

Содержание

Предисловие издательства Cambridge University Press	17
Предисловие к третьему изданию	18
Глава 1. УСИЛЕНИЕ И ТРАНЗИСТОРЫ	19
1.1. Усиление	19
1.2. Транзистор как усиливающее устройство	20
1.3. Введение в твердотельную электронику	23
1.3.1. Вступление	23
1.3.2. Полупроводники	23
1.3.3. Электроны и дырки	24
1.3.4. Проводимость полупроводника с примесями	26
1.3.5. Основные и неосновные носители	27
1.3.6. Компенсация	28
1.3.7. <i>p-n</i> -переход	28
1.3.8. Смещенный <i>p-n</i> -переход	29
1.3.9. Лавинный пробой	31
1.3.10. Емкость перехода и варикапы	32
1.4. Транзистор	32
1.4.1. Введение	32
1.4.2. Принцип действия транзистора	32
1.4.3. Эффекты второго порядка	34
1.4.4. Ток утечки между коллектором и базой	36
1.4.5. <i>n-p-n</i> - и <i>p-n-p</i> -транзисторы	36
1.4.6. Оптоэлектронные приборы	37
1.5. Тестирование транзисторов	38
1.6. Усилитель напряжения	39
1.6.1. Введение	39
1.6.2. Резистор нагрузки	39
1.6.3. Рабочая точка и смещение	39
1.6.4. Разделительные конденсаторы	41
1.6.5. Стабилизация рабочей точки	41
1.6.6. Стабилизированный усилитель напряжения	43
1.6.7. Измерение коэффициента усиления напряжения	45
1.7. Режим насыщения	45
Глава 2. ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР	48
2.1. Введение	48
2.2. Полевой транзистор с <i>p-n</i> -переходом	48
2.2.1. Конструкция	48
2.2.2. Принцип действия	49
2.3. МОП-транзистор	50
2.4. Проходные характеристики полевых транзисторов	53
2.5. Крутизна	54

2.6. Усилитель напряжения на полевом транзисторе	54
2.7. Практические применения МОП-транзисторов	56
2.7.1. Усилитель с большим входным сопротивлением	56
2.7.2. Схемы большой мощности	56
2.7.3. Меры предосторожности в отношении статического электричества	56
2.7.4. Интегральные микросхемы	57
Глава 3. ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ И ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА	58
3.1. Введение	58
3.2. Термоэлектронная эмиссия	58
3.3. Ламповый диод	58
3.4. Ламповый триод	60
3.5. Усовершенствование катода	62
3.6. Усилитель напряжения на триоде	63
3.7. Тетрод и пентод	64
3.8. Усилитель напряжения на пентоде	66
3.9. Переключающие схемы на лампах	66
3.10. Электронно-лучевая трубка	67
3.10.1. Конструкция и принцип действия	67
3.10.2. Люминофоры	69
Глава 4. ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ	71
4.1. Принципы обратной связи	71
4.2. Отрицательная обратная связь в электронике	72
4.3. Усилитель с обратной связью	73
4.4. Отрицательная обратная связь и частотная характеристика	75
4.5. Нелинейные искажения	76
4.5.1. Введение	76
4.5.2. Измерение искажений гармонического сигнала	77
4.5.3. Измерение искажений вследствие взаимной модуляции	78
4.5.4. Расчет эффективного значения сигналов, возникающих в результате искажений	78
4.5.5. Искажения и отрицательная обратная связь	79
4.6. Неустойчивость и отрицательная обратная связь	81
4.7. Обратная связь по току	82
4.8. Эксперименты с отрицательной обратной связью	83
Глава 5. СОГЛАСОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ	87
5.1. Введение	87
5.2. Входное сопротивление	87
5.3. Измерение входного сопротивления	88
5.4. Выходное сопротивление	89
5.5. Измерение выходного сопротивления	90
5.6. Согласование сопротивлений для оптимальной передачи напряжения	92
5.7. Согласование сопротивлений для оптимальной передачи мощности	93

5.8. Согласование сопротивлений для оптимальной передачи тока	95
5.9. Согласование сопротивлений для минимизации шума усилителя	95
5.9.1. Отношение сигнал/шум	95
5.9.2. Тепловой шум	96
5.9.3. Шумы в транзисторах	96
5.9.4. Коэффициент шума	97
5.9.5. Коэффициент шума и биполярный транзистор	100
5.9.6. Практический малошумящий усилитель	101
5.9.7. Шумы в полевых транзисторах	102
5.10. Принцип изменения сопротивления	104
5.11. Изменение сопротивления с помощью трансформатора	104
5.12. Эмиттерный повторитель	107
5.12.1. Расчет схемы эмиттерного повторителя	107
5.12.2. Переменные сигналы в эмиттерном повторителе	109
5.12.3. Входное сопротивление эмиттерного повторителя	110
5.12.4. Выходное сопротивление эмиттерного повторителя	111
5.12.5. Схема Дарлингтона	112
5.12.6. Улучшенная стабильность по постоянному току	113
5.12.7. Подача сигнала в длинные линии	115
5.13. Истоковый повторитель	115
5.13.1. Расчет схемы	115
5.13.2. Входное и выходное сопротивления истокового повторителя	117
5.13.3. Улучшенная рабочая точка для истокового повторителя	118
5.14. Усиление напряжения и мощности	119
5.15. Отрицательная обратная связь и выходное сопротивление	120
5.16. Отрицательная обратная связь и входное сопротивление	121
5.17. Мощный выходной каскад на эмиттерных повторителях	122
5.17.1. Ток нагрузки и ток покоя	122
5.17.2. Двухтактный усилитель: режим <i>B</i> и режим <i>AB</i>	123
5.17.3. Типичный усилитель мощности звукового диапазона	128
5.17.4. Мощные полевые транзисторы	130
5.17.5. Мощные усилители в интегральном исполнении	130
Глава 6. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ	131
6.1. Введение	131
6.2. Характеристики <i>p-n</i> -перехода	131
6.3. Входное сопротивление и крутизна биполярного транзистора	133
6.4. Выходные характеристики	136
6.5. Коллекторные характеристики	137
6.5.1. Способ измерения и результаты	137
6.5.2. Линия нагрузки и насыщения	140
6.5.3. Предельные значения	141
6.6. Стоковые характеристики полевого транзистора	143
6.7. Полевой транзистор как управляемый напряжением резистор	145
6.8. Эквивалентная схема и коэффициент усиления для схемы с общим эмиттером	146
6.9. Эквивалентная схема и коэффициент усиления усилителя на полевом транзисторе с общим истоком	149
6.10. Изменение крутизны полевого транзистора	150

Глава 7. УСИЛЕНИЕ НА ВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ	152
7.1. Представление о высоких частотах	152
7.2. Высокие частоты и биполярный транзистор	153
7.2.1. Емкость база—эмиттер	153
7.2.2. Частота единичного усиления	154
7.2.3. Зависимость частоты единичного усиления от коллекторного тока	155
7.3. Свойства транзисторной схемы на высоких частотах	156
7.3.1. Усилители напряжения и эффект Миллера	156
7.3.2. Схема с общим эмиттером на высоких частотах	158
7.3.3. Высокие частоты и эмиттерный повторитель	161
7.4. Полевые транзисторы на высоких частотах	161
7.5. Специальные схемы для высоких частот	163
7.5.1. Вступление	163
7.5.2. Схема с общей базой	164
7.5.3. Схема с общим затвором	166
7.5.4. Каскодная схема	167
7.5.5. МОП-транзистор с двумя затворами	169
7.6. Широкополосные высокочастотные усилители	170
7.7. Амплитудная и фазовая частотные характеристики фильтра нижних частот	172
Глава 8. НИЗКОЧАСТОТНЫЕ СИГНАЛЫ, ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ	178
8.1. Введение	178
8.2. Ослабление на низких частотах	179
8.3. Особенности усилителей постоянного тока	181
8.3.1. Схема усилителя	181
8.3.2. Входной ток смещения	184
8.3.3. Дрейф	184
8.4. Дифференциальный усилитель	185
8.4.1. Основная схема	185
8.4.2. Коэффициент усиления напряжения	186
8.4.3. Подавление синфазного сигнала и уменьшение дрейфа	190
8.4.4. Симметричный выход	193
8.4.5. Усилитель, управляемый напряжением	194
8.5. Усилители в интегральном исполнении	195
8.6. Электронный термометр	196
8.7. Подавление помех с помощью дифференциального усилителя	197
8.8. Простой физиологический усилитель	199
8.9. Усилители постоянного тока с преобразованием	200
Глава 9. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТЬЮ	203
9.1. Источники питания	203
9.2. Выпрямление переменного напряжения	204
9.3. Сглаживание пульсаций	207
9.3.1. Вступление	207
9.3.2. Пульсации	208
9.4. Нагрузочная способность	209

9.5. Параметры диода и конденсатора	210
9.6. Схемы умножения напряжения	211
9.7. Схемы фильтров	213
9.8. Развязка	214
9.9. Регулируемые источники питания	215
9.9.1. Потенциометр	215
9.9.2. Эмиттерный повторитель в схемах источников питания	216
9.10. Стабилизаторы напряжения	218
9.10.1. Вступление	218
9.10.2. Базовая схема стабилизатора со стабилитроном	218
9.10.3. Коэффициент стабилизации	219
9.10.4. Недостатки простой схемы со стабилитроном	220
9.10.5. Случай больших токов нагрузки	224
9.10.6. Улучшение стабилизации с помощью усилителя рассогласования	226
9.10.7. Стабилизаторы и уменьшение пульсаций	227
9.10.8. Стабилитрон как прецизионный источник опорного напряжения	228
9.10.9. Использование напряжения запрещенной зоны в качестве эталона	229
9.10.10. Защита от короткого замыкания	230
9.10.11. Стабилизаторы в интегральном исполнении	231
9.11. Охлаждение транзистора	235
9.11.1. Теплоотводы	235
9.11.2. Электрическая изоляция	235
9.11.3. Тепловое сопротивление	236
9.12. Импульсные источники питания	237
9.12.1. Преобразование постоянного напряжения в постоянное	237
9.12.2. Импульсные источники с непосредственным питанием от сети	239
9.13. Управление мощностью с помощью тиристоров, транзисторов и симисторов	240
9.13.1. Общие сведения о тиристоре	240
9.13.2. Конструкция и принцип действия тиристора	240
9.13.3. Управление мощностью с помощью транзистора	243
9.13.4. Симистор и его применения	244
Глава 10. ИМПУЛЬСНЫЕ СИГНАЛЫ И ПОСТОЯННЫЕ ВРЕМЕНИ	249
10.1. Введение	249
10.2. Формирование сигналов прямоугольной формы	249
10.3. Фурье-анализ	251
10.4. Заряд, разряд и постоянные времени	251
10.5. Звон	256
10.6. Постоянные времени и транзисторы	257
10.7. Развязывающие конденсаторы в импульсных схемах	258
10.8. Фиксирующий диод	260
10.9. Постоянная времени цепи с развязывающим конденсатором	261
10.10. Дифференцирование и интегрирование	262
10.11. Электронные вычисления	267
10.12. Измеритель частоты следования импульсов с накачкой заряда	268
10.13. Ограничение импульсов	269



Глава 11. «СТРОИТЕЛЬНЫЕ БЛОКИ» АНАЛОГОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ	271
11.1. Введение	271
11.2. Операционный усилитель	272
11.2.1. Упрощающие предположения	272
11.2.2. Начальный входной ток и напряжение смещения	274
11.2.3. Схема балансировки	276
11.3. Практические детали	277
11.4. Неинвертирующий усилитель	278
11.4.1. Простейший усилитель постоянного тока	278
11.4.2. Использование разделительных конденсаторов	279
11.4.3. Усилитель переменного напряжения с питанием от одного источника	280
11.5. Инвертирующий усилитель	282
11.5.1. Введение	282
11.5.2. Мнимая земля	283
11.5.3. Усиление переменного сигнала инвертирующим усилителем	284
11.6. Дифференциальный усилитель с обратной связью	284
11.7. Сумматор на основе ОУ	285
11.8. Интегратор на основе ОУ	287
11.8.1. Основная схема	287
11.8.2. Смещение в интеграторе	289
11.8.3. Точность и время интегрирования	290
11.8.4. Генератор линейно изменяющегося напряжения	291
11.8.5. Электрометрический усилитель	293
11.9. Дифференциатор на основе ОУ	295
11.10. Преобразователь тока в напряжение	296
11.11. Частотные характеристики схем на основе ОУ	297
11.12. Время установления и максимальная скорость нарастания	299
11.13. Источники питания	301
11.13.1. Напряжение питания и нагрузочная способность	301
11.13.2. Стабильность питания и требования к пульсациям	302
11.14. Активные фильтры	302
11.14.1. Вступление	302
11.14.2. Фильтры нижних частот	303
11.14.3. Фильтры верхних частот	311
11.14.4. Полосовые фильтры	312
11.14.5. Регулировка тембра	315
11.15. Логарифмические усилители	317
11.16. Прецизионные выпрямители	321
11.17. Дифференциальный компаратор	322
11.17.1. Введение	322
11.17.2. Гистерезис при положительной обратной связи	324
11.18. Справочные данные об ОУ	326
11.19. Аналоговый умножитель	326
11.20. Аналоговый делитель	329
11.21. Аналоговое моделирование	331
11.21.1. Введение	331
11.21.2. Резонансная система с затуханием	331

11.22. Фильтр с варьируемой характеристикой	333
11.23. Фильтр с переключаемыми конденсаторами	334
Глава 12. СХЕМЫ С ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ И ГЕНЕРАТОРЫ	336
12.1. Положительная обратная связь	336
12.2. Генераторы синусоидальных колебаний	336
12.2.1. Генератор с фазовращателем	336
12.2.2. Генератор с мостом Вина	339
12.2.3. Генератор квадратурного сигнала	342
12.2.4. Генератор с LC-контуром	344
12.3. Кварцевые генераторы	345
12.4. Триггер (бистабильный мультивибратор)	346
12.5. Самовозбуждающийся мультивибратор	347
12.6. Ждущий мультивибратор	351
12.7. Двоичный счетчик	352
12.8. Триггер Шмитта	353
12.9. Генератор, управляемый напряжением	354
12.10. Фазовая автоподстройка частоты	355
12.10.1. Основной принцип	355
12.10.2. Фазовый компаратор	356
12.10.3. Практическая схема фазовой автоподстройки частоты	357
Глава 13. ЦИФРОВЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ	359
13.1. Цифровой мир	359
13.2. Логические функции и логические схемы	359
13.3. Электронные логические элементы	361
13.4. Свойства логических схем со стороны входа и выхода	364
13.5. Классификация схем	365
13.6. Таблицы истинности	365
13.7. Простые комбинации логических элементов	366
13.8. Сложение двоичных чисел	367
13.9. Интегральные логические схемы	369
13.9.1. Введение	369
13.9.2. Схемы ТТЛ	370
13.9.3. КМОП-схемы	372
13.10. Последовательностные логические схемы: триггеры и память	374
13.10.1. Простейшие триггеры	375
13.10.2. Синхронный RS-триггер	378
13.10.3. D-триггер	379
13.10.4. JK-триггер	379
13.10.5. Двухконтактный триггер и триггер с динамическим входом	380
13.11. Регистры	383
13.11.1. Регистры для хранения данных	383
13.11.2. Регистр сдвига	383
13.12. Двоичный счет	386
13.12.1. Введение	386
13.12.2. Входы сброса и модуль счета	388

13.12.3. Двоично-десятичный счетчик	389
13.12.4. Последовательное соединение двоично-десятичных счетчиков	391
13.12.5. Синхронные счетчики	392
13.13. Дешифраторы и индикаторы	393
13.13.1. Прямое дешифрование — десятичное и шестнадцатеричное	393
13.13.2. Семисегментные индикаторы и дешифраторы	396
13.13.3. Микросхема 74LS75 — триггер-защелка	398
13.13.4. Мультиплексированные индикаторы	399
13.14. Интегральный триггер Шмитта 7413	400
13.15. Ждущие мультивибраторы и таймеры	402
13.15.1. Вступление	402
13.15.2. Интегральная схема ждущего мультивибратора 74121	402
13.15.3. Интегральный таймер 555	405
13.16. Мультиплексоры данных	409
13.17. Соединение логических схем	411
13.17.1. Общие предостережения	411
13.17.2. Подключение логических схем и их эксплуатация	412
13.17.3. Источники питания	413
13.18. Эмиттерно-связанная логика	414
13.19. Логические матрицы	415
13.20. Программируемые логические устройства	416
13.21. Переключение аналоговых сигналов с помощью КМОП-схем	416
Глава 14. МИКРОЭВМ И ИХ ПРИМЕНЕНИЯ	419
14.1. Что делает компьютер?	419
14.2. Электронная арифметика	419
14.2.1. Сложение	419
14.2.2. Вычитание	421
14.2.3. Двоичное умножение и деление	424
14.3. Биты, байты и полубайты	426
14.4. Шина данных	426
14.5. Запоминающие устройства	431
14.5.1. Магнитные и оптические устройства для хранения данных	431
14.5.2. Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ)	431
14.5.3. ROM, EPROM и EEPROM	434
14.6. МикроЭВМ	435
14.7. Программные средства	438
14.7.1. Последовательность команд	438
14.7.2. Машинный код	438
14.7.3. Запуск программы	440
14.7.4. Непосредственный ввод в машинном коде и запуск	441
14.7.5. Язык ассемблера	442
14.7.6. Языки высокого уровня	445
14.8. Ввод в микроЭВМ и вывод из нее	446
14.8.1. Дешифрование адреса	446
14.8.2. Порт вывода	449
14.8.3. Порт ввода	451
14.8.4. Практические схемы портов для персональных компьютеров	451
14.9. Эксперименты с вводом/выводом на микроЭВМ Acorn	452

14.10. Изучение процессора	454
14.11. Как отвлечь процессор от выполняемой программы?	457
14.11.1. Прерывания	457
14.11.2. Прямой доступ в память	462
14.12. Цифровая обработка сигналов	462
14.13. Цифровые фильтры	464
14.14. Цифроаналоговое преобразование	465
14.15. Аналого-цифровое преобразование	467
14.15.1. Основные схемы аналого-цифрового преобразования	467
14.15.2. Схема выборки и хранения	468
14.15.3. Шум квантования и дрожание	469
14.15.4. Частота выборок	470
14.15.5. Дельта-сигма преобразование данных (избыточная дискретизация)	472
Приложение 1. МАРКИРОВКА КОМПОНЕНТОВ	478
Приложение 2. ВЫБОР ТРАНЗИСТОРА	482
Приложение 3. ПАРАМЕТРЫ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ	484
Приложение 4. ЦОКОЛЕВКА ЦИФРОВЫХ ИС	486
Приложение 5. СОПРЯЖЕНИЕ С ПЕРСОНАЛЬНЫМ КОМПЬЮТЕРОМ СЕМЕЙСТВА IBM	492
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	498
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	500

Предисловие издательства Cambridge University Press

Эта книга содержит рассказ об электронике, опирающийся на практику, и доступна любому читателю, который хотя бы немного знаком с электрическими цепями. Мартин Хартли Джонс рассматривает предмет во всей полноте: начиная с таких основных понятий, как усиление, он переходит затем к приложениям аналоговых и цифровых интегральных микросхем и заканчивает ясным описанием микроЭВМ. Каждая тема сопровождается эффективными иллюстрациями в виде живых экспериментов, а изложение построено так, чтобы математика не заслоняла принципы электроники, так что книга повсюду читается легко.

У автора богатый опыт обучения студентов и работы в промышленности, что нашло свое отражение в манере подачи материала. Автор убежден, что эффективное изучение электроники должно опираться на практический опыт собирания схем и экспериментирования с ними. С этой точки зрения приводимые в книге схемы содержат всю необходимую информацию, включая значения параметров, чтобы читатель имел возможность учиться, приобретая практический опыт. Компьютерные эксперименты рассчитаны, в частности, на использование персональных компьютеров семейства IBM.

Книга представляет собой идеальный учебник для начального изучения электроники студентами, специализирующимися в этой области. Но она будет полезна также и тем из учащихся, для кого электроника является вспомогательной дисциплиной: будущим физикам, инженерам, химикам, биологам и врачам. И конечно, это — настольная книга для радиолюбителей.

Сегодня выходит третье издание этой весьма удачной книги, в котором сохранены стиль и логика изложения предыдущих изданий. В тех местах, где речь шла о компонентах, вышедших в настоящее время из употребления, произведено необходимое обновление. С развитием электроники меняется относительная важность отдельных вопросов. Среди многого, что было добавлено, можно привести в качестве примера новые разделы, посвященные источникам питания, работающим в ключевом режиме, схеме фазовой автоподстройки частоты и аналого-цифровому преобразованию. Повсеместно распространенные ныне персональные компьютеры представлены в ряде экспериментов по их практическому сопряжению с внешними устройствами. Книга в целом проникнута духом электроники 90-х годов.

Предисловие к третьему изданию

Сегодня с большим удовлетворением можно констатировать популярность первого и второго изданий этой книги. В нынешнем, третьем издании тот же, что и ранее, практический подход применен для того, чтобы обновить содержание книги и привести его в соответствие с тем волнующим зрелищем, какое представляет собой современная электроника, сохранив, однако, прежний стиль изложения в целом.

В 1977 году, когда вышло в свет первое издание, еще не было и в помине CD-плееров, сотовых телефонов и факсов, ставших символами достижений современной электроники, и это служит свидетельством стремительного развития в данной области. Во втором издании, в 1985 году, уже было отдано должное расцвету микрокомпьютерной индустрии, хотя некоторые из домашних компьютеров, популярных в то время, теперь исчезли без следа.

Сегодня, 10 лет спустя, мы являемся свидетелями замечательного прогресса в сфере компьютерных технологий, в частности в отношении быстродействия компьютеров, объемов памяти и степени интеграции. Стало нормой применение компонентов с планарными выводами, и во все большем числе случаев запись и обработка сигналов выполняются теперь цифровыми методами. К счастью для студентов и экспериментаторов, основные компоненты и узлы электронных схем, о которых идет речь в этой книге, продолжают и ныне играть ключевую роль точно так же, как это было всегда. Все еще продолжается широкий выпуск промышленностью компонентов с проволочными выводами, которые более всего пригодны для экспериментов; излюбленный транзистор BC107 (аналог KT3102. — *Примеч. перев.*), по-прежнему остается самым распространенным. Там, где применялись компоненты, вышедшие в настоящее время из употребления, произведено необходимое обновление.

В ряде случаев развитие техники изменило относительную важность отдельных вопросов и тем. Например, импульсные источники питания заслуживают теперь более подробного рассмотрения, и то же самое относится ко всей теме аналого-цифрового преобразования. Некоторые другие вопросы, переставшие играть сколько-нибудь существенную роль, спокойно могут быть опущены. На передний план выведены вездесущие персональные компьютеры, в частности при обсуждении типичных примеров практического их сопряжения с внешними устройствами, а также в примерах программирования, ориентированных на популярные в сфере образования компьютеры Ascom.

Спасибо моим коллегам по Kelvin Hughes за их советы и помощь, Майрин Браун за выполненный ею набор текста и моей жене Сильвии за постоянную помощь в качестве секретаря и моральную поддержку. Я также признателен моим сыновьям Крису и Тиму за полезные предложения по обновлению материала.

Мартин Хартли Джонс
Июль, 1994