

ОГЛАВЛЕНИЕ

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

| | |
|---|-----|
| Приложения | 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 |
| Предметный указатель | 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, 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 debugWire¹⁾;
- разнообразные способы синхронизации: встроенный RC-генератор с внутренней или внешней времязадающей RC-цепочкой, встроенный

¹⁾ 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 генератора¹⁾.

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 микросхемы²⁾;
- на всех входах имеются индивидуально отключаемые внутренние подтягивающие резисторы сопротивлением 20...50 кОм.

¹⁾ Не во всех моделях.

²⁾ 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 I²C);
- 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 I²C. 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

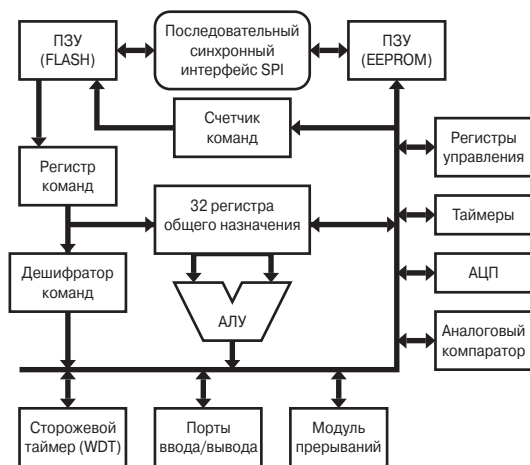


Рис. 1.1. Архитектура ядра микроконтроллеров AVR

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 | 4.5...5.5 | 0...16 | 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 | 2.7...5.5 | 0...10 | DIP-40 TQFP-44 MLF-44 |
| ATmega16L | | | | | 4.5...5.5 | 0...20 | |
| ATmega162 | 16 | 1K | 512 | 35 | 2.7...5.5 | 0...8 | DIP-40 TQFP-44 MLF-44 |
| ATmega162V | | | | | 4.5...5.5 | 0...16 | |
| 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...1 | |
| | | | | | 2.7...5.5 | 0...8 | |
| | | | | | 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 | 4.0...5.5 | 0...16 | DIP-40 TQFP-44 MLF-44 |
| ATmega32L | | | | | 2.7...5.5 | 0...8 | |
| 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 | 4.5...5.5 | 0...16 | TQFP-64 MLF-64 |
| 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 | 2.7...5.5 | 0...8 | TQFP-100 |
| ATmega1280V | | | | | 4.5...5.5 | 0...16 | |
| ATmega1281 | 128 | 8К | 4К | 54 | 1.8...5.5 | 0...4 | TQFP-64 |
| ATmega1281V | | | | | 2.7...5.5 | 0...8 | |
| ATmega2560 | 256 | 8К | 4К | 86 | 2.7...5.5 | 0...8 | TQFP-100 |
| ATmega2560V | | | | | 4.5...5.5 | 0...16 | |
| ATmega2561 | 256 | 8К | 4К | 54 | 1.8...5.5 | 0...4 | TQFP-64 |
| ATmega2561V | | | | | 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.