

В. И. Каганов
В. К. Битюков

Основы радиоэлектроники и связи

2-е издание

*Допущено Министерством образования и науки РФ
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных
заведений, обучающихся по специальности
«Проектирование и технология радиоэлектронных средств»
направления «Проектирование и технология
электронных средств»*

Москва
Горячая линия – Телеком
2012

УДК 621.39
ББК 32.88
К12

Рецензенты:

канд. техн. наук, профессор *В.Ф. Борисов*; доктор техн. наук, профессор
А.А. Головкин; доктор техн. наук, профессор *А.В. Гуреев*; заслуженный
деятель науки РФ, доктор техн. наук, профессор *И.Г. Мироненко*

Каганов В. И., Битюков В. К.

К12 Основы радиоэлектроники и связи: Учебное пособие для
вузов. — 2 изд., стереотип. — М: Горячая линия—Телеком, 2012. —
542 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0252-7.

Изложены сведения по всем разделам вузовской программы одноименного курса. Рассмотрены основы теории информации, способы кодирования сообщений, принципы их передачи и приема с помощью радиосигналов, спектральная теория сигналов и их генерирование, усиление, преобразование, модуляция, детектирование, демодуляция и обработка. Изложена теория радиоэлектронных линейных, нелинейных и параметрических цепей аналогового и цифрового типа, устройство и принципы функционирования радиоэлектронных устройств и систем радиосвязи.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» направления «Проектирование и технология электронных средств». Может быть использовано для повышения квалификации специалистами.

ББК 32.88

Адрес издательства в Интернет www.TECHBOOK.RU

Учебное издание

Каганов Вильям Ильич

Битюков Владимир Ксенофонтович

ОСНОВЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ

Учебное пособие

Редактор В.Н. Минкин

Корректор Е.Н. Мартынова

Обложка художника В.Г. Ситникова

Подготовка оригинал-макета Ю.Н. Рысева

Подписано к печати 21.02.2012. Формат 60×88 1/16.

Усл. печ. л. 34. Изд. № 120252. Тираж 100 экз.

ISBN 978-5-9912-0252-7

© В. И. Каганов, В. К. Битюков, 2007, 2012

© Оформление издательства
«Горячая линия—Телеком», 2012

Предисловие

«Основы радиоэлектроники и связи» являются базовой учебной дисциплиной в системе подготовки дипломированных специалистов по направлению «Проектирование и технология электронных средств», в том числе по специальности «Проектирование и технология радиоэлектронных средств». Данный курс опирается и тесно взаимодействует с такими дисциплинами как «Физика», «Информатика», «Общая электротехника и электроника», «Физические основы преобразовательной техники» и со всеми математическими дисциплинами.

Содержанием самой дисциплины «Основы радиоэлектроники и связи» являются вопросы теории информации, имеющие прямое отношение к проблемам радиосвязи, и основополагающие проблемы радиотехники, связанные с генерированием, усилением, модуляцией, детектированием, демодуляцией, преобразованием и обработкой сигналов, анализом процессов, протекающих в радиоэлектронных цепях разнообразного назначения, изучением принципов устройства и функционирования радиоэлектронных устройств и систем радиосвязи.

Все перечисленные вопросы рассматриваются в настоящем учебном пособии, написанном в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению «Проектирование и технология электронных средств».

Материал книги основан на лекциях, читаемых авторами в Московском государственном институте радиотехники, электроники и автоматики (техническом университете) – МИРЭА.

Настоящее учебное пособие состоит из семи частей, в которых последовательно рассматриваются основополагающие вопросы радиоэлектроники и связи: формирование сообщений и сигналов, разнообразные виды цепей, устройство и функционирование радиопередатчиков, радиоприемников и систем радиосвязи. Остановимся более подробно на содержании этих частей.

В первой части (гл. 1, 2) излагаются основы информатики как теоретической базы по кодированию сообщений, пропускной способности канала связи и сжатию передаваемой информации, а также общие принципы передачи и приема сообщений.

Предисловие

Вторая часть (гл. 3 – 5) посвящена основам спектральной теории детерминированных сигналов – периодических и одиночных, исследованию сигналов при модуляции и связанным со случайными процессами.

В третьей части (гл. 6 – 11) проводится анализ линейных и нелинейных цепей распределенного типа и с переменными параметрами, предназначенных для прохождения непрерывных сигналов; особое внимание уделяется фильтрам, согласующим и иным цепям линейного типа.

В четвертой части (гл. 12, 13) рассматриваются цепи дискретного типа, методы их анализа и основы цифровой обработки сигналов.

Пятая часть (гл. 14 – 16) посвящена вопросам формирования радиосигналов – их генерированию, усилению по мощности и основным видам модуляции – амплитудной, однополосной, частотной, фазовой и импульсной.

В шестой части (гл. 17, 18) рассматриваются назначение, параметры, характеристики, структурные схемы и устройство связанных радиопередатчиков и радиоприемников; особое внимание уделяется вопросам оптимальной обработки радиосигналов.

Седьмая часть (гл. 19 – 21) посвящена принципам построения, расчету, методам множественного доступа и функционированию современных систем радиосвязи: спутнико-космических, сотовых и производственного назначения. Приведены примеры построения таких систем и кратко рассмотрены перспективы развития радиоэлектроники.

Во всех главах рассматривается физическое содержание исследуемых проблем, вопросы математического моделирования сигналов и цепей, анализ и решение некоторых задач с помощью компьютера.

Введение

Радиоэлектроника есть составная часть радиотехники – науки о методах и средствах передачи и приема сообщений на расстояние посредством электромагнитных волн, распространяющихся в свободном пространстве. В рамках собственно самой радиоэлектроники в первую очередь изучается устройство и функционирование радиотехнических устройств и систем с применением электронных приборов – полупроводниковых, электровакуумных, акустоэлектронных, оптоэлектронных и других.

Сначала несколько слов о зарождении радиотехники. Два человека стоят у ее истоков: русский ученый Александр Степанович Попов (1859 – 1906 г.) и итальянский изобретатель Гульельмо Маркони (1874 – 1937 г.). Но кто из них все же первым передал на расстояние информацию с помощью электромагнитных волн, распространяющихся в свободном пространстве или, как было принято говорить, с помощью беспроволочного телеграфа? Прежде чем ответить на этот вопрос, кратко о предшественниках двух великих изобретателей.

В 1873 г. английский ученый Джеймс Клерк Максвелл опубликовал работу «Трактат по электричеству и магнетизму». Как следствие из составленных им уравнений, следовал вывод о возможности распространения электромагнитных волн в свободном пространстве со скоростью света. Но полученному теоретическим путем открытию мало кто поверил, даже известные в ту пору физики. Однако спустя 15 лет немецкий ученый Генрих Рудольф Герц экспериментальным путем доказал справедливость теории Максвелла.

Сущность опытов Герца состояла в следующем. К двум латунным стержням с малым зазором между ними подключалась индукционная катушка, создающая высокое напряжение. Когда это напряжение превышало напряжение пробоя, в зазоре проскакивала искра и происходило возбуждение электромагнитных колебаний. Излученные колебания регистрировались на расстоянии в несколько десятков метров, что неопровержимо доказывало распространение электромагнитных волн. Герцем была получена минимальная длина волны $\lambda = 60$ см. В современном представлении осциллятор Герца есть открытый колебательный контур, в котором при возбуждении его искровым способом возникают затухающие колебания, излучаемые в пространство.

Оглавление

Предисловие	3
Введение	5
ЧАСТЬ 1. ПРИНЦИПЫ ПЕРЕДАЧИ И ПРИЕМА СООБЩЕНИЙ	8
Глава 1. Основы теории информации и кодирования сообщений ..	8
1.1. Определение информации	8
1.2. Формы и параметры сообщения.....	11
1.3. Кодирование передаваемых сообщений	15
1.4. Пропускная способность цифрового канала радиосвязи	22
1.5. Сжатие передаваемой информации	25
Глава 2. Основы построения систем радиосвязи	33
2.1. Способы передачи сообщения на расстояние	33
2.2. Распространение радиоволн	36
2.3. Состав систем радиосвязи.....	41
ЧАСТЬ 2. СИГНАЛЫ.....	46
Глава 3. Основы спектральной теории сигналов	46
3.1. Виды сигналов	46
3.2. Спектральный анализ периодических сигналов.....	48
3.3. Одиночный импульс и интеграл Фурье	61
3.4. Спектры радиоимпульсов	75
3.5. Синтез сигналов.....	79
3.6. Тестовые сигналы	80
3.7. Дискретизация сигнала и интерполяция функций.....	88
3.8. Сигналы с ограниченным спектром и теорема Котельникова.....	94
3.9. Корреляционная функция детерминированного сигнала	97
3.10. Преобразования сигналов.....	100
Глава 4. Сигналы при модуляции.....	107
4.1. Назначение и виды модуляции	107
4.2. Сигнал при амплитудной модуляции	109
4.3. Сигнал при частотной и фазовой модуляциях аналоговых сообщений.....	113

4.4. Сигнал при частотной и фазовой модуляциях цифровых сообщений	119
4.5. Сигнал при импульсной модуляции	127
Глава 5. Основы теории случайных сигналов	135
5.1. Стационарный (гауссовский) случайный процесс	135
5.2. Функция корреляции и энергетический спектр	141
5.3. Узкополосный случайный сигнал.....	155
ЧАСТЬ 3. ЦЕПИ НЕПРЕРЫВНОГО ТИПА	159
Глава 6. Анализ линейных цепей	159
6.1. Назначение и классификация линейных цепей.....	159
6.2. Параметры и характеристики линейных цепей	160
6.3. Частотные и временные характеристики двух типовых звеньев.....	168
6.4. Анализ многокаскадных линейных цепей	172
6.5. Матричный анализ линейных цепей.....	174
6.6. Устойчивость линейных цепей.....	179
Глава 7. Прохождение сигналов через линейные цепи	183
7.1. Методы анализа линейных цепей.....	183
7.2. Воздействие синусоидального сигнала на колебательный контур.....	185
7.3. Прохождение сигнала с фазовой модуляцией через линейную цепь	197
7.4. Спектральный метод анализа линейной цепи.....	200
7.5. Прохождение случайного сигнала через линейную цепь	204
Глава 8. Фильтры и согласующие цепи.....	211
8.1. Назначение и классификация фильтров и согласующих цепей	211
8.2. Алгоритм синтеза фильтров и согласующих цепей	215
8.3. Параметрический синтез фильтра	220
8.4. Активные фильтры.....	223
8.5. Согласующие цепи.....	226
Глава 9. Нелинейные цепи	232
9.1. Особенности нелинейных цепей.....	232
9.2. Нелинейная цепь с фильтром и метод гармонической линеаризации	235

9.3. Спектральный метод анализа нелинейных динамических цепей при многочастотных сигналах.....	238
9.4. Преобразование частоты высокочастотных колебаний	242
Глава 10. Цепи распределенного типа.....	245
10.1. Назначение цепей распределенного типа	245
10.2. Распространение волн в длинной линии	247
10.3. Основные типы фидерных линий	259
10.4. СВЧ цепи и устройства на основе микрополосковых линий.....	263
10.5. Волноводы и объемные резонаторы	269
Глава 11. Цепи с переменными параметрами	276
11.1. Параметрические колебания	276
11.2. Управляемый реактивный элемент	277
11.3. Параметрическое возбуждение	279
ЧАСТЬ 4. ЦЕПИ ДИСКРЕТНОГО ТИПА И ЦИФРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ	285
Глава 12. Свойства и преобразования дискретных сигналов	285
12.1. Описание дискретного сигнала и его воздействие на линейную цепь	285
12.2. Связь между аналоговым и дискретным сигналами и быстрое преобразование Фурье	294
12.3. Дискретное преобразование Лапласа и метод Z-преобразования	299
Глава 13. Основы цифровой обработки сигналов	304
13.1. Структура и характеристики цифрового фильтра	304
13.2. Синтез цифрового фильтра	311
ЧАСТЬ 5. ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОСИГНАЛОВ.....	317
Глава 14. Генерирование высокочастотных колебаний	317
14.1. Назначение, классификация и принцип генерации высокочастотных колебаний	317
14.2. Фазовая плоскость.....	321
14.3. Основное уравнение автогенератора	324
14.4. Стабильность частоты автогенераторов.....	328
14.5. Фазовая автоподстройка частоты колебаний.....	333
Глава 15. Усиление мощности высокочастотных колебаний.....	340
15.1. Принципы усиления высокочастотных колебаний	340
15.2. Основы теории высокочастотного генератора	343

15.3. Транзисторные высокочастотные усилители мощности.....	357
Глава 16. Модуляция высокочастотных колебаний.....	384
16.1. Амплитудная модуляция	384
16.2. Частотная и фазовая модуляции	396
16.3. Импульсная модуляция	401
ЧАСТЬ 6. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА.....	410
Глава 17. Радиопередающие устройства	410
17.1. Назначение и классификация радиопередатчиков	410
17.2. Каскады, блоки и структурная схема радиопередатчика.....	411
17.3. Параметры радиопередатчика	415
17.4. Суммирование мощностей сигналов генераторов	423
17.5. Цифровой синтезатор частот.....	432
17.6. Радиовещательные и телевизионные радиопередатчики	434
17.7. Радиопередатчики различных систем радиосвязи	442
Глава 18. Радиоприемные устройства.....	449
18.1. Помехи и критерии приема радиосигналов	449
18.2. Линейный тракт радиоприемника	455
18.3. Демодуляция радиосигнала	459
18.4. Оптимальная обработка сигналов.....	475
18.5. Типовая структурная схема радиоприемника.....	486
ЧАСТЬ 7. СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ	489
Глава 19. Принципы построения систем радиосвязи	489
19.1. Классификация и основные параметры систем радиосвязи	489
19.2. Методы множественного доступа к каналу радиосвязи.....	492
Глава 20. Спутнико-космические системы радиосвязи.....	500
20.1. Классификация и основные параметры систем космической радиосвязи	500
20.2. Расчет космической линии радиосвязи.....	505
20.3. Примеры систем космической радиосвязи.....	510
Глава 21. Системы с использованием наземных средств.....	517
21.1. Система сотовой радиосвязи.....	517
21.2. Система радиосвязи производственного назначения	518
21.3. Перспективы развития радиоэлектроники и связи.....	531
Приложения	533
Список литературы	536