

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания
к практическим занятиям
по направлениям подготовки 23.03.03 «Эксплуатация
транспортно-технологических машин и комплексов»
и 23.03.01 «Технология транспортных процессов»

Пенза 2016

УДК 621.637
ББК 312
О-28

Рекомендовано Редсоветом университета
Рецензент – кандидат технических наук, доцент
кафедры «Организация безопасности движения» А.С. Ширшиков
(ПГУАС)

Общая электротехника и электроника: метод. указания к
О-28 практическим занятиям по направлениям подготовки 23.03.03
«Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»
и 23.03.01 «Технология транспортных процессов»/ Э.М. Пинт. –
Пенза: ПГУАС, 2016. – 28 с.

Излагается материал практических занятий по дисциплине «Общая электротехника и электроника».

Методические указания подготовлены на кафедре «Механизация и автоматизация производства» и предназначены для использования студентами, обучающимися по направлениям подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и 23.03.01 «Технология транспортных процессов», при изучении дисциплины «Общая электротехника и электроника».

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2016
© Пинт Э.М., 2016

ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью практических занятий по дисциплине «Общая электротехника и электроника» является формирование у студентов практических навыков по расчету электрических цепей и электротехнических устройств.

Материал практических занятий подготовлен в соответствии с программой дисциплины «Общая электротехника и электроника» и предназначен для использования студентами третьего курса, обучающимися по направлениям подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и 23.03.01 «Технология транспортных процессов», изучающими дисциплину «Общая электротехника и электроника», относящуюся к базовой части профессионального цикла.

В данных методических указаниях приводятся задачи по определению параметров конкретных электрических цепей. Многие задачи даются с подробными численными решениями либо с решениями в общем виде. Примеры расчета излагаются в логической последовательности от решения задач с простыми электрическими цепями к решению задач, содержащих сложные электрические цепи.

Очень важным обстоятельством является то, что, прежде чем приступить к самостоятельному решению заданных задач, студенты обязаны изучить соответствующий теоретический материал лекций либо учебников и учебных пособий, рекомендованных по курсу «Общая электротехника и электроника». Кроме того, перед решением задач, студенты должны проанализировать примеры решения подобных задач, приводимые в указаниях, что облегчит их работу.

Схемы электрических цепей должны быть выполнены с соблюдением размеров элементов цепей согласно ГОСТ.

Порядок выполнения расчетов, расчетные формулы должны сопровождаться пояснениями. Результаты расчетов надо сверить с ответами, которые есть в указаниях.

Изучение дисциплины «Общая электротехника и электроника» способствует формированию некоторых общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций, предусмотренных Федеральными государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования по направлениям подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и 23.03.01 «Технология транспортных процессов».

В процессе изучения дисциплины должны быть сформированы следующие компетенции:

– способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин и профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования);

– владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером, как средством управления информацией;

– владение знаниями технических условий и правил рациональной эксплуатации транспортной техники, причин и последствий прекращения ее работоспособности;

– способность в составе коллектива исполнителей к анализу передового научно-технического опыта и тенденций развития технологий эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов);

– готовность к участию в составе коллектива исполнителей к деятельности по организации управления качеством эксплуатации транспортно-технических машин и комплексов.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

з н а т ь :

– основные физические явления, фундаментальные понятия и законы современной электротехники и электроники;

– построение, принцип действия, характеристики, параметры основных электрических цепей, электронных приборов, электротехнических и электронных устройств;

у м е т ь :

– применять современные математические методы в прикладных задачах профессиональной деятельности;

– диагностировать состояние электронной и электротехнической аппаратуры;

в л а д е т ь :

– методами проведения исследований электротехнических и электронных устройств;

– методикой расчета схем электронных и электротехнических устройств.

Знания, полученные студентами, могут быть использованы при подготовке выпускной квалификационной работы и в дальнейшей профессиональной деятельности.

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1.1. Примеры решения задач

Задача 1.1.1. Упрощение электрической цепи с одним источником тока. Применение закона Ома и законов Кирхгофа.

Для цепи (рис. 1.1.1) известны значения сопротивлений $R_0, R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ и тока I_2 .

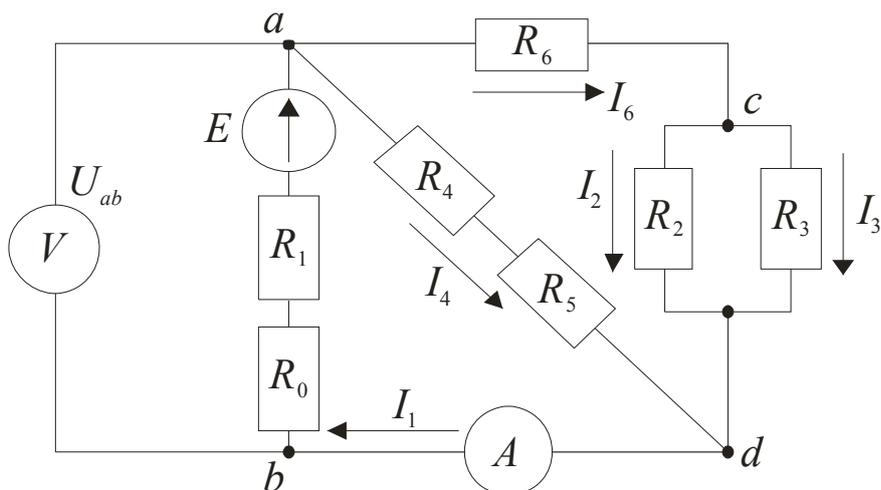


Рис. 1.1.1

Определить:

1. Значение ЭДС источника E , а также показания амперметра и вольтметра.

2. Показания тех же приборов при сопротивлении $R_6 = 0$ Ом (КЗ), считая ЭДС источника неизменной.

3. Показания тех же приборов при сопротивлении $R_6 = \infty$ (обрыв цепи), считая ЭДС источника неизменной.

Решение

Первая часть задачи. Обозначим токи I_1, I_2, I_3, I_4, I_6 в соответствии с направлением ЭДС E .

Определим напряжение U_{cd} :

$$U_{cd} = I_2 R_2.$$

Определим ток I_3 :

$$I_3 = \frac{U_{cd}}{R_3}.$$

По первому закону Кирхгофа для узла c определим ток I_6 :

$$I_6 = I_2 + I_3.$$

Найдем сопротивления участков ad и cd :

$$R_{45(ad)} = R_4 + R_5,$$

$$R_{23(cd)} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}.$$

Определим напряжение U_{ab} (показание вольтметра V):

$$U_{ab} = U_{ad} = I_6 (R_6 + R_{23}).$$

Рассчитаем ток I_4 :

$$I_4 = \frac{U_{ad}}{R_{45}}.$$

По первому закону Кирхгофа для узла a вычислим ток I_1 (показания амперметра A):

$$I_1 = I_4 + I_6.$$

Для контура adb по второму закону Кирхгофа определяем ЭДС E :

$$E = I_4 R_{45} + I_1 (R_0 + R_1).$$

Вторая часть задачи. Изобразим соответствующую схему цепи (рис. 1.1.2).

Рассчитываем суммарное сопротивление контура acd :

$$R_{2345} = \frac{R_{23} R_{45}}{R_{23} + R_{45}}.$$

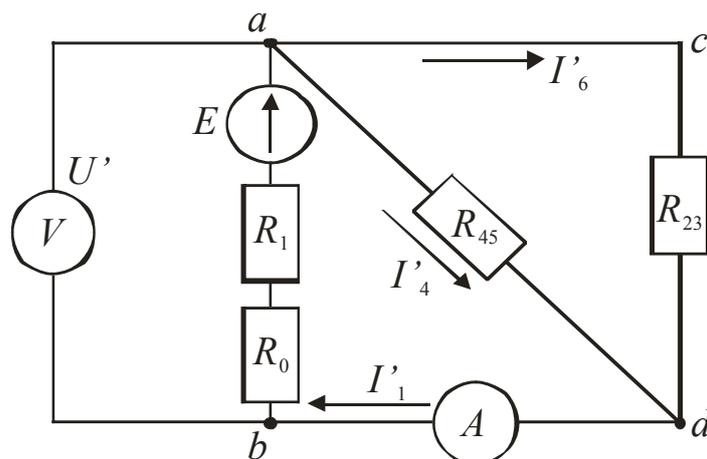


Рис. 1.1.2

По второму закону Кирхгофа, ЭДС источника E вычисляем по формуле

$$E = I'_1 (R_0 + R_1 + R_{2345}),$$

откуда ток I'_1 (показание амперметра A)

$$I'_1 = \frac{E}{R_0 + R_1 + R_{2345}}.$$

Определим напряжение U' (показание вольтметра V):

$$U' = U_{ab} = U_{ad} = I'_1 R_{2345}.$$

Третья часть задачи. Изобразим соответствующую схему цепи (рис. 1.1.3).

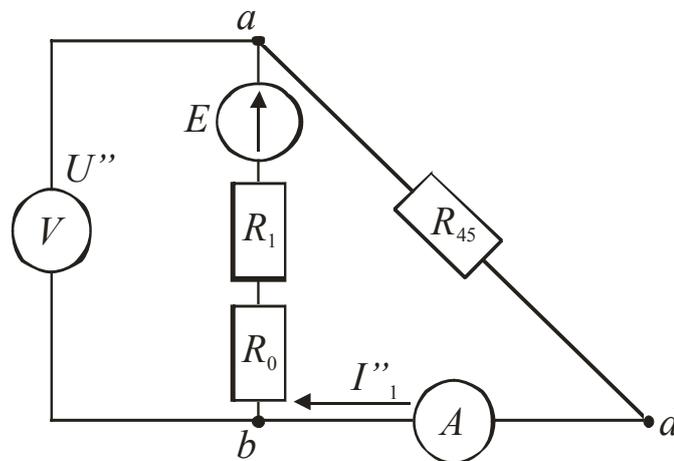


Рис. 1.1.3

По второму закону Кирхгофа, ЭДС источника E вычисляется по формуле

$$E = I''_1 (R_0 + R_1 + R_{45}),$$

откуда ток I''_1 (показание амперметра A)

$$I''_1 = \frac{E}{R_0 + R_1 + R_{45}}.$$

Определим напряжение U'' (показание вольтметра V):

$$U'' = U_{ab} = U_{ad} = I''_1 R_{45}.$$

Задача 1.1.2. Решение задачи с использованием законов Кирхгофа и с применением метода контурных токов цепи с одним источником тока.

Для электрической цепи (рис. 1.1.4) известны значение ЭДС источника E и значения сопротивлений R_0 , R_1 , R_2 . Определить величины токов в ветвях цепи.

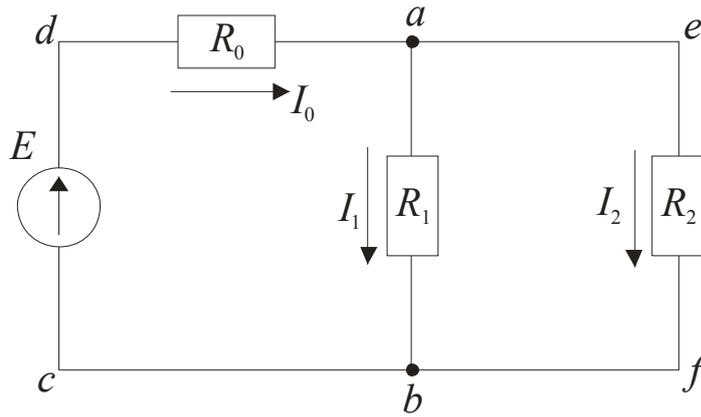


Рис. 1.1.4

Решение

Покажем положительные направления токов в ветвях цепи. Для определения трех токов (I_0, I_1, I_2) составим три уравнения по законам Кирхгофа:

- для узла a – уравнение по первому закону Кирхгофа

$$I_0 - I_1 - I_2 = 0;$$

- для контура $abcd$ – по второму закону Кирхгофа

$$E = I_0 R_0 + I_1 R_1;$$

- для контура $abfe$ – по второму закону Кирхгофа

$$0 = I_1 R_1 - I_2 R_2.$$

Совместное решение этих трех уравнений дает следующие выражения для токов:

$$I_0 = E \frac{R_1 + R_2}{R_0 R_1 + R_0 R_2 + R_1 R_2},$$

$$I_1 = E \frac{R_2}{R_0 R_1 + R_0 R_2 + R_1 R_2},$$

$$I_2 = E \frac{R_1}{R_0 R_1 + R_0 R_2 + R_1 R_2}.$$

Решим эту же задачу с применением метода контурных токов, который сокращает количество вычислений. Изобразим схему цепи, и в двух соприкасающихся контурах ($abcd$ и $abfe$) покажем направления контурных токов I_{k1}, I_{k2} по часовой стрелке, считая это направление за положительное (рис. 1.1.5).

Для определения контурных токов составим два уравнения по второму закону Кирхгофа:

$$I_{k1} R_0 + (I_{k1} - I_{k2}) R_1 = E,$$

$$I_{k2} R_2 + (I_{k2} - I_{k1}) R_1 = 0.$$

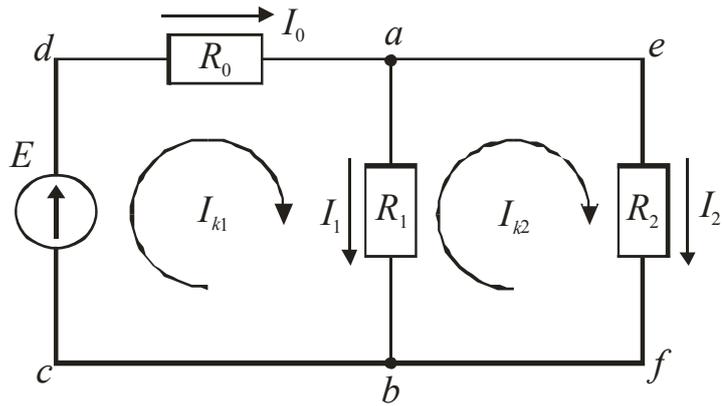


Рис. 1.1.5

Решив эти уравнения относительно контурных токов, получим:

$$I_{k1} = E \frac{R_1 + R_2}{R_0 R_1 + R_0 R_2 + R_1 R_2},$$

$$I_{k2} = E \frac{R_1}{R_0 R_1 + R_0 R_2 + R_1 R_2}.$$

Зная величины контурных токов, находим действительные токи:

$$I_0 = I_{k1} = E \frac{R_1 + R_2}{R_0 R_1 + R_0 R_2 + R_1 R_2},$$

$$I_1 = I_{k1} - I_{k2} = E \frac{R_2}{R_0 R_1 + R_0 R_2 + R_1 R_2},$$

$$I_2 = I_{k2} = E \frac{R_1}{R_0 R_1 + R_0 R_2 + R_1 R_2}.$$

Задача 1.1.3. Расчет цепи с использованием метода контурных токов.

Для сложной электрической цепи (рис. 1.1.6), используя законы Кирхгофа, а также метод контурных токов, определить токи во всех ветвях, если известны значения ЭДС E_1, E_2, E_3 и сопротивлений R_1, R_2, R_3, R_4 .

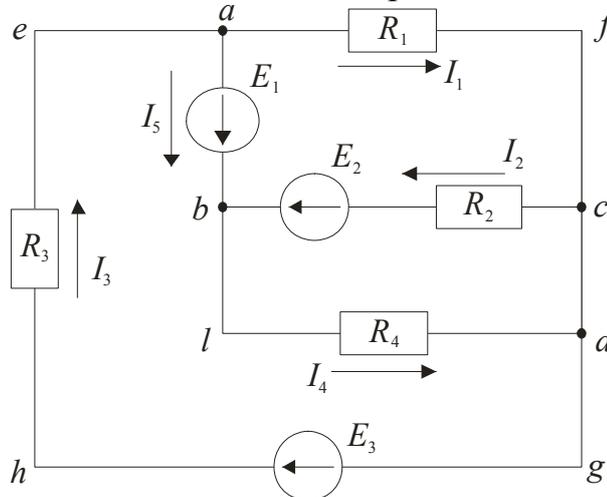


Рис. 1.1.6

Решение

Зададим положительные направления токов в ветвях цепи I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 . Для определения этих токов составим уравнения по законам Кирхгофа.

Для узла a

$$I_3 - I_1 - I_5 = 0.$$

Для узла b

$$I_2 + I_5 - I_4 = 0.$$

Для контура $abcfa$

$$E_2 - E_1 = I_1 R_1 + I_2 R_2.$$

Для контура $bcdlb$

$$E_2 = I_2 R_2 + I_4 R_4.$$

Для контура $aldghea$

$$E_1 + E_3 = I_3 R_3 + I_4 R_4.$$

Совместное решение этих пяти уравнений позволит определить значения всех токов в ветвях цепи.

Рассмотрим решение этой же задачи методом контурных токов. Зададим положительные направления контурных токов I_{k1}, I_{k2}, I_{k3} (рис. 1.1.7) соответственно в контурах $abcfa, bcdlb, aldghea$.

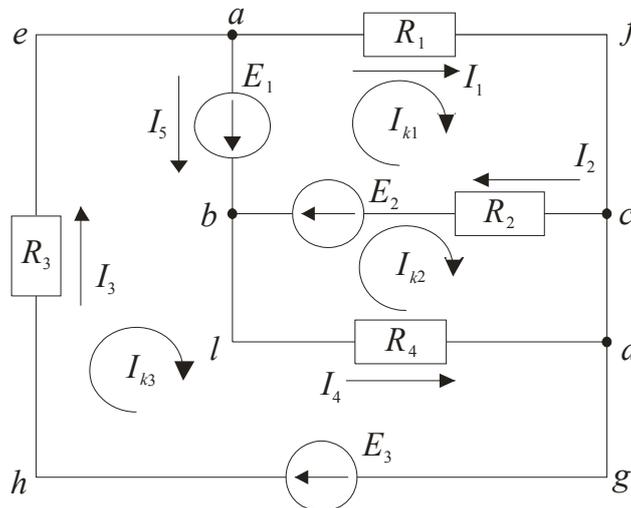


Рис. 1.1.7

Для этих контуров составим уравнения по второму закону Кирхгофа.

Для контура $abcfa$

$$E_2 - E_1 = I_{k1}(R_1 + R_2) - I_{k2}R_2.$$

Для контура *bcdlb*

$$-E_2 = I_{k2}(R_2 + R_4) - I_{k1}R_2 - I_{k3}R_4.$$

Для контура *aldghea*

$$E_1 + E_3 = I_{k3}(R_3 + R_4) - I_{k2}R_4.$$

Совместное решение этих трех уравнений позволит определить контурные токи I_{k1} , I_{k2} , I_{k3} . По контурным токам найдем значения действующих токов:

$$I_1 = I_{k1}, I_2 = I_{k1} - I_{k2}, I_3 = I_{k3},$$

$$I_4 = I_{k3} - I_{k2}, I_5 = I_{k3} - I_{k1}.$$

Задача 1.1.4. Найти токи в ЭЦ (рис. 1.1.8), если $E_1 = 100$ В, $E_2 = 30$ В, $E_3 = 10$ В, $E_4 = 6$ В, $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 10$ Ом, $R_4 = 6$ Ом, $R_5 = 5$ Ом, $R_6 = 15$ Ом, $r_{04} = 1$ Ом.

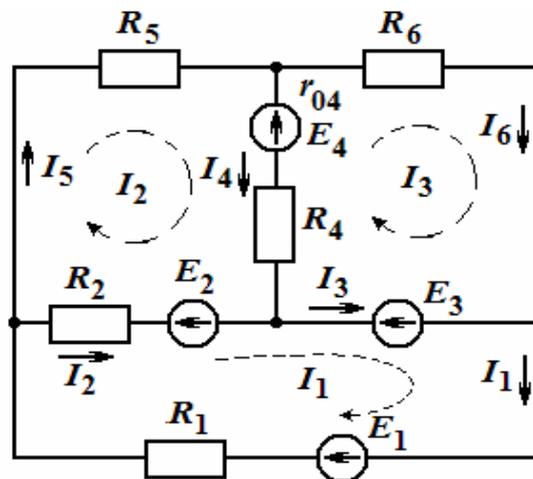


Рис. 1.1.8

Решение

Данная цепь содержит 6 ветвей, 4 узла и 3 контура. Если использовать метод законов Кирхгофа, то получим 6 уравнений, и определители будут сложны для ручных вычислений. В этом случае удачным будет применение метода контурных токов.

Выберем направления контурных токов, которые обозначены: I_1 , I_2 , I_3 .

Составим систему уравнений для контуров по 2-му закону Кирхгофа:

$$E_1 - E_2 - E_3 = (R_1 + R_2) I_1 - R_3 I_2;$$

$$E_2 - E_4 = (R_2 + R_5 + r_{04} + R_4) I_2 + (r_{04} + R_4) I_3 - R_2 I_1;$$

$$E_3 - E_4 = (R_6 + r_{04} + R_4) I_3 + (r_{04} + R_4) I_2.$$

После подстановки числовых значений имеем:

$$60 = 20 I_1 - 10 I_2;$$

$$24 = -10 I_1 + 22 I_2 + 7 I_3;$$

$$16 = 7 I_2 + 22 I_3.$$

Решив эту систему уравнений, найдем контурные токи:

$$I_1 = 5 \text{ А}; I_2 = 4 \text{ А}; I_3 = -2 \text{ А}.$$

Затем определяем истинные токи в ветвях. В ветви с E_1 истинный ток I_1 имеет направление контурного тока I_1 и равен $I_1 = I_1 = 5 \text{ А}$. В ветви с R_5 ток равен 4 А . В ветви с R_6 истинный ток I_6 имеет направление, противоположное контурному току I_3 , и равен $I_6 = -I_3 = 2 \text{ А}$.

В ветви с R_2 истинный ток I_2 получится от наложения контурных токов I_1 и I_2 и будет иметь направление большего из них, т.е. I_1 . Он равен: $I_2 = I_1 - I_2 = 5 - 4 = 1 \text{ А}$. В ветви с R_4 истинный ток I_4 получится от наложения контурных токов I_2 и I_3 и будет иметь направление контурного тока I_2 : $I_4 = I_2 + I_3 = 4 + (-2) = 2 \text{ А}$. В ветви с ЭДС E_3 истинный ток I_3 получится от наложения контурных токов I_1 и I_3 и будет иметь направление контурного тока I_1 : $I_3 = I_1 + I_3 = 5 + (-2) = 3 \text{ А}$.

1.2. Задачи для самостоятельного решения

Задача 1.2.1. Упрощение электрической цепи с одним источником тока. Применение закона Ома.

Определить токи на всех участках смешанной цепи, общую мощность, развиваемую током в цепи, если ЭДС источника питания $E = 30 \text{ В}$, сопротивления $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = 1 \text{ Ом}$, $R_3 = 5 \text{ Ом}$, $R_4 = 6 \text{ Ом}$, $R_5 = 3 \text{ Ом}$, $R_6 = 10 \text{ Ом}$ (рис.1.2.1).

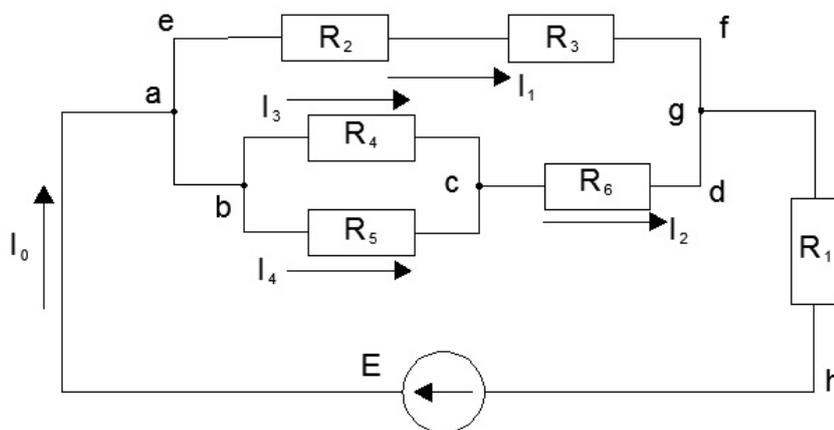


Рис. 1.2.1

Задача 1.2.2. Расчёт с использованием законов Кирхгофа цепи с несколькими источниками тока.

Задана сложная цепь, в которой два источника ЭДС: $E_1 = 120 \text{ В}$, $E_2 = 110 \text{ В}$. Сопротивления в цепи равны: $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = 1 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$, $R_4 = 2 \text{ Ом}$, $R_5 = 2 \text{ Ом}$. Определить величины и направления токов на всех участках заданной цепи (рис. 1.2.2).

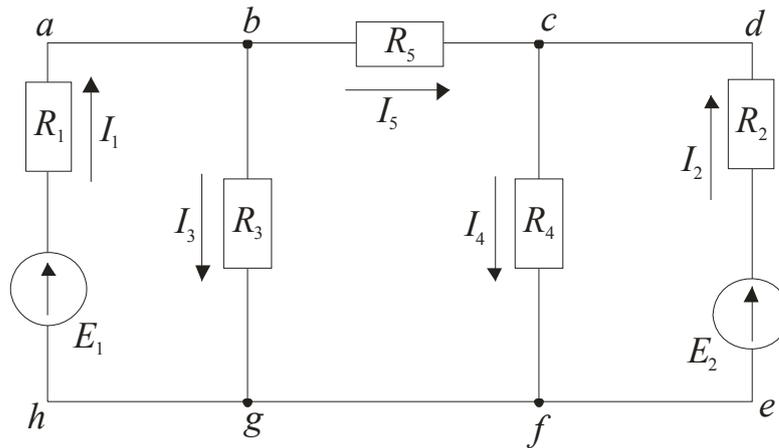


Рис. 1.2.2

Задача 1.2.3. Расчёт цепи с использованием метода контурных токов.

Определить токи на всех участках сложной цепи (рис.1.2.3), если известно, что $E_1 = 130$ В, $E_2 = 40$ В, $E_3 = 100$ В, $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 5$ Ом, $R_3 = 2$ Ом, $R_4 = 4$ Ом, $R_5 = 5$ Ом, $R_6 = 5$ Ом.

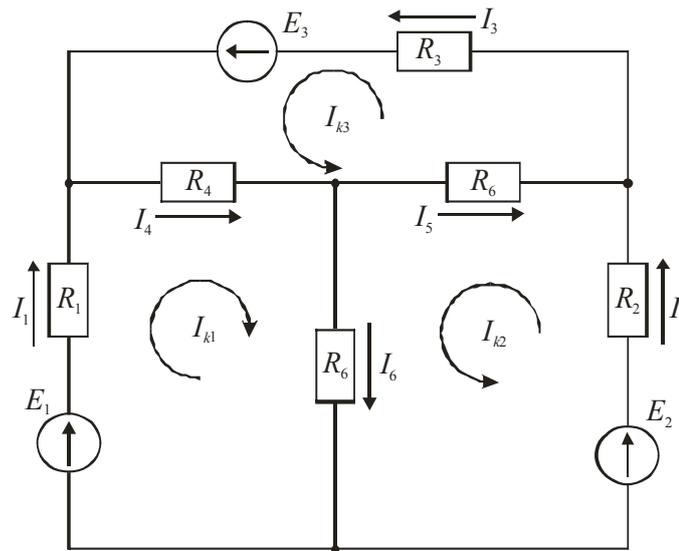


Рис. 1.2.3

Задача 1.2.4. Дана электрическая цепь (рис.1.2.4) с ЭДС $E_1 = 50$ В, $E_2 = 80$ В и сопротивлениями $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 10$ Ом, $R_3 = 20$ Ом. Пользуясь законами Кирхгофа, определить токи в ветвях цепи.

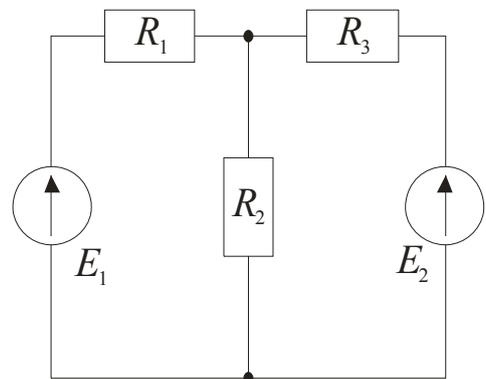


Рис. 1.2.4

2. ЛИНЕЙНЫЕ ОДНОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

2.1. Примеры решения задач

Задача 2.1.1. Задан комплекс действующего значения синусоидального тока $\dot{I} = 10e^{j30^\circ}$. Требуется определить действующее значение тока, его начальную фазу, комплексную амплитуду тока, амплитуду тока, комплекс его мгновенного значения и мгновенное значение тока.

Р е ш е н и е

Действующее значение тока равно модулю комплекса действующего значения тока, т.е.

$$I = 10 \text{ А.}$$

Начальная фаза тока определяется по степени числа e в формуле для комплекса действующего значения тока, т.е.

$$\varphi = 30^\circ.$$

Комплексная амплитуда тока

$$\dot{I}_m = \dot{I} \cdot \sqrt{2} = \sqrt{2} \cdot 10e^{j30^\circ} = 14,1e^{j30^\circ}.$$

Амплитуда тока в соответствии с предыдущей формулой

$$I_m = 14,1 \text{ А.}$$

Комплекс мгновенного значения тока

$$i(t) = 14,1e^{j(\omega t + 30^\circ)} = 14,1 \cos(\omega t + 30^\circ) + j14,1 \sin(\omega t + 30^\circ).$$

Мгновенное значение тока в соответствии с предыдущей формулой

$$i = 14,1 \sin(\omega t + 30^\circ).$$

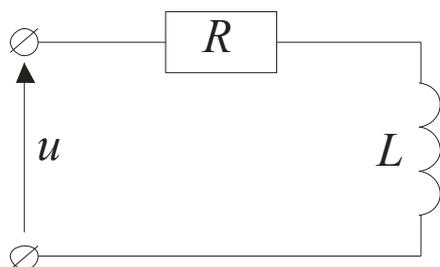


Рис. 2.1.1

Задача 2.1.2. Требуется выразить в комплексной форме полное сопротивление цепи, состоящей из последовательно соединенных активного сопротивления $R = 80$ Ом и индуктивности $L = 0,012$ Гн, если угловая частота синусоидального напряжения, приложенного к цепи, равна $\omega = 5000$ рад/с (рис. 2.1.1). Построить треугольник сопротивлений.

Р е ш е н и е

Индуктивное сопротивление

$$X_L = \omega L = 5000 \cdot 0,012 = 6 \text{ Ом.}$$

Комплекс полного сопротивления цепи в алгебраической форме

$$\underline{Z} = R + jX_L = 8 + j6.$$

Модуль комплекса полного сопротивления цепи

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ Ом}.$$

Сдвиг по фазе между напряжением и током в цепи находим по формулам

$$\varphi = \arctg \frac{X_L}{R} = \arctg \frac{6}{8} = 36^\circ 50'.$$

Комплекс полного сопротивления в тригонометрической форме имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \underline{Z} &= Z \cos \varphi + jZ \sin \varphi = \\ &= 10 \cos 36^\circ 50' + j10 \sin 36^\circ 50'. \end{aligned}$$

Комплекс полного сопротивления в показательной форме

$$\underline{Z} = Ze^{j\varphi} = 10e^{j36^\circ 50'}.$$

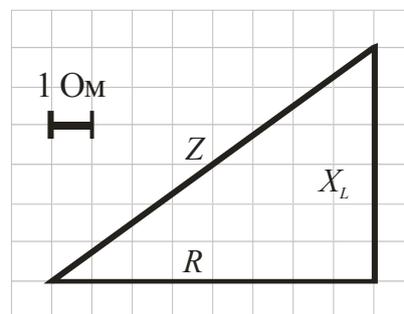


Рис. 2.1.2

Треугольник сопротивлений показан на рис. 2.1.2.

Задача 2.1.3. На цепь, состоящую из параллельно включённых резистора и катушки индуктивности (рис. 2.1.3), действует напряжение $u = U_m \sin \omega t$. Известны величины: сопротивления R , индуктивности L , частоты ω и амплитудного значения напряжения U_m . Определить показания измерительных приборов, включённых в цепь, записать выражение для мгновенного значения тока в неразветвленной части цепи, построить векторную диаграмму.

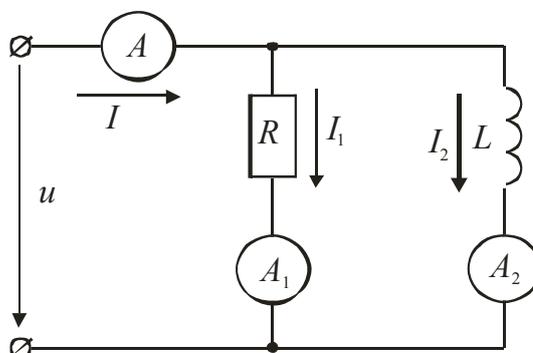


Рис. 2.1.3

Решение

Обозначим токи в ветвях цепи.

Действующее значение напряжения на входе цепи равно:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

Индуктивное сопротивление находим по формуле

$$X_L = \omega L.$$

Токи в ветвях (показания амперметров A_1 и A_2) определяем по закону Ома:

$$I_1 = I_a = \frac{U}{R}, \quad I_2 = I_p = \frac{U}{X_L},$$

где I_a – активный ток, I_p – реактивный ток.

Ток в неразветвленной части цепи (показание амперметра A) вычисляется по формуле

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2}.$$

Сдвиг по фазе между действующим на цепь напряжением и током в неразветвленной части цепи определяется в виде

$$\varphi = \arccos \frac{I_1}{I} = \arcsin \frac{I_2}{I} = \operatorname{arctg} \frac{I_2}{I_1}.$$

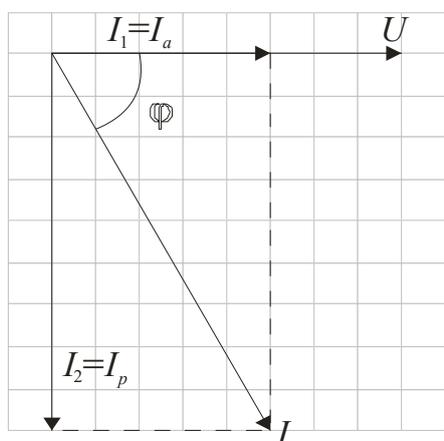


Рис. 2.1.4

Мгновенное значение тока в неразветвленной части цепи

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

где $I_m = I\sqrt{2}$ – амплитудная величина переменного тока, а знак «минус» показывает, что напряжение «опережает» ток на угол φ .

Векторная диаграмма представлена на рис. 2.1.4.

Задача 2.1.4. Дана цепь с последовательно соединенными резистором, катушкой индуктивности и конденсатором, на которую действует синусоидальное напряжение $u = U_m \sin \omega t$. Известны значения: сопротивления резистора R , индуктивности катушки L , емкости конденсатора C , частоты действующего на цепь напряжения ω и его амплитуды U_m . Определить показания приборов в цепи (рис. 2.1.5) и построить векторную диаграмму цепи.

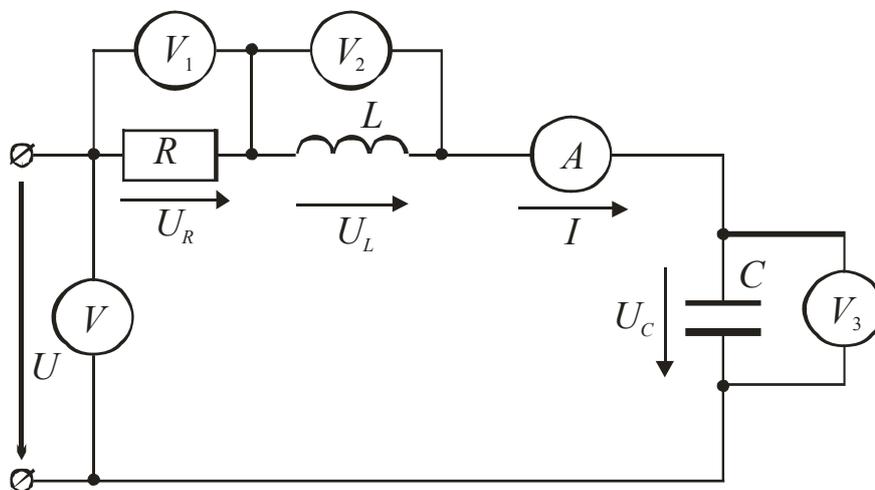


Рис. 2.1.5

Решение

Обозначим положительные направления тока и напряжений, действующих на элементах цепи.

Определяем:

- индуктивное и емкостное сопротивления

$$X_L = \omega L, \quad X_C = \frac{1}{\omega C};$$

- полное сопротивление цепи

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

- действующее значение напряжения, действующего на цепь (показания вольтметра U)

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}};$$

- действующее значение тока в цепи (показание амперметра I)

$$I = \frac{U}{Z};$$

- действующие значения напряжений на элементах цепи (показания вольтметров V_1, V_2, V_3)

$$U_R = IR, \quad U_L = IX_L, \quad U_C = IX_C.$$

Строим векторную диаграмму, которая в зависимости от соотношения сопротивлений X_L и X_C может иметь вид, показанный на рис. 2.1.6.

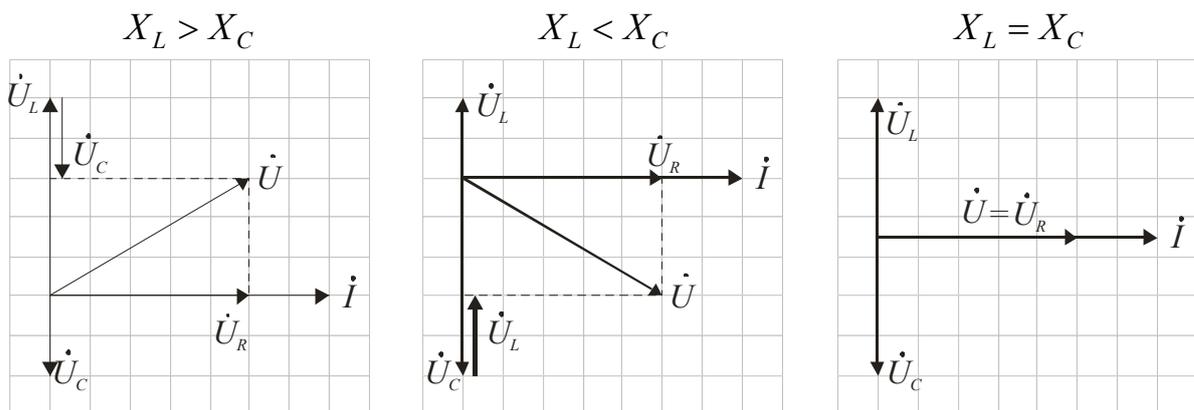


Рис. 2.1.6

2.2. Задачи для самостоятельного решения

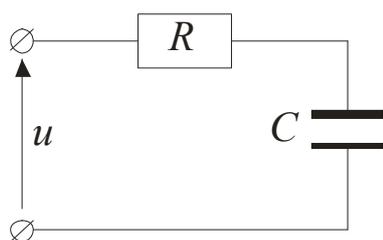


Рис. 2.2.1

Задача 2.2.1. Требуется выразить в комплексной форме полное сопротивление цепи, состоящей из последовательно соединённых активного сопротивления $R = 60$ Ом и емкости $C = 80$ мкФ, частота тока в цепи $f = 50$ Гц (рис.2.2.1).

Задача 2.2.2. На цепь, состоящую из параллельно соединенных резистора и конденсатора (рис. 2.2.2), действует напряжение $u = U_m \sin \omega t$. Известны величины: сопротивления R , емкости конденсатора C , частоты ω и амплитудного напряжения U_m . Определить показания измерительных приборов, включенных в цепь, записать выражение для мгновенного значения тока в неразветвленной части цепи, построить векторную диаграмму.

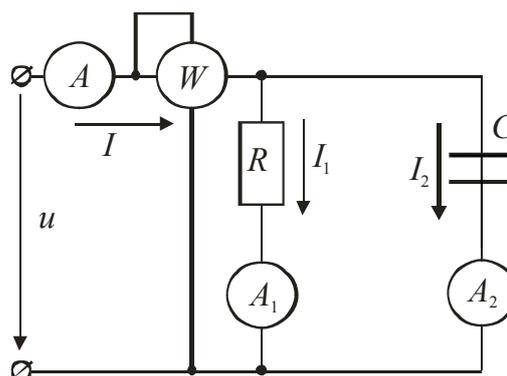


Рис. 2.2.2

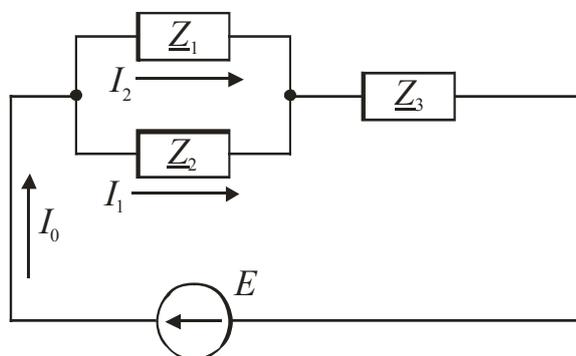


Рис. 2.2.3

Задача 2.2.3. Определить токи на всех участках сложной цепи, если $\underline{Z}_1 = 10 - j15$, $\underline{Z}_2 = 2 + j6$, $\underline{Z}_3 = 3,33 + j2$ и приложенная к цепи ЭДС $E = 120$ В (рис. 2.2.3). Построить векторную диаграмму.

Задача 2.2.4. Фазовый сдвиг φ между напряжением на индуктивной катушке и током $i = 7 \sin(628t + 45^\circ)$ равен 30° , при этом активная мощность $P = 160$ Вт. Определить полное, активное и реактивное сопротивления катушки, её индуктивность, полную и реактивную мощности. Записать выражение для мгновенных значений напряжения на катушке, на её активном и индуктивном сопротивлениях. Построить векторную диаграмму для момента времени $t=0$.

3. ТРЁХФАЗНЫЕ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

3.1. Примеры решения задач

Задача 3.1.1. В трехфазную четырехпроводную цепь с симметричным фазным напряжением $U_{\text{л}}$ включены звездой симметричные активные сопротивления $R_a=R_b=R_c$ (рис. 3.1.1). Определить фазные и линейные токи, линейное напряжение, ток в нейтральном проводе, активную мощность всей цепи и каждой фазы, если известны фазное напряжение $U_{\text{ф}}$, сопротивления нагрузки $R_a=R_b=R_c$. Построить векторную диаграмму и вывести формулу для линейного напряжения.

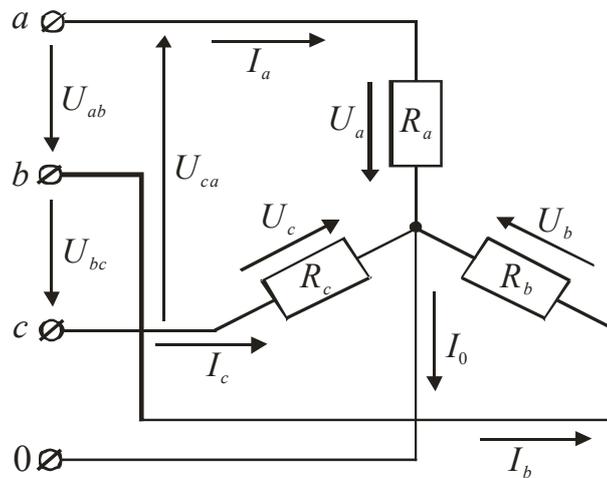


Рис. 3.1.1

Решение

Обозначим в цепи положительные направления фазных и линейных напряжений, фазных (линейных) токов.

Определяем фазные токи по известному фазному напряжению $U_{\text{ф}} = U_a = U_b = U_c$:

$$I_a = \frac{U_a}{R_a} = I_b = \frac{U_b}{R_b} = I_c = \frac{U_c}{R_c}.$$

При соединении звездой линейные токи равны фазным токам. Так как нагрузка активная, фазные токи совпадают по фазе с фазными напряжениями.

Строим векторную диаграмму (рис. 3.1.2).

Опускаем перпендикуляр из средней точки на отрезок U_{ab} , который делится перпендикуляром пополам. Из прямоугольного треугольника находим

$$\frac{U_{ab}}{2} = U_a \cos 30^\circ = U_a \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow U_{ab} = U_a \sqrt{3} = U_{\text{ф}} \sqrt{3}.$$

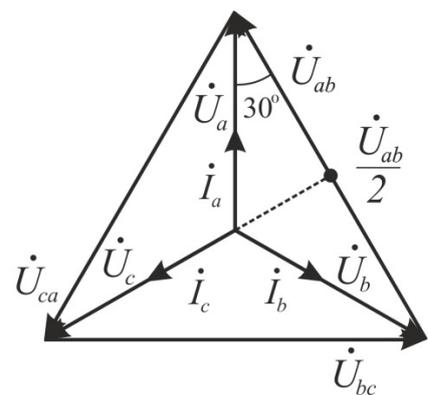


Рис. 3.1.2

Определяем линейные напряжения:

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

Ток в нейтральном проводе

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_a = \dot{I}_b = \dot{I}_c = 0.$$

Находим:

- активную мощность каждой фазы

$$P_a = P_b = P_c = I_a U_a = I_b U_b = I_c U_c;$$

- активную мощность всей цепи

$$P = 3P_a.$$

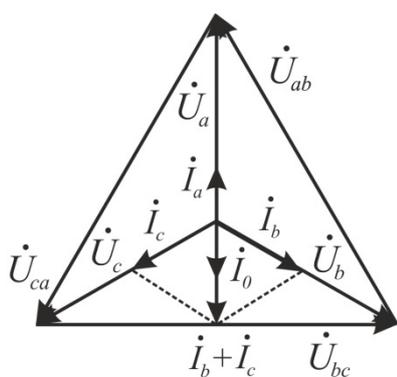


Рис. 3.1.3

Задача 3.1.2. В трехфазную четырехпроводную цепь с симметричным линейным напряжением $U_{\text{л}}$ (см. рис. 3.1.1) включены звездой активные сопротивления $R_a = R_b = R_c$. Определить фазные и линейные токи, ток в нейтральном проводе, активную мощность всей цепи и каждой фазы, если известны значения $U_{\text{л}}$, R_a , $R_b = R_c$. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

Решение

Определяем фазные напряжения при соединении звездой:

$$U_{\text{ф}} = U_a = U_b = U_c = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}},$$

где $U_{\text{л}} = U_{ab} = U_{bc} = U_{ca}$.

При соединении звездой фазные токи равны линейным. Находим фазные (линейные) токи

$$I_a = \frac{U_a}{R_a}, \quad I_b = I_c = \frac{U_b}{R_b} = \frac{U_c}{R_c}.$$

Так как нагрузка активная, то фазные токи совпадают по фазе с соответствующими фазными напряжениями. Ток в нейтральном проводе определяется по векторной диаграмме согласно уравнению

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c.$$

Строим векторную диаграмму (см. рис. 3.1.3).

Находим:

- активные мощности фаз

$$P_a = I_a U_a, \quad P_b = I_b U_b = P_c = I_c U_c;$$

- общую активную мощность нагрузки

$$P = P_a + 2P_b.$$

Задача 3.1.3. В трехфазную четырехпроводную цепь с симметричным линейным напряжением $U_{\text{л}}$ (рис. 3.1.4) включены звездой активные сопротивления $R_a=R_b=R_c$ и реактивные сопротивления $X_a=X_b=X_c$. Определить фазные и линейные токи, ток в нейтральном проводе, активную мощность всей цепи и каждой фазы, если известны значения $U_{\text{л}}$, R_a , R_b , R_c , X_a , X_b , X_c . Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

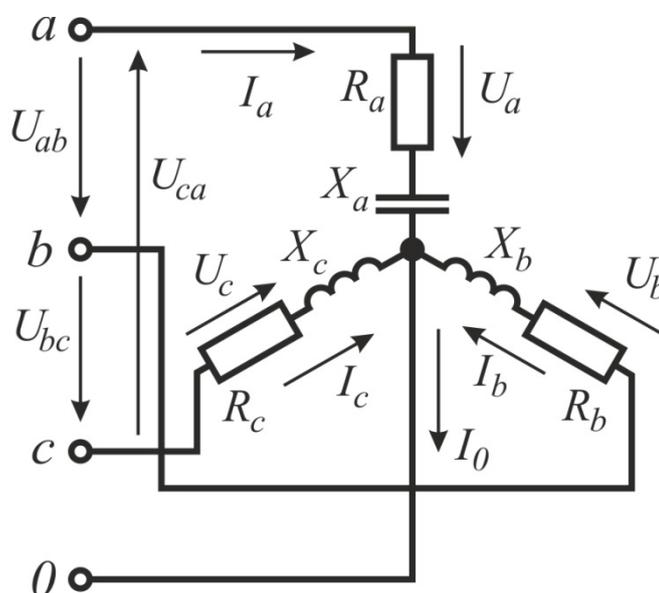


Рис. 3.1.4

Решение

Обозначим в цепи положительные направления фазных и линейных напряжений, фазных (линейных) токов.

Определяем:

- фазное напряжение при соединении звездой

$$U_{\phi} = U_a = U_b = U_c = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}};$$

- полные сопротивления фаз

$$Z_a = \sqrt{R_a^2 + X_a^2}, \quad Z_b = \sqrt{R_b^2 + X_b^2}, \quad Z_c = \sqrt{R_c^2 + X_c^2};$$

- угол сдвига фаз между током и напряжением в каждой фазе приемника

$$\varphi_a = \arccos \frac{X_a}{Z_a}, \quad \varphi_b = \arccos \frac{X_b}{Z_b}, \quad \varphi_c = \arccos \frac{X_c}{Z_c};$$

- фазные токи

$$I_a = \frac{U_a}{Z_a}, \quad I_b = \frac{U_b}{Z_b}, \quad I_c = \frac{U_c}{Z_c}.$$

I_a опережает U_a на угол φ_a . I_b отстает от U_b на угол φ_b . I_c отстает от U_c на угол φ_c .

При соединении звездой линейные токи равны фазным. Ток в нейтральном проводе определяется по векторной диаграмме (рис. 3.1.5) согласно уравнению

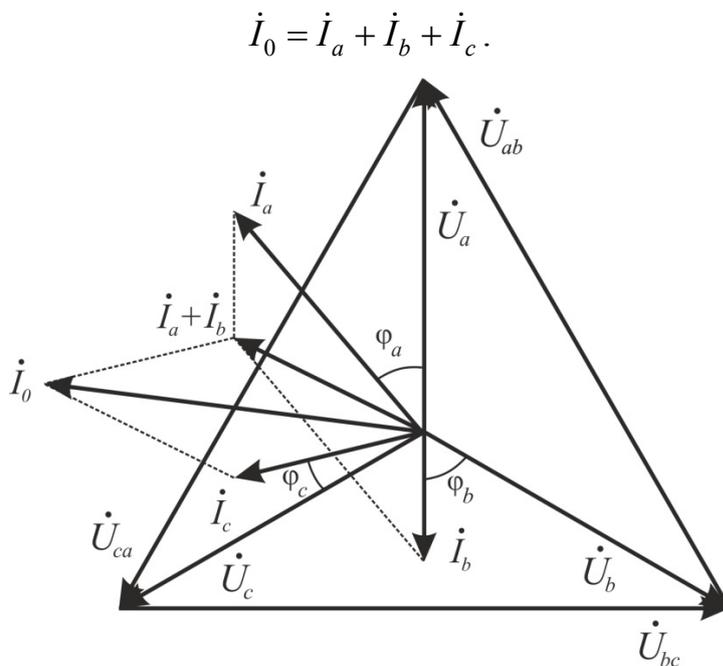


Рис. 3.1.5

Находим:

- активные мощности фаз

$$P_a = I_a^2 R_a, \quad P_b = I_b^2 R_b, \quad P_c = I_c^2 R_c;$$

- активную мощность нагрузки

$$P = P_a + P_b + P_c.$$

Задача 3.1.4. В трехфазную цепь с симметричным линейным напряжением $U_{\text{л}}$ (рис. 3.1.6) включены треугольником активные сопротивления $R_{ab}=R_{bc}=R_{ca}$. Определить фазные и линейные токи, активную мощность

всей цепи и каждой фазы, если известны значения $U_{\text{л}}$, $R_{ab}=R_{bc}=R_{ca}$. Построить векторную диаграмму токов и напряжений и вывести формулу для линейного тока.

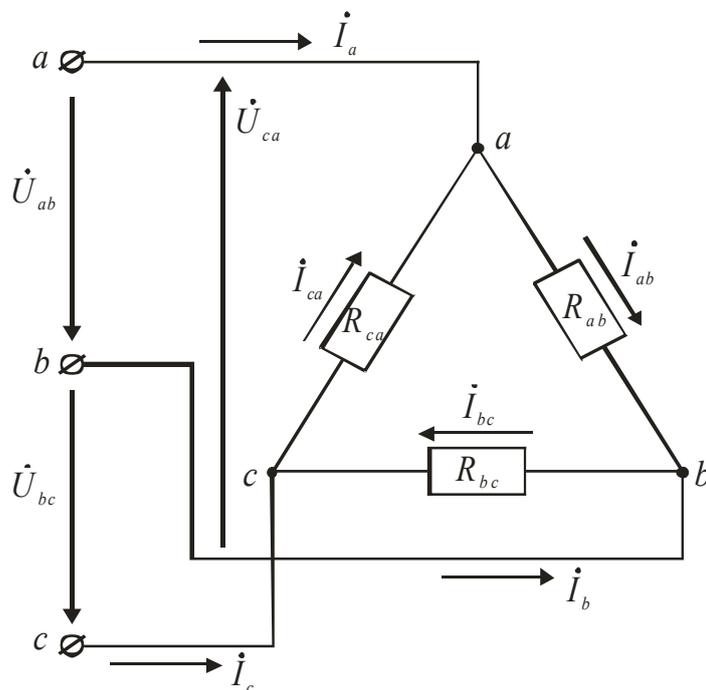


Рис. 3.1.6

Решение

Обозначим в цепи положительные направления линейных напряжений, фазных и линейных токов.

Определяем фазные токи по известному линейному напряжению $U_{\text{л}} = U_{ab} = U_{bc} = U_{ca}$:

$$I_{ab} = \frac{U_{ab}}{R_{ab}} = I_{bc} = \frac{U_{bc}}{R_{bc}} = I_{ca} = \frac{U_{ca}}{R_{ca}} = I_{\phi}.$$

При соединении треугольником сопротивлений нагрузки фазные напряжения в фазах нагрузки равны линейным напряжениям.

Так как нагрузка активная, фазные токи совпадают по фазе с вызвавшими их линейными напряжениями.

Строим векторную диаграмму (рис. 3.1.7). Опускаем перпендикуляр из средней точки на вектор I_b , который делится перпендикуляром пополам.

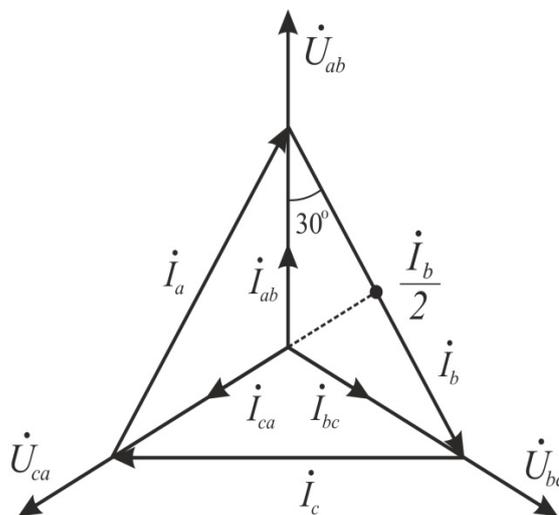


Рис. 3.1.7

Из прямоугольного треугольника находим

$$\frac{I_b}{2} = I_{ab} \cos 30^\circ = I_{ab} \frac{\sqrt{3}}{2}.$$

Отсюда

$$I_b = I_{ab} \sqrt{3} = I_\phi \sqrt{3}.$$

Определяем:

- линейные токи

$$I_a = I_b = I_c = I_\phi \sqrt{3};$$

- активную мощность каждой фазы

$$P_a = P_b = P_c = I_{ab} U_{ab} = I_{bc} U_{bc} = I_{ca} U_{ca};$$

- активную мощность всей цепи

$$P = 3P_a.$$

3.2. Задачи для самостоятельного решения

Задача 3.2.1. В трёхфазную цепь без нейтрального провода с симметричным линейным напряжением U_Δ включены звездой сопротивления нагрузки $R_a = R_b = R_c$ (рис. 3.2.1). Определить фазные напряжения в нагрузке, если произошёл обрыв фазы b .

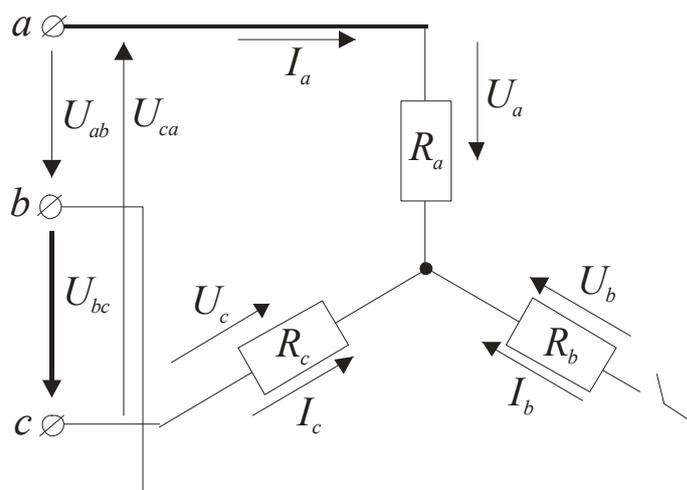


Рис. 3.2.1

Задача 3.2.2. К источнику трёхфазной сети с линейным напряжением $U_\Delta = 380$ В и частотой $f = 50$ Гц подключена равномерная нагрузка, соединённая по схеме «звезда», с полным сопротивлением в фазе $=90$ Ом и

индуктивностью $L = 180$ мГн. Определить активную, реактивную и полную мощности, коэффициент мощности, действующие значения линейного тока и напряжения. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

Задача 3.2.3. К четырехпроводной трёхфазной сети с действующим значением линейного напряжения 220 В подключена неравномерная активная нагрузка с потребляемой мощностью в фазах $P_A = 3$ кВт, $P_B = 1,8$ кВт, $P_C = 0,6$ кВт. Определить действующее значение тока в нейтральном проводе.

Задача 3.2.4. В трехфазную четырехпроводную цепь с симметричным линейным напряжением $U_{\text{л}}$ включены звездой симметричные активные сопротивления $R_a = R_b = R_c$ (рис. 3.2.2). Определить фазные и линейные токи, линейное напряжение, ток в нейтральном проводе, активную мощность всей цепи и каждой фазы, если известны: фазное напряжение $U_{\text{ф}} = 100$ В, сопротивление нагрузки $R_a = R_b = R_c = 50$ Ом. Построить векторную диаграмму цепи.

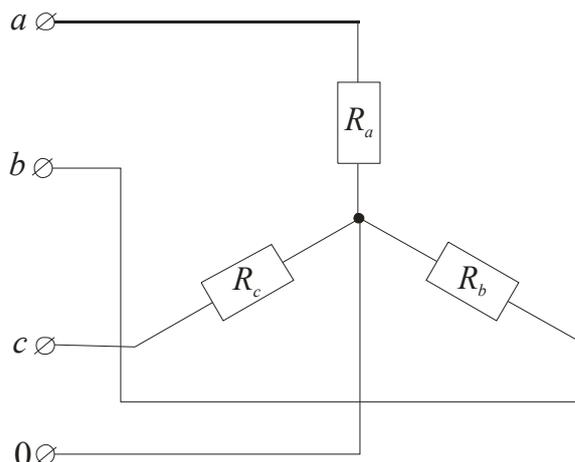


Рис. 3.2.2

ОТВЕТЫ НА ЗАДАЧИ

Задача 1.2.1. $I_0 = 6 \text{ A}$; $I_1 = 4 \text{ A}$; $I_2 = 2 \text{ A}$; $I_3 = 0,67 \text{ A}$; $I_4 = 1,33 \text{ A}$; $P_a = 180 \text{ Вт}$.

Задача 1.2.2. $I_1 = 20 \text{ A}$; $I_2 = 30 \text{ A}$; $I_3 = 10 \text{ A}$; $I_4 = 40 \text{ A}$; $I_5 = 10 \text{ A}$.

Задача 1.2.3. $I_1 = 10 \text{ A}$; $I_2 = 2 \text{ A}$; $I_3 = 5 \text{ A}$; $I_4 = 15 \text{ A}$; $I_5 = 3 \text{ A}$; $I_6 = 12 \text{ A}$.

Задача 2.2.1. $\underline{Z} = 72,2 \cos 33^\circ 40' - j 72,2 \sin 33^\circ 40' = 10 e^{-j 33^\circ 40'}$.

Задача 2.2.2. $I_0 = 10,6 \text{ A}$; $I_1 = 4,47 \text{ A}$; $I_2 = 12,75 \text{ A}$.

Задача 2.2.3. $Z = 7,5 \text{ Ом}$; $R = 6,5 \text{ Ом}$; $L = 6 \text{ мГн}$; $S = 185 \text{ Вт}$; $Q = 92,5 \text{ В*А}$.

Задача 3.2.1. $P = 1,26 \text{ Вт}$; $Q = 1 \text{ кВт}$; $S = 1,62 \text{ кВт}$; $I_{\text{л}} = 2,45 \text{ A}$; $U_{\phi} = 220 \text{ В}$.

Задача 3.2.2. $I_N = 1,6 \text{ A}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Общая электротехника и электроника. Часть 1. Электроника [Текст]: учебник / Э.М. Пинт [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2015.
2. Электротехника и электроника [Текст]: учебное пособие / Э.М. Пинт [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2014.
3. Основы теории, расчета, применения линейных электрических цепей и электроснабжение объектов [Текст]: учебное пособие / Э.М. Пинт [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2015.
4. Электроснабжение с основами электротехники [Текст]: учебное пособие / Э.М. Пинт [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2015

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА	5
1.1. Примеры решения задач	5
1.2. Задачи для самостоятельного решения	12
2. ЛИНЕЙНЫЕ ОДНОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	14
2.1. Примеры решения задач	14
2.2. Задачи для самостоятельного решения	18
3. ТРЁХФАЗНЫЕ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА	19
3.1. Примеры решения задач	19
3.2. Задачи для самостоятельного решения	24
ОТВЕТЫ НА ЗАДАЧИ	26
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	27

Учебное издание

Пинт Эдуард Михайлович

ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания к практическим занятиям
по направлениям подготовки 23.03.03 «Эксплуатация
транспортно-технологических машин и комплексов»
и 23.03.01 «Технология транспортных процессов»

Редактор М.А. Сухова
Верстка Н.А. Сазонова

Подписано в печать 4.02.16. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 1,62. Уч.-изд. л. 1,75. Тираж 80 экз.
Заказ №183.

Издательство ПГУАС.
440028, г.Пенза, ул. Германа Титова, 28.