

УДК 621.38(075.8)

ББК 32.85я73

А49

Р е ц е н з е н т ы : доктор техн. наук, профессор *М. Л. Белов*; доктор техн. наук, профессор *Л. А. Потапов*

Алехин В. А.

А49 Электроника: теория и практика. Моделирование в среде TINA-8. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2020. – 308 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0656-3.

Изложены основные разделы дисциплины «Электроника». Рассмотрена элементная база современной электроники – полупроводниковые электронные приборы, операционные усилители, автогенераторы, цифровые микросхемы, аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи, источники питания, микропроцессорные устройства и т.д. Помимо аналитических и графических методов расчёта представлена обширная информация по использованию бесплатной студенческой версии программы компьютерного моделирования электронных схем TINA-TI. Отличительной особенностью книги является то, что любую изучаемую схему можно загрузить в программу TINA-TI и испытать самостоятельно её работу. Знакомство с программой TINA-TI поможет студентам в будущем успешно применять профессиональные версии этой программы, а также аналогичные программы проектирования. Пособие содержит схемы для самостоятельного моделирования и экспериментального исследования электронных устройств.

Для студентов, обучающихся по направлению подготовки 27.03.04 – «Управление в технических системах», будет полезно студентам других направлений, связанных разработкой и конструированием радиоэлектронной аппаратуры, преподавателям и специалистам.

ББК 32.85я73

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Тиражирование книги начато в 2017 г.

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

© В.А. Алехин

Оглавление

Введение. Этапы возникновения и развития электроники и схемотехники	3
1. Полупроводниковые диоды и стабилитроны	8
1.1. Полупроводниковые материалы	8
1.2. Полупроводниковый диод	14
1.3. Вольт-амперная характеристика полупроводникового диода	18
1.4. Эквивалентные схемы диодов	21
1.5. Spice-модель диода	22
1.6. Стабилитроны	25
1.7. Специальные типы полупроводниковых диодов	27
1.8. Расчет цепей постоянного тока с диодами и стабилитронами	34
1.9. Выпрямление переменного напряжения с помощью диодов	44
1.10. Диодные ограничители и фиксаторы напряжения ...	49
1.11. Контрольные вопросы	51
2. Биполярные транзисторы	53
2.1. Конструкция биполярного транзистора, обозначения и схемы включения	53
2.2. Схема с общим эмиттером	56
2.3. Эквивалентные схемы биполярных транзисторов ...	58
2.4. Расчет усилителя на биполярном транзисторе	60
2.5. Схема с общей базой	70
2.6. Схема с общим коллектором. Эмиттерный повторитель	75
2.7. Расчет транзисторных усилителей в режиме малого сигнала	81
2.7.1. Определение, классификация, основные характеристики и параметры усилителей	81
2.7.2. Расчет транзисторного каскада с общим эмиттером	85
2.7.3. Расчет транзисторного каскада с общим коллектором	88
2.8. Тиристоры	89
2.9. Контрольные вопросы	93
3. Полевые транзисторы	94

3.1. Основные понятия и классификация полевых транзисторов	94
3.2. Устройство полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и его характеристики	95
3.3. Устройство полевого транзистора с изолированным затвором и встроенным каналом	98
3.4. Устройство полевого транзистора с изолированным затвором и индуцированным каналом	100
3.5. Комплементарные МОП транзисторы (КМОП)	102
3.6. Эквивалентные схемы полевых транзисторов	103
3.7. Расчет усилителя низкой частоты на полевом транзисторе	105
3.8. Истоковый повторитель	109
3.9. Расчет каскада на полевом транзисторе в режиме малого сигнала с использованием Y -параметров	114
3.10. Контрольные вопросы	115
4. Операционные усилители	116
4.1. Определение и основные свойства операционных усилителей	116
4.2. Дифференциальный усилитель	118
4.3. Схемотехника линейных устройств на операционных усилителях	122
4.3.1. Инвертирующий ОУ	122
4.3.2. Неинвертирующий ОУ	124
4.3.3. Инвертирующий сумматор	125
4.3.4. Вычитающий ОУ	125
4.3.5. Повторитель напряжения	126
4.3.6. Дифференцирующее звено	127
4.3.7. Интегратор	128
4.3.8. Фазовращатель	129
4.3.9. Управляемые источники напряжения и тока	130
4.3.10. Активные фильтры первого порядка	131
4.3.11. Активные фильтры второго порядка	133
4.4. Схемотехника нелинейных устройств на операционных усилителях	136
4.4.1. Логарифмический усилитель	136
4.4.2. Прецизионный выпрямитель	138
4.5. Контрольные вопросы	138
5. Обратная связь и автогенераторы	140
5.1. Понятие обратной связи	140
5.2. Типы подключения обратной связи	140

5.3. Свойства усилителей с ОС	141
5.4. Положительная обратная связь в автогенераторах ...	143
5.4.1. Автогенератор с трансформаторной обратной связью	145
5.4.2. Расчет автогенератора в Mathcad	148
5.4.3. Моделирование автогенератора с трансформаторной связью	150
5.4.4. Индуктивная трехточка	151
5.4.5. LC-генератор на операционном усилителе	154
5.4.6. Генератор Вина	155
5.4.7. Мультивибратор на ОУ	156
5.4.8. Стабилизация частоты автогенераторов	157
5.5. Контрольные вопросы	158
6. Электронные системы связи	159
6.1. Основные понятия электросвязи	159
6.1.1. Структурная схема системы электросвязи	159
6.1.2. Частоты передачи	161
6.1.3. Уровни мощности, усиления и потерь	162
6.1.4. Шумы в системах связи	164
6.2. Модуляция и демодуляция электрических сигналов .	166
6.3. Амплитудная модуляция и демодуляция	167
6.3.1. Модель амплитудного модулятора и демодулятора .	168
6.4. Частотная модуляция и демодуляция	171
6.4.1. Частотный модулятор на варикапе	173
6.4.2. Частотный демодулятор с одиночным контуром ...	176
6.4.3. Двухконтурный частотный дискриминатор	179
6.5. Контрольные вопросы	181
7. Фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ)	182
7.1. Структурная схема петли ФАПЧ	182
7.2. Работа схемы ФАПЧ	182
7.3. Полоса захвата и удержания петли ФАПЧ	184
7.4. Модель системы ФАПЧ	184
7.4.1. Работа фазового компаратора	185
7.5. Коэффициент усиления петли ФАПЧ	189
7.6. Основное уравнение типовой системы ФАПЧ	191
7.7. Экспериментальное исследование модели ФАПЧ	192
7.7.1. Исследование статического рассогласования фаз....	192
7.7.2. Исследование переходного процесса захвата частоты	193
7.7.3. Исследование полосы захвата и удержания	194
7.7.4. Использование ФАПЧ для демодуляции ЧМ сигнала	196
7.8. Синтезаторы частоты на основе ФАПЧ	197
7.9. Контрольные вопросы	199

8. Источники электропитания электронных устройств	200
8.1. Классификация источников питания	200
8.2. Основные характеристики ИВЭП	201
8.3. Структурные схемы ИВЭП	201
8.4. Выпрямители источников питания	204
8.5. Моделирование выпрямителей с фильтрами	207
8.5.1. Двухполупериодный мостовой выпрямитель	207
8.5.2. Двухполярный мостовой выпрямитель	208
8.5.3. Управляемый выпрямитель с тиристором	210
8.6. Умножитель напряжения	211
8.7. Стабилизаторы напряжения	213
8.7.1. Параметрический стабилизатор на стабилитроне ...	213
8.7.2. Параметрический стабилизатор с эмиттерным	214
8.7.3. Компенсационный стабилизатор	215
8.8. Импульсные преобразователи напряжения	216
8.8.1. Понижающий преобразователь DC-DC	217
8.8.2. Повышающий преобразователь DC-DC	219
8.8.3. Микросхемы преобразователей DC-DC	220
8.9. Импульсные источники питания AC-DC	221
8.10. Контрольные вопросы	224
9. Цифровая схемотехника	225
9.1. Основные параметры импульсных сигналов	225
9.2. Функции алгебры логики	227
9.2.1. Таблица истинности	228
9.2.2. Аналитическая запись логических операций	231
9.2.3. Законы и теоремы булевой алгебры	230
9.3. Цифровые логические элементы	231
9.4. Минимизация логических функций в программе TINA	232
9.5. Ключевые схемы	235
9.5.1. Диодные ключи	235
9.5.2. Ключи на биполярных транзисторах	235
9.5.3. Ключи на полевых МОП транзисторах	238
9.6. Серийные микросхемы цифровых логических элемен- тов	239
9.6.1. Функционально полные системы	240
9.7. Мультиплексоры и демультиплексоры	242
9.8. Дешифраторы	243
9.9. Триггеры	244
9.9.1. Асинхронный RS-триггер	244
9.9.2. D-триггер	245
9.9.3. JK-триггер	246

9.10. Счетчики импульсов	247
9.11. Регистры	249
9.12. Цифровые постоянные запоминающие устройства ...	250
9.12.1. Постоянное ЗУ (ПЗУ)	250
9.12.2. Программируемое ПЗУ (ППЗУ), PROM	252
9.12.3. Стираемое программируемое ПЗУ (EPROM)	252
9.12.4. EEPROM — электрически стираемое программируемое ПЗУ	253
9.13. Оперативные запоминающие устройства ОЗУ	254
9.13.1. Статическое ОЗУ RAM	254
9.13.2. Динамические ОЗУ (DRAM)	255
9.14. Программируемые логические схемы	257
9.14.1. Логические схемы, программируемые изготовителем	257
9.14.2. Логические схемы, программируемые потребителем	257
9.14.3. Разновидности программируемых логических устройств	259
9.15. Контрольные вопросы	261
10. Цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи ...	263
10.1. Цифроаналоговое преобразование	263
10.2. ЦАП с суммированием весовых токов	263
10.3. ЦАП с резистивной матрицей постоянного импеданса	264
10.4. Принцип аналого-цифровое преобразования	265
10.5. Этаты аналого-цифрового преобразования	266
10.6. АЦП прямого параллельного преобразования	268
10.7. АЦП, работающий по весовому принципу	269
10.8. АЦП, использующие методы счета	270
10.8.1. Компенсационный числовой АЦП	270
10.8.2. Метод пилообразного напряжения	271
10.8.3. Метод двойного интегрирования	272
10.9. Контрольные вопросы	275
11. Микропроцессоры и микроконтроллеры	276
11.1. Понятия микропроцессора и микроконтроллера	276
11.2. Структура микропроцессорного устройства	277
11.3. Основные свойства микропроцессоров	278
11.4. Структура и функционирование микропроцессора ...	279
11.5. Микроконтроллеры	281
11.5.1. Технические характеристики микроконтроллера PIC16F84A	282
11.5.2. Особенности архитектуры PIC16F84A	283
11.5.3. Память	284

11.5.4. Регистры	285
11.5.5. Системы счисления	285
11.5.6. Формат записи чисел	285
11.5.7. Организация памяти программ и стека	286
11.5.8. Организация памяти данных	286
11.5.9. Регистры специального назначения	287
11.5.10. Счетчик команд	289
11.5.11. Стек и возврат из подпрограмм	290
11.5.12. Прямая и косвенная адресация	290
11.5.13. Порты ввода-вывода	291
11.5.14. Модуль таймера и регистр таймера	292
11.5.15. Память данных в РПЗУ (EEPROM)	293
11.5.16. Алгоритм сброса при включении питания	294
11.5.17. Сторожевой (Watchdog) таймер	295
11.5.18. Типы генераторов	296
11.5.19. Биты конфигурации	296
11.5.20. Система команд микроконтроллера PIC16F84A ..	296
11.5.21. Разводка ножек микроконтроллера PIC16F84A ..	298
11.5.22. Технические характеристики микроконтроллера PIC16F877A.....	299
11.6. Контрольные вопросы	300
Литература	301