

Электроника

Саймон Монк, Пауль Шерц



МИРОВОЙ БЕСТСЕЛЛЕР
ДЛЯ РАДИОЛЮБИТЕЛЕЙ!



ЭЛЕКТРОНИКА ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

4-е издание



ОГЛАВЛЕНИЕ

Об авторах	16
О технических редакторах	16
Благодарности	17
Введение.....	18
Глава 1. Введение в электронику.....	19
Глава 2. Теория.....	23
2.1. Теоретические основы электроники	23
2.2. Электрический ток.....	24
2.2.1. Токи с разных точек зрения	27
2.3. Напряжение	28
2.3.1. Как возникает напряжение.....	29
2.3.2. Определение вольта и обобщенный закон мощности	32
2.3.3. Соединение нескольких батареек.....	34
2.3.4. Другие источники напряжения.....	35
2.3.5. Напряжение как вода.....	35
2.4. Проводимость на микроскопическом уровне (для тех, кого это интересует).....	37
2.4.1. Приложение напряжения	39
2.5. Сопротивление, удельное сопротивление и проводимость	41
2.5.1. Зависимость сопротивления от формы проводника	43
2.5.2. Удельное сопротивление и проводимость	44
2.6. Изоляторы, проводники и полупроводники.....	48
2.7. Тепло и мощность.....	51
2.8. Теплопроводность и тепловое сопротивление.....	54
2.8.1. Важность явления образования тепла.....	57
2.9. Калибры проводов	58
2.10. Заземления.....	61
2.10.1. Физическое заземление.....	62
2.10.2. Разные типы символов для разной "земли"	66
2.10.3. Дополнительные аспекты заземления.....	67
2.11. Электрические схемы	70
2.12. Закон Ома и резисторы.....	71
2.12.1. Номинальная мощность резистора.....	72
2.12.2. Параллельное соединение резисторов	74
2.12.3. Последовательное соединение резисторов.....	77
2.12.4. Упрощение сложной резисторной схемы.....	81
2.12.5. Делители напряжения на несколько нагрузок	83
2.13. Источники напряжения и тока.....	86
2.14. Измерение напряжения, тока и сопротивления	89
2.15. Соединение нескольких батареек.....	91

2.16. Разомкнутые и замкнутые цепи	92
2.17. Правила Кирхгофа	94
2.18. Метод наложения	99
2.19. Теоремы Тевенина и Нортонa	100
2.19.1. Теорема Тевенина	100
2.19.2. Теорема Нортонa	102
2.20. Цепи переменного тока	105
2.20.1. Получение переменного тока	106
2.20.2. Аналогия переменного тока с водой	107
2.20.3. Пульсирующий постоянный ток	108
2.20.4. Объединение синусоидальных источников	108
2.20.5. Сигналы переменного тока	109
2.20.6. Описание сигнала переменного тока	110
2.21. Переменный ток и сопротивление, среднеквадратическое напряжение и ток	113
2.22. Питание от электросети	118
2.23. Конденсаторы	121
2.23.1. Определение емкости	124
2.23.2. Промышленные конденсаторы	126
2.23.3. Номинальное напряжение и пробой диэлектрика	127
2.23.4. Ток смещения Максвелла	127
2.23.5. Зарядная модель протекания тока через конденсатор	129
2.23.6. Водяная аналогия конденсатора	131
2.23.7. Энергия в конденсаторе	133
2.23.8. Постоянная времени RC -цепи	133
2.23.9. Паразитная емкость	136
2.23.10. Параллельное соединение конденсаторов	137
2.23.11. Последовательное соединение конденсаторов	138
2.23.12. Конденсатор в цепях переменного тока	139
2.23.13. Емкостное сопротивление	140
2.23.14. Емкостный делитель	142
2.23.15. Добротность	142
2.24. Индукторы	143
2.24.1. Электромагнетизм	143
2.24.2. Магнитное поле и его воздействие	146
2.24.3. Самоиндукция	150
2.24.4. Индукторы	151
2.24.5. Водяная аналогия индуктора	156
2.24.6. Уравнения индуктивности	158
2.24.7. Энергия в индукторе	162
2.24.8. Сердечники индукторов	163
2.24.9. Уравнения индукторов	168
2.24.10. Подача питания на RL -цепь	171
2.24.11. Снятие питания с RL -цепи	174
2.24.12. Всплески напряжения, вызываемые переключением индуктивной нагрузки	178
2.24.13. Индуктивность прямого провода	178
2.24.14. Взаимная индуктивность и магнитная связь	180
2.24.15. Паразитные связи: всплески напряжения, разряды молнии и прочие пульсации	180
2.24.16. Последовательное и параллельное соединение индукторов	181
2.24.17. Индукторы в цепях переменного тока	182
2.24.18. Индуктивное сопротивление	183
2.24.19. Модель неидеального индуктора	185
2.24.20. Добротность	186
2.24.21. Применение индукторов	187
2.25. Моделирование сложных схем	187
2.26. Комплексные числа	191
2.27. Схемы с синусоидальными источниками	195
2.27.1. Анализ схем с синусоидальным сигналом с помощью комплексных импедансов	196
2.27.2. Источник синусоидального напряжения в комплексной нотации	199
2.27.3. Странные эффекты в реактивных цепях	206

2.28. Мощность в цепях переменного тока: кажущаяся мощность, активная мощность, реактивная мощность	207
2.28.1. Коэффициент мощности	209
2.29. Теорема Гевенина для переменных токов	217
2.30. Резонансные контуры	219
2.30.1. Резонанс в <i>RLC</i> -схемах	224
2.30.2. Падение напряжения на компонентах резонансного <i>RLC</i> -контура	227
2.30.3. Активные потери конденсатора	228
2.30.4. Параллельные резонансные контуры	229
2.30.5. Добротность нагруженных контуров	236
2.31. О децибелах	237
2.31.1. Альтернативные представления в децибелах	240
2.32. Входной и выходной импеданс	241
2.32.1. Входной импеданс	241
2.32.2. Выходной импеданс	242
2.33. Четырехполосники и фильтры	243
2.33.1. Фильтры	243
2.33.2. Атенюаторы	256
2.34. Цепи с переходными процессами	258
2.34.1. Последовательная <i>RLC</i> -схема	267
2.35. Цепи с периодическим несинусоидальным сигналом	271
2.35.1. Ряд Фурье	272
2.36. Непериодические сигналы	278
2.37. Эмулятор SPICE	280
2.37.1. Принцип работы программы SPICE	283
2.37.2. Ограничения программы SPICE и других эмуляторов	285
2.37.3. Пример простой эмуляции	285
Глава 3. Основные компоненты электронных схем	289
3.1. Провода, кабели и разъемы	289
3.1.1. Провода	289
3.1.2. Кабели	291
3.1.3. Разъемы	294
3.1.4. Обозначения проводов и разъемов	297
3.1.5. Высокочастотные эффекты в проводах и кабелях	298
3.2. Батареи	308
3.2.1. Принцип работы элемента батареи	309
3.2.2. Первичные батареи	310
3.2.3. Сравнение первичных батарей	311
3.2.4. Вторичные элементы	316
3.2.5. Сравнение вторичных (перезаряжаемых) элементов	316
3.2.6. Емкость батареи	325
3.2.7. Внутреннее падение напряжения элемента	327
3.3. Переключатели	329
3.3.1. Принцип работы переключателя	329
3.3.2. Описание переключателя	329
3.3.3. Типы переключателей	331
3.3.4. Простое применение переключателей	332
3.4. Реле	334
3.4.1. Типы реле	335
3.4.2. Несколько замечаний о реле	337
3.4.3. Простые схемы с применением реле	338
3.5. Резисторы	339
3.5.1. Сопротивление и закон Ома	341
3.5.2. Последовательное и параллельное соединения резисторов	342
3.5.3. Маркировка резисторов	345
3.5.4. Характеристики реальных резисторов	347
3.5.5. Типы резисторов	356
3.5.6. Переменные резисторы (реостаты, потенциометры, подстроечники)	362
3.5.7. Характеристики потенциометров	365

3.6. Конденсаторы.....	368
3.6.1. Емкость.....	369
3.6.2. Параллельное соединение конденсаторов.....	370
3.6.3. Последовательное соединение конденсаторов	370
3.6.4. Постоянная времени RC -цепи	371
3.6.5. Емкостное сопротивление.....	372
3.6.6. Настоящий конденсатор.....	373
3.6.7. Характеристики конденсаторов.....	374
3.6.8. Типы конденсаторов.....	378
3.6.9. Применение конденсаторов.....	389
3.6.10. Схемы тактирования и выборки и хранения	395
3.6.11. Сглаживающий RC -фильтр.....	396
3.6.12. Дугогашение.....	400
3.6.13. Применение суперконденсаторов	401
3.6.14. Задачи	403
3.7. Индукторы.....	404
3.7.1. Индуктивность	406
3.7.2. Изготовление индукторов	407
3.7.3. Последовательное и параллельное соединение индукторов.....	407
3.7.4. Постоянная времени RL -цепи	407
3.7.5. Индуктивное сопротивление	410
3.7.6. Реальный индуктор.....	410
3.7.7. Характеристики индукторов.....	411
3.7.8. Типы индукторов	412
3.7.9. Маркировка индукторов	417
3.7.10. Применение индукторов	419
3.7.11. Советы по минимизированию электромагнитных помех и паразитных связей при разработке печатных плат.....	423
3.8. Трансформаторы.....	425
3.8.1. Основные понятия	425
3.8.2. Конструкция сердечников трансформаторов.....	436
3.8.3. Автотрансформаторы и регулируемые трансформаторы	438
3.8.4. Гальваническая развязка и развязывающий трансформатор.....	440
3.8.5. Стандартные и специализированные трансформаторы	441
3.8.6. Применение трансформаторов	443
3.9. Предохранители и автоматические выключатели	449
3.9.1. Типы предохранителей и автоматических выключателей.....	450
Глава 4. Полупроводники	453
4.1. Полупроводниковая технология.....	453
4.1.1. Что собой представляют полупроводники	453
4.1.2. Применение кремния.....	458
4.2. Диоды.....	459
4.2.1. Принцип работы диодов с p - n -переходом	459
4.2.2. Водяная аналогия диода.....	461
4.2.3. Типы диодов.....	462
4.2.4. Практические рекомендации	463
4.2.5. Применение выпрямительных диодов.....	464
4.2.6. Стабилитроны	476
4.2.7. Применение стабилитронов.....	480
4.2.8. Варакторы (параметрические диоды)	483
4.2.9. PIN-диоды.....	485
4.2.10. Микроволновые диоды (ЛПД, Ганна, туннельные и другие).....	486
4.2.11. Примеры	486
4.3. Транзисторы	489
4.3.1. Введение в транзисторы.....	489
4.3.2. Биполярные транзисторы.....	491
4.3.3. Полевые транзисторы с управляющим переходом.....	517
4.3.4. Полевые МОП-транзисторы	530
4.3.5. Биполярные транзисторы с изолированным затвором.....	542
4.3.6. Однопереходные транзисторы.....	542

4.4. Тиристоры	547
4.4.1. Введение	547
4.4.2. Кремниевые управляемые выпрямители	548
4.4.3. Тетроидный тиристор	552
4.4.4. Симисторы	554
4.4.5. Диодные тиристоры и симметричные динисторы	557
4.5. Подавители помех	559
4.5.1. Помехи	559
4.5.2. Устройства для подавления помех	560
4.6. Интегральные схемы	570
4.6.1. Типы корпусов интегральных схем	571
Глава 5. Оптоэлектроника	573
5.1. Короткая лекция по фотонам	573
5.2. Лампы накаливания	575
5.2.1. Типы ламп	576
5.2.2. Техническая информация о лампах освещения	577
5.3. Светодиоды	578
5.3.1. Принцип работы светодиодов	578
5.3.2. Типы светодиодов	579
5.3.3. Дополнительные сведения о светодиодах	581
5.3.4. Применение светодиодов	584
5.3.5. Лазерные диоды	586
5.4. Фоторезисторы	593
5.4.1. Принцип работы фоторезисторов	594
5.4.2. Технические заметки	594
5.4.3. Применения фоторезисторов	594
5.5. Фотодиоды	596
5.5.1. Принцип работы фотодиодов	596
5.5.2. Базовые функции фотодиодов	597
5.5.3. Типы фотодиодов	598
5.6. Фотогальванические элементы	598
5.6.1. Базовые функции фотогальванических элементов	599
5.7. Фототранзисторы	600
5.7.1. Принцип работы биполярных фототранзисторов	600
5.7.2. Основные конфигурации схем с фототранзисторами	601
5.7.3. Типы фототранзисторов	601
5.7.4. Технические заметки	602
5.7.5. Применения фототранзисторов	602
5.8. Фототиристоры	604
5.8.1. Принцип работы активируемых светом кремниевых управляемых выпрямителей	604
5.8.2. Базовая операция, выполняемая АСКУВ	605
5.9. Оптоизоляторы	605
5.9.1. Интегрированные оптопары	606
5.9.2. Применения оптронов	606
5.10. Оптические волокна	607
Глава 6. Датчики	609
6.1. Общие принципы датчиков	611
6.1.1. Точность, правильность и разрешение	611
6.1.2. Эффект наблюдателя	612
6.1.3. Калибровка	612
6.2. Датчики температуры	613
6.2.1. Термисторы	613
6.2.2. Термопары	616
6.2.3. Резистивные датчики температуры	616
6.2.4. Температурные датчики на микросхемах с аналоговым выходом	617
6.2.5. Температурные датчики на микросхемах с цифровым выходом	617
6.2.6. Инфракрасные термометры и пирометры	618
6.2.7. Резюме	619

6.3. Датчики присутствия и касания	619
6.3.1. Сенсорные экраны	620
6.3.2. Ультразвуковые дальномеры	621
6.3.3. Оптические дальномеры	622
6.3.4. Емкостные датчики	623
6.3.5. Резюме	623
6.4. Датчики движения, усилия и давления	624
6.4.1. Пассивные инфракрасные датчики	625
6.4.2. Акселерометры	625
6.4.3. Датчики вращения	626
6.4.4. Поточковые датчики	627
6.4.5. Датчики усилия	628
6.4.6. Датчики наклона	629
6.4.7. Вибродатчики и датчики ударов	629
6.4.8. Датчики давления	629
6.5. Датчики химических веществ	630
6.5.1. Датчики дыма	630
6.5.2. Датчики газа	630
6.5.3. Датчики влажности воздуха	631
6.6. Датчики света, излучения, магнетизма и звука	631
6.6.1. Датчики света	631
6.6.2. Датчики ионизирующего излучения	631
6.6.3. Датчики магнитного поля	632
6.6.4. Датчики звука	632
6.7. Система глобального позиционирования	633
Глава 7. Практическая электроника	635
7.1. Техника безопасности	635
7.1.1. Что опасно для жизни и здоровья при работе с электроприборами?	635
7.1.2. Воздействие электростатического разряда на электронные устройства	639
7.1.3. Меры по защите компонентов от электростатического разряда	639
7.2. Конструирование схем	640
7.2.1. Создание принципиальной схемы устройства	640
7.2.2. Замечание по программным эмуляторам схем	642
7.2.3. Создание прототипа схемы	643
7.2.4. Конечная схема	643
7.2.5. Создание печатных плат	646
7.2.6. Специальные компоненты, применяемые в построении схем	652
7.2.7. Пайка	653
7.2.8. Демонтаж паяных соединений	653
7.2.9. Корпус для схемы	654
7.2.10. Вещи, которые полезно иметь под рукой	654
7.2.11. Поиск и устранение неполадок в разрабатываемых схемах	655
7.3. Мультиметры	656
7.3.1. Базовые операции	656
7.3.2. Принцип работы аналогового мультиметра	657
7.3.3. Принцип работы цифрового мультиметра	659
7.3.4. Замечание о погрешностях измерений	660
7.4. Осциллографы	661
7.4.1. Принцип работы осциллографа	662
7.4.2. Внутренняя электроника осциллографа	664
7.4.3. Фокусирование луча	665
7.4.4. Использование осциллографа	666
7.4.5. Назначение элементов управления осциллографа	667
7.4.6. Выполнение измерений посредством осциллографа	672
7.4.7. Другие применения осциллографа	677
7.4.8. Измерение импедансов с помощью осциллографа	678
7.5. Электронная лаборатория	680
7.5.1. Рабочее место	681
7.5.2. Контрольно-измерительная аппаратура	682

7.5.3. Мультиметры	683
7.5.4. Источники питания постоянного тока	684
7.5.5. Осциллограф	685
7.5.6. Щупы осциллографа	688
7.5.7. Генератор сигналов общего назначения	695
7.5.8. Частотомер	696
7.5.9. Компьютер	697
7.5.10. Прочая контрольно-измерительная аппаратура	697
7.5.11. Многофункциональные инструменты на основе ПК	698
7.5.12. Развязывающие трансформаторы	700
7.5.13. Регулируемые трансформаторы	702
7.5.14. Подстановочные магазины	704
7.5.15. Кабели, разъемы и адаптеры для тестового оборудования	706
7.5.16. Оборудование для пайки	707
7.5.17. Макетные платы	711
7.5.18. Ручные инструменты	713
7.5.19. Провода, кабели, крепеж и химикаты	714
7.5.20. Каталоги электронных деталей	717
7.5.21. Рекомендуемые электронные детали	719
7.5.22. САПР для электроники	722
7.5.23. Как самому сделать рабочий стол	724
Глава 8. Операционные усилители	729
8.1. Водяная аналогия операционного усилителя	731
8.2. Принцип работы операционного усилителя	732
8.3. Теория в основе работы операционных усилителей	732
8.4. Отрицательная обратная связь	735
8.5. Положительная обратная связь	741
8.6. Реальные операционные усилители	743
8.7. Характеристики операционных усилителей	747
8.8. Питание операционных усилителей	749
8.9. Практические замечания	750
8.10. Корректировка смещения напряжения и тока	751
8.11. Частотная коррекция	752
8.12. Компараторы	753
8.13. Компараторы с гистерезисом	754
8.13.1. Инвертирующий компаратор с гистерезисом	755
8.13.2. Неинвертирующий компаратор с гистерезисом	756
8.14. Использование компараторов с однополярным питанием	758
8.15. Двухпороговый компаратор	759
8.16. Индикатор уровня напряжения	759
8.17. Измерительные усилители	760
8.18. Другие применения компараторов	761
Глава 9. Фильтры	769
9.1. Что нужно знать, прежде чем приступить к разработке фильтров?	770
9.2. Основные типы фильтров	772
9.3. Разработка пассивных низкочастотных фильтров	773
9.4. Замечание по типам фильтров	777
9.5. Разработка пассивных высокочастотных фильтров	778
9.6. Разработка пассивных полосовых фильтров	780
9.6.1. Широкополосные полосовые фильтры	780
9.6.2. Узкополосные полосовые фильтры	781
9.7. Разработка пассивного режекторного фильтра	784
9.8. Разработка активных фильтров	786
9.8.1. Активный низкочастотный фильтр	787
9.8.2. Активный высокочастотный фильтр	789
9.8.3. Активные полосовые фильтры	790
9.8.4. Активные режекторные фильтры	793
9.9. Микросхемы фильтров	795

Глава 10. Генераторы колебаний и таймеры	797
10.1. Релаксационные RC-генераторы	798
10.2. Таймерная микросхема 555.....	802
10.2.1. Принцип работы микросхемы 555 (автоколебательный режим).....	802
10.2.2. Базовый автоколебательный режим.....	804
10.2.3. Работа микросхемы 555 в моностабильном режиме	806
10.2.4. Базовый моностабильный режим	807
10.2.5. Несколько важных замечаний о таймере 555.....	807
10.2.6. Простые приложения с таймером 555.....	809
10.3. Управляемые напряжением генераторы колебаний	810
10.4. Генератор с мостом Вина и генератор с двойным T-образным мостом	811
10.5. Синусоидальные LC-генераторы.....	812
10.6. Кварцевые генераторы	816
10.7. Генераторы на микроконтроллере	819
Глава 11. Стабилизаторы напряжения и источники питания.....	821
11.1. Микросхемы стабилизаторов напряжения	823
11.1.2. Микросхемы регулируемых стабилизаторов напряжения.....	824
11.1.3. Характеристики стабилизаторов напряжения.....	825
11.2. Краткий обзор применения стабилизаторов напряжения	826
11.3. Трансформатор.....	827
11.4. Типы выпрямителей	827
11.5. Несколько простых источников питания	828
11.6. Подавление пульсаций	832
11.7. Прочие аспекты источников питания	834
11.8. Импульсные стабилизаторы источников питания	836
11.9. Импульсные источники питания.....	840
11.10. Типы коммерческих источников питания	841
11.11. Конструкция источника питания.....	842
Глава 12. Цифровая электроника	845
12.1. Основы цифровой электроники.....	845
12.1.1. Цифровые логические состояния	846
12.1.2. Системы счисления, используемые в цифровой электронике.....	846
12.1.3. Тактирование, параллельная и последовательная передачи данных	854
12.2. Логические элементы	855
12.2.1. Логические элементы с несколькими входами	857
12.2.2. Микросхемы цифровых логических элементов.....	858
12.2.3. Приложения для одного логического элемента	859
12.2.4. Комбинационная логика	861
12.2.5. Упрощение логических схем (карты Карно).....	868
12.3. Комбинационные устройства	871
12.3.1. Мультиплексоры (селекторы данных) и двунаправленные переключатели	872
12.3.2. Демультимплексоры (распределители данных) и дешифраторы	874
12.3.3. Шифраторы и кодопреобразователи.....	877
12.3.4. Двоичные сумматоры.....	881
12.3.5. Двоичный сумматор-вычитатель.....	882
12.3.6. Компараторы и микросхемы компараторов величин.....	883
12.3.7. О прекращении использования специализированных микросхем и тенденции к использованию микроконтроллеров	884
12.4. Семейства логических микросхем	885
12.4.1. Микросхемы семейства КМОП.....	886
12.4.2. Входные-выходные напряжения и запас помехоустойчивости.....	887
12.4.3. Рабочий ток, нагрузочная способность по выходу и задержка распространения.....	888
12.5. Питание и тестирование логических микросхем	888
12.5.1. Развязка источника питания	889
12.5.2. Неиспользуемые выводы микросхем.....	889
12.5.3. Логические пробники и генераторы импульсов	890
12.6. Последовательностная логика	891
12.6.1. SR-триггер.....	892

12.6.2. Микросхемы SR-триггеров	897
12.6.3. D-триггер	898
12.6.4. Микросхемы из четырех и восьми D-триггеров	901
12.6.5. JK-триггер.....	902
12.6.6. Практические аспекты синхронизации триггеров	908
12.6.7. Цифровые генераторы сигнала тактирования и генераторы одиночных импульсов	910
12.6.8. Схемы для выполнения автоматического сброса при подаче питания.....	915
12.6.9. Повышающие и понижающие резисторы.....	917
12.7. Микросхемы счетчиков.....	918
12.7.1. Микросхемы асинхронных (со сквозным переносом) счетчиков	919
12.7.2. Микросхемы синхронных счетчиков.....	921
12.7.3. Замечание по счетчикам с дисплеями.....	928
12.8. Сдвиговые регистры.....	929
12.8.1. Сдвиговые регистры с последовательным вводом и последовательным выводом	930
12.8.2. Сдвиговые регистры с последовательным вводом и параллельным выводом.....	930
12.8.3. Сдвиговые регистры с параллельным вводом и последовательным выводом.....	931
12.8.4. Кольцевой счетчик.....	932
12.8.5. Счетчик Джонсона.....	932
12.8.6. Микросхемы сдвиговых регистров	933
12.8.7. Простые приложения с использованием сдвигового регистра.....	938
12.9. Аналого-цифровой интерфейс.....	941
12.9.1. Активирование простых логических откликов аналоговыми сигналами.....	941
12.9.2. Управление внешней нагрузкой посредством выхода логического устройства	943
12.9.3. Аналоговые переключатели.....	945
12.9.4. Аналоговые мультиплексоры-демультиплексоры	946
12.9.5. Аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразования	947
12.9.6. Аналого-цифровое преобразование	955
12.10. Дисплей.....	958
12.10.1. Светодиодные индикаторы	958
12.10.2. Жидкокристаллические дисплеи.....	963
12.11. Устройства хранения данных	976
12.11.1. Постоянные запоминающие устройства.....	977
12.11.2. Простое ПЗУ на диодах.....	978
12.11.3. Размер и организация памяти	979
12.11.4. Простое программируемое ПЗУ	979
12.11.5. Устройства постоянной памяти.....	980
12.11.6. Устройства оперативной памяти.....	984

Глава 13. Микроконтроллеры..... 993

13.1. Базовая организация микроконтроллера	994
13.2. Примеры микроконтроллеров	995
13.2.1. Микроконтроллер ATtiny85.....	995
13.2.2. Микроконтроллеры семейства PIC16Cxx	1000
13.2.3. 32-разрядные микроконтроллеры	1015
13.2.4. Цифровая обработка сигналов.....	1015
13.3. Демонстрационные и макетные платы	1016
13.4. Платформа Arduino.....	1017
13.4.1. Обзор платформы Arduino	1017
13.4.2. Интегрированная среда разработки Arduino	1018
13.4.3. Модели плат Arduino	1019
13.4.4. Шилды	1020
13.4.5. Библиотека на языке C для платформы Arduino	1021
13.4.6. Пример проекта Arduino	1024
13.4.7. Использование только самого микроконтроллера.....	1026
13.5. Сопряжение внешних устройств с микроконтроллерами.....	1027
13.5.1. Подключение переключателей к микроконтроллеру	1028
13.5.2. Аналоговые входы	1032
13.5.3. Управление мощными нагрузками на цифровых выходах	1033

13.5.4. Аудиоинтерфейсы для микроконтроллера	1038
13.5.5. Последовательные интерфейсы микроконтроллеров	1040
13.5.6. Преобразование уровней	1047
13.5.7. Интерфейсы светодиодных индикаторов	1048
Глава 14. Программируемые логические схемы	1053
14.1. Программируемые логические схемы	1054
14.2. Устройства FPGA	1055
14.3. Средство разработки ISE и плата разработчика Elbert V2	1057
14.3.1. Установка программы ISE	1057
14.4. Плата разработчика Elbert V2	1058
14.4.1. Установка программного обеспечения платы Elbert V2	1059
14.5. Загрузка кода примеров	1060
14.6. Создание логической схемы устройства на микросхеме FPGA	1060
14.6.1. Пример 1: селектор данных	1060
14.6.2. Пример 2: четырехразрядный счетчик со сквозным переносом	1070
14.7. Язык Verilog	1072
14.7.1. Модули	1072
14.7.2. Провода, регистры и шины	1072
14.7.3. Параллельное исполнение	1073
14.7.4. Представление чисел	1073
14.8. Описания разработки устройства на FPGA на языке Verilog	1073
14.8.1. Реализация селектора данных на языке Verilog	1073
14.8.2. Создание счетчика со сквозным переносом с помощью языка Verilog	1076
14.9. Модульная конструкция	1078
14.9.1. Модульная конструкция на примере разработки счетчика-дешифратора	1078
14.9.2. Мультиплексированный семисегментный счетчик-дешифратор	1082
14.9.3. Параметризованные модули	1085
14.10. Эмуляция	1086
14.11. Язык VHDL	1088
Глава 15. Электрические двигатели	1089
15.1. Электрические двигатели постоянного тока	1089
15.2. Управление скоростью электродвигателей постоянного тока	1090
15.3. Направление вращения электродвигателя постоянного тока	1092
15.4. Дистанционно управляемые сервоприводы	1094
15.5. Шаговые двигатели	1097
15.6. Типы шаговых двигателей	1098
15.7. Управление шаговыми двигателями	1100
15.8. Управление драйверами шагового двигателя с помощью транслятора	1102
15.9. Идентификация шаговых двигателей	1105
Глава 16. Аудиоэлектроника	1107
16.1. Звук и его характеристики	1107
16.2. Микрофоны	1109
16.2.1. Динамический микрофон	1109
16.2.2. Конденсаторный микрофон	1110
16.2.3. Электретный микрофон	1110
16.2.4. Характеристики микрофонов	1111
16.3. Аудиоусилители	1111
16.3.1. Инвертирующий усилитель	1111
16.3.2. Неинвертирующий усилитель	1112
16.3.3. Цифровые усилители	1113
16.3.4. Снижение уровня фона в аудиоусилителях	1114
16.4. Предусилители	1115
16.5. Схемы микшеров	1115
16.6. Согласование импедансов	1116
16.7. Громкоговорители	1116
16.8. Разделительные фильтры для громкоговорителей	1118
16.9. Простые микросхемы аудиоусилителей	1120

16.10. Устройства для генерирования аудиосигналов.....	1121
16.11. Примеры схем разнообразных аудиоустройств.....	1121
Глава 17. Электронные модули.....	1125
17.1. Специализированные микросхемы	1125
17.2. Платы расширения и подключаемые модули	1126
17.2.1. Радиомодули	1128
17.2.2. Аудиомодули.....	1130
17.3. Модульные прототипы.....	1130
17.4. Открытое аппаратное обеспечение	1132
Приложение 1. Распределение электроэнергии и домашняя электропроводка	1135
П1.1. Распределение электроэнергии.....	1135
П1.2. Принцип работы трехфазного электроснабжения	1136
П1.3. Домашняя электропроводка.....	1138
П1.4. Электричество в других странах	1140
Приложение 2. Анализ погрешностей.....	1143
П2.1. Абсолютная, относительная и процентная погрешности.....	1143
П2.2. Оценка погрешности	1144
Приложение 3. Полезные факты и формулы	1147
П3.1. Греческий алфавит.....	1147
П3.2. Префиксы степеней числа 10 для единиц измерения	1147
П3.3. Линейные функции ($y = kx + b$).....	1147
П3.4. Квадратное уравнение ($y = ax^2 + bx + c$)	1148
П3.5. Показательные и логарифмические функции	1148
П3.6. Тригонометрия	1149
Функции синуса и косинуса	1149
П3.7. Комплексные числа	1150
П3.8. Дифференциальное исчисление	1150
П3.9. Интегральное исчисление	1152
Предметный указатель	1155