

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ СВЕРДЛОВСКОЙ
ОБЛАСТИ «КАМЫШЛОВСКИЙ ТЕХНИКУМ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И
ТРАНСПОРТА»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО
ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ
По дисциплине «Электротехника»**

Составил:
Мухтаров И.Ф., мастер
производственного
обучения I
квалификационная
категория

Камышлов
2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие методические указания

Содержание учебной дисциплины

Введение

Раздел 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Раздел 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Раздел 3: МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Раздел 4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Контрольная работа 1. Методические указания по выполнению

Контрольная работа 2. Методические указания по выполнению

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Цель дисциплины «Электротехника» - изучение физических свойств электрического и магнитного полей, физических процессов в электрических цепях постоянного тока, однофазного и трехфазного переменного тока, методов расчета электрических и магнитных цепей, основных способов измерения электрических и магнитных цепей. «Электротехника» - база для всех электротехнических дисциплин, изучаемых по специальности 13.02.11. Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям). На основе законов и положений электротехники решаются многие инженерные задачи, и осуществляется проектирование различных электротехнических устройств и установок. Изучать дисциплину необходимо на основе достижений отечественной и зарубежной науки, передовой практики. При изложении материала дисциплины следует применять Международную систему единиц СИ, терминологию по ГОСТ 19880-74, буквенные обозначения и правила выполнения электрических схем в соответствии со стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Для закрепления теоретических знаний, опытной проверки явлений и законов, для приобретения навыков в сборке схем программой предусматриваются лабораторные работы и практические занятия. Лабораторные работы и та часть практических занятий, перечень которых утверждает цикловая комиссия, проводятся во время лабораторно-экзаменационной сессии.

Остальные практические занятия, темы которых преподаватель сообщает студентам на установочных занятиях, выполняются в межсессионный период. Отчеты по лабораторным и практическим занятиям оформляются в отдельной рабочей тетради и сдаются преподавателю для зачета.

Изучая «Электротехнику», необходимо проработать материал каждой темы по рекомендуемой литературе, разобрать решенные задачи в учебнике, в настоящих методических указаниях и в задачнике, решить самостоятельно несколько задач, ответить на вопросы контрольных карт (Л-2) и на вопросы самоконтроля. Весь изучаемый материал необходимо конспектировать.

На протяжении учебного года студент может обращаться за письменными и устными консультациями к преподавателям своего учебного заведения.

После изучения материала каждого учебного задания следует выполнить контрольную работу. Решать задачи контрольной работы рекомендуется в следующей последовательности:

- записать условие задачи, начертить схему в соответствии с ее условием; после разбора условия и схемы наметить план решения задачи, поясняя назначение вычисления;

- записать необходимую формулу, подставить в нее числовые значения величин и произвести вычисления, указав размерность определяемой величины.

Вариант контрольных работ определяется двумя последними цифрами шифра студента

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ВВЕДЕНИЕ

Характеристика учебной дисциплины, ее место и роль в системе получаемых знаний. Связь с другими учебными дисциплинами. Электрическая энергия, ее свойства и применение. Производство и распределение электрической энергии. Современное состояние и перспективы развития электроэнергетики.

Литература: Л-1, с. 4...5; Л-2, с. 5...6

Раздел 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Электрическое поле

Студент должен **иметь представление:**

- о физических процессах возникновения электрического тока;
- о законах взаимодействия заряженных частиц;

знать:

- основные характеристики электрического поля;

уметь:

- рассчитывать основные параметры электростатических цепей.

Понятие о формах материи: вещество и поле. Элементарные частицы и их электромагнитное поле. Электрический заряд. Электромагнитное поле как особая форма материи, его составляющие. Электростатическое поле

Закон Кулона. Основные характеристики электрического поля: напряженность, электрический потенциал, электрическое напряжение. Цели и задачи изучения электрических полей. Применение закона Кулона для расчета электрического поля. Применение теоремы Гаусса для расчета электрического поля. Электрическое поле в однородном диэлектрике. Поляризация диэлектрика. Электрическое смещение. Диэлектрическая проницаемость. Сегнетоэлектрики, электреты. Потери энергии в диэлектриках. Электрическая емкость, расчет ее величины. Электрический пробой и электрическая прочность диэлектрика. Электрическое поле на границе двух сред с различными величинами диэлектрической проницаемости.

Применение многослойной изоляции.

Электростатические цепи и их расчет.

Энергия электрического поля конденсатора. Механические силы в электрическом поле.

Задание. Изучить: Л-1, с. 128...162; Л-2, с. 7..36.

Ответить на вопросы: 1. Что называется электрическим полем, электрическим зарядом? 2. Напишите формулу закона Кулона и объясните величины, входящие в нее. 3. Что такое напряженность электрического поля и в каких единицах она измеряется? Как изображается графически электрическое поле? 4. Что называется потоком вектора напряженности электрического поля? Теорема Остроградского-Гаусса. 5. Что называется электрическим потенциалом и электрическим напряжением? В каких единицах они измеряются? 6. Что называется абсолютной и относительной диэлектрической проницаемостью? 7. Что такое электрическая прочность диэлектрика? 8. Что называется конденсатором, емкостью конденсатора? 9. Как вычисляется емкость плоского конденсатора?

1.2. Начальные сведения об электрическом токе

Студент должен **иметь представление:**

- о физических процессах возникновения электрического тока

знать:

- разновидности электрического тока и его основные параметры; уметь

- рассчитывать основные параметры электрического тока, Электропроводимость. Классификация веществ по степени элек-

тропроводимости. Физическое явление электрического тока и его разновидности: ток проводимости, ток переноса, ток смещения. Стационарное электрическое поле в проводнике. Электрический ток в проводниках: величина и направление тока проводимости, плотность тока проводимости. Удельные электрические проводимость и сопротивление, электрическая проводимость и сопротивление проводников. Закон Ома. Зависимость **сопротивления** проводников от температуры. Понятие о сверхпроводимости. Резисторы и их вольтамперные характеристики

Задание. Изучить Л-1, с. 6...50; Л-2, с. 36...102

.Ответить на вопросы: 1. Что называется электрическим током и плотностью тока? В каких единицах они измеряются? 2. В чем сущность закона Ома? 3. Что такое электрическое сопротивление проводника и проводимость? В каких единицах они измеряются?

4. Что называется удельным сопротивлением и удельной проводимостью? Их единицы измерения. 5. Что называется электрической цепью и из каких элементов она состоит? 6. Что называется электродвижущей силой источника электрической энергии и чем она отличается от напряжения по физическому смыслу? 7. Что такое энергия и мощность источника и потребителя электрического тока? В каких единицах измеряются энергия и мощность? 8. Какой режим работы цепи называется режимом короткого замыкания? Режимом холостого хода?

Раздел 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

2.1. Простые и сложные цепи постоянного тока

Студент должен иметь представление:

- о принципах построения простых и сложных цепей постоянного тока;

- о принципе действия источников и приемников электрического тока;

знать:

- основные характеристики и параметры цепей постоянного тока;

уметь:

- подбирать параметры цепей постоянного тока по заданным условиям работы;

- собирать электрические схемы.

Состав электрических цепей. Последовательное и параллельное соединение резисторов. Простые и сложные электрические цепи. ЭДС, мощность, коэффициент полезного действия источника электрической энергии. Преобразование электрической энергии в другие виды энергии. Закон Джоуля-Ленца.

Работа источника электрической энергии в режиме генератора и потребителя. Схемы замещения источников ЭДС и тока, приемников электрической энергии. Понятие о пассивных и активных элементах электрических цепей.

Задание. Изучить Л-1, с. 50...74.

Ответить на вопросы: 1. Из каких элементов состоит электрическая цепь? 2. Что такое ЭДС, мощность и энергия генератора? 3. От чего зависит нагрев проводов при прохождении через них электрического тока? 4. Что такое пассивные и активные элементы электрической цепи?

2.2. Расчет электрических цепей постоянного тока

Студент должен **иметь представление:**

- о принципах действия и конструктивного исполнения основных источников и приемников электрической энергии постоянного тока;
- о принципе действия электроустановок, электроприборов постоянного тока, установок электросварки, приборов освещения и т.п.;

знать:

- основные законы постоянного тока: Ома, Кирхгофа, Джоуля-Ленца;
- основные метода расчета линейных цепей постоянного тока;

уметь:

- составлять электрическую цепь для выполнения заданной задачи;
- выполнять расчеты электрических цепей постоянного тока;
- собирать электрические схемы;
- анализировать полученные результаты.

Цели и задачи расчета. Законы Ома, Кирхгофа. Неразветвленная электрическая цепь. Эквивалентное сопротивление. Электрические цепи с несколькими источниками ЭДС. Потенциальная диаграмма неразветвленной электрической цепи. Разветвленная электрическая цепь.

Эквивалентное сопротивление параллельно соединённых резисторов. Электрическая проводимость. Смешанное соединение пассивных эле-

ментов. Расчет электрических цепей методом преобразования **схем**.
Метод узловых напряжений. Метод узловых и контурных уравнений.
Метод контурных токов. Метод наложения токов

.Задание. Изучить Л-1, с. 74... 98.

Ответить на вопросы: 1. Что называется ветвью, узлом, контуром электрической цепи? 2. Как формулируется первый и второй законы Кирхгофа? 3. Как определить эквивалентные: сопротивления, ток и напряжение при последовательном соединении сопротивлений?

4. Как определить эквивалентные: сопротивления, ток и напряжение при параллельном соединении сопротивлений? 5. В какой последовательности определяют эквивалентное сопротивление при смешанном соединении цепи? 6. В какой последовательности определяют токи в сложных цепях при использовании законов Кирхгофа, методом узловых напряжений, методом контурных токов?

Раздел 3: МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

3.1. Магнитные цепи

Студент должен **иметь представление:**

- о принципах создания магнитных цепей;

знать;

- закон Ампера;

- классификацию магнитных цепей, область применения;

- основные характеристики магнитного поля.

Магнитная индукция, магнитный поток, собственное и взаимное токосцепление. Магнитные свойства вещества. Магнитная проницаемость. Энергия магнитного поля. Механические силы в магнитном поле. Магнитно-твердые, магнитно-мягкие материалы. Намагничивание ферромагнитных материалов. Магнитный гистерезис. Магнитное сопротивление.

Задание. Изучить: Л-1, с. 164...192.

Ответить на вопросы: 1. Что такое магнитное поле? Каковы его основные свойства? 2. Что называется магнитной индукцией? В каких единицах она измеряется? Закон Био-Савара. 3. Как рассчитать магнитное поле кольцевой и цилиндрической катушки? 4. Какова формула для определения электромагнитной силы, действующей на проводник с током в магнитном поле? Правило левой руки

3.2. Расчет магнитных цепей

Студент должен **иметь представление:**

- о принципах проектирования магнитных цепей;

знать:

- закон полного тока и его применение для расчета параметров магнитных цепей; -

- основные методы расчета магнитных цепей

уметь:

- рассчитывать параметры несложных магнитных цепей.

Цели и задачи расчета магнитных цепей. Проводник с током в магнитном поле. Применение закона полного тока для расчета параметров магнитной цепи. Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле. Магнитное поле на границе двух сред с различными величинами магнитной проницаемости. Расчет выбранного вида однородной и неоднородной магнитных цепей. Прямая и обратная задачи.

Задание. Изучить: Л-1, с. 192...213

.Ответить на вопросы: 1. Как действует на проводник с током магнитное поле? 2. От чего зависит сила выталкивания, которая действует на проводник? 3. Как определить направление силы выталкивания проводника из магнитного поля? 4. В чем заключается суть закона полного тока? 5. В какой последовательности проводится расчет магнитных цепей?

3.3. Электромагнитная индукция

Студент должен **иметь представление:**

- о физических процессах электромагнитной индукции;

знать:

- основные характеристики электромагнитной индукции и основные зависимости для их определения;

уметь:

- рассчитывать параметры индукции и самоиндукций;

- обрабатывать результаты расчетов и опытных данных и проводить их анализ

.Явление электромагнитной индукции. Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца. Электродвижущая сила, индуцируемая в проводнике, движущемся в магнитном поле. Явление и ЭДС самоиндукции, явление и ЭДС взаимной индукции. Коэффициент магнитной связи. Потокосцепление- Взаимное преобразование механической и электрической энергии. Применение закона электромагнитной индукции в практике. Принцип работы трансформатора. Вихревые токи, их использование и способы ограничения.

Задание. Изучить: Л-1, с. 213...242.

Ответить на вопросы: 1. От чего зависит электродвижущая сила, индуцируемая в проводнике, движущемся в магнитном поле? 2. Что такое ЭДС самоиндукции и взаимной индукции? 3. Где на практике применены законы электромагнитной индукции? 4. В чем заключается принцип работы трансформатора?

Раздел 4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

4.1. Начальные сведения о переменном электрическом токе

Студент должен иметь представление:

- о принципах получения синусоидально изменяющихся электрических параметров;

- о принципах построения источников и приемников электрической энергии переменного тока;

знать:

- основные законы для цепей переменного тока: Ома, Кирхгофа;

- основные способы аналитического и графического представления синусоидальных электрических величин;

Явление переменного тока. Получение синусоидальной ЭДС. Принцип действия и конструкция генератора переменного тока. Уравнения и графики синусоидальной ЭДС. Векторные диаграммы. Характеристики синусоидальных величин. Предельное (амплитудное), действующее, среднее значения синусоидально изменяющихся электрических величин. Мгновенное значение.

Задание. Изучить: Л-1, с. 242...260.

Ответить на вопросы: 1. Что такое переменный ток? 2. Что такое период, частота и амплитуда переменного тока? 3. Что такое среднее и действующее значения тока и напряжения? 4. Как записывается мгновенное значение тока, напряжения? 5. Что такое сдвиг фазы?

4.2. Элементы и основные параметры цепей переменного тока.

Студент должен иметь представление:

- об основных видах цепей переменного тока, их практическом применении;

знать:

- влияние величины различных нагрузок в цепях переменного тока на изменение векторных диаграмм и коэффициента мощности; »

уметь:

- подбирать параметры элементов цепей переменного тока для решения заданной задачи;

- собирать электрические схемы цепей переменного тока.

Элементы и параметры электрической цепи переменного тока.

Цепь переменного тока с активным сопротивлением: напряжение, ток, мощность, векторная диаграмма.

Цепь переменного тока с индуктивным сопротивлением: напряжение, ток, мощность, векторная диаграмма.

Цепь переменного тока с емкостью: напряжение, ток, мощность, векторная диаграмма.

Задание. Изучить: Л-1, с. 261 ...292.

Ответить на вопросы: 1. Какие сопротивления относят к активным, какие - к реактивным? 2. От чего зависит величина активного сопротивления? 3. От чего зависит величина индуктивного сопротивления? 4. От чего зависит величина емкостного сопротивления? 5. Что такое полное сопротивление цепи? б. Какой угол между током и напряжением в цепи с сопротивлением: активным, индуктивным, емкостным?

4.3. Расчет электрических цепей переменного тока. Векторные диаграммы

Студент должен иметь представление:

- о характере векторных диаграмм электрических цепей переменного тока с различными видами нагрузок;

знать:

- правила построения векторных диаграмм для неразветвленных и разветвленных электрических цепей;

уметь:

- выполнять построение векторных диаграмм для электрических цепей различной структуры и состава элементов нагрузки;

- подбирать параметры элементов электрической цепи для решения заданной задачи.

Расчет неразветвленной цепи переменного тока с активным сопротивлением, индуктивностью, емкостью, при различных соотношениях величин реактивных сопротивлений. Треугольники напряжений, сопротивлений, мощностей.

Расчет разветвленной цепи с активным сопротивлением, индуктивностью, емкостью при различных соотношениях величин реактивных проводимостей. Треугольники токов, проводимостей, мощностей.

Компенсация реактивной мощности в электрических цепях. Коэффициент мощности. Методы увеличения коэффициента мощности.

Задание. Изучить: Л-1, с. 292...314.

Ответить на вопросы: 1. Что такое угол сдвига фаз? 2. Что такое активная, реактивная и полная мощность? 3. Что такое коэффициент мощности $\cos \varphi$? 4. В чем заключается отличие расчетов неразветвленной и разветвленной цепи?

4.4. Символический метод расчета электрических цепей

Студент должен **иметь представление:**

- о комплексных числах и их представлении на комплексной плоскости;

знать:

- представление электрических величин на комплексной плоскости с помощью комплексных чисел;

Алгебраическая, показательная и тригонометрическая формы представления комплексных чисел. Выражение синусоидальных величин комплексными числами. Сопротивления, проводимости, мощность

электрических цепей в комплексной форме. Законы Ома, Кирхгофа в символической форме.

Задание. Изучить: Л-1, с. 314... 350.

Ответить на вопросы: 1. В чем суть алгебраической, показательной и тригонометрической форм представления комплексного числа? 2. Как определить по алгебраическому комплексному числу показательное комплексное число? 3. Как определить по показательному комплексному числу алгебраическое комплексное число? 4. Как вычисляют сумму или разность комплексных чисел? 5. Как вычисляют деление и произведение комплексных чисел? 6. Какой комплекс тока называется сопряженным?

4.5 Резонанс в электрических цепях переменного тока

Студент должен иметь **представление:**

- о физических процессах, происходящих в электрических цепях переменного тока с различными видами нагрузок;

знать:

- условия резонансов напряжений и токов;

уметь:

- рассчитывать параметры электрической цепи для заданных условий резонанса;

- выполнять построение частотных характеристик и векторных диаграмм области резонансных частот; настраивать электрическую цепь на условия резонанса;

- обрабатывать и анализировать результаты расчетов и экспериментов. Резонанс напряжений в неразветвленной электрической цепи. Условия и признаки резонанса напряжений. Резонансная частота, волновое сопротивление, добротность контура, частотные характеристики.

Разветвленная электрическая цепь, резонанс токов. Условия и признаки резонанса токов, частотные характеристики. Практическое значение и использование резонансных контуров

Задание. Изучить: Л-1, с. 351...363.

Ответить на вопросы: 1. В чем состоит суть резонанса напряжений? 2. Как определить резонансную частоту? 3. Что такое добротность контура? 4. В какой электрической цепи возникает резонанс токов? 5. Где применяется на практике свойство резонансов токов?

4.6. Трехфазные цепи

Студент должен **иметь представление:**

- о принципах получения трехфазной ЭДС;
- о принципах построения трехфазных схем генератора и приемника электрической энергии;

знать:

- основные параметры трехфазной цепи и основные виды нагрузок трехфазного приемника электрической энергии;

уметь:

- рассчитывать трехфазную цепь;
- выполнять построение топографических диаграмм;
- собирать трехфазные электрические схемы.

Трехфазные системы. Получение трехфазных ЭДС. Симметричная нагрузка в трехфазной цепи при соединении обмоток генератора и фаз приемника звездой и треугольником.

Фазные, линейные напряжения и токи, соотношения между ними;

Топографическая диаграмма. Несимметричная нагрузка в трехфазной цепи при соединении фаз приемника звездой и треугольником. Четырехпроводная трехфазная система.

Напряжение смещения нейтрали, роль нулевого провода. Расчет трехфазных цепей. Метод взаимного преобразования звезды и треугольника. Режимы холостого хода, короткого замыкания.

Задание. Изучить: Л-1, с. 363...404.

Ответить на вопросы: 1. Какая система называется многофазной и какой она может быть по числу фаз? 2. Какие многофазные системы являются симметричными и какие уравновешенными?

3. Что называется фазным током и напряжением? Что такое линейный ток и напряжение? Каковы зависимости между фазными и линейными величинами? 4. Каков порядок расчета трехфазных цепей методом узлового напряжения при соединении потребителей звездой? 5. Каково назначение нулевого провода в трехфазной цепи? К каким последствиям приводит обрыв нулевого провода?

4.7. Несинусоидальные периодические напряжения и токи

Студент должен **иметь представление:**

- о причинах возникновения несинусоидальных ЭДС, токов и напряжений; **знать:**

- основные виды несинусоидальных периодических величин, законы их аналитического представления;

Типовые кривые, характеризующие периодические несинусоидальные характеристики электрических элементов. Аналитическое выражение несинусоидальной величины в форме тригонометрического ряда. Признаки и виды симметрии несинусоидальных кривых, их влияние на вид тригонометрического ряда. Действующая величина, коэффициент формы.

Расчет электрической цепи при несинусоидальном периодическом напряжении на входе цепи.

Задание. Изучить: Л-1, с. 420...448

Ответить на вопросы: 1. Каковы причины возникновения несинусоидальных токов в генераторах и потребителях? 2. Как сформулировать теорему Фурье для несинусоидального напряжения? 3. Какая гармоническая составляющая называется основной? 4. Какая периодическая кривая называется симметричной относительно оси абсцисс? Приведите примеры уравнений для такой кривой? 5. Как изменяются сопротивления r , X_c , X_L при увеличении номера гармоники? 6. Каково действующее значение тока и напряжения в цепи с несинусоидальным напряжением?

4.8. Нелинейные электрические цепи

Студент должен **иметь представление:**

- об основных типах нелинейных элементов, их использовании в электрических цепях;

знать:

- основные формы вольтамперных характеристик нелинейных элементов;

- способы расчета электрических цепей с нелинейными элементами;

уметь:

- производить расчет и графоаналитическое построение вольт-амперных характеристик электрических цепей.

Нелинейные элементы, применяемые в электрических цепях, их вольтамперные характеристики. Статическое и динамическое сопро-

тивление нелинейных элементов. Графический расчет электрических цепей постоянного тока с нелинейными элементами.

Цепи переменного тока с нелинейными, активными элементами, с нелинейной индуктивностью. Катушка с ферромагнитным сердечником: магнитный поток, ток, ЭДС, векторная диаграмма. Потери в катушке с ферромагнитным сердечником. Векторная диаграмма катушки с потерями. Полная векторная диаграмма и схема замещения катушек с ферромагнитным сердечником. Явление феррорезонанса, принцип действия дросселя насыщения, магнитного усилителя.

Задание. Изучить: Л-1, с. 192...210, 419...479.

Ответить на вопросы: 1. Какие сопротивления называются линейными? Какие нелинейными? 2. Какие нелинейные активные сопротивления имеют место в электрических цепях? 3. Какова методика расчета нелинейных электрических цепей? 4. Назовите три схемы включения триодов в электрическую цепь. 5. Что называется магнитной цепью? 6. Сформулируйте закон Ома и законы Кирхгофа для магнитных цепей и проведите аналогию между величинами, характеризующими электрические и магнитные цепи. 7. Почему при синусоидальном напряжении, приложенном к катушке со стальным сердечником, ток в катушке будет несинусоидальным? 8. Как изменится ток в обмотке реактивной катушки, включенной на переменное напряжение, если из нее удалить стальной сердечник? 9. Как влияет величина воздушного зазора в стальном сердечнике катушки на ее индуктивность и потери в стали при $I = \text{const}$ 10. Почему в электрических машинах зазор между ротором и статором стараются сделать наименьшим?

4.9 Переходные процессы электрических цепях

Студент должен иметь **представление:** .

-о переходных процессах;

знать:

первый и второй законы коммутации.

Понятие о переходных процессах. Первый и второй законы коммутации

Включение и отключение катушки индуктивности при постоянном напряжении. Переходные процессы в цепях переменного тока с индуктивности и емкостью.

Изучить: Л-1, с. 480...507.

Ответить на вопросы: 1. Что понимают под переходными процесс электрических цепях? 2. Что называется коммутацией в электрических цепей? 3. Что называется припущенной составляющей тока при процессах в электрической цепи? 4. Что называется свободной составляющей тока (напряжения) в цепи? 5. По какому закону свободная составляющая тока (напряжения) в линейных их цепях?

б. Из каких операций состоит расчет переходных линейных электрических цепях? 7. Что называется преобразованием Лапласа? 8. Какова последовательность расчетов электрические цепи с распределенными параметрами?

4.10. Электрические цепи с распределенными параметрами

Студент должен иметь **представление:**

- об электрических цепях с распределенными параметрами;
- о характеристиках длинной линии.

Электрические цепи с распределенными параметрами. Схемы замещения однородных линий с потерями и без потерь.

Основные уравнения линии. Характеристики длинной линии: коэффициент распространения электромагнитной волны, коэффициент затухания, коэффициент фазы, волновое сопротивление.

Изучить: Л-1, с. 508...535

Ответить на вопросы: 1. Какие цепи относят к цепям с сосредоточенными параметрами? 2. Какие цепи относятся к цепям с распределенными параметрами? 3. Что представляет схема замещения линии без потерь?

Что такое волновое сопротивление? 5. Что такое согласованная нагрузка? 6. К чему приводит несогласованная нагрузка в цепи? 7. Что представляет схема замещения линии с потерями?

ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Исследование электрических цепей при последовательном, параллельном и смешанном соединении резисторов.

2. Изучение законов Кирхгофа

3. Изучение метода наложения токов .

4. Исследование явления электромагнитной индукции
5. Исследование неразветвленной электрической цепи переменного тока.
6. Исследование разветвленной электрической цепи тока.
Резонанс токов.
7. Исследование разветвленной электрической цепи переменного тока. Резонанс токов.
8. Повышение коэффициента мощности.
9. Трехфазная цепь при соединении потребителя звездой
10. Трехфазная цепь при соединении потребителя треугольником
11. Измерение потери в катушке с ферромагнитным сердечником
12. Исследование переходных процессов в цепи с емкостью

ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1. Расчет электростатических цепей.
2. Расчет разветвленных цепей постоянного тока. Построение потенциальной диаграммы.
3. Расчет цепей постоянного тока методом преобразования.
4. Расчет цепей постоянного тока методом узловых уравнений.
5. Расчет цепей постоянного тока методом контурных токов.
6. Расчет однородной и неоднородной магнитных цепей.
7. Расчет ЭДС самоиндукции и взаимной индукции.
8. Расчет неразветвленной цепи переменного тока.
9. Расчет разветвленной цепи переменного тока.
10. Расчет сложных цепей переменного тока в комплексной и символической формах.
11. Расчет трехфазных цепей при соединении нагрузки звездой.
12. Расчет трехфазных цепей при соединении нагрузки треугольником.
13. Расчет нелинейных электрических цепей переменного тока
14. Расчет электрических цепей с распределенными параметрами;

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА 1

Задача 1.1. Определите заряд, энергию электрического поля каждого конденсатора, эквивалентную емкость цепи, энергию, потребляемую цепью. Данные для решения задачи указаны в табл. 1.1. В общем виде, в логической последовательности покажите, как изменится энергия электрического поля всей цепи при изменении емкости, указанной в табл. 1.1.

1.1. Данные к задаче 1.1.

Номер варианта	Номер рисунка, схемы	Задаваемые величины						
		U, кВ	C ₁ , мкФ	C ₂ , мкФ	C ₃ , мкФ	C ₄ , мкФ	C ₅ , мкФ	C ₆ , мкФ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
00, 50	1.1.1	1	10↑	20	30	40	50	60
01, 51	1.1.2	10	20	30↑	40	50	60	10
02, 52	1.1.3	9	30	40	50↑	60	10	20
03, 53	1.1.4	8	40	50	60	40↑	20	30
04, 54	1.1.5	7	50	60	10	20	30↑	40
05, 55	1.1.1	2	60	10	20	30	40	50↑
06, 56	1.1.2	9	10↑	20	30	40	50	60
07, 57	1.1.3	8	20	30↑	40	50	60	10
08, 58	1.1.4	7	30	40	50↑	60	10	20
09, 59	1.1.5	6	40	50	60	10↑	20	30
10, 60	1.1.1	3	50	60	10	20	30↑	40
11, 61	1.1.2	8	60	10	20	30	40	50↑
12, 62	1.1.3	7	10↓	20	30	40	50	60
13, 63	1.1.4	6	20	30↓	40	50	60	70
14, 64	1.1.5	5	30	40	50↓	60	10	20
15, 65	1.1.1	4	40	50	60	10↓	20	30
16, 66	1.1.2	7	50	60	10	20	30↓	40
17, 67	1.1.3	6	60	10	20	30	40	50↓
18, 68	1.1.4	5	10↓	20	30	40	50	60
19, 69	1.1.5	4	20	30↓	40	50	60	10
20, 70	1.1.1	5	30	40	50↓	60	10	20
21, 71	1.1.2	6	40	50	60	10↓	20	30
22, 72	1.1.3	5	50	60	10	20	30↓	40
23, 73	1.1.4	4	60	10	20	30	40	50↓

1	2	3	4	5	6	7	8	9
24, 74	1.1.5	3	10↓	20	30	40	50	60
25, 75	1.1.1	6	20	30↓	40	50	60	10
26, 76	1.1.2	5	30	40	50↑	60	10	20
27, 77	1.1.3	4	40	50	60	10↑	20	30
28, 78	1.1.4	3	50	60	70	20	30↑	40
29, 79	1.1.5	2	60	10	20	30	40	50↑
30, 80	1.1.1	7	10↑	20	30	40	50	60
31, 81	1.1.2	4	20	30↑	40	50	60	10
32, 82	1.1.3	3	30	40	50↑	60	10	20
33, 83	1.1.4	2	40	50	60	10↑	20	30
34, 84	1.1.5	1	50	60	10	20	30↑	40
35, 85	1.1.1	8	60	10	20	30	40	50↑
36, 86	1.1.2	3	10↑	20	30	40	50	60
37, 87	1.1.3	2	20	30↑	40	50	60	10
38, 88	1.1.4	1	30	40	10↑	60	10	20
39, 89	1.1.5	2	40	50	60	10↑	20	30
40, 90	1.1.1	9	50	60	10	20	30↑	40
41, 91	1.1.2	2	60	10	20	30	40	50↑
42, 92	1.1.3	1	10↓	20	30	40	50	60
43, 93	1.1.4	9	20	30↓	40	50	60	10
44, 94	1.1.5	1	30	40	50↓	60	10	20
45, 95	1.1.1	10	40	50	60	10↓	20	30
46, 96	1.1.2	1	50	60	10	20	30↓	40
47, 97	1.1.3	10	60	10	20	30	40	50↓
48, 98	1.1.4	2	10↓	20	30	40	50	60
49, 99	1.1.5	3	20	30↓	40	50	60	70

Примечание. В таблице к задаче 1.1 условное обозначение «↑» означает, что данная емкость увеличивается, а «↓» означает, что данная емкость уменьшается.

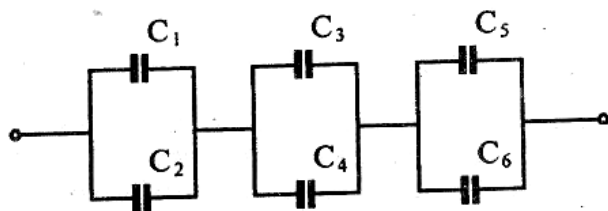


Рис. 1.1.1

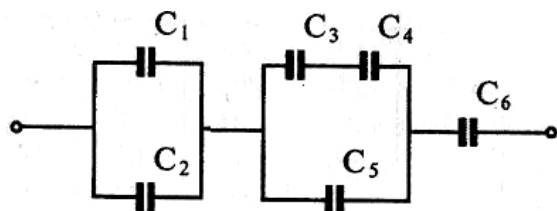


Рис. 1.1.2

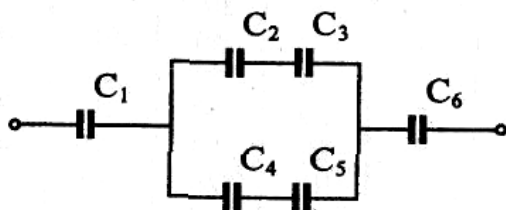


Рис. 1.1.3

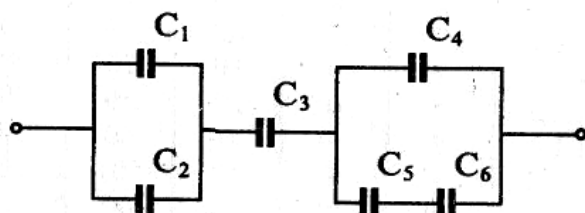


Рис. 1.1.4

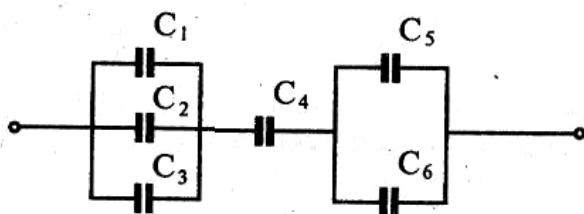


Рис. 1.1.5

Задача 1.2. Для электрической цепи, изображенной на рис. 1.2, нарисуйте схему в удобном для расчета виде.

1. Определите: а) эквивалентное сопротивление цепи; б) токи в каждом сопротивлении и всей цепи; в) падение напряжения на каждом сопротивлении; г) мощность всей цепи; д) энергию, потребляемую за 10 часов.

2. В общем виде в логической последовательности покажите, как изменится ток при изменении указанного в таблице сопротивления. Данные для решения задачи указаны в табл. 1.2.

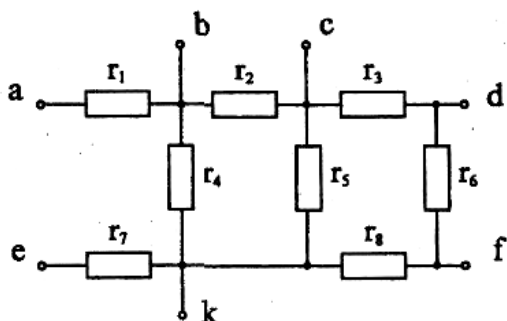


Рис. 1.2

Данные к задаче 1.2

Номер варианта	Точки приложенного напряжения	Задаваемые величины								
		U, В	r_1 , Ом	r_2 , Ом	r_3 , Ом	r_4 , Ом	r_5 , Ом	r_6 , Ом	r_7 , Ом	r_8 , Ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
00, 50	a-e	12	4↑	3	2	6	6	2	5	2
01, 51	b-c	10	-	2↑	3	6	4	6	-	5
02, 52	d-f	36	-	4	3↑	2	5	4	-	2
03, 53	c-d	150	-	2	3	4↑	5	6	-	8
04, 54	k-f	48	-	3	4	5	6↑	7	-	1
05, 55	b-k	120	-	4	5	6	7	8↑	-	2
06, 56	c-k	15	-	5	6	7	8↑	1	-	3
07, 57	a-k	24	5	6	7	8	1	2	-	4↑
08, 58	e-b	110	-	7↓	8	1	2	3	4	5
09, 59	f-d	200	-	8↓	1	2	3	4	-	6
10, 60	b-c	12	-	10	4↓	4	12	4	-	4
11, 61	d-f	10	-	4	4	10↓	4	12	-	4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12, 62	c-d	36	-	12	4	44	10↓	4	-	4
13, 63	k-f	150	-	4	4	12	4	10↓	-	6
14, 64	b-k	48	-	10	2	6	2	5↓	-	3
15, 65	c-k	120	-	15↑	7	4	8	2	-	4
16, 66	a-k	15	4	2	10↑	4	3	1	-	1
17, 67	e-b	24	-	2	5	5↑	4	2	-	2
18, 68	f-d	110	-	12	6	6	3↑	4	-	3
19, 69	a-e	200	6	15	7	7	6	8↑	4	1
20, 70	b-c	36	-	121	12	12	24	36	-	12↑
21, 71	d-f	48	-	6↓	61	6	12	18	-	6
22, 72	c-d	60	-	3	3↓	3	6	8	-	4
23, 73	k-f	90	-	24	24	24↓	48	72	-	8
24, 74	b-k	120	-	12	18	9	24↓	36	-	6
25, 75	c-k	150	-	16	16	16	32	32↓	-	18
26, 76	a-k	180	6	20	20	20	40	40	-	9↓
27, 77	e-b	210	-	25↑	25	25	50	50	30	10
28, 78	f-d	240	-	30	30↑	30	60	60	-	20
29, 79	b-c	24	-	10	10	10↑	6	6	-	4
30, 80	d-f	12	-	36	150	36	72↑	100	-	14
31, 81	c-d	24	-	72	300	72	144	200↑	-	28
32, 82	k-f	36	-	18	75	18	72	100	-	14↑
33, 83	b-k	48	-	12	12↓	12	24	24	-	12
34, 84	c-k	60	-	6↓	6	12	12	6	-	6
35, 85	a-k	72	4	12	12↓	6	6	12	-	1
36, 86	e-b	84	-	24	24	12↓	12	24	6	24
37, 87	f-d	96	-	12	24	36	18↓	12	-	18
38, 88	a-e	108	12	24	36	12	6	24↓	6	12
39, 89	b-c	120	-	36	24	12	6	36	-	24↓

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
40, 90	a-e	48	8	6↑	12	6	12	30	4	48
41, 91	b-c	60	-	8	14↑	8	14	40	-	50
42, 92	d-f	72	-	10	16	10↑	16	40	-	50
43, 93	c-d	84	-	12	16	12	16↑	50	-	40
44, 94	k-f	96	-	16	12	16	12↑	60	-	60
45, 95	b-k	108	-	20	24	20	16	50	-	50↑
46, 96	c-k	120	-	25↓	24	25	24	25	-	25
47, 97	a-k	136	2	4	6↓	4	6	4	-	6
48, 98	e-b	124	-	6	4	6↓	4	6	4	4
49, 99	f-d	12	-	2	4	2	4↓	2	-	4

Задача 1.3. Для электрической схемы, изображенной на рис. 1.3, по указанным в таблице параметрам выполните следующее задание:

1. Изобразите схему для своего варианта в удобном для расчета виде.
2. Составьте на основании закона Кирхгофа систему необходимых уравнений для расчетов токов во всех ветвях схемы и определите их.
3. Определите токи в ветвях, пользуясь любым другим методом расчета.
4. Постройте потенциальную диаграмму для любого контура.
5. Определите мощности источников, приемников электрической энергии и мощности потерь внутри источников.
6. Составьте баланс мощностей.
7. В общем виде в логической последовательности покажите, как изменится потеря мощности внутри источника при изменении указанного сопротивления.

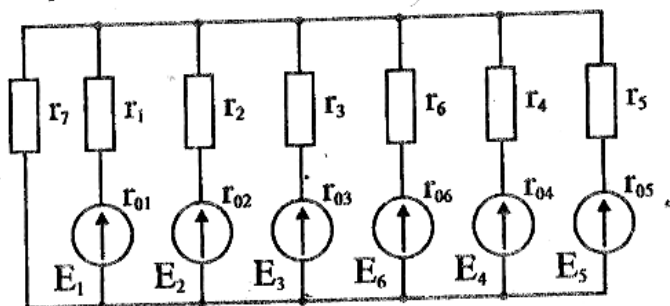


Рис. 1.3

1.3. Данные к задаче 1.3

Номера вариантов	Заданные величины																		
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	R ₀₁	R ₀₂	R ₀₃	R ₀₄	R ₀₅	R ₀₆	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇
	В	В	В	В	В	В	ОМ	ОМ	ОМ	ОМ	ОМ	ОМ	ОМ	ОМ	ОМ	ОМ	ОМ	ОМ	ОМ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
00,50	90	60	-	-	-	-	0,1	0,2	-	-	-	-	9,9	9,8↑	-	-	-	-	10
01,51	-	70	50	-	-	-	-	0,3	0,2	-	-	-	-	9,7	9,8↑	-	-	-	10
02,52	-	-	60	03	-	-	-	0,4	0,4	-	-	-	-	-	9,6↑	9,6	-	-	10
03,53	60	-	90	-	-	-	0,1	-	0,3	-	-	-	9,9	-	9,7↑	-	-	-	10
04,54	70	-	-	80	-	-	0,4	-	-	0,5	-	-	9,6	-	9,5↓	9,5↓	-	-	10
05,55	-	90	-	60	-	-	0,2	0,3	-	0,3	-	-	-	9,7↑	-	9,7	-	-	10
06,56	80	-	-	-	130	-	-	-	-	-	0,1	-	9,8↑	-	-	9,9	-	-	10
07,57	-	90	-	-	60	-	-	0,1	-	-	0,2	-	-	9,9↑	-	9,8	-	-	10
08,58	-	-	120	-	90	-	-	-	0,1	-	0,3	-	-	-	9,9↑	9,7	-	-	10
09,59	-	-	-	110	100	-	-	-	-	0,1	0,4	-	-	-	-	9,6	-	-	10
10,60	100	-	-	-	-	50	0,1	-	-	-	-	0,2	9,9	-	-	9,6	-	9,8↑	10
11,61	110	-	-	-	-	60	0,2	-	-	-	-	0,1	9,8	-	-	-	-	9,9↑	10
12,62	-	120	-	-	-	70	-	0,3	-	-	-	0,3	-	9,7↑	-	-	-	9,7	10
13,63	-	-	50	-	-	40	-	-	0,2	-	-	0,2	-	9,8	-	-	-	9,8↑	10
14,64	-	-	-	40	-	50	-	-	-	0,4	-	0,3	-	-	9,6↓	-	-	9,7	10
15,65	-	-	-	-	70	20	-	-	-	-	0,5	0,5	-	-	-	9,5↓	-	9,5	10
16,66	100	-	-	50	-	-	0,1	-	-	0,1	-	-	9,9↑	-	-	9,5↓	-	-	10
17,67	120	-	-	-	100	-	0,2	-	-	-	0,2	-	9,8	-	-	9,8↑	-	-	10
18,68	-	100	-	-	-	50	-	0,3	-	-	-	0,3	-	9,7	-	9,8↑	-	9,7↑	10
19,69	-	-	120	-	60	-	-	-	0,5	-	0,4	-	-	-	9,5	-	9,6↑	-	10
20,70	20	-	-	120	-	-	0,3	-	-	0,4	-	-	9,7	-	-	9,6↑	-	-	10
21,71	-	40	-	-	100	-	-	0,2	-	-	0,2	-	-	9,8↑	-	-	9,8	-	10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
22, 72	-	-	70	-	-	90	-	-	0,1	-	-	0,1	-	-	9,9↓	-	-	9,9	-
23, 73	80	-	-	50	-	-	0,5	-	-	0,3	-	-	9,5	-	-	9,7↓	-	-	10
24, 74	-	70	-	-	40	30	-	0,3	-	-	0,1	-	-	9,7	-	-	9,9↓	-	10
25, 75	-	-	60	-	-	20	-	-	0,2	-	-	0,4	-	-	9,8	-	-	9,6↓	10
26, 76	-	-	-	50	-	-	-	-	-	0,4	-	0,2	-	-	-	9,6	-	9,8↓	10
27, 77	-	100	50	-	-	-	-	0,2	0,3	-	-	-	-	9,8↓	9,7	9,9↓	-	-	10
28, 78	-	120	-	50	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-	9,5	-	-	-	-	10
29, 79	-	-	80	-	20	-	-	-	0,2	-	0,2	-	9,9	9,7↓	9,8↓	-	9,8	-	10
30, 80	120	20	50	-	-	-	0,1	0,3	0,2	-	-	-	-	9,9	9,8↓	9,8	-	-	-
31, 81	-	110	30	40	-	-	-	0,1	0,2	0,2	-	-	-	-	9,8	9,7↓	9,6	-	-
32, 82	-	-	100	50	70	-	-	-	0,2	0,3	0,4	-	-	-	9,8	9,9↓	9,8	9,7	-
33, 83	-	-	-	100	30	80	-	-	-	0,1	0,2	0,3	-	-	-	-	-	0,5	-
34, 84	110	-	30	-	-	50	0,2	-	0,3	-	-	0,5	9,8	-	9,7	9,6	-	0,7	-
35, 85	-	100	-	40	-	60	-	0,2	-	0,4	-	0,3	-	9,8↓	-	-	-	-	-
36, 86	90	-	20	-	80	-	0,1	-	-	-	0,3	-	9,9	-	9,8↓	-	9,7	-	-
37, 87	-	60	-	50	-	100	-	0,3	0,2	0,4	-	0,5	-	9,7	-	9,6↓	-	9,5	-
38, 88	-	-	60	20	40	-	-	-	0,3	0,2	0,1	-	-	-	9,7	9,8	9,9↓	-	-
39, 89	100	-	-	30	-	80	0,4	-	0,3	0,3	-	0,2	9,6	-	-	9,7	-	9,8↓	-
40, 90	-	80	20	-	60	-	-	0,7	0,6	-	0,5	-	-	9,3↓	9,4	9,7	-	-	-
41, 91	-	90	-	100	-	30	-	0,2	-	0,3	-	0,4	-	9,8	-	9,5	-	-	-
42, 92	120	-	60	-	20	-	0,7	0,3	0,6	0,3	-	-	9,3	-	9,4	9,7↓	-	9,6	-
43, 93	-	120	-	30	-	10	-	0,3	-	-	0,5	-	-	9,7	-	-	9,5↓	-	-
44, 94	60	-	30	-	20	-	0,6	-	0,5	0,4	-	0,5	9,4	-	9,5↓	9,6	-	-	-
45, 95	40	-	-	-	30	70	0,4	-	-	-	0,5	-	9,6	-	-	-	5↓	9,4	-
46, 96	-	80	60	20	-	-	-	0,2	0,3	0,4	-	-	-	9,8↓	9,7	9,6	-	-	-
47, 97	-	-	-	70	60	50	-	-	0,7	0,7	0,6	0,5	-	-	-	9,3	9,4	9,5↓	-
48, 98	100	40	20	-	-	-	0,8	0,7	0,6	0,6	0,2	-	9,1	9,3↓	9,4	-	-	-	-
49, 99	-	-	20	40	100	-	-	-	0,8	0,6	0,2	-	-	-	9,2	9,4↓	9,8	-	-

Задача 1.4. Какой ток должен протекать по обмотке с числом витков w , в магнитной цепи, изображенной на рисунке 1.4 а, чтобы магнитная индукция в воздушном зазоре σ была $B\sigma$. Данные для расчетов даны в таблице 1.4.

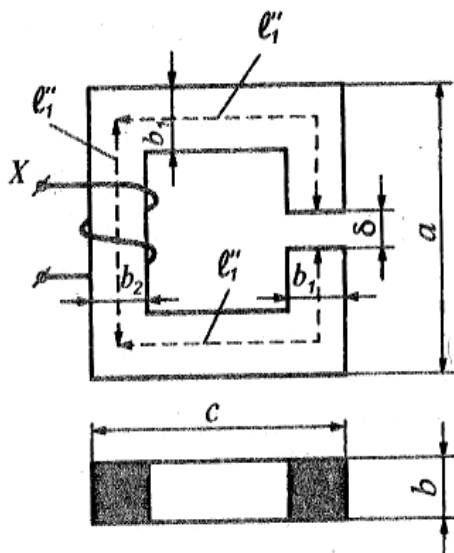


Рис. 1.4а

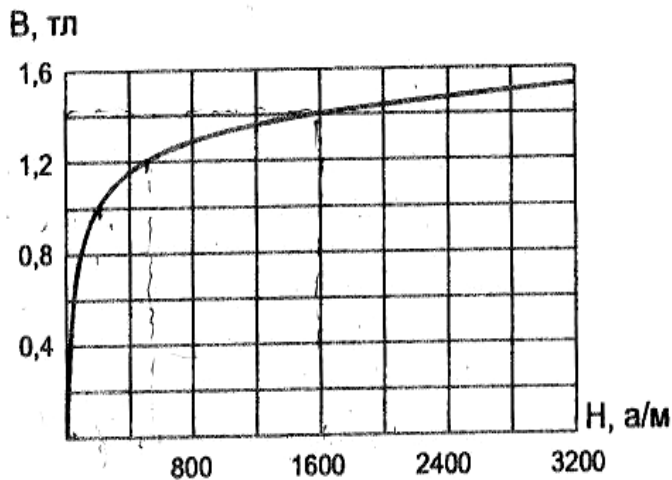


Рис. 1.4б

Таблица 1.4

Вариант	W, вит.	B_{σ} , Тл	σ , мм	a, мм	C, мм	b, мм	$B_1 = B_2$, мм	B_2 , мм
1	450	0,8	0,5	120	80	20	10	15
2	550	0,85	0,6	130	90	30	10	15
3	600	0,9	0,7	140	100	40	15	20
4	700	0,95	0,8	160	110	40	15	20
5	650	1,05	0,9	170	120	50	20	25
6	750	1,1	1,1	180	130	50	20	25
7	800	1,15	1,2	190	140	55	25	30
8	850	1,2	1,3	200	150	55	25	30
9	900	1,35	1,4	210	160	60	30	35
0	950	1,4	1,5	220	170	60	30	35

Методические указания к выполнению контрольной работы 1

Пример 1.1. Определите электрический заряд, напряжение и энергию каждого конденсатора и всей цепи в схеме (рис. 1.5), если напряжение $U = 3$ кВ, емкость $C_1 = 90$ мкФ, $C_3 = 10$ мкФ, $C_4 = 20$ мкФ, $C_5 = 30$ мкФ, $C_6 = 30$ мкФ.

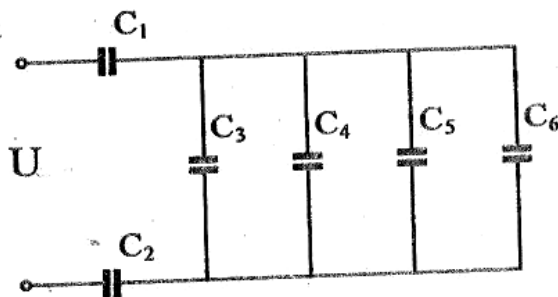


Рис. 1.5.

Решение. Конденсатора C_2 в ветви нет, в этом месте цепь замкнута накоротко.

Определяют: 1. Емкость параллельно соединенных конденсаторов. При параллельном соединении общая емкость равна сумме емкостей конденсаторов:

$$C_{3-6} = C_3 + C_4 + C_5 + C_6 = 10 + 20 + 30 + 30 = 90 \text{ мкФ.}$$

2. Эквивалентная емкость всей цепи. При последовательном соединении величина обратная общей емкости равна сумме обратных величин емкостей отдельных конденсаторов:

$$C_{\text{экв}} = \frac{C_1 \cdot C_{3-6}}{C_1 + C_{3-6}} = \frac{90 \cdot 90}{90 + 90} = 45 \text{ мкФ.}$$

3. Электрический заряд всей цепи. При последовательном соединении все конденсаторы получают один заряд, который равен общему заряду цепи:

$$Q = Q_1 = Q_{3-6} = U \cdot C_{\text{экв}} = 3 \cdot 10^3 \cdot 45 \cdot 10^{-6} = 135 \cdot 10^{-3} \text{ Кл.}$$

4. Напряжение на конденсаторах

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{135 \cdot 10^{-3}}{90 \cdot 10^{-6}} = 1500$$

$$U_3 = U_4 = U_5 = U_6 = \frac{Q_{3-6}}{C_{3-6}} = \frac{135 \cdot 10^{-3}}{90 \cdot 10^{-6}} = 1500$$

Проверка: $U_1 + U_3 = U$; $1,5 \cdot 10^3 + 1,5 \cdot 10^3 = 3 \cdot 10^3$.

5. Электрические заряды на параллельно соединенных конденсаторах:

$$Q_3 = C_3 \cdot U_3 = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5 \cdot 10^3 = 15 \cdot 10^{-3} \text{ Кл;}$$

$$Q_4 = C_4 \cdot U_4 = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5 \cdot 10^3 = 30 \cdot 10^{-3} \text{ Кл;}$$

$$Q_5 = C_5 \cdot U_5 = 30 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5 \cdot 10^3 = 45 \cdot 10^{-3} \text{ Кл;}$$

$$Q_6 = C_6 \cdot U_6 = 30 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5 \cdot 10^3 = 45 \cdot 10^{-3} \text{ Кл.}$$

6. Энергия электрического поля каждого конденсатора и энергия, потребляемая цепью:

$$W_1 = \frac{Q_1 \cdot U_1}{2} = \frac{135 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^3}{2} = 101,25 \text{ Дж;}$$

$$W_3 = \frac{Q_3 \cdot U_3}{2} = \frac{15 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^3}{2} = 11,25 \text{ Дж;}$$

$$W_4 = \frac{Q_4 \cdot U_4}{2} = \frac{30 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^3}{2} = 22,5 \text{ Дж;}$$

$$W_5 = \frac{Q_5 \cdot U_5}{2} = \frac{45 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^3}{2} = 33,75 \text{ Дж;}$$

$$W_6 = \frac{Q_6 \cdot U_6}{2} = \frac{45 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^3}{2} = 33,75 \text{ Дж};$$

$$W = \frac{Q \cdot U}{2} = \frac{135 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3}{2} = 202,5 \text{ Дж.}$$

Согласно закону сохранения энергии

$$W = W_1 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6; \quad 202,5 = 101,255 + 11,25 + 22,5 + 33,75 + 33,75; \\ 202,5 = 202,5.$$

Пример 1.2.

Перед решением задачи 1.2 изучите тему 1.2. Решение задач этого типа требует знания закона Ома для всей цепи и ее участка, первого закона Кирхгофа, методики определения эквивалентного сопротивления цепи при смешанном соединении резисторов, а также умения вычислять мощность и энергию электрического тока.

Прежде всего, необходимо изобразить схему для своего варианта в удобном для расчета виде. Рассмотрим последовательность преобразования схемы относительно точек *b-c*, к которым приложено напряжение *U*.

Из схемы (рис. 1.2) видно, что через сопротивления r_1 и r_7 токи не проходят, так как между ними имеется разрыв цепи, поэтому они из схемы исключаются. Относительно точек *b-c* схема имеет вид (см. рис. 1.6).

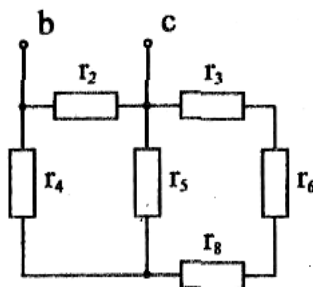


Рис. 1.6

Для схемы, приведенной на рис. 1.6, определите: токи во всех участках смешанной цепи; падения напряжения на каждом сопротивлении; мощность всей цепи; энергию, потребляемую за 10 часов работы.

Напряжение, приложенное к цепи $U = 30 \text{ В}$, сопротивления $r_2 = 1 \text{ Ом}$, $r_3 = 5 \text{ Ом}$, $r_4 = 6 \text{ Ом}$, $r_5 = 3 \text{ Ом}$, $r_6 = 10 \text{ Ом}$, $r_8 = 1 \text{ Ом}$.

Решение. Прежде всего, на схеме обозначим стрелкой направление тока в каждом резисторе, индекс тока должен соответствовать номеру резистора, по которому он проходит.

Из схемы рис. 1.6 видно, что r_3 , r_6 и r_8 соединены последовательно, поэтому сопротивление

$$r_{3-8} = r_3 + r_6 + r_8 = 5 + 10 + 1 = 16 \text{ Ом.}$$

Сопротивление r_{3-8} с сопротивлением r_5 соединены параллельно. Их эквивалентное сопротивление

$$r_{5,3-8} = \frac{r_5 \cdot r_{3-8}}{r_5 + r_{3-8}} = \frac{3 \cdot 16}{3 + 16} = 2,53 \text{ Ом.}$$

Дальше по аналогии с предыдущим выполнением:

$$r_{4,5,3-8} = r_4 + r_{5,3-8} = 6 + 2,53 = 8,53 \text{ Ом.}$$

Сопротивление всей цепи

$$r = \frac{r_2 \cdot r_{4,5,3-8}}{r_2 + r_{4,5,3-8}} = \frac{1 \cdot 8,53}{1 + 8,53} = 0,895 \text{ Ом.}$$

Определяется ток в неразветвленной части цепи

$$I = \frac{U}{r} = \frac{30}{0,895} = 33,52 \text{ А.}$$

Определяется ток в сопротивлении r_2 $U = U_2$

$$I_2 = \frac{U_2}{r_2} = \frac{30}{1} = 30 \text{ А.}$$

Используя первый закон Кирхгофа, определяем ток I_4

$$I_4 = I - I_2 = 33,52 - 30 = 3,52 \text{ А.}$$

Падение напряжения на сопротивлении r_4

$$U_4 = I_4 \cdot r_4 = 3,52 \cdot 6 = 21,12 \text{ В.}$$

Падение напряжения на сопротивлении r_5

$$U_{3-8} = U_5 = U - U_4 = 30 - 21,12 = 8,88 \text{ В.}$$

Ток в сопротивлении r_5

$$I_5 = \frac{U_5}{r_5} = \frac{8,88}{3} = 2,96 \text{ А.}$$

Токи в сопротивлениях r_3 , r_6 , r_8

$$I_3 = I_6 = I_8 = \frac{U_{3,8}}{r_{3-8}} = \frac{8,88}{16} = 0,555 \text{ А.}$$

Падения напряжения на сопротивлениях r_3 , r_6 , r_8 :

$$U_3 = I_3 \cdot r_3 = 0,555 \cdot 5 = 2,775 \text{ В}$$

$$U_6 = I_6 \cdot r_6 = 0,555 \cdot 10 = 5,55 \text{ В}$$

$$U_8 = I_8 \cdot r_8 = 0,555 \cdot 1 = 0,555 \text{ В}$$

Проверим решение задачи, используя первый закон Кирхгофа для точки c

$$I = I_2 + I_5 + I_3; 33,5 = 30 + 2,96 + 0,555 = 33,5; 33,5 \text{ A} = 33,5 \text{ A}.$$

Токи определены правильно.

Определим мощность всей цепи

$$P = U \cdot I = 30 \cdot 33,5 = 1005 \text{ Вт}.$$

Энергия, потребляемая цепью за 10 часов:

$$W = P \cdot t = 1005 \cdot 10 = 10050 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 10,05 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Для схемы (рис. 1.6) в общем виде в логической последовательности покажем, как изменится электрический ток цепи при увеличении $r_3 \uparrow$. Сопротивления r_3 , r_6 , r_8 соединены последовательно, поэтому $\uparrow r_{3-8} = \uparrow r_3 + r_6 + r_8$. Так как r_3 увеличивается, то увеличивается и r_{3-8} .

Сопротивления r_5 и r_{3-8} соединены параллельно. Их эквивалентное сопротивление определяется

$$\uparrow r_{5,3-8} = \frac{r_5 \cdot r_{3-8} \uparrow}{r_5 + r_{3-8} \uparrow}.$$

Из данного выражения видно, что сопротивление $r_{5,3-8}$ увеличивается. Далее по аналогии:

$$\uparrow r_{5,3-8} = r_4 + r_{5,3-8} \uparrow;$$

$$\uparrow r = \frac{r_2 \cdot r_{4,5,3-8}}{r_2 + r_{4,5,3-8} \uparrow}.$$

Из формулы закона Ома видно, что величина тока в электрической цепи при этом уменьшается:

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

Пример 1.3

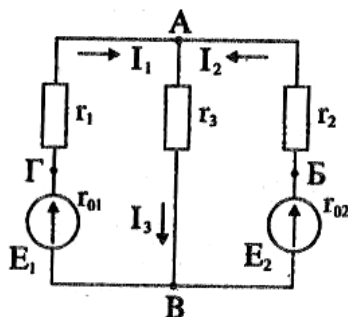


Рис. 1.7

Для электрической цепи, изображенной на рис. 1.7, по известным величинам ($E_1 = 24$ В, $E_2 = 18$ В, $r_{01} = 0,1$ Ом, $r_{02} = 0,2$ Ом, $r_1 = 1,9$ Ом, $r_2 = 1,8$ Ом, $r_3 = 2$ Ом) выполнить следующее:

- 1) составить на основании законов Кирхгофа систему необходимых уравнений для расчета токов во всех ветвях системы;
- 2) определить токи в ветвях, пользуясь любым методом расчета;
- 3) построить потенциальную диаграмму для любого контура;
- 4) определить мощности источников и приемников электрической энергии и мощность потерь внутри источников;
- 5) составить баланс мощностей.

Решение.

1. Решение задачи методом узловых и контурных уравнений.

В ряде случаев при расчете токов в разветвленной цепи не представляется возможным предугадать, какое направление будет иметь тот или иной ток. Поэтому задаемся (произвольно) направлениями токов I_1 , I_2 , I_3 во всех участках цепи и обозначаем эти направления стрелками. Если направление токов выбрано правильно, то в результате вычисления величина тока будет положительной. Если же при расчете ток получился отрицательным, то действительное направление тока противоположно произвольно выбранному. Так как в данной цепи имеются три неизвестные величины – токи I_1 , I_2 , I_3 , то необходимо составить систему уравнений, связывающих эти величины. Данная цепь имеет две узловые точки А и В. Поэтому по первому закону Кирхгофа необходимо составить одно уравнение (на единицу меньше числа узлов), а два других уравнения составляются по второму закону Кирхгофа.

При составлении уравнений по второму закону Кирхгофа необходимо задаться направлением обхода контура. Если направление тока и направление действия электродвижущей силы совпадают с направлением обхода контура, то падения напряжений и электродвижущие силы берутся со знаком «плюс», падения напряжений и электродвижущие силы противоположного направления – со знаком «минус».

На основании первого закона Кирхгофа для узла А

$$I_3 = I_1 + I_2. \quad (1)$$

Составим уравнения по второму закону Кирхгофа.

Для контура ГАВГ $E_1 = I_1(r_1 + r_{01}) + I_3 r_3. \quad (2)$

Для контура ГАБВГ $E_1 - E_2 = I_1(r_1 + r_{01}) - I(r_2 + r_{02}). \quad (3)$

После подстановки известных величин в уравнения (2) и (3) получим:

$$24 = 2I_1 + 2I_3; \quad 6 = 2I_1 - 2I_2 \quad (2) (3)$$

Заменяя в уравнении (2) значения I_3 , через $(I_1 + I_2)$ из уравнения (1), получим:

$$24 = 4I_1 + 2I_2; \quad 6 = 2I_1 - 2I_2.$$

Складываем полученные два уравнения:

$$\begin{array}{r} 24 = 2I_1 + 2I_2 \\ + \quad 6 = 2I_1 - 2I_2 \\ \hline 30 = 6I_1, \quad I_1 = \frac{30}{6} = 5 \text{ А.} \end{array}$$

Подставляя найденное значение тока I_1 в уравнение (2), получаем:

$$24 = 4 \cdot 5 + 2I_2 = 20 + 2I_2, \quad I_2 = \frac{24 - 20}{2} = 2 \text{ А}, \quad I_3 = I_1 + I_2 = 5 + 2 = 7 \text{ А.}$$

Знак «плюс» у токов I_1, I_2, I_3 показывает, что направление токов выбрано нами правильно. Оба источника вырабатывают энергию, то есть работают в режиме генераторов.

Для проверки правильности решения составляем уравнение по второму закону Кирхгофа для контура АВБА:

$$E_2 = I_2(r_2 + r_{02}) + I_3r_3; \quad 18 = 2 \cdot 2 + 2 \cdot 7; \quad 18 = 18.$$

Токи определены правильно.

2. Решение задачи методом узлового напряжения.

Обратите внимание на этот метод, так как он используется при расчете параллельных цепей переменного тока и трехфазных цепей, соединенных звездой.

2.1. Определяются проводимости ветвей:

$$g_1 = \frac{1}{r_1 + r_{01}} = \frac{1}{1,9 + 0,1} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ См};$$

$$g_2 = \frac{1}{r_2 + r_{02}} = \frac{1}{1,8 + 0,2} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ См};$$

$$g_3 = \frac{1}{r_3} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ См.}$$

2.2. Определяется узловое напряжение:

$$U = \frac{E_1g_1 + E_2g_2}{g_1 + g_2 + g_3} = \frac{24 \cdot 0,5 + 18 \cdot 0,55}{0,5 + 0,5 + 0,5} = \frac{21}{1,5} = 14 \text{ В.}$$

2.3. Направим токи во всех ветвях схемы от узла В к узлу А. По закону Ома токи в ветвях определяются следующим образом:

$$I_1 = \frac{E_1 - U}{r_1 + r_{01}} = (E_1 - U)g_1 = (24 - 14) \cdot 0,5 = 5 \text{ А};$$

$$I_2 = \frac{E_2 - U}{r_2 + r_{02}} = (E_2 - U)g_2 = (18 - 14) \cdot 0,5 = 2 \text{ A};$$

$$I_3 = (E_3 - U)g_3 = (0 - 14) \cdot 0,5 = -7 \text{ A}.$$

Знак «минус» у тока I_3 показывает, что направление тока не соответствует произвольно выбранному. Проверяем решение задачи по первому закону Кирхгофа:

$$I_1 + I_2 = I_3; \quad 11 + 12 = (5 + 2) = 7 \text{ A}; \quad I_3 = 7 \text{ A}.$$

Токи определены правильно.

2.4. Определяем мощности источников энергии:

$$P_{1i} = E_1 I_1 = 24 \cdot 5 = 120 \text{ Вт}; \quad P_{2i} = E_2 I_2 = 18 \cdot 2 = 36 \text{ Вт};$$

Мощности приемников электрической энергии:

$$P_1 = I_1^2 r_1 = 5^2 \cdot 1,9 = 47,5 \text{ Вт}; \quad P_2 = I_2^2 r_2 = 2^2 \cdot 1,8 = 7,2 \text{ Вт};$$

$$P_3 = I_3^2 r_3 = 7^2 \cdot 2 = 98 \text{ Вт}.$$

Мощности потерь внутри источников:

$$P_{01} = I_1^2 r_{01} = 5^2 \cdot 0,1 = 2,5 \text{ Вт}; \quad P_{02} = I_2^2 r_{02} = 2^2 \cdot 0,2 = 0,8 \text{ Вт}.$$

Составляем баланс мощностей:

$$P_{1i} + P_{2i} = P_1 + P_2 + P_3 + P_{01} + P_{02}.$$

$$120 + 36 = 47,5 + 7,2 + 98 + 2,5 + 0,8; \quad 156 = 156.$$

Согласно закону сохранения энергии сумма мощностей источников приемников электрической энергии плюс потери мощности внутри источников.

2.5. Строим потенциальную диаграмму. При построении потенциальной диаграммы для контура ВБАВ в схеме (рис. 1.7) заземлим точку В.

Необходимо помнить, что потенциал заземленной точки равен нулю и что ток всегда течет от точки с большим потенциалом к точке с меньшим потенциалом:

$$\varphi_B = 0; \quad \varphi_B = \varphi_B + E_2 - I_2 r_{02} = 0 + 18 - 2 \cdot 0,2 = 17,6 \text{ В};$$

$$\varphi_A = \varphi_B - I_2 r_2 = 17,6 - 2 \cdot 1,8 = 14 \text{ В};$$

$$\varphi_B = \varphi_A - I_3 r_3 = 14 - 7 \cdot 2 = 0.$$

Потенциал φ_B равен нулю, следовательно, потенциалы определены правильно. Потенциальная диаграмма строится в прямоугольной системе координат. По горизонтальной оси откладываем в масштабе $m_r = 4 \text{ Ом/см}$ сопротивления, а по вертикальной оси — потенциалы в масштабе $m_\varphi = 4 \text{ В/см}$. Изменение потенциалов показано наклонными прямыми линиями (рис. 1.8).

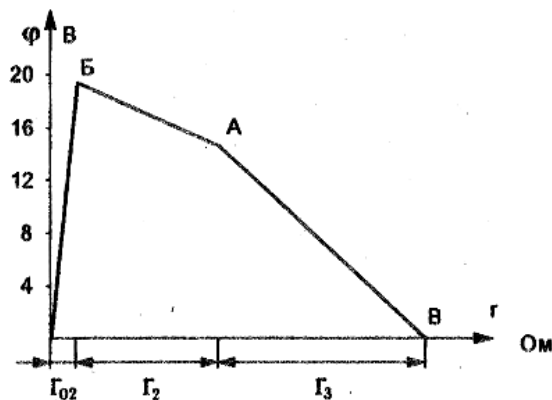


Рис. 1.8

Пример 1.4 относится к расчету магнитных цепей. При решении большинства электротехнических задач все вещества практически подразделяются на ферромагнитные и неферромагнитные. У ферромагнитных веществ относительная магнитная проницаемость μ намного больше единицы, у всех неферромагнитных — μ практически равна единице.

Основными величинами, характеризующими магнитное поле, являются векторные величины: магнитная индукция \vec{B} , намагниченность \vec{J} , напряженность \vec{H} . Эти три величины связаны друг с другом следующей зависимостью:

$$\vec{B} = \mu_0 \left(\vec{H} + \vec{J} \right) \text{ Тл или } \vec{B} = \mu_0 \cdot \mu \vec{H},$$

где $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$ Гн/м, магнитная проницаемость вакуума;
 μ — относительная магнитная проницаемость вещества.

Магнитный поток Φ есть поток вектора магнитной индукции через площадь S : $\Phi = \vec{B} S$ Вб.

Магнитное поле создается электрическими токами. Количественная связь между линейным интегралом от вектора напряженности магнитного поля \vec{H} вдоль любого произвольного контура является алгебраической суммой токов ΣI , охваченных этим контуром, определяется законом тока $Hl = \Sigma I$.

Магнитодвижущая сила (м.д.с.) или намагничивающая сила (н.с.) катушки или обмотки с током есть произведение числа витков катушки W на протекающей по ней ток

$$F_M = IW.$$

Рассмотрим пример расчета магнитной цепи, показанной на рис. 1.4.а, если дано:

$W = 500$ вит.; $B_{\sigma} = 1$ Тл; $\sigma = 1,0$ мм; $a = 150$ мм; $c = 130$ мм; $b = 30$ мм;

$b_1 = b_1' = 15$ мм; $b_2 = 20$ мм. Найти величину тока в катушке, используя кривую намагничивания на рис. 1.4б.

Решение:

Магнитную цепь разбиваем на три участка: первый с сечением s_1 , длина которого

$$l_1 = l_1' + l_1''; \quad l_1' = l_1'';$$

$$l_1' = \left(c - \frac{b_1 + b_2}{2} \right) + \frac{a - b}{2} = \left(130 - \frac{15 + 20}{2} \right) + \frac{150 - 15}{2} = 190 \text{ мм} = 0,19 \text{ м};$$

$$l_1 = 2l_1' = 2 \cdot 0,19 = 0,38 \text{ м};$$

$$s_1 = b \cdot b_1 = 15 \cdot 30 = 450 \text{ мм}^2 = 4,5 \text{ см}^2;$$

второй с сечением s_2 , длина которого

$$l_2 = a - b_1 = 150 - 15 = 135 \text{ мм} \quad l_2 = 0,135 \text{ м};$$

$$s_2 = b \cdot b_2 = 20 \cdot 30 = 600 \text{ мм}^2 = 6 \text{ см}^2;$$

третий – воздушный зазор $\sigma \approx 0,1$ см; $s_{\sigma} = s_1 = 4,5 \text{ см}^2$.

Индукция $B_1 = B_{\sigma} = 1$ Тл.

Индукцию на втором участке найдем, разделив поток $\Phi = B_{\sigma} \cdot s_{\sigma}$ на сечение s_2

$$B_2 = \frac{\Phi}{s_2} = \frac{B_{\sigma} \cdot s_{\sigma}}{s_2} = \frac{1 \cdot 4,5}{6} = 0,75 \text{ Тл.}$$

Напряженности поля на участках l_1 и l_2 определяем согласно кривой намагничивания (рис. 1.4б) по известным значениям магнитной индукции B_1 и B_2

$$H_1 = 300 \text{ А/м}; \quad H_2 = 115 \text{ А/м.}$$

Напряженность поля в воздушном зазоре

$$H_{\sigma} = 0,8 \cdot 10^6 \cdot B_{\sigma} = 0,8 \cdot 10^6 \cdot 1 = 8 \cdot 10^5 \text{ А/м.}$$

Падение магнитного напряжения вдоль всей магнитной цепи

$$\begin{aligned} \sum H_k \cdot l_k &= H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 + H_{\sigma} \cdot l_{\sigma} = \\ &= 300 \cdot 0,38 + 115 \cdot 0,135 + 8 \cdot 10^5 \cdot 10^{-4} = 209,6 \text{ А.} \end{aligned}$$

Сила тока в обмотке

$$I = \frac{\sum H_k l_k}{W} = \frac{209,6}{500} = 0,419 \text{ А.}$$

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА 2

Задача 2.1.

Цепь, состоящая из двух параллельных ветвей, параметры которых $g_1, X_{L1}, X_{C1}, g_2, X_{L2}, X_{C2}$, приведены в табл. 2.1, присоединена к сети напряжением U и частотой $f = 50$ Гц.

1. Начертите схему электрической цепи и определите: а) токи в параллельных ветвях и ток в неразветвленной части цепи; б) коэффициент мощности каждой ветви и всей цепи; в) углы сдвига фаз токов относительно напряжения сети; г) активную, реактивную и полную мощности цепи.

2. Постройте векторную диаграмму.

3. В общем виде в логической последовательности покажите, как повлияет изменение указанной в таблице величины на параметры: $g_1, b_1, y_1, g_2, b_2, y_2, I_1, I_2, I$.

2.1. Данные к задаче 2.1

Номера вариантов	Номера рисунка схемы	Задаваемые величины						
		U, В	g_1 , Ом	X_{L1} , Ом	X_{C1} , Ом	g_2 , Ом	X_{L2} , Ом	X_{C2} , Ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9
00, 50	2.1.1	127	75↑	75	10	10	20	—
01, 51	2.1.2	220	10	70↑	15	15	25	100
02, 52	2.1.3	380	15↓	65	—	20	30	150
03, 53	2.1.4	660	20	60	25	25↑	—	200
04, 54	2.1.5	127	25	—	30	30	40↑	250
05, 55	2.1.1	220	30↓	50	35	35	45	—
06, 56	2.1.2	380	35	45↓	40	40	50	300
07, 57	2.1.3	660	40	40	—	45↓	55	350
08, 58	2.1.4	127	45	35	50↓	50	—	60
09, 59	2.1.5	220	50	—	55	55↓	65	70
10, 60	2.1.1	380	55↑	25	60	60	70	—
11, 61	2.1.2	660	60	20↑	65	65	75	90
12, 62	2.1.3	127	65↓	15	—	70	80	5
13, 63	2.1.4	220	70	10	75	75↑	—	10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14, 64	2.1.5	380	75	-	80	80	90↑	15
15, 65	2.1.1	660	80↓	5	10	80	90	-
16, 66	2.1.2	127	75	10↓	15	75	80	25
17, 67	2.1.3	220	70	15	-	70↓	80	30
18, 68	2.1.4	380	65	20	25	65↓	-	35
19, 69	2.1.5	660	60	-	30	60	70↓	40
20, 70	2.1.1	127	55	30	35↑	55	65	-
21, 71	2.1.2	220	50↑	35	40	50	60	50
22, 72	2.1.3	380	45	40↑	-	45	55	55
23, 73	2.1.4	660	40	45	45	40↑	-	60
24, 74	2.1.5	127	35	-	50	35	45↑	65
25, 75	2.1.1	220	30	55	55↓	30	40	-
26, 76	2.1.2	380	25	60↑	60	25	35	75
27, 77	2.1.3	660	20	65	-	20↑	30	80
28, 78	2.1.4	127	15	70	65	15	-	85↑
29, 79	2.1.5	220	10	-	70	10	20↓	90
30, 80	2.1.1	380	10↓	50	5	100	50	-
31, 81	2.1.2	660	20	45↓	10	90	55	45
32, 82	2.1.3	127	30	40	-	80	60↑	40
33, 83	2.1.4	220	40	35	20	70↓	-	35
34, 84	2.1.5	380	50	-	25	60	65	30↓
35, 85	2.1.1	660	60↑	25	30	50	70	-
36, 86	2.1.2	127	70	20↑	35	40	75	20
37, 87	2.1.3	220	80	15	-	30	80↓	15
38, 88	2.1.4	380	90	10	45	20↑	-	10
39, 89	2.1.5	660	100	-	50	10	85	5↑
40, 90	2.1.1	127	100↓	15	55	10	5	-
41, 91	2.1.2	220	90	20	60↓	20	10	20
42, 92	2.1.3	380	80	25	-	30↓	15	30
43, 93	2.1.4	660	70	30	70↑	40	-	40

1	2	3	4	5	6	7	8	9
44, 94	2.1.5	127	60	–	75	50	25	50↓
45, 95	2.1.1	220	50↑	30	80	60	30	–
46, 96	2.1.2	380	40	35	85↑	70	35	70
47, 97	2.1.3	660	30	40	–	80↑	40	80
48, 98	2.1.4	127	20	45↓	95	90	–	90
49, 99	2.1.5	220	10	–	100	100	50	100↑

Примечание. «↑» – величина, указанная в табл. 2.1, увеличивается, «↓» – уменьшается.

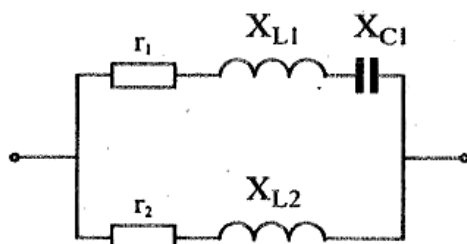


Рис. 2.1.1

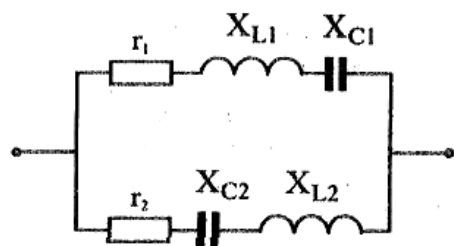


Рис. 2.1.2

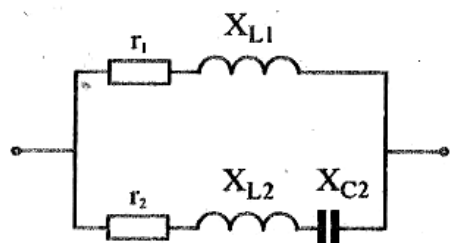


Рис. 2.1.3

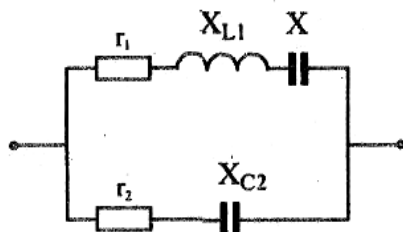


Рис. 2.1.4

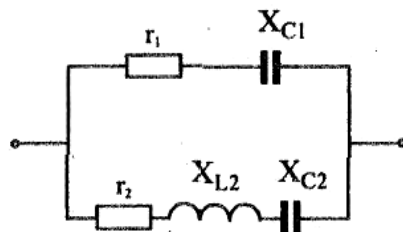


Рис. 2.1.5

Задача 2.2

Вычислите токи во всех участках цепи, напряжение, приложенное к точкам 2-3 цепи, активную, реактивную и полную мощности каждой ветви и всей цепи. Постройте векторную диаграмму цепи. Задачу решите символическим методом.

2.2. Данные к задаче 2.2

Номера вариантов	Номера рисунка, схемы	Задаваемые величины									
		U, В	r_1 , Ом	X_{L1} , Ом	X_{C1} , Ом	r_2 , Ом	X_{L2} , Ом	X_{C2} , Ом	r_3 , Ом	X_{L3} , Ом	X_{C3} , Ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
00, 50	2.2.1	127	4	-	-	3	4	-	4	-	3
01, 51	2.2.2	220	6	8	-	-	3	-	3	-	4
02, 52	2.2.3	380	-	8	-	6	8	-	6	-	8
03, 53	2.2.4	660	10	6	-	8	-	-	8	-	6
04, 54	2.2.5	127	12	16	-	9	12	-	-	-	9
05, 55	2.2.6	220	14	12	-	12	9	-	9	-	-
06, 56	2.2.7	380	16	-	12	-	16	-	16	9	-
07, 57	2.2.8	660	18	16	-	12	16	-	12	-	16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
08, 58	2.2.9	127	20	18	-	16	-	12	16	12	-
09, 59	2.2.10	220	22	-	11	3	4	-	4	3	-
10, 60	2.2.1	380	4	-	-	16	12	-	16	-	3
11, 61	2.2.2	660	6	4	-	-	16	-	18	-	4
12, 62	2.2.3	127	-	6	-	16	18	-	20	-	6
13, 63	2.2.4	220	10	8	-	20	-	-	22	-	9
14, 64	2.2.5	380	12	9	-	18	22	-	-	-	12
15, 65	2.2.6	660	14	12	-	6	8	-	6	-	-
16, 66	2.2.7	127	16	-	12	-	6	-	4	24	-
17, 67	2.2.8	220	18	16	-	3	4	-	3	-	32
18, 68	2.2.9	380	20	3	-	4	-	3	9	32	-
19, 69	2.2.10	660	22	-	4	16	12	-	16	24	-
20, 70	2.2.1	127	3	-	-	9	4	-	6	-	4
21, 71	2.2.2	220	3	4	-	-	3	-	8	-	6
22, 72	2.2.3	380	-	6	-	16	9	-	9	-	9
23, 73	2.2.4	660	6	8	-	24	-	-	12	-	12
24, 74	2.2.5	127	8	9	-	32	16	-	-	-	16
25, 75	2.2.6	220	16	12	-	3	24	-	24	-	-
26, 76	2.2.7	380	12	-	16	-	32	-	3	32	-
27, 77	2.2.8	660	36	24	-	6	9	-	4	-	12
28, 78	2.2.9	127	4	3	-	9	-	12	9	16	-
29, 79	2.2.10	220	3	-	4	12	16	-	16	32	-
30, 80	2.2.1	380	32	-	-	3	4	-	4	-	3
31, 81	2.2.2	660	24	32	-	-	6	-	6	-	9
32, 82	2.2.3	127	-	9	-	9	12	-	8	-	12
33, 83	2.2.4	220	16	12	-	12	-	-	10	-	14
34, 84	2.2.5	380	8	9	-	16	12	-	-	-	16
35, 85	2.2.6	660	4	3	-	18	16	-	14	-	-
36, 86	2.2.7	127	3	-	4	-	24	-	16	20	-
37, 87	2.2.8	220	3	4	-	36	24	-	18	-	22

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
38, 88	2.2.9	380	4	3	-	3	-	4	20	24	-
39, 89	2.2.10	660	9	-	16	4	3	-	22	26	-
40, 90	2.2.1	127	2	-	-	6	9	-	9	-	12
41, 91	2.2.2	220	4	5	-	-	12	-	12	-	16
42, 92	2.2.3	380	-	7	-	10	16	-	12	-	18
43, 93	2.2.4	660	8	9	-	12	-	-	10	-	20
44, 94	2.2.5	127	10	11	-	14	32	-	-	-	22
45, 95	2.2.6	220	12	13	-	16	36	-	24	-	-
46, 96	2.2.7	380	14	-	15	-	42	-	9	12	-
47, 97	2.2.8	660	16	17	-	20	48	-	16	-	28
48, 98	2.2.9	127	18	19	-	22	-	54	3	4	-
49, 99	2.2.10	220	20	-	24	24	60	-	18	32	-

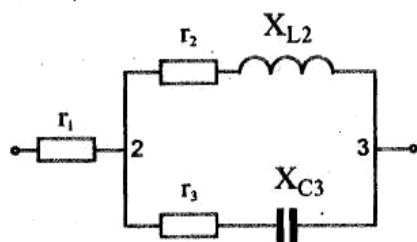


Рис. 2.2.1

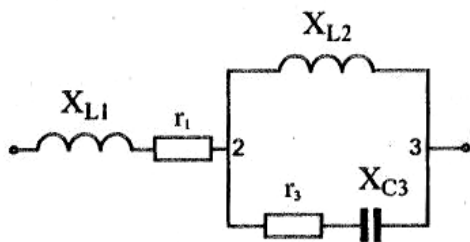


Рис. 2.2.2

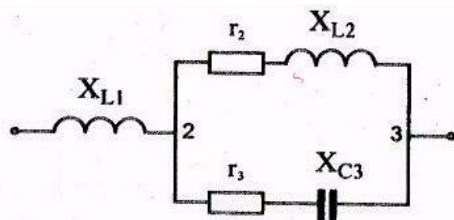


Рис. 2.2.3

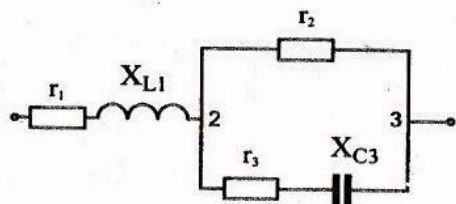


Рис. 2.2.4

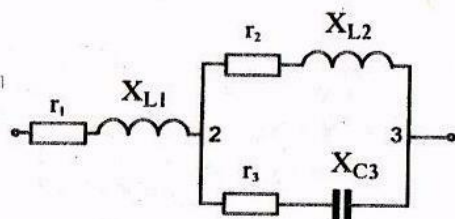


Рис. 2.2.5

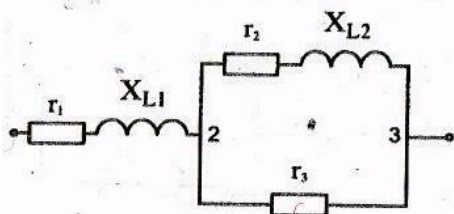


Рис. 2.2.6

Задача 2.3.

Три приемника электрической энергии с комплексами полных сопротивлений Z_A , Z_B , Z_C соединены звездой и включены в **четырёхпроводную** цепь трехфазного тока с линейным напряжением Z_0 .

Сопротивление нулевого провода Z_0 .

Определить:

1) напряжение на каждой фазе приемника при наличии нулевого провода и при его обрыве;

2) для случая с нулевым проводом:

а) фазные, линейные токи и ток в нулевом проводе;

б) активную, реактивную и полную мощности каждой фазы и всей цепи.

Построить топографическую диаграмму напряжений при обрыве нулевого провода. Данные для решения задачи возьмите в табл. 2.3.

(Задача 2.4.)

Три приемника электрической энергии с комплексами полных сопротивлений Z_A , Z_B , Z_C соединены треугольником и включены в **трехпроводную** сеть трехфазного тока с линейным напряжением U_d .

Начертите схему цепи и определите:

1) фазные и линейные токи;

2) активную, реактивную и полную мощности каждой фазы и всей цепи;

3) фазные напряжения, фазные и линейные токи при обрыве фазы **AB**.

Постройте векторную диаграмму фазных и линейных токов и напряжений при наличии трех фаз.

Задачу решите символическим методом. Данные возьмите из табл.

2.4,

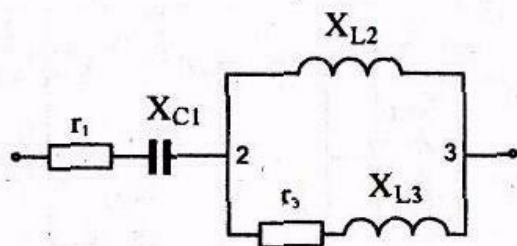


Рис. 2.2.7

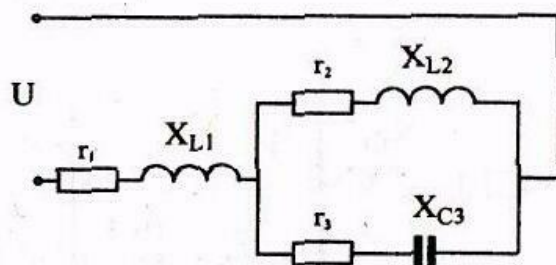


Рис. 2.2.8

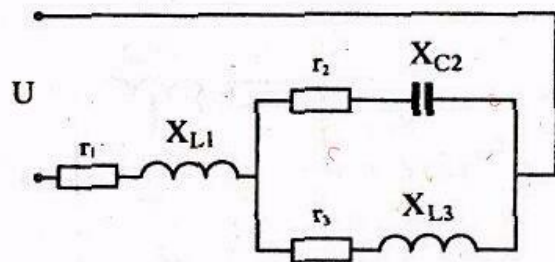


Рис. 2.2.9

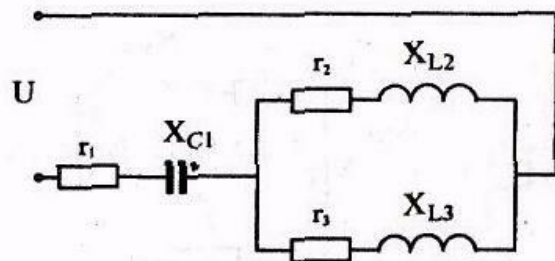


Рис. 2.2.10

2.3. Данные к задаче 2.3

Номер варианта	Задаваемые величины					Номер варианта	Задаваемые величины				
	U, B	Z _A , Ом	Z _B , Ом	Z _C , Ом	Z ₀ , Ом		U, B	Z _A , Ом	Z _B , Ом	Z _C , Ом	Z ₀ , Ом
00, 50	220	4	3 + j4	4 - j3	1	380	+j12	14 + j16	18 - j24	5	6
01, 51	380	6	4 + j3	3 - j4	1	660	+j16	16 + j18	24 - j18	4	08
02, 52	660	8	6 + j8	6 - j8	1	220	+j24	20 + j22	20 - j9	3	08
03, 53	220	10	8 + j6	8 - j6	1	380	+j18	22 + j24	9 - j24	4	08
04, 54	380	12	9 + j12	12 - j9	1	660	+j20	24 + j26	16 - j24	5	08
05, 55	660	14	12 + j9	9 - j12	1	220	24 + j32	+j2	4 - j3	6	07
06, 56	220	16	9 + j16	16 - j9	1	380	32 + j24	+j4	6 - j9	7	07
07, 57	380	18	12 + j16	12 - j16	1	660	24 + j22	+j16	8 - j12	8	07
08, 58	660	20	16 + j12	16 - j12	1	220	16 + j20	+j8	10 - j14	9	07
09, 59	220	22	9 + j9	32 - j24	1	380	8 + j8	+j10	12 - j16	10	07
10, 60	380	4 + j3	-j3	80 + j60	09	660	12 + j16	+j12	14 - j18	11	07
11, 61	660	6 + j4	-j4	40 + j30	09	220	8 + j14	+j14	16 - j20	12	07
12, 62	220	8 + j6	-j5	4 + j3	09	380	6 + j12	+j16	18 - j22	13	07
13, 63	380	10 + j8	-j6	8 + j6	09	660	2 + j10	+j18	20 - j24	14	07
14, 64	660	12 + j9	-j7	12 + j9	09	220	6 + j8	+j20	22 - j26	15	07

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
15, 65	220	14 + j12	-j8	16 + j12	09	40, 90	380	8 + j6	16 - j22	22	1
16, 66	380	16 + j12	-j9	20 + j15	09	41, 91	660	9 + j18	6 - j9	24	1
17, 67	660	18 + j16	-j10	10 + j7,5	09	42, 92	220	10 + j16	8 - j12	26	1
18, 68	220	20 + j3	-j11	24 + j18	09	43, 93	380	12 + j16	10 - j16	12	1
19, 69	380	22 + j4	-j12	32 + j24	09	44, 94	660	14 + j8	12 - j24	16	1
20, 70	660	+j3	3 + j4	3 - j4	08	45, 95	220	16 + j12	14 - j32	18	1
21, 71	220	+j4	6 + j8	4 - j3	08	46, 96	380	18 + j36	16 - j36	20	1
22, 72	380	+j6	8 + j10	6 - j8	08	47, 97	660	20 + j10	18 - j42	22	1
23, 73	660	+j8	10 + j12	9 - j16	08	48, 98	220	22 + j9	20 - j48	24	1
24, 74	220	+j9	12 + j14	12 - j16	08	49, 99	380	24 + j12	22 - j54	26	1

2.4. Данные к задаче 2.4

Номер варианта	Задаваемые величины					Номер варианта	Задаваемые величины				
	U, В	Z _{AB} , Ом	Z _{BC} , Ом	Z _{CA} , Ом			U, В	Z _{AB} , Ом	Z _{BC} , Ом	Z _{CA} , Ом	
1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
00, 50	127	4 - j3	3 + j4	6 + j8	25, 75	220	12 + j9	135	12 - j9		
01, 51	660	10	8 - j10	10 + j8	26, 76	380	12 + j16	140	12 - j16		
02, 52	380	16 - j12	12 + j16	32 + j24	27, 77	660	16 + j12	145	16 - j12		
03, 53	660	12 - j9	9 + j12	24 + j18	28, 78	127	18 + j24	150	18 - j24		
04, 54	127	4 - j3	4 + j3	8 + j6	29, 79	220	24 + j18	160	24 - j18		
05, 55	220	20 - j15	15 + j20	40 + j30	30, 80	380	4 - j3	3 + j4	-j4		
06, 56	380	24 - j18	18 + j24	48 + j36	31, 81	660	5 - j4	4 + j5	-j6		
07, 57	660	28 - j21	21 + j28	56 + j42	32, 82	127	6 - j5	5 + j6	-j8		
08, 58	127	32 - j24	24 + j32	64 + j48	33, 83	220	7 - j8	6 + j7	-j10		
09, 59	220	2 - j1,5	1,5 + j2	4 + j3	34, 84	380	8 - j9	7 + j8	-j12		
10, 60	380	4	3 - j4	6 + j9	35, 85	660	9 - j10	8 + j9	-j14		
11, 61	660	6	4 - j3	8 + j6	36, 86	127	10 - j11	9 + j10	-j16		
12, 62	127	8	6 - j8	12 + j8	37, 87	220	11 - j12	10 + j11	-j18		
13, 63	220	10	8 - j6	16 + j16	38, 88	380	12 - j13	11 + j12	-j20		
14, 64	380	12	9 - j12	18 + j12	39, 89	660	13 - j14	12 + j14	-j22		

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
15, 65	660	14	12-j9	24+j36	40, 90	127	-j4	3+j4	4+j3
16, 66	127	16	9-j16	18+j24	41, 91	220	-j6	4+j6	6+j4
17, 67	220	18	16-j12	32+j18	42, 92	380	-j8	6+j8	8+j6
18, 68	380	20	9-j9	18+j18	43, 93	660	-j10	8+j10	10+j8
19, 69	660	22	32-j24	64+j48	44, 94	127	-j12	10+j12	12+j10
20, 70	127	3+j4	110	3-j4	45, 95	220	-j14	12+j14	14+j12
21, 71	220	4+j3	115	4-j3	46, 96	380	-j16	14+j16	16+j14
22, 72	380	6+j8	120	6-j8	47, 97	660	-j18	16+j18	18+j16
23, 73	660	8+j6	125	8-j6	48, 98	127	-j20	18+j20	20+j18
24, 74	127	9+j12	130	9-j12	49, 99	220	-j22	20+j22	22+j20

Методические указания к выполнению контрольной работы 2

Пример 2.1.

Цепь, состоящая из двух параллельных ветвей, параметры которых $r_1 = 16 \text{ Ом}$; $X_{L1} = 12 \text{ Ом}$; $r_2 = 30 \text{ Ом}$; $X_{C2} = 40 \text{ Ом}$, присоединена к сети с напряжением $U = 179 \sin 628t$.

Определить: 1) частоту электрической сети; 2) действующее значение напряжения сети; 3) токи в параллельных ветвях и ток в неразветвленной части цепи; 4) коэффициент мощности каждой ветви и всей цепи; 5) углы сдвига фаз токов относительно напряжения сети; 6) активную, реактивную и полную мощности цепи.

Построить векторную диаграмму напряжения и токов.

Решение.

1. Частота электрической цепи определяется из формулы угловой частоты $\omega = 2\pi f$:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{628}{2 \cdot 3,14} = 100 \text{ Гц.}$$

2. Действующее значение напряжения определяется по известному амплитудному значению напряжения (U_m):

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{179}{1,41} = 127 \text{ В.}$$

3. Для определения токов необходимо найти проводимость ветвей и всей цепи:

1) активная, реактивная и полная проводимости первой ветви:

$$g_1 = \frac{r_1}{Z_1^2} = \frac{16}{16^2 + 12^2} = \frac{16}{400} = 0,04 \text{ См;}$$

$$b_1 = \frac{X_{L1}}{Z_1^2} = \frac{12}{16^2 + 12^2} = \frac{12}{400} = 0,03 \text{ См;}$$

$$y_1 = \sqrt{g_1^2 + b_1^2} = \sqrt{0,04^2 + 0,03^2} = \sqrt{0,0025} = 0,05 \text{ См;}$$

2) активная, реактивная и полная проводимости второй ветви:

$$g_2 = \frac{r_2}{Z_2^2} = \frac{30}{30^2 + 40^2} = \frac{30}{2500} = 0,012 \text{ См;}$$

$$b_2 = \frac{-X_{C2}}{Z_2^2} = \frac{40}{30^2 + 40^2} = \frac{40}{2500} = -0,016 \text{ См;}$$

$$y_2 = \sqrt{g_2^2 + b_2^2} = \sqrt{0,012^2 + (-0,016)^2} = \sqrt{0,0004} = 0,02 \text{ См};$$

3) активная, реактивная и полная проводимости всей цепи:

$$g = g_1 + g_2 = 0,04 + 0,012 = 0,052 \text{ См};$$

$$b = b_1 + b_2 = 0,03 + (-0,016) = 0,014 \text{ См}.$$

$$y = \sqrt{g^2 + b^2} = \sqrt{0,052^2 + 0,014^2} = \sqrt{0,0029} = 0,054 \text{ См}.$$

4. Токи в ветвях и ток в неразветвленной части цепи:

$$I_1 = U \cdot y_1 = 127 \cdot 0,05 = 6,35 \text{ А};$$

$$I_2 = U \cdot y_2 = 127 \cdot 0,02 = 2,54 \text{ А};$$

$$I = U \cdot y = 127 \cdot 0,054 = 6,86 \text{ А}.$$

5. Коэффициент мощности и углы сдвига фаз относительно напряжения каждой ветви и всей цепи:

$$\cos \varphi_1 = \frac{g_1}{y_1} = \frac{0,04}{0,05} = 0,8; \quad \varphi_1 = 37^\circ;$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{g_2}{y_2} = \frac{0,012}{0,02} = 0,6; \quad \varphi_2 = -53^\circ;$$

$$\cos \varphi = \frac{g}{y} = \frac{0,052}{0,054} = 0,963; \quad \varphi = 12^\circ.$$

По коэффициентам мощности $\cos \varphi$ с помощью таблиц Брадиса или логарифмической линейки определяются углы сдвига фаз между токами и напряжениями.

6. Активная, реактивная и полная мощности цепи:

$$P = U^2 \cdot g = 127^2 \cdot 0,052 = 838,7 \text{ Вт};$$

$$Q = U^2 \cdot b = 127^2 \cdot 0,014 = 225,8 \text{ вар};$$

$$S = U^2 \cdot y = 127^2 \cdot 0,054 = 871 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Для построения векторной диаграммы токов и напряжения определяются активные и реактивные составляющие токов ветвей и всей цепи:

$$I_{a1} = I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 6,35 \cdot 0,8 = 5,08 \text{ А};$$

$$I_{a2} = I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 2,54 \cdot 0,6 = 1,524 \text{ А};$$

$$I_a = I \cdot \cos \varphi = 6,86 \cdot 0,963 = 6,604 \text{ А};$$

$$I_{p1} = I_1 \cdot \sin \varphi_1 = 6,35 \cdot 0,6 = 3,81 \text{ А};$$

$$I_{p2} = I_2 \cdot \sin \varphi_2 = 2,54 \cdot 0,8 = 2,032 \text{ A};$$

$$I_p = I \cdot \sin \varphi = 6,86 \cdot 0,259 = 1,78 \text{ A};$$

Выбираются масштабы напряжения и токов:

$$m_U = 25 \text{ В/см}; m_I = 1 \text{ А/см}.$$

Определяются длины векторов напряжения и токов:

$$\bar{U} = \frac{|U|}{m_U} = \frac{127}{25} = 5,08 \text{ см};$$

$$\bar{I}_a = \frac{|I_a|}{m_I} = \frac{6,604}{1} = 6,604 \text{ см};$$

$$\bar{I}_{a1} = \frac{|I_{a1}|}{m_I} = \frac{5,08}{1} = 5,08 \text{ см};$$

$$\bar{I}_p = \frac{|I_p|}{m_I} = \frac{1,78}{1} = 1,78 \text{ см};$$

$$\bar{I}_{p1} = \frac{|I_{p1}|}{m_I} = \frac{3,81}{1} = 3,81 \text{ см};$$

$$\bar{I}_1 = \frac{|I_1|}{m_I} = \frac{6,35}{1} = 6,35 \text{ см};$$

$$\bar{I}_{a2} = \frac{|I_{a2}|}{m_I} = \frac{1,524}{1} = 1,524 \text{ см};$$

$$\bar{I}_2 = \frac{|I_2|}{m_I} = \frac{2,54}{1} = 2,54 \text{ см};$$

$$\bar{I}_{p2} = \frac{|I_{p2}|}{m_I} = \frac{2,032}{1} = 2,032 \text{ см};$$

$$\bar{I} = \frac{|I|}{m_I} = \frac{6,86}{1} = 6,86 \text{ см};$$

Построение векторной диаграммы для разветвленных электрических цепей начинают с вектора напряжения \bar{U} , который располагают по горизонтальной оси. Вектор активной составляющей тока первой ветви \bar{I}_{a1} совпадает с вектором напряжения, поэтому он откладывается также по горизонтальной оси. Из конца вектора активной составляющей тока первой ветви \bar{I}_{a1} в сторону отставания на 90° от вектора напряжения \bar{U} (для цепи с реактивно-индуктивным сопротивлением) откладывается вектор реактивной составляющей тока первой ветви \bar{I}_{p1} . Соединяя конец вектора реактивной составляющей тока первой ветви \bar{I}_{p1} , с началом вектора активной составляющей тока первой ветви \bar{I}_{a1} , получаем вектор тока первой ветви \bar{I}_{p1} . Из конца вектора реактивной составляющей тока первой ветви \bar{I}_1 откладывается вектор активной составляющей тока второй ветви \bar{I}_{a2} , совпадающий с вектором напряжения \bar{U} , а из его конца в сторону опережения вектора напряжения \bar{U} на

90° (для цепи с реактивно-емкостным сопротивлением) откладывается вектор реактивной составляющей тока второй ветви \bar{I}_{p2} . Соединяя конец вектора реактивной составляющей тока второй ветви \bar{I}_{p2} с началом вектора активной составляющей тока второй ветви \bar{I}_{a2} , получаем вектор тока второй ветви \bar{I}_2 . Соединяя конец вектора тока второй ветви \bar{I}_2 с началом вектора тока первой ветви \bar{I}_1 , получаем вектор тока в неразветвленной части цепи \bar{I} . Векторная диаграмма построена на рис. 2.3.

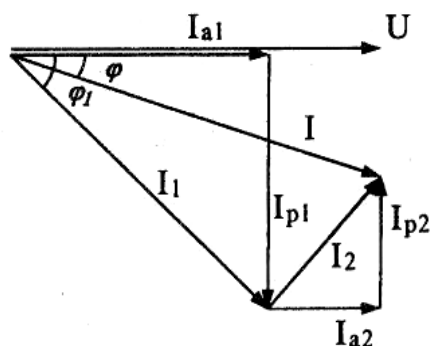


Рис. 2.3

Пример 2.2.

Вычислить эквивалентное сопротивление параллельных ветвей (Z_{23}), общее сопротивление всей цепи (Z), токи во всех участках цепи (рис. 2.4), активную, реактивную и полную мощности каждой ветви и всей цепи.

Построить векторную диаграмму (токов, напряжений) цепи, если напряжение $U_{23} = 80$ В и сопротивления $r_1 = 4$ Ом; $r_2 = 6$ Ом; $r_3 = 16$ Ом; $X_{C1} = 3$ Ом; $X_{L2} = 8$ Ом; $X_{L3} = 12$ Ом.

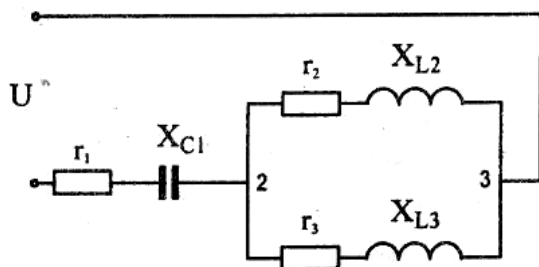


Рис. 2.4

Решение.

Задачу решаем символическим методом. Поэтому ее решение такое же, как при постоянном токе. Для решения необходимо представить сопротивления ветвей схемы в алгебраической и показательной формах записи комплексного числа:

$$\underline{Z}_1 = r_1 - jX_{C1} = 4 - j3 = 5 e^{-j37^\circ};$$

$$\underline{Z}_2 = r_2 + jX_{L2} = 6 + j8 = 10 e^{j53^\circ};$$

$$\underline{Z}_3 = r_3 + jX_{L3} = 16 + j12 = 20 e^{j37^\circ}.$$

Вторая и третья ветви соединены между собой параллельно, поэтому их эквивалентное сопротивление определяется по формуле:

$$\underline{Z}_{23} = \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}.$$

Необходимо помнить, что сложение и вычитание комплексных чисел производится в алгебраической форме записи комплекса, а умножение и деление удобнее производить в показательной форме:

$$\underline{Z}_{23} = \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = \frac{10 e^{j53^\circ} \cdot 20 e^{j37^\circ}}{6 + j8 + 16 + j12} = \frac{200 e^{j90^\circ}}{22 + j20} = \frac{200 e^{j90^\circ}}{29,8 e^{j34^\circ}} = 6,71 e^{j47^\circ 40'} =$$

$$= (4,51 + j4,96) \text{ Ом, где } r_{23} = 4,51 \text{ Ом, } X_{23} = 4,96 \text{ Ом.}$$

После определения эквивалентного сопротивления схема приобретает следующий вид (рис. 2.5):

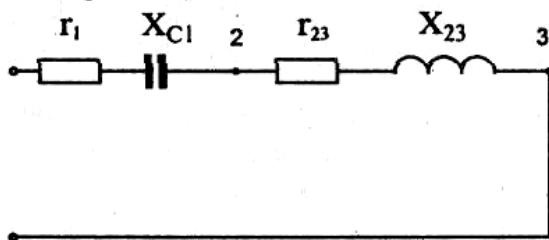


Рис. 2.5

Из схемы, видно, что сопротивления Z_1 и Z_{23} соединены последовательно, поэтому общее сопротивление цепи

$$Z = Z_1 + Z_{23} = 4 - j3 + 4,51 + j4,96 = 8,51 + j1,96 = 8,73 e^{j13^\circ} \text{ Ом.}$$

При параллельном соединении

$$U_{23} = U_2 = U_3.$$

Ток второй ветви

$$I_2 = \frac{U_2}{Z_2} = \frac{80e^{j0^\circ}}{10e^{j53^\circ}} = 8e^{-j53^\circ} = (4,82 - j6,4) \text{ А.}$$

Вектор напряжения U_{23} направляем по действительной оси, поэтому $U_{23} = 80e^{j0^\circ}$.

Ток третьей ветви

$$I_3 = \frac{U_3}{Z_3} = \frac{80e^{j0^\circ}}{20e^{j37^\circ}} = 4e^{-j37^\circ} = (3,2 - j2,41) \text{ А.}$$

По первому закону Кирхгофа для точки 2 определяется ток первой ветви, он же равен току в неразветвленной части цепи:

$$I_1 = I = I_2 + I_3 = 4,82 - j6,4 + 3,2 - j2,41 = 8,02 - j8,81 = 11,87 e^{-j47^\circ 35'}.$$

Напряжение первой ветви:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 Z_1 = 11,87 e^{-j47^\circ 35'} \cdot 5 e^{-j37^\circ} = 59,35 e^{-j84^\circ 35'} = (5,68 - j59) \text{ В.}$$

Напряжение, приложенное к цепи:

$$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_{23} = 5,68 - j59 + 80 = 85,68 - j59 = 104,85 e^{-j35^\circ 15'}.$$

Мощности ветвей и мощность всей цепи:

$$\tilde{S}_1 = \dot{U}_1 \dot{I}_1 = 59,35 e^{-j84^\circ 35'} \cdot 11,87 e^{-j47^\circ 35'} = 704 e^{-j36^\circ} = (567 - j414) \text{ В}\cdot\text{А};$$

$$P_1 = 567 \text{ Вт}; Q_1 = -414 \text{ вар};$$

$$\tilde{S}_2 = \dot{U}_2 \dot{I}_2 = 80 e^{-j0^\circ} \cdot 8 e^{-j53^\circ} = 640 e^{-j53^\circ} = (385 + j511) \text{ В}\cdot\text{А};$$

$$P_2 = 385 \text{ Вт}; Q_2 = 511 \text{ вар};$$

$$\tilde{S}_3 = \dot{U}_3 \dot{I}_3 = 80 e^{-j0^\circ} \cdot 4 e^{-j37^\circ} = 320 e^{-j37^\circ} = (255 + j192,5) \text{ В}\cdot\text{А};$$

$$P_3 = 255 \text{ Вт}; Q_3 = 192,5 \text{ вар};$$

$$\tilde{S} = \dot{U} \dot{I} = 104,85 e^{-j34^\circ 15'} \cdot 11,87 e^{-j47^\circ 35'} = 1243 e^{-j13^\circ 20'} = (1210 + j287) \text{ В}\cdot\text{А};$$

$$P = 1210 \text{ Вт}; Q = 287 \text{ вар.}$$

Для проверки правильности определения мощностей составляется баланс мощностей:

$$\tilde{S} = \tilde{S}_1 + \tilde{S}_2 + \tilde{S}_3;$$

$$P + jQ = P_1 - jQ_1 + P_2 + jQ_2 + P_3 + jQ_3; 1210 + j287 \approx 1207 + j289.$$

При сравнении мощностей видно, что разница активных и реактивных мощностей незначительна, поэтому можно сделать вывод, что задача решена правильно.

Построение векторной диаграммы выполняется на комплексной плоскости. Выбирается масштаб напряжений и токов:

$$m_U = 25 \text{ В/см}; \quad m_I = 2 \text{ А/см}.$$

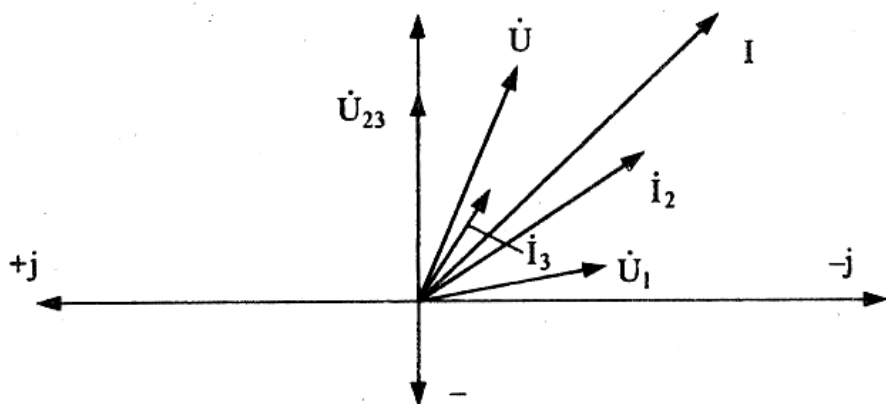


Рис. 2.6

Длины векторов напряжений:

$$\bar{U}_{23} = \frac{|U_{23}|}{m_U} = \frac{80}{25} = 3,2 \text{ см}; \quad \bar{U}_1 = \frac{|U_1|}{m_U} = \frac{59,35}{25} = 2,37 \text{ см};$$

$$\bar{U} = \frac{|U|}{m_U} = \frac{104,85}{25} = 4,2 \text{ см},$$

где $|U_{23}|$; $|U_1|$; $|U_2|$ – модули напряжений.

Длины векторов токов

$$\bar{I}_1 = \bar{I} = \frac{|I_1|}{m_I} = \frac{11,9}{2} = 5,95 \text{ см}; \quad \bar{I}_2 = \frac{|I_2|}{m_I} = \frac{8}{2} = 4 \text{ см};$$

$$\bar{I}_3 = \frac{|I_3|}{m_I} = \frac{4}{2} = 2 \text{ см},$$

где $|I_1|$; $|I_2|$; $|I_3|$ – модули токов.

Вектор напряжения U_{23} направляется по вещественной положительной оси, так как начальная фаза этого вектора равна нулю. Остальные векторы напряжений и токов откладываются на комплексной плоскости с учетом их углов сдвига фаз. Векторная диаграмма показана на рис. 2.6.

Пример 2.3.

Три приемника электрической энергии с комплексами полных сопротивлений $\underline{Z}_A = (8 + j6) \text{ Ом}$, $\underline{Z}_B = (6 - j8) \text{ Ом}$, $\underline{Z}_C = (23 + j15,3) \text{ Ом}$ соединены звездой и включены в четырехпроводную сеть трехфазного тока с линейным напряжением $U_L = 660 \text{ В}$. Сопротивление нулевого провода $\underline{Z}_0 = 1 \text{ Ом}$. Определить: 1) напряжение на каждой фазе приемника при наличии нулевого провода и при его обрыве; 2) для случая с нулевым проводом: а) фазные, линейные токи и ток в нулевом проводе; б) активную, реактивную и полную мощность каждой фазы и всей цепи.

Построить топографическую диаграмму напряжений при обрыве нулевого провода.

Решение.

Пример необходимо решать символическим методом.

1. При соединении обмоток звездой фазное напряжение

$$U_\phi = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{660}{1,73} = 380 \text{ В.}$$

2. Представим напряжение и сопротивление в комплексном виде в алгебраической и показательной формах записи:

$$\dot{U}_A = 380 e^{j0^\circ} = (380 + j0) \text{ В;}$$

$$\dot{U}_B = 380 e^{-j120^\circ} = (-190 - j328) \text{ В;}$$

$$\dot{U}_C = 380 e^{j120^\circ} = (-190 + j328) \text{ В;}$$

$$\underline{Z}_A = 8 + j6 = 10 e^{+j37^\circ} \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_B = 6 - j8 = 10 e^{-j53^\circ} \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_C = 23 + j15,3 = 27,6 e^{j33^\circ 40'} \text{ Ом.}$$

3. Проводимости фаз и нулевого провода:

$$\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_A} = \frac{1}{10e^{j37^\circ}} = 0,1 e^{-j37^\circ} = (0,08 - j0,06) \text{ См;}$$

$$\underline{Y}_B = \frac{1}{\underline{Z}_B} = \frac{1}{10e^{-j53^\circ}} = 0,1 e^{+j53^\circ} = (0,06 - j0,08) \text{ См;}$$

$$\underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_C} = \frac{1}{27,6e^{j33^\circ 40'}} = 0,0362 e^{-j33^\circ 40'} = (0,03 - j0,02) \text{ См;}$$

$$\underline{Y}_0 = \frac{1}{\underline{Z}_0} = \frac{1}{1} = 1 \text{ См.}$$

4. Напряжение смещения нейтрали при наличии нулевого провода:

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{U}_A \cdot \underline{Y}_A + \dot{U}_B \cdot \underline{Y}_B + \dot{U}_C \cdot \underline{Y}_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_0};$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_0 &= \frac{380e^{j0^\circ} \cdot 0,1e^{-j37^\circ} + 380e^{-j120^\circ} \cdot 0,1e^{j53^\circ} + 380e^{+j120^\circ} \cdot 0,362e^{-j33^\circ 40'}}{0,08 - j0,06 + 0,06 + j0,08 + 0,03 - j0,02 + 1} = \\ &= \frac{38e^{-j37^\circ} + 38e^{-j67^\circ} + 13,7e^{j86^\circ 20'}}{1,17} = \\ &= 32,48e^{-j37^\circ} + 32,48e^{-j67^\circ} + 11,75e^{j86^\circ 20'} = \\ &= 26 - j19,5 + 12,7 - j30 + 0,752 + j11,75 = \\ &= 39,45 - j37,75 = 54e^{-j43^\circ 40'}. \end{aligned}$$

5. Напряжение смещения нейтрали при обрыве нулевого провода:

$$\dot{U}'_0 = \frac{\dot{U}_A \cdot \underline{Y}_A + \dot{U}_B \cdot \underline{Y}_B + \dot{U}_C \cdot \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} =$$

$$\begin{aligned} &= \frac{38e^{-j37^\circ} + 38e^{-j67^\circ} + 13,75e^{j86^\circ 20'}}{0,17} = \\ &= 223,5e^{-j37^\circ} + 223,5e^{-j67^\circ} + 80,9e^{j86^\circ 20'} = \\ &= 178 - j134 + 87 - j205 + 5,17 + j80,74 = \\ &= 270 - j258 = 372e^{-j43^\circ 40'}. \end{aligned}$$

6. Напряжение на фазах потребителя без нулевого провода:

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_0 = 380 - 270 + j258 = 110 + j258 = 280e^{j66^\circ 60'} \text{ В};$$

$$\begin{aligned} \dot{U}'_B &= \dot{U}_B - \dot{U}_0 = -190 - j328 - 270 + j258 = \\ &= -460 - j70 = 464e^{-j171^\circ} \text{ В}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}'_C &= \dot{U}_C - \dot{U}_0 = -190 + j328 - 270 + j258 = \\ &= -460 + j586 = 745e^{j128^\circ 10'} \text{ В}. \end{aligned}$$

7. Напряжение на фазах потребителя при наличии нулевого провода:

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_0 = 380 - 39,45 + j37,75 = 340,5 + j37,45 = 348e^{j6^\circ 10'} \text{ В};$$

$$\begin{aligned}\dot{U}'_B &= \dot{U}_B - \dot{U}_0 = -190 - j328 - 39,455 + j37,75 = \\ &= -229 - j290 = 370 e^{-j128^{\circ}10'} \text{ В};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}'_C &= \dot{U}_C - \dot{U}_0 = -190 + j328 - 39,45 + j37,75 = \\ &= 229,45 + j365,75 = 433 e^{j122^{\circ}} \text{ В}.\end{aligned}$$

8. Токи фазные (равны линейным токам при соединении потребителей звездой):

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= \dot{U}'_A \cdot \underline{Y}_A = 348 e^{j16^{\circ}10'} \cdot 0,1 e^{-j37^{\circ}} = 34,8 e^{-j30^{\circ}50'} = \\ &= (30 - j17,8) \text{ А};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_B &= \dot{U}'_B \cdot \underline{Y}_B = 370 e^{-j128^{\circ}20'} \cdot 0,1 e^{j53^{\circ}} = 37 e^{-j75^{\circ}20'} = \\ &= (9,35 - j35,7) \text{ А};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_C &= \dot{U}'_C \cdot \underline{Y}_C = 433 e^{j122^{\circ}} \cdot 0,0362 e^{-j33^{\circ}40'} = 15,67 e^{j88^{\circ}20'} = \\ &= (0,45 + j15,6) \text{ А}.\end{aligned}$$

9. Ток в нулевом проводе по первому закону Кирхгофа для нейтральной точки:

$$\begin{aligned}\dot{I}_0 &= \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 30 - j17,8 + 9,35 - j35,7 + 0,45 + j15,6 = \\ &= 39,8 - j37,9 = 54 e^{-j43^{\circ}40'} \text{ А}.\end{aligned}$$

По другой формуле ток в нулевом проводе:

$$\dot{I}_0 = \dot{U}'_0 \cdot \underline{Y}_0 = 54 e^{-j43^{\circ}40'} \cdot 1 = 54 e^{-j43^{\circ}40'} \text{ А}.$$

Из вычислений видно, что ток в нулевом проводе определен правильно.

10. Мощности фаз:

$$\begin{aligned}\tilde{S}_A &= \dot{U}'_A \cdot \dot{I}_A = 348 e^{j16^{\circ}10'} \cdot 34,8 e^{-j30^{\circ}50'} = 11696 e^{j37^{\circ}} = \\ &= (9357 + j7017) \text{ В} \cdot \text{А};\end{aligned}$$

$$S_A = 11696 \text{ В} \cdot \text{А}; P_A = 9357 \text{ Вт}; Q_A = 7017 \text{ вар};$$

$$\begin{aligned}\tilde{S}_B &= \dot{U}'_B \cdot \dot{I}_B = 370 e^{-j128^{\circ}10'} \cdot 37 e^{-j75^{\circ}20'} = 13690 e^{-j53^{\circ}} = \\ &= (8214 - j10952) \text{ В} \cdot \text{А};\end{aligned}$$

$$S_B = 13690 \text{ В} \cdot \text{А}; P_B = 8214 \text{ Вт}; Q_B = -10952 \text{ вар};$$

$$\begin{aligned}\tilde{S}_C &= \dot{U}'_C \cdot \dot{I}_C = 433 e^{j122^{\circ}} \cdot 15,67 e^{-j88^{\circ}20'} = 6785 e^{j33^{\circ}40'} = \\ &= (5647 + j3757) \text{ В} \cdot \text{А};\end{aligned}$$

$$S_C = 6785 \text{ В} \cdot \text{А}; P_C = 5647 \text{ Вт}; Q_C = 3757 \text{ вар};$$

11. Мощности всей цепи:

$$\begin{aligned}\tilde{S} &= \tilde{S}_A + \tilde{S}_B + \tilde{S}_C = 9357 + j7017 + 8214 - j10952 + \\ &+ 5647 + j3757 = 23218 - j178 \text{ В} \cdot \text{А};\end{aligned}$$

$$P = 23218 \text{ Вт}; Q = -178 \text{ вар.}$$

Эти же мощности определить по другим формулам:

$$\begin{aligned}P &= P_A + P_B + P_C = I_A^2 \cdot r_A + I_B^2 \cdot r_B + I_C^2 \cdot r_C = \\ &= 34,8^2 \cdot 8 + 37^2 \cdot 6 + 15,67^2 \cdot 23 = 23218 \text{ Вт};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q &= Q_A + Q_B + Q_C = I_A^2 \cdot X_A + I_B^2 \cdot X_B + I_C^2 \cdot X_C = \\ &= 34,8^2 \cdot 6 - 37^2 \cdot 8 + 15,67^2 \cdot 15,3 = -178 \text{ вар.}\end{aligned}$$

12. Топографическая диаграмма строится на комплексной плоскости в масштабе $m_U = 100 \text{ В/см}$.

Определяются длины векторов напряжений:

$$\bar{U}'_A = \frac{|U'_A|}{m_U} = \frac{280}{100} = 2,8 \text{ см};$$

$$\bar{U}'_B = \frac{|U'_B|}{m_U} = \frac{464}{100} = 4,64 \text{ см};$$

$$\bar{U}'_C = \frac{|U'_C|}{m_U} = \frac{754}{100} = 7,54 \text{ см};$$

$$\bar{U}'_0 = \frac{|U'_0|}{m_U} = \frac{372}{100} = 3,72 \text{ см};$$

$$U_A = U_B = U_C = \frac{|U_A|}{m_U} = \frac{380}{100} = 3,8 \text{ см.}$$

Порядок построения топографической диаграммы.

Совмещаем вектор напряжения фазы А источника с положительной вещественной осью, так как его угол сдвига фаз равен нулю.

$$\dot{U}_A = 380e^{j0^\circ}.$$

Откладываем вектор напряжения фазы В источника в сторону от вектора напряжения фазы А на 120° , а вектор направления фазы С – в сторону опережения на угол 120° .

$$\dot{U}_B = 380e^{-j120^\circ}; \quad \dot{U}_C = 380e^{j120^\circ}$$

Соединяя концы вектора фазных напряжений источников, получим векторы линейных напряжений источников.

Длины векторов линейных напряжений определяются:

$$\bar{U}_{AB} = \bar{U}_{BC} = \bar{U}_{CA} = \frac{U_{\text{л}}}{m_U} = \frac{660}{100} = 6,6 \text{ см.}$$

Векторы напряжений одинаковы, так как генераторы индуктируют симметричные ЭДС, следовательно, и напряжения симметричны. Из начала координат под углом $43^\circ 40'$ в сторону отставания от вещественной положительной оси откладывается напряжение смещения нейтрали $U_0 = 372e^{-j43^\circ 40'}$ В. Длина этого вектора в масштабе 3,72 см.

Соединяя конец вектора напряжения смещения нейтрали с началами векторов фазных напряжений источников, получаем векторы фазных напряжений приемников электрической энергии $\dot{U}'_A; \dot{U}'_B; \dot{U}'_C$. Точка O' , в которой сходятся начала векторов напряжений приемников, есть нейтральная точка приемников электрической энергии, а точка O , в которой сходятся начала векторов фазных напряжений источников, есть нейтральная точка источников электрической энергии. Топографическая диаграмма показана на рис. 2.7.

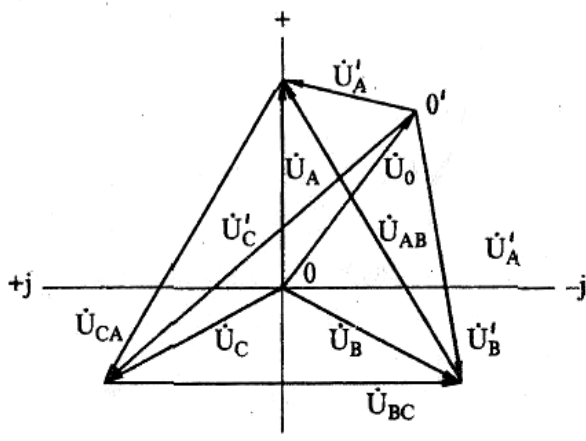


Рис. 2.7

Пример 2.4.

Три приемника электрической энергии с комплексами полных сопротивлений:

$$\underline{Z}_{AB} = (8 - j6) \text{ Ом}; \quad \underline{Z}_{BC} = (12 + j16) \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{CA} = (3 + j4) \text{ Ом}$$

соединены треугольником и включены в трехпроводную цепь трехфазного тока с линейным напряжением $U_{\text{л}} = 220$ В.

- Начертите схему цепи и определите: 1) фазные и линейные токи; 2) активную, реактивную и полную мощности каждой фазы и всей цепи; 3) фазные напряжения, фазные и линейные токи при обрыве фазы ВС.

Построить векторную диаграмму фазных и линейных токов и напряжений при наличии трех фаз.

Решение.

Задача решается символическим методом.

1. Сопротивления и напряжения фаз приемника в алгебраической и показательной формах записи комплексов:

$$\underline{Z}_{AB} = 8 - j6 = 10 e^{-j37^\circ} \text{ Ом}; \quad \underline{Z}_{BC} = 12 + j16 = 20 e^{j53^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{CA} = 3 + j4 = 5 e^{j53^\circ} \text{ Ом}.$$

При соединении фаз треугольником:

$$\dot{U}_{AB} = 220 e^{j0^\circ} = (220 + j0) \text{ В};$$

$$\dot{U}_{BC} = 220 e^{-j120^\circ} = (-110 - j190) \text{ В};$$

$$\dot{U}_{CA} = 220 e^{j120^\circ} = (-110 + j190) \text{ В};$$

2. Фазные токи:

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_{AB}} = 22 e^{j37^\circ} = (17,5 + j13,2) \text{ А};$$

$$\dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\underline{Z}_{BC}} = 11 e^{-j137^\circ} = (-10,9 - j1,34) \text{ А};$$

$$\dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\underline{Z}_{CA}} = 44 e^{j67^\circ} = (17,2 + j40,5) \text{ А}.$$

3. Линейные токи:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} = 17,5 + j13,2 - 17,2 - j40,5 = 0,3 - j27,3 = 27,3 e^{-j90^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} = -10,9 - j1,34 - 17,5 - j13,2 = -28,4 - j14,54 = 32 e^{-j153^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} = -17,2 + j40,5 + 10,9 + j1,34 = 28,1 + j41,84 = 50,5 e^{j56^\circ 10'} \text{ А}.$$

4. Активная, реактивная и полная мощности фазы АВ:

$$\begin{aligned} \tilde{S}_{AB} &= \dot{U}_{AB} \cdot \dot{I}_{AB} = 220 e^{j0^\circ} \cdot 22 e^{-j37^\circ} = \\ &= 4840 e^{-j37^\circ} = (3871 - j2904) \text{ В} \cdot \text{А}; \end{aligned}$$

$$S_{AB} = 4840 \text{ В} \cdot \text{А}; \quad P_{AB} = 3872 \text{ Вт}; \quad Q_{AB} = -2904 \text{ вар}.$$

5. Активная, реактивная и полная мощность фазы ВС:

$$\begin{aligned}\tilde{S}_{BC} &= \dot{U}_{BC} \cdot \dot{I}_{BC} = 220 e^{-j120^\circ} \cdot 11 e^{j173^\circ} = \\ &= 2420 e^{j53^\circ} = (1452 + j1936) \text{ В} \cdot \text{А};\end{aligned}$$

$$S_{BC} = 2420 \text{ В} \cdot \text{А}; P_{BC} = 1452 \text{ Вт}; Q_{BC} = -1936 \text{ вар.}$$

6. Активная, реактивная и полная мощности фазы СА:

$$\begin{aligned}\tilde{S}_{CA} &= \dot{U}_{CA} \cdot \dot{I}_{CA} = 220 e^{j120^\circ} \cdot 44 e^{-j67^\circ} = \\ &= 9680 e^{j53^\circ} = (5808 + j7744) \text{ В} \cdot \text{А};\end{aligned}$$

$$S_{CA} = 9680 \text{ В} \cdot \text{А}; P_{CA} = 5808 \text{ Вт}; Q_{CA} = 7744 \text{ вар.}$$

7. Активная мощность всей цепи:

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = 3872 + 1452 + 5808 = 11132 \text{ Вт.}$$

Активная мощность всей цепи по другой формуле:

$$\begin{aligned}P &= P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = I_{AB}^2 \cdot r_{AB} + I_{BC}^2 \cdot r_{BC} + I_{CA}^2 \cdot r_{CA} = \\ &= 22^2 \cdot 8 + 11^2 \cdot 12 + 44^2 \cdot 3 = 3872 + 1452 + 5808 = 11132 \text{ Вт.}\end{aligned}$$

8. Реактивная мощность всей цепи:

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = -2904 + 1936 + 7744 = 6776 \text{ вар.}$$

Реактивная мощность всей цепи по другой формуле:

$$\begin{aligned}Q &= Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = I_{AB}^2 \cdot r_{AB} + I_{BC}^2 \cdot r_{BC} + I_{CA}^2 \cdot r_{CA} = \\ &= 22^2 \cdot (-6) + 11^2 \cdot 16 + 44^2 \cdot 4 = -2904 + 1936 + 7744 = 6776 \text{ вар.}\end{aligned}$$

Сравнивая полученные результаты, можно сделать вывод, что задача решена правильно. Полная мощность всей цепи:

$$\tilde{S} = P + jQ = 11132 + j6776 = 13000 e^{j31^\circ 20'} = 13000 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

9. При обрыве фазы ВС сопротивление ее равно бесконечности, следовательно, ток в ней равен нулю ($I_{BC} = 0$). Токи в фазах АВ и СА останутся такими же, как до обрыва фазы ВС, вследствие того, что линейные, а, следовательно, и фазные напряжения не изменяются (рис. 2.8), то есть

$$\dot{I}_{AB} = 17,5 + j13,2 = 22 e^{j37^\circ} \text{ А}; I_{AB} = 22 \text{ А};$$

$$\dot{I}_{CA} = 17,2 + j40,5 = 44 e^{j67^\circ} \text{ А}; I_{CA} = 44 \text{ А};$$

Линейные токи при обрыве фазы ВС равны:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} = 17,5 + j13,2 - 17,2 - j40,5 = 0,3 - j27,3 = 27,3 e^{-j90^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} = 0 - 17,5 - j13,2 = -17,5 - j13,2 = 22 e^{-j43^\circ} \text{ A};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} = 17,2 + j40,5 - 0 = 44 e^{j67^\circ} \text{ A}.$$

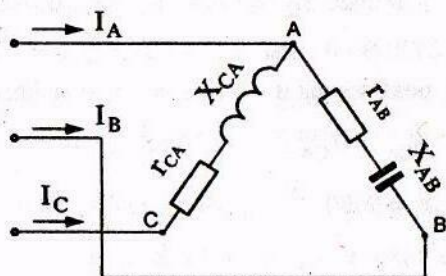


Рис. 2.8

Векторная диаграмма

Для построения векторной диаграммы выбираются масштабы напряжения и тока:

$$m_U = 100 \text{ В/см}; \quad m_I = 10 \text{ А/см}.$$

Длины векторов напряжений:

$$\bar{U}_{AB} = \bar{U}_{BC} = \bar{U}_{CA} = \frac{220}{100} = 2,2 \text{ см}.$$

Длины векторов токов:

$$\bar{I}_{AB} = \frac{|I_{AB}|}{m_I} = \frac{22}{10} = 2,2 \text{ см};$$

$$\bar{I}_{BC} = \frac{|I_{BC}|}{m_I} = \frac{11}{10} = 1,1 \text{ см};$$

$$\bar{I}_{CA} = \frac{|I_{CA}|}{m_I} = \frac{44}{10} = 4,4 \text{ см};$$

$$\bar{I}_A = \frac{|I_A|}{m_I} = \frac{27,3}{10} = 2,73 \text{ см};$$

$$\bar{I}_B = \frac{|I_B|}{m_I} = \frac{31,7}{10} = 3,17 \text{ см};$$

$$\bar{I}_C = \frac{|I_C|}{m_I} = \frac{50,7}{10} = 5,07 \text{ см}.$$

Вектор напряжения $\bar{U}_{AB} = 220 e^{j^\circ}$ совмещаем с вещественной положительной осью, вектор напряжения $\bar{U}_{BC} = 220 e^{-j120^\circ}$ откладываем в сторону отставания на 120° , а вектор напряжения $\bar{U}_{CA} = 220 e^{+j120^\circ}$ в сторону опережения вектора напряжения \bar{U}_{AB} на 120° .

Векторы токов откладываются на комплексной плоскости с учетом их углов сдвига фаз. На рис. 2.9 показана векторная диаграмма.

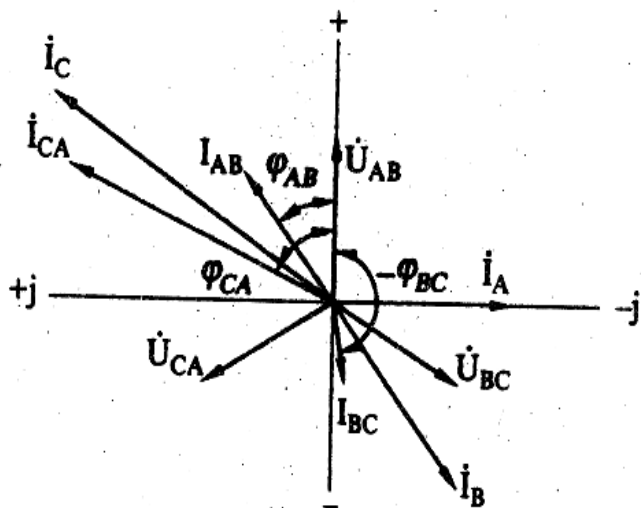


Рис. 2.9