхгофа;
6. Решить полученную систему уравнений, определив неизвестные токи.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ: «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА»

Задача 1.1. Найти токи ветвей и напряжение U_J на зажимах источника тока цепи, схема которой приведена на рисунке 1.1, методом непосредственного применения законов Кирхгофа. Параметры элементов схемы: $E_4 = 6$ В, $E_5 = 4$ В, $J = 3$ А, $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 4$ Ом, $R_3 = 5$ Ом, $R_4 = 3$ Ом, $R_5 = 4$ Ом.

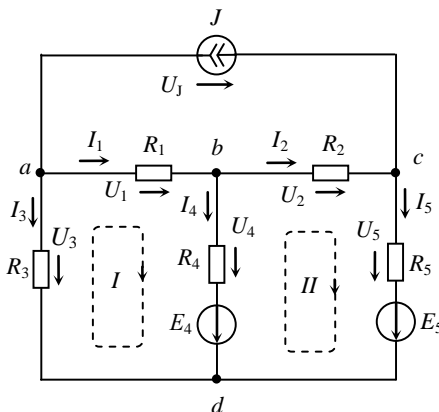


Рис.1.1

Решение. Укажем стрелками произвольно выбранные направления токов в ветвях схемы и соответствующие им падения напряжений на сопротивлениях. Обозначим узлы буквами a, b, c и d . Имеем $n_B = 6$, $n_T = 1$, $n_Y = 4$. Составим систему уравнений в количестве $n_B - n_T = 5$ для определения неизвестных токов. В соответствии с первым законом Кирхгофа составим три уравнения для узлов a, b и c :

$$\begin{aligned} I_1 + I_3 - J &= 0; \\ -I_1 + I_2 + I_4 &= 0; \\ -I_2 + I_5 + J &= 0. \end{aligned}$$

По второму закону Кирхгофа необходимо записать два уравнения, для чего выберем два независимых контура I и II с указанными стрелками направлениями их обхода.

$$\begin{aligned} U_1 + U_4 - U_3 &= E_4; \\ U_2 + U_5 - U_4 &= E_5 - E_4, \end{aligned}$$

где $U_1 = R_1 I_1$, $U_2 = R_2 I_2$, $U_3 = R_3 I_3$, $U_4 = R_4 I_4$, $U_5 = R_5 I_5$.

Подставив числовые значения заданных параметров схемы, получим систему уравнений:

$$\begin{aligned} I_1 + I_3 &= 3; \\ -I_1 + I_2 + I_4 &= 0; \\ I_2 + I_5 &= -3; \\ 2I_1 - 5I_3 + 3I_4 &= 6; \\ 4I_2 - 3I_4 + 4I_5 &= -2, \end{aligned}$$

Решая, которую находим искомые токи:

$$I_1 = 2,584 \text{ A}; I_2 = 1,614 \text{ A}; I_3 = 0,416 \text{ A}; I_4 = 0,97 \text{ A}; I_5 = -1,386 \text{ A}.$$

Ток I_5 имеет отрицательный знак, это означает, что его действительное направление противоположно предварительно выбранному.

Задачи для самостоятельного решения

101. Для электрической цепи постоянного тока (рис. 1.4) определить токи I_1 , I_2 и I_3 в ветвях. Электродвижущая сила: $E_1 = 1,8 \text{ В}$; $E_2 = 1,2 \text{ В}$; сопротивления резисторов: $R_1 = 0,2 \text{ Ом}$; $R_2 = 0,3 \text{ Ом}$; $R_3 = 0,8 \text{ Ом}$; $R_{01} = 0,6 \text{ Ом}$; $R_{02} = 0,4 \text{ Ом}$.

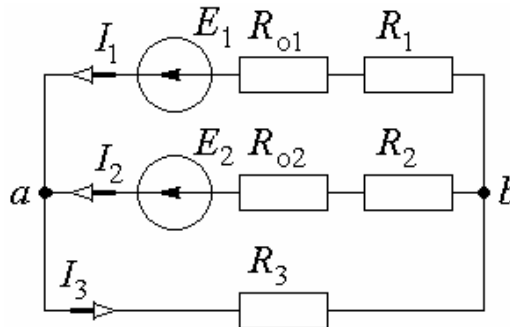


Рис.1.4.

102. Определить токи в ветвях цепи (рис. 1.5), если $E_1 = E_2 = 30 \text{ В}$ и $R_1 = R_2 = 1 \text{ Ом}$; $R_3 = 4 \text{ Ом}$; $R_4 = 2 \text{ Ом}$; $R_5 = 3 \text{ Ом}$.

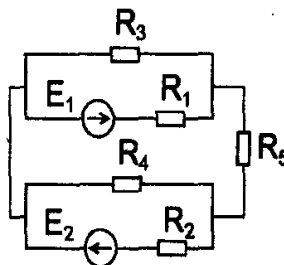


Рис.1.5.

103. В электрической цепи постоянного тока (рис. 1.6) амперметр А показывает $I_5 = 5 \text{ А}$. Методом уравнений Кирхгофа рассчитать токи I_1 , I_2 , I_3 , I_4 в ветвях цепи. Сопротивления резисторов: $R_1 = 1 \text{ Ом}$; $R_2 = 10 \text{ Ом}$; $R_3 = 10 \text{ Ом}$; $R_4 = 4 \text{ Ом}$; $R_5 = 3 \text{ Ом}$; $R_6 = 1 \text{ Ом}$; $R_7 = 1 \text{ Ом}$; $R_8 = 6 \text{ Ом}$; $R_9 = 7 \text{ Ом}$. Величины эдс: $E_1 = 162 \text{ В}$; $E_2 = 50 \text{ В}$; $E_3 = 30 \text{ В}$. Внутренними сопротивлениями источников питания пренебречь. Решить задачу для случая, когда показание амперметра неизвестно.

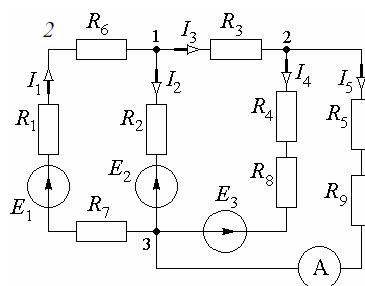


Рис.1.6.

104. Определить внутреннее сопротивление R_0 и ЭДС E источника питания (рис. 1.7), если при разомкнутых выключателях B_1 и B_2 ток, протекающий в цепи амперметра, $I=I_1=2$ А, а при замкнутом выключателе B_1 и разомкнутом выключателе B_2 ток $I=I_2=2,5$ А. Сопротивления резисторов $R_1 = R_2 = R_3 = 3$ Ом.

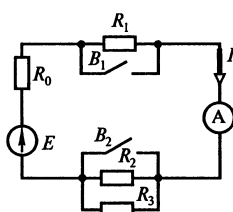


Рис.1.7.

105. Для схемы рисунка 1.8 известно: $R_1=10$ Ом, $R_2=20$ Ом, $R_3=40$ Ом, $R_5=4$ Ом, $R_6= R_8=5$ Ом, $R_7=10$ Ом, $E_1=42$ В, $I_1=1$ А, $I_2=0,5$ А, $I_3=3$ А. Определить R_4 и E_2 .

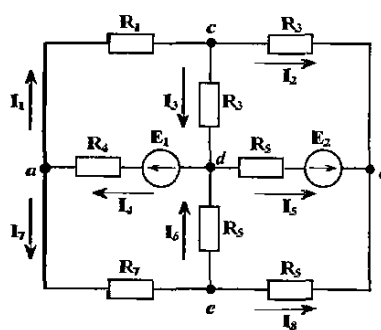


Рис.1.8.

106. В электрической цепи (рис. 1.9) определить токи в ветвях, напряжения на всех элементах цепи, напряжение U_{13} между узлами 1–3, мощность источника с ЭДС E_2 , мощность приемника с сопротивлением R_3 , режим работы источника с ЭДС E_1 , $E = 12$ В, если $E_1 = 12$ В, $E_2 = 13,5$ В, $R_{01}=0,05$ Ом, $R_{02}=0,1$ Ом, $R_3=2$ Ом, $R_4=R_5=4$ Ом.

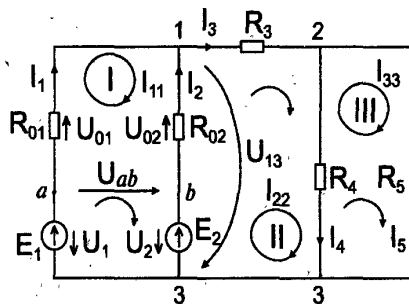


Рис.1.9.

107. На рис. 1.10 представлена электрическая цепь, где $E_1=130$ В, $E_2=85$ В и сопротивления резисторов $R_1=R_3=20$ Ом, $R_2=40$ Ом, $r_1=r_2=0$. Определить токи в ветвях.

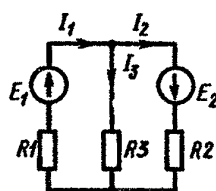


Рис.1.10.

108. Определить токи во всех ветвях электрической цепи (рис.1.11) при заданных значениях $E_1=1,5$ В, $E_2=4,5$ В, $E_3=3,5$ В, $r_1=0,5$ Ом, $r_2=0,4$ Ом, $r_3=0,1$ Ом и сопротивлений резисторов $R_4=10$ Ом, $R_5=15$ Ом, $R_6=2$ Ом. Определить мощность, отдаваемую источниками.

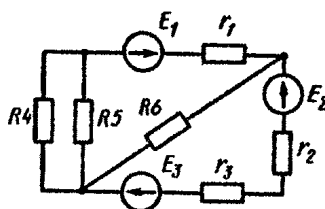


Рис.1.11

109. Определить токи во всех ветвях электрической цепи (рис.1.12) при заданных значениях $E_1=10$ В, $E_2=2$ В, $E_3=6$ В, $r_1=2$ Ом, $r_2=3$ Ом, $r_3=1,5$ Ом и сопротивлений резисторов $R_1=5,5$ Ом, $R_4=R_5=5$ Ом, $R_6=4,5$ Ом. Указать режимы работы источников.

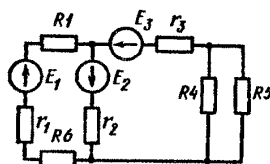


Рис.1.12.

110. Определить общий ток I и токи $I_1 — I_5$ в ветвях электрической цепи постоянного тока (рис. 1.13). ЭДС источников питания: $E_1=32$ В; $E_2 = 120$ В; $E_3=10$ В, внутреннее сопротивление источника E_1 : $R_0=2$ Ом (внутренним сопротивлением других источников пренебречь). Сопротивления резисторов: $R_1= 10$ Ом; $R_2 = 4$ Ом; $R_3 = 6$ Ом; $R_4 = 5$ Ом; $R_5 = 8$ Ом.

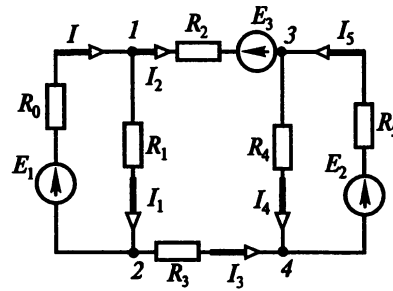


Рис.1.13.

ТЕМА 2. АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Краткая теория

Число независимых уравнений, описывающих процессы в сложной электрической цепи, можно существенно сократить, воспользовавшись *методом контурных токов*, предложенных Д. К. Максвеллом.

Суть метода состоит в том, что вместо фактических токов ветвей находят фиктивные **контурные токи**, циркулирующие в независимых контурах. При этом ток в любой ветви равен алгебраической сумме контурных токов, проходящих по этой ветви.

Метод узловых потенциалов базируется на применении первого закона Кирхгофа и закона Ома. Суть метода заключается в том, что расчетным путем определяются потенциалы узлов электрической схемы относительно какого-либо узла, принятого в качестве *базисного*, а потенциал последнего принимают равным нулю. Расчет сводится к решению системы $m = n_y - 1$ уравнений, составленных только по первому закону Кирхгофа. Решив систему уравнений, находят потенциалы узлов, а затем по закону Ома определяют токи ветвей, соединяющих узлы.

Для определения потенциалов ($\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k, \dots, \varphi_m$) узлов электрической схемы составляется следующая система уравнений:

[illegible]

где G_{kk} – собственная проводимость узла k , равная сумме проводимостей ветвей, соединенных с этим узлом; эта проводимость всегда положительна;

G_{km} – взаимная проводимость между узлами k и t , равная сумме проводимостей ветвей, непосредственно соединяющих эти узлы; взаимную проводимость всегда берут со знаком "минус", при этом $G_{km} = G_{mk}$;

$$J_y^{(k)} = \sum_k EG + \sum_k J - \text{узловой ток } k\text{-го узла, состоящий из слагаемых:}$$

$\sum_k EG$ – алгебраическая сумма произведений ЭДС ветвей, присоединенных к узлу k , на их проводимости; при этом со знаком ”плюс“ берутся те ЭДС, которые действуют в направлении узла k , а со знаком ”минус“ – в направлении от узла k ; $\sum_k J$ – алгебраическая сумма токов источников тока,

присоединенных к узлу k ; эти токи берутся со знаком "плюс", если они направлены к узлу k , и со знаком "минус" при их направлении от узла k .

Система уравнений узловых потенциалов (2.1) может быть записана в матричной форме

$$[G][\varphi] = [J^{(y)}], \quad (2.2)$$

$$\text{где } [G] = \begin{bmatrix} G_{11} & -G_{12} & \dots & -G_{1k} & \dots & -G_{1m} \\ -G_{21} & G_{22} & \dots & -G_{2k} & \dots & -G_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -G_{k1} & -G_{k2} & \dots & G_{kk} & \dots & -G_{km} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -G_{m1} & -G_{m2} & \dots & -G_{mk} & \dots & G_{mm} \end{bmatrix}; \quad [\varphi] = \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \dots \\ \varphi_k \\ \dots \\ \varphi_m \end{bmatrix}; \quad [J^{(y)}] = \begin{bmatrix} J_y^{(1)} \\ J_y^{(2)} \\ \dots \\ J_y^{(k)} \\ \dots \\ J_y^{(m)} \end{bmatrix}.$$

Решив уравнение (2.2) относительно матрицы $[\varphi]$, получим

$$[\varphi] = [G]^{-1} [J^{(y)}]. \quad (2.3)$$

Метод эквивалентного генератора (метод активного двухполюсника, или метод холостого хода и короткого замыкания) применяют при определении тока, напряжения или мощности в одной из ветвей сложной электрической цепи, так как он значительно сокращает вычисления, связанные с решением системы уравнений со многими неизвестными, что характерно для некоторых других методов. Сущность метода эквивалентного генератора заключается в том, что любая электрическая цепь с одним или несколькими источниками питания может быть представлена в виде активного двухполюсника АД с этими источниками питания и ветви электрической цепи с сопротивлением K , подключенной к его зажимам, напряжение U и ток I в которой нужно определить. Согласно теореме об активном двухполюснике, любой активный двухполюсник можно заменить эквивалентным генератором (источником напряжения) с ЭДС, равным напряжению холостого хода на зажимах этого двухполюсника и внутренним сопротивлением, равным входному сопротивлению того же двухполюсника, из схемы которого исключены все источники. Искомый ток I_1 определится по формуле:

$$I_1 = \frac{U_{xx}}{R_{gx} + R_1}$$

Алгоритм решения задач методом контурных токов

1. Произвольно выбрать положительные направления токов в ветвях исходной схемы.

2. Произвольно выбрать положительные направления контурных токов для каждого независимого контура электрической схемы. Если в схеме есть ветви с источниками тока, то сначала выбирают контурные токи таким

образом, чтобы каждый из них проходил по ветви с источником тока и совпадал с ним по направлению. Таким образом, эти контурные токи J_i будут заранее известны. Остальные контурные токи выбирают проходящими по ветвям, не содержащим источников тока.

3. Обходя каждый из независимых контуров в выбранном направлении, записать n линейных алгебраических уравнений следующего вида:

$$R_{11}I_{11} + R_{12}I_{22} + \dots + R_{1k}I_{kk} + \dots + R_{1n}I_{nn} + \sum_{i=1}^{n_T} J_i R_{1i} = E_{11};$$

...

$$R_{k1}I_{11} + R_{k2}I_{22} + \dots + R_{kk}I_{kk} + \dots + R_{kn}I_{nn} + \sum_{i=1}^{n_T} J_i R_{ki} = E_{kk};$$

...

$$R_{n1}I_{11} + R_{n2}I_{22} + \dots + R_{nk}I_{kk} + \dots + R_{nn}I_{nn} + \sum_{i=1}^{n_T} J_i R_{ni} = E_{nn},$$

где R_{kk} – собственное сопротивление контура k , равное сумме сопротивлений всех ветвей контура k ; значения R_{kk} всегда записывают со знаком “плюс”; R_{kn} – общее сопротивление контуров k и n , причем, $R_{kn} = R_{nk}$; общее сопротивление контуров записывается со знаком “плюс”, если контурный ток I_{kk} совпадает по направлению с контурным током I_{nn} , в противном случае оно записывается со знаком “минус”; R_{ki} – общее сопротивление контура k и контура i , по которому циркулирует ток источника тока J_i ; знак R_{ki} выбирают по тем же правилам, что и сопротивления R_{kn} ; E_{kk} – контурная ЭДС, равная алгебраической сумме ЭДС контура k ; ЭДС, действующие в направлении обхода контура, берут со знаком „плюс“, а направленные встречно – со знаком “минус”.

4. Вычислить истинные токи в ветвях в виде алгебраических сумм контурных токов, протекающих по соответствующим ветвям.

Алгоритм решения задач методом узловых потенциалов Порядок расчета

1. Пронумеровать узлы электрической схемы и принять потенциал одного из узлов (базисного) равным нулю, т. е. условно заземлить его.
2. Составить систему уравнений относительно потенциалов незаземленных узлов в соответствии с системой уравнений (2.2) или (2.3)
3. Решая полученную систему уравнений, найти потенциалы узлов.
4. Определить токи в ветвях по закону Ома.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ: «АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА»

Задача 2.1. Рассчитать методом контурных токов токи в цепи, схема которой приведена на рисунке 2.1.

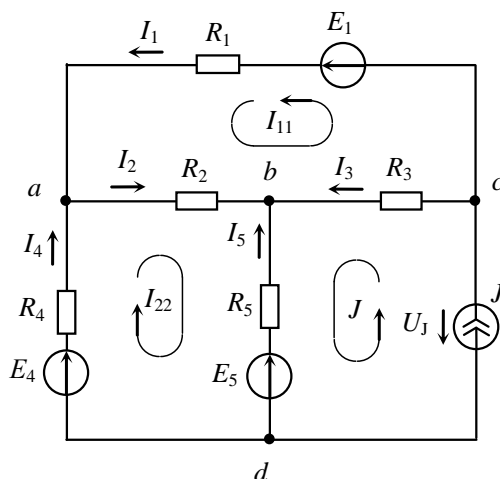


Рис.2.1

Дано: $E_1 = 50 \text{ В}$, $E_4 = 150 \text{ В}$, $E_5 = 30 \text{ В}$, $J = 3 \text{ А}$, $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 15 \text{ Ом}$, $R_3 = 5 \text{ Ом}$, $R_4 = 5 \text{ Ом}$, $R_5 = 25 \text{ Ом}$.

Решение. Выберем положительные направления токов ветвей и укажем их на схеме стрелками. Схема содержит три независимых контура, в одном из которых контурный ток выберем равным току источника тока J . Два других контурных тока обозначим I_{11} и I_{22} соответственно и укажем их направление. Составим систему линейных алгебраических уравнений:

$$R_{11}I_{11} + R_{12}I_{22} + R_{13}J = E_{11};$$

$$R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} + R_{23}J = E_{22},$$

где $R_{11} = R_1 + R_2 + R_3 = 30 \text{ Ом}$; $R_{22} = R_2 + R_4 + R_5 = 45 \text{ Ом}$; $R_{12} = R_{21} = R_2 = 15 \text{ Ом}$;

$R_{13} = -R_3 = 5 \text{ Ом}$; $R_{23} = R_5 = 25 \text{ Ом}$; $E_{11} = E_1 = 50 \text{ В}$; $E_{22} = E_4 - E_5 = 120 \text{ В}$.

Подставим числовые значения и получим систему уравнений

$$30I_{11} + 15I_{22} = 65;$$

$$15I_{11} + 45I_{22} = 45,$$

решив которую найдем контурные токи $I_{11} = 2 \text{ А}$, $I_{22} = 0,333 \text{ А}$.

Токи в ветвях равны алгебраической сумме контурных токов, проходящих по этим ветвям:

$$I_1 = I_{11} = 2 \text{ A}; I_2 = I_{11} + I_{22} = 2,333 \text{ A}; I_3 = -I_{11} + J = 1 \text{ A}; I_4 = I_{22} = 0,333 \text{ A};$$

$$I_5 = -I_{22} - J = -3,333 \text{ A}.$$

Ток I_5 имеет направление, противоположное выбранному.

Задача 2.2. Найти токи в ветвях схемы на рисунке 2.2 методом узловых потенциалов.

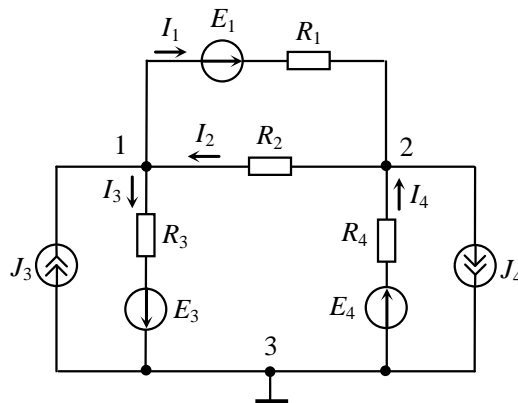


Рис.2.2.

Дано: $E_1 = 8 \text{ В}$, $E_3 = 6 \text{ В}$, $E_4 = 12 \text{ В}$, $J_3 = 3 \text{ А}$, $J_4 = 4 \text{ А}$, $R_1 = 3 \text{ Ом}$, $R_2 = 4 \text{ Ом}$, $R_3 = 6 \text{ Ом}$, $R_4 = 5 \text{ Ом}$.

Решение. Обозначим цифрами узлы схемы и примем потенциал базисного узла 3 равным нулю. Составим систему уравнений относительно неизвестных потенциалов φ_1 и φ_2 узлов 1 и 2:

$$\begin{bmatrix} G_{11} & -G_{12} \\ -G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_y^{(1)} \\ J_y^{(2)} \end{bmatrix},$$

$$\text{где } G_{11} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 = 0,75 \text{ См};$$

$$G_{22} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_4 = 0,783 \text{ См};$$

$$G_{12} = G_{21} = -(1/R_1 + 1/R_2) = -0,583 \text{ См};$$

$$J_y^{(1)} = -E_1/R_1 - E_3/R_3 + J_3 = -0,667 \text{ См};$$

$$J_y^{(2)} = E_1/R_1 + E_4/R_4 - J_4 = 1,067 \text{ См}.$$

Решая полученную систему уравнений, найдем потенциалы узлов:

$$\varphi_1 = 0,404 \text{ В}, \quad \varphi_2 = 1,663 \text{ В}.$$

Сопоставляя значения потенциалов узлов с ЭДС ветвей, найдем значения и направления токов (укажем их стрелками) ветвей схемы по закону Ома:

$$I_1 = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + E_1}{R_1} = 2,247 \text{ A}; \quad I_2 = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{R_2} = 0,315 \text{ A};$$

$$I_3 = \frac{\varphi_1 + E_3}{R_3} = 1,067 \text{ A}; \quad I_4 = \frac{-\varphi_2 + E_4}{R_4} = 2,067 \text{ A}.$$

Если какая-либо ветвь электрической цепи имеет только идеальный источник ЭДС, внутреннее сопротивление которого равно нулю, то напряжение между узлами, к которым присоединена эта ветвь, будет равно этой ЭДС. В этом случае целесообразно в качестве базисного узла выбрать один из узлов данной ветви.

Можно также избавиться от этой особой ветви, произведя эквивалентные преобразования схемы путем переноса источника ЭДС через узел.

Задача 2.3. Методом эквивалентного генератора определить показания амперметра А в электрической цепи (рис. 2.3, а). Сопротивления резисторов: $R_1 = 1 \text{ Ом}$; $R_2 = 1 \text{ Ом}$; $R_3 = 2 \text{ Ом}$; $R_4 = 3 \text{ Ом}$; $R_5 = 1,25 \text{ Ом}$, ЭДС источника питания $E = 120 \text{ В}$, внутреннее сопротивление источника $R_0 = 2 \text{ Ом}$.

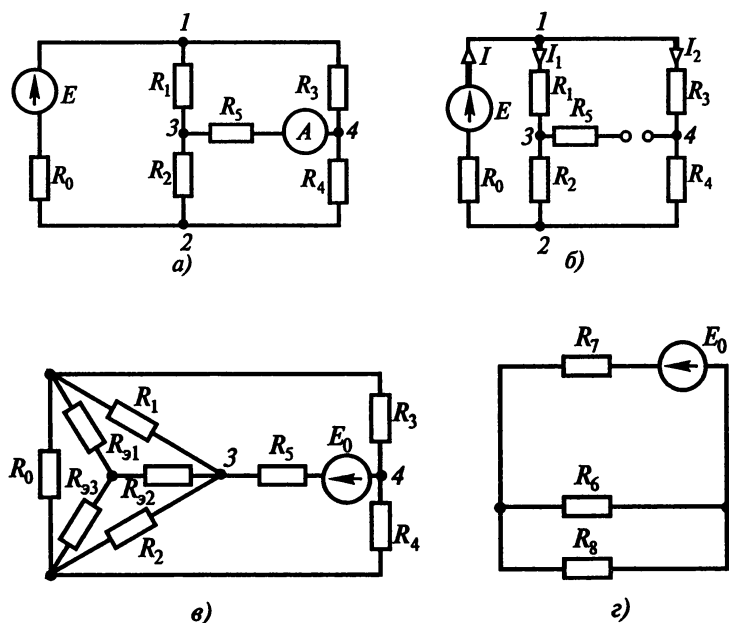


Рис.2.3.

Дано: $R_1 = 1 \text{ Ом}$; $R_2 = 1 \text{ Ом}$; $R_3 = 2 \text{ Ом}$; $R_4 = 3 \text{ Ом}$; $R_5 = 1,25 \text{ Ом}$, $E = 120 \text{ В}$, $R_0 = 2 \text{ Ом}$.

Решение. Напряжение между узлами 1 и 2 при разомкнутой ветви 3—4 цепи (рис. 2.3, б):

$$U_{12} = \frac{EG_0}{G_0 + G_1 + G_3} = \frac{\frac{E}{R_0}}{\frac{1}{R_0} + \frac{1}{(R_1 + R_2)} + \frac{1}{(R_3 + R_4)}} = \frac{120 \frac{1}{2}}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{5}} = \frac{60}{1,2} = 50 \text{ В};$$

токи в ветвях цепи

$$I_1 = \frac{U_{12}}{R_1 + R_2} = \frac{50}{1 + 1} = 25 \text{ А}; \quad I_2 = \frac{U_{12}}{R_3 + R_4} = \frac{50}{2 + 3} = 10 \text{ А}.$$

Напряжение холостого хода при разомкнутой ветви 3—4 цепи:

$$U_0 = U_{34} = \varphi_3 - \varphi_4 = 25 - 30 = -5 \text{ В},$$

где φ_3 и φ_4 — соответственно потенциалы точек 3 и 4 цепи:

$$\varphi_3 = R_2 \cdot I_1 = 1 \cdot 25 = 25 \text{ В};$$

$$\varphi_4 = R_4 \cdot I_2 = 3 \cdot 10 = 30 \text{ В}.$$

Вводим в схему источник питания с ЭДС E_0 , равной по величине, но противоположной по знаку напряжению холостого хода U_0 , и приводим ее к виду (рис. 2.3, в). Сопротивление лучей эквивалентной звезды:

$$R_{31} = \frac{R_1 R_0}{R_0 + R_1 + R_2} = \frac{1 \cdot 2}{2 + 1 + 1} = \frac{2}{4} = 0,5 \text{ Ом};$$

$$R_{32} = \frac{R_1 R_2}{R_0 + R_1 + R_2} = \frac{1 \cdot 1}{2 + 1 + 1} = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ Ом};$$

$$R_{33} = \frac{R_0 R_2}{R_0 + R_1 + R_2} = \frac{2 \cdot 1}{2 + 1 + 1} = \frac{2}{4} = 0,5 \text{ Ом}.$$

Эквивалентные сопротивления участков электрической цепи (рис. 2.3, з):

$$R_6 = R_{31} + R_3 = 0,5 + 2 = 2,5 \text{ Ом};$$

$$R_7 = R_{32} + R_5 = 0,25 + 1,25 = 1,5 \text{ Ом};$$

$$R_8 = R_{33} + R_4 = 0,5 + 3 = 3,5 \text{ Ом};$$

$$R_9 = R_6 R_8 / (R_6 + R_8) = 2,5 \cdot 3,5 / (2,5 + 3,5) = 8,75 / 6 = 1,46 \text{ Ом}.$$

Отсюда $R_{ЭК} = R_7 + R_9 = 1,5 + 1,46 = 2,96 \text{ Ом}$.

Ток в цепи амперметра:

$$I_5 = \frac{E_{ЭК}}{R_{ЭК}} = \frac{E_0}{R_7 + R_8} = \frac{5}{1,5 + 1,46} = \frac{5}{2,96} = 1,69 \text{ А}.$$

$$E_0 = U_0 = E_{ЭК}.$$

Задачи для самостоятельного решения

201. Пользуясь методом контурных токов, определить токи в ветвях электрической цепи (рис.2.4) при следующих значениях параметров всех элементов цепи: $R_{01} = 0,05 \text{ Ом}$; $R_{02} = 0,1 \text{ Ом}$; $R_3 = 2 \text{ Ом}$; $R_4 = R_5 = 4 \text{ Ом}$; $E_1 = 12 \text{ В}$; $E_2 = 13,5 \text{ В}$.

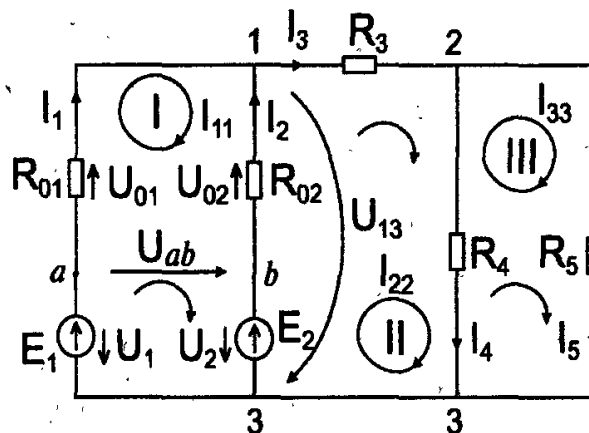


Рис.2.4.

202. В электрической цепи постоянного тока, представленной на рис. 2.5 определить токи I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , I_5 в ветвях, напряжения U_{12} и U_{34} между

точками 1-2 и 3-4 цепи. Составить уравнение баланса мощностей. ЭДС источника питания $E=30$ В (внутренним сопротивлением источника пренебречь), ток источника тока $I_1=25$ мА, сопротивления резисторов: $R_1 = 1$ кОм; $R_2 = R_3 = R_4 = 2$ кОм; $R_5 = 3$ кОм.

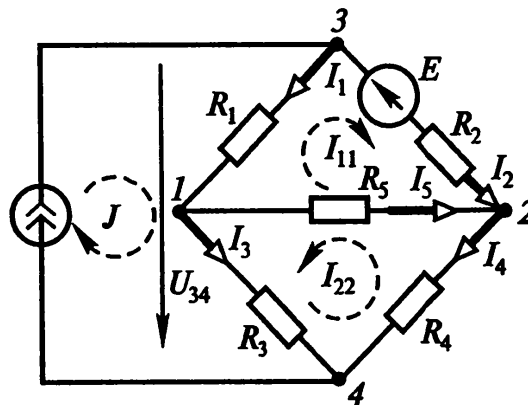


Рис.2.5.

203. Определить ток в цепи резистора $R_1 = 21$ Ом электрической цепи постоянного тока (рис. 2.6). Питающее напряжение $U = 142$ В, ток источника тока $J=4$ А, сопротивление резисторов $R = 4$ Ом, выключатель B находится в замкнутом положении.

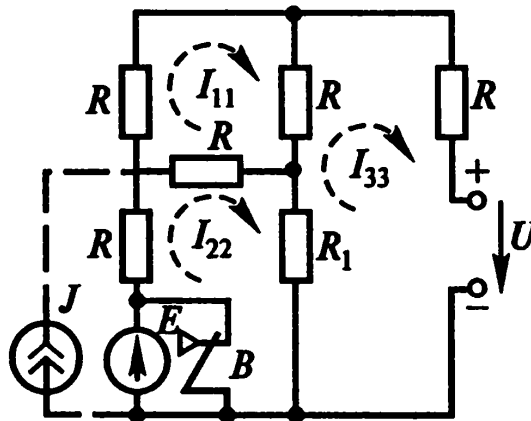


Рис.2.6.

204. Для электрической цепи постоянного тока (рис.2.7) определить, при какой величине ЭДС E_3 ток I_3 ветви резистора R_3 уменьшится в 3 раза по сравнению с его первоначальным значением? ЭДС источников питания $E_1=100$ В; $E_2=120$ В; $E_3=150$ В. сопротивления резисторов: $R_1=20$ Ом; $R_3=100$ Ом; $R_4=60$ Ом, внутренними сопротивлениями источников питания пренебречь.

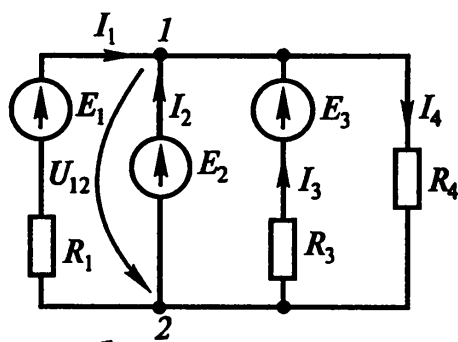


Рис.2.7.

205. Два источника постоянного тока с ЭДС $E_1 = E_2 = 115$ В и внутренними сопротивлениями $R_{01} = 0,2$ Ом и $R_{02} = 0,4$ Ом включены параллельно на нагрузку $R_H = 5$ Ом (рис. 2.8). Определить токи I , I_1 , I_2 в ветвях электрической цепи и составить баланс мощностей.

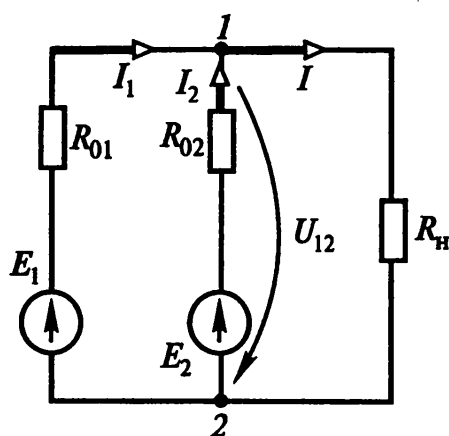


Рис.2.8.

206. Рассчитать токи в схеме на рисунке 2.9 с параметрами $E_1 = 12$ В, $E_5 = 8$ В, $J = 2$ А, $r_{01} = 1$ Ом, $r_{05} = 1,2$ Ом, $R_1 = 11$ Ом, $R_2 = 8$ Ом, $R_3 = 14$ Ом, $R_4 = 5$ Ом, $R_5 = 6,8$ Ом, $R_6 = 6$ Ом методом контурных токов. Построить потенциальную диаграмму для контура $a-b-c-d-a$.

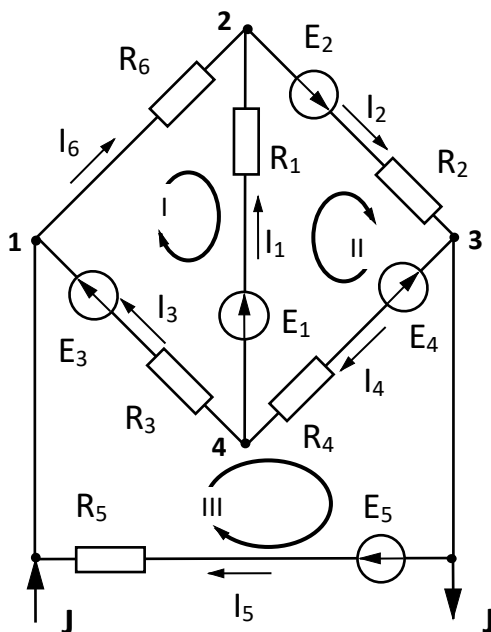


Рис.2.9.

207. Методом эквивалентного генератора определить ток I_5 в диагонали моста (рис. 2.10). Сопротивление резисторов: $R_1 = 20 \text{ Ом}$, $R_2 = 40 \text{ Ом}$, $R_3 = 30 \text{ Ом}$, $R_4 = 10 \text{ Ом}$, $R_5 = 50 \text{ Ом}$, ЭДС источника питания $E = 120 \text{ В}$.

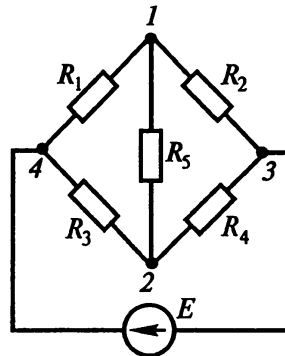


Рис.2.10

208. Определить, при каком сопротивлении нагрузочного резистора R_H и токе нагрузки I_1 аккумуляторной батареи, включенной в электрическую цепь (рис.2.11), батарея начнет разряжаться, если его ЭДС $E_1 = 8 \text{ В}$? ЭДС источника питания $E_2 = 10 \text{ В}$, его внутреннее сопротивление $R_{02} = 0,5 \text{ Ом}$, сопротивление резистора $R_1 = 0,5 \text{ Ом}$.

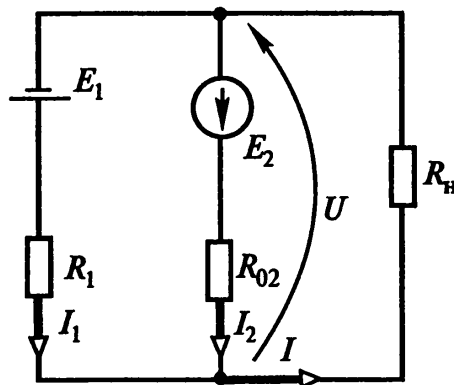


Рис.2.11.

209. В электрической цепи (рис.2.12) определить все токи методом контурных токов. Известно: $R_1 = 20 \text{ Ом}$, $R_2 = 30 \text{ Ом}$, $R_3 = 40 \text{ Ом}$, $R_4 = 80 \text{ Ом}$, $R_5 = R_6 = 20 \text{ Ом}$, $E = 16 \text{ В}$, $J = 0,3 \text{ А}$.

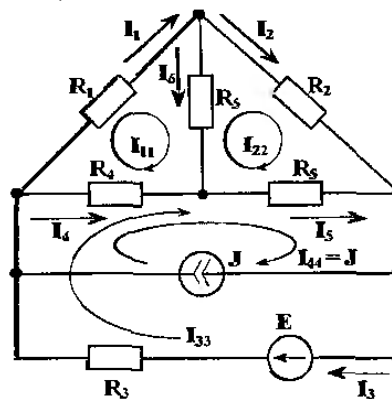


Рис.2.12.

210. Методом узловых потенциалов найти токи в схеме на рисунке 2.13. Известно: $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}$, $R_4 = 5 \text{ Ом}$, $R_5 = 10 \text{ Ом}$, $R_6 = 2 \text{ Ом}$, $R_8 = 5 \text{ Ом}$, $E_1 = 200 \text{ В}$, $J = 2 \text{ А}$, $E_3 = 30 \text{ В}$, $E_4 = 80 \text{ В}$, $E_6 = 38 \text{ В}$, $E_7 = 60 \text{ В}$.

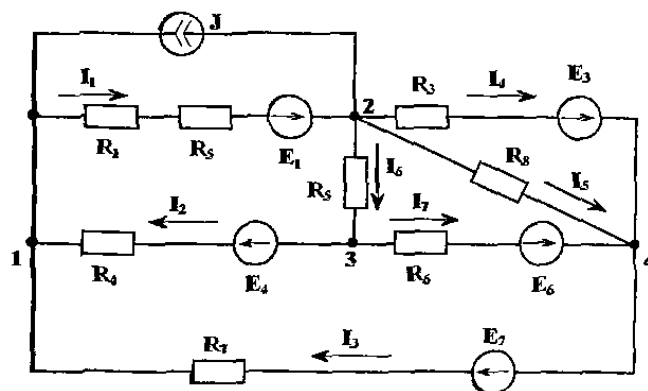


Рис.2.13.

ТЕМА 3. ОДНОФАЗНЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Краткая теория

Переменным называется ток $i(t)$ (напряжение $u(t)$), изменяющийся во времени по синусоидальному закону:

$$i(t) = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi_i), \quad u(t) = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u)$$

Время, за которое происходит одно полное колебание, называется **периодом** и обозначается буквой T . Число полных колебаний (периодов) в единицу времени называется **частотой** f :

$$f = \frac{1}{T} \quad [\text{Гц}]$$

Синусоидальная функция времени может быть описана вращающимся вектором со скоростью вращения ω . В технике эта величина получила название **угловой частоты** ω :

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad [\text{с}^{-1}] \text{ или } [\text{рад/с}].$$

Из закона Ома для резистора R следует:

$$u_R = R \cdot i = R \cdot I_m \cdot \sin \omega t = U_m \cdot \sin \omega t.$$

Из закона электромагнитной индукции для катушки L следует:

$$u_L = -e = L \frac{di}{dt} = \omega L \cdot I_m \cdot \cos \omega t = U_m \cdot \sin(\omega t + 90^\circ).$$

Из закона сохранения заряда для конденсатора C следует:

$$u_C = \frac{1}{C} \int i \cdot dt = -\frac{I_m}{\omega C} \cos \omega t = U_m \cdot \sin(\omega t - 90^\circ).$$

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T U_m \cdot \sin \omega t \, dt = \frac{2U_m}{\omega T} \int_0^{\pi} \sin \omega t \cdot d(\omega t) = \frac{2U_m}{2\pi T} [-\cos \omega t]_0^{\pi} = \frac{2U_m}{\pi} \approx 0,637 U_m$$

$$I_{\text{ср}} = \frac{2I_m}{\pi} \approx 0,637 I_m$$

Действующее значение переменного напряжения определяется как среднеквадратичное значение функции за период:

$$\begin{aligned} U &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u(t)^2 \, dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_m^2 \sin^2 \omega t \cdot dt} = \\ &= \sqrt{\frac{U_m^2}{T} \int_0^T \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\omega t \right) dt} = \sqrt{\frac{U_m^2}{T} \cdot \frac{1}{2} T} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 U_m \end{aligned}$$

Полная мощность:

$$P = UI \cos \varphi, S = \sqrt{P^2 + Q^2}; P = S \cos \varphi; \cos \varphi = P/S; Q = S \sin \varphi; \sin \varphi = Q/S;$$

$$\operatorname{tg} \varphi = Q/P.$$

Добротность контура:

$$Q = \frac{U_L}{U_{\text{ex}}} = \frac{U_C}{U_{\text{ex}}} = \frac{X_L I}{RI} = \frac{X_L}{R}.$$

Математические выражения			
Мгновенное значение синусоидальной функции времени	Формы записи комплексных величин		
	показательная	тригонометрическая	алгебраическая
1. $e = E_m \sin \omega t = 84,6 \sin \omega t$ В	$\underline{E} = E e^{j\psi} = 60 e^{j0} = 60$ В, здесь $\psi = 0$	$\underline{E} = E(\cos \psi + j \sin \psi) = 60(\cos 0 + j \sin 0) = 60$ В	$\underline{E} = E' + jE'' = 60$ В, $E' = E \cos \psi = 60$ В, $E'' = E \sin \psi = 0$
2. $e = E_m \cos \omega t =$ $= E_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) =$ $= 84,6 \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$ В	$\underline{E} = E e^{j\frac{\pi}{2}} = 60 e^{j\frac{\pi}{2}}$ В	$\underline{E} = E \left(\cos \frac{\pi}{2} + j \sin \frac{\pi}{2} \right) = 60(0 + j1) = j60$ В	$\underline{E} = E' + jE'' = j60$ В, $E' = E \cos \frac{\pi}{2} = 0$, $E'' = E \sin \frac{\pi}{2} = 60$ В
3. $e = E_m \sin \left(\omega t \pm \frac{\pi}{6} \right) =$ $= 84,6 \sin \left(\omega t \pm \frac{\pi}{6} \right)$ В	$\underline{E} = E e^{\pm j\frac{\pi}{6}} = 60 e^{\pm j\frac{\pi}{6}}$ В	$\underline{E} = E \left(\cos \frac{\pi}{6} \pm j \sin \frac{\pi}{6} \right) = 60 \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \pm j \frac{1}{2} \right) = 30(\sqrt{3} \pm j)$ В	$\underline{E} = E' \pm jE'' = 30(\sqrt{3} \pm j)$ В, $E' = E \cos \frac{\pi}{6} = 30\sqrt{3}$ В, $E'' = E \sin \frac{\pi}{6} = 30$ В
4. $e = E_m \sin \left(\omega t \pm \frac{2\pi}{3} \right) =$ $= 84,6 \sin \left(\omega t \pm \frac{2\pi}{3} \right)$ В	$\underline{E} = E e^{\pm j\frac{2\pi}{3}} = 60 e^{\pm j\frac{2\pi}{3}}$ В	$\underline{E} = E \left(\cos \frac{2\pi}{3} \pm j \sin \frac{2\pi}{3} \right) = 60 \left(-\frac{1}{2} \pm j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = -30 \pm j30\sqrt{3} = (-30 \pm j51,9)$ В	$\underline{E} = E' \pm jE'' = (-30 \pm j51,9)$ В, $E' = E \cos \frac{2\pi}{3} = 30$ В, $E'' = E \sin \frac{2\pi}{3} = 51,9$ В

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ «ОДНОФАЗНЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА»

Задача 3.1. Индуктивность 100 мГн включена последовательно с активным сопротивлением 10 Ом. Мгновенное значение напряжения на активном сопротивлении $u_R = 50 \sin(314t + 30^\circ)$. Определить мгновенные значения тока и напряжения на катушке, действующие значения тока и напряжения на активном сопротивлении и катушке, а также активную, реактивную и полную мощности. Построить векторную диаграмму тока и напряжения.

Дано:

$$L = 100 \text{ мГн} = 100 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

$$R = 10 \text{ Ом}$$

$$u_R = 50 \sin(314t + 30^\circ)$$

$$I - ? \quad U - ?$$

$$U_L - ? \quad U_R - ?$$

$$S - ? \quad P - ? \quad Q - ?$$

Решение:

Из уравнения $U_m = 50 \text{ В}$, $\omega = 314 \text{ рад/с}$, $\psi_{uR} = 30^\circ$.

Так как соединение последовательное, то:

$$i = i_R = u_R / R$$

$$i = 5 \sin(314t + 30^\circ), \text{ А}$$

$$u_L = U_{mL} \sin(\omega t + \psi_{uL}), \quad \psi_{uL} = \psi_{iL} + 90^\circ = 30^\circ + 90^\circ = 120^\circ.$$

$$U_{mL} = I_m \cdot X_L = I_m \cdot L \omega = 5 \cdot 0,1 \cdot 314 = 157 \text{ В}.$$

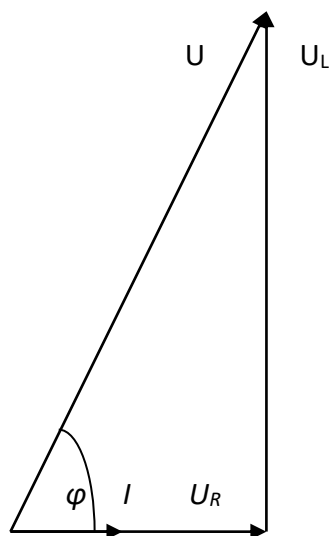
$$u_L = 157 \sin(314t + 120^\circ), \quad U_R = \frac{U_{mR}}{\sqrt{2}} = \frac{50}{\sqrt{2}} = 35,4 \text{ В},$$

$$U_L = \frac{U_{mL}}{\sqrt{2}} = \frac{157}{\sqrt{2}} = 111,3 \text{ В}, \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3,54 \text{ А}, \quad U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = 116,7 \text{ В}$$

$$P = I^2 \cdot R = 125,3 \text{ Вт}, \quad Q = I^2 \cdot X_L = 393,4 \text{ вар}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 412,8 \text{ ВА}, \quad \varphi = \arccos \frac{P}{S} = \arccos 0,3 = 72,3^\circ$$

Построим векторную диаграмму:



Задача 3.2. В цепь включено активное сопротивление 120 Ом и конденсатор емкостью 30 мкФ. Мгновенное напряжение изменяется по закону: $u = 311 \sin(314t)$, В. Определить полное сопротивление цепи, действующие и мгновенные значения напряжения и тока на конденсаторе и активной нагрузке. Активную, реактивную и полную мощность.

Дано:

$$R = 120 \text{ Ом}$$

$$C = 30 \text{ мкФ} = 30 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$u = 311 \sin(314t) \text{ В}$$

$$Z - ? X_C - ? U - ? I - ?$$

$$U_C - ? U_R - ?$$

$$P - ? Q - ? S - ?$$

Решение:

Емкостное сопротивление

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{30 \cdot 10^{-6} \cdot 314} = 106 \text{ Ом},$$

где C – емкость конденсатора, ω – циклическая частота.

Полное сопротивление цепи переменного тока

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{120^2 + 106^2} = 160 \text{ Ом}$$

Действующее значение напряжение

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{311}{\sqrt{2}} = 220 \text{ В},$$

где U_m – амплитудное значение напряжения.

По закону Ома для цепи переменного тока

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{160} = 1,37 \text{ А}$$

Напряжение на активной нагрузке и конденсаторе

$$U_R = I \cdot R = 165 \text{ В}, \quad U_C = I \cdot X_C = 145 \text{ В}.$$

Определим мгновенные и амплитудные значения силы тока:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i), \quad \varphi = \arctg(-X_C/R) = -41,5^\circ$$

$$\varphi = \psi_u - \psi_i; \quad \psi_i = \psi_u - \varphi = 0 - (-41,5) = 41,5^\circ$$

$$I_m = I \cdot \sqrt{2} = 1,93 \text{ А}$$

$$i = 1,93 \sin(314t + 41,5), \text{ А}$$

$$u_R = iR = 231,6 \sin(314t + 41,5), \text{ В}$$

$$u_C = U_{mC} \sin(\omega t + \psi_{uC}), \quad \psi_{uC} = \psi_i - 90^\circ = 41,5 - 90 = -48,5^\circ$$

$$U_{mC} = U_C \cdot \sqrt{2} = 204,5 \text{ В}.$$

$$u_C = 204,5 \sin(314t - 48,5).$$

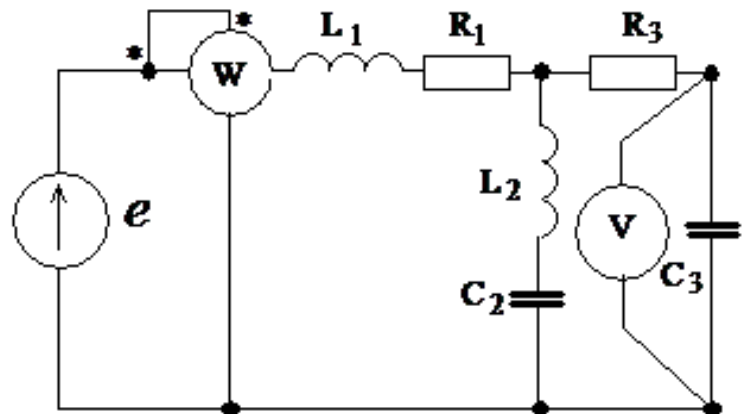
$$P = I^2 \cdot R = 226 \text{ Вт}, \quad Q = I^2 \cdot X_C = 210 \text{ вар}, \quad S = IU = 301,4 \text{ ВА}.$$

Задача 3.3. В электрической цепи однофазного синусоидального тока определить: 1) полное сопротивление электрической цепи и его характер; 2) действующие значения токов в ветвях; 3) показания вольтметра и ваттметра; 4) построить векторную диаграмму токов и напряжений для всей цепи.

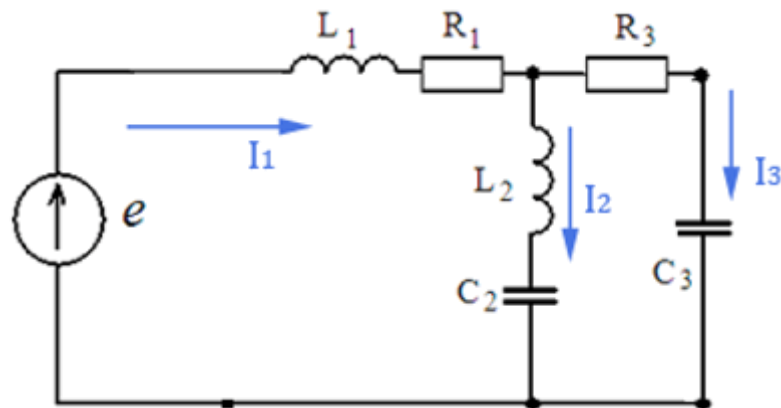
Дано:

$E = 130 \text{ В}$
 $f = 50 \text{ Гц}$
 $R_1 = 9 \text{ Ом}$
 $L_1 = 15,9 \text{ мГн} = 15,9 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$
 $C_2 = 318 \text{ мкФ} = 318 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$
 $L_2 = 9,4 \text{ мГн} = 9,4 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$
 $R_3 = 8 \text{ Ом}$
 $C_3 = 500 \text{ мкФ} = 500 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$

Решение:



Выбираем произвольные направления токов в ветвях. Изобразим схему замещения:



Циклическая частота цепи:

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с};$$

Сопротивления реактивных элементов:

$$X_{L1} = \omega L_1 = 314 \cdot 15,9 \cdot 10^{-3} = 4,99 \text{ Ом};$$

$$X_{C2} = 1/(\omega C_2) = 1/(314 \cdot 318 \cdot 10^{-6}) = 10,01 \text{ Ом};$$

$$X_{L2} = \omega L_2 = 314 \cdot 9,4 \cdot 10^{-3} = 2,95 \text{ Ом};$$

$$X_{C3} = 1/(\omega C_1) = 1/(314 \cdot 500 \cdot 10^{-6}) = 6,37 \text{ Ом};$$

Общее сопротивление цепи:

$$\begin{aligned}
 \underline{Z}_{\text{вх}} &= R_1 + jX_{L1} + \frac{j(X_{L2} - X_{C2}) \cdot (R_3 - jX_{C3})}{R_3 + j(X_{L2} - X_{C2} - X_{C3})} = \\
 &= 9 + 4,99j + \frac{j \cdot (2,95 - 10,01) \cdot (8 - 6,37j)}{8 + j \cdot (2,95 - 10,01 - 6,37)} = 10,632 + 0,669j \text{ Ом};
 \end{aligned}$$

Характер входного сопротивления активно-индуктивный, на это указывает наличие действительной части и положительная мнимая часть сопротивления.

Комплекс действующего значения входного напряжения:

$$E = E \cdot (\cos\varphi + j\sin\varphi) = 130 \cdot (\cos 0^\circ + j\sin 0^\circ) = 130 \text{ В};$$

Действующие комплексные токи в цепи:

$$I_1 = E / Z_{\text{вх}} = 130 / (10,632 + j0,669) = 12,179 - j0,767 = 12,203 \cdot e^{(-4j)} \text{ А};$$

$$I_2 = I_1 \cdot ((R_3 - jX_{C3}) / (R_3 + j(X_{L2} - X_{C2} - X_{C3}))) = (12,179 - j0,767) \cdot (8 - j6,37) / (8 + j(2,95 - 10,01 - 6,37)) = 7,631 + j2,346 = 7,983 \cdot e^{(17j)} \text{ А};$$

$$I_3 = I_1 - I_2 = 12,179 - j0,767 - 7,631 - j2,346 = 4,548 - j3,113 = 5,511 \cdot e^{(-35j)} \text{ А};$$

Падения напряжения на элементах:

$$U_{L1} = I_1 \cdot jX_{L1} = (12,179 - j0,767) \cdot 4,99j = 3,83 + j60,77 \text{ В};$$

$$U_{R1} = I_1 \cdot R_1 = (12,179 - j0,767) \cdot 9 = 109,61 - j6,90 \text{ В};$$

$$U_{L2} = I_2 \cdot jX_{L2} = (7,631 + j2,346) \cdot 2,95j = -6,92 + j22,51 \text{ В};$$

$$U_{C2} = I_2 \cdot (-jX_{C2}) = (7,631 + j2,346) \cdot (-10,01j) = 23,48 - j76,39 \text{ В};$$

$$U_{R3} = I_3 \cdot R_3 = (4,548 - j3,113) \cdot 8 = 36,38 - j24,90 \text{ В};$$

$$U_{C3} = I_3 \cdot (-jX_{C3}) = (4,548 - j3,113) \cdot (-6,37j) = -19,83 - j28,97 = 35,11 \cdot e^{(-124j)} \text{ В};$$

Показания вольтметра (измеряющего действующее значение напряжения):

$$U_V = U_{C3} = 35,11 \text{ В};$$

Показания ваттметра (измеряющего активную мощность):

$$P_w = \text{Re}(E \cdot I_1^*) = \text{Re}(130 \cdot (12,179 + j0,767)) = 1583,3 \text{ Вт};$$

I^* - сопряженный ток. Например, если $I = a + jb$, то $I^* = a - jb$;

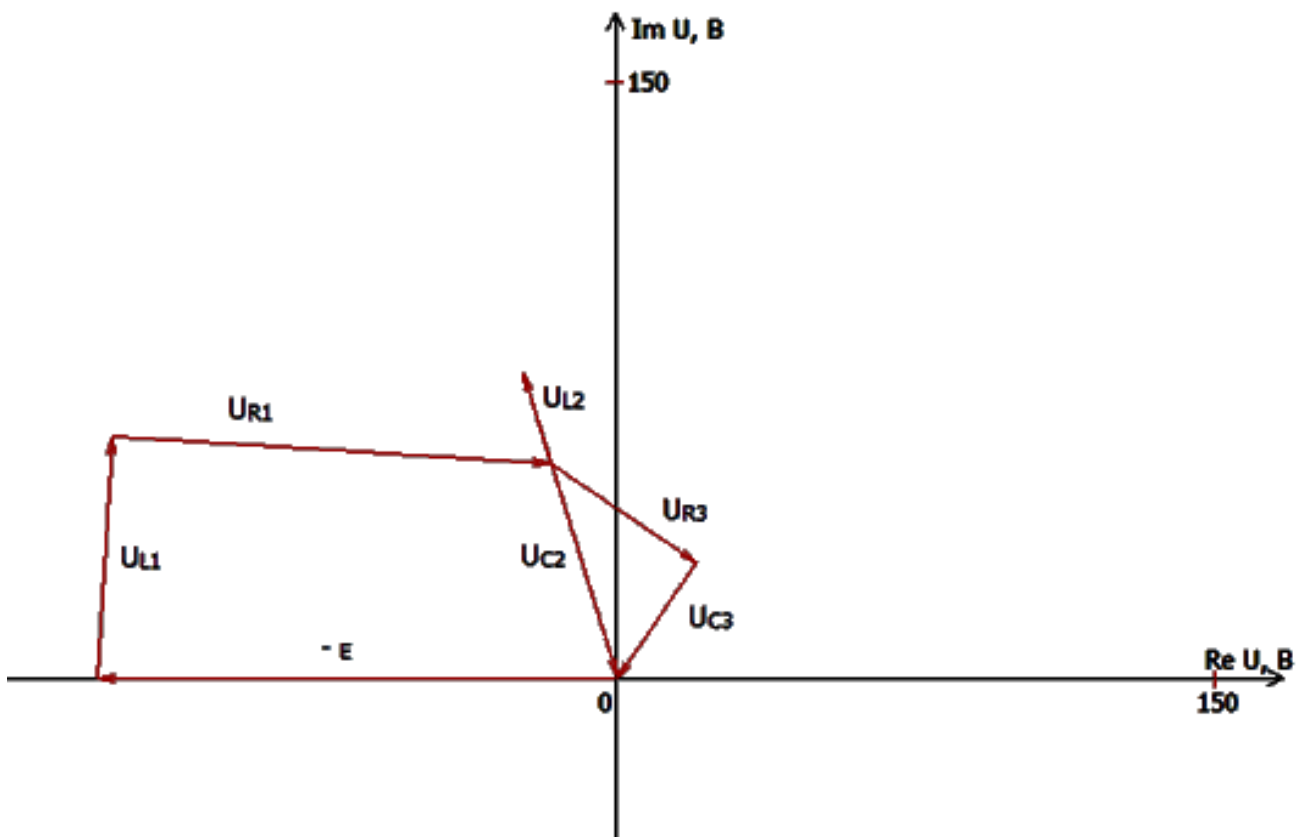


Рис. Векторная диаграмма напряжений

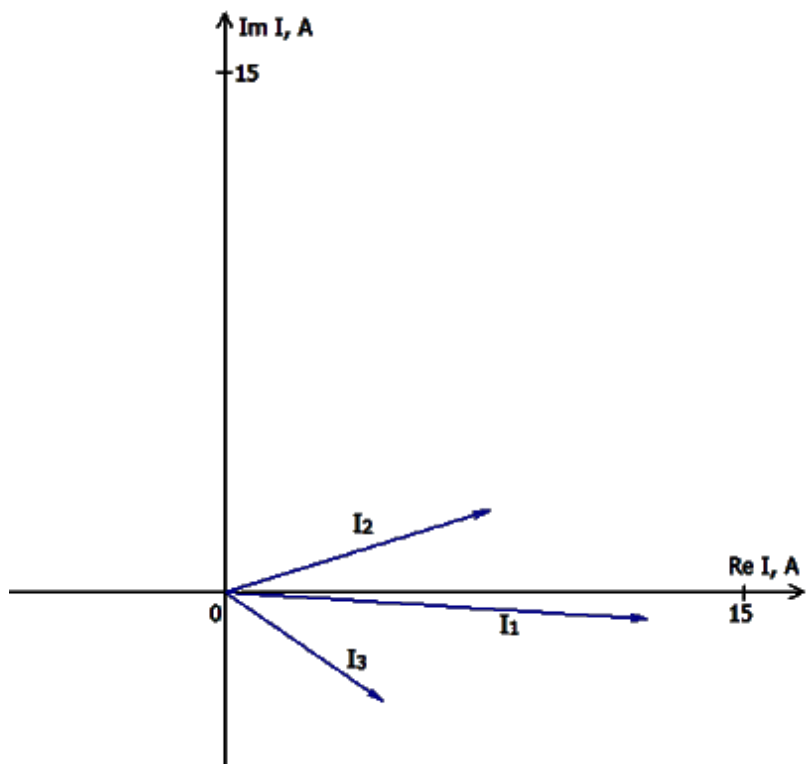


Рис. Векторная диаграмма токов

Задачи для самостоятельного решения

301. Для синусоидального напряжения и тока (рис. 3.1) записать выражения для мгновенных их значений. Определить период T и время t_0 , соответствующее начальной фазе тока ψ_i , а также мгновенные значения напряжений u_1 и u_2 для моментов времени $t_1 = 0,00167$ с и $t_2 = 0,005$ с, если частота тока $f=50$ Гц.

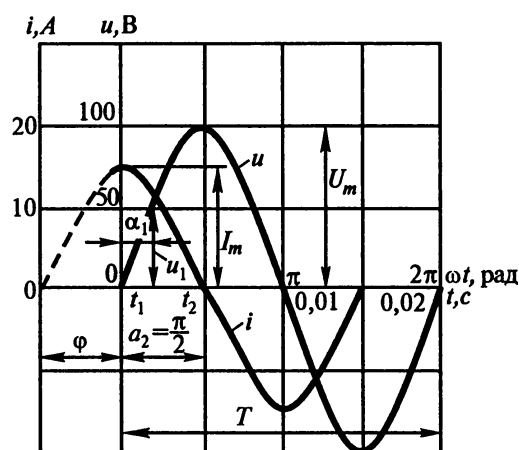


Рис.3.1.

302. Напряжение и ток пассивного двухполюсника равны $\dot{U} = (20 + j40)$ В, $\dot{I} = (5 + j3)$ А. Построить векторную диаграмму на комплексной плоскости. Найти мгновенные напряжение и ток.

303. В сеть напряжением $U=120$ В и частотой $f = 50$ Гц включена индуктивная катушка сопротивлением $R = 12$ Ом и индуктивностью $L = 66,2$ мГн. Ее последовательная схема замещения изображена на рис.3.2.

Определить комплексный ток, значения полной, активной и реактивной мощностей. Построить топографическую диаграмму напряжений, треугольники сопротивлений и мощностей.

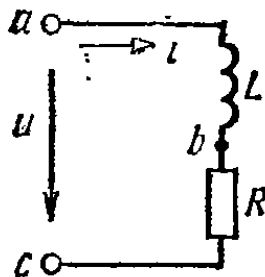


Рис.3.2.

304. При замкнутом и разомкнутом выключателе В в цепи (рис.3.3) амперметр показывает одно и тоже значение тока $I=5,55$ А. Определить сопротивление R и X_L цепи, если напряжение источника питания $U=100$ В, частота $f=50$ Гц, а емкость конденсатора $C=159$ мкФ.

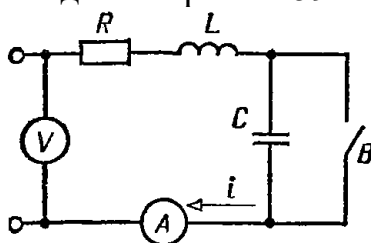


Рис.3.3.

305. При дуговой электросварке на переменном токе дуга развивает мощность $P_d = 600$ Вт при потребляемом токе $I=20$ А (рис. 3.4). Напряжение источника питания $U= 120$ В, частота тока $f= 50$ Гц. Для уменьшения напряжения дуги включена катушка индуктивности, активное сопротивление которой $R_k=1$ Ом. Найти индуктивность L катушки, величину активного R сопротивления, которое могло бы эту катушку заменить, коэффициент мощности $\cos\phi$, а также КПД η установки при наличии активного сопротивления, заменяющего катушку. Построить векторную диаграмму тока и напряжений.

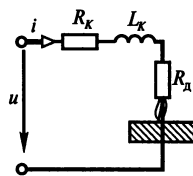


Рис. 3.4.

306. В сеть переменного тока параллельно катушке индуктивности включены конденсатор и резистор, соединенные между собой последовательно (рис. 3.5). Определить ток I_1 , в ветви конденсатора, ток I_2 в ветви катушки и общий ток в цепи I , построить векторную диаграмму напряжений и токов, если напряжение источника питания $\underline{U}=U= 200$ В, а активные и реактивные сопротивления: $R_1 = 3$ Ом; $R_2 = 8$ Ом; $X_1=4$ Ом; $X_2 = 6$ Ом.

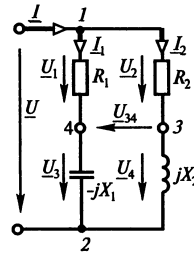


Рис.3.5.

307. Приемник электрической энергии (рис.3.6) имеет следующие паспортные данные: номинальное напряжение $U_{\text{ном}}=220$ В, номинальную мощность $P_{\text{ном}}=1,2$ кВт, номинальный коэффициент мощности $\cos\varphi_{\text{ном}}=0,455$. Определить емкость и мощность батареи конденсаторов, которую нужно включить параллельно приемнику, чтобы повысить коэффициент мощности установки до 0,91.

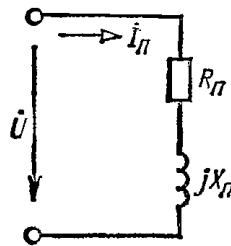


Рис.3.6.

308. Для катушки с активным сопротивлением $R=2,4$ Ом и индуктивностью $L=500$ мкГн известны значения полной и активной мощности: $S=73$ В·А и $P=48,6$ Вт. Определить реактивную мощность катушки, частоту переменного тока и угол сдвига фаз между напряжением и током. Построить векторную диаграмму.

309. Мгновенное значение напряжения на катушке $u=12\sin(2512t-5^\circ)$ В. Отношение $X_L/R_k=2,3$, полная потребляемая мощность $S=100$ В·А. Определить полное, активное, реактивное сопротивление катушки, ее индуктивность, активную и реактивную мощности. Записать выражение для мгновенных значений тока и наведенной ЭДС. Построить векторную диаграмму для момента времени $t=0$.

310. Потребитель, состоящий из последовательно включенных катушки и резистора 25 Ом, подключен к источнику постоянного тока напряжением 27 В. При этом ток в цепи $I=0,7$ А. Затем тот же потребитель подключают к источнику переменного тока с действующим значением напряжения $U=127$ В, в этом случае ток $I=2$ А. Определить полное, активное и реактивное сопротивления катушки, полное сопротивление цепи, фазовый сдвиг между напряжением и током в катушке. Построить треугольник сопротивлений и треугольник мощностей.

ТЕМА 4. ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Краткая теория

Трехфазная цепь представляет собой совокупность трех электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одинаковой частоты, различающиеся по фазе и создаваемые общим источником энергии. Трехфазная цепь состоит из трех типов элементов: источника электрической энергии (трехфазный генератор), линии передачи и приемников. Каждую из частей трехфазной системы, характеризующуюся одинаковым током называют **фазой**.

Четырехпроводная линия трехфазной системы имеет четыре провода: три линейных, по которым протекают линейные токи I_A, I_B, I_C и один нулевой (нейтральный) провод, предназначенный для поддержания одинаковых значений фазных напряжений на всех трех фазах потребителя. По нулевому проводу может протекать уравнивающий ток I_0 , называемый нулевым или **нейтральным током**. **Соединение звездой** – это такое соединение, когда все концы фаз источника соединены в общий узел (на рис.4.1. - точка N), которая называется нейтральной (нулевой), а начала фаз соединены с нагрузкой, образующей трехлучевую звезду источников (рис. 4.1).

Провода, соединяющие начала фаз обмоток генератора и приемника, называются **линейными**. Провод, соединяющий нейтральную точку генератора и приемника - **нейтральным**, а провода, соединяющие концы фаз приемника с нулевой точкой - фазными проводами. Токи, текущие от генератора к приемнику по линейным проводам, называются линейными токами, а токи в фазных обмотках генератора или в фазах приемника, называются фазными токами.

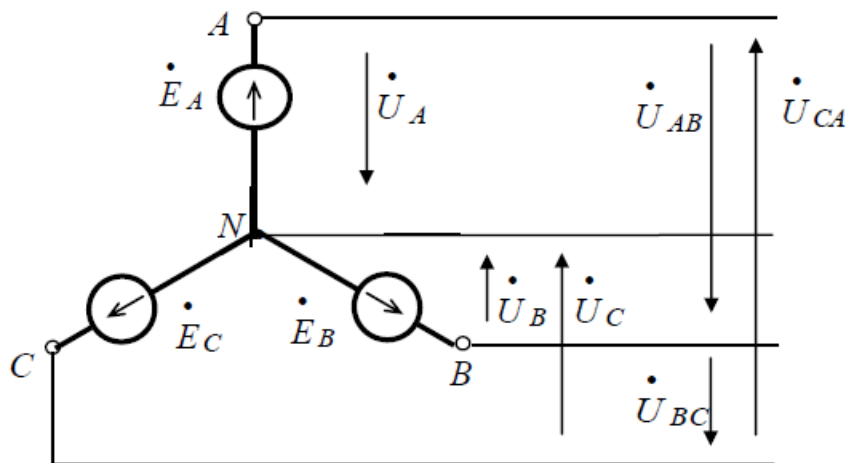


Рис.4.1. Схема соединения фаз источника «звездой»

Фазное напряжение U_ϕ - напряжение между началом и концом каждой фазы - $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$.

Линейное напряжение $U_{\text{л}}$ - напряжение между началами двух фаз (или между линейными проводами) - $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$. За положительное направление фазных напряжений принимают направления от начала к концу фаз обмотки, за положительное направление линейных напряжений – направление от A к B , от B к C и от C к A . Соотношения между линейными и фазными напряжениями трехфазного источника электрической энергии определяются по второму закону Кирхгофа:

$$\dot{U}_{AB} + \dot{U}_B - \dot{U}_A = 0;$$

$$\dot{U}_{BC} + \dot{U}_C - \dot{U}_B = 0;$$

$$\dot{U}_{CA} + \dot{U}_A - \dot{U}_C = 0,$$

или

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B;$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C;$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A.$$

Векторная диаграмма, построенная в соответствии с полученными уравнениями, показана на рисунке 4.2.

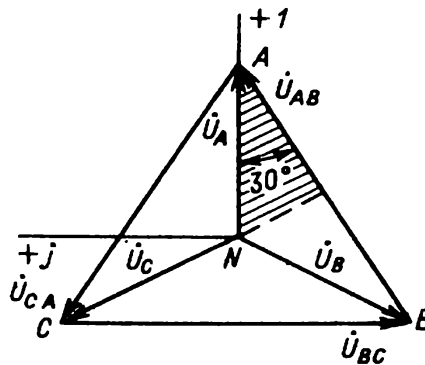


Рис.4.2. Векторная диаграмма напряжений трехфазного источника при соединении его фаз звездой

Векторы линейных напряжений $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$ сдвинуты относительно друг друга на угол $2\pi/3$ и опережают соответственно векторы фазных напряжений $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ на угол $\pi/6$. Из рисунка 4.2. следует, что

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}}.$$

Нагрузка является **симметричной**, если сопротивления фаз нагрузки одинаковы. При этом действующие значения фазных напряжений равны между собой $U_a = U_b = U_c$ и одинаковы углы сдвига фаз (φ) между током и напряжением в каждой фазе. Линейные токи в этом случае равны фазным токам:

$$I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}.$$

В соответствии с первым законом Кирхгофа ток в нейтральном проводе

$$\dot{I}_N = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C.$$

Если приемники симметричные, то токи в фазах будут равны между собой и сдвинуты по фазе по отношению к соответствующим фазным напряжениям на один и тот же угол. В случае симметричного приемника ток в нейтральном проводе $I_N=0$, поэтому необходимость в нейтральном проводе отпадает.

Потребители электрической энергии при питании от трехфазного источника, как и трехфазные источники электрической энергии, могут быть соединены в треугольник (рис.4.3.).

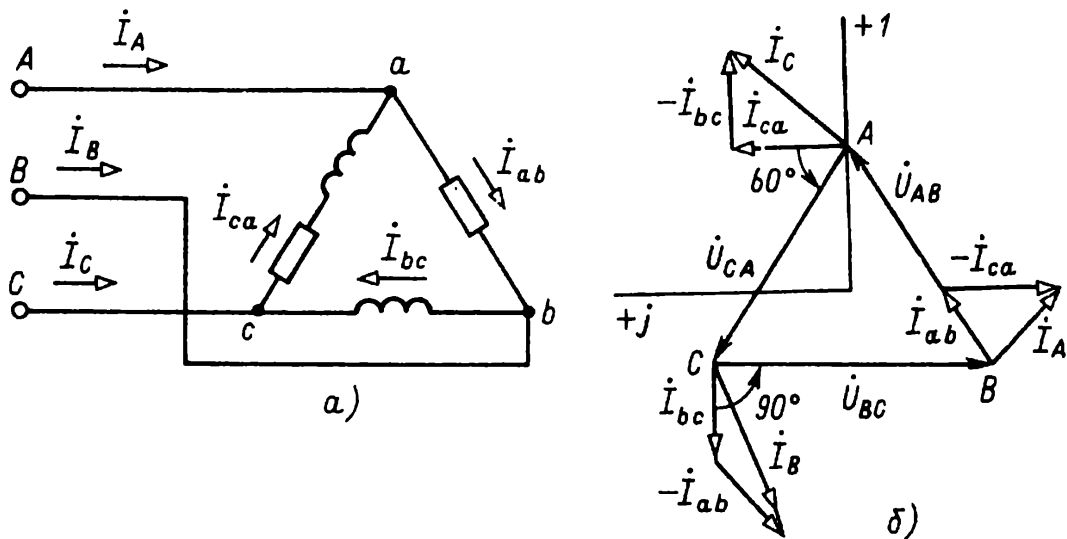


Рис.4.3. Схема замещения (а) и векторная диаграмма (б) трехфазной цепи при соединении фаз приемника треугольником

Такое соединение получится, если фазы приемника с сопротивлениями $\underline{Z}_{ab}, \underline{Z}_{bc}, \underline{Z}_{ca}$, включить соответственно между линейными проводами (рис.4.3). При этом фазные напряжения приемника равны соответствующим линейным напряжениям источника питания

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}_{AB}, \quad \dot{U}_{bc} = \dot{U}_{BC}, \quad \dot{U}_{ca} = \dot{U}_{CA},$$

а линейные токи в $\sqrt{3}$ раз больше, чем токи в фазах потребителя

$$I_L = \sqrt{3} I_\phi.$$

При этом все фазные токи равны по величине и отличаются друг от друга по фазе на 120° . То же самое относится и к линейным токам

Токи в фазах приемника определяются по формулам

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_{ab}}, \quad \dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\underline{Z}_{bc}}, \quad \dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\underline{Z}_{ca}}.$$

В отличие от соединения звездой при соединении треугольником фазные токи не равны линейным. Линейные токи можно определить по фазным, составив уравнения по первому закону Кирхгофа для узлов а, b и c (рис.4.3,а)

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}, \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}, \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}.$$

Под **активной мощностью трехфазной системы** понимают сумму активных мощностей фаз нагрузки и активной мощности в сопротивлении, включенном в нулевой провод:

$$P = P_A + P_B + P_C + P_0.$$

Реактивной мощностью трехфазной системы представляет собой сумму реактивных мощностей фаз нагрузки и реактивной мощности в сопротивлении, включенном в нулевой провод:

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C + Q_0$$

Полная мощность

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Если нагрузка в фазах симметричная, то мощности каждой фазы равны и определяются через линейные или через фазные параметры цепи:

$$P_{\text{цепи}} = 3P_{\phi} = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi} = \sqrt{3}U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi_{\phi};$$

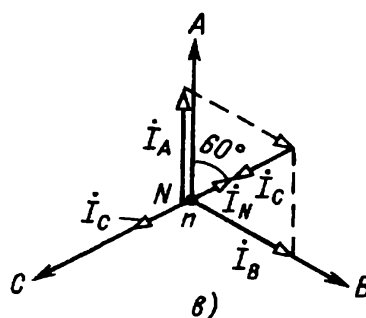
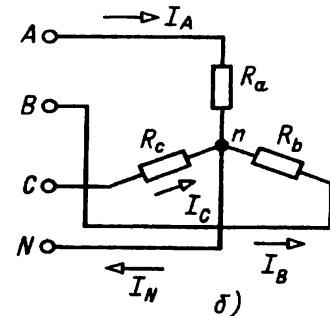
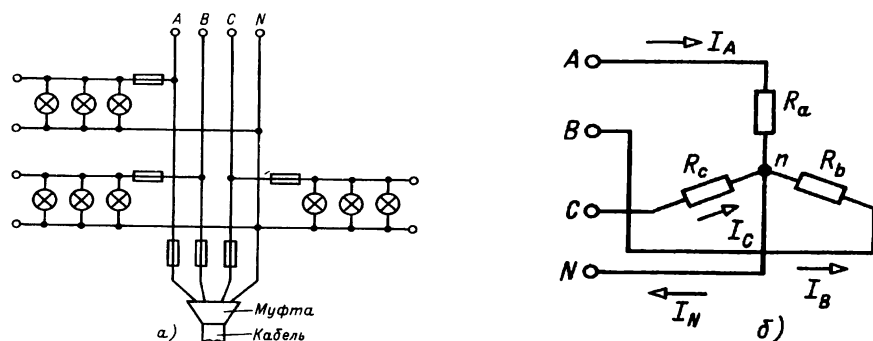
$$Q_{\text{цепи}} = 3Q_{\phi} = 3U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi_{\phi} = \sqrt{3}U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin \varphi_{\phi};$$

$$S_{\text{цепи}} = 3S_{\phi} = 3U_{\phi} I_{\phi} = \sqrt{3}U_{\text{л}} I_{\text{л}}.$$

Комплексной мощностью трехфазной системы называется сумма комплексных мощностей всех фаз источника энергии, равная сумме комплексных мощностей всех фаз приемника.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ: «ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА»

Задача 4.1. На рисунке 4.4., а изображена схема четырехпроводной осветительной сети жилого дома с линейным напряжением $U=220$ В. В фазы А и В включено по 25 ламп, а в фазу С – 15 ламп, номинальная мощность каждой лампы $P_{\text{ном}}=60$ Вт, а номинальное напряжение $U_{\text{ном}}=127$ В.



Определить токи в линейных и нейтральных проводах, построить векторную диаграмму токов и напряжений. Как изменятся токи в фазах A и B и в нейтральном проводе, если перегорит предохранитель в фазе C ?

Решение:

Изобразим схему замещения цепи (рис.4.4.,б). Мощность каждой фазы $P_A = P_B = 60 \cdot 25 = 1500$ Вт, $P_C = 60 \cdot 15 = 900$ Вт.

Линейные токи

$$I_A = I_B = \frac{P_A}{U_\phi} = \frac{1500}{127} = 11,8 \text{ А},$$

$$I_C = \frac{P_C}{U_\phi} = \frac{900}{127} = 7,1 \text{ А}.$$

Так как токи в резистивных элементах совпадают по фазе с напряжениями, то комплексные значения токов можно записать в виде

$$\dot{I}_A = 11,8 \text{ А}; \quad \dot{I}_B = 11,8 e^{-j120^\circ} \text{ А}; \quad \dot{I}_C = 7,1 e^{j120^\circ} \text{ А}.$$

Ток в нейтральном проводе может быть рассчитан двумя способами:

- 1) по первому закону Кирхгофа $\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$;
- 2) из векторной диаграммы (рис.4.4., в):

$$\dot{I}_N = 4,7 e^{-j60^\circ} \text{ А}.$$

Если в фазе C перегорит предохранитель, то токи в фазах A и B останутся без изменения, а ток в нейтральном проводе

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B = 11,8 e^{-j60^\circ} \text{ А}.$$

Задача 4.2. Трехфазный симметричный активно-индуктивный приемник подключен к сети с линейным напряжением $U = 380 \text{ В}$ (рис.4.5.,а). Сопротивления фаз приемника $\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c = R + jX_L = (3 + j4) \text{ Ом}$. Определить фазные напряжения и токи в нормальном режиме, а также при обрыве и коротком замыкании фазы A .

Решение:

В нормальном режиме $U_a = U_b = U_c = \frac{U}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В};$

$$I_a = I_b = I_c = \frac{U_\phi}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{220}{5} = 44 \text{ А}.$$

При обрыве фазы A (рис. 4.5.,б) фазы B и C окажутся соединенными последовательно и будут подключены к линейному напряжению U_{BC} . При этом фазные напряжения уменьшаются и станут равными

$$U_b = U_c = \frac{U_\phi}{2} = \frac{380}{2} = 190 \text{ В}.$$

На векторной диаграмме (рис.4.5., в) точка n окажется посередине вектора \dot{U}_{BC} . Напряжения на фазах приемника U_a , U_b и U_c можно построить, если соединить точки A , B и C с точкой n . Из построения следует, то напряжение U_a станет равным

$$U_a = 1,5U_\phi = 330 \text{ В}.$$

Токи в фазах

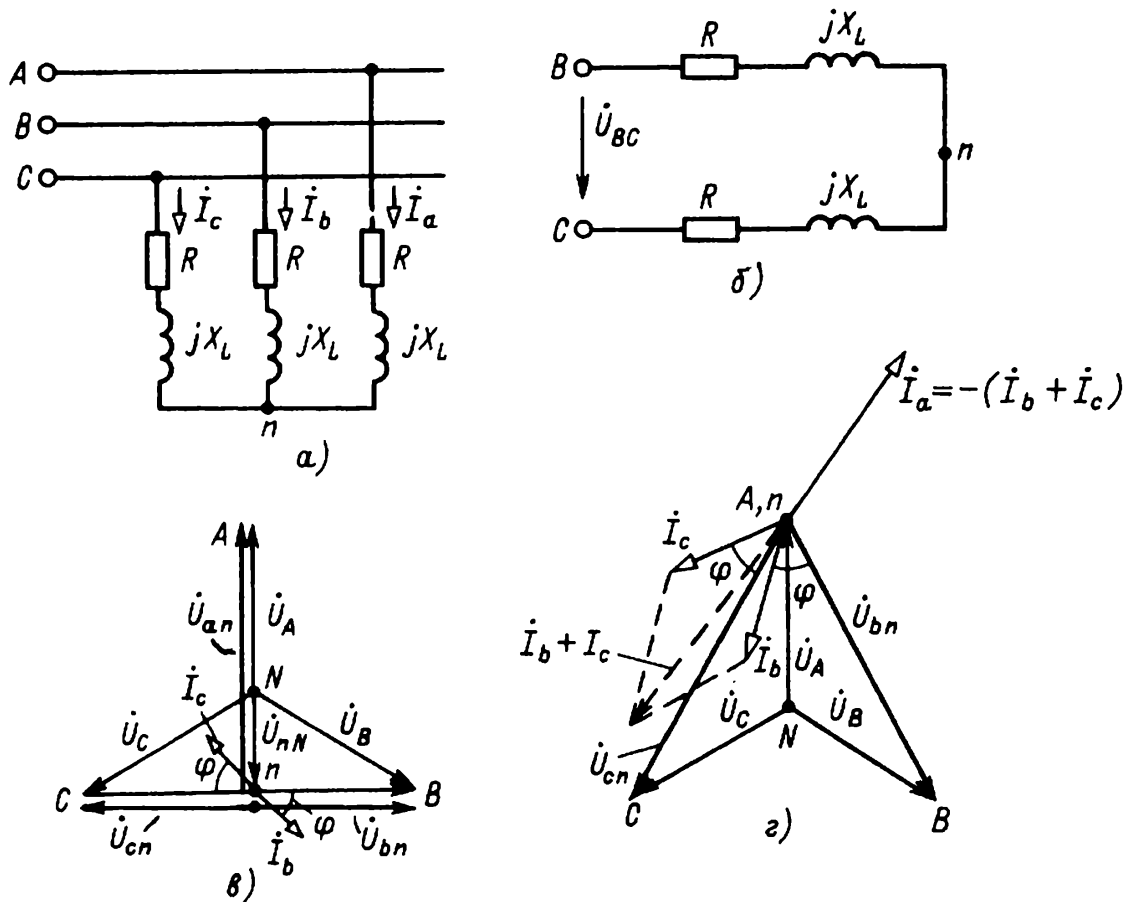


Рис. 4.5.

$$I_a = 0, \quad I_b = I_c = \frac{190}{5} = 38 \text{ А}.$$

На векторной диаграмме токи \dot{I}_a и \dot{I}_b отстают соответственно от напряжений \dot{U}_b и \dot{U}_c на угол

$$\varphi = \arctg(X/R) = 53^\circ 10'.$$

При коротком замыкании фазы А потенциал точки п $\varphi_n = \varphi_A$ и следовательно, точка п на векторной диаграмме (рис.4.5.,г) сместится в точку А, напряжения фаз b и c станут равными линейным напряжениям генератора:

$$\dot{U}_{bn} = \dot{U}_{BA}, \quad \dot{U}_{cn} = \dot{U}_{CA}.$$

Напряжение $\dot{U}_{an} = 0$.

$$\text{Модули токов: } I_b = I_c = \frac{U_n}{z_\Phi} = \frac{380}{5} = 76 \text{ А}.$$

Ток $\dot{I}_a = -(\dot{I}_b + \dot{I}_c)$ может быть найден из векторной диаграммы. Модуль этого тока $I_a \approx 131 \text{ А}$.

Отметим, что в трехпроводной цепи сумма комплексных значений линейных токов равна нулю.

Задача 4.3. В трехфазную сеть с линейным напряжением $U=380$ В включен симметричный приемник, соединенный треугольником, каждая фаза которого имеет активное сопротивление $R=8$ Ом и индуктивное $X_L=6$ Ом (рис.4.6, а). Определить линейные и фазные токи, построить векторную диаграмму.

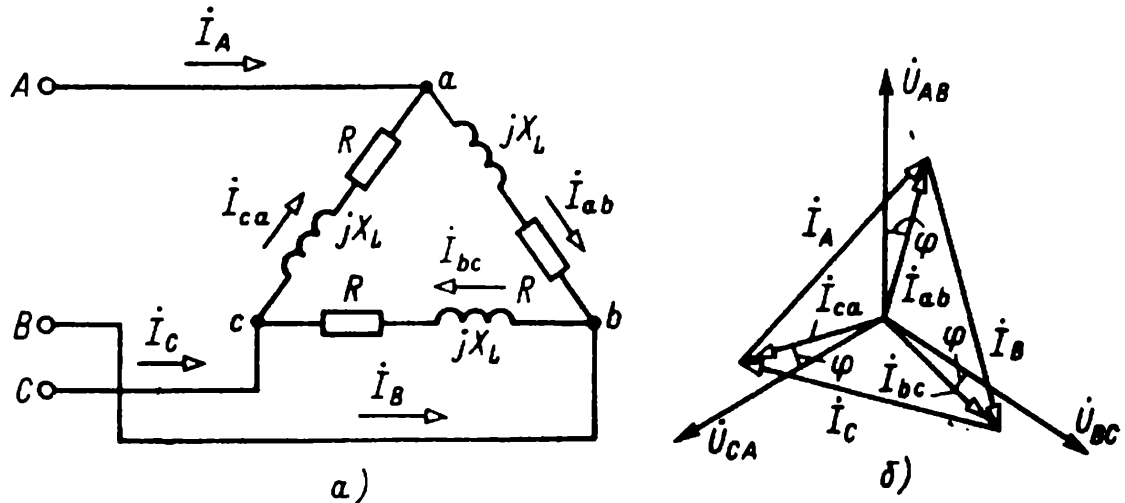


Рис.4.6.

Решение:

Приемник симметричный, поэтому расчет можно проводить для одной фазы.

Фазные токи приемника

$$I_{\phi} = \frac{U}{Z_{\phi}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{380}{\sqrt{8^2 + 6^2}} = 38 \text{ А.}$$

Векторы фазных токов отстают от соответствующих векторов линейных напряжений на угол φ :

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z_{\phi}} = \frac{8}{\sqrt{8^2 + 6^2}} = 0,8; \quad \varphi = 37^\circ.$$

Линейные токи

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\phi} = \sqrt{3} \cdot 38 = 66 \text{ А.}$$

Векторная диаграмма изображена на рис.4.6., б. При ее построении начальная фаза линейного напряжения \dot{U}_{AB} принята равной нулю.

Задачи для самостоятельного решения

401. В цепи симметричный источник с напряжением фазы $U_\phi = 12$ В подключен к несимметричной нагрузке, соединенной звездой с нулевым проводом (рис.4.7). Модули фазных сопротивлений нагрузки и нулевого провода $Z = 3$ Ом. Найти фазные токи и напряжения. Построить векторную диаграмму напряжений и токов.

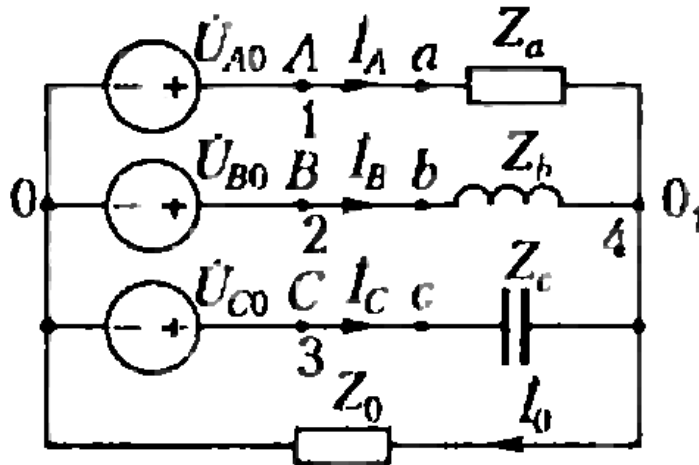


Рис.4.7.

402. В цепи симметричный источник с напряжением фазы $U_\phi = 12$ В подключен к несимметричной нагрузке, соединенной звездой с нулевым проводом (рис.4.7). Найти токи I_A , I_B , I_C , I_0 , если фазные сопротивления нагрузки одинаковы $Z_\phi = 2 \cdot e^{-j30^\circ}$. Построить векторную диаграмму напряжений и токов.

403. В схеме, изображенной на рисунке 4.8, сопротивление фаз нагрузки $Z_\phi = 1,5$ Ом. Линейное напряжение симметричного источника $U_\Delta = 15$ В. Найти линейные токи I_A , I_B , I_C .

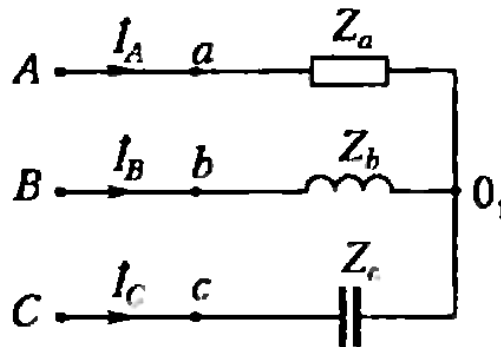


Рис.4.8

404. На рисунке 4.9 изображена однолинейная схема трехфазной цепи, состоящей из станции, подстанции и соединяющей их линии. Каждая фаза линии имеет активное сопротивление $1,2 \text{ Ом/км}$ и индуктивное сопротивление $0,65 \text{ Ом/км}$. Определить ток, падение и потерю напряжения в

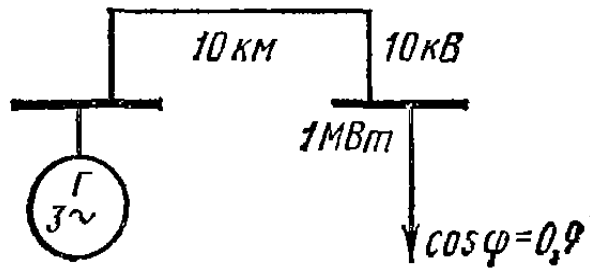


Рис. 4.9

линии. На схеме указаны значения линейного напряжения, мощности и $\cos \varphi$ приемника.

405. Найти общий ток, мощность и коэффициент мощности установки из двух двигателей (рис.4.10), у которых $P_1 = 3,5 \text{ кВт}$, $U_1 = U_2 = 220 \text{ В}$, $\cos \varphi_1 = 0,87$, $\eta_1 = 75\%$, $P_2 = 8,5 \text{ кВт}$, $\cos \varphi_2 = 0,95$, $\eta_2 = 92\%$.

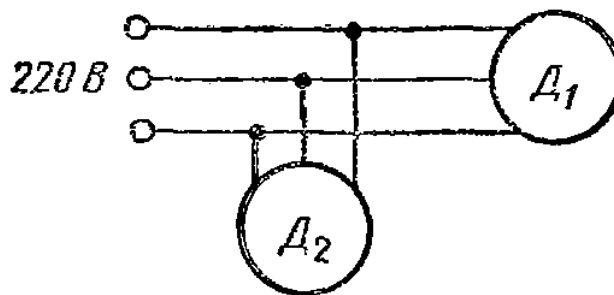


Рис.4.10

406. К зажимам симметричной трехфазной цепи с линейным напряжением 380 В подключены три одинаковых сопротивления $\dot{Z} = (10 - j10) \text{ Ом}$ (рис.4.11) В цепи имеется трехполюсный ключ, который позволяет соединять нагрузку звездой или треугольником. Определить, как будут меняться линейные токи и потребляемая нагрузкой активная и реактивная мощности при переключении нагрузки с треугольника на звезду. Построить векторные диаграммы.

407. Три амперметра при замкнутом рубильнике показывают по 12 А. Определить показания амперметров при разомкнутом рубильнике (рис. 4.12). Напряжения на зажимах цепи представляют собой симметричную звезду. Построить векторную диаграмму напряжений и токов.

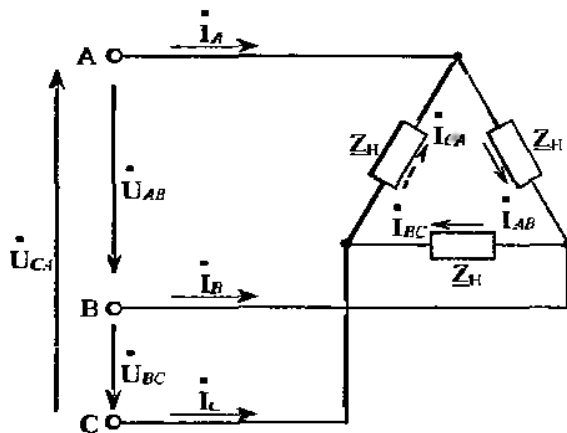


Рис.4.11.

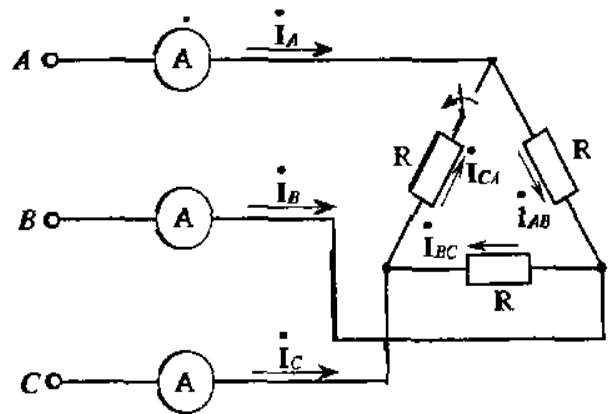


Рис.4.12.

408. Для компенсации реактивной мощности в трехфазном приемнике ($Z_A = Z_B = Z_C = 5 + j10$ Ом) к нему подключают батарею конденсаторов. Найти значение емкости конденсаторов при соединении приемника: 1) треугольником; 2) в звезду; и батареи конденсаторов: а) треугольником; б) в звезду. Рассчитайте ток конденсаторов и приемника, а также напряжения на конденсаторе и приемнике, если напряжение $U_\phi = 220$ В, круговая частота $\omega = 50\pi$ с⁻¹.

409. К трехфазному генератору подключен симметричный приемник электрической энергии (рис.4.13). Линейное напряжение 220 В, сопротивление проводов $\dot{Z} = 0,5 + j1$, сопротивление приемника $\dot{Z} = 10 + j6$. Определить фазное напряжение генератора, токи, фазные и линейные напряжения приемника, падение напряжения в линейных проводах, мощность приемника. Построить векторную диаграмму напряжений и токов.

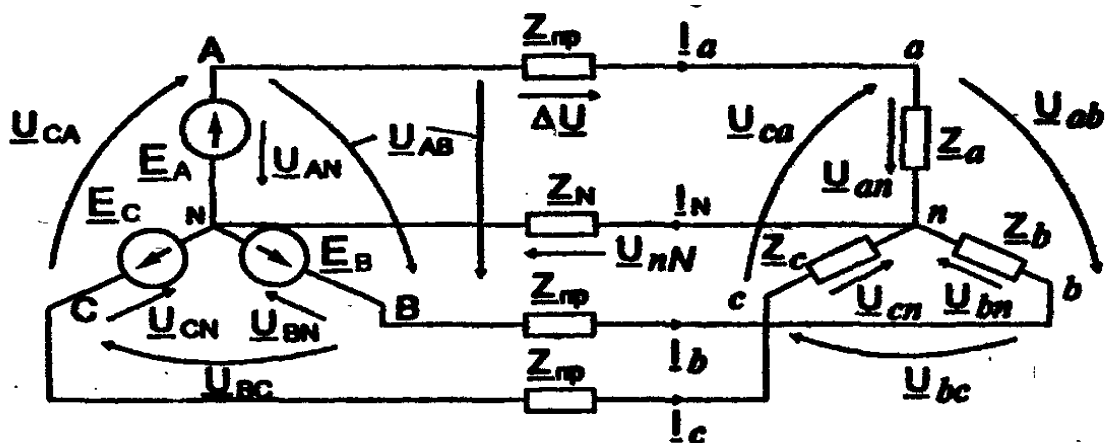


Рис.4.13.

410. Приемник, соединенный треугольником питается от генератора с линейным напряжением $U_{\text{л}}=100$ В (рис.4.14). Сопротивления фаз приемника $\dot{Z}_{AB} = (3 - j4) \text{ Ом}$, $\dot{Z}_{BC} = j10 \text{ Ом}$, $\dot{Z}_{CA} = 10 \text{ Ом}$. Определить линейные, фазные токи и мощности, потребляемые приемником. Построить векторную диаграмму напряжений и токов.

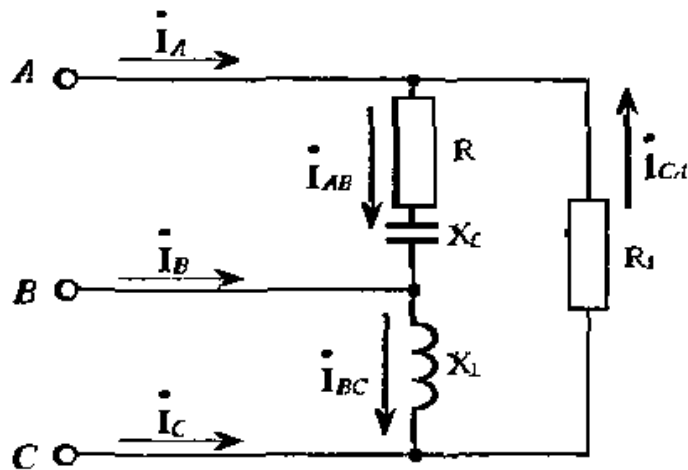


Рис.4.14.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1. Десятичные приставки к названиям величин

Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
тера	Т	10^{12}	деци	д	10^{-1}
гига	Г	10^9	санти	с	10^{-2}
мега	М	10^6	милли	м	10^{-3}
кило	к	10^3	микро	мк	10^{-6}
гекто	г	10^2	нано	н	10^{-9}
дека	да	10	пико	п	10^{-12}

Таблица 2. Диэлектрическая проницаемость и электрическая прочность ряда электроизоляционных материалов

Диэлектрик	$E_{пр}$, кВ/см	$E_{пр}$, кВ/см, среднее	ϵ	Диэлектрик	$E_{пр}$, кВ/см	$E_{пр}$, кВ/см, среднее	ϵ
Воздух	30	30	1	Плексиглас	—	—	3,3
Вода	—	—	81	Слюда	80—200	150	6,0
Керосин	—	—	2,1	Спирт	—	—	33
Масло минеральное	—	100	—	Стекло	100—400	300	7,0
Парафин	200	200	2,1	Трансформаторное масло	50—180	150	2,3
Бумага парафинированная	—	—	2,0	Электрокартон	90—140	120	5,0
				Эбонит	600—800	700	4,3
				Фарфор	150	150	5,5
				Янтарь	—	—	2,8

Таблица 3. Удельное сопротивление и температурный коэффициент сопротивления металлов

Материал	ρ , Ом·мм ² /м	α , °C ⁻¹	Материал	ρ , Ом·мм ² /м	α , °C ⁻¹
Алюминий	0,029	0,004	Платина	0,1	0,004
Вольфрам	0,056	0,005	Ртуть	0,958	0,0009
Константан	0,48	0,00004	Свинец	0,21	0,004
Латунь	0,071	0,002	Серебро	0,016	0,004
Медь	0,0175	0,004	Сталь	0,12	0,006
Нихром	1,1	0,0001	Фехраль	1,4	0,0002
Манганин	0,42	0,000006			

ЛИТЕРАТУРА

1. Задачник по общей электротехнике с основами электроники: учебн. пособие для студ. неэлектротехн. спец. средн. учеб.заведений/Т.Ф. Березкина, Н.Г. Гусев, В.В. Масленников. –М.: Высш. шк., 2001. –380 с.
2. Полещук В.И. Задачник по электротехнике и электронике: Учебн. пособие для сред.проф.образования/Виктор Иванович Полещук.– М.: Издательский центр «Академия», 2004. –224 с.
3. Пономаренко В.К. Пособие к практическим занятиям по теории электрических цепей: учеб. пособие. – Озерск:ОТИ МИФИ, 2001. –200 с.
4. Рекус, Г. Г. Основы электротехники и электроники в задачах с решениями: Учеб. пособие/Г. Г. Рекус— М: Высш. шк., 2005.— 343 с: ил.
5. Сборник задач по электротехнике и основам электроники: учеб. пособие для неэлектротехн. спец. вузов/ В.Г. Герасимов, Х.Э. Зайдель, В.В. Коген-Далин и др.; под ред. В.Г. Герасимова.–М.: Высш.шк., 1987.–288 с.
6. Электротехника. Основные положения, примеры и задачи/И.И. Иванов, А.Ф. Лукин, Г.И. Соловьев. –СПб.: Издательство «Лань», 2002.–192 с.