



Министерство образования Республики Беларусь
Филиал Учреждения образования «Брестский государственный
технический университет» Политехнический колледж

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
по учебной работе
_____ С.В. Маркина

«__» _____ 2016 г.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения домашних контрольных работ
для учащихся специальности

2–39 02 32 «Проектирование и производство радиоэлектронных средств»

заочная форма обучения
(форма обучения)

Разработал: А.В. Клухин, преподаватель Филиала БрГТУ
Политехнический колледж.

Методические указания разработаны на основании учебной программы «Теоретические основы электротехники», утвержденной директором Филиала БрГТУ Политехнический колледж 14.06.2016 г.

Методические указания обсуждены и рекомендованы к использованию на заседании цикловой комиссии радиотехнических дисциплин

Протокол № _____ от « ____ » _____ 2016 г.

Председатель цикловой комиссии _____ Л.П. Бойко

I. ВВЕДЕНИЕ

Жизнь современного общества трудно представить без широкого применения электрической энергии в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте и в быту.

Во всех отраслях народного хозяйства применяются электротехнические установки, автоматические устройства, радиотехническая аппаратура, обслуживать которые приходится специалистам – инженерно-техническим кадрам энергетиков и радиотехников. Правильная эксплуатация всей этой сложной техники с получением необходимого эффекта возможна при твердом знании теоретического курса электротехники.

Базой для изучения предмета являются знания полученные при изучении предметов «Физика», «Основы электротехники» и др.

Программой предмета предусматривается изучение учащимися линейных и нелинейных электрических цепей постоянного тока, электрического и магнитного поля, линейных и нелинейных электрических цепей переменного тока.

Этот предмет является базовым при изучении дисциплин «Электроника и микросистемная электроника», «Электрорадиоэлементы и устройства функциональной электроники», «Радиотехника», «Радиоэлектронная техника», «Микропроцессорная техника», «Источники питания РЭС» и др.

II. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Основная форма изучения курса «Теоретические основы электротехники» - самостоятельная работа учащегося над рекомендацией учебной литературой.

Для полного и успешного усвоения предмета предусматриваются следующие виды занятий:

1. Самостоятельные (для выполнения контрольной работы).
2. Выполнение лабораторных работ.
3. Проработка материала по основным вопросам курса на обзорных занятиях и консультациях в течении учебного года и в период лабораторно-экзаменационной сессии.

Учебный материал нужно изучать по учебнику в определенной последовательности, начиная с первой темы, конспектируя основные понятия. Целесообразно изучать материал по учебникам, рекомендуемым данным пособием, т.к. в расчете на них составлены методические указания к выполнению контрольных работ. При отсутствии таких учебников можно пользоваться другими, но находить требуемый материал в этом случае можно только по названиям и содержанию соответствующих параграфов учебника.

В результате изучения предмета должен:

знать на уровне представления:

- основные способы получения, передачи на расстояние и практическое использование электроэнергии;
- единую электросистему, роль и значение электроэнергии в экономике;
- основные направления снижения потерь электрической энергии;

знать на уровне понимания:

- основные электрические и магнитные явления, их физическую сущность и возможности практического применения;
- физические законы и следствия, на которых основана электротехника;
- термины и определения электротехники, единицы измерения, условные графические изображения и буквенные обозначения электротехнических величин и элементов электрических цепей;
- методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока;
- правила построения и сборки электрических схем;

- классификацию, принцип действия и области применения трансформаторов, электрических машин переменного и постоянного тока, электромагнитных элементов автоматики и других приборов;
- правила эксплуатации электрооборудования;

уметь:

- читать схемы, определять назначение элементов, анализировать режим работы электрических цепей;
- собирать простейшие схемы при последовательном и параллельном соединении элементов;
- рассчитывать параметры электрических схем;
- подбирать по назначению электрические приборы, выполнять электрические измерения;
- рассчитывать и проектировать схемы различных электрических цепей в соответствии с техническими условиями и с учетом требований энергосбережения, выбирать наиболее оптимальный вариант;
- применять методы расчета электрических цепей при проектировании простейших узлов радиоэлектронных средств;
- подбирать электрические машины и электрические элементы автоматики в соответствии с технологическим процессом и конкретными исходными данными;

Оформление контрольной работы должно соответствовать принятым ГОСТам, единству терминологии и обозначениям технических величин согласно ГОСТ, Международной системе единиц (СИ), Единой системе технологической документации (ЕСТД) и Единой системе конструкторской документации (ЕСКД).

Контрольная работа выполняется в отдельной тетради. Вопросы контрольной работы переписываются полностью. На каждой странице необходимо оставлять поле 30 – 40 мм для замечания преподавателя.

На обложке работы указывается название предмета, номер контрольной работы, фамилия, имя, отчество учащегося, шифр и домашний адрес.

Закончив контрольную работу, учащийся должен привести перечень литературы, использованной при изучении материала. В конце тетради должно быть оставлены страницы для записи рецензии.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

При изучении предмета «Теоретические основы электротехники» учащиеся выполняют контрольную работу, которая содержит десять задач. Вариант контрольной работы определяется по двум последним цифрам шифра учащегося по таблице, приведенной в методических указаниях.

Контрольные работы рекомендуется выполнять в следующем порядке:

1. Ознакомиться с общими методическими указаниями.
2. Внимательно прочитать содержание программы предмета: подобрать рекомендуемые учебники, техническую и справочную литературу.
3. Изучить постепенно материал каждой темы задания; закрепить изучаемый материал разбором решенных задач, приведенных в учебниках и данных методических указаниях по отдельным темам.
4. Перед решением задачи, нужно уяснить к какой теме они относятся, еще раз прочитать методические указания к этой теме или найти пример решения типовой задачи в рекомендованной литературе.
5. Если учащийся, не может самостоятельно разобраться в каком либо вопросе, то следует обратиться за консультацией в колледж, согласно графика индивидуальных консультаций.
6. Ответы на вопросы контрольной работы должны быть полными, четкими, технически грамотными; они должны показать умение учащегося анализировать и обобщать изучаемый материал; ответы рекомендуется иллюстрировать соответствующими эскизами, схемами, таблицами и т.п.
7. Контрольная работа, выполненная и оформленная в соответствии с настоящими указаниями и данными соответствующего варианта, высылаются или сдаются в колледж для проверки согласно учебному графику. Контрольные работы, выполненные с нарушениями данных рекомендаций и требований, а также выполненные не в полном объеме или не по своему варианту, не засчитываются преподавателем и возвращаются на доработку. Неаккуратное выполнение контрольной работы, несоблюдение принятой размерности и плохое выполнение чертежей и схем могут послужить причиной возвращения ее для переделки.
8. Получив контрольную работу после проверки, учащийся должен проанализировать все имеющиеся замечания рецензента и соответственно внести необходимые исправления и дополнения, доработать материал по указанным темам. Если работа не зачтена, то согласно указаниям

преподавателя она выполняется заново полностью по варианту, указанному преподавателем, либо дополняется частично. При этом сохраняется первоначальный вариант выполненного задания с рецензией преподавателя. Затем контрольные работы предъявляются учащимся на экзамене по предмету.

ОФОРМЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольные работы должны быть оформлены в соответствии со следующими требованиями:

1. Контрольная работа выполняется строго в соответствии с вариантом учащегося. В противном случае она не засчитывается и возвращается для выполнения повторно в соответствии с данным вариантом.

2. Каждая работа выполняется в отдельной школьной тетради в клетку. На обложке тетради указывается номер контрольной работы, вариант, наименование предмета, фамилия, имя и отчество, учебная группа, шифр учащегося и его почтовый адрес проживания.

3. Текст должен быть написан чернилами или пастой черного (фиолетового, синего) цвета четко и разборчиво. Строчки необходимо располагать через одну клетку, а в конце тетради оставлять 2-3 чистые страницы для рецензии.

4. Условия задач переписываются полностью; в текст условия нужно вставлять соответствующие данные согласно номеру задачи. Текст ответа на вопрос или решение задачи должны быть отделены от условия (вопроса) словами: «Ответ», «Решение задачи». Каждую новую задачу или вопрос нужно записывать с новой страницы.

5. Пункты решения задач должны быть пронумерованы арабскими цифрами по правилам сквозной (индексационной) нумерации. Выполняемые действия должны быть расшифрованы по каждому пункту. При расчетах должны записываться формулы, а затем подставляться числовые значения величин.

6. Страницы тетрадей, начиная со второй, должны быть пронумерованы.

7. В конце выполненной контрольной работы нужно написать список использованных источников, пронумеровать их арабскими цифрами.

8. При использовании формул и различных справочных данных в решении задач необходимо давать ссылку на источники (согласно списку в конце работы), откуда взяты эти формулы и данные. Например: «по табл. 4,1(5 с. 136) находим...».

9. Графическая часть (схемы, эскизы, графики) контрольной работы должна быть выполнена на миллиметровой бумаге формата А5. Выполнять графическую часть следует черной пастой или карандашами соответствующей твердости с применением чертежных принадлежностей. Затем эти листы аккуратно вклеиваются в тетрадь к соответствующему тексту.

10. Эскизы и схемы должны быть выполнены в масштабе (кроме схем приборов, которые вычерчиваются в произвольном масштабе) по правилам ЕСКД. Они должны быть пронумерованы с нарастающим итогом (рис.1, рис.2... и т.д.) и соответственно подписаны.

11. В конце контрольной работы проставляются даты ее окончательного выполнения и разборчивая подпись учащегося.

III. ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

Основная литература:

1. Евдокимов Ф.Е. Теоретические основы электротехники. Учебник для техникумов. – М.: Высшая школа, 1981.
2. Попов В.С. Теоретическая электротехника. Учебник для техникумов, - М.: 1990.
3. Зайчик М.Ю. Сборник задач и упражнений по теоретической электротехнике. Учебное пособие для электротехнических специальностей техникумов. – М.: Энергия, 1978.

Дополнительная литература:

4. Буртаев Ю.В., Овсянников П.Н. Теоретические основы электротехники. Учебник для техникумов, - М.: Энергоиздат, 1984.
5. Цейтлин Л.С. Руководство к лабораторным работам по теоретическим основам электротехники. Учебное пособие для учащихся техникумов. – М.: Высшая школа, 1985.
6. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники. Электротехника. – М.: Высшая школа, 1983.
7. Касаткин А.С., Электротехника. М.: Высшая школа, 2000.
8. ГОСТ 3.1109-82. Единая система технической документации. Термины и определения основных понятий.
9. ГОСТ 19431-84 Энергетика и электрификация. Термины и определения.
10. ГОСТ 8.417-81 Единицы физических величин.
11. ГОСТ 2.702-75. Правила выполнения электрических схем.
12. ГОСТ 2.708-81. Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники.
13. ГОСТ 2.729-69. Условное изображение в графических схемах.

IV. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Введение

Электрическая энергия, ее основные свойства. Применение электрической энергии в хозяйственной деятельности человека. Краткий исторический обзор электрификации РБ. Вклад белорусских ученых в научно-технический прогресс в области электротехники и электроэнергетики. Краткая характеристика предмета. Межпредметные связи теоретических основ электротехники с курсами специальности.

Раздел 1 Линейные и нелинейные электрические цепи постоянного тока

Тема 1.1 Физические процессы в электрических цепях

1. Физические величины характеризующие ЭП.
2. Стационарное электрическое поле в проводнике.
3. Электрический ток, его плотность, электронное строение металла.
4. Удельная проводимость и удельное сопротивление. Электрическое сопротивление.
5. Закон Ома для участка цепи, резисторы, их вольтамперные характеристики.
6. Электрический ток в полупроводнике, в вакууме.
7. Электрическая цепь, ее основные элементы.
8. ЭДС, мощность и КПД.
9. Преобразование электрической энергии. Мощность и КПД приемника энергии.
10. Закон Ома для замкнутой цепи, баланс мощностей.

Тема 1.2 Расчет линейных электрических цепей постоянного тока

1. Задачи расчета ЭЦ. Элементы схем ЭЦ.
2. Первый и второй законы Кирхгофа для разветвленной цепи. Контурные уравнения.
3. Неразветвленная ЭЦ. Последовательное соединение пассивных элементов и источников ЭДС. Делитель напряжения.
4. Разветвленная ЭЦ. Параллельное соединение пассивных элементов и источников ЭДС. Смешанное соединение пассивных элементов.
5. Расчет ЭЦ путем преобразования их схем. Свертывание схем с параллельным и последовательным соединением пассивных элементов. Треугольник и звезда из пассивных элементов.
6. Расчет ЭЦ методом эквивалентного генератора, методом узловых и контурных уравнений, методом контурных токов, методом узловых потенциалов. Четырехполюсники.

Тема 1.3 Нелинейные электрические цепи постоянного тока

1. Нелинейные электрические элементы в цепи постоянного тока, их вольтамперные характеристики.
2. Понятия о статическом и динамическом сопротивлениях нелинейного элемента. Приведение нелинейных цепей к линейным.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАЗДЕЛУ 1.

Электрическая цепь – это совокупность устройств и объектов, образующих путь электрического тока. Графическое изображение электрической цепи, содержащее условное обозначение ее элементов и показывающие соединения этих элементов, называется схемой электрической цепи (часто используется термин «схема замещения»). Основными элементами электрических цепей и их схем являются активные элементы (источники ЭДС и токи), пассивные элементы (для постоянного тока – сопротивления R), а также так называемые геометрические элементы: ветвь, узел, контур.

В основе анализа и расчета электрических цепей лежит закон Ома и два фундаментальных закона Кирхгофа.

Закон Ома для участка цепи гласит: ток прямо пропорционален напряжению и обратно пропорционален сопротивлению $I = \frac{U}{R}$.

Первый закон Кирхгофа формулируется для узла электрической цепи: алгебраическая сумма токов в ветвях, образующих узел электрической цепи, равна нулю.

Второй закон Кирхгофа формулируется для замкнутого контура электрической цепи, алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжения на всех пассивных элементах этого контура. Если направление ЭДС или напряжения совпадает с направлением обхода контура, то они суммируются со знаком «плюс», а если оно противоположно, то суммирование имеет знак «минус».

Расчет простых электрических цепей постоянного тока (с одним источником и смешанным соединением пассивных элементов) сводится к определению токов на отдельных участках цепи. Применяется так называемый «метод свертывания», цепь сворачивается к источнику и смешанное соединение сопротивлений заменяется одним эквивалентным.

Элемент электрической цепи, сопротивление которого зависит от тока в нем или от напряжения на его выводах, называется **нелинейным** элементом.

Для нелинейных электрических цепей остаются справедливы законы Ома и Кирхгофа.

Многие нелинейные элементы, применяемые в практике, имеют вольтамперные характеристики, у которых нет линейных участков, и уравнения для их аналитического выражения.

Расчет цепей, содержащих такие элементы, осуществляется графическими методами, которые применимы при любом виде вольтамперных характеристик и дают результаты достаточной точности.

Исходные данные для расчета (вольтамперные характеристики элементов цепи) задаются в виде графиков или таблиц.

Задачу определения тока одного элемента по напряжению этого элемента или обратную задачу решают просто: заданную величину отмечают на оси координат, находят соответствующую ей точку кривой, а затем на другой оси определяют искомую величину.

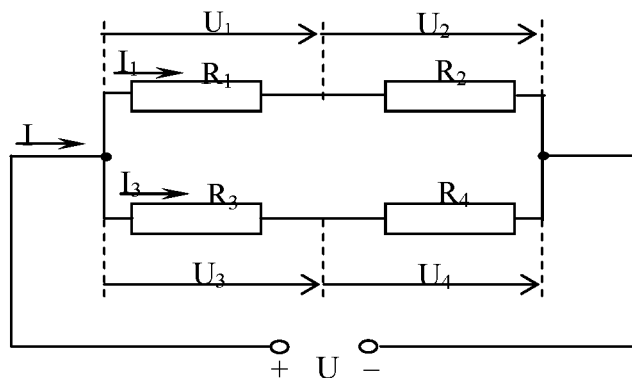


Рис. 1

Пример 1: Цепь постоянного тока со смешанным соединением состоит из четырех резисторов. Значения резисторов: $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 5 \text{ Ом}$, $R_3 = 2 \text{ Ом}$, $R_4 = 8 \text{ Ом}$, мощность цепи $P = 150 \text{ Вт}$. Определить $R_{\text{экв}}$, I , I_1 , I_3 , U_1 , U_2 , U_3 , U_4 , U .

Решение:

1. Находим эквивалентное сопротивление всей цепи:

$$R_{1,2} = R_1 + R_2 = 10 + 5 = 15 \text{ Ом},$$

где $R_{1,2}$ - последовательное соединение R_1 и R_2 ;

$$R_{3,4} = R_3 + R_4 = 2 + 8 = 10 \text{ Ом},$$

где $R_{3,4}$ - последовательное соединение R_3 и R_4 ;

$$R_{\text{экв}} = \frac{R_{1,2} \cdot R_{3,4}}{R_{1,2} + R_{3,4}} = \frac{15 \cdot 10}{15 + 10} = 6 \text{ Ом},$$

где $R_{\text{экв}}$ - параллельное соединение $R_{1,2}$ и $R_{3,4}$.

2. Определяем ток, текущий от источника, из формулы:

$$P = I^2 R_{\text{экв}} \rightarrow I = \sqrt{\frac{P}{R_{\text{экв}}}} = \sqrt{\frac{150}{6}} = 5 \text{ А}.$$

3. Определяем приложенное напряжение к цепи: $U = I \cdot R_{\text{экв}} = 5 \cdot 6 = 30 \text{ В}$.

4. Определяем токи в ветвях:

$$I_1 = \frac{U}{R_{1,2}} = \frac{30}{15} = 2 \text{ А}, \quad I_3 = \frac{U}{R_{3,4}} = \frac{30}{10} = 3 \text{ А}.$$

5. Определяем напряжения на резисторах:

$$U_1 = I_1 \cdot R_1 = 2 \cdot 10 = 20 \text{ В}, \quad U_3 = I_3 \cdot R_3 = 3 \cdot 2 = 6 \text{ В}, \\ U_2 = I_2 \cdot R_2 = 2 \cdot 5 = 10 \text{ В}, \quad U_4 = I_3 \cdot R_4 = 3 \cdot 8 = 24 \text{ В}.$$

Пример 2: На рис. 2 изображена электрическая цепь со смешанным соединением резисторов.

Изложены значения сопротивлений резисторов $R_1 = 3 \text{ Ом}$, $R_2 = 10 \text{ Ом}$, $R_3 = 15 \text{ Ом}$, $R_4 = 1 \text{ Ом}$, напряжение $U = 110 \text{ В}$ и время работы цепи $t = 10 \text{ ч}$. Определить токи, проходящие через каждый резистор I_1, I_2, I_3, I_4 , общую мощность цепи P и расход энергии W .

Дано: $R_1 = 3 \text{ Ом}$, $R_2 = 10 \text{ Ом}$, $R_3 = 15 \text{ Ом}$, $R_4 = 1 \text{ Ом}$, $U = 110 \text{ В}$, $t = 10 \text{ ч}$. Определить I_1, I_2, I_3, I_4, P, W .

Решение:

1. Определим эквивалентное сопротивление цепи, метод подсчета которого для цепи со смешанным соединением резисторов сводится к последовательному упрощению схемы. Сопротивления R_2 и R_3 соединены параллельно.

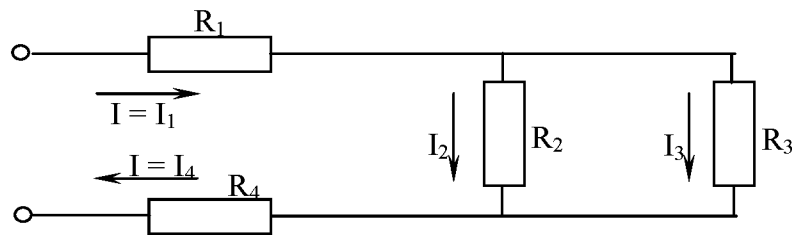


Рис. 2

2. Найдем общее сопротивление при таком соединении: $\frac{I}{R_{2,3}} = \frac{I}{R_2} = \frac{I}{R_3}$, приводя к общему

знаменателю, получим: $R_{2,3} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{10 \cdot 15}{10 + 15} = \frac{150}{25} = 6 \text{ Ом}$.

Схема примет вид (рис. 3).

Теперь резисторы $R_1, R_{2,3}, R_4$ соединены последовательно, их общее сопротивление:

$$R_{\text{экв}} = R_1 + R_{2,3} + R_4 = 3 + 6 + 1 = 10 \text{ Ом}.$$

Это общее сопротивление, включенное в цепь вместо четырех сопротивлений схемы (рис.2), при таком же значении напряжения не изменит тока в цепи. Поэтому это сопротивление чаще называется общим эквивалентным сопротивлением цепи.

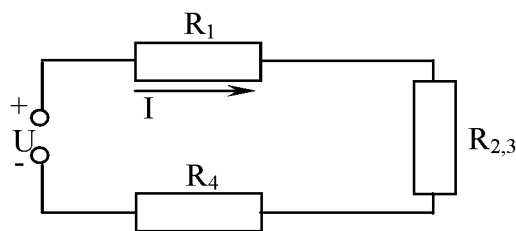


Рис. 3

По закону Ома определим ток: $I = \frac{U}{R_{\text{экв}}} = \frac{110}{10} = 11 \text{ А}$.

3. Найдем токи, проходящие через все резисторы. Через резисторы R_1 и R_4 проходит ток I . Для определения токов, проходящих через резисторы R_2 и R_3 , нужно найти напряжение на параллельном участке $U_{2,3}$. Это напряжение можно определить двумя способами:

а) $U_{2,3} = I \cdot R_{2,3} = 11 \cdot 6 = 66 \text{ В};$

б) $U_{2,3} = U - I \cdot R_1 - I \cdot R_4 = U - I(R_1 + R_4) = 110 - 11(3 + 1) = 66 \text{ В}.$

$$I_2 = \frac{U_{2,3}}{R_2} = \frac{66}{10} = 6,6 \text{ А};$$

4. По закону Ома для параллельного участка цепи найдем:

$$I_3 = \frac{U_{2,3}}{R_3} = \frac{66}{15} = 4,4 \text{ А}.$$

или, применяя первый закон Кирхгофа, получим: $I_3 = I - I_2 = 11 - 6,6 = 4,4 \text{ А}.$

5. Найдем общую мощность цепи: $P = UI = 110 \cdot 11 = 1210 \text{ Вт} = 1,21 \text{ кВт}.$

6. Определим расход энергии: $W = P \cdot t = 1,21 \cdot 10 = 12,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$

7. Выполним проверку решения задачи:

- а) проверим баланс мощности:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 = 11^2 \cdot 3 + 6,6^2 \cdot 10 + 4,4^2 \cdot 15 + 11^2 \cdot 1 = \\ = 363 + 435,6 + 290,4 + 121 = 1210 \text{ Вт}, \\ 1210 \text{ Вт} = 1210 \text{ Вт}.$$

- б) для узловой точки применим первый закон Кирхгофа:

$$I = I_2 + I_3 = 6,6 + 4,4. \quad 11 \text{ А} = 11 \text{ А}.$$

- в) составим уравнение по второму закону Кирхгофа, обходя контур цепи по часовой стрелке:

$$U = U_1 + U_{2,3} + U_4 = I \cdot R_1 + I \cdot R_{2,3} + I \cdot R_4 = 11 \cdot 3 + 11 \cdot 6 + 11 \cdot 1 = 110 \text{ В}. \quad 110 \text{ В} = 110 \text{ В}.$$

Вопросы для самоконтроля:

- Напишите формулы закона Ома для всей цепи и для участка цепи и объясните название и размерности величин, входящих в эти формулы.
- Каково различие между ЭДС и напряжением на зажимах источника электрической энергии?
- Причины возрастания токов до значений токов коротких замыканий. Меры предотвращения последствий коротких замыканий в электрических цепях.

Раздел 2 Электрическое и магнитное поле

Тема 2.1 Электростатическое поле в пустоте.

1. Закон Кулона. Применение закона для расчета электростатического поля точечных зарядов.
2. Симметричные ЭП на плоской и сферической поверхностях. Теорема Гаусса. Вычисление напряженности.

Тема 2.2 Электростатическое поле в диэлектрике.

1. Понятие о физическом строении диэлектрика. Поляризация диэлектриков. Остаточная поляризация в сегнетоэлектриках.
2. Электрическая емкость плоского и цилиндрического конденсатора, двухпроводной линии. Электрическая прочность диэлектриков. Понятие об электрическом пробое.

Тема 2.3 Электростатические цепи.

1. Электрическая емкость в системе заряженных тел. Расчет ЭЦ при сочетании последовательного и параллельного соединения конденсаторов.

Тема 2.4 Магнитное поле в неферромагнитной среде.

1. Магнитное поле - как вид материи. Закон Ампера, магнитная постоянная. Магнитная индукция.
2. Намагничивающая сила вдоль контура. Полный поток. Вычисление магнитной индукции в симметричных магнитных полях.
3. Работа при перемещении контура с током. Индуктивность. Энергия магнитного поля.

Тема 2.5 Магнитное поле в ферромагнитной среде

1. Магнитные свойства вещества. Намагничивание вещества, намагниченность. Напряженность магнитного поля. Магнитная проницаемость. Закон полного тока.
2. Свойства и применение магнитных материалов. Магнитный гистерезис. Изменение магнитного поля на границе двух сред.

Тема 2.6 Магнитные цепи

1. Классификация магнитных цепей. Закон полного тока для магнитной цепи.
2. Расчет неразветвленной однородной и неоднородной магнитных цепей. Закон Ома для магнитной цепи.
3. Расчет разветвленной магнитной цепи и магнитной цепи с постоянными магнитами. Законы Кирхгофа для магнитной цепи.

Тема 2.7 Электромагнитная индукция

1. Явление ЭМИ. Закон ЭМИ. Правило Ленца.
2. Выражение ЭДС, индуцируемой в проводнике. Сущность электромагнитной индукции как процесса преобразования магнитного поля. Вихревые токи.
3. Использование электромагнитной индукции. Преобразование механической энергии в электрическую и наоборот. Принципы работы генератора и электродвигателя.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАЗДЕЛУ 2

Электрические свойства тел объясняются присутствием в них заряженных частиц. Если тело заряжено, то в нем преобладают положительные или отрицательные заряды. Электрически заряженное тело неразрывно связано с окружающим его электрическим полем, через которое и осуществляется взаимодействие электрически заряженных тел.

Электрическое поле неподвижных заряженных тел при отсутствии в них электрических токов называется электростатическим.

Магнитное поле возникает вокруг движущихся элементарных частиц, обладающих электрическим зарядом и связано с ним. Магнитное поле действует на движущуюся электрически заряженную частицу с силой, пропорциональной заряду частицы и скорости ее движения. Силы взаимодействия магнитного поля с движущимися заряженными частицами (токами) называются электромагнитными, т.е. физически существует единое электромагнитное поле, т.к. электрические и магнитные явления в природе взаимно обусловлены и неразрывно связаны друг с другом.

Электрическая емкость проводника $C = \frac{Q}{\varphi}$

где: C – емкость проводника, Ф;
 φ – потенциал проводника, В;
 Q – заряд, Кл.

Таким образом, электрическая емкость тела определяет величину заряда, которую нужно сообщить телу, чтобы вызвать повышение его потенциала на 1В.

Единицей емкости является: $[C] = 1\text{Кл/В} = 1\text{Ф}$.

На практике пользуются более мелкими единицами – микрофарада ($1\text{мкФ} = 10^{-6}\text{пФ}$) или пикофарада ($1\text{пФ} = 10^{-12}\text{Ф}$).

В технике для получения емкостей используют конденсаторы – устройства, состоящие из двух металлических проводников, разделенных диэлектриком. Заряд Q и напряжение U между пластинами связаны между собой соотношением $Q = CU$, откуда $C = \frac{Q}{U}$, где C – электрическая емкость конденсатора.

На практике нужную емкость получают, прибегая к различным способам соединения стандартных конденсаторов.

Общая, или эквивалентная, емкость при параллельном соединении конденсатора равна сумме емкостей отдельных конденсаторов: $C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + C_3$

При параллельном соединении конденсаторы находятся под одним напряжением. При последовательном соединении конденсаторов на пластинах будут одинаковые по величине заряды. Общая емкость при последовательном соединении конденсаторов: $1/C_{\text{общ}}=1/C_1+1/C_2+1/C_3$

При последовательном соединении двух конденсаторов: $C_{\text{общ}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$,

При заряде конденсатора от источника питания энергии этого источника преобразуется в энергию электрического поля конденсатора: $W_c=C \cdot U^2/2$

Пример 3: Определить заряд и напряжение каждого конденсатора в схеме (рис. 4), если емкость их $C_1 = 8 \text{ мкФ}$, $C_2 = 5 \text{ мкФ}$, $C_3 = 3 \text{ мкФ}$, а общее напряжение $U = 100 \text{ В}$.

Решение.

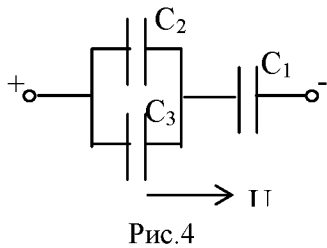


Рис.4

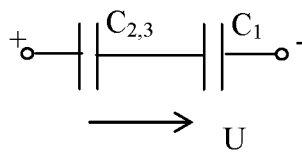


Рис. 5

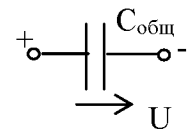


Рис.6

1. Определяем емкость двух параллельно соединенных конденсаторов $C_{2,3}$ (рис. 5):

$$C_{2,3} = C_2 + C_3 = 5 + 3 = 8 \text{ мкФ}.$$

Эквивалентная емкость или общая определяется, если объединить два последовательно соединенных конденсатора (рис. 6):

$$C_{\text{эkv}} = \frac{C_{2,3} \cdot C_1}{C_{2,3} + C_1} = \frac{8 \cdot 8}{8 + 8} = 4 \text{ мкФ}.$$

2. Общий заряд системы конденсаторов:

$$Q = C_{\text{общ}} \cdot U = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}, \quad Q_1 = Q_{2,3} = Q = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}.$$

3. Определяем напряжения U_1 и $U_{2,3}$:

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 10^{-6}} = 50 \text{ В},$$

$$U_{2,3} = \frac{Q_{2,3}}{C_{2,3}} = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 10^{-6}} = 50 \text{ В}.$$

4. Заряды конденсаторов C_2 и C_3 :

$$Q_2 = C_2 U_{2,3} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ Кл},$$

$$Q_3 = C_3 U_{2,3} = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}.$$

Проверка: $Q_1 = Q_2 + Q_3,$
 $4 \cdot 10^{-4} = (2,5 + 1,5) \cdot 10^{-4}$

Пример 4: Три параллельных провода расположены в воздухе (рис.7). По проводам проходят токи $I_A=1000 \text{ А}$, $I_{B+}=2000 \text{ А}$. Длина проводов 50м. Определить величину результирующей электромагнитной силы, действующей на изолятор провода А.

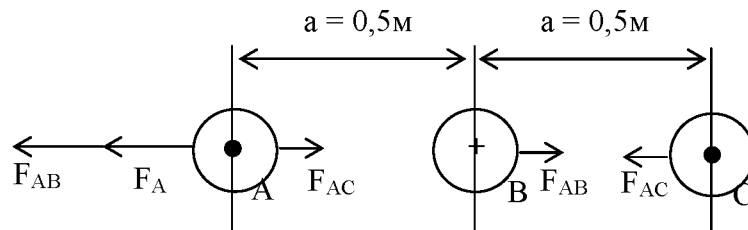


Рис. 7

Решение:

1. Определяем силу взаимодействия между проводами А и В:

$$F_{AB} = \mu_0 \frac{I_A I_B}{2\pi a} l = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{1000 \cdot 2000 \cdot 50}{2\pi \cdot 0,5} = 40 \text{ Н.}$$

2. Определяем силу взаимодействия между проводами А и С:

$$F_{AC} = \mu_0 \frac{I_A I_C}{2\pi 2a} l = 4 \cdot 10^{-7} \frac{1000 \cdot 1000 \cdot 50}{2\pi \cdot 1,0} = 10 \text{ Н.}$$

3. Результирующая сила, действующая на изолятор провода А:

$$F_A = F_{AB} - F_{AC} = 40 - 10 = 30 \text{ Н.}$$

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие элементарные частицы входят в структуру атомов вещества?
2. Какое электрическое поле называется однородным?
3. Как влияет электрическое поле на внесенное в него проводник и диэлектрик? Какие процессы в них происходят?
4. Как называется зависимость между током и напряжением, выраженная графически?
5. Как графически изображается электрическое и магнитное поля?
6. Что такое ферромагнетики и в чем сущность их намагничивания?
7. Будет ли наводиться ЭДС индукции в проводнике, если он неподвижен, а магнитное поле относительно этого проводника перемещается?
8. От каких факторов зависит ЭДС самоиндукции и ЭДС взаимной индукции?

Раздел 3 Линейные и нелинейные электрические цепи переменного тока

Тема 3.1 Основные сведения о синусоидальном электрическом токе

1. Получение синусоидальной ЭДС. Уравнения и графики синусоидальных величин.
2. Графические способы выражения синусоидальных величин в прямоугольной системе координат. Векторные диаграммы.
3. Действующие и средние значения синусоидального тока. Коэффициенты формы и амплитуды.

Тема 3.2 Элементы электрических цепей переменного тока и их параметры

1. Элементы цепей переменного тока. Сопротивление, емкость и индуктивность – параметры электрических цепей переменного тока.
2. Цепь переменного тока с активным сопротивлением, цепь переменного тока с емкостью, цепь переменного тока индуктивностью. Схемы замещения катушки индуктивности и конденсатора с потерями.
3. Схемы последовательного соединения активного и реактивного элементов. Схемы замещения с параллельным соединением активного и реактивного элементов.
4. Активная, реактивная и полная мощности катушки индуктивности и конденсатора с потерями. Треугольник мощностей.

Тема 3.3 Расчет электрических цепей переменного тока с помощью векторных диаграмм

1. Расчет неразветвленной цепи с одним источником питания. Векторная диаграмма. Треугольники сопротивлений и мощностей.

2. Расчет разветвленной цепи с двумя узлами и одним источником питания Коэффициент мощности электроустановки.

Тема 3.4 Расчет электрических цепей синусоидального тока с применением комплексных чисел

1. Выражение синусоидальных напряжений и токов комплексными числами. Комплексные сопротивления и проводимость.
2. Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме. Символический метод расчета цепей переменного тока.

Тема 3.5 Трехфазные симметричные цепи

1. Понятие об однофазной и многофазной системах электрических цепей. Схема устройства трехфазного электромагнитного генератора.
2. Симметричная нагрузка в трехфазной цепи. Фазные и линейные токи. Расчет симметричной цепи.
3. Несимметричная нагрузка трехфазной цепи. Четырехпроводная трехфазная система, роль нейтрального провода.
4. Вращающееся магнитное поле, трехфазная система обмоток. Получение вращающегося магнитного поля посредством трехфазной системы токов.

Тема 3.6 Электрические цепи с несинусоидальными периодическими напряжениями и токами

1. Возникновение несинусоидальных ЭДС, токов и напряжений в ЭЦ. Аналитическое выражение несинусоидальных периодических величин.
2. Действующее значение несинусоидального периодического тока. Мощность цепи при несинусоидальном токе. Расчет линейной ЭЦ при несинусоидальном периодическом напряжении на входе.

Тема 3.7 Нелинейные электрические цепи переменного тока

1. Общая характеристика НЭЦ переменного тока. Цепи с активными нелинейными сопротивлениями, индуктивностью, емкостью. Влияние гистерезиса и вихревых токов на ток в катушке с ферромагнитным сердечником.
2. Полная векторная диаграмма и схемы замещения катушки с ферромагнитным сердечником. Феррорезонанс и его использование. Ферромагнитные элементы с одновременным намагничиванием постоянным и переменным током.

Тема 3.8 Переходные процессы в электрических цепях

1. Общие понятия о переходных процессах. Заряд конденсатора через сопротивление от источника постоянного тока и разряд конденсатора через сопротивление.
2. Включение и выключение катушки индуктивности в цепи с источником постоянного напряжения. Изменение сопротивления в цепи с индуктивностью.
3. Включение катушки индуктивности и конденсатора на синусоидальное напряжение. Короткое замыкание в цепи синусоидального тока.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАЗДЕЛУ 3

Синусоидальные токи и напряжения получили наибольшее распространение в современной технике.

Процессы в цепях переменного тока принципиально отличаются от процессов в цепях постоянного тока, токи и напряжения которых неизменны. В цепях переменного тока при изменениях напряжений и токов изменяются линейные и электрические поля, связанные с цепью. Все реальные электротехнические устройства обладают электрическим сопротивлением R , индуктивностью L и емкостью C , которые являются параметрами электрической цепи переменного тока.

Электрические цепи переменного тока можно рассчитывать с помощью векторных диаграмм. Векторная диаграмма, построенная в соответствии с чередованием элементов цепи, называется топографической, т.к. точки, отделяющие векторы друг от друга, соответствуют точкам, разделяющим элементы схемы.

Реактивное, индуктивное и емкостное сопротивления цепи переменного тока могут полностью уравновесить друг друга. В этом случае мы имеем резонанс в цепи. Различают резонанс при последовательном соединении элементов (резонанс напряжений) и при параллельном соединении (резонанс токов).

В практике часто встречаются несинусоидальные периодические ЭДС и токи, которые изменяются во времени не по гармоническому закону, но значения которых регулярно повторяются по истечении полного цикла изменений T .

Обычным примером является представление несинусоидальной ЭДС или тока в виде суммы синусоидальных ЭДС и токов при помощи разложения в ряд Фурье. Для несинусоидального напряжения $U(f)$, например, можно написать разложение в ряд:

$$U(f) = U + U_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + U_{2m} \sin(2\omega t + \psi_2) + U_{3m} \sin(3\omega t + \psi_3) + \dots + U_{km} \sin(k\omega t + \psi_k).$$

расчеты сложных цепей при несинусоидальных переменных токах производятся для каждой гармонической составляющей, т.к. это было для синусоидального переменного тока.

Пример расчета приводится.

Многофазной системой называют совокупность электрических цепей, именуемых фазами, в которых действуют синусоидальные напряжения одной частоты, отличающихся по фазе.

В симметричной трехфазной системе напряжения фаз равны по величине и сдвинуты по фазе на угол $2\pi/3$.

Мгновенные значения и комплексы ЭДС фаз соответственно равны:

$$\begin{aligned} \ell_A &= E_m \sin \omega t & \dot{E}_A &= E \ell^{j0} = E, \\ \ell_B &= E_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \dot{E}_B &= E \ell^{-j\frac{3\pi}{2}}, \\ \ell_C &= E_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) & \dot{E}_C &= E \ell^{-j\frac{4\pi}{3}}, \end{aligned}$$

где $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$ - действующее значение ЭДС.

Трехфазная система может быть несвязной, или связанной в звезду или в треугольник.

При соединении генератора звездой вместе соединяются концы его фазных обмоток, образуя нулевую (нейтральную) точку. К началу его фаз присоединяется приемник: при соединении его также в звезду нулевые точки генератора и приемника могут быть соединены нулевым (нейтральным) проводом. Линейные точки звезды равны фазным, линейные напряжения – разности соответствующих фазных: $\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B$ и т.д. При симметричной системе фазных напряжений $U_A = \sqrt{3}U_\phi$.

Соединение звездой с нулевым проводом без сопротивления обеспечивает независимую работу фаз.

При соединении приемника треугольником соединяют конец каждой фазы с началом следующей. Линейные напряжения треугольника равны фазным, линейные токи – разности соответствующих фазных: $\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}$ и т.д.

При симметричной системе фазных токов $I_A = \sqrt{3}I_\phi$.

В автоматике, электронике и радиотехнике широко применяются элементы электрических цепей, имеющие нелинейную зависимость между током и напряжением $U=f(I)$.

Электрическая цепь, в которую входят нелинейные элементы, называется нелинейной. Нелинейную вольтамперную характеристику имеют электровакуумные приборы, фотоэлементы, газоразрядные приборы, полупроводниковые приборы. Большую группу нелинейных элементов представляют нелинейные сопротивления: терморезисторы, варисторы, барреторы и др.

Расчет нелинейных цепей, осуществляется графическими методами, которые применимы при любом виде вольтамперных характеристик и дают результаты достаточной точности.

При переменном токе в нелинейных цепях наравне с сопротивлением необходимо учитывать индуктивность и емкость. Вследствие нелинейных вольтамперных характеристик форма периодического напряжения и тока неодинакова для всех этих элементов. Даже если напряжение, приложенное к нелинейному элементу, синусоидально, то вследствие его нелинейных свойств ток будет иметь периодическую несинусоидальную форму.

Установившийся режим – режим, в котором изменяющиеся во времени токи и напряжения, можно характеризовать численными значениями, которые являются постоянными.

Электромагнитные процессы, возникающие в электрической цепи при переходе от одного установившегося режима к другому, называются переходными.

Токи и напряжения в переходных режимах являются функциями времени (экспонента, затухающая синусоида, сумма экспонент), характер которых определяется параметрами цепей (сопротивлением, емкостью, индуктивностью) и схемой их соединения.

Все многочисленные и разнообразные причины возникновения переходных процессов в теории электрических цепей принято называть коммутацией.

Существует два закона коммутации – для ветви с L (ток в индуктивности не может изменяться скачком) и для ветви с C (напряжение на емкости не может измениться скачком).

Изменение напряжения источника во время переходного процесса влияет на характер переходного тока. При анализе переходного процесса в цепи переменного тока приходится, кроме того учитывать сдвиг фаз между напряжением и установившимся током, начальную фазу напряжения или, иначе говоря, мгновенное напряжение источника в момент включения цепи. Изменения установившегося и переходного тока носит колебательный характер, причем колебания установившегося тока совершаются около оси ωt , а переходного тока – около кривой $i_{св}(f)$.

В цепях с большой постоянной времени свободная составляющая переходного тока затухает медленно, поэтому переходный ток в течение первого полупериода достигает величины, равной почти удвоенной амплитуде установившегося тока $i_{\max} \approx 2I_m$.

Материал темы 3.8. – понятие о переходных процессах в R , L , C -цепях можно найти в учебниках по ТОЭ для высших учебных заведений.

Для пояснений общей методики решения задач на трехфазные цепи, включая построение векторной диаграммы, рассмотрим типовые примеры.

Пример 5: Для схемы цепи, приведенной на рис. 8, начертить в масштабе векторную диаграмму и определить графически ток в нулевом проводе. Линейное напряжение сети $U = 380$ В.

$$\underline{Z}_A = \underline{Z}_C = R = 5 \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_B = R_B + jX_B = 6 + j8$$

Решение:

1. Определяем полное сопротивление фаз:

$$Z_A = R_A = 5 \text{ Ом},$$

$$Z_B = \sqrt{R_B^2 + X_B^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10 \text{ Ом},$$

$$Z_C = R_C = 10 \text{ Ом}.$$

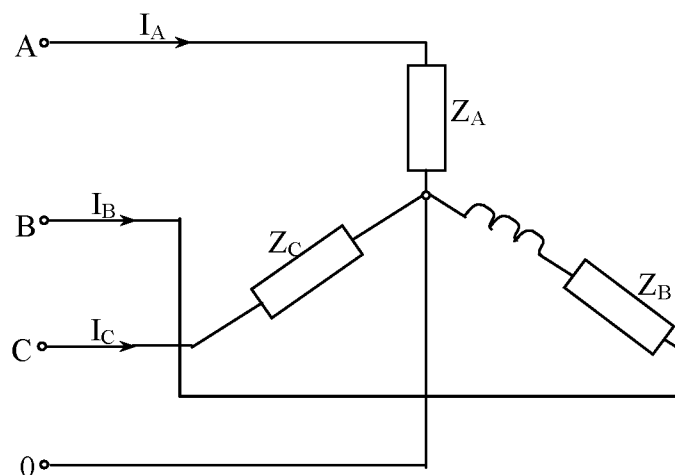


Рис. 8

Фазные (они же линейные) токи:

$$I_A = \frac{U_\phi}{Z_A} = \frac{U}{\sqrt{3}Z_A} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 5} = 44 \text{ A},$$

$$I_B = \frac{U_\phi}{Z_B} = \frac{U}{\sqrt{3}Z_B} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 10} = 22 \text{ A},$$

$$I_C = \frac{U_\phi}{Z_C} = \frac{U}{\sqrt{3}Z_C} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 10} = 22 \text{ A}.$$

Углы сдвига фаз между фазными токами и фазным напряжением в каждой фазе:

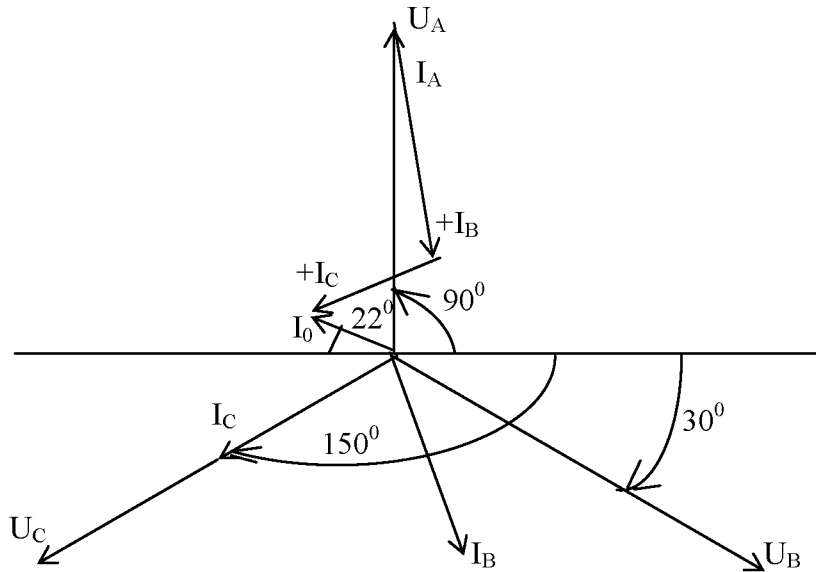


Рис. 9

$$\cos \varphi_A = \frac{R_A}{Z_A} = 1,0, \varphi_A = 0;$$

$$\cos \varphi_B = \frac{R_B}{Z_B} = \frac{6}{10} = 0,6, \varphi_B = 53^{\circ}10';$$

$$\cos \varphi_C = \frac{R_C}{Z_C} = 1,0, \varphi_C = 0.$$

2. Построение векторной диаграммы начинаем с фазных напряжений $\bar{U}_A, \bar{U}_B, \bar{U}_C$, располагая их под углом 120° друг относительно друга. Чередувание фаз принято обычным: за фазой А – фаза В, за фазой В – фаза С (в положительном направлении – против часовой стрелки). Под углами $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$ к соответствующим векторам фазных напряжений откладываем векторы линейных токов $\bar{I}_A, \bar{I}_B, \bar{I}_C$. Геометрическая сумма фазных токов равна току в нулевом проводе: $\bar{I}_0 = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C$

При построении векторной диаграммы были приняты масштабы: $M_V = 50 \text{ В/см}$; $M_I = 10 \text{ А/см}$.

Ток в фазе А совпадает с фазным напряжением U_A ($\varphi_A = 0$); ток в фазе В отстает от фазного напряжения U_B на угол $\varphi_B = 53^{\circ}10'$; ток в фазе С совпадает с фазным напряжением U_C ($\varphi_C = 0$). Линейные напряжения равны разности фазных напряжений:

$$\bar{U}_{AB} = \bar{U}_A - \bar{U}_B, \bar{U}_{BC} = \bar{U}_B - \bar{U}_C, \bar{U}_{CA} = \bar{U}_C - \bar{U}_A.$$

Из векторной диаграммы определяем ток в нулевом проводе – длину вектора \bar{I}_0 умножаем на масштаб тока (рис.9):

Пример 6: Решение предыдущей задачи символическим методом.

Решение:

1. Запишем фазные напряжения в комплексной форме:

$$\dot{U}_A = U_A \cdot e^{j90^\circ} = \frac{380}{\sqrt{3}} e^{j90^\circ} = 220e^{j90^\circ},$$

$$\dot{U}_B = U_B \cdot e^{-j30^\circ} = \frac{380}{\sqrt{3}} e^{-j30^\circ} = 220e^{-j30^\circ},$$

$$\dot{U}_C = U_C e^{-j150^\circ} = \frac{380}{\sqrt{3}} e^{-j150^\circ} = 220e^{-j150^\circ}.$$

2. Полные сопротивления фаз: $\underline{Z}_A = 5 \text{ Ом}$
 $\underline{Z}_B = 6 + j8 = Ze^{j\varphi} = 10e^{j53^\circ 10'}$,

где

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

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{6}{10} = 0,6; \varphi = 53^\circ 10' \text{ - аргумент,}$$

$$\underline{Z}_C = 5 \text{ Ом.}$$

3. Определим фазные токи:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_A} = \frac{220e^{j90^\circ}}{5} = 44e^{j90^\circ} = 44(\cos 90^\circ + j \sin 90^\circ) = 44 \text{ Ом.}$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_B} = \frac{220e^{-j30^\circ}}{10e^{j53^\circ 10'}} = 22e^{-j83^\circ 10'} = 22(\cos 83^\circ 10' - j \sin 83^\circ 10') = 2,2 - j20,8.$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}_C} = \frac{220e^{-j150^\circ}}{10} = 22e^{-j150^\circ} = 22(\cos 150^\circ - j \sin 150^\circ) = 22(-\cos 30^\circ - j \sin 30^\circ) =$$

$$= -22 \cdot 0,86 - j22 \cdot 0,5 = -18,92 - j11.$$

4. Ток нулевого провода равен сумме фазных токов:

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = j44 + 2,2 - j20,8 - 18,9 - j11 = -16,7 + j12,2 = I_0 e^{j\varphi} = 18e^{j143^\circ 30'}$$

$$\text{модуль } I_0 = \sqrt{(-16,7)^2 + 12,2^2} = 18 \text{ А}$$

$$\text{tg } \varphi_1 = \left| \frac{b}{a} \right| = \frac{12,2}{16,7} \approx 0,74$$

$$\varphi \approx 36^\circ 30'$$

На диаграмме видно, что вектор I_0 расположен во второй четверти, поэтому

$$\varphi = 180^\circ - \varphi_1 = 180^\circ - 36^\circ 30' = 143^\circ 30'.$$

Пример 7: Для схемы, приведенной на рис. 10, начертить в масштабе векторную диаграмму, из которой графически определить линейные токи. Линейное напряжение сети $U = 220 \text{ В}$.

Сопротивления фаз: $\underline{Z}_{AB} = 10 \text{ Ом}$, $\underline{Z}_{BC} = 8 + j6 \text{ Ом}$, $\underline{Z}_{CA} = 8 \text{ Ом}$.

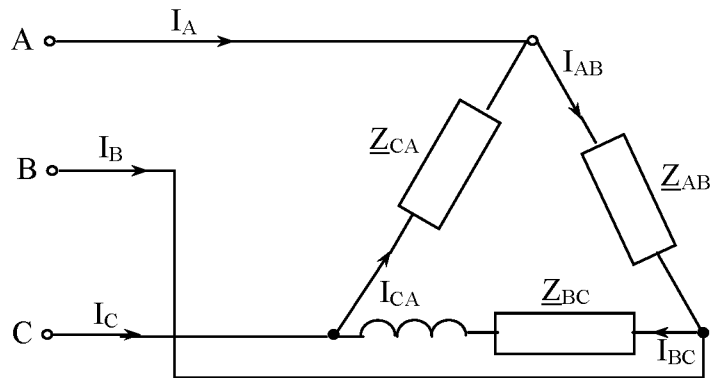


Рис. 10

Решение:

1. Определяем сопротивления фаз:

$$\underline{Z}_{AB} = R_{AB} = 10 \text{ Ом},$$

$$\underline{Z}_{BC} = R_{BC} + jX_{BC} = 8 + j6 = 10e^{j36^\circ 50'},$$

$$\text{где } Z_{BC} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ Ом - модуль};$$

$$\cos \varphi_{BC} = \frac{R_{BC}}{Z_{BC}} = \frac{8}{10} = 0,8, \varphi_{BC} = 36^\circ 50' \text{ - аргумент},$$

$$\underline{Z}_{CA} = R_{CA} = 8 \text{ Ом}.$$

Определяем фазные токи:

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{R_{AB}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А}, \quad I_{BC} = \frac{U_{BC}}{R_{BC}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А}, \quad I_{CA} = \frac{U_{CA}}{R_{CA}} = \frac{220}{8} = 27,5 \text{ А}$$

2. Построение векторной диаграммы начинаем с фазных напряжений (они же линейные). Откладываем напряжения $\bar{U}_{AB}, \bar{U}_{BC}, \bar{U}_{CA}$, располагая их под углом 120° друг относительно друга. Под углами $\varphi_{AB}, \varphi_{BC}, \varphi_{CA}$ к соответствующим векторам фазных напряжений откладываем векторы фазных токов $\bar{I}_{AB}, \bar{I}_{BC}, \bar{I}_{CA}$. Ток в фазе АВ совпадает с напряжением U_{AB} , т.к. сопротивление фазы АВ чисто активное и $\varphi_{AB} = 0$; ток в фазе ВС отстает от напряжения U_{BC} на угол $\varphi_{BC} = 36^\circ 50'$, т.к. сопротивление фазы ВС состоит из R и X_L ; ток в фазе СА совпадает с напряжением U_{CA} , т.к. сопротивление фазы СА чисто активное и $\varphi_{CA} = 0$.

Затем строим векторы линейных токов на основании уравнений:

$$\bar{I}_A = \bar{I}_{AB} - \bar{I}_{CA}, \quad \bar{I}_B = \bar{I}_{BC} - \bar{I}_{AB}, \quad \bar{I}_C = \bar{I}_{CA} - \bar{I}_{BC}.$$

Из диаграммы (рис. 11), пользуясь масштабом $M = 10 \text{ А/см}$, находим величины линейных токов.

$$I_A = 44 \text{ А}, \quad I_B = 46 \text{ А}, \quad I_C = 33 \text{ А}.$$

Примечание:

1. При построении векторной диаграммы для приемника, соединенного треугольником, удобные линейные напряжения откладывать в виде звезды, а не строить векторы треугольником.
2. Геометрическая сумма линейных токов в любом режиме равна нулю, чем можно пользоваться для проверки правильности построения. В нашем примере, $\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C = 0$, в чем легко убедиться, построив из этих векторов замкнутый треугольник.

Эту же задачу можно решить символическим методом, аналогично с решением примера 6.

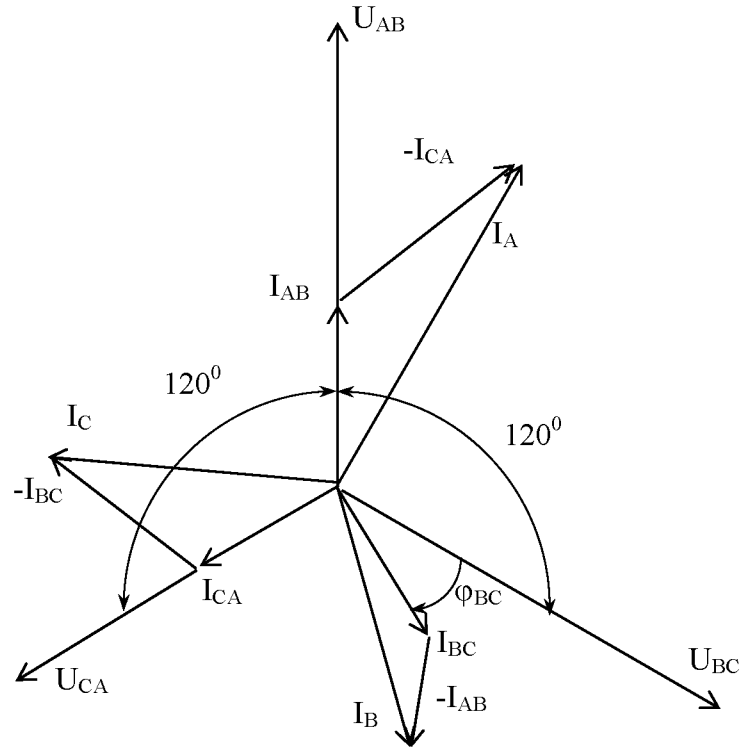


Рис. 11

Пример 8: Активное сопротивление катушки $R_k = 6$ Ом, индуктивность ее $L = 0,0318$ Гн. Последовательно с катушкой включено активное сопротивление $R = 2$ Ом и конденсатор емкостью $C = 795$ мкФ. К цепи приложено напряжение $U = 150$ В (действующее значение). Определить полное сопротивление цепи, силу тока, коэффициент мощности, активную реактивную и полную мощности, напряжения на каждом сопротивлении. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. Частота тока в цепи $f = 50$ Гц.

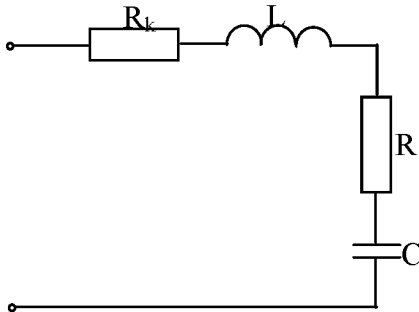


Рис. 12

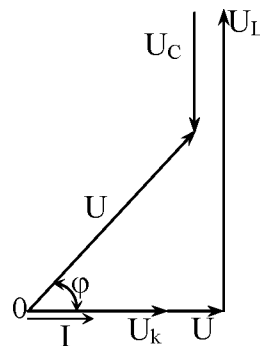


Рис. 13

Решение:

1. Индуктивное сопротивление катушки и емкостное сопротивление конденсатора не заданы, поэтому определяем их по формулам:

$$X_L = 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,0318 = 10 \text{ Ом};$$

$$M_I = \frac{4A}{1\text{см}}$$

$$X_C = \frac{10^6}{2\pi fC} = \frac{10^6}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 795} = 4 \text{ Ом}.$$

$$M_V = \frac{20B}{1\text{см}}$$

2. Полное сопротивление цепи:

$$Z = \sqrt{(R_k + R)^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(6 + 2)^2 + (10 - 4)^2} = 10 \text{ Ом}.$$

3. Сила тока

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{100}{10} = 10 \text{ А}.$$

4. Определяем угол сдвига фаз между вектором тока и напряжением, приложенным ко всей цепи:

$$\cos \varphi = \frac{R_k + R}{Z} = \frac{6 + 2}{10} = 0,8; \text{ по таблице Брадиса находим: } \varphi = 36^{\circ}50' \approx 37^{\circ}$$

Определяем угол сдвига фаз через четную функцию косинус, мы теряем знак угла. Поэтому в тех случаях, где важен знак угла, следует пользоваться нечетными его функциями (синусом или тангенсом).

В нашем примере:

$$\sin \varphi = \frac{X_L - X_C}{Z} = \frac{10 - 4}{10} = 0,6;$$

$$\varphi = 36^{\circ}50' \approx 37^{\circ} (\varphi > 0).$$

Знак плюс у угла φ показывает, что напряжение опережает ток.

5. Активная мощность: $P = I^2 (R_k + R) = 10^2 (6 + 2) = 800 \text{ Вт}$

$$\text{или } P = UI \sin \varphi = 100 \cdot 10 \cdot 0,8 = 800 \text{ Вт}.$$

6. Реактивная мощность: $Q = I^2 (X_L - X_C) = 10^2 (10 - 4) = 600 \text{ вар}.$

$$\text{или } Q = UI \sin \varphi = 100 \cdot 10 \cdot 0,6 = 600 \text{ вар}.$$

$$S = UI = 100 \cdot 10 = 1000 \text{ В} \cdot \text{А}$$

7. Полная мощность:

$$\text{или } S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{800^2 + 600^2} = 1000 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

$$U_k = IR_k = 10 \cdot 6 = 60 \text{ В};$$

$$U_L = IX_L = 10 \cdot 10 = 100 \text{ В};$$

8. Напряжения на сопротивлениях цепи:

$$U_R = IR = 10 \cdot 2 = 20 \text{ В};$$

$$U_C = IX_C = 10 \cdot 4 = 40 \text{ В}.$$

Построение векторной диаграммы начинаем с выбора масштаба для тока и напряжения. Задаем масштаб по току: 1 см – 4А и масштаб по напряжению: в 1 см – 20В. Построение векторной диаграммы начинаем с вектора тока, который откладываем по горизонтали в масштабе:

$$\frac{10A}{4A/\text{см}} = 2,5\text{см}.$$

Вдоль вектора тока откладываем напряжения на активных сопротивлениях R_k и R :

$$\frac{60B}{20B/\text{см}} = 3\text{см} \quad \text{и} \quad \frac{20B}{20B/\text{см}} = 1\text{см}.$$

Из конца вектора \bar{U}_R откладываем в сторону определения вектора тока на 90° , вектор напряжения \bar{U}_L на индуктивности сопротивлений.

$$\text{Длина вектора: } \frac{100B}{20B/\text{см}} = 2\text{см}.$$

Геометрическая сумма векторов \bar{U}_k , \bar{U}_R , \bar{U}_L и \bar{U}_C представляют полное напряжение U , приложенное к цепи. Так как длина вектора равна 5 см, то величина напряжения составит $5 \text{ см} \cdot 20 \text{ В/см} = 100 \text{ В}$.

Пример 9: Катушка с активным сопротивлением $R = 20 \text{ Ом}$ и индуктивным $X_L = 15 \text{ Ом}$ соединена параллельно с конденсатором, емкостное сопротивление которого $X_C = 50 \text{ Ом}$.

Определить токи в ветвях и в неразветвленной части цепи; активные и реактивные мощности ветвей и всей цепи; полную мощность цепи; углы сдвига фаз между током и напряжением в каждой ветви и во всей цепи; начертить в масштабе векторную диаграмму.
К цепи приложено напряжение $U = 100 \text{ В}$.

$$M_I = \frac{1A}{1\text{см}}$$

$$M_V = \frac{25B}{1\text{см}}$$

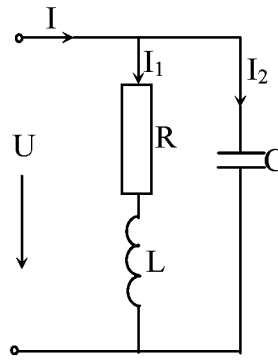


Рис. 14

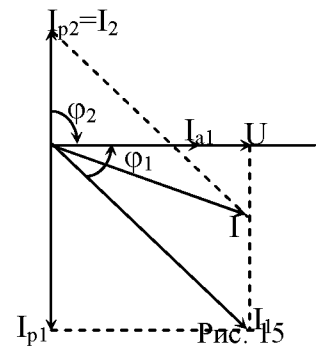


Рис. 15

Решение:

1. Определяем токи в ветвях:

$$I_1 = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{100}{\sqrt{20^2 + 15^2}} = \frac{100}{25} = 4A;$$

$$I_2 = \frac{U}{X_C} = \frac{100}{50} = 2A.$$

2. Углы сдвига фаз в ветвях будем находить по синусам во избежание потери знаков углов:

$$\sin \varphi_1 = \frac{X_{L1} - X_{C1}}{Z_1} = \frac{15 - 0}{\sqrt{20^2 + 15^2}} = 0,6, \varphi_1 = 36^\circ 50' \approx 37^\circ,$$

($\varphi_1 > 0$, т.е. напряжение опережает ток);

$$\sin \varphi_2 = \frac{X_{L2} - X_{C2}}{Z_2} = \frac{0 - 50}{50} = -1,0;$$

$$\varphi_2 = -90^\circ$$

($\varphi_2 < 0$, т.е. напряжение отстает от тока).

По таблице Брадиса находим: $\cos \varphi_1 = \cos 36^\circ 50' = 0,8$.

$$I_{a1} = I_1 \cos \varphi_1 = 4 \cdot 0,8 = 3,2A,$$

$$I_{p1} = I_1 \sin \varphi_1 = 4 \cdot 0,6 = 2,4A,$$

3. Активные и реактивные составляющие токов ветвей:

$$I_{a2} = 0,$$

$$I_{p2} = 2 \cdot 1 \cdot 0 = 2A.$$

4. Ток в неразветвленной части цепи:

$$I = \sqrt{(I_{a1} + I_{a2})^2 + (I_{p1} - I_{p2})^2} = \sqrt{(3,2 + 0)^2 + (2,4 - 2)^2} = 3,22A.$$

$$P_1 = I_1^2 R = 4^2 \cdot 20 = 320 \text{ Вт};$$

5. Активные мощности ветвей и всей цепи: $P_2 = 0$;

$$P = P_1 + P_2 = 320 \text{ Вт}.$$

$$Q_1 = I_1^2 X_L = 4^2 \cdot 15 = 240 \text{ вар}.$$

6. Реактивные мощности ветвей и всей цепи: $Q_2 = I_2^2 X_C = 2^2 \cdot 50 = 200 \text{ вар}.$

$$Q = Q_1 - Q_2 = 240 - 200 = 40 \text{ вар}.$$

Обращаем внимание на то, что реактивная мощность конденсатора имеет обратный знак по сравнению с реактивной мощностью катушки.

7. Полная мощность цепи: $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{320^2 + 40^2} = 322 \text{ В} \cdot \text{А}$

Для построения векторной диаграммы задаемся масштабами по току в $1 \text{ см} - 1A$; по напряжению в $1 \text{ см} - 25B$. Построение диаграммы начинаем с вектора напряжения \bar{U}_C . Под

углом φ_1 к нему (в сторону отставания) откладываем в принятом масштабе вектор тока \bar{I}_1 ; под углом φ_2 (в сторону опережения) – вектор тока \bar{I}_2 . Геометрическая сумма этих векторов представляет ток \bar{I} в неразветвленной части цепи. Проекции токов ветвей на вектор напряжения являются активными составляющими I_{a1} и I_{a2} ; проекции этих токов на вектор, перпендикулярный вектору напряжения, – реактивными составляющими I_{p1} и I_{p2} .

Эту же задачу можно решить методом проводимостей.

1. Определяем проводимости ветвей:

- активная проводимость первой ветви:

$$G_1 = \frac{R}{Z_1^2} = \frac{R}{R^2 + X_L^2} = \frac{20}{20^2 + 15^2} = \frac{20}{625} = 0,032 \text{ См};$$

- реактивная проводимость первой цепи:

$$B_1 = \frac{X_L}{Z_1^2} = \frac{15}{20^2 + 15^2} = \frac{15}{625} = 0,024 \text{ См};$$

- активная проводимость второй ветви равна нулю, т.к. нет активного сопротивления;

- реактивная проводимость второй ветви:

$$B_2 = \frac{X_C}{Z_2^2} = \frac{50}{50^2} = 0,02 \text{ См}.$$

2. Проводимость всей цепи:

$$y = \sqrt{(G_1 + G_2)^2 + (B_1 - B_2)^2} = \sqrt{0,032^2 + (0,024 - 0,02)^2} = 0,0322 \text{ См}.$$

3. Ток в неразветвленной части цепи:

$$I = Uy = 100 \cdot 0,0322 = 3,22 \text{ А}.$$

4. Ток в первой ветви:

$$I_1 = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{100}{\sqrt{20^2 + 15^2}} = \frac{100}{25} = 4 \text{ А};$$

ток второй ветви:

$$I_2 = \frac{U}{X_C} = \frac{100}{50} = 2 \text{ А}.$$

5. Мощности:

- активная мощность $P = U^2 G = 100^2 \cdot 0,032 = 320 \text{ Вт};$

- реактивная мощность $Q = U^2 (B_1 - B_2) = 100^2 (0,024 - 0,02) = 40 \text{ вар};$

- полная мощность $S = U^2 y = 100 \cdot 0,0322 = 322 \text{ В} \cdot \text{А}.$

Пример 10: Цепь, составленная из последовательно соединенных реостата и катушки индуктивности, подключена под напряжение, изменяющееся по закону:

$$U = 100 + 200 \sin \omega t + 30 \sin(3\omega t - \frac{\pi}{2}) + 50 \sin(5\omega t + \frac{\pi}{4})$$

Определить мгновенное значение тока в данной цепи, если известно, что частота первой гармоники $f = 50 \text{ Гц}$, сопротивление реостата $R = 10 \text{ Ом}$ и индуктивность катушки $L = 95,4 \text{ мГн}$.

Решение:

1. Нулевая гармоника тока: $I_0 = \frac{U_0}{R} = \frac{100}{10} = 10 \text{ А}.$

2. Первая гармоника тока:

$$I_{1m} = \frac{U_{1m}}{Z_1} = \frac{U_{1m}}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{200}{\sqrt{10^2 + (2 \cdot 50 \cdot 95,4 \cdot 10^{-3})^2}} = \frac{200}{33} = 6,08 \text{ А}.$$

Сдвиг фаз между током и напряжением первой гармоники:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{\omega L}{R} = \frac{2\pi \cdot 50 \cdot 95,4 \cdot 10^{-3}}{10} = 3, \text{ откуда } \varphi_1 = 71^\circ 30'.$$

Мгновенное значение тока первой гармоники: $i_1 = I_{1m} \sin(\omega t - \varphi_1) = 6,08 \sin(\omega t - 71^\circ 30').$

3. Третья гармоника тока:

$$I_{3m} = \frac{U_{3m}}{Z_3} = \frac{30}{\sqrt{R^2 + (3\omega L)^2}} = \frac{30}{\sqrt{10^2 + (3 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 95,4 \cdot 10^{-3})^2}} = \frac{30}{90,5} = 0,33.$$

Сдвиг фаз между током и напряжением третьей гармоники:

$$\operatorname{tg} \varphi_3 = \frac{3\omega L}{R} = \frac{90,5}{10} = 9,05;$$

откуда $\varphi_3 = 83^\circ 30'$.

Мгновенное значение тока третьей гармоники:

$$i_3 = I_{3m} \sin(3\omega t - \frac{\pi}{2} - \varphi_3) = 0,33 \sin(3\omega t - 173^\circ 30').$$

4. Пятая гармоника тока:

$$I_{5m} = \frac{U_{5m}}{Z_5} = \frac{50}{\sqrt{10^2 + (5 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 95,4 \cdot 10^{-3})^2}} = \frac{50}{150} = 0,33 A.$$

Сдвиг фаз между током и напряжением пятой гармоники:

$$\operatorname{tg} \varphi_5 = \frac{5\omega L}{R} = \frac{150}{10} = 15,$$

откуда $\varphi_5 = 86^\circ$.

Мгновенное значение тока пятой гармоники: $i_5 = I_{5m} \sin(5\omega t + \frac{\pi}{4} - \varphi_5) = 0,33 \sin(5\omega t - 41^\circ)$.

5. Мгновенное значение несинусоидального тока:

$$i = i_0 + i_1 + i_3 + i_5 = 10 + 6,08 \sin(\omega t - 71^\circ 30') + 0,33 \sin(3\omega t - 173^\circ 30') + 0,33 \sin(5\omega t - 41^\circ).$$

Вопросы для самоконтроля:

2. Какие значения переменных величин показывает амперметр и вольтметр?
3. От какого параметра переменного тока зависит индуктивное сопротивление катушки?
4. Какие формы записи комплексных чисел удобны при их сложении, вычитании, умножении и делении?
5. Как перейти от заданного комплексного тока к его мгновенному значению?
6. В чем суть векторных уравнений при изменении одного из его параметров?
7. Какое свойство последовательной цепи, построенной в резонанс, играет основную роль в радиотехнике?
8. В чем суть явления резонанса напряжений?
9. В чем суть явления резонанса токов?
10. Какую трехфазную систему называют симметричной?
11. В чем особенности зависимостей между напряжением и током для нелинейных элементов цепей, их мгновенными значениями и их действующими значениями?
12. В чем разница между вольтамперными характеристиками инерционных и безинерционных элементов электрических цепей?
13. В чем суть процессов в катушке с ферромагнитным сердечником с обмотками постоянного и переменного тока?
14. От чего возникают переходные процессы?
15. В чем суть законов коммутации?
16. Почему при отключении емкостной нагрузки от источника на размыкаемых контактах нет искры, а при индуктивной нагрузке есть?
17. В чем суть классического метода расчета переходных процессов в электрической цепи и их разложение на принужденную и свободную составляющие?

V. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ НА ВЫПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В контрольную работу входят десять задач на следующие темы:

Название темы	Номер задачи
Электрические цепи постоянного тока	1
Расчет сложных электрических цепей	2
Электромагнетизм	3
Магнитные цепи	4
Электрическая емкость, соединение конденсаторов	5
Нелинейные электрические цепи	6
Цепи переменного тока	7
Расчет электрических цепей переменного тока	8
Применение комплексных чисел для расчета цепей переменного тока	9
Трехфазные цепи и их расчет	10

Задача 1

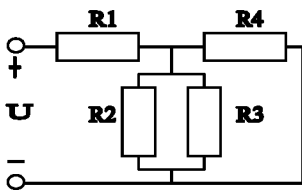


Рис.1

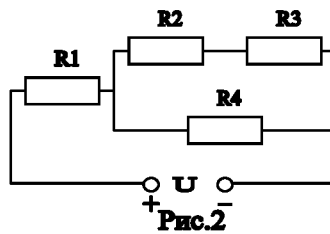


Рис.2

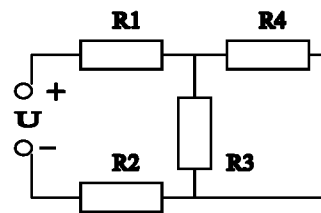


Рис.3

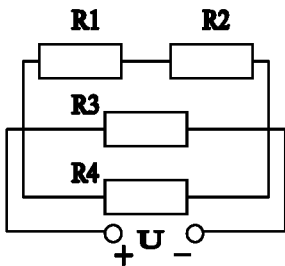


Рис.4

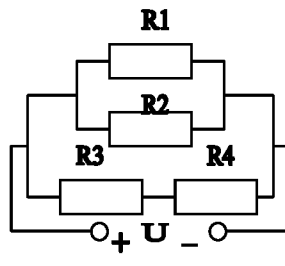


Рис.5

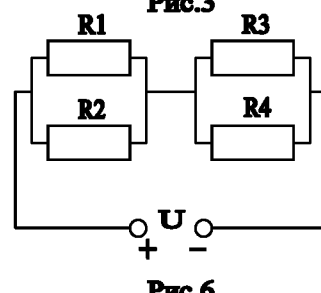


Рис.6

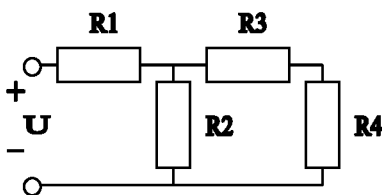


Рис.7

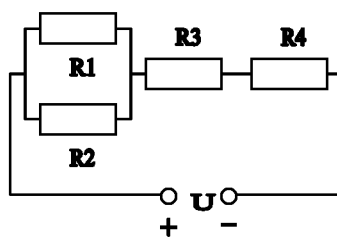


Рис.8

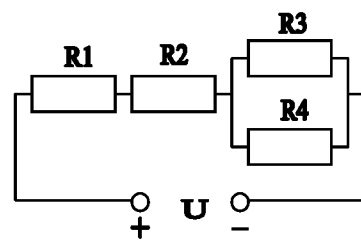


Рис.9

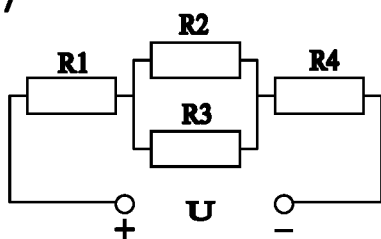


Рис.10

Цепь постоянного тока со смешанным соединением состоящая из четырех резисторов представлена на рисунках 1 - 10. В зависимости от варианта заданы: схема цепи (по номеру рисунка), величины сопротивлений резисторов R_1, R_2, R_3, R_4 , напряжение U , ток I или мощность P всей цепи.

- Определить: 1) Эквивалентное сопротивление цепи $R_{\text{ЭКВ}}$;
 2) Напряжение на каждом резисторе U_1, U_2, U_3, U_4 .

Решение задачи проверить, применив второй закон Кирхгофа.

Данные для своего варианта взять в таблице 1.
Таблица 1

№ варианта	№ рисунка	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R_4, \text{ Ом}$	U, I, P
1	1	16	5	32	8	$U=120 \text{ В}$
2	2	6	14	44	15	$I = 6 \text{ А}$
3	3	4	9	80	90	$P=200 \text{ Вт}$
4	4	12	6	30	10	$U=180 \text{ В}$
5	5	16	11	4	1	$I = 20 \text{ А}$
6	6	40	20	40	20	$P=262 \text{ Вт}$
7	7	12	7	17	5	$U=140 \text{ В}$
8	8	18	10	5	2	$I = 10 \text{ А}$
9	9	2	5	10	5	$P=500 \text{ Вт}$
10	10	8	64	80	3	$U = 110 \text{ В}$

Задача 2

На рис. 11-15 изображены схемы сложных электрических цепей. Данные для каждого варианта приведены в табл. 2. Необходимо вычислить токи во всех ветвях цепи методами, указанными в табл. 2 для каждого варианта. Проверку правильности решения произвести, пользуясь первым законом Кирхгофа: сумма токов, направленных к узлу, равна сумме токов, направленных от него.

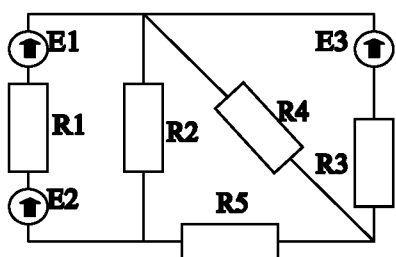


Рис.11

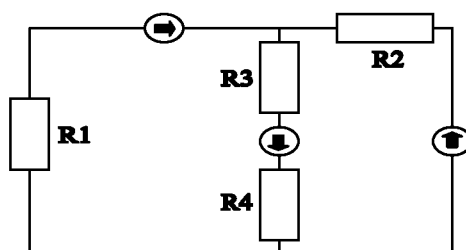


Рис.12

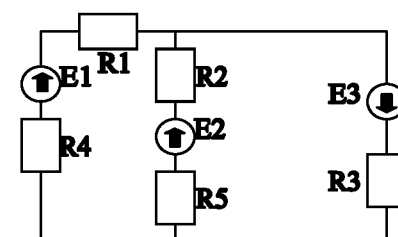


Рис.13

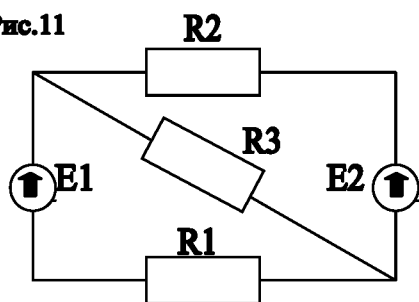


Рис.14

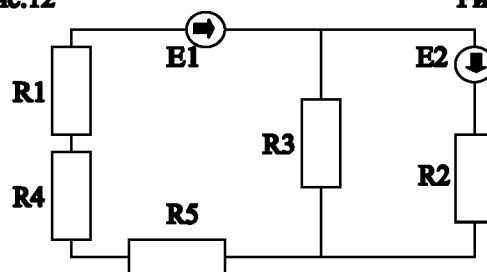


Рис.15

Таблица 2

Номер варианта	Номер рисунка	$E_1, \text{ В}$	$E_2, \text{ В}$	$E_3, \text{ В}$	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R_4, \text{ Ом}$	$R_5, \text{ Ом}$	$R_0, \text{ Ом}$ внутреннее сопротивление источника	Определить токи в ветвях следующими методами
11	11	30	70	10	16	30	40	30	20	0	Контурных токов
12	11	40	20	20	18	12	9,5	10	5	1	Наложения
13	12	40	50	80	46	10	14	24	0	1	Узлового напряжения
14	12	50	70	80	18	29	17	4	-	1	Контурных токов
15	13	70	20	50	16	134	180	83	66	0	Узлового напряжения
16	13	90	30	50	20	133	139	83	66	1	Контурных токов
17	14	60	40	0	12	13	10	-	-	1	Узлового напряжения
18	14	80	30	0	33	29	40	-	-	1	Наложения
19	15	140	50	0	15	21	20	20	50	1	Контурных токов
20	15	220	40	0	8	13	16	17	58	1	Узлового напряжения

Задача 3

На рис. 16 и 17 показаны три параллельных провода, расположенные в воздухе и закрепленные на изоляторах. Токи в проводах соответственно равны: I_A , I_B , I_C ; их направления (+ или •) указаны в виде индексов к каждому току в таблице вариантов. Расстояние между проводами равно a , (см). Длина пролета, т.е. расстояние между соседними точками крепления l . Определить, на изолятор какого провода действует наибольшая электромагнитная сила и вычислить ее. Показать на рисунке силы, приложенные к каждому изолятору. Данные для своего варианта взять в таблице 3.

Примечание: Величину силы можно определить графически, пользуясь правилом параллелограмма.

Таблица 3

Номер варианта	Номер рисунка	I_A , А	I_B , А	I_C , А	a , см	b , см	c , см	L , м
21	16	$I_{A+}=2000A$	$I_{B-}=3000A$	$I_{C-}=2000A$	50	-	-	100
22	16	$I_{A-}=4000$	$I_{B+}=2000$	$I_{C+}=4000$	80	-	-	100
23	16	$I_{A-}=5000$	$I_{B+}=5000$	$I_{C+}=8000$	120	-	-	100
24	16	$I_{A+}=300$	$I_{B-}=400$	$I_{C+}=300$	40	-	-	100
25	16	$I_{A-}=10000$	$I_{C-}=20000$	$I_{B+}=10000$	60	-	-	100
26	17	$I_{A+}=10000$	$I_{B-}=20000$	$I_{C+}=2000$	80	60	100	80
27	17	$I_{A-}=1600$	$I_{B+}=800$	$I_{C-}=1600$	100	80	60	80
28	17	$I_{A+}=12000$	$I_{B+}=4000$	$I_{C-}=12000$	60	100	80	80
29	17	$I_{A-}=10000$	$I_{B-}=10000$	$I_{C+}=20000$	160	120	200	80
30	17	$I_{A-}=3000$	$I_{B+}=6000$	$I_{C-}=3000$	200	160	120	80

+ - ток направлен на вас.

• - ток направлен от вас

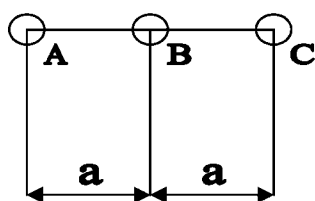


рис.16

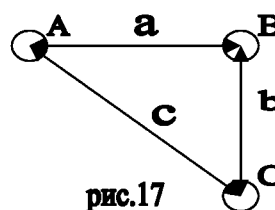


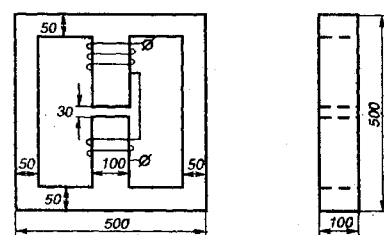
рис.17

Задача 4

Вариант 31

На средний стержень Ш-образного магнитопровода, выполненного из стали марки Э-21, надеты две согласно включенные катушки, каждая из которых имеет число витков $W=500$.

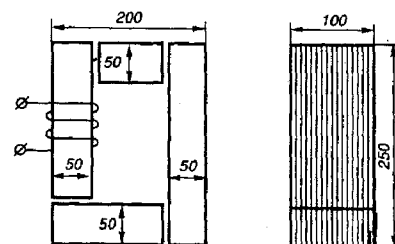
Определить ток в катушках и магнитное напряжение в воздушном зазоре, если магнитная индукция в крайних стержнях магнитопровода $B=1,6Tл$. Длина воздушного зазора $l=30mm$. размеры магнитопровода даны на рисунке.



Вариант 32

На магнитопроводе, выполненном из листовой стали марки Э-41, расположена обмотка с числом витков $W=200$. К обмотке подведено переменное напряжение частотой $f=50Гц$. 10% сечения магнитопровода занимает изоляция. Толщина стального листа $\Delta=0,5mm$.

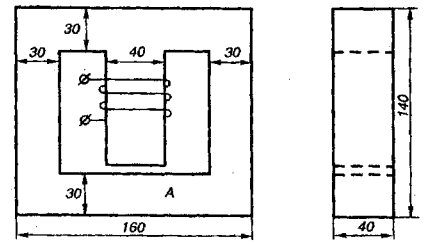
Определить приложенное напряжение и ток в обмотке, если магнитная индукция в магнитопроводе $B=1,2Tл$. Длина каждого воздушного зазора $l=0,1mm$. активным сопротивлением обмотки пренебречь. Построить векторную диаграмму для цепи со сталью.



Вариант 33

На средний стержень Ш-образного магнитопровода, выполненного из стали марки Э-21, надета обмотка числом витков $W=660$.

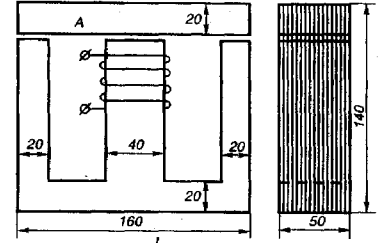
Определить ток в обмотке, необходимый для создания в воздушном зазоре напряженности магнитного поля $H=2 \cdot 10^5$ А/м. Длина воздушного зазора $\ell=5$ мм, размеры магнитопровода даны в миллиметрах. Поток рассеяния пренебречь.



Вариант 34

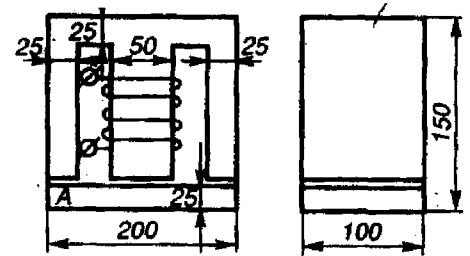
На магнитопроводе, выполненном из стали марки 3-41, расположена обмотка, подключенная к напряжению $U=220$ В частотой $f=50$ Гц.

Определить число ампер-витков обмотки, если магнитная индукция в магнитопроводе $B=1,4$ Тл, 10% магнитопровода занимает изоляция. Толщина стального листа 0,35 мм. длина каждого воздушного зазора $\ell=0,1$ мм. Активным сопротивлением обмотки пренебречь. Построить векторную диаграмму для цепи со сталью.



Вариант 35

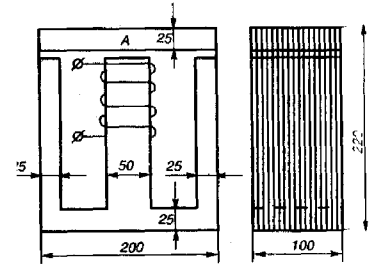
На средний стержень Ш-образного магнитопровода, выполненного из стали марки Э-42, надета обмотка с числом витков $W=158$. Определить ток в обмотке, необходимый, чтобы создать в якоре А магнитопровода, из стали Э-21, магнитную индукцию $B=1,4$ Тл. Длина воздушного зазора $\ell=0,05$ мм. Размеры магнитопровода даны в миллиметрах. Поток рассеяния пренебречь.



Вариант 36

На магнитопроводе, выполненном из стали марки Э-11, расположена обмотка с числом витков $W=250$.

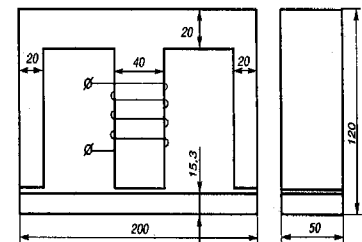
Определить приложенное напряжение и ток в обмотке, необходимые, чтобы создать в магнитопроводе магнитную индукцию $B=1,4$ Тл, если частота $f=50$ Гц, длина каждого воздушного зазора $\ell=0,2$ мм. Активным сопротивлением обмотки пренебречь. Построить векторную диаграмму для цепи со сталью.



Вариант 37

На средний стержень Ш-образного магнитопровода, выполненного из стали марки Э-21, надета обмотка с числом витков $W=462$.

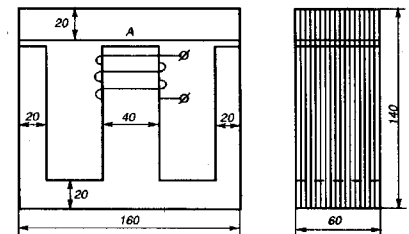
Определить ток в обмотке, необходимый для создания в якоре А, выполненном из листовой стали, магнитной индукции $B=1,3$ Тл. Длина воздушного зазора $\ell=0,1$ мм. Размеры магнитопровода даны в мм. Поток рассеяния пренебречь.



Вариант 38

На магнитопроводе расположена обмотка с числом витков $W=320$. Магнитопровод выполнен из стали Э-12, 10% его объема заполнено изоляцией, длина каждого воздушного зазора $\ell=0,2$ мм.

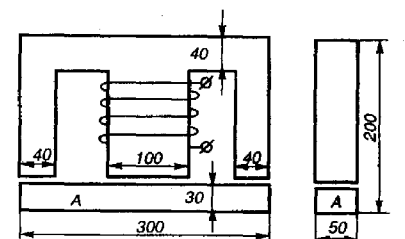
Определить приложенное напряжение и ток в обмотке, необходимые, чтобы создать в магнитопроводе максимальную магнитную индукцию $B=1,5$ Тл. Активным сопротивлением обмотки пренебречь. Построить векторную диаграмму для цепи со сталью.



Вариант 39

На средний стержень Ш-образного магнитопровода, выполненного из стали марки Э-42 надета обмотка с числом витков $W=400$.

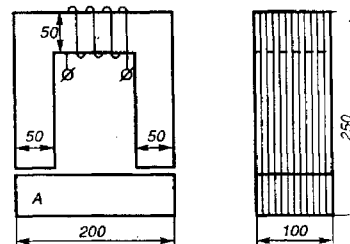
Определить ток в обмотке, необходимый, чтобы создать в якоре А магнитную индукцию $B=1,5$ Тл. Якорь А выполнен из литой стали. Длина зазора $\ell=0,2$ мм. Размеры магнитопровода даны в миллиметрах. Поток рассеяния пренебречь.



Вариант 40

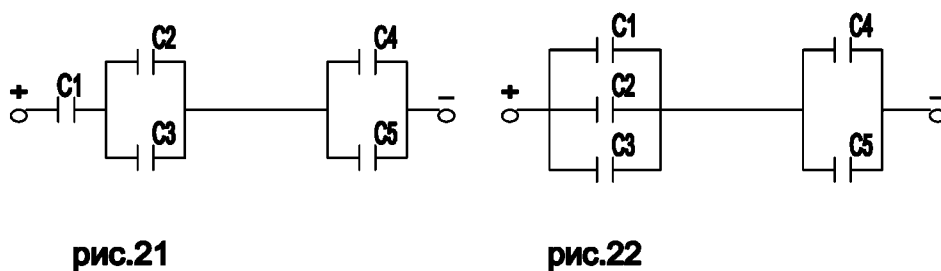
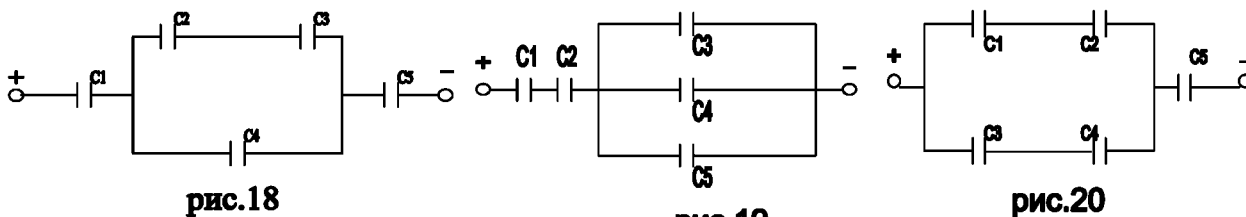
На магнитопроводе, выполненном из листовой стали марки Э-11, расположена обмотка с числом витков $W=340$. К обмотке подведено напряжение частотой $f=50$ Гц. 10% сечения магнитопровода занимает изоляция. Толщина стального листа 0,5 мм.

Определить приложенное напряжение и ток в обмотке, если максимальная магнитная индукция магнитопровода $B=1,2$ Гн/л для каждого воздушного зазора 4мм. Активным сопротивлением обмотки пренебречь. Построить векторную диаграмму для цепи со сталью.



Задача 5

На рис. 18-22 изображено смешанное соединение конденсаторов. Определить эквивалентную емкость соединения конденсаторов, напряжения на каждом конденсаторе, заряд каждого конденсатора и энергию, запасенную в электрическом поле всей системы конденсаторов. Данные для каждого варианта можно взять из таблицы 4.



Номер варианта	Номер рисунка	C_1 , мкФ	C_2 , мкФ	C_3 , мкФ	C_4 , мкФ	C_5 , мкФ	U, В	Q, Кл
41	18	6	4	10	3,4	8	100	?
42	18	8	6	16	4,8	12	?	$3 \cdot 10^{-4}$
43	19	12	6	1,2	2,4	1,2	100	?
44	19	12	8	1,2	2,4	1,2	?	$4,8 \cdot 10^{-4}$
45	20	5	6	8	12	6	200	?
46	20	6	12	3	8	3	?	$2 \cdot 10^{-4}$
47	21	14	12	5	7	4	200	?
48	21	24	22	10	8	8	?	$4,8 \cdot 10^{-4}$
49	22	1	4	3	1	1,2	100	?
50	22	2	6	4	1,6	2,4	?	$3 \cdot 10^{-4}$

Задача 6

Вариант 51

Двухэлектродная лампа с вольтамперной характеристикой, заданной таблицей, и линейное сопротивление $R=0,8$ к^{УМ} присоединены последовательно к источнику питания с напряжением 200В. Определить токи в цепи.

U(В)	20	40	70	120	160	250
I(мА)	5	9	28	56	84	112

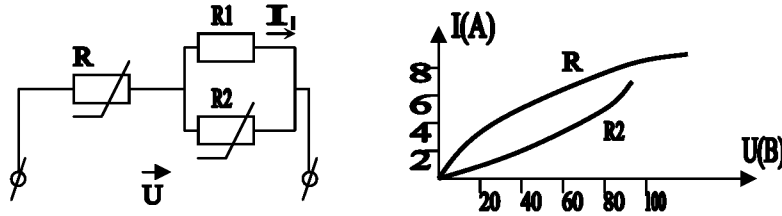
Вариант 52

Последовательно с резистором $R=30$ Ом включен нелинейный элемент, напряжение на зажимах которого равно 30 В. Определить графически напряжение источника, если вольтамперная характеристика нелинейного элемента задана таблицей.

I(A)	0	1	2	2.4	2.7	3.15	3.2	3.25
U(B)	0	20	40	60	80	100	130	170

Вариант 53

Вольтамперные характеристики нелинейных элементов R_2 и R приведены на рисунке. Определить напряжение U , если $I_1=4$ А, $R_1=10$ Ом.



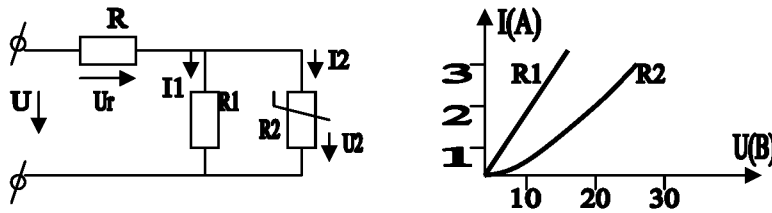
Вариант 54

В сеть параллельно включены резистор и транзистор. Ток через резистор равен 150 мА. Общий ток цепи $I=256$ мА. Определить сопротивление резистора, если вольтамперная характеристика транзистора задана таблицей.

U(B)	0	20	40	60	80	100
I(mA)	0	40	80	102	115	124

Вариант 55

Линейный элемент R_1 и нелинейный R_2 имеют вольтамперные характеристики, изображенные на рисунке. Определить токи I_1 и I_2 , напряжения U и U_R , если $U_2=15$ В, $R=100$ Ом.



Вариант 56

Лампа накаливания, вольтамперная характеристика которой задана таблицей, включена последовательно с реостатом и питается от источника с напряжением 120В. Определить ток в цепи и напряжение на лампе при сопротивлении реостата 40 Ом.

U(B)	0	20	40	60	80	100	120
I(A)	0	0.2	0.4	0.8	1.2	1,8	2.1

Вариант 57

В цепь постоянного тока с $U=220$ В последовательно с резистором включена лампа, характеристика которой задана таблицей. Напряжение на зажимах лампы 80В. Определить параметр резистора.

I(mA)	0	40	50	60	70	80	90	100	110
U(B)	0	5	8	13	20	28	40	60	110

Вариант 58

К сети постоянного тока подключены параллельно нелинейный элемент и резистор. Ток в неразветвленной части цепи 5мА, ток в ветви с нелинейным элементом 3мА. Начертить заданную цепь, определить величину сопротивления резистора. Характеристика нелинейного элемента задана таблицей.

U(B)	0	10	20	30	40	50	60
I(mA)	0	0.7	1.4	2.7	4.4	7	11

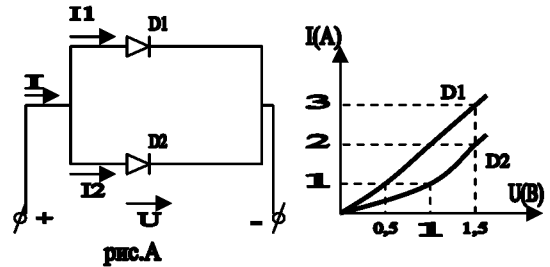
Вариант 59

Параллельно резистору $R=8\text{k}\Omega$ подключен нелинейный элемент, вольтамперная характеристика которого задана таблицей. Ток нелинейного элемента равен 8mA . Начертить заданную цепь, определить графически ток в цепи до точки разветвления.

U(B)	0	2	4	8	12	14	16
I(mA)	0	0.25	0.5	1.5	4.2	6.0	10.5

Вариант 60

Диоды D1 и D2 имеют вольтамперные характеристики, изображенные на рисунке «б». Какое сопротивление следует включить последовательно с одним из диодов, чтобы при общем токе $I=4\text{A}$ в обоих диодах были одинаковые токи: $I_1=I_2=2\text{A}$. Масштаб: $M_I=I_{\text{см}}^A$, $M_U=2 U_{\text{см}}^B$.



Задача 7

В сеть напряжением U и частотой f включен приемник с активным сопротивлением R или индуктивным сопротивлением X_L или емкостным сопротивлением X_C . Найти амплитуду и действующее значение тока приемника. Подсчитать значение активной или реактивной мощности. Записать выражения для мгновенных значений тока и напряжения, приняв начальную фазу напряжения равной φ° .

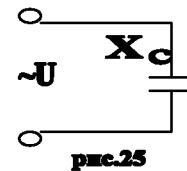
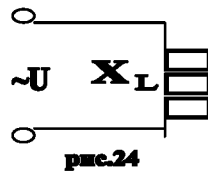
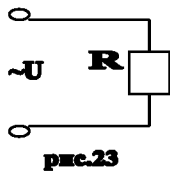


Таблица 5

Номер варианта	Номер рисунка	Um, В	F, Гц	R, Ом	X _L , Ом	X _C , Ом	φ°
61	23	220	50	60	-	-	+30°
62	24	100	100	-	60	-	+45°
63	25	220	150	-	-	60	+90°
64	23	120	50	50	-	-	-30°
65	24	220	100	-	70	-	-45°
66	25	120	150	-	-	90	-90°
67	23	220	50	110	-	-	+60°
68	24	100	100	-	80	-	-60°
69	25	150	150	-	-	50	0°
70	23	50	50	60	-	-	-45°

Задача 8

В сеть с напряжением U и частотой f включена цепь, состоящая из смешанного соединения элементов. Определить показания приборов, величину полной и реактивной мощностей. Построить векторную диаграмму, треугольники сопротивлений и мощностей. Данные для своего варианта взять в таблице 6. Перечертить схему согласно данным для своего варианта.

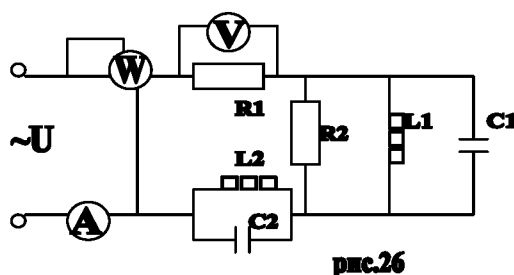


Таблица 6

Номер варианта	U, В	f, Гц	R1, Ом	R2, Ом	L1, мГн	L2, мГн	C1, мкФ	C2, мкФ
71	100	100	12	-	66	80	-	-
72	150	50	20	-	-	-	160	280
73	200	100	24	48	-	100	-	-
74	50	50	36	24	-	-	-	200
75	100	100	12	-	-	40	200	-
76	150	50	16	-	80	-	-	300
77	200	100	20	40	40	-	-	200
78	50	50	40	-	60	60	300	-
79	100	100	20	12	-	-	240	200
80	200	50	36	-	40	80	-	200

Задача 9

В сеть с напряжением $U=U_m \sin(314t+\varphi^\circ)$ – включена цепь, состоящая из смешанного соединения элементов. Определить символическим методом токи во всех ветвях, ток идущий от источника, мощности: полную, активную и реактивную всей цепи. Данные для своего варианта взять из таблицы 7. Начертить схему согласно своему варианту.

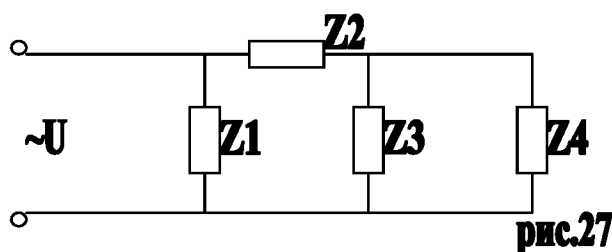


Таблица 7

Номер варианта	U_m , В	φ°	Z_1 , Ом	Z_2 , Ом	Z_3 , Ом	Z_4 , Ом
81	60	0	$20+j10$	$j40$	$10+j10$	30
82	90	+30	40	$-j40$	$10-j10$	50
83	110	+60	$20-j10$	40	$20+j20$	70
84	130	+90	$40+j20$	$20-j20$	$20-j20$	90
85	210	-90	$40-j20$	$20+j20$	$20+j40$	110
86	130	-60	$j10$	$40-j40$	$20-j40$	90
87	140	-30	$-j10$	$40+j40$	$j60$	60
88	90	0	60	$60+j60$	$-j40$	30
89	70	+45	$20-j20$	$60-j60$	$j20$	20
90	50	-45	$20+j20$	40	$-j100$	90

Задача 10

Три потребителя включены согласно схеме рис.28 или рис.29. Данные сопротивлений потребителей даны в таблице 8. Определить линейные, фазные токи, согласно своему варианту, начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. Из диаграммы для схемы рис.28 графически найти величину тока в нулевом проводе. Из диаграммы для схемы рис. 29 графически определить линейные токи.

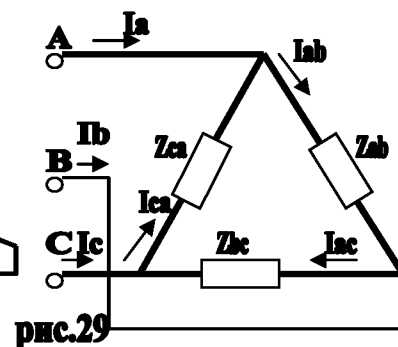
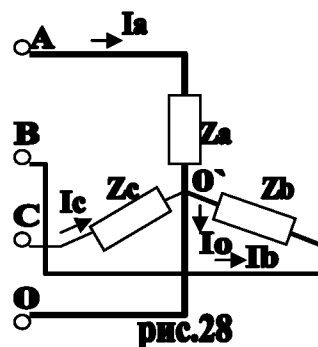


Таблица 8

Номер варианта	Номер рисунка	Ua, В	Za, Ом	Zb, Ом	Zc, Ом	Zab, Ом	Zbc, Ом	Zca, Ом	Определ.
91	28	220	20	20+j20	20-j20	-	-	-	Ia,Ib,Ic,Io
92	29	220	-	-	-	20	20+j20	20-j20	Ia,Ib,Ic
93	28	380	j20	40	40-j40	-	-	-	Ia,Ib,Ic,Io
94	29	380	-	-	-	-j20	10-j20	40	Ia,Ib,Ic
95	28	220	-j20	10-j20	40	-	-	-	Ia,Ib,Ic,Io
96	29	220	-	-	-	20-j20	20+j20	J20	Ia,Ib,Ic
97	28	380	20-j20	20+j20	J20	-	-	-	Ia,Ib,Ic,Io
98	29	380	-	-	-	20-j20	20-j20	-j20	Ia,Ib,Ic
99	28	220	20+j20	20-j20	-j20	-	-	-	Ia,Ib,Ic,Io
100	29	380	-	-	-	j20	20	20-j20	Ia,Ib,Ic

Некоторые сведения из элементарной математики

Пропорция $a/b=c/d$

1) $ad=bc$; 2) $a=bc/d$; 3) $b=ad/c$; 4) $c=ad/b$; 5) $d=bc/a$.

Действия со степенями:

$$1) (ab)^n = a^n b^n;$$

$$2) (a/b)^n = a^n / b^n;$$

$$3) a^m a^n = a^{m+n}, \text{ например, } 10^3 * 10^2 = 10^{3+2} = 10^5;$$

$$4) \frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}, \text{ например, } \frac{10^5}{10^2} = 10^{5-2} = 10^3;$$

$$5) (a^m)^n = a^{mn}, \text{ например, } (10^3)^2 = 10^{3*2} = 10^6;$$

$$6) \frac{1}{a^m} = a^{-m}, \text{ например, } \frac{1}{10^3} = 10^{-3}; \frac{1}{10^{-3}} = 10^3.$$

Действия с корнями:

$$1) \sqrt[m]{ab} = \sqrt[m]{a} \sqrt[m]{b};$$

$$2) \sqrt[m]{a/b} = \sqrt[m]{a} / \sqrt[m]{b}$$

$$3) \sqrt[m]{a^n} = a^{n/m}, \text{ например, } \sqrt[3]{10^6} = 10^{6/3} = 10^2.$$

Вычисления с приведением чисел к стандартному виду:

$$1) 305 = 3,05 * 10^2; 0,0305 = 3,05 * 10^{-2};$$

$$2) \frac{ba^m ca^n}{da^k} = \frac{bc}{d} a^{m+n-k}, \text{ например, } \frac{0,8 * 600}{0,012} = \frac{8 * 10^{-1} * 6 * 10^2}{1,2 * 10^{-2}} = \frac{8 * 6}{1,2} * 10^{-1+2+2} = 40 * 10^3.$$

1,2

Запись комплексного числа:

$$a+jb = A(\cos\alpha + j \sin\alpha) = A e^{j\alpha},$$

где a - вещественная часть комплекса;

jb - мнимая часть комплекса;

$A = \sqrt{a^2 + b^2}$ - модуль комплекса;

α - аргумент комплекса

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{b}{a}$$

Действия над комплексными числами

$$(a+jb) \pm (c+jd) = (a \pm c) + j(b \pm d);$$

$$(a+jb)(c-jd) = (ac-bd) + j(bc+ad);$$

$$(a+jb)(a-jb) = a^2 + b^2$$

Таблица 9

$$a+jb = (a+jb)(c-jd) = ac+bd + j bc-ad$$

$$c+jd \quad (c+jd)(c-jd) \quad c^2+d^2 \quad c^2+d^2$$

Сопряженные комплексные числа A и A^* отличаются лишь знаком перед мнимой частью:

$$A=a+jb = A(\cos\alpha+j\sin\alpha) = Ae^{j\alpha}$$

$$A=a-jb = A(\cos\alpha-j\sin\alpha) = Ae^{-j\alpha}$$

Плоский угол: 1 рад $\approx 57,3^\circ$

Формулы приведения тригонометрических функций:

- 1) $\sin\alpha = \cos(90^\circ - \alpha)$;
- 2) $\sin(180^\circ - \alpha) = \sin\alpha$;
- 3) $\cos(180^\circ - \alpha) = -\cos\alpha$.

Таблица выбора вариантов задания для контрольной 1 и 2

Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	8,13,29,39,48, 53,65,72,88, 94	10,11,21,37, 49,51,63,74, 90,100	6,15,27,31,42, 59,67,80,81, 99	2,19,22,34,45, 57,67,73,87, 99	4,19,25,33,43, 57,69,78,83, 97	9,12,30,38,50, 52,64,73,89, 95	7,14,28,40,41, 60,66,71,87, 93	5,20,26,32,44, 58,68,79,82, 98	3,16,25,36,50, 58,63,77,84, 95	10,20,30,40, 50,60,70,80, 90,100
1	9,18,27,36,45, 54,63,72,81, 92	2,12,22,32,42, 52,62,72,82, 92	1,12,23,34,45, 56,67,78,89, 90	3,12,21,32,43, 54,65,76,87, 98	8,19,30,39,48, 57,66,75,84, 93	5,16,27,38,49, 60,69,78,87, 96	2,13,24,35,46, 57,68,79,90, 99	3,17,26,35,49, 58,67,80,88, 96	5,19,28,37,41, 60,69,76,89, 98	9,13,22,31,45, 54,62,72,90, 92
2	6,12,25,35,45, 60,69,75,89, 97	1,16,22,36,47, 54,62,75,86, 94	6,14,26,35,46, 56,67,76,86, 94	7,11,24,34,43, 51,70,74,90, 98	3,20,23,35,44, 56,67,74,86, 100	8,11,27,37,46, 53,68,73,81, 100	2,17,23,35,46, 55,61,76,85, 95	5,12,29,37,48, 54,70,76,84, 96	9,19,29,39,49, 59,69,79,89, 99	3,18,24,34,45, 56,70,77,84, 96
3	7,16,25,34,43, 52,61,72,83, 94	4,13,22,31,42, 53,64,75,86, 97	3,13,23,33,43, 53,63,73,83, 93	10,19,28,37, 46,55,64,73, 82,91	7,18,29,40,49, 58,67,76,85, 94	4,15,26,37,48, 59,70,79,88, 97	1,15,24,33,47, 56,65,78,84, 94	6,20,29,38,42, 51,70,75,83, 99	7,11,30,39,43, 52,64,74,82, 100	10,14,21,32, 46,55,61,71, 83,93
4	9,11,22,34,49, 52,68,79,81, 97	2,16,29,38,48, 56,65,77,85, 93	10,20,23,31, 44,54,61,71, 81,91	8,20,23,33,48, 60,67,80,89, 98	3,15,28,39,49, 57,66,78,86, 94	10,12,21,35, 50,51,69,78, 90,96	4,14,27,40,50, 58,67,79,87, 95	8,18,28,38,48, 58,68,78,88, 98	5,13,26,36,46, 59,68,80,88, 96	9,19,22,32,41, 53,62,72,82, 100
5	1,17,25,32,48, 55,65,80,86, 92	7,13,23,38,44, 51,64,72,82, 98	5,11,29,36,42, 59,69,74,90, 96	4,14,24,34,44, 54,64,74,84, 94	1,14,27,34,48, 59,65,75,86, 98	7,20,28,38,44, 54,69,74,87, 91	4,17,24,31,41, 57,62,78,83, 94	6,12,30,37,43, 60,70,73,81, 97	8,14,22,39,45, 52,63,71,83, 99	2,18,26,33,49, 56,66,77,87, 93
6	8,15,26,40,41, 51,63,79,81, 93	1,13,25,36,46, 53,62,77,82, 95	5,17,29,40,42, 57,66,73,86, 91	3,15,27,38,44, 55,64,75,84, 93	6,18,30,31,41, 58,61,72,87, 100	1,17,30,37,47, 55,64,76,84, 92	7,17,27,37,47, 57,67,77,87, 97	2,14,26,37,45, 54,63,76,83, 94	4,16,28,39,43, 56,65,74,85, 92	10,17,24,32, 43,59,61,77, 89,91
7	9,15,21,40,46, 53,62,79,84, 100	3,19,27,34,50, 57,67,76,88, 94	3,16,25,34,50, 58,63,77,84, 95	6,19,21,39,43, 55,70,80,81, 92	5,15,25,35,45, 55,65,75,85, 95	8,11,29,37,45, 53,68,73,88, 100	5,18,23,40,42, 56,61,79,82, 93	2,15,26,33,49, 60,64,76,85, 97	4,20,28,35,41, 58,68,75,89, 95	10,16,22,31, 47,54,61,78, 85,91
8	1,11,21,31,41, 51,61,71,81, 91	5,14,23,32,41, 56,67,78,89, 91	8,17,26,35,44, 53,62,71,82, 93	6,15,24,33,42, 51,62,73,84, 95	9,20,29,38,47, 56,65,74,83, 92	6,17,28,39,50, 59,68,77,86, 95	3,14,25,36,47, 58,69,80,89, 98	2,16,25,34,48, 57,66,79,85, 95	4,18,27,36,50, 59,68,77,86, 97	8,12,23,40,44, 53,63,73, 87,91
9	1,18,23,33,44, 58,66,72,88, 98	5,12,29,37,48, 54,70,76,84, 96	10,13,22,35, 47,51,66,71, 90,96	3,20,21,35,46, 56,68,74,86, 100	7,14,27,39,50, 52,64,78,82, 94	6,16,26,36,46, 56,66,76,86, 96	9,12,30,36,46, 52,67,72,89, 99	6,13,28,38,49, 53,65,77,83, 95	4,11,30,36,47, 55,69,75,85, 97	2,19,22,34,45, 57,67,73,87, 99