

УДК 621.316.544.1 (035.5)

ББК 32.844.1-04я2

Е26

**Евстифеев А.В.**

Е26 Микроконтроллеры AVR семейства Tiny. Руководство пользователя. — М.: ДМК Пресс, 2015. — 426 с.: ил. (Серия «Программируемые системы»).

ISBN 978-5-97060-262-1

Книга посвящена однокристальным микроконтроллерам AVR семейства Tiny фирмы ATMEL. Рассмотрена архитектура микроконтроллеров AVR, ее особенности, приведены основные электрические параметры. Подробно описано внутреннее устройство микроконтроллеров, система команд, периферия, а также способы программирования. Основой данного издания послужила популярная книга «Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega», материал которой был существенно переработан и дополнен описаниями новых моделей.

Предназначена для разработчиков радиоэлектронной аппаратуры, инженеров, студентов технических вузов.

УДК 621.316.544.1 (035.5)

ББК 32.844.1-04я2

Главный редактор *Мовчан Д. А.*  
dmkpress@gmail.com

Главный редактор *В. М. Халикеев*  
Ответственный редактор *Т. Е. Брод*  
Верстка *И. С. Кайнова*  
График *А. Н. Клочков*

Формат 60х90/16. Бумага типографская № 2.  
Гарнитура «NewtonС». Печать офсетная. Усл. печ. л. 22,0.

Веб-сайт издательства: [www.dmkpress.ru](http://www.dmkpress.ru)

ISBN 9785-94120-116-7 (Додэка)

ISBN 9785-97060-262-1 (ДМКПресс)

© Издательский дом «Додэка-XXI»

© Издание, ДМК Пресс, 2015

® Серия «Программируемые системы»

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	7
<b>Глава 1. Знакомство с семейством Tiny .....</b>	<b>9</b>
1.1. Общие сведения .....	9
1.2. Отличительные особенности .....	9
1.3. Характеристики процессора .....	10
1.4. Характеристики подсистемы ввода/вывода .....	10
1.5. Периферийные устройства .....	10
1.6. Архитектура ядра .....	11
1.7. Цоколевка и описание выводов .....	12
<b>Глава 2. Архитектура микроконтроллеров семейства Tiny .....</b>	<b>32</b>
2.1. Общие сведения .....	32
2.2. Организация памяти .....	44
2.2.1. Память программ .....	45
2.2.2. Память данных .....	46
2.2.3. Энергонезависимая память данных (EEPROM) .....	67
2.3. Счетчик команд и выполнение программы .....	72
2.3.1. Счетчик команд .....	72
2.3.2. Функционирование конвейера .....	73
2.3.3. Команды типа «проверка/пропуск» (Test & Skip) .....	74
2.3.4. Команды условного перехода .....	75
2.3.5. Команды безусловного перехода .....	75
2.3.6. Команды вызова подпрограмм .....	76
2.3.7. Команды возврата из подпрограмм .....	77
2.4. Стек .....	77
<b>Глава 3. Система команд .....</b>	<b>80</b>
3.1. Общие сведения .....	80
3.2. Операнды .....	80
3.3. Типы команд .....	82
3.3.1. Команды логических операций .....	82
3.3.2. Команды арифметических операций и команды сдвига .....	83
3.3.3. Команды битовых операций .....	83

3.3.4. Команды пересылки данных	84
3.3.5. Команды передачи управления	84
3.3.6. Команды управления системой	86
3.4. Сводные таблицы команд	86
3.5. Описание команд	92
<b>Глава 4. Тактирование, режимы пониженного энергопотребления и сброс</b>	<b>156</b>
4.1. Общие сведения	156
4.2. Тактовый генератор	157
4.2.1. Генератор с внешним резонатором	160
4.2.2. Низкочастотный кварцевый генератор	161
4.2.3. Внешний сигнал синхронизации	162
4.2.4. Генератор с внешней RC-цепочкой	162
4.2.5. Внутренний калиброванный RC-генератор	163
4.2.6. Внутренний RC-генератор на 128 кГц	165
4.2.7. Схема ФАПЧ	165
4.2.8. Управление тактовой частотой	166
4.3. Управление электропитанием	167
4.3.1. Режимы пониженного энергопотребления	167
4.3.2. Управление тактовыми сигналами модулей	172
4.3.3. Общие рекомендации по уменьшению энергопотребления	173
4.4. Сброс	175
4.4.1. Сброс по включению питания	178
4.4.2. Аппаратный сброс	179
4.4.3. Сброс от сторожевого таймера	180
4.4.4. Сброс при снижении напряжения питания	180
4.4.5. Управление схемой сброса	183
<b>Глава 5. Прерывания</b>	<b>195</b>
5.1. Общие сведения	195
5.2. Таблица векторов прерываний	195
5.3. Обработка прерываний	199
5.4. Внешние прерывания	200
<b>Глава 6. Порты ввода/вывода</b>	<b>207</b>
6.1. Общие сведения	207
6.2. Регистры портов ввода/вывода	208
6.3. Конфигурирование портов ввода/вывода	209
6.4. Аппаратный модулятор	220
<b>Глава 7. Таймеры</b>	<b>225</b>
7.1. Общие сведения	225
7.2. Назначение выводов таймеров/счетчиков	226
7.3. Прерывания от таймеров/счетчиков	226
7.4. Пределители таймеров/счетчиков	230

7.4.1. Управление предделителями . . . . .	232
7.4.2. Использование внешнего тактового сигнала . . . . .	233
7.5. Таймер/счетчик T0 . . . . .	234
7.5.1. Управление тактовым сигналом . . . . .	240
7.5.2. Режимы работы . . . . .	240
7.6. Таймер/счетчик T1 . . . . .	247
7.6.1. Таймер/счетчик T1 в модели ATtiny15L . . . . .	247
7.6.2. Таймер/счетчик T1 в моделях ATtiny2313x и ATtiny24x/44x/84x . . . . .	253
7.6.3. Таймер/счетчик T1 в моделях ATtiny25x/45x/85x и ATtiny26x . . . . .	271
7.7. Сторожевой таймер . . . . .	285
<b>Глава 8. Аналоговый компаратор . . . . .</b>	<b>291</b>
8.1. Общие сведения . . . . .	291
8.2. Функционирование компаратора . . . . .	292
<b>Глава 9. Аналого-цифровой преобразователь . . . . .</b>	<b>297</b>
9.1. Общие сведения . . . . .	297
9.2. Функционирование модуля АЦП . . . . .	298
9.3. Результат преобразования . . . . .	313
9.4. Повышение точности преобразования . . . . .	314
9.5. Параметры АЦП . . . . .	315
<b>Глава 10. Универсальный синхронный/асинхронный приемо-передатчик . . . . .</b>	<b>317</b>
10.1. Общие сведения . . . . .	317
10.2. Использование модуля USART . . . . .	317
10.2.1. Скорость приема/передачи . . . . .	322
10.2.2. Формат кадра . . . . .	326
10.2.3. Передача данных . . . . .	327
10.2.4. Прием данных . . . . .	329
10.3. Мультипроцессорный режим работы . . . . .	333
<b>Глава 11. Универсальный последовательный интерфейс USI . . . . .</b>	<b>335</b>
11.1. Общие сведения . . . . .	335
11.2. Основные сведения об интерфейсе SPI . . . . .	336
11.3. Основные сведения об интерфейсе TWI . . . . .	339
11.4. Использование модуля USI . . . . .	345
11.5. Режимы работы модуля USI . . . . .	349
11.5.1. Трехпроводный режим . . . . .	349
11.5.2. Двухпроводный режим . . . . .	352
11.5.3. Альтернативное использование модуля USI . . . . .	355
<b>Глава 12. Программирование микроконтроллеров AVR семейства Tiny . . . . .</b>	<b>356</b>
12.1. Общие сведения . . . . .	356
12.1.1. Защита кода и данных . . . . .	357
12.1.2. Конфигурационные ячейки . . . . .	358

12.1.3. Идентификатор .....	362
12.1.4. Калибровочные ячейки .....	362
12.1.5. Страничная организация памяти программ и данных .....	363
12.2. Последовательное программирование при высоком напряжении .....	364
12.2.1. Управление процессом программирования .....	366
12.3. Программирование по последовательному каналу .....	377
12.3.1. Переключение в режим программирования .....	384
12.3.2. Управление процессом программирования FLASH-памяти .....	384
12.3.3. Управление процессом программирования EEPROM-памяти .....	385
12.4. Параллельное программирование .....	386
12.4.1. Переключение в режим параллельного программирования .....	392
12.4.2. Стирание кристалла .....	392
12.4.3. Программирование FLASH-памяти .....	393
12.4.4. Программирование EEPROM-памяти .....	396
12.4.5. Программирование конфигурационных ячеек .....	396
12.4.6. Программирование ячеек защиты .....	398
12.4.7. Чтение конфигурационных ячеек и ячеек защиты .....	398
12.4.8. Чтение ячеек идентификатора и калибровочных ячеек .....	399
12.5. Самопрограммирование микроконтроллеров семейства Tiny .....	400
12.5.1. Общие сведения .....	400
12.5.2. Функционирование загрузчика .....	400
<b>Приложения .....</b>	<b>404</b>
Приложение 1. Сводная таблица микроконтроллеров AVR семейства Tiny .....	404
Приложение 2. Чертежи корпусов микроконтроллеров AVR семейства Tiny .....	412
Приложение 3. Электрические параметры микроконтроллеров AVR семейства Tiny .....	415