

С.И. Богомолов

«Математические методы описания сигналы»

Методические указания
по организации самостоятельной работы

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
Томский университет систем управления и радиоэлектроники

Радиотехнический факультет
Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники

«Утверждаю»
/Зав. кафедрой ТОР
Е.Н. Ворошилин
 2012 г.

«Математические методы описания сигналов»

Методические указания по
организации самостоятельной работы
по дисциплине
«Математические методы описания сигналов»
для студентов радиотехнического факультета

Составил:
к.т.н., доцент С.И. Богомолов

Томск - 2012 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Набор заданий к контрольным работам	6
Домашние задания при подготовке к лабораторным занятиям	11
Вопросы для самопроверки при подготовке к лабораторным работам	15
Перечень разделов (тем) вынесенных на самостоятельное изучение	19
Перечень вопросов, выносимых на экзамен по дисциплине «Радиотехнические цепи сигналов»	20
Список рекомендуемой литературы	22

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Математические методы описания сигналов» относится к циклу общепрофессиональных дисциплин (ОПД) (блок дисциплин по выбору) в составе учебного плана направления подготовки дипломированных специалистов 210401 «Физика и техника оптической связи».

Целью преподавания дисциплины «Математические методы описания сигналов» является ознакомление студентов с математическими методами представления сигналов и цепей, используемыми для описания функционирования радиоэлектронных узлов и устройств, предназначенных для передачи, приема и обработки информации.

В процессе изучения данной дисциплины обеспечивается непрерывность и преемственность математической подготовки в процессе профессионального образования, систематизация и углубление полученных ранее знаний при изучении курсов математики и информатики на примерах решения простых инженерных задач.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- изучение студентами основных положений теории сигналов и их преобразований в радиоэлектронных цепях и устройствах;
- освоение математического аппарата и методов описания воздействий и откликов в радиоэлектронных устройствах различного назначения;
- изучение основных принципов формирования и преобразований сигналов в радиоэлектронных устройствах передачи, приема и обработки информации.

В результате изучения курса студенты должны:

знать основные положения теории сигналов и цепей; методы анализа прохождения сигналов через линейные цепи;

уметь определять основные характеристики сигналов и цепей; проводить спектральный анализ сигналов; оценивать отклики цепи на воздействие сигналами произвольной формы;

иметь навыки анализа основных характеристик сигналов и цепей, решения задач прохождения сигналов через различные

цепи и проектирования цепей с требуемыми характеристиками.

Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Математические методы описания сигналов» содержит следующие основные составляющие: проработка лекционного материала, подготовка к лабораторным работам и выполнение отчетов, подготовка к практическим занятиям и контрольным работам, изучение вопросов лекционного курса, вынесенных на самостоятельное изучение.

Проработка лекционного материала не требует особых методических указаний. Рекомендуется просматривать материалы лекции в тот же день после ее окончания, как говорится, «по горячим следам». Вопросы самостоятельной работы при подготовке к практическим занятиям и лабораторным работам отражены в соответствующих методических пособиях. В данном пособии основное внимание уделено организации самостоятельной работы при подготовке к контрольным работам и при изучении тем лекционного курса, вынесенных на самостоятельное изучение.

В процессе изучения дисциплины «Математические методы описания сигналов» на практических занятиях студенты выполняют четыре контрольные работы. Все контрольные работы выполняются после завершения изучения соответствующих тем на практических занятиях. Контрольные работы выполняются в письменном виде и содержат однотипные задания, предусматривающие несколько вариантов конкретных расчетов.

В качестве основного источника изучения по данной дисциплине следует использовать учебные пособия [1 - 3]. Кроме того, могут быть использованы разнообразные дополнительные материалы, в том числе и приведенные в списке рекомендуемой литературы [4 - 5].

НАБОР ЗАДАНИЙ К КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ

Задание 1

1. Записать аналитическое выражение для одиночного импульса. Определить постоянную и переменную составляющие сигнала.

2. Получить аналитическое выражение и построить график для четной и нечетной составляющих сигнала.

3. Рассчитать энергию одиночного импульса. Получить аналитическое выражение для средней и мгновенной мощностей.

4. Записать аналитическое выражение для периодического сигнала с периодом, равным 3τ . Определить постоянную и переменную составляющие сигнала.

5. Получить аналитическое выражение и построить графики для четной и нечетной составляющих периодического сигнала.

6. Рассчитать значение средней мощности.

7. Рассчитать эффективную длительность сигнала для энергетического критерия $\lambda = 0,9$.

Варианты временного представления сигналов к заданию 1 приведены на рисунке 1.

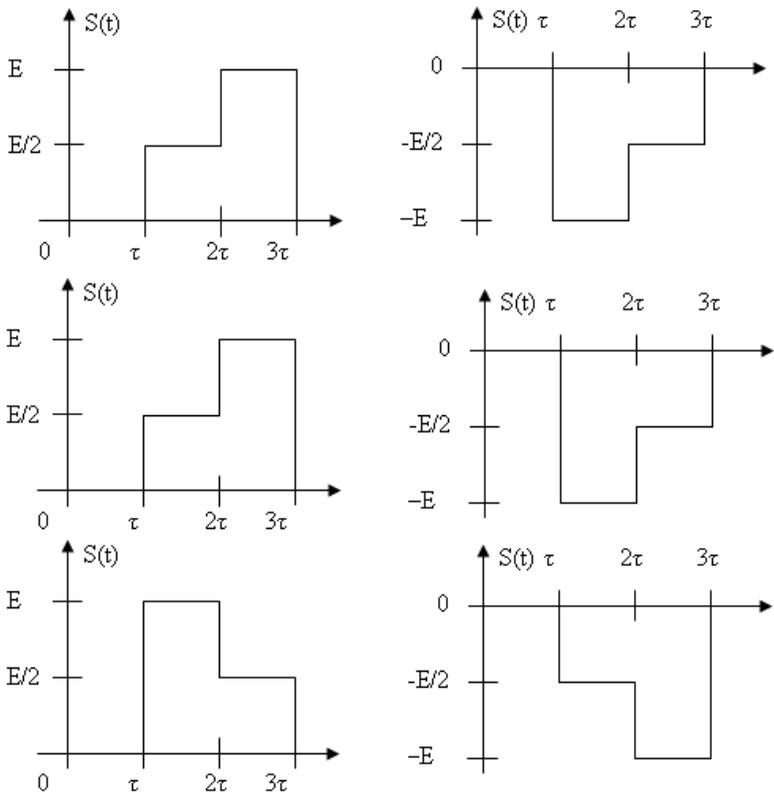


Рис. 1. Варианты временного представления сигналов к заданию 1

Задание 2.

1. Для периодического сигнала с периодом, равным 4τ :
2. Дать математическое описание сигнала.
3. Вычислить три низшие ненулевые гармоники спектра сигнала и построить спектр амплитуд.
4. Рассчитать мощность (относительную) отброшенных спектральных составляющих.

Варианты временного представления сигналов к заданию 1 приведены на рисунке 2.

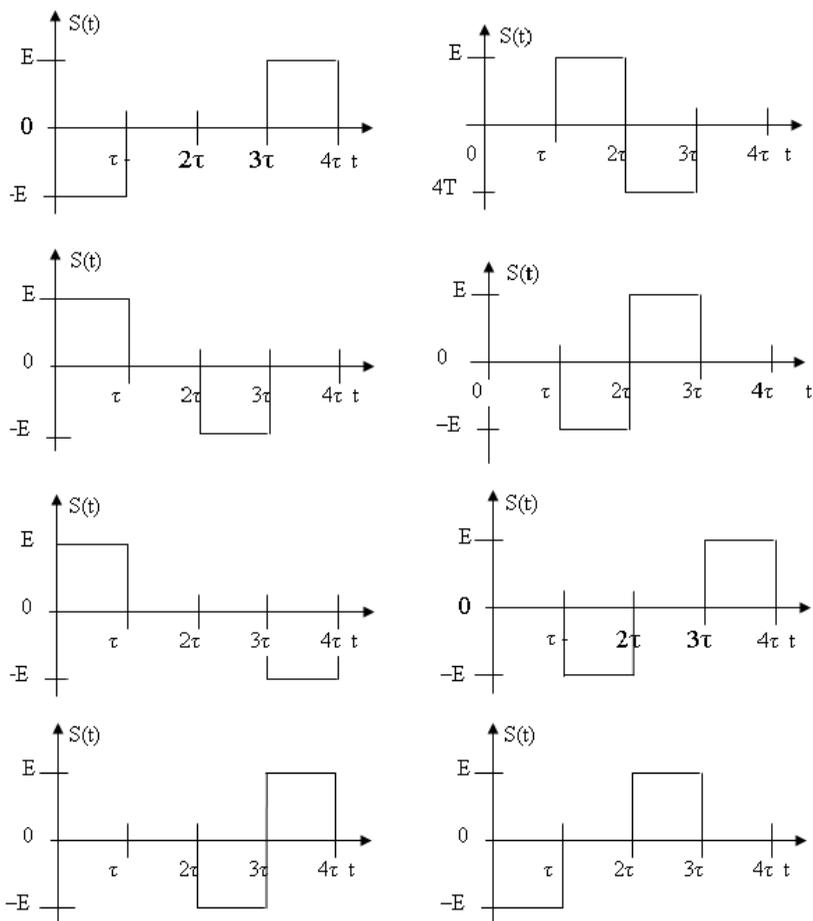


Рис. 2. Варианты временного представления сигналов к заданию 2

Задание 3

1. Получить аналитическое выражение и построить график для АЧХ линейной цепи [масштаб частотной оси оценивать в

единицах α , где $\alpha = 1/(RC)$]. (Обязательные расчетные точки на оси частот: $\omega = 0, \alpha, \infty$.)

2. Рассчитать и построить временные характеристики цепи. (Обязательные расчетные точки на оси времени: $t = 0, 1/\alpha, \infty$.)

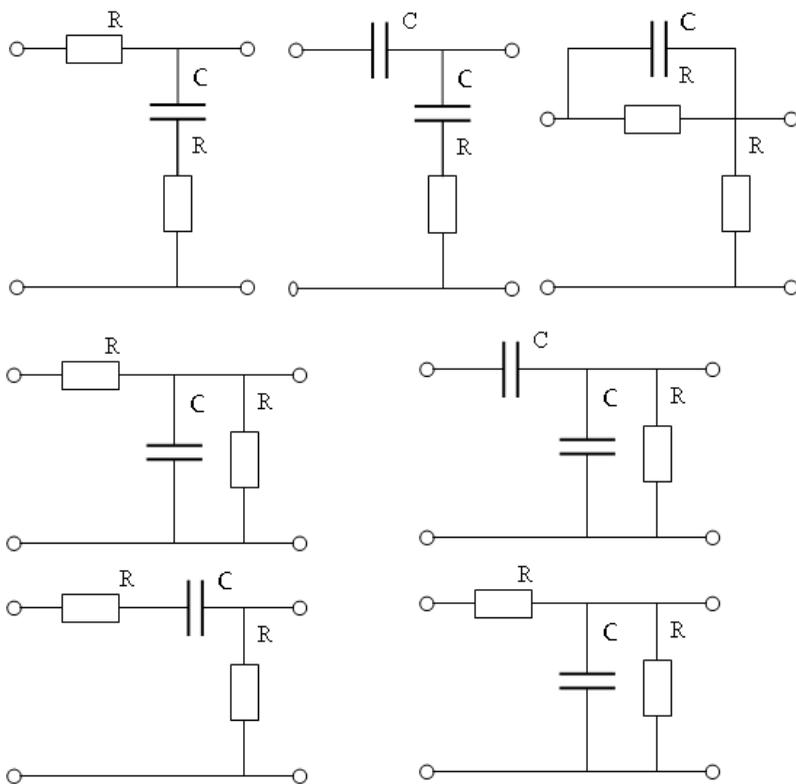


Рис. 3. Варианты схем линейной цепи к заданию 3

Задание 4

Для линейной аналоговой цепи:

1. Рассчитать и построить импульсную характеристику.
2. Выполнить дискретизацию импульсной характеристики.

3. Рассчитать количество отсчетов импульсной характеристики, величина которых превышает 10% от максимального значения характеристики.

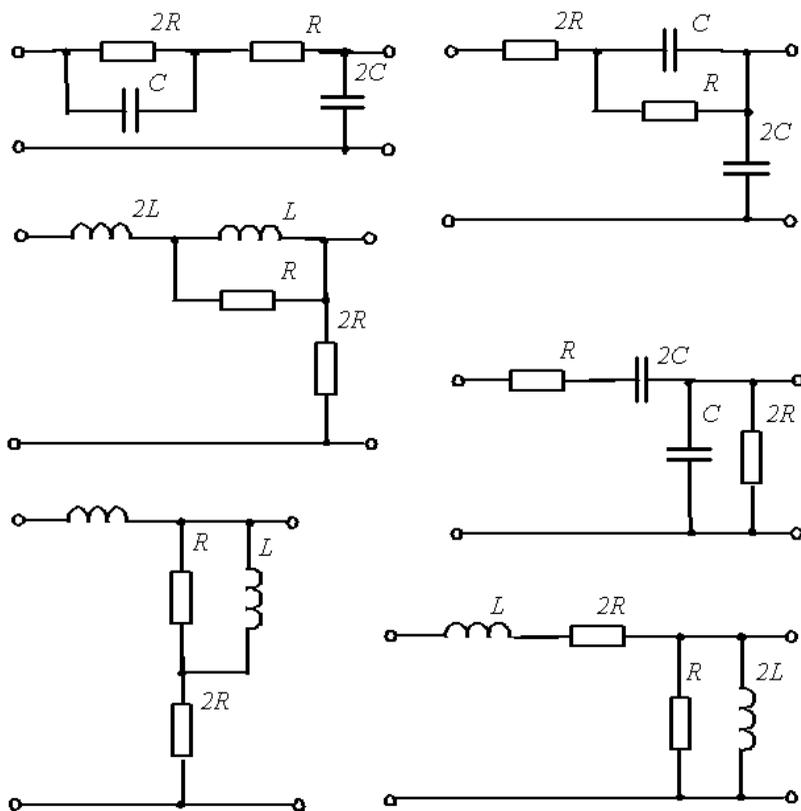


Рис. 4. Варианты схем линейной цепи к заданию 4

ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ

ПРАКТИКА АППАРАТУРНОГО АНАЛИЗА СИГНАЛОВ ВО ВРЕМЕННОЙ И ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТЯХ

При самостоятельной подготовке к лабораторной работе необходимо:

- 1) изучить физические характеристики сигналов, их классификацию, основные виды математического описания (временное и спектральное);
- 2) ознакомиться с описанием сменной панели "Радиосигналы" лабораторного стенда, четко представлять ее структурную схему и функциональные возможности;
- 3) изучить по описанию структурную схему, технические характеристики анализатора спектра СКЧ-56 и работу с ним при анализе спектров периодических сигналов.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ

Самостоятельная работа при подготовке к данным лабораторным занятиям заключается в следующем:

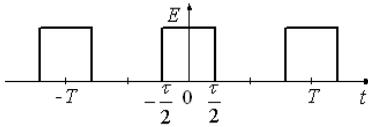
- 1) проработать лекционный материал и рекомендованную литературу по теме: «Спектральный анализ периодических сигналов»;
- 2) изучить временные свойства сигналов, представленных на рисунке б;
- 3) по заданным в таблице 1 длительности импульса прямоугольной формы положительной полярности и временным свойствам дать временное представление сигнала на периоде; (значение частоты следования импульсов принять равным 2 кГц, номер варианта выбирать по номеру студента в списке группы)
- 4) рассчитать и построить спектр амплитуд и спектр фаз заданного сигнала (не менее 10 составляющих), произвести качественный анализ полученных спектров, сравнить временное и спектральное представление;
- 5) построить оценку сигнала из трех гармонических колебаний с максимальными амплитудами, частотами,

кратными частоте исследуемого сигнала и соответствующими начальными фазами;

График сигнала $s(t)$

Временные свойства $s(t)$

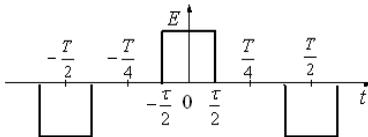
Формулы для расчета a_n и b_n



$$s(t) = s(-t)$$

$$a_n = \frac{2E}{n\pi} \cdot \sin\left(n\pi \frac{\tau}{T}\right)$$

$$b_n = 0$$

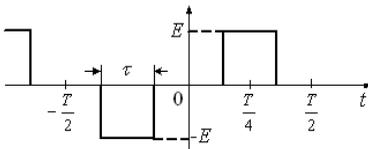


$$s(t) = s(-t)$$

$$s(T/4+t) = -s(T/4-t)$$

$$a_n = \frac{4E}{n\pi} \cdot \sin^2\left(\frac{n\pi}{2}\right) \cdot \sin\left(n\pi \frac{\tau}{T}\right)$$

$$b_n = 0$$



$$s(t) = -s(-t)$$

$$s(T/4+t) = s(T/4-t)$$

$$a_n = 0$$

$$b_n = \frac{4E}{n\pi} \cdot \sin\left(\frac{n\pi}{2}\right) \cdot \sin\left(n\pi \frac{\tau}{T}\right)$$

Рис.6. Временные представления сигналов и основные параметры спектра

б) рассчитать погрешность представления сигнала оценкой из трех гармонических колебаний.

Таблица 1. Временные характеристики и свойства сигнала

Параметры периодической последовательности импульсов прямоугольной формы																										
Шифр студента	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Длительность ? импульса, мкс	250		125			62,5			31,25			15,625			484,375			468,75			437,5			375		
Временные свойства сигналов	$s(t) = s(-t)$	+			+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+
	$s(t) = -s(-t)$		+				+			+			+			+			+			+			+	
	$s(T/4+t) = -s(T/4-t)$			+			+			+			+			+			+			+			+	
	$s(T/4+t) = -s(T/4-t)$		+			+			+			+			+			+			+			+		

ПРОХОЖДЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ ЧЕРЕЗ ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ

Самостоятельная подготовка к данной лабораторной работе заключается в следующем:

1) проработать лекционный материал и рекомендованную литературу по теме "Прохождение детерминированных сигналов через линейные цепи", изучить методы анализа;

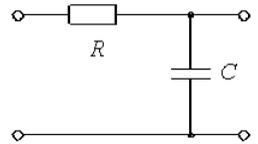
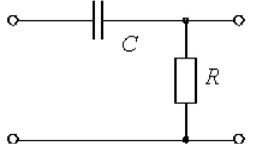
2) рассчитать и построить частотные (АЧХ и ФЧХ) и временные характеристики интегрирующей и дифференцирующей цепей, полагая, что постоянные времени интегрирующей $\tau_{и}$ и дифференцирующей $\tau_{д}$ цепей связаны с длительностью импульса τ соотношением

$$\tau_{и} = \tau_{д} = \tau$$

3) рассчитать и построить спектры амплитуд и фаз на выходе цепей, совместить с учетом масштаба спектры входного и выходного сигналов на одной спектрограмме;

4) дать временное представление сигнала на выходе линейной цепи, изобразить на одном графике сигналы на входе и выходе цепей.

Таблица 2 – Исследуемые электрические цепи

Название цепи	Интегрирующая цепь	Дифференцирующая цепь
Электрическая схема		
Коэффициент передачи	$K_{\dot{e}}(p) = \frac{1}{p\tau + 1}$	$K_{\dot{a}}(p) = \frac{p\tau}{p\tau + 1}$
Комплексный коэффициент передачи	$K_{\dot{e}}(f) = \frac{1}{j2\pi f\tau + 1}$	$K_{\dot{a}}(f) = \frac{j2\pi f\tau}{j2\pi f\tau + 1}$
Обозначения	$\tau = RC$ $2\pi f = \omega$	$\tau = RC$ $2\pi f = \omega$

Примечание. Частоту в килогерцах менять в пределах от нуля до 10 $F_{сл}$ (рассчитать 5 - 10 точек). Частоту следования импульсов $F_{сл}$ принять равной 2 кГц. Текущее время t менять в пределах от нуля до $t_{max} = 1/3F_{сл}$ (в микросекундах). Между

любыми двумя разрывами сигнала следует брать не менее трех точек.

АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫЕ СИГНАЛЫ

Самостоятельная работа заключается в следующем:

1) проработать лекционный материал и рекомендованную литературу по теме "Радиосигналы";

2) дать математическое описание амплитудно-модулированного сигнала (в качестве несущего сигнала использовать гармоническое колебание с параметрами $U_{\omega} = 8\text{В}$, $\omega_0 = 2\pi \cdot 32 \cdot 10^3 \text{ рад/с}$,

$\varphi_0 = 60^\circ$, в качестве управляющего сигнала использовать свой вариант из табл. 5.2, коэффициент модуляции КАМ $\sim 0,1$);

3) рассчитать парциальные коэффициенты модуляции;

4) построить спектр амплитуд и спектр фаз АМ-сигнала;

5) построить векторные диаграммы, иллюстрирующие тональную модуляцию для двух случаев - простой и балансной модуляции.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

ПРАКТИКА АППАРАТУРНОГО АНАЛИЗА СИГНАЛОВ ВО ВРЕМЕННОЙ И ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТЯХ

Поясните:

- 1) какие временные параметры сигнала можно измерить с помощью осциллографа;
- 2) в чем заключается принцип работы простейшего анализатора спектра последовательного типа;
- 3) какие достоинства и недостатки имеет последовательный принцип анализа спектра;
- 4) в чем заключается задача экспериментального анализа спектра сигнала;
- 5) почему последовательный анализатор непригоден для анализа одиночных сигналов;
- 6) что такое динамические искажения спектра сигнала;
- 7) в чем причина динамических искажений спектра при анализе сигнала;
- 8) чем определяется разрешающая способность по частоте анализатора спектра;
- 9) что такое полоса обзора анализатора;
- 10) что такое время обзора при анализе спектра;
- 11) из каких соображений выбирается время обзора при анализе спектров сигналов последовательным анализатором;
- 12) что такое спектр сигнала;
- 13) зачем нам нужно знать спектр сигнала.

Изобразите:

- 1) упрощенную структурную схему анализатора спектра СКЧ-56;
- 2) спектр амплитуд синусоиды при различных углах отсечки.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ

Поясните:

1) какими свойствами обладают спектры периодических сигналов;

2) как влияет изменение длительности импульса и периода повторения на спектр периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов;

3) как отразится на спектре периодического сигнала изменение положения начала отсчета времени;

4) как изменится спектр периодического сигнала, если период повторения устремить в бесконечность;

5) какая связь существует между сплошным спектром непериодического сигнала и линейчатым спектром соответствующего периодического сигнала;

6) как связаны между собой длительности импульса и ширина спектра.

Постройте и сравните:

1) спектры периодической последовательности униполярных импульсов и периодической последовательности знакопеременных импульсов;

2) спектры периодической последовательности видеоимпульсов и пачки из нескольких этих же видеоимпульсов.

Запишите выражение для спектральной плотности периодического сигнала.

ПРОХОЖДЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ ЧЕРЕЗ ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ

Самостоятельная подготовка к данной лабораторной работе заключается в следующем:

Поясните:

1) на чем базируется спектральный метод расчета реакции линейной цепи на периодическое воздействие; на непериодическое воздействие;

2) на чем базируются методы временного интегрирования условно называемые метод интеграла Дюамеля и метод интеграла свертки;

3) какова связь между частотными и временными характеристиками линейных цепей;

- 4) как экспериментально снять временные характеристики линейных цепей;
- 5) почему меняется форма сигнала при прохождении его через линейную цепь;
- 6) каковы условия неискаженной передачи сигнала по каналу связи;
- 7) как отражаются искажения в области низких и высоких частот на форме сигнала;
- 8) как по графику переходной характеристики определить постоянную времени цепи;
- 9) смысл и размерность постоянных времени интегрирующих и дифференцирующих RC и RL-цепей;
- 10) при каких сочетаниях между постоянной времени цепи и длительностью импульса положительной полярности с выхода 13 "Генератора видеосигналов" этот импульс может служить моделью единичного скачка;
- 11) при каких условиях RC-фильтр верхних частот ведет себя как дифференцирующая цепь, неискажающая цепь (межкаскадная разделительная цепь);
- 12) при каких условиях RC-фильтр нижних частот приближается к интегралу (на основе временного и частотного подходов).

Изобразите:

- 1) частотные характеристики цепи, не искажающей сигнал;
- 2) схемы и графики АЧХ и ФЧХ интегрирующей и дифференцирующей RC и RL-цепей;
- 3) переходные характеристики ФВЧ и ФНЧ на RC и RL-цепях;
- 4) переходные характеристики полосопропускающей апериодической цепи.

АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫЕ СИГНАЛЫ

Поясните:

- 1) в чем заключается процесс модуляции;
- 2) что понимается под несущим и модулирующим колебаниями;
- 3) как определяется и от чего зависит глубина амплитудной модуляции;

- 4) в чем принципиальное отличие осциллограмм сигналов о балансной амплитудной модуляцией и обычных АМ-сигналов;
- 5) каким путем можно преобразовать радиосигнал с балансной модуляцией в обычный АМ-сигнал;
- 6) в чем заключается причина возникновения искажений в огибающей АМ-сигнала при перемодуляции;
- 7) как записываются АМ-колебание и как формируется его спектр при модуляции: гармоническим колебанием; произвольным периодическим колебанием; непериодическим сигналом;
- 8) как изобразить векторные диаграммы АМ-сигнала при тональной простой и балансной модуляциях;
- 9) в каких пределах меняется мощность АМ-колебания, средняя за период высокой частоты (при простой амплитудной модуляции);
- 10) как распределяется в спектре АМ-сигнала мощность, средняя за период модуляции;
- 11) как осуществляется импульсная модуляция;
- 12) в чем проявляются различия между управляющим и несущим сигналами при импульсной модуляции;
- 13) как формируется спектр АИМ-сигнала;
- 14) какие изменения происходят в спектре управляющего сигнала при импульсной модуляции;
- 15) из каких соображений следует выбирать частоту следования импульсов несущего колебания.

ПЕРЕЧЕНЬ РАЗДЕЛОВ (ТЕМ) ВЫНЕСЕННЫХ НА САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ

При изучении дисциплины «Математические методы описания сигналов» на самостоятельную проработку выносятся следующие разделы лекционного курса:

- а) Кодово-импульсная модуляция;
- б) Ортогональная частотная модуляция.

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ, ВЫНОСИМЫХ НА ЭКЗАМЕН ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПИСАНИЯ СИГНАЛОВ»

Модели сигналов и их свойства

2. Алгоритмы взаимодействия сигналов и обобщенных функций

3. Энергетические характеристики сигналов

4. Обобщенное спектральное представление сигналов

5. Динамическое представление сигналов

6. Периодические сигналы и их свойства. Гармонические колебания

7. Разложение периодического сигнала по гармоникам

8. Спектральные характеристики периодического сигнала.

Анализ внутренней структуры

9. Гармонический анализ непериодических сигналов

10. Спектральные характеристики непериодических сигналов. Анализ внутренней структуры

11. Примеры спектрального представления непериодических сигналов

12. Теоремы о спектрах (сложение сигналов, изменение масштаба, сдвиг сигналов во времени)

13. Теоремы о спектрах (дифференцирование, интегрирование, произведение сигналов)

14. Теоремы о спектрах (свертывание сигналов, корреляционные функции)

15. Преобразование Лапласа

16. Свойства преобразования Лапласа (сложение сигналов, изменение масштаба, сдвиг сигналов во времени)

17. Свойства преобразования Лапласа (дифференцирование, интегрирование, произведение сигналов)

18. Обратное преобразование Лапласа

19. Математические модели линейной электрической цепи

20. Приведение дифференциальных уравнений состояния цепей к алгебраическому виду

21. Передаточная, импульсная, переходная характеристика цепи

22. Прохождение периодических сигналов через цепи (метод комплексных амплитуд)

23. Прохождение непериодических сигналов через цепи (операторный метод)

24. Операторный метод определения установившейся реакции цепи на включение периодического сигнала

25. Временные методы анализа (интегралы Дюамеля)

26. АМ колебания. Тональная модуляция гармонической несущей

27. Энергетические характеристики АМ колебаний. Амплитудная модуляция произвольным сигналом

28. Балансная амплитудная модуляция. Амплитудно-импульсная модуляция

29. Угловая модуляция. Тональная угловая модуляция

30. Спектр сигналов угловой модуляции при малых индексах модуляции

31. Спектр сигналов угловой модуляции при произвольных индексах модуляции

32. Квадратурная амплитудная модуляция

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каратаева Н.А. Радиотехнические цепи и сигналы. Дискретная обработка сигналов и цифровая фильтрация : учебное пособие.- Томск : ТУСУР, 2007. – 263с.

2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высш. школа, 2005.-462с.

3. Каратаева Н.А. Радиотехнические цепи и сигналы. Томск: ТУСУР, 2003.-254с.

4. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1994.-480с.

5. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Руководство к решению задач. Учебное пособие для радиотехнической специальности вузов. М.: Высш. школа.2002.-211с.

6. Радиотехнические цепи и сигналы. Примеры и задачи. Учебное пособие для вузов./Под ред. И.С. Гоноровского. М.: Радио и связь. 1989.-248с. [24 экземпляра в библиотеке ТУСУР]

7. Каганов В.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Учебное пособие. М.: Инфра-М, 2005.-431с. [31 экземпляр в библиотеке ТУСУР]

8. Каратаева Н.А. Лабораторный практикум по курсу «Радиотехнические цепи и сигналы», ч.1. Томск: ТУСУР, 2007. – 56 с.
[Электронный ресурс] URL:
<http://edu.tusur.ru/training/publications/1364>

9. Каминский В.Л. Лабораторный практикум по курсу «Радиотехнические цепи и сигналы», ч.2. Томск: ТУСУР, 2007. – 28 с.
[Электронный ресурс] URL:
<http://edu.tusur.ru/training/publications/1365>

10. Каратаева, Н. А. Радиотехнические цепи и сигналы: учебно-методическое пособие. - Томск: ТМЦДО, 2002. - 33 с. [8 экземпляров в библиотеке ТУСУР]