

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
<b>1. Спектрально-временные характеристики сигналов</b> .....	<b>4</b>
1.1. Сообщение, сигнал, помеха .....	4
1.2. Сигнал и помеха как случайные процессы .....	12
1.2.1. Стационарные и эргодические случайные процессы .....	21
1.3. Векторное пространство и пространство функций ...	23
1.3.1. Скалярное произведение и расстояние для двумерных векторов .....	24
1.3.2. Ортонормированный базис .....	28
1.3.3. Переход от векторного пространства к пространству функций .....	30
1.3.4. Система ортонормированных функций .....	33
1.4. Разложение сигналов по системам ортогональных функций .....	38
1.4.1. Действительное разложение сигнала в ряд Фурье .....	39
1.4.2. Четная и нечетная функции .....	43
1.4.3. Разложение сигнала с периодом, не равным 2 ..	45
1.4.4. Представление сигналов в комплексной форме.	46
1.4.5. Разложение сигнала в комплексный ряд Фурье	49
1.4.6. Основные свойства разложения в ряд Фурье ...	54
1.4.7. Примеры спектров периодических сигналов ...	57
1.5. Интегральное преобразование Фурье .....	61
1.5.1. Свойства преобразования Фурье .....	63
1.5.2. Дельта-функция и белый шум .....	66
1.5.3. Спектр синусоиды .....	70
1.5.4. Примеры спектров непериодических сигналов..	71
1.5.5. Ограниченная последовательность прямоугольных импульсов .....	72

1.6. Распределение мощности в спектре сигнала, равенство Парсеваля.....	74
1.7. Ширина спектра сигнала .....	76
1.8. Дискретное преобразование Фурье .....	80
1.8.1. Свойства дискретного преобразования Фурье ..	84
1.9. Быстрое преобразование Фурье.....	86
1.9.1. Анализ ДПФ .....	87
1.9.2. Алгоритм БПФ для ряда из четырех членов ...	89
1.9.3. Обобщение алгоритма БПФ.....	92
1.9.4. Перестановка разрядов и техника сортировки ..	95
1.10. Вейвлет-анализ сигналов .....	96
1.10.1. Непрерывное вейвлет-преобразование .....	96
1.10.2. Кратномасштабное представление функций ...	99
1.10.3. Представление функций вейвлетами .....	103
1.10.4. Вейвлет-ряды дискретного времени .....	106
1.10.5. Дискретное вейвлет-преобразование .....	108
1.10.6. Гладкость базисных функций.....	112
Краткие итоги .....	114
Практические задания .....	117
<b>2. Дискретное представление сигнала .....</b>	<b>120</b>
2.1. Сообщения, знаки, символы .....	120
2.2. Теорема о дискретном представлении. Свертка. Ряд Котельникова .....	122
2.2.1. Свертка.....	123
2.2.2. Дискретизация дельта-импульсами — идеальная дискретизация .....	130
2.2.3. Естественная дискретизация .....	133
2.2.4. Наложение .....	136
2.2.5. Представление сигнала рядом Котельникова ..	139
2.2.6. Разложение сигналов по Гильберту. Огибающая, мгновенная фаза, мгновенная частота .....	142
2.3. Квантование.....	144
2.3.1. Отношение сигнал/шум для квантованных импульсов .....	145
2.3.2. Статистика амплитуд при передаче речи, равномерное квантование.....	146

---

2.3.3. Неравномерное квантование .....	148
2.3.4. Характеристики компандирования.....	149
2.3.5. Сегментная аппроксимация .....	150
2.4. Импульсно-кодовая модуляция .....	152
2.4.1. Сигналы ИКМ, спектральные параметры .....	153
2.4.2. Дифференциальная и адаптивная дифференциальная ИКМ .....	161
2.4.3. Дельта-модуляция .....	164
Краткие итоги .....	167
Практические задания .....	168
<b>3. Модулированные сигналы .....</b>	<b>170</b>
3.1. Сигналы импульсной модуляции .....	172
3.1.1. Спектры импульсно-модулированных сигналов	175
3.2. Сигналы амплитудной модуляции .....	177
3.2.1. Спектры АМС .....	181
3.2.2. Мощность АМС .....	183
3.2.3. Балансная и однополосная модуляция .....	184
3.2.4. Сигналы амплитудной манипуляции .....	187
3.3. Сигналы частотной и фазовой модуляции (угловая модуляция) .....	188
3.3.1. Фазомодулированные сигналы .....	189
3.3.2. Частотно-модулированные сигналы .....	191
3.3.3. Спектр сигналов угловой модуляции .....	192
3.3.4. Сравнение ФМС и ЧМС .....	196
3.4. Частотно-манипулированные сигналы .....	197
3.4.1. Частотно-манипулированные сигналы с разрывом фазы .....	198
3.4.2. Частотно-манипулированные сигналы с непрерывной фазой .....	199
3.4.3. Фазоманипулированные сигналы и сигналы относительной фазовой манипуляции .....	203
3.4.4. Квадратурное формирование сигналов .....	209
3.4.5. Квадратурная фазовая манипуляция со сдвигом	213
3.4.6. Сигналы амплитудно-фазовой манипуляции ...	215
3.4.7. Манипуляция с минимальным частотным сдвигом .....	219
3.5. Широкополосные сигналы .....	223

3.5.1. Классификация широкополосных сигналов . . . . .	225
3.5.2. Прямо последовательная схема формирования широкополосного сигнала . . . . .	226
3.5.3. Дискретно-кодированные сигналы . . . . .	228
3.6. Ортогональная модуляция с частотным разделением	230
3.6.1. Формирование символа OFDM, защита от межсимвольной интерференции . . . . .	232
3.6.2. Обобщенная схема и аналитическое представление сигналов OFDM . . . . .	235
3.6.3. Практическое использование OFDM . . . . .	244
3.7. Обобщенная характеристика ансамблей сигналов . . . . .	246
Краткие итоги . . . . .	251
Практические задания . . . . .	253
<b>4. Каналы связи . . . . .</b>	<b>255</b>
4.1. Непрерывный канал . . . . .	255
4.2. Дискретный канал непрерывного времени и регистрация сигналов . . . . .	258
4.2.1. Регистрация методом стробирования . . . . .	261
4.2.2. Регистрация интегральным методом . . . . .	262
4.2.3. Сравнительная характеристика помехоустойчивости методов . . . . .	264
4.3. Дискретный канал . . . . .	267
4.3.1. Дискретный канал без памяти . . . . .	267
4.3.2. Каналы с памятью . . . . .	269
4.4. Основные характеристики каналов связи . . . . .	274
4.4.1. Достоверность передачи данных . . . . .	276
4.4.2. Помехоустойчивость линии связи . . . . .	278
4.4.3. Затухание . . . . .	279
4.4.4. Полоса пропускания, АЧХ и ФЧХ канала . . . . .	281
4.4.5. Пропускная способность канала . . . . .	284
4.5. Интерфейсы и протоколы физического уровня . . . . .	286
4.5.1. Интерфейсы физического уровня, типы интерфейсов . . . . .	289
4.5.2. Протоколы модемов серии V . . . . .	296
4.6. Эхосигнал и методы борьбы с ним . . . . .	304
4.7. Протоколы ITU-T V21 и Bell 103J . . . . .	309
4.8. Протоколы ITU-T V.22, V.22bis . . . . .	310

---

4.9. Протоколы ITU-T V.26, V.26bis, V.26ter .....	312
4.10. Протоколы ITU-T V.32, V.32bis .....	312
4.11. Протокол ITU-T V.34 .....	318
4.11.1. Кадровая структура .....	319
4.11.2. Коммутация кадров отображения .....	320
4.11.3. Мультиплексирование битов основного и вспо- могательного каналов .....	322
4.11.4. Сигнальные созвездия .....	323
4.11.5. Схема кодера .....	323
Краткие итоги .....	330
Практические задания .....	332
Заключение .....	333
Литература .....	334