

УДК 621.382

ББК 38.852

А65

Рецензенты: начальник кафедры инфокоммуникационных систем и технологий Воронежского института МВД России, доктор техн. наук, профессор *О. И. Бокова*; профессор кафедры конструирования и проектирования радиоэлектронной аппаратуры Воронежского государственного технического университета, доктор техн. наук, профессор *О. Ю. Макаров*;

Андреев Р. Н., Краснов Р. П., Чепелев М. Ю.

А65 Теория электрической связи: курс лекций. Учебное пособие для вузов. – Горячая линия–Телеком, 2014. – 230 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0381-4.

Приведены общие сведения о статистической теории передачи сигналов. Рассмотрены математические модели сигналов, способы и виды аналоговой и цифровой модуляции, описываются принципы Фурье-анализа, теории информации. Приведены способы кодирования сигналов источника. Дан анализ методов оценки эффективности систем связи. Обсуждаются вопросы помехоустойчивого кодирования, реализации методов оптимального приема и обработки сигналов. Представлены общие принципы построения многоканальных систем связи.

Для студентов и курсантов вузов, обучающихся по направлению «Инфокоммуникационные технологии».

ББК 38.852

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Учебное издание

**Андреев Роман Николаевич, Краснов Роман Петрович,
Чепелев Михаил Юрьевич**

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВЯЗИ: КУРС ЛЕКЦИЙ

Учебное пособие

Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышова
Обложка художника О. В. Карповой

Подписано в печать 05.02.2014. Формат 60×88/16. Уч. изд. л. 14,38. Тираж 500 экз. (1-й завод 100 экз.)
ООО «Научно-техническое издательство «Горячая линия – Телеком»

ISBN 978-5-9912-0381-4

© Р. Н. Андреев, Р. П. Краснов,
М. Ю. Чепелев, 2014

© Издательство «Горячая линия – Телеком», 2014

Оглавление

Введение	3
1. Информация и информационные системы	4
1.1. Основные понятия и определения	4
1.2. Контрольные вопросы	10
2. Математические модели детерминированных сигналов	11
2.1. Принципы Фурье-анализа сигналов	11
2.2. Разложение в ряд Фурье	12
2.3. Интеграл Фурье	14
2.4. Свойства преобразования Фурье	16
2.5. Полезные функции	17
2.5.1. Дельта-функция	17
2.5.2. Спектр синусоидального и косинусоидального сигналов	18
2.5.3. Спектр последовательности прямоугольных импульсов	18
2.6. Энергетическое толкование спектра сигнала	20
2.7. Практическая ширина спектра сигнала	22
2.8. Применение методов Фурье к анализу линейных систем	23
2.8.1. Свертка	23
2.8.2. Графическая иллюстрация свертки	25
2.8.3. Свертка по времени	26
2.8.4. Свертка по частоте	27
2.9. Контрольные вопросы	27
3. Математические модели случайных сигналов	28
3.1. Случайные сигналы и их вероятностные характеристики	28
3.2. Числовые характеристики случайного процесса	30
3.3. Стационарные случайные процессы	32
3.4. Свойства корреляционной функции стационарного случайного процесса	33
3.5. Эргодичность стационарных процессов	35
3.6. Спектральная плотность случайного процесса	36
3.7. Широкополосные и узкополосные процессы	37

3.8. Эффективная ширина спектра случайного процесса . .	38
3.9. Контрольные вопросы	39
4. Модуляция сигналов	40
4.1. Основные понятия	40
4.2. Амплитудная модуляция	41
4.3. Угловая модуляция	45
4.4. Импульсная модуляция	48
4.5. Векторное представление сигналов	50
4.6. Детектирование высокочастотных колебаний	52
4.7. Цифровая модуляция	55
4.7.1. Амплитудная манипуляция, ASK	56
4.7.2. Фазовая манипуляция, PSK	57
4.7.3. Частотная манипуляция, FSK	59
4.7.4. Амплитудно-фазовая манипуляция, АРК	60
4.8. Контрольные вопросы	61
5. Квантование сигналов	62
5.1. Способы квантования сигналов	62
5.2. Дискретизация по времени	63
5.3. Равномерная дискретизация	64
5.3.1. Частотный критерий Котельникова–Найквиста (те- орема отсчетов)	64
5.3.2. Корреляционный критерий Железнова	66
5.3.3. Критерий допустимого отклонения	67
5.4. Равномерное квантование	70
5.5. Неравномерное квантование	72
5.6. Контрольные вопросы	73
6. Кодирование источника. Основы теории информа- ции	75
6.1. Дискретные источники информации	75
6.1.1. Количество информации и энтропия	76
6.1.2. Передача информации по каналу связи	82
6.2. Оптимальное кодирование двоичного источника	88
6.3. Алгоритмы кодирования дискретных источников	93
6.3.1. Алгоритм кодирования Хаффмена	93
6.3.2. Алгоритм кодирования Шеннона–Фано	94
6.3.3. Алгоритм Лемпела–Зива	95
6.4. Кодирование непрерывных источников	96
6.4.1. Энтропия непрерывной случайной величины и её свойства	96
6.4.2. Пропускная способность непрерывного канала связи	100
6.4.3. Обмен мощности сигнала на ширину его спектра . . .	101

6.4.4. Эпсилон-энтропия источника непрерывных сообщений	102
6.5. Контрольные вопросы	104
7. Анализ эффективности телекоммуникационных систем	106
7.1. Показатели эффективности телекоммуникационных систем	106
7.2. Эффективность систем передачи дискретных сообщений	108
7.3. Эффективность аналоговых систем передачи	108
7.4. Способы повышения эффективности телекоммуникационных систем	109
7.4.1. Перераспределение плотностей вероятностей элементов сообщения	110
7.4.2. Декорреляция сообщений	111
7.4.3. Оптимальное статистическое кодирование	112
7.5. Контрольные вопросы	115
8. Канальное кодирование	116
8.1. Основные понятия и определения	116
8.2. Линейные блочные коды	118
8.2.1. Кодирование сообщений. Производящая матрица ..	118
8.2.2. Пример генерации кода (6, 3)	120
8.2.3. Декодирование сообщений. Проверочная матрица ..	122
8.2.4. Общие принципы помехоустойчивого кодирования .	123
8.2.5. Декодирование с исправлением ошибок	124
8.2.6. Пример декодирования с исправлением ошибок для кода (6,3)	127
8.2.7. Совершенные и квазисовершенные коды. Код Хэмминга	128
8.2.8. Оценка возможностей кода	132
8.3. Циклические коды	133
8.3.1. Общие свойства циклических кодов	133
8.3.2. Кодирование сообщений	134
8.3.3. Декодирование сообщений	138
8.4. Рекуррентные коды	140
8.5. Сверточные коды	142
8.5.1. Кодирование сообщений	142
8.5.2. Декодирование сообщений. Мягкое и жесткое декодирование	148
8.6. Контрольные вопросы	151
9. Теория помехоустойчивости систем связи	153
9.1. Задачи оптимального приема информации	153

9.2. Фильтрация сигналов	155
9.2.1. Частотная фильтрация	156
9.2.2. Метод накопления	156
9.2.3. Корреляционная фильтрация	158
9.2.4. Согласованная фильтрация	159
9.3. Оптимальный прием сигналов при наличии помех	160
9.4. Обнаружение сигналов	165
9.4.1. Оптимальное обнаружение полностью известного сигнала (когерентный прием)	166
9.4.2. Корреляционный когерентный прием	167
9.4.3. Согласованная фильтрация при когерентном приеме	170
9.4.4. Примеры синтеза согласованных фильтров	173
9.4.5. Оптимальное обнаружение сигнала со случайной начальной фазой (некогерентный прием)	176
9.4.6. Корреляционный некогерентный прием	178
9.4.7. Согласованная фильтрация при некогерентном приеме	180
9.4.8. Оптимальное обнаружение сигналов со случайной амплитудой и начальной фазой	181
9.5. Различение сигналов	182
9.5.1. Когерентное различение сигналов	183
9.5.2. Некогерентное различение сигналов	188
9.5.3. Различение сигналов в условиях многолучевости ...	192
9.6. Прием оптических сигналов	194
9.7. Контрольные вопросы	197
10. Многоканальные системы связи	199
10.1. Линейное уплотнение и разделение каналов	202
10.1.1. Системы с временным разделением каналов (ВРК)	203
10.1.2. Системы с частотным разделением каналов (ЧРК)	205
10.1.3. Системы с кодовым разделением каналов (КРК) ..	208
10.1.4. Системы с поляризационным и пространственным разделением каналов	211
10.2. Нелинейное уплотнение и разделение каналов	213
10.2.1. Комбинационное разделение каналов (КРК)	213
10.2.2. Мажоритарное разделение каналов (МРК)	215
10.3. Взаимные помехи между каналами	218
10.3.1. Переходные затухания на ближнем и дальнем конце	219
10.3.2. Пропускная способность многоканальных систем ..	221
10.4. Способы увеличения дальности связи	222
10.5. Контрольные вопросы	225
Список литературы	226