

Федеральное агентство по образованию РФ  
ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ»



**Е.В. Вострецова, С.М. Зраенко**

## **РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СИГНАЛЫ**

Учебное электронное текстовое издание  
Подготовлено кафедрой «Теоретические основы радиотехники»  
Научный редактор: доцент, канд. техн. наук В.Г. Коберниченко

Методические указания для студентов заочной формы обучения  
специальности 200700 - Радиотехника

Методические указания содержат описание тем, которые изучаются в курсе «Радиотехнические цепи и сигналы», дополненное ссылками на литературу, что позволяет существенно облегчить самостоятельное изучение материала студентами заочной формы обучения. Представлены распределение лекционных, практических и лабораторных занятий, а также контрольных мероприятий по семестрам обучения и список рекомендуемой литературы.

© ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005

Екатеринбург  
2005

## 1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Курс РЦС является основным базовым курсом специальности 200700 - Радиотехника. Он имеет исключительно важное значение для формирования научного кругозора специалиста по радиотехнике. В процессе изучения курса РЦС студенты получают базовую теоретическую подготовку, необходимую для дальнейшего изучения специальных дисциплин.

Следуя за направлением научно-технического прогресса, отражая развитие элементной базы радиоэлектроники и её теоретического арсенала, этот курс объединяет и систематизирует наиболее важные принципы в области радиотехники.

Предметами изучения в курсе РЦС являются физические процессы, происходящие в электро- и радиотехнических цепях, их математические модели, описываемые с помощью конечного числа взаимосвязанных алгебраических, дифференциальных, интегральных или разностных уравнений.

Основными задачами здесь являются обучение студентов методам анализа сигналов и помех, принципам их математического описания, видам преобразования сигналов в радиотехнических цепях, способам построения основных видов цепей, приёмам синтеза радиотехнических цепей с заданными свойствами.

После изучения дисциплины РЦС студент должен знать основные виды детерминированных и случайных сигналов в радиотехнике и методы их формирования и обработки, уметь использовать спектральные методы анализа детерминированных и случайных сигналов и их преобразований в электрических цепях, иметь представление о формах сигналов и структурах типовых радиотехнических цепей, используемых для их формирования и обработки.

В свете перспектив развития радиоэлектроники (применение больших интегральных схем, внедрение цифровых методов обработки сигналов и т.п.) все большую роль играет широкое применение вычислительной техники в анализе, синтезе и моделировании цепей, что требует от студента умения применять различные вычислительные методы при решении типовых задач основ теории цепей на ЭВМ.

Изучение курса РЦС основывается на знаниях, полученных из курсов:

- Физика:
- Электростатика,
  - Постоянный ток,
  - Теория электрического поля,
  - Электромагнитные явления,
  - Колебания и волны.
- Высшая математика:
- Математический анализ,
  - Дифференциальное и интегральное исчисление,
  - Линейная алгебра,
  - Дифференциальные уравнения,
  - Теория функций комплексного переменного,
  - Преобразования Лапласа и Фурье,
  - Вычислительная математика

Основы теории цепей

Эти знания в курсе РЦС расширяются и развиваются в направлении разработки методов анализа, расчета и экспериментального исследования явлений и процессов, протекающих в радиотехнических цепях.

Применение ЭВМ для решения задач курса требует знания инженерных пакетов прикладных программ, изучаемых в курсе *Информатика*.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 2.1. Наименование тем, их содержание, объем в часах лекционных занятий и распределение по учебным семестрам

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции, час
	Введение	
1.	Элементы теории сигналов. Классический спектральный анализ.	4
2.	Модулированные колебания	2
3.	Сигналы с ограниченным спектром	2
4.	Основы теории случайных процессов	4
5.	Прохождение детерминированных и случайных колебаний через линейные цепи с постоянными параметрами.	6
6.	Безынерционные нелинейные элементы в радиотехнических цепях	4
7.	Активные цепи с обратной связью и автоколебательные системы.	2
8.	Преобразование сигналов в нелинейных цепях	4
9.	Принципы оптимальной линейной фильтрации.	2
	Заключение	2

Отмеченные знаком \* вопросы выносятся на лекции, остальные – на самостоятельное изучение.

#### • 5-й СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ (объем лекционных занятий – 16 часа)

##### Введение

Краткая история развития электротехники и радиотехники. Направления развития радиотехники: связь, навигация, локация, телевидение, радиоуправление и др. Два подхода к анализу процессов в электрических цепях.

Предмет и задачи курса РЦС, его место в подготовке инженеров. Вклад отечественных ученых в развитие электротехники и радиотехники. Особенности современного состояния курса, связанные с развитием микроэлектроники, вычислительной техники, с требованиями обеспечения помехоустойчивости.

(Самостоятельное изучение)

### 2.1.1. Элементы теории сигналов. Классический спектральный анализ

Классификация сигналов. Модели сигналов. Представление произвольного сигнала посредством суммы элементарных колебаний. Энергетические характеристики сигналов. Корреляционные характеристики детерминированных сигналов. Геометрические методы в теории сигналов. Пространство сигналов.

Элементы обобщённой спектральной теории сигналов. Обобщённый ряд Фурье. Примеры ортонормированных систем базисных функций.

\*Спектральный анализ периодических сигналов. \*Ряд Фурье. \*Распределение мощности в спектре периодического колебания.

\*Спектральный анализ непериодических колебаний. \*Интеграл Фурье. \*Распределение мощности в спектре непериодического колебания. \*Основные свойства преобразования Фурье (теоремы о спектрах). Спектральная плотность автокорреляционной функции. Энергетический спектр.

Примеры вычисления спектров некоторых распространённых сигналов. Распространение понятия «спектральная плотность» на гармоническое колебание и сложное периодическое колебание. \*Связь между спектрами одиночного импульса и периодической последовательности импульсов.

[1, с.38-61, 68-88; 2, с.16-55,67-72]

### 2.1.2. Модулированные колебания

\*Общие определения. Колебания с амплитудной модуляцией. \*Векторное представление АМ-колебаний. \*Мощность \*АМ-колебаний. \*Спектр АМК при однотоновой модуляции, при модуляции периодическим сигналом, финитным сигналом.

\*Угловая модуляция гармонических колебаний. \*Частотная модуляция. \*Фазовая модуляция.

\*Спектр колебаний с угловой модуляцией.

[1, с. 88 – 112; 2, с.72-89].

### 2.1.3. Сигналы с ограниченным спектром.

Математические модели сигналов с ограниченным спектром. Теорема В.А. Котельникова. Дискретизация непрерывного сигнала.

Узкополосные сигналы. Комплексная огибающая. Аналитический сигнал. Преобразование Гильберта.

Свойства аналитического сигнала и комплексной огибающей. Автокорреляционная функция модулированного колебания.

[1, с. 113-136; 2, с.93-109].

### 2.1.4. Основы теории случайных процессов

Случайный процесс как полезный сигнал и как помеха. Способы описания и характеристики случайных процессов. Одномерный и многомерный законы распределения. Характеристическая функция. Моментные функции. Автокорреляционная функция случайного процесса и ее свойства. Радиотехническая интерпретация характеристик случайного процесса.

Стационарные случайные процессы. Среднее по ансамблю и среднее по времени. Эргодическое свойство. Энергетический спектр случайного процесса. Процесс с нормальным законом распределения. Белый шум как модель случайных колебаний. Характеристики собственных шумов в радиоэлектронных цепях.

Узкополосные случайные процессы. Огибающая и фаза узкополосного случайного процесса. Автокорреляционная функция узкополосного процесса.

Сумма флуктуационного и гармонического колебаний. Огибающая и фаза результирующего процесса.

[1, с. 136-183; 2, с.109-141].

### 2.1.5. Прохождение детерминированных и случайных колебаний через линейные стационарные цепи с постоянными параметрами

Методы анализа прохождения сигналов через линейные цепи. Передача управляющих сигналов через апериодические цепи. Примеры:

Прохождение прямоугольных импульсов, дифференцирование и интегрирование сигналов.

Особенности анализа прохождения радиосигналов через избирательные цепи. Метод низкочастотного эквивалента. Метод наложения для комплексной огибающей.

Прохождение АМК через избирательную систему.

Прохождение ЧМК через избирательную систему. Метод мгновенной частоты. Приближенный спектральный метод.

Воздействие случайного процесса на линейную цепь. Энергетический спектр и автокорреляционная функция отклика. Воздействие белого шума на цепи первого и второго порядка. Нормализация случайного процесса в узкополосной цепи. Дифференцирование и интегрирование случайных процессов.

[1, с.184-265; 2, с. 174-220].

## • 6 СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

### (объем лекционных занятий – 16 часа)

#### 2.1.6. Безынерционные нелинейные элементы в радиотехнических цепях

Резистивные и энергоемкие нелинейные элементы и их параметры. Безынерционные нелинейные преобразования. Аппроксимация характеристик нелинейных элементов.

Нелинейные резистивные элементы при гармоническом внешнем воздействии. Понятие о режимах малого и большого сигнала. Бигармоническое воздействие на безынерционный нелинейный элемент. Нелинейное резонансное усиление. Использование нелинейных элементов в качестве параметрических.

[1, с. 266-283, 299-318; 2, с. 220-234]

#### 2.1.7. Активные цепи с обратной связью и генерирование гармонических колебаний

\*Линейные динамические системы. \*Дифференциальные уравнения системы.

\*Понятие обратной связи. \*Передаточная функция линейной системы с обратной связью. Собственные колебания динамических систем. Критерии устойчивости.

Активные RC-фильтры. Операционный усилитель. Принципы построения активных RC-цепей. Применение ОУ для построения фильтров, получения управляемых источников и имитации индуктивностей.

\*Автогенераторы гармонических колебаний. \*Принципы построения. \*Механизм возникновения колебаний в LC-автогенераторе. Режим малого сигнала. Дифференциальное уравнение. Условия самовозбуждения.

\*Стационарный режим автогенератора. \*Баланс амплитуд, баланс фаз. Квазилинейная теория. Устойчивость стационарного режима. Мягкое и жесткое самовозбуждение.

[1, с.341-374; 2, с.270-282]

#### 2.1.8. Преобразование сигналов в нелинейных цепях

Линейная фильтрация нелинейно преобразованных колебаний. Основные виды нелинейных радиотехнических преобразований сигналов. Типовое радиотехническое звено. Нелинейное резонансное усиление. Колебательная характеристика. Умножение частоты, амплитудное резонансное ограничение.

Получение АМ-колебаний. Преобразование частоты. Синхронное детектирование.

Детектирование АМ-колебаний. Диодная цепь с фильтрацией постоянного тока. Коллекторный детектор, выбор параметров схемы. Диодный детектор АМК. Входное сопротивление детектора.

Детектирование ЧМ-колебаний.

Детектирование ФМ-колебаний.

\*Воздействие случайных колебаний на нелинейные цепи. \*Преобразование закона распределения и энергетического спектра случайного процесса в безынерционной нелинейной цепи.

Воздействие нормального узкополосного шума на амплитудный детектор. Совместное воздействие гармонического сигнала и нормального шума на амплитудный детектор.

[1, с.275-299; 2, с.231-257]

#### 2.1.9. Принципы оптимальной линейной фильтрации.

Понятие об оптимальном выделении сигнала известной формы из аддитивной смеси сигнала и стационарного нормального шума.

Фильтр, максимизирующий отношение сигнал/помеха (согласованный фильтр) при белом шуме. Передаточная функция и импульсная характеристика согласованного фильтра.

Отношение сигнал/помеха на выходе согласованного фильтра. Реализация согласованных фильтров для наиболее распространенных импульсных сигналов.

[1, с.415-435; 2, с.396-418]

## 2.2. Практические занятия, их содержание, объем в часах, распределение по учебным семестрам

---

### • 5-й СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

(объем практических занятий – 4 часа)

2.2.1. Спектральный и корреляционный анализ детерминированных сигналов **2 часа**

2.2.2. Основы теории случайных процессов **2 часа**

### • 6-й СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

(объем практических занятий – 2 часа)

2.2.3. Нелинейные преобразования сигналов **2 часа**

## 2.3. Лабораторные занятия, их наименование, объем в часах

---

### • 5-й СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

(объем лабораторных занятий – 12 часов)

2.3.1. Аппроксимация периодических сигналов рядом Фурье **4 часа**

2.3.2. Экспериментальное исследование корреляционных функций случайных процессов на выходе линейной цепи **4 часа**

### • 6-й СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

(объем лабораторных занятий – 4 ч.)

2.3.3. Нелинейное резонансное усиление и умножение частоты **4 часа**

2.3.4. Амплитудная модуляция и детектирование **4 часа**

## **2.4. Контрольные работы, их характеристики и распределение по учебным семестрам**

---

### • 5-й СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

#### 2.4.1. Контрольное задание №1

Задание состоит из трех задач. Первые две на тему «Спектрально-корреляционный анализ детерминированных сигналов» включают в себя расчет спектральных функций периодических и непериодических сигналов, а также их корреляционных функций. Третья задача на тему «Спектрально-корреляционный анализ случайных сигналов» включают в себя расчёт основных характеристик случайных процессов.

Срок сдачи – декабрь.

### • 6-й СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

#### 2.4.2. Контрольное задание №2

Задание состоит из трёх задач. Первая и вторая задачи охватывают тему «Прохождение детерминированных сигналов через нелинейные цепи» и посвящены расчету токов и напряжений на выходе нелинейных радиотехнических устройств, а также выбору режимов работы и параметров элементов этих устройств. Третья задача на тему «Прохождение случайных колебаний через линейные цепи с постоянными параметрами».

Срок сдачи – май.

## **2.5. Тематика курсовой работы, ее содержание**

---

### • 6-й СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

Курсовая работа на тему «Анализ радиосигналов и расчет характеристик оптимальных согласованных фильтров» посвящена спектрально-корреляционному анализу радиосигналов и синтезу оптимальных согласованных фильтров для рассматриваемых сигналов.

Срок сдачи – май.

## **2.6. Контрольные мероприятия и их распределение по учебным семестрам**

---

### • 5-й СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

2.6.1. Контрольное задание №1.

2.6.2. Теоретические коллоквиумы по темам выполняемых лабораторных работ.

2.6.3. Зачет.

### • 6-й СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

2.6.4. Контрольное задание №2.

2.6.5. Теоретические коллоквиумы по темам выполняемых лабораторных работ.

2.6.6. Курсовая работа.

2.6.7. Экзамен.

### 3. ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Каждое контрольное задание состоит из четырёх задач. Вариант задачи определяется предпоследней цифрой номера зачётной книжки. Так как вариантов 5, то предпоследние цифры 0,1,2,3,4 совпадают с номерами варианта задачи. Для предпоследних цифр 5,6,7,8,9 номер варианта определяется путём вычитания из этих цифр цифры 5. Номер подварианта совпадает с последней цифрой номера зачётной книжки.

Например:

- 1) номер зачётной книжки 0961231. В данном случае номер варианта 3, подварианта 1;
- 2) номер зачётной книжки 0961286. Здесь номер варианта 3, подварианта 6.

**Выполненные работы представляются к проверке**

**НЕ ПОЗДНЕЕ ЧЕМ ЗА НЕДЕЛЮ**

**до начала очередной экзаменационной сессии.**

Решению каждой задачи должен предшествовать полный текст задачи с соответствующей схемой (графиком) и числовыми данными. Задачи следует решать в общем виде, подробно, с должными пояснениями и ссылками. При выборе исходных формул необходимы ссылки на литературу с указанием страницы, где приведена формула. Промежуточные и окончательные результаты иллюстрируются графиками. Числовые данные подставляются в окончательную формулу. В полученных результатах обязательно указывается размерность величин.



### 3.1. КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ 1

#### ЗАДАЧА 1

Найдите и постройте спектральную и автокорреляционную функции заданного сигнала.

##### • ВАРИАНТ 0

Сигнал изображён на рис. 1.

Таблица 1

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_0$ , мкс	0,5	0,7	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5	3,0
$U_0$ , В	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0

##### • ВАРИАНТ 1

Сигнал изображён на рис.2.

Таблица 2

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_0$ , мкс	0,5	0,7	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5	3,0
$T_n$ , мкс	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	1,0
$U_0$ , В	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5

##### • ВАРИАНТ 2

Задана бесконечная последовательность импульсов со скважностью  $Q=T/T_n$  (рис.3).

Таблица 3

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_n$ , мкс	0,5	0,7	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5	3,0
$Q$	3	4	5	6	2	3	4	5	6	3
$U_0$ , В	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0

##### • ВАРИАНТ 3

Сигнал изображён на рис.4.

Таблица 4

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_n$ , мкс	0,5	0,7	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5	3,0
$U_1$ , В	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10
$U_2$ , В	2,0	4,0	6,0	8,0	10	12	14	16	18	20

##### • ВАРИАНТ 4

Задан сигнал бесконечной длительности (рис.5).

Таблица 5

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_n$ , мкс	0,5	0,7	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5	3,0
$U_0$ , В	-10	1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9

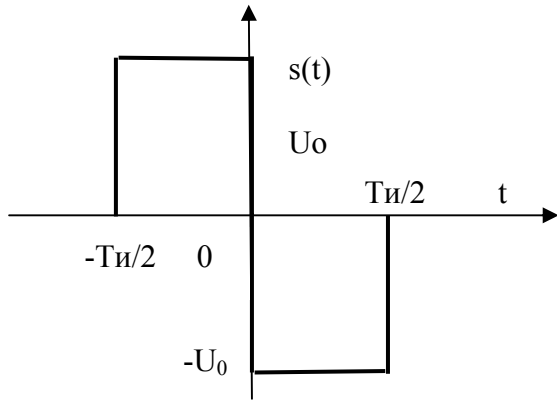


Рис. 1. Сигнал для варианта «0»

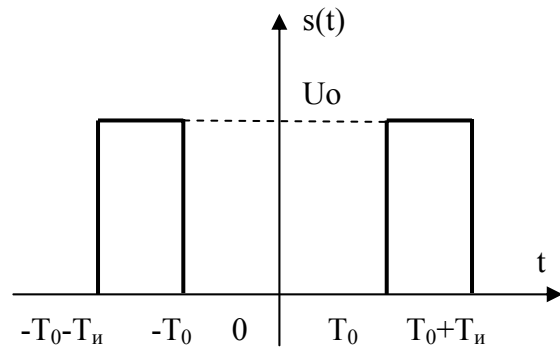


Рис.2. Сигнал для варианта «1»

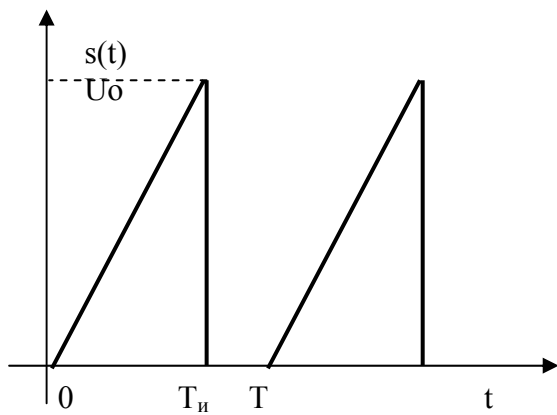


Рис. 3. Сигнал для варианта «2»

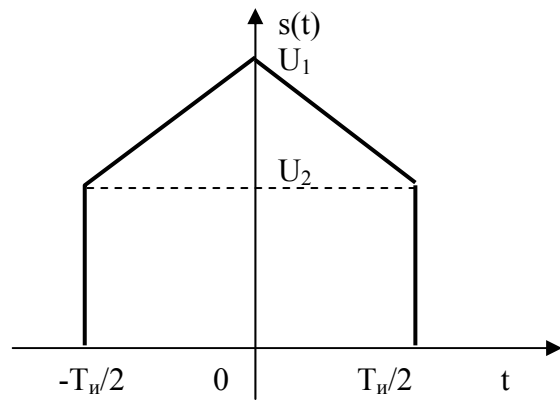


Рис.4. Сигнал для варианта «3»

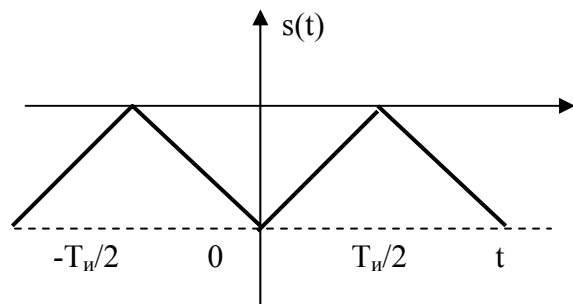


Рис.5. Сигнал для варианта «4»

**ЗАДАЧА 2**

Найдите и постройте зависимость модуля спектральной функции от частоты.

## • ВАРИАНТ 0

$$s(t) = \begin{cases} U_0 \cos(\omega_0 t), & |t| \leq T_0/2 \\ 0, & |t| > T_0/2 \end{cases}$$

Таблица 6

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\omega_0 T_0/2$	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5

## • ВАРИАНТ 1

$$s(t) = \begin{cases} (U_0 - U_0/T_0 |t|) \cos(\omega_0 t), & |t| \leq T_0/2 \\ 0, & |t| > T_0/2 \end{cases}$$

Таблица 7

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\omega_0 T_0/(2\pi)$	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	2,0	3,0

## • ВАРИАНТ 2

$$s(t) = \begin{cases} U_0/T_0 t \cos(\omega_0 t), & 0 < t < T_0 \\ 0, & t < 0, t > T_0 \end{cases}$$

Таблица 8

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\omega_0 T_0/(2\pi)$	5,0	4,0	3,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	5,0	4,0

## • ВАРИАНТ 3

$$s(t) = \begin{cases} U_0 - U_0/T_0 t \cos(\omega_0 t), & 0 < t < T_0 \\ 0, & t < 0, t > T_0 \end{cases}$$

Таблица 9

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\omega_0 T_0/(2\pi)$	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0

## • ВАРИАНТ 4

$$s(t) = \begin{cases} U_0 \cos(\omega_0 t), & -T_0 < t < 0 \\ U_0 \cos(3\omega_0 t), & 0 < t < T_0 \\ 0, & |t| > T_0 \end{cases}$$

Таблица 10

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\omega_0 T_0 / (2\pi)$	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5

## ЗАДАЧА 3

## • ВАРИАНТ 0

Напряжение на входе синхронного детектора, пропорциональное огибающей узкополосного нормального шума, распределено по закону Релея:

$$p(U) = b U \exp(-U/a), \quad U > 0.$$

Найдите коэффициент  $b$ , математическое ожидание и дисперсию напряжения на выходе детектора. При заданных числовых параметрах постройте график плотности вероятности и функции распределения.

Таблица 11

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$a, B$	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0

## • ВАРИАНТ 1

Мгновенное значение случайного процесса  $u(t)$  на выходе фильтра нижних частот имеет функцию распределения. Найдите плотность вероятности  $p(u)$  этого процесса, постоянную  $A$ ,

$$F(u) = \exp\left(-\frac{A}{u}\right)$$

математическое ожидание и дисперсию. Постройте графики плотности вероятности и функции распределения.

Таблица 12

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$a, B$	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
$b, B$	32	8	18	32	49	8	4	36	16	2

## • ВАРИАНТ 2

Плотность вероятности случайного процесса  $x(t)$  имеет вид закона Лапласа:

$$p(x) = A \exp(-b |x-a|).$$

Найдите постоянную  $A$ , функцию распределения  $F(x)$ , математическое ожидание, дисперсию. Для заданных числовых значений  $a, b$  постройте графики функций плотности вероятности и функции распределения.

Таблица 13

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a,В	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
b,В	3	8	1	2	0,5	8	4	0,2	2	3

## • ВАРИАНТ 3

Плотность вероятности случайного процесса  $x(t)$ :

$$p(x) = a \exp(-a x), \quad x > 0.$$

Найдите одномерную функцию распределения, математическое ожидание и дисперсию. При заданных числовых значениях  $a$  рассчитайте и постройте графики плотности вероятности и функции распределения.

Таблица 14

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a,В	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0

## • ВАРИАНТ 4

Плотность вероятности случайного процесса задана графически (рис.6.) Для заданных чисел  $a$  и  $b$  определите аналитическое выражение для плотности вероятности, рассчитайте и постройте функцию распределения, вычислите математическое ожидание и дисперсию.

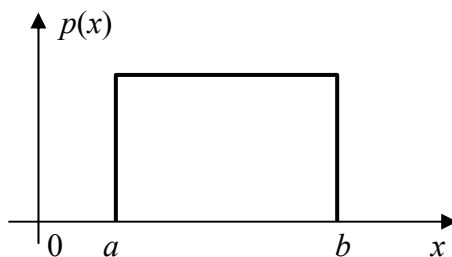


Рис. 6. Плотность вероятности процесса

Таблица 15

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a,В	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
b,В	3	8	4	6	5	8	4	10	20	20

## 3.2. КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ 2

### ЗАДАЧА 1

#### • ВАРИАНТ 0

Характеристика транзистора описывается уравнением

$$i = 15 + 1,5 (u - U_0) + 0,1 (u - U_0)^2 \text{ (мА)}.$$

На нелинейный элемент подаётся напряжение вида

$$u - U_0 = U_1 \cos (2\pi f_1 t) + U_2 \cos (2\pi f_2 t),$$

где  $U_0$  – напряжение смещения,

$U_1$  и  $U_2$  – амплитуды переменных напряжений.

Найдите коэффициент модуляции коллекторного тока. Сформулируйте требования к выбору частоты настройки и полосы пропускания фильтра, выделяющего модулированное колебание.

Таблица 16

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_1$ , В	6	5	4	3	4	5	6	5	4	3
$U_2$ , В	3	2	1	1,5	2	3	2	1	1,5	2
$f_1$ , МГц	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
$f_2$ , МГц	20	30	20	30	40	40	50	50	60	60

#### • ВАРИАНТ 1

При умножении частоты используется транзистор, проходная характеристика которого аппроксимируется линейно-ломаной зависимостью с параметрами  $S=50\text{мА/В}$ ,  $U_H=0,5\text{В}$ .

Заданы:  $I_m$  – максимальное значение тока в импульсе,

$f_0$  – резонансная частота контура,

$C$  – ёмкость контура,

$Q$  – добротность контура,

$p$  – коэффициент включения контура в анодную цепь.

Определите положение рабочей точки и амплитуду напряжения на базе, при которых имеют место наилучшие условия для удвоения частоты. Найдите амплитуду напряжения на коллекторе транзистора и полезную мощность удвоителя при работе в рассчитанном режиме.

Таблица 17

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_m$ , А	7,5	10	12	15	17	20	7,5	10	12	15
$f_0$ , МГц	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
$Q$	30	35	40	45	50	55	50	45	40	35
$C$ , нФ	300	275	250	225	200	200	175	150	150	125
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,2

## • ВАРИАНТ 2

Резонансный усилитель собран на транзисторе, входная характеристика которого аппроксимирована кусочно-линейной функцией со следующими параметрами:  $S=0,6$  А/В,  $U_n = 0,7$  В.

Ток коллектора связан с током базы следующей зависимостью

$$I_k = 12 I_b.$$

Нагрузка транзистора – контур с резонансным сопротивлением  $R_0$  и коэффициентом включения в коллекторную цепь  $p$ . Напряжение питания усилителя  $E$ . К входу усилителя приложено напряжение

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

Определите постоянные составляющие и амплитуды первых гармоник токов базы и коллектора, полезную мощность, КПД усилителя, амплитуды напряжений на контуре и на коллекторе транзистора.

Таблица 18

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E, В$	50	40	30	20	15	10	15	20	30	40
$R_0, кОм$	20	22	24	26	28	30	35	40	40	50
$p$	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
$U_0, В$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$U_m, В$	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6

## • ВАРИАНТ 3

Однокаскадный резонансный усилитель собран на транзисторе, проходная характеристика которого аппроксимирована кусочно-линейной функцией с параметрами  $S=15$  мА/В,  $U_n = 0,8$  В. Напряжение питания усилителя  $E$ , резонансное сопротивление контура  $R_0$ , коэффициент включения контура в коллекторную цепь  $p$ , смещение на базе  $U_0$ .

Определите амплитуду входного сигнала, при которой усилитель работает в критическом режиме. рассчитайте полезную мощность в колебательном контуре, мощность, потребляемую от источника питания, КПД усилителя.

Таблица 19

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E, В$	9	5	12	15	9	5	12	15	9	10
$U_0, В$	0,4	1,0	0,6	0,7	0,8	1,5	0,5	1,0	1,5	0,9
$p$	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
$U_0, В$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$R_0, кОм$	20	25	30	35	40	45	30	35	20	25

## • ВАРИАНТ 4

Детектор АМ-колебаний содержит нелинейный резистивный элемент с вольт-амперной характеристикой вида

$$i = 15 + 30(u - U_0) + 7,5(u - U_0)^2.$$

Вычислите низкочастотную составляющую тока при детектировании:

а) АМ-сигнала  $u = U_0 + U_m(1 + M \cos(\omega t)) \cos(\omega t)$ ,

б) ОБП-сигнала  $u = U_0 + U_m \cos(\omega t) + 0,5 M U_m \cos(\omega - \omega_0 t)$ ,

определите коэффициент гармоник выходного напряжения.

Таблица 20

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_m, В$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	4,5	3,5	2,5	1,5	0,5
$M$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,2	0,4	0,5	0,6	0,3
$\square_1, \text{крад/с}$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
$\square_2, \text{Мрад/с}$	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	4,0

## ЗАДАЧА 2

### • ВАРИАНТ 0

Амплитудно-модулированный сигнал

$$u(t) = U_0(1 + M_1 \cos(\square_1 t) + M_2 \cos(\square_2 t)) \cos(\square t)$$

выделяется на нагрузке  $R$ . Определите пиковую мощность источника, среднюю мощность в нагрузке, мощности несущего и боковых колебаний. Постройте спектрограмму сигнала и укажите требования к фильтру (центральная частота, полоса пропускания), выделяющему заданный сигнал.

Таблица 21

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_0, В$	5	10	12	15	20	25	30	35	40	50
$M_1$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,2	0,4	0,5	0,6	0,3
$M_2$	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2
$\square_1, \text{крад/с}$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
$\square_2, \text{крад/с}$	2,0	2,5	4,0	5,0	5,0	7,0	8,0	9,0	10	12
$\square_3, \text{Мрад/с}$	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	4,0

### • ВАРИАНТ 1

Рассчитайте колебательный контур, практически не искажающий ЧМ-колебание, несущая частота которого равна  $f$ , модулирующая частота  $F$ , индекс модуляции  $m$ . Ёмкость контура равна  $C$ . Полоса пропускания контура должна быть минимально возможной.

Таблица 22

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f, \text{МГц}$	10	12	14	16	20	22	24	26	28	18
$F, \text{кГц}$	2	4	6	8	10	9	7	5	3	1
$m$	25	20	18	15	12	10	10	8	5	7
$C, \text{пФ}$	95	85	75	65	55	50	60	70	80	90

### • ВАРИАНТ 2

Задан ЧМ-сигнал амплитудой  $U_0$ . Частота модуляции  $F$ , несущая частота  $f$ , максимальное значение частоты  $f_m$ . Определите индекс модуляции, рассчитайте и постройте спектральную диаграмму сигнала. Сформулируйте требования к выбору частоты настройки и полосы пропускания фильтра, выделяющего модулированное колебание.



Таблица 23

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_0$ , В	20	25	30	35	40	45	30	35	25	20
$F$ , кГц	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25
$f$ , МГц	50	60	70	80	90	80	70	60	50	80
$f_m$ , МГц	51	62	72	81	93	83	71	61	52	81

## • ВАРИАНТ 3

Однотональный ФМ-сигнал имеет частоту несущей  $f$ , частоту модуляции  $F$ . Амплитуда сигнала  $U_0$ . При какой девиации частоты в спектре будут отсутствовать составляющие на частотах  $(f + F)$  и  $(f - F)$ ? Постройте спектральную диаграмму.

Таблица 24

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_0$ , В	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$F$ , кГц	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$f$ , МГц	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

## • ВАРИАНТ 4

Вычислите, при каком наибольшем значении модулирующей частоты  $F_{\max}$  в спектре однотонального ЧМ-сигнала, имеющего девиацию частоты  $df$ , будут отсутствовать компоненты на частотах  $(f + F_{\max})$  и  $(f - F_{\max})$ , где  $f$  – частота несущего колебания. Постройте спектральную диаграмму при амплитуде сигнала  $U_0$ .

Таблица 25

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_0$ , В	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$df$ , кГц	20	30	40	50	20	30	40	50	20	30
$f$ , МГц	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28

**ЗАДАЧА 3**

На вход линейной цепи поступает белый шум со спектральной плотностью  $N$ . Определить энергетический спектр, эффективную ширину спектра, корреляционную функцию, время корреляции и мощность процесса на выходе цепи.

## • ВАРИАНТ 0

Схема цепи приведена на рис.7.

$$N = 2 \cdot 10^{-6} \text{ В/Гц}$$

Таблица 26

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_0 = RC$ , мкс	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90

## • ВАРИАНТ 1

Схема цепи приведена на рис. 8.

$$N = 5 \cdot 10^{-6} \text{ В/Гц}$$

Таблица 27

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_0 = L/R$ , мкс	50	60	70	80	90	40	30	20	10	50

## • ВАРИАНТ 2

Схема цепи приведена на рис. 9.

$$N = 10^{-5} \text{ В/Гц}$$

Таблица 28

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_0 = RC$ , мкс	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90

## • ВАРИАНТ 3

Схема цепи приведена на рис. 10.

$$N = 2 \cdot 10^{-6} \text{ В/Гц}$$

Таблица 29

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_0 = L/R$ , мкс	5	4	2	3	70	60	50	40	50	60

## • ВАРИАНТ 4

Схема цепи приведена на рис. 11.

$$N = 2 \cdot 10^{-6} \text{ В/Гц}$$

Таблица 30

Подвариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_0 = RC$ , мкс	5	4	2	3	70	60	50	40	50	60

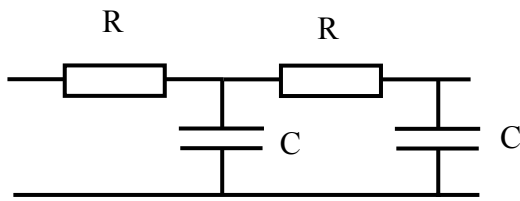


Рис. 7. Схема цепи для варианта 0

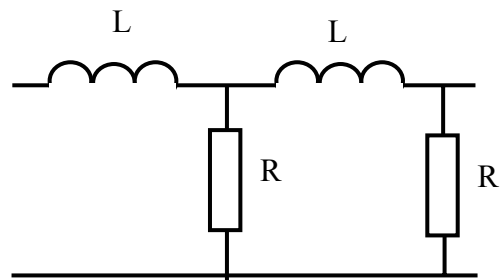


Рис.8. Схема цепи для варианта 1

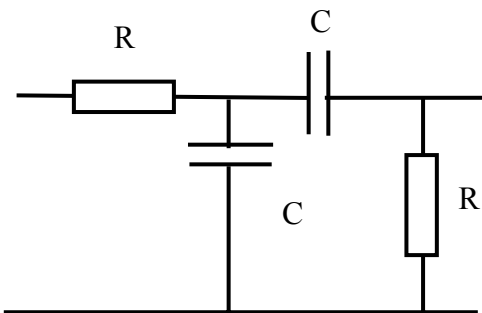


Рис. 9. Схема цепи для варианта 2

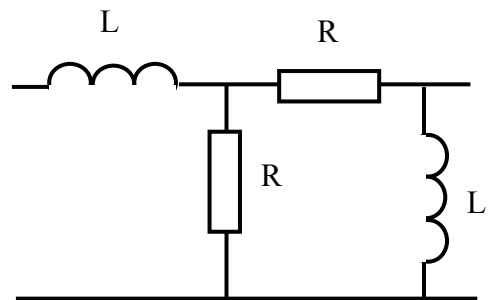


Рис.10. Схема цепи для варианта 3

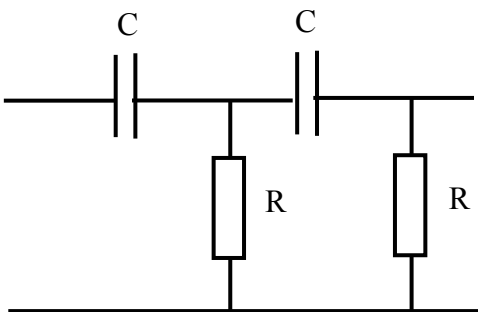


Рис. 11. Схема цепи для варианта 4

#### 4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

##### ЛИТЕРАТУРА

---

- Баскаков С.И.** Радиотехнические цепи и сигналы. М. : Высшая школа, 1988. 536 с.
- Гоноровский И.С.** Радиотехнические цепи и сигналы. М. : Радио и связь, 1986. 512 с.
- Попов В.П.** Основы теории цепей. М. : Высшая школа, 1985. 496 с.
- Баскаков С.И.** Радиотехнические цепи и сигналы. М. : Высшая школа, 1983. 536 с.
- Гоноровский И.С.** Радиотехнические цепи и сигналы. М. : Радио и связь, 1977. 608 с.
- Радиотехнические цепи и сигналы.** Примеры и задачи / Под ред. С.И.Баскакова. М. : Высшая школа, 1987.
- Радиотехнические цепи и сигналы.** Примеры и задачи / Под ред. И.С.Гоноровского. М. : Радио и связь, 1989. 248 с.

##### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

---

- Гоноровский И.С.** Радиотехнические цепи и сигналы. М. : Сов. радио, 1964. 695 с.
- Джонсон Д., Джонсон Дт., Мур Г.** Справочник по активным фильтрам : Пер. с англ. М. : Энергоатомиздат, 1983. - 128 с.
- Зааль Р.** Справочник по расчету фильтров : Пер. с нем. М. : Радио и связь, 1985. 752 с.
- Матханов Н.П.** Основы синтеза линейных электрических цепей. М. : Высшая школа, 1976. 208 с.
- Сиберт У.М.** Цепи, сигналы, системы. В 2 ч.: Пер. с англ. М. : Мир, 1988.
- Радиотехнические цепи и сигналы:** Учебное пособие для вузов / Д.В. Васильев, М.Р. Витоль, Ю.Н. Горшенков и др., Под ред. К.А. Самойло. М.: Радио и связь, 1982. 528 с.
- Тихонов В.И.** Статистическая радиотехника : Учебное пособие. М. : Советское радио, 1966. 678 с.
- Ханзел Г.** Справочник по расчету фильтров : Пер. с англ. М. : Сов. радио, 1974. 288 с.

##### УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОСОБИЯ, ИЗДАННЫЕ КАФЕДРОЙ

---

- Радиотехнические цепи и сигналы:** Контрольные задания / Сост. Е.В. Вострецова. Екатеринбург : изд-во УГТУ, 1999.-16 с.
- Анализ радиосигналов и расчёт характеристик оптимальных согласованных фильтров.** / Сост. Л.Г. Доросинский, В.Г. Коберниченко. Екатеринбург : УПИ, 1992. 40с.
- Исследование нелинейных цепей:** Методические указания к лабораторным работам N 1-4 / Сост. А.П. Мальцев, А.С. Лучинин. Свердловск : УПИ, 1988. 41 с.
- Основы теории радиотехнических сигналов и цепей:** Домашние задания N 1-4 / Сост. С.М. Зраенко. Екатеринбург : УГТУ - УПИ, 1995. 26с.
- Основы теории радиотехнических сигналов и цепей:** Домашние задания N 5-7 / Сост. Е.В. Вострецова. Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 1995. 16 с.

**Проектирование пассивных и активных электрических фильтров:** Методические указания к курсовой работе по курсу "Теория радиотехнических сигналов и цепей" / Сост. В.Г. Коберниченко, А.П. Мальцев. Екатеринбург: УПИ, 1992. 36 с.

**Прохождение сигналов через линейные цепи:** Методические указания к лабораторным работам по курсу "радиотехнические цепи и сигналы" / Сост. А.П. Мальцев, В.И. Неволин. Свердловск.:УПИ, 1989. 26 с.

**Расчёт спектров сигналов.** / Сост. Е.В. Вострецова. – Екатеринбург: УПИ, 1992. 36 с.

**Статистическая радиотехника.** / Сост. Л.Г. Доросинский, В.И. Неволин. – Свердловск: УПИ, 1986. 25 с.

---

## ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММНО-ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

---

Программа "Mathcad"

**Учебное электронное текстовое издание**

Вострецова Елена Владимировна,  
Зраенко Сергей Михайлович

**РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СИГНАЛЫ**

**Редактор** *Л.Д. Селедкова*  
**Компьютерная верстка** *А.Ю. Одинцова*

**Рекомендовано РИС ГОУ ВПО УГТУ-УПИ**  
**Разрешен к публикации 01.08.05.**

**Электронный формат – PDF**

**Формат 60x90 1/8**

**Издательство ГОУ ВПО УГТУ-УПИ**  
**620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19**  
**e-mail: sh@uchdep.ustu.ru**

**Информационный портал**  
**ГОУ ВПО УГТУ-УПИ**  
**<http://www.ustu.ru>**