

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра теоретических основ радиотехники

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ

д.т.н. Хрусталеv В. А.

“ ____ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Дополнительные разделы радиотехнических цепей и сигналов

Образовательная программа: 11.03.01 Радиотехника, профиль: Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов

Курс: 3, семестр : 5

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	Вид деятельности	5
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	6
2	Всего часов	216
3	Всего занятий в контактной форме, час.	92
4	Лекции, час.	36
5	Практические занятия, час.	18
6	Лабораторные занятия, час.	18
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	18
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	18
10	Самостоятельная работа, час.	124
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	КР контр.
12	Вид аттестации	Э

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 11.03.01 Радиотехника

ФГОС введен в действие приказом №179 от 06.03.2015 г. , дата утверждения: 20.03.2015 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, вариативная

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 11.03.01 Радиотехника

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ТОР, протокол заседания кафедры №3 от 20.06.2017

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 6 от 21.06.2017

Программу разработал:

профессор, к.т.н. Яковлев А. Н.

Заведующий кафедрой:

профессор, д.т.н. Спектор А. А.

Ответственный за образовательную программу:

декан Хрусталеv В. А.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Компетенция ФГОС: ОПК.3 способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей; в части следующих результатов обучения:
з3. знать основные виды детерминированных и случайных сигналов в радиотехнике и методы их преобразования в нелинейных электрических цепях
у3. уметь рассчитывать результат преобразования детерминированных и случайных сигналов в нелинейных электрических цепях
Компетенция ФГОС: ПК.2 способность реализовывать программы экспериментальных исследований, включая выбор технических средств и обработку результатов; в части следующих результатов обучения:
з3. знать теоретические основы и физические принципы построения радиотехнических устройств и систем

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий
<i>Дополнительные разделы радиотехнических цепей и сигналов</i>	
ОПК.3.з3 знать основные виды детерминированных и случайных сигналов в радиотехнике и методы их преобразования в нелинейных электрических цепях	
1.о применении кепстрального анализа и вейвлет-преобразования сигналов	Лекции; Самостоятельная работа
2.основные характеристики случайных сигналов и помех	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
3.свойства модулированных сигналов	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
4.характеристики и свойства линейных цепей (с постоянными параметрами)	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
5.методы исследования линейных цепей	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
6.физические процессы при прохождении случайных процессов через НЦ	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
7.свойства и характеристики нелинейных цепей (НЦ)	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.2.з3 знать теоретические основы и физические принципы построения радиотехнических устройств и систем	
8.методы аппроксимации, гармонического и спектрального анализа НЦ	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ОПК.3.у3 уметь рассчитывать результат преобразования детерминированных и случайных сигналов в нелинейных электрических цепях	
9.представлять сигналы в базисе различных ортогональных функций (гармонических, комплексных экспоненциальных, Уолша, $\sin x/x$...)	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
10.осуществлять спектральный и корреляционный анализы детерминированных и случайных сигналов, а также управляющих и модулированных сигналов	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа

11.определять линейные искажения радиосигналов на выходе линейных апериодических и избирательных цепей	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
12.оценивать устойчивость цепей с обратной связью	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
13.математически описывать основные нелинейные и параметрические преобразования сигналов (модуляция, детектирование, умножение и преобразование частоты, генерация и др.)	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
14.выбирать режимы работы активных элементов для указанных выше преобразований и оценивать нелинейные искажения	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
15.планировать свою деятельность на лабораторных занятиях	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
16.формулировать вопросы по существу обсуждаемых проблем, участвовать в дискуссии	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
17.проводить прямые и косвенные измерения характеристик сигналов и радиоцепей, грамотно обрабатывать и записывать результаты измерений с учетом погрешности	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.2.33 знать теоретические основы и физические принципы построения радиотехнических устройств и систем	
18.интерпретировать полученные результаты своей деятельности, критически оценивать результаты расчетов и экспериментов	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ОПК.3.у3 уметь рассчитывать результат преобразования детерминированных и случайных сигналов в нелинейных электрических цепях	
19.уметь рассчитывать результат преобразования детерминированных и случайных сигналов в нелинейных электрических цепях	

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 5				
Дидактическая единица: Нелинейные цепи воздействие на них гармонических колебаний и случайных процессов				

1. Нелинейные цепи и воздействие на них гармонических и полигармонических колебаний Резистивные и энергоемкие нелинейные элементы, их свойства и параметры. Задачи и критерии аппроксимации характеристик нелинейных элементов (НЭ): выбор класса аппроксимирующей функции и определение коэффициентов аппроксимации. Методы гармонического анализа НЦ с использованием: классических формул; формул 3-х и 5-ти ординат; формул кратных аргументов; угла отсечки и функций Берга; обычных и модифицированных функций Бесселя. Спектральный анализ при бигармоническом и полигармоническом входном сигнале; теория комбинационных частот Частотно-энергетические уравнения Мэнли-Роу	2	4	13, 14, 16, 7, 8, 9	
2. Воздействие стационарных случайных процессов на безынерционные нелинейные цепи Одномерные законы распределения вероятностей СП на выходе безынерционного НЭ. Моменты (числовые характеристики). Действие стационарного СП на нелинейный преобразователь, односторонний и двухсторонний ограничитель, компаратор (пороговое устройство), квантователь, односторонний и двухсторонний квадратор (квадратичный детектор)	0	2	14, 16, 2, 6, 7, 8	
Дидактическая единица: Нелинейные преобразования сигналов				
3. Нелинейные преобразования сигналов Нелинейное резонансное усиление. Колебательная характеристика. Умножение частоты: методы умножения, синтез идеального умножителя, оптимальный режим работы НЭ, факторы ограничения коэффициента умножения. Преобразователи частоты.	0	2	11, 13, 14, 16, 7, 8, 9	

4. Амплитудная модуляция. Общая постановка задачи. Модуляция перемножением сигналов. Модуляция изменением смещения на управляемом НЭ. Модуляционная характеристика (для "слабых" и "сильных" сигналов). Требования к режиму работы НЭ, нелинейные искажения. Требования к нагрузке модулятора, линейные искажения. Получение ЧМС и ФМС.	2	4	10, 11, 13, 14, 16, 3, 4, 5, 7, 8	
5. Детектирование сигналов. Общая постановка задачи. Требования к нагрузке. Детектирование АМС с использованием управляемых НЭ. Детекторная характеристика (для "слабых" и "сильных" сигналов). Требования к режиму работы НЭ, нелинейные искажения. Диодный детектор: принцип функционирования, коэффициент передачи, входное сопротивление. Детектирование с использованием перемножителя сигналов, синхронное детектирование и его особенности. Детектирование ЧМС и ФМС.	2	4	10, 11, 13, 14, 16, 4, 5, 7, 8, 9	
Дидактическая единица: Генерация гармонических колебаний				
6. Генерирование гармонических колебаний Общая постановка задачи. Классификация генераторов. НЭ и ОС как отрицательное сопротивление, эквивалентные схемы генераторов. Нелинейное дифференциальное уравнение автогенератора, условия самовозбуждения. Генераторы с внешней ОС. Стационарный режим: мягкий и жесткий режимы самовозбуждения. Генератор с трансформаторной ОС. Трехточечные схемы: обобщенная, индуктивная и емкостная "трехточки". Генераторы с внутренней обратной связью на туннельном диоде. Влияние смещения на работу генератора. RC-автогенераторы	4	8	12, 13, 14, 16, 4, 5, 7, 8, 9	
Дидактическая единица: Параметрические цепи. элементы дискретной обработки сигналов, нелинейная фильтрация сигналов и синтез линейных цепей				

7. Параметрические цепи. Преобразование сигналов с использованием функциональных преобразователей Параметрические элементы. Сходство и различие в основных свойствах параметрических и нелинейных цепей. Реализация активных параметрических элементов . Единый подход к преобразованию сигналов как параметрической операции, осуществляемой функциональным преобразователем и, в частности ана-логовым перемножителем сигналов (АПС). Основные преобразования формы и спектра сигналов с использованием АПС в интегральном исполнении. При-менение АПС в различных областях радиоэлектроники .	2	4	13, 14, 16, 7, 9	
8. Элементы дискретной обработки сигналов Преимущества дискретной и цифровой обработки сигналов. Структурная схема дискретной и цифровой фильтрации. Алгоритм дискретной свертки. Импульсная характеристика и передаточная характеристика цифрового фильтра трансверсального (КИХ) и рекурсивного (БИХ) типа. Структурные схемы цифровых фильтров (ЦФ): прямая и каноническая формы ЦФ, параллельная и последовательная схемы	0	2	14, 16, 7	
9. Элементы синтеза линейных радиоцепей Синтез аналоговых четырехполюсников по заданному модулю передаточной функции. Основные этапы синтеза. Фильтры Баттерворта, Чебышева и эллиптические. Синтез цифровых фильтров по заданному аналоговому прототипу на основе метода билинейного Z-преобразования. Синтез цепей по заданной им-пульсной характеристике (ориентированный на решение задач согласованной фильтрации)	0	2	14, 16, 4, 5, 7	

10. Нелинейная фильтрация сигналов, представленных в виде произведения или свертки Основные понятия кепстрального анализа сигналов. Кепстр мощности (энергетический кепстр). Комплексный кепстр. Примеры применения кепстрального анализа в радиоэлектронике: определение задержки сигнала, разделение ("развертка") свернутых сигналов	0	2	1, 16, 7	
11. Основы вейвлет-преобразования сигналов Общие сведения. Главные признаки вейвлета. Виды материнских вейвлетов. Непрерывное вейвлет-преобразование (НВП). Свойства НВП. Примеры НВП. Сопоставление с преобразованием Фурье	2	2	7, 9	

Таблица 3.2

Темы лабораторных работ	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 5				
Дидактическая единица: Нелинейные преобразования сигналов				
1. Нелинейное резонансное усиление. Умножение частоты (№ 9)	0	4	11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 4, 5, 7, 8, 9	Исследование характеристик нелинейного резонансного усиления
2. Амплитудная модуляция изменением смещения (№ 10)	0	4	10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 3, 4, 5, 7, 8, 9	Исследование АМ сигнала
3. Детектирование амплитудно-модулированных колебаний (№ 11)	0	4	10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 4, 5, 7, 8, 9	Определение детекторной характеристики
Дидактическая единица: Генерация гармонических колебаний				
4. LC-генератор гармонических колебаний с автотрансформаторной обратной связью (№ 13)	2	6	12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 4, 5, 7, 8, 9	Исследование автотрансформаторной обратной связи

Таблица 3.3

Темы практических занятий	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 5				
Дидактическая единица: Нелинейные цепи воздействие на них гармонических колебаний и случайных процессов				
1. Аппроксимация характеристик нелинейных элементов.	0	2	14, 16, 7, 8, 9	Решение задач по теме занятия
2. Спектральный анализ НЦ	0	2	10, 13, 14, 16, 7, 8, 9	Решение задач по теме занятия

3. Воздействие случайных процессов на НЦ	0	2	14, 16, 2, 6, 8, 9	Решение задач по теме занятия
Дидактическая единица: Нелинейные преобразования сигналов				
4. Резонансное усиление и умножение частоты	0	2	11, 13, 14, 16, 4, 5, 7, 8, 9	Решение задач по теме занятия
5. Амплитудная модуляция	0	2	10, 11, 13, 14, 16, 3, 4, 5, 7, 8, 9	Решение задач по теме занятия
6. Детектирование сигналов	0	2	10, 11, 13, 14, 16, 4, 5, 7, 8, 9	Решение задач по теме занятия
Дидактическая единица: Генерация гармонических колебаний				
7. Генерирование гармонических колебаний. LC и RC генераторы	0	2	12, 13, 14, 4, 5, 7, 8, 9	Решение задач по теме занятия
Дидактическая единица: Параметрические цепи. элементы дискретной обработки сигналов, нелинейная фильтрация сигналов и синтез линейных цепей				
8. Элементы дискретной обработки сигналов	2	4	4, 9	Решение задач по теме занятия

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 5				
1	Изучение теории	1, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 2, 3, 4, 6, 7, 9	10	2
Решение типовых задач: Яковлев А. Н. Преобразования сигналов в нелинейных радиотехнических цепях в примерах, упражнениях и заданиях [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / А. Н. Яковлев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000202962 . - Загл. с экрана.				
2	Изучение литературы и расчет контрольных заданий	10, 11, 12, 13, 14, 16, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	60	6
Выполнение расчетов по контрольным заданиям, Оформление работы, Подготовка к защите.: Яковлев А. Н. Преобразования сигналов в нелинейных радиотехнических цепях в примерах, упражнениях и заданиях [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / А. Н. Яковлев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000202962 . - Загл. с экрана.				
3	К лабораторным работам	11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 3, 4, 5, 7, 8, 9	20	8
Выполнение предварительных заданий с расчетами. Ответы на контрольные вопросы: Яковлев А. Н. Преобразования сигналов в нелинейных радиотехнических цепях в примерах, упражнениях и заданиях [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / А. Н. Яковлев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000202962 . - Загл. с экрана.				
4	Изучение теории по конспекту лекций и основной литературе	1, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 2, 3, 4, 6, 7, 9	34	2
Подготовка по экзаменационным вопросам: Яковлев А. Н. Преобразования сигналов в нелинейных радиотехнических цепях в примерах, упражнениях и заданиях [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / А. Н. Яковлев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000202962 . - Загл. с экрана.				

5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Информирование	e-mail:a-n-yakovlev@mail.ru
Консультирование	e-mail:a-n-yakovlev@mail.ru
Контроль	e-mail:a-n-yakovlev@mail.ru
Размещение учебных материалов	e-mail:a-n-yakovlev@mail.ru

Таблица 5.2

Активные и интерактивные формы проведения занятий

№	Наименование активных форм	Коды формируемых компетенций
1	Дискуссия	ОПК.3;
Формируемые умения: з3. знать основные виды детерминированных и случайных сигналов в радиотехнике и методы их преобразования в нелинейных электрических цепях		
Краткое описание применения: Обсуждение актуальных проблем исследования радиоцепей и радиосигналов		

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Мин. балл	Максимальный балл
Семестр: 5		
<i>Дополнительная учебная деятельность:</i>	0	
<i>Лабораторная:</i>	20	40
<i>Практические занятия:</i>	0	
<i>Контрольные работы:</i>	10	20
<i>Курсовая работа:</i>	0	100
<i>Экзамен:</i>	20	40

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

Коды компетенций ФГОС	Результаты обучения	Формы контроля			
		Защита Л/Р	Контр. раб.	Защита КП/КР	Экзамен
ОПК.3	з3. знать основные виды детерминированных и случайных сигналов в радиотехнике и методы их преобразования в нелинейных электрических цепях	+	+	+	+

	у3. уметь рассчитывать результат преобразования детерминированных и случайных сигналов в нелинейных электрических цепях	+	+	+	+
ПК.2	з3. знать теоретические основы и физические принципы построения радиотехнических устройств и систем	+	+	+	+

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

7. Литература

Основная литература

1. Яковлев А. Н. Преобразования сигналов в нелинейных радиотехнических цепях : учебное пособие / А. Н. Яковлев; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 188, [1] с. : ил. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2010/yakovlev.pdf>

Дополнительная литература

1. Радиотехнические цепи и сигналы. Задачи и задания : [учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов / В. Я. Баскей, В. Н. Васюков, Л. Г. Зотов и др.] ; под ред. А. Н. Яковлева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - М., 2003. - 347 с. : ил.
2. Баскей В. Я. Преобразования сигналов в нелинейных радиотехнических цепях : учебное пособие / В. Я. Баскей, А. Н. Яковлев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 52, [2] с. : ил., табл. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2010/bask.pdf>. - Инновационная образовательная программа НГТУ «Высокие технологии».
3. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы : учебное пособие для вузов по направлению "Радиотехника". - М., 2006. - 719 с. : ил.
4. Яковлев А. Н. Цифровая фильтрация и синтез цифровых фильтров : лабораторный практикум : учебное пособие / А. Н. Яковлев, Д. О. Соколова ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2012. - 63, [1] с. : ил., схемы, табл. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000171060
5. Яковлев А. Н. Основы теории сигналов в примерах, упражнениях и заданиях : [учебное пособие для радиотехнических направлений и специальностей] / А. Н. Яковлев. - Новосибирск, 2012. - 471 с. : ил., табл. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000174664

Интернет-ресурсы

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znaniy.com" : <http://znaniy.com/>
5. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Яковлев А. Н. Преобразования сигналов в нелинейных радиотехнических цепях в примерах, упражнениях и заданиях [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / А. Н. Яковлев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000202962. - Загл. с экрана.
2. Яковлев А. Н. Радиотехнические цепи и сигналы [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / А. Н. Яковлев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2016]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000230305. - Загл. с экрана.

8.2 Специализированное программное обеспечение

1 National Instruments

9. Материально-техническое обеспечение

Комплект оборудования

№	Наименование	Назначение
1	Учебная лаборатория "Станция NIEL VIS" 8 комплектов	Практические и лабораторные занятия

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра теоретических основ радиотехники

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
д.т.н., профессор В.А. Хрусталев
“ ” Г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дополнительные разделы радиотехнических цепей и сигналов

Образовательная программа: 11.03.01 Радиотехника, профиль: Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине **Дополнительные разделы радиотехнических цепей и сигналов** приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ОПК.3 способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей	33. знать основные виды детерминированных и случайных сигналов в радиотехнике и методы их преобразования в нелинейных электрических цепях	LC-генератор гармонических колебаний с автотрансформаторной обратной связью (№ 13) Амплитудная модуляция Амплитудная модуляция изменением смещения (№ 10) Амплитудная модуляция. Общая постановка задачи. Модуляция перемножением сигналов. Модуляция изменением смещения на управляемом НЭ. Модуляционная характеристика (для "слабых" и "сильных сигналов"). Требования к режиму работы НЭ, нелинейные искажения. Требования к нагрузке модулятора, линейные искажения. Получение ЧМС и ФМС. Аппроксимация характеристик нелинейных элементов. Воздействие случайных процессов на НЦ Воздействие стационарных случайных процессов на безынерционные нелинейные цепи Одномерные законы распределения вероятностей СП на выходе безынерционного НЭ. Моменты (числовые характеристики). Действие стационарного СП на нелинейный преобразователь, односторонний и двухсторонний ограничитель, компаратор (пороговое устройство), квантователь, односторонний и двухсторонний квадратор (квадратичный детектор) Генерирование гармонических колебаний Общая постановка задачи. Классификация генераторов. НЭ и ОС как отрицательное сопротивление, эквивалентные схемы генераторов. Нелинейное дифференциальное уравнение автогенератора, условия	Контрольные работы Курсовая работа	Экзамен, вопросы 1-53

		самовозбуждения. Генераторы с внешней ОС. Стационарный режим: мягкий и жесткий режимы самовозбуждения. Генератор с трансформаторной ОС. Трехточечные схемы: обобщенная, индуктивная и емкостная "трехточки". Генераторы с внутренней обратной связью на туннельном диоде. Влияние смещения на работу генератора. RC- автогенераторы Генерирование гармонических колебаний. LC и RC генераторы Детектирование амплитудно-модулированных колебаний (№ 11) Детектирование сигналов Детектирование сигналов. Общая постановка задачи. Требования к нагрузке. Детектирование АМС с использованием управляемых НЭ. Детекторная характеристика (для "слабых" и "сильных" сигналов). Требования к режиму работы НЭ, нелинейные искажения. Диодный детектор: принцип функционирования, коэффициент передачи, входное сопротивление. Детектирование с использованием перемножителя сигналов, синхронное детектирование и его особенности. Детектирование ЧМС и ФМС. Нелинейная фильтрация сигналов, представленных в виде произведения или свертки Основные понятия кепстрального анализа сигналов. Кепстр мощности (энергетический кепстр). Комплексный кепстр. Примеры применения кепстрального анализа в радиоэлектронике: определение задержки сигнала, разделение ("развертка") свернутых сигналов Нелинейное резонансное усиление. Умножение частоты (№ 9) Нелинейные преобразования сигналов Нелинейное резонансное усиление. Колебательная характеристика. Умножение частоты: методы умножения, синтез идеального умножителя, оптимальный режим работы НЭ, факторы ограничения коэффициента умножения. Преобразователи		
--	--	---	--	--

		частоты. Нелинейные цепи и воздействие на них гармонических и полигармонических колебаний Резистивные и энергоемкие нелинейные элементы, их свойства и параметры. Задачи и критерии аппроксимации характеристик нелинейных элементов (НЭ): выбор класса аппроксимирующей функции и определение коэффициентов аппроксимации. Методы гармонического анализа НЦ с использованием: классических формул; формул 3-х и 5-ти ординат; формул кратных аргументов; угла отсечки и функций Берга; обычных и модифицированных функций Бесселя. Спектральный анализ при бигармоническом и полигармоническом входном сигнале; теория комбинационных частот Частотно-энергетические уравнения Мэнли-Роу Резонансное усиление и умножение частоты Спектральный анализ НЦ Элементы синтеза линейных радиочепей Синтез аналоговых четырехполосников по заданному модулю передаточной функции. Основные этапы синтеза. Фильтры Баттерворта, Чебышева и эллиптические. Синтез цифровых фильтров по заданному аналоговому прототипу на основе метода билинейного Z-преобразования. Синтез цепей по заданной импульсной характеристике (ориентированный на решение задач согласованной фильтрации)		
ОПК.3	у3. уметь рассчитывать результат преобразования детерминированных и случайных сигналов в нелинейных электрических цепях	LC-генератор гармонических колебаний с автотрансформаторной обратной связью (№ 13) Амплитудная модуляция Амплитудная модуляция изменением смещения (№ 10) Амплитудная модуляция. Общая постановка задачи. Модуляция перемножением сигналов. Модуляция изменением смещения на управляемом НЭ. Модуляционная характеристика (для "слабых" и "сильных сигналов"). Требования к режиму работы НЭ, нелинейные искажения.	Контрольная работа.	Задачи 1–29

		Требования к нагрузке модулятора, линейные искажения. Получение ЧМС и ФМС. Аппроксимация характеристик нелинейных элементов. Воздействие случайных процессов на НЦ Воздействие стационарных случайных процессов на безынерционные нелинейные цепи Одномерные законы распределения вероятностей СП на выходе безынерционного НЭ. Моменты (числовые характеристики). Действие стационарного СП на нелинейный преобразователь, односторонний и двухсторонний ограничитель, компаратор (пороговое устройство), квантователь, односторонний и двухсторонний квадратор (квадратичный детектор) Генерирование гармонических колебаний Общая постановка задачи. Классификация генераторов. НЭ и ОС как отрицательное сопротивление, эквивалентные схемы генераторов. Нелинейное дифференциальное уравнение автогенератора, условия самовозбуждения. Генераторы с внешней ОС. Стационарный режим: мягкий и жесткий режимы самовозбуждения. Генератор с трансформаторной ОС. Трехточечные схемы: обобщенная, индуктивная и емкостная "трехточки". Генераторы с внутренней обратной связью на туннельном диоде. Влияние смещения на работу генератора. RC- автогенераторы Генерирование гармонических колебаний. LC и RC генераторы Детектирование амплитудно-модулированных колебаний (№ 11) Детектирование сигналов Детектирование сигналов. Общая постановка задачи. Требования к нагрузке. Детектирование АМС с использованием управляемых НЭ. Детекторная характеристика (для "слабых" и "сильных" сигналов). Требования к режиму работы НЭ, нелинейные искажения. Диодный детектор: принцип функционирования, коэффициент передачи,		
--	--	---	--	--

		входное сопротивление. Детектирование с использованием перемножителя сигналов, синхронное детектирование и его особенности. Детектирование ЧМС и ФМС. Нелинейное резонансное усиление. Умножение частоты (№ 9) Нелинейные преобразования сигналов Нелинейное резонансное усиление. Колебательная характеристика. Умножение частоты: методы умножения, синтез идеального умножителя, оптимальный режим работы НЭ, факторы ограничения коэффициента умножения. Преобразователи частоты. Нелинейные цепи и воздействие на них гармонических и полигармонических колебаний Резистивные и энергоемкие нелинейные элементы, их свойства и параметры. Задачи и критерии аппроксимации характеристик нелинейных элементов (НЭ): выбор класса аппроксимирующей функции и определение коэффициентов аппроксимации. Методы гармонического анализа НЦ с использованием: классических формул; формул 3-х и 5-ти ординат; формул кратных аргументов; угла отсечки и функций Берга; обычных и модифицированных функций Бесселя. Спектральный анализ при бигармоническом и полигармоническом входном сигнале; теория комбинационных частот Частотно-энергетические уравнения Мэнли-Роу Резонансное усиление и умножение частоты Спектральный анализ НЦ		
ПК.2/НИП способность реализовывать программы экспериментальных исследований, включая выбор технических средств и обработку результатов	з3. знать теоретические основы и физические принципы построения радиотехнических устройств и систем	LC-генератор гармонических колебаний с автотрансформаторной обратной связью (№ 13) Амплитудная модуляция изменением смещения (№ 10) Амплитудная модуляция. Общая постановка задачи. Модуляция перемножением сигналов. Модуляция изменением смещения на управляемом НЭ. Модуляционная характеристика (для "слабых" и "сильных сигналов"). Требования к режиму работы НЭ, нелинейные искажения.	Контрольные работы Курсовая работа	Экзамен, вопросы 1-53

		Требования к нагрузке модулятора, линейные искажения. Получение ЧМС и ФМС. Аппроксимация характеристик нелинейных элементов. Воздействие случайных процессов на НЦ Воздействие стационарных случайных процессов на безынерционные нелинейные цепи Одномерные законы распределения вероятностей СП на выходе безынерционного НЭ. Моменты (числовые характеристики). Действие стационарного СП на нелинейный преобразователь, односторонний и двухсторонний ограничитель, компаратор (пороговое устройство), квантователь, односторонний и двухсторонний квадратор (квадратичный детектор) Детектирование амплитудно-модулированных колебаний (№ 11) Детектирование сигналов. Общая постановка задачи. Требования к нагрузке. Детектирование АМС с использованием управляемых НЭ. Детекторная характеристика (для "слабых" и "сильных" сигналов). Требования к режиму работы НЭ, нелинейные искажения. Диодный детектор: принцип функционирования, коэффициент передачи, входное сопротивление. Детектирование с использованием перемножителя сигналов, синхронное детектирование и его особенности. Детектирование ЧМС и ФМС. Нелинейное резонансное усиление. Умножение частоты (№ 9) Нелинейные преобразования сигналов Нелинейное резонансное усиление. Колебательная характеристика. Умножение частоты: методы умножения, синтез идеального умножителя, оптимальный режим работы НЭ, факторы ограничения коэффициента умножения. Преобразователи частоты. Нелинейные цепи и воздействие на них гармонических и полигармонических колебаний Резистивные и энергоемкие нелинейные элементы, их свойства и параметры. Задачи и критерии		
--	--	---	--	--

		аппроксимации характеристик нелинейных элементов (НЭ): выбор класса аппроксимирующей функции и определение коэффициен- тов аппроксимации. Методы гармонического анализа НЦ с использованием: классических формул; формул 3-х и 5-ти ординат; формул кратных аргументов; угла отсечки и функций Берга; обычных и модифицированных функций Бесселя. Спектральный анализ при бигармоническом и полигармоническом входном сигнале; теория комбинационных частот Частотно-энергетические уравнения Мэнли-Роу Резонансное усиление и умножение частоты Спектральный анализ НЦ		
--	--	---	--	--

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по **дисциплине** проводится в 5 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ОПК.3.

Форма проведения экзамена письменная.

Кроме того, сформированность компетенции проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 5 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются контрольная работа, курсовая работа. Требования к выполнению контрольной работы, курсовой работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте контрольной работы, курсовой работы.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенции ОПК.3, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое

содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

Паспорт экзамена

по дисциплине «Дополнительные разделы радиотехнических цепей и сигналов», 5 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в письменной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-28, второй вопрос из диапазона вопросов 29-53 (список вопросов приведен ниже). В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

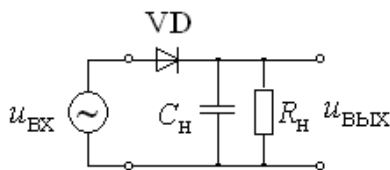
Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № _____

к экзамену по дисциплине «Дополнительные разделы радиотехнических цепей и сигналов»

1. Вопрос. Метод спектрального анализа НЦ с использованием угла отсечки и функций Берга.
2. Вопрос. Генераторы гармонических колебаний с внешней ОС.
Генератор с трансформаторной ОС.
3. Задача. В схеме диодного детектора (см. рис.) сопротивление нагрузки $R_H = 16$ кОм, крутизна ВАХ диода $S = 5$ мА/В и $U_0 = 0$.



Соблюдается условие:
 $1/(\omega_0 C_H) \ll R_H \ll 1/(\Omega C_H)$

Определите угол отсечки тока диода и коэффициент передачи детектора.

4. Задача. Модулятор работает на несущей частоте $f_0 = 80$ МГц и формирует ФМ колебание. Частота модуляции 5 кГц, индекс модуляции $m = 50$. Найдите пределы ($f_{\min}$, $f_{\max}$), в которых меняется мгновенная частота сигнала. Определите практическую ширину ($2\Delta f_{np}$) спектра ФМ-сигнала

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись)

(дата)

2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-

следственные связи явлений, при решении задачи допускает принципиальные ошибки, оценка составляет *менее 20 баллов*.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные, оценка составляет *21–30 баллов*.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при решении задачи, оценка составляет *31–35 баллов*.
- Ответ на экзаменационный билет (тест) билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен представить количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи, оценка составляет *36–40 баллов*.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Дополнительные разделы радиотехнических цепей и сигналов»

1. Общие сведения о нелинейных цепях и методах их исследования.
2. Аппроксимация характеристик НЭ. Выбор класса аппроксимирующей функции.
3. Определение коэффициентов аппроксимирующей функции.
4. Метод спектрального анализа НЦ с использованием формул 3-х и более ординат.
5. Метод спектрального анализа НЦ с использованием формул кратных дуг.
6. Метод спектрального анализа НЦ с использованием угла отсечки и функций Берга.
7. Метод спектрального анализа НЦ с использованием модифицированных функций Бесселя.
8. Метод спектрального анализа НЦ с использованием обычных функций Бесселя.
9. Случай бигармонического сигнала. Теория комбинационных частот.
10. Воздействие случайных процессов (СП) на НЦ. Одномерные законы распределения вероятностей СП на выходе безынерционных НЦ. Пример.
11. Числовые характеристики СП на выходе безынерционных НЭ.
12. Действие СП на ограничитель. Пример.
14. Нелинейное резонансное усиление. Повышение кпд.
15. Усиление АМК. Колебательная характеристика.
16. Линейные искажения при усилении АМК ($\omega = \omega_p$, $\omega \neq \omega_p$).
17. Умножение частоты. Факторы, ограничивающие умножение частоты в одном каскаде.
18. Синтез оптимального умножителя частоты.
19. Амплитудная модуляция. Общая постановка задачи.
20. Модуляция изменением смещения на управляемом НЭ.
21. Требования к режиму работы НЭ модулятора. Нелинейные искажения.
22. Модуляционная характеристика (для малых и больших сигналов).
23. Требования к нагрузке амплитудного модулятора. Линейные искажения.
24. Детектирование АМК с использованием управляемых НЭ.
25. Детектирование "слабых" сигналов. Детекторная характеристика. Нелинейные искажения.
26. Детектирование "сильных" сигналов. Детекторная характеристика.
27. Диодный детектор. Принцип работы.
28. Коэффициент передачи и входное сопротивление диодного детектора.
29. Преобразование частоты. Требования к НЭ и фильтру.
30. Использование АПС для усиления, умножения частоты и модуляции сигналов.
31. Использование АПС для преобразования частоты и детектирования сигналов. «Линейное» и «квадратичное» детектирование.
32. Цепи с ОС. Коэффициент передачи.
33. Геометрические (частотные) критерии устойчивости цепи с ОС.

34. Генерирование гармонических колебаний. Общая постановка задачи. Эквивалентные схемы генераторов. АЭ и

ОС в генераторе как отрицательное сопротивление.

35. Генераторы с внешней ОС. Генератор с трансформаторной ОС.

36. «Мягкий» режимы самовозбуждения. Определение областей мягкого и жесткого режимов по ВАХ НЭ

37. «Жесткий» режимы самовозбуждения. Определение областей мягкого и жесткого режимов по ВАХ НЭ

38. Обобщенная 3-х точечная схема. Индуктивная "трехточка".

39. Емкостная "трехточка". Двухконтурные генераторы.

40. Генераторы с внутренней ОС на туннельном диоде.

41. ЧМ. Управление частотой контура генератора.

42. ФМ. Управление частотой контура резонансного усилителя.

43. Детектирование ЧМК преобразованием его в АМК.

44. Детектирование ФМК.

45. Схема цифровой передачи непрерывных сигналов. Назначение отдельных блоков.

46. Преобразование сигналов в цифровом канале связи.

Основополагающие вопросы из первой части курса

47. Представление сигналов в базисе ортогональных функций.

48. Представление сигналов в базисе гармонических функций. Пример анализа и синтеза сигнала.

49. Спектральный анализ и синтез непериодического сигнала. Пример.

50. Представление сигналов в виде ряда Котельникова. Дискретизация сигналов и их восстановление по отсчетам.

51. Основные характеристики случайных процессов. Стационарные и эргодические процессы.

52. АКФ и СПМ стационарных СП и их свойства.

53. СПМ и АКФ на выходе линейной цепи.

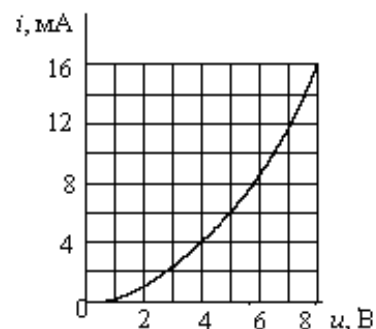
Примеры экзаменационных задач

Примеры экзаменационных задач

1. Характеристику НЭ, приведенную на рисунке, аппроксимируйте полиномом второй степени. Найдите составляющие тока при действии на НЭ напряжения:

$$u(t) = U_0 + U_m \cos \omega_0 t, \text{ В},$$

где $U_0 = 4 \text{ В}$, $U_m = 4 \text{ В}$.



2. К НЭ, характеристика которого аппроксимирована кусочно-линейной зависимостью

$$i = \begin{cases} S(u - U_H), & u > U_H, \\ 0, & u < U_H, \end{cases}$$

где $S = 4 \text{ мА/В}$, $U_H = -4 \text{ В}$, приложено напряжение $u(t)$:

$$u(t) = U_0 + U_m \cos \omega_0 t, \text{ В}$$

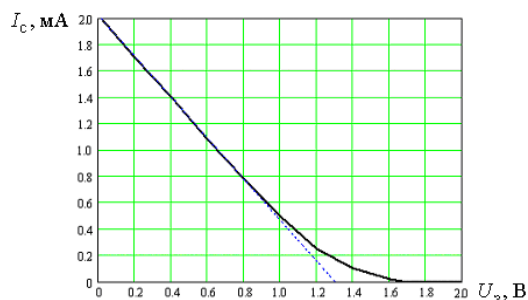
с $U_0 = -4 \text{ В}$ и $U_m = 4 \text{ В}$. Определите составляющие тока I_0 , I_1 и I_2 .

3. На вход полевого транзистора (КП103Ж), проходная характеристика которого показана на рисунке, действует напряжение:

$$u(t) = U_0 + U_m \cos \omega_0 t, \text{ В},$$

где $U_0 = 0.8 \text{ В}$, $U_m = 0.8 \text{ В}$.

Определите первые три составляющие тока.



4. Проходная характеристика полевого транзистора аппроксимирована выражением

$$i = A[1 - \sin(qu)],$$

где $A = 2$ мА, $q = \pi / 2U_H$, $U_H = 1.6$ В – начальное напряжение, $u = 0.8 \cos \omega_0 t$.

Определите первые три составляющие тока.

5. На диод, характеристика которого аппроксимирована кусочно-нелинейной зависимостью – прямой $i = 0$ при $u < 0$ и параболой $i = au^2$ при $u > 0$, действует напряжение:

$$а) U_m(1 + \cos \omega_0 t); \quad б) U_m \cos \omega_0 t.$$

Найдите значение постоянной составляющей и амплитуды первой гармоники тока диода.

6. К диоду, характеристика которого аппроксимирована экспонентой $i = 0.5^{9u}$ мкА, подведено напряжение, описываемое выражением

$$u(t) = U_0 + U_m \cos \omega_0 t, \text{ В,}$$

при этом $U_0 = 0.4$ В, $U_m = 0.4$ В.

Найдите составляющие тока I_0 , I_1 и I_2 методами с использованием формул трех ординат и модифицированных функций Бесселя. Что произойдет с составляющими тока при увеличении: а) смещения U_0 ; б) амплитуды сигнала U_m ?

7. На нелинейный элемент, ВАХ которого (рис. 8.6) аппроксимируется выражением $i = 0.25u^2$ мА, подается сигнал

$$u(t) = U_0 + U_1 \cos \omega_1 t + U_2 \cos \omega_2 t,$$

где $U_0 = 4$ В, $U_1 = 1$ В, $U_2 = 2$ В.

Найдите спектр тока. Определите мощность P_K комбинационных колебаний.

8. На нелинейный элемент с характеристикой $i = 0.5e^{9u}$ подается колебание

$$u(t) = U_0 + U_1 \cos \omega_1 t + U_2 \cos \omega_2 t$$

при этом $U_0 = 0.4$ В, $U_1 = 0.4$ В и $U_2 = 0.2$ В.

Найдите амплитуду комбинационного колебания с частотой: а) $\omega_1 \mp \omega_2$; б) $3\omega_1 \mp 2\omega_2$.

9. Найдите математическое ожидание m_i и среднюю мощность P_i случайного процесса $I(t)$, получаемого на выходе безынерционного НЭ с характеристикой:

$$i(u) = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 \text{ (мА)}$$

при действии на его вход случайного процесса $U(t)$ с одномерной плотностью вероятности $w(u)$:

$$w(u) = 1/2b \text{ (1/В)}, \quad 0 \leq u \leq b \text{ (В)}.$$

10. На вход безынерционного НЭ, имеющего характеристику $y = Ae^{ax}$, подается случайный процесс $X(t)$ с одномерной плотностью вероятности:

$$w(u) = \begin{cases} 1/b, & 0 < u < b, \\ 0, & \text{вне этого интервала.} \end{cases}$$

Найдите одномерную плотность вероятности $w(y)$, математическое ожидание m_y , среднюю мощность P_y и дисперсию $D_y = \sigma_y^2$ случайного процесса на выходе НЭ.

11. Найдите одномерную плотность вероятности $w(i)$ случайного процесса $I(t)$, получаемого на выходе безынерционного НЭ с характеристикой $i = f(u) = au^3$ при $u > 0$. На вход НЭ воздействует СП $U(t)$ с плотностью вероятности:

$$w(u) = \begin{cases} 1/2b, & -b < u < b, \\ 0, & \text{вне этого интервала.} \end{cases}$$

Постройте график $w(i)$. Найдите математическое ожидание m_i процесса $I(t)$.

12. Определите плотность вероятности $w(i)$ на выходе безынерционного НЭ, если на его вход воздействует случайный процесс $U(t)$ с плотностью вероятности:

$$w(u) = \begin{cases} 1/2b, & U_0 - b < u < U_0 + b, \\ 0, & \text{вне этого интервала.} \end{cases}$$

Характеристика НЭ аппроксимирована линейно-ломаной:

$$i = \begin{cases} au, & \text{при } u > 0, \\ 0, & \text{при } u < 0. \end{cases}$$

Постройте график $w(i)$ и проанализируйте влияние величин U_0 и a на форму графика.

13. Определите плотность вероятности $w(i)$ на выходе безынерционного НЭ с кусочно-линейной аппроксимацией ВАХ:

$$i = \begin{cases} au, & \text{при } u > 0, \\ 0, & \text{при } u < 0. \end{cases}$$

На вход НЭ воздействует нормальный СП

$$w(u) = \frac{1}{\sigma_u \sqrt{2\pi}} \exp\left(-u^2 / 2\sigma_u^2\right),$$

обладающий нулевым средним значением ($m_u = 0$) и заданным среднеквадратическим отклонением σ_u .

Изобразите графики $w(i)$ и $F(i)$. Проанализируйте влияние параметров сигнала (σ_u и U_0) и характеристики (a) на форму графиков.

14. Определите плотность вероятности $w(i)$ на выходе безынерционного НЭ, если на его вход воздействует случайный процесс $U(t)$ с плотностью вероятности:

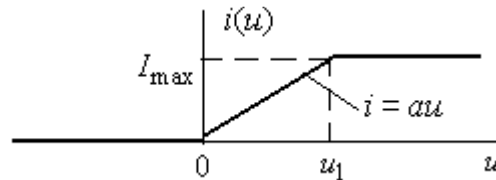
$$w(u) = \begin{cases} 1/B, & -0.5 < u < 0.5 \text{ (B)}, \\ 0, & \text{вне этого интервала.} \end{cases}$$

Характеристика НЭ аппроксимирована линейно-ломаной:

$$i = \begin{cases} au, & \text{при } u > 0, \\ 0, & \text{при } u < 0. \end{cases}$$

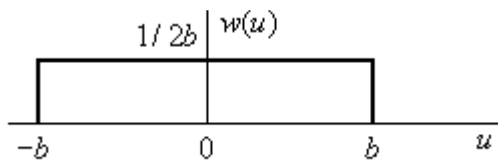
Найдите также математическое ожидание m_i , среднюю мощность P_i и дисперсию D_i СП на выходе безынерционного НЭ.

15. Найдите и постройте графически плотность вероятности $w(i)$ СП $I(t)$, получаемого на выходе безынерционного НЭ с характеристикой $i = f(u)$ (см. рис.). $i(u) \quad i = au$



$$i = \begin{cases} 0, & \text{при } u < 0, \\ au, & 0 < u < u_1, \\ I_{\max}, & \text{при } u > u_1. \end{cases}$$

На вход НЭ воздействует СП с плотностью вероятности $w(u)$



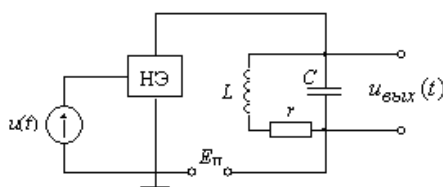
$$w(u) = \begin{cases} 1/2b, & -b < u < b, \\ 0, & \text{вне этого интервала.} \end{cases}$$

Найдите также математическое ожидание m_i процесса $I(t)$. Проанализируйте влияние величины a (крутизны линейного участка ВАХ) на $w(i)$ и m_i , включая случай $a \rightarrow \infty$.

16. На нелинейный элемент усилителя, ВАХ которого описывается выражением

$$i = 8 + 2u - 0.1u^2, \text{ мА,}$$

воздействует сигнал $u(t) = -3 + 2 \cos \omega_0 t$; $\omega_0 = 1 \cdot 10^6$ рад/с.



В качестве нагрузки в цепь НЭ включен параллельный колебательный контур с параметрами $L = 0.1$ мГн, $C = 10$ нФ, $r = 10$ Ом.

Рассчитайте и постройте спектр тока, протекающего через НЭ. Запишите коэффициент гармоник и напряжение на выходе $U_{\text{вых}}$.

Шунтирующим действием внутреннего сопротивления НЭ на контур можно пренебречь.

17. Схема нелинейного резонансного усилителя показана на рис.1. В усилителе использован транзистор, проходная характеристика которого может быть аппроксимирована ломаной прямой (рис. 2). На базу транзистора подано напряжение

$$u_6(t) = -0.3 + U_6 \cos \omega_0 t, \text{ В.}$$

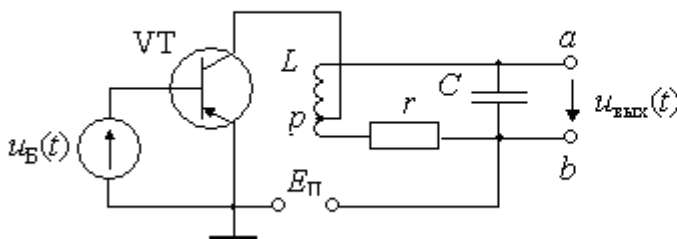


Рис. 1

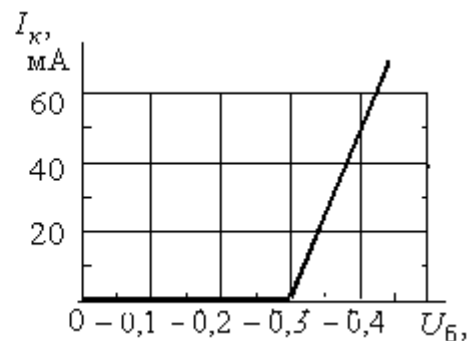
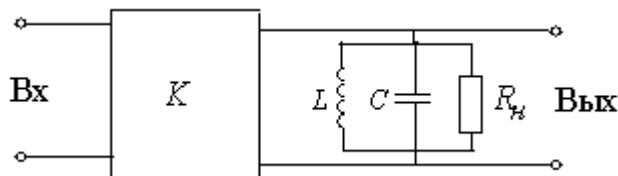


Рис. 2

Контур в коллекторной цепи настроен на частоту ω_0 , сопротивление контура при резонансе, пересчитанное в цепь коллектора, равно 100 Ом (при коэффициенте включения $p = 0.1$).

Определите амплитуды напряжений на входе $U_{\text{вх}}$ и выходе $U_{\text{вых}}$ усилителя, если известно, что постоянная составляющая коллекторного тока равна $I_{\text{к0}} = 30$ мА.

18. Коэффициент амплитудной модуляции напряжения на входе резонансного усилителя равен 100%, а на выходе – 71 %.



Параметры контура, настроенного на частоту несущего колебания:

$$f_p = 1 \text{ МГц}, C = 500 \text{ пФ}, Q = 150, R_{\text{н}} = 50 \text{ кОм}.$$

Определите частоту модуляции F .

19. Вольтамперная характеристика НЭ аппроксимирована зависимостью:

$$i(u) = 200 + 120u + 1.5u^2 + 0.05u^3, \text{ мА},$$

Напишите уравнение колебательной характеристики для смещения $U_0 = -10$ В.

Напишите также уравнение для статической модуляционной характеристики.

20. К нелинейному сопротивлению, характеристика которого аппроксимирована ломаной прямой ($U_{\text{н}} = -10$ В, $S = 2$ мА/В), приложено напряжение

$$u(t) = U_0 + 20 \cos \omega_0 t, \text{ В}.$$

Определите, при каком смещении U_0 амплитуда тока второй гармоники максимальна. Найдите ее.

21. Характеристика нелинейного элемента аппроксимирована ломаной прямой ($U_{\text{н}} = -10$ В, $S = 40$ мА/В). На вход НЭ подан сигнал вида

$$u(t) = U_0 + U_m \cos \omega_0 t, \text{ В}.$$

Определите U_0 и U_m для оптимального построения утроителя частоты. Постоянная составляющая тока утроителя не должна превышать $I_0 = 20$ мА.

22. В удвоителе частоты характеристика НЭ аппроксимирована линейно-ломаной зависимостью:

$$i = \begin{cases} 10 + 2u, & \text{при } u > U_{\text{н}} = -5 \text{ В}, \\ 0, & \text{при } u < U_{\text{н}}. \end{cases}$$

Определите угол отсечки для оптимальной работы удвоителя и соответствующее напряжение смещения U_0 ; амплитуду U_m входного напряжения считать: а) постоянной и равной 2 В; б) переменной и численно равной U_0 . Для обоих режимов найти амплитуду тока второй гармоники.

23. На НЭ, вольтамперная характеристика которого аппроксимирована выражением

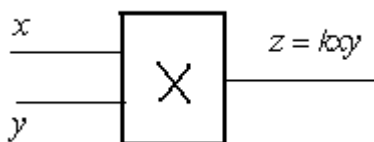
$$i = 10 + 2u + 0.2u^2, \text{ мА},$$

подается напряжение

$$u(t) = 3 \cos \omega_0 t + 2 \cos \Omega t, \text{ В.}$$

Найдите значения амплитуд тока I_{ω_0} , $I_{\omega_0 - \Omega}$, $I_{\omega_0 + \Omega}$, а также коэффициент модуляции по току M_i .

24. Схема амплитудной модуляции на перемножителе сигналов (ПС) приведена на рисунке.



$$z = kxy,$$

k - коэффициент пропорциональности,

$$x = U_0 + U_{\Omega} \cos \Omega t,$$

$$y = U_m \cos \omega_0 t,$$

25. Проходная характеристика транзистора, работающего в схеме коллекторного детектора аппроксимирована полиномом второй степени:

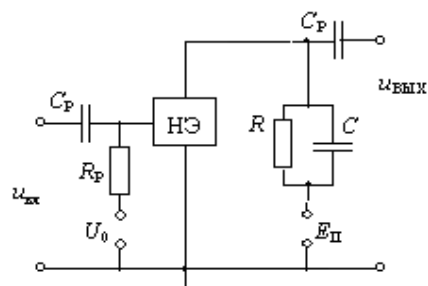
$$i_k = a_0 + a_1(u_{\delta} - U_0) + a_2(u_{\delta} - U_0)^2.$$

На вход детектора подан сигнал:

$$u_{\delta}(t) = u_{\text{вх}}(t) + U_0 = U_0 + U_m(1 + M_1 \cos \Omega_1 t + M_2 \cos \Omega_2 t) \cos \omega_0 t.$$

Найдите переменную низкочастотную составляющую напряжения на выходе детектора

$$U_{\text{вых.НЧ}}(t).$$

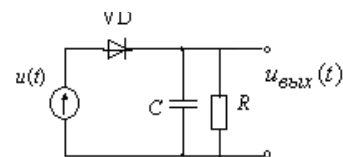


26. На нагрузке диодного детектора необходимо получить напряжение НЧ с амплитудой 1 В при коэффициенте модуляции входного напряжения $M = 40\%$.

Определите, какова должна быть амплитуда несущей частоты АМ напряжения на входе детектора. Характеристика диода аппроксимирована кусочно-линейной зависимостью:

$$i = \begin{cases} Su, & u > 0, \\ 0, & u < 0, \end{cases}$$

где $S = 2 \text{ мА/В}$. Параметры нагрузки: $R = 500 \text{ кОм}$, $C = 250 \text{ нФ}$.



27. Характеристика НЭ автогенератора гармонических колебаний аппроксимирована:

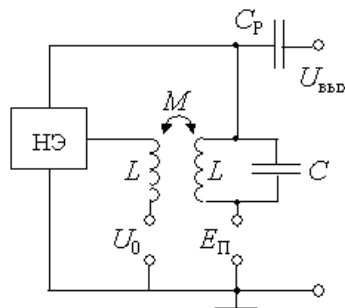
$$i = 25 + 6u + 0.5u^2 - 0.1u^3, \text{ мА.}$$

Параметры схемы: $U_0 = -2 \text{ В}$, $\mu = SR_i = 100$,

$$L = 0.1 \text{ мГн}, C = 400 \text{ нФ}, Q = 100.$$

Определите значение взаимной индуктивности $M_{кр}$, при котором произойдет самовозбуждение.

Определите амплитуду стационарных колебаний на управляющем электроде (т.е. на входе), если $M = 2M_{кр}$.

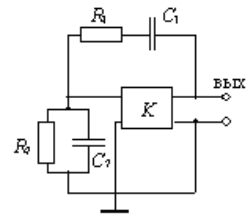


28. Схема RC -генератора гармонических колебаний приведена на рисунке. Найдите частоту генерации и сформулируйте требования ($K = ?$ $\varphi_k = ?$), предъявляемые к усилителю.

Параметры схемы:

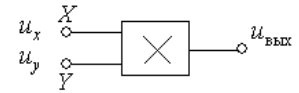
$$R_1 = 0.5 \text{ МОм}, R_2 = 0.1 \text{ МОм}, C_1 = 0.02 \text{ мкФ},$$

$$C_2 = 0.04 \text{ мкФ}.$$



29. Перемножитель сигналов (см. рис.) функционирует как усилитель с регулируемым коэффициентом усиления. На вход X подается управляющий сигнал U_X , а на вход Y – гармоническое колебание, т. е.

$$U_m \cos(\omega_0 t).$$



Запишите аналитическое выражение зависимости амплитуды выходного напряжения $U_{вых.m}$ от управляющего напряжения U_X при $U_m = \text{const}$ как в области $0 < U_X < U_{X.\text{max}}$, так и при $U_X > U_{X.\text{max}}$. Изобразите графически эту зависимость.

Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Дополнительные разделы радиотехнических цепей и сигналов», 5 семестр.

1. Методика оценки

Контрольная работа проводится на 16 неделе. Она включает 4 задачи. Решаются задачи из пособий [2, 3]. Каждый студент получает индивидуальный вариант задания (карточку), что повышает ответственность в процессе подготовки и исключает списывание результата у соседа. Правильное решение каждой задачи – 5 баллов.

Выполняется письменно.

2. Критерии оценки

Контрольная работа считается **невыполненной**, если оценка составляет менее 8 баллов.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если оценка составляет 9-11 баллов.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если оценка составляет 12-16 баллов.

Работа считается выполненной на **продвинутом** уровне, если оценка составляет 17-20 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за контрольную работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Пример варианта контрольной работы

ВАРИАНТ 1 (6, 11, 16)

1. На нелинейный элемент (НЭ), характеристика которого аппроксимирована выражением

$$i = f(u) = a_0 + a_1 u + a_2 u^2,$$

подан сигнал $u(t) = U_0 + U_m \cos \omega_0 t$.

Найдите амплитуду первой гармоники сигнала на выходе НЭ. Какова наибольшая степень полинома, чтобы усиление амплитудно-модулированного колебания ($U_m = U_m(t)$) происходило бы без искажений?

2. Найдите одномерную плотность вероятности $w(y)$ случайного процесса $y(t)$, получаемого на выходе безынерционного нелинейного элемента с характеристикой

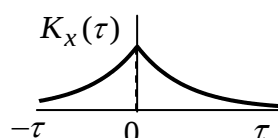
$$y = f(x) = ax^3 \text{ при } x \geq 0$$

при действии на его вход случайного процесса $x(t)$ с плотностью вероятности

$$w(x) = \begin{cases} 1/(2b), & \text{при } -b \leq x \leq b, \\ 0, & \text{вне этого интервала.} \end{cases}$$

3. Найдите и изобразите спектральную плотность мощности $G_x(\omega)$ случайного процесса $x(t)$ по его автокорреляционной функции $K_x(\tau)$:

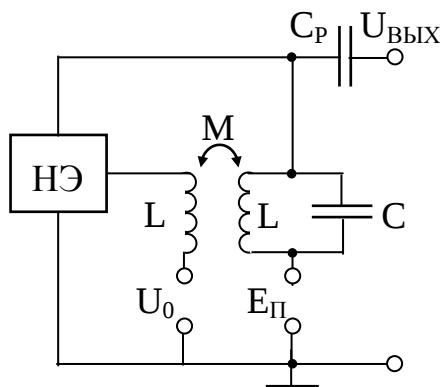
$$K_x(\tau) = 1 \cdot e^{-\alpha|\tau|}.$$



4. Схема генератора гармонических колебаний приведена на рисунке. Определите наименьшее значение крутизны проходной характеристики НЭ ($S_{\min}$), при котором возможно самовозбуждение генератора.

Параметры контура:

$$C = 10 \text{ нФ}, L = 0.1 \text{ мГн}, \\ Q = 100, M = 4 \text{ мкГн}.$$



ВАРИАНТ 2 (7, 12, 17)

1. На вход безынерционного нелинейного элемента (НЭ), имеющего характеристику

$$y = f(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2,$$

подается стационарный случайный процесс $x(t)$ с плотностью вероятности

$$w(x) = \begin{cases} 1/b, & \text{при } 0 \leq x \leq b, \\ 0, & \text{вне этого интервала.} \end{cases}$$

Найдите математическое ожидание m_y случайного процесса $y(t)$ на выходе НЭ.

2. На НЭ, характеристика которого дана в п.1, подается сигнал

$$x(t) = X_0 + X_m \cos \omega_0 t.$$

Найдите амплитуду первой гармоники сигнала на выходе НЭ. Искаженной или неискаженной была бы модуляция при изменении смещения X_0 по закону низкочастотного сигнала?

3. На идеализированный фильтр нижних частот (ФНЧ), имеющий передаточную функцию

$$K(j\omega) = \begin{cases} K_0, & \text{при } -\omega_{cp} \leq \omega \leq \omega_{cp}, \\ 0, & \text{вне этого интервала,} \end{cases}$$

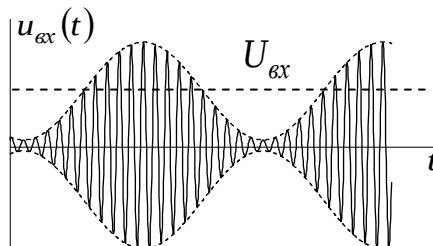
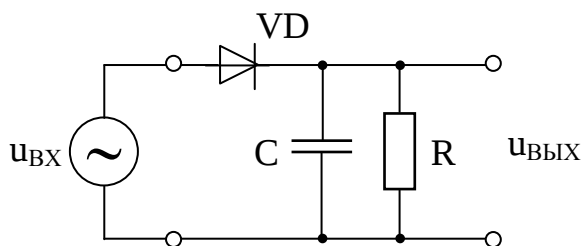
действует «белый» шум $x(t)$ со спектральной плотностью мощности $G_x(\omega) = G_0$.

Определите и изобразите автокорреляционную функцию

$K_y(\tau)$ процесса $y(t)$ на выходе этого фильтра.

4. На диодный детектор (см. рис.) действует амплитудно-модулированное колебание

$$u_{\text{вх}}(t) = U_{\text{вх}}(1 - M \cos \Omega t) \cos \omega_0 t.$$



Изобразите вид выходного напряжения на резисторе R при отключенном конденсаторе C и, наоборот, на конденсаторе C при отключенном резисторе R .

Вольтамперная характеристика диода аппроксимирована

$$i = f(u) = \begin{cases} Su, & \text{при } u > 0, \\ 0, & \text{при } u < 0, \end{cases}$$

Внутреннее сопротивление открытого диода ($R_i = 1/S$) много меньше сопротивления нагрузки R .

ВАРИАНТ 3 (8, 13, 18)

1. Характеристика нелинейного элемента (НЭ) аппроксимирована выражением

$$i = f(u) = 25 + 6u + 0.25u^2, \text{ мА.}$$

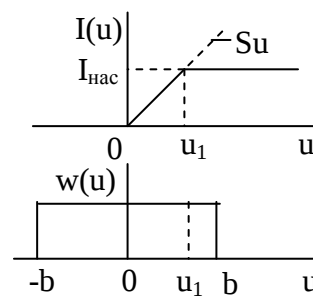
Найдите значение крутизны в рабочей точке при смещении $U_0 = -2 \text{ В}$.

2. Найдите и изобразите одномерную плотность вероятности $w(i)$ случайного процесса $i(t)$, получаемого на выходе безынерционного нелинейного элемента с характеристикой $i = f(u)$, приведенной на рисунке, при действии на его вход случайного процесса $u(t)$ с плотностью вероятности

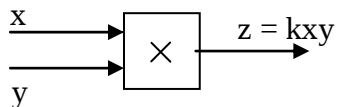
$$w(x) = \begin{cases} 1/(2b), & \text{при } -b \leq x \leq b, \\ 0, & \text{вне этого интервала,} \end{cases}$$

где $b > u_1$.

Каковы изменения в графике $w(i)$ при росте крутизны S характеристики НЭ ($I_{\text{нас}} = \text{const}$).



3. Схема амплитудной модуляции на перемножителе сигналов (ПС) дана на рисунке



$$\begin{aligned} x &= U_0 + E \cos \Omega t, \\ y &= U_m \cos \omega_0 t. \end{aligned}$$

Найдите выражение для коэффициента модуляции M и постройте граф зависимости $M = f(U_0)$ при $E = \text{const}$.

4. На линейную цепь - RC-фильтр нижних частот – с передаточной функцией

$$K(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega\tau_y}, \text{ где } \tau_y = RC,$$

действует стационарный случайный процесс $x(t)$ с известной спектральной плотностью мощности $G_x(\omega) = G_0$ (т.е. так называемый «белый» шум).

Определите и изобразите качественно спектральную плотность мощности $G_y(\omega)$ случайного процесса $y(t)$ на выходе цепи. Как будет изменяться дисперсия выходного процесса, если постоянную цепи $\tau_y = RC$ увеличивать?

PS. Математическое ожидание входного процесса равно нулю.

ВАРИАНТ 4 (9, 14, 19)

1. На линейную цепь с импульсной характеристикой

$$g(t) = (1/\tau_y) \cdot e^{-t/\tau_y}, \quad t \geq 0,$$

действует стационарный случайный процесс $x(t)$ с известной спектральной плотностью мощности $G_x(\omega) = G_0$. Найдите и изобразите графически спектральную плотность мощности $G_y(\omega)$ на выходе цепи.

2. Схема генератора гармонических колебаний приведена на рисунке. Определите критическое значение взаимной индуктивности (M_{kp}), при котором возможно самовозбуждение генератора.

Характеристика НЭ аппроксимируется полиномом:

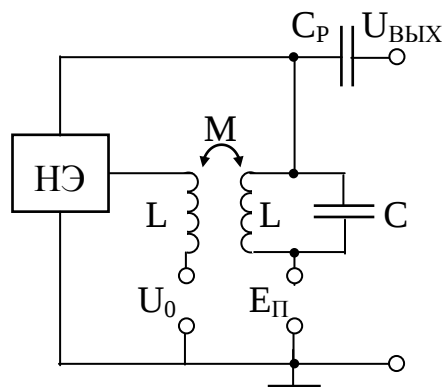
$$i = 25 + 8u + 0.75u^2 - 0.5u^3, \text{ мА.}$$

Смещение $U_0 = -1$ В, внутреннее сопротивление НЭ $R_i = 10$ кОм.

Параметры контура:

$$C = 10 \text{ нФ}, L = 0.1 \text{ мГн},$$

$$Q = 100.$$



3. На нелинейный элемент (НЭ), характеристика которого аппроксимирована выражением

$$y = f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3,$$

подан сигнал

$$x(t) = X_m \cos \omega_0 t.$$

Найдите амплитуду третьей гармоники сигнала на выходе НЭ.

4. Найдите одномерную плотность вероятности $w(y)$ случайного процесса $y(t)$ на выходе безынерционного нелинейного элемента, если на его вход подан стационарный случайный процесс $x(t)$ с плотностью вероятности:

$$w(x) = \begin{cases} 1/(2b), & \text{при } -b \leq x \leq b, \\ 0, & \text{вне этого интервала.} \end{cases}$$

Характеристика НЭ аппроксимирована кусочно-линейной зависимостью

$$y = \begin{cases} ax, & \text{при } x > 0, \\ 0, & \text{при } x < 0. \end{cases}$$

ВАРИАНТ 5 (10, 15, 20)

1. На нелинейный элемент (НЭ), характеристика которого аппроксимирована выражением

$$i = f(u) = a_0 + a_1u + a_2u^2,$$

подан сигнал

$$u(t) = U_0 + U_m \cos \omega_0 t.$$

Найдите значение постоянной составляющей сигнала на выходе. Запишите выражение для детекторной характеристики, т.е. зависимости

$$i_{0\partial} = I_0 - I_{00}, \text{ где } I_{00} - \text{ток покоя (когда } U_m = 0).$$

Детектирование АМК ($U_m = U_m(t)$) будет осуществляться с искажениями или нет?

2. На вход безынерционного НЭ, имеющего характеристику $y = A \cdot e^{ax}$, подается случайный процесс $x(t)$ с одномерной плотностью вероятности

$$w(x) = \begin{cases} 1/(2b), & \text{при } -b \leq x \leq b, \\ 0, & \text{вне этого интервала.} \end{cases}$$

Найдите и изобразите плотность вероятности $w(y)$ случайного процесса $y(t)$, получаемого на выходе этого НЭ.

3. На выходе линейной цепи с передаточной функцией

$$K(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega\tau_u}, \text{ где } \tau_u = RC,$$

автокорреляционная функция $K_y(\tau)$ выходного случайного процесса $y(t)$ имеет вид:

$$K_y(\tau) = (1/2\tau_u) \cdot e^{-\tau/\tau_u}.$$

Найдите спектральную плотность мощности $G_x(\omega)$ входного случайного процесса $x(t)$.

4. В удвоителе частоты характеристика НЭ аппроксимирована кусочно-линейной зависимостью:

$$i(\text{mA}) = \begin{cases} 10 + 2u, & \text{при } u > -5 \text{ В}, \\ 0, & \text{при } u < -5 \text{ В}. \end{cases}$$

Рассчитайте смещение U_0 , при котором: а) значение функции Берга $\alpha_2(\theta)$ будет максимальным; значение тока I_2 будет максимальным при заданной амплитуде $U_m = 6 \text{ В}$ входного гармонического колебания.

Паспорт курсовой работы

по дисциплине «Дополнительные разделы радиотехнических цепей и сигналов», 5 семестр

1. Методика оценки.

В рамках курсовой работы (КР) по дисциплине студенты должны выполнить ряд исследований характеристик сигналов и цепей, а также рассчитать преобразователи сигналов.

Для **выполнения КР** используются учебные пособия [2 или 3]. Основные части пособий содержат по 16 глав (в соответствии с программой курса), в каждой из которых даны краткие теоретические сведения в объеме, необходимом для решения задач. Затем предложены задачи для закрепления теоретического материала и выработки навыков творческого мышления, использования знаний в более сложных ситуациях. Почти по каждой теме следует **контрольное задание**, которое может быть составной частью КР и содержит от 1-й до 3-х задач.

Задачи составлены в 10 вариантах, каждый из которых, в свою очередь, включает 10 подвариантов.

КР состоят из 4-х контрольных заданий, включающих по **указанию преподавателя** две задачи, каждое из заданий защищается соответственно на 4, 8, 12 и 16-й неделях. Это сделано специально, чтобы студент мог ежемесячно защищать одно из них (что делает учебный процесс равномерным и ритмичным).

Таким образом, преподаватель может индивидуализировать задачи в заданиях.

Решать задачи нужно в определенной последовательности. Сначала приводится решение в общем виде, а затем - с подстановкой численных значений. При выводе необходимых соотношений студент должен указывать литературу, использованную для исходных формул.

Все графики и диаграммы следует выполнять на миллиметровой бумаге (вклеивая в соответствующее место в тексте) с указанием на осях координат масштаба и размерности величин.

Тематика задач

20. Спектральный состав тока в нелинейном элементе при гармоническом воздействии.
21. Воздействие стационарного случайного процесса на безынерционный нелинейный элемент.
22. Нелинейное резонансное усиление и умножение частоты.
23. Амплитудная модуляция сигналов.
24. Детектирование АМ сигнала.
25. Преобразование частоты на управляемом нелинейном элементе.
26. Расчет LC-генератора гармонических колебаний.
27. Дискретные сигналы. Прямое и обратное БПФ.
28. Цифровые (дискретные) цепи и их характеристики.
29. Цифровая рекурсивная и нерекурсивная фильтрации.
30. Синтез четырехполюсника.

В качестве КР (в V семестре) предлагается, например, следующий возможный набор задач в заданиях.

Задание 1. Задача (20). Спектральный состав тока в нелинейном элементе при гармоническом воздействии.

Задача (21). Воздействие стационарного случайного процесса

на безынерционный нелинейный элемент.

Задание 2. Задача (22). Нелинейное резонансное усиление и умножение частоты.

Задача (23). Амплитудная модуляция.

Задание 3. Задача (24). Детектирование АМ сигнала.

Задача (26). Расчет LC-генератора гармонических колебаний.

Задание 4. Задача (28). Цифровые (дискретные) цепи и их характеристики.

Задача (30). Синтез четырехполосника.

2. Критерии оценки

- Задание считается не выполненным, если при его защите оценка составляет менее 16-х баллов (по 100 бальной системе).
- Задание считается выполненным на **пороговом** уровне, если при его защите оценка составляет 16-20 баллов.
- Задание считается выполненным на **базовом** уровне, если при его защите оценка составляет 21-28 баллов.
- Задание считается выполненным на **продвинутом** уровне, если при его защите оценка составляет 29-32 балла.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Примерный перечень тем курсового проекта (работы)

20. СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ТОКА В НЕЛИНЕЙНОМ ЭЛЕМЕНТЕ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Заданы вольт-амперная характеристика (ВАХ) безынерционного нелинейного элемента (НЭ) и вид аппроксимирующей функции этой характеристики (табл.8.1 и табл.8.2). На вход НЭ подано напряжение $u = u(t) = U_0 + U_m \cos \omega_0 t$, параметры которого приведены в табл. 8.3.

Требуется:

- изобразить графически заданную ВАХ НЭ;
- определить коэффициенты аппроксимирующей функции;
- сравнить аппроксимированную характеристику с заданной, построив их на одном графике;
- изобразить на одном графике временные диаграммы входного напряжения и тока через НЭ;
- найти спектральный состав тока НЭ: I_0, I_1, I_2, I_3, I_4 ;
- построить спектральные диаграммы входного напряжения и тока через НЭ.

ТАБЛИЦА 8.1

Номер варианта	НЭ, номер из табл.8.2	Аппроксимирующая функция	Номер варианта	НЭ, номер из табл.8.2	Аппроксимирующая функция
0	6	$I = a_0 + a_1 u + a_2 u^2$	5	0	$I = A \exp(au)$
1	1	$I = a_0 + a_2 u^2 + a_4 u^4$	6	9	$I = A[1 + \sin(qu)]$
2	8	$I = a_0 + a_1 u + a_3 u^3$	7	7	$I = A[1 - \sin(qu)]$
3	9	$I = a_0 + a_1 u + a_3 u^3$	8	8	Кусочно-линейная
4	2	$I = A \exp(au)$	9	9	Кусочно-линейная

Таблица 8.2

Номер НЭ	Тип НЭ	Вольт-амперная характеристика								
0	ПД	$u, В$ $i, мА$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7 0.8
			0	0.2	0.5	0.9	1.5	2.5	4.0	6.2 9.5
1	ПД	$u, В$ $i, мА$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
			0	0.5	1.0	1.75	4.0	10	20	40
2	ПД	$u, В$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7

		i , мА	0 1.0 2.5 5.5 12 27 61 135
3	ТД	u , В i , мА	0 .05 .075 .1 .15 .2 .3 .4 .5 .6 .7 .8 .9 1.0 0 1.5 2. 2.1 2. 1.6 .9 .4 .15 .15 .3 .9 1.3 1.9
4	Т	u_{δ} , В i_k , мА	0 0.1 .15 .20 .25 .30 .35 .40 .45 .50 .55 .60 0 0.0 0.5 1.0 2.5 4.5 8 12 18 25 34 45
5	Т	u_{δ} , В i_k , мА	0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 0 0.6 1.4 2.0 4.0 9.0 20 34 50 73 100
6	Т	u_{δ} , В i_k , мА	0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 0 0.1 0.5 1.3 3.0 6.0 11 17 25 36 65
7	ПТ	u_3 , В i_c , мА	-2.0 -1.5 -1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 4.0 3.9 3.5 2.7 2.0 1.3 0.6 0.1 0.0
8	ПТ	u_3 , В i_c , мА	-2.5 -2.0 -1.5 -1.0 -0.75 -0.5 -0.25 0 0 0.15 0.4 1.0 1.5 2.25 3.0 4
9	ПТ	u_3 , В i_c , мА	-8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 0 5 20 45 75 130 190 255 320

Здесь: ПД – полупроводниковый диод, ТД – туннельный диод,
Т – транзистор, ПТ – полевой транзистор.

Таблица.8.3

Варианты		Подварианты									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0, 1, 4, 5	U_0 , В	0.20	0.20	0.25	0.25	.275	.275	0.30	0.30	0.40	0.45
	U_m , В	0.10	0.15	0.10	0.15	.125	.175	.125	0.15	0.20	0.15
2	U_0 , В	−0.50	−1.00	−1.50	−2.00	−0.75	−1.00	−1.25	−1.00	−1.50	−1.00
	U_m , В	0.50	0.50	0.50	0.50	0.75	0.75	0.75	1.00	1.00	1.50
3	U_0 , В	−2	−3	−4	−5	−6	−2	−3	−4	−5	−4
	U_m , В	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4
6	U_0 , В	−4	−5	−5	−4	−4	−3	−3	−3	−2	−2
	U_m , В	4	3	2	3	2	5	4	3	3	2
7	U_0 , В	0.00	0.50	0.50	0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	1.25	1.50
	U_m , В	1.50	1.50	1.00	1.00	0.75	1.00	0.75	0.50	0.75	1.50
8	U_0 , В	−1.50	−0.50	−0.50	−0.75	−0.75	−1.00	−1.00	−1.00	−1.25	−1.50
	U_m , В	1.50	1.50	1.00	1.00	0.75	1.00	0.75	0.50	0.75	0.50
9	U_0 , В	−4	−9	−10	−5	−5	−6	−6	−7	−7	−8
	U_m , В	4	9	50	5	4	6	5	7	6	8
f_0 , МГц		1.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9

21. ВОЗДЕЙСТВИЕ СТАЦИОНАРНОГО СЛУЧАЙНОГО СИГНАЛА НА БЕЗЫНЕРЦИОННЫЙ НЕЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

На вход нелинейного безынерционного элемента действует стационарный случайный процесс $u(t)$ с одномерной плотностью вероятности $w(u)$. Характеристика нелинейного элемента, вид аппроксимирующей функции и смещение такие же, что и в задании 20. Среднеквадратическое значение напряжения σ_u случайного процесса взять равным U_m (табл. 20.3).

Закон распределения вероятностей входного случайного процесса:

- равномерный – для вариантов 0–7

$$w(u) = 1/(2b) \text{ при } -b + U_0 \leq u \leq b + U_0,$$

где $b = \sqrt{3}\sigma_u$;

- нормальный (гауссов) – для вариантов 8–9

$$w(u) = (1/\sqrt{2\pi}\sigma_u) \exp(-(u - U_0)^2 / 2\sigma_u^2).$$

Требуется:

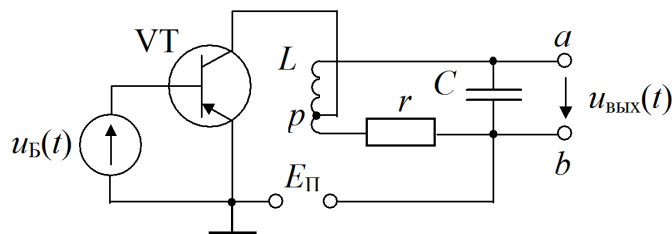
а) определить одномерную плотность вероятности $w(i)$ на выходе НЭ;

б) построить графики $w(u)$ и $w(i)$;

в) найти математическое ожидание m_i , дисперсию $D_i = \sigma_i^2$ и среднюю мощность P_i случайного процесса на выходе безынерционного НЭ.

22. НЕЛИНЕЙНОЕ РЕЗОНАНСНОЕ УСИЛЕНИЕ СИГНАЛОВ И УМНОЖЕНИЕ ЧАСТОТЫ

Нелинейный резонансный усилитель или умножитель частоты собран по следующей схеме



На вход схемы поступает напряжение

$$u_{\text{вх}}(t) = U_0 + U_m \cos \omega_0 t, \text{ В.}$$

В качестве выходной нагрузки включен резонансный контур с $\omega_{\text{рез}} = \omega_0$ для нелинейного усилителя и $\omega_{\text{рез}} = n\omega_0$ для умножителя частоты.

Тип нелинейного элемента, его характеристики, параметры сигнала (U_0 и U_m), а также параметры контура можно определить по табл. 22.1 и 22.2 в соответствии с номерами варианта и подварианта вашего задания.

Таблица 22.1

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер НЭ из табл. 20.2	5	–	6	–	8	–	4	–	9	–
S , мА/В	–	5	–	3	–	100	–	50	–	20
$U_{\text{н}}$, В	–	–2	–	–5	–	–1	–	–0.5	–	–1.5
U_0 , В	0.6	–4	0.5	–2	–1.5	–2	0.4	–0.8	–6	–3
U_m , В	0.3	6	0.3	6	1.5	2	0.2	2	2	5
n	2	1	2	1	1	3	2	2	1	2

Таблица 22.2

Параметры	Подварианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L , мГн	0.01	0.5	0.1	0.05	1	0.3	0.08	0.7	0.06	0.2
r , Ом	100	50	80	30	40	15	60	20	80	90
$\omega_{\text{рез}}$, $\cdot 10^6$ рад/с	80	2	10	20	1	3.3	12.5	1.42	16.6	5
p	0.3	0.2	0.1	0.13	0.15	0.1	0.2	0.1	0.2	0.25

Требуется:

а) построить ВАХ заданного НЭ, рассчитать коэффициенты аппроксимирующей функции, построить эту функцию на одном графике с ВАХ;

б) рассчитать и построить колебательную характеристику для нелинейного усилителя или аналогичную ей для умножителя частоты;

в) рассчитать и построить спектр тока НЭ вплоть до четвертой гармоники включительно;

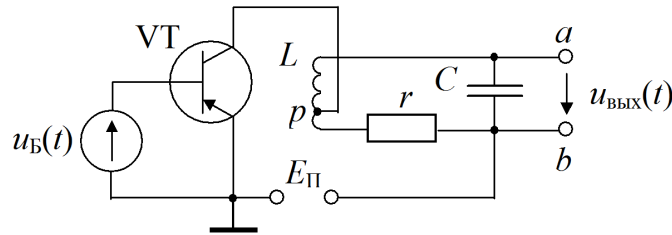
г) определить амплитуду рабочей гармоники на выходе НЭ $U_{\text{вых}}$ и на колебательном контуре $U_{\text{к}}$;

д) рассчитать мощность P_0 , поступающую от источника питания, мощность $P_{\text{вых}}$, выделяемую в нагрузке на рабочей частоте, мощность $P_{\text{к.т}}$, выделяемую на коллекторе в виде тепла и КПД усилителя или умножителя частоты $\eta = P_{\text{п.н}} / P_0$.

Примечание. Напряжение питания усилителя (умножителя) для всех вариантов можно принять $E_{\text{п}} = 24$ В.

23. АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ СИГНАЛОВ

Схема амплитудного модулятора приведена на рисунке



На вход схемы подается напряжение

$$u_{\text{вх}}(t) = U_0 + U_m \cos \omega_0 t + U_\Omega \cos \Omega t, \text{ В.}$$

На выходе модулятора необходимо получить АМ сигнал

$$u_{\text{вых}}(t) = U_{\text{вых}} [1 + M_U \cos(\Omega t + \varphi)] \cos \omega_0 t, \text{ В.}$$

Нелинейные искажения при модуляции не должны превышать 10 % ($K_{I\Omega} = 0.1$), а линейные (частотные) – 30 %. Под частотными искажениями будем понимать изменение коэффициента модуляции M_U при изменении частоты модуляции от 0 до Ω .

Тип нелинейного элемента, его характеристики и амплитуду ВЧ сигнала на входе модулятора можно определить по табл. 23.1 в соответствии с вариантом задания.

Параметры требуемого выходного сигнала – $U_{\text{вых}}$, M_U , несущая частота ω_0 и частота модуляции Ω приведены в табл. 23.2 в соответствии с подвариантом задания.

Таблица 23.1

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер НЭ из табл. 20.2	–	9	–	4	–	8	–	6	–	5
S , мА/В	20	–	50	–	100	–	30	–	60	–
$U_{\text{н}}$, В	–1.5	–	–0.5	–	–1	–	–5	–	–2	–
U_m , В	0.5	0.5	0.2	0.05	0.1	0.5	0.25	0.1	0.25	0.05

Таблица 23.2

Параметры	Подварианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_{\text{вых}}$, В	10	12	4	8	5	6	15	8	6	10
M_U	0.35	0.2	0.4	0.3	0.25	0.2	0.4	0.35	0.4	0.3
ω_0 , $\cdot 10^6$ рад/с	0.2	0.8	40	2.0	20	5	2.4	8	10	12
Ω , $\cdot 10^3$ рад/с	10	20	500	50	200	30	60	100	50	300
r , Ом	200	50	12.5	50	8	3.125	50	12.5	2	50

Требуется:

а) построить ВАХ заданного НЭ, для вариантов 1, 3, 5, 7 и 9 в качестве аппроксимирующей функции использовать степенной полином, рассчитать коэффициенты аппроксимирующей функции, построить эту функцию на одном графике с ВАХ;

б) рассчитать и построить статическую модуляционную характеристику (для заданной амплитуды U_m);

в) по статической модуляционной характеристике выбрать смещение $U_{0.PT}$, максимальную амплитуду $U_{\Omega \max}$ модулирующего сигнала и наибольший коэффициент модуляции $M_{I \max}$ тока при неискаженной модуляции;

г) изобразить на одном рисунке ВАХ НЭ, входное напряжение и ток НЭ, используя три координатные плоскости;

д) рассчитать и построить спектр тока на выходе НЭ; при этом для нечетных вариантов входной сигнал содержит модулирующее напряжение, а для четных не содержит;

е) определить и обосновать параметры контура L , C и r , обеспечивающие допустимые линейные искажения ($<30\%$, т. е. при $D = M_U / M_I > 70\%$). Рассчитать фазовый сдвиг φ ;

ж) выбрать коэффициент включения контура, обеспечивающий требуемую амплитуду $U_{\text{вых}}$ выходного АМ-сигнала. Влиянием НЭ на контур можно пренебречь.

Примечание. Напряжение питания модулятора для всех вариантов можно принять равным $E_n = 24 \text{ В}$.

24. ДЕТЕКТИРОВАНИЕ АМ СИГНАЛА

На вход детектора поступает АМ сигнал

$$u(t) = U_m(1 + M \cos \Omega t) \cos \omega_0 t, \text{ В.}$$

На выходе детектора требуется получить низкочастотный гармонический сигнал

$$u(t) = U_{\Omega} \cos(\Omega t + \varphi), \text{ В.}$$

В качестве нелинейного элемента в схеме детектора используется полупроводниковый диод или транзистор.

Тип нелинейного элемента, амплитуда входного сигнала U_m , требуемого выходного сигнала U_{Ω} и коэффициент модуляции M , заданы в табл. 24.1 (в соответствии с вариантом задания).

Несущая частота ω_0 входного сигнала и частота модуляции Ω заданы в табл. 24.2 (в соответствии с подвариантом задания).

Примечания: а) при диодном детектировании следует аппроксимировать ВАХ НЭ ломаной прямой; б) при построении схемы детектора на транзисторе, шунтирующим влиянием НЭ на нагрузку можно пренебречь.

Требуется:

а) нарисовать принципиальную схему;

б) построить ВАХ заданного НЭ, при необходимости выбрать смещение и провести аппроксимацию ВАХ (совместив на графике заданную и аппроксимированную характеристики);

в) рассчитать параметры нагрузки детектора R_n , C_n , обеспечивающие требуемую амплитуду выходного сигнала U_{Ω} ;

г) рассчитать и построить характеристику детектирования $\Delta U_0 = f(U_m)$;

д) рассчитать напряжение на нагрузке и выходе детектора;

е) построить временные диаграммы напряжения на детекторе (диоде или транзисторе) и на нагрузке.

Таблица 24.1

Параметры	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип НЭ из табл. 20.2	0	9	1	8	2	6	0	—	2	—
U_n , В	—	—	—	—	—	—	—	—2	—	1.5
S , мА/В	—	—	—	—	—	—	—	5	—	—6
U_m , В	3.0	0.5	3.5	0.5	4.0	0.2	5.5	0.8	6.0	0.6
U_{Ω} , В	1.2	5.0	2.0	4.0	3.0	4.0	2.0	8.0	3.3	6.0
M	0.5	0.7	0.7	0.6	0.8	0.6	0.4	0.7	0.6	0.8

Таблица 24.2

Параметры	Подварианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\omega, \cdot 10^6 \text{ рад/с}$	10	5	0.8	4	3	1	2.4	10	8	2
$\Omega, \cdot 10^3 \text{ рад/с}$	624	436	50	250	187	94	218	500	430	218

26. РАСЧЕТ ГЕНЕРАТОРА ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

В табл. 26.1 и 26.2. заданы тип схемы автогенератора гармонических колебаний и данные для расчета.

Для трансформаторных и трехточечных автогенераторов требуется:

- начертить схему автогенератора;
- аппроксимировать ВАХ НЭ;
- рассчитать и построить графически зависимость $I_1 = f(U_m)$ и $S_{cp} = \varphi(U_m)$, где I_1 – амплитуда первой гармоники выходного тока НЭ, U_m – амплитуда управляющего напряжения на входе НЭ;
- определить (графически или аналитически) для $S_{cp,ст} = S/1.3$ стационарные амплитуды напряжения $U_{ст} = U_{m,ст}$ на входе НЭ и первой гармоники тока $I_{1,ст}$ на его выходе; здесь S – дифференциальная крутизна ВАХ в рабочей точке (при заданном U_0);
- рассчитать параметры контура автогенератора;
- определить критический коэффициент $\beta_{кр}$ обратной связи и охарактеризовать режим возбуждения (мягкий или жесткий); в случае жесткого режима найти $\beta_{кр,1}$ и $\beta_{кр,2}$;
- рассчитать коэффициент обратной связи и амплитуду выходного напряжения для стационарного режима генерации.

Для генераторов на туннельном диоде требуется:

- начертить схему автогенератора;
- построить ВАХ НЭ;
- рассчитать и построить графики зависимости $I_1 = f(U_m)$ и $|R_{cp}| = F(U_m)$, где $|R_{cp}|$ – модуль отрицательного среднего по первой гармонике сопротивления туннельного диода; U_m – амплитуда входного сигнала;
- определить минимальное значение резонансного сопротивления контура $Z_{p,min}$, при котором возможно появление генерации;
- рассчитать параметры контура ($L, C, r, Q, 2\Delta f_{0.7}$) для $Z_p = 5Z_{p,min}$;
- определить стационарные амплитуды $I_{1,ст}$ и $U_{m,ст}$ при $Z_p = 5Z_{p,min}$.

28. ДИСКРЕТНЫЕ ЦЕПИ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. В табл. 28.1 заданы разностные уравнения дискретных цепей [4].

Проверьте их физическую реализуемость (каузальность), стационарность, линейность и устойчивость

Таблица 28.1

Номер варианта	Разностное уравнение	Номер подварианта	a	b	c	k
0	$y[n] = x[n-k] \exp(-nk)$	1	1	4	3	2
1	$y[n] = ax[n-k]$	2	3	2	4	1
2	$y[n] = \begin{cases} ax[n-k], & x[n], c \\ bx[n-k], & x[n] > c \end{cases}$	3	2	3	1	4
3	$y[n] = (n+a)x[n-k]$	4	4	1	2	3
4	$y[n] = a^n x^2[n]$	5	2	1	3	4
5	$y[n] = bx[n+k]$	6	3	2	4	3

6	$y[n] = x[n] \sin(an)$	7	2	1	4	2
7	$y[n] = ax[n+k] - x[n]$	8	3	1	2	4
8	$y[n] = bx[n] - cx[n-k]$	9	5	2	1	6
9	$y[n] = x[n+k] \exp(-nk)$	0	3	4	6	5

2. Дискретная цепь описывается разностным уравнением:

$$a_1 y[n-2] + a_2 y[n-1] + a_3 y[n] = b_1 x[n-2] + b_2 x[n-1] + b_3 x[n].$$

Составьте структурную схему и постройте график импульсной характеристики цепи (первые 10 значений). Номера вариантов и подвариантов приведены в табл. 28.2.

Таблица 28.2

Номер варианта	a_1	a_2	a_3	Номер подварианта	b_1	b_2	b_3
1	3	0	1	1	0	2	5
2	0	4	4	2	2	0	3
3	6	0	3	2	3	2	0
4	2	3	1	4	0	5	2
5	5	0	3	5	2	0	4
6	0	4	2	6	0	0,5	2,5
7	3	0	2	7	6,5	0	3
8	0	2	1	8	0	2	3
9	5	0	2	9	0	2	3
0	0	3	4	0	3	0	8

30. КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ. СИНТЕЗ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА

По исходным данным, приведенным в табл. 30.1 и 30.2, произвести синтез четырехполосника (фильтра) на основе фильтра-прототипа НЧ. Осуществить расчет параметров фильтра.

Таблица 30.1

Номер варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип фильтра	ФНЧ	ФНЧ	ФВЧ	ФВЧ	ФВЧ	ППФ	ППФ	ППФ	ППФ	ППФ

Таблица 15.2

Номер подварианта	Исходные данные фильтра					
	n	L_{Ar} , дБ	f_1 , кГц	f_2 , кГц	R_0 Ом	Аппроксимация
0	4	0,1	10	12,5	50	Чебышева
1	4	0,2	20	25	75	Чебышева
2	5	3,0	30	35	50	Баттерворта
3	5	0,5	40	45	75	Чебышева
4	6	3,0	50	60	75	Баттерворта
5	6	1,0	60	70	50	Чебышева
6	7	3,0	80	100	50	Баттерворта
7	7	1,0	100	120	75	Чебышева
8	8	3,0	150	200	50	Баттерворта
9	8	2,0	200	250	75	Чебышева

5. Перечень вопросов к защите курсового работы

НЕЛИНЕЙНОЕ РЕЗОНАНСНОЕ УСИЛЕНИЕ. УМНОЖЕНИЕ ЧАСТОТЫ

1. Каковы достоинства и недостатки линейного режима усиления колебаний?
2. Поясните принцип работы нелинейного резонансного усилителя.
3. Изобразите временные диаграммы тока транзистора и выходного напряжения при различных смещениях на затворе.

4. Что такое угол отсечки тока транзистора и как он зависит от напряжения смещения и амплитуды входного напряжения?
5. Как вычислить амплитуду тока первой гармоники по вольт-амперной характеристике нелинейного элемента?
6. Что такое средняя крутизна и как при заданной ВАХ она зависит от напряжения смещения?
7. Как влияет напряжение смещения на коэффициент усиления (передачи) усилителя на полевом транзисторе?
8. Дайте определение колебательной характеристике резонансного усилителя. Как влияет напряжение смещения на эту характеристику?
9. Что такое «линейные искажения» при усилении амплитудно-моделированных колебаний? Как влияет добротность контура усилителя на глубину модуляции выходного напряжения?
10. Какова зависимость глубины модуляции и времени задержки огибающей от модулирующей частоты?
11. Почему в нелинейном режиме усиления происходит повышение КПД?
12. Что такое режим умножения частоты? Поясните принцип работы удвоителя частоты на полевом транзисторе.
13. В чем разница между функциями Берга $\alpha(\theta)$ и $\gamma(\theta)$, когда и для чего их используют?
14. Изобразите временные диаграммы тока полевого транзистора (канал p -типа) и напряжения на его затворе, стоке и истоке в режиме удвоения частоты.
15. Как выбирается угол отсечки тока нелинейного элемента в умножителе при работе: а) с постоянной величиной импульса тока (независимо от смещения); б) с постоянной амплитудой входного колебания?
16. Почему не применяются высокие кратности умножения частоты в одном каскаде?

АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

1. Поясните физические процессы при модуляции смещением. Почему для получения АМ режим работы усилителя должен быть нелинейным?
2. Что такое нелинейные искажения при модуляции? Требования к характеристике НЭ.
3. Что такое линейные искажения при АМ и каковы требования к нагрузке (колебательному контуру)?
4. Как и почему влияет добротность контура модулятора на глубину модуляции на нем? Роль шунта ($R_{ш}$).
5. Какова зависимость коэффициента модуляции от частоты модулирующего напряжения?
6. Как и почему изменяется форма АМК при несовпадении несущей частоты с резонансной частотой контура модулятора?
7. Что такое статическая модуляционная характеристика? Ее назначение.
8. Как влияет амплитуда несущего колебания на форму статической модуляционной характеристики?
9. Каковы требования к у работы модулятора в случае большого по амплитуде несущего колебания (когда используется кусочно-линейная аппроксимация ВАХ НЭ)?
10. Каково влияние на форму АМК изменения напряжения смещения полевого транзистора (p -типа)?
11. Дайте определение динамической модуляционной характеристике.
12. Изобразите и поясните зависимость коэффициента модуляции напряжения на контуре от амплитуды модулирующего сигнала.
13. Как изменяется форма радиоимпульса по мере уменьшения сопротивления, шунтирующего контур?
14. Поясните, как влияет на форму радиоимпульсов отклонение несущей частоты от резонансной частоты контура.
15. Как влияют полоса пропускания и добротность контура на форму радиоимпульсов на выходе модулятора?

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫХ КОЛЕБАНИЙ

1. Поясните принцип работы диодного детектора.
2. Изобразите вид временных диаграмм в следующих точках последовательного диодного детектора: на входе, на диоде, на нагрузке, на сопротивлении нагрузки при отключенном конденсаторе и, наоборот, на конденсаторе при отключенном сопротивлении.
3. Напишите соотношения для выбора нагрузки (C и R) в диодном детекторе.
4. Чем определяется угол отсечки в диодном детекторе?
5. Какова зависимость угла отсечки от сопротивления нагрузки?
6. Как будет изменяться коэффициент передачи диодного детектора от сопротивления нагрузки?
7. Дайте определение детекторной характеристике и ее математическое выражение.
8. Что такое «линейное» и «квадратичное» детектирование?
9. От чего зависит входное сопротивление детектора?
10. Как будет изменяться форма выходного напряжения детектора при изменении модулирующей частоты?
11. Чему будет равен угол отсечки и коэффициент передачи детектора при отключенном: а) конденсаторе; б) резисторе?
12. Как будут изменяться передний фронт, вершина и задний фронт продетектированного радиоимпульса, если изменять: а) сопротивление нагрузки, б) емкость нагрузки?
13. Почему диодный детектор (с нелинейной ВАХ) называют «линейным» детектором?

LC-ГЕНЕРАТОР С ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

1. Изобразите обобщенную схему автогенератора гармонических колебаний. Каково назначение нелинейного элемента и фильтра?
2. В чем сущность квазилинейного метода исследования генераторов? Какие характеристики и параметры нелинейного элемента используются в этом методе?
3. Дайте определение колебательной (амплитудной) характеристике и ее математическое выражение. Поясните методику ее экспериментального определения.
4. Изобразите семейство колебательных характеристик для различных напряжений смещения на затворе полевого транзистора автогенератора.
5. Назовите режимы самовозбуждения автогенератора. Какова их связь с формой колебательных характеристик? От чего зависит форма последних?
6. Как определить области мягкого и жесткого режимов самовозбуждения генератора по ВАХ нелинейного элемента?
7. Каковы условия (и математическая запись) режима самовозбуждения LC-генератора? Почему режим возникновения колебаний можно анализировать согласно линейной теории?
8. От чего зависит время установления колебаний в автогенераторе?
9. Каковы условия (и математическая запись) стационарного режима генератора?
10. Как по колебательной характеристике определить амплитуду генерируемых колебаний и их устойчивость?
11. Изобразите зависимости $K(U_m)$ и $S_{cp}(U_m)$ для мягкого и жесткого режимов самовозбуждения генератора. Как по ним определить критическое значение обратной связи ($\beta_{кр}$) для возникновения и срыва генерации?
12. Чем определяется частота автогенератора? Почему добротность контура влияет на стабильность частоты?
13. В чем заключаются особенности схем автогенераторов с использованием биполярных транзисторов?
14. Изобразите графически зависимость амплитуды выходного напряжения генератора от величины коэффициента ОС (β) для смещений, соответствующих мягкому и жесткому режимам самовозбуждения.

ЦИФРОВЫХ (ДИСКРЕТНЫЕ) ЦЕПИ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ. СИНТЕЗ.

1. В чем заключается отличительная черта РФ?

2. Запишите основные математические модели рекурсивного фильтра.
3. Изобразите структурную схему РФ и запишите алгоритм обработки сигнала в ней.
4. Каково условие физической реализуемости РФ? Их начинается с момента подачи. Площадь ИХ конечна.
5. Z-преобразование - это линейное или нелинейное преобразование и почему?
6. В какой области Z-плоскости должны располагаться полюсы системной функции устойчивого РФ?
7. Как влияет порядок фильтра на крутизну АЧХ в переходной полосе и, следовательно, на его избирательность?
8. В чем заключаются достоинства и недостатки РФ по сравнению с НФ?
9. Назовите характерные отличия ИХ и ПФ рекурсивных и нерекурсивных фильтров.
10. Перечислите преимущества и недостатки цифровой фильтрации перед аналоговой.
11. Изобразите структурную схему НФ и запишите алгоритм обработки сигнала в ней.
12. Каково условие физической реализуемости НФ?
13. В чем заключаются достоинства и недостатки НФ по сравнению с РФ?
14. Почему НФ является абсолютно устойчивым?
15. В чем назначение весовых функций при решении аппроксимационной задачи НФ?
16. Назовите основные ВФ и охарактеризуйте их по ширине главного лепестка и относительному уровню боковых лепестков АЧХ.
17. Что происходит с шириной главного лепестка АЧХ ВФ и переходной полосой АЧХ НФ с возрастанием порядка фильтра?
18. Каков механизм влияния длительности импульса сигнала и ширины полосы пропускания НФ на величину ОСШ?
19. Как влияет расстройка входного сигнала на форму и амплитуду выходного сигнала, а также на ОСШ?
20. Каковы специфические источники погрешности работы ЦФ?