

УДК 681.518.52

ББК 32.965

Ш32

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор *Н. Н. Удалов*;
доктор техн. наук, профессор *А. В. Пестряков*

Шахтарин Б. И.

Ш32 Анализ систем синхронизации при наличии помех. –
2-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком,
2016. – 360 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0610-5.

Дано систематизированное изложение результатов анализа и синтеза систем синхронизации непрерывного и дискретного характера. Используются несколько методов анализа: строгие методы на основе теории марковских процессов и цепей, приближенные методы усреднения и кумулянтов. Широко использованы численно-аналитические методы исследования. Синтез систем основан на теории оптимальной нелинейной фильтрации Стратоновича.

Для инженеров и научных работников, занимающихся анализом и синтезом нелинейных непрерывных и цифровых автоматических систем, будет полезна студентам и аспирантам вузов.

ББК 32.965

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Научное издание

Шахтарин Борис Ильич

Анализ систем синхронизации при наличии помех

Монография

2-е издание, переработанное и дополненное

Все права защищены.

Любая часть этого издания не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения правообладателя

© ООО «Научно-техническое издательство «Горячая линия – Телеком»

www.techbook.ru

© Б.И. Шахтарин

Оглавление

Предисловие автора ко второму изданию.....	3
Предисловие	5
Предисловие автора к первому изданию.....	7
Введение	10
Глава 1. Математическая модель ФАС и сигнала рассогласования	14
1.1. Функциональная и структурная схема ФАС. Основные определения и уравнения	14
1.2. Модель стохастической непрерывной ФАС в форме системы дифференциальных уравнений.....	18
1.3. Модель стохастической дискретной ФАС в форме системы разностных уравнений.....	24
1.4. Уравнение Фоккера–Планка–Колмогорова. Уравнения Понтрягина	26
1.5. Решение уравнения ФПК в стационарном режиме ...	28
1.6. Среднее значение и дисперсия сигнала рассогласования в стационарном и переходном режимах.....	34
1.7. Решение уравнения ФПК в переходном режиме.....	39
1.8. Статистические характеристики дискретных систем .	44
1.9. Решение второго уравнения Понтрягина	47
1.10. Среднее время до первого достижения границ интервала $(-s, s)$	50
1.11. Среднее время до срыва слежения в непрерывной ФАС	53
1.12. Начальные моменты времени до выхода за интервал $(-s, s)$	56
1.13. Статистические характеристики частотного рассогласования	59
1.14. Срыв слежения в дискретной ФАС первого порядка .	61
Глава 2. Анализ статистических характеристик ФАС..	64
2.1. Статистическая динамика ФАС с синусоидальной характеристикой фазового детектора	64

2.2. Статистическая динамика ФАС с прямоугольной характеристикой дискриминатора	84
2.3. Анализ ФАС с обобщенной характеристикой дискриминатора	88
2.4. Фазовые автоматические системы с кусочно-линейной и пилообразной характеристиками дискриминатора ..	93
Глава 3. Срыв слежения в непрерывной ФАС	98
3.1. Фазовые автоматические системы с синусоидальной характеристикой дискриминатора	98
3.2. Срыв слежения в системе с прямоугольной характеристикой детектора	112
3.3. Срыв слежения в ФАС с треугольной и пилообразной характеристиками дискриминатора	115
3.4. Математическое моделирование срывов слежения	121
3.5. Вероятность срыва слежения в системе первого порядка	133
3.6. Срыв слежения в системе второго порядка	148
Глава 4. Статистические характеристики частотного рассогласования (остаточной расстройки)	173
4.1. Статистические характеристики частотного рассогласования при синусоидальной характеристике фазового дискриминатора	173
4.2. Статистические характеристики расстройки по частоте ФАС с прямоугольной характеристикой дискриминатора	180
4.3. Статистические характеристики частотного рассогласования при наличии кусочно-линейной характеристики ФД	181
4.4. Частотное рассогласование в системах второго порядка	182
Глава 5. Статистические характеристики дискретных систем	186
5.1. Анализ стохастической дискретной ФАС при синусоидальной характеристике дискриминатора	186
5.2. Вычисление статистических характеристик ФАС приближенным методом	189
5.3. Моменты времени до срыва слежения в дискретной ФАС	200
Глава 6. Воздействие сигнала и узкополосного шума на нелинейную систему — демодулятор с обратной связью	204

6.1. Линейная модель узкополосного колебания	204
6.2. Модель Райса аномального (импульсного) шума на выходе демодулятора	207
6.3. Модель Хесса аномального шума и фильтрация аномального шума системой фазовой автоподстройки частоты	213
6.4. Пороговая (рабочая) характеристика демодулятора с ФАП	218
Глава 7. Воздействие на ФАС гармонической помехи и аддитивного шума	222
7.1. Модель входного сигнала	222
7.2. Модель системы	223
7.3. Уравнение Фоккера–Планка–Колмогорова	225
7.4. Уравнение Понтрягина	228
7.5. Среднее значение частотного рассогласования	230
7.6. Статистическая динамика фазовой автоподстройки при воздействии на нее гармонической помехи и шума (вторая форма усреднения)	232
Глава 8. Цифровые ФАС	244
8.1. Принципы работы некоторых типов ФАС	244
8.2. Математическая модель цифровой ФАС с прямоугольной нелинейностью	252
8.3. Статистические характеристики цифровых ФАС с прямоугольной нелинейностью	258
8.4. Математическая модель и характеристики цифровой ФАС с произвольной нелинейностью	271
8.5. Среднее время до срыва слежения	274
Глава 9. Построение оптимальных приемников на основе метода нелинейной оптимальной фильтрации	280
9.1. Критерий оптимума — максимум апостериорной вероятности сообщения	280
9.2. Основные положения нелинейной оптимальной фильтрации	281
9.3. Синтез фазовой автоподстройки	284
9.4. Синтез схемы Костаса	292
Глава 10. Синтез квазиоптимальных систем фазовой автоподстройки частоты	301
10.1. Синтез оптимальных непрерывных ФАП	302

10.2. Синтез оптимальных дискретных ФАП при аддитивных помехах	309
10.3. Синтез оптимальных дискретных ФАП при коррелированных флуктуационных помехах	315
10.4. Синтез оптимальных нелинейных ФАП	329
Приложения	335
1. Таблицы сумм некоторых рядов	335
2. Расчет средних значений $\overline{\sin ax}$, $\overline{\cos ax}$	335
3. Коэффициенты разложения ядра интегрального уравнения Колмогорова-Чепмена	337
4. Определение жордановой канонической формы матрицы перехода π	338
5. Вычисление матрицы переходных вероятностей полумарковского процесса	342
6. Вывод формулы Холмса	343
Литература	347