

УДК 621.316.544.1(035.5)

ББК 32.844.1-04я2

Е26

Евстифеев А.В.

Е26 Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя. — М.: ДМК Пресс, 2015.— 588 с.: ил. (Серия «Программируемые системы»).

ISBN 978-5-97060-259-1

Книга представляет собой справочное руководство по однокристалльным микроконтроллерам AVR семейства Mega 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

Ответственный редактор *Т. Е. Брод*

Верстка *В. И. Матвеева*

График *А. Н. Клочков*

Корректор *Г. Б. Абудеева*

Формат 60х90/16.

Гарнитура «NewtonС». Печать офсетная. Усл. печ. л. 37,0.

Веб-сайт издательства: www.dmk.rf

ISBN 978-5-94120-090-0 (Додэка)

© Издательский дом «Додэка-XXI»

ISBN 978-5-97060-259-1 (ДМК Пресс)

© Издание, ДМК Пресс, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	8
Глава 1. Знакомство с семейством Mega	10
1.1. Общие сведения	10
1.2. Отличительные особенности	10
1.3. Характеристики процессора	11
1.4. Характеристики подсистемы ввода/вывода	11
1.5. Периферийные устройства	12
1.6. Архитектура ядра	12
1.7. Цоколевка и описание выводов	13
Глава 2. Архитектура микроконтроллеров семейства Mega	87
2.1. Общие сведения	87
2.2. Организация памяти	101
2.2.1. Память программ	103
2.2.2. Память данных	105
2.2.3. Энергонезависимая память данных (EEPROM)	160
2.3. Счетчик команд и выполнение программы	165
2.3.1. Счетчик команд	165
2.3.2. Функционирование конвейера	166
2.3.3. Команды типа «проверка/пропуск» (Test & Skip)	167
2.3.4. Команды условного перехода	167
2.3.5. Команды безусловного перехода	167
2.3.6. Команды вызова подпрограмм	169
2.3.7. Команды возврата из подпрограмм	171
2.4. Стек	171
Глава 3. Система команд	172
3.1. Общие сведения	172
3.2. Операнды	172
3.3. Типы команд	174
3.3.1. Команды логических операций	175
3.3.2. Команды арифметических операций и команды сдвига	175

3.3.3. Команды битовых операций	175
3.3.4. Команды пересылки данных	176
3.3.5. Команды передачи управления	176
3.3.6. Команды управления системой	178
3.4. Сводные таблицы команд	179
3.5. Описание команд	185
Глава 4. Тактирование, режимы пониженного энергопотребления и сброс	251
4.1. Общие сведения	251
4.2. Тактовый генератор	251
4.2.1. Генератор с внешним резонатором	254
4.2.2. Низкочастотный кварцевый генератор	256
4.2.3. Внешний сигнал синхронизации	256
4.2.4. Генератор с внешней RC-цепочкой	256
4.2.5. Внутренний калиброванный RC-генератор	257
4.2.6. Внутренний RC-генератор на 128 кГц	259
4.2.7. Управление тактовой частотой	259
4.3. Управление электропитанием	262
4.3.1. Режимы пониженного энергопотребления	262
4.3.2. Управление тактовыми сигналами модулей	268
4.3.3. Общие рекомендации по уменьшению энергопотребления	271
4.4. Сброс	273
4.4.1. Сброс по включению питания	277
4.4.2. Аппаратный сброс	278
4.4.3. Сброс от сторожевого таймера	279
4.4.4. Сброс при снижении напряжения питания	279
4.4.5. Управление схемой сброса	281
Глава 5. Прерывания	291
5.1. Общие сведения	291
5.2. Таблица векторов прерываний	291
5.3. Обработка прерываний	306
5.4. Внешние прерывания	308
Глава 6. Порты ввода/вывода	320
6.1. Общие сведения	320
6.2. Регистры портов ввода/вывода	321
6.3. Конфигурирование портов ввода/вывода	323
Глава 7. Таймеры	329
7.1. Общие сведения	329
7.2. Назначение выводов таймеров/счетчиков	330
7.3. Прерывания от таймеров/счетчиков	333
7.4. Предделители таймеров/счетчиков	338
7.4.1. Управление предделителями	339
7.4.2. Использование внешнего тактового сигнала	341

7.5. Восьмибитные таймеры/счетчики	342
7.5.1. Управление тактовым сигналом	352
7.5.2. Режимы работы	353
7.5.3. Асинхронный режим	360
7.6. 16-битные таймеры/счетчики	363
7.6.1. Обращение к 16-битным регистрам	372
7.6.2. Управление тактовым сигналом	373
7.6.3. Режимы работы	373
7.7. Модулятор	385
7.8. Сторожевой таймер	386
Глава 8. Аналоговый компаратор	395
8.1. Общие сведения	395
8.2. Функционирование компаратора	396
Глава 9. Аналого-цифровой преобразователь	401
9.1. Общие сведения	401
9.2. Функционирование модуля АЦП	402
9.3. Результат преобразования	415
9.4. Повышение точности преобразования	416
9.5. Параметры АЦП	417
Глава 10. Последовательный периферийный интерфейс SPI	419
10.1. Общие сведения	419
10.2. Функционирование модуля SPI	419
10.3. Режимы передачи данных	424
10.4. Использование вывода SS	426
Глава 11. Двухпроводный последовательный интерфейс TWI	427
11.1. Общие сведения	427
11.2. Принципы обмена данными по шине TWI	428
11.3. Обзор модуля TWI	433
11.4. Взаимодействие прикладной программы с модулем TWI	440
11.5. Режимы работы модуля TWI	443
11.5.1. Режим «Ведущий-передатчик»	443
11.5.2. Режим «Ведущий-приемник»	448
11.5.3. Режим «Ведомый-приемник»	452
11.5.4. Режим «Ведомый-передатчик»	457
11.5.5. Комбинирование различных режимов	461
11.5.6. Арбитраж	461
11.6. Параметры интерфейса TWI	463
Глава 12. Универсальный последовательный интерфейс USI	465
12.1. Общие сведения	465
12.2. Использование модуля USI	466
12.3. Режимы работы модуля USI	470

12.3.1. Трехпроводный режим	470
12.3.2. Двухпроводный режим	473
12.3.3. Альтернативное использование модуля USI	476
Глава 13. Универсальный синхронный/асинхронный приемо-передатчик	477
13.1. Общие сведения	477
13.2. Использование модулей USART	479
13.2.1. Скорость приема/передачи	486
13.2.2. Формат кадра	492
13.2.3. Передача данных	493
13.2.4. Прием данных	495
13.3. Мультипроцессорный режим работы	500
13.4. Модуль USART в режиме MSPI	501
13.4.1. Управление модулем USART в режиме MSPI	501
13.4.2. Инициализация режима MSPI	505
13.4.3. Передача данных в режиме MSPI	506
Глава 14. Программирование микроконтроллеров AVR семейства Mega	508
14.1. Общие сведения	508
14.1.1. Защита кода и данных	509
14.1.2. Конфигурационные ячейки	511
14.1.3. Идентификатор	516
14.1.4. Калибровочные ячейки	517
14.1.5. Организация памяти программ и данных	517
14.2. Программирование по последовательному каналу	518
14.2.1. Переключение в режим программирования	525
14.2.2. Управление процессом программирования FLASH-памяти	525
14.2.3. Управление процессом программирования EEPROM-памяти	526
14.3. Параллельное программирование	526
14.3.1. Переключение в режим параллельного программирования	532
14.3.2. Стирание кристалла	533
14.3.3. Программирование FLASH-памяти	533
14.3.4. Программирование EEPROM-памяти	535
14.3.5. Программирование конфигурационных ячеек	537
14.3.6. Программирование ячеек защиты	538
14.3.7. Чтение конфигурационных ячеек и ячеек защиты	538
14.3.8. Чтение ячеек идентификатора и калибровочных ячеек	539
14.4. Программирование по интерфейсу JTAG	539
14.4.1. Общие сведения об интерфейсе JTAG	539
14.4.2. Использование интерфейса JTAG для программирования кристалла	542
14.4.3. Команды JTAG, используемые при программировании	543
14.4.4. Алгоритм программирования	545
14.5. Самопрограммирование микроконтроллеров семейства Mega	554
14.5.1. Общие сведения	554
14.5.2. Области RWW и NRWW	555
14.5.3. Функционирование загрузчика	557

Приложения	564
Приложение 1. Сводная таблица микроконтроллеров AVR семейства Mega.	564
Приложение 2. Чертежи корпусов микроконтроллеров AVR семейства Mega.	574
Приложение 3. Параметры микроконтроллеров AVR семейства Mega.	577
Предметный указатель	582