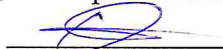


**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова**

Кафедра инфокоммуникаций и радиофизики

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана физического факультета

  
(подпись)

И.С. Огнев

« 9 » октября 2020 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Основы теории цепей (Часть 1)»**

Направление подготовки  
11.03.01 Радиотехника

Направленность (профиль) «Радиотехника»

прием 2019

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры  
протокол № 1 от «28» сентября 2020 года

Зав.кафедрой   
(подпись) Ю.А. Брюханов  
(ФИО)

Программа одобрена НМК  
физического факультета  
протокол № 1 от «9» октября 2020 года

Председатель НМК   
(подпись) Т.К. Артёмова  
(ФИО)

Ярославль  
2020

### 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины являются формирование способности решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей.

Курс знакомит с основными электрическими цепями, преобразующими сигналы, методами их расчёта, методами получения информации о характеристиках цепей, в том числе экспериментальными.

Задачи курса – способствовать формированию у студентов представления о моделях цепей и их элементов, возможностях различных элементов и схем, умения получать характеристики цепей в ходе расчётов и экспериментально, навыка решать задачи анализа и расчёта характеристик цепей.

### 2. Место дисциплины в структуре ОП бакалавриата

Данная дисциплина является обязательной дисциплиной и относится к обязательной части Блока 1.

Дисциплина требует знаний, умений и навыков, полученных при изучении дисциплин «Электричество и магнетизм», «Физический практикум», а также базовых математических знаний и умений из курсов «Математический анализ», «Аналитическая геометрия и линейная алгебра», «Теория функций комплексной переменной». Знания, умения и навыки, полученные при изучении дисциплины, используются студентами при изучении курса «Радиотехнические цепи и сигналы (часть 1)» и других, а также в ходе НИРС.

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП бакалавриата

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Код компетенции	Формулировка компетенции	Перечень планируемых результатов обучения
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>		
ОПК-1	Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера Владеет навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач
ОПК-2	Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приёмы обработки и представления полученных данных	Находит и критически анализирует информацию, необходимую для решения поставленной задачи Рассматривает возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки Формулирует в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение Определяет ожидаемые результаты решения выделенных задач Знает основные методы и средства

		<p>проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации</p> <p>Умеет выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования</p> <p>Владеет способами обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений</p>
--	--	---

#### 4. Объем, форма реализации, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 акад. часов.

Дисциплина реализуется с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ), предоставляемых образовательной площадкой MOOK ЯрГУ им. П.Г. Демидова (DemidOnline).

Отдельные элементы курса преподаются в дистанционной форме в рамках онлайн курса «Линейные электрические цепи (часть 1)», размещённого по ссылке:

<https://demidonline.uni-yar.ac.ru/courses/course-v1:DemidOnline+LECh001.1x+2020/about>

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости  Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Введение	3	1					2	Задания для самостоятельной работы Тесты по Модулю 1 онлайн курса «Линейные электрические цепи (часть 1)»
2	Анализ и синтез резистивных цепей на постоянном токе и при гармоническом воздействии	3	5	4		1		9	Домашняя работа №1, контрольная работа Тесты по Модулям 2 и 3 онлайн курса «Линейные электрические цепи (часть 1)»
3	Линейные пассивные цепи и методы их анализа	3	18	5	34	2		29	Домашняя работа №2, защита лабораторных работ №1-5, контрольная работа Тесты по Модулям 4-6 онлайн курса «Линейные электрические цепи (часть 1)»
4	Нелинейные элементы цепей	3	6	4		1		7	Домашняя работа №3, контрольная работа
5	Элементы с распределёнными	3	4	4		1		5	Домашняя работа №4, контрольная работа

параметрами									
								2	Итоговый тест
<b>Всего</b>		<b>34</b>	<b>17</b>	<b>34</b>	<b>5</b>			<b>54</b>	
	3				2	0,5	33,5		Экзамен
<b>Всего с экзаменом</b>		<b>34</b>	<b>17</b>	<b>34</b>	<b>7</b>	<b>0,5</b>	<b>87,5</b>		

### Содержание разделов дисциплины (с указанием формы проведения)

Раздел 1 (дистанционно на площадке DemidOnline в рамках курса «Линейные электрические цепи (часть 1)»)

#### *Введение*

Введение в курс.

Понятие об электрической цепи. Основные электрические величины: ток, напряжение, мощность и энергия.

Понятие о методах теории цепей. Пределы применимости методов теории цепей.

Способы получения информации о цепях и их элементах, о выходных сигналах цепей. Математические модели теории цепей.

Измерения в теории цепей. Индицируемые основными приборами величины. Среднее, средневыпрямленное, среднеквадратическое значения, средняя мощность сигнала. Косвенное получение информации о характеристиках цепей и их элементов по данным экспериментов.

Раздел 2 (дистанционно на площадке DemidOnline в рамках курса «Линейные электрические цепи (часть 1)»)

#### *Анализ и синтез резистивных цепей на постоянном токе и при гармоническом воздействии*

Классификация элементов цепей. Классификация цепей. Математические модели пассивных элементов электрических цепей. Идеализированные пассивные элементы электрических цепей. Модели источников. Идеализированные источники тока и напряжения. Зависимые и независимые источники. Структурные, принципиальные схемы и схемы замещения электрических цепей. Формулировка задач анализа и синтеза электрических цепей. Анализ свойств цепи по составу её элементов.

Анализ резистивных цепей по постоянному току. Последовательное, параллельное и смешанное соединение двухполюсных элементов. Закон Ома. Делители тока и напряжения. Анализ и синтез делителей. Основы топологии цепей. Ветвь, узел и контур электрической схемы. Правила Кирхгофа. Основная система уравнений электрического равновесия цепи.

Понятие об эквивалентных (дуальных) участках цепи. Эквивалентные преобразования цепей с последовательным, параллельным и смешанным соединением элементов.

Основные теоремы теории цепей и их применение для решения задач анализа. Принцип наложения. Теорема взаимности. Теоремы об эквивалентных источниках.

Методы расчёта распределения токов и напряжений в резистивной цепи: метод уравнений Кирхгофа, метод контурных токов, метод узловых потенциалов, метод эквивалентного источника э.д.с., метод эквивалентного источника тока, метод наложения. Баланс мощности по постоянному току.

Согласование источника энергии с нагрузкой по критериям максимума передаваемой средней мощности и максимума коэффициента полезного действия. Согласованная нагрузка.

Описание гармонического сигнала. Аналитический сигнал как комплексный аналог вещественного, комплексная амплитуда, действующее значение, квадратурные компоненты гармонического сигнала. Представление гармонического сигнала на векторной диаграмме. Закон Ома и правила Кирхгофа для цепей при гармоническом воздействии. Анализ резистивных цепей при гармоническом воздействии. Энергетические соотношения в простейших цепях при гармоническом воздействии. Мгновенная, средняя (активная), реактивная, полная и комплексная мощности. Баланс мощностей.

### Раздел 3

#### *Линейные пассивные цепи и методы их анализа*

*Дистанционно на площадке DemidOnline в рамках курса «Линейные электрические цепи (часть 1)»:* Простейшие линейные элементы. Связь между током и напряжением для них, выражения для запасаемой или преобразуемой энергии.

Комплексное сопротивление и комплексная проводимость двухполюсников. Импедансы простейших линейных элементов. Характер импеданса. Получение информации об элементе и построение его модели по характеру импеданса.

Временные и векторные диаграммы для тока, напряжения, мощности и энергии на простейших линейных элементах.

Описание четырёхполюсников. Расчётное и экспериментальное получение информации о частотных свойствах четырёхполюсника. Входные и выходные импедансы и проводимости. Векторная диаграмма токов и напряжений в простейшей цепи. Комплексный частотный коэффициент передачи цепи. Амплитудно-частотная (АЧХ) и фазо-частотная (ФЧХ) характеристики электрических цепей. Формы представления АЧХ, в том числе логарифмические АЧХ. Электрические фильтры. Фильтры низких частот, верхних частот, полосовые и режекторные фильтры. Идеальный фильтр. Полоса пропускания, полоса подавления. Комплексный коэффициент передачи, АЧХ и ФЧХ простейших  $RC$ - и  $RL$ - фильтров. Определение граничной частоты, полосы пропускания, типа частотно-избирательной цепи по её АЧХ.

Методы расчёта отклика линейной цепи на заданное воздействие. Единичный скачок (сигма-функция Хэвисайда) и единичный импульс (дельта-функция Дирака), их свойства. Установившиеся и переходные процессы. Непрерывность изменения энергии электрического и магнитного полей. Правила коммутации. Зависимые и независимые начальные условия. Порядок цепи. Свободные и вынужденные составляющие токов и напряжений. Классический метод анализа переходных процессов. Дифференциальные уравнения простейших цепей и методы их решения. Переходные процессы в цепях первого и второго порядков. Зависимость характера переходных процессов в цепи от типа корней характеристического уравнения. Постоянная времени цепи и время установления колебаний. Влияние потерь на характер свободного процесса. Дифференцирующие и интегрирующие цепи. Временные характеристики линейных цепей. Переходная и импульсная характеристики. Связь между ними. Анализ постоянной времени цепи и длительности переходных процессов по АЧХ и по осциллограммам реакции на модель скачка сигнала.

Метод интеграла Дюамеля (наложения), его две формы, особенности применения.

Операторный метод анализа переходных процессов. Понятие о комплексной частоте. Прямое и обратное преобразование Лапласа. Оригиналы и изображения. Операторное сопротивление и операторная проводимость. Операторные схемы замещения элементарных двухполюсников при нулевых и ненулевых начальных условиях. Законы Ома и Кирхгофа в операторной форме. Операторная схема замещения цепи. Системная (операторная передаточная) функция линейной цепи. Операторный метод анализа линейной цепи.

Нули и полюсы системной функции. Связь между операторными и временными характеристиками цепи. Годограф (диаграмма) Найквиста. Получение информации об устойчивости состояния линейной цепи. Признаки устойчивости состояния покоя.

Метод анализа цепей в частотной области. Связь характеристик цепи друг с другом. Связь между импульсной характеристикой и комплексным коэффициентом передачи цепи.

Резонансные явления в электрических цепях. Одиночный колебательный контур. Классификация одиночных колебательных контуров по способу включения источника энергии. Определение и критерии резонанса. Резонанс токов и резонанс напряжений. Резонансная частота, характеристическое и резонансное сопротивления, добротность и обобщенная расстройка одиночного колебательного контура. Входные и передаточные частотные характеристики одиночных колебательных контуров различных типов. Избирательность и полоса пропускания. Коэффициент прямоугольности АЧХ. Контур с неполным включением. Связанные колебательные контуры. Виды связи, сопротивление связи, коэффициент и фактор связи. Сильная, слабая и критическая связь. Частотные характеристики системы двух связанных колебательных контуров, полоса пропускания и коэффициент прямоугольности.

*Очно или дистанционно в рамках собственной внутренней образовательной среды LMS Moodle ЯрГУ:* Анализ четырехполосников. Основные уравнения и системы эквивалентных параметров четырехполосников. Физический смысл, основные свойства и методы определения первичных параметров. Связь между различными системами параметров. Схемы замещения четырехполосников. Типы соединений четырёхполосников, их свойства и примеры использования. Матрица передачи каскадного соединения.

Индуктивно связанные цепи. Согласное и встречное включение катушек.

Цепи с обратной связью. Обратная связь по току или напряжению. Положительная и отрицательная обратная связь. Коэффициент передачи цепи с обратной связью. Влияние обратной связи свойства схемы. Условия самовозбуждения колебаний в схеме с обратной связью: баланс амплитуд и фаз.

#### Раздел 4 (очно или дистанционно в рамках собственной внутренней образовательной среды LMS Moodle ЯрГУ)

##### *Нелинейные элементы цепей*

Общие свойства нелинейных элементов. Примеры их характеристик.

Параметры нелинейных резистора, конденсатора, катушки по постоянной и переменной компонентам сигнала. Управление параметрами нелинейных элементов. Эквивалентная модель варикапа и диода.

Работа диода с нагрузкой. Варикап, примеры его использования. Биполярный транзистор, его возможности.

Аппроксимации ВАХ нелинейных элементов: степенная, квадратичная, кусочно-линейная. Получение информации о свойствах нелинейного элемента по результатам измерений. Расчёт отклика квадратичного нелинейного элемента на гармоническое и бигармоническое воздействия. Расчёт отклика элемента с кусочно-линейной аппроксимацией ВАХ на гармоническое воздействие.

#### Раздел 5 (очно или дистанционно в рамках собственной внутренней образовательной среды LMS Moodle ЯрГУ)

##### *Элементы с распределёнными параметрами*

Распределенные системы. Направленные системы и процессы в них. Линии с TEM-волной. Двухпроводная линия, коаксиальный кабель. Модель отрезка двухпроводной

линии. Телеграфные и волновые уравнения. Решения волновых уравнений. Бегущие и стоячие волны в линии. Коэффициент стоячей волны, коэффициент отражения, сопротивление участка линии в разных режимах. Понятие волновода, резонатора. Применение отрезков линий. Микрополосковое исполнение резистивных, ёмкостных и индуктивных элементов. Анализ режима работы элемента с распределёнными параметрами.

### Лабораторный практикум (проводится очно)

Перечень лабораторных работ по курсу:

*Лабораторная работа №1 «Исследование свободных процессов в электрических цепях».*

*Лабораторная работа №2 «Исследование переходных процессов в линейных цепях».*

*Лабораторная работа №3 «Исследование установившегося синусоидального режима в простейших цепях».*

*Лабораторная работа №4 «Исследование резонансных явлений в простых электрических цепях».*

*Лабораторная работа №5 «Исследование линейных резистивных четырёхполюсников».*

**Итоговое тестирование по курсу** проводится дистанционно на площадке DemidOnline в рамках курса «Линейные электрические цепи (часть 1)».

## 5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения проводятся практические и лабораторные занятия, в ходе которых используются следующие типы занятий и образовательные технологии.

1) **Вводная лекция** – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

2) **Академическая лекция** (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Задействованы:

– интерактивная лекция.

3) **Практическое занятие** – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению знаний, полученных на лекциях.

Задействованы:

– решение задач;

– коллективная мыслительная деятельность, в т.ч. мозговой штурм;

– анализ конкретных ситуаций.

4) **Лабораторная работа** – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами, экспериментальная работа с

аналоговыми моделями реальных объектов.

Задействованы:

- допуск к выполнению экспериментальных исследований,
- коллективная работа в ходе выполнения лабораторной работы,
- командная защита отчёта.

5) **Консультация** – занятие перед проведением экзамена, на котором проводится консультация по изученному материалу, формам заданий итогового контроля, ответы на вопросы студентов по дисциплине.

6) **Асинхронная консультация** (в рамках онлайн курса) – занятие по окончанию модуля, на котором проводится консультация по изученному материалу, формам заданий текущего контроля, ответы на вопросы студентов по дисциплине.

## **6. Перечень электронных ресурсов и информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

- материалы онлайн курса «Линейные электрические цепи (часть 1)», размещённого на образовательной онлайн площадке ЯрГУ им. П.Г. Демидова DemidOnline по ссылке: <https://demidonline.uniyar.ac.ru/courses/course-v1:DemidOnline+LECh001.1x+2020/about>
- материалы курса «Линейные электрические цепи (часть 1)», размещённого в LMS Moodle ЯрГУ,
- для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ: Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" (АБИС "Буки-Next").

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» для освоения дисциплины**

### **а) основная литература:**

1. Бакалов В. П. Основы теории цепей: Учебник для направления подготовки бакалавров и магистров "Телекоммуникации" / В.П. Бакалов, В.Ф. Дмитриков, Б.И. Крук; М-во образования РФ. - 2-е изд., перераб. и доп. - М: Радио и связь, 2000. – 589 с.  
[http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=290371&cat\\_cd=YARSU](http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=290371&cat_cd=YARSU)
2. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы: учебное пособие для вузов / С. И. Баскаков; М-во образования РФ. - М.: Высшая школа, 2003. - 462 с.  
[http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=305228&cat\\_cd=YARSU](http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=305228&cat_cd=YARSU)
3. Артёмова Т.К., Гвоздарёв А.С. Основы радиоэлектроники: задачник. – Ярославль: ЯрГУ, 2010. – 56 с.  
[http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=847360&cat\\_cd=YARSU](http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=847360&cat_cd=YARSU)  
<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20100745.pdf> (электронная версия)

### **б) дополнительная литература:**

4. Новиков Ю. Н. Основные понятия и законы теории цепей, методы анализа процессов в цепях: учеб. пособие для вузов. / Ю. Н. Новиков; УМО по университет. политех. образованию. - 3-е изд., испр. и доп. - СПб.: Лань, 2011. - 362 с.  
[http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=1276843&cat\\_cd=YARSU](http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1276843&cat_cd=YARSU)
5. Атабеков Г. И. Основы теории цепей: учебник для вузов. / Г. И. Атабеков - 3-е изд., стереотип. - СПб.: Лань, 2009. - 424 с.  
[http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=724883&cat\\_cd=YARSU](http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=724883&cat_cd=YARSU)

### **в) ресурсы сети «Интернет»**

1. Материалы онлайн курса «Линейные электрические цепи (часть 1)», размещённого на образовательной онлайн площадке ЯрГУ им. П.Г. Демидова (DemidOnline) по ссылке:



- <https://demidonline.uniyar.ac.ru/courses/course-v1:DemidOnline+LECh001.1x+2020/about>
2. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ ([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)).
  3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» ([www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)).
  4. Калькулятор цветовой маркировки резисторов <https://www.chipdip.ru/info/rescalc>
  5. Ряды номиналов радиодеталей / статья в Интернет-энциклопедии «Википедия» [http://Wikipedia.org/Ряды номиналов радиодеталей](http://Wikipedia.org/Ряды_номиналов_радиодеталей)

## **8. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения лабораторных работ;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.


Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, хранящиеся на электронных носителях и обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие рабочим программам дисциплин.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации, а также материалам онлайн курса «Линейные электрические цепи (часть 1)», размещённого на образовательной онлайн площадке ЯрГУ им. П.Г. Демидова (DemidOnline).

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока, а в аудитории для практических занятий (семинаров) – списочному составу группы обучающихся. (Для проведения лабораторных работ группа обучающихся делится на две подгруппы).

Учебно-методическое обеспечение, необходимое для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав:

Автор:

Доцент кафедры инфокоммуникации и радиофизики, к.ф.-м.н.  Т.К. Артёмова

**Фонд оценочных средств  
для проведения текущего контроля успеваемости  
и промежуточной аттестации студентов  
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,  
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,  
характеризующих этапы формирования компетенций**

**1.1 Контрольные задания и иные материалы,  
используемые в процессе текущей аттестации**

Задания включают задания, предназначенные для самопроверки (задание 1.1, ответы к которому имеются в тексте учебной литературы), и домашние задания, которые необходимо сдать на проверку преподавателю.

**Задания по теме №1 «Введение» - задание для самопроверки**

*Задание 1.1*

1. Ознакомьтесь с литературой из списка основной литературы. При необходимости воспользуйтесь дополнительной литературой.
2. Вспомните и перечислите способы получения информации о свойствах цепей и их элементов, реакций цепей на заданное воздействие.
3. Ознакомьтесь с описаниями измерительных приборов, предназначенных для измерения характеристик электрических цепей и свойств их элементов.
4. Составьте табличку, какие величины каким прибором измеряют.

**Домашние задания**

**Задания по теме № 2 «Анализ и синтез резистивных цепей на постоянном токе и при гармоническом воздействии» – Домашнее задание №1**

Решить задачи 4.1 – 4.12 из раздела №4 и задачи 5.2, 5.3 из раздела №5 сборника задач «Основы радиоэлектроники: задачник» / Т. К. Артемова, А. С. Гвоздарев; Ярослав. гос. ун-т им. П. Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та. - Ярославль: ЯрГУ, 2010. – 56 с., рекомендованного в списке основной литературы.

**Задания по теме № 3 «Линейные пассивные цепи и методы их анализа» – Домашнее задание №2**

Решить задачи 5.1, 5.4 – 5.8 из раздела №5 и задачи 6.1 – 6.10 из раздела №6 сборника задач «Основы радиоэлектроники: задачник» / Т. К. Артемова, А. С. Гвоздарев; Ярослав. гос. ун-т им. П. Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та. - Ярославль: ЯрГУ, 2010. – 56 с., рекомендованного в списке основной литературы.

**Задания по теме № 4 «Нелинейные элементы цепей» – Домашнее задание №3**

Решить задачи 7.1 – 7.13 из раздела №7 сборника задач «Основы радиоэлектроники: задачник» / Т. К. Артемова, А. С. Гвоздарев; Ярослав. гос. ун-т им. П. Г. Демидова, Науч.-

метод. совет ун-та. - Ярославль: ЯрГУ, 2010. – 56 с., рекомендованного в списке основной литературы.

### Задания по теме № 5 «Элементы с распределёнными параметрами» – Домашнее задание №4

Решить задачи 8.1 – 8.6 из раздела №8 сборника задач «Основы радиоэлектроники: задачник» / Т. К. Артемова, А. С. Гвоздарев; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та. - Ярославль: ЯрГУ, 2010. – 56 с., рекомендованного в списке основной литературы.

### Задания для контрольной работы

#### Вариант №1

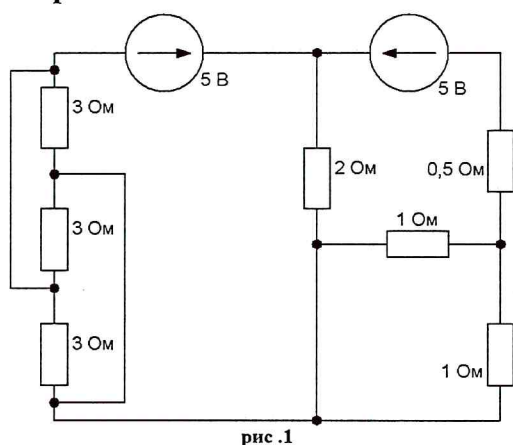


рис. 1

№1. Для представленного контура методом уравнений Кирхгофа: 1) составить систему уравнений, 2) найти все токи, 3) все падения напряжений, 4) проверить баланс мощности.

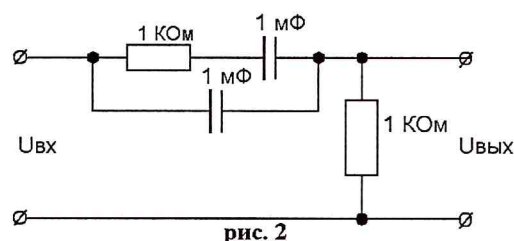


рис. 2

№2. Для представленной цепочки найти: 1)  $\dot{Z}_{вх}$ , 2)  $\dot{Z}_{вых}$ , 3)  $\dot{K}_u(j\omega)$ , 4)  $A(\omega)$ , 5)  $\varphi(\omega)$ , 6)  $\max\{A(\omega)\}$ , 7)  $\omega_{zp}$ , 8) тип фильтра (обосновать), 9)  $\Delta\omega$ , 10)  $A(\omega_{zp})$ , 11)  $\varphi(\omega_{zp})$ , 12)  $\tau$ , 13)  $\tau_{н.пр}$ , 14) правила коммутации, 15) составить ДУ, 16) начальные условия (зависимые и независимые), 17) порядок цепи (по ДУ), 18) график АЧХ, 19) график ФЧХ, 20)  $H(p)$ , 21) составить ОУ, 22) проверить на устойчивость.

№3. Дан НЭ с началом характеристики 3,1 В и крутизной характеристики 0,2 мСм. На него воздействует сигнал  $u(t) = 1 + 2\cos(2\pi 10^4 t)$  В. 1) Найти угол отсечки, 2) количество компонент в спектре выходного тока, 3) амплитуду первой гармоники тока, 4) какая крутизна ВАХ НЭ обеспечит амплитуду первой гармоники выходного сигнала в 50 мА.

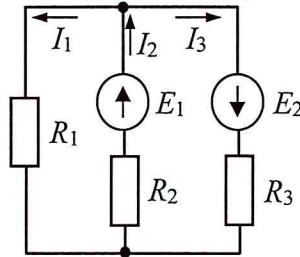
### Задания для самопроверки

(эквивалентные задания по разделам и модулям онлайн курса «Линейные электрические цепи (часть 1)», размещённого на образовательной онлайн площадке ЯрГУ им. П.Г. Демидова (DemidOnline))

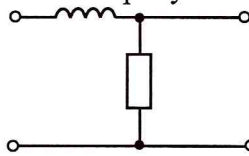
#### Вариант 1

1. Дайте определение дискретного сигнала.
2. Напишите формулы для нахождения спектра периодического сигнала (любой вариант из 3-х).

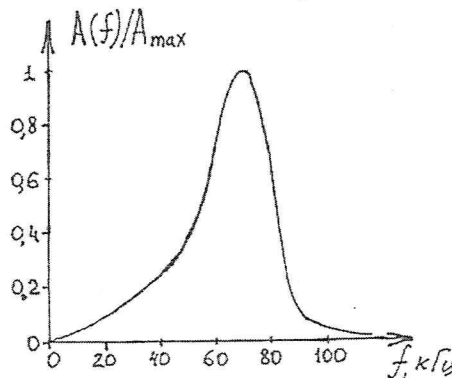
3. Определите ширину спектра прямоугольного импульса высотой 2 В и длительностью 3 мс по первым нулям.
4. Приведите пример пассивного нелинейного двухполосника.
5. Кабель длиной 2 м работает на частоте 100 МГц. Определите, является ли он:
  - а) элементом с сосредоточенными или с распределёнными параметрами;
  - б) активным или пассивным элементом;
  - в) линейным или нелинейным элементом.
6. Запишите уравнения по правилам Кирхгофа для цепи, приведённой на рисунке.



7. Делитель тока построен на резисторах 3 и 6 Ом. Определите:
  - а) чему равен ток, протекающий через резистор 3 Ом, если входной ток равен 30 мкА;
  - б) величину коэффициента деления напряжения для этого резистора.
8. Напишите формулу связи тока и напряжения на катушке индуктивности (без сердечника).
9. Запишите выражение для импеданса конденсатора.
10. Для цепи, приведённой на рисунке:



- а) получите выражение для входного импеданса;
  - б) получите выражение для выходного импеданса;
  - в) определите их характер (активный/реактивный/комплексный, ёмкостный/индуктивный для двух последних).
11. Для своей цепи из задания 10, получите выражения и постройте графики АЧХ и ФЧХ.
  12. По АЧХ цепи, приведённой на рисунке, определите:



- а) граничную частоту,
  - б) полосу пропускания,
  - в) тип фильтра.
13. Какую функциональную роль выполняет RC цепь с большой постоянной времени?

14. В процессе преобразования сигнал  $s_1(t)$  усиливается в 10 раз и к результату прибавляется через тройник сигнал  $s_2(t)$ , формируя в итоге сигнал  $s(t)$ . Напишите, как связаны друг с другом спектры этих сигналов.

15. Дайте определение импульсной характеристики.

16. Как связаны импульсная и переходная характеристики?

17. Докажите, является ли цепь с операторной передаточной функцией  $\frac{2p-1}{(p+3)(p-1)}$  устойчивой.

18. Для цепи из задания 10 запишите выходное операторное сопротивление.

19. Какую максимальную мощность может отдать в нагрузку источник с э.д.с. 16 В и внутренним сопротивлением 1 Ом.

20. Запишите выражение для экспериментального определения добротности колебательного контура.

### Вариант 2

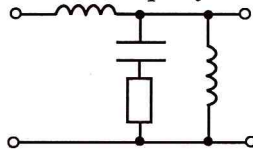
1. Дайте определение цифрового сигнала.

2. Напишите формулы для нахождения спектра непериодического сигнала.

3. Определите величину постоянной составляющей в спектре прямоугольного импульса высотой 2 В и длительностью 3 мс.

4. Приведите пример пассивного активного четырёхполюсника.

5. Определите, является ли цепь на рисунке:

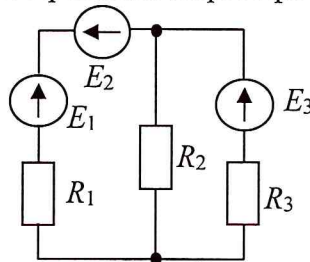


а) с сосредоточенными или с распределёнными параметрами;

б) активной или пассивной;

в) линейной или нелинейной.

6. Запишите уравнения по правилам Кирхгофа для цепи, приведённой на рисунке.

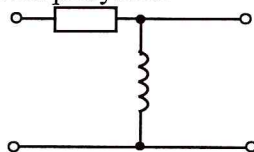


7. Постройте (изобразите схему и найдите номиналы элементов) делитель напряжения на двух резисторах, имеющий входное сопротивление 500 Ом и один из коэффициентов деления 1/5.

8. Напишите формулу связи тока и напряжения на электролитическом конденсаторе.

9. Запишите выражение для импеданса катушки индуктивности.

10. Для цепи, приведённой на рисунке:



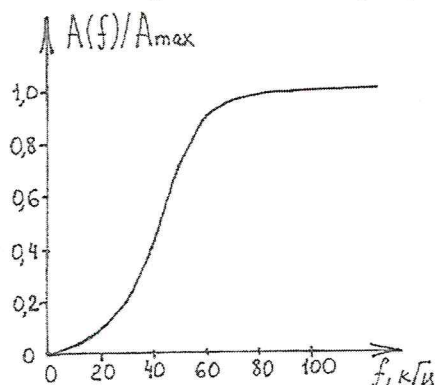
а) получите выражение для входного импеданса;

б) получите выражение для выходного импеданса;

в) определите их характер (активный/реактивный/комплексный, ёмкостный/индуктивный для двух последних).

11. Для своей цепи из задания 10, получите выражения и постройте графики АЧХ и ФЧХ.

12. По АЧХ цепи, приведённой на рисунке, определите:



- а) граничную частоту,
- б) полосу пропускания,
- в) тип фильтра.

13. Какую функциональную роль выполняет LR-цепь с малой постоянной времени?

14. Напишите, как связаны друг с другом спектры входного и выходного сигналов для цепи, выполняющей дифференцирование.

15. Дайте определение переходной характеристики.

16. Как связаны импульсная характеристика и операторная передаточная функция?

17. Напишите характеристический полином цепи, имеющей операторную передаточную функцию  $\frac{3p}{(p-2)(p+3)}$ .

18. Для цепи из задания 10 запишите входное операторное сопротивление.

19. Определите величину тока короткого замыкания для источника с э.д.с. 3 В и внутренним сопротивлением 0,5 Ом.

20. Запишите выражение для резонансной частоты колебательного контура, если выходной элемент его - конденсатор.

## 2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

### Список вопросов к экзамену

(экзамен выставляется по результатам выполнения домашних заданий, контрольной работы, лабораторных работ и ответов на вопросы)

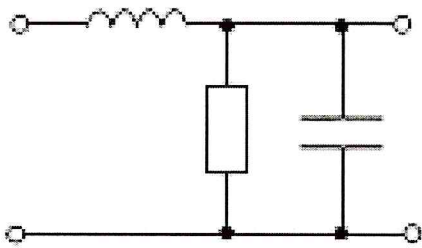
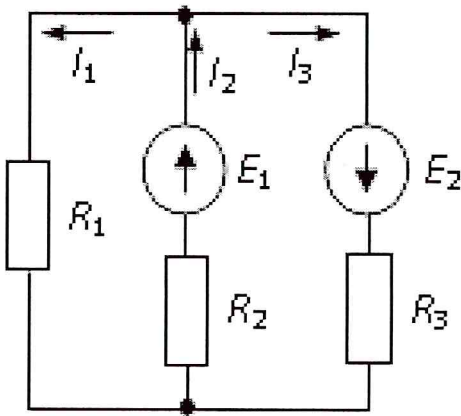
1. Классификация p/t цепей и их элементов. Схемы цепей.
2. Резистивные цепи, синтез и анализ делителей, расчёт разветвлённых цепей.
3. Основные теоремы теории цепей и их применение к расчёту резистивной цепи: правила Кирхгофа, метод контурных токов, метод узловых потенциалов, метод эквивалентного источника.
4. Сигналы в электрических цепях. Среднее, средневыпрямленное, среднеквадратическое значения, средняя мощность сигнала. Баланс мощности в резистивной цепи по постоянному току.
5. Описание гармонических сигналов. Действующее значение, комплексная амплитуда. Представление узкополосных сигналов на векторной диаграмме. Расчёт резистивных цепей при гармоническом воздействии.
6. Энергетические соотношения в простейших цепях при гармоническом воздействии.

7. Согласование источника энергии с нагрузкой. Согласованная нагрузка. Модели источников.
8. Простейшие линейные элементы. Связь между током и напряжением для них, выражения для запасаемой или преобразуемой энергии.
9. Комплексное сопротивление и комплексная проводимость двухполюсников. Импедансы простейших линейных элементов. Характер импеданса.
10. Временные и векторные диаграммы для тока, напряжения, мощности и энергии на простейших линейных элементах.
11. Описание четырёхполюсников. Входной и выходной импедансы и проводимости. Векторная диаграмма токов и напряжений в цепи (на примере).
12. Комплексный частотный коэффициент передачи цепи. Амплитудно-частотная (АЧХ) и фазо-частотная (ФЧХ) характеристики электрических цепей. Формы представления АЧХ, в том числе логарифмические АЧХ. Комплексный коэффициент передачи, АЧХ и ФЧХ простейших  $RC$ - и  $RL$ - фильтров.
13. Электрические фильтры. Фильтры низких частот, верхних частот, полосовые и режекторные фильтры. Идеальный фильтр. Полоса пропускания, полоса подавления. Формулировка задач синтеза фильтров.
14. Характеристика методов анализа линейных электрических цепей.
15. Основные важные функции в теории сигналов: дельта-функция Дирака, гармонический сигнал, постоянная функция, сигма-функция Хэвисайда, их свойства. Временные характеристики цепей – ИХ и ПХ.
16. Порядок цепи. Классический метод анализа линейной цепи. Переходные процессы в дифференцирующих, интегрирующих цепях и колебательном контуре. Постоянная времени цепи. Длительность переходных процессов. Влияние потерь на характер свободного процесса.
17. Анализ процессов в цепях методом интеграла наложения (2 формы).
18. Метод анализа процессов в частотной области. Фильтры и их классификация с примерами. Задачи синтеза фильтров.
19. Анализ цепей с помощью преобразования Лапласа. Устойчивость цепей.
20. Четырёхполюсники, их эквивалентные схемы.  $y$ ,  $z$ ,  $h$ ,  $a$ -параметры. Соединения четырёхполюсников, их описание и применение.
21. Последовательный колебательный контур. Режимы работы, явление резонанса. Анализ последовательного колебательного контура: входной импеданс, частотные характеристики, характеристическое сопротивление, добротность, полоса пропускания, резонансная частота.
22. Параллельный колебательный контур. Связанные контуры. Виды связей. Характеристики и параметры связанных контуров.
23. Системы эквивалентных параметров четырёхполюсников:  $z$ ,  $y$ ,  $h$ ,  $a$ . Физический смысл и методы определения этих параметров. Связь между различными системами параметров. Схемы замещения четырёхполюсников в этих параметрах.
24. Типы соединений четырёхполюсников, их свойства и примеры использования. Матрица передачи каскадного соединения.
25. Цепи с обратной связью. Обратная связь по току или напряжению. Положительная и отрицательная обратная связь. Коэффициент передачи цепи с обратной связью. Влияние обратной связи на входное и выходное сопротивления схемы. Условия самовозбуждения колебаний в схеме с обратной связью: баланс амплитуд и фаз.
26. Параметры нелинейных резистора, конденсатора, катушки по постоянной и переменной компонентам сигнала. Управление параметрами нелинейных элементов. Эквивалентная модель варикапа и диода.
27. Работа диода с нагрузкой. Варикап, примеры его использования. Биполярный транзистор, его возможности.

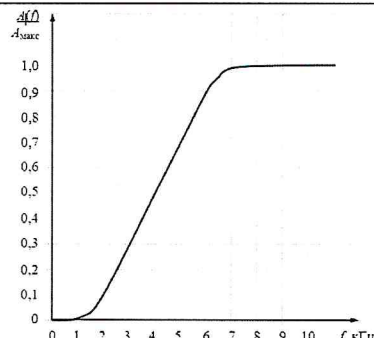
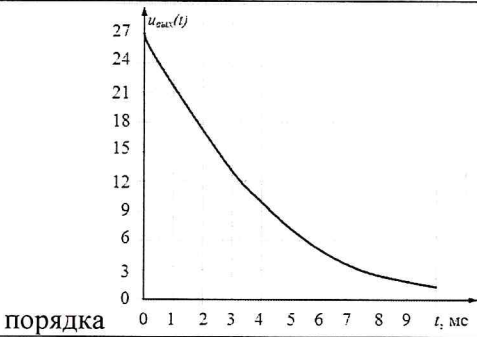
28. Аппроксимации ВАХ нелинейных элементов: степенная, квадратичная, кусочно-линейная, примеры их использования. Отклик элемента с кусочно-линейной аппроксимацией ВАХ на гармоническое воздействие.
29. Отклик квадратичного нелинейного элемента на гармоническое и бигармоническое воздействия.
30. Распределенные системы. Направленные системы и процессы в них. Линии с ТЕМ-волной. Двухпроводная линия, коаксиальный кабель. Модель отрезка двухпроводной линии. Телеграфные уравнения.
31. Волновые уравнения. Решения волновых уравнений. Бегущие и стоячие волны в линии. Коэффициент стоячей волны, коэффициент отражения, сопротивление участка линии в разных режимах. Понятие волновода, резонатора. Применение отрезков линий.

### Задание для тестового контроля

Впишите в правом столбце под номером букву, соответствующую верному из ответов

<p><b>1. Цепь на рисунке является</b></p> <p>а) активной, линейной, с сосредоточенными параметрами  б) пассивной, линейной, с распределёнными параметрами  в) пассивной, линейной, с сосредоточенными параметрами  г) активной, нелинейной, с распределёнными параметрами</p>		1
<p><b>2. Система электрического равновесия для цепи на рисунке</b></p> <p>а) <math>I_2 - I_1 - I_3 = 0</math>      б) <math>I_1 - I_2 + I_3 = 0</math>  <math>I_1 R_1 + I_2 R_2 = -E_1</math>    <math>I_1 R_1 + I_2 R_2 = E_1</math>  <math>I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_1 - E_2</math>    <math>I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_1 + E_2</math></p> <p>в) <math>-I_1 + I_2 - I_3 = 0</math>      г) <math>I_2 + I_1 + I_3 = 0</math>  <math>I_1 R_1 + I_2 R_2 = E_1</math>      <math>I_1 R_1 + I_2 R_2 = E_1</math>  <math>-I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_1 - E_2</math>    <math>I_1 R_1 - I_3 R_3 = -E_1</math></p>		2
<p><b>3. Номиналы элементов делителя напряжения с входным сопротивлением 1 кОм и одним из коэффициентов деления 1/5</b></p> <p>а) <math>R_1 = 400 \text{ Ом}</math>      б) <math>R_1 = 5 \text{ кОм}</math>      в) <math>R_1 = 4 \text{ кОм}</math>      г) <math>R_1 = 800 \text{ Ом}</math>  <math>R_2 = 100 \text{ Ом}</math>      <math>R_2 = 1250 \text{ Ом}</math>      <math>R_2 = 5 \text{ кОм}</math>      <math>R_2 = 200 \text{ Ом}</math></p>		3
<p><b>4. Формула, связывающая ток через конденсатор и напряжение на его выводах</b></p> <p>а) <math>i(t) = C \frac{du(t)}{dt}</math>      б) <math>i(t) = \frac{1}{C} \int_0^t u(t_1) dt_1</math>      в) <math>u(t) = C \frac{di(t)}{dt}</math>      г) <math>u(t) = C \int_0^t i(t_1) dt_1</math></p>		4
<p><b>5. Ток через катушку по отношению к напряжению</b></p> <p>а) опережает его на <math>\pi/2</math>      б) отстает от него на <math>\pi/2</math>  в) опережает его на <math>\pi/4</math>      г) синфазен ему</p>		5
<p><b>6. Частотная зависимость и характер входного сопротивления RC-цепи</b></p>		6



а) $\frac{1}{i\omega C}$ ёмкостный	б) R активный	в) $R + \frac{i}{\omega C}$ индуктивный	г) $R - \frac{i}{\omega C}$ ёмкостный	
<b>7. Комплексный частотный коэффициент передачи LR-цепи</b>				7
а) $\frac{1}{1+i\omega L/R}$	б) $\frac{i\omega L}{R+i\omega L}$	в) $i\omega \frac{R}{L} + 1$	г) $\frac{1}{1+i\omega R/L}$	
<b>8. Цепь на рисунке – это фильтр</b> а) ФНЧ б) ФВЧ в) ПФ г) заградительный				8
<b>9. Граничная частота и полоса пропускания цепи на рисунке</b> а) 4 кГц; [4;+∞) кГц б) 6 кГц; [4;+∞) кГц в) 5 кГц; [5;+∞) кГц г) 2 кГц; [0;2] кГц				9
<b>10. RC-цепь с большой постоянной времени</b> а) разделяет предыдущую и последующую цепи б) усиливает входной сигнал в) дифференцирует входной сигнал г) интегрирует входной сигнал				10
<b>11. Сопротивление нагрузки, обеспечивающее короткое замыкание источника</b> а) $r_{ист}$ б) 50 Ом в) 0 г) ∞				11
<b>12. С графиком на рисунке совпадает по форме переходная характеристика</b> а) интегрирующей цепи б) колебательного контура в) дифференцирующей цепочки г) активной цепи 2-го порядка				12
<b>13. Постоянная времени цепи, реакция которой на включение постоянного напряжения 27 В изображена на рисунке, приблизительно равна</b> а) 0,5 мс б) 8 мс в) 4 мс г) 2,7 мс				13
<b>14. Импульсную характеристику цепи можно определить</b> а) по переходной характеристике, выполнив дифференцирование б) по частотному коэффициенту передачи, выполнив прямое преобразование Фурье в) по операторной передаточной функции, выполнив интегрирование г) по выходному сопротивлению, выполнив Z-преобразование				14
<b>15. Операторная передаточная функция RC-цепи</b> а) $\frac{pRC}{1+pRC}$ б) $1-pRC$ в) $pRC \left(1 - \frac{p}{RC}\right)$ г) $\frac{1}{1+pRC}$				15
<b>16. Выберите операторную передаточную функцию устойчивой цепи</b> а) $\frac{p+1}{(p+2)(p+4)}$ б) $\frac{p-1}{(p+3)(p-3)}$ в) $\frac{2p+1}{p-3-3i}$ г) $\frac{5p-4}{(p+2i)(p-2i)}$				16
<b>17. Операторное сопротивление конденсатора</b> а) pC б) $\frac{1}{pC}$ в) $\frac{p}{C}$ г) $\frac{C}{p}$				17
<b>18. Сигнал на выходе линейной цепи с импульсной характеристикой h(t) при</b>				18

<b>воздействия <math>s_{ex}(t)</math></b>		
а) $s_{ex} + h$ б) $s_{ex} \cdot h$ в) $s_{ex} - h$ г) $s_{ex} \otimes h$		
<b>19. Нелинейный элемент</b>	а) биполярный транзистор                      б) резистор                      в) катушка                      г) кабель	19
<b>20. Для анализа нелинейных цепей нельзя применять метод</b>	а) частотный                      б) классический в) преобразований Лапласа                      г) интеграла наложения	20
<b>21. Амплитуда и фаза тока, описываемого комплексной амплитудой <math>1+i</math> мА</b>	а) $2\sqrt{2}$ мА, $\pi/4$ рад                      б) 1 мА, $\pi/2$ рад                      в) 2 мА, $-\pi/3$ г) $1/\sqrt{2}$ мА, 0 рад	21
<b>22. Сумма токов <math>i_1(t) = 2 \cos(10^3 t + \pi/4)</math>, мА и <math>i_2(t) = 2 \cos(10^3 t - \pi/4)</math>, мА имеет амплитуду и фазу</b>	а) 4 мА, 0 рад                      б) $2\sqrt{2}$ мА, 0 рад                      в) 2 мА, $\pi/2$ рад                      г) 8 мА, $\pi$ рад	22
<b>23. Максимальный (в режиме КЗ) коэффициент передачи по току описывается</b>	а) $h_{21}$ б) $z_{21}$ в) $y_{21}$ г) $a_{21}$	23
<b>24. Матрицы передачи перемножаются при соединении четырёхполюсников</b>	а) последовательно-последовательном                      в) параллельно-последовательном б) каскадном                      г) параллельно-параллельном	24
<b>25. Если отражённая волна в линии отсутствует, КСВ равен</b>	а) 1/2                      б) 2                      в) 1                      г) $\infty$	25
<b>26. Коэффициент отражения в линии с сопротивлением 50 Ом при нагрузке 50 Ом</b>	а) $\infty$ б) -1                      в) 1                      г) 0	26
<b>27. Добротность колебательного контура с полосой пропускания <math>\Delta\omega</math></b>	а) $\omega_{рез} / \Delta\omega$ б) $2\Delta\omega / \omega_{рез}$ в) $\omega_{рез} \cdot \Delta\omega$ г) $\omega_{рез} \cdot 2\Delta\omega$	27
<b>28. Характеристическое сопротивление последовательного колебательного контура</b>	а) $RL/C$ б) $\sqrt{L/C}$ в) $R/\sqrt{LC}$ г) $\sqrt{LC}$	28
<b>29. На рисунке приведена АЧХ связанных колебательных контуров при связи</b>		29
а) слабой б) критической в) сильной г) закритической		
<b>30. Взаимосвязанные катушки на рисунке включены</b>		30
а) встречно б) параллельно в) каскадно г) согласно		

### 3 Описание процедуры выставления оценки

Для успешного освоения дисциплины обязательно:

- прохождение онлайн курса «Линейные электрические цепи (часть 1)» на площадке MOOK ЯрГУ им. П.Г. Демидова (DemidOnline) (является допуском к прохождению процедуры промежуточной аттестации),
- выполнение всех домашних заданий (являются формой текущей аттестации),
- выполнение и защита всех лабораторных работ (являются формой текущей аттестации).

Оценка за экзамен складывается из допуска до экзамена, оценки за домашние задания, оценки за ответы на вопросы на экзамене. См. ниже таблицу требований.

На «3»	На «4», продвинутый уровень	На «5», высокий уровень
<p>1. Сертификат о прохождении онлайн курса «Линейные электрические цепи (часть 1)» на площадке MOOK ЯрГУ им. П.Г. Демидова (DemidOnline) на уровне не менее 40%.</p> <p>2. Ответ на вопрос экзамена не хуже 2-х из 5 баллов.</p> <p>3. Домашние задания №1-4 выполнены на 40-59% в сумме.</p> <p>4. Задания контрольной работы №1-3 выполнены на 40-59% в сумме верно ИЛИ Верные ответы на 50% из заданий теста</p>	<p>1. Сертификат о прохождении онлайн курса «Линейные электрические цепи (часть 1)» на площадке MOOK ЯрГУ им. П.Г. Демидова (DemidOnline) на уровне не менее 60%.</p> <p>2. Ответ на вопрос экзамена 3-4 из 5 баллов.</p> <p>3. Домашние задания №1-4 выполнены на 60-79% в сумме.</p> <p>4. Задания контрольной работы №1-3 выполнены на 60-79% в сумме верно ИЛИ Верные ответы на 70% из заданий теста</p>	<p>1. Сертификат о прохождении онлайн курса «Линейные электрические цепи (часть 1)» на площадке MOOK ЯрГУ им. П.Г. Демидова (DemidOnline) на уровне не менее 80%.</p> <p>2. Ответ на вопрос экзамена 4-5 из 5 баллов.</p> <p>3. Домашние задания №1-4 выполнены на 80% в сумме.</p> <p>4. Задания контрольной работы №1-3 выполнены на 80% в сумме верно ИЛИ Верные ответы на 85% из заданий теста</p>