

# ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

ТОК, НАПРЯЖЕНИЕ И МОЩНОСТЬ

ПРАВИЛЬНОЕ ПИТАНИЕ – ЗАЛОГ ЗДОРОВЬЯ

ОТКУДА БЕРУТСЯ ЦИФРЫ

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ – ОСНОВА  
СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

ПЕРСОНАЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР ВМЕСТО ПАЙЛЬНИКА

ПРАКТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ

Юрий Ревич

bhv

**Юрий Ревич**

**ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ  
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА**

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2007

УДК 681.3.06  
ББК 32.973.26-04  
P32

**Ревич Ю. В.**

P32 Занимательная микроэлектроника. — СПб.: БХВ-Петербург, 2007. — 592 с.: ил.

ISBN 978-5-9775-0080-7

Книга на практических примерах рассказывает о том, как проектировать, отлаживать и изготавливать современные электронные устройства в домашних условиях. Теоретические основы, физические принципы работы электронных схем и различных типов радиоэлектронных компонентов иллюстрируются практическими примерами в виде законченных радиолюбительских конструкций и дополняются советами по технологии изготовления любительской аппаратуры. На доступном уровне излагаются теоретические основы цифровой техники — математическая логика и различные системы счисления. Вторая часть книги полностью посвящена программированию микроконтроллеров, как основы современной электроники. Особое внимание уделяется обмену данными микроэлектронных устройств с персональным компьютером, приводятся примеры программ на Delphi.

*Для широкого круга радиолюбителей*

УДК 681.3.06  
ББК 32.973.26-04

#### Группа подготовки издания:

Главный редактор	<i>Екатерина Кондукова</i>
Зам. главного редактора	<i>Игорь Шишигин</i>
Зав. редакцией	<i>Григорий Добин</i>
Редактор	<i>Леонид Кочин</i>
Компьютерная верстка	<i>Натальи Кариваевой</i>
Корректор	<i>Зинаида Дмитриева</i>
Дизайн обложки	<i>Игоря Цырульниковой</i>
Оформление обложки	<i>Инны Тачиной</i>
Зав. производством	<i>Николай Тверских</i>

Лицензия ИД № 02429 от 24.07.00. Подписано в печать 30.03.07.

Формат 70×100<sup>1/16</sup>. Печать офсетная. Усл. печ. л. 47,73.

Тираж 3000 экз. Заказ № 1142

“БХВ-Петербург”, 194354, Санкт-Петербург, ул. Есенина, 5Б.

Санитарно-эпидемиологическое заключение на продукцию № 77.99.02.953.Д.006421.11.04 от 11.11.2004 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Отпечатано с готовых диапозитивов  
в ГУП “Типография “Наука”  
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12

ISBN 978-5-9775-0080-7

© Ревич Ю. В., 2007  
© Оформление, издательство “БХВ-Петербург”, 2007

# Оглавление

К читателю .....	1
Что нового? .....	3
Как читать? .....	4
Как разрабатывать схемы? .....	6
<b>ЧАСТЬ I. ЭЛЕКТРОНИКА БЕЗ ПРОГРАММИРОВАНИЯ.....</b>	<b>9</b>
<b>Глава 1. Основные физические законы в микроэлектронике .....</b>	<b>11</b>
Чем отличается ток от напряжения? .....	11
Сопrotивление .....	13
Схема с двумя резисторами.....	15
Источники напряжения и тока .....	18
Параллельное и последовательное соединение резисторов и расчет схем .....	19
Вольтметр и амперметр в измеряемой цепи .....	22
<b>Глава 2. Переменный ток, мощность и конденсаторы.....</b>	<b>25</b>
Переменное напряжение.....	26
Мощность.....	30
Что показывает вольтметр в цепи переменного тока .....	32
Конденсаторы .....	35
Параллельное и последовательное включение конденсаторов.....	41
Конденсаторы в цепи переменного тока.....	41
Дифференцирующие и интегрирующие цепи .....	43
Сигналы.....	45
Переменный ток, как основа цивилизации .....	46
<b>Глава 3. Основные дискретные компоненты.....</b>	<b>48</b>
Диоды .....	49
Транзисторы .....	51
Ключевой режим работы биполярного транзистора .....	53

Усилительный режим работы биполярного транзистора.....	56
Схема с общим эмиттером.....	57
Схема с общим коллектором.....	58
Стандартный усилительный каскад на транзисторе.....	60
Дифференциальный каскад.....	63
Полевые транзисторы.....	64
Стабилитроны.....	66
Оптоэлектроника и светодиоды.....	69
Оптоэлектроника.....	69
Светодиоды.....	70
Светодиодные индикаторы.....	72
ЖК-дисплеи.....	73
Электромагнитные реле.....	76
<b>Глава 4. Правильное питание — залог здоровья.....</b>	<b>81</b>
Трансформаторы.....	83
Простейший нестабилизированный источник питания.....	85
Стабилизаторы.....	89
Интегральные стабилизаторы.....	92
Импульсные источники питания.....	94
Самодельный импульсный преобразователь.....	95
Как правильно питаться.....	97
<b>Глава 5. Изготовление радиолюбительских конструкций.....</b>	<b>100</b>
Платы и пайка.....	101
Изготовление плат.....	102
Пайка.....	105
Макетные платы.....	107
Немного о резисторах и конденсаторах.....	108
Корпуса.....	109
Расчет радиаторов.....	111
Помехи.....	115
<b>Глава 6. Аналоговые микросхемы.....</b>	<b>117</b>
Слайсы, которые стали чипами.....	117
Эксплуатация микросхем.....	122
Операционные усилители.....	124
Опасные связи.....	125
Базовые схемы усилителей на ОУ.....	129
Дифференциальные усилители.....	132
Другие распространенные схемы на ОУ.....	135

Регулятор оборотов вентилятора.....	137
Терморегулятор для воды.....	140
Звуковые усилители.....	145
О децибелах.....	147
Мощный УМЗЧ.....	148
Микроусилитель мощности.....	151
<b>Глава 7. На пороге цифрового века.....</b>	<b>154</b>
Булева алгебра.....	155
Основные операции алгебры Буля.....	157
Булева алгебра на выключателях и реле.....	160
Как мы считаем.....	163
Позиционные и непозиционные системы счисления.....	165
Десятичная и другие системы счисления.....	167
Двоичная система.....	168
Шестнадцатеричная система.....	170
Перевод из одной системы счисления в другую.....	170
Байты.....	172
Запись чисел в различных форматах.....	174
Формат BCD.....	175
Двоичная арифметика.....	176
Отрицательные числа.....	177
Вычитание.....	177
<b>Глава 8. Математическая электроника или игра в квадратики.....</b>	<b>180</b>
Базовый логический элемент КМОП.....	181
Основные логические элементы.....	185
Обработка двоичных сигналов с помощью логических элементов.....	187
Исключающее ИЛИ.....	189
Использование статической логики.....	191
Коды и шифры.....	192
Управление цифровыми индикаторами.....	193
Двоичный/десятичный дешифратор.....	196
Мультиплексоры/ демультиплексоры и ключи.....	198
<b>Глава 9. Применение цифровых микросхем малой степени     интеграции.....</b>	<b>200</b>
Релаксационные схемы.....	200
Генераторы прямоугольных колебаний.....	201
Кварцевые резонаторы.....	203

Формирователи импульсов.....	205
Одновибраторы.....	208
Триггеры.....	210
D-триггеры.....	214
Счетный триггер.....	215
Регистры.....	216
Счетчики.....	217
<b>Глава 10. Откуда берутся цифры.....</b>	<b>220</b>
Оцифровка.....	221
ЦАП.....	224
АЦП.....	228
АЦП параллельного действия.....	228
АЦП последовательного приближения.....	228
Интегрирующие АЦП.....	230
Конструируем цифровой термометр.....	236
АЦП 572ПВ2 и ПВ5.....	236
Практическая схема термометра.....	240
<b>ЧАСТЬ II. МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ.....</b>	<b>247</b>
<b>Глава 11. Анатомия микроконтроллера.....</b>	<b>249</b>
Как работает микропроцессор.....	253
Лечение амнезии.....	260
Изобретаем простейшую ROM.....	261
Общее устройство памяти.....	263
RAM.....	265
EPROM, EEPROM и Flash.....	268
<b>Глава 12. Знакомство с микроконтроллером.....</b>	<b>274</b>
Classic, Mega и Tunny.....	275
Структура МК AVR.....	277
Параллельные порты ввода/вывода.....	279
Прерывания.....	281
Таймеры-счетчики.....	283
<b>Глава 13. Персональный компьютер вместо паяльника.....</b>	<b>285</b>
Как программируются микроконтроллеры.....	286
Программаторы.....	287
C или ассемблер?.....	292

Обустройство ассемблера.....	296
Структура программы AVR .....	299
Обработка прерываний .....	301
Процедура <i>RESET</i> .....	304
Определения переменных, констант и подключение внешних файлов.....	305
Система команд AVR.....	308
Формат команды .....	308
Выходные файлы .....	309
Команды перехода (передачи управления).....	312
Арифметика и логика в интерпретации AVR .....	318
Команды переноса данных .....	322
О Fuse-битах .....	326
<b>Глава 14. Проба пера: настольные часы.....</b>	<b>329</b>
Выбор микроконтроллера и общее построение схемы .....	331
Схема .....	334
Программа.....	338
Детали и конструкция.....	342
<b>Глава 15. Вычисления в МК и использование АЦП.....</b>	<b>345</b>
Процедуры умножения для многобайтовых чисел.....	346
Процедуры деления для многобайтовых чисел .....	349
Операции с числами в формате BCD .....	353
Использование встроенного АЦП .....	357
Измеритель температуры и давления на AVR .....	361
Схема .....	363
Программа .....	365
Калибровка .....	368
Хранение констант в EEPROM.....	370
Сохранность данных в EEPROM .....	371
Запись и чтение EEPROM.....	373
Первичная запись констант в EEPROM .....	374
<b>Глава 16. Некоторые последовательные интерфейсы МК.....</b>	<b>379</b>
UART и RS-232.....	380
Прием и передача данных через UART .....	385
Отладка программ с помощью UART .....	388
Запись констант через UART.....	389
Последовательный интерфейс I <sup>2</sup> C .....	393
Программная эмуляция протокола I <sup>2</sup> C.....	397



Запись данных во внешнюю flash-память.....	399
Чтение данных из памяти через UART.....	406
Часы с интерфейсом I <sup>2</sup> C.....	409
<b>Глава 17. «Зеленые» микросхемы.....</b>	<b>424</b>
О режимах энергосбережения AVR.....	425
Измеритель давления и температуры в автономном режиме.....	427
Использование режима энергосбережения.....	429
Доработка программы.....	431
Использование сторожевого таймера.....	435
<b>Глава 18. Персональный компьютер и системы на МК.....</b>	<b>438</b>
Соединение ПК и МК.....	439
Преобразователи уровней UART в уровни RS-232.....	442
Подключение через USB.....	445
Программа COM2000.....	449
Работа с COM-портом в Delphi.....	452
Работа через функции Win32 API.....	453
Использование драйвера AsyncFree.....	459
<b>Глава 19. Практические схемы на AVR.....</b>	<b>465</b>
Заставить камни заговорить.....	465
Программа для вывода звука.....	470
Аналоговая индикация.....	473
Подстройка внешних часов.....	478
Измерение частоты.....	482
Объединение систем на МК.....	487
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>491</b>
<b>Приложение 1. Принятые условные обозначения.....</b>	<b>493</b>
Физические величины и их единицы измерения по умолчанию.....	493
Приставки и множители для образования десятичных кратных и дольных единиц.....	494
Некоторые буквенные обозначения в электрических схемах.....	494
Некоторые символические обозначения в электрических схемах.....	495
Символические обозначения мощности резисторов на схемах.....	497
<b>Приложение 2. Стандартные обозначения и размеры некоторых   гальванических элементов.....</b>	<b>498</b>

<b>Приложение 3. Справочные данные некоторых компонентов.....</b>	<b>499</b>
Соответствие наименований зарубежных и отечественных микросхем КМОП.....	501
Диоды .....	502
КД521 .....	502
1Nxxxx .....	503
КД 202 .....	503
КЦ 407А.....	504
КУ202Н.....	505
Транзисторы .....	506
КТ315, КТ361 .....	506
КТ3102, КТ3107.....	507
КТ814, КТ815, КТ816, КТ817.....	508
КТ972, КТ973 .....	509
КТ818, КТ819 .....	510
КТ829 .....	511
BDW93, BDW94.....	512
КП303.....	513
Электронные реле и оптроны.....	514
АОД130.....	514
АОР124Б.....	515
КР293КП1 (5П14) .....	516
PF240D25 .....	516
Микросхемы .....	517
1019ЕМ1 .....	517
7805, 7809, 7812, 7815, 7905, 7909, 7912, 7915 .....	518
78L05, 78L09, 78L12, 78L15, 79L05, 79L09, 79L12, 79L15.....	519
LM311 (521СА3, 554СА3) .....	520
$\mu$ А741 (140УД7).....	521
$\mu$ А747 (140УД20).....	522
МАХ478.....	522
ТДА3020.....	523
АТ90S2313, АТ90S8515, АТ90S8535 .....	524
Основные электрические параметры .....	525
<b>Приложение 4. Базовые команды Atmel AVR.....</b>	<b>526</b>
Арифметические и логические команды .....	527
Команды операций с битами.....	528
Команды сравнения.....	529
Команды передачи управления.....	530

---

Команды безусловного перехода и вызова подпрограмм .....	530
Команды условного перехода .....	531
Команды переноса данных .....	532
Команды управления системой .....	534
<b>Приложение 5. Тексты программ .....</b>	<b>535</b>
Программа для часов .....	535
Программа измерителя температуры и давления .....	544
Процедуры обмена по интерфейсу I <sup>2</sup> C .....	555
<b>Приложение 6. Словарь часто встречающихся терминов .....</b>	<b>562</b>
<b>Литература .....</b>	<b>569</b>
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>571</b>

# Литература

1. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы ATMEL. — М.: Додэка-XXI, 2002—2006.
2. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL. — М.: Додэка-XXI, 2004—2006.
3. Баранов В. Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы. Изд. 2-е, испр. — М.: Додэка-XXI, 2006.
4. Шпак Ю. А. Программирование на языке C для AVR и PIC микроконтроллеров. — М.: МК-Пресс, 2006.
5. Гутников В. С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. Изд. 2-е. — Л.: Энергоатомиздат, 1988 (1-е издание доступно в Интернете на сайте: <http://www.fayly.ru>).
6. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. — М.: Мир, 1982 (доступна в Интернете: <http://www.cs.ua/rad/lib/titc/titsh.zip>).
7. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники, в 3 т. Пер. с англ. — М.: Мир, изд. 1983, 2001, 2003.
8. Петцольд Ч. Код. — М.: ИТД «Русская редакция», 2001.
9. Шило В. Л. Популярные цифровые микросхемы: Справочник. — М.: Радио и связь, 1988.
10. Кнут Дональд Э. Искусство программирования. Т. 1. Основные алгоритмы. Т. 2. Получисленные алгоритмы. — Изд-во «Вильямс», 2005.
11. Ревич Ю. Нестандартные приемы программирования на Delphi. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
12. Статьи по применению микросхем FTDI (<http://www.efo.ru/cgi-bin/go?778>).

13. FT232BM Designers Guide Version 2.0  
(<ftp://ftp.efo.ru/pub/ftdichip/Documents/dg232v20.pdf>).
14. Агуров П. Интерфейс USB. Практика использования и программирования. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
15. Фаронов В. В. Система программирования Delphi в подлиннике. — СПб.: BHV, 2003.
16. Осипов Д. Delphi. Профессиональное программирование. — СПб.: Символ-Плюс, 2006.
17. Элементарный учебник физики, Т. 2, 3 / Под ред. Г. С. Ландсберга. — М.: Наука, 1971.