

ТОМАС К. ХЕЙС

ПОЛ ХОРОВИЦ

# **ИСКУССТВО СХЕМОТЕХНИКИ ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

Санкт-Петербург  
«БХВ-Петербург»  
2022

**Хейс, Т. К.**

Х35 Искусство схемотехники. Теория и практика: Пер. с англ. / Т. К. Хейс, П. Хоровиц. – СПб.: БХВ-Петербург, 2022. – 1200 с.: ил.

ISBN 978-5-9775-6689-6

В этой уникальной книге по схемотехнике содержится не только теоретический материал, но и полноценный курс лабораторных работ. Подробно рассмотрено применение аналоговых устройств (пассивных элементов, транзисторов, операционных усилителей), цифровых устройств (логических элементов, триггеров, счетчиков, ПЛИС, памяти, АЦП, ЦАП, ФАПЧ) и микроконтроллеров. Каждое из 25 занятий содержит две части: теоретический конспект и лабораторную работу. Занятие начинается с рассмотрения той или иной схемы, после чего предлагается реализовать ее на практике и изучить работоспособность. Занятия включают примеры с решениями и дополнительными пояснениями. Рассматривается язык описания аппаратных средств Verilog. В приложениях представлена общая информация по осциллографам, линиям связи, цоколевке микросхем, программам и т. п., а также даны советы по выбору деталей и оборудования. В книге очень мало математики, основной упор делается на интуитивный подход и практические навыки.

*Для радиолюбителей, студентов и преподавателей*

УДК 681.325.65

ББК 32.85

**Группа подготовки издания:**

Руководитель проекта	<i>Игорь Шишигин</i>
Зав. редакцией	<i>Людмила Гауль</i>
Компьютерная верстка	<i>Людмилы Гауль</i>
Оформление обложки	<i>Зои Канторович</i>

© Cambridge University Press 2017

This translation of *Learning the Art of Electronics* is published by arrangement with Cambridge University Press.Перевод издания *Learning the Art of Electronics* опубликован по соглашению с Cambridge University Press.

Подписано в печать 30.12.21.

Формат 60×90<sup>1/8</sup>. Печать офсетная. Усл. печ. л. 150.

Тираж 1500 экз. Заказ № 22.

«БХВ-Петербург», 191036, Санкт-Петербург, Гончарная ул., 20.

Отпечатано в ООО «Типография «Миттель Пресс»

Адрес: 127254, г. Москва, ул. Руставели, д. 14, стр. 6.

Тел./факс: +7 (495) 619-08-30, 647-01-89.

E-mail: mittelpress@mail.ru

ISBN 978-0-521-17723-8 (англ.)

ISBN 978-5-9775-6689-6 (рус.)

© Cambridge University Press, 2017

© Перевод на русский язык, оформление,  
ООО «БХВ-Петербург», ООО «БХВ», 2022

# СОДЕРЖАНИЕ

Искусство схемотехники. Теория и практика.....	5
<b>Введение .....</b>	<b>21</b>
И книга, и учебный курс.....	21
Что нового в данной книге? .....	21
Кому подойдет эта книга .....	22
Основа: книга «The Art of Electronics» .....	23
Аналоговая и цифровая части: варианты подхода к изучению .....	23
Люди, которые помогли в работе над этой книгой .....	24
Юридическое уведомление .....	25
<b>Замечание относительно первых занятий.....</b>	<b>26</b>
<b>Часть I. Аналоговая электроника: пассивные устройства .....</b>	<b>29</b>
<b>1N Цепи постоянного тока .....</b>	<b>31</b>
1N.1. Краткая сводка.....	31
1N.2. Три основных закона электротехники.....	34
1N.3. Первая практически важная схема: делитель напряжения.....	40
1N.4. Нагрузка и «выходной импеданс».....	43
1N.5. Материал для чтения из AoE.....	52
<b>1L Лабораторное занятие: цепи постоянного тока .....</b>	<b>53</b>
1L.1. Закон Ома.....	53
1L.2. Делитель напряжения.....	55
1L.3. Использование закона Ома для преобразования гальванометра в вольтметр и амперметр .....	56
1L.4. Дiod.....	57
1L.5. Зависимость $I$ от $U$ для некоторых «черных ящиков».....	58
1L.6. Осциллограф и генератор сигналов.....	60
<b>1S Дополнительный материал: резисторы, напряжение, ток .....</b>	<b>64</b>
1S.1. Расшифровка номиналов резисторов.....	64
1S.2. Напряжение и ток.....	67
<b>1W Примеры с решениями: цепи постоянного тока .....</b>	<b>71</b>
1W.1. Разработайте схему вольтметра и амперметра .....	71
1W.2. Рассеивание мощности резисторами.....	73
1W.3. Обходное решение проблемы неточности инструментов.....	74
1W.4. Эквивалентные схемы Тевенина.....	76
1W.5. «Смотрим сквозь» фрагмент схемы.....	77
1W.6. Влияние нагрузки.....	78
<b>2N RC-цепи.....</b>	<b>80</b>
2N.1. Конденсаторы.....	80
2N.2. Анализ RC-цепей во временной области .....	82
2N.3. Анализ RC-цепей в частотной области .....	87
2N.4. Два простых, но важных варианта применения конденсатора: блокировка и развязка .....	102
2N.5. Математический взгляд на RC-фильтры.....	105
2N.6. Материал для чтения в AoE.....	106

<b>2L</b>	<b>Лабораторное занятие: конденсаторы</b> .....	<b>107</b>
	2L.1. Анализ во временной области .....	107
	2L.2. Анализ в частотной области.....	109
<b>2S</b>	<b>Дополнительный материал: RC-цепи</b> .....	<b>113</b>
	2S.1. Определение номиналов конденсаторов.....	113
	2S.2. Заметки в помощь интуитивному пониманию поведения конденсаторов.....	118
	2S.3. Частотная развертка .....	121
<b>2W</b>	<b>Примеры с решениями: RC-цепи</b> .....	<b>128</b>
	2W.1. RC-фильтры .....	128
	2W.2. Переходная характеристика RC-цепи .....	132
<b>3N</b>	<b>Схемы с диодами</b> .....	<b>135</b>
	3N.1. Сильно нагруженный фильтр: еще одна причина, по которой следует придерживаться правила 1:10.....	135
	3N.2. Щуп осциллографа .....	136
	3N.3. Индуктивности.....	139
	3N.4. Резонансный LC-контур .....	140
	3N.5. Схемы с диодами.....	145
	3N.6. Самое важное применение диода: выпрямление переменного тока .....	146
	3N.7. Самое важное применение диода: источник питания (нестабилизованный) .....	149
	3N.8. Радиоприемник .....	152
	3N.9. Материал для чтения в AoE.....	157
<b>3L</b>	<b>Лабораторное занятие: схемы с диодами</b> .....	<b>158</b>
	3L.1. Резонансный LC-контур .....	158
	3L.2. Однополупериодный выпрямитель .....	160
	3L.3. Двухполупериодный мостовой выпрямитель .....	161
	3L.4. Упражнение по разработке: AM-радиоприемник .....	162
	3L.5. Сигнальные диоды.....	164
<b>3S</b>	<b>Дополнительный материал и глоссарий</b> .....	<b>166</b>
	3S.1. Почему звон LC-контра затухает, несмотря на теорию Фурье .....	166
	3S.2. Глоссарий для пассивных устройств .....	168
<b>3W</b>	<b>Примеры с решениями: схемы с диодами</b> .....	<b>169</b>
	3W.1. Разработка источника питания.....	169
	3W.2. Входной импеданс $Z_{вх}$ .....	173
<b>Часть II. Аналоговые устройства: транзисторы</b> .....		<b>177</b>
<b>4N</b>	<b>Транзисторы I</b> .....	<b>179</b>
	4N.1. Краткий обзор рассматриваемого материала .....	179
	4N.2. Предварительная информация.....	181
	4N.3. Простое представление без $\beta$ .....	182
	4N.4. Введем коэффициент «бета».....	185
	4N.5. Переключатель: транзисторная схема особого типа .....	194
	4N.6. Краткий обзор основных транзисторных схем для закрепления пройденного материала.....	194
	4N.7. Материал для чтения в AoE.....	195
<b>4L</b>	<b>Лабораторное занятие: транзисторы</b> .....	<b>196</b>
	4L.1. Предварительное знакомство с транзисторами .....	196
	4L.2. Эмиттерный повторитель .....	197
	4L.3. Источник тока.....	199

4L.4. Усилитель с общим эмиттером.....	200
4L.5. Транзисторный переключатель.....	201
4L.6. Проблема помех источников питания.....	203
<b>4W Примеры с решениями: транзисторы I.....</b>	<b>205</b>
4W.1. Эмиттерный повторитель.....	205
4W.2. Фазорасщепитель: входной и выходной импедансы транзисторной схемы.....	208
4W.3. Транзисторный переключатель.....	213
<b>5N Транзисторы II.....</b>	<b>215</b>
5N.1. Новое не отменяет старого.....	215
5N.2. Вкратце снова о фазорасщепителе.....	216
5N.3. Модель Эберса-Молла транзистора.....	217
5N.4. Искажения в усилителе с высоким коэффициентом усиления.....	221
5N.5. Искажения, вызываемые температурной неустойчивостью.....	222
5N.6. Согласование модели Эберса-Молла с моделью $I_K = \beta \cdot I_B$ .....	227
5N.7. Разностный или дифференциальный усилитель.....	227
5N.8. Послесловие.....	232
5N.9. Материал для чтения в AoE.....	233
<b>5L Лабораторное занятие: транзисторы II.....</b>	<b>234</b>
5L.1. Разностный или дифференциальный усилитель.....	234
<b>5S Дополнительный материал и глоссарий: Транзисторы II.....</b>	<b>244</b>
5S.1. Два новых эффекта в поведении дифференциального усилителя.....	244
5S.2. Токовые зеркала и эффект Эрли.....	246
5S.3. Резюме по транзисторам.....	254
5S.4. Важные схемы.....	256
5S.5. Глоссарий по биполярным транзисторам.....	258
<b>5W Примеры с решениями: транзисторы II.....</b>	<b>260</b>
5W.1. Усилители с высоким коэффициентом усиления.....	260
5W.2. Дифференциальный усилитель.....	261
5W.3. Дифференциальный усилитель в микросхеме операционного усилителя.....	262
<b>Часть III. Аналоговые устройства. Операционные усилители и их применение.....</b>	<b>267</b>
<b>6N Операционные усилители I.....</b>	<b>269</b>
6N.1. Общие сведения об обратной связи.....	269
6N.2. Сущность отрицательной обратной связи.....	272
6N.3. Обратная связь в электронике.....	273
6N.4. «Золотые правила» для работы с операционными усилителями.....	275
6N.5. Применение операционного усилителя.....	276
6N.6. Усилители двух типов.....	277
6N.7. Инвертирующий усилитель.....	278
6N.8. Когда применимы «золотые правила»?.....	280
6N.9. Необычные элементы, которые можно поместить в цепь обратной связи.....	282
6N.10. Материал для чтения в AoE.....	285
<b>6L Лабораторное занятие: операционные усилители I.....</b>	<b>286</b>
6L.1. Предварительные сведения.....	286
6L.2. Экспериментальная схема с операционным усилителем без обратной связи.....	287

6L.3. Вводим обратную связь, получаем повторитель.....	287
6L.4. Выходной импеданс.....	287
6L.5. Инвертирующий усилитель.....	289
6L.6. Суммирующий усилитель.....	289
6L.7. Разработка фазовращателя с единичным усилением.....	290
6L.8. Двухтактный буфер.....	292
6L.9. Преобразователь «ток – напряжение».....	293
6L.10. Источник тока.....	294
<b>6W Примеры с решениями: операционные усилители I.....</b>	<b>296</b>
6W.1. Простой разностный усилитель на операционном усилителе.....	296
6W.2. Более интересный разностный усилитель — микросхема INA149 с широким диапазоном входных напряжений синфазного сигнала.....	299
6W.3. Необычная суммирующая схема.....	300
<b>7N Операционные усилители II: отклонения от идеальности.....</b>	<b>303</b>
Основные моменты ранее рассмотренного материала.....	304
7N.1. Анализ некоторых схем.....	304
7N.2. Неидеальность операционных усилителей.....	307
7N.3. Еще несколько вариантов применения: интегратор, дифференциатор, выпрямитель, разностный усилитель, усилитель по переменному току.....	320
7N.4. Дифференциатор.....	325
7N.5. Разностный усилитель на операционном усилителе.....	326
7N.6. Усилитель переменного тока: хороший способ минимизировать влияние погрешности по постоянному току операционного усилителя.....	327
7N.7. Материал для чтения в AoE.....	328
<b>7L Лабораторное занятие: операционные усилители II.....</b>	<b>329</b>
7L.1. Интегратор.....	329
7L.2. Дифференциатор.....	333
7L.3. Скорость нарастания выходного напряжения.....	334
7L.4. Микрофонный усилитель переменного тока.....	335
<b>7S Дополнительный материал: глоссарий по операционным усилителям.....</b>	<b>337</b>
<b>7W Примеры с решениями: операционные усилители II.....</b>	<b>339</b>
7W.1. Задача.....	339
7W.1.1. Решение.....	339
7W.2. Милливольтметр на операционном усилителе.....	342
<b>8N Операционные усилители III: положительная обратная связь.....</b>	<b>348</b>
8N.1. Полезная положительная обратная связь.....	348
8N.2. Компараторы.....	349
8N.3. Релаксационный RC-генератор колебаний.....	357
8N.4. Генератор синусоидальных колебаний на мосте Вина.....	360
8N.5. Материал для чтения в AoE.....	364
<b>8L Лабораторное занятие. Операционные усилители III.....</b>	<b>365</b>
8L.1. Две схемы компаратора.....	365
8L.2. Релаксационный RC-генератор колебаний на операционном усилителе.....	367
8L.3. Самая простая схема RC-генератора колебаний на триггере Шмитта.....	368
8L.4. Использование пилообразного сигнала для ШИМ-питания электродвигателя.....	369

8L.5. Релаксационный RC-генератор колебаний на микросхеме 555	370
8L.7. Генератор синусоидальных сигналов на мосте Вина	372
<b>8W Примеры с решениями: операционные усилители III</b>	<b>374</b>
8W.1. Советы по разработке схем с триггером Шмитта	374
8W.2. Задача проектирования схемы управления нагревателем	376
<b>9N Операционные усилители IV: паразитные колебания и активный фильтр</b>	<b>382</b>
9N.1. Введение	382
9N.2. Активные фильтры	383
9N.3. Общий взгляд на проблему паразитных колебаний	385
9N.4. Паразитные колебания в схемах на операционных усилителях	385
9N.5. Решения для стабилизации работы операционных усилителей	390
9N.6. Общий критерий стабильности: петлевое усиление, когда фазовый сдвиг приближается к $180^\circ$	395
9N.7. Паразитные автоколебания в схемах без операционного усилителя	397
9N.8. Решения для проблемы паразитных автоколебаний	399
9N.9. Подведение итогов по вопросу стабилизации схем	401
9N.10. Материал для чтения в AoE	401
<b>9L Лабораторное занятие: операционные усилители IV</b>	<b>402</b>
9L.1. Активный VCVS-фильтр	402
9L.2. Эмиттерный повторитель на дискретных элементах	404
9L.3. Нестабильность операционных усилителей: фазовый сдвиг может вызывать автоколебания в операционном усилителе	405
9L.4. Операционный усилитель с буфером в петле обратной связи	407
<b>9S Дополнительный материал: операционные усилители IV</b>	<b>409</b>
9S.1. Частотная коррекция операционных усилителей	409
9S.2. Активные фильтры: как улучшить простой RC-фильтр	415
9S.3. Диагностирование помех	419
9S.4. Схема операционного усилителя LF411	425
9S.5. Количественное описание обратной связи	426
<b>9W Примеры с решениями: операционные усилители IV</b>	<b>430</b>
9W.1. Польза, получаемая от усиления операционных усилителей	430
9W.2. Вопросы стабильности	431
<b>10N Операционные усилители IV: ПИД-регулятор для электродвигателя</b>	<b>436</b>
10N.1. Примеры реальных задач, требующих такого решения	437
10N.2. ПИД-цель управления электродвигателем	437
10N.3. Проектирование контроллера (специализированного операционного усилителя)	439
10N.4. Схема только для пропорциональной составляющей П: расчет усиления	441
10N.5. Дифференциальная составляющая Д	444
10N.6. Материал для чтения в AoE	450
<b>10L Лабораторное занятие. Операционные усилители V</b>	<b>451</b>
10L.1. Какая польза от ПИД-регулятора?	451
10L.2. ПИД-контроллер электродвигателя	452
10L.3. Добавляем дифференциальную составляющую	459
10L.4. Добавляем интегральную составляющую	461
10L.5. Осциллограммы	462

<b>11N</b>	<b>Стабилизаторы напряжения.....</b>	<b>464</b>
11N.1.	Эволюция стабилизированного источника питания.....	465
11N.2.	Более простые интегральные стабилизаторы.....	469
11N.3.	Проектирование с учетом тепловой защиты.....	471
11N.4.	Источники тока.....	472
11N.5.	Защита от перенапряжения посредством автоматического шунтирования на землю.....	474
11N.6.	Импульсные стабилизаторы напряжения.....	474
11N.7.	Материал для чтения в AoE.....	480
<b>11L</b>	<b>Лабораторное занятие: стабилизаторы напряжения.....</b>	<b>481</b>
11L.1.	Линейные стабилизаторы напряжения.....	481
11L.2.	Импульсный стабилизатор напряжения.....	488
<b>11W</b>	<b>Примеры с решениями: стабилизаторы напряжения.....</b>	<b>491</b>
11W.1.	Выбор тепловода.....	491
11W.2.	Применение микросхемы-источника тока.....	493
<b>12N</b>	<b>Ключи на полевых МОП-транзисторах.....</b>	<b>494</b>
12N.1.	Почему мы отводим полевым транзисторам всего лишь одно занятие.....	494
12N.2.	Включение и выключение устройств большой мощности.....	498
12N.3.	Применение силового ключа: усилитель звуковой частоты.....	500
12N.4.	Логические вентили.....	502
12N.5.	Аналоговые коммутаторы.....	503
12N.6.	Применение аналоговых коммутаторов.....	504
12N.7.	Исследуем схему выборки и хранения.....	509
12N.8.	Материал для чтения в AoE.....	513
<b>12L</b>	<b>Лабораторное занятие: ключи на полевых МОП-транзисторах.....</b>	<b>514</b>
12L.1.	Мощный полевой МОП-транзистор.....	514
12L.2.	Аналоговые коммутаторы.....	517
12L.3.	Импульсный усилитель звуковой частоты.....	523
<b>12S</b>	<b>Дополнительный материал: ключи на полевых МОП-транзисторах....</b>	<b>525</b>
12S.1.	Физическое представление.....	525
<b>13N</b>	<b>Совместный аудио проект.....</b>	<b>531</b>
13N.1.	День совместных усилий.....	531
13N.2.	Общая проблема обеспечения стабильности.....	535
13N.3.	Параметры светодиода и фототранзистора.....	535
<b>13L</b>	<b>Лабораторное занятие: совместный аудиопроект.....</b>	<b>536</b>
13L.1.	Типичные сигналы.....	536
13L.2.	Стратегии поиска и устранения причин неполадок.....	536
<b>Часть IV. Цифровые устройства: логические элементы, триггеры, счетчики, ПЛМ, память.....</b>		
		<b>539</b>
<b>14N</b>	<b>Логические устройства.....</b>	<b>541</b>
14N.1.	Аналоговые и цифровые системы.....	542
14N.2.	Двоичная система счисления.....	545
14N.3.	Комбинационная логика.....	547
14N.4.	Реализация цифровой логики с помощью программируемых матриц.....	553



14N.5. Логические элементы типа ТТЛ и КМОП.....	555
14N.6. Помехоустойчивость .....	557
14N.7. Дополнительные сведения о типах логических вентиляей.....	560
14N.8. Материал для чтения в AoE .....	563
<b>14L Лабораторное занятие: логические устройства .....</b>	<b>564</b>
14L.1. Предварительная информация .....	564
14L.2. Входные и выходные характеристики микросхем ТТЛ и КМОП.....	567
14L.3. Аномалии .....	568
14L.4. Использование вентиляей микросхем для создания определенных логических функций.....	570
14L.5. Исследуем внутреннее устройство логических элементов КМОП .....	571
<b>14S Дополнительный материал: глоссарий по цифровой электронике ....</b>	<b>575</b>
<b>14W Примеры с решениями: логические устройства .....</b>	<b>578</b>
14W.1. Общие сведения о мультиплексировании.....	578
14W.2. Двоичная арифметика.....	582
<b>15N Триггеры .....</b>	<b>594</b>
15N.1. Реализация комбинационной функции .....	595
15N.2. Снова о сигналах с низким активным уровнем.....	596
15N.3. Вентили как функции «Делай это/делай то» .....	600
15N.4. Функция Исключающее-ИЛИ в качестве функции Инверсия/Пропуск*.....	601
15N.5. Функция ИЛИ в качестве функции Установка/Пропуск*.....	601
15N.6. Последовательные схемы в общем и триггеры в частности.....	601
15N.7. Применение триггеров в схемах устранения дребезга контактов .....	608
15N.8. Счетчики .....	609
15N.9. Синхронные счетчики.....	610
15N.10. Сдвиговый регистр на триггерах.....	612
15N.11. Материал для чтения в AoE .....	613
<b>15L Лабораторное занятие: триггеры .....</b>	<b>614</b>
15L.1. Самый простой триггер: RS-защелка.....	614
15L.2. D-триггеры .....	614
15L.3. Счетчики со сквозным переносом и синхронные счетчики .....	617
15L.4. Дребезг контактов переключателей и три схемы устранения дребезга.....	618
15L.5. Сдвиговый регистр.....	620
<b>15S Дополнительный материал: триггеры.....</b>	<b>623</b>
15S.1 Программируемые логические устройства.....	623
15S.2. Приемы работы с триггерами .....	625
<b>16N Счетчики .....</b>	<b>629</b>
16N.1. Краткое повторение пройденного материала .....	629
16N.2. Аномалии и опасности схем на триггерах.....	633
16N.3. Более универсальный счетчик .....	636
16N.4. Выводы относительно функций счетчиков.....	640
16N.5. Счетчик-делитель на N из лабораторного занятия 16L .....	641
16N.6. Счет как стратегия проектирования цифровых схем.....	642
<b>16L Лабораторное занятие: счетчики .....</b>	<b>644</b>
16L.1. Два пути к микроконтроллерам.....	644
16L.2. Лабораторное занятие по счетчикам .....	647

16L.3. 16-разрядный счетчик .....	648
16L.4. Создаем ужасную музыку .....	657
16L.5. Применение счетчика: секундомер.....	659
<b>16W Примеры с решениями: применения счетчиков.....</b>	<b>662</b>
16W.1. Счетчики с необычными модулями.....	662
16W.2. При измерении периода с помощью счетчика возможны различные входные величины.....	664
16W.3. Измеритель скорости пули .....	669
<b>17N Память.....</b>	<b>675</b>
17N.1. Шины .....	675
17N.2. Память .....	678
17N.3. Конечный автомат: новое название старого устройства.....	683
<b>17L Лабораторное занятие: память.....</b>	<b>689</b>
17L.1. Память RAM.....	690
17L.2. Конечные автоматы.....	691
17L.3. Создание конечного автомата с помощью программирования микросхемы ПМЛ логическим компилятором Verilog .....	698
<b>17S Дополнительный материал: диагностика цифровых схем и декодирование адресов.....</b>	<b>700</b>
17S.1. Советы по диагностированию цифровых схем.....	700
17S.2. Декодирование адресов.....	705
<b>17W Примеры с решениями: память.....</b>	<b>708</b>
17W.1. Цифровая последовательностная схема управления замком .....	708
17W.2. Решения .....	710
<b>Часть V. Цифровые устройства: АЦП, ЦАП, ФАПЧ .....</b>	<b>717</b>
<b>18N Аналоговые и цифровые преобразования; ФАПЧ.....</b>	<b>719</b>
18N.1. Сопряжение устройств разных логических семейств .....	719
18N.2. Общие сведения о цифроаналоговых и обратных преобразованиях .....	723
18N.3. Методы цифро-аналоговых преобразований .....	728
18N.4. Аналого-цифровое преобразование .....	732
18N.5. Ложные сигналы в процессе выборки .....	745
18N.6. Добавление случайного шума.....	747
18N.7. Система фазовой автоподстройки частоты .....	749
18N.8. Материал для чтения в AoE .....	756
<b>18L Лабораторное занятие: аналоговые и цифровые преобразования; ФАПЧ .....</b>	<b>757</b>
18L.1. Аналого-цифровой преобразователь .....	757
18L.2. Система фазовой автоподстройки частоты: умножитель частоты.....	763
<b>18S Дополнительный материал: правила осуществления выборки; ложные сигналы при выборке.....</b>	<b>769</b>
18S.1. Содержимое этой главы.....	769
18S.2. Дискретизация создает предсказуемые ложные сигналы.....	769
18S.3. Примеры побочных сигналов во временной и частотной областях .....	770
18S.4. Объяснение ложных сигналов на интуитивном уровне.....	774

<b>18W</b>	<b>Примеры с решениями: аналоговые и цифровые преобразования</b> .....	<b>781</b>
	18W.1. Аналого-цифровые преобразования.....	781
	18W.2. Преобразователь логических уровней.....	784
<b>19L</b>	<b>Лабораторное занятие по цифровым схемам</b> .....	<b>786</b>
	19L.1. Цифровой проект.....	786
<b>Часть VI. Микроконтроллеры</b> .....		<b>791</b>
<b>20N</b>	<b>Микропроцессоры I</b> .....	<b>793</b>
	20N.1. Основные сведения о микрокомпьютерах.....	793
	20N.2. Минимальные необходимые компоненты компьютера.....	797
	20N.3. Выбор микроконтроллера.....	799
	20N.4. Возможные основания для выбора более трудного пути сборки компьютера из дискретных компонентов.....	801
	20N.5. Сигналы управления микроконтроллера.....	802
	20N.6. Некоторые подробности о компьютере, собираемом из дискретных компонентов.....	809
	20N.7. Первое занятие с компьютером на одной микросхеме.....	812
	20N.8. Материал для чтения из AoE.....	816
<b>20L</b>	<b>Лабораторное занятие: микропроцессоры I</b> .....	<b>818</b>
	20L.1. Микрокомпьютер из дискретных компонентов.....	818
	20L.2. Устанавливаем GLUEPAL и выполняем частичный монтаж.....	819
	20L.3. Начальный этап пути SiLabs.....	831
<b>20S</b>	<b>Дополнительный материал: микропроцессоры I</b> .....	<b>844</b>
	20S.1. Устройство ПМЛ для микрокомпьютеров.....	844
	20S.2. Примечания о среде разработки Silicon Labs IDE.....	845
<b>20W</b>	<b>Примеры с решениями: «Инсектарий»</b> .....	<b>850</b>
	Баг № 1. Микроконтроллер отказывается выполнять команды.....	851
	Баг № 2. У нас разногласия с микроконтроллером относительно содержимого RAM.....	851
	Баг № 3. При попытке использовать кнопку Ready происходит фатальный сбой компьютера.....	852
	Баг № 4. При попытке АЦП выложить данные на шину данных возникает конфликт.....	853
	Баг № 5. АЦП работает при пошаговом исполнении программы, но не при непрерывном.....	853
<b>21N</b>	<b>Микропроцессоры II. Ввод-вывод и первая программа на ассемблере</b> .....	<b>855</b>
	21N.1. Язык ассемблера и причины для его использования.....	855
	21N.2. Снова о декодировании.....	861
	21N.3. Код ввода-вывода для дискретного компьютера.....	863
	21N.4. Сравнение версий на ассемблере и на языке C программы вывода на дисплей значений, вводимых с цифровой клавиатуры.....	866
	21N.5. Вызов подпрограмм.....	867
	21N.6. Расширение операций до 16 разрядов.....	871
	21N.7. Материал для чтения из AoE.....	872

<b>21L</b>	<b>Лабораторное занятие: микропроцессоры II</b> .....	<b>873</b>
	21L.1. Ввод-вывод на большом компьютере .....	873
	21L.2. Байтовые операции ввода в малом компьютере .....	887
<b>21S</b>	<b>Дополнительный материал: режимы адресации микроконтроллера 8051</b> .....	<b>901</b>
	21S.1. Знакомство с режимами адресации микроконтроллера 8051 .....	901
	21S.2. Некоторые режимы адресации с иллюстрацией .....	912
<b>22N</b>	<b>Микропроцессоры III: операции с битами</b> .....	<b>914</b>
	22N.1. Операции с битами.....	914
	22N.2. Условные переходы.....	919
<b>22L</b>	<b>Лабораторное занятие: микроконтроллеры III. Операции с битами; таймеры</b> .....	<b>927</b>
	22L.1. Компьютер из дискретных компонентов. Операции с битами; прерывание .....	927
	22L.2. Ветвь малого компьютера: таймеры, ШИМ, компаратор .....	933
<b>22W</b>	<b>Примеры с решениями. Битовые операции: раздолье ошибок</b> .....	<b>949</b>
	22W.1. Задача.....	949
	22W.2. Множество плохих и одно хорошее решение .....	949
	22W.3. Другой способ реализации функции кнопки <i>Ready</i> .....	952
<b>23N</b>	<b>Микропроцессоры IV: прерывания; АЦП и ЦАП</b> .....	<b>953</b>
	23N.1. Основные моменты ранее рассмотренного материала.....	953
	23N.2. Прерывания .....	953
	23N.3. Обработка прерываний в языке C.....	960
	23N.4. Сопряжение АЦП и ЦАП с микроконтроллером.....	961
	23N.5. Некоторые подробности о лабораторных занятиях по АЦП/ЦАП.....	967
	23N.6. Предлагаемые лабораторные задания при экспериментах с АЦП и ЦАП.....	970
<b>23L</b>	<b>Лабораторное занятие: микроконтроллеры 4. Прерывания; АЦП и ЦАП</b> .....	<b>975</b>
	23L.1. ЦАП и АЦП .....	975
	23L.2. Лабораторное занятие SiLabs 4. Прерывания, АЦП и ЦАП .....	981
<b>23S</b>	<b>Дополнительный материал: микроконтроллеры 4</b> .....	<b>998</b>
	23S.1. Использование ассемблера/компилятора и симулятора RIDE.....	998
	23S.2. Отладка.....	1003
	23S.3. Изменение формы сигнала.....	1006
<b>24N</b>	<b>Микроконтроллеры V. Перемещение указателей, последовательные шины</b> .....	<b>1010</b>
	24N.1. Перемещение указателей .....	1010
	24N.2. Регистр <i>DPTR</i> также может быть полезным и для микроконтроллера C8051F410 .....	1015
	24N.3. Определение достижения конца таблицы .....	1015
	24N.4. Последовательные шины .....	1017
	24N.5. Материал для чтения в AoE .....	1025
<b>24L</b>	<b>Лабораторное занятие: микроконтроллеры V. Перемещение указателей, последовательные шины</b> .....	<b>1026</b>

24L.1. Таблица данных, шина SPI, таймеры .....	1027
24L.2. Последовательные шины микроконтроллера C8051F410 .....	1034
Общие сведения о последовательных шинах .....	1035
Двунаправленный последовательный интерфейс .....	1039
<b>24S Дополнительный материал. Загрузчик программ для микроконтроллеров компании Dallas Semiconductor .....</b>	<b>1044</b>
24S.1. Загрузчик программ .....	1044
24S.2. Оборудование .....	1044
24S.3. Два способа использования загрузчика .....	1045
24S.4. Диагностика проблемы с записью во флеш-память программой Loader420 .....	1049
24S.5. Диагностирование проблем присвоения порта COM .....	1050
<b>24W. Пример с решениями. Четыре способа копирования таблицы .....</b>	<b>1053</b>
24W.1. Несколько способов скопировать таблицу .....	1053
<b>25N Микроконтроллеры V1. Таблицы данных .....</b>	<b>1056</b>
25N.1. Устройства ввода и вывода для микроконтроллера .....	1056
25N.2. Задача для пользователей компьютера из дискретных компонентов: работа с автономным микроконтроллером .....	1058
25N.3. Задача для пользователей компьютера на основе автономного микроконтроллера: использование внешней памяти RAM .....	1059
<b>25L Лабораторное занятие: микроконтроллеры V1. Автономный микроконтроллер .....</b>	<b>1062</b>
25L.1. Два способа записи во флеш-память .....	1062
25L.2. Лабораторное занятие SiLabs: память RAM с интерфейсом SPI .....	1068
25L.3. Ссылки на листинги программ .....	1072
<b>26N Потенциальные проекты. Игрушки на любой вкус .....</b>	<b>1073</b>
26N.1. Еще один микроконтроллер, который может быть вам интересен .....	1074
26N.2. Проекты: приглашение и предостережение .....	1076
26N.3. Несколько примеров впечатляющих проектов .....	1077
26N.4. Несколько других выдающихся проектов .....	1080
26N.5. Игры .....	1093
26N.6. Датчики, приводы, другие приспособления .....	1094
26N.7. Драйвер шагового двигателя .....	1101
26N.8. Идеи для проектов .....	1103
26N.9. Две потенциально полезные программы: драйвер ЖКД и сканер цифровой клавиатуры .....	1104
26N.10. Множество других примеров в книге AoE .....	1104
26N.11. А теперь вперед, к новым приключениям .....	1105
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>1107</b>
<b>Приложение А. Язык HDL Verilog .....</b>	<b>1109</b>
A.1. Проектный файл Verilog .....	1109
A.2. Созданная Verilog схема может пригодиться при отладке .....	1110
A.3. Эмуляционный файл Verilog testbench .....	1111
A.4. Проверочный файл эмуляции .....	1114
A.5. Триггеры в Verilog .....	1115
A.6. Поведенческое и структурное описание схемы .....	1119
A.7. Verilog позволяет иерархические проекты .....	1120

А.8. Счетчик ДДК.....	1123
А.9. Два альтернативных способа создания экземпляра submodule.....	1125
А.10. Конечные автоматы.....	1125
А.11. Устройство, более подходящее для реализации в виде конечного автомата: арбитр шины.....	1128
А.12. Среда ISE Xilinx предлагает помощь в разработке.....	1130
А.13. Блокирующие и неблокирующие присваивания.....	1131
<b>Приложение Б. Работа с логическим компилятором Xilinx.....</b>	<b>1134</b>
Б.1. Краткий обзор Xilinx, Verilog и ABEL.....	1134
<b>Приложение В. Линии передачи.....</b>	<b>1142</b>
В.1. Тема, от которой мы до сих пор уклонялись.....	1142
В.2. Линия передачи.....	1143
В.3. Отражения.....	1145
В.4. Почему мы беспокоимся об отражениях?.....	1147
В.5. Влияние линии передачи для синусоидальных сигналов.....	1150
<b>Приложение Г. Советы по работе с осциллографом.....</b>	<b>1152</b>
Г.1. Что не следует делать.....	1152
Г.2. Что нужно знать в первую очередь.....	1152
<b>Приложение Д. Перечень и описание необходимых компонентов.....</b>	<b>1158</b>
<b>Приложение Е. Перечень и описание необходимых компонентов.....</b>	<b>1172</b>
<b>Приложение Ж. Где приобретать электронные компоненты?.....</b>	<b>1174</b>
I. По почте и через Интернет.....	1174
II. Каталоги и поисковые системы.....	1175
III. Местные источники.....	1175
IV. Прочее.....	1175
<b>Приложение З. Программы, доступные на веб-сайте книги.....</b>	<b>1176</b>
<b>Приложение И. Оборудование.....</b>	<b>1178</b>
И.1. Для кого будет полезна эта информация.....	1178
И.2. Осциллограф.....	1178
И.3. Генератор сигналов.....	1179
И.4. Макетная плата со встроенным источником питания.....	1179
И.5. Авометр и цифровой мультиметр.....	1180
И.6. Источник питания.....	1180
И.7. Логический пробник.....	1180
И.8. Магазин сопротивлений.....	1180
И.9. Модуль программирования ПЛУ и FPGA.....	1181
И.10. Ручные инструменты.....	1181
И.11. Провода.....	1181
<b>Приложение К. Цоколевка компонентов.....</b>	<b>1182</b>
К.1. Аналоговые компоненты.....	1182
К.2. Цифровые компоненты.....	1184
<b>ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.....</b>	<b>1187</b>