

И. В. Комаров
С. М. Смольский

Основы теории радиолокационных систем с непрерывным излучением частотно-модулированных колебаний

Москва
Горячая линия - Телеком
2010

УДК 621.396.962.25

ББК 32.95

К63

Комаров И. В., Смольский С. М.

К63 Основы теории радиолокационных систем с непрерывным излучением частотно-модулированных колебаний. М.: Горячая линия Телеком, 2010. — 392 с.; ил.

ISBN 978-5-9912-0103-2.

Рассмотрены основы теории радиолокационных систем с непрерывным излучением и с частотной модуляцией колебаний (ЧМР/С), а также основы теории радионavigационных генераторов ЧМР/С и излучающих ЧМ антенн. Такие системы используются для самых разнообразных целей, но наиболее широкое применение они находят в системах ближнего действия при расстояниях между взаимодействующими объектами от крайних небольшого до нескольких километров.

Книга предназначена для научных работников и специалистов, знакомых с принципами действия радиолокационных систем и желающих изучить основы теории радиолокационных систем с непрерывным излучением и с частотной модуляцией колебаний, а также для специалистов, занимающихся теорией автоколебательных систем, в частности автодвигательного типа. Издание будет полезно аспирантам и студентам старших курсов при изучении указанных вопросов.

ББК 32.95

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Научное издание

Комаров Игорь Васильевич, Смольский Сергей Михайлович

Основы теории радиолокационных систем с непрерывным излучением частотно-модулированных колебаний

Редактор *Ю. Н. Чернышова*

Художник *В. Е. Ситникова*

Компьютерная верстка *Ю. Н. Чернышова*

Подписано в печать 30.05.2009. Формат 60×90 1/16. Гарнитура «Смирная Модерн». Мел.зек. л. 24,5. Тираж 4000 экз. (1-й завод 500 экз.). Изд. № 90103.

ISBN 978-5-9912-0103-2 © И. В. Комаров, С. М. Смольский, 2010

© Оформление издательства
«Горячая линия Телеком», 2010

Оглавление

Предисловие	3
Предисловие к американскому изданию	5
Часть I. СТРУКТУРА И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЧМ РЛС И УСТРОЙСТВ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ	16
Глава 1. Введение в технику ЧМ РЛС ближнего действия с непрерывным излучением	17
1.1. Краткая история	17
1.2. Классификация ЧМ РЛС ближнего действия	20
1.2.1. Радиолокаторы малых и средних высот и датчики высоты	22
1.2.2. Уровнемеры	24
1.2.3. Дальномеры для геодезических измерений	26
1.2.4. Измерение малых перемещений	27
1.2.5. Навигационные ЧМ РЛС	29
1.2.6. Трансформные РЛС	30
1.2.7. Охранные системы	31
1.2.8. Датчики присутствия	32
Глава 2. Основы теории ЧМ РЛС ближнего действия	33
2.1. Принципы действия и принципиальная структурная схема ЧМ РЛС	33
2.2. Типовые структурные схемы ЧМ РЛС ближнего действия	37
2.2.1. Схема с раздельными передающей и приемной антеннами и ненулевой промежуточной частотой ближнего действия	37
2.2.2. Схема с ненулевой промежуточной частотой и сложной частотной модуляцией	38
2.2.3. Схема с одной приемно-передающей антенной	39
2.2.4. Схема на выходе с одной приемно-передающей антенной	41
2.3. Общие выражения для излучаемого, отраженного и преобразованного сигналов	42
2.4. Преобразованный сигнал при модуляции периодической функцией. Общие соотношения	44

2.5. Преобразованный сигнал при модуляции суммой двух периодических функций (двойная частотная модуляция). Общие соотношения	49
2.6. Преобразованный сигнал при модуляции модулированной периодической функцией. Общие соотношения	51
2.7. Структурные схемы ультразвуковых ЧМ РЛС. Особенности преобразованного сигнала	52
Глава 3. Характеристики преобразованного сигнала при различных законах модуляции частоты передатчика	55
3.1. Гармоническая модуляция	55
3.1.1. Синусоидальная модуляция	55
3.1.2. Двойная синусоидальная модуляция	60
3.2. Линейная модуляция	61
3.2.1. Модуляция по закону несимметричной пилообразной функции	62
3.2.2. Модуляция по законам равнобедренной и симметричной пилообразных функций	69
3.3. Дискретная модуляция	72
3.4. Влияние нелинейности модуляционной характеристики передатчика на параметры преобразованного сигнала	76
Глава 4. Способы интегральной обработки преобразованного сигнала	80
4.1. Влияние ПАМ излучаемого сигнала на работу приемника ЧМ РЛС	83
4.2. Способы уменьшения влияния сигнала ПАМ на работу приемника	87
4.3. Стабилизация девиации частоты	93
4.4. Частотная обработка преобразованного сигнала ...	97
4.4.1. Определение дальности путем подсчета числа нулей преобразованного сигнала за период модуляции	97
4.4.2. Измерение мгновенной частоты	101
4.4.3. Фиксация мгновенной частоты преобразованного сигнала	102
4.4.4. Использование девиации частоты преобразованного сигнала	104
4.4.5. Применение двойной синусоидальной модуляции	108
4.4.6. Одноантенный вариант при «нулевой» промежуточной частоте	112

4.4.7. Фиксация девиации частоты преобразованного сигнала.....	114
4.5. Фазовая обработка преобразованного сигнала.....	119
Глава 5. Способы спектральной обработки преобразованного сигнала.....	127
5.1. Разрешающая способность по дальности. Возможность ее увеличения.....	132
5.2. Обзор диапазона измеряемых дальностей.....	139
5.3. Спектральная обработка с использованием сигнала паразитной амплитудной модуляции.....	151
5.4. Использование для обработки отдельных составляющих спектра преобразованного сигнала.....	153
5.4.1. Формирование дискриминационной характеристики.....	153
5.4.2. Фазовая обработка отдельных составляющих спектра.....	156
Часть II. ПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ЧМ РЛС	168
Глава 6. Анализ частотно-модулированных задающих генераторов методом символических укороченных уравнений.....	175
6.1. Метод символических укороченных уравнений для управляемых автоколебательных систем произвольного вида.....	176
6.2. Метод символических укороченных уравнений для автономных ЧМ систем.....	183
6.3. Примеры получения укороченных уравнений простейших ЧМ систем.....	188
6.3.1. Дифференциальное уравнение параллельного консервативного LC-контура с переменной емкостью и активным двухполюсником.....	188
6.3.2. Дифференциальное уравнение параллельного диссипативного LC-контура с переменной емкостью и активным двухполюсником.....	190
6.3.3. Укороченные уравнения задающих ЧМ генераторов при синусоидальной модуляции частоты.....	191
6.3.4. Укороченные уравнения задающих ЧМ генераторов при произвольном законе модуляции частоты.....	195
6.4. Укороченные уравнения преобразователя частоты с задающим ЧМ генератором.....	197
6.5. Краткие выводы.....	199
Глава 7. Паразитная модуляция.....	201
7.1. Изменение амплитуды выходного сигнала ЧМ ЗГ при дискретной перестройке частоты.....	202

7.2. Паразитная амплитудная модуляция в идеальных ЧМ контурах	210
7.3. ПАМ выходного сигнала в задающих ЧМ генераторах ближних РЭС	214
7.4. ПАМ при перестройке частоты варикапами	224
7.5. ПАМ в задающих генераторах при различных законах модуляции частоты	231
7.5.1. Случай синусоидальной модуляции частоты	233
7.5.2. Случай манипуляции частоты колебаний	233
7.5.3. Случай модуляции частоты колебаний по двубообразному закону по несимметричной форме	234
7.5.4. Случай модуляции частоты колебаний по симметричному пилообразному закону	235
7.6. Краткие выводы	235
Глава 8. Нелинейность модуляционной характеристики задающих ЧМ генераторов и ее линеаризация	238
8.1. Нелинейность зависимости частоты от управляющего напряжения на варикапе при больших перестройках	240
8.2. Нелинейные искажения при частотной модуляции с помощью варикапов	247
8.2.1. Нелинейные искажения при емкостной связи варикапа с контуром	248
8.2.2. Нелинейные искажения при автотрансформаторной связи варикапа с контуром	251
8.2.3. Нелинейные искажения в случае вырезанного контура при учете высокочастотного напряжения на варикапе	252
8.3. Линеаризация зависимости частоты задающего ЧМ генератора от модулирующего напряжения	251
8.4. Методика инженерного расчета диворно-резистивных корректирующих цепей	260
8.5. Уменьшение нелинейных искажений корректирующего сигнала	263
8.6. Краткие выводы	266
Глава 9. Теория одноконтурных ЧМ автодинов и оптимизация режима	268
9.1. Краткий обзор литературы по автодинам приемопередатчикам	269
9.2. Модель отраженного сигнала для одночастотного и ЧМ автодинов	278

9.3. Метод символических укороченных уравнений для ЧМ автодинных систем	281
9.4. Укороченные дифференциальные уравнения одноконтурного транзисторного автодина	286
9.5. Теория ЧМ автодинов для малых отраженных сигналов	291
9.5.1. Линеаризованные дифференциальные уравнения ЧМ автодинов для малых отраженных сигналов	292
9.5.2. Эквивалентные схемы ЧМ автодинов для малых отраженных сигналов	294
9.5.3. Форма и спектр выходного сигнала одночастотного ЧМ автодина	297
9.5.4. Форма и спектр высокочастотного сигнала ЧМ транзисторного автодина	303
9.6. Коэффициенты передачи ЧМ автодина по напряжению и ток и оптимизация режима при наличии ПАМ	306
9.6.1. Случай безинерционного активного элемента	307
9.6.2. Случай высоких частот (инерционного активного элемента)	311
9.6.3. Выбор режима с высокой автодиной чувствительностью	312
9.7. Краткие выводы	313
Глава 10. Автодинные системы с цепями стабилизации амплитуды и с расширенной полосой перестройки	316
10.1. Задающий генератор со стабилизацией амплитуды и с трансформаторной связью с выходом	317
10.2. Проектирование простой стабилизирующей цепи	321
10.2.1. Методика расчета перестраиваемого ЗГ со стабилизирующей цепью	323
10.2.2. Устойчивость гармонических колебаний в автодине с цепью стабилизации режима	325
10.3. Автодинный режим ЧМ ЗГ с целью стабилизации амплитуды	330
10.4. Краткие выводы	338
Глава 11. Автодинные режимы задающих генераторов при больших активных помехах	340
11.1. Общие свойства автодинных режимов одноконтурного синхронизированного автогенератора	342
11.1.1. Укороченные уравнения синхронизированного автогенератора	342

11.1.2. Укороченные уравнения в нормированных параметрах	344
11.1.3. Стационарные синхронные режимы	346
11.1.4. Переходные процессы при синхронизме	349
11.1.5. Бифуркационные диаграммы захватываемого автодвигла	353
11.2. Коэффициент передачи автодвигла при воздействии синхронной возмехи	356
11.3. Бифуркации периодических движений в синхронизированном автодвигле	362
Литература	367
Приложение А. Рецензия на книгу «Fundamentals of Short-Range FM Radar»	373
Приложение Б. Перечень обозначений	379