

УДК 004.312 (035.5)
ББК 32.844.1я2
Е26

Евстифеев А.В.
Е26 Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы ATMEL — 6-е изд., стер. — М.: ДМК Пресс, 2015. — 286 с.: ил. (Серия «Мировая электроника»)

ISBN 978-5-94120-219-5

Книга представляет собой справочное издание по применению микроконтроллеров AVR семейства Classic фирмы ATMEL. Рассмотрены особенности архитектуры, приведены основные электрические параметры. Подробно описаны система команд, периферия, а также способы программирования.

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

УДК 004.312 (035.5)
ББК 32.844.1я2

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

Ответственный редактор *В. Я. Симонов*

Научный редактор *В. Б. Стешенко*

Художественный редактор *М. С. Коршунова*

Выпускающий редактор *Е. Е. Граблевская*

Корректоры *С. И. Шишкина, Л. Р. Попова*

Графики *А. Ю. Анненков, А. Н. Клочков*

Верстка *Е. М. Илюшина*

Веб-сайт издательства: www.dmk.press

Книги издательства «ДМК Пресс» можно заказать в торгово-издательском холдинге «Планета Альянс» наложенным платежом, выслав открытку или письмо по почтовому адресу: 115487, г. Москва, проспект Андропова, д. 38.

При оформлении заказа следует указать адрес (полностью), по которому должны быть высланы книги; фамилию, имя и отчество получателя.

Желательно также указать свой телефон и электронный адрес.

Эти книги вы можете заказать и в интернет-магазине: www.aliants-kniga.ru

Оптовые закупки: тел. (499) 782-38-89.

Электронный адрес: books@aliants-kniga.ru.

ISBN 9785-94120-219-5 (Додэка)

© Издательский дом «Додэка-XXI»

ISBN 9785-97060-260-7 (ДМК Пресс)

© Издание, ДМК Пресс, 2015

® Серия «Мировая электроника»

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	7
ГЛАВА 1. ЗНАКОМСТВО С СЕМЕЙСТВОМ CLASSIC	9
1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	9
1.2. ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ	9
1.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯДРА МИКРОКОНТРОЛЛЕРА	10
1.4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДСИСТЕМЫ ВВОДА/ВЫВОДА	10
1.5. ПЕРИФЕРИЙНЫЕ УСТРОЙСТВА	11
1.6. АРХИТЕКТУРА ЯДРА	11
1.7. ЦОКОЛЕВКА И ОПИСАНИЕ ВЫВОДОВ	13
ГЛАВА 2. АРХИТЕКТУРА МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ	
СЕМЕЙСТВА CLASSIC	27
2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	27
2.2. ОРГАНИЗАЦИЯ ПАМЯТИ	36
2.2.1. Память программ	36
2.2.2. Память данных	38
2.2.2.1. Статическое ОЗУ	39
2.2.2.2. Регистры общего назначения	44
2.2.2.3. Регистры ввода/вывода	46
2.2.2.4. Способы адресации памяти данных	57
2.2.3. Энергонезависимая память данных	63
2.2.3.1. Организация доступа	63
2.2.3.2. Меры предосторожности при работе	67
2.3. СЧЕТЧИК КОМАНД И ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОГРАММЫ	67
2.3.1. Функционирование конвейера	67

СОДЕРЖАНИЕ

2.3.2. Задержки в конвейере	69
2.3.3. Счетчик команд	70
2.3.4. Команды типа «проверка/пропуск»	70
2.3.5. Команды условного перехода	71
2.3.6. Команды безусловного перехода	71
2.3.7. Команды вызова подпрограмм	73
2.3.8. Команды возврата из подпрограмм	74
2.4. СТЕК	74
2.4.1. Стек в микроконтроллере AT90S1200	74
2.4.2. Стек в старших моделях микроконтроллеров	76
ГЛАВА 3. СИСТЕМА КОМАНД	77
3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	77
3.2. ОПЕРАНДЫ	77
3.3. ТИПЫ КОМАНД	79
3.3.1. Команды логических операций	79
3.3.2. Команды арифметических операций и команды сдвига	80
3.3.3. Команды операций с битами	80
3.3.4. Команды пересылки данных	81
3.3.5. Команды передачи управления	81
3.3.6. Команды управления системой	83
3.4. СВОДНЫЕ ТАБЛИЦЫ КОМАНД	84
3.5. ОПИСАНИЕ КОМАНД	89
ГЛАВА 4. УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ	147
4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	147
4.2. ТАКТОВЫЙ ГЕНЕРАТОР	148
4.3. РЕЖИМЫ ПОНИЖЕННОГО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ	150
4.3.1. Режим Idle	151
4.3.2. Режим Power Down	151
4.3.3. Режим Power Save	152
4.4. СБРОС	153
4.4.1. Сброс по включении питания	154
4.4.2. Аппаратный сброс	157
4.4.3. Сброс от сторожевого таймера	157
4.4.4. Сброс при снижении напряжения питания (Brown-Out)	158
4.4.5. Управление схемой сброса	159
4.5. ПЕРЕРЫВАНИЯ	166
4.5.1. Таблица векторов прерываний	167
4.5.2. Обработка прерываний	168
4.5.3. Внешние прерывания; регистры GIMSK и GIFR	170
4.5.4. Прерывания от таймеров; регистры TIMSK и TIFR	172

ГЛАВА 5. ПОРТЫ ВВОДА/ВЫВОДА	177
5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	177
5.2. ОБРАЩЕНИЕ К ПОРТАМ ВВОДА/ВЫВОДА	178
5.3. КОНФИГУРИРОВАНИЕ ПОРТОВ ВВОДА/ВЫВОДА	182
ГЛАВА 6. ТАЙМЕРЫ	183
6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	183
6.2. НАЗНАЧЕНИЕ ВЫВОДОВ ТАЙМЕРОВ/СЧЕТЧИКОВ	184
6.3. ТАЙМЕР/СЧЕТЧИК T0	185
6.4. ТАЙМЕР/СЧЕТЧИК T1	187
6.4.1. Выбор источника тактового сигнала	192
6.4.2. Режим таймера	193
6.4.2.1. Функция захвата (Capture)	193
6.4.2.2. Функция сравнения (Compare)	195
6.4.3. Режим ШИМ	197
6.5. ТАЙМЕР/СЧЕТЧИК T2	200
6.5.1. Управление тактовым сигналом	202
6.5.2. Режим таймера	202
6.5.3. Режим ШИМ	203
6.5.4. Асинхронный режим работы	205
6.6. СТОРОЖЕВОЙ ТАЙМЕР	208
ГЛАВА 7. АНАЛОГОВЫЙ КОМПАРАТОР	211
7.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	211
7.2. ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ КОМПАРАТОРА	212
ГЛАВА 8. АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ	215
8.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	215
8.2. ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ МОДУЛЯ АЦП	216
8.3. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ	221
8.4. ПАРАМЕТРЫ АЦП	223
ГЛАВА 9. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИК	225
9.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	225
9.2. УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОЙ UART	226
9.3. ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ	229
9.4. ПРИЕМ ДАННЫХ	230
9.5. МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ UART	233
9.6. СКОРОСТЬ ПРИЕМА/ПЕРЕДАЧИ	234

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 10. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ ПЕРИФЕРИЙНЫЙ ИНТЕРФЕЙС SPI	237
10.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	237
10.2. ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ МОДУЛЯ SPI	238
10.3. РЕЖИМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ	242
10.4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫВОДА F65	244
ГЛАВА 11. ПРОГРАММИРОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ	245
11.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	245
11.2. ЗАЩИТА КОДА И ДАННЫХ	246
11.3. КОНФИГУРАЦИОННЫЕ ЯЧЕЙКИ	246
11.4. ИДЕНТИФИКАТОР	247
11.5. РЕЖИМ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	248
11.5.1. Переключение в режим параллельного программирования	252
11.5.2. Стирание кристалла	253
11.5.3. Программирование FLASH-памяти	254
11.5.4. Программирование EEPROM-памяти	256
11.5.5. Конфигурирование микроконтроллера	256
11.6. РЕЖИМЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	258
11.6.1. Режим последовательного программирования при высоком напряжении (модели AT90S/LS2323 и AT90S/LS2343)	258
11.6.2. Программирование по последовательному каналу	264
ПРИЛОЖЕНИЯ	271
Приложение I. Сводная таблица микроконтроллеров AVR семейства Classic	272
Приложение II. Чертежи корпусов микроконтроллеров AVR семейства Classic	276
Приложение III. Электрические параметры микроконтроллеров AVR семейства Classic	279
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	282