

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ

Составители

Климченкова Н.В.

Кириенко Т.В.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к самостоятельной работе по дисциплине

«ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ
ТЕХНИКА»

(для студентов неэлектротехнических специальностей

всех форм обучения)

В печать 100 экз.

Первый проректор

А.Н.Фесенко

Утверждено

на заседании

методического совета ДГМА

Протокол № 16 от 25.06.2004

Краматорск 2005

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к самостоятельной работе по дисциплине

«ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ
ТЕХНИКА»

(для студентов неэлектротехнических специальностей
всех форм обучения)

Краматорск 2005

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к самостоятельной работе по дисциплине

**«ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ
ТЕХНИКА»**

(для студентов неэлектротехнических специальностей

всех форм обучения)

Утверждено

на заседании

методического совета ДГМА

Протокол № 16 от 25.06.2004

Краматорск 2005

УДК 621

Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине “Электротехника, электроника и микропроцессорная техника” (для студентов неэлектротехнических специальностей всех форм обучения)/ Сост. Н.В.Климченкова, Т.В.Кириенко. – Краматорск: ДГМА, 2005. – 32 с.

Приведены варианты контрольных задач по первой части курса и рекомендации по их решению применительно к разделам: цепи постоянного тока, однофазные цепи переменного тока, трехфазные цепи переменного тока.

Могут быть использованы для проведения практических занятий в группах, выполнения контрольных работ, в качестве экзаменационных задач и при самостоятельном изучении разделов курса.

Составители

Н.В.Климченкова, доц.,
Т.В.Кириенко, ассист.Ответственный
за выпуск

А.М.Наливайко, доц.

Введение

Предлагаемые в методических указаниях контрольные задачи охватывают материал первой части курса “Электротехника, электроника и микропроцессорная техника” и соответствуют программе для неэлектротехнических специальностей вуза. Решение приведенных задач служит закреплению теоретических знаний и проверке глубины усвоения студентами соответствующих разделов. Каждому студенту в течение семестра необходимо решить индивидуальные контрольные задачи по следующим разделам:

- 1 Цепи постоянного тока с одним источником электроэнергии.
- 2 Цепи постоянного тока с несколькими источниками электроэнергии.
- 3 Однофазные цепи переменного тока с последовательным соединением приемников.
- 4 Однофазные цепи переменного тока с параллельным соединением приемников электроэнергии.
- 5 Однофазные цепи переменного тока со смешанным соединением приемников.
- 6 Трехфазные цепи переменного тока при соединении приемников электроэнергии по схеме «звезда».
- 7 Трехфазные цепи переменного тока при соединении приемников электроэнергии по схеме «треугольник».

Приступать к решению задач очередного раздела следует после изучения необходимого материала по прочитанным лекциям или по рекомендуемой литературе. В начале каждой задачи следует указать заданный вариант и исходные данные для своего варианта. Номер варианта контрольной задачи по каждому из разделов соответствует порядковому номеру фамилии студента в списке группы. Решение задачи необходимо вначале представить в общем виде, а затем ввести в используемые формулы цифровые величины и обязательно привести единицы всех найденных при расчете искомых величин. В ходе решения задачи необходимо использовать теоретические сведения, приведенные в каждом разделе данных методических указаний.

1 ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ОДНИМ ИСТОЧНИКОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Перед решением контрольной задачи по этому разделу необходимо самостоятельно ознакомиться по литературе [1...6] и конспекту лекций с основными элементами электрической цепи постоянного тока.

К основным физическим законам, позволяющим рассчитать режим работы электрической цепи постоянного тока любой сложности, относят закон Ома, закон сохранения заряда, закон сохранения энергии (первый и второй законы Кирхгофа). На их основе составляются уравнения состояния ветви, узла,

контура. Общей задачей расчета является определение токов во всех ветвях цепи при заданных параметрах элементов цепи и известной конфигурации цепи.

Электрические цепи постоянного тока с одним источником электроэнергии называют простыми. В данный раздел включены задачи по расчету простой цепи с линейными элементами.

Варианты индивидуальных контрольных задач по данному разделу для нечетных номеров приведены в таблице 1. На рисунке 1 изображены схемы электрических цепей, для которых при заданных параметрах элементов цепи необходимо определить: эквивалентное сопротивление R_3 на зажимах источника электроэнергии; токи во всех ветвях цепи; напряжения на всех резистивных элементах цепи; электродвижущую силу (ЭДС) источника электрической энергии при известном внутреннем сопротивлении источника R_0 ; активные мощности всех резистивных элементов; активную мощность, отдаваемую источником электроэнергии. Доказать баланс мощностей источника и приемников. Простые цепи обычно рассчитывают методом свертывания (преобразования): отдельные участки схемы упрощают и постепенным преобразованием приводят схему к одному эквивалентному сопротивлению R_3 на зажимах a и b источника электрической энергии. Схему упрощают путем замены группы последовательно или параллельно соединенных резисторов одним эквивалентным.

Если резисторы $R_1 \dots R_n$ включены в данной ветви последовательно, то их эквивалентное сопротивление найдем из выражения

$$R_3 = R_1 + R_2 + \dots + R_n. \quad (1)$$

Если резисторы включены параллельно между собой, то величину их обратного эквивалентного сопротивления найдем из выражения

$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}. \quad (2)$$

После преобразования схема принимает вид, из которого находим ток в неразветвленной части цепи:

$$I = U_{ab} / R_3,$$

где U_{ab} – напряжение между зажимами a и b источника электроэнергии;

R_3 - эквивалентное сопротивление цепи на этих зажимах.

Дальнейший расчет токов во всех ветвях цепи и напряжений на отдельных резисторных элементах проводим с использованием основных законов посредством обратного преобразования схемы электрической цепи к ее исходному виду. ЭДС источника электроэнергии найдем из выражения

$$E = U_{ab} + IR_0,$$

где $U_{ab} = IR_3$; I – ток в неразветвленной части цепи.

Активные мощности на резисторах найдем умножением сопротивления резистора на квадрат протекающего через него тока. Активную мощность, отдаваемую источником, найдем умножением напряжения на зажимах a и b на ток в неразветвленной части цепи ($P = U_{ab}I$). Сравнение суммы активных

мощностей всех резисторов цепи с мощностью источника покажет правильность расчета режима цепи (баланс мощностей).

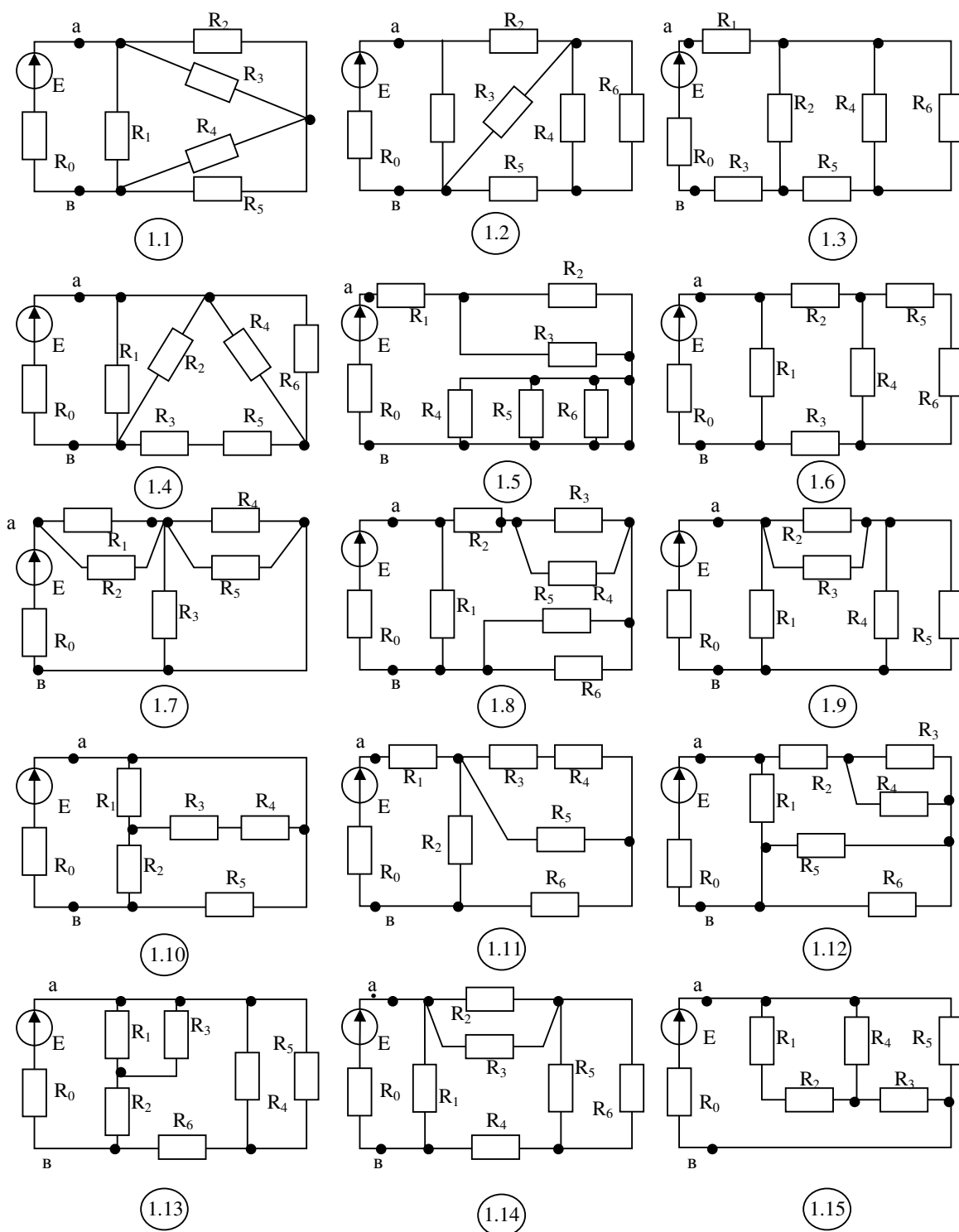


Рисунок 1 – Схемы электрических цепей

Варианты индивидуальных контрольных задач по данному разделу для четных номеров приведены в таблице 2. Расчет токов во всех ветвях цепи и напряжений на отдельных резисторах проводим с использованием основных законов. Для ветви с заданным током находим напряжение как произведение заданного тока на ее сопротивление. Далее рассматриваем другие ветви, соединенные с данной последовательно или параллельно и имеющие с ней одинаковый ток или напряжение на зажимах.

Таблица 1 – Исходные данные по первому разделу для нечетных номеров вариантов

Номер		U _{ab} , В	R ₀ , Ом	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	R ₄ , Ом	R ₅ , Ом	R ₆ , Ом
варианта	рисунка								
1	1.1	240	1,4	12	10	15	24	8	-
3	1.2	60	1,2	15	6	5	20	10	15
5	1.3	200	1,0	8	20	8	4	4	4
7	1.4	72	0,8	10	15	4	6	6	3
9	1.5	60	0,6	16	36	24	40	10	8
11	1.6	120	0,4	15	5	2	4	8	3
13	1.7	240	0,2	12	4	6	10	15	-
15	1.8	150	0,1	10	5	15	10	5	20
17	1.9	60	0,3	15	10	15	20	5	-
19	1.10	60	0,5	3	8	2	4	15	-
21	1.11	300	0,7	8	3	10	5	10	2
23	1.12	60	0,9	5	4	12	20	12	6
25	1.13	72	1,1	6	10	3	12	6	2
27	1.14	100	1,3	10	20	5	5	10	15
29	1.15	150	1,5	5	10	4	10	15	-

Таблица 2 – Исходные данные по первому разделу для четных номеров вариантов

Номер		I ₅ , А	R ₀ , Ом	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	R ₄ , Ом	R ₅ , Ом	R ₆ , Ом
варианта	рисунка								
2	1.1	7	0,2	15	15	10	7	5	-
4	1.2	5	0,4	20	5	8	15	10	10
6	1.3	6	0,6	8	15	8	4	5	4
8	1.4	8	0,8	12	12	10	10	5	10
10	1.5	5	0,1	10	10	10	20	5	5
12	1.6	10	0,3	15	5	5	10	2	8
14	1.7	8	0,5	4	8	8	6	10	-
16	1.8	12	0,7	15	6	10	3	5	10

Продолжение таблицы 2

Номер		I ₅ , А	R ₀ , Ом	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	R ₄ , Ом	R ₅ , Ом	R ₆ , Ом
варианта	рисунка								
18	1.9	15	1,0	20	8	7	5	4	-
20	1.10	10	1,5	5	10	2	8	12	-
22	1.11	20	0,9	6	5	8	4	8	3
24	1.12	6	1,2	3	5	10	15	10	5
26	1.13	15	1,4	6	10	8	12	6	8
28	1.14	40	1,3	10	20	15	5	15	10
30	1.15	15	1,1	9	10	8	10	10	-

2 ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕСКОЛЬКИМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Для решения контрольных задач по этому разделу необходимо предварительно ознакомиться с уравнениями электрического состояния, позволяющими рассчитать режим работы электрической цепи.

Электрическую цепь постоянного тока, содержащую две или более ветвей с источниками электрической энергии, называют сложной цепью. Анализ сложной цепи при известной конфигурации и параметрах ее элементов состоит в нахождении токов, напряжений и мощностей для всех элементов цепи. Классическим методом расчета таких цепей является непосредственное применение законов Кирхгофа (уравнений электрического состояния цепи). При большом количестве ветвей целесообразно применить метод контурных токов (метод вспомогательных неизвестных), что позволяет существенно уменьшить число решаемых уравнений (количество рассчитываемых контурных токов при этом гораздо меньше количества ветвей цепи).

Варианты индивидуальных контрольных задач по данному разделу для нечетных номеров приведены в таблице 3. На рисунке 2 изображены схемы электрических цепей, для которых при заданных параметрах элементов цепи необходимо выполнить следующее: выбрать положительные направления токов во всех ветвях и указать их стрелками на схеме; составить независимые уравнения по первому закону Кирхгофа для узлов схемы; составить уравнения по второму закону Кирхгофа для независимых контуров схемы; решить составленные уравнения и найти токи во всех ветвях; проверить баланс мощностей источников и приемников электроэнергии; составить уравнения по методу контурных токов и решить их, найти токи в ветвях.

Варианты индивидуальных контрольных задач по данному разделу для четных номеров приведены в таблице 4. На рисунке 3 изображены схемы электрических цепей, для которых при заданных параметрах элементов цепи необходимо выполнить то же самое, что указано для нечетных вариантов контрольных задач.

Таблица 3 – Исходные данные по второму разделу для нечетных номеров вариантов

Номер		E ₁ , В	E ₂ , В	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	R ₄ , Ом	R ₅ , Ом	R ₆ , Ом
варианта	рисунка								
1	2.1	24	96	8	16	8	8	6	5
3	2.2	110	130	6	2	5	4	6	5
5	2.3	48	24	4	4	8	8	8	8
7	2.4	14	20	3	2	4	5	1	2
9	2.5	20	8	9	4	15	10	8	7
11	2.6	25	10	8	12	5	7	10	15
13	2.7	100	150	30	20	100	80	150	40
15	2.8	25	10	14	10	20	20	15	30
17	2.9	16	8	9	10	5	4	6	10
19	2.10	30	40	1	4	3	1	2	3
21	2.11	120	100	30	21	14	11	10	12
23	2.12	60	80	2	8	5	5	6	8
25	2.13	90	110	20	15	5	5	15	10
27	2.14	36	10	4	2	3	8	7	1
29	2.15	28	25	8	5	2	2	2	6

Таблица 4 – Исходные данные по второму разделу для четных номеров вариантов

Номер		E ₁ , В	E ₂ , В	E ₃ , В	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	R ₄ , Ом	R ₅ , Ом
варианта	рисунка								
2	3.16	55	18	4	8	4	3	2	4
4	3.17	16	5	32	10	3	4	4	5
6	3.18	10	6	24	4	5	6	6	5
8	3.19	6	20	4	4	6	4	4	4
10	3.20	24	90	40	10	15	10	10	15
12	3.21	100	120	100	16	14	10	18	10
14	3.22	50	25	20	6	20	15	8	12
16	3.23	14	10	20	3	10	8	15	10
18	3.24	48	24	12	4	6	10	10	8
20	3.25	25	10	10	15	7	8	12	15
22	3.26	30	40	50	5	4	6	8	15
24	3.27	100	120	60	20	20	80	60	90
26	3.28	25	10	15	14	10	12	15	15
28	3.29	16	8	10	8	10	15	8	10
30	3.30	120	100	80	15	16	8	15	20

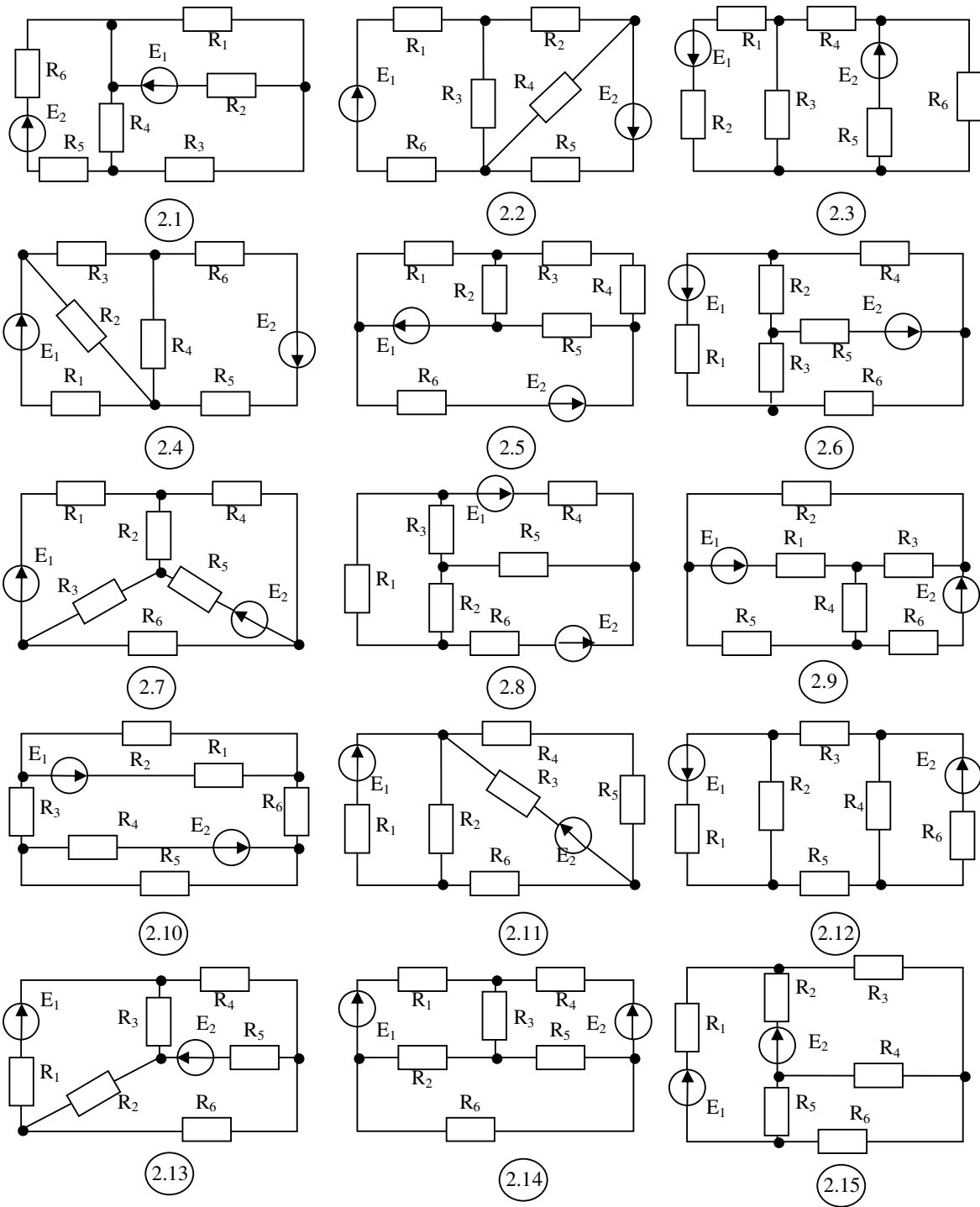
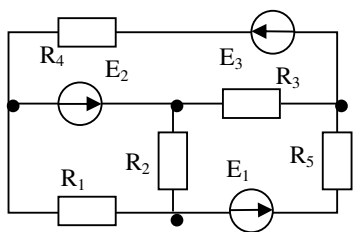
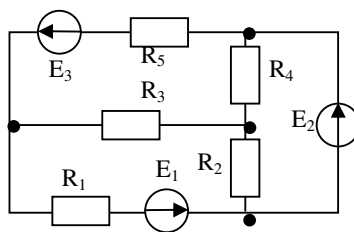


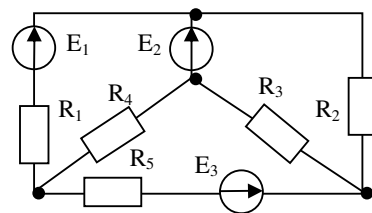
Рисунок 2 – Схемы электрических цепей



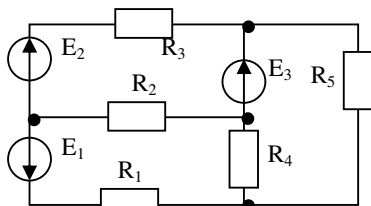
(3.16)



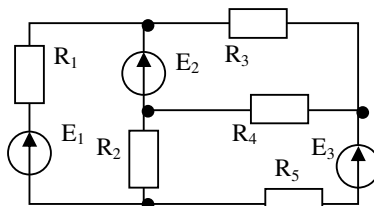
(3.17)



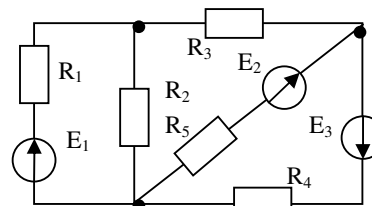
(3.18)



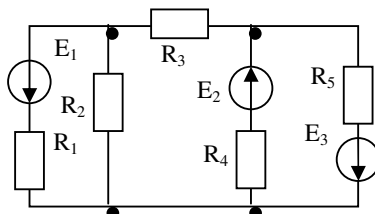
(3.19)



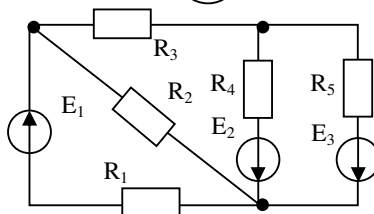
(3.20)



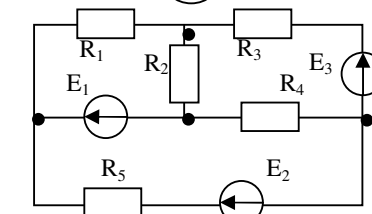
(3.21)



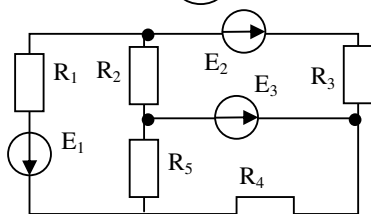
(3.22)



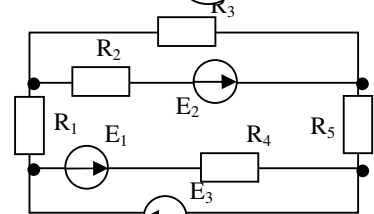
(3.23)



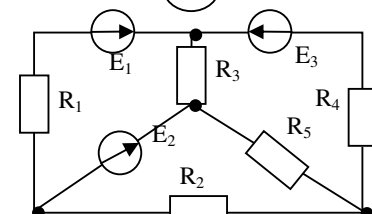
(3.24)



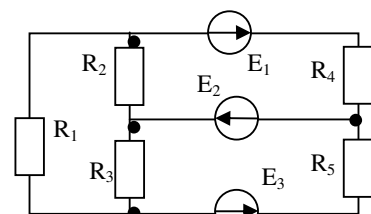
(3.25)



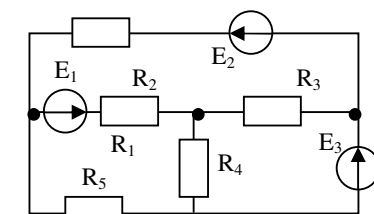
(3.26)



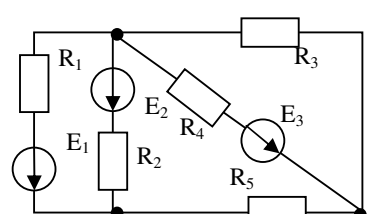
(3.27)



(3.28)



(3.29)



(3.30)

Рисунок 3 – Схемы электрических цепей

Для составления уравнений по первому и второму законам Кирхгофа прежде всего выбираем произвольно положительные направления токов во всех ветвях, показываем их стрелками на схеме цепи с обозначением (I_1, I_2, I_3 и т.д.). Число неизвестных токов равно числу ветвей схемы «в». Для их определения следует составить столько же (в) независимых уравнений. Число независимых уравнений по первому закону Кирхгофа на единицу меньше общего числа узлов «у» схемы цепи, т.е. нужно составить ($у - 1$) уравнений. На основании второго закона Кирхгофа составляем недостающие до числа «в» независимые уравнения, т.е. должно быть составлено $в-(у-1)$ уравнений. Для этого нужно выбирать независимые контуры так, чтобы каждый следующий контур содержал хотя бы одну ветвь, не вошедшую в контуры, для которых уравнения по второму закону Кирхгофа уже составлены.

После совместного решения системы независимых уравнений находим токи в ветвях. Если для какого-либо тока получено отрицательное значение, то действительное направление тока противоположно выбранному ранее.

Проверяем баланс мощностей: алгебраическая сумма мощностей всех источников электроэнергии должна быть равна арифметической сумме мощностей всех приемников электроэнергии.

Для расчета представленной цепи методом контурных токов принимаем те же, что и ранее, независимые контуры. В каждом из контуров произвольно выбираем положительное направление контурного тока (вспомогательная неизвестная, один ток во всех ветвях контура), показываем их на схеме цепи с обозначением: I_{11}, I_{22}, I_{33} и т.д. Для контурных параметров должен выполняться второй закон Кирхгофа. Составляем систему независимых уравнений для выбранных контуров по второму закону Кирхгофа и решаем ее. Затем от контурных токов переходим к токам в ветвях на основании первого закона Кирхгофа: токи в ветвях находятся как алгебраическая сумма контурных токов, проходящих через рассматриваемую ветвь.

3 ОДНОФАЗНЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ПРИЕМНИКОВ

Прежде чем приступить к решению контрольных задач по этому разделу, необходимо ознакомиться с порядком расчета неразветвленной цепи переменного тока и построения векторной диаграммы напряжений и тока цепи, условиями возникновения резонанса напряжений в такой цепи и его последствиями.

Индивидуальные контрольные задачи по данному разделу для нечетных номеров вариантов приведены в таблице 5. На рисунке 4 изображены схемы неразветвленных цепей переменного тока, для которых при заданных параметрах элементов цепи необходимо выполнить следующее: определить реактивные индуктивные X_L и реактивные емкостные X_C сопротивления при $f=50\text{Гц}$, полное сопротивление цепи Z ; определить ток в цепи и напряжения на

отдельных ее участках, приняв напряжение на зажимах источника равным ЭДС источника E ($U_{ab}=E$); определить активную P , реактивную Q и полную S мощности, отдаваемые источником электроэнергии; построить в масштабе векторную диаграмму тока и напряжений цепи, на которой изобразить напряжения для каждого элемента цепи; определить расчетом и по векторной диаграмме показания вольтметра, подключенного к некоторым точкам цепи; определить частоту изменения напряжения источника f_p , при которой в данной цепи возможен резонанс напряжений, и показать влияние резонанса на величину тока цепи и напряжений на участках при f_p . Индивидуальные контрольные задачи по данному разделу для четных номеров вариантов приведены в таблице 6, необходимо выполнить то же самое, что указано для нечетных вариантов.

Для расчета представленной цепи однофазного переменного тока необходимо определить реактивные сопротивления X и полное сопротивление Z цепи. Реактивные сопротивления находим в соответствии с выражениями:

$$X_L=2\pi fL, \quad X_C=1/2\pi fC, \quad (3)$$

где f – частота изменения напряжения источника электроэнергии U_{ab} ;

L – индуктивность катушки; C – емкость конденсатора.

Полное сопротивление цепи, в которой источник энергии включен последовательно с приемниками, найдем из выражения

$$Z = \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X_L - \sum X_C)^2} \quad (4)$$

где $\sum R$, $\sum X_L$, $\sum X_C$ – сумма активных, реактивных индуктивных и реактивных емкостных сопротивлений элементов цепи.

Ток в цепи I и напряжения на участках (U_{r1} , U_L , U_{c1} и т.д.) находим в соответствии с законом Ома. Мощности источника находим по выражениям:

$$P=I^2\sum R, \quad Q=I^2\sum X, \quad S=I^2Z, \quad (5)$$

где $\sum X = \sum X_L - \sum X_C$.

Для построения векторной диаграммы необходимо выбрать масштаб для тока m_i и для напряжения m_u . Построение начинаем с расположения вектора тока, напряжения на элементах цепи располагаем относительно выбранного вектора тока в соответствии с характером приемника (R , L , C). Сумма векторов напряжений на отдельных элементах цепи должна давать вектор напряжения источника, который в масштабе должен равняться ЭДС источника. Из векторной диаграммы можем определить показания вольтметра. Резонанс напряжений в данной цепи можно получить изменением частоты напряжения источника, резонансную частоту находим из равенства $\sum X_L = \sum X_C$.

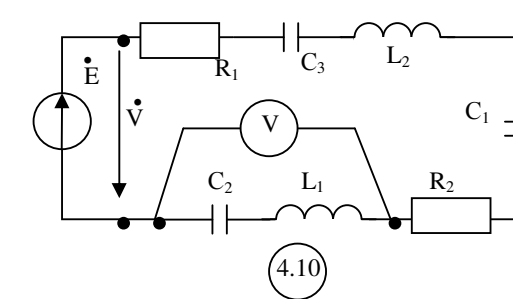
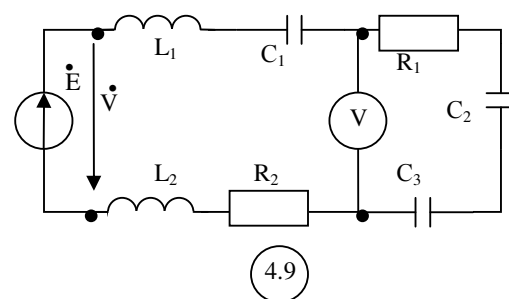
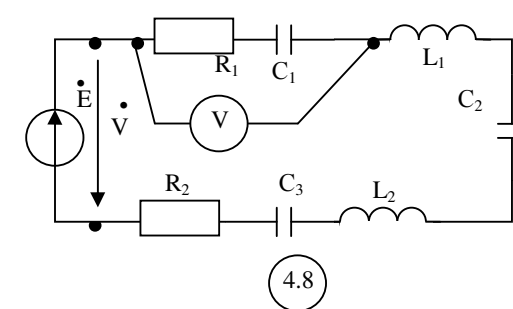
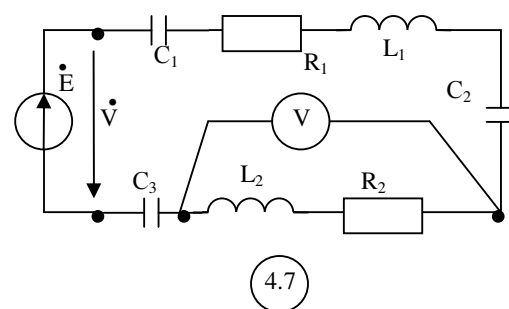
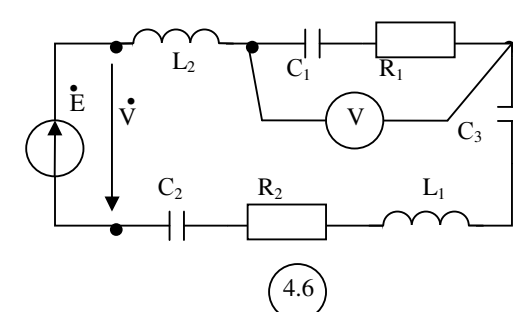
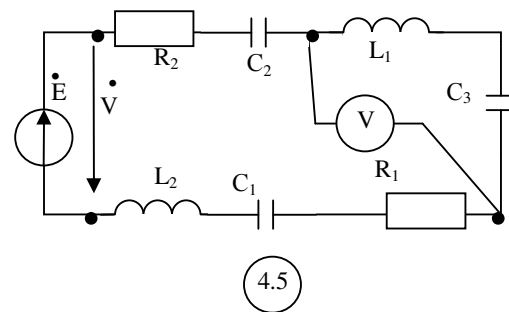
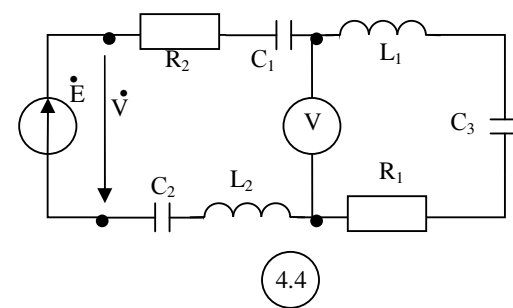
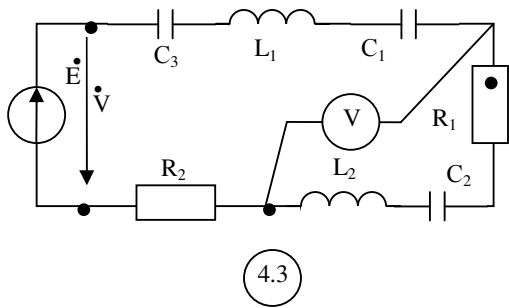
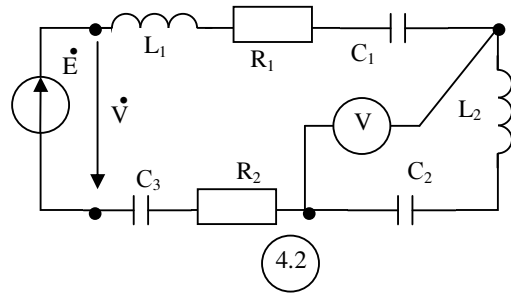
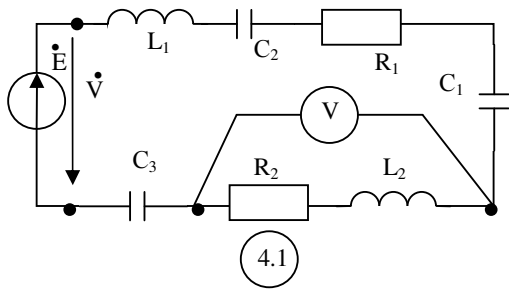


Рисунок 4 - Схемы неразветвленных цепей

Таблица 5 – Исходные данные по третьему разделу для нечетных номеров вариантов

Номер		Е, В	С ₁ , мкФ	С ₂ , мкФ	С ₃ , мкФ	L ₁ , мГн	L ₂ , мГн	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом
варианта	рисунка								
1	4.1	150	∞	100	200	20	50	0	10
3	4.2	100	200	300	∞	0	20	5	8
5	4.3	120	∞	∞	150	10	40	4	3
7	4.4	200	300	500	∞	100	0	6	6
9	4.5	220	∞	250	350	70	90	10	0
11	4.6	150	600	∞	800	0	30	2	5
13	4.7	100	∞	150	∞	40	80	9	6
15	4.8	120	100	∞	∞	90	50	7	3
17	4.9	200	230	330	∞	60	70	10	15
19	4.10	220	∞	400	∞	100	80	12	3
21	4.1	150	700	∞	900	0	45	4	4
23	4.3	100	∞	100	400	30	0	10	6
25	4.2	120	300	500	700	0	90	0	15
27	4.4	200	∞	200	∞	50	70	10	8
29	4.5	220	150	200	300	25	0	14	0

Таблица 6 – Исходные данные по третьему разделу для четных номеров вариантов

Номер		Е ₁ , В	С ₁ , мкФ	С ₂ , мкФ	С ₃ , мкФ	L ₁ , мГн	L ₂ , мГн	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом
варианта	рисунка								
2	4.7	150	∞	200	∞	100	110	15	20
4	4.6	100	1500	∞	1000	80	70	5	0
6	4.9	120	∞	∞	300	16	25	8	10
8	4.10	200	100	150	∞	30	0	10	8
10	4.1	220	150	∞	500	10	15	0	8
12	4.3	150	∞	1000	∞	90	80	8	2
14	4.2	100	160	200	∞	70	50	10	0
16	4.4	120	350	∞	260	40	60	0	20
18	4.5	200	∞	220	700	50	80	20	0
20	4.9	220	1000	700	600	0	100	0	25
22	4.6	150	400	∞	350	110	0	10	20
24	4.1	100	∞	160	210	0	90	7	15
26	4.8	200	180	∞	280	85	0	10	10
28	4.1	220	∞	750	∞	120	105	15	15
30	4.9	150	850	∞	900	0	115	5	4

4 ОДНОФАЗНЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ПРИЕМНИКОВ

Для решения контрольных задач по этому разделу необходимо ознакомиться со способами соединения элементов цепи между собой и с источником, порядком расчета однофазной цепи переменного тока с параллельным соединением приемников и построения векторной диаграммы токов и напряжений цепи, условиями возникновения резонанса токов в такой цепи и его последствиями.

Индивидуальные контрольные задачи по данному разделу для нечетных номеров вариантов приведены в таблице 7. На рисунке 5 изображена схема однофазной цепи с параллельным соединением приемников, для которой при заданных параметрах элементов необходимо выполнить следующее: определить реактивные сопротивления элементов цепи при $f=50$ Гц и полные сопротивления обеих параллельных ветвей (Z_1 , Z_2); определить токи в параллельных ветвях (I_1 , I_2) при $U_{ab}=E$ и напряжения на отдельных элементах ветви; определить ток в неразветвленной части цепи I ; определить активную и реактивную мощности для каждого элемента цепи, активную и реактивную мощности источника, полную мощность источника электроэнергии; построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов цепи, на которой изобразить напряжение каждого элемента цепи и токи в ветвях; определить частоту изменения напряжения источника электроэнергии f_p , при которой в данной цепи возможен резонанс токов, и показать влияние резонанса на величину токов в ветвях и в неразветвленной части цепи при f_p .

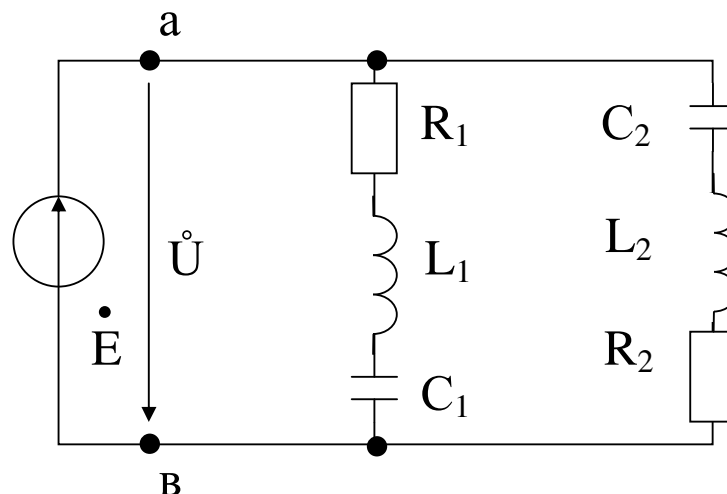


Рисунок 5 – Схема однофазной цепи с параллельным соединением приемников

Таблица 7 – Исходные данные по четвертому разделу для нечетных номеров вариантов

Номер варианта	Е, В	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	L ₁ , мГн	L ₂ , мГн	C ₁ , мкФ	C ₂ , МкФ
1	100	3	10	47	33	∞	155
3	120	4	5	0	45	310	280
5	200	6	7	38	0	710	515
7	220	12	9	25	15	280	∞
9	150	9	8	75	52	∞	200
1	100	7	6	0	65	405	310
13	150	15	12	80	0	182	415
15	200	4	13	95	73	715	∞
17	220	6	15	100	0	135	242
19	150	7	4	0	100	193	274
21	100	11	3	28	38	∞	225
23	120	13	8	32	0	521	910
25	200	14	16	40	84	812	∞
27	150	9	11	0	27	315	610
29	100	7	16	15	43	∞	652

Индивидуальные контрольные задачи по данному разделу для четных номеров вариантов приведены в таблице 8, необходимо выполнить то же самое, что указано для нечетных вариантов. При расчете цепи используем выражения (3) для определения реактивных сопротивлений в параллельных ветвях, Полное сопротивление каждой ветви (Z_1 , Z_2) находим в соответствии с выражением (4), используя суммарные сопротивления данной ветви. Токи в обеих ветвях (I_1 , I_2) и напряжения на отдельных участках ветви (U_R , U_L , U_C) находим в соответствии с законом Ома при $U_{ab}=E$. Ток в неразветвленной части цепи находим в соответствии с выражением

$$I = \sqrt{(\sum I_a)^2 + (\sum I_p)^2}, \quad (6)$$

где $\sum I_a = I_{1a} + I_{2a}$ – арифметическая сумма активных составляющих токов I_1 и I_2 в параллельных ветвях; $\sum I_p = I_{1p} + I_{2p}$ – алгебраическая сумма реактивных составляющих токов в параллельных ветвях, так как реактивную составляющую тока в ветви с индуктивностью берем в этой сумме со знаком минус.

Составляющие токов в ветвях находим в соответствии с выражениями:

$$\begin{aligned} I_{1a} &= I_1 \cos \varphi_1, & I_{1p} &= I_1 \sin \varphi_1, \\ I_{2a} &= I_2 \cos \varphi_2, & I_{2p} &= I_2 \sin \varphi_2, \\ \cos \varphi_2 &= R_1 / Z_1, & \cos \varphi_1 &= X_1 / Z_1, & \cos \varphi_2 &= R_2 / Z_2, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\sin \varphi_2 = X_2 / Z_2, \quad X_1 = X_{L1} - X_{C1}, \quad X_2 = X_{L2} - X_{C2}.$$

Активную и реактивную мощности каждого элемента цепи находим по выражениям (5). Активную мощность источника найдем как арифметическую сумму активных мощностей обеих ветвей: $P=P_1+P_2$. Реактивную мощность источника найдем как алгебраическую сумму реактивных мощностей обеих ветвей: $Q=Q_1\pm Q_2$, здесь реактивную мощность ветви с емкостью берем со знаком минус. В любой ветви $Q=Q_{1L}-Q_{1C}$. Полную мощность источника электроэнергии найдем из выражения

$$S = \sqrt{(\sum P)^2 + (\sum Q)^2} = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (8)$$

где $\sum P$ - арифметическая сумма активных мощностей в ветвях;

$\sum Q$ – алгебраическая сумма реактивных мощностей в ветвях.

Таблица 8 – Исходные данные по четвертому разделу для четных номеров вариантов

Номер варианта	E, В	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	L ₁ , мГн	L ₂ , мГн	C ₁ , мкФ	C ₂ , МкФ
2	120	10	0	25	45	210	120
4	200	6	8	30	0	305	325
6	220	5	6	0	40	680	500
8	50	8	0	10	20	230	250
10	150	0	12	50	80	760	170
12	200	7	4	60	0	360	330
14	220	10	7	0	70	155	410
16	120	12	0	65	90	1500	125
18	100	0	15	40	75	1100	520
20	150	14	4	100	0	160	238
22	200	0	6	110	15	180	270
24	220	9	7	0	35	355	190
26	120	16	0	55	32	1200	175
28	150	9	11	70	0	480	900
30	100	0	13	22	12	180	800

Для построения векторной диаграммы напряжений и токов цепи необходимо выбрать масштаб: для напряжений - m_u и для токов – m_i . Построение диаграммы начинаем с расположения вектора напряжения $U_{ab}=E$, векторы токов в параллельных ветвях располагаем относительно вектора напряжения в соответствии с характером нагрузки в ветви. Используем уравнения для векторов:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{1a} - \dot{I}_{1p}, \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_{2a} - \dot{I}_{2p} \quad \dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \quad (9)$$

Ток в неразветвленной части цепи, полученный на векторной диаграмме путем сложения векторов токов в ветвях, в масштабе должен соответствовать

по величине тому же току, найденному по выражению (6). Векторная сумма напряжений на участках любой ветви должна давать напряжение источника электроэнергии:

$$U_{R1} + \dot{U}_{L1} - \dot{U}_{C1} = \dot{U}_{ab}, U_{R2} + \dot{U}_{L2} - \dot{U}_{C2} = \dot{U}_{ab}. \quad (10)$$

Резонанс токов в данной цепи можно получить изменением частоты напряжения источника. Резонансную частоту находим из равенства реактивных проводимостей обеих ветвей $B_L = B_C$, в одной из которых преобладает индуктивность, а в другой – емкость. В этом случае $\dot{I} = \dot{I}_{1a} + \dot{I}_{2a}$, $\Sigma \dot{I}_p = 0$.

5 ОДНОФАЗНЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА СО СМЕШАННЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ПРИЕМНИКОВ

Для решения контрольных задач по этому разделу необходимо ознакомиться с порядком расчета однофазной цепи переменного тока при смешанном соединении приемников электроэнергии и построения векторной диаграммы напряжений и токов цепи, условиями возникновения резонанса напряжений и токов в такой цепи и их последствиями.

Индивидуальные контрольные задачи по данному разделу для нечетных номеров вариантов приведены в таблице 9. На рисунке 6 изображены схемы однофазных цепей переменного тока со смешанным соединением приемников, для которых при заданных параметрах элементов необходимо выполнить следующее: определить реактивные сопротивления элементов цепи (X_L , X_C) при $f = 50$ Гц и полные сопротивления ветвей (Z_1 , Z_2 , Z_3); определить проводимости параллельных ветвей (G_2 , G_3 , B_2 , B_3) и полную проводимость обеих параллельных ветвей (Y_{23}); определить эквивалентные сопротивления обеих параллельных ветвей (R_{23} , X_{23}); определить полное сопротивление всей цепи, подключенной на зажимы источника, Z_{ab} и ток в неразветвленной части цепи I_1 ; определить напряжение на параллельных ветвях U_{ab} и токи в параллельных ветвях (I_2 , I_3), напряжения на каждом элементе цепи (U_R , U_L , U_C); определить активную и реактивную мощности каждой ветви, полную мощность приемников; определить активную, реактивную и полную мощности источника электроэнергии (P_n , Q_n , S_n); проверить баланс мощностей; построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов цепи, на которой изобразить напряжение каждого элемента цепи и токи в ветвях; определить частоты изменения напряжения источника электроэнергии f_p , при которых в ветвях возможны резонансы напряжений и токов, и показать влияние резонанса на величину токов и напряжений на участках цепи. Индивидуальные контрольные задачи по данному разделу для четных номеров вариантов приведены в таблице 10, необходимо выполнить то же самое, что указано для нечетных вариантов.

При расчете цепи используем выражения (3) для определения реактивных сопротивлений элементов цепи. Полные сопротивления последовательной с источником Z_1 и двух параллельных ветвей Z_1 , Z_2 находим по выражению (4),

используя суммарные сопротивления каждой ветви. Для расчета заданной цепи используем метод проводимостей. Определяем активные G и реактивные B проводимости параллельных ветвей в соответствии с выражениями:

$$G_2 = \frac{R_2}{Z_2^2}, G_3 = \frac{R_3}{Z_3^2}, B_2 = \frac{X_2}{Z_2^2}, B_3 = \frac{X_3}{Z_3^2}, \quad (11)$$

где $X_2 = X_{L2} - X_{C2}$; $X_3 = X_{L3} - X_{C3}$.

Находим арифметическую сумму активных проводимостей параллельных ветвей: $G_{23}=G_2+G_3$, алгебраическую сумму реактивных проводимостей этих ветвей: $B_{23}=B_2+B_3$, полную проводимость параллельных ветвей: $Y_{23}=G_{23}^2+B_{23}^2$. Находим эквивалентное активное R_{23} и реактивное X_{23} сопротивления параллельных ветвей в соответствии с выражениями:

$$R_{23}=G_{23}/Y_{23}^2, \quad X_{23}=B_{23}/Y_{23}^2. \quad (12)$$

Схема цепи упростилась: теперь сопротивления первой ветви (R_1, X_1) и эквивалентные сопротивления параллельных ветвей (R_{23}, X_{23}) соединены последовательно с источником электроэнергии. Далее расчет цепи ведется как при последовательном соединении источника с приемниками. Определяем активное, реактивное и полное сопротивления такой цепи: $R_{ab}=R_1+R_{23}$, $X_{ab}=X_1+X_{23}$, $Z_{ab} = \sqrt{R_{ab}^2 + X_{ab}^2}$, где $X_1=X_{L1}-X_{C1}$. В соответствии с законом Ома находим ток в неразветвленной части цепи: $I_1=U_{ab}/Z_{ab}$. Напряжения на параллельных ветвях: $U_{db}=U_2=U_3=I_1 Z_{23}$, где $Z_{23}=1/Y_{23}$. Токи в параллельных ветвях: $I_2=U_{db}/Z_2$, $I_3=U_{db}/Z_3$.

Находим напряжения на каждом из элементов цепи (U_R, U_L, U_C). Активную, реактивную и полную мощности каждого элемента цепи находим по выражениям (5). Выражения (5) используем для определения активной, реактивной и полной мощностей источника электроэнергии при подстановке в него тока I_1 и сопротивлений R_{ab}, X_{ab}, Z_{ab} . Построение векторной диаграммы начинаем с выбора масштаба для напряжений m_u и для токов m_i . Располагаем вектор напряжения на параллельных ветвях $\dot{U}_{db}=\dot{U}_2=\dot{U}_3$, относительно него располагаем векторы токов в параллельных ветвях (I_2, I_3) с учетом характера нагрузки. Используем выражения (7) и (9) для векторов токов. В масштабе m_i этот ток I должен соответствовать вычисленному ранее. Вектор напряжения на зажимах источника найдем из уравнения $\dot{U}_{ab}=\dot{U}_{db}+\dot{U}_{ad}$.

Напряжение на каждой ветви должно соответствовать общему выражению: $\dot{U}_{ad}=\dot{U}_{R1}+\dot{U}_{L1}+\dot{U}_{C1}$, $\dot{U}_{db}=\dot{U}_{R2}+\dot{U}_{L2}+\dot{U}_{C2}$,
 $\dot{U}_{db}=\dot{U}_{R3}+\dot{U}_{L3}+\dot{U}_{C3}$.

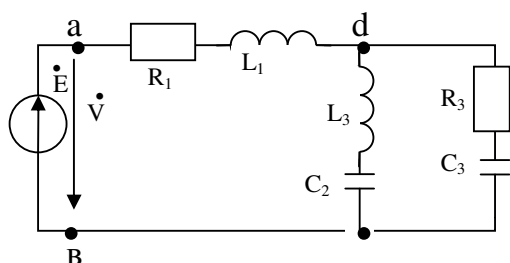
Векторы напряжений на участках цепи должны быть показаны на векторной диаграмме. При определении резонансной частоты источника электроэнергии необходимо рассмотреть равенство реактивных сопротивлений в ветвях и равенство реактивных проводимостей в параллельных ветвях. Анализ этих соотношений покажет влияние того или иного резонанса на величину токов и напряжений.

Таблица 9 – Исходные данные по пятому разделу для нечетных номеров вариантов

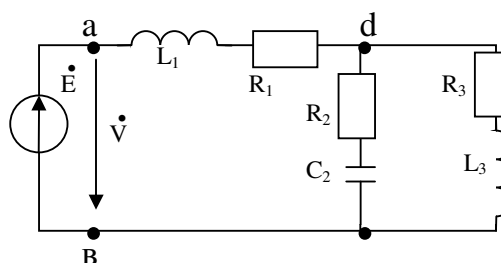
Номер		Е, В	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	C ₁ , мкФ	C ₂ , мкФ	C ₃ , мкФ	L ₁ , мГн	L ₂ , мГн	L ₃ , мГн
варианта	рисунка										
1	6.1	100	10	-	6	-	400	500	15	25	-
3	6.2	150	8	10	5	-	380	-	75	-	85
8	6.3	120	-	12	7	810	950	-	62	-	58
7	6.4	220	-	-	9	420	225	370	38	54	-
9	6.5	200	4	3	-	195	274	390	-	-	24
11	6.6	150	5	-	14	335	424	-	-	105	120
13	6.1	100	11	-	4	-	910	510	80	65	-
15	6.2	120	13	12	14	-	845	-	44	-	53
17	6.3	220	-	10	8	410	166	-	60	-	105
19	6.4	200	-	-	7	370	555	610	72	84	-
21	6.5	150	6	12	-	770	185	190	-	-	88
23	6.6	150	4	-	8	240	320	-	-	24	35
25	6.1	220	5	-	6	-	580	620	35	84	-
27	6.3	200	-	6	10	375	280	-	54	-	28
29	6.5	120	3	10	-	215	434	505	-	-	45

Таблица 10 - Исходные данные по пятому разделу для четных номеров вариантов

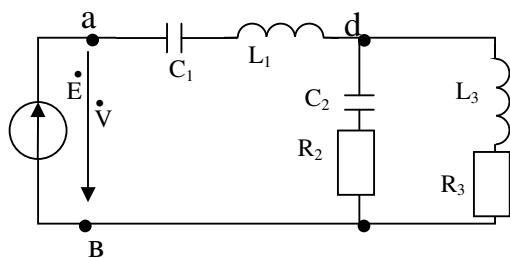
Номер		Е, В	L ₁ , мГн	L ₂ , мГн	L ₃ , мГн	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	C ₁ , мкФ	C ₂ , мкФ	C ₃ , мкФ
варианта	рисунка										
2	6.6	100	-	18	42	8	-	10	654	335	-
4	6.5	150	-	-	25	7	12	-	246	615	725
6	6.4	200	45	82	-	-	-	13	415	735	815
8	6.3	120	28	-	55	-	9	15	952	512	-
10	6.2	100	25	-	44	11	4	6	-	275	-
12	6.1	150	110	120	-	6	-	14	-	185	248
14	6.2	220	95	-	88	3	8	12	-	915	-
16	6.3	200	18	-	75	-	4	5	980	378	-
18	6.4	150	33	64	-	-	-	3	185	425	538
20	6.5	100	-	-	18	9	10	-	788	633	327
22	6.6	150	-	55	67	5	-	7	280	712	-
24	6.4	220	86	96	-	-	-	13	575	812	934
26	6.2	200	15	-	37	4	6	8	-	592	-
28	6.3	120	58	-	92	-	7	4	346	485	-
30	6.5	100	-	-	39	10	12	-	188	356	482



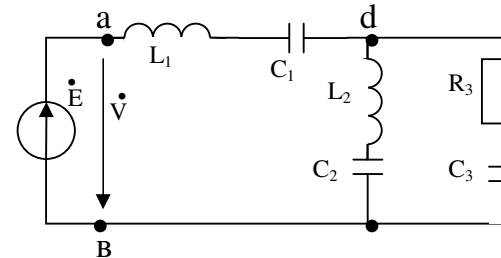
6.1



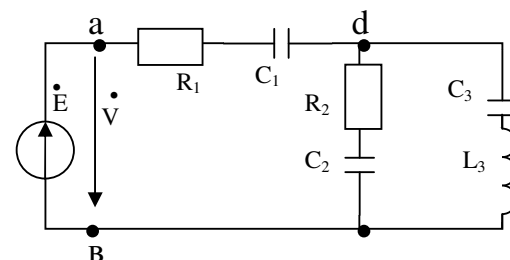
6.2



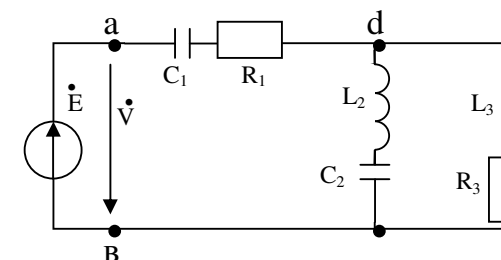
6.3



6.4



6.5



6.6

Рисунок 6 – Схемы однофазных цепей переменного тока со смешанным соединением приемников

6 ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПРИЕМНИКОВ ПО СХЕМЕ «ЗВЕЗДА»

Перед решением контрольных задач по этому разделу необходимо ознакомиться с элементами трехфазной системы электроснабжения потребителей, схемами соединения фаз трехфазного источника и приемника при передаче электрической энергии от источника к приемнику через трехпроводную или четырехпроводную линию электропередачи (ЛЭП).

Индивидуальные контрольные задачи по данному разделу для нечетных номеров вариантов приведены в таблице 11. На рисунке 7 изображены трехфазные приемники, соединенные по схеме «звезда» при четырехпроводной ЛЭП, для которых при заданных параметрах необходимо выполнить

следующее: определить полные сопротивления фаз приемника (Z_a, Z_b, Z_c); определить фазное напряжение U_ϕ и величину тока в каждой фазе приемника (I_a, I_b, I_c); определить активную, реактивную и полную мощности каждой фазы приемника (P_ϕ, Q_ϕ, S_ϕ); определить активную, реактивную и полную мощности трехфазного приемника (P, Q, S); построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов трехфазного приемника для нормального режима электроснабжения; на векторной диаграмме определить ток в нейтральном проводе I_{nN} ; построить векторную диаграмму напряжений и токов трехфазного приемника при обрыве одного из линейных проводов (a, b или c) и наличии нейтрального провода n; определить ток в двух линейных проводах и двух фазах трехфазного приемника при обрыве третьего линейного и нейтрального проводов; построить векторную диаграмму напряжений и токов для этого аварийного режима. Индивидуальные контрольные задачи по данному разделу для четных номеров вариантов приведены в таблице 12, необходимо выполнить то же самое, что и для нечетных вариантов.

Расчет фазных параметров трехфазного приемника сводится к расчету каждой фазы и производится аналогично расчету обычной однофазной цепи переменного тока. При определении полных сопротивлений в каждой фазе приемника используем выражение (4). Независимо от схемы соединения фаз симметричного источника электроэнергии между линейными проводами ЛЭП существуют три одинаковых по действующему значению линейных напряжения (сдвинутых по фазе относительно друг друга на угол $2\pi/3$). Пока нейтраль источника и нейтраль приемника соединены нейтральным проводом, т.е. при четырехпроводной ЛЭП для симметричного и несимметричного трехфазного приемника, сохраняется симметрия фазных напряжений приемника ($U_a=U_b=U_c=U_\phi$). Для трехфазного приемника, фазы которого соединены по схеме «звезда», справедливы соотношения:

$$I_\phi = I_\phi, V_\phi = V_\phi / \sqrt{3}. \quad (13)$$

Токи в отдельных фазах приемника (I_a, I_b, I_c) находим в соответствии с законом Ома. При несимметричной трехфазной нагрузке в четырехпроводной ЛЭП (сохраняется симметрия фазных напряжений) нарушается симметрия фазных токов, которые одновременно являются токами в линейных проводах. Активную, реактивную и полную мощности каждой фазы трехфазного приемника (P_ϕ, Q_ϕ, S_ϕ) находим по выражению (5). Активную мощность трехфазного несимметричного приемника найдем как арифметическую сумму активных мощностей отдельных фаз $P=P_a+P_b+P_c$. Реактивную мощность трехфазного приемника найдем как алгебраическую сумму реактивных мощностей отдельных фаз $Q=Q_a+Q_b+Q_c$, полную мощность трехфазного приемника – по выражению (8).

Для построения векторной диаграммы напряжений и токов трехфазного приемника выбираем масштаб напряжений m_u и масштаб токов m_i . Построение начинаем с размещения симметричной системы векторов линейных напряжений ($\vec{U}_{ab}, \vec{U}_{bc}, \vec{U}_{ca}$), подаваемых от симметричного трехфазного

источника через ЛЭП. Векторы линейных напряжений образуют равносторонний треугольник (а, b, с – его вершины). Из центра этого

Таблица 11 – Исходные данные по шестому разделу для нечетных номеров вариантов

Номер		U ₁ , В	R _a , Ом	R _b , Ом	R _c , Ом	X _a , Ом	X _b , Ом	X _c , Ом
варианта	рисунка							
1	7.1	127	5	-	5	3	15	10
3	7.2	220	10	6	9	5	8	12
5	7.3	380	15	8	-	10	6	20
7	7.4	500	-	12	14	25	8	7
9	7.5	660	25	-	-	15	40	35
11	7.6	660	22	18	17	12	14	9
13	7.7	500	27	23	12	5	12	11
15	7.8	380	-	-	19	32	40	24
17	7.9	220	40	30	27	38	25	17
19	7.10	127	7	9	12	4	8	9
21	7.1	220	30	-	35	15	42	21
23	7.3	660	33	41	-	18	27	55
25	7.5	500	42	-	-	24	58	62
27	7.7	660	54	62	45	28	33	30
29	7.9	127	5	8	7	9	11	15

Таблица 12 – Исходные данные по разделу 6 для четных номеров вариантов

Номер		U ₁ , В	R _a , Ом	R _b , Ом	R _c , Ом	X _a , Ом	X _b , Ом	X _c , Ом
варианта	рисунка							
2	7.10	660	52	48	55	28	34	22
4	7.9	500	45	38	24	35	20	15
6	7.8	500	-	-	35	65	70	28
8	7.7	220	12	18	23	8	17	21
10	7.6	127	7	10	11	9	15	16
12	7.5	127	6	-	-	12	18	22
14	7.4	220	-	24	15	33	28	18
16	7.3	500	38	44	-	25	32	54
18	7.2	500	29	35	42	41	27	37
20	7.1	660	58	-	38	6	65	42
22	7.2	660	43	52	60	31	40	25
24	7.4	380	-	27	29	30	18	34
26	7.6	380	20	37	40	27	25	30
28	7.8	220	-	-	21	15	18	19
30	7.10	220	4	8	12	37	29	33

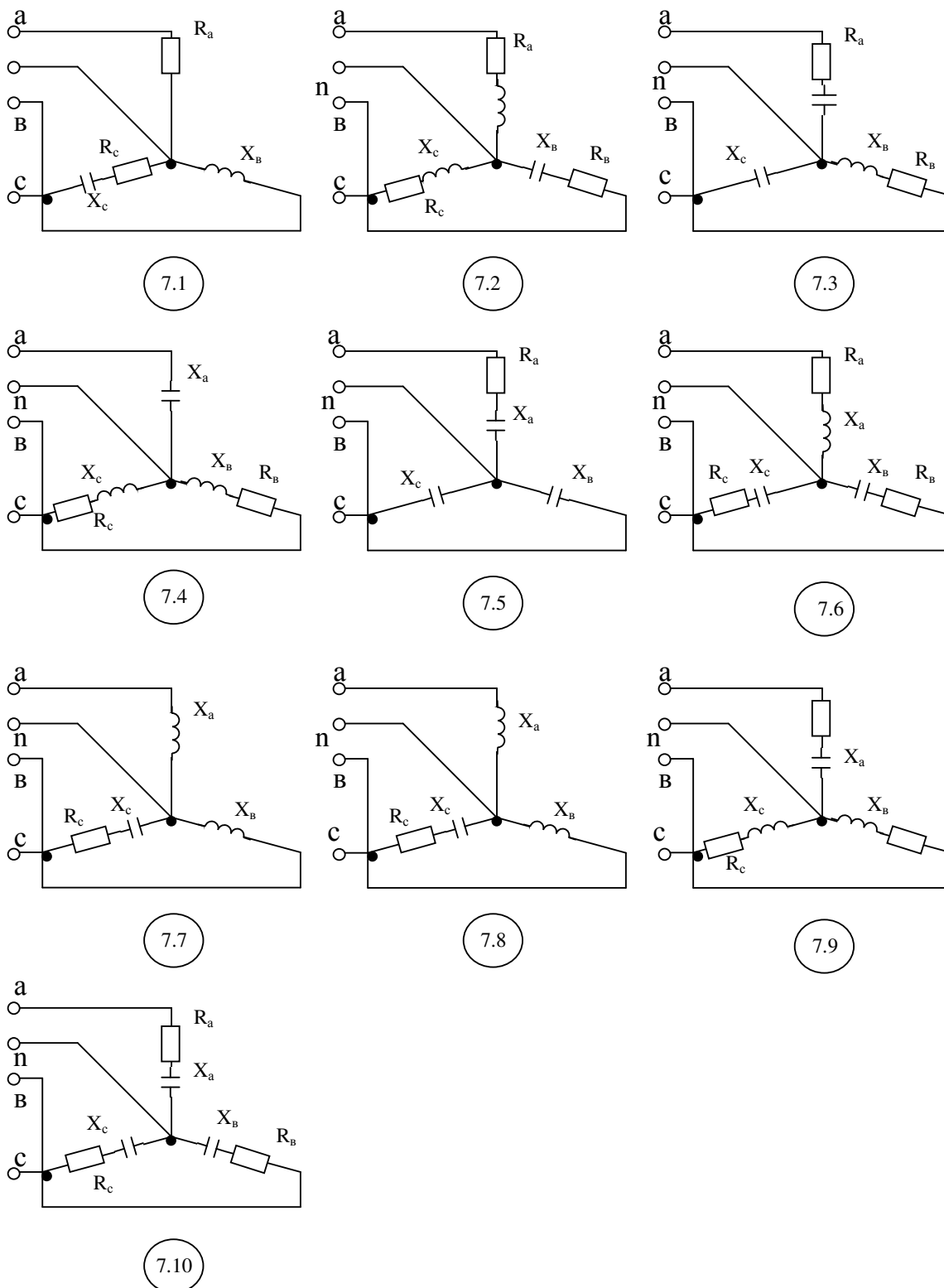


Рисунок 7 – Трёхфазные приемники, соединенные по схеме «звезда»

треугольника – точки n (точки пересечения его медиан или биссектрис) выходят векторы фазных напряжений приемника (\dot{U}_a , \dot{U}_b , \dot{U}_c) при симметричной

и несимметричной нагрузке с нейтральным проводом (четырёхпроводная ЛЭП). Положение векторов фазных токов (\vec{I}_a , \vec{I}_b , \vec{I}_c) на векторной диаграмме определяется углом сдвига по фазе φ_ϕ относительно соответствующего вектора фазного напряжения, который находим для каждой фазы приемника из выражения $\cos\varphi_\phi = R_\phi/Z_\phi$. В соответствии с характером нагрузки в данной фазе проводим в масштабе эти векторы токов. Одновременно эти же векторы являются линейными токами для трехфазного приемника, соединенного по схеме «звезда». При ином порядке построения векторной диаграммы линейные напряжения у трехфазного приемника могут быть найдены в соответствии со вторым законом Кирхгофа:

$$\vec{U}_{ab} = \vec{U}_a - \vec{U}_b; \vec{U}_{bc} = \vec{U}_b - \vec{U}_c; \vec{U}_{ca} = \vec{U}_c - \vec{U}_a. \quad (14)$$

На векторной диаграмме эти векторы направляем от вычитаемого вектора к уменьшаемому вектору. В соответствии с первым законом Кирхгофа для узла n трехфазного приемника справедливо соотношение

$$\vec{I}_{nN} = \vec{I}_a + \vec{I}_b + \vec{I}_c. \quad (15)$$

Сложив графически указанные векторы, получаем в масштабе величину тока в нейтральном проводе I_{nN} , который должен быть изображен на векторной диаграмме. При обрыве одного из линейных проводов ЛЭП или фазы приемника (отключении всех приемников энергии в этой фазе) приемники данной фазы остаются без электроэнергии, а приемники двух других фаз продолжают получать электроэнергию от неповрежденных линейных проводов. При наличии нейтрального провода для приемников, присоединенных к неповрежденным линейным проводам, обрыв чужого линейного провода практически не ощущается. При отсутствии нейтрального провода (трехпроводная ЛЭП) приемники двух оставшихся фаз будут включены последовательно и ток через них будет определяться величиной линейного напряжения и их эквивалентным полным сопротивлением, а напряжения на этих приемниках (фазные напряжения) будут определяться в соответствии с законом Ома. В такой цепи возможен резонанс напряжений.

7 ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПРИЕМНИКОВ ПО СХЕМЕ «ТРЕУГОЛЬНИК»

Перед решением контрольных задач по этому разделу необходимо ознакомиться с соотношениями между фазными и линейными параметрами трехфазного приемника, соединенного по схеме «треугольник», порядком расчета трехфазной цепи и построения векторной диаграммы напряжений и токов, аварийными режимами электроснабжения трехфазного приемника.

Индивидуальные контрольные задачи по данному разделу для нечетных номеров вариантов приведены в таблице 13. На рисунке 8 изображены трехфазные приемники, соединенные «треугольником», для которых при заданных параметрах необходимо выполнить следующее: определить полные сопротивления фаз приемника (Z_{ab} , Z_{bc} , Z_{ca}); определить активную, реактивную и полную мощности каждой фазы приемника (P_ϕ , Q_ϕ , S_ϕ); определить активную, реактивную и полную мощности трехфазного приемника (P , Q ,

S); построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов трехфазного приемника для нормального режима электроснабжения; на векторной диаграмме определить токи в линейных проводах (I_a , I_b , I_c); построить векторную диаграмму напряжений и токов трехфазного приемника при обрыве одного из линейных проводов (a, b или c); построить векторную диаграмму напряжений и токов при обрыве одной из фаз приемника (ab, bc или ca). Индивидуальные контрольные задачи по данному разделу для четных номеров вариантов приведены в таблице 14, необходимо выполнить то же самое, что и для нечетных вариантов.

Расчет трехфазного приемника сводится в расчету каждой фазы по фазным параметрам и производится аналогично расчету обычной однофазной цепи переменного тока. Для определения полных сопротивлений фаз приемника используем выражение (4). При схеме «треугольник» каждая фаза приемника включена между линейными проводами и находится под соответствующим линейным напряжением, которое одновременно является фазным напряжением приемника ($U_{л}=U_{ф}$). Токи в отдельных фазах приемника (I_{ab} , I_{bc} , I_{ca}) находим в соответствии с законом Ома. Токи в линейных проводах могут быть определены в соответствии с первым законом Кирхгофа, записанным для узлов a, b и c:

$$\dot{I}_a = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}, \quad \dot{I}_b = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}, \quad \dot{I}_c = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}. \quad (16)$$

Отсюда следует, что независимо от характера нагрузки всегда справедливо равенство

$$\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0. \quad (17)$$

Мощности фаз приемника находим по выражениям (5). Мощности трехфазного приемника находим через мощности фаз так, как это было показано для трехфазного приемника, соединенного по схеме «звезда». Для построения векторной диаграммы выбираем масштаб напряжений m_u и масштаб токов m_i . Построение векторной диаграммы начинаем с размещения симметричной системы векторов линейных напряжений (\dot{U}_{ab} , \dot{U}_{bc} , \dot{U}_{ca}), подаваемых от симметричного трехфазного источника электроэнергии через линию электропередачи. Вектор линейного напряжения \dot{U}_{ab} принято направлять вертикально вверх, вектор \dot{U}_{bc} отстает от него на 120° , вектор \dot{U}_{ca} отстает от вектора \dot{U}_{bc} на 120° . Одновременно эти векторы являются фазными напряжениями. Положение векторов фазных токов приемника (\dot{I}_{ab} , \dot{I}_{bc} , \dot{I}_{ca}) относительно соответствующих напряжений определяется углом, который находим из выражения $\cos\varphi_{\phi} = R_{\phi}/Z_{\phi}$, и характером нагрузки в фазе. После размещения фазных токов графически находим векторы токов в линейных проводах, применяя уравнения (16). Иногда векторы линейных токов изображают соединяющими концы векторов фазных токов. Обрыв одного из линейных проводов нарушает нормальный режим электроснабжения трехфазного приемника. При этом приемники только одной фазы будут

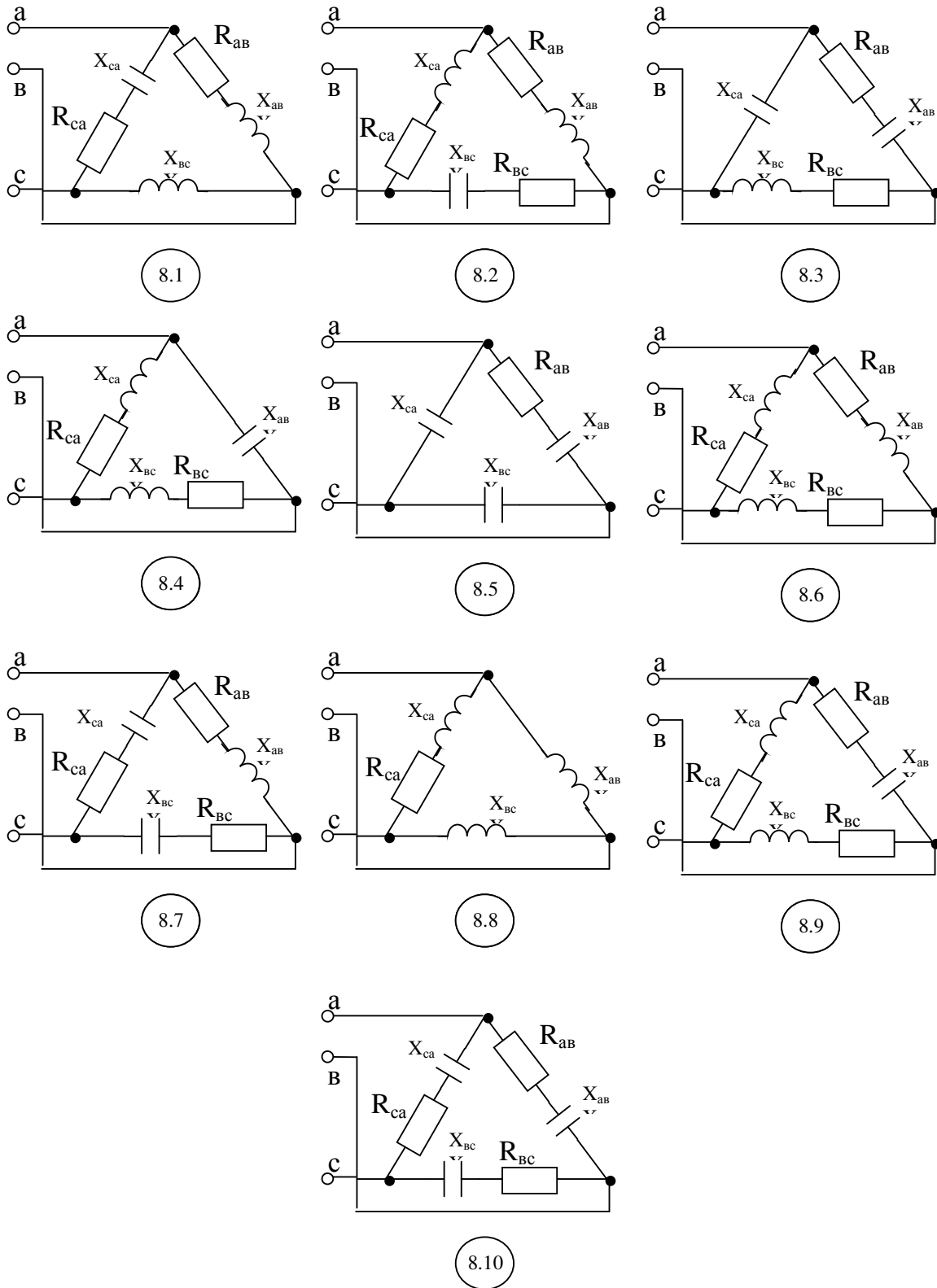


Рисунок 8 – Схемы приемников, соединенных “треугольником”

Таблица 13 – Исходные данные по седьмому разделу для нечетных номеров вариантов

Номер		U _л , В	R _{ab} , Ом	R _{bc} , Ом	R _{ca} , Ом	X _{ab} , Ом	X _{bc} , Ом	X _{ca} , Ом
варианта	рисунка							
1	8.1	127	50	-	55	30	70	15
3	8.2	220	100	60	90	50	80	18
5	8.3	380	110	80	-	90	60	80
7	8.4	500	-	120	140	100	80	70
9	8.5	660	250	-	-	125	400	350
11	8.6	660	220	180	170	120	140	90
13	8.7	500	270	230	120	50	120	110
15	8.8	380	-	-	190	320	360	210
17	8.9	220	140	130	127	58	55	47
19	8.1	127	70	90	52	40	60	80
21	8.1	220	90	-	135	115	142	21
23	8.3	660	33	41	-	70	80	120
25	8.5	500	275	-	-	85	224	300
27	8.7	660	340	162	145	54	130	230
29	8.9	127	50	80	70	90	100	85

Таблица 14 – Исходные данные по седьмому разделу для четных номеров вариантов

Номер		U _л , В	R _{ab} , Ом	R _{bc} , Ом	R _{ca} , Ом	X _{ab} , Ом	X _{bc} , Ом	X _{ca} , Ом
варианта	рисунка							
2	8.1	660	180	120	88	75	68	32
4	8.9	500	145	138	124	135	120	115
6	8.8	500	-	-	235	280	320	70
8	8.7	220	120	98	75	80	67	71
10	8.6	127	70	50	40	32	25	18
12	8.5	127	60	-	-	22	78	92
14	8.4	220	-	104	85	99	28	18
16	8.3	500	250	144	-	125	132	400
18	8.2	500	129	135	142	141	127	137
20	8.1	660	158	-	138	160	165	142
22	8.2	660	143	152	160	131	140	125
24	8.4	380	-	127	129	300	180	134
26	8.6	380	120	137	140	127	125	130
28	8.8	220	-	-	121	150	180	90
30	8.1	220	140	80	120	137	129	133

находиться под номинальным фазным напряжением. Приемники двух других фаз окажутся соединенными последовательно и совместно будут находиться под таким же фазным напряжением. Ток через них будет определяться их эквивалентным полным сопротивлением, а напряжения на этих приемниках (фазные напряжения) будут определяться в соответствии с законом Ома. Следовательно, эти приемники окажутся под напряжениями, отличающимися от номинального значения фазного напряжения. В такой цепи возможен резонанс напряжений.

Всякое изменение сопротивления в одной из фаз приемника вызывает одновременное изменение соответствующего фазного тока и двух линейных токов в линейных проводах, подключенных к этой фазе, но не влияет на величину фазных напряжений ($U_{\phi}=U_{л}$) и фазных токов в других фазах трехфазного приемника, а также на величину третьего линейного тока. Этим условиям соответствует аварийный режим электроснабжения при обрыве одной из фаз приемника. То же самое возникает при обычном отключении всех приемников энергии в одной из фаз: ток в этой фазе не идет; изменяется ток в двух линейных проводах, подключенных к этой фазе; ток в третьем линейном проводе не изменяется; токи в двух других фазах не изменяются. Все это легко изобразить с помощью векторной диаграммы.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Борисов Ю.М. Электротехника: Учебник для вузов / Ю.М.Борисов, Д.Н.Липатов, Ю.Н.Зорин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1985. – 552 с.
- 2 Касаткин А.С. Электротехника / А.С.Касаткин, М.В.Немцов. – М.: Энергоиздат, 1983. – 440 с.
- 3 Электротехника / Под ред. В.Г.Герасимова. – М.: Высш.школа, 1983. – 480 с.
- 4 Иванов А.А. Электротехника: Лабораторные работы (для неэлектротехнических специальностей вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вища школа, 1982. – 343 с.
- 5 Иванов И.И. Электротехника: Учебник для вузов / И.И.Иванов, В.С.Равдоник. – М.: Высш.школа, 1984. – 375 с.
- 6 Сборник задач по электротехнике и основам электроники (для неэлектротехнических специальностей вузов) / Под ред. В.Г.Герасимова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1987. – 288 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

- 1 Цепи постоянного тока с одним источником электроэнергии
 - 2 Цепи постоянного тока с несколькими источниками электроэнергии
 - 3 Однофазные цепи переменного тока с последовательным соединением приемников
 - 4 Однофазные цепи переменного тока с параллельным соединением приемников
 - 5 Однофазные цепи переменного тока со смешанным соединением приемников
 - 6 Трехфазные цепи переменного тока при соединении приемников по схеме звезда
 - 7 Трехфазные цепи переменного тока при соединении приемников по схеме треугольник
- Список рекомендуемой литературы

Учебное издание

Методические указания
к самостоятельной работе
по дисциплине «Электротехника, электроника
и микропроцессорная техника»
(для студентов неэлектротехнических специальностей всех форм обучения)

Составители

Наталья Валерьевна Климченкова,
Татьяна Викторовна Кириенко

Редактор

Нелли Александровна Хахина

Подп. в печ.

Ризогр. печать. Усл. печ. л. 2,0

Тираж 100 экз.

Формат 60х90/16.

Уч.-изд. л. 1,45

Заказ №

ДГМА. 84313, Краматорск, ул. Шкадинова, 72