

УДК 621.316.544.1 (035.5)

ББК 32.844.1-04я2

E26

Евстифеев, А. В.

E26 Микроконтроллеры AVR семейства Tinya : руководство пользователя / А. В. Евстифеев. — 2-е изд., эл. — 1 файл pdf : 427 с. — Москва : ДМК Пресс, Додэка-XXI, 2023. — (Программируемые системы). — Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10". — Текст : электронный.

ISBN 978-5-89818-431-5

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

Электронное издание на основе печатного издания: Микроконтроллеры AVR семейства Tinya : руководство пользователя / А. В. Евстифеев. — Москва : ДМК Пресс, Додэка-XXI, 2015. — 426 с. — (Программируемые системы). — ISBN 978-5-97060-262-1. — Текст : непосредственный.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации.

ISBN 978-5-89818-431-5

© Издательский дом «Додэка XXI»

© Издание, ДМК Пресс, 2015

® Серия «Программируемые системы»

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----------|
| Предисловие | 7 |
| Глава 1. Знакомство с семейством Tiny | 9 |
| 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 |
| Глава 2. Архитектура микроконтроллеров семейства Tiny | 32 |
| 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 |
| Глава 3. Система команд | 80 |
| 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 |
| Глава 4. Тактирование, режимы пониженного энергопотребления и сброс | 156 |
| 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 |
| Глава 5. Прерывания | 195 |
| 5.1. Общие сведения | 195 |
| 5.2. Таблица векторов прерываний | 195 |
| 5.3. Обработка прерываний | 199 |
| 5.4. Внешние прерывания | 200 |
| Глава 6. Порты ввода/вывода | 207 |
| 6.1. Общие сведения | 207 |
| 6.2. Регистры портов ввода/вывода | 208 |
| 6.3. Конфигурирование портов ввода/вывода | 209 |
| 6.4. Аппаратный модулятор | 220 |
| Глава 7. Таймеры | 225 |
| 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 |
| Глава 8. Аналоговый компаратор | 291 |
| 8.1. Общие сведения | 291 |
| 8.2. Функционирование компаратора | 292 |
| Глава 9. Аналого-цифровой преобразователь | 297 |
| 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 |
| Глава 10. Универсальный синхронный/асинхронный приемо-передатчик | 317 |
| 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 |
| Глава 11. Универсальный последовательный интерфейс USI | 335 |
| 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 |
| Глава 12. Программирование микроконтроллеров AVR семейства Tiny | 356 |
| 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 |
| Приложения | 404 |
| 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 |