



**Пример оформления учебно-методического пособия
для учащихся безотрывной формы обучения**

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

**УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ**

МИНСК 2006

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«МИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВЫСШИЙ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»

УДК 621.3(075)
ББК 31.21я7
Э45

ПОДЛЕЖИТ ВОЗВРАТУ

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ В.И. Федосенко
« 3 » января 2006 г.

Рекомендовано к изданию кафедрой общетехнических дисциплин и Научно-методическим советом Учреждения образования «Минский государственный высший радиотехнический колледж»

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Учебная программа, методические указания
и контрольные задания
для учащихся безотрывной формы обучения специальностей
2-39 02 02 «Проектирование и производство радиоэлектронных
средств», 2-39 02 31 «Техническая эксплуатация радиоэлектронных
средств», 2-40 02 02 «Электронные вычислительные средства»

С о с т а в и т е л ь

Л. Н. Гилицкая, старший преподаватель кафедры
общетехнических дисциплин МГВРК

Р е ц е н з е н т

В. И. Демидовец, старший преподаватель кафедры
общетехнических дисциплин МГВРК

Э45 **Электротехника:** учеб. программа, метод. указания и
контрол. задания для учащихся безотрывной формы
обучения специальностей 2-39 02 02 «Проектирование и
производство радиоэлектронных средств», 2-39 02 31
«Техническая эксплуатация радиоэлектронных средств», 2-
40 02 02 «Электронные вычислительные средства» / сост.
Л. Н. Гилицкая. – Мн. : МГВРК, 2006. – 64 с.
ISBN 985-6754-16-X

Приведены учебная программа предмета, методические
указания по выполнению контрольной работы в 100 вариантах и
решение типовых задач, рекомендуемая литература.

Предназначены для учащихся и преподавателей колледжа.

УДК 621.3(075)
ББК 31.21я7

МИНСК 2006

ISBN 985-6754-16-X

© Гилицкая Л. Н., составление, 2006
© Оформление. Учреждение образо-
вания «Минский государственный
высший радиотехнический кол-
ледж», 2006

Предисловие

Предмет «Электротехника» служит базой для изучения специальных дисциплин электро- и радиотехнического профиля и сам базируется на знании общеобразовательных и технических предметов: математики, физики, практического использования программного обеспечения ПЭВМ.

В результате изучения предмета у учащихся должны быть сформированы знания, умения и практические навыки в соответствии с квалификационной характеристикой.

Учащиеся должны:

знать:

- физические законы, на которых основана электротехника, вытекающие из этих законов следствия, правила, методы расчетов;
- наиболее употребительные термины и определения теоретической электротехники;
- условные графические обозначения элементов электрических цепей, применяемые в электрических расчетных схемах (схемах замещения);
- единицы измерения и буквенные обозначения электрических и магнитных величин;

уметь:

- читать и составлять электрические и расчетные схемы несложных электрических цепей;
- выполнять по заданным условиям расчеты несложных электрических цепей постоянного и переменного тока;
- собирать несложные электрические цепи по заданным принципиальным и монтажным схемам;
- находить неисправности в несложных электрических цепях;
- выбирать аппаратуру и контрольно-измерительные приборы.

Учащиеся должны приобрести навыки самостоятельной работы с технической и справочной литературой.

Проверка знаний, умений и навыков производится выполнением контрольной и курсовой работ, сдачей экзамена.

1. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

1.1. Примерный тематический план

Т а б л и ц а 1

Наименование раздела, темы	Количество часов					
	по дневной форме обучения			по безотрывной форме обучения		
	Всего	Лекции	ЛР	Всего	Лекции	ЛР
1	2	3	4	5	6	7
Введение	1	1	-	1	1	-
1. Электрические цепи постоянного тока	35	15	20	15	9	6
1.1. Физические процессы в электрических цепях	7	3	4	4	2	2
1.2. Расчет простых электрических цепей постоянного тока	12	4	8	4	2	2
1.3. Методы расчета сложных электрических цепей	12	6	6	5	3	2
1.4. Нелинейные электрические цепи постоянного тока	4	2	2	2	2	-
2. Электрическое и магнитное поле	СП	-	-	СП	-	-
2.1. Электростатическое поле в пустоте, в диэлектрике. Электростатические цепи	СП	-	-	СП	-	-
2.2. Магнитное поле. Магнитные цепи. Электромагнитная индукция	СП	-	-	СП	-	-
3. Электрические цепи переменного тока	70	50	20	24	16	8
3.1. Начальные сведения о переменном токе	4	4	-	2	2	-
3.2. Элементы и параметры цепей переменного тока	6	6	-	2	2	-
3.3. Расчет электрических цепей переменного тока с помощью векторных диаграмм	8	4	4	4	2	2
3.4. Резонансные явления в электрических цепях	8	4	4	4	2	2

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
3.5. Расчет электрических цепей синусоидального тока с применением комплексных чисел	8	6	2	2	2	-
3.6. Четырехполюсники	2	2	-	СП	-	-
3.7. Трехфазные цепи переменного тока	8	4	4	4	2	2
3.8. Электрические цепи с не-синусоидальными периодическими напряжениями и токами	8	6	2	2	2	-
3.9. Нелинейные электрические цепи переменного тока	6	4	2	СП	-	-
3.10. Переходные процессы в электрических цепях	6	4	2	4	2	2
3.11. Электрические цепи с распределенными параметрами	СП	-	-	СП	-	-
3.12. Источники питания	6	6	-	СП	-	-
Всего	106	66	40	40	26	14
Курсовая работа	-			16		
Примечания: 1. ЛР – лабораторная работа 2. СП – самостоятельная проработка						

1.2. Содержание предмета

Введение

Краткая характеристика предмета и его значение, связь с другими предметами учебного плана.

Электрическая энергия, ее свойства и применение. Понятие о производстве и распределении электрической энергии. Значение опережающего развития электроэнергетики. Электрификация промышленности и сельского хозяйства Республики Беларусь, ее значение.

РАЗДЕЛ 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Тема 1.1. Физические процессы в электрических цепях

Начальные сведения об электрическом поле и его основные характеристики: напряженность, потенциал, напряжение. Электрическое поле как вид материи.

Стационарное электрическое поле в проводнике при постоянном электрическом токе, сравнение его с электростатическим полем.

Электрический ток проводимости (физические явления), его величина и направление, плотность электрического тока. Понятие об электронной теории строения металлов.

Удельная электрическая проводимость и удельное сопротивление – характеристики проводниковых материалов. Электрическое сопротивление проводников, зависимость сопротивления от материала, размеров, температуры, явление сверхпроводимости.

Закон Ома для участка цепи. Резисторы и их вольт-амперные характеристики.

Электрическая цепь и ее основные элементы. Получение электрической энергии из других видов энергии. Электродвижущая сила (ЭДС). Краткие сведения об источниках электрической энергии. Мощность и коэффициент полезного действия (КПД) источника электрической энергии.

Преобразование электрической энергии в другие виды. Понятие о противо-ЭДС. Мощность и КПД приемника электрической энергии.

Краткие сведения об элементах управления, контроля и защиты в электрических цепях.

Закон Ома для замкнутой электрической цепи. Баланс мощностей в электрической цепи. Понятие о режимах электрической цепи и ее элементов: режимы номинальный и рабочий, режимы холостого хода и короткого замыкания.

Схемы электрических цепей: принципиальная, монтажная (схема соединений), расчетная схема (схема замещения). Схемы замещения источников ЭДС и тока, приемников электрической энергии. Идеальные источники ЭДС и тока. Понятие о пассивных и активных элементах электрических цепей.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое напряженность электрического поля, потенциал, напряжение?
2. Что называется электрическим током проводимости?
3. Как зависит сопротивление проводника от материала и размеров, от температуры?
4. Сформулируйте закон Ома для участка цепи.
5. Что такое вольт-амперная характеристика элемента цепи?

6. Какой элемент цепи называется линейным, нелинейным?
 7. Что такое ЭДС источника?
 8. Как вычисляется мощность источника, приемника?
 9. Сформулируйте закон Ома для замкнутой цепи.
 10. Как читается баланс мощностей?
 11. Какой режим цепи называется номинальным, рабочим, режимами холостого хода, короткого замыкания?
- Литература* [6, с. 10–21, 23–30, 44–65], [9, с. 6–44]

Тема 1.2. Расчет простых электрических цепей постоянного тока

Задачи расчета электрических цепей. Элементы схем электрических цепей: ветвь, узел, контур.

Первый закон Кирхгофа для разветвленных цепей, узловые уравнения. Второй закон Кирхгофа, контурные уравнения.

Неразветвленная электрическая цепь: последовательное соединение пассивных элементов, эквивалентное сопротивление неразветвленной электрической цепи (участка цепи); понятие о потере напряжения в проводах; делитель напряжения; последовательное соединение источников ЭДС; потенциальная диаграмма неразветвленной цепи.

Разветвленная электрическая цепь с двумя узлами: параллельное соединение пассивных элементов, проводимость ветвей, подключенных к одной паре узлов, эквивалентная проводимость группы ветвей. Сочетание последовательного и параллельного соединений пассивных элементов.

Расчет цепей методом «свертывания»: прямая и обратная задачи.

Понятие о треугольнике и звезде из пассивных элементов (сопротивлений), преобразования треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду и трехлучевой звезды в эквивалентный треугольник.

Вопросы для самоконтроля

1. Что входит в задачи расчета электрических цепей?
2. Что такое ветвь, узел, контур?
3. Сформулируйте первый закон Кирхгофа.
4. Сформулируйте второй закон Кирхгофа.
5. Как определяются знаки ЭДС и знаки падений напряжений во втором законе Кирхгофа?

6. Какое соединение сопротивлений называется последовательным?
 7. Чему равно эквивалентное сопротивление цепи с последовательным включением сопротивлений?
 8. Как распределяется общее напряжение между отдельными сопротивлениями в этой схеме?
 9. Какое соединение сопротивлений называют параллельным?
 10. Как определить для параллельного соединения эквивалентное сопротивление и эквивалентную проводимость?
 11. Как распределяется общий ток между параллельно включенными сопротивлениями?
 12. Почему схема параллельного включения приемников является основной?
 13. Какое соединение сопротивлений называется смешанным?
 14. Как определить для смешанного соединения эквивалентное сопротивление?
 15. Как определить напряжения и токи отдельных сопротивлений при смешанном включении?
 16. Какое соединение представляют треугольник и звезда сопротивлений?
 17. Как осуществить замену треугольника эквивалентной звездой и обратную замену?
- Литература* [6, с. 66–78, 82–87], [9, с. 44–73]

Тема 1.3. Методы расчета сложных электрических цепей

Метод наложения.

Метод узловых потенциалов. Метод узлового напряжения как частный случай метода узловых потенциалов. Распределение нагрузки между генераторами при их параллельной работе на общую нагрузку.

Метод узловых и контурных уравнений: обоснование метода; узловые уравнения, контурные уравнения, необходимое число независимых уравнений для решения конкретной задачи.

Метод контурных токов: порядок расчета, анализ метода расчета.

Метод эквивалентного генератора: замена части сложной цепи с источниками энергии активным двухполюсником, понятие о пассивном двухполюснике. Эквивалентный генератор. Оп-

ределение его ЭДС и внутреннего сопротивления. Определение тока и мощности исследуемой ветви электрической цепи.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается расчет электрических цепей методом наложения?
2. В чем заключается сущность метода узлового напряжения?
3. Напишите формулу расчета напряжения между узлами методом узлового напряжения.
4. Напишите формулу расчета токов ветвей методом узлового напряжения.
5. В чем сущность расчета электрических цепей непосредственно по законам Кирхгофа?
6. Сколько составляется уравнений по первому и второму законам Кирхгофа?
7. В чем достоинство и недостаток метода расчета электрических цепей по законам Кирхгофа?
8. Как рассчитывается электрическая цепь методом контурных токов? В чем преимущество этого метода по сравнению с расчетом по законам Кирхгофа?
9. Когда применяется метод эквивалентного генератора?
10. В чем сущность расчета методом эквивалентного генератора?

Литература [6, с. 88–104], [9, с. 74–98]

Тема 1.4. Нелинейные электрические цепи постоянного тока

Нелинейные элементы электрических цепей постоянного тока, их вольт-амперные характеристики. Эквивалентные схемы простейших нелинейных цепей, понятия о статическом и динамическом сопротивлениях нелинейного элемента. Приведение нелинейных цепей к линейным.

Графический расчет нелинейных электрических цепей постоянного тока в простейших случаях: последовательное, параллельное, смешанное соединение в нелинейных цепях. Понятие об аналитическом расчете нелинейных цепей.

Вопросы для самоконтроля

1. Какая цепь называется нелинейной?
2. Как графически рассчитать нелинейную цепь при последовательном, параллельном и смешанном соединении сопротивлений?

3. В чем заключается графоаналитический метод расчета нелинейных электрических цепей?

Литература [6, с. 106–118], [9, с. 99–120]

РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ И МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Тема 2.1. Электростатическое поле в пустоте, в диэлектрике. Электростатические цепи

Закон Кулона. Применение закона Кулона для расчета электростатического поля точечных заряженных тел.

Симметричные электростатические поля, созданные зарядами, распределенными на плоской и сферической поверхности. Поле зарядов на поверхности длинного провода. Теорема Гаусса. Вычисление напряженности в симметричных электростатических полях.

Понятие о физическом строении диэлектрика, электрическом моменте диполя. Поляризация диэлектрика, поляризованность (степень поляризации). Остаточная поляризация в сегнетоэлектриках.

Электрическое смещение. Диэлектрическая проницаемость, абсолютная и относительная.

Электрическая емкость. Вычисление емкости плоского конденсатора, цилиндрического конденсатора, двухпроводной линии.

Понятие об электрическом пробое и электрической прочности диэлектрика. Изменение электрического поля на графике двух сред с различными диэлектрическими проницаемостями. Применение многослойной изоляции в электрическом оборудовании. Энергия электрического поля. Объемная плотность энергии электрического поля.

Электрическая емкость в системе заряженных тел. Соединение конденсаторов с идеальным диэлектриком: последовательное, параллельное; расчет электростатических цепей при сочетании последовательного и параллельного соединений.

Вопросы для самоконтроля

1. Как формулируется закон Кулона? Приведите формулу.
2. Как формулируется теорема Гаусса? Приведите формулу.
3. Как вычислить напряженность поля точечного заряда, заряженной плоскости, заряженной сферической поверхности, длинного провода?

4. Как ведут себя диэлектрики в электрическом поле?
5. Что такое поляризация диэлектрика, степень поляризации?
6. Что такое электрическое смещение?
7. Что такое электрическая емкость проводника?
8. Как вычисляется емкость плоского конденсатора?
9. Как вычисляется электрическая энергия заряженного конденсатора, объемная плотность энергии электрического поля?
10. Как вычисляется эквивалентная емкость при последовательном соединении конденсатора, при параллельном?

Литература [6, с. 120–147], [9, с. 128–158]

Тема 2.2. Магнитное поле. Магнитные цепи. Электромагнитная индукция

Магнитное поле как вид материи. Закон Ампера; магнитная постоянная. Магнитная индукция – силовая характеристика магнитного поля. Формула Био-Савара и ее применение для расчета магнитного поля в простейших случаях (ток в кольцевом проводе, ток в прямолинейном проводе).

Намагничивающая сила вдоль контура. Полный ток контура. Вычисление магнитной индукции в симметричных магнитных полях: поле тока прямого провода, цилиндрической катушки, кольцевой катушки.

Работа при перемещении контура с током в магнитном поле. Магнитный поток, магнитное потокосцепление, собственное магнитное потокосцепление катушки.

Индуктивность. Определение индуктивности кольцевой и цилиндрической катушки, участка двухпроводной линии.

Взаимное потокосцепление и взаимная индуктивность; магнитное рассеяние; понятие о коэффициенте магнитной связи. Энергия магнитного поля. Объемная плотность энергии магнитного поля.

Магнитные свойства вещества. Намагничивание вещества, намагниченность (степень намагничивания), напряженность магнитного поля. Магнитная проницаемость, абсолютная и относительная. Закон полного тока.

Свойства и применение ферромагнитных материалов. Кривая первоначального намагничивания. Циклическое перемагничивание ферромагнитных материалов, магнитный гистерезис. Изменение магнитного поля на границе двух сред.

Магнитные цепи. Классификация магнитных цепей. Закон полного тока в применении к магнитным цепям.

Расчет неразветвленной однородной магнитной цепи: решение прямой и обратной задач; понятие о магнитном сопротивлении. Закон Ома для магнитной цепи.

Расчет неразветвленной неоднородной магнитной цепи: решение прямой задачи; метод последовательных приближений и графоаналитическое решение обратной задачи.

Понятие о расчетах разветвленных магнитных цепей и магнитных цепей с постоянными магнитами.

Законы Кирхгофа для магнитной цепи, аналогии между законами магнитной и электрической цепей.

Явление электромагнитной индукции. Закон электромагнитной индукции. Правило (закон) Ленца.

Выражение ЭДС, индуцируемой в проводнике, движущемся в магнитном поле. Правило правой руки. Сущность электромагнитной индукции как процесса преобразования магнитного поля в электрическое. Понятие о преобразовании электрического поля в магнитное. ЭДС самоиндукции и взаимной индукции. Вихревые токи, их использование и способы ограничения.

Примеры использования электромагнитной индукции: преобразование механической энергии в электрическую (принцип действия генератора); преобразование электрической энергии в механическую (принцип действия электродвигателя); принцип действия трансформатора.

Вопросы для самоконтроля

1. Сформулируйте закон Ампера.
2. Чему равна магнитная постоянная?
3. Что такое магнитная индукция? В каких единицах она измеряется?
4. Как вычисляется индукция магнитного поля в центре кольцевого провода с током, тока прямого провода, тока цилиндрической катушки?
5. Что такое намагничивающая сила? Ее направление?
6. Как определяется магнитный поток? Единица измерения магнитного потока.
7. Что такое индуктивность и от чего она зависит? Единица измерения индуктивности.
8. Как определяется индуктивность кольцевой, цилиндрической

- катушки, участка двухпроводной линии?
9. Что такое взаимная индуктивность, взаимное потокосмещение?
 10. Как вычисляется энергия магнитного поля, объемная плотность энергии магнитного поля?
 11. Что такое магнитная цепь? Какие бывают магнитные цепи?
 12. Как производится расчет неразветвленной магнитной цепи (прямая задача, обратная задача)?
 13. Запишите закон Ома для магнитной цепи.
 14. Запишите законы Кирхгофа для магнитной цепи.
 15. В чем заключается явление электромагнитной индукции? От чего зависит ЭДС, возникающая в проводнике при его движении в магнитном поле? Как определить направление ЭДС в этом случае?
 16. В чем заключается явление самоиндукции? От чего зависит ЭДС самоиндукции?
 17. Чему равна электромагнитная сила, действующая на проводник с током в магнитном поле?
- Литература* [6, с. 149–207, 209–238], [9, с. 164–241]

РАЗДЕЛ 3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Тема 3.1. Начальные сведения о переменном токе

Понятие о переменном электрическом токе, синусоидальном токе. Получение синусоидальной ЭДС: вращение рамки в равномерном магнитном поле; схема устройства генератора переменного тока; ЭДС в обмотке генератора переменного тока. Уравнения и графики синусоидальных величин, характеристики синусоидальных величин: мгновенное значение, период, частота, амплитуда, фаза, начальная фаза, угловая частота.

Способы выражения синусоидальных величин. Сложение и вычитание синусоидальных величин. Векторная диаграмма. Сдвиг фаз.

Действующее значение синусоидального тока. Среднее значение синусоидального тока. Коэффициент амплитуды и формы кривой.

Вопросы для самоконтроля

1. Какой ток называется переменным?
2. Что такое мгновенное значение тока?
3. Что такое период?
4. Что такое частота?

5. Что такое фаза, начальная фаза?
 6. Что называется амплитудой тока?
 7. Что понимается под угловой частотой переменного тока?
 8. Какие есть способы выражения синусоидальной величины?
 9. Что такое векторная диаграмма?
 10. Как удобнее складывать и вычитать синусоидальные величины?
 11. Что такое угол сдвига фаз?
 12. Что называется действующим значением синусоидального тока?
 13. Что называется средним значением синусоидального тока?
- Литература* [6, с. 246–263], [9, с. 242–260]

Тема 3.2. Элементы и параметры цепей переменного тока

Элементы электрических цепей переменного тока: резисторы, индуктивные катушки, конденсаторы.

Электрическое сопротивление R , индуктивность L , взаимная индуктивность M , электрическая емкость C – параметры электрических цепей переменного тока.

Цепь переменного тока с активным сопротивлением: выражение тока и мощности при синусоидальном напряжении; векторная диаграмма; понятие об активной мощности.

Цепь переменного тока с индуктивностью: выражение напряжения и мощности при синусоидальном токе; векторная диаграмма; понятия об индуктивном сопротивлении, об индуктивной (реактивной) мощности.

Цепь переменного тока с емкостью: выражение тока и мощности при синусоидальном напряжении; векторная диаграмма цепи; понятия об емкостном сопротивлении и емкостной (реактивной) мощности.

Схемы замещения катушки и конденсатора с потерями: схема с последовательным соединением активного и реактивного элементов, векторная диаграмма цепи. Треугольники напряжений, сопротивлений, мощностей. Активное, реактивное и полное сопротивления. Закон Ома. Активная, реактивная и полная мощности. Коэффициент мощности.

Схема с параллельным соединением активного и реактивного элементов; векторная диаграмма; активная и реактивная состав-

ляющие тока. Треугольники токов, проводимостей, мощностей.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие элементы могут быть в цепи переменного тока?
2. Как ведут себя ток и напряжение в цепи с активным сопротивлением?
3. Как ведут себя ток и напряжение в цепи с индуктивностью?
4. Как вычислить индуктивное сопротивление, зная индуктивность катушки?
5. Как ведут себя ток и напряжение в цепи с емкостью?
6. Как вычислить емкостное сопротивление, зная емкость конденсатора?
7. Каковы схемы замещения катушки и конденсатора с потерями?
8. Векторные диаграммы цепей с R, L и R, C при их последовательном соединении, треугольники сопротивлений и мощностей.

Литература [6, с. 265–290], [9, с. 261–286]

Тема 3.3. Расчет электрических цепей переменного тока с помощью векторных диаграмм

Расчет неразветвленной цепи синусоидального тока с одним источником питания: цепь с активным сопротивлением, индуктивностью и емкостью (R, L, C) при различных соотношениях величин реактивных сопротивлений ($x_L > x_C$, $x_L < x_C$, $x_L = x_C$); цепь с произвольным числом активных и реактивных элементов; построение топографической векторной диаграммы.

Расчет разветвленной цепи с двумя узлами при одном источнике питания: цепь с параллельным соединением катушки и конденсатора при различных соотношениях величин реактивных проводимостей ($b_L > b_C$, $b_L < b_C$, $b_L = b_C$); графоаналитический метод расчета и метод проводимостей; цепь с произвольным числом активных и реактивных элементов.

Вопросы для самоконтроля

1. По какому закону изменяется ток во времени в электрической цепи, состоящей из последовательно включенных индуктивности, емкости, активного сопротивления и синусоидального источника ЭДС?
2. Что означают понятия «активная составляющая напряжения», «реактивная составляющая напряжения»?
3. Какие соотношения можно записать для треугольников сопротивлений, напряжений, мощностей?

4. Что представляет собой эквивалентное сопротивление цепи, состоящей из нескольких последовательно включенных элементов R, L и C, и как оно вычисляется?
5. В чем заключается графоаналитический метод расчета разветвленной цепи переменного тока, метод проводимостей?

Литература [6, с. 291–313], [9, с. 287–310]

Тема 3.4. Резонансные явления в электрических цепях

Колебательный контур: ток и напряжение в колебательном контуре без потерь энергии; частота собственных колебаний, волновое сопротивление; колебательный контур с потерями энергии.

Резонанс напряжений: условия и признаки резонанса напряжений, резонансная частота, частотные характеристики неразветвленной цепи, добротность контура.

Резонанс токов: условия и признаки резонанса токов, резонансная частота, частотные характеристики контура, добротность.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое колебательный контур?
2. Как вычисляется частота собственных колебаний колебательного контура?
3. В какой цепи и при каком условии может произойти резонанс напряжений?
4. Что такое волновое сопротивление, добротность последовательного контура?
5. Как вычисляется резонансная частота последовательного контура?
6. В какой цепи и при каких условиях может произойти резонанс токов?
7. Как вычисляется резонансная частота параллельного, идеального, реального контуров?
8. Что такое волновая проводимость, добротность параллельного контура?

Литература [6, с. 336–347], [9, с. 351–363]

Тема 3.5. Расчет электрических цепей синусоидального тока с применением комплексных чисел

Выражение синусоидальных токов и напряжений комплексными числами. Комплексное сопротивление и проводимость. Мощность в комплексной форме.

Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме, аналогия с цепями постоянного тока. Расчет цепей переменного тока символическим методом: метод преобразования, метод узловых напряжений, метод узловых и контурных уравнений. Построение векторных диаграмм в комплексной плоскости.

Индуктивно-связанные цепи. Согласное и встречное включение индуктивно-связанных катушек. Разметка зажимов. Знаки ЭДС и напряжений. Взаимоиндуктивное сопротивление. Расчет электрических цепей с взаимной индуктивностью при последовательном и параллельном включении элементов, разветвленная цепь. Трансформатор без ферромагнитного сердечника, векторная диаграмма.

Вопросы для самоконтроля

1. Выразите синусоидальный ток и синусоидальное напряжение комплексными числами.
2. Как в комплексной форме выражаются активное, индуктивное и емкостное сопротивления, полное сопротивление цепи?
3. Как вычисляется мощность в комплексной форме?
4. Запишите закон Ома в комплексной форме для замкнутой цепи.
5. Сформулируйте первый и второй законы Кирхгофа в комплексной форме и запишите их.
6. В чем заключается символический метод расчета цепей переменного тока?
7. Какие электрические цепи называются индуктивно-связанными?
8. Что понимают под согласным включением индуктивно-связанных цепей, под встречным?
9. Что такое коэффициент связи?
10. В чем заключаются особенности расчета индуктивно-связанных цепей?

Литература [6, с. 314–335], [9, с. 314–351]

Тема 3.6. Четырехполюсники

Начальные сведения о четырехполюсниках. Общие определения и схемы: входные и выходные зажимы; активный и пассивный четырехполюсники.

Уравнения и основные свойства четырехполюсников: входные и выходные токи и напряжения; зависимость напряжения и

тока на входе от напряжения и тока на выходе; взаимная замена местами входных и выходных зажимов; симметричный четырехполюсник.

Режимы четырехполюсника: холостой ход, короткое замыкание; коэффициенты четырехполюсника, их выражение на основе режимов холостого хода и короткого замыкания; входное и выходное сопротивление четырехполюсника.

Схемы замещения пассивного четырехполюсника: Т-образная и П-образная схемы; определение параметров эквивалентных схем. Нагрузочный режим четырехполюсника, мощность и КПД четырехполюсника.

Вопросы для самоконтроля

1. Когда для расчета электрических цепей пользуются методом четырехполюсника?
2. Какой четырехполюсник называется активным, пассивным?
3. Запишите основные уравнения четырехполюсника.
4. Коэффициенты четырехполюсника и их определение из режимов холостого хода и короткого замыкания.
5. Начертите Т-образную схему замещения четырехполюсника и определите из этой схемы коэффициенты четырехполюсника; П-образную.
6. Какой четырехполюсник называется симметричным?

Литература [6, с. 355–364], [9, с. 405–417]

Тема 3.7. Трехфазные цепи переменного тока

Трехфазная симметричная система ЭДС. Устройство трехфазного генератора. Работы ученого М. О. Доливо-Добровольного по созданию трехфазной системы электрических цепей. Соединение обмоток генератора звездой и треугольником. Фазные и линейные напряжения и соотношения между ними в симметричной цепи.

Расчет симметричной и несимметричной цепи при соединении нагрузки треугольником. Определение мощности. Расчет цепи при соединении звездой. Роль нейтрального провода.

Вращающееся магнитное поле: трехфазная система обмоток, получение вращающегося магнитного поля посредством трехфазной системы токов.

Вопросы для самоконтроля

1. Какая система ЭДС называется трехфазной симметричной?

2. Какое соединение обмоток называется звездой?
3. Какая связь между U_n и U_ϕ , I_n и I_ϕ при соединении звездой?
4. Почему при включении несимметричной нагрузки необходим нейтральный провод, а при включении симметричной нагрузки можно обойтись и без него?
5. К чему приведет включение несимметричной нагрузки по схеме звезда без нейтрального провода?
6. Как определить напряжение смещения нейтрали при отсутствии нейтрального провода?
7. Как определить фазное напряжение приемников в схеме звезда без нейтрального провода?
8. Какие устройства соединяют по схеме звезда без нейтрального провода и с нейтральным проводом?
9. Как нужно соединить обмотки генератора или приемник, чтобы они образовали схему треугольник?
10. Какое соотношение между фазными и линейными напряжениями, фазными и линейными токами при несимметричной и симметричной нагрузке?
11. Как определяется мощность трехфазной цепи при несимметричной и симметричной нагрузке?
12. При каких условиях с помощью трех катушек можно создать вращающееся магнитное поле?
13. Где применяется вращающееся магнитное поле?

Литература [6, с. 383–410, 419–433], [9, с. 363–404]

Тема 3.8. Электрические цепи с несинусоидальными периодическими напряжениями и токами

Причины возникновения несинусоидальных ЭДС, токов и напряжений в электрических цепях: искажение ЭДС в электромагнитном генераторе, наличие в цепях нелинейных элементов.

Аналитическое выражение несинусоидальных периодических величин в форме тригонометрического ряда. Признаки симметрии несинусоидальных кривых и влияние их на вид тригонометрического ряда.

Действующее значение несинусоидального периодического напряжения и тока. Понятие о коэффициентах: формы, амплитуды, искажения периодических кривых. Мощность в цепи при несинусоидальном токе.

Расчет линейных электрических цепей при несинусоидаль-

ном периодическом напряжении на их выходе.

Электрические фильтры: низкочастотные, резонансные и резонансные заградительные.

Вопросы для самоконтроля

1. В каких случаях в электрической цепи могут возникать несинусоидальные напряжения и токи?
2. Как определяется действующее значение несинусоидального тока?
3. Чему равна активная мощность несинусоидального тока?
4. Как производится расчет линейных электрических цепей с несинусоидальной ЭДС?
5. Для чего предназначены сглаживающие фильтры?
6. Что такое заградительный фильтр?

Литература [6, с. 436–453], [9, с. 420–444]

Тема 3.9. Нелинейные электрические цепи переменного тока

Общая характеристика нелинейных цепей и нелинейных элементов переменного тока.

Цепи с нелинейным активным сопротивлением (выпрямление переменного тока, регулирование величины тока).

Электрические цепи с нелинейной индуктивностью. Идеализированная катушка с ферромагнитным сердечником: магнитный поток и ЭДС катушки, векторная диаграмма.

Влияние магнитного гистерезиса и вихревых токов на ток катушки с ферромагнитным сердечником; потери энергии в ферромагнитном сердечнике, векторная диаграмма катушки с учетом потерь энергии в сердечнике. Полная векторная диаграмма и схемы замещения катушки с ферромагнитным сердечником. Понятие о феррорезонансе и его использование.

Вопросы для самоконтроля

1. Какая цепь переменного тока называется нелинейной?
2. Приведите примеры нелинейных активных сопротивлений.
3. Что представляет собой нелинейное емкостное сопротивление и какова его основная характеристика?
4. Что представляет собой нелинейная индуктивность и какова ее основная характеристика?
5. Какую форму имеет кривая тока катушки с ферромагнитным сердечником при синусоидальном напряжении?

6. Что такое магнитные потери?

Литература [6, с. 463–490], [9, с. 450–479]

Тема 3.10. Переходные процессы в электрических цепях

Основные сведения о переходных процессах: причины возникновения, установившийся режим, переходный процесс. Первый и второй законы коммутации.

Заряд и разряд конденсатора через сопротивление: уравнения и графики токов и напряжений на конденсаторе при заряде и разряде. Постоянная времени переходного процесса. Техническое применение переходных процессов.

Включение катушки индуктивности на постоянное напряжение. Уравнение и график переходного тока; постоянная времени цепи; принужденная и свободная составляющие переходного процесса, влияние величины напряжения источника и параметров цепи на переходный процесс.

Отключение катушки индуктивности от источника постоянного напряжения. Изменение тока в катушке, замкнутой на разрядное сопротивление, график и уравнение переходного тока. Влияние напряжения и параметров цепи на переходный процесс.

Включение катушки индуктивности на синусоидальное напряжение: график и уравнение переходного тока. Влияние на переходный процесс начальной фазы приложенного напряжения и параметров цепи.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое коммутация электрической цепи?
2. Какой процесс возникает в результате коммутации и чем он характерен?
3. Сформулируйте законы коммутации.
4. Как определяется постоянная времени цепи R, L ?
5. Как определяется постоянная времени цепи R, C ?

Литература [6, с. 492–522], [9, с. 480–507]

Тема 3.11. Электрические цепи с распределенными параметрами

Понятие о распределенных параметрах и примеры электрических цепей с распределенными параметрами.

Схемы замещения однородной линии с потерями и без потерь.

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

Характеристики, выражаемые через вторичные параметры: фазовая скорость, длина волны.

Вопросы для самоконтроля

1. Начертите схему замещения длинной линии с потерями и без потерь.
2. Напишите основные уравнения длинной линии.
3. Назовите основные характеристики длинной линии.

Литература [6, с. 523–550], [9, с. 508–520]

Тема 3.12. Источники питания

Общие положения. Вентили. Однофазные схемы выпрямления: однополупериодная, двухполупериодная с нулевым выводом, мостовая. Трехфазная однополупериодная схема выпрямления. Трехфазная мостовая схема выпрямления.

Схемы умножения напряжения. Сглаживающие фильтры. Преобразователи постоянного напряжения.

Стабилизаторы тока и напряжения. Параметрические стабилизаторы. Компенсационные стабилизаторы постоянного напряжения с непрерывным регулированием.

Вопросы для самоконтроля

1. Принцип действия, достоинства и недостатки однофазной однополупериодной схемы выпрямителя.
2. Принцип действия, достоинства и недостатки однофазной схемы выпрямления с нулевым выводом (средней точки трансформатора).
3. Принцип действия, достоинства и недостатки однофазной мостовой схемы выпрямления.
4. Принцип действия, достоинства и недостатки трехфазной однополупериодной схемы выпрямления.
5. Принцип действия, достоинства и недостатки трехфазной мостовой схемы выпрямления.
6. Схемы умножения напряжения, их классификация.
7. Принцип действия однополупериодной схемы удвоения напряжения.

8. Принцип действия двухполупериодной схемы удвоения напряжения.
9. Сглаживающие фильтры. Требования, предъявляемые к ним.
10. Типы сглаживающих фильтров. Принцип действия.
11. Виды преобразователей постоянного напряжения. Принцип действия 2-тактного статического преобразователя постоянного напряжения.
12. Какое устройство называется стабилизатором? Типы стабилизации. Принцип действия параметрических стабилизаторов.
13. Принцип действия компенсационного стабилизатора постоянного напряжения с последовательным и параллельным включением регулирующего элемента.
14. Принцип действия импульсных стабилизаторов постоянного напряжения.

Литература [1, с. 12–68, 129–170, 209–266],
[4, с. 135–162, 206–220, 224–251, 255–267]

1.3. Перечень лабораторных работ

1. Исследование режимов работы электрической цепи и ее элементов (неразветвленная электрическая цепь постоянного тока с переменным сопротивлением).*
2. Исследование электрической цепи при последовательном, параллельном и смешанном соединении сопротивлений.
3. Опытная проверка преобразования треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду.
4. Исследование источника электрической энергии в режиме генератора и потребителя.
5. Измерение потенциалов точек электрической цепи. Построение потенциальной диаграммы.*
6. Опытная проверка законов Кирхгофа.*
7. Опытная проверка метода положения токов.
8. Опытная проверка метода эквивалентного генератора.
9. Снятие вольт-амперных характеристик нелинейных элементов электрической цепи и проверка опытом расчета нели-

* Лабораторные работы, выполняемые учащимися безотрывной формы обучения.

нейных цепей.

10. Последовательное соединение активного и реактивного элементов электрической цепи переменного тока.*
11. Параллельное соединение активного и реактивного элементов.
12. Резонанс напряжений.
13. Резонанс токов.*
14. Определение параметров R, L, M индуктивно-связанных катушек.
15. Исследование трехфазной цепи при соединении потребителя звездой.*
16. Исследование трехфазной цепи при соединении потребителя треугольником.
17. Определение опытным путем коэффициентов амплитуды и формы периодических кривых напряжения.
18. Измерение мощности потерь энергии в ферромагнитном сердечнике катушки.
19. Исследование переходных процессов при заряде и разряде конденсатора.*

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учащиеся безотрывной формы обучения изучают предмет путем самостоятельной работы над учебниками и учебными пособиями, самостоятельного решения задач, выполнения лабораторных работ и контрольных заданий. В контрольную работу входит основной материал предмета. Чтобы выполнить контрольную работу, нужно сначала изучить учебный материал предмета. Учебный материал лучше изучать в последовательности, указанной в программе. Следует изучить учебный материал первой темы, конспектируя основные понятия, закрепить материал решением рекомендуемых задач, и только после этого решать задачи контрольной работы, относящиеся к данной теме. Затем приступить к изучению учебного материала следующей темы в той же последовательности.

Желательно пользоваться учебниками, рекомендуемыми данным пособием. При отсутствии таких учебников можно пользо-

ваться другими, но находить требуемый материал в этом случае можно только по названиям тем и содержанию соответствующих параграфов учебника.

При выполнении контрольной работы учащимся необходимо: полностью записывать текст задания и данные задачи; чертежи, условные обозначения элементов схем электрических цепей и схемы выполнять аккуратно согласно стандартам ЕСКД; во всех расчетах сначала записывать пояснения, формулу, затем подставлять в нее числовые значения; расчеты выполнять с точностью до третьего знака; единицы измерений величин писать только в окончательном результате вычислений.

Обязательно привести список используемой литературы, дату выполнения работы и личную подпись учащегося.

Выбор варианта определяется последними двумя цифрами шифра.

При нарушении правил выбора варианта, а так же при выполнении заданий не в полном объеме, работа не рецензируется и возвращается учащемуся.

После получения проверенной преподавателем работы следует в этой же тетради выполнить работу над ошибками. Работа над ошибками выполняется после рецензии, а не в тексте контрольной работы.

Если работа не зачтена, она выполняется заново по варианту. Работы при этом сдаются на проверку преподавателю незаченная и выполненная заново вместе.

Образцы выполнения контрольной работы показаны в разделе 4 «Примеры решения задач». Так как для решения 2-й задачи в каждом варианте указан свой метод расчета, поэтому приведены примеры выполнения этого задания различными методами.

Для успешного выполнения контрольного задания учащийся должен сначала изучить теоретический материал, затем проработать методические указания по предмету и примеры решения задач, только после этого следует приступить к решению задач контрольного задания.

Для закрепления знаний и умений, перечисленных выше, для учащихся безотрывной формы обучения введена курсовая работа по электротехнике. Для ее успешного выполнения необходимо должным образом знать материал предмета.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Задача 1. Для цепи постоянного тока стрелками указать направления токов в каждом резисторе. Определить эквивалентное сопротивление внешней цепи, а также величину токов и напряжений на всех резисторах. Индексы токов, напряжений и мощностей должны соответствовать индексам резисторов.

Данные для своего варианта взять из табл. 2.

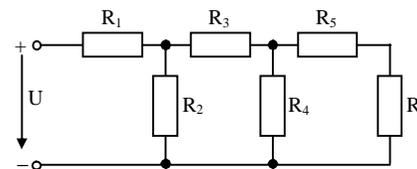


Рис. 1

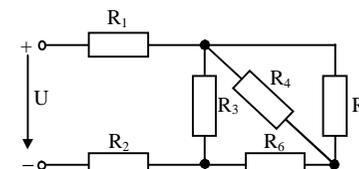


Рис. 2

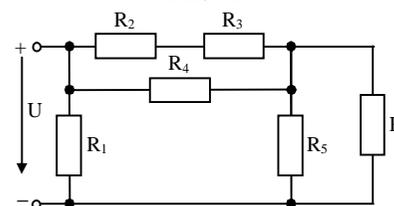


Рис. 3

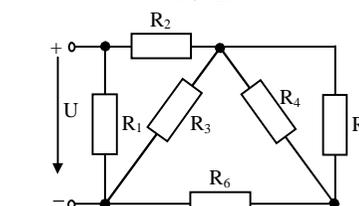


Рис. 4

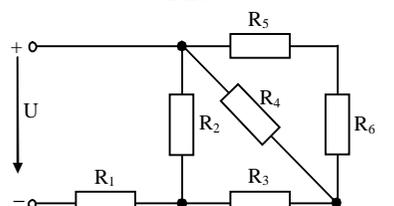


Рис. 5

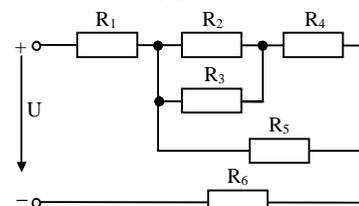


Рис. 6

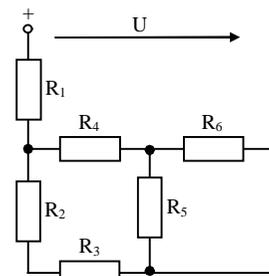


Рис. 7

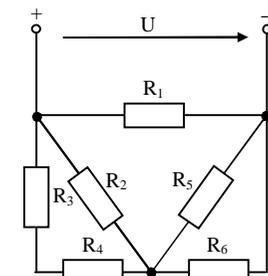


Рис. 8

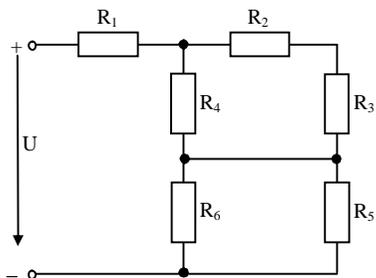


Рис. 9

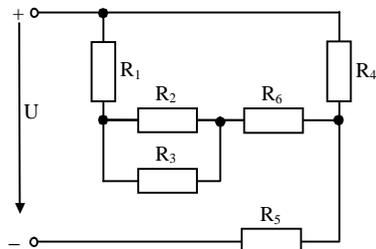


Рис. 10

Таблица 2

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

Задача 2. Вычислить токи во всех ветвях сложной цепи, указать их направления на схеме. Проверить расчет цепи балансом мощностей.

Данные для своего варианта взять из табл. 3.

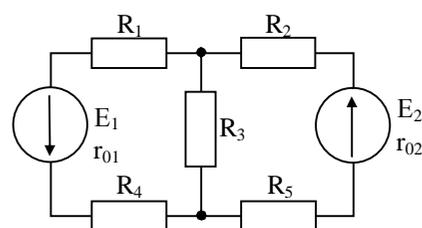


Рис. 11

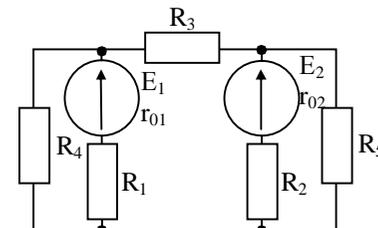


Рис. 12

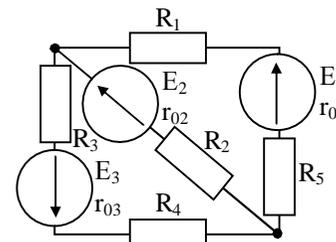


Рис. 13

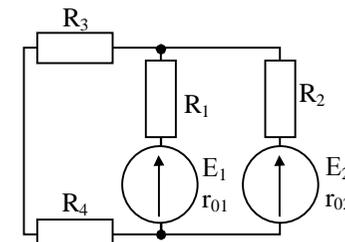


Рис. 14

Таблица 3

Номер варианта	Исходные данные											Метод расчета	Номер рисунка
	E ₁ , В	E ₂ , В	E ₃ , В	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	R ₄ , Ом	R ₅ , Ом	r ₀₁ , Ом	r ₀₂ , Ом	r ₀₃ , Ом		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1, 21, 41, 61, 81	120	120	-	23,5	11,4	48	8	16	0,5	0,6	-	наложе-ния	11
2, 22, 42, 62, 82	25	40	-	9	19	15	40	60	1	1	-	контур-ных то-ков	12
3, 23, 43, 63, 83	100	80	120	3,6	5,6	3,6	4	6	0,4	0,4	0,4	узлового напря-жения	13
4, 24, 44, 64, 84	260	80	-	240	800	120	780	-	20	0	-	уравне-ний Кирхго-фа	14
5, 25, 45, 65, 85	120	120	-	23,5	11,4	48	8	16	0,5	0,6	-	узлового напря-жения	11
6, 26, 46, 66, 86	50	70	-	16	20	6	40	60	2	2	-	наложе-ния	12
7, 27, 47, 67, 87	100	80	120	3,6	5,6	3,6	4	6	0,4	0,4	0,4	контур-ных то-ков	13

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
8, 28, 48, 68, 88	260	80	-	240	800	120	780	-	20	0	-	наложе- ния	14
9, 29, 49, 69, 89	10	40	-	6	4	8	15	14	0	I	-	контур- ных то- ков	11
10, 30, 50, 70, 90	25	40	-	9	19	15	40	60	1	1	-	эквива- лентного генера- тора I_3	12
11, 31, 51, 71, 91	100	80	120	3,6	5,6	3,6	4	6	0,4	0,4	0,4	уравне- ний Кирхго- фа	13
12, 32, 52, 72, 92	200	80	-	198	80	120	80	-	2	0	-	узлового напря- жения	14
13, 33, 53, 73, 93	120	120	-	23,5	11,4	48	8	16	0,5	0,6	-	эквива- лентного генера- тора I_1	11
14, 34, 54, 74, 94	20	10	-	5	5	15	12	14	1	2	-	наложе- ния	12
15, 35, 55, 75, 95	20	160	80	20	50	80	80	48	2	0	0	эквива- лентного генера- тора I_1	13
16, 36, 56, 76, 96	260	80	-	240	800	120	780	-	20	0	-	контур- ных то- ков	14
17, 37, 57, 77, 97	50	150	-	25	15	60	12	24	0	4	-	уравне- ний Кирхго- фа	11
18, 38, 58, 78, 98	25	40	-	9	19	15	40	60	1	1	-	уравне- ний Кирхго- фа	12
19, 39, 59, 79, 99	20	160	80	20	50	80	80	48	2	0	0	контур- ных то- ков	13
20, 40, 60, 80, 100	200	80	-	198	80	120	80	-	2	0	-	эквива- лентного генера- тора I_2	14

Задача 3. Для неразветвленной цепи переменного тока (рис. 15) определить полное сопротивление Z , ток I , напряжение на зажимах цепи, угол сдвига фаз между напряжением и током, мощности P , Q , S .

Построить в масштабе топографическую векторную диаграмму. Определить на диаграмме графически и аналитически напряжение U_1 .

Найти частоту $f_{рез}$, при которой в данной цепи возможен резонанс напряжений. Данные для своего варианта взять из табл. 4.

П р и м е ч а н и е. Одна из величин, которую нужно определить, может быть задана.

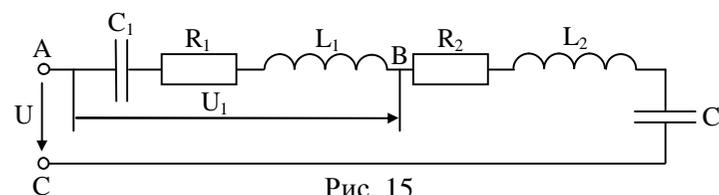


Рис. 15

Таблица 4

Номер варианта	Исходные данные							
	R_1 , Ом	R_2 , Ом	L_1 , мГн	L_2 , мГн	C_1 , мкФ	C_2 , мкФ	f , Гц	Дополнительный параметр
1, 21, 41, 61, 81	6	2	12,7	25,5	398	318	50	$I=2$ А
2, 22, 42, 62, 82	-	10	19,1	4,78	530	800	100	$S=127$ ВА
3, 23, 43, 63, 83	50	50	-	2,55	39,8	31,8	50	$U=282$ В
4, 24, 44, 64, 84	15	-	38,2	19,1	26,5	44,2	150	$Q=-90$ вар
5, 25, 45, 65, 85	7	8	19,1	38,2	440	265	50	$U_{a2}=16$ В
6, 26, 46, 66, 86	8	12	12,7	19,1	-	159	100	$P=125$ Вт
7, 27, 47, 67, 87	8	-	25,5	12,7	318	398	50	$U_a=80$ В
8, 28, 48, 68, 88	8	10	-	12,7	400	159	200	$U=100$ В
9, 29, 49, 69, 89	10	15	12,7	19,1	800	400	50	$U_{L1}=16$ В
10, 30, 50, 70, 90	10	-	4,78	19,1	800	530	200	$P=40$ Вт
11, 31, 51, 71, 91	-	5	38,2	19,1	318	-	50	$U=60$ В
12, 32, 52, 72, 92	12	6	12,7	-	159	400	100	$U_{C1}=15$ В
13, 33, 53, 73, 93	5	3	12,7	19,1	400	800	50	$U_{L1}=8$ В
14, 34, 54, 74, 94	15	10	12,7	-	530	318	200	$Q=36$ вар
15, 35, 55, 75, 95	10	-	25,5	19,1	800	398	50	$U_{C2}=32$ В
16, 36, 56, 76, 96	10	15	12,7	19,1	159	44,2	100	$I=1$ А
17, 37, 57, 77, 97	-	8	12,7	4,78	159	44,2	150	$P=200$ Вт
18, 38, 58, 78, 98	4	6	19,1	4,78	530	800	100	$Q_{C1}=27$ вар
19, 39, 59, 79, 99	5	7	12,7	-	318	800	50	$U_{a1}=25$ В
20, 40, 60, 80, 100	3	5	19,1	92,7	800	398	50	$U_{C2}=24$ В

Задача 4. Для разветвленной цепи переменного тока определить:

- напряжение, подведенное к цепи;
- токи ветвей и общий ток цепи;
- активную мощность ветвей и всей цепи;
- реактивную мощность ветвей и всей цепи;
- полную мощность ветвей и всей цепи;
- углы сдвига фаз между напряжением и током каждой ветви и всей цепи.

Примечание. Одна из величин задана в таблице вариантов, поэтому необходимость в определении этой величины отпадает.

Построить в масштабе векторную диаграмму цепи. Данные для своего варианта взять из табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Номер варианта	Исходные данные						Дополнительный параметр	Номер рисунка
	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	X _{L1} , Ом	X _{L2} , Ом	X _{C1} , Ом	X _{C2} , Ом		
1, 21, 41, 61, 81	10	16	15	20	-	-	I=5,4 А	16
2, 22, 42, 62, 82	18	10	-	-	9	15	U=80 В	17
3, 23, 43, 63, 83	10	8	15	-	-	14	I ₂ =3,5 А	18
4, 24, 44, 64, 84	3	6	-	8	4	-	U=50 В	19
5, 25, 45, 65, 85	8	-	-	15	7	-	I ₁ =2,5 А	20
6, 26, 46, 66, 86	12	-	16	-	-	20	U=100 В	21
7, 27, 47, 67, 87	19,05	8,45	11	7,1	-	-	I ₁ =2 А	16
8, 28, 48, 68, 88	15,36	25,8	-	-	12,9	30,7	U=40 В	17
9, 29, 49, 69, 89	24	16	18	-	-	20	I ₁ =2,2 В	18
10, 30, 50, 70, 90	12	8	-	6	16	-	U=60 В	19
11, 31, 51, 71, 91	8	-	-	12	6	-	I=3,5 А	20
12, 32, 52, 72, 92	10	-	18	-	-	25	I ₂ =2,8 А	21
13, 33, 53, 73, 93	28,4	7,1	33,8	8,45	-	-	I ₂ =3 А	16
14, 34, 54, 74, 94	12,5	30,7	-	-	21,65	25,8	U=50 В	17
15, 35, 55, 75, 95	18,12	8,2	8,48	-	-	5,75	I ₂ =2,5 А	18
16, 36, 56, 76, 96	31,2	13,5	-	13,5	21,7	-	I ₁ =0,5 А	19
17, 37, 57, 77, 97	31,2	-	-	5	2,57	-	I=1 А	20
18, 38, 58, 78, 98	2,8	-	2,8	-	-	10	U=40 В	21
19, 39, 59, 79, 99	64,4	62,5	76,8	-	-	108,25	I ₁ =0,8 А	18
20, 40, 60, 80, 100	18,12	17,68	-	17,68	8,48	-	I ₂ =2 А	19

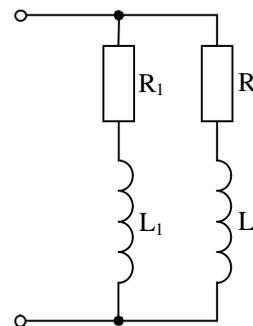


Рис. 16

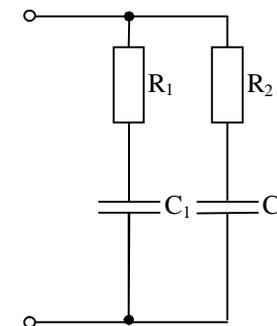


Рис. 17

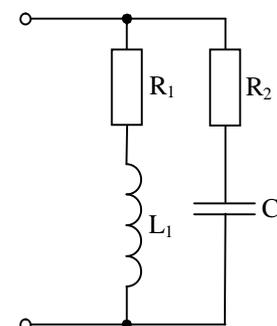


Рис. 18

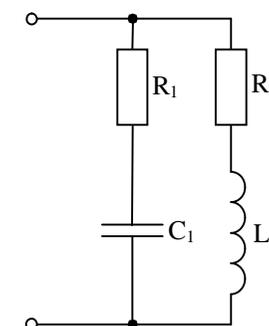


Рис. 19

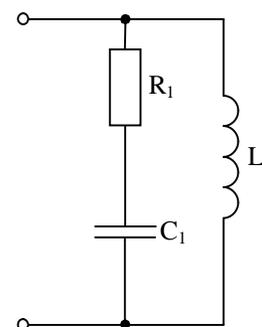


Рис. 20

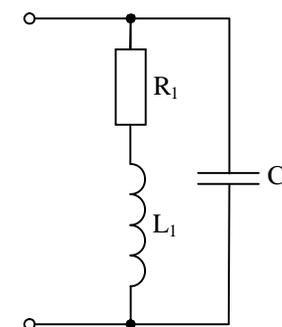


Рис. 21

Задача 5. В цепи действует несинусоидальный ток (напряжение). Используя данные задачи, приведенные для Вашего варианта в табл. 6, определить показания приборов, указанных на

схеме (рис. 22). Частота тока первой гармоники 50 Гц. Записать аналитическое выражение несинусоидального тока цепи, если задано напряжение или аналитическое выражение несинусоидального напряжения, если задан ток.

Примечание. Результаты расчетов определять с точностью до десятых.

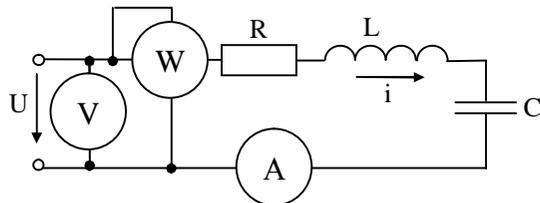


Рис. 22

Таблица 6

Номер варианта	Исходные данные			
	$u, В; i, А$	$R, Ом$	$L, мГн$	$C, мкФ$
1, 21, 41, 61, 81	$u=200\sqrt{2} \cdot \sin\omega t + 70\sqrt{2} \cdot \sin 3\omega t$	10	31,8	106
2, 22, 42, 62, 82	$i=20\sqrt{2} \cdot \sin(\omega t - 90^\circ) + 3,3\sqrt{2} \cdot \sin 3\omega t$	40	31,8	80
3, 23, 43, 63, 83	$u=50+100\sin\omega t + 30\sin(3\omega t - 45^\circ)$	10	32	12
4, 24, 44, 64, 84	$i=4\sin(\omega t + 20^\circ) + 2\sin(3\omega t - 60^\circ)$	200	80	20
5, 25, 45, 65, 85	$u=100\sin(\omega t + 45^\circ) + 50\sin(3\omega t - 30^\circ)$	100	42	12
6, 26, 46, 66, 86	$u=100\sin(\omega t + 45^\circ) + 50\sin(3\omega t - 30^\circ)$	40	31,2	146
7, 27, 47, 67, 87	$i=2\sin(\omega t + 30^\circ) + 40\sin(2\omega t + 20^\circ)$	10	60	40
8, 28, 48, 68, 88	$u=200+300\sin(\omega t + 30^\circ) + 150\sin 3\omega t$	18	38,2	88
9, 29, 49, 69, 89	$u=120\sqrt{2} \cdot \sin(\omega t + 45^\circ) + 60\sqrt{2} \cdot \sin 3\omega t$	10	30	60
10, 30, 50, 70, 90	$u=200\sin(\omega t - 45^\circ) + 50\sqrt{2} \cdot \sin 5\omega t$	20	80	12
11, 31, 51, 71, 91	$u=70,5\sin(\omega t + 20^\circ) + 40\sin 3\omega t,$	10	9,5	212
12, 32, 52, 72, 92	$u=100+50\sin\omega t$	10	25	250
13, 33, 53, 73, 93	$i=0,5\sin 3\omega t + 0,3\sin 7\omega t$	15	31,8	76
14, 34, 54, 74, 94	$u=5+50\sin\omega t + 30\sin 3\omega t$	100	159	0
15, 35, 55, 75, 95	$u=30+20\sin\omega t + 10\sin(3\omega t - 45^\circ)$	300	64	79,6
16, 36, 56, 76, 96	$u=40,5\sin\omega t + 80\sin 3\omega t$	10	8,5	132,8
17, 37, 57, 77, 97	$u=50+100\sin\omega t + 30\sin(3\omega t - 90^\circ)$	10	0	118
18, 38, 58, 78, 98	$u=200(\sin\omega t - 45^\circ) + 50\sin(3\omega t - 90^\circ)$	20	95,5	11,8
19, 39, 59, 79, 99	$u=200\sqrt{2} \cdot \sin\omega t + 70\sqrt{2} \cdot \sin 3\omega t$	10	31,8	104
20, 40, 60, 80, 100	$i=2\sin(\omega t + 30^\circ) + 4\sin(2\omega t + 20^\circ) + 4\sin 3\omega t$	10	60	40

4. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1. Расчет электрической цепи с одним источником при смешанном соединении сопротивлений (рис. 23). Метод «свертывания».

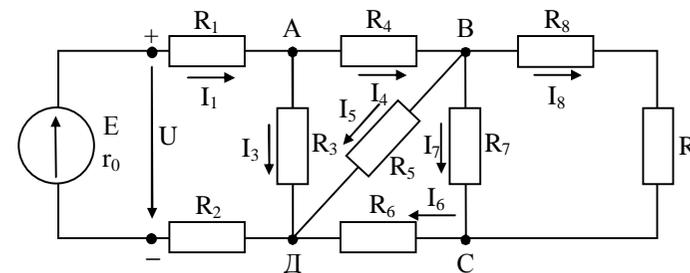


Рис. 23

Дано:

$E = 100 В; r_0 = 0,3 Ом; R_1 = 3 Ом; R_2 = 4,7 Ом; R_3 = 6 Ом; R_4 = 1,4 Ом; R_5 = 2 Ом; R_6 = 6 Ом; R_7 = 4 Ом; R_8 = 1 Ом; R_9 = 3 Ом.$

Требуется указать на электрической схеме направления токов в резисторах, определить эквивалентное сопротивление внешней части цепи, напряжения и токи на всех участках цепи, мощность источника, общую мощность потребителей и КПД источника.

Решение. 1. Токи в резисторах направлены от плюса источника к минусу.

2. Эквивалентное сопротивление внешней части цепи определяется методом «свертывания», т. е. последовательной заменой сопротивлений частей схемы их эквивалентами, начиная с наиболее отдаленных от источника участков.

Сопротивления R_8 и R_9 соединены последовательно, следовательно

$$R_{89} = R_8 + R_9 = 1 + 3 = 4 Ом.$$

Сопротивления R_7 и R_{89} соединены параллельно (между узлами В и С)

$$R_{789} = \frac{R_7 \cdot R_{89}}{R_7 + R_{89}} = \frac{4 \cdot 4}{4 + 4} = 2 Ом.$$

Сопротивления R_6 и R_{789} соединены последовательно, значит $R_{6-9} = R_6 + R_{789} = 6 + 2 = 8 \text{ Ом}$.

Сопротивления R_5 и R_{6-9} соединены параллельно (между узлами В и Д)

$$R_{5-9} = \frac{R_5 \cdot R_{6-9}}{R_5 + R_{6-9}} = \frac{2 \cdot 8}{2 + 8} = 1,6 \text{ Ом}.$$

Сопротивления R_4 и R_{5-9} соединены последовательно, поэтому

$$R_{4-9} = R_4 + R_{5-9} = 1,4 + 1,6 = 3 \text{ Ом}.$$

Сопротивления R_3 и R_{4-9} соединены параллельно (между узлами А и Д)

$$R_{3-9} = \frac{R_3 \cdot R_{4-9}}{R_3 + R_{4-9}} = \frac{6 \cdot 3}{6 + 3} = 2 \text{ Ом}.$$

Сопротивления R_1 , R_{3-9} и R_2 соединены последовательно. Эквивалентное соединение внешней части цепи равно

$$R_{\text{экв}} = R_1 + R_{3-9} + R_2 = 3 + 2 + 4,7 = 9,7 \text{ Ом}.$$

1. Применяя формулы законов Ома и первого закона Кирхгофа, определяем токи и напряжения на всех участках цепи.

$$\text{Общий ток } I = \frac{E}{R_{\text{экв}} + r_0} = \frac{100}{9,7 + 0,3} = 10 \text{ А}.$$

$$I = I_1 = I_2 = I_{3-9};$$

$$U_1 = I \cdot R_1 = 10 \cdot 3 = 30 \text{ В}.$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = 10 \cdot 4,7 = 47 \text{ В}.$$

$$U_{3-9} = I \cdot R_{3-9} = 10 \cdot 2 = 20 \text{ В}, U_{3-9} = U_3 = U_{4-9};$$

Напряжение на зажимах источника

$$U = I \cdot R_{\text{экв}} \text{ или } U = U_1 + U_2 + U_{3-9} = 30 + 47 + 20 = 97 \text{ В или}$$

$$U = E - I \cdot r_0;$$

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{20}{6} = 3,33 \text{ А}.$$

По первому закону Кирхгофа (для узла А) $I = I_3 + I_4$;

$$I_4 = I - I_3 = 10 - 3,33 = 6,67 \text{ А};$$

$$U_4 = I_4 \cdot R_4 = 6,67 \cdot 1,4 = 9,34 \text{ В};$$

$$U_{5-9} = I_4 \cdot R_{5-9} = 6,67 \cdot 1,6 = 10,67 \text{ В или } U_{5-9} = U_5 - U_4;$$

$$U_{5-9} = U_5 = U_{6-9}, \text{ значит}$$

$$I_5 = \frac{U_5}{R_5} = \frac{10,67}{2} = 5,34 \text{ А};$$

$$I_6 = I_4 - I_5 = 6,67 - 5,34 = 1,33 \text{ А или}$$

$$I_6 = \frac{U_{6-9}}{R_{6-9}} = \frac{10,67}{8} = 1,33 \text{ А};$$

$$U_6 = I_6 \cdot R_6 = 1,33 \cdot 6 = 7,98 \text{ В}.$$

$$U_{7-9} = U_5 - U_6 = 10,67 - 7,98 = 2,69 \text{ В или } U_{7-9} = I_6 \cdot R_{7-9};$$

$$U_{7-9} = U_7 = U_{89}, \text{ тогда } I_7 = \frac{U_7}{R_7} = \frac{2,69}{4} = 0,67 \text{ А};$$

$$I_8 = I_9 = \frac{U_{89}}{R_{89}} = \frac{2,69}{4} = 0,67 \text{ А или } I_8 = I_6 - I_7.$$

2. Мощность источника

$$P_{\text{ист}} = E \cdot I = 100 \cdot 10 = 1000 \text{ Вт};$$

3. Мощность потребителей

$$P_{\text{пр}} = U \cdot I = 97 \cdot 10 = 970 \text{ Вт};$$

4. КПД источника

$$\eta = \frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{ист}}} = \frac{970}{1000} = 0,97.$$

В простой электрической цепи могут быть заданы сопротивления и напряжение или ток в любом участке цепи, а нужно определить напряжения и токи в остальных участках. В этом случае расчет токов следует начинать с участка, где заданы напряжение или ток.

Например, в схеме (рис. 23) известны все сопротивления и дан ток I_5 .

Тогда последовательность расчета цепи будет следующей:

1. $U_5 = I_5 \cdot R_5$, но $U_5 = U_{6-9}$, тогда

2. $I_6 = \frac{U_5}{R_{6-9}}$;

3. $U_{7-9} = I_6 \cdot R_{7-9}$;

4. $I_7 = \frac{U_{7-9}}{R_7}$;

5. $I_8 = I_6 - I_7$;

6. $U_8 = I_8 \cdot R_8$;

7. $U_9 = I_8 \cdot R_9$;

8. $I_4 = I_6 + I_5$;

9. $U_4 = I_4 \cdot R_4$;

10. $U_3 = U_4 + U_5$;

11. $I_3 = \frac{U_3}{R_3}$;
12. $I = I_3 + I_4 = I_1 = I_2$;
13. $U_1 = I \cdot R_1$;
14. $U_2 = I \cdot R_2$;
15. $U = U_1 + U_2 + U_3$;
16. $E = U + I \cdot r_0$;

Пример 2. Расчет электрической цепи методом наложения токов.

Для цепи (рис. 24) определить токи во всех ветвях, если: $E_1 = 70$ В; $E_2 = 120$ В; $r_{01} = 0,5$ Ом; $r_{02} = 0,6$ Ом; $R_1 = 12$ Ом; $R_2 = 9,4$ Ом; $R_3 = 12$ Ом; $R_4 = 28$ Ом; $R_5 = 14,5$ Ом.

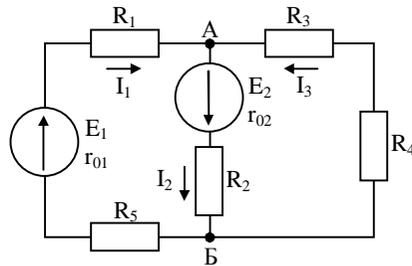


Рис. 24

Разветвленные цепи с несколькими источниками энергии, включенными в разные ветви, являются сложными цепями. Для расчета таких сложных электрических цепей существует ряд методов, один из которых метод наложения. По методу наложения ток в любом участке цепи рассматривается как алгебраическая сумма частных токов, созданных каждой ЭДС в отдельности.

Решение. 1. Определим частные токи от ЭДС E_2 , т. е. рассчитываем простую цепь по рис. 25.

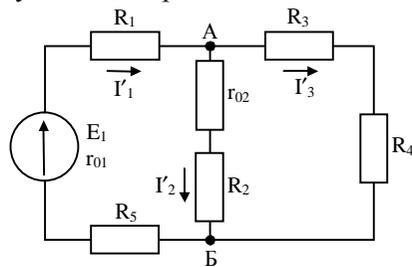


Рис. 25

Показываем направление частных токов от ЭДС E_1 и обозначаем буквой I с одним штрихом (I'). Рассчитываем сначала общее сопротивление цепи:

$R_{34} = R_3 + R_4 = 12 + 28 = 40$ Ом – последовательное соединение;

$R_{2,02} = R_2 + R_{02} = 9,4 + 0,6 = 10$ Ом – последовательное соединение;

$$R_{2,02,3,4} = \frac{R_{34} \cdot R_{2,02}}{R_{34} + R_{2,02}} = \frac{40 \cdot 10}{40 + 10} = 8 \text{ Ом} \quad \text{– параллельное со-}$$

единение;

$$R_{\text{экрв}} = R_1 + R_{2,02,3,4} + R_5 = 12 + 8 + 14,5 = 34,5 \text{ Ом.}$$

$$\text{Ток источника } I'_1 = \frac{E_1}{R_{\text{экрв}} + r_{01}} = \frac{70}{34,5 + 0,5} = 2 \text{ А.}$$

Применяя формулу разброса, вычислим токи ветвей:

$$I'_2 = I'_1 \cdot \frac{R_{34}}{R_{34} + R_{2,02}} = 2 \cdot \frac{40}{40 + 10} = 1,6 \text{ А;}$$

$$I'_3 = I'_1 - I'_2 = 2 - 1,6 = 0,4 \text{ А.}$$

2. Определяем частные токи от ЭДС E_2 при отсутствии ЭДС E_1 , т. е. рассчитываем простую цепь по рис. 26.

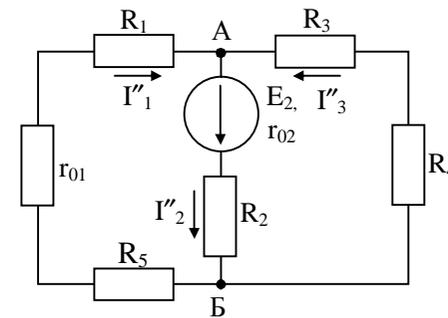


Рис. 26

Показываем направление частных токов от ЭДС E_2 и обозначаем их буквой I с двумя штрихами (I''). Рассчитываем общее сопротивление цепи:

$R_{34} = R_3 + R_4 = 12 + 28 = 40$ Ом – последовательное соединение;

$R_{1,01,5} = R_1 + R_5 + r_{01} = 12 + 14,5 + 0,5 = 27$ Ом – последовательное соединение.

$$R_{1,01,5,3,4} = \frac{R_{1,01,5} \cdot R_{34}}{R_{1,01,5} + R_{34}} = \frac{27 \cdot 40}{27 + 40} = 16,12 \text{ Ом} - \text{параллельное}$$

соединение;

$$R_{\text{экр}} = R_2 + R_{1,01,5,3,4} = 9,4 + 16,12 = 25,52 \text{ Ом.}$$

Ток в ветви с источником E_2

$$I_2'' = \frac{E_2}{R_{\text{экр}} + r_{02}} = \frac{120}{25,52 + 0,6} = 4,59 \text{ А.}$$

Вычисляем токи ветвей

$$I_1'' = I_2'' \cdot \frac{R_{34}}{R_{34} + R_{1,01,5}} = 4,59 \cdot \frac{40}{40 + 27} = 2,74 \text{ А};$$

$$I_3'' = I_2'' - I_1'' = 4,59 - 2,74 = 1,85 \text{ А.}$$

3. Вычисляем токи ветвей в исходной цепи (рис. 24), выполняя алгебраическое сложение частных токов, учитывая их направление

$I_1 = I_1' + I_1'' = 2 + 2,74 = 4,74 \text{ А}$ – частные токи I_1' и I_1'' имеют одинаковое направление;

$I_2 = I_2' + I_2'' = 1,6 + 4,59 = 6,19 \text{ А}$ – частные токи I_2' и I_2'' имеют одинаковое направление;

$I_3 = I_3' - I_3'' = 1,85 - 0,4 = 1,45 \text{ А}$ – частные токи I_3' и I_3'' имеют разное направление.

Направление тока I_3 совпадает с направлением большего частного тока, т. е. I_3'' . Проверим расчет, составив уравнение по первому закону Кирхгофа для узла А:

$$\begin{aligned} I_1 + I_3 &= I_2; \\ 4,74 + 1,45 &= 6,19; \\ 6,19 \text{ А} &= 6,19 \text{ А.} \end{aligned}$$

Наиболее трудной частью в расчетах по методу наложения является вычисление частных токов. Поэтому его применяют при небольшом числе источников – двух, иногда трех.

Пример 3. Расчет электрической цепи методом узлового напряжения.

Методом узлового напряжения можно рассчитать электрическую цепь, содержащую только два узла (при любом числе ветвей).

Произведем расчет цепи рис. 24 методом узлового напряжения с теми же данными.

Решение. 1. Направим токи во всех ветвях условно к одному

узлу (узлу А).

2. Вычислим проводимости ветвей как величины, обратные эквивалентным сопротивлениям ветвей:

$$g_1 = \frac{1}{R_1 + R_5 + r_{01}} = \frac{1}{12 + 14,5 + 0,5} = 0,037 \text{ См};$$

$$g_2 = \frac{1}{R_2 + r_{02}} = \frac{1}{9,4 + 0,6} = 0,1 \text{ См};$$

$$g_3 = \frac{1}{R_3 + R_4} = \frac{1}{12 + 28} = 0,025 \text{ См.}$$

3. Вычисляем напряжение между узлами по формуле

$$U_{\text{АВ}} = \frac{\sum E_n \cdot g_n}{\sum g_n} = \frac{E_1 g_1 - E_2 g_2}{g_1 + g_2 + g_3} = \frac{70 \cdot 0,037 - 120 \cdot 0,1}{0,037 + 0,1 + 0,025} = -58,1 \text{ В.}$$

Так как E_2 действует в обратном направлении условно протекающему току, то перед слагаемым $E_2 \cdot g_2$ нужно поставить знак минус.

4. Вычисляем токи ветвей по формуле

$$I_n = (E_n - U_{\text{АВ}}) \cdot g_n;$$

$$I_1 = (E_1 - U_{\text{АВ}}) \cdot g_1 = (70 + 58,1) \cdot 0,037 = 4,74 \text{ А};$$

$I_2 = (-E_2 - U_{\text{АВ}}) \cdot g_2 = (-120 + 58,1) \cdot 0,1 = -6,19 \text{ А}$ – ток в этой ветви течет от узла А;

$$I_3 = (0 - U_{\text{АВ}}) \cdot g_3 = 58,1 \cdot 0,025 = 1,45 \text{ А.}$$

5. Составим баланс мощностей.

Источники E_1 и E_2 вырабатывают электрическую энергию, так как направления ЭДС и действительного тока в ветвях с источником совпадают, значит

$$\begin{aligned} E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 &= I_1^2 \cdot (R_1 + R_5) + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 (R_3 + R_4) + I_1^2 \cdot r_{01} + I_2^2 \cdot r_{02}; \\ 70 \cdot 4,74 + 120 \cdot 6,19 &= 4,74^2 \cdot (12 + 14,5) + 6,19^2 \cdot 9,4 + \\ &+ 1,45^2 \cdot (12 + 28) + 4,74^2 \cdot 0,5 + 6,19^2 \cdot 0,6; \\ 331,8 + 742,8 &= 595,4 + 360,2 + 84,1 + 11,23 + 22,99; \\ 1074,6 \text{ Вт} &\approx 1073,89 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Метод узлового напряжения очень удобен для расчета цепей, содержащих два узла. Цепи с двумя узлами часто встречаются на практике, и метод двух узлов значительно упрощает их расчет.

Пример 4. Расчет электрической цепи методом узловых и контурных уравнений.

Для цепи на рис. 27 дано: $E_1 = 60$ В; $E_2 = 10$ В; $E_3 = 40$ В; $R_1 = 98$ Ом; $R_2 = 99$ Ом; $R_3 = 8$ Ом; $R_4 = 100$ Ом; $R_5 = 11$ Ом; $r_{01} = 2$ Ом; $r_{02} = r_{03} = 1$ Ом;

Определить токи во всех ветвях.

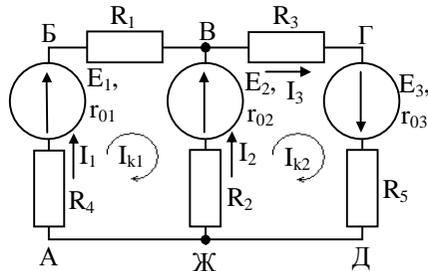


Рис. 27

Решение. Задаемся произвольно направлением токов I_1 , I_2 , I_3 в ветвях.

Этот метод основан на применении первого и второго законов Кирхгофа, не требует никаких преобразований схемы и пригоден для расчета любой цепи.

Составляем систему уравнений, применяя законы Кирхгофа. В системе должно быть столько уравнений, сколько в цепи ветвей (неизвестных токов). В нашей цепи для нахождения трех токов, нужно иметь три уравнения.

Сначала составляем уравнения для узлов по первому закону Кирхгофа. Для цепи с n узлами можно составить $(n - 1)$ независимых уравнений.

У нас два узла (В и Ж), значит уравнений для узлов $n - 1 = 2 - 1 = 1$. Составляем одно уравнение по первому закону Кирхгофа, например, для узла В

$$I_1 + I_2 = I_3.$$

Два недостающих уравнения составим по второму закону Кирхгофа, выбрав для этого контуры АБВЖА и ВГДЖВ (чтобы уравнения были независимыми, в каждый следующий контур должна входить одна новая ветвь, не входящая в предыдущие).

Задаемся обходом каждого контура и составляем уравнения по второму закону Кирхгофа.

Контур АБВЖА (обход по часовой стрелке):

$$E_1 - E_2 = I_1 \cdot (R_1 + R_4 + r_{01}) - I_2 \cdot (R_2 + r_{02}).$$

Контур ВГДЖВ (обход по часовой стрелке):

$$E_2 + E_3 = I_3 \cdot (R_3 + R_5 + r_{03}) + I_2 \cdot (R_2 + r_{02}).$$

ЭДС в контуре берется со знаком (+), если направление ЭДС совпадает с обходом, если не совпадает – знак (-). Падение напряжения на сопротивлении контура берется со знаком (+), если направление тока в нем совпадает с обходом контура, если не совпадает – знак (-).

Мы получим систему из трех уравнений:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3, \\ E_1 - E_2 = I_1 \cdot (R_1 + R_4 + r_{01}) - I_2 \cdot (R_2 + r_{02}), \\ E_2 + E_3 = I_2 \cdot (R_2 + r_{02}) + I_3 \cdot (R_3 + R_5 + r_{03}). \end{cases}$$

Подставляем в систему уравнений значения сопротивлений и ЭДС, получим

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3, \\ 60 - 10 = I_1 \cdot (98 + 100 + 2) - I_2 \cdot (99 + 1), \\ 10 + 40 = I_2 \cdot (99 + 1) + I_3 \cdot (8 + 11 + 1), \text{ т. е.} \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3, \\ 50 = 200I_1 - 100I_2, \\ 50 = 100I_2 + 20I_3. \end{cases}$$

Произведем сокращения

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3, & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1 = 4I_1 - 2I_2, & (2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} 5 = 10I_2 + 2I_3. & (3) \end{cases}$$

Подставим 1-е уравнение в 3-е, получим систему из двух уравнений с двумя неизвестными

$$\begin{cases} 1 = 4I_1 - 2I_2, \\ 5 = 10I_2 + 2(I_1 + I_2), \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1 = 4I_1 - 2I_2 \\ 5 = 2I_1 + 12I_2 \end{cases} \Bigg| \cdot 6$$

$$\begin{cases} 6 = 24I_1 - 12I_2 \\ 5 = 2I_1 + 12I_2 \end{cases} \Bigg| +$$

$$11 = 26I_1$$

$$I_1 = \frac{11}{26} = 0,423 \text{ А.}$$

Подставим $I_1 = 0,423$ в уравнение (2)

$$1 = 4 \cdot 0,423 - 2I_2;$$

$$2I_2 = 4 \cdot 0,423 - 1 = 0,692;$$

$$I_2 = \frac{0,692}{2} = 0,346 \text{ А.}$$

Ток I_3 получаем из уравнения (1)

$$I_3 = I_1 + I_2 = 0,423 + 0,346 = 0,769 \text{ А.}$$

Так как все токи в расчетах получились со знаком (+), следовательно, направления токов в ветвях были выбраны правильно.

Для проверки расчета составим уравнение по второму закону Кирхгофа для контура, не входящего в систему, и подставим в это уравнение полученные значения токов. Возьмем контур АБВГДЖА

$$E_1 + E_3 = I_1 \cdot (R_1 + R_4 + r_{01}) + I_3 \cdot (R_3 + R_5 + r_{03});$$

$$60 + 40 = 0,423 \cdot (98 + 100 + 2) + 0,769 \cdot (8 + 11 + 1);$$

$$100 \text{ В} = 100 \text{ В.}$$

Правая часть равна левой, значит расчет верен.

Пример 5. Расчет электрической цепи методом контурных токов.

Для цепи (рис. 27), расчет которой выполнен в предыдущей задаче, определить токи ветвей методом контурных токов при тех же данных цепи.

Метод контурных токов основан на использовании только второго закона Кирхгофа. Это позволяет уменьшить число уравнений в системе.

Достигается это делением схемы на ячейки (независимые контуры) и введением для каждого контура-ячейки своего тока – контурного тока, являющегося расчетной величиной.

Так в заданной цепи (рис. 27) можно рассмотреть два контура-ячейки (АБВЖА и ВГДЖВ) и ввести для них контурные токи $I_{к1}$ и $I_{к2}$.

Контурные ячейки имеют ветви, не входящие в другие контуры, – это внешние ветви. В этих ветвях контурные токи являются действительными токами ветвей.

Ветви, принадлежащие двум смежным контурам, называются смежными ветвями. В смежных ветвях действительный ток

равен алгебраической сумме контурных токов смежных контуров, учитывая их направление.

При составлении уравнений по второму закону Кирхгофа в левой части равенства алгебраически суммируются ЭДС источников, входящих в контурную ячейку, в правой части равенства алгебраически суммируются напряжения на сопротивлениях, входящих в контур-ячейку, учитывая также напряжение на сопротивлениях смежной ветви, определяемое по контурному току соседнего контура.

Решение. Стрелками указывается выбранное направление контурных токов $I_{к1}$ и $I_{к2}$ в контурах-ячейках. Направление обхода контуров принимаются такими же.

Составим уравнения и решим систему уравнений

$$\begin{cases} E_1 - E_2 = I_{к1} \cdot (R_1 + R_4 + r_{01} + R_2 + r_{02}) - I_{к2} \cdot (R_2 + r_{02}), \\ E_2 + E_3 = I_{к2} \cdot (R_2 + r_{02} + R_3 + R_5 + r_{03}) - I_{к1} \cdot (R_2 + r_{02}). \end{cases}$$

Подставляем численные значения ЭДС и сопротивлений

$$\begin{cases} 60 - 10 = I_{к1} \cdot (98 + 100 + 2 + 99 + 1) - I_{к2} \cdot (99 + 1), \\ 10 + 40 = I_{к2} \cdot (99 + 1 + 8 + 11 + 1) - I_{к1} \cdot (99 + 1), \end{cases}$$

$$\text{или} \begin{cases} 50 = 300I_{к1} - 100I_{к2}, \\ 50 = 120I_{к2} - 100I_{к1}. \end{cases}$$

Сократим

$$\begin{cases} 5 = 30I_{к1} - 10I_{к2}, \\ 5 = -10I_{к1} + 12I_{к2}, \end{cases} \cdot 3$$

$$\begin{cases} 5 = 30I_{к1} - 10I_{к2}, \\ 15 = -30I_{к1} + 36I_{к2}, \end{cases} \Bigg| + \Rightarrow I_{к2} = \frac{20}{26} = 0,769 \text{ А.}$$

Подставляем значение $I_{к2} = 0,769$ в уравнение

$$5 = 30I_{к1} - 7,69;$$

$$I_{к1} = \frac{5 + 7,69}{30} = 0,423 \text{ А.}$$

Тогда действительные токи ветвей:

$$I_1 = I_{к1} = 0,423 \text{ А}; I_3 = I_{к2} = 0,769 \text{ А};$$

$$I_2 = I_{к2} - I_{к1} = 0,769 - 0,423 = 0,346 \text{ А.}$$

Действительные токи получились такими же, как и в предыдущем расчете.

Пример 6. Расчет электрической цепи методом эквивалентного генератора.

В цепи (рис. 27) методом эквивалентного генератора определить ток в сопротивлении R_3 . Данные для расчета взять из примера 4.

Метод эквивалентного генератора используется для исследования работы какого-либо участка в сложной электрической цепи.

Для решения задачи методом эквивалентного генератора разделим электрическую цепь на две части: потребитель (это сопротивление R_3 , в котором требуется определить величину тока), и эквивалентный генератор (это остальная часть цепи, которая для потребителя служит источником электрической энергии, т. е. генератором). Получается схема замещения (рис. 28).

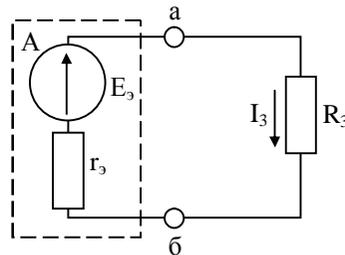


Рис. 28

Решение. В схеме (рис. 28) искомый ток I_3 определим по закону Ома для полной цепи:

$$I_3 = \frac{E_3}{R_3 + r_3},$$

где E_3 – ЭДС эквивалентного генератора, ее величину определяют как напряжение на зажимах генератора в режиме холостого хода $E_3 = U_{xx}$;

r_3 – внутреннее сопротивление эквивалентного генератора, его величина рассчитывается как эквивалентное сопротивление пассивного двухполюсника относительно исследуемых зажимов.

Изображаем схему (рис. 29) эквивалентного генератора в режиме холостого хода, т. е. при отключенном потребителе R_3 от зажимов а и б.

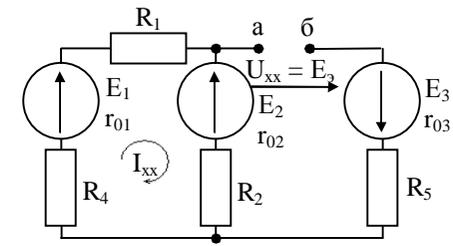


Рис. 29

В этой схеме есть контур, в котором протекает ток режима холостого хода. Определим его величину.

$$I_{xx} = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_4 + r_{01} + r_{02}} = \frac{60 - 10}{98 + 99 + 100 + 2 + 1} = 0,167 \text{ A.}$$

Зная I_{xx} и величины сопротивлений, можно определить разность потенциалов между клеммами а и б. Для этого потенциал точки б будем считать известным и вычислим потенциал точки а:

$$j_a = j_b + E_3 + I_{xx}(R_2 + r_{02}) + E_2,$$

$$\text{тогда } U_{xx} = j_a - j_b = E_2 + E_3 + I_{xx}(R_2 + r_{02}) = 40 + 10 + 0,167 \cdot (99 + 1) = 66,7 \text{ В;}$$

$$E_3 = U_{xx} = 66,7 \text{ В.}$$

Для расчета внутреннего сопротивления эквивалентного генератора r_3 , нужно превратить двухполюсник в пассивный (рис. 30).

ЭДС E_1, E_2, E_3 из схемы исключают, внутренние сопротивления этих источников r_{01}, r_{02}, r_{03} остаются в схеме.

Вычисляем эквивалентное сопротивление схемы (рис. 30) относительно зажимов а и б.

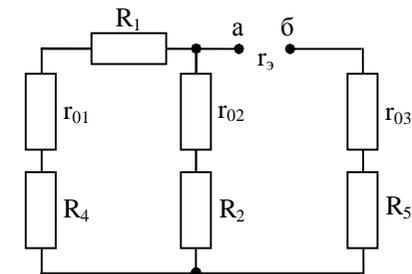


Рис. 30

$$r_3 = R_5 + r_{03} + \frac{(R_1 + R_4 + r_{01}) \cdot (R_2 + r_{02})}{R_1 + R_2 + R_4 + r_{02} + r_{01}}$$

$$r_3 = 11 + 1 + \frac{(98 + 100 + 2) \cdot (99 + 1)}{98 + 100 + 2 + 99 + 1} = 78,67 \text{ Ом.}$$

Зная ЭДС и внутреннее сопротивление эквивалентного генератора, вычислим ток в исследуемой ветви:

$$I_3 = \frac{E_3}{R_3 + r_3} = \frac{66,7}{8 + 78,67} = 0,769 \text{ А.}$$

Пример 7. Расчет неразветвленной цепи переменного тока.

В неразветвленной цепи переменного тока (рис. 31) определить полное сопротивление, ток в цепи, напряжение на зажимах цепи, угол сдвига фаз между напряжением и током, мощности P , Q , S . Построить в масштабе топографическую векторную диаграмму. Определить на диаграмме графически, а также аналитически напряжение U_1 . Найти частоту, при которой в данной цепи возможен резонанс напряжений.

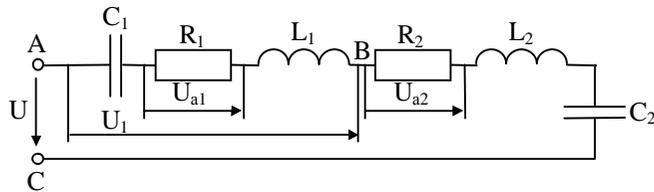


Рис. 31

Дано: $R_1 = 5 \text{ Ом}$, $L_1 = 19,1 \text{ мГн}$, $C_1 = 800 \text{ мкФ}$, $R_2 = 3 \text{ Ом}$, $L_2 = 12,7 \text{ мГн}$, $C_2 = 318 \text{ мкФ}$, $U_{a1} = 10 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$.

Определить: Z , I , U , P , Q , S , $f_{\text{рез}}$, j . Построить векторную диаграмму цепи.

Решение. 1. Вычисляем реактивные сопротивления:

$$X_{L1} = \omega L_1 = 2\pi f L_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 19,1 \cdot 10^{-3} = 6 \text{ Ом};$$

$$X_{L2} = \omega L_2 = 2\pi f L_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 12,7 \cdot 10^{-3} = 4 \text{ Ом};$$

$$X_{C1} = \frac{1}{\omega C_1} = \frac{1}{2\pi f C_1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 800 \cdot 10^{-6}} = 4 \text{ Ом};$$

$$X_{C2} = \frac{1}{\omega C_2} = \frac{1}{2\pi f C_2} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 318 \cdot 10^{-6}} = 10 \text{ Ом.}$$

2. Вычисляем полное сопротивление цепи Z и участка цепи Z_1

пользуясь формулой:

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

В нашем случае:

$$Z = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_{L1} + X_{L2} - X_{C1} - X_{C2})^2} =$$

$$= \sqrt{(5 + 3)^2 + (6 + 4 - 4 - 10)^2} = 8,94 \text{ Ом};$$

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + (X_{L1} - X_{C1})^2} = \sqrt{5^2 + (6 - 4)^2} = \sqrt{5^2 + 2^2} =$$

$$= 5,39 \text{ Ом.}$$

3. Вычисляем ток в цепи:

$$I = \frac{U_{a1}}{R_1} = \frac{10}{5} = 2 \text{ А.}$$

4. Вычисляем напряжение на каждом элементе, подведенное к цепи и на участке АВ:

$$U_{C1} = I \cdot X_{C1} = 2 \cdot 4 = 8 \text{ В}; \quad U_{a2} = I \cdot R_2 = 2 \cdot 3 = 6 \text{ В};$$

$$U_{L1} = I \cdot X_{L1} = 2 \cdot 6 = 12 \text{ В}; \quad U_{L2} = I \cdot X_{L2} = 2 \cdot 4 = 8 \text{ В};$$

$$U_{C2} = I \cdot X_{C2} = 2 \cdot 10 = 20 \text{ В}; \quad U_{a1} = 10 \text{ В (по условию).}$$

Напряжение, подведенное к цепи:

$$U = I \cdot Z = 2 \cdot 8,94 = 17,88 \text{ В или}$$

$$U = \sqrt{(U_{a1} + U_{a2})^2 + (U_{L1} + U_{L2} - U_{C1} - U_{C2})^2} =$$

$$= \sqrt{(10 + 6)^2 + (12 + 8 - 8 - 20)^2} = 17,88 \text{ В.}$$

Напряжение на участке АВ:

$$U_1 = I \cdot Z_1 = 2 \cdot 5,39 = 10,78 \text{ В или}$$

$$U_1 = \sqrt{U_{a1}^2 + (U_{L1} - U_{C1})^2} = \sqrt{10^2 + (12 - 8)^2} = 10,78 \text{ В.}$$

5. Вычисляем угол сдвига фаз между напряжением и током цепи из любого из треугольников: напряжений, сопротивлений или мощностей.

$$\sin j = \frac{U_p}{U} = \frac{X}{Z} = \frac{Q}{S},$$

$$\cos j = \frac{U_a}{U} = \frac{R}{Z} = \frac{P}{S},$$

$$\operatorname{tg} j = \frac{U_p}{U_a} = \frac{X}{R} = \frac{Q}{P}.$$

Для нашей цепи вычисляем через $\operatorname{tg} j$

$$\operatorname{tg} j = \frac{x_{L1} + x_{L2} - x_{C1} - x_{C2}}{R_1 + R_2} = \frac{6 + 4 - 4 - 10}{5 + 3} = -0,5.$$

$$j = \operatorname{arctg}(-0,5) = -26,5^\circ.$$

Знак (-) говорит о том, что электрическая цепь, в целом, носит емкостной характер.

6. Вычисляем мощность каждого элемента:

$$P_1 = U_{a1} \cdot I = I^2 R_1 = 10 \cdot 2 = 20 \text{ Вт};$$

$$P_2 = U_{a2} \cdot I = I^2 R_2 = 6 \cdot 2 = 12 \text{ Вт};$$

$$Q_{L1} = U_{L1} I = I^2 X_{L1} = 12 \cdot 2 = 24 \text{ вар};$$

$$Q_{L2} = U_{L2} I = I^2 X_{L2} = 8 \cdot 2 = 16 \text{ вар};$$

$$Q_{C1} = U_{C1} I = I^2 X_{C1} = 8 \cdot 2 = 16 \text{ вар};$$

$$Q_{C2} = U_{C2} I = I^2 X_{C2} = 20 \cdot 2 = 40 \text{ вар}.$$

7. Вычисляем активную, реактивную и полную мощности цепи:

$$P = P_1 + P_2 = U \cdot I \cdot \cos j = 20 + 12 = 17,88 \cdot 2 \cdot \cos(-26,5^\circ) = 32 \text{ Вт} - \text{активная мощность};$$

$$Q = Q_{L1} + Q_{L2} - Q_{C1} - Q_{C2} = U \cdot I \cdot \sin j = 24 + 16 - 16 - 40 = 17,88 \cdot 2 \sin(-26,5^\circ) = -16 \text{ вар} - \text{реактивная мощность};$$

$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2} = 17,88 \cdot 2 = \sqrt{32^2 + (-16)^2} = 35,76 \text{ В} \cdot \text{А} - \text{полная мощность}.$$

8. Вычисляем частоту, при которой в цепи возможен резонанс напряжений:

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}},$$

$$\text{где } L = L_1 + L_2 = 19,1 + 12,7 = 31,8 \text{ мГн};$$

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{800 \cdot 318}{800 + 318} = 227,5 \text{ мкФ},$$

$$\text{тогда } f_{\text{рез}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{31,8 \cdot 10^{-3} \cdot 228,5 \cdot 10^{-6}}} = 59,2 \text{ Гц}.$$

9. Строим топографическую векторную диаграмму (рис. 32, а). Для этого в последовательной цепи задаемся вектором тока без

масштаба (так как ток одинаков) и складываем векторы напряжений в определенном масштабе в той последовательности, в которой произведено соединение элементов в цепи. Выбираем масштаб по напряжению $M_U = 4 \text{ В/см}$. Определяем длину векторов.

$$l_{U_{a1}} = \frac{U_{a1}}{M_U} = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ см}; \quad l_{U_{a2}} = \frac{U_{a2}}{M_U} = \frac{6}{4} = 1,5 \text{ см};$$

$$l_{U_{L1}} = \frac{U_{L1}}{M_U} = \frac{12}{4} = 3 \text{ см}; \quad l_{U_{L2}} = \frac{U_{L2}}{M_U} = \frac{8}{4} = 2 \text{ см};$$

$$l_{U_{C1}} = \frac{U_{C1}}{M_U} = \frac{8}{4} = 2 \text{ см}; \quad l_{U_{C2}} = \frac{U_{C2}}{M_U} = \frac{20}{4} = 5 \text{ см}.$$

При сложении векторов напряжений учитываем, что на активной нагрузке ток и напряжение совпадают по фазе, на индуктивности напряжение опережает ток по фазе на 90° , на емкости – напряжение отстает от тока на 90° . Начало первого вектора и конец последнего вектора дают нам вектор общего напряжения, подведенного к цепи.

Диаграммы сопротивлений и мощностей приведены на рис. 32, б и 32, в.

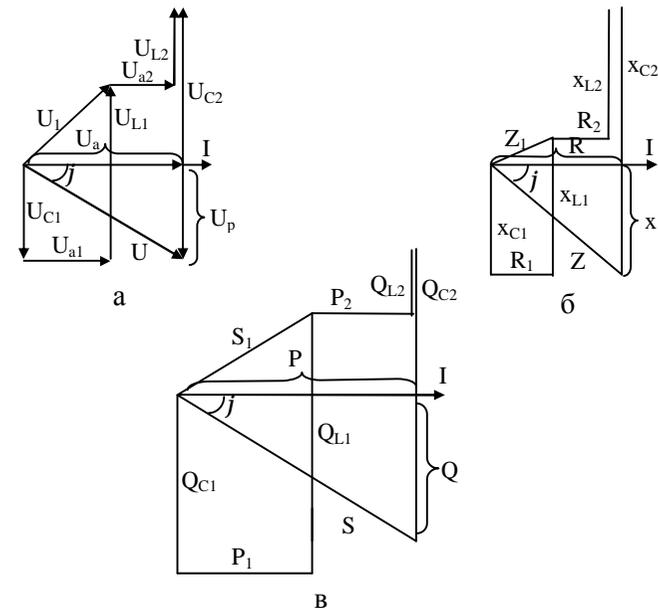


Рис. 32

Пример 8. Расчет разветвленной цепи переменного тока.

Для разветвленной цепи переменного тока (рис. 33) определить общий ток, токи ветвей, активную, реактивную и полную мощность каждой ветви и всей цепи, углы сдвига фаз между напряжением и током каждой ветви и всей цепи, если дано: $R_1 = 8 \text{ Ом}$, $x_{L1} = 12 \text{ Ом}$, $x_{C1} = 6 \text{ Ом}$, $R_2 = 12 \text{ Ом}$, $x_{C2} = 16 \text{ Ом}$, $U = 40 \text{ В}$.

Построить векторную диаграмму цепи.

Определить: I , I_1 , I_2 , P , P_1 , P_2 , Q , Q_1 , Q_2 , S , S_1 , S_2 , j , j_1 , j_2 .

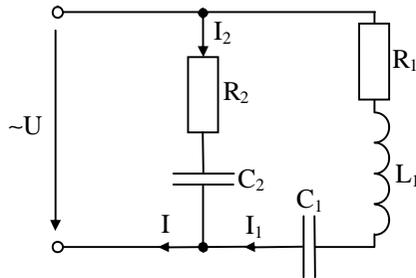


Рис. 33

1. Графоаналитический метод расчета

Решение. 1. Вычисляем сопротивление ветвей:

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + (x_{L1} - x_{C1})^2} = \sqrt{8^2 + (6 - 12)^2} = 10 \text{ Ом},$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + x_{C2}^2} = \sqrt{12^2 + 16^2} = 20 \text{ Ом}.$$

2. Вычисляем токи ветвей:

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{40}{10} = 4 \text{ А},$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{40}{20} = 2 \text{ А}.$$

3. Вычисляем активные и реактивные составляющие токов ветвей:

$$I_{a1} = I_1 \cos j_1 = I_1 \cdot \frac{R_1}{Z_1} = 4 \cdot \frac{8}{10} = 4 \cdot 0,8 = 3,2 \text{ А},$$

$$I_{a2} = I_2 \cos j_2 = I_2 \cdot \frac{R_2}{Z_2} = 2 \cdot \frac{12}{20} = 2 \cdot 0,6 = 1,2 \text{ А},$$

$$I_{p1} = I_1 \sin j_1 = I_1 \cdot \frac{x_{L1} - x_{C1}}{Z_1} = 4 \cdot \frac{12 - 6}{10} = 4 \cdot 0,6 = 2,4 \text{ А},$$

$$I_{p2} = I_2 \sin j_2 = I_2 \cdot \frac{-x_{C1}}{Z_2} = -2 \cdot \frac{16}{20} = -2 \cdot 0,8 = -1,6 \text{ А}.$$

4. Активная составляющая общего тока:

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} = 3,2 + 1,2 = 4,4 \text{ А}.$$

5. Реактивная составляющая общего тока:

$$I_p = I_{p1} - I_{p2} = 2,4 - 1,6 = 0,8 \text{ А}.$$

6. Общий ток цепи:

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} = \sqrt{4,4^2 + 0,8^2} = 4,48 \text{ А}.$$

7. Вычисляем активные, реактивные и полные мощности ветвей:

$$P_1 = UI_1 \cos j_1 = UI_{a1} = 40 \cdot 3,2 = 128 \text{ Вт};$$

$$P_2 = UI_2 \cos j_2 = UI_{a2} = 40 \cdot 1,2 = 48 \text{ Вт};$$

$$Q_1 = UI_1 \sin j_1 = UI_{p1} = 40 \cdot 2,4 = 96 \text{ вар};$$

$$Q_2 = UI_2 \sin j_2 = UI_{p2} = 40 \cdot (-1,6) = -64 \text{ вар};$$

$$S_1 = UI_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} = 40 \cdot 4 = 160 \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$S_2 = UI_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = 40 \cdot 2 = 80 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

8. Вычисляем активную, реактивную и полную мощности цепи.

Активная мощность:

$$P = P_1 + P_2 = UI \cos j = 128 + 48 = 176 \text{ Вт}.$$

Реактивная мощность:

$$Q = Q_1 + Q_2 = UI \sin j = 96 - 64 = 32 \text{ вар}.$$

Полная мощность:

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} = 40 \cdot 4,48 = 179,2 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

9. Вычисляем углы сдвига фаз между током и напряжением каждой ветви и всей цепи:

$$j_1 = \arctg \frac{x_{L1} - x_{C1}}{R_1} = \arctg \frac{12 - 6}{8} = \arctg 0,75 = 37^\circ;$$

$$j_2 = \arctg \frac{-x_{C1}}{R_2} = \arctg \frac{-16}{12} = \arctg(-1,33) = -53^\circ;$$

$$j = \operatorname{arctg} \frac{I_p}{I_a} = \operatorname{arctg} \frac{0,8}{4,4} = \operatorname{arctg} 0,18 = 10^\circ.$$

2. Метод проводимостей

Решение. 1. Вычисляем активные проводимости ветвей:

$$g_1 = \frac{R_1}{Z_1^2} = \frac{8}{10^2} = 0,08 \text{ См};$$

$$g_2 = \frac{R_2}{Z_2^2} = \frac{12}{20^2} = 0,03 \text{ См}.$$

2. Вычисляем активные составляющие токов ветвей:

$$I_{a1} = U \cdot g_1 = 40 \cdot 0,08 = 3,2 \text{ А},$$

$$I_{a2} = U \cdot g_2 = 40 \cdot 0,03 = 1,2 \text{ А}.$$

3. Вычисляем реактивные проводимости ветвей:

$$b_1 = \frac{x_{L1} - x_{C1}}{Z_1^2} = \frac{12 - 6}{10^2} = 0,06 \text{ См};$$

$$b_2 = \frac{-x_{C1}}{Z_2^2} = \frac{-16}{20^2} = -0,04 \text{ См}.$$

4. Вычисляем реактивные составляющие токов ветвей:

$$I_{p1} = U \cdot b_1 = 40 \cdot 0,06 = 2,4 \text{ А};$$

$$I_{p2} = U \cdot b_2 = 40 \cdot (-0,04) = -1,6 \text{ А}.$$

5. Активная проводимость цепи:

$$g = g_1 + g_2 = 0,08 + 0,03 = 0,11 \text{ См}.$$

6. Реактивная проводимость цепи:

$$b = b_1 + b_2 = 0,06 - 0,04 = 0,02 \text{ См}.$$

7. Полная проводимость цепи:

$$y = \sqrt{g^2 + b^2} = \sqrt{0,11^2 + 0,02^2} = 0,112 \text{ См}.$$

8. Общий ток цепи:

$$I = U \cdot y = 40 \cdot 0,112 = 4,48 \text{ А}.$$

9. Полные проводимости ветвей:

$$y_1 = \sqrt{g_1^2 + b_1^2} = \sqrt{0,08^2 + 0,06^2} = 0,1 \text{ См};$$

$$y_2 = \sqrt{g_2^2 + b_2^2} = \sqrt{0,03^2 + (-0,04)^2} = 0,05 \text{ См}.$$

10. Токи ветвей:

$$I_1 = U \cdot y_1 = 40 \cdot 0,1 = 4 \text{ А};$$

$$I_2 = U \cdot y_2 = 40 \cdot 0,05 = 2 \text{ А}.$$

11. Активная мощность ветвей и всей цепи:

$$P_1 = U^2 \cdot g_1 = 40^2 \cdot 0,08 = 128 \text{ Вт};$$

$$P_2 = U^2 \cdot g_2 = 40^2 \cdot 0,03 = 48 \text{ Вт};$$

$$P = P_1 + P_2 = 128 + 48 = 176 \text{ Вт}.$$

12. Реактивная мощность ветвей и всей цепи:

$$Q_1 = U^2 \cdot b_1 = 40^2 \cdot 0,06 = 96 \text{ вар};$$

$$Q_2 = U^2 \cdot b_2 = 40^2 \cdot (-0,04) = -64 \text{ вар};$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 96 - 64 = 32 \text{ вар}.$$

13. Полная мощность ветвей и всей цепи:

$$S_1 = U^2 \cdot y_1 = 40^2 \cdot 0,1 = 160 \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$S_2 = U^2 \cdot y_2 = 40^2 \cdot 0,05 = 80 \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$S = U^2 \cdot y = 40^2 \cdot 0,112 = 179,2 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

14. Вычисляем углы сдвига фаз между током и напряжением каждой ветви и всей цепи:

$$j_1 = \operatorname{arctg} \frac{b_1}{g_1} = \operatorname{arctg} \frac{0,06}{0,08} = 37^\circ;$$

$$j_2 = \operatorname{arctg} \frac{b_2}{g_2} = \operatorname{arctg} \frac{-0,04}{0,03} = -53^\circ;$$

$$j = \operatorname{arctg} \frac{b}{g} = \operatorname{arctg} \frac{0,02}{0,11} = 10^\circ.$$

15. Строим векторную топографическую диаграмму (рис. 34, а). При этом задаемся вектором напряжения без масштаба (так как напряжение на ветвях одинаково при параллельном соединении) и складываем векторы токов в определенном масштабе.

Выбираем масштаб по току $M_I = 0,8 \text{ А/см}$. Определяем длину векторов:

$$l_{I_{a1}} = \frac{I_{a1}}{M_I} = \frac{3,2}{0,8} = 4 \text{ см}; \quad l_{I_{a2}} = \frac{I_{a2}}{M_I} = \frac{1,2}{0,8} = 1,5 \text{ см};$$

$$l_{I_{p1}} = \frac{I_{p1}}{M_I} = \frac{2,4}{0,8} = 3 \text{ см}; \quad l_{I_{p2}} = \frac{I_{p2}}{M_I} = \frac{1,6}{0,8} = 2 \text{ см};$$

$$l_{I_1} = \frac{I_1}{M_I} = \frac{4}{0,8} = 5 \text{ см}; \quad l_{I_2} = \frac{I_2}{M_I} = \frac{2}{0,8} = 2,5 \text{ см};$$

$$I_1 = \frac{I}{M_1} = \frac{4,48}{0,8} = 5,6 \text{ см.}$$

При сложении векторов токов учитываем, что активная составляющая тока совпадает с напряжением по фазе, реактивная индуктивная составляющая тока отстает от напряжения на 90° , реактивная емкостная составляющая тока опережает напряжение на 90° .

Треугольники проводимостей и мощностей приведены на рис. 34, б и 34, в.

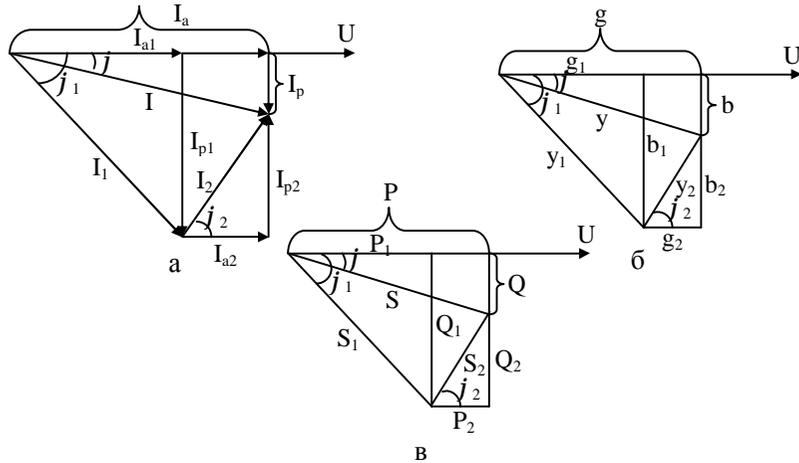


Рис. 34

Пример 9. Расчет линейной электрической цепи при не-синусоидальном напряжении на ее входе.

Катушка с активным сопротивлением $R = 18 \text{ Ом}$ и индуктивностью $L = 0,0383 \text{ Гн}$ соединена последовательно с конденсатором $C = 88,5 \text{ мкФ}$ (рис. 35). На зажимах цепи действует напряжение $u = 200 + 300\sin 314t + 150\sin(3 \cdot 314t + 20^\circ)$, В.

Найти выражение мгновенных значений и действующие значения тока, напряжений на катушке и конденсаторе. Определить активную мощность в цепи.

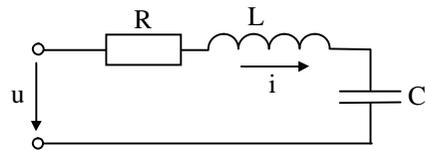


Рис. 35

Решение. Сопротивление цепи для постоянной составляющей тока равно бесконечности, так как в цепи имеется конденсатор. Постоянная составляющая тока равна нулю: $I_0 = 0$;

Сопротивление цепи для первой гармоники:

$$R = 18 \text{ Ом};$$

$$X_{iL} = \omega L = 314 \cdot 0,0383 = 12 \text{ Ом};$$

$$X_{iC} = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{10^6}{314 \cdot 88,5} = 36 \text{ Ом};$$

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + (X_{iL} - X_{iC})^2} = \sqrt{18^2 + (12 - 36)^2} = 30 \text{ Ом.}$$

Реактивное сопротивление тока первой гармоники имеет емкостной характер:

$$\cos j_1 = \frac{R}{Z_1} = \frac{18}{30} = 0,6; j_1 = -53^\circ.$$

Амплитуда тока первой гармоники:

$$I_{1m} = \frac{U_{1m}}{Z_1} = \frac{300}{30} = 10 \text{ А.}$$

Сопротивление цепи для третьей гармоники:

$$Z_3 = \sqrt{R^2 + (X_{3L} - X_{3C})^2} = \sqrt{R^2 + \left(X_{iL} \cdot 3 - \frac{X_{iC}}{3} \right)^2} = \sqrt{18^2 + \left(12 \cdot 3 - \frac{36}{3} \right)^2} = 30 \text{ Ом.}$$

Реактивное сопротивление тока третьей гармоники имеет индуктивный характер:

$$\cos j_3 = \frac{R}{Z_3} = \frac{18}{30} = 0,6; j_3 = 53^\circ.$$

Амплитуда тока третьей гармоники:

$$I_{3m} = \frac{U_{3m}}{Z_3} = \frac{150}{30} = 5 \text{ А.}$$

Действующие величины токов для первой и третьей гармоник:

$$I_1 = \frac{I_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} = 7,1 \text{ А}; I_3 = \frac{I_{3m}}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3,55 \text{ А,}$$

а общего тока

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots} = \sqrt{0 + 7,1^2 + 3,55^2} = 7,95 \text{ A.}$$

Уравнение общего тока:

$$i = 10\sin(314t + 53^\circ) + 5\sin(3 \cdot 314t + 20^\circ - 53^\circ) = 10\sin(314t + 53^\circ) + 5\sin(3 \cdot 314t - 33^\circ) \text{ A.}$$

Для определения напряжения на катушке найдем сопротивление катушки токам первой и третьей гармоник:

$$Z_{1k} = \sqrt{R^2 + X_{1L}^2} = \sqrt{18^2 + 12^2} = 21,6 \text{ Ом};$$

$$Z_{3k} = \sqrt{R^2 + X_{3L}^2} = \sqrt{18^2 + (12 \cdot 3)^2} = 40,3 \text{ Ом};$$

$$\cos j_{1k} = \frac{R}{Z_{1k}} = \frac{18}{21,6} = 0,834, j_{1k} = 34^\circ;$$

$$\cos j_{3k} = \frac{R}{Z_{3k}} = \frac{18}{40,3} = 0,447, j_{3k} = 63^\circ.$$

Амплитуды первой и третьей гармоник напряжения на катушке:

$$U_{1mk} = I_{1mk} Z_{1k} = 10 \cdot 21,6 = 216 \text{ В};$$

$$U_{3mk} = I_{3mk} Z_{3k} = 5 \cdot 40,3 = 201,5 \text{ В}.$$

Уравнение напряжения на катушке:

$$u_k = 216\sin(314t + 53^\circ + 34^\circ) + 201,5\sin(3 \cdot 314t - 33^\circ + 63^\circ);$$

$$u_k = 216\sin(314t + 87^\circ) + 201,5\sin(3 \cdot 314t + 30^\circ).$$

Напряжение на конденсаторе состоит из постоянной составляющей, первой и третьей гармоник. Постоянная составляющая напряжения на конденсаторе равна постоянной составляющей напряжения сети, как напряжение между точками разрыва цепи:

$$U_{0C} = U_0 = 200 \text{ В}.$$

Первая гармоника:

$$U_{1mC} = I_{1m} X_{1C} = 10 \cdot 36 = 360 \text{ В}.$$

Третья гармоника:

$$U_{3mC} = I_{3m} X_{3C} = 5 \cdot \frac{36}{3} = 60 \text{ В}.$$

Уравнение напряжения на конденсаторе:

$$u_C = 200 + 360\sin(314t + 53^\circ - 90^\circ) +$$

$$+ 60\sin(3 \cdot 314t - 33^\circ - 90^\circ);$$

$$u_C = 200 + 360\sin(314t - 37^\circ) + 60\sin(3 \cdot 314t - 123^\circ).$$

Действующие напряжения на катушке и конденсаторе:

$$U_k = \sqrt{\left(\frac{U_{1mk}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{U_{3mk}}{\sqrt{2}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{216}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{201,5}{\sqrt{2}}\right)^2} = 210 \text{ В},$$

$$U_C = \sqrt{U_{0C}^2 + U_{1C}^2 + U_{3C}^2} = \sqrt{200^2 + \left(\frac{360}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{60}{\sqrt{2}}\right)^2} = 326 \text{ В}.$$

Активная мощность в цепи:

$$P = P_0 + P_1 + P_3;$$

$$P_0 = U_0 I_0 = 200 \cdot 0 = 0;$$

$$P_1 = U_1 I_1 \cos j_1 = \frac{300}{\sqrt{2}} \cdot \frac{10}{\sqrt{2}} \cdot 0,6 = 900 \text{ Вт};$$

$$P_3 = U_3 I_3 \cos j_3 = \frac{150}{\sqrt{2}} \cdot \frac{5}{\sqrt{2}} \cdot 0,6 = 225 \text{ Вт};$$

$$P = 900 + 225 = 1125 \text{ Вт}.$$

5. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. Электрическая энергия, ее свойства и применение. Понятие о производстве и распределении электрической энергии. Электрификация народного хозяйства и ее значение.
2. Электрическое поле. Закон Кулона, диэлектрическая проницаемость. Напряженность электрического поля.
3. Потенциал электрического поля. Электрическое напряжение. Проводники в электрическом поле. Электростатическая индукция.
4. Электрический ток проводимости. Закон Ома для участка цепи. Электрическое сопротивление, проводимость. Зависимость сопротивления от температуры, явление сверхпроводимости.
5. ЭДС источника, его мощность и КПД. Краткие сведения об источниках энергии. Преобразование электрической энергии в другие виды. Работа и мощность электрического тока.
6. Закон Ома для электрической цепи. Работа источника в режиме генератора и потребителя. Баланс мощностей.
7. Понятие о режимах электрической цепи и ее элементах: режимы номинальный, рабочий, холостого хода, короткого замыкания.
8. Схемы замещения источников напряжения и тока, идеальные

- источники тока и напряжения. Понятия о пассивных и активных элементах электрической цепи.
9. Элементы схем электрических цепей: ветвь, узел, контур. Законы Кирхгофа.
 10. Последовательное соединение сопротивлений. Неразветвленная электрическая цепь с несколькими источниками ЭДС. Потенциальная диаграмма.
 11. Параллельное и смешанное соединение сопротивлений. Расчет цепей методом «свертывания».
 12. Понятие соединений пассивных элементов треугольником и звездой. Взаимное преобразование треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду.
 13. Расчет сложных цепей методом узлового напряжения.
 14. Расчет сложных цепей методом наложения.
 15. Расчет электрических цепей методом узловых и контурных уравнений. Метод контурных токов.
 16. Понятие об активном и пассивном двухполосниках. Метод эквивалентного генератора.
 17. Нелинейные электрические цепи постоянного тока. Графический и графоаналитический методы расчета.
 18. Диэлектрики в электрическом поле. Поляризация диэлектрика; понятие об электрическом пробое и электрической прочности его.
 19. Электрическая емкость. Емкость плоского конденсатора. Соединение конденсаторов.
 20. Магнитное поле электрического тока. Закон Ампера и Био-Савара, магнитная индукция.
 21. Применение закона Био-Савара к расчету магнитных полей (поле кольцевого и прямолинейного провода с током).
 22. Понятие о циркуляции вектора магнитной индукции и полном токе. Закон полного тока и его практическое применение.
 23. Электромагнитные силы, работа этих сил. Магнитный поток, потокосцепление.
 24. Индуктивность, взаимоиנדуктивность.
 25. Вычисление индуктивностей цилиндрической и кольцевой катушек.
 26. Магнитные свойства вещества. Свойство ферромагнитных материалов. Намагничивание и циклическое перемагничивание ферромагнитных материалов. Магнитная проницаемость.
 27. Энергия электрического поля конденсатора. Энергия в заданном объеме.
 28. Энергия магнитного поля. Энергия в системе взаимосвязанных контуров с токами.
 29. ЭДС самоиндукции и взаимоиנדукции. Вихревые токи.
 30. Получение синусоидальной ЭДС. Основные характеристики синусоидальных величин. Уравнение синусоидальных ЭДС и тока.
 31. Способы выражения синусоидальных величин. Сложение и вычитание синусоидальных величин. Векторные диаграммы.
 32. Действующее значение синусоидальных величин.
 33. Среднее значение синусоидального тока. Коэффициенты формы и амплитуды кривых.
 34. Цепь переменного тока с активным сопротивлением. Поверхностный эффект и эффект близости.
 35. Цепь переменного тока с индуктивностью (идеальная катушка).
 36. Цепь переменного тока с емкостью (идеальный конденсатор).
 37. Цепь переменного тока с активным сопротивлением и индуктивностью.
 38. Цепь переменного тока с активным сопротивлением и емкостью.
 39. Схемы замещения реальной катушки и реального конденсатора с параллельным соединением активного и реактивного элементов.
 40. Цепь переменного тока с активным сопротивлением, индуктивностью и емкостью.
 41. Цепь переменного тока с произвольным числом активных и реактивных элементов. Топографическая диаграмма.
 42. Параллельное соединение катушки и конденсатора. Графоаналитический метод расчета.
 43. Расчет разветвленных цепей переменного тока методом проводимостей. Расчет методом проводимостей цепи, содержащей произвольное число активных и реактивных элементов.
 44. Реактивная мощность электроустановок и методы ее компенсации, коэффициент мощности $\cos\varphi$ электроустановок.
 45. Резонанс напряжений.
 46. Резонанс токов.
 47. Выражение синусоидальных напряжений, токов комплексными числами. Сопротивление и проводимость в комплексной форме.
 48. Закон Ома и законы Кирхгофа в комплексной форме. Мощ-

ность в комплексной форме.

49. Символический метод расчета цепей переменного тока; аналогия с расчетом цепей постоянного тока. Расчет цепей с учетом взаимной индуктивности в комплексной форме.
50. Основные понятия о четырехполюсниках. Уравнения и коэффициенты четырехполюсников. Т-образная и П-образная схемы четырехполюсников. Определение коэффициентов четырехполюсников из опытов в режимах холостого хода и короткого замыкания.
51. Трехфазная симметричная система ЭДС. Соединение обмоток генератора звездой.
52. Соединение фаз генератора и потребителя треугольником.
53. Расчет трехфазных цепей, соединенных звездой и треугольником, при симметричной нагрузке. Мощность трехфазного тока.
54. Расчет трехфазных цепей при несимметричной нагрузке, соединенной звездой. Роль нейтрального провода.
55. Вращающееся магнитное поле трехфазного тока. Принцип действия синхронного и асинхронного двигателей.
56. Причины возникновения несинусоидальных напряжений, ЭДС, токов, их аналитическое выражение тригонометрическим рядом.
57. Признаки симметрии несинусоидальных кривых.
58. Действующее значение несинусоидального тока. Мощность в цепи при несинусоидальном токе.
59. Расчет электрической цепи при несинусоидальном напряжении на его входе.
60. Нелинейные элементы в цепях переменного тока, выпрямление переменного тока, регулирование величины тока.
61. ЭДС, магнитный поток и ток в цепи с идеализированной катушкой индуктивности.
62. Влияние гистерезиса и вихревых токов на ток в катушке.
63. Полная векторная диаграмма и схемы замещения катушки с ферромагнитным сердечником.
64. Резонансные явления в цепях с нелинейными элементами.
65. Понятие об установившихся режимах и переходных процессах. Первый и второй законы коммутации.
66. Переходные процессы в цепях при зарядке конденсатора через сопротивление. Разряд конденсатора.
67. Переходные процессы при включении и отключении катуш-

ки от источника постоянного напряжения.

68. Однофазные схемы выпрямления, их достоинства и недостатки.
69. Трехфазные схемы выпрямления, их достоинства и недостатки.
70. Схемы умножения напряжения.
71. Сглаживающие фильтры.
72. Преобразователи постоянного напряжения.
73. Стабилизаторы тока и напряжения. Параметрические стабилизаторы.
74. Компенсационные стабилизаторы постоянного напряжения непрерывного регулирования.

Рекомендуемая литература

1. *Артамонов, Б. И.* Источники электропитания радиоустройств / Б. И. Артамонов, А. А. Бокуняев. – М. : Энергоатомиздат, 1982.
2. *Атабеков, Г. И.* Теоретические основы электротехники / Г. И. Атабеков. – М. : Энергия, 1978.
3. *Буртаев, Ю. В.* Теоретические основы электротехники / Ю. В. Буртаев, П. Н. Овсянников. – М. : Энергоатомиздат, 1984.
4. *Грумбина, А. Б.* Электрические машины и источники питания радиоэлектронных устройств / А. Б. Грумбина. – М. : Энергоатомиздат, 1990.
5. *Данилов, И. А.* Общая электротехника с основами электроники / И. А. Данилов, П. М. Иванов. – М. : Высш. шк., 1989.
6. *Евдокимов, Ф. Е.* Теоретические основы электротехники / Ф. Е. Евдокимов. – М. : Высш. шк., 2004.
7. *Зайчик, М. Ю.* Сборник задач и упражнений по теоретической электротехнике / М. Ю. Зайчик. – М. : Энергоатомиздат, 1989.
8. *Лоторейчук, Е. А.* Теоретические основы электротехники / Е. А. Лоторейчук. – М. : Форум-инфра, 2004.
9. *Попов, В. С.* Теоретическая электротехника / В. С. Попов. – М. : Энергия, 1990.
10. *Частоедов, Л. А.* Электротехника / Л. А. Частоедов. – М. : Высш. шк., 1989.
11. *Шебес, М. Р.* Сборник задач по теории электрических цепей / М. Р. Шебес. – М. : Высш. шк., 1982.
12. Государственные стандарты СССР : указатель : в 4 т. – М. : Изд-во стандартов, 1988.

Содержание

Предисловие	3
1. Учебная программа	4
1.1. Примерный тематический план	4
1.2. Содержание предмета	5
1.3. Перечень лабораторных работ	23
2. Методические указания по выполнению контрольной работы	24
3. Контрольные задания	26
4. Примеры решения задач	34
5. Вопросы для повторения	58
Рекомендуемая литература	62

Учебное издание

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Учебная программа, методические указания
и контрольные задания
для учащихся безотрывной формы обучения специальностей
2-39 02 02 «Проектирование и производство радиоэлектронных
средств», 2-39 02 31 «Техническая эксплуатация радиоэлектронных
средств», 2-40 02 02 «Электронные вычислительные средства»

Составитель

Гилицкая Лидия Николаевна

Зав. ред.-издат. отд. О. П. Козельская

Редактор Н. Г. Михайлова

Корректор Г. Л. Говор

Компьютерная верстка А. П. Пучек

План издания 2005 г. (поз. 45)

Изд. лиц. № 02330/0056774 от 17.02.2004.

Подписано в печать 03.01.2006. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага писчая. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.

Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 2,31. Тираж 120 экз. Заказ 6.

Издатель и полиграфическое исполнение

Учреждение образования

«Минский государственный высший радиотехнический колледж»

220005, г. Минск, пр. Независимости, 62.

ISBN 985675416-X



9 785985 6 754169