

Федеральное агентство по образованию
САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра радиофизики и нелинейной
динамики

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине **Основы радиоэлектроники**
(наименование дисциплины)

для специальности **013800 – радиофизика и электроника,**
(код и наименование специальности, направления)

реализуемой на **физическом** факультете

Саратов, 2006 год

Рабочая программа
составлена в соответствии
с Государственным стандартом
высшего профессионального образования
по специальности 013800 – РАДИОФИЗИКА И ЭЛЕКТРОНИКА
(номер государственной регистрации 170 ен/сп от 17.03.2000 г.)

<p style="text-align: center;">ОДОБРЕНО:</p> <p>Председатель учебно-методической комиссии физического факультета, профессор _____ В.Л.Дербов _____ 2006 г.</p>		<p style="text-align: center;">УТВЕРЖДАЮ:</p> <p>Проректор по учебной работе, профессор _____ Е.М. Первушов _____ 2006 г.</p>
---	--	--

СОГЛАСОВАНО:

Декан физического факультета,
профессор _____

Д.А.Зимняков

Заведующий кафедрой радиофизики и
нелинейной динамики физического факультета,
профессор _____

В.С.Анищенко

Вил учебной работы	Бюджет времени по формам обучения, час				
	очная		очно-заочная	заочная	
	полная программа	ускоренные сроки		полная программа	ускоренные сроки
Аудиторные занятия, всего	105				
в том числе: - лекции -	70				
лабораторные (практические) –	--				
семинарские	35				
Самостоятельная работа студентов	6				
Зачеты, +/-	+				
Экзамены, +/-	+				
Контрольные работы, количество	2				
Курсовая работа, +/-	-				

Автор:

профессор кафедры радиофизики
и нелинейной динамики

А.В. Хохлов

Раздел I. Организационно – методическое содержание

Курс "Теоретические основы радиоэлектроники" читается студентам кафедры радиофизики и нелинейной динамики и кафедры радиотехники и электродинамики СВЧ физического факультета, обучающимся по специальности 013800 -- радиофизика и электроника в течение 5-го и 6-го учебных семестров. Он включает 70 часов лекционных и 35 часа семинарских занятий. Цель курса состоит в изучении методов описания радиотехнических сигналов. их спектрального и динамического представлений,.. ознакомлении с основами теории радиоэлектронных цепей и систем. Рассмотрению физических процессов, происходящих, в линейных и нелинейных системах при различных воздействиях, Особое внимание уделяется спектральному анализу колебаний и методов преобразования сигналов, На семинарских занятиях студенты приобретают практические навыки решения задач по различным разделам курса и более детально знакомятся с некоторыми теоретическими вопросами. В результате изучения данного курса студенты должны иметь представление о структуре радиотехнических сигналов и систем, методах построения и принципах функционирования основных узлов современных радиоэлектронных устройств.

Раздел 2. Тематический план учебной дисциплины

№ п/п	Наименование раздела, подраздела, темы лекции	Бюджет учебного времени					Форма текущего и итогового контроля
		Всего	В том числе				
			Лекции	Лабораторные и практические	Семинарские занятия	самостоятельная работа	
1	2	3	4	5	6	7	8

	Введение	1	1	--			
1.	Тема 1, Основные свойства и модели сигналов	22	10	-	11	1	
1.1		1	1	-	-		
1.2		2	1	-	1		
1.3		3	1	-	2		
1.4		3	1	-	2		
1.5		3	1	-	2		
1.6		1	1	-	-		
1.7		1	1	-	-		
1.8		2	1	-	1		
1.9		4	1	-	2		
1.10		4	1	--	2		

2.	Тема 2. Преобразование сигналов в линейных радиоэлектронных цепях с постоянными параметрами	49	23		24	2	Контроль-ная работа
2.1		0.5	0.5		-		
2.2.		0.5	0.5		-		
2.5		1	1		--		
2.4		1	1		-		
2.5		1	1		-		
2.6		3	1		2		
2.7		1	1		-		
2.8		1	1		-		
2.9		3	1		2		
2.10		3	1		2		
2.11		1	1		-		
2.12		3	1		2		
2.13		3	1		2		
2.14		3	1		2		
2.15		1	1		-		
2.16		3	1		2		
2.17		3	1		2		
2.18		3	1		2		
2.19		1	1		-		
2.20		3	1		2		
2.21		3	1		2		
2.22		1	1		-		
2.23		3	1		2		
2.24		1	1		-		

	2	3	4	5	6	7	8
3.	Тема 3. Преобразование сигналов в нелинейных и параметрических радиоэлектронных цепях и системах.	19	17			2	Контроль-ная работа
3.1		2	2	-	-		
3.2		2	2	-	-		
3.3		2	2	-	-		
3.4		2	2	-	-		
3.5		2	2	-	-		
3.6		2	2	-	--		
3.7		1	1	-	-		
3.8		2	2	-	-		
3.9		2	2	-	--		

4.	Тема 4. Усиление электрических сигналов	10	10				
4.1.		2	2				
4.2.		2	2				
4.3.		1	1				
4.4.		1	1				
4.5.		2	2				
4.6.		2	2				
5.	Тема 5. Автоколебания и автоколебательные радиоэлектронные системы	6	6				
5.1.		1	1				
5.2.		1	1				
5.3.		1	1				
5.4.		1	1				
5.5.		1	1				
5.6.		1	1				
6	Тема 6. Параметрическая генерация и усиление электрических колебаний	4	3			1	
6.1		1	1				
6.2		1	1				
6.3		3	1				
Итого:		111	70		35	6	зачет экзамен

Раздел 3. Содержание учебной дисциплины

Основы радиоэлектроники

Введение

Радиоэлектроника как наука о передаче сообщений электромагнитными волнами высокой частоты. Колебательные и волновые явления - физическая основа радиоэлектроники. Основные тенденции и перспективы развития современной радиоэлектроники. Задачи курса теоретических основ радиоэлектроники и взаимосвязь с другими дисциплинами.

Тема 1. Основные свойства и модели радиотехнических сигналов.

1.1. Сигналы и их математические модели. Одномерные и многомерные сигналы. Регулярные и случайные сигналы. Периодические, непериодические, импульсные сигналы. Аналоговые, дискретные, квантованные и цифровые сигналы.

- 1.2.** Метод комплексных амплитуд. Формы представления гармонических колебаний. Основные свойства комплексных амплитуд. Комплексная амплитуда произведения двух сигналов одной частоты. *Семинарское занятие: "Метод комплексных амплитуд"*.
- 1.3.** Спектральное представление сигналов. Спектры периодических сигналов. Разложение периодических сигналов в тригонометрический ряд Фурье. Спектральные диаграммы. Комплексный ряд Фурье. Смысл отрицательных частот. Представление периодического сигнала на комплексной плоскости. Спектр последовательности прямоугольных импульсов. *Семинарское занятие: "Спектры периодических сигналов"*.
- 1.4.** Спектры непериодических сигналов. Периодическое продолжение и спектральная плотность непериодического сигнала. Условия существования спектральной плотности. Спектр экспоненциального и прямоугольного импульсов. Дельта-функция Дирака и ее спектр. Свойства дельта-функций. Функция Хевисайда и ее спектральная плотность. *Семинарское занятие: "Спектры непериодических сигналов"*.
- 1.5.** Основные свойства спектров и теоремы о спектрах. Теорема о сдвиге. Спектр производной и интеграла. Спектральная плотность произведения двух функций. Понятие о свертке спектральных функций. Спектры последовательностей прямоугольных видеоимпульсов и радиоимпульсов. Спектральная плотность одиночных видео- и радиоимпульсов. Спектральная плотность периодического сигнала. *Семинарское занятие: "Теоремы о спектрах"*.
- 1.6.** Динамическое представление сигналов. Разложение сигналов по функциям Дирака и Хевисайда. Интеграл Дюамеля и условия физической реализуемости разложений по функциям Дирака и Хевисайда.
- 1.7.** Сигналы с ограниченным спектром и их математические модели. Комплексное представление узкополосных сигналов. Аналитический сигнал. Спектральная плотность аналитического сигнала. Преобразование Гильберта.
- 1.8.** Преобразование Лапласа. Невозможность Фурье-анализа неабсолютно интегрируемых функций. Прямое и обратное преобразование Лапласа и их физический смысл. Примеры вычисления преобразований Лапласа: построение изображений для функции Хевисайда, экспоненциального импульса, гармонических колебаний. Свойства преобразований Лапласа. Теорема разложения Хевисайда. *Семинарское занятие: "Преобразование Лапласа"*.
- 1.9.** Модулированные сигналы. Сообщения как носители информации. Необходимость модуляции ВЧ-колебаний для радиопередачи сообщений и виды модуляции. Амплитудная модуляция. Принципы амплитудной модуляции. Коэффициент модуляции. Однотональный амплитудно-модулированный сигнал и его спектр. Энергетические характеристики. Векторная диаграмма амплитудно-модулированного сигнала. Амплитудная модуляция при сложном модулирующем сигнале. Структура спектра сигнала. Амплитудно-манипулированные сигналы и их спектры. Понятие о балансной и однополосной амплитудной модуляции. *Семинарское занятие: "Амплитудно-модулированные сигналы и их спектры"*.
- 1.10.** Сигналы с угловой модуляцией. Принципы угловой модуляции. Основные соотношения между частотой и фазой. Частотная и фазовая модуляция. Девиация частоты и фазы, индекс частотной модуляции. Спектральное разложение частотно-модулированных и фазо-модулированных сигналов при малых индексах модуляции. Однотональная угловая модуляция. Спектр однотонального модулированного по углу сигнала при произвольном индексе модуляции. Понятие о функциях Бесселя их свойствах. Принципы и свойства линейно-частотной модуляции (самостоятельно). *Семинарское занятие: "Частотно- и фазо-модулированные сигналы и их спектры"*

Тема 2. Преобразование сигналов в линейных радиоэлектронных цепях с постоянными параметрами.

2.1. Принципы классификации радиоэлектронных цепей и систем. Математическая модель радиоэлектронной системы. Системный оператор. Сосредоточенные и распределенные системы. Линейные системы с постоянными и переменными коэффициентами. Свойства линейных систем. Нелинейные системы и их свойства.

2.2. Методы анализа физических процессов в линейных системах. Импульсная характеристика линейной системы и ее использование при построении реакции линейной системы на произвольное воздействие, представленное в виде разложения по функциям Дирака. Условия физической реализуемости разложения по функциям Дирака.

2.3. Переходная характеристика линейной системы и ее использование при построении реакции линейной системы на произвольное воздействие, представленное в виде разложения по функциям Хевисайда. Связь импульсной и переходной характеристик линейной системы.

2.4. Комплексный коэффициент передачи линейной цепи и его использование для построения реакции линейной системы на произвольное воздействие, представленное в виде спектрального разложения. Связь комплексного коэффициента передачи с импульсной характеристикой линейной цепи. Лапласовская передаточная функция линейной цепи. Примеры анализа переходных процессов в RC- и RL- цепях..

2.5. Одноконтурные линейные колебательные системы. Дифференциальное уравнение RCL-контур и его решение. Собственные колебания в консервативной колебательной системе и их основные свойства. Характеристическое сопротивление контура.

2.6. Собственные колебания в неконсервативной колебательной системе. Аперриодический, "колебательный" и критический режимы. Декремент затухания, коэффициент затухания и добротность колебательной системы. Энергетическая трактовка добротности. *Семинарское занятие: "Добротность линейных колебательных систем"*.

2.7. Метод фазовой плоскости. Фазовая траектория и фазовый портрет гармонических колебаний в консервативной и неконсервативной системе. Особые точки типа центр, устойчивые фокус и узел.

2.8. Вынужденные колебания в одноконтурных линейных системах. Математическая формулировка задачи о вынужденных колебаниях и ее общее решение. Основные свойства вынужденных колебаний в установившемся режиме. Резонанс. Колебательная система при негармонических периодических воздействиях.

2.9. Резонансные явления в последовательном колебательном контуре. Абсолютная, относительная и обобщенная расстройка контура. Входное сопротивление последовательного контура. Вывод уравнения резонансной характеристики колебательного контура. Связь добротности и полосы пропускания контура. Передаточная функция последовательного контура. Резонанс напряжений. Влияние внутреннего сопротивления генератора на избирательные свойства последовательного контура. *Семинарское занятие: "Резонанс напряжений"*.

2.10. Резонансные явления в параллельном колебательном контуре. Входное сопротивление параллельного контура. Передаточная функция параллельного контура. Резонанс токов. Влияние внутреннего сопротивления генератора на избирательные свойства параллельного контура. Прохождение однотонального АМ-сигнала через колебательный контур. *Семинарское занятие: "Резонанс токов"*.

2.11. Колебания в многоконтурных связанных RCL-системах. Понятие о парциальных и полной системе. Матричные дифференциальные уравнения для парциальных систем. Решение систем уравнений для собственных колебаний в связанной N контурной колебательной системе. Особенности собственных и вынужденных колебаний в неконсервативной системе.

2.12. Собственные колебания в двухконтурных связанных системах. Дифференциальные уравнения для системы консервативных индуктивно связанных контуров и их решение при равенстве и неравенстве частот парциальных контуров. Собственные (нормальные)

частоты системы связанных контуров. Биения. Зависимость нормальных частот от расстройки парциальных контуров (графики Вина). Коэффициент связности контуров. *Семинарское занятие: "Собственные (нормальные) частоты"*.

2.13. Вынужденные колебания в двухконтурных связанных системах. Сведение системы связанных контуров к эквивалентному одиночному контуру. Входное сопротивление эквивалентного контура. Условия резонанса. Зависимость собственных (нормальных) частот от затухания контуров и коэффициента связи. Понятие критической связи. *Семинарское занятие: "Эквивалентный колебательный контур"*.

2.14. Резонансные явления в связанных колебательных контурах. Индивидуальный, сложный и полный резонансы. Оптимальная связь и фактор связи. Вторичный ток связанных контуров при индивидуальном, сложных и полном резонансах. Частотные характеристики системы связанных контуров и их графическое исследование. Уравнения частотных характеристик и полоса пропускания системы связанных контуров. *Семинарское занятие: "Резонансы в связанных контурах"*.

2.15. Линейные системы с бесконечным числом степеней свободы (системы с распределенными параметрами). Понятие о волновых процессах. Волновое число. Фазовая и групповая скорости. Дисперсия. Линии передачи радиочастотных сигналов как длинные линии. Типы линий передачи с Т-волнами. Понятие о квазистационарном описании процессов в длинной линии.

2.16. Установившиеся колебания в длинных линиях. Телеграфные уравнения и их решение. Анализ решений. Понятие о падающих, отраженных, бегущих и стоячих волнах, о входном и волновом сопротивлениях линии, о коэффициентах отражения. *Семинарское занятие: "Телеграфные уравнения"*.

2.17. Режим бегущих волн в длинной линии. Условие согласования линии. Структура поля бегущих волн. Круговые диаграммы Смита. *Семинарское занятие: "Исследование коаксиальной линии"*.

2.18. Режим стоячих волн в консервативной длинной линии. Короткозамкнутая и разомкнутая линии. Входное сопротивление отрезка линии. Линия, нагруженная на реактивное сопротивление. Структура поля стоячих волн. Энергетические соотношения. *Семинарское занятие: "Стоячие волны"*.

2.19. Режим смешанных волн в консервативной длинной линии, нагруженной на активное сопротивление, неравное волновому, и в консервативной линии с комплексным сопротивлением нагрузки. Структура поля смешанных волн. Коэффициенты отражения и коэффициенты стоячих волн.

2.20. Линия конечной длины как трансформатор сопротивлений. Методы согласования длинных линий (четвертьволновый трансформатор и шлейфы). Отрезки длинных линий как колебательные системы с бесконечным числом степеней свободы, их собственные частоты и добротности. *Семинарское занятие: "Методы согласования длинных линий"*.

2.21. Основы общей теории электрических фильтрующих цепей. Определение и классификация фильтров. Реактивные LC-фильтры. Условия прозрачности фильтров. Вывод полосы пропускания LC-фильтра. Идеализированные реактивные фильтры нижних

и верхних частот. Графическое определение полосы прозрачности. Идеализированные реактивные полосовые и заграждающие фильтры. Влияние сопротивления нагрузки на коэффициент передачи фильтра. Понятие о К- и m-фильтрах. Расчет элементов m-звена ФНЧ. Сочетание К- и m-звеньев в ФНЧ. *Семинарское занятие: "Расчет LC-фильтров"*.

2.22. Многозвенные фильтры. Затухание и фазовая характеристика многозвенного фильтра. Многозвенный фильтр как аналог длинной линии. Понятие о дисперсии. ФНЧ как линия задержки.

2.23. Безындукционные (резистивные) фильтры. Схемы фильтров. Графическое определение полос прозрачности. Амплитудно-частотные

характеристики фильтров. Выходные сопротивления симметричных **RC**-фильтров.
Семинарское занятие.: "Расчет RC-фильтров"

2.24 Цифровая фильтрация. Принцип действия и устройство трансверсальных фильтров. Понятие о нерекурсивных и рекурсивных фильтрах. Алгоритмы преобразований.

Тема 3. Преобразование сигналов в нелинейных и параметрических радиоэлектронных цепях и системах.

3.1 Понятие о нелинейных элементах (НЭ), цепях и системах. Резистивные и реактивные НЭ. Статические и дифференциальные параметры НЭ. Понятие об инерционных и безинерционных, стационарных и нестационарных (параметрических) цепях. Роль электронных процессов в электровакуумных приборах и полупроводниковых кристаллах в формировании нелинейных характеристик. Способы математического описания нелинейных характеристик электровакуумных и полупроводниковых приборов. Аппроксимация ВАХ НЭ степенным многочленом. Кусочно-линейная аппроксимация.

3.2. Элементы физики полупроводников. Собственные и примесные полупроводники. Понятие о проводниках *n*- и *p*-типа. Элементы зонной теории полупроводников. Диаграммы Бриллюэна. Равновесная концентрация электронов в собственных и примесных полупроводниках. Распределение Ферми. Энергия Ферми. Понятие о вырожденных полупроводниках.

3.3. Полупроводниковые диоды как нелинейные двухполюсники. Равновесный и неравновесный электронно-дырочный переход и его свойства. Токи диффузии и дрейфа. Высота потенциального барьера и толщина обедненного слоя. Особенности зонной структуры *p-n*-перехода при наличии прямого и обратного смещения. Нелинейный характер и аппроксимация вольт-амперной характеристики *p-n*-перехода. Барьерная емкость обратносмещенного *p-n*-перехода. Варикапы. Основные методы создания вольт-амперных характеристик с участком отрицательного дифференциального сопротивления. Механизм формирования отрицательного сопротивления при туннельном пробое в *p-n*-переходах, образованных вырожденными полупроводниками.

Полупроводниковые диоды Ганна. Понятие о "горячих" электронах и междолинном переносе электронов. Эффект Ганна. Нелинейное преобразование переменного тока в постоянный. Детекторный эффект. Выпрямители. Выпрямляющие контакты металл-полупроводник. Эффект Шотки: снижение высоты потенциального барьера. Диоды Шотки и их основные свойства (быстродействие, низкое прямое падение напряжения).

3.4. Биполярные транзисторы (БТ) - управляемые НЭ с двумя взаимодействующими *p-n*-переходами. Принцип действия, схемы включения и режимы работы БТ. Особенности зонной структуры БТ в нормальном активном режиме. Модель и уравнение Эберса-Молла. Нелинейность статических характеристик БТ при включении по схеме с общей базой (ОБ) и общим эмиттером (ОЭ). Малосигнальные схемы ОБ и ОЭ-транзистора. Униполярные (полевые) транзисторы (ПТ) с управляющим *p-n*-переходом и с барьером Шотки. Принцип действия транзистора. Упрощенное уравнение ПТ. Статические характеристики и параметры ПТ. Напряжения отсечки и насыщения. Крутизна стоково-затворной характеристики. Дифференциальное сопротивление транзистора. Малосигнальная эквивалентная схема ПТ. Униполярные транзисторы с изолированным затвором. Структура металл-диэлектрик-полупроводник (МОП-структура) и эффект поля. Принцип действия МОП-транзистора. Понятие о МОП-транзисторах с индуцированным и встроенным

каналом. Нелинейный характер статических характеристик и параметров МОП-транзисторов. Малосигнальная эквивалентная схема МОП-транзистора.

3.5. НЭ при гармоническом внешнем воздействии. Понятие об углах отсечки.

Функции и коэффициенты Берга. Принципы умножения частоты сигнала. Умножители частоты на полупроводниковых диодах и БТ.

НЭ при бигармоническом и полигармоническом \sim воздействии. Спектральная структура тока НЭ. Понятие о комбинационных частотах. Порядок комбинационной частоты.

3.6. Амплитудная модуляция как нелинейный процесс. Графическое и аналитическое рассмотрение. Зависимость степени модуляции от характера нелинейности. Транзисторные схемы амплитудных модуляторов. Понятие о статической модуляционной характеристике. Диодные, балансные и кольцевые модуляторы. Понятие о детектировании АМ-радиосигналов в цепях с НЭ. Преобразование спектра при квадратичном детектировании. Коэффициент нелинейных искажений. "Линейное детектирование" АМ-сигналов в НЭ с кусочно-линейной ВАХ. Диодные и транзисторные детекторы АМ-колебаний. Условия оптимальной фильтрации ВЧ-составляющих.

3.7. Принципы нелинейного преобразования частоты сигналов (переноса спектра).

Понятие о гетеродинировании сигналов. Супергетеродинный приемник.

Крутизна и потери преобразования. Транзисторные и диодные преобразователи частоты. Балансные и кольцевые смесители.

3.8. Нелинейное преобразование сигналов и их спектров в линейных параметрических цепях. Понятие о параметрических элементах (ПЭ). Условия использования резистивных нелинейных двухполюсников в качестве линейного ПЭ. ПТ как резистивный параметрический элемент. Спектральный состав тока резистивного ПЭ. Особенности преобразования частоты и амплитудной модуляции в параметрических цепях.

Детектирование АМ-сигналов в параметрических цепях. Синхронный детектор.

3.9. Параметрические методы получения ЧМ-сигналов. Варакторный частотный модулятор. Модуляционная характеристика частотного модулятора. Реактивные транзисторы и частотные модуляторы на их основе. Принципы детектирования ФМ- и АМ-сигналов. Крутизна детектирования. Частотные и фазовые дискриминаторы с полупроводниковыми НЭ. Частотный дискриминатор с расстроенными контурами. Фазовые детекторы. Параметрическое детектирование ФМ-сигналов.

Тема 4.. Усиление электрических сигналов.

4.1. Классификация усилителей электрических сигналов. Основные характеристики усилителей. Передаточные функции. Диаграммы Боде. Резистивно-емкостные усилители переменного тока. Усилительный каскад на ПТ с общим истоком. Выбор режима по постоянному току. Нагрузочные характеристики каскада. Эквивалентные схемы каскада для переменного тока средних, нижних и верхних частот. Особенности резистивно-емкостных каскадов на БТ с общим эмиттером. Вывод приближенной формулы для коэффициента температурной нестабильности. Понятие о динамической нагрузке каскада. Каскод. Эмиттерные и истоковые повторители.

4.2. Усилители постоянного тока (УПТ) и операционные усилители. Основные схемы УПТ. Дифференциальные каскады, их структура и характеристики. Операционные усилители и их характеристики.

4.3. Усилители на двухполюсниках с отрицательным сопротивлением. Понятие об усилителях отражательного типа. Усилитель отражательного типа на ТД. Коэффициент усиления и полоса пропускания УТД.

4.4. Усилители мощности (УМ). Специфические особенности усилителей мощности. Однотактные и двухтактные апериодические УМ. Работа двухтактного УМ в режимах В и АВ.

4.5. Обратная связь в транзисторных и операционных усилителях.

Положительная и отрицательная обратная связь (ООС). Ослабление нестабильности коэффициента усиления, коррекция частотных характеристик, ослабление нелинейных искажений, подавление внутренних помех и паразитных сигналов в усилителях с ООС.

Устойчивость усилителей с обратной связью. Алгебраические критерии устойчивости. Многочлены и определители Гурвица. Критерий Рауса-Гурвица. Геометрические (частотные) критерии устойчивости. Диаграмма и критерий Найквиста.

4.6. Линейные безынерционные радиоэлектронные устройства с ОУ.

Инвертирующие и неинвертирующие усилители. Повторители напряжения.

Измерительные усилители. Суммирующие и вычитающие звенья, схемы усреднения.

Конверторы отрицательных сопротивлений. Гираторы.

Линейные резистивно-емкостные устройства с ОУ. Усилители

переменного тока. Интегрирующие и дифференцирующие усилители. Активные

RC-фильтры (ARCF). ARCF первого и второго порядка (ФНЧ, ФВЧ, ПФ, ЗФ).

Нелинейные безынерционные устройства с ОУ.

Тема 5. Автоколебания и автоколебательные радиоэлектронные системы.

5.1. Автоколебательная система как динамическая система. Фазовое пространство автоколебательной системы. Предельный цикл Пуанкаре и его обобщение - аттрактор. "Энергетический метод" Теодорчика. Условия баланса амплитуд и фаз.

5.2. LC-автогенераторы гармонических колебаний с индуктивной обратной связью.

Дифференциальное уравнение автогенератора. Линейная трактовка автоколебаний.

Условия самовозбуждения. Квазилинейный анализ автогенератора с трансформаторной связью. Понятие о колебательных характеристиках и характеристиках средней крутизны автогенератора. Условия аппроксимации колебательных характеристик полиномами 3-ей и 5-ой степени. Графическое определение амплитуды автоколебаний. Мягкий и жесткий режимы возбуждения. Обобщенные математические модели автогенераторов - уравнения Ван дер Поля и Рэлея.

5.3. LC-генераторы с емкостной и автотрансформаторной связью (емкостная и индуктивная "трехточки"). Автогенераторы на двухполюсниках с отрицательным сопротивлением (ТД, диодах Ганна, ЛПД). Понятие о внутренней обратной связи и условиях возбуждения автоколебаний. Математическая модель автогенератора на ТД.

5.4. RC-генераторы синусоидальных колебаний. Математические модели RC-генераторов с мостом Вина и трехзвенной цепочкой. Мультивибраторы. Особенности функционирования обратной связи. Симметричные и несимметричные мультивибраторы на ОУ.

5.5. Синхронизация автогенераторов при внешнем воздействии. Дифференциальное уравнение неавтономного автогенератора и его решение. Частотные характеристики неавтономного автогенератора. Устойчивость синхронного режима. Механизм и полоса захватывания частоты.

Тема 6. Параметрическая генерация и усиление электрических колебаний

6.1. Параметрический резонанс и параметрическое самовозбуждение колебаний.

Роль фазовых соотношений. Условие параметрического возбуждения колебаний в RCL-контуре. Критическая глубина модуляции реактивного параметра. Вносимое сопротивление. Эквивалентная добротность. Математическое описание параметрических явлений: дифференциальные уравнения Хилла и Матье. Решение уравнения Матье при малой глубине модуляции параметра. Зоны устойчивости и неустойчивости решений.

6.2. Принципы параметрического усиления. Одноконтурный параметрический усилитель в синхронном и асинхронном (бигармоническом) режиме. Коэффициент усиления. Двухконтурный параметрический усилитель. Механизм усиления.

Понятие о параметрических усилителях бегущей волны.

Баланс мощностей в многоконтурных нелинейных и параметрических системах.

Частотно-энергетические соотношения Мэнли и Роу. Параметрическое усиление с преобразованием частоты вверх и регенеративное параметрическое усиление.

Курсовые работы выполняются в соответствии с их перечнем, утвержденным на кафедрах радиофизики и нелинейной динамики, Электроники, колебаний и волн и электродинамики и радиотехники.

Виды самостоятельной работы студентов:

- проработка литературы по изучаемым темам;
- решение задач;
- выполнение двух контрольных работ в 5 семестре;
- проведение двух коллоквиумов в середине 5 и 6 семестра.

Раздел 4. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература

Хохлов А.В. Теоретические основы радиоэлектроники. Саратов. Изд-во Саратов. ун-та, 2005.

Нефедов В.И. Основы радиоэлектроники и связи. М.: Высш.шк.,2002.

Основы радиофизики / Г.В.Белокопытов, К.С.Ржевкин, А.А.Белов и др. под ред. А.С.Логгинова. М.: Изд-во УРСС, 1996.

Калинин В.И., Герштейн Г.М. Введение в радиофизику.- М.: Физматгиз, 1957.

Каяцкас А.А. Основы радиоэлектроники. М.: Высш. шк., 1988.

Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы.- М.: Высш.шк., 1983.

Зиновьев А.Л., Филиппов Л.И. Введение в теорию сигналов и цепей. - М.: Высш.шк., 1975.

Андреев В.С. Теория нелинейных электрических цепей: - М.: Радио и связь, 1982.

Хохлов А.В. Нелинейные и параметрические радиотехнические цепи и системы с полупроводниковыми приборами. - Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1994.

Заездный А.М., Кушнир В.Ф., Ферсман Б.А. Теория нелинейных электрических цепей. М.: Связь, 1968.

Хохлов А.В. Полупроводниковые усилители и автогенераторы. Учеб. пособие для вузов. Саратов: Изд-во Саратов.ун-та, 1997.

Фолькенберри Л. Применение операционных усилителей и линейных ИС. Пер. с англ. / Под ред. М.В.Гальперина. М.: Мир, 1985.

Марше Ж. Операционные усилители и их применение. Пер. с франц. Л.: Энергия, 1974.

Теодорчик К.Ф. Автоколебательные системы. 3-е изд. исправ. и доп. М.: ГИТТЛ, 1952.

Харкевич А.А. Нелинейные и параметрические явления в радиотехнике. - М.: Гостехиздат, 1956.

Медведев В.И., Белов А.А. Параметрические и автоколебательные системы. - М.: Изд-во МГУ, 1990.

Дополнительная литература

Френкс Л. Теория сигналов. - М.: Сов.радио, 1974.

Трахтман А.М. Введение в обобщенную теорию сигналов. - М.: Сов.радио, 1972.

Сиберг У.М. Цепи, сигналы, системы.- М.: Мир, 1988.

Мандельштам Л.И. Лекции по колебаниям. Собрание сочинений, Т.4.-М.: Наука, 1972.

Филиппов Е. Нелинейная электротехника / Пер. с нем. Под ред. А.Б. Тимофеева. М.: Энергия, 1976.

Гринфилд Дж. Транзисторы и линейные ИС. руководство по анализу и расчету.Пер. с англ. М.: Мир, 1992.

Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника / Пер. с нем.;~Под. ~ред. А.Г.~Алексеевко. М.: Мир, 1983.

Раздел 5. Перечень средств обучения

Мультимеда-проектор и компьютер, документ-камера.

Раздел 6. Контрольные вопросы к курсу

1. Дайте определения периодического и квазипериодического колебаний.
2. Дайте определение импульсных видео- и радиосигналов.
3. В чем различие аналоговых, дискретизированных и цифровых сигналов?
4. Сформулируйте проблему спектрального разложения периодических и непериодических сигналов.
5. Изобразите вещественный и комплексный спектр периодической последовательности прямоугольных импульсов. Укажите частоты основных элементов спектра.
6. Что такое спектральная плотность (спектральная функция) сигнала и в каких случаях нужно ее использовать? Как выглядит спектральная плотность непериодического и периодического сигналов?
7. Сформулируйте основные теоремы о спектрах. Охарактеризуйте связь между длительностью импульсного сигнала и шириной его спектра.
8. Дайте определения модулированных по амплитуде, частоте и фазе колебаний. Запишите их аналитическое выражение и изобразите их амплитудные спектры.
9. Запишите дифференциальное уравнение LCR-контура и его решение для собственных и вынужденных колебаний. Сформулируйте условия резонанса.
10. Дайте определения характеристического сопротивления, добротности и полосы пропускания LCR-контура. Поясните их физический смысл. Изобразите резонансные кривые для различных значений добротности.

11. В чем заключаются резонанс напряжений и резонанс токов? Как различаются сопротивления параллельного и последовательного контуров на резонансной частоте?
12. Рассмотрите основные виды связи LCR-контуров. Дайте определения нормальных частот и нормальных колебаний в связанной системе и охарактеризуйте их свойства.
13. Сформулируйте условия резонанса в связанной системе. Рассмотрите частичный, полный и сложный резонансы в двухконтурных системах.
14. Запишите аналитические выражения для гармонической бегущей волны и стоячей волны при полном отражении от нагрузки. Дайте определения фазовой постоянной, фазовой и групповой скорости. Что такое дисперсия? Назовите виды дисперсии.
15. При каких условиях в длинной линии возникает режим бегущих волн и при каких - полное отражение сигналов от нагрузки? Изобразите распределения напряжения и тока вдоль линии.
16. Как согласовать длинную линию с нагрузкой, используя четвертьволновый трансформатор и реактивный шлейф? Изобразите коаксиальный резонатор. Как определить его резонансную частоту и добротность?
17. Дайте определение электрических частотных фильтров, Изобразите эквивалентные схемы фильтров нижних и верхних частот, полосового и заграждающего фильтров. Изобразите частотные зависимости функций затухания и ФЧХ Поясните принципы цифровой фильтрации.
18. Каковы особенности зонной структуры p-n-переходов в равновесном состоянии, при прямом и обратном смещении? Как аппроксимировать вольт-амперную характеристику полупроводникового диода?
19. Как образуются "падающие участки" на ВАХ НЭ в статическом и динамическом режимах? Что такое отрицательное сопротивление? Каков механизм образования падающих участков на ВАХ в диодах Ганна и туннельных диодах?
20. Каковы устройство и принцип действия униполярных (плывыч) транзисторов (ПТ) с управляющим p-n-переходом и с барьером Шоттки?. Изобразите статические характеристики ПТ и укажите их основные характеристики.
21. Каковы устройство и принцип действия МОП-транзисторов с индуцированным и встроенным каналом. Изобразите статические характеристики ПТ и укажите их основные характеристики.
22. Рассмотрите амплитудную модуляцию, преобразование частоты сигналов и детектирование АМ-сигналов как нелинейные процессы. Как влияет характер нелинейности на качество преобразований сигналов? Изобразите схемы амплитудных модуляторов.
23. Объясните, почему в цепях, содержащих нелинейные элементы с квадратичной характеристикой, амплитудную модуляцию и преобразование частоты можно осуществить без искажений.
24. Каковы особенности преобразований частоты, амплитудной модуляции и детектирования сигналов в параметрических цепях? Изобразите спектральная структура токов параметрических элементов при различных воздействиях.
25. Почему варикап - реактивный параметрический элемент? Рассмотрите методы получения частотно-модулированных колебаний и приведите схемы варикторного модулятора и модулятора на реактивном транзисторе. и частотных дискриминаторов.
26. Изобразите электрическую схему дифференциального транзисторного каскада и получите его характеристики. Объясните, почему ДТК обладает большим коэффициентом ослабления синфазных сигналов. Как используются ДТК в операционных усилителях?
27. Каковы способы введения обратной связи? Как влияет отрицательная обратная связь на

нестабильность коэффициента усиления, частотные искажения, входное и выходное сопротивление?

28. Как определить устойчивость усилителя, охваченного цепью обратной связи? В чем заключаются алгебраические критерии устойчивости и геометрический критерий Найквиста?

29. Изобразите схемы каскадов на ОУ в инвертирующем и неинвертирующем включении. и выведите формулы для коэффициентов усиления.

30. Изобразите электрическую схему измерительного усилителя и выведите его коэффициент усиления.

31. Изобразите электрические схемы конвертора отрицательных сопротивлений и гиратора. Объясните принципы их действия.

32. Изобразите электрические схемы активных RC-фильтров и объясните механизм увеличения избирательности.

33. Дайте определение автогенератора. Почему автоколебания могут возникать только в нелинейных системах? Как зависит характер автоколебаний от характеристик нелинейного элемента? Получите условия самовозбуждения и поддержания автоколебаний в линейных системах с падающим участком N-типа и S-типа.

34. Выведите дифференциальное уравнение LC-автогенератора с индуктивной обратной связью. Объясните, какую роль играет обратная связь. Получите условия самовозбуждения и поддержания автоколебаний.

35. Изобразите электрические схемы RC-генераторов синусоидальных колебаний. Выведите дифференциальное уравнение RC-автогенератора и приведите его к уравнению Ван дер Поля..

36. Рассмотрите одноконтурный параметрический усилитель в синхронном и асинхронном (бигармоническом) режиме.