

УДК 621.382

ББК 32.852

T45

Титце, Ульрих.

T45 Полупроводниковая схемотехника. Т. I / У. Титце, К. Шенк ; пер. с нем. Г. С. Карабашева. — 13-е изд., эл. — 1 файл pdf : 829 с. — Москва : ДМК Пресс, 2023. — Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10". — Текст : электронный.

ISBN 978-5-89818-547-3

Книга Ульриха Титце и Кристофа Шенка «Полупроводниковая схемотехника» представляет собой фундаментальный труд, объединяющий принципы устройства полупроводниковых элементов (диоды, биполярные и полевые транзисторы, интегральные микросхемы) и основы создания из этих элементов различных функциональных узлов аналоговой техники (усилители, модуляторы, фильтры, радиоприемники) и цифровой (спусковые схемы, счетчики, регистры, шифраторы и дешифраторы, устройства памяти и т.д.).

Книга разбита на два тома: первый посвящен основам схемотехники, второй — применению функциональных узлов при создании более сложных устройств.

При изложении материала широко используются эквивалентные схемы как полупроводниковых элементов, так и функциональных узлов, соответствующие их работе в области постоянного и переменного тока. Особое внимание уделено также переходным процессам цифровых схем. Описание каждого элемента или схемы сопровождается необходимым количеством достаточно элементарных формул, служащих для их инженерного расчета.

Энциклопедическая полнота, обилие самых разных схем и доступное математическое обоснование делают книгу полезной широкому кругу читателей: радиолюбителям, инженерам радиотехники и электроники и научным работникам.

УДК 621.382

ББК 32.852

Электронное издание на основе печатного издания: Полупроводниковая схемотехника. Т. I / У. Титце, К. Шенк ; пер. с нем. Г. С. Карабашева. — 12-е изд. — Москва : ДМК Пресс, 2015. — 828 с. — ISBN 978-5-97060-136-5. — Текст : непосредственный.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

Все торговые знаки, упомянутые в настоящем издании, зарегистрированы. Случайное неправильное использование или пропуск торгового знака или названия его законного владельца не должно рассматриваться как нарушение прав собственности.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации.

ISBN 978-5-89818-547-3

© SpringerVerlag Berlin Heidelberg, 2002
SpringerVerlag is a company in the
BertelsmannSpringer publishing group.
All Rights Reserved.

© Перевод на русский язык, оформление,
ДМК Пресс, 2015

Содержание

| | |
|--|-----------|
| 1. Диоды | 17 |
| 1.1 Свойства диодов | 18 |
| 1.1.1 Характеристики | 18 |
| 1.1.2 Описание диода с помощью уравнений | 19 |
| 1.1.3 Режим переключения | 22 |
| Режим переключения при омической нагрузке | 22 |
| Режим переключения при омическо-индуктивной нагрузке | 24 |
| 1.1.4 Режим малых сигналов | 25 |
| 1.1.5 Предельные параметры и токи запираания | 25 |
| Предельные напряжения | 25 |
| Предельные токи | 26 |
| Ток запираания | 26 |
| Максимальная мощность рассеяния | 26 |
| 1.1.6 Тепловые свойства | 27 |
| 1.1.7 Температурная зависимость параметров диодов | 27 |
| 1.2 Устройство диода | 28 |
| 1.2.1 Дискретные диоды | 28 |
| Внутренняя структура | 29 |
| Корпус | 29 |
| 1.2.2 Интегральные диоды | 30 |
| Внутренняя структура | 30 |
| Диод-подложка | 30 |
| Интегральный диод с р-п переходом и диод Шоттки | 30 |
| 1.3 Модель диода | 31 |
| 1.3.1 Статический режим | 31 |
| Диапазон средних значений прямых токов | 31 |
| Дополнительные эффекты | 32 |
| Эффект сильного тока | 32 |
| Ток утечки | 32 |
| Пробой | 33 |
| Прямое сопротивление | 34 |
| 1.3.2 Динамическая характеристика | 34 |
| Барьерная емкость | 35 |
| Диффузионная емкость | 36 |
| Полная модель диода | 36 |
| 1.3.3 Модель диода в режиме малых сигналов | 38 |
| Статическая модель режима малых сигналов | 38 |
| Динамическая модель диода в режиме малых сигналов | 40 |
| 1.4 Специальные диоды и их применение | 40 |
| 1.4.1 Стабилитроны | 41 |
| 1.4.2 pin-диод | 44 |
| 1.4.3 Варикапы | 45 |
| 1.4.4 Мостовые выпрямители | 48 |
| 1.4.5 Смесители | 49 |
| Литература | 51 |

| | |
|--|-----------|
| 2. Биполярные транзисторы | 52 |
| 2.1 Свойства биполярных транзисторов | 53 |
| 2.1.1 Характеристики транзисторов | 53 |
| 2.1.2 Описание транзистора с помощью уравнений | 55 |
| 2.1.3 Зависимость усиления по току | 56 |
| 2.1.4 Рабочая точка и характеристики транзистора в режиме малых сигналов | 58 |
| Уравнения и параметры режима малых сигналов | 60 |
| Эквивалентная схема режима малых сигналов | 62 |
| Матрицы, описывающие четырехполюсники | 63 |
| Границы применимости концепции режима малых сигналов | 64 |
| 2.1.5 Предельные параметры и обратные токи | 64 |
| Пробивные напряжения | 65 |
| Пробой второго рода | 66 |
| Предельные токи | 66 |
| Токи отсечки | 66 |
| Максимальная рассеиваемая мощность | 67 |
| Допустимый рабочий диапазон | 67 |
| 2.1.6 Тепловые свойства транзисторов | 69 |
| Тепловые характеристики в статическом режиме | 71 |
| Тепловые характеристики в импульсном режиме | 71 |
| 2.1.7 Температурная зависимость параметров транзистора | 73 |
| 2.2 Устройство биполярного транзистора | 74 |
| 2.2.1 Дискретные транзисторы | 74 |
| 2.2.2 Интегральные транзисторы | 76 |
| 2.3 Модели биполярных транзисторов | 78 |
| 2.3.1 Статические свойства | 78 |
| Модель Эберса–Молла | 78 |
| Транспортная модель | 81 |
| Дополнительные эффекты | 82 |
| Усиление по току в нормальном режиме | 85 |
| Диоды-подложки | 87 |
| Объемные сопротивления | 87 |
| 2.3.2 Динамические характеристики | 89 |
| Барьерные емкости | 89 |
| Диффузионные емкости | 91 |
| Модель Гуммеля–Пуна | 93 |
| 2.3.3 Модель транзистора для режима малых сигналов | 96 |
| Статическая модель транзистора для режима малых сигналов | 96 |
| Динамическая модель транзистора для режима малых сигналов | 98 |
| Граничные частоты в режиме малых сигналов | 100 |
| Сводка параметров для режима малых сигналов | 104 |
| 2.3.4 Шумы | 105 |
| Спектральная плотность шумов | 105 |
| Источники шумов биполярного транзистора | 107 |
| Эквивалентные источники шумов | 108 |
| Эквивалентный источник шума и коэффициент шума | 109 |
| Коэффициент шума биполярного транзистора | 111 |
| Определение объемного сопротивления базы | 118 |
| 2.4 Типовые схемы | 118 |
| 2.4.1 Схема с общим эмиттером | 119 |

| | | |
|-------|---|-----|
| | Передаточная характеристика схемы с общим эмиттером | 120 |
| | Характеристики режима малых сигналов схемы с общим эмиттером .. | 122 |
| | Отрицательная обратная связь по току в схеме с общим эмиттером | 125 |
| | Схема с общим эмиттером и ООС по напряжению | 131 |
| | Частотная характеристика и верхняя граничная частота | 147 |
| | Заключение | 154 |
| 2.4.2 | Схема усилителя с общим коллектором | 156 |
| | Передаточная характеристика схемы с общим коллектором | 156 |
| | Характеристики схемы с общим коллектором в режиме малых сигналов | 159 |
| | Установка рабочей точки | 163 |
| | Частотная характеристика и верхняя граничная частота | 165 |
| | Преобразование импеданса посредством схемы с общим коллектором | 172 |
| 2.4.3 | Схема с общей базой | 173 |
| | Передаточная характеристика схемы с общей базой | 174 |
| | Режим малых сигналов схемы с общей базой | 177 |
| | Установка рабочей точки | 180 |
| | Частотная характеристика и верхняя граничная частота | 182 |
| 2.4.4 | Схема Дарлингтона | 186 |
| | Характеристики транзистора Дарлингтона | 187 |
| | Описание с помощью уравнений | 189 |
| | Зависимость усиления по току от тока коллектора | 189 |
| | Параметры режима малых сигналов | 191 |
| | Режим коммутации | 193 |
| | Литература | 194 |

3. Полевые транзисторы 196

| | | |
|-------|---|-----|
| 3.1 | Свойства полевых транзисторов | 199 |
| 3.1.1 | Характеристики | 199 |
| 3.1.2 | Описание транзистора с помощью уравнений | 202 |
| 3.1.3 | Полевой транзистор в качестве управляемого резистора | 207 |
| 3.1.4 | Рабочая точка и режим малых сигналов | 209 |
| | Рабочая точка | 209 |
| | Уравнения и параметры режима малых сигналов | 210 |
| | Эквивалентная схема полевого транзистора для режима малых сигналов | 212 |
| | Матрицы, описывающие четырехполюсники | 212 |
| | Границы применимости концепции малых сигналов | 213 |
| 3.1.5 | Граничные параметры и обратные токи | 213 |
| | Напряжения пробоя | 214 |
| | Граничные токи | 215 |
| | Обратные токи | 216 |
| | Максимальная мощность рассеяния | 216 |
| | Область устойчивой работы | 217 |
| 3.1.6 | Тепловые свойства | 218 |
| 3.1.7 | Температурная зависимость параметров полевых транзисторов | 218 |
| | МОП транзистор | 218 |
| | Полевой транзистор с управляющим р-п переходом | 220 |
| 3.2 | Устройство полевого транзистора | 221 |
| 3.2.1 | Интегральные МОП транзисторы | 221 |
| 3.2.2 | Дискретные МОП транзисторы | 223 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 3.2.3 | Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом | 226 |
| 3.2.4 | Корпус | 227 |
| 3.3 | Модели полевых транзисторов | 227 |
| 3.3.1 | Статические свойства | 227 |
| | Модель МОП транзистора Уровня 1 | 228 |
| | Объемные сопротивления | 233 |
| | Вертикальные мощные МОП транзисторы | 234 |
| | Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом | 236 |
| 3.3.2 | Динамический режим | 237 |
| | Модель МОП транзистора Уровня 1 | 241 |
| | Модель полевого транзистора с управляющим р-п переходом | 246 |
| 3.3.3 | Модель МОП транзистора для режима малых сигналов | 247 |
| | Статическая модель МОП транзистора для режима малых сигналов в области насыщения | 247 |
| | Динамическая модель МОП транзистора для режима малых сигналов в области насыщения | 249 |
| | Граничные частоты при режиме малых сигналов | 251 |
| | Сводный перечень параметров МОП транзистора для малых сигналов | 253 |
| 3.3.4 | Шумы | 256 |
| | Источники шумов полевого транзистора | 256 |
| | Эквивалентные источники шумов | 257 |
| | Коэффициент шума полевого транзистора | 258 |
| | Упрощенное описание | 261 |
| | Сопоставление коэффициентов шума полевых и биполярных транзисторов | 262 |
| 3.4 | Типовые схемы | 262 |
| 3.4.1 | Схема с общим истоком | 263 |
| | Передаточные характеристики схемы с общим истоком | 264 |
| | Режим схемы с общим истоком для малых сигналов | 265 |
| | Схема с общим истоком и отрицательной обратной связью по току | 268 |
| | Схема с общим истоком и обратной связью по напряжению | 272 |
| | Установка рабочей точки | 277 |
| | Частотная зависимость и граничная частота | 279 |
| | Заключение | 285 |
| 3.4.2 | Схема с общим стоком | 286 |
| | Передаточная характеристика схемы с общим стоком | 286 |
| | Режим малых сигналов схемы с общим стоком | 288 |
| | Установка рабочей точки | 290 |
| | Частотная зависимость и граничная частота | 291 |
| 3.4.3 | Схема с общим затвором | 296 |
| | Передаточная характеристика схемы с общим затвором | 297 |
| | Режим малых сигналов схемы с общим затвором | 299 |
| | Установка рабочей точки | 301 |
| | Частотная характеристика и граничная частота | 301 |
| | Литература | 304 |
| 4. | Усилители | 305 |
| 4.1 | Схемы | 308 |
| 4.1.1 | Источники тока и токовое зеркало | 314 |
| | Принцип действия токового зеркала | 314 |
| | Простые источники тока для схем на дискретных элементах | 318 |

| | | |
|-------|--|-----|
| | Простые схемы токового зеркала | 319 |
| | Токовое зеркало на основе каскодной схемы | 332 |
| | Каскодное токовое зеркало | 335 |
| | Токовое зеркало Вильсона | 342 |
| | Динамический режим | 344 |
| | Токовые зеркала и источники тока других типов | 345 |
| 4.1.2 | Каскодная схема | 353 |
| | Режим малых сигналов каскодной схемы | 355 |
| | Частотная зависимость усиления и граничная частота каскодной схемы | 358 |
| 4.1.3 | Дифференциальный усилитель | 368 |
| | Передаточная характеристика p-p дифференциального усилителя | 372 |
| | Дифференциальный усилитель с активной нагрузкой | 383 |
| | Напряжение смещения нуля дифференциального усилителя | 385 |
| | Дифференциальный усилитель в режиме малых сигналов | 387 |
| | Установка рабочей точки | 406 |
| | Частотная характеристика и граничные частоты дифференциального усилителя | 415 |
| | Краткие выводы | 432 |
| 4.1.4 | Преобразователь полного сопротивления | 433 |
| | Однокаскадный преобразователь полного сопротивления | 433 |
| | Многокаскадные преобразователи полного сопротивления | 434 |
| | Комплементарный преобразователь полного сопротивления | 438 |
| 4.1.5 | Схемы для установки рабочей точки | 444 |
| | Источник опорного тока, использующий напряжение UBE | 445 |
| | Источник опорного тока, пропорционального температуре | 450 |
| | Температурно-независимые источники опорного тока | 455 |
| | Источники опорного тока на МОП схемах | 456 |
| | Источники тока с насыщением | 457 |
| | Установка рабочей точки в интегральных схемах усилителей | 458 |
| 4.2 | Свойства и параметры усилителя | 459 |
| 4.2.1 | Характеристики усилителя | 460 |
| 4.2.2 | Малосигнальные параметры | 463 |
| | Рабочая точка | 463 |
| | Малосигнальные переменные | 464 |
| | Линеаризация | 464 |
| | Малосигнальные параметры | 464 |
| | Малосигнальная эквивалентная схема усилителя | 465 |
| | Усилители с обратной связью | 468 |
| | Расчет малосигнальных параметров с помощью малосигнальной эквивалентной схемы | 470 |
| | Последовательное включение усилителей | 473 |
| 4.2.3 | Нелинейные параметры | 478 |
| | Разложение передаточной характеристики в ряд в рабочей точке | 479 |
| | Выходной сигнал при синусоидальном входном сигнале | 480 |
| | Коэффициент нелинейных искажений | 483 |
| | Точка сжатия | 486 |
| | Интермодуляция и точки перехвата | 486 |
| | Последовательное включение усилителей | 491 |
| 4.2.4 | Шумы | 495 |

| | |
|--|-----|
| Источник и плотность шумов усилителя | 495 |
| Эквивалентный источник шумов и коэффициент шума | 496 |
| Оптимальный коэффициент шума и оптимальное внутреннее сопротивление источника | 500 |
| Коэффициент шума последовательной цепочки усилителей | 503 |
| Оптимизация коэффициента шума | 507 |
| Эквивалентные источники шума типовых схем | 516 |
| Средний коэффициент шума и отношение сигнал-шум | 536 |
| Литература | 540 |

5. Операционные усилители 541

| | |
|---|-----|
| 5.1 Общие сведения | 541 |
| 5.1.1 Типы операционных усилителей | 543 |
| 5.1.2 Принцип обратной связи | 546 |
| Неинвертирующий усилитель | 547 |
| Инвертирующий усилитель | 549 |
| 5.2 Стандартные операционные усилители | 551 |
| 5.2.1 Принцип действия | 552 |
| 5.2.2 Универсальный усилитель | 554 |
| 5.2.3 Напряжения питания | 557 |
| 5.2.4 Усилитель с одним источником питания | 558 |
| Инверсия фазы | 559 |
| 5.2.5 Усилитель с размахом, равным напряжению питания | 561 |
| 5.2.6 Широкополосные операционные усилители | 565 |
| 5.2.7 Коррекция частотной характеристики | 571 |
| Основные положения | 571 |
| Универсальная коррекция частотной характеристики | 574 |
| Расщепление полюсов | 575 |
| Согласованная коррекция частотной характеристики | 577 |
| Скорость нарастания выходного напряжения | 577 |
| Емкостная нагрузка | 581 |
| Внутренняя коррекция нагрузки | 584 |
| Двухполюсная коррекция частотной характеристики | 585 |
| 5.2.8 Параметры операционных усилителей | 586 |
| Усиление разностного и синфазного сигналов | 589 |
| Входное напряжение смещения нуля | 592 |
| Входные токи | 594 |
| Входные сопротивления | 596 |
| Выходное сопротивление | 598 |
| Примеры статических погрешностей | 599 |
| Ширина полосы пропускания | 601 |
| Шумы | 603 |
| 5.3 Усилитель крутизны | 606 |
| 5.3.1 Внутреннее устройство | 607 |
| 5.3.2 Типовые применения | 610 |
| 5.4 Усилитель полного сопротивления | 611 |
| 5.4.1 Внутреннее устройство | 611 |
| 5.4.2 Частотные характеристики | 615 |
| 5.4.3 Типовые применения | 618 |
| 5.5 Усилитель тока | 619 |
| 5.5.1 Внутреннее устройство | 620 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 5.5.2 | Типовые применения | 622 |
| | Использование схем с обратной связью по току | 622 |
| | Использование обратной связи по напряжению | 630 |
| 5.6 | Сопоставления | 633 |
| 5.6.1 | Практические применения | 639 |
| 5.6.2 | Разновидности операционных усилителей | 642 |
| | Классификация | 657 |
| | Литература | 659 |
| 6. | Релаксационные схемы | 660 |
| 6.1 | Транзистор как элемент цифровой схемы | 660 |
| | Динамические свойства | 662 |
| 6.2 | Релаксационные схемы с насыщенными транзисторами | 663 |
| 6.2.1 | Бистабильные релаксационные схемы | 664 |
| | Триггер | 664 |
| | Триггер Шмитта | 666 |
| 6.2.2 | Монотабильные релаксационные схемы | 667 |
| 6.2.3 | Астабильная релаксационная схема | 668 |
| 6.3 | Релаксационные схемы на транзисторах с эмиттерной связью | 669 |
| 6.3.1 | Триггер Шмитта с эмиттерной связью | 669 |
| 6.3.2 | Мультивибратор с эмиттерной связью | 670 |
| 6.4 | Релаксационные схемы на логических элементах | 671 |
| 6.4.1 | Триггеры | 672 |
| 6.4.2 | Одновибратор | 672 |
| 6.4.3 | Мультивибратор | 673 |
| 6.5 | Релаксационные схемы на компараторах | 675 |
| 6.5.1 | Компараторы | 675 |
| | Двухпороговый компаратор | 677 |
| 6.5.2 | Триггер Шмитта | 677 |
| | Инвертирующий триггер Шмитта | 677 |
| | Неинвертирующий триггер Шмитта | 678 |
| | Прецизионный триггер Шмитта | 680 |
| 6.5.3 | Мультивибраторы | 680 |
| | Мультивибратор с прецизионным триггером Шмитта | 682 |
| 6.5.4 | Одновибраторы | 683 |
| | Одновибратор с послезапуском | 684 |
| | Литература | 685 |
| 7. | Основы цифровой техники | 686 |
| 7.1 | Основные логические функции | 686 |
| 7.2 | Составление логических функций | 689 |
| 7.2.1 | Таблица Карно | 691 |
| 7.3 | Основные производные функции | 693 |
| 7.4 | Схемотехническая реализация основных логических функций | 694 |
| 7.4.1 | Резисторно-транзисторная логика | 696 |
| 7.4.2 | Диодно-транзисторная логика | 697 |
| 7.4.3 | Медленнодействующая помехоустойчивая логика | 697 |
| 7.4.4 | Транзисторно-транзисторная логика | 698 |
| | Выходы с открытым коллектором | 699 |
| | Трехстабильные выходы | 701 |
| 7.4.5 | Эмиттерно-связанная логика | 702 |
| | Функция «монтажное» ИЛИ | 705 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 7.4.6 | Комплементарная МОП логика | 706 |
| | Меры предосторожности при работе с КМОП схемами | 708 |
| | Логические КМОП элементы | 709 |
| | Логический ключ | 709 |
| 7.4.7 | n-канальная МОП логика | 710 |
| 7.4.8 | Заключительный обзор | 711 |
| 7.5 | Межсоединения | 713 |
| | Литература | 715 |
| 8. | Комбинационные логические схемы | 716 |
| 8.1 | Представление чисел | 718 |
| 8.1.1 | Положительные целые числа в двоичном коде | 718 |
| | Восьмеричный код | 718 |
| | Шестнадцатеричный код | 718 |
| 8.1.2 | Положительные целые числа в двоично-десятичном коде | 719 |
| 8.1.3 | Целые двоичные числа с произвольным знаком | 719 |
| | Представление модуля и знака | 719 |
| | Представление с поразрядным дополнением до двух | 720 |
| | Расширение знакового разряда | 721 |
| | Смещенный двоичный код | 722 |
| 8.1.4 | Двоичные числа с фиксированной запятой | 722 |
| 8.1.5 | Двоичные числа с плавающей запятой | 723 |
| 8.2 | Мультиплексор | 726 |
| 8.2.1 | Дешифратор «один из n» | 726 |
| 8.2.2 | Демультимплексор | 727 |
| 8.2.3 | Мультиплексоры | 728 |
| 8.3 | Приоритетный дешифратор | 729 |
| 8.4 | Регистры сдвига | 730 |
| 8.5 | Компараторы | 732 |
| 8.6 | Сумматоры | 734 |
| 8.6.1 | Полусумматоры | 734 |
| 8.6.2 | Полный сумматор | 735 |
| 8.6.3 | Логика параллельного переноса | 736 |
| 8.6.4 | Вычитание | 738 |
| 8.6.5 | Переполнение при сложении чисел в дополнительном коде | 739 |
| 8.6.6 | Сложение и вычитание чисел с плавающей запятой | 740 |
| 8.7 | Умножители | 740 |
| 8.7.1 | Умножение чисел с фиксированной запятой | 740 |
| 8.7.2 | Умножение чисел с плавающей запятой | 743 |
| | Литература | 743 |
| 9. | Переключающие схемы | 744 |
| 9.1 | Интегральные триггеры | 744 |
| 9.1.1 | Статические триггеры | 744 |
| | Синхронный RS-триггер | 745 |
| | Синхронный D-триггер | 746 |
| 9.1.2 | Триггеры с временным запоминанием | 746 |
| | Триггеры, срабатывающие по двум фронтам импульса | 747 |
| | Триггеры, срабатывающие по одному фронту импульса | 749 |
| 9.2 | Двоичные счетчики | 752 |
| 9.2.1 | Асинхронный двоичный счетчик | 753 |
| 9.2.2 | Синхронный двоичный счетчик | 754 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 9.2.3 | Реверсивные счетчики | 756 |
| | Счетчики с переключаемым направлением счета | 757 |
| | Счетчики с входами прямого и обратного счета | 758 |
| | Устранение совпадений | 758 |
| | Метод вычитания | 760 |
| 9.3 | Двоично-десятичный счетчик в коде 8421 | 760 |
| 9.3.1 | Асинхронный двоично-десятичный счетчик | 761 |
| 9.3.2 | Синхронный двоично-десятичный счетчик | 762 |
| 9.4 | Счетчики групп | 763 |
| 9.5 | Регистры сдвига | 765 |
| 9.5.1 | Принципиальная схема | 765 |
| 9.5.2 | Регистр сдвига с параллельным вводом | 766 |
| 9.6 | Обработка асинхронных сигналов | 766 |
| 9.6.1 | Устранение вибраций механических контактов | 767 |
| 9.6.2 | RS-триггер с запуском по фронту импульса | 768 |
| 9.6.3 | Синхронизация импульсов | 768 |
| 9.6.4 | Синхронный одновибратор | 769 |
| 9.6.5 | Синхронный детектор изменений | 771 |
| 9.6.6 | Синхронный тактовый переключатель | 771 |
| 9.7 | Системное проектирование последовательностных схем | 772 |
| 9.7.1 | Диаграмма состояний | 772 |
| 9.7.2 | Пример проектирования счетчика групп | 774 |
| 9.7.3 | Сокращение потребности в объеме памяти | 777 |
| | Входной мультиплексор | 778 |
| 9.8 | Обозначения зависимостей | 780 |
| | Литература | 783 |

10. Полупроводниковые запоминающие устройства 784

| | | |
|--------|---|-----|
| 10.1 | Оперативные запоминающие устройства | 786 |
| 10.1.1 | Статические ОЗУ | 786 |
| | Временные условия | 789 |
| 10.1.2 | Динамические ОЗУ | 792 |
| | Контроллер динамического ОЗУ | 792 |
| 10.2 | Расширение возможностей ОЗУ | 796 |
| 10.2.1 | Двухпортовые ОЗУ | 796 |
| 10.2.2 | ОЗУ в качестве регистра сдвига | 797 |
| 10.2.3 | Память FIFO | 798 |
| | Реализация памяти FIFO на стандартных ОЗУ | 800 |
| 10.2.4 | Распознавание и коррекция ошибок | 802 |
| | Бит четности | 802 |
| | Код Хэмминга | 804 |
| 10.3 | Постоянные ЗУ | 806 |
| 10.3.1 | ПЗУ, программируемое фотошаблоном | 807 |
| 10.3.2 | Программируемое ПЗУ | 807 |
| 10.3.3 | Постоянное ЗУ с УФ стиранием | 809 |
| 10.3.4 | Электрически стираемое программируемое ПЗУ | 812 |
| 10.4 | Программируемые логические устройства | 814 |
| 10.4.1 | Программируемая матричная логика | 818 |
| 10.4.2 | Компьютерное проектирование ПЛУ | 819 |
| 10.4.3 | Обзор типов ПЛУ | 821 |
| 10.4.4 | Матрицы логических элементов, программируемые пользователем | 825 |
| | Литература | 827 |