

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	8
<b>Глава 1. Знакомство с семейством Mega</b> .....	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
<b>Глава 2. Архитектура микроконтроллеров семейства Mega</b> .....	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
<b>Глава 3. Система команд</b> .....	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
<b>Глава 4. Тактирование, режимы пониженного энергопотребления и сброс . . . . .</b>	<b>251</b>
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
<b>Глава 5. Прерывания . . . . .</b>	<b>291</b>
5.1. Общие сведения . . . . .	291
5.2. Таблица векторов прерываний . . . . .	291
5.3. Обработка прерываний . . . . .	306
5.4. Внешние прерывания . . . . .	308
<b>Глава 6. Порты ввода/вывода . . . . .</b>	<b>320</b>
6.1. Общие сведения . . . . .	320
6.2. Регистры портов ввода/вывода . . . . .	321
6.3. Конфигурирование портов ввода/вывода . . . . .	323
<b>Глава 7. Таймеры . . . . .</b>	<b>329</b>
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
<b>Глава 8. Аналоговый компаратор . . . . .</b>	<b>395</b>
8.1. Общие сведения . . . . .	395
8.2. Функционирование компаратора . . . . .	396
<b>Глава 9. Аналого-цифровой преобразователь . . . . .</b>	<b>401</b>
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
<b>Глава 10. Последовательный периферийный интерфейс SPI . . . . .</b>	<b>419</b>
10.1. Общие сведения . . . . .	419
10.2. Функционирование модуля SPI . . . . .	419
10.3. Режимы передачи данных . . . . .	424
10.4. Использование вывода SS . . . . .	426
<b>Глава 11. Двухпроводный последовательный интерфейс TWI . . . . .</b>	<b>427</b>
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
<b>Глава 12. Универсальный последовательный интерфейс USI . . . . .</b>	<b>465</b>
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
<b>Глава 13. Универсальный синхронный/асинхронный приемо-передатчик . . . . .</b>	<b>477</b>
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
<b>Глава 14. Программирование микроконтроллеров AVR семейства Mega . . . . .</b>	<b>508</b>
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

<b>Приложения</b> .....	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
<b>Предметный указатель</b> .....	582

## Предисловие

Книга, которую вы держите в руках, посвящена одному из семейств микроконтроллеров AVR фирмы Atmel. Эти 8-битные RISC-микроконтроллеры для встраиваемых приложений являются, пожалуй, наиболее интересным направлением, развиваемым фирмой. Они представляют собой мощный инструмент, прекрасную основу для создания современных высокопроизводительных и экономичных встраиваемых контроллеров многоцелевого назначения.

Несмотря на то что микроконтроллеры AVR появились на рынке около 10 лет назад, их популярность до сих пор очень высока. С каждым годом они захватывают все новые и новые ниши на рынке. Не последнюю роль в этом играет соотношение показателей цена/быстродействие/энергопотребление, до сих пор являющееся едва ли не лучшим на рынке 8-битных 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 об индустриальном стандарте среди 8-битных микроконтроллеров.

В настоящее время в рамках единой базовой архитектуры микроконтроллеры AVR подразделяются на несколько семейств:

- Tiny AVR;
- Mega AVR;
- Mega AVR для специальных применений;
- ASIC/FPGA AVR.

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

Микроконтроллеры семейства Mega поддерживают несколько режимов пониженного энергопотребления, имеют блок прерываний, стороже-

вой таймер и допускают программирование непосредственно в готовом устройстве.

В предлагаемой вашему вниманию книге представлена вся информация, необходимая для изучения микроконтроллеров AVR семейства Mega. Вместе с тем 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, рекомендуется обратиться к официальной информации, размещенной на Web-сайтах фирмы ([www.atmel.com](http://www.atmel.com), [www.atmel.ru](http://www.atmel.ru)).

## 1.1. Общие сведения

Как и все микроконтроллеры AVR фирмы Atmel, микроконтроллеры семейства Mega являются 8-битными микроконтроллерами, предназначенными для использования во встраиваемых приложениях. Они изготавливаются по малопотребляющей КМОП-технологии, которая в сочетании с усовершенствованной RISC-архитектурой позволяет достичь наилучшего соотношения стоимость/быстродействие/энергопотребление. Микроконтроллеры описываемого семейства являются наиболее развитыми представителями микроконтроллеров AVR общего применения.

## 1.2. Отличительные особенности

К особенностям микроконтроллеров AVR семейства Mega можно отнести:

- FLASH-память программ объемом от 8 до 256 Кбайт (число циклов стирания/записи не менее 10 000);
- оперативная память (статическое ОЗУ) объемом от 512 байт до 8 Кбайт;
- память данных на основе ЭСППЗУ (EEPROM) объемом от 256 байт до 4 Кбайт (число циклов стирания/записи не менее 100 000);
- возможность защиты от чтения и модификации памяти программ и данных;
- возможность программирования непосредственно в системе через последовательные интерфейсы SPI и JTAG;
- возможность самопрограммирования;
- возможность внутрисхемной отладки в соответствии со стандартом IEEE 1149.1 (JTAG), а также наличие собственного однопроводного интерфейса внутрисхемной отладки debugWire<sup>1)</sup>;
- разнообразные способы синхронизации: встроенный RC-генератор с внутренней или внешней времязадающей RC-цепочкой, встроенный

---

<sup>1)</sup> Не во всех моделях.



генератор с внешним кварцевым или пьезокерамическим резонатором, внешний сигнал синхронизации;

- наличие нескольких режимов пониженного энергопотребления;
- наличие детектора пониженного напряжения питания (Brown-Out Detector — BOD);
- возможность программного снижения частоты тактового генератора<sup>1)</sup>.

### 1.3. Характеристики процессора

Основными характеристиками процессора микроконтроллеров AVR семейства Mega являются:

- полностью статическая архитектура, минимальная тактовая частота равна нулю;
- арифметико-логическое устройство (АЛУ) подключено непосредственно к регистрам общего назначения (32 регистра);
- большинство команд выполняются за один период тактового сигнала;
- векторная система прерываний, поддержка очереди прерываний;
- большое число источников прерываний (до 45 внутренних и до 32 внешних);
- наличие аппаратного умножителя.

### 1.4. Характеристики подсистемы ввода/вывода

Подсистема ввода/вывода микроконтроллеров AVR семейства Mega имеет следующие особенности:

- 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;
- имеется возможность полного отключения цифрового порта ввода/вывода от физического вывода микросхемы<sup>2)</sup>;
- на всех входах имеются индивидуально отключаемые внутренние подтягивающие резисторы сопротивлением 20...50 кОм.

---

<sup>1)</sup> Не во всех моделях.

<sup>2)</sup> В новых моделях.

## 1.5. Периферийные устройства

Микроконтроллеры семейства Mega имеют богатый набор периферийных устройств (ПУ):

- один или два 8-битных таймера/счетчика. Во всех моделях с двумя 8-битными таймерами/счетчиками один из них может работать в качестве часов реального времени (в асинхронном режиме);
- от одного до четырех 16-битных таймеров/счетчиков;
- сторожевой таймер;
- одно- и двухканальные генераторы 8-битного ШИМ-сигнала (один из режимов работы 8-битных таймеров/счетчиков);
- двух- и трехканальные генераторы ШИМ-сигнала регулируемой разрядности (один из режимов работы 16-битных таймеров/счетчиков). Разрешение формируемого сигнала может составлять от 1 до 16 бит;
- аналоговый компаратор;
- многоканальный 10-битный АЦП последовательного приближения, имеющий как несимметричные, так и дифференциальные входы;
- последовательный синхронный интерфейс SPI;
- последовательный двухпроводный интерфейс TWI (полный аналог интерфейса I<sup>2</sup>C);
- от одного до четырех полнодуплексных универсальных синхронных/асинхронных приемо-передатчиков (USART). В ряде моделей эти приемо-передатчики могут использоваться в качестве ведущего устройства шины SPI;
- универсальный последовательный интерфейс USI, который может использоваться в качестве интерфейса SPI или I<sup>2</sup>C. Кроме того, USI может использоваться в качестве полудуплексного UART или 4/12-битного счетчика.

## 1.6. Архитектура ядра

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

Арифметико-логическое устройство (АЛУ), выполняющее все вычисления, подключено непосредственно к 32 рабочим регистрам, объединенным в регистровый файл. Благодаря этому, АЛУ может выполнять одну операцию (чтение содержимого регистров, выполнение операции и запись результата обратно в регистровый файл) за такт. Кроме того, практически

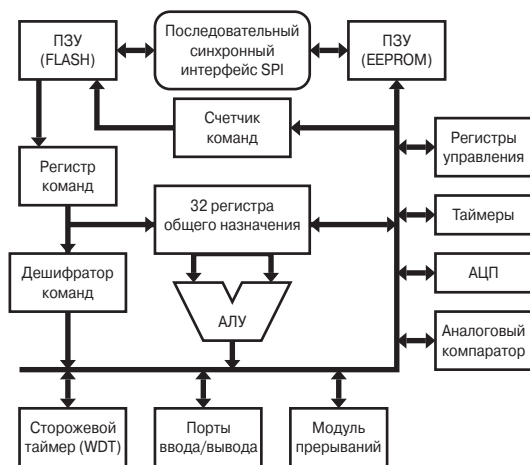


Рис. 1.1. Архитектура ядра микроконтроллеров AVR

каждая из команд (за исключением команд, у которых одним из операндов является 16-битный адрес) занимает одну ячейку памяти программ.

В микроконтроллерах AVR реализована Гарвардская архитектура, характеризующаяся отдельной памятью программ и данных, каждая из которых имеет собственные шины доступа. Такая организация позволяет одновременно работать как с памятью программ, так и с памятью данных. Разделение информационных шин позволяет использовать для каждого типа памяти шины различной разрядности, причем способы адресации и доступа к каждому типу памяти также различаются. В сочетании с двухуровневым конвейером команд такая архитектура позволяет достичь производительности в 1 MIPS на каждый МГц тактовой частоты.

## 1.7. Цоколевка и описание выводов

В семейство Mega на сегодняшний день входит в общей сложности 24 модели микроконтроллеров, которые делятся на 4 группы.

1. Микроконтроллеры в 32-выводных корпусах типа TQFP и MLF (также выпускаются в 28-выводных корпусах типа DIP) с максимальным числом контактов ввода/вывода, равным 23:

- ATmega8, ATmega8L (Рис. 1.2) — имеют FLASH-память программ объемом 8 Кбайт, ОЗУ объемом 1 Кбайт и EEPROM-память данных объемом 512 байт. Эти модели полностью (по цоколевке и функцио-

нально) обратно совместимы со снятыми с производства микроконтроллерами семейства Classic AT90S4433 и могут использоваться для их замены в новых разработках;

- ATmega48, ATmega48V (**Рис. 1.3**) — имеют FLASH-память программ объемом 4 Кбайт, ОЗУ объемом 512 байт и EEPROM-память данных объемом 256 байт;
  - ATmega88, ATmega88V (**Рис. 1.3**) — имеют FLASH-память программ объемом 8 Кбайт, ОЗУ объемом 1 Кбайт и EEPROM-память данных объемом 512 байт;
  - ATmega168, ATmega168V (**Рис. 1.3**) — имеют FLASH-память программ объемом 16 Кбайт, ОЗУ объемом 1 Кбайт и EEPROM-память данных объемом 512 байт.
2. Микроконтроллеры в 44-выводных корпусах типа TQFP и MLF (также выпускаются в 40-выводных корпусах типа DIP) с максимальным числом контактов ввода/вывода, равным 35 (модели с возможностью подключения внешнего ОЗУ) или 32 (остальные модели):
- ATmega8515, ATmega8515L (**Рис. 1.4**) — имеют FLASH-память программ объемом 8 Кбайт, ОЗУ объемом 512 байт (с возможностью подключения внешнего ОЗУ объемом до 64 Кбайт) и EEPROM-память данных объемом 512 байт. Выпускаются также в 44-выводном корпусе типа PLCC. Эти модели по цоколевке полностью совместимы со снятыми с производства микроконтроллерами семейства Classic AT90S4414/8515. Кроме того, в них предусмотрен режим совместимости с моделями AT90S4414/8515 (в этом режиме обеспечивается их полная функциональная совместимость);
  - ATmega8535, ATmega8535L (**Рис. 1.5**) — имеют FLASH-память программ объемом 8 Кбайт, ОЗУ объемом 512 байт и EEPROM-память данных объемом 512 байт. Выпускаются также в 44-выводном корпусе типа PLCC. Эти модели по цоколевке полностью совместимы со снятыми с производства микроконтроллерами семейства Classic AT90S8535. Кроме того, в них предусмотрен режим совместимости с моделями AT90S8535 (в этом режиме обеспечивается их полная функциональная совместимость);
  - ATmega16, ATmega16L (**Рис. 1.6**) — имеют FLASH-память программ объемом 16 Кбайт, ОЗУ объемом 1 Кбайт и EEPROM-память данных объемом 512 байт. Максимальное число контактов ввода/вывода равно 32. Эти модели полностью (по цоколевке и функционально) обратно совместимы со снятыми с производства микроконтроллерами семейства ATmega163(L) и могут использоваться для их замены в новых разработках;

- ATmega162, ATmega162V (**Рис. 1.7**) — имеют FLASH-память программ объемом 16 Кбайт, ОЗУ объемом 1 Кбайт (с возможностью подключения внешнего ОЗУ объемом до 64 Кбайт) и EEPROM-память данных объемом 512 байт. Максимальное число контактов ввода/вывода равно 32. Эти модели по цоколевке полностью совместимы со снятыми с производства микроконтроллерами ATmega161(L). Кроме того, в них предусмотрен режим совместимости с моделями ATmega161x (в этом режиме обеспечивается их полная функциональная совместимость);
  - ATmega164, ATmega164V (**Рис. 1.8**) — имеют FLASH-память программ объемом 16 Кбайт, ОЗУ объемом 1 Кбайт и EEPROM-память данных объемом 512 байт;
  - ATmega32, ATmega32L (**Рис. 1.6**) — имеют FLASH-память программ объемом 32 Кбайт, ОЗУ объемом 2 Кбайт и EEPROM-память данных объемом 1 Кбайт. Эти модели полностью (функционально и по цоколевке) обратно совместимы с микроконтроллерами ATmega323(L) и могут использоваться для их замены в новых разработках;
  - ATmega324, ATmega324V (**Рис. 1.8**) — имеют FLASH-память программ объемом 32 Кбайт, ОЗУ объемом 2 Кбайт и EEPROM-память данных объемом 1 Кбайт;
  - ATmega644, ATmega644V (**Рис. 1.9**) — имеют FLASH-память программ объемом 32 Кбайт, ОЗУ объемом 4 Кбайт и EEPROM-память данных объемом 2 Кбайт.
3. Микроконтроллеры в 64-выводных корпусах типа TQFP и MLF:
- ATmega165, ATmega165V (**Рис. 1.10**) — имеют FLASH-память программ объемом 16 Кбайт, ОЗУ объемом 1 Кбайт и EEPROM-память данных объемом 512 байт. Максимальное число контактов ввода/вывода равно 53;
  - ATmega325, ATmega325V (**Рис. 1.11**) — имеют FLASH-память программ объемом 32 Кбайт, ОЗУ объемом 2 Кбайт и EEPROM-память данных объемом 1 Кбайт. Максимальное число контактов ввода/вывода равно 53;
  - ATmega645, ATmega645V (**Рис. 1.11**) — имеют FLASH-память программ объемом 16 Кбайт, ОЗУ объемом 4 Кбайт и EEPROM-память данных объемом 2 Кбайт. Максимальное число контактов ввода/вывода равно 53;
  - ATmega64, ATmega64L (**Рис. 1.12**) — имеют FLASH-память программ объемом 64 Кбайт, ОЗУ объемом 4 Кбайт (с возможностью подключения внешнего ОЗУ объемом до 64 Кбайт) и EEPROM-память данных объемом 2 Кбайт. Максимальное число контактов ввода/вывода равно 53;

- ATmega128, ATmega128L (**Рис. 1.12**) — имеют FLASH-память программ объемом 128 Кбайт, ОЗУ объемом 4 Кбайт (с возможностью подключения внешнего ОЗУ объемом до 64 Кбайт) и EEPROM-память данных объемом 4 Кбайт. Максимальное число контактов ввода/вывода равно 53;
  - ATmega1281, ATmega1281V (**Рис. 1.13**) — имеют FLASH-память программ объемом 128 Кбайт, ОЗУ объемом 8 Кбайт (с возможностью подключения внешнего ОЗУ объемом до 64 Кбайт) и EEPROM-память данных объемом 4 Кбайт. Максимальное число контактов ввода/вывода равно 54;
  - ATmega2561, ATmega2561V (**Рис. 1.13**) — имеют FLASH-память программ объемом 256 Кбайт, ОЗУ объемом 8 Кбайт (с возможностью подключения внешнего ОЗУ объемом до 64 Кбайт) и EEPROM-память данных объемом 4 Кбайт. Максимальное число контактов ввода/вывода равно 54.
4. Микроконтроллеры в 100-выводных корпусах типа TQFP:
- ATmega3250, ATmega3250V (**Рис. 1.14**) — имеют FLASH-память программ объемом 32 Кбайт, ОЗУ объемом 2 Кбайт и EEPROM-память данных объемом 1 Кбайт. Максимальное число контактов ввода/вывода равно 68;
  - ATmega6450, ATmega6450V (**Рис. 1.14**) — имеют FLASH-память программ объемом 64 Кбайт, ОЗУ объемом 4 Кбайт и EEPROM-память данных объемом 2 Кбайт. Максимальное число контактов ввода/вывода равно 68;
  - ATmega640, ATmega640V (**Рис. 1.15**) — имеют FLASH-память программ объемом 64 Кбайт, ОЗУ объемом 8 Кбайт (с возможностью подключения внешнего ОЗУ объемом до 64 Кбайт) и EEPROM-память данных объемом 4 Кбайт. Максимальное число контактов ввода/вывода равно 86;
  - ATmega1280, ATmega1280V (**Рис. 1.15**) — имеют FLASH-память программ объемом 128 Кбайт, ОЗУ объемом 8 Кбайт (с возможностью подключения внешнего ОЗУ объемом до 64 Кбайт) и EEPROM-память данных объемом 4 Кбайт. Максимальное число контактов ввода/вывода равно 86;
  - ATmega2560, ATmega2560V (**Рис. 1.15**) — имеют FLASH-память программ объемом 128 Кбайт, ОЗУ объемом 8 Кбайт (с возможностью подключения внешнего ОЗУ объемом до 64 Кбайт) и EEPROM-память данных объемом 4 Кбайт. Максимальное число контактов ввода/вывода равно 86.

Основные параметры всех микроконтроллеров семейства, такие как объем памяти (программ и данных), число контактов ввода/вывода, тип

корпуса, диапазон рабочих частот и напряжения питания, приведены в Табл. 1.1. Полная информация по каждой модели приведена в Приложении 1. Дополнительно следует отметить, что одни модели микроконтроллеров семейства выпускаются как в коммерческом (диапазон рабочих температур 0...+70°C), так и в промышленном (диапазон рабочих температур -40...+85°C) исполнениях, а другие — только в промышленном.

**Таблица 1.1. Основные параметры микроконтроллеров AVR семейства Mega**

Обозначение	Память программ (FLASH) [Кбайт]	Память данных (ОЗУ) [байт]	Память данных (EEPROM) [байт]	Количество контактов ввода/вывода	Напряжение питания [В]	Тактовая частота [МГц]	Тип корпуса
ATmega48	4	512	256	23	2.7...5.5	0...10	DIP-28 TQFP-32 MLF-32
ATmega48V					4.5...5.5	0...20	
ATmega8515	8	512	512	35	1.8...5.5	0...4	DIP-40 TQFP-44 PLCC-44 MLF-44
ATmega8515L					2.7...5.5	0...8	
ATmega8535	8	512	512	32	4.5...5.5	0...16	DIP-40 TQFP-44 PLCC-44 MLF-44
ATmega8535L					2.7...5.5	0...8	
ATmega8	8	1K	512	23	4.5...5.5	0...16	DIP-28 TQFP-32 MLF-32
ATmega8L					2.7...5.5	0...8	
ATmega88	8	1K	512	23	2.7...5.5	0...10	DIP-28 TQFP-32 MLF-32
ATmega88V					4.5...5.5	0...20	
ATmega16	16	1K	512	32	1.8...5.5	0...4	DIP-40 TQFP-44 MLF-44
ATmega16L					2.7...5.5	0...10	
ATmega162	16	1K	512	35	4.5...5.5	0...16	DIP-40 TQFP-44 MLF-44
ATmega162V					2.7...5.5	0...8	
ATmega164	16	1K	512	32	2.7...5.5	0...10	DIP-40 TQFP-44 MLF-44
ATmega164V					4.5...5.5	0...20	
					1.8...5.5	0...4	
					2.7...5.5	0...10	

**Таблица 1.1. Основные параметры микроконтроллеров AVR семейства Mega (продолжение)**

Обозначение	Память программ (FLASH) [Кбайт]	Память данных (ОЗУ) [байт]	Память данных (EEPROM) [байт]	Количество контактов ввода/вывода	Напряжение питания [В]	Тактовая частота [МГц]	Тип корпуса
ATmega165	16	1К	512	53	2.7...5.5	0...8	TQFP-64 MLF-64
ATmega165V					4.5...5.5	0...16	
ATmega168	16	1К	512	23	2.7...5.5	0...10	DIP-28 TQFP-32 MLF-32
ATmega168V					4.5...5.5	0...20	
ATmega168V					1.8...5.5	0...4	
ATmega32	32	2К	1К	32	2.7...5.5	0...10	DIP-40 TQFP-44 MLF-44
ATmega32L					4.5...5.5	0...20	
ATmega32L					1.8...5.5	0...4	
ATmega324	32	2К	1К	32	2.7...5.5	0...10	DIP-40 TQFP-44 MLF-44
ATmega324V					4.5...5.5	0...20	
ATmega324V					1.8...5.5	0...4	
ATmega324V					2.7...5.5	0...10	
ATmega325	32	2К	1К	53	2.7...5.5	0...8	TQFP-64 MLF-64
ATmega325V					4.5...5.5	0...16	
ATmega325V					1.8...5.5	0...4	
ATmega325V					2.7...5.5	0...8	
ATmega3250	32	2К	1К	68	2.7...5.5	0...8	TQFP-100
ATmega3250V					4.5...5.5	0...16	
ATmega3250V					1.8...5.5	0...4	
ATmega3250V					2.7...5.5	0...8	
ATmega64	64	4К	2К	53	2.7...5.5	0...8	TQFP-64 MLF-64
ATmega64L					4.5...5.5	0...16	
ATmega64L					1.8...5.5	0...4	
ATmega64L					2.7...5.5	0...8	
ATmega640	64	8К	4К	86	2.7...5.5	0...8	TQFP-100
ATmega640V					4.5...5.5	0...16	
ATmega640V					1.8...5.5	0...4	
ATmega640V					2.7...5.5	0...8	
ATmega644	64	4К	2К	32	2.7...5.5	0...10	DIP-40 TQFP-44 MLF-44
ATmega644V					4.5...5.5	0...20	
ATmega644V					1.8...5.5	0...4	
ATmega644V					2.7...5.5	0...10	
ATmega645	64	4К	2К	53	2.7...5.5	0...8	TQFP-64 MLF-64
ATmega645V					4.5...5.5	0...16	
ATmega645V					1.8...5.5	0...4	
ATmega645V					2.7...5.5	0...8	



**Таблица 1.1. Основные параметры микроконтроллеров AVR семейства Mega (продолжение)**

Обозначение	Память программ (FLASH) [Кбайт]	Память данных (ОЗУ) [байт]	Память данных (EEPROM) [байт]	Количество контактов ввода/вывода	Напряжение питания [В]	Тактовая частота [МГц]	Тип корпуса
ATmega6450	64	4К	2К	68	2.7...5.5	0...8	TQFP-100
ATmega6450V					4.5...5.5	0...16	
ATmega128	128	4К	4К	53	1.8...5.5	0...4	TQFP-64
ATmega128L					2.7...5.5	0...8	
ATmega1280	128	8К	4К	86	4.5...5.5	0...16	TQFP-100
ATmega1280V					2.7...5.5	0...8	
ATmega1281	128	8К	4К	54	2.7...5.5	0...8	TQFP-64
ATmega1281V					4.5...5.5	0...16	
ATmega2560	256	8К	4К	86	1.8...5.5	0...4	TQFP-100
ATmega2560V					2.7...5.5	0...8	
ATmega2561	256	8К	4К	54	2.7...5.5	0...8	TQFP-64
ATmega2561V					4.5...5.5	0...16	
					1.8...5.5	0...4	MLF-64
					2.7...5.5	0...8	

В **Табл. 1.2...1.15** для каждой линейки микроконтроллеров приведены обозначения 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 — вывод питания;
- ША — шина адреса;
- ШД — шина данных.