

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. <b>ОСНОВЫ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> . . . . .	10
§ 1.1. Основы зонной теории полупроводниковых кристаллов . . . .	10
§ 1.2. Носители тока в полупроводниках . . . . .	11
§ 1.3. Собственная и примесная проводимость полупроводников . .	12
1.3.1. Примесные полупроводники (14).	
§ 1.4. Токи в полупроводниках . . . . .	20
1.4.1. Дрейфовый ток (20). 1.4.2. Диффузионный ток (21).	
1.4.3. Время жизни носителей и диффузионная длина (22).	
Глава 2. <b><i>p-n</i>-ПЕРЕХОД. ДИОДЫ</b> . . . . .	23
§ 2.1. Идеальный <i>p-n</i> -переход при отсутствии внешнего напряжения . . . . .	23
§ 2.2. Прямое смещение идеального <i>p-n</i> -перехода . . . . .	28
2.2.1. Распределение носителей тока вблизи идеального <i>p-n</i> -перехода (29). 2.2.2. Токи через идеальный <i>p-n</i> -переход при прямом смещении (31). 2.2.3. Зависимость тока от напряжения для идеального <i>p-n</i> -перехода (31).	
§ 2.3. <i>p-n</i> -переход при обратном смещении . . . . .	34
§ 2.4. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) идеального <i>p-n</i> -перехода . . . . .	36
§ 2.5. Пробой <i>p-n</i> -перехода . . . . .	38
§ 2.6. Вольт-амперная характеристика реальных <i>p-n</i> -переходов . . .	40
2.6.1. Влияние генерации и рекомбинации носителей заряда в <i>p-n</i> -переходе (40). 2.6.2. Поверхностные токи утечки (42). 2.6.3. Влияние на ВАХ падения напряжения на активном сопротивлении <i>p</i> - и <i>n</i> -областей (43).	
§ 2.7. Различные типы диодов . . . . .	44
2.7.1. Стабилитроны (45). 2.7.2. Фотодиоды (47).	

Глава 3. <b>БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР</b> . . . . .	51
§ 3.1. Токи в биполярном транзисторе . . . . .	51
§ 3.2. Усиление напряжения с помощью биполярного транзистора	54
§ 3.3. Распределение неосновных носителей в базе биполярного транзистора . . . . .	55
§ 3.4. Режимы работы биполярного транзистора . . . . .	57
3.4.1. Активный режим (57). 3.4.2. Режим отсечки (57). 3.4.3. Режим насыщения (57). 3.4.4. Примеры (58).	
§ 3.5. Схемы включения биполярного транзистора . . . . .	59
3.5.1. Схема включения транзистора с общей базой (ОБ) (59). 3.5.2. Схема включения транзистора с общим эмиттером (ОЭ) (60). 3.5.3. Схема включения транзистора с общим коллектором (ОК) (62).	
§ 3.6. $h$ -параметры и статические характеристики биполярного транзистора . . . . .	63
§ 3.7. Статические характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с общей базой . . . . .	65
3.7.1. Входные характеристики (65). 3.7.2. Характеристики обратной связи (67). 3.7.3. Характеристики прямой передачи (67). 3.7.4. Выходные характеристики (68).	
§ 3.8. Статические характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером . . . . .	70
3.8.1. Входные характеристики (70). 3.8.2. Характеристики обратной связи (72). 3.8.3. Характеристика прямой передачи (72). 3.8.4. Выходные характеристики (72).	
§ 3.9. Динамические свойства биполярного транзистора . . . . .	75
§ 3.10. Флуктуационные шумы в транзисторах . . . . .	77
3.10.1. Тепловой шум (78). 3.10.2. Дробовой шум (78). 3.10.3. Фликкер-шум (78). 3.10.4. Зависимость коэффициента шумов транзистора от его рабочих параметров (79).	

Глава 4. <b>ТИРИСТОР</b> . . . . .	80
§ 4.1. Устройство и принцип действия тиристора без управляющих электродов . . . . .	80
§ 4.2. Вольт-амперная характеристика тиристора без управляющих электродов . . . . .	84
4.2.1. Прямая ветвь характеристики (84). 4.2.2. Обратная ветвь характеристики (85).	
§ 4.3. Тиристор с управляющим электродом . . . . .	86
§ 4.4. Динамические свойства тиристора . . . . .	88

4.4.1. Способы включения тиристора (88).	4.4.2. Способы выключения тиристора (88).	
§ 4.5. Симметричные тиристоры — симисторы . . . . .		90
<b>Глава 5. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ . . . . .</b>		<b>92</b>
§ 5.1. Полевые транзисторы (ПТ) с управляющим $p-n$ -переходом и с барьером Шоттки . . . . .		93
5.1.1. Конструкция и принцип действия ПТ с управляющим $p-n$ -переходом (93).	5.1.2. Статические характеристики полевых транзисторов с управляющим $p-n$ -переходом (95).	
5.1.3. Влияние температуры на характеристики транзистора (97).	5.1.4. Полевые транзисторы с барьером Шоттки (99).	
§ 5.2. Полевые транзисторы с изолированным затвором . . . . .		99
5.2.1. МОП транзисторы с индуцированным каналом (99).	5.2.2. Полевые транзисторы со встроенным каналом (102).	
§ 5.3. Параметры полевых транзисторов . . . . .		105
§ 5.4. Биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT — Insulated Gate Bipolar Transistor) . . . . .		106
<b>Глава 6. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ НА ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ . . . . .</b>		<b>109</b>
§ 6.1. Зонная структура гетероперехода GaAs и $Al_xGa_{1-x}As$ . . . . .		110
§ 6.2. Полевые транзисторы на гетероструктурах. . . . .		112
§ 6.3. Светодиоды и лазеры на гетероструктурах. . . . .		113
§ 6.4. Фотоприемники на гетероструктурах. . . . .		116
<b>Глава 7. УСИЛИТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА . . . . .</b>		<b>118</b>
§ 7.1. Основные параметры и классификация усилителей . . . . .		118
7.1.1. Основные параметры усилителей (118).	7.1.2. Классификация усилителей (121).	
§ 7.2. Резисторный усилитель переменного тока . . . . .		122
7.2.1. Схема и назначение элементов резисторного усилителя (122).	7.2.2. Временные диаграммы токов и напряжений резисторного усилительного каскада (126).	
	7.2.3. Расчет резисторного усилителя по переменному току (129).	
§ 7.3. Эмиттерный повторитель. . . . .		136
7.3.1. Коэффициенты усиления эмиттерного повторителя (137).	7.3.2. Входное и выходное сопротивления (138).	
§ 7.4. Режимы работы усилителей. . . . .		140

7.4.1. Режим класса А (140).	7.4.2. Режим класса В (142).	
7.4.3. Режим класса АВ (146).	7.4.4. Режим класса С (146).	
7.4.5. Режим класса D (146).		
§ 7.5. Использование режимов классов В и АВ в двухтактных усилителях . . . . .		147
7.5.1. Двухтактный эмиттерный повторитель, работающий в режиме класса В (147).	7.5.2. Двухтактный эмиттерный повторитель, работающий в режиме класса АВ (152).	
7.5.3. Двухтактная схема усилителя с трансформаторным выходом, работающего в режиме класса В (155).		
§ 7.6. Частотные свойства усилителя переменного тока . . . . .		157
7.6.1. Область низких частот. Влияние разделительной емкости $C_{P2}$ на коэффициент усиления $K_U$ (157).	7.6.2. Влияние разделительной емкости $C_{P1}$ на коэффициент усиления в области нижних частот (160).	
7.6.3. Область верхних частот. Влияние емкости $C_H$ (160).	7.6.4. Влияние емкости $C_{Э}$ на коэффициент усиления $K_U$ (161).	
§ 7.7. Обратные связи в усилителях. Стабилизация работы усилителя . . . . .		163
7.7.1. Обратные связи в усилителях (163).	7.7.2. Сопrotивление $R_{Э}$ как элемент отрицательной обратной связи. Стабилизация коэффициента усиления с помощью $R_{Э}$ (165).	
7.7.3. Стабилизация режима покоя усилителя (166).	7.7.4. Влияние обратной связи на полосу пропускания усилителя (168).	
<b>Глава 8. ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ . . . . .</b>		<b>171</b>
§ 8.1. Дрейф нуля в усилителях постоянного тока . . . . .		172
§ 8.2. Дифференциальный усилитель . . . . .		173
8.2.1. Дифференциальный усилитель с симметричным выходом (173).	8.2.2. Дифференциальный усилитель с несимметричным выходом (178).	
8.2.3. Дифференциальный усилитель с нагрузкой в виде токового зеркала (180).		
§ 8.3. Генераторы стабильного тока для операционных усилителей		184
§ 8.4. Устройство операционного усилителя . . . . .		187
8.4.1. Свойства идеального операционного усилителя (187).	8.4.2. Устройство операционного усилителя на примере микросхемы К140УД1Б (188).	
8.4.3. Передаточная характеристика и основные параметры реальных операционных усилителей (190).		
§ 8.5. Инвертирующая и неинвертирующая схемы включения операционного усилителя . . . . .		192

8.5.1. Инвертирующая схема включения идеального операционного усилителя (192).	
8.5.2. Неинвертирующая схема включения идеального операционного усилителя (195).	
8.5.3. Компенсация дрейфа нуля, связанного с наличием входных токов (197).	
§ 8.6. Частотные свойства операционных усилителей. . . . .	198
8.6.1. Амплитудно-частотная характеристика операционного усилителя (198).	
8.6.2. Влияние отрицательной обратной связи на амплитудно-частотную характеристику операционного усилителя (200).	
8.6.3. Частотная коррекция амплитудно-частотной характеристики (200).	
<b>Глава 9. УСТРОЙСТВА НА ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ</b> . . . . .	<b>203</b>
§ 9.1. Суммирование при подаче сигналов на инвертирующий вход при заземленном неинвертирующем входе (инвертирующая схема) . . . . .	203
§ 9.2. Суммирование при подаче сигналов на неинвертирующий вход при заземленном инвертирующем входе . . . . .	206
§ 9.3. Суммирование при подаче сигналов на оба входа операционного усилителя . . . . .	208
§ 9.4. Интегрирование сигналов с помощью операционных усилителей . . . . .	211
§ 9.5. Активные фильтры. Фильтры нижних и верхних частот первого порядка . . . . .	213
9.5.1. Фильтр нижних частот первого порядка (214).	
9.5.2. Фильтр верхних частот первого порядка (216).	
§ 9.6. Активные фильтры второго порядка. Общие формулы . . . . .	217
9.6.1. Фильтры нижних частот второго порядка (217).	
9.6.2. Фильтры верхних частот второго порядка (218).	
9.6.3. Полосовые фильтры второго порядка (219).	
§ 9.7. Реализация активных фильтров второго порядка . . . . .	221
9.7.1. Фильтр нижних частот Саллена и Кея (221).	
9.7.2. Фильтр верхних частот Саллена и Кея (224).	
9.7.3. Полосовой фильтр второго порядка (225).	
§ 9.8. Генераторы на операционных усилителях. . . . .	228
9.8.1. Генератор линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН) (228).	
9.8.2. Мультивибратор на операционном усилителе (232).	

Глава 10. <b>ТРАНЗИСТОРНЫЙ КЛЮЧ И ТРИГГЕР</b> . . . . .	237
§ 10.1. Статические режимы работы транзисторного ключа . . . . .	237
§ 10.2. Переходные процессы в транзисторном ключе . . . . .	241
10.2.1. Включение транзистора (241). 10.2.2. Выключение транзистора (244).	
§ 10.3. Способы повышения быстродействия транзисторных ключей . . . . .	246
10.3.1. Использование ускоряющих емкостей для повышения быстродействия (246). 10.3.2. Использование диодов Шоттки и транзисторов Шоттки (247).	
§ 10.4. Триггер на транзисторных ключах . . . . .	250
10.4.1. Стационарное состояние триггера (252). 10.4.2. Переключение триггера на транзисторных ключах (253). 10.4.3. Роль емкостей $C_1$ и $C_2$ при переключении триггера (254).	
Глава 11. <b>ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ</b> . . . . .	257
§ 11.1. Основы алгебры логики и возможные способы реализации простейших логических функций . . . . .	257
§ 11.2. Основные параметры логических элементов . . . . .	261
§ 11.3. Логический элемент И-НЕ диодно-транзисторной логики (ДТЛ) . . . . .	264
§ 11.4. Логические элементы транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ) . . . . .	266
11.4.1. Простейший элемент И-НЕ ТТЛ (266). 11.4.2. Логический элемент И-НЕ со сложным инвертором (268). 11.4.3. Логический элемент И-НЕ ТТЛ с составным нагрузочным транзистором и активным элементом в базовой цепи выходного транзистора (271).	
§ 11.5. Транзисторно-транзисторная логика с транзисторами Шоттки (ТТЛШ) . . . . .	274
§ 11.6. Логические элементы на комплементарных транзисторах с изолированным затвором (КМДП или КМОП) . . . . .	276
§ 11.7. Логические элементы с тремя состояниями на выходе . . . . .	278
§ 11.8. RS-триггер на логических элементах И-НЕ . . . . .	281
§ 11.9. Генераторы на логических элементах . . . . .	283
11.9.1. Аналоговый режим работы логических элементов. Кварцевый генератор на логических элементах (283). 11.9.2. Одновибраторы, или ждущие мультивибраторы (285). 11.9.3. Мультивибратор на логических элементах И-НЕ (289).	

---

Глава 12. ЭЛЕМЕНТЫ ПАМЯТИ . . . . .	292
§ 12.1. Организация матрицы памяти . . . . .	292
§ 12.2. Элементы памяти для статических оперативных запоминающих устройств. . . . .	294
§ 12.3. Динамические элементы памяти . . . . .	297
12.3.1. Принцип работы элемента памяти для динамических оперативных запоминающих устройств (298). 12.3.2. Организация работы динамической памяти для оперативных запоминающих устройств (300).	
§ 12.4. Полупроводниковые энергонезависимые элементы памяти . .	301
Литература . . . . .	309