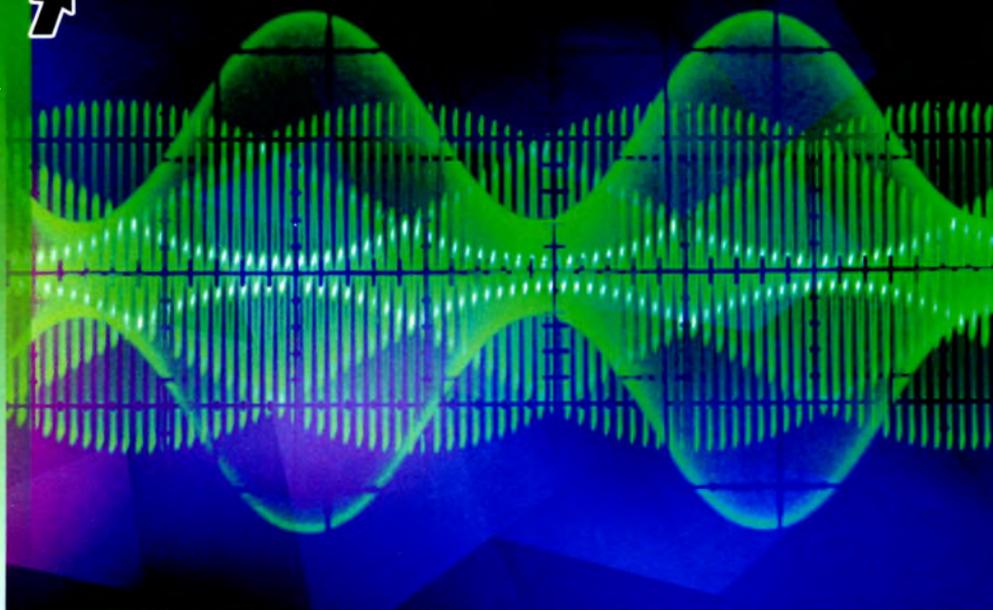


# УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

ДЛЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

специальность



# Теория сигналов электрической связи

Том 3



Модулированные сигналы

А. И. Приходько

## Оглавление

<b>Предисловие .....</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. Сигналы с аналоговой модуляцией .....</b>	<b>5</b>
1.1. Общие понятия о модуляции .....	5
1.1.1. Определение и основные виды модуляции.....	5
1.1.2. Статистические характеристики модулирующего сигнала .....	8
1.1.3. Статистические характеристики модулированного сигнала .....	9
1.2. Сигналы с амплитудной модуляцией (АМ).....	12
1.2.1. Определение, аналитическое выражение и временные диаграммы сигнала с АМ .....	12
1.2.2. Корреляционно-спектральные характеристики сигнала с АМ .....	14
1.2.3. Средняя мощность и пик-фактор АМ сигнала .....	19
1.2.4. Особенности формирования и обработки сигналов с АМ, преимущества и недостатки амплитудной модуляции .....	20
1.3. Сигналы с балансной модуляцией (БМ) .....	22
1.3.1. Определение, аналитическое выражение и временные диаграммы сигнала с БМ.....	23
1.3.2. Корреляционно-спектральные характеристики сигнала с БМ .....	23
1.3.3. Средняя мощность и пик-фактор БМ сигнала .....	27
1.3.4. Особенности формирования и обработки сигналов с БМ, преимущества и недостатки балансной модуляции .....	27
1.4. Сигналы с однополосной модуляцией (ОМ).....	28
1.4.1. Аналитические выражения, временные диаграммы и определение сигнала с ОМ .....	28

1.4.2. Корреляционно-спектральные характеристики сигнала с ОМ .....	33
1.4.3. Средняя мощность и пик-фактор ОМ сигнала .....	38
1.4.4. Особенности формирования и обработки сигналов с ОМ, преимущества и недостатки однополосной модуляции .....	40
1.5. Сигналы с угловой модуляцией (УМ).....	41
1.5.1. Определения, аналитические выражения и временные диаграммы сигналов с УМ.....	41
1.5.2. Сигналы с угловой тональной модуляцией .....	45
1.5.3. Автокорреляционная функция комплексной огибающей сигналов с УМ .....	53
1.5.4. Оценка корреляционно-спектральных характеристик сигналов с узкополосной УМ .....	55
1.5.5. Оценка корреляционно-спектральных характеристик сигналов с широкополосной УМ.....	60
1.5.6. Средняя мощность и пик-фактор сигналов с УМ .....	66
1.5.7. Особенности формирования и обработки сигналов с УМ, преимущества и недостатки угловой модуляции .....	67
1.6. Потенциальная помехоустойчивость оптимального приема модулированных сигналов.....	69
1.6.1. Выигрыш системы модуляции .....	69
1.6.2. Амплитудная модуляция.....	74
1.6.3. Балансная модуляция. ....	75
1.6.4. Однополосная модуляция .....	76
1.6.5. Фазовая модуляция .....	77
1.6.6. Частотная модуляция.....	78
1.6.7. Результаты анализа помехоустойчивости .....	79
1.7. Литература.....	84

<b>Глава 2. Оптимальный прием дискретных сигналов в непрерывных каналах связи .....</b>	<b>86</b>
2.1. Принципы построения и основные показатели эффективности систем передачи дискретных сигналов ....	86
2.1.1. Принципы построения систем передачи дискретных сигналов .....	86
2.1.2. Основные показатели эффективности систем передачи дискретных сигналов .....	89
2.2. Проверка статистических гипотез .....	92
2.2.1. Проверка двух простых гипотез по критерию Байеса .....	92
2.2.2. Частные случаи критерия Байеса .....	97
2.2.3. Проверка $M$ простых гипотез.....	98
2.2.4. Функционал отношения правдоподобия .....	103
2.2.5. Проверка сложных гипотез .....	104
2.3. Оптимальный приемник дискретных сигналов в гауссовском канале с постоянными параметрами .....	105
2.3.1. Модель сигнала на входе приемника.....	105
2.3.2. Функционал отношения правдоподобия .....	106
2.3.3. Алгоритм оптимального когерентного приема .....	109
2.3.4. Частные случаи когерентного алгоритма при приеме двоичных сигналов .....	112
2.4. Оптимальный приемник дискретных сигналов в гауссовском канале с постоянными параметрами на основе согласованных фильтров.....	117
2.4.1. Описание согласованного фильтра во временной области.....	118
2.4.2. Описание согласованного фильтра в частотной области.....	121
2.4.3. Структурные схемы приемников на основе согласованных фильтров .....	123

2.5. Помехоустойчивость оптимального приема дискретных сигналов в гауссовском канале с постоянными параметрами .....	128
2.5.1. Вероятность ошибки при приеме двоичных сигналов .....	128
2.5.2. Зависимость вероятности ошибки от вида двоичных сигналов .....	133
2.5.3. Вероятность ошибки при приеме $M$ -ичных ортогональных, симплексных и биортогональных сигналов .....	139
2.6. Оптимальный прием дискретных сигналов в гауссовском канале с неопределенной фазой .....	152
2.6.1. Модель сигнала на входе демодулятора .....	153
2.6.2. Функционал отношения правдоподобия .....	153
2.6.3. Алгоритм оптимального некогерентного приема ...	156
2.6.4. Частные случаи некогерентного алгоритма при приеме двоичных сигналов .....	162
2.7. Помехоустойчивость оптимального приема дискретных сигналов в гауссовском канале с неопределенной фазой .....	164
2.7.1. Вероятность ошибки при приеме двоичных сигналов с активной паузой .....	165
2.7.2. Вероятность ошибки при приеме двоичных сигналов с пассивной паузой .....	174
2.7.3. Вероятность ошибки при приеме $M$ -ичных ортогональных в усиленном смысле и эквидистантных сигналов .....	179
2.8. Литература.....	185
<b>Глава 3. Дискретные случайные последовательности и сигналы с импульсно-кодовой модуляцией .....</b>	<b>187</b>
3.1. Дискретные случайные последовательности .....	187
3.1.1. Законы распределения вероятностей и моментные функции.....	187

3.1.2. Стационарные последовательности .....	190
3.2. Однородные цепи Маркова .....	200
3.2.1. Вероятностные характеристики .....	201
3.2.2. Эргодические цепи.....	204
3.3. Сигналы с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ).....	218
3.3.1. Основные типы сигналов с ИКМ .....	218
3.3.2. Методы определения корреляционно- спектральных характеристик сигналов с ИКМ.....	225
3.3.3. Основные характеристики сигналов с ИКМ.....	234
3.3.4. Оптимальный прием сигналов с ИКМ в гауссовском канале связи с постоянными параметрами.....	245
3.4. Литература.....	257
<b>Глава 4. Сигналы с двоичной дискретной модуляцией.....</b>	<b>258</b>
4.1. Общие понятия о двоичной дискретной модуляции .....	258
4.1.1. Параметры сигнала с двоичной манипуляцией .....	258
4.1.2. Статистические характеристики манипулированного сигнала .....	260
4.2. Сигналы с двоичной амплитудной манипуляцией (АМ). 261	
4.2.1. Определение, аналитические выражения и метод формирования сигнала с АМ .....	261
4.2.2. Корреляционно-спектральные характеристики сигнала с АМ .....	263
4.2.3. Методы приема сигналов с АМ, преимущества и недостатки амплитудной манипуляции.....	268
4.3. Сигналы с двоичной частотной манипуляцией (ЧМ).....	272
4.3.1. Основные определения и методы формирования сигналов с ЧМ.....	272
4.3.2. Частотно-манипулированные сигналы с произвольной начальной фазой (ЧМ).....	279
4.3.3. Частотно-манипулированные сигналы с непрерывной фазой (ЧМНФ).....	290

4.3.4. Методы приема сигналов с ЧМ, преимущества и недостатки частотной манипуляции .....	297
4.4. Сигналы с двоичной фазовой манипуляцией (ФМ) .....	304
4.4.1. Определение, аналитические выражения и метод формирования сигнала с ФМ.....	304
4.4.2. Корреляционно-спектральные характеристики сигнала с ФМ.....	306
4.4.3. Когерентный прием сигналов с ФМ, преимущества и недостатки фазовой манипуляции.....	311
4.5. Сигналы с двоичной относительной фазовой манипуляцией (ОФМ).....	318
4.5.1. Определение, временные диаграммы и методы формирования сигнала с ОФМ.....	318
4.5.2. Корреляционно-спектральные характеристики сигнала с ОФМ.....	322
4.5.3. Когерентный прием сигналов с ОФМ .....	323
4.5.4. Некогерентный прием сигналов с ОФМ, преимущества и недостатки относительной фазовой манипуляции.....	331
4.6. Эффективность систем с двоичной дискретной модуляцией .....	335
4.7. Литература.....	337
<b>Глава 5. Сигналы с <i>M</i>-ичной дискретной модуляцией.....</b>	<b>339</b>
5.1. Сигналы с <i>M</i> -ичной амплитудной модуляцией (МAM)...	339
5.1.1. Определение, аналитические выражения и метод формирования сигнала с МAM .....	339
5.1.2. Корреляционно-спектральные характеристики сигнала с МAM.....	342
5.1.3. Когерентный прием сигналов с МAM, преимущества и недостатки <i>M</i> -ичной амплитудной манипуляции .....	346
5.2. Сигналы с <i>M</i> -ичной фазовой манипуляцией (МФМ).....	355

5.2.1. Определение, аналитические выражения и метод формирования сигнала с МФМ .....	355
5.2.2. Корреляционно-спектральные характеристики сигнала с МФМ.....	359
5.2.3. Когерентный прием сигналов с МФМ, преимущества и недостатки <i>M</i> -ичной фазовой манипуляции .....	363
5.3. Сигналы с <i>M</i> -ичной относительной фазовой манипуляцией (МОФМ) .....	376
5.3.1. Определение, аналитические выражения и метод формирования сигнала с МОФМ .....	376
5.3.2. Корреляционно-спектральные характеристики сигналов с МОФМ.....	378
5.3.3. Когерентный прием сигналов с МОФМ.....	379
5.3.4. Некогерентный прием сигналов с МОФМ, преимущества и недостатки <i>M</i> -ичной относительной фазовой манипуляции .....	383
5.4. Сигналы с квадратурной фазовой манипуляцией и родственными видами дискретной модуляции.....	389
5.4.1. Сигналы с квадратурной фазовой манипуляцией (КФМ).....	389
5.4.2. Сигналы с квадратурной фазовой манипуляцией со сдвигом (КФМС) .....	396
5.4.3. Частотно-манипулированные сигналы с минимальным сдвигом (ММС).....	399
5.4.4. Частотно-манипулированные сигналы с минимальным сдвигом и гауссовским скруглением импульсов (ГММС).....	407
5.5. Сигналы с квадратурной амплитудной модуляцией (КАМ).....	415
5.5.1. Определение, аналитические выражения и метод формирования сигнала с КАМ .....	416
5.5.2. Корреляционно-спектральные характеристики сигнала с КАМ.....	420

5.5.3. Когерентный прием сигналов с КАМ, преимущества и недостатки квадратурной амплитудной модуляции .....	424
5.6. Сигналы с <i>M</i> -ичной частотной манипуляцией (МЧМ) ....	433
5.6.1. Определение, аналитические выражения и метод формирования сигнала с МЧМ.....	433
5.6.2. Спектральные характеристики сигнала с МЧМ .....	435
5.6.3. Прием сигналов с МЧМ, преимущества и недостатки <i>M</i> -ичной частотной манипуляции .....	439
5.7. Эффективность систем с <i>M</i> -ичной дискретной модуляцией .....	447
5.8. Литература.....	450
<b>Приложение.....</b>	<b>453</b>
П.1. Справочные формулы .....	453
П.2. Единичная импульсная функция (дельта-функция Дирака) .....	454
П.3. Единичная ступенчатая функция (функция Хевисайда). ..	455
П.4. Функция знака (сигнум-функция) .....	455
П.5. Преобразование Фурье.....	455
П.6. Свойства преобразования Фурье .....	457
П.7. Преобразование Фурье неинтегрируемых сигналов .....	459
П.8. Преобразование Гильберта.....	460
П.9. Свойства преобразования Гильберта .....	461