

Федеральное агентство связи
УЧЕБНО – МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
среднего профессионального образования

8/46391

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Программа, контрольные задания
и методические указания по его выполнению
для студентов заочной формы обучения

всех технических специальностей

Москва 2012

Примерная программа учебной дисциплины «Теория электрических цепей» разработана на основе государственных образовательных стандартов преподавателями Колледжа телекоммуникаций ГОУ ВПО МТУСИ И.С. Жучковой и Ю.И. Тепляковым.

Рецензенты программы: преподаватель цикловой комиссии общепрофессиональных дисциплин Колледжа телекоммуникаций и информатики ГОУ ВПО «СибГУТИ» И.А. Игнатова и зам. директора по учебной работе Колледжа телекоммуникаций и информатики ГОУ ВПО «СибГУТИ» Е.Н. Хаова.

Контрольные задания и методические указания по их выполнению составлены преподавателем Колледжа телекоммуникаций МТУСИ И.С. Жучковой.

Рассмотрены и одобрены цикловой комиссией общепрофессиональных дисциплин.

Утверждены председателем Учебно-методического центра среднего профессионального образования к.п.н., доц. Ю. Г. Моисеевым.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина «Теория электрических цепей» как часть основной профессиональной образовательной программы является базовой для освоения профессиональных модулей по специальностям 210705, 210709, 210721, 210723 и входит в общепрофессиональный цикл.

Программа дисциплины рассчитана на знание студентами физики и математики в объеме средней школы. Развитие техники связи происходит очень быстро, поэтому теоретическая подготовка студентов по дисциплине должна осуществляться с общих позиций, которые остаются справедливыми при появлении новых технических решений и инженерных устройств. Следует использовать прогрессивную методику экспериментов с применением вычислительной техники и микроэлектроники.

В результате освоения дисциплины «Теория электрических цепей» обучающийся должен знать:

- физические процессы в электрических цепях постоянного и переменного тока;
- закон электромагнитной индукции;
- основные элементы электрических цепей постоянного и переменного тока;
- линейные и нелинейные элементы электрических цепей;
- основные законы и методы расчёта электрических цепей;
- явление резонанса в электрических цепях;

должен уметь:

- рассчитывать электрические цепи постоянного и переменного тока;
- определять виды резонансов в электрических цепях.

Для лучшего усвоения учебного материала предусматривается выполнение одной домашней контрольной работы по ключевым разделам курса. Одновременно планируется самостоятельная работа студентов, для которой в учебно-методической карте указываются рекомендуемые к изучению страницы учебников. Номера учебников, указанные в учебно-методической карте, соответствуют номерам учебников в списке литературы, приведенном в конце методических указаний.

Учебно-методическая карта дисциплины «ТЭЦ»

Наименование разделов и тем	Количество часов			Учебная литература	
	обзор-ные	лабора-торные	само-стоят. работа	индекс	стр.
1	2	3	4	5	6
ВВЕДЕНИЕ				1	3
РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОСТАТИКИ И ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК					
Тема 1.1. Основы электростатики			4	1 2	4 - 14 5 - 15
Тема 1.2. Постоянный электрический ток	0,5			1 3	21 - 25 21 - 34
Тема 1.3. Цепи с резисторами при различных соединениях. Законы Кирхгофа	1	2	4	1 3	25 - 33 34 - 52
Тема 1.4. Методы расчёта электрических цепей			4	1 3	37 - 45 65 - 82
РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРОМАГНИТИЗМ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ					
Тема 2.1. Магнитное поле тока	0,5		2	1 2	50 - 55 118 - 130
Тема 2.2. Электромагнитная индукция	1		2	1 2	62 - 70 131 - 143
РАЗДЕЛ 3. ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА					
Тема 3.1. Общие сведения о гармонических колебаниях	0,5		2	1 3	70 - 76 123 - 134
Тема 3.2. Цепь синусоидального тока с резистором	0,5			1 3	79 - 80 140 - 143
Тема 3.3. Цепь с индуктивностью	0,5		1	1 3	80 - 82 143 - 147
Тема 3.4. Цепь с ёмкостью	0,5		1	1 3	85 - 86 157 - 160
Тема 3.5. Последовательные цепи синусоидального тока		2		1 3	82 - 85, 86 - 89 147 - 153, 160 - 165
Тема 3.6. Параллельные цепи синусоидального тока			4	1	90
Тема 3.7. Применение символического метода для расчёта цепей синусоидального тока			2	1 3	90 - 97 134 - 138

Продолжение учебно-методической карты дисциплины «ТЭЦ»

1	2	3	4	5	6
РАЗДЕЛ 4. РЕЗОНАНСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ	1				
Тема 4.1. Свободные колебания в контуре	1			1 3	97 - 99 169 - 175
Тема 4.2. Последовательный колебательный контур	1	2	2	1 3	99 - 104 176 - 188
Тема 4.3. Параллельный колебательный контур	1	2	2	1 3	105 - 107 198 - 209
Тема 4.4. Связанные системы при различных видах связи			2	1 2	108 - 110 263 - 268
Тема 4.5 Понятие об электрических фильтрах	0,5		2	1 3	140 - 147 230 - 237
РАЗДЕЛ 5. ЦЕПИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА					
Тема 5.1. Несинусоидальные токи и напряжения	1	2	2	1 3	117 - 127 218 - 230
РАЗДЕЛ 6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ, СОДЕРЖАЩИЕ КАТУШКИ С МАГНИТНЫМИ СЕРДЦЕВИКАМИ					
Тема 6.1. Катушки с магнитными сердечниками				1 3	110 - 113 243 - 248
Тема 6.2. Трансформатор	1		4	1 3	114 - 117 248 - 254
РАЗДЕЛ 7. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ					
Тема 7.1 Понятие о переходных процессах	0,5		2	1 3	128 - 129 260 - 261
Тема 7.2. Переходные процессы в цепях первого порядка	1	2	2	1 3	129 - 138 261 - 271
ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ	12	12	44		

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ»

ВВЕДЕНИЕ

Сущность, роль и место дисциплины в процессе подготовки к профессиональной деятельности.

РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОСТАТИКИ И ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Тема 1.1. Основы электростатики

Электрическое поле. Графическое изображение электрических полей. Напряжённость электрического поля. Потенциал. Напряжение. Электрическая ёмкость. Конденсаторы. Плоский конденсатор. Ёмкость плоского конденсатора.

Последовательное, параллельное и смешанное соединение конденсаторов. Определение эквивалентной ёмкости, напряжения и зарядов на отдельных конденсаторах. Энергия электрического поля, её расчёт.

Практическое задание 1. Расчёт цепи со смешанным соединением конденсаторов.

Тема 1.2. Постоянный электрический ток

Электрический ток. Электрическая цепь и её элементы. Направление, величина и плотность тока. Электродвижущая сила (ЭДС). Электрическое сопротивление и проводимость. Закон Ома для участка цепи, для замкнутой цепи. Работа и мощность тока. Условие получения максимальной мощности во внешней цепи.

Тема 1.3. Цепи с резисторами при различных соединениях. Законы Кирхгофа

Последовательное соединение резисторов. Эквивалентное сопротивление. Распределение напряжений на участках цепи.

Параллельное соединение резисторов. Эквивалентное сопротивление. Распределение токов в ветвях. Первый закон Кирхгофа.

Смешанное соединение резисторов. Распределение токов и напряжений. Второй закон Кирхгофа. Баланс мощностей.

Практическое задание 2. Расчёт цепи со смешанным соединением резисторов.

Лабораторная работа 1. Знакомство с лабораторным оборудованием и измерительными приборами.

Лабораторная работа 2. Исследование режимов работы электрической цепи.

Лабораторная работа 3. Исследование электрической цепи с последовательным, параллельным и смешанным соединением резисторов.

Тема 1.4. Методы расчёта электрических цепей

Понятие о сложной электрической цепи. Расчёт сложной цепи методами: уравнений Кирхгофа, контурных токов, наложения, узлового напряжения (узловых потенциалов), преобразования треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду, эквивалентного генератора. Активный и пассивный двухполюсник. Понятие о четырёхполюсниках.

Понятие об источнике тока. Преобразование источника тока в источник напряжения и наоборот. Особенности расчёта цепей, содержащих источники тока.

Практическое задание 3. Расчёт сложной электрической цепи.

Лабораторная работа 4. Опытное изучение законов Кирхгофа.

Лабораторная работа 5. Опытная проверка метода узловых потенциалов.

В результате изучения раздела 1 студент должен знать: закон Ома, первый и второй законы Кирхгофа, уметь рассчитывать простые и сложные цепи постоянного тока.

РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Тема 2.1. Магнитное поле тока

Напряжённость магнитного поля. Магнитная проницаемость, магнитная индукция, магнитный поток. Графическое изображение магнитных полей. Магнитное поле прямолинейного проводника с током. Правило буравчика. Магнитное поле катушки с током. Магнитное поле земли.

Действие магнитного поля на проводник с током. Правило левой руки. Взаимодействие двух параллельных проводов с токами.

Тема 2.2. Электромагнитная индукция

Явление электромагнитной индукции. Электродвижущая сила в прямолинейном проводнике при движении его в магнитном поле. Величина и направление ЭДС. Правило правой руки. ЭДС индукции, наводимая в контуре. Правило Ленца. ЭДС индукции в катушке. Потокосцепление.

Явление самоиндукции. ЭДС самоиндукции, её величина и направление. Индуктивность. Энергия магнитного поля.

Явление взаимной индукции. Взаимная индуктивность двух катушек, коэффициент связи. Согласное и встречное включение двух катушек при их последовательном соединении.

Лабораторная работа 6. Измерение параметров индуктивно-связанных катушек.

В результате изучения раздела 2 студент должен знать закон электромагнитной индукции, уметь определять величину и направление ЭДС индукции.

РАЗДЕЛ 3. ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

Тема 3.1. Общие сведения о гармонических колебаниях

Получение синусоидальной ЭДС. Графическое изображение синусоидальных величин: волновые (временные) и векторные диаграммы. Характеристики синусоидальных величин: мгновенное, амплитудное, действующее и среднее значения, период, частота, длина волны, угловая частота, фаза, начальная фаза. Уравнения, описывающие зависимость мгновенных значений ЭДС, напряжения или тока от времени.

Тема 3.2. Цепь синусоидального тока с резистором

Поверхностный эффект и эффект близости. Понятие об активном сопротивлении. Закон Ома для мгновенных, максимальных и действующих значений тока и напряжения. Волновая и векторная диаграммы. Энергетический процесс. Мгновенная и средняя (активная) мощность.

Тема 3.3. Цепь с индуктивностью

Цепь с индуктивным сопротивлением (идеальная катушка). Мгновенное значение тока магнитного потока, ЭДС самоиндукции и напряжения. Временная и векторная диаграммы. Закон Ома для действующих и амплитудных значений тока и напряжения. Индуктивное сопротивление, его зависимость от частоты. Энергетический процесс. Мгновенная, активная и реактивная мощности.

Последовательное соединение активного и индуктивного сопротивлений (анализ реальной катушки). Временная и векторная диаграммы. Закон Ома для действующих и амплитудных значений тока и напряжения. Треугольники напряжений и сопротивлений. Полное сопротивление цепи. Угол сдвига фаз между напряжением и током. Энергетический процесс. Мгновенная, активная, реактивная и полная мощности. Треугольники мощностей. Коэффициент мощности.

Тема 3.4. Цепь с ёмкостью

Изменение заряда на обкладках конденсатора при синусоидальном напряжении (конденсатор без потерь). Мгновенное значение тока. Временная и векторная диаграммы. Закон Ома для действующих и амплитудных значений тока и напряжения. Ёмкостное сопротивление, его зависимость от частоты. Энергетический процесс. Мгновенная, активная и реактивная мощности.

Последовательное соединение резистора и конденсатора (конденсатор с потерями). Временная и векторная диаграммы. Закон Ома для действующих и амплитудных значений тока и напряжения. Треугольники напряжений и сопротивлений. Полное сопротивление. Угол сдвига фаз между напряжением и током. Энергетический процесс. Мгновенная, активная, реактивная и полная мощности. Треугольник мощностей. Коэффициент мощности.

Лабораторная работа 7. Исследование электрической цепи переменного тока при последовательном соединении активного и реактивного сопротивлений.

Лабораторная работа 8. Исследование входных и передаточных частотных характеристик в цепях первого порядка.

Тема 3.5. Последовательные цепи синусоидального тока

Последовательное соединение активного, индуктивного и ёмкостного сопротивлений. Второй закон Кирхгофа для мгновенных значений. Временная и векторная диаграммы для различного характера цепи. Треугольники напряжений и сопротивлений. Полное сопротивление. Закон Ома для действующих и амплитудных значений тока и напряжения. Энергетический процесс. Мгновенная, активная, реактивная и полная мощности. Треугольник мощностей. Коэффициент мощности.

Тема 3.6. Параллельные цепи синусоидального тока

Параллельное соединение активно-индуктивного и активно-ёмкостного сопротивлений. Первый закон Кирхгофа для мгновенных значений тока. Векторные диаграммы для различного характера цепи. Разложение токов на активную и реактивную составляющие. Проводимости ветвей и полная проводимость. Треугольники токов и проводимостей. Связь между действующими (и амплитудными) значениями тока и напряжения. Энергетический процесс.

Тема 3.7. Применение символического метода для расчёта цепей синусоидального тока

Сущность символического метода. Три формы записи комплексного числа. Выражение тока, напряжения, сопротивления, проводимости, ЭДС электромагнитной индукции, мощности комплексными числами. Законы Ома и Кирхгофа в символическом виде. Расчёт цепей с последовательным, параллельным и смешанным соединениями сопротивлений.

Практическое занятие 4. Расчёт цепи символическим методом.

В результате изучения раздела 3 студент должен знать: параметры гармонических колебаний, сущность символического метода расчёта цепей синусоидального тока; уметь осуществлять расчёт цепей синусоидального тока.

РАЗДЕЛ 4. РЕЗОНАНСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

Тема 4.1. Свободные колебания в контуре

Понятие о колебательном контуре. Свободные колебания в идеальном контуре. Период, частота и длина волны свободных колебаний. Характеристическое сопротивление контура.

Свободные колебания в реальном контуре. Затухание колебаний. Добротность контура.

Тема 4.2. Последовательный колебательный контур

Вынужденные колебания. Полное сопротивление контура, его составляющие и зависимость их от частоты.

Резонанс напряжений, условие его возникновения. Признаки резонанса. Резонансная частота. Векторная диаграмма. Коэффициент мощности. Коэффициент передачи по напряжению. Добротность. Амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики. Расстройка. Полоса пропускания и избирательность. Практическое использование последовательных колебательных контуров.

Лабораторная работа 9. Исследование резонанса напряжений в неразветвленной цепи синусоидального тока.

Тема 4.3. Параллельный колебательный контур

Параллельный контур. Токи в ветвях и в неразветвленной части цепи. Резонанс токов, условия его возникновения. Признаки резонанса. Резонансная частота. Векторная диаграмма. Полное эквивалентное сопротивление контура при резонансе и при расстройках, его активная и реактивная составляющие. Эквивалентная добротность параллельного контура с учётом влияния внутреннего сопротивления генератора. Амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики параллельного контура. Полоса пропускания контура и её зависимость от внутреннего сопротивления генератора. Избирательность параллельного контура при различных внутренних сопротивлениях генератора. Автотрансформаторное (неполное) включение контура. Практическое использование параллельных контуров.

Лабораторная работа 10. Исследование электрической цепи синусоидального тока при параллельном соединении катушки индуктивности и конденсатора.

Тема 4.4. Связанные системы при различных видах связи

Определение связанных контуров. Виды связи. Коэффициент связи при различных видах связи. Вносимое сопротивление. Схема замещения связанной системы эквивалентной одноконтурной цепью.

Условия резонанса для связанной цепи. Настройка связанных контуров. Виды резонансов в связанных системах. Критическая связь.

Тема 4.5. Понятие об электрических фильтрах

Определение, классификация, полосы пропускания и задерживания электрических фильтров. Частотные характеристики, рабочее шумное, входное сопротивление фильтров. Применение фильтров в технике связи.

В результате изучения раздела 4 студент должен знать условия возникновения резонансных явлений в электрических цепях, свойства и виды резонансных контуров, принцип работы электрических фильтров; уметь рассчитывать параметры резонансных контуров.

РАЗДЕЛ 5. ЦЕПИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

Тема 5.1. Несинусоидальные токи и напряжения

Понятие о несинусоидальных (негармонических) токах и напряжениях. Возникновение несинусоидальных токов. Понятие о нелинейных элементах. Сложение синусов, имеющих разные частоты. Выражение сложной периодической кривой с помощью тригонометрического ряда (ряда Фурье). Постоянная составляющая, основные и высшие гармоники. Симметричные и несимметричные кривые. Разложение периодических кривых на гармоники. Понятие о спектрах.

Влияние активного сопротивления, индуктивности и ёмкости на форму кривой тока при несинусоидальном напряжении. Резонанс отдельных гармонических составляющих. Использование несинусоидальных токов в технике связи. Понятие о фильтрации.

Тема 5.2. Расчёт линейных цепей при негармонических воздействиях

Действующие значения несинусоидального тока и напряжения. Мощность несинусоидального тока. Коэффициенты, характеризующие степень несинусоидальности периодических кривых (коэффициент искажений, коэффициент амплитуды). Расчёт цепей при негармонических воздействиях.

Лабораторная работа 11. Получение периодических сигналов негармонической формы.

Практическое занятие 5. Расчёт цепи с несинусоидальным напряжением.

В результате изучения раздела 5 студент должен знать условия возникновения несинусоидальных токов и напряжений в электрических цепях; уметь рассчитывать линейные цепи несинусоидального тока.

РАЗДЕЛ 6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ, СОДЕРЖАЩИЕ КАТУШКИ С МАГНИТНЫМИ СЕРДЕЧНИКАМИ

Тема 6.1. Катушки с магнитными сердечниками

Магнитные свойства веществ. Ферромагнетизм. Кривая намагничивания. Петля гистерезиса. Потери на гистерезис. Вихревые токи. Влияние ферромагнитного сердечника на магнитное поле и индуктивность катушки. Искажающее действие гистерезиса и магнитного насыщения на форму кривой тока. Потери рассеяния. Влияние воздушного зазора на работу катушки. Электромагниты и электромагнитные реле.

Тема 6.2. Трансформатор

Устройство и принцип работы трансформатора. Коэффициент трансформации. Преобразование напряжений, токов, сопротивлений. Схема замещения трансформатора. Согласующие свойства трансформатора. Использование трансформатора в технике связи.

Практическое занятие 6. Расчёт магнитной цепи.

В результате изучения раздела 6 студент должен знать: устройство, принцип действия, назначение трансформаторов и аппаратуры электросвязи.

РАЗДЕЛ 7. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

Тема 7.1. Понятие о переходных процессах

Причины возникновения переходных процессов. Законы коммутации.

Тема 7.2. Переходные процессы в цепях первого порядка

Включение цепи RL на постоянное напряжение. Короткое замыкание в цепи RL. Законы изменения тока и напряжения. Постоянная времени. Длительность процесса. Энергетический процесс.

Заряд и разряд конденсатора через активное сопротивление. Законы изменения тока и напряжения. Постоянная времени. Энергетический процесс.

Лабораторная работа 12. Исследование переходных процессов в электрических цепях.

Практическое занятие 7. Расчёт постоянной времени, построение кривых напряжения и тока.

В результате изучения раздела 7 студент должен знать причины переходных процессов и законы коммутации.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

1. Вариант контрольного задания выбирается согласно указаниям учебной части (письму о вариантах) на текущий учебный год в соответствии с индивидуальным шифром студента.

2. Перед выполнением задания следует внимательно изучить соответствующие разделы учебника либо конспекта, разобрать примеры решения аналогичных задач.

3. Приступая к решению задач, нужно ознакомиться с методическими указаниями по выполнению данного контрольного задания.

4. Выполнять и высылать в колледж контрольные задания следует в порядке их нумерации. Не рекомендуется высылать одновременно несколько работ по одному предмету во избежание повторения одинаковых ошибок.

5. Контрольные работы предпочтительно выполнять в тетрадях в клетку. Записи должны быть сделаны через клетку грамотно, разборчиво и аккуратно. Допустимо выполнять контрольные работы с помощью компьютера в формате А4.

6. Необходимо правильно оформить контрольную работу:

а) полностью чётко и разборчиво написать условие задачи;

б) записать краткое условие, выписав в графу «Дано» все заданные величины в буквенных выражениях с их числовыми значениями и единицами измерения; искомые величины записываются в графу «Найти»;

в) при решении задач следует пользоваться только системой единиц СИ; физические величины и единицы их измерения обозначать по ГОСТ (см. табл. 1);

г) схемы и графики должны быть изображены карандашом с помощью чертёжного инструмента в соответствии с требованиями ГОСТ (рис. 1); места соединения трёх и более проводов следует выделять точками;

д) необходимо записывать пояснения к каждому действию при решении всех задач;

е) при выполнении расчётов следует записать формулу в буквенном выражении, подставить в неё числовые значения в системе СИ, не указывая единиц измерения каждой величины, записать ответ и указать его размерность;

ж) вычисления следует производить с точностью до трёх знаков, не считая нулей впереди значащих цифр;

з) окончательные результаты вычислений записываются в графу «Ответ»;

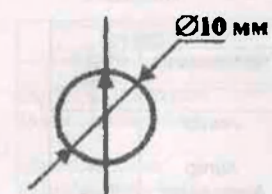
и) на графиках на каждой из осей координат должна быть нанесена равномерная шкала в выбранных единицах измерения; векторные диаграммы тоже необходимо строить в масштабе, масштаб указывается следующим образом:

$$M_U = \dots \text{ В/см}; M_I = \dots \text{ А/см}.$$

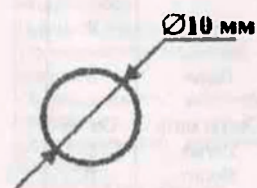
7. Если самостоятельно решить задачу не удастся, следует обратиться за письменной или устной консультацией к преподавателю, чтобы не создавалось отставания от учебного графика.

8. В конце работы обязательно следует привести список использованной литературы, указать дату, поставить Вашу подпись.

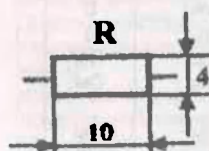
9. Проверенные контрольные работы, в которые внесены указанные преподавателем исправления и дополнения, предъявляются на экзамене. Без представленных зачтенных контрольных работ студенты к сдаче экзамена не допускаются.



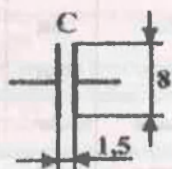
ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
ЭНЕРГИИ



- ПРИБОР ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ



- РЕЗИСТОР



- КОНДЕНСАТОР



- КАТУШКА ИНДУКТИВНОСТИ,
ОБОТКА ТРАНСФОРМАТОРА

Рис. 1

Таблица I

Величина		Единица	
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
1	2	3	4
Действующее значение переменного тока, постоянный ток	I	Ампер	A
Максимальное значение тока	I_m	Ампер	A
Плотность тока	J	Ампер на мм ²	A/мм ²
Мгновенное значение тока	i	Ампер	A
Действующее значение переменного напряжения, постоянное напряжение	U	Вольт	B
Максимальное значение напряжения	U_m	Вольт	B
Удельное сопротивление	ρ	Ом на метр	Ом/м
Мгновенное значение напряжения	u	Вольт	B
Действующее значение переменной ЭДС, постоянная ЭДС	E	Вольт	B
Максимальное значение ЭДС	E_m	Вольт	B
Мгновенное значение ЭДС	e	Вольт	B
Сопротивление резистивное	R	Ом	Ом
Сопротивление резистивное внутреннее	R_i	Ом	Ом
Сопротивление входное (полное)	$Z_{вх}$	Ом	Ом
Сопротивление реактивное индуктивное	X_L	Ом	Ом
Сопротивление реактивное емкостное	X_C	Ом	Ом
Сопротивления характеристическое колебательных контуров	ρ	Ом	Ом
Проводимость электрическая резистивная	G	Сименс	См
Проводимость электрическая реактивная (индуктивная и емкостная)	B_L, B_C	Сименс	См
Проводимость электрическая полная	Y	Сименс	См

Продолжение табл. I

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Мощность резистивная	P	Ватт	Вт
Мощность реактивная	P _p	Вольт-Ампер реактивный	вар
Мощность полная	P _з	Вольт · Ампер	В · А
Емкость электрическая	C	Фарад	Ф
Электрический заряд	Q, q	Кулон	Кл
Индуктивность	L	Генри	Гн
Взаимная индуктивность	M	Генри	Гн
Проницаемость магнитная абсолютная	μ _a	Генри/метр	Гн/м
Проницаемость магнитная относительная	μ _r	-	-
Проницаемость магнитная вакуума	μ ₀	4π · 10 ⁻⁷	Гн/м
Число витков обмотки	w	-	-
Энергия магнитного поля	W _L	Джоуль	Дж
Энергия электрического поля	W _C	Джоуль	Дж
Мгновенное значение магнитного потока	Ф	Вебер	Вб
Коэффициент передачи	K	-	-
Коэффициент трансформации	p	-	-
Коэффициент связи между катушками	k	-	-
Коэффициент полезного действия	η	-	-
Сила	F	Ньютон	Н
Потенциал электрического поля	φ	Вольт	В
Диэлектрическая проницаемость абсолютная	ε _a	Фарад/метр	Ф/м
Диэлектрическая проницаемость относительная	ε _r	-	-
Диэлектрическая проницаемость вакуума	ε ₀	8,85 × 10 ⁻¹² Фарад/метр	Ф/м
Угол сдвига фаз	φ	Градус	°
Начальная фаза	φ	Градус	°
Избирательность контура	B	Децибел	дБ
Затухание колебательного контура	d	-	-
Частота гармонического переменного тока циклическая	f	Герц	Гц
Угловая частота гармонического переменного тока	ω	1/секунда	с ⁻¹
Коэффициент мощности	cosφ	-	-
Абсолютное значение полосы пропускания контура	Π	Герц или 1/секунда	Гц
Относительное значение полосы пропускания контура	S ₀	-	-
Обобщенная расстройка	ξ	-	-
Добротность колебательного контура	Q	-	-

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задача 1

Все химические элементы состоят из атомов – мельчайших частиц, определяющих их свойства. Атом любого элемента имеет положительно заряженное ядро и электронную оболочку, отрицательный заряд которой равен положительному заряду ядра. Электронная оболочка состоит из электронов, движущихся вокруг ядра по определённым орбитам с громадной скоростью ($6 \cdot 10^{15}$ оборотов в секунду). Заряд электрона – самый малый электрический заряд, известный в природе. Однако за единицу измерения заряда принят заряд, равный заряду $6,29 \cdot 10^{18}$ электронов. Такая единица измерения называется кулон (Кл). Атомы некоторых элементов способны сравнительно легко отдавать часть электронов другим атомам или присоединять «чужие» электроны. В этом случае суммарный заряд электронной оболочки становится отличным от заряда ядра атома и атом из электрически нейтральной частицы превращается в электрически заряженную частицу вещества.

Система, состоящая из двух металлических пластин (обкладок), разделённых диэлектриком, называется конденсатором. Конденсаторы способны накапливать электрические заряды. Электрическая ёмкость C – это коэффициент пропорциональности между зарядом Q , запасённым в конденсаторе, и напряжением U между его обкладками:

$$C = \frac{Q}{U}$$

Единицей измерения ёмкости в системе СИ является Фарад (Ф). На практике используются микрофарады ($1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$), нанофарады ($1 \text{ нФ} = 10^{-9} \text{ Ф}$), пикофарады ($1 \text{ пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$).

Конденсаторы могут соединяться друг с другом последовательно (рис. 2), параллельно (рис. 3) и смешанно (рис. 4, 5).

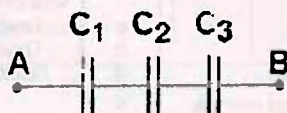


Рис. 2

При последовательном соединении конденсаторов (рис. 2):

1. Заряды, независимо от ёмкости, равны между собой:

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3, \text{ Кл.}$$

2. Общее напряжение равно сумме напряжений на отдельных конденсаторах:

$$U_{AB} = U_1 + U_2 + U_3, \text{ В.}$$

3. Напряжения на конденсаторах распределяются обратно пропорционально ёмкостям конденсаторов:

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}, U_2 = \frac{Q}{C_2}, U_3 = \frac{Q}{C_3}.$$

4. Эквивалентная ёмкость определяется из формулы:

$$\frac{1}{C_{\text{экв}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \cdot \Phi$$

для двух последовательно соединённых конденсаторов

$$C_{\text{экв}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}, \Phi.$$

5. Энергия заряженного конденсатора:

$$W_c = \frac{Q \cdot U}{2} = \frac{C \cdot U^2}{2}, \text{ Дж.}$$

При параллельном соединении конденсаторов (рис. 3):

1. Общий заряд равен сумме зарядов на отдельных конденсаторах:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \text{ Кл.}$$

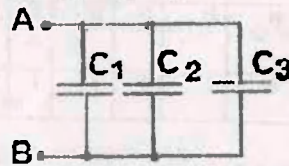


Рис. 3

2. На всех конденсаторах – одно и то же напряжение:

$$U_{\text{ли}} = U_1 = U_2 = U_3, \text{ В.}$$

3. Напряжение на зажимах цепи и на каждом конденсаторе:

$$U = \frac{Q}{C_{\text{экв}}}, U_1 = \frac{Q_1}{C_1}, U_2 = \frac{Q_2}{C_2}, U_3 = \frac{Q_3}{C_3}.$$

4. Эквивалентная ёмкость равна сумме ёмкостей отдельных конденсаторов:

$$C_{\text{экв}} = C_1 + C_2 + C_3, \Phi.$$

5. Энергия заряженного конденсатора:

$$W_c = \frac{Q \cdot U}{2} = \frac{C \cdot U^2}{2}, \text{ Дж.}$$

Смешанное (последовательно-параллельное) соединение конденсаторов (рис. 4 и 5) применяют тогда, когда необходимо увеличить ёмкость и рабочее напряжение батарей конденсаторов.

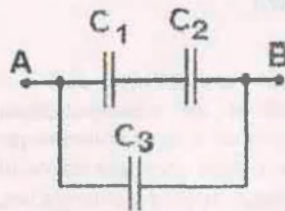


Рис. 4

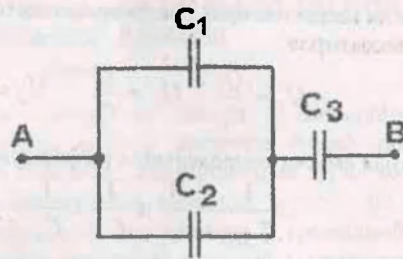


Рис. 5

Пример решения задачи 1

Для схемы исходные данные приведены в табл. 2. Найти величины, отмеченные в таблице знаком вопроса.

Таблица 2

Рис.	C_1	C_2	C_3	$C_{экв}$	U_1	U_2	U_3	U_{AB}	Q_1	Q_2	Q_3	Q	W
	пФ	пФ	пФ	пФ	В	В	В	В	Кл	Кл	Кл	Кл	Дж
4	30	120	?	?	40	?	?	?	?	?	?	$2,5 \cdot 10^{-9}$	?

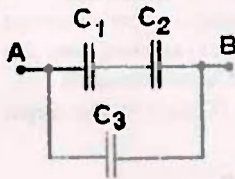


Рис. 4

Дано: $C_1 = 30 \text{ пФ} = 30 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$
 $C_2 = 120 \text{ пФ} = 120 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$
 $U_1 = 40 \text{ В}$
 $Q = 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$
 Найти: C_3 ; $C_{экв}$; U_2 , U_3 ; U_{AB} ; Q_1 ; Q_2 ; Q_3 ; W .

Решение

1. Заряд первого конденсатора:

$$Q_1 = C_1 \cdot U_1 = 30 \cdot 10^{-12} \cdot 40 = 1,2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл.}$$

2. Т. к. конденсаторы C_1 и C_2 соединены последовательно,

$$Q_2 = Q_1 = Q_{1,2} = 1,2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл.}$$

3. Напряжение на втором конденсаторе:

$$U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{1,2 \cdot 10^{-9}}{120 \cdot 10^{-12}} = 10 \text{ В.}$$

4. При последовательном соединении напряжения на отдельных участках складываются:

$$U_{1,2} = U_{AB} = U_1 + U_2 = 40 + 10 = 50 \text{ В.}$$

5. Конденсатор C_3 включен параллельно участку цепи АВ, поэтому:

$$U_3 = U_{AB} = 50 \text{ В.}$$

6. Заряды параллельно включённых конденсаторов складываются:

$$Q = Q_{1,2} + Q_3, \text{ отсюда } Q_3 = Q - Q_{1,2} = 2,5 \cdot 10^{-9} - 1,2 \cdot 10^{-9} = 1,3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл.}$$

7. Ёмкость третьего конденсатора:

$$C_3 = \frac{Q_3}{U_3} = \frac{1,3 \cdot 10^{-9}}{50} = 26 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} = 26 \text{ пФ.}$$

8. Эквивалентная ёмкость:

$$C_{\text{экр}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} + C_3 = 30 \cdot \frac{120}{150} + 26 = 50 \text{ пФ}$$

$$\text{или } C_{\text{экр}} = \frac{Q}{U_{AB}} = \frac{2,5 \cdot 10^{-9}}{50} = 50 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} = 50 \text{ пФ.}$$

9. Энергия электрического поля:

$$W = \frac{C_{\text{экр}} \cdot U_{AB}^2}{2} = \frac{50 \cdot 10^{-12} \cdot 50^2}{2} = 62,5 \cdot 10^{-9} \text{ Дж.}$$

Методические указания к решению задачи 2

Для решения задачи необходимо знать закон Ома, первый и второй законы Кирхгофа, соотношения, справедливые при последовательном и параллельном соединении резисторов, а также уметь применять эти знания при расчёте линейных резистивных цепей.

При решении задачи 2 (как при решении задачи 1 и всех других задач всех контрольных заданий) следует начертить схему цепи согласно Вашему варианту, полностью и кратко записать условие задачи.

На схеме в тетради нужно показать стрелками направления токов в резисторах в соответствии с направлением ЭДС источника энергии и обозначить токи (индекс тока должен совпадать с номером резистора, по которому этот ток протекает).

Каждое действие по ходу решения следует сопровождать краткими пояснениями, ссылками на законы и правила.

Необходимо проверить правильность решения задачи, составив баланс мощностей:

$$P_{\text{и}} = \sum P_{\text{н}},$$

т. е. мощность, отдаваемая источником энергии, должна быть равна сумме мощностей потребителей. Если по результатам Вашего решения обе части выражения получатся равными, значит задача решена верно.

Мощность источника:

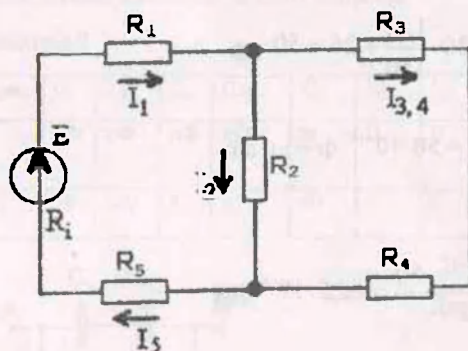
$$P_{\text{и}} = E \cdot I, \text{ Вт.}$$

Сумма мощностей потребителей (суммарная мощность нагрузки + потери мощности в самом источнике):

$$\sum P_{\text{н}} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_0 = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + \dots + I_0^2 \cdot R_1.$$

Примеры решения задачи 2

Пример 1



Дано: $E = 45 \text{ В}$

$R_i = 1 \text{ Ом}$

$R_1 = 11 \text{ Ом}$

$R_2 = 24 \text{ Ом}$

$R_3 = 9 \text{ Ом}$

$R_4 = 3 \text{ Ом}$

$R_5 = 10 \text{ Ом}$

Найти: $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5.$

Рис. 6

1. На схеме рис. 6 показываем направления токов и обозначаем их.
2. Так как в условии задачи дана величина ЭДС E , найдём эквивалентное сопротивление всей рассматриваемой цепи, постепенно упрощая схему.
3. При последовательном соединении резисторов (участков цепи) эквивалентное сопротивление равно сумме сопротивлений отдельных резисторов. Резисторы R_3 и R_4 соединены последовательно, значит эквивалентное им сопротивление:

$$R_{3,4} = R_3 + R_4 = 9 + 3 = 12 \text{ Ом.}$$

4. Перерисуйте схему рис. 6, заменив R_3 и R_4 одним резистором $R_{3,4}$. Видно, что R_2 соединено с $R_{3,4}$ параллельно

$$R_{2-4} = \frac{R_2 \cdot R_{3,4}}{R_2 + R_{3,4}} = \frac{24 \cdot 12}{24 + 12} = 8 \text{ Ом.}$$

В результате упрощения (сворачивания) цепи получаем схему на рис. 7

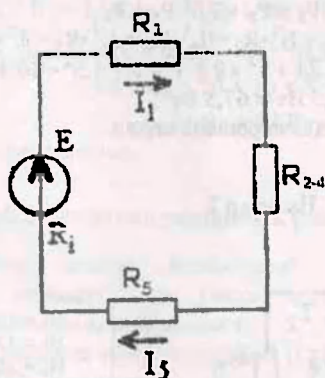


Рис. 7

5. Все резисторы соединены последовательно, по ним течёт один и тот же ток, а эквивалентное сопротивление равно сумме сопротивлений резисторов:

$$I = I_1 = I_{2-4} = I_5;$$

$$R_{1-5} = R_1 + R_{2-4} + R_5 = 11 + 8 + 10 = 29 \text{ Ом.}$$

6. По закону Ома для замкнутой цепи:

$$I = \frac{E}{R_{1-5} + R_i} = \frac{45}{29 + 1} = 1,5 \text{ А} = I_1 = I_{2-4} = I_5.$$

7. Напряжение на клеммах источника (общее напряжение на нагрузке) по второму закону Кирхгофа

$$U = E - U_0 = E - I \cdot R_i = 45 - 1,5 \cdot 1 = 43,5 \text{ В}$$

или по закону Ома $U = I \cdot R_{1-5} = 1,5 \cdot 29 = 43,5 \text{ В.}$

8. Так как R_2 и $R_{3,4}$ соединены параллельно, то $U_{2,4} = U_2 = U_{3,4}$.

По закону Ома для участка цепи:

$$U_{2,4} = I_{2,4} \cdot R_{2,4} = 1,5 \cdot 8 = 12 \text{ В;}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{12}{24} = 0,5 \text{ А;}$$

$$I_{3,4} = \frac{U_{3,4}}{R_{3,4}} = \frac{12}{12} = 1 \text{ А} = I_3 + I_4$$

или по первому закону Кирхгофа $I_3 = I_1 - I_2 = 1,5 - 0,5 = 1 \text{ А.}$

9. Баланс мощностей:

$$P_{\text{И}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6$$

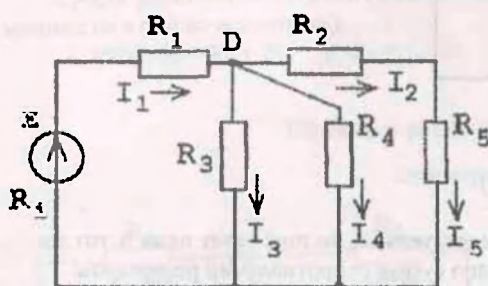
$$E \cdot I = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 + I_5^2 \cdot R_5 + I^2 \cdot R_1$$

$$45 \cdot 1,5 = 1,5^2 \cdot 11 + 0,5^2 \cdot 24 + 1^2 \cdot 9 + 1^2 \cdot 3 + 1,5^2 \cdot 10 + 1,5^2 \cdot 1$$

$$67,5 \text{ Вт} = 67,5 \text{ Вт}$$

Баланс мощностей сошёлся, задача решена верно.

Пример 2



Дано:

$$R_1 = 10 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 12 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 20 \text{ Ом}$$

$$R_4 = 40 \text{ Ом}$$

$$R_5 = 28 \text{ Ом}$$

$$I_5 = 1 \text{ А}$$

$$R_1 = 1 \text{ Ом}$$

Найти: E, U, I_1, I_2, I_4, I_5

Рис. 8

1. На схеме рис. 8 показываем направления токов и обозначаем их.
2. Резисторы R_2 и R_5 соединены последовательно, эквивалентное им сопротивление

$$R_{2,5} = R_2 + R_5 = 12 + 28 = 40 \text{ Ом.}$$

3. Перечертите схему рис. 8, заменив R_2 и R_5 одним резистором $R_{2,5}$. Из новой схемы видно, что резисторы R_3 , R_4 и $R_{2,5}$ соединены параллельно, следовательно, к ним приложено одно и то же напряжение: $U_3 = U_4 = U_{2,5}$.

4. По закону Ома для участка цепи: $U_3 = I_3 \cdot R_3 = 1 \cdot 20 = 20 \text{ В}$

5. Теперь по закону Ома для участка цепи можно найти токи в двух других параллельных ветвях цепи:

$$I_4 = \frac{U_4}{R_4} = \frac{20}{40} = 0,5 \text{ А} \quad I_{2,5} = \frac{U_{2,5}}{R_{2,5}} = \frac{20}{40} = 0,5 \text{ А.}$$

6. Так как R_2 и R_5 соединены последовательно: $I_2 = I_5 = I_{2,5} = 0,5 \text{ А}$.

7. По первому закону Кирхгофа для узла D:

$$I_1 = I_3 + I_4 + I_2 = 1 + 0,5 + 0,5 = 2 \text{ А.}$$

8. По закону Ома: $U_1 = I_1 \cdot R_1 = 2 \cdot 10 = 20 \text{ В}$.

9. По второму закону Кирхгофа:

$$\text{общее напряжение} \quad U = U_1 + U_3 = 20 + 20 = 40 \text{ В}$$

$$\text{ЭДС источника энергии} \quad E = U + I_1 \cdot R_1 = 40 + 2 \cdot 1 = 42 \text{ В.}$$

10. Баланс мощностей:

$$P \cdot I = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 + I^2 R_{\Sigma}, \quad \text{где } I = I_1$$

$$42 \cdot 2 = 2^2 \cdot 10 + 1^2 \cdot 20 + (0,5)^2 \cdot 40 + (0,5)^2 \cdot 12 + (0,5)^2 \cdot 28 + 2^2 \cdot 1$$

$$84 = 40 + 20 + 10 + 3 + 7 + 4$$

$$84 \text{ Вт} = 84 \text{ Вт.}$$

Задача решена верно.

Методические указания к решению задачи 3

Для решения задачи необходимо знать основные параметры синусоидальных величин и уметь определять их по графическим изображениям - векторным диаграммам.

Мгновенное значение синусоидальной (гармонической) величины - это её значение в любой конкретный момент времени. Мгновенные значения являются изменяющимися величинами и обозначаются строчными буквами: i , u , e и др. Зависимость мгновенного значения синусоидальных величин (например, напряжения и тока в цепи) от времени записывается уравнениями:

$$u = U_m \sin(\omega t \pm \Psi_u)$$

$$i = I_m \sin(\omega t \pm \Psi_i).$$

Графики, построенные по этим уравнениям, называются временными (волновыми) диаграммами (рис. 9).

Графические изображения синусоидальных величин в виде векторов, вращающихся против часовой стрелки со скоростью ω , называются векторными диаграммами. Длина вектора соответствует максимальному или действующему значению синусоидальной величины в выбранном масштабе.

Параметрами называются постоянные величины, не зависящие от времени, характеризующие данную переменную величину. Основными параметрами синусоидальных величин являются:

1. Амплитуда (максимальное значение). Амплитуды обозначаются прописными (заглавными) буквами с индексом m , т. е. U_m , I_m (рис. 9).

2. Действующее значение. Обозначается прописными буквами без индексов U , I , E . Действующее значение переменного тока равно величине такого постоянного тока, который за время одного периода переменного тока T в том же сопротивлении R выделит столько же тепла, сколько и переменный ток

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}; \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}};$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{1,41} = 0,707$$

3. Период T – промежуток времени, в течение которого переменная величина производит полный цикл своих изменений и возвращается к первоначальному значению, после чего изменения повторяются в той же последовательности (рис. 9). Другими словами, период синусоидальной величины – это промежуток времени между двумя соседними точками перехода функции через ноль к положительному значению (измеряется в секундах – с).

4. Циклическая частота – величина, обратная периоду (число периодов в единицу времени): $f = \frac{1}{T}$. Измеряется в герцах – Гц.

5. Фаза (фазовый угол) φ – определяет стадию изменения синусоидальной величины. На волновой (временной) диаграмме отсчитывается от точки перехода функции через ноль к положительному значению (от начала периода колебания). Измеряется в градусах или в радианах.

Начальная фаза Ψ – на временной диаграмме угол между началом координат и началом периода колебания, т. е. фаза в момент начала отсчёта (при $t = 0$). Если начало периода колебания смещено влево относительно начала координат, то Ψ – положительная величина (т. е. в момент начала отсчёта к нулевой фазе прибавляется Ψ), если вправо – отрицательная (рис. 9). На векторной диаграмме Ψ – угол поворота вектора относительно горизонтальной оси (оси абсцисс).

6. Угловая частота ω – скорость изменения фазового угла синусоидально изменяющейся величины

$$\omega = 2\pi f, \text{ с}^{-1}.$$

Угол сдвига фаз φ – разность начальных фаз двух синусоидальных величин одинаковой частоты. Угол сдвига фаз между напряжением и током:

$$\varphi = \Psi_u - \Psi_i.$$

Если угол сдвига фаз между напряжением и током величина положительная, то напряжение опережает ток по фазе (рис. 9), если отрицательная – ток опережает напряжение по фазе.

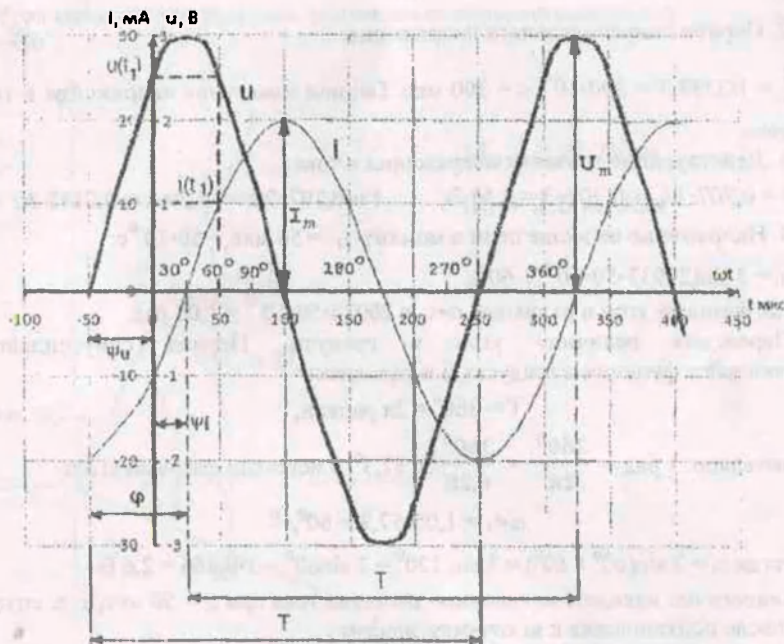


Рис. 9

Пример решения задачи 3

Амплитуда синусоидального напряжения, изменяющегося с частотой $f = 3333,3$ Гц, составляет $U_m = 3$ В, начальная фаза $\psi_u = 60^\circ$, амплитуда тока $I_m = 20$ мА, начальная фаза $\psi_i = -30^\circ$. Записать уравнения мгновенных значений напряжения и тока, определить период напряжения, действующие значения напряжения и тока, а также величины напряжения и тока в цепи в момент времени $t_1 = 50$ мкс. Построить векторную диаграмму, нарисовать схему цепи.

Дано: $U_m = 3$ В; $\psi_u = 60^\circ$

$I_m = 20$ мА = 0,02 А; $\psi_i = -30^\circ$

$f = 3.33$ кГц; $t = 50$ мкс

Найти: u ; i ; T ; U ; I ; u_1 ; i_1 ; схему цепи, построить векторную диаграмму.

1. Угловая частота $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3.14 \cdot 3333,3 = 20933$ с $^{-1}$.

Уравнения мгновенных значений: $u = 3 \sin(20933 \cdot t + 60^\circ)$, В.

$i = 0,02 \sin(20933 \cdot t - 30^\circ)$, А.

2. Период синусоидального напряжения:

$T = \frac{1}{f} = 1/3333,3 = 300 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 300 \text{ мкс}$. Период изменения напряжения и тока одинаков.

3. Действующие значения напряжения и тока:

$$U = 0,707 \cdot U_m = 0,707 \cdot 3 = 2,13 \text{ В}; \quad I = 0,707 \cdot 20 = 14,2 \text{ мА} = 0,0142 \text{ А}.$$

4. Напряжения на входе цепи в момент $t_1 = 50 \text{ мкс} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ с}$:

$$u_1 = 3 \sin(20933 \cdot 50 \cdot 10^{-6} + 60^\circ),$$

где фазовый угол в радианах $\omega \cdot t_1 = 20933 \cdot 50 \cdot 10^{-6} = 1,05 \text{ рад}$.

Переведём величину угла в градусы. Период синусоидально изменяющейся функции в градусах и в радианах:

$$T = 360^\circ = 2\pi \text{ радиан},$$

$$\text{следовательно, } 1 \text{ рад} = \frac{360^\circ}{2\pi} = \frac{360^\circ}{6,28} = 57,3^\circ, \text{ а искомый фазовый угол:}$$

$$\omega \cdot t_1 = 1,05 \cdot 57,3 = 60^\circ,$$

$$\text{тогда } u_1 = 3 \sin(60^\circ + 60^\circ) = 3 \sin 120^\circ = 3 \sin 60^\circ = 3 \cdot 0,866 = 2,6 \text{ В}.$$

Аналогично находим мгновенное значение тока при $t_1 = 50 \text{ мкс}$, т. е. спустя 5 мкс после подключения к источнику энергии:

$$i_1 = 0,02 \sin(60^\circ - 30^\circ) = 0,02 \sin 30^\circ = 0,02 \cdot 0,5 = 0,01 \text{ А} = 10 \text{ мА}.$$

Для наглядности проверим полученный результат графически (студентам проверку делать в домашней работе не нужно). Волновая диаграмма рис. 9 соответствует условию данной задачи. Из точки на горизонтальной оси, соответствующей $t = 50 \text{ мкс}$, восстановим перпендикуляр до пересечения с кривыми тока и напряжения. Из точек пересечения опустим перпендикуляры на вертикальную ось, т. е. найдём ординаты этих точек. Как видно на рис. 9 ординаты точек пересечения составляют $u_1 = 2,6 \text{ В}$, $i_1 = 10 \text{ мА}$, что совпадает с расчётом.

5. Угол сдвига фаз между напряжением и током:

$$\phi = \psi_u - \psi_i = 60^\circ - (-30^\circ) = 90^\circ,$$

напряжение по фазе опережает ток на угол 90° .

6. Для построения векторной диаграммы (рис. 10) сначала зададимся масштабом, исходя из размеров тетрадного листа.

Масштаб по напряжению $M_U = 0,25 \text{ В/см}$. Длина вектора напряжения

$$L_U = \frac{U}{M_U} = \frac{2,13}{0,25} = 8,52 \text{ см}.$$

Угол поворота вектора напряжения относительно горизонтальной оси $\psi_U = 60^\circ$. Масштаб по току $M_I = 2,5 \text{ мА/см}$.

$$\text{Длина вектора тока } L_I = \frac{14,2}{2,5} = 5,68 \text{ см}.$$

Угол поворота вектора тока относительно горизонтальной оси
 $\Psi_I = -30^\circ$.

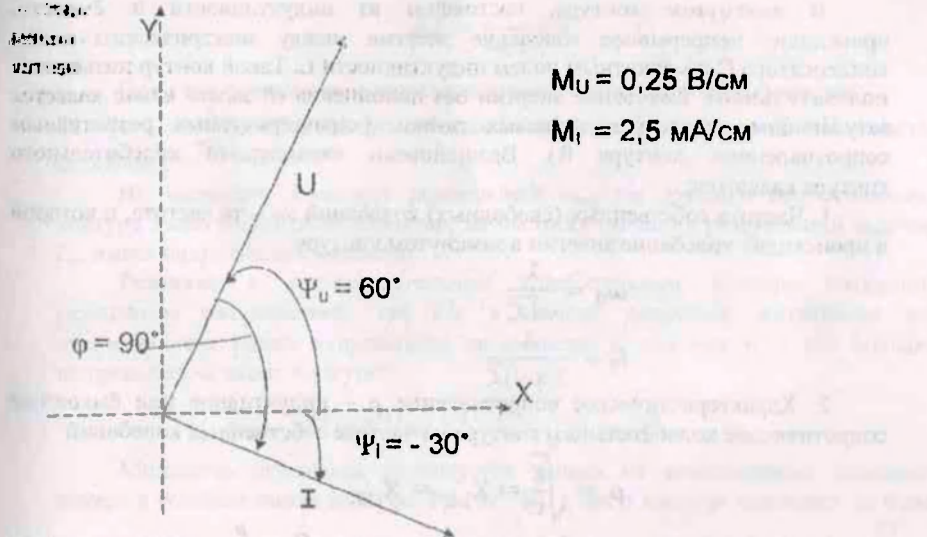


Рис. 10

6. Напряжение в рассматриваемой цепи опережает ток на угол $\varphi = 90^\circ$ такой угол сдвига фаз характерен для цепи с идеальной катушкой, схема содержит один элемент L (рис. 11а).

$$R=0$$

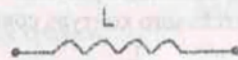


Рис. 11а

Если бы угол сдвига фаз по расчёту получился бы положительным, но меньше 90° , цепь состояла бы из двух элементов R и L (рис. 11б).



Рис. 11б

Методические указания к решению задачи 4

В замкнутом контуре, состоящем из индуктивности и ёмкости, происходит непрерывное колебание энергии между электрическим полем конденсатора C и магнитным полем индуктивности L . Такой контур называется **колебательным**. Колебание энергии без пополнения её запаса извне является затухающим вследствие тепловых потерь (характеризуемых резистивным сопротивлением контура R). Важнейшими параметрами колебательного контура являются:

1. Частота собственных (свободных) колебаний ω_0 – та частота, с которой и происходит колебание энергии в замкнутом контуре

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

2. Характеристическое сопротивление ρ – индуктивное или ёмкостное сопротивление колебательного контура на частоте собственных колебаний

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} = X_{L0} = X_{C0}$$

3. Добротность колебательного контура $Q = \frac{\rho}{R}$, характеризующая качество контура (чем больше добротность, тем менее интенсивно затухают свободные колебания в контуре); величина, обратная добротности, называется затуханием $d = \frac{1}{Q}$.

Если подключить колебательный контур к источнику электрической энергии, частота сигнала которого совпадает с частотой собственных колебаний контура $\omega_{\text{ист}} = \omega_0$, возникнет резонанс – явление, при котором ток и напряжение на входе колебательного контура совпадают по фазе.

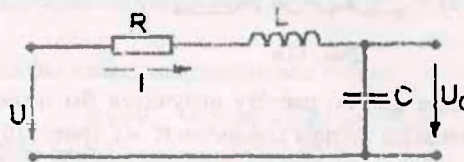


Рис. 12

Рассмотрим последовательный колебательный контур (рис.12). Входное полное сопротивление контура:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}.$$

При равенстве частоты источника (генератора) $\omega_{\text{ист}}$ частоте собственных колебаний контура (резонансной) ω_0

$$\omega_{\text{ист}} = \omega_0$$

реактивные сопротивления элементов колебательного контура становятся равными друг другу

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \rho.$$

При этом реактивное сопротивление всего колебательного контура $X = (\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}) = 0$, а входное полное сопротивление контура $Z = R$ — чисто активное.

На частотах меньших резонансной $\omega_{\text{рез}}, < \omega$ входное сопротивление контура имеет ёмкостный характер, на частотах больших резонансной $\omega_{\text{рез}}, > \omega_0$, Z_L имеет индуктивный характер.

Резонанс в последовательном колебательном контуре называют резонансом напряжений, так как в момент резонанса напряжение на индуктивности равно напряжению на ёмкости, и оба они в Q раз больше напряжения на входе контура:

$$U_{L0} = U_{C0} = U \cdot Q = \frac{U}{d} = I_0 \cdot \rho.$$

Мощность источника расходуется только на компенсацию тепловых потерь в колебательном контуре: $P_n = I_0^2 \cdot R$, а ток в контуре совпадает по фазе со входным напряжением и максимален из всех возможных значений $I_0 = \frac{U}{R}$.

Если частота генератора, подключённого к контуру, совпадает с резонансной частотой колебательного контура, то говорят, что контур настроен на частоту генератора, если указанные частоты не совпадают — расстроен.

Абсолютной расстройкой называется разность между данной частотой ω и резонансной частотой контура ω_0 : $\Delta\omega = \omega - \omega_0$. Величина эта может быть, как положительной, так и отрицательной.

Относительная расстройка: $\gamma = \frac{\Delta\omega}{\omega_0}$.

Обобщенная расстройка:

$$\xi = Q \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \approx 2 \cdot Q \cdot \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{X}{R}.$$

Кривые, отображающие зависимости сопротивлений контура от частоты напряжения генератора: $X_L = f(\omega)$, $X_C = f(\omega)$, $X = (X_L - X_C) = f(\omega)$, $Z_{\text{вх}} = f(\omega)$, называются частотными характеристиками колебательного контура. Зависимости напряжений на элементах контура, тока в цепи и угла сдвига фаз от частоты напряжения генератора $U_L = f(\omega)$, $U_C = f(\omega)$, $U_R = f(\omega)$, $I = f(\omega)$, $\varphi = f(\omega)$ называются резонансными кривыми. Использование понятия обобщенной расстройки значительно облегчает расчёт частотных характеристик и резонансных кривых.

Зависимость тока в последовательном контуре от обобщенной расстройки

$$i = \frac{I_0}{\sqrt{1 + \xi^2}}, \text{ где } I_0 = \frac{U}{R} - \text{ток при резонансе.}$$

Напряжение на ёмкости при небольших расстройках:

$$U_C \approx U_L = \frac{U \cdot Q}{\sqrt{1 + \xi^2}}.$$

Входное полное сопротивление контура:

$$Z_{вх} = R \cdot \sqrt{1 + \xi^2}.$$

Угол сдвига фаз между напряжением и током на входе цепи:

$$\varphi_{вх} = \operatorname{arctg} \xi.$$

Передаточная функция цепи (коэффициент передачи) устанавливает связь между входным и выходным напряжением при пренебрежении током нагрузок. Модуль передаточной функции K есть отношение модуля выходного напряжения к модулю входного напряжения:

$$K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{U_C}{U} = \frac{Q \omega_0}{\omega \cdot \sqrt{1 + \xi^2}},$$

а при малых расстройках $K = \frac{Q}{\sqrt{1 + \xi^2}}.$

На резонансной частоте (при $\xi = 0$) коэффициент передачи $K_0 = Q$.

Полоса пропускания колебательного контура - диапазон частот, в котором коэффициент передачи уменьшается не более чем в $\sqrt{2}$ раз по сравнению с резонансным (максимальным). Соответственно, в пределах полосы пропускания ток в последовательном колебательном контуре уменьшается не более чем в $\sqrt{2}$ раз по сравнению с резонансной величиной.

Абсолютная полоса пропускания:

$$\Pi = 2\Delta f_{гр} = f_2 - f_1 = \frac{f_0}{Q},$$

где f_1 и f_2 - нижняя и верхняя граничные частоты, на которых коэффициент передачи составляет $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$ от резонансного значения.

Граничные частоты можно также определять из выражений:

$$f_1 = f_0 - \frac{\Pi}{2} = f_0 - \frac{f_0}{2Q},$$

$$f_2 = f_0 + \frac{\Pi}{2} = f_0 + \frac{f_0}{2Q}.$$

Значения обобщенной расстройки, соответствующие границам полосы пропускания, равны: $\xi_1 = -1$; $\xi_2 = +1$.

Относительная полоса пропускания:

$$S_0 = \frac{\Pi}{f_0} = \frac{f_2 - f_1}{f_0} = 2 \frac{\Delta f_{гр}}{f_0} = \frac{1}{Q} = d.$$

Из приведённых формул видно, что с увеличением добротности цепи коэффициент передачи увеличивается, а ширина полосы пропускания уменьшается.

Избирательностью называется способность колебательного контура усиливать напряжения на различных частотах в неодинаковое число раз. Иначе говоря, это свойство контура выделять (пропускать) сигналы частот, близких к резонансной, и ослаблять (подавлять) сигналы других частот.

Избирательность $B = 20 \log \sqrt{1 + \xi^2}$ оценивается в децибелах, на граничных частотах составляет 3 дБ.

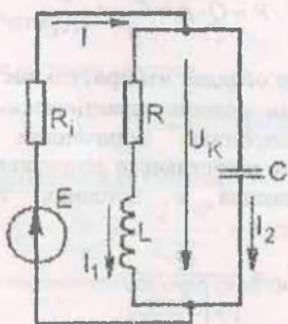


Рис. 13

Рассмотрим **параллельный колебательный контур** (рис. 13). В параллельном контуре резонанс наступает, когда входная реактивная проводимость равна нулю:

$$B = B_1 - B_2 = \frac{X_L}{Z_1} - \frac{X_C}{Z_2} = 0.$$

Реактивные составляющие токов ветвей при резонансе одинаковы по величине и противоположны по фазе (т. е. сдвинуты по фазе на 180°):

$$I_{p1} = -I_{p2}, \text{ где } I_{p1} = U B_1, I_{p2} = U B_2.$$

а напряжение и ток на входе контура совпадают по фазе. Резонанс в параллельном контуре называют **резонансом токов**. Резонансная частота пассивного параллельного колебательного контура:

$$\omega_0 = \left(\frac{1}{\sqrt{LC}} \right) \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{Q^2}},$$

а, при добротностях $Q \geq 3$ резонансная частота параллельного контура практически равна резонансной частоте последовательного колебательного контура

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Характеристическое сопротивление и добротность параллельного колебательного контура определяются по тем же формулам, что и для последовательного:

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}; Q = \frac{\rho}{R}.$$

Входное сопротивление параллельного контура при резонансе в Q^2 раз больше резистивного сопротивления этого контура и имеет также резистивный характер, так как ток и напряжение во входной цепи при резонансе совпадают по фазе:

$$Z_{вх0} = Q^2 \cdot R = Q \cdot \rho = \frac{\rho^2}{R} = \frac{L}{R \cdot C}.$$

Чтобы параллельный контур обладал избирательностью по напряжению, значения тока во входной цепи должны практически не изменяться при изменении частоты. Этого достигают включением последовательно с источником напряжения большого резистивного сопротивления $R_1 \gg Z_{вх0}$ (т. е. превращают источник напряжения в источник тока). Уменьшается добротность цепи:

$$Q_u = \frac{Q}{1 + \left(\frac{Z_{вх0}}{R_1} \right)}.$$

Ток во входной цепи при резонансе: $I_0 = \frac{E}{Z_{вх0} + R_1}$

Токи в ветвях при резонансе приблизительно одинаковы и больше тока во входной цепи в Q раз: $I_{01} = I_{02} = I_0 \cdot Q$

Модуль коэффициента передачи по напряжению: $K_U = \frac{\rho \cdot Q_u}{R \sqrt{1 + \xi^2}}$ а

напряжение на контуре: $U_k = K_U \cdot E$.

Абсолютная и относительная полосы пропускания определяются по тем же формулам, что и для последовательного контура:

$$\Pi_n = \frac{f_0}{Q_n}, \quad S_o = \frac{\Pi_u}{f_0} = \frac{1}{Q_u} = d_u.$$

Примеры решения задачи 4

Пример 1

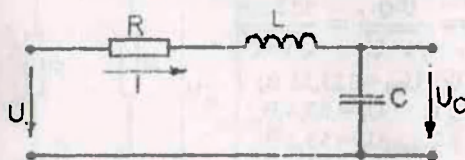


Рис. 12

Дано: $U = 1,8 \text{ В}$
 $R = 15 \text{ Ом}$
 $L = 636 \text{ мкГн} = 636 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$
 $C = 600 \text{ пФ} = 600 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$

Найти: ω_0 , f_0 , ρ , Q , d , I_0 , P_0 , U_{L0} , U_{C0} , Π ,
 построить зависимость
 $U_C = U_L = f(\xi)$

Решение

1. Резонансная угловая частота:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{636 \cdot 10^{-6} \cdot 600 \cdot 10^{-12}}} = 1,62 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$$

Резонансная циклическая частота:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1,62 \cdot 10^6}{6,28} = 0,258 \cdot 10^6 \text{ Гц} = 258 \text{ кГц}$$

2. Характеристическое сопротивление:

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{636 \cdot 10^{-6}}{600 \cdot 10^{-12}}} = 1029,5 \text{ Ом} = X_{L0} = X_{C0}$$

3. Добротность:

$$Q = \frac{\rho}{R} = \frac{1029,5}{15} = 68,63$$

4. Затухание: $d = \frac{1}{Q} = 0,0146$ 5. Ток при резонансе: $I_0 = \frac{U}{Z_{\text{мин}}} = \frac{U}{R} = \frac{1,8}{15} = 0,12 \text{ А}$ 6. Расходуемая мощность: $P_0 = I_0^2 \cdot R = (0,12)^2 \cdot 15 = 0,216 \text{ Вт}$

7. Напряжения на реактивных элементах:

$$U_{L0} = U_{C0} = U \cdot Q = 1,8 \cdot 68,63 = 123,53 \text{ В}$$

8. Абсолютная полоса пропускания: $\Pi = \frac{f_0}{Q} = 3759,3 \text{ Гц}$

$$\Pi = \frac{\omega_0}{Q} = 23604,8 \text{ с}^{-1}$$

9. Рассчитаем и построим график зависимости $U_C = f(\xi)$:

$$U_C = \frac{U_Q}{\sqrt{1-\xi^2}} = \frac{123,53}{\sqrt{1-\xi^2}}$$

$$\xi = 0; U_{C0} = 123,53 \text{ В};$$

$$\xi = \pm 1; U_C = 87,4 \text{ В};$$

$$\xi = \pm 2; U_C = 55,2 \text{ В};$$

$$\xi = \pm 3; U_C = 39,1 \text{ В}.$$

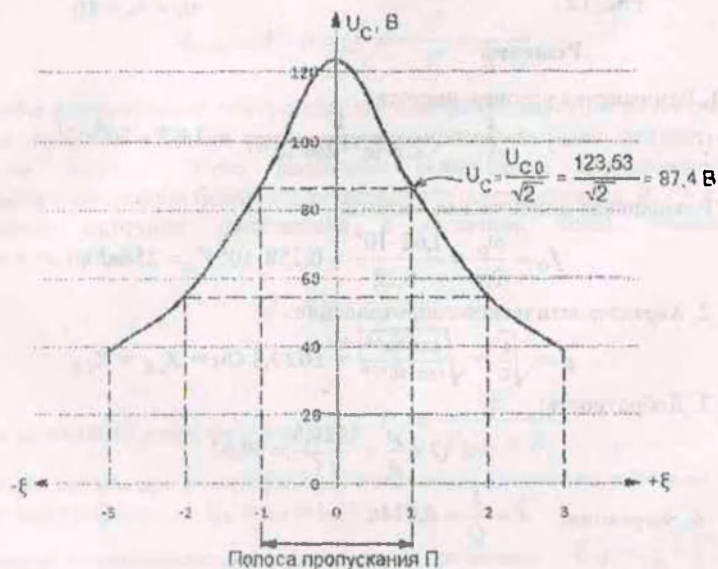


Рис. 14

Если в Вашем варианте контрольного задания требуется построить график другой зависимости [$I = f(\xi)$, $Z_{\text{эк}} = f(\xi)$, $\varphi_{\text{эк}} = f(\xi)$], то следует произвести аналогичные действия, а именно:

- выписать из методических указаний формулу зависимости нужной величины от ξ ;
- рассчитать значения этой величины при $\xi=0; \pm 1; \pm 2; \pm 3$;
- рассчитанные значения отложить на координатной плоскости, причём шкалу по оси ординат нужно градуировать соответственно рассматриваемой зависимости (в А, Ом или градусах);
- соединить полученные точки плавной линией.

Пример 2

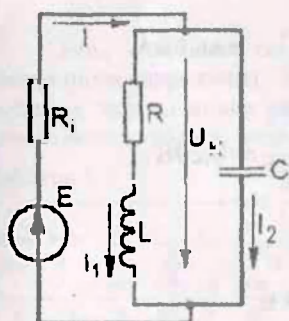


Рис. 13

Дано: $E = 100 \text{ В}$ $R_i = 25 \text{ кОм} = 25 \cdot 10^3 \text{ Ом}$ $R = 20 \text{ Ом}$ $L = 250 \text{ мкГн} = 250 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$ $C = 250 \text{ пФ} = 250 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$ $\xi = 2$ $R_{\Sigma} = 2 \cdot R_i = 50 \text{ кОм} = 50 \cdot 10^3 \text{ Ом}$ Найти: $\omega_0, f_0, \rho, Q, Q_{\Sigma}, Z_{\Sigma 0}, I_0, I_{01}, I_{02}, K, U_K, P_{\Sigma}, Q_{\Sigma}', P_{\Sigma}'$

Решение

1. Резонансная угловая частота:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{250 \cdot 10^{-6} \cdot 250 \cdot 10^{-12}}} = 4 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$$

Резонансная циклическая частота:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{4 \cdot 10^6}{6,28} = 636940 \text{ Гц} = 636,94 \text{ кГц}$$

2. Характеристическое сопротивление:

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{250 \cdot 10^{-6}}{250 \cdot 10^{-12}}} = 1000 \text{ Ом}$$

3. Собственная добротность контура:

$$Q = \frac{\rho}{R} = \frac{1000}{20} = 50$$

4. Входное сопротивление контура:

$$Z_{\Sigma 0} = Q \cdot \rho = 50 \cdot 1000 = 50000 \text{ Ом} = 50 \text{ кОм}$$

5. Эквивалентная добротность:

$$Q_{\Sigma} = \frac{Q}{1 + \frac{R_{\Sigma 0}}{R_i}} = \frac{50}{1 + \frac{50 \cdot 10^3}{25 \cdot 10^3}} = 16,67$$

6. Общий ток (ток в неразветвленной части цепи):

$$I_0 = \frac{E}{Z_{\Sigma 0} + R_i} = \frac{100}{(50 + 25) \cdot 10^3} = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 1,33 \text{ мА}$$

7. Токи в ветвях:

$$I_{u1} \cong I_{u2} = I_0 Q = 1,33 \cdot 10^{-3} \cdot 50 = 66,67 \cdot 10^{-4} \text{ А} \cong 66,7 \text{ мА.}$$

8. Модуль коэффициента передачи при $\xi = 2$:

$$K_U = \frac{\rho \cdot Q_U}{R_1 \cdot \sqrt{1 + \xi^2}} = \frac{10^3 \cdot 16,67}{25 \cdot 10^3 \sqrt{1 + 2^2}} = 0,298.$$

9. Напряжение на параллельном контуре при $\xi = 2$:

$$U_K = K_U \cdot E = 0,298 \cdot 100 \approx 29,8 \text{ В.}$$

10. Абсолютная полоса пропускания:

$$\Pi_{\omega} = \frac{\omega_c}{Q_U} = \frac{4 \cdot 10^6}{16,67} = 239952 \text{ с}^{-1}$$

$$\Pi_{\nu} = \frac{\nu_c}{Q_U} = \frac{636940}{16,67} = 38194 \text{ Гц} = 38,2 \text{ кГц}$$

11. При $R'_i = 2R_i$

$$Q'_{U1} = \frac{Q}{1 + \frac{2R_i}{R'_i}} = \frac{50}{1 + \frac{50 \cdot 10^3}{2 \cdot 25 \cdot 10^3}} = 25$$

$$\Pi'_{\omega} = \frac{\omega_c}{Q'_{U1}} = \frac{4 \cdot 10^6}{25} = 160000 \text{ с}^{-1}$$

$$\Pi'_{\nu} = \frac{\nu_c}{Q'_{U1}} = \frac{636940}{25} = 25477,6 \text{ Гц} = 25,5 \text{ кГц}$$

При увеличении R_i эквивалентная добротность Q_{U1} тоже увеличивается, а полоса пропускания Π_{U1} сужается.

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Задача 1

Цепь, состоящая из трёх конденсаторов, подключена к источнику постоянного напряжения. В табл. 3 в строке, соответствующей номеру Вашего варианта, заданы номер рисунка и исходные данные. Определите величины, отмеченные в таблице знаком вопроса.

Таблица 3

№ варианта	№ рисунка	C_1 пФ	C_2 пФ	C_3 пФ	$C_{\text{экв}}$ пФ	U_1 В	U_2 В	U_3 В	$U_{\text{Ав}}$ В	Q_1 Кл	Q_2 Кл	Q_3 Кл	Q Кл	W Дж
1	5	?	40	?	80	?	10	?	?	?	?	?	?	$36 \cdot 10^{-9}$
2	3	?	?	?	?	?	100	?	?	$1 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-9}$	?	?
3	4	60	40	16	?	?	?	?	?	?	?	?	$1.6 \cdot 10^{-9}$	?
4	5	80	40	30	?	?	?	?	?	?	?	$3 \cdot 10^{-9}$	?	?
5	4	120	30	26	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
6	2	60	20	30	?	?	?	?	?	?	?	?	$1.2 \cdot 10^{-9}$	?
7	5	200	?	120	80	?	?	?	?	?	?	?	$2.4 \cdot 10^{-9}$	?
8	4	80	80	60	?	?	?	?	10	?	?	?	?	?
9	5	20	?	?	?	40	?	60	?	?	?	$1.8 \cdot 10^{-9}$	?	?
10	4	120	?	20	?	?	20	?	?	$1.2 \cdot 10^{-9}$	?	?	?	?

Задача 2

Цепь постоянного тока состоит из смешанного соединения пяти резисторов. В табл. 4 в строке, соответствующей номеру Вашего варианта, указан номер рисунка и исходные данные.

Определите общее напряжение на нагрузке, токи во всех резисторах, а также ЭДС источника энергии, если она не задана в условии задачи. Составьте баланс мощностей.

Таблица 4

Вариант	Номер рисунка	E В	R Ом	R_1 Ом	R_2 Ом	R_3 Ом	R_4 Ом	R_5 Ом	I_1 А
1	15	104	2	20	80	40	150	100	?
2	16	88	2	15	28	25	30	20	?
3	17	?	5	30	6	40	32	28	0,9
4	18	44	1	5	7	8	20	15,2	?
5	19	?	3	12	20	50	40	120	0,2
6	20	?	2	8	80	120	25	15	0,1
7	21	180	2	36	12	36	18	15,8	?
8	22	110	1	40	80	25	15	24	?
9	23	?	2	28	40	32	6	8	?
10	24	?	1	11	30	19	40	80	?

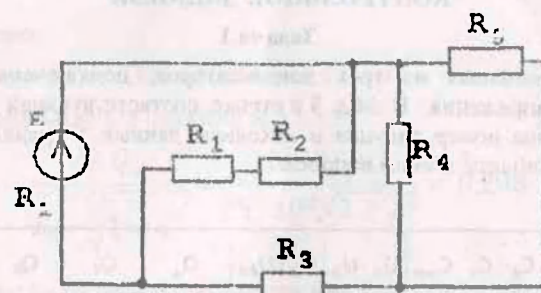


Рис. 15

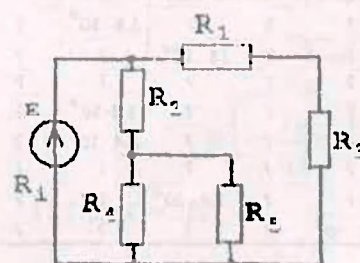


Рис. 16

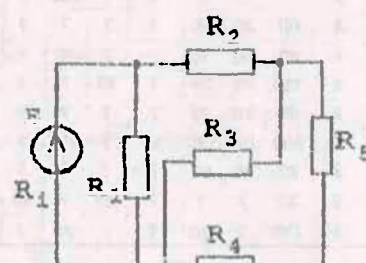


Рис. 17

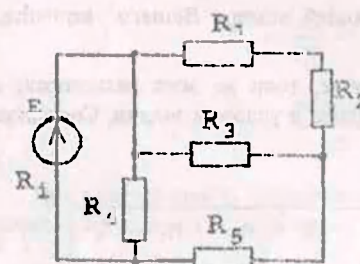


Рис. 18

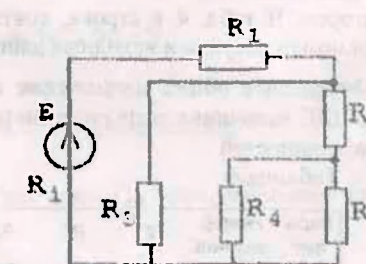


Рис. 19

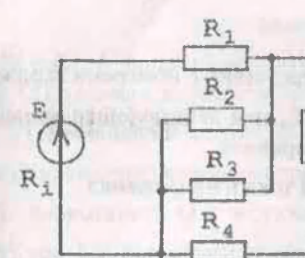


Рис. 20

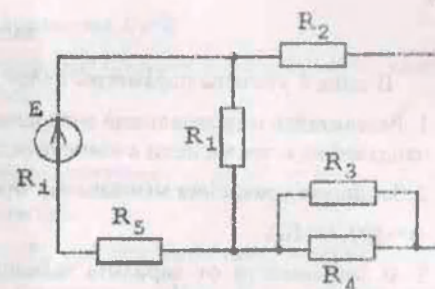


Рис. 21

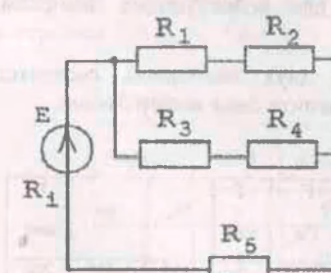


Рис. 22

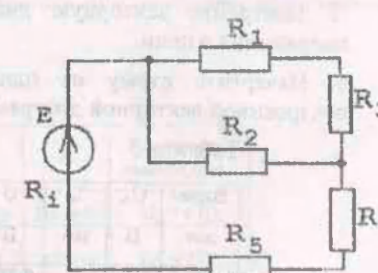


Рис. 23

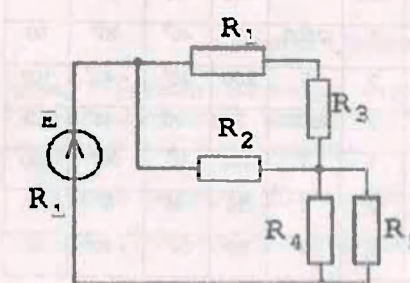


Рис. 24

Задача 3

В табл. 5 указаны параметры цепей в соответствии с номерами вариантов.

1. Рассчитайте максимальные значения U_m , I_m или действующие значения U , I напряжения и тока в цепи в зависимости от варианта.
2. Запишите уравнения мгновенных значений тока и напряжения $u = f(t)$, $i = f(t)$.
3. В зависимости от варианта задания рассчитайте частоту f либо период T синусоидального напряжения.
4. Определите мгновенные значения напряжения u , и тока i в момент времени t_1 .
5. Постройте векторную диаграмму для действующих значений тока и напряжения в цепи.
6. Начертите схему из одного или двух элементов, соответствующую построенной векторной диаграмме. Объясните свой выбор схемы.

Таблица 5

Вари- ант	U_m В	I_m мА	U В	I мА	F Гц	T мкс	ψ_u	ψ_i	t_1 мкс
1	?	?	0,707	14,2	2500	?	45°	-45°	200
2	25	3	?	?	?	30	30°	-60°	15
3	10	2	?	?	5000	?	80°	45°	100
4	60	?	?	14,2	?	300	30°	30°	150
5	?	20	0,28	?	2500	?	45°	90°	50
6	4	20	?	?	?	200	45°	-45°	100
7	?	2	56,4	?	10000	?	-90°	-45°	50
8	60	20	?	?	?	300	0°	90°	100
9	?	?	17,7	?	?	30	-90°	0°	20
10	100	20	?	?	?	60	30°	-30°	30

Задача 4 (варианты 1 – 5)

В табл. 6 заданы параметры последовательного колебательного контура (рис.12) и номера вариантов. Определите:

- 1) резонансную частоту ω_0 (f_0);
- 2) характеристическое сопротивление контура ρ ;
- 3) добротности Q и затухание d контура;
- 4) ток I_0 и расходуемую мощность P_0 при резонансе напряжений;
- 5) напряжения на реактивных элементах U_{L0} , U_{C0} при резонансе напряжений;
- 6) величину абсолютной полосы пропускания.

Постройте указанную в табл. 6 зависимость при значениях обобщенной расстройки $\xi = 0; \pm 1; \pm 2; \pm 3$.

Таблица 6

Вариант	U, В	R, Ом	L	C	Построить зависимость
1	1	1	20 мГн	50 мкФ	$U_L = f(\xi)$
2	3	20	0,2 мГн	200 пФ	$U_C = f(\xi)$
3	1	20	0,4 мГн	100 пФ	$\varphi_{L0} = f(\xi)$
4	3	40	2 мГн	125 пФ	$Z_{\Sigma} = f(\xi)$
5	2,4	5	0,1 мГн	400 пФ	$I = f(\xi)$

Задача 4 (варианты 6 – 10)

В табл. 7 указаны параметры параллельного колебательного контура (рис.13), соответствующие номеру варианта. Контур подключен к источнику синусоидальной ЭДС E с внутренним сопротивлением R . Определите:

1. на какой частоте ω_0 (f_0) в контуре происходит резонанс токов;
2. характеристическое сопротивление контура ρ ;
3. собственную добротность контура Q ;
4. входное сопротивление контура $Z_{вх}$;
5. эквивалентную добротность $Q_{эк}$;
6. токи в ветвях I_{01} , I_{02} и ток в неразветвленной части цепи I_0 при резонансе токов;

7. модуль коэффициента передачи по напряжению K_U и напряжение на контуре U_K при обобщённой расстройке $\xi = \pm 1$;

8. абсолютное значение полосы пропускания Π_{ω} .

Как изменится Π_{ω} , если внутреннее сопротивление источника увеличить в два раза ($R_i' = 2R_i$)?

Таблица 7

Вариант	Е	R_i	R	L	C
	В	кОм	Ом		
6	100	50	20	5 мГн	5 нФ
7	50	12,5	20	100 мГн	400 нФ
8	100	100	10	100 мкГн	100 пФ
9	100	100	20	800 мГн	200 нФ
10	50	25	10	50 мГн	0,2 мкФ

ЛИТЕРАТУРА

1. Тепляков Ю.И. Теория электрических цепей // Учебное пособие. / Учебно-методический центр СПО, 2010.
2. Лоторейчук Е.Ф. Теоретические основы электротехники. - М.: ФОРУМ – ИНФРА – М, 2004.
3. Добровольский И.Н. Теория электрических цепей. - М.: Радио и связь, 1989.
4. Попов В.С. Теоретическая электротехника. - М.: Энергоатомиздат, 1990.
5. Агасьян М.В., Орлов Е.А. Электротехника и электрические измерения. - М.: Радио и связь, 1983.
6. Зайчик М.Ю. Сборник задач и упражнений по теоретической электротехнике. - М.: Энергия, 1978.
7. Занделова Е.В. Электротехника. // Рабочая тетрадь для студентов всех технических специальностей /КТ МТУСИ. 2005.

Автор-составитель И.С. Жучкова

Подписано в печать 22.05.12

Объем 2,7 п.л.

Тираж 500 экз.

Формат 60х84 1/16

Заказ № 10546