

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

Кафедра радиофизики и нелинейной  
динамики

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

по дисциплине **Теория систем и сигналов**  
(наименование дисциплины)

для специальности **010400 – физика**,  
(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 010400 – ФИЗИКА  
(номер государственной регистрации 686 от 02.03.2004 г.)

<p style="text-align: center;"><b>ОДОБРЕНО:</b></p> <p>Председатель учебно-методической комиссии физического факультета, профессор _____ В.Л.Дербов _____ 2006 г.</p>		<p style="text-align: center;"><b>УТВЕРЖДАЮ:</b></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

Вид учебной работы	Бюджет времени по формам обучения, час				
	Очная		Очно-заочная	заочная	
	полная программа	ускоренные сроки		Полная программа	ускоренные сроки
Аудиторные занятия, всего	34				
в том числе: - лекции -	34				
лабораторные (практические) –	--				
семинарские	-				
Самостоятельная работа студентов	6				
Зачеты, +/-	-				
Экзамены, +/-	+				
Контрольные работы, количество	-				
Курсовая работа, + /-	-				

Автор:

профессор кафедры радиофизики  
и нелинейной динамики

А.В. Хохлов

## Раздел I. Организационно – методическое содержание

Курс "Теория систем и сигналов" читается студентам, обучающимся по специальности 010400 – физика, специализация 010477- цифровые телекоммуникационные системы в течение 8-го учебного семестра. Он включает 34 часа лекций.. 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,

## 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

	<b>Введение</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	--			
<b>1.</b>	<b>Тема 1, Основные свойства и модели сигналов</b>	<b>11.5</b>	<b>9.5</b>	-	-	<b>2</b>	
1.1		0.5	0.5		-		
1.2		1	1	-	-		
1.3		1	1		-		
1.4		1	1	-	-		
1.5		1	1	-	-		
1.6		1	1	-	-		
1.7		1	1	-	-		
1.8		1	1	-	-		
1.9		1	1	-	-		
1.10		1	1	--	-		
<b>2.</b>	<b>Тема 2. Преобразование сигналов в линейных радиоэлектронных цепях с постоянными параметрами</b>	<b>12</b>	<b>10</b>		--	<b>2</b>	
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		1	1		-		
2.7		1	1		-		
2.8		1	2		-		
2.9		1	1		-		
2.10		1	1		-		

	2	3	4	5	6	7	8
<b>3.</b>	<b>Тема 3. Преобразование сигналов в нелинейных и параметрических радиоэлектронных цепях и системах.</b>						
		<b>7</b>	<b>6</b>	-	-	<b>1</b>	
3.1		0.5	0.5	-	-		
3.2		0.5	9.5	-	-		
3.3		2	2	-	-		
3.4		0.5	0.5	-	-		
3.5		0.5	0.5	-	-		
3.6		2	2	-	--		

<b>4.</b>	<b>Тема 4. Усиление электрических сигналов</b>						
		<b>9</b>	<b>8</b>			<b>1</b>	
4.1.		2	2				
4.2.		1	1				
4.3.		1	1				
4.4..		2	2				
4.5		2	2				
<b>Итого:</b>		<b>40</b>	<b>34</b>		-	<b>6</b>	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.

**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.

**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.

**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.

**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.

**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.

**1.10.** Сигналы с угловой модуляцией. Принципы угловой модуляции. Основные соотношения между частотой и фазой. Частотная и фазовая модуляция. Девияция 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).

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

**2.1.** Принципы классификации радиоэлектронных цепей и систем. Линейные системы с постоянными и переменными коэффициентами. Свойства линейных систем. Методы анализа физических процессов в линейных системах. Импульсные и переходные характеристики линейных систем и их использование при построении реакций линейных систем на произвольные воздействия

**2.2.** Комплексный коэффициент передачи линейной цепи. Связь комплексного коэффициента передачи с импульсной характеристикой линейной цепи. Лапласовская передаточная функция линейной цепи. Примеры анализа переходных процессов в RC-и RL-цепях..

**2.3.** Одноконтурные линейные колебательные системы. Дифференциальное уравнение RCL-контра и его решение. Собственные колебания в одноконтурных системах и их основные свойства. Характеристическое сопротивление контура, коэффициент затухания и добротность колебательной системы.

**2.4.** Вынужденные колебания в одноконтурных RCL-цепях Математическая формулировка задачи о вынужденных колебаниях и ее общее решение. Резонанс. Колебательная система при негармонических периодических воздействиях. Резонансные явления в

последовательном колебательном контуре. Входное и резонансное сопротивления последовательного контура. Связь добротности и полосы пропускания контура. Резонанс напряжений. Резонансные явления в параллельном колебательном контуре. Входное и резонансное сопротивления параллельного контура. Резонанс токов. Прохождение однотонального АМ-сигнала через колебательный контур.

**2.5.** Колебания в многоконтурных связанных RCL-системах. Понятие о парциальных и полной системе. Матричные дифференциальные уравнения для парциальных систем. Собственные (нормальные) частоты системы связанных контуров. Двухконтурные колебательные системы. Зависимость нормальных частот от расстройки парциальных контуров (графики Вина). Коэффициент связности контуров.

**2.6.** Вынужденные колебания в двухконтурных связанных системах. Сведение системы связанных контуров к эквивалентному одиночному контуру. Входное сопротивление эквивалентного контура. Условия резонанса. Индивидуальный, сложный и полный резонансы. Оптимальная связь и фактор связи. Вторичный ток связанных контуров при индивидуальном, сложном и полном резонансах.

**2.7.** Распределенные линейные системы. Понятие о волновых процессах. 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.

**2.8.** Телеграфные уравнения и их решение. Понятие о падающих, отраженных, бегущих и стоячих волнах, о входном и волновом сопротивлениях линии. Режим бегущих волн. Условие согласования линии с нагрузкой.

**2.9.** Режим стоячих волн в консервативной длинной линии при полном и частичном отражении. Структура поля стоячих волн. Коэффициенты отражения и коэффициенты стоячих волн. Методы согласования длинных линий (четвертьволновый трансформатор и шлейфы). Отрезки длинных линий как колебательные системы с бесконечным числом степеней свободы, их собственные частоты и добротности.

**2.10.** 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. Идеализированные полосовые и заграждающие фильтры. Понятие о К- и m-фильтрах. Безындукционные (резистивные) фильтры. Схемы фильтров. Понятие о цифровой фильтрации.

### **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.** 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.

**3.3.** Амплитудная модуляция как нелинейный процесс. Графическое и аналитическое рассмотрение. Зависимость степени модуляции от характера

нелинейности. Транзисторные схемы амплитудных модуляторов. 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.

**3.4.** Принципы нелинейного преобразования частоты сигналов (переноса спектра).

Понятие о гетеродинамировании сигналов. Супергетеродинный приемник.

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

**3.5.** 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.

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

**4.4.** 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.

**4.5.** 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.

Виды самостоятельной работы студентов:

-- проработка литературы по изучаемым темам;  
-- решение задач;

#### **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.

Теория электрической связи / А.Г.Зюко, Д.Л.Кловский, В.И.Коржие и др. под ред. Д.Д.Кловского. М.: Радио и связь, 1999.

Прокинс Дж. Цифровая связь. М.: Радио и связь, 2000.

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.

##### **Дополнительная литература**

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

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

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



## Раздел 5. Перечень средств обучения

Мультимедиа-проектор, документ-камера, компьютер.

## 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. 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.
19. Объясните, почему в цепях, содержащих нелинейные элементы с квадратичной характеристикой, амплитудную модуляцию и преобразование частоты можно осуществить без искажений.

20. Каковы особенности преобразований частоты, амплитудной модуляции и етектирования сигналов в параметрических цепях? Изобразите спектральная структура токов параметрических элементов при различных воздействиях.
21. Почему вариакп - реактивный парамектрический элемент? Рассмотрите методы получения частотно-модулированных колебаний и приведите схемы варакторного модулятора и модулятора на реактивном транзисторе.и частотных дискриминаторов.
22. 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?
23. Каковы способы введения обратной связи? Как влияет отрицательная обратная связь на нестабильность коэффициента усиления, частотные искажения, входное и выходное сопротивления?
24. Как определить устойчивость усилителя, охваченного цепью обратной связи? В чем заключаются алгебраические критерии устойчивости и геометрический критерий Найквиста?
25. Изобразите схемы каскадов на ОУ в инвертирующем и неинвертирующем включении. и выведите формулы для коэффициентов усиления.
26. Изобразите электрическую схему измерительного усилителя и выведите его коэффициент усиления.
27. Изобразите электрические схемы конвертора отрицательных сопротивлений и гиратора. Объясните принципы их действия.
28. Изобразите электрические схемы активных RC-фильтров и объясните механизм увеличения избирательности.