

УДК 621.391.037.37

ББК 32.811.3

А94

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор *А. С. Аджемов*;
канд. техн. наук, профессор *В. С. Сперанский*

Афанасьев А. А., Рыболовлев А. А., Рыжков А. П.

А94 Цифровая обработка сигналов. Учебное пособие для вузов. –
М.: Горячая линия – Телеком, 2019. – 356 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0611-2.

Изложены базовые теоретические и практические вопросы в области анализа, синтеза и экспериментального исследования систем цифровой обработки сигналов (ЦОС). Приведены основные методы расчета характеристик устройств ЦОС, показаны особенности их анализа в различных условиях функционирования, даны основные подходы к синтезу систем ЦОС, рассмотрены основные происходящие в них физические процессы. Изложенные теоретические сведения сопровождаются практическими примерами решения прикладных задач.

Для студентов вузов, обучающихся по укрупненной группе направлений подготовки 11.00.00 – «Электроника, радиотехника и системы связи», будет полезно для специалистов, занимающихся проектированием систем ЦОС.

ББК 32.811.3

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Учебное издание

Афанасьев Андрей Алексеевич, Рыболовлев Александр Аркадьевич,
Рыжков Александр Павлович

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

Учебное пособие для вузов

Редактор Ю. Н. Чернышов
Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышова
Обложка художника О. Г. Карповой

Подписано в печать 12.11.2016. Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 22,25.

Тираж 1000 экз. (3 завод. – 50 экз.). Изд. № 160611

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

ISBN 978-5-9912-0611-2

© А. А. Афанасьев, А. А. Рыболовлев,
А. П. Рыжков, 2017, 2019

© Издательство «Горячая линия – Телеком», 2019

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Дискретные и цифровые сигналы	6
1.1. Предмет и проблематика цифровой обработки сигналов	6
1.2. Функциональная схема системы ЦОС. Достоинства и недостатки ЦОС	8
1.3. Классификация сигналов и их математическое описание	10
1.4. Квантование чисел в ЦОС.....	13
1.5. Анализ шумов квантования сигналов.....	14
1.6. Представление и кодирование чисел в ЦОС	18
1.7. Типовые дискретные сигналы	24
1.8. Основные операции цифровой обработки сигналов...	26
1.9. Спектры непериодических дискретных сигналов и их свойства	29
1.10. Соотношение спектров непериодических аналоговых и дискретных сигналов	32
1.11. Спектры периодических дискретных сигналов	35
1.12. Характеристика спектрального представления различных классов сигналов на основе преобразований Фурье	43
1.13. Быстрое преобразование Фурье.....	45
1.13.1. Быстрое преобразование Фурье с прореживанием по времени.....	46
1.13.2. Быстрое преобразование Фурье с прореживанием по частоте	52
1.14. Дискретное косинусное преобразование	57
1.15. Дискретное преобразование Лапласа. Z-преобразование дискретных сигналов и его свойства	59
1.16. Связь между преобразованиями Лапласа, Фурье и z-преобразованием дискретных сигналов	63
1.17. Вейвлет-преобразование	65
1.17.1. Особенности применения и использования вейвлет-анализа.....	65
1.17.2. Непрерывный вейвлет-анализ.....	68
1.17.3. Дискретный вейвлет-анализ	72

Глава 2. Основы цифровой фильтрации	76
2.1. Дискретные системы	76
2.2. Принцип цифровой фильтрации	78
2.3. Математические модели и характеристики цифровых фильтров	79
2.4. Классификация цифровых фильтров	89
2.5. Структурные схемы фильтров	91
2.6. Простейшие цифровые фильтры и их характеристики	96
2.7. Расчет характеристик рекурсивного цифрового фильтра во временной, частотной и z -областях	109
2.8. Проектирование цифровых фильтров с конечной импульсной характеристикой	114
2.9. Элементы проектирования цифровых фильтров с бесконечной импульсной характеристикой	118
2.10. Специальные цифровые фильтры	122
2.10.1. Цифровые преобразователи Гильберта	123
2.10.2. Цифровые дифференциаторы и интеграторы	128
2.10.3. Цифровые согласованные КИХ-фильтры	131
2.11. Собственные шумы цифровых устройств	133
2.12. Адаптивные цифровые фильтры	139
Глава 3. Цифровая многоскоростная обработка сигналов	145
3.1. Методы преобразования частоты. Классификация систем многоскоростной цифровой обработки сигналов	145
3.2. Однократные системы интерполяции и децимации	146
3.2.1. Однократная система интерполяции	146
3.2.2. Однократная система децимации	151
3.3. Полифазные структуры систем интерполяции и децимации	155
Глава 4. Цифровой спектральный анализ	168
4.1. Задачи и особенности цифрового спектрального анализа	168
4.2. Классификация методов цифрового спектрального анализа	172
4.3. Непараметрический цифровой спектральный анализ	173
4.3.1. Цифровой спектральный анализ методами цифровой фильтрации	174
4.3.2. Цифровое спектральное оценивание на основе дискретного преобразования Фурье	175
4.3.3. Оконные функции	178

4.3.4. Цифровое спектральное оценивание методом усреднения модифицированных периодограмм	185
4.4. Параметрический цифровой спектральный анализ ..	187
4.4.1. Принцип параметрического спектрального оценивания	188
4.4.2. Параметрическое спектральное оценивание на основе моделей сигналов в виде реакции линейных цифровых фильтров	189
4.4.3. Параметрическое спектральное оценивание на основе модели авторегрессионного процесса	191
4.4.4. Параметрическое спектральное оценивание на основе модели процесса скользящего среднего	197
4.4.5. Параметрическое спектральное оценивание на основе модели процесса авторегрессии — скользящего среднего ..	198
Глава 5. Цифровая обработка речевого сигнала	200
5.1. Процесс речеобразования	200
5.2. Характеристики речевого сигнала	203
5.3. Метод линейного предсказания дискретного речевого сигнала	208
5.4. Эффективное кодирование речевого сигнала	213
5.4.1. Задачи, параметры и классификация кодеков речи ..	213
5.4.2. Методы кодирования формы волны речевого сигнала	216
5.4.3. Вокодерное кодирование	224
5.5. Гибридное кодирование речевого сигнала на основе метода линейного предсказания	227
5.5.1. Основные процедуры гибридного кодирования речевого сигнала	227
5.5.2. Кодирование речевого сигнала в системе связи стандарта GSM	237
5.5.3. Метод анализа через синтез	240
5.5.4. Кодирование речевых сигналов в системе связи стандарта TETRA	241
5.5.5. Стандарты G.728 и G.729	244
5.6. Кодирование широкополосного речевого сигнала	252
5.6.1. Стандарт G.722	253
5.6.2. Стандарт G.722.2	257
5.7. Оценка качества передачи речевого сигнала	263
Глава 6. Цифровая обработка изображений	269
6.1. Математические модели изображений	269
6.2. Описание получателя изображений	271
6.3. Стандарты кодирования изображений	273
6.3.1. Стандарты кодирования неподвижных изображений ..	273
6.3.2. Форматы представления неподвижного изображения ..	293

6.3.3. Принципы и особенности кодирования сигнала подвижного изображения	301
6.3.4. Стандарты кодирования сигнала подвижного изображения серий H.26x и MPEG	308
Глава 7. Цифровая модуляция и демодуляция	322
7.1. Полосовая модуляция и демодуляция	324
7.2. Узкополосная (импульсная) модуляция и демодуляция	334
7.3. Модуляция для волоконно-оптических линий связи .	342
Заключение	346
Основные сокращения	347
Условные обозначения	349
Литература	352