

Министерство образования и науки Российской Федерации

Ярославский государственный университет
им. П.Г. Демидова

Л.Н. КАЗАКОВ, Д.С. КУКУШКИН

СИНХРОНИЗАЦИЯ В СИСТЕМАХ РАДИОСВЯЗИ С ОРТОГОНАЛЬНЫМ ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ

Учебное пособие

*Рекомендовано
научно-методическим советом университета для студентов
направлений Радиофизика, Радиотехника, Инфокоммуникационные
технологии и системы связи*

Ярославль 2012

ББК 3841я73

К 14

УДК 621.396:621.3.029

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Б.И. Шахтарин;
кафедра Формирования колебаний и сигналов ФГБОУ ВПО «Национальный
Исследовательский Университет МЭИ».

Печатается при финансовой поддержке МИНОБРНАУКИ РФ в рамках
государственного задания на НИР Вузу на 2012 г. (контракт № 7.4563.2011 от
28.11.2011).

Казаков Л.Н., Кукушкин Д.С.

Синхронизация в системах радиосвязи с ортогональным частотным
разделением: Учеб. пособие. Ярославль, 2012. 161 с.

В пособии рассматриваются основы построения и функционирования
цифровых систем связи на основе сигналов с ортогональным частотным и
пространственным разделением. Приводится математическое описание
процессов в системе на основе многомерных сигналов. Рассматриваются
вопросы частотно-временной синхронизации, коррекции частоты и фазы на
основе многомерной фильтрации Калмана.

Предназначено для студентов и магистрантов направлений
Радиотехника, Радиофизика, Инфокоммуникационные технологии и системы
связи.

Ил. 48. Библиогр.: 35 назв.

ISBN 978-5-8397-0897-6

© Казаков Л.Н.,
Кукушкин Д.С., 2012
© Ярославский
государственный
университет, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Введение	5
Глава 1. Математическое описание процессов в системе передачи информации на основе многомерных сигналов	15
1.1. Постановка задачи	15
1.2. Математическая модель сигнала на выходе канала с ортогональным частотным разделением	16
1.3. Математическая модель сигнала на выходе канала с ортогональным частотным и пространственным разделением	24
1.3.1. Алгоритм пространственного разделения сигналов с использованием обратной матрицы канала	24
1.3.2. Особенности описания сигналов с ортогональным частотным и пространственным разделением	25
1.4. Влияние фазового шума на статистические характеристики сигналов с ортогональным частотным разделением	32
1.5. Выводы	36
Глава 2. Синтез алгоритма коррекции фазы на основе многомерного фильтра Калмана	
2.1. Постановка задачи	37
2.2. Математическая модель сигнала на входе системы коррекции фазы	37
2.3. Построение уравнения фильтрации и переход к структурной схеме системы	39
2.4. Анализ статистических характеристик системы коррекции фазы на основе численного решения разностного стохастического уравнения	47
2.5. Выводы	52
Глава 3. Исследование статистических характеристик системы коррекции на основе аппарата марковских процессов	56
3.1. Постановка задачи	
3.2. Математическая модель многоканального фазового	58

дискриминатора на основе предельной статистической аппроксимации	58
3.2.1. Эквивалентный фазовый дискриминатор для сигналов с ортогональным частотным разделением	59
3.2.2. Эквивалентный фазовый дискриминатор для сигналов с ортогональным частотным и пространственным разделением	60
3.3. Математическая модель системы коррекции фазы на основе кольца ФАПЧ с эквивалентным фазовым дискриминатором	75
3.3.1. Математическая модель системы коррекции фазы в форме векторного уравнения Колмогорова-Чепмена	85
3.3.2. Задача о среднем времени до срыва слежения	
3.4. Исследование статистических характеристик системы коррекции фазы	86
3.4.1. Анализ статистических характеристик	88
3.4.2. Предельно-достижимые статистические характеристики ...	90
3.6. Выводы	90
	102
Глава 4. Чувствительность синтезированного алгоритма к полиномиальному фазовому воздействию в условиях доплеровского рассеяния	116
4.1 Постановка задачи	
4.2. Разработка имитационной модели системы коррекции фазы	118
4.2.1. Случай сигналов с ортогональным частотным разделением сигналов	118
4.2.2. Случай сигналов с ортогональным частотным и пространственным разделением	119
4.2.2. Случай сигналов с ортогональным частотным и пространственным разделением	120
4.3. Методика проведения исследований статистических характеристик системы коррекции фазы	125
4.4. Исследование модели для различных входных воздействий	
4.4.1. Исследование чувствительности к составляющим различного порядка СПМ фазового шума	128
4.4.2. Случай фазового воздействия с СПМ различного порядка в условиях доплеровского рассеяния	130
4.4.2. Случай фазового воздействия с СПМ различного порядка в условиях доплеровского рассеяния	136
4.5. Сравнительный анализ результатов	

Заключение	141
Литература	147