

Издательство «Додэка-XXI» представляет новую книгу

## Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL, 4-е изд., стер



|                      |                              |
|----------------------|------------------------------|
| <b>Автор:</b>        | <b>А. В. Евстифеев</b>       |
| <b>Издательство:</b> | <b>«Додэка-XXI»</b>          |
| <b>ISBN:</b>         | <b>978-5-94120-153-2</b>     |
| <b>УДК</b>           | <b>621.316.544.1 (035.5)</b> |
| <b>ББК</b>           | <b>.844.1-04я2</b>           |
| <b>Объем:</b>        | <b>560 с.</b>                |
| <b>Формат:</b>       | <b>60 x 90/16</b>            |
| <b>Тираж</b>         | <b>2000</b>                  |
| <b>Дата выпуска:</b> | <b>февраль 2007г.</b>        |

Книга посвящена вопросам практического применения однокристальных микроконтроллеров AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL.

Рассмотрена архитектура, ее особенности. Приведены основные электрические параметры и временные характеристики. Подробно описано внутреннее устройство микроконтроллеров, системы команд, периферия, а также способы программирования с примерами реализации некоторых алгоритмов для конкретных цифровых устройств.

Книга предназначена для разработчиков радиоэлектронной аппаратуры, инженеров, студентов вузов и радиолюбителей.

## Оглавление

### Предисловие 9

### Часть 1. Микроконтроллеры семейства Tiny

#### Глава 1. Знакомство с семейством Tiny

- 1.1. Общие сведения 12
- 1.2. Отличительные особенности 12
- 1.3. Характеристики процессора 13
- 1.4. Характеристики подсистемы ввода/вывода 13
- 1.5. Периферийные устройства 14
- 1.6. Архитектура ядра 14
- 1.7. Цоколевка и описание выводов 15

#### Глава 2. Архитектура микроконтроллеров семейства Tiny

- 2.1. Общие сведения 21
- 2.2. Организация памяти 26
  - 2.2.1. Память программ 26
  - 2.2.2. Память данных 28
  - 2.2.3. Энергонезависимая память данных (EEPROM) 38
- 2.3. Счетчик команд и выполнение программы 42
  - 2.3.1. Функционирование конвейера 42
  - 2.3.2. Задержки в конвейере 43
  - 2.3.3. Счетчик команд 44
  - 2.3.4. Команды типа «проверка/пропуск» (Test & Skip) 44
  - 2.3.5. Команды условного перехода 44
  - 2.3.6. Команда безусловного перехода 45

- 2.3.7. Команда вызова подпрограмм 45
- 2.3.8. Команды возврата из подпрограмм 46

## 2.4. Стек 46

## **Глава 3. Устройство управления микроконтроллеров семейства Tiny**

- 3.1. Общие сведения 48
- 3.2. Тактовый генератор 49
  - 3.2.1. Кварцевый генератор 49
  - 3.2.2. Внешний сигнал синхронизации 50
  - 3.2.3. Встроенный генератор с внешней или внутренней RCцепочкой 50
- 3.3. Режимы пониженного энергопотребления 52
  - 3.3.1. Режим Idle 53
  - 3.3.2. Режим Power Down 53
  - 3.3.3. Режим ADC Noise Reduction 54
- 3.4. Сброс 54
  - 3.4.1. Сброс по включению питания 55
  - 3.4.2. Аппаратный сброс 57
  - 3.4.3. Сброс от сторожевого таймера 57
  - 3.4.4. Сброс при снижении напряжения питания 58
  - 3.4.5. Управление схемой сброса 59
- 3.5. Прерывания 66
  - 3.5.1. Таблица векторов прерываний 66
  - 3.5.2. Обработка прерываний 67
  - 3.5.3. Внешние прерывания. Регистры GIMSK и GIFR 69
  - 3.5.4. Прерывания от таймеров. Регистры TIMSK и TIFR 71
  - 3.5.5. Управление прерываниями в микроконтроллерах ATtiny28х. Регистры ICR и IFR 73

## **Глава 4. Порты ввода/вывода**

- 4.1. Общие сведения 76
- 4.2. Обращение к портам ввода/вывода 77
- 4.3. Конфигурирование портов ввода/вывода 78
- 4.4. Аппаратный модулятор 81

## **Глава 5. Таймеры в микроконтроллерах семейства Tiny**

- 5.1. Общие сведения 86
- 5.2. Назначение выводов таймеров/счетчиков 86
- 5.3. Таймер/счетчик T0 87
- 5.4. Таймер/счетчик T1 90
  - 5.4.1. Выбор источника тактового сигнала 93
  - 5.4.2. Режим таймера 94
  - 5.4.3. Режим ШИМ 95
- 5.5. Сторожевой таймер 97

## **Глава 6. Аналоговый компаратор**

- 6.1. Общие сведения 100
- 6.2. Функционирование компаратора 100

## **Глава 7. Аналого-цифровой преобразователь**

- 7.1. Общие сведения 104
- 7.2. Функционирование модуля АЦП 104
- 7.3. Повышение точности преобразования 111
- 7.4. Параметры АЦП 112

## **Часть 2. Микроконтроллеры семейства Mega**

## **Глава 8. Знакомство с семейством Mega**

- 8.1. Общие сведения 114
- 8.2. Отличительные особенности 114
- 8.3. Характеристики процессора 115
- 8.4. Характеристики подсистемы ввода/вывода 115
- 8.5. Периферийные устройства 116
- 8.6. Архитектура ядра 116
- 8.7. Цоколевка и описание выводов 117

## **Глава 9. Архитектура микроконтроллеров семейства Mega**

- 9.1. Введение 148
- 9.2. Организация памяти 148
  - 9.2.1. Память программ 150
  - 9.2.2. Память данных 153
  - 9.2.3. Энергонезависимая память данных (EEPROM) 189
- 9.3. Счетчик команд и выполнение программы 193
  - 9.3.1. Счетчик команд 193
  - 9.3.2. Функционирование конвейера 193
  - 9.3.3. Команды типа «проверка/пропуск» (Test & Skip) 194
  - 9.3.4. Команды условного перехода 195
  - 9.3.5. Команды безусловного перехода 195
  - 9.3.6. Команды вызова подпрограмм 197
  - 9.3.7. Команды возврата из подпрограмм 198
- 9.4. Стек 198

## **Глава 10. Тактирование, режимы пониженного энергопотребления и сброс**

- 10.1. Общие сведения 200
- 10.2. Тактовый генератор 200
  - 10.2.1. Тактовый генератор с внешним резонатором 203
  - 10.2.2. Низкочастотный кварцевый генератор 204
  - 10.2.3. Внешний сигнал синхронизации 205
  - 10.2.4. Внешняя RC-цепочка 205
  - 10.2.5. Встроенный генератор с внутренней RC-цепочкой 206
  - 10.2.6. Управление тактовой частотой 209
- 10.3. Режимы пониженного энергопотребления 210
- 10.4. Сброс 217
  - 10.4.1. Сброс по включению питания 219
  - 10.4.2. Аппаратный сброс 221
  - 10.4.3. Сброс от сторожевого таймера 221
  - 10.4.4. Сброс при снижении напряжения питания 222
  - 10.4.5. Управление схемой сброса 223

## **Глава 11. Прерывания**

- 11.1. Общие сведения 230
- 11.2. Таблица векторов прерываний 230
- 11.3. Обработка прерываний 239
- 11.4. Внешние прерывания 240

## **Глава 12. Порты ввода/вывода**

- 12.1. Общие сведения 248
- 12.2. Регистры портов ввода/вывода 249
- 12.3. Конфигурирование портов ввода/вывода 250

## **Глава 13. Таймеры**

- 13.1. Общие сведения 255

- 13.2. Назначение выводов таймеров/счетчиков 256
- 13.3. Прерывания от таймеров/счетчиков 257
- 13.4. Предделители таймеров/счетчиков 261
  - 13.4.1. Управление предделителями 262
  - 13.4.2. Использование внешнего тактового сигнала 263
- 13.5. Таймеры/счетчики T0 и T2 264
  - 13.5.1. Управление тактовым сигналом 269
  - 13.5.2. Режимы работы 70
  - 13.5.3. Асинхронный режим 276
- 13.6. Таймеры/счетчики T1и T3 279
  - 13.6.1. Обращение к 16разрядным регистрам 287
  - 13.6.2. Управление тактовым сигналом 288
  - 13.6.3. Режимы работы 288
- 13.7. Сторожевой таймер 300

## **Глава 14. Аналоговый компаратор**

- 14.1. Введение 305
- 14.2. Функционирование компаратора 306

## **Глава 15. Аналого-цифровой преобразователь**

- 15.1. Общие сведения 310
- 15.2. Функционирование модуля АЦП 311
- 15.3. Результат преобразования 320
- 15.4. Повышение точности преобразования 321
- 15.5. Параметры АЦП 323

## **Глава 16. Универсальный асинхронный (синхронный/асинхронный) приемопередатчик**

- 16.1. Общие сведения 324
- 16.2. Использование модулей USART/UART 326
  - 16.2.1. Скорость приема/передачи 333
  - 16.2.2. Формат кадра 336
  - 16.2.3. Передача данных 338
  - 16.2.4. Прием данных 340
- 16.3. Мультипроцессорный режим работы 345

## **Глава 17. Последовательный периферийный интерфейс SPI**

- 17.1. Введение 347
- 17.2. Функционирование модуля SPI 347
- 17.3. Режимы передачи данных 352
- 17.4. Использование вывода SS 353

## **Глава 18. Последовательный двухпроводный интерфейс**

- 18.1. Общие сведения 355
- 18.2. Принципы обмена данными по шине TWI 356
- 18.3. Обзор модуля TWI 361
- 18.4. Взаимодействие прикладной программы с модулем TWI 367
- 18.5. Режимы работы модуля TWI 370
  - 18.5.1. Режим «Ведущий передатчик» 370
  - 18.5.2. Режим «Ведущий приемник» 374
  - 18.5.3. Режим «Ведомый приемник» 378
  - 18.5.4. Режим «Ведомый передатчик» 382
  - 18.5.5. Комбинирование различных режимов 385
  - 18.5.6. Арбитраж 386
- 18.6. Параметры интерфейса TWI 387

## **Часть 3. Команды микроконтроллеров семейств Tiny и Mega**

### **Глава 19. Общие сведения о системе команд**

- 19.1. Введение в систему команд 390
- 19.2. Операнды 390
- 19.3. Типы команд 392
  - 19.3.1. Команды логических операций 392
  - 19.3.2. Команды арифметических операций и команды сдвига 393
  - 19.3.3. Команды операций с битами 393
  - 19.3.4. Команды пересылки данных 394
  - 19.3.5. Команды передачи управления 394
  - 19.3.6. Команды управления системой 397
- 19.4. Сводные таблицы команд 397

### **Глава 20. Описание команд 403**

## **Часть 4. Программирование микроконтроллеров семейств Tiny и Mega**

### **Глава 21. Введение в программирование микроконтроллеров AVR**

- 21.1. Общие сведения 472
- 21.2. Защита кода и данных 473
- 21.3. Конфигурационные ячейки 475
- 21.4. Идентификатор 479
- 21.5. Калибровочная ячейка 480
- 21.6. Организация памяти программ и данных микроконтроллеров семейства Mega 480

### **Глава 22. Последовательное программирование при высоком напряжении**

- 22.1. Общие сведения 482
- 22.2. Управление процессом программирования 483

### **Глава 23. Программирование по последовательному каналу**

- 23.1. Общие сведения 489
- 23.2. Переключение в режим программирования 492
- 23.3. Управление процессом программирования FLASHпамяти 496
- 23.4. Управление процессом программирования EEPROMпамяти 497

### **Глава 24. Параллельное программирование**

- 24.1. Общие сведения 498
- 24.2. Переключение в режим параллельного программирования 504
- 24.3. Стирание кристалла 505
- 24.4. Программирование FLASHпамяти 505
- 24.5. Программирование EEPROMпамяти 508
- 24.6. Конфигурирование микроконтроллеров 510
  - 24.6.1. Программирование конфигурационных ячеек 510
  - 24.6.2. Программирование ячеек защиты 511
  - 24.6.3. Чтение конфигурационных ячеек и ячеек защиты 511
  - 24.6.4. Чтение ячеек идентификатора и калибровочной константы 512

### **Глава 25. Программирование по интерфейсу JTAG**

- 25.1. Общие сведения 514
- 25.2. Использование интерфейса JTAG для программирования кристалла. Команды JTAG 517
  - 25.2.1. AVR\_RESET (код команды \$0C) 518
  - 25.2.2. PROG\_ENABLE (код команды \$04) 518
  - 25.2.3. PROG\_COMMANDS (код команды \$05) 518
  - 25.2.4. PROG\_PAGELOAD (код команды \$06) 519
  - 25.2.5. PROG\_PAGEREAD (код команды \$07) 519

25.2.6. Алгоритм программирования 519

**Глава 26. Самопрограммирование микроконтроллеров семейства Mega**

26.1. Общие сведения 528

26.2. Области RWW и NRWW 530

26.3. Функционирование загрузчика 531

26.3.1. Управление процессом самопрограммирования 531

26.3.2. Изменение памяти программ 535

26.3.3. Изменение ячеек защиты загрузчика 536

26.3.4. Чтение конфигурационных ячеек и ячеек защиты 536

26.3.5. Пример реализации программы загрузчика 537

**Приложения**

**Приложение 1. Сводная таблица микроконтроллеров AVR семейства Tiny ..... 542**

**Приложение 2. Сводная таблица микроконтроллеров AVR семейства Mega..... 544**

**Приложение 3. Чертежи корпусов микроконтроллеров AVR семейств Tiny и Mega .... 549**

**Приложение 4. Электрические параметры микроконтроллеров AVR семейств Tiny и Mega  
..... 552**

**Предметный указатель .....554**