

# Оглавление

<b>Предисловие</b> .....	9
<b>Часть 1. Микроконтроллеры семейства Tiny</b>	
<b>Глава 1. Знакомство с семейством Tiny</b>	
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
<b>Глава 2. Архитектура микроконтроллеров семейства Tiny</b>	
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
<b>Глава 3. Устройство управления микроконтроллеров семейства Tiny</b>	
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 RC-цепочкой .....	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 ATtiny28x. Регистры ICR и IFR .....	73
<b>Глава 4. Порты ввода/вывода</b>	
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
<b>Глава 5. Таймеры в микроконтроллерах семейства Tiny</b>	
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
<b>Глава 6. Аналоговый компаратор</b>	
6.1. Общие сведения .....	100
6.2. Функционирование компаратора .....	100
<b>Глава 7. Аналого-цифровой преобразователь</b>	
7.1. Общие сведения .....	104
7.2. Функционирование модуля АЦП .....	104
7.3. Повышение точности преобразования .....	111
7.4. Параметры АЦП .....	112
<b>Часть 2. Микроконтроллеры семейства Mega</b>	
<b>Глава 8. Знакомство с семейством Mega</b>	
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
<b>Глава 9. Архитектура микроконтроллеров семейства Mega</b>	
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
<b>Глава 10. Тактирование, режимы пониженного энергопотребления и сброс</b>	
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
<b>Глава 11. Прерывания</b>	
11.1. Общие сведения .....	230
11.2. Таблица векторов прерываний .....	230
11.3. Обработка прерываний .....	239
11.4. Внешние прерывания.....	240
<b>Глава 12. Порты ввода/вывода</b>	
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 .....	270
13.5.3. Асинхронный режим .....	276
13.6. Таймеры/счетчики T1и T3.....	279
13.6.1. Обращение к 16-разрядным 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 $\overline{SS}$ .....	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
<b>Часть 3. Команды микроконтроллеров семейств Tiny и Mega</b>	
<b>Глава 19. Общие сведения о системе команд</b>	
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
<b>Глава 20. Описание команд</b> .....	
<b>Часть 4. Программирование микроконтроллеров семейств Tiny и Mega</b>	
<b>Глава 21. Введение в программирование микроконтроллеров AVR</b>	
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
<b>Глава 22. Последовательное программирование при высоком напряжении</b>	
22.1. Общие сведения .....	482
22.2. Управление процессом программирования .....	483
<b>Глава 23. Программирование по последовательному каналу</b>	
23.1. Общие сведения .....	489
23.2. Переключение в режим программирования .....	492
23.3. Управление процессом программирования FLASH-памяти .....	496
23.4. Управление процессом программирования EEPROM-памяти .....	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 FLASH-памяти .....	505
24.5. Программирование EEPROM-памяти .....	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
----------------------------	-----

# Предисловие

Книга, которую вы держите в руках, — это вторая книга, посвященная микроконтроллерам AVR фирмы «Atmel». Эти 8-разрядные RISC-микроконтроллеры для встраиваемых приложений являются, пожалуй, наиболее интересным и прогрессивным направлением, развиваемым фирмой. Микроконтроллеры этой серии представляют собой мощный инструмент, прекрасную основу для создания современных высокопроизводительных и экономичных встраиваемых контроллеров многоцелевого назначения.

Популярность микроконтроллеров AVR постоянно увеличивается. Не последнюю роль в этом играет соотношение показателей «цена/быстродействие/энергопотребление», являющееся одним из лучших на рынке 8-разрядных микроконтроллеров. Кроме того, постоянно растет число выпускаемых сторонними производителями разнообразных программных и аппаратных средств поддержки разработок устройств на их основе. Все это позволяет говорить о микроконтроллерах AVR как о новом индустриальном стандарте среди 8-разрядных микроконтроллеров общего применения.

В рамках единой базовой архитектуры микроконтроллеры AVR подразделяются на три семейства:

- Classic AVR;
- Mega AVR;
- Tiny AVR.

Микроконтроллеры семейства Classic были описаны в первой книге серии, а данная книга посвящена двум последним семействам — Tiny и Mega.

Микроконтроллеры семейства Tiny имеют небольшие объемы памяти программ (1...2 Кбайта) и весьма ограниченную периферию. Практически все они выпускаются в 8-выводных корпусах и предна-

значены для т. н. «бюджетных» решений, принимаемых в условиях жестких финансовых ограничений. Область применения этих микроконтроллеров — интеллектуальные датчики различного назначения (контрольные, пожарные, охранные), игрушки, зарядные устройства, различная бытовая техника и другие подобные устройства.

Микроконтроллеры семейства Mega, напротив, имеют наиболее развитую периферию, наибольшие среди всех микроконтроллеров AVR объемы памяти программ и данных. Они предназначены для использования в мобильных телефонах, контроллерах различного периферийного оборудования (принтеры, сканеры, современные дисковые накопители, приводы CD-ROM/DVD-ROM и т. п.), сложной офисной технике и т. д.

Микроконтроллеры обоих семейств поддерживают несколько режимов пониженного энергопотребления, имеют блок прерываний, сторожевой таймер и допускают программирование непосредственно в готовом устройстве.

В предлагаемой вашему вниманию книге представлена вся информация, необходимая для изучения микроконтроллеров AVR семейств Tiny и Mega. Однако следует заметить, что всеобъемлющим справочником данная книга не является, хотя и написана на основе документации, предоставляемой фирмой «Atmel». Поэтому, прежде чем приступить к практическому использованию рассматриваемых микроконтроллеров, настоятельно рекомендуется обратиться к официальной информации, размещенной на Web-сайтах фирмы ([www.atmel.com](http://www.atmel.com), [www.atmel.ru](http://www.atmel.ru)).

# **Часть 1**

## **Микроконтроллеры семейства Tiny**

---

<b>Глава 1</b>	Знакомство с семейством Tiny
<b>Глава 2</b>	Архитектура микроконтроллеров семейства Tiny
<b>Глава 3</b>	Устройство управления микроконтроллеров семейства Tiny
<b>Глава 4</b>	Порты ввода/вывода
<b>Глава 5</b>	Таймеры в микроконтроллерах семейства Tiny
<b>Глава 6</b>	Аналоговый компаратор
<b>Глава 7</b>	Аналого-цифровой преобразователь

# Глава 1. Знакомство с семейством Tiny

## 1.1. Общие сведения

Как и все микроконтроллеры AVR фирмы «Atmel», микроконтроллеры семейства Tiny являются 8-разрядными микроконтроллерами, предназначенными для встраиваемых приложений. Они изготавливаются по малопотребляющей КМОП-технологии, которая в сочетании с усовершенствованной RISC-архитектурой позволяет достичь наилучшего соотношения быстродействие/энергопотребление. Удельное быстродействие этих микроконтроллеров может достигать значения 1 MIPS/МГц (1 миллион операций в секунду на 1 МГц тактовой частоты). Модели микроконтроллеров семейства Tiny и их основные параметры приведены в приложениях 1 и 4. Микроконтроллеры описываемого семейства предназначены в первую очередь для низкостоймостных («бюджетных») приложений и соответственно являются самыми дешевыми из всех микроконтроллеров AVR. Важной особенностью этих микроконтроллеров является эффективное использование выводов кристалла, например, в 8-выводном корпусе все выводы (кроме, разумеется, выводов питания) могут использоваться в качестве линий ввода/вывода.

## 1.2. Отличительные особенности

Перечислим вкратце основные особенности микроконтроллеров семейства Tiny:

- возможность вычислений со скоростью до 1 MIPS/МГц;
- FLASH-память программ объемом 1...2 Кбайт (число циклов стирания/записи не менее 1000);
- оперативная память (статическое ОЗУ) объемом 1...2 Кбайт;

- память данных на основе ЭСППЗУ (EEPROM) объемом до 64 байт (число циклов стирания/записи не менее 100000);
- возможность защиты от внешнего чтения и модификации памяти программ и данных (в EEPROM);
- возможность программирования непосредственно в системе через последовательный интерфейс\*;
- различные способы синхронизации: встроенный генератор с внутренней или внешней времязадающей RC-цепочкой; встроенный генератор с внешним резонатором (пьезокерамическим или кварцевым); внешний сигнал синхронизации;
- наличие двух или трех режимов пониженного энергопотребления;
- некоторые модели микроконтроллеров могут работать при пониженном до 1.8 В напряжении питания.

### 1.3. Характеристики процессора

Основными характеристиками центрального процессора микроконтроллеров рассматриваемого семейства являются:

- полностью статическая архитектура; минимальная тактовая частота равна нулю;
- АЛУ подключено непосредственно к регистрам общего назначения;
- большинство команд выполняются за один машинный цикл;
- многоуровневая система прерываний; поддержка очереди прерываний;
- 5...8 источников прерываний (из них до 2-х внешних)\*\*;
- трехуровневый аппаратный стек.

### 1.4. Характеристики подсистемы ввода/вывода

Основными характеристиками подсистемы ввода/вывода являются:

- программное конфигурирование и выбор портов ввода/вывода;
- выходы могут быть запрограммированы как входные или как выходные независимо друг от друга;
- входные буферы с триггером Шмитта на всех выводах;
- возможность подключения к входам внутренних подтягивающих резисторов (сопротивление резисторов составляет 35...120 кОм).

---

\* Не во всех моделях.

\*\* Зависит от конкретной модели микроконтроллера.

## 1.5. Периферийные устройства

Набор периферийных устройств, имеющих в составе того или иного микроконтроллера, зависит от конкретной модели и может быть определен по сводной таблице, приведенной в Приложении 1. Вообще же в составе микроконтроллеров семейства встречаются следующие периферийные устройства:

- 8-разрядный таймер/счетчик с предделителем (таймер T0)\*;
- второй 8-разрядный таймер/счетчик с предделителем (таймер T1)\*\*;
- сторожевой таймер WDT\*;
- одноканальный генератор сигнала с ШИМ разрядностью 8 бит (один из режимов работы таймера T1);
- аналоговый компаратор\*;
- 10-разрядный АЦП (4 канала);
- аппаратный модулятор.

## 1.6. Архитектура ядра

Ядро микроконтроллеров AVR семейства Tiny выполнено по усовершенствованной RISC (enhanced RISC) архитектуре (Рис. 1.1), в которой используется ряд решений, направленных на повышение быстродействия микроконтроллеров.

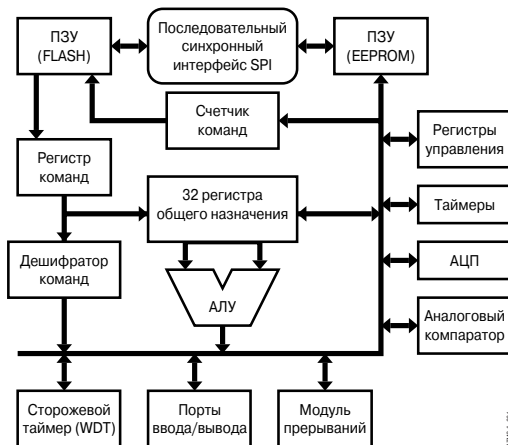


Рис. 1.1. Архитектура ядра микроконтроллеров AVR семейства Tiny

\* Присутствует во всех моделях.

\*\* Присутствует только в модели ATtiny 15L.

Арифметико-логическое устройство (АЛУ), выполняющее все вычисления, подключено непосредственно к 32-м рабочим регистрам, объединенным в регистровый файл. Благодаря этому АЛУ выполняет одну операцию (чтение содержимого регистров, выполнение операции и запись результата обратно в регистровый файл) за один машинный цикл. Кроме того, в микроконтроллерах семейства Tiny каждая из команд занимает только одну ячейку памяти программ.

В микроконтроллерах AVR реализована Гарвардская архитектура, которая характеризуется раздельной памятью программ и данных, каждая из которых имеет собственные шины доступа к ним. Такая организация позволяет одновременно работать как с памятью программ, так и с памятью данных. Разделение шин доступа позволяет использовать для каждого типа памяти шины различной разрядности, а также реализовать конвейеризацию. Конвейеризация заключается в том, что во время исполнения текущей команды производится выборка из памяти и дешифрация кода следующей команды.

В отличие от RISC-микроконтроллеров других фирм, в микроконтроллерах AVR используется 2-уровневый конвейер, а длительность машинного цикла составляет всего один период кварцевого резонатора. В результате, при более низкой тактовой частоте они могут обеспечивать ту же производительность, что и RISC-микроконтроллеры других фирм.

## 1.7. Цоколевка и описание выводов

В семейство Tiny входит в общей сложности 8 моделей микроконтроллеров, которые составляют 4 группы:

- ATtiny11, ATtiny11L (**Рис. 1.2**) имеют FLASH-память программ объемом 1 Кбайт. Максимальное количество контактов ввода/вывода равно 6 (вывод 1 может использоваться только как входной);
- ATtiny12, ATtiny12L, ATtiny12V (**Рис. 1.3**) имеют FLASH-память программ объемом 1 Кбайт и EEPROM-память данных объемом 64 байт. Максимальное количество контактов ввода/вывода равно 6;
- ATtiny15L (**Рис. 1.4**) имеет FLASH-память программ объемом 1 Кбайт и EEPROM-память данных объемом 64 байт. Максимальное количество контактов ввода/вывода равно 6;
- ATtiny28L, ATtiny28V (**Рис. 1.5**) имеют FLASH-память программ 2 Кбайт. Количество контактов ввода/вывода равно 19 (из них 11 — контакты ввода/вывода общего назначения, а 8 — входные контакты).

Пока книга готовилась к печати, фирма «Atmel» выпустила еще две модели микроконтроллеров семейства — ATtiny26/ATtiny26L. Эти микроконтроллеры имеют FLASH-память программ объемом 2 Кбайт, ОЗУ

объемом 128 байт и EEPROM-память данных объемом 128 байт. Количество контактов ввода/вывода в этих моделях равно 16. В данной книге эти модели по понятным причинам не описываются, однако основные их параметры приведены в Приложении 1.

Для сравнения в **Табл. 1.1** приводятся основные параметры микроконтроллеров, такие, как объем памяти (программ и данных), количество контактов ввода/вывода, тип корпуса, диапазон рабочих частот и напряжение питания. Полная информация по каждой модели приведена в Приложении 1. Дополнительно следует отметить, что все микроконтроллеры семейства Tiny выпускаются как в коммерческом (диапазон рабочих температур 0...+70°C), так и в промышленном (диапазон рабочих температур –40...+85°C) исполнениях.

*Таблица 1.1. Основные параметры микроконтроллеров AVR семейства Tiny*

Обозначение	Память программ (FLASH) [Кбайт]	Память данных (EEPROM) [байт]	Количество линий ввода/вывода	Напряжение питания [В]	Тактовая частота [МГц]	Тип корпуса
ATtiny11	1	—	6	4.0...5.5	0...6	DIP-8
						SOIC-8
ATtiny11L	1	—	6	2.7... 5.5	0...2	DIP-8
						SOIC-8
ATtiny12	1	64	6	4.0...5.5	0...8	DIP-8
						SOIC-8
ATtiny12L	1	64	6	2.7... 5.5	0...4	DIP-8
						SOIC-8
ATtiny12V	1	64	6	1.8...5.5	0...1.2	DIP-8
						SOIC-8
ATtiny15L	1	64	6	2.7...5.5	0...1.2	DIP-8
						SOIC-8
ATtiny28L	2	—	19	2.7...5.5	0...4	DIP-28
						TQFP-32
						MLF-32
ATtiny28V	2	—	19	1.8...5.5	0...1.2	DIP-28
						TQFP-32
						MLF-32

В **Табл. 1.2...1.5** для каждой группы микроконтроллеров приведены названия выводов и указаны их функции (как основные, так и дополнительные). Кроме того, для каждого вывода в таблицах указан его тип (вход, выход, вход/выход, вывод питания).

В таблицах использованы следующие обозначения:

I — вход;

O — выход;

I/O — вход/выход;

P — выводы питания.

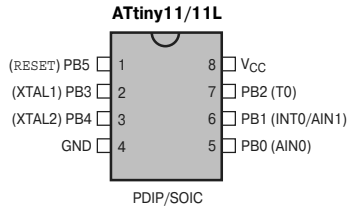


Рис. 1.2. Расположение выводов (вид сверху) моделей ATtiny11/11L

Таблица 1.2. Описание выводов модели ATtiny11/11L

Обозначение	Номер вывода	Тип вывода	Описание
PB0 (AIN0)	5	I/O	0-й разряд порта В (Положительный вход компаратора)
PB1 (INT0/AIN1)	6	I/O	1-й разряд порта В (Вход внешнего прерывания/Отрицательный вход компаратора)
PB2 (T0)	7	I/O	2-й разряд порта В (Вход внешнего тактового сигнала таймера/счетчика T0)
PB3 (XTAL1)	2	I/O	3-й разряд порта В (Вход тактового генератора)
PB4 (XTAL2)	3	I/O	4-й разряд порта В (Выход тактового генератора)
PB5 ( $\overline{\text{RESET}}$ )	1	I	5-й разряд порта В (Вход сброса)
GND	4	P	Общий вывод
V <sub>CC</sub>	8	P	Вывод источника питания

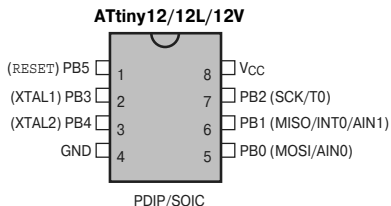


Рис. 1.3. Расположение выводов (вид сверху) моделей ATtiny12/12L/12V

Таблица 1.3. Описание выводов модели ATtiny12/12L/12V

Обозначение	Номер вывода	Тип вывода	Описание
PB0 (MOSI/AIN0)	5	I/O	0-й разряд порта В (Вход данных при программировании/Положительный вход компаратора)
PB1 (MISO/INT0/AIN1)	6	I/O	1-й разряд порта В (Выход данных при программировании/Вход внешнего прерывания/Отрицательный вход компаратора)
PB2 (SCK/T0)	7	I/O	2-й разряд порта В (Вход тактового сигнала при программировании/Вход внешнего тактового сигнала таймера/счетчика T0)
PB3 (XTAL1)	2	I/O	3-й разряд порта В (Вход тактового генератора)
PB4 (XTAL2)	3	I/O	4-й разряд порта В (Выход тактового генератора)
PB5 ( $\overline{\text{RESET}}$ )	1	I/O	5-й разряд порта В, тип выхода — открытый коллектор (Вход сброса)
GND	4	P	Общий вывод
$V_{CC}$	8	P	Вывод источника питания

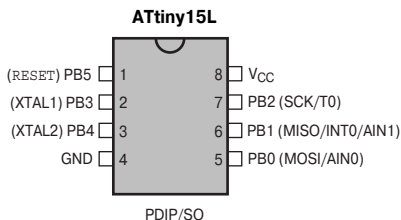


Рис. 1.4. Расположение выводов (вид сверху) модели ATtiny15L

Таблица 1.4. Описание выводов модели ATtiny15L

Обозначение	Номер вывода	Тип вывода	Описание
PB0 (AIN0/ AREF/ MOSI)	5	I/O	0-й разряд порта В (Положительный вход компаратора/Вход опорного напряжения для АЦП/Вход данных при программировании)
PB1 (AIN1/ OC1A/MISO)	6	I/O	1-й разряд порта В (Отрицательный вход компаратора/Выход таймера/счетчика Т1 (режимы Compare, PWM)/Выход данных при программировании)
PB2 (ADC1/ T0/INT0/ SCK)	7	I/O	2-й разряд порта В (Вход АЦП/Вход внешнего тактового сигнала таймера/счетчика Т0/Вход внешнего прерывания/Вход тактового сигнала при программировании)
PB3 (ADC2)	3	I/O	3-й разряд порта В (Вход АЦП)
PB4 (ADC3)	2	I/O	4-й разряд порта В (Вход АЦП)
PB5 (ADC0/ RESET)	1	I/O	5-й разряд порта В (Вход АЦП/Вход сброса)
GND	4	P	Общий вывод
V <sub>CC</sub>	8	P	Вывод источника питания

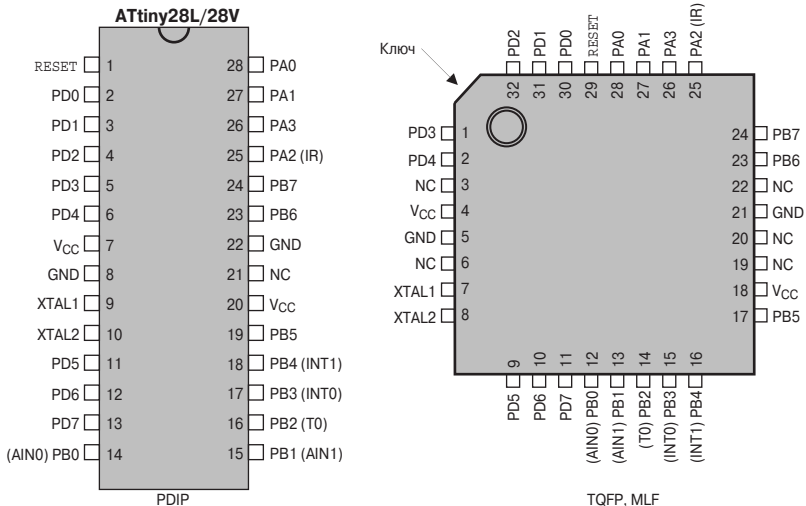


Рис. 1.5. Расположение выводов (вид сверху) моделей ATtiny28L/28V

## Часть 1. Микроконтроллеры семейства Tiny

Таблица 1.5. Описание выводов моделей ATtiny28L/28V

Обозначение	Номер вывода		Тип вывода	Описание
	DIP	TQFP, MLF		
XTAL1	9	7	I	Вход тактового генератора
XTAL2	10	8	O	Выход тактового генератора
$\overline{\text{RESET}}$	1	29	I	Вход сброса
PA0	28	28	I/O	0-й разряд порта A
PA1	27	27	I/O	1-й разряд порта A
PA2 (IR)	25	25	O	2-й разряд порта A (Выходной контакт сповышенной нагрузочной способностью)
PA3	26	26	I/O	3-й разряд порта A
PB0 (AIN0)	14	12	I/O	0-й разряд порта B (Положительный вход компаратора)
PB1 (AIN1)	15	13	I/O	1-й разряд порта B (Отрицательный вход компаратора)
PB2 (T0)	16	14	I/O	2-й разряд порта B (Вход внешнего тактового сигнала таймера/счетчика T0)
PB3 (INT0)	17	15	I/O	3-й разряд порта B (Вход внешнего прерывания)
PB4 (INT1)	18	16	I/O	4-й разряд порта B (Вход внешнего прерывания)
PB5	19	17	I/O	5-й разряд порта B
PB6	23	23	I/O	6-й разряд порта B
PB7	24	24	I/O	7-й разряд порта B
PD0	2	30	I/O	8-разрядный двунаправленный порт ввода/вывода D
PD1	3	31	I/O	
PD2	4	32	I/O	
PD3	5	1	I/O	
PD4	6	2	I/O	
PD5	11	9	I/O	
PD6	12	10	I/O	
PD7	13	11	I/O	
GND	8, 22	5, 21	P	Общий вывод
$V_{CC}$	7, 20	4	P	Вывод источника питания
NC	21	3, 6, 19, 20, 22	—	Не используются

## Глава 2. Архитектура микроконтроллеров семейства Tiny

### 2.1. Общие сведения

Микроконтроллеры AVR семейства Tiny являются 8-разрядными микроконтроллерами с RISC-архитектурой. Они имеют электрически стираемую FLASH-память программ (ряд моделей имеет также энергонезависимую EEPROM-память данных), а также разнообразные периферийные устройства. Состав этих устройств меняется от модели к модели, более того, одно и то же устройство в разных моделях использует различные ресурсы микроконтроллера (в частности, различные выводы). В то же время некоторые периферийные устройства присутствуют во всех микроконтроллерах семейства: сторожевой таймер, аналоговый компаратор, 8-разрядный таймер/счетчик реального времени и, естественно, порты ввода/вывода.

На **Рис. 1.6** и **Рис. 1.7** приведены структурные схемы микроконтроллеров ATtiny11/11L и ATtiny12/12L/12V соответственно. Их отличительные особенности:

- 6-разрядный порт ввода/вывода;
- 3-уровневый аппаратный стек;
- встроенный тактовый RC-генератор;
- возможность подключения внешнего резонатора;
- использование тактового генератора сторожевого таймера в качестве системного (только ATtiny11x).

Структурная схема микроконтроллера ATtiny15L приведена на

**Рис. 1.8.** Его отличительные особенности:

- EEPROM-память данных объемом 64 байт;
- 6-разрядный порт ввода/вывода;
- возможность работы только от встроенного тактового RC-генератора;
- два 8-разрядных таймера/счетчика;
- 4-канальный АЦП.

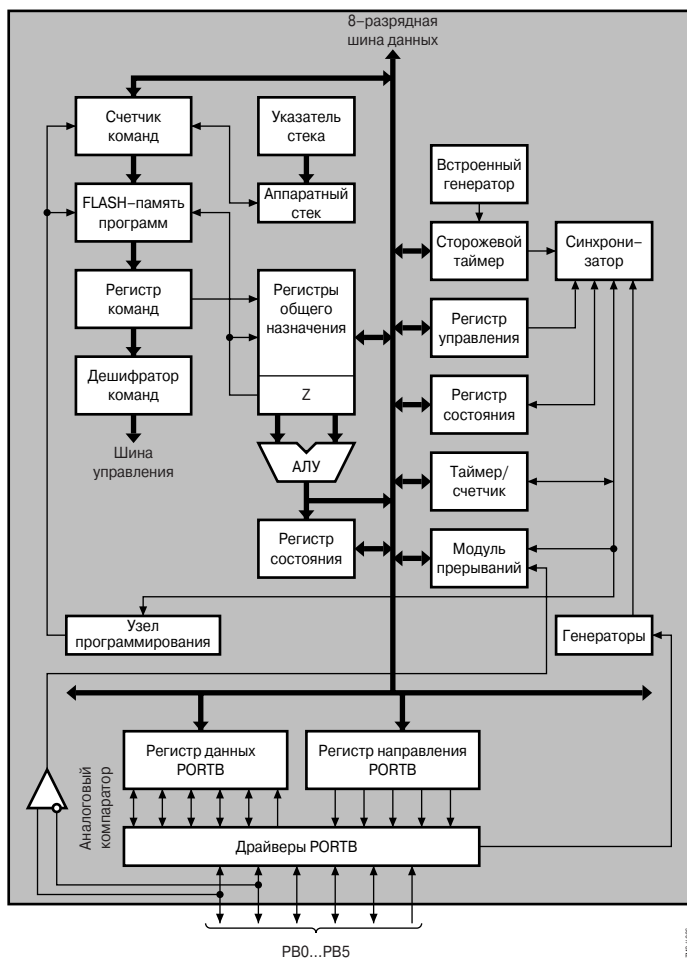


Рис. 1.6. Структурная схема микроконтроллеров ATtiny11/11L

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине «Электронный универс»  
([e-Univers.ru](http://e-Univers.ru))