

УДК 621.396.93/.96 (075.8)

ББК 32.84

В26

Р е ц е н з е н т ы:

гл. конструктор направления АО «Российские космические системы»,
доктор техн. наук *А. И. Жодзишский*; доктор техн. наук,
профессор *В. Е. Фарбер*

Вейцель В.А.

В26

Теория и проектирование радиосистем радиоуправления и передачи информации. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2018. – 182 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0713-3.

Рассмотрены общие вопросы теории проектирования различных информационных радиоэлектронных систем и взаимосвязь различных подходов и методов анализа и синтеза радиосистем. На конкретных примерах показано использование общих методов физических и математических решений при проектировании радиосистем комплексов радиоуправления.

Для студентов, аспирантов и адъюнктов, обучающихся по направлению подготовки 24.03.02 – «Системы управления движением и навигация»; специальностям 24.05.06 – «Системы управления летательными аппаратами», 24.05.01 – «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов», 11.05.01 – «Радиоэлектронные системы и комплексы», будет полезна инженерам и научным работникам, чья деятельность связана с исследованием, разработкой и эксплуатацией радиосистем.

ББК 32.84

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Учебное издание

Вейцель Виктор Абрамович

**Теория и проектирование радиосистем
радиоуправления и передачи информации**

Учебное пособие для вузов

Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышова

Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано в печать 15.04.2018. Печать цифровая. Формат 60×88/16. Уч. изд. л. 11.74.

Тираж 500 экз. (1-й завод 100 экз.) Изд. №180713

ООО Научно-техническое издательство «Горячая линия – Телеком»

ISBN 978-5-9912-0713-3

© В. А. Вейцель, 2018

© Научно-техническое издательство
«Горячая линия – Телеком», 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение..... | 3 |
| I. ВОПРОСЫ ТЕОРИИ | 7 |
| 1. Теоретические основы системного проектирования | 7 |
| 1.1. Концептуальная и имитационная модели РЭС..... | 7 |
| 1.2. Общая концептуальная модель радиосигнала и вектор ее параметров | 9 |
| 1.2.1. Задание сигнала в виде случайного процесса..... | 10 |
| 1.2.2. Задание сигнала в виде квазигармонической функции | 10 |
| 1.2.3. Задание сигнала в виде квазидетерминированной функции времени..... | 11 |
| 1.3. Показатели качества радиоэлектронной системы | 11 |
| 1.3.1. Точность радиосистемы | 11 |
| 1.3.2. Аномальные ошибки и показатель надежности сис- темы | 12 |
| 1.3.3. Помехозащищенность РЭС..... | 13 |
| 1.3.4. Информативность РЭС..... | 13 |
| 1.3.5. Другие показатели качества РЭС | 14 |
| 2. Выбор сигнала при нескольких показателях качества..... | 15 |
| 2.1. Пример бинарного критерия (два показателя качества) | 15 |
| 2.2. Оптимизация выбора РЭС по критерию минимизации потерь (или по максимальной эффективности) | 16 |
| 3. Анализ как метод проектирования радиоэлектронных систем | 19 |
| 3.1. Общая характеристика методов анализа, применяемых при проектировании..... | 19 |
| 3.2. Спектральный анализ в проектировании РЭС..... | 22 |
| 3.2.1. Радиосигналы, передающие цифровую информацию (методы модуляции и спектральный анализ)..... | 22 |
| 3.2.2. Спектры одиночных и периодических кодовых слов | 23 |
| 3.3. Случайная модель КИМ сигнала | 26 |
| 3.4. Сигнал АИМ-1 и его спектр..... | 27 |
| 3.5. Спектры КИМ сигналов на несущей частоте..... | 29 |
| 3.5.1. Сигнал с модуляцией КИМ-АМ | 29 |
| 3.5.2. Сигнал с модуляцией КИМ-ЧМ | 30 |
| 3.5.3. Сигнал с модуляцией КИМ-ФМ | 31 |
| 4. Полососберегающие сигналы..... | 33 |

| | |
|--|----|
| 4.1. Сигнал КИМ-ДФМ..... | 33 |
| 4.2. Сигнал КИМ-ММС..... | 35 |
| 5. Выбор и оценка сигналов на этапе системного проектирования | 36 |
| 5.1. Постановка задачи по выбору радиосигнала методом сравнительного анализа..... | 36 |
| 5.2. Обработка входного процесса без демодулятора..... | 39 |
| 6. Функция различия и сигнальная функция — характеристики сигнала как переносчика сообщения..... | 41 |
| 6.1. Функция различия..... | 41 |
| 6.2. Сигнальная функция..... | 42 |
| 7. Виды сигнальных функций и критерии сравнения сигналов .. | 44 |
| 7.1. Сравнение сигналов..... | 44 |
| 7.2. Энергетические показатели надежности..... | 45 |
| 7.3. Априорные оценки для повышения надежности..... | 46 |
| 7.3.1. Априорные оценки..... | 46 |
| 7.3.2. Неоднозначные сигналы..... | 47 |
| 7.3.3. Критерий информативности..... | 47 |
| 7.3.4. Повышение точности и разрешение неоднозначности у многошкальных измерительных систем..... | 48 |
| 7.3.5. Неразрешаемая сигнальная функция..... | 50 |
| 7.4. Дискретная сигнальная функция (цифровая передача) | 50 |
| 8. Сигнальная функция и выбор сигнала..... | 51 |
| 8.1. Сигнальная функция как показатель качества сигнала | 51 |
| 8.2. Некоторые дополнения к вопросам теории сигнальных функций..... | 52 |
| 8.2.1. Сигналы с несколькими неизвестными параметрами | 52 |
| 8.2.2. Показатели качества при нескольких неизвестных параметрах..... | 53 |
| 8.2.3. Информативные параметры время и частота в узкополосном сигнале..... | 54 |
| 8.2.4. Функция неопределенности и теорема Вудворда.... | 55 |
| 8.2.5. Сравнение сигналов с параметром, меняющимся во время измерения..... | 55 |
| 8.3. Результаты первичного анализа..... | 57 |
| 9. Количественная оценка показателей качества радиосигналов | 59 |
| 10. Оценка пороговой энергии сигнала из условия практического отсутствия аномальных ошибок..... | 62 |
| 10.1. Максимальная помеховая функция..... | 62 |
| 10.2. Условия отсутствия аномальной ошибки..... | 63 |
| 10.3. Пороговое энергетическое отношение..... | 65 |

| | |
|--|----|
| 11. Оценка предельной точности измерения параметра сигнала . . | 66 |
| 11.1. Графическая оценка точности измерения | 66 |
| 11.2. Теоретический предел точности | 68 |
| <i>Контрольные вопросы по части 1</i> | 70 |
| II. ПРАКТИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ | 71 |
| 12. Этап системного проектирования и его задачи | 71 |
| 12.1. Система наведения | 71 |
| 12.2. Техническое задание на проект | 73 |
| 12.2.1. Пример формирования технического задания | 73 |
| 12.2.2. Тактические условия и требования для проекта радиодальномера на ПУ-1 | 74 |
| 12.2.3. Шумовая характеристика радиодальномера | 75 |
| 12.2.4. Особые условия и организованная помеха | 75 |
| 12.2.5. Возможности модернизации радиосистемы управления с целью добавления измерений радиальной скорости УО | 75 |
| 12.3. Структура дальномерного сигнала | 75 |
| 12.4. Концептуальная модель радиосигнала дальномера | 76 |
| 13. Выбор основных параметров радиодальномера для ПУ-1 | 77 |
| 13.1. Выбор частоты модуляции Ω | 77 |
| 13.2. Глубина амплитудной модуляции | 79 |
| 13.2.1. Спектр амплитудно-модулированного сигнала | 79 |
| 13.2.2. Параметры глубины амплитудной модуляции | 80 |
| 14. Теоретические оценки (надежность и точность) фазометра в проектируемом дальномере | 80 |
| 15. Оценка надежности | 82 |
| 16. Точность дальномера | 85 |
| 16.1. Предельная точность измерения дальности на фазовом дальномере | 85 |
| 16.2. Ошибки фазового дальномера | 86 |
| 17. Оптимальный синтез радиоэлектронной системы | 90 |
| 17.1. Постановка задачи оптимального синтеза приемной системы под заданный сигнал | 91 |
| 17.2. Преобразования первичной формы оптимального алгоритма | 93 |
| 18. Оптимальные алгоритмы определения фазы модулирующего процесса в дальномере ПУ-1 | 95 |
| 18.1. Аналитическое и графическое представление вариантов оптимального синтеза приемного устройства | 96 |

| | |
|--|-----|
| 18.2. Реализация схемы оптимального алгоритма для измерения фазы | 101 |
| 18.3. Синтез сигнала для измерения скорости | 103 |
| 18.4. Пример оптимального синтеза сигнала | 104 |
| 19. Априорная неопределенность | 107 |
| 19.1. Общие принципы преодоления априорной неопределенности | 107 |
| 19.2. Непараметрический подход при априорной неопределенности | 109 |
| 19.3. Адаптивный подход при априорной неопределенности | 111 |
| 19.4. Гарантированный подход при априорной неопределенности | 112 |
| 19.5. Рандомизированные алгоритмы | 114 |
| 19.6. Робастные алгоритмы | 115 |
| 19.7. Цифровая реализация алгоритма оптимального фазометра | 117 |
| 20. Следящий фазометр и фазовая автоподстройка частоты | 119 |
| 20.1. Фазовая автоподстройка (ФАП) | 120 |
| 20.2. Уравнения звеньев контура ФАП | 121 |
| 20.3. Инженерные решения | 124 |
| 20.4. Линейные уравнения режима слежения | 125 |
| 20.5. Шумовая ошибка слежения ФАП | 127 |
| 20.6. Установление режима слежения и динамические ошибки ФАП | 129 |
| 20.7. Нелинейные эффекты ФАП | 131 |
| 20.8. Некоторые общие проблемы проектирования фазовых следящих систем | 133 |
| 21. Стратегии дальнометра в борьбе с организованной прицельной помехой | 135 |
| 22. Рандомизированный алгоритм и его оптимизация | 138 |
| 23. Радиозвено в системе управления | 142 |
| III. ЗАДАЧИ И РЕШЕНИЯ | 147 |
| Литература | 164 |
| IV. ПОЛЕЗНЫЕ СОВЕТЫ ПРИ РАБОТЕ С ЗАДАНИЯМИ | 165 |