

УДК 681.3(075.8)

ББК 32.85я73

Ч-60

Рецензенты: Заслуженный деятель науки РФ, доктор техн. наук, профессор

Д. А. Безуглов, доктор техн. наук, доцент *В. А. Погорелов*

Чикалов А. Н., Соколов С. В., Титов Е. В.

Ч-60 Схемотехника телекоммуникационных устройств: Учебное пособие для вузов / Под редакцией С. В. Соколова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2016 – 322 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0514-6.

Последовательно изложены как принципы построения и работы основных типов аналоговых усилителей, так и наиболее часто используемых схем, построенных на их основе. Приведена и подробно рассмотрена схемотехника базовых цифровых функциональных элементов телекоммуникационных систем и систем обработки информации.

Материал, представленный в пособии, имеет практическую направленность и позволяет обеспечить формирование необходимых компетенций обучающихся.

Для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.03.02, 11.04.02 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» квалификации «бакалавр», «магистр» и 11.05.04 – «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи» квалификации «специалист», может быть также использовано для изучения дисциплины «Схемотехника» по направлению «Информатика и вычислительная техника».

ББК 32.85я73

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Учебное издание

Чикалов Андрей Николаевич, Соколов Сергей Викторович,

Титов Евгений Вадимович

Схемотехника телекоммуникационных устройств

Учебное пособие для вузов

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

© А. Н. Чикалов, С. В. Соколов, Е. В. Титов

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Список принятых сокращений.....	3
Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ	5
1.1. Основные определения.....	5
1.2. Классификация аналоговых электронных устройств	7
1.3. Основные технические показатели и характеристики аналоговых электронных устройств	8
1.3.1. Общие сведения. Стандартизация и унификация	8
1.3.2. Входное и выходное сопротивления. Коэффициенты усиления	9
1.3.3. Амплитудно- и фазочастотная характеристики	11
1.3.4. Переходная характеристика	14
1.3.5. Амплитудная характеристика и динамический диапазон ..	15
1.3.6. Нелинейные искажения	16
1.3.7. Коэффициент полезного действия.....	18
1.3.8. Собственные помехи.....	19
1.3.9. Специфические показатели электронных устройств	20
1.3.10. Стабильность показателей.....	20
Глава 2. ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ В УСИЛИТЕЛЯХ	22
2.1. Классификация обратных связей в усилителях.....	22
2.2. Анализ влияния отрицательной обратной связи на примере последовательной обратной связи по напряжению	23
2.3. Разновидности отрицательных обратных связей и анализ их влияния	29
Глава 3. УСТОЙЧИВОСТЬ УСИЛИТЕЛЕЙ.....	31
3.1. Определение устойчивости и условия устойчивости линейных усилителей. Теорема Ляпунова об устойчивости	31
3.2. Критерий устойчивости Найквиста	38
3.3. Анализ устойчивости усилителей по их логарифмическим частотным характеристикам	50
Глава 4. АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СХЕМ УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ.....	55
4.1. Усилительный каскад по схеме с общим эмиттером	55
4.1.1. Принцип работы и основные параметры	56
4.1.2. Понятие о классах усиления усилительных каскадов.....	58
4.1.3. Методы стабилизации рабочей точки (начальных условий работы каскада).....	64
4.2. Схемы стабилизации рабочей точки	65
4.3. Аперiodический усилительный каскад.....	68
4.4. Многокаскадные усилители	75

4.4.1. Типы усилителей.....	76
4.4.2. Усилители с RC-связями	76
4.4.3. Трансформаторная межкаскадная связь.....	80
4.4.4. Усилители с непосредственными межкаскадными связями.....	80
4.4.5. Усилители с гальваническими межкаскадными связями ..	82
4.4.6. Оптроны как элементы межкаскадных связей и гальванических развязок.....	83
Глава 5. ШИРОКОПОЛОСНЫЕ (ИМПУЛЬСНЫЕ) УСИЛИТЕЛЬНЫЕ КАСКАДЫ.....	85
5.1. Импульсный режим работы и цифровое представление преобразуемой информации	85
5.1.1. Основные сведения и определения.....	85
5.1.2. Описание импульсных сигналов.....	86
5.2. Цифровые ключи на биполярных транзисторах.....	88
5.3. Ненасыщенные цифровые ключи на биполярных транзисторах..	95
5.4. Частотная коррекция и основные принципы ее организации	96
5.5. Динамические искажения в схемах с обратными связями	99
Глава 6. ОКОНЕЧНЫЕ УСИЛИТЕЛЬНЫЕ КАСКАДЫ.....	104
6.1. Общие сведения об усилителях мощности (мощных выходных усилителях).....	104
6.2. Трансформаторные усилители мощности.....	106
6.2.1. Однотактный усилитель мощности.....	106
6.2.2. Двухтактные усилители мощности.....	108
6.3. Бестрансформаторные усилители мощности	114
Глава 7. СХЕМЫ НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ... ..	118
7.1. Инвертирующий усилитель на основе ОУ.....	118
7.2. Неинвертирующий усилитель на основе ОУ.....	120
7.3. Повторитель напряжения на основе ОУ	122
7.4. Сумматор напряжений (инвертирующий сумматор).....	122
7.5. Вычитающий усилитель (усилитель с дифференциальным входом).....	123
7.6. Суммирующе-вычитающее устройство	125
7.7. Интегрирующее устройство	126
7.8. Интегрирующий сумматор.....	127
7.9. Дифференцирующее устройство	128
7.10. Дифференцирующий сумматор	129
7.11. Нелинейные устройства на базе ОУ с нелинейной цепью обратной связи	129
7.12. Компараторы сигналов	134
Глава 8. УСТРОЙСТВА РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ, ПЕРЕМНОЖЕНИЯ И ДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ.....	139
8.1. Регуляторы усиления	139
8.1.1. Назначение и место включения	139

8.1.2. Потенциометрические и режимные регуляторы	140
8.1.3. Регуляторы в схемах на ОУ	143
8.2. Основные назначения и специфические показатели аналоговых перемножителей	145
8.3. Перемножители на дифференциальных каскадах с управляемым усилением	146
8.4. Перемножители и делители на основе управляемых сопротивлений	150
8.5. Другие принципы построения перемножителей	152
8.6. Применение аналоговых перемножителей	153
Глава 9. АКТИВНЫЕ ФИЛЬТРЫ	156
9.1. Общее математическое описание фильтров	157
9.2. Классификация фильтров по виду их амплитудно-частотных характеристик	161
9.3. Классификация фильтров по особенностям полиномов, входящих в передаточные функции	173
9.4. Особенности проектирования активных фильтров	175
Глава 10. ГЕНЕРАТОРЫ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ	177
10.1. RC-генераторы с мостом вина	178
10.2. Кварцевые генераторы	181
Глава 11. ГЕНЕРАТОРЫ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ	183
11.1. Генераторы прямоугольных импульсов	183
11.2. Генераторы линейно-изменяющегося напряжения	189
Глава 12. ЦИФРОВЫЕ УСТРОЙСТВА	196
12.1. Классификация интегральных микросхем	196
12.2. Система условных обозначений ИМС	204
12.3. Логические элементы	206
12.3.1. Базовый элемент ТТЛ-серии	206
12.3.2. ИМС на полевых транзисторах	209
12.3.3. Параметры и характеристики логических элементов	213
12.3.4. Специальные типы логических элементов	215
12.3.5. Состав серий ИМС	222
12.3.6. Правила схемного включения элементов	223
12.3.7. Оценка качества функциональных схем	224
12.3.8. Условия совместного использования различных серий ИМС	226
12.4. Триггеры	227
12.4.1. Асинхронный RS-триггер	227
12.4.2. Синхронный RS-триггер со статическим управлением	230
12.4.3. D-триггер со статическим управлением	231
12.4.4. Синхронный RS-триггер с динамическим управлением	232
12.4.5. Синхронный D-триггер с динамическим управлением	234
12.4.6. JK-триггер	235

12.4.7. Т-триггер	236
12.4.8. Взаимное преобразование триггеров	237
12.5. Дешифраторы	239
12.5.1. Построение дешифраторов	239
12.5.2. Дешифраторы в интегральных сериях	242
12.5.3. Нарращивание дешифраторов	245
12.6. Мультиплексоры	246
12.6.1. Построение мультиплексоров	246
12.6.2. Нарращивание мультиплексоров	248
12.6.3. Синтез комбинационных схем на основе мультиплексоров	249
12.7. Сумматоры	250
12.7.1. Построение сумматоров	250
12.7.2. Схемы переносов в многоразрядных сумматорах	252
12.8. Регистры	253
12.8.1. Классификация регистров	253
12.8.2. Принципы построения регистров	256
12.8.3. Особенности микросхем регистров различных типов	264
12.8.4. Применение регистров	269
12.9. Счетчики	271
12.9.1. Классификация счетчиков	271
12.9.2. Принципы построения счетчиков	273
12.9.3. Счетчики с произвольным модулем счета	277
12.9.4. Особенности микросхем счетчиков различных типов	279
12.9.5. Применение счетчиков	282
Глава 13. СХЕМОТЕХНИКА АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ И ЦИФРО- АНАЛОГОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ	284
13.1. Назначение, основные свойства и классификация	284
13.2. Основные характеристики ЦАП и АЦП	289
13.3. Цифро-аналоговые преобразователи	291
13.4. Аналого-цифровые преобразователи	294
Глава 14. КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ	300
14.1. Математическое моделирование электронных устройств	300
14.1.1. Математические модели диодов и их использование для анализа электронных схем	302
14.1.2. Математические модели биполярного транзистора	303
14.1.3. Математические модели полевого транзистора	308
14.2. Особенности математического моделирования различных режимов работы электронных устройств	310
14.3. Уровень современных систем математического моделирования электронных устройств	314
Литература	318