Atmel: новые 8-разрядные AVR-микроконтроллеры

Николай КОРОЛЕВ
korolev@ineltek.com

В настоящее время наблюдается тенденция применения в новых проектах 32-разрядных микроконтроллеров, даже если не требуется высокая производительность. Отчасти это оправдано сопоставимой ценой на 8- и 32-разрядные микроконтроллеры, а также унификацией номенклатуры элементной базы. В то же время 8-разрядные микроконтроллеры уходят со сцены. Наоборот, вследствие более простой схемотехники, а также экономии времени на программировании и отладке популярность их только возрастает.

Лидерами в 8-разрядном сегменте рынка являются AVR-контроллеры компании Atmel. За 14 лет своего существования это семейство в значительной мере преобразилось и существенно дополнилось, а объем поставок превышает 1 миллион штук в день. Сейчас выпускается несколько десятков наименований AVR-контроллеров в корпусах от 6 до 100 выводов с объемом Flash-памяти программ от 512 байт до 384 кбайт. В статье рассмотрены новые представители этого семейства.

Серия ATtiny

В соответствии со своим названием эта серия занимает нижний сегмент семейства. Микросхемы выпускаются в корпусах от 6 до 32 выводов, имеют диапазон напряжений питания 1,8–5 В и производительность до 20 MIPS. Типовой диапазон температур — от –40 до +125 °C, однако в серии ATtiny также есть широкая линейка микроконтроллеров на диапазоны температур –40…+125 и –40…+150 °C.

Состав серии представлен на рис. 1.

В 2012 году выпущены обновленные контроллеры в 14-выводных корпусах с объемом Flash-памяти 2, 4 и 8 кбайт, а также 16-килобайтные контроллеры в 20-выводных корпусах. В октябре 2012 года начат выпуск ATtiny20 в корпусе WLCSP размерами 1,5×1,4 мм.

Наиболее интересной новинкой является, пожалуй, микроконтроллер ATtiny828. Основные параметры контроллера:

- Объем Flash-памяти — 8 кбайт.
- Объем SRAM-памяти — 512 байт.
- Объем EE-памяти — 256 кбайт.
- АЦП — 10-битный, 28 каналов.
- Таймеры — один 8-битный, один 16-битный.
- ШИМ-контроллер — два 8-битных, два 16-битных.
- Порт USART.
- Порт SPI — ведущий/ведомый.
- Порт I²C — ведомый.

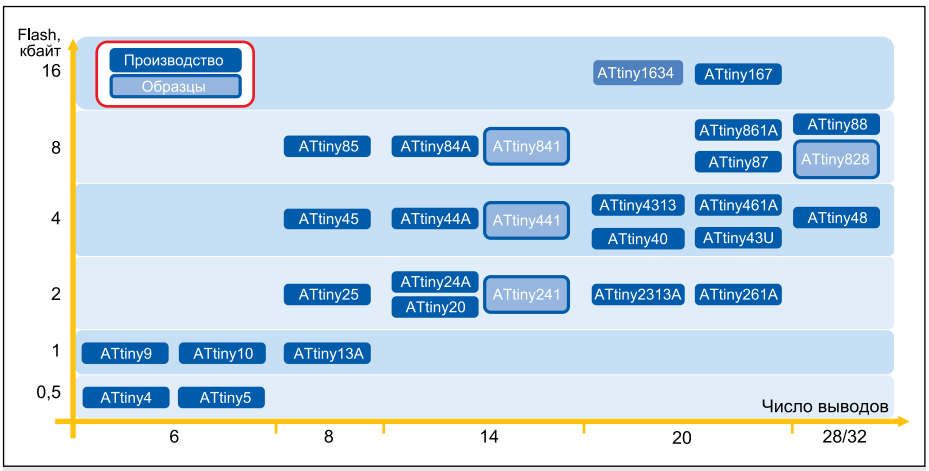

Рис. 1. Состав серии контроллеров ATtiny

- RC-генератор — 8 МГц ±2%.
- Питание — 1,7–5,5 В.
- Ток в активном режиме (I_{CC}) — 0,2 мА (1,8 В, 1 МГц).
- Корпус — QFP32, QFN32.

Особенностью контроллера является АЦП. Его производительность относительно невысокая — 15 ksps, однако он имеет 28 входов. На самом деле АЦП 32-канальный, но четыре канала подключены внутри кристалла к выводу напряжения питания, выходу встроенного источника опорного напряжения, выводу «аналоговая земля» и выходу термодатчика.

ATtiny828 может тактироваться от внешнего источника с частотой до 20 МГц или от одного из встроенных RC-генераторов с частотой 32 кГц и 8 МГц. Фабричная калибровка последнего генератора обеспечивает точность не хуже ±2%, однако при дополнительной калибровке можно получить точность лучше ±1%. Таким образом, контроллер способен обеспечить работу порта UART/USART без использования внешнего тактового генератора. Для уменьшения энергопотребления можно перевести контроллер в режим ожидания, а при поступлении данных по порту UART/USART он перейдет в активный режим и начнет принимать пакеты данных без потерь. ATtiny828 имеет восемь выводов с повышенной нагрузочной способ-

ностью, 20 мА при питании 3 В, и к любому выводу можно подключить выход любого из четырех ШИМ-контроллеров.

Серия ATmega

Эта серия является логическим продолжением серии ATtiny и отличается увеличенным объемом памяти на кристалле, расширенной периферией и, соответственно, корпусами большего размера. Следует отметить, что по классификации Atmel к этой серии относятся также микросхемы с префиксом AT90. В серии ATmega есть контроллеры с объемом Flash-памяти от 4 до 256 кбайт в корпусах от 24 до 100 выводов.

Состав серии представлен на рис. 2.

Можно видеть, что эта серия в основном сформирована, поэтому дальнейшее развитие идет в части добавления специфических периферийных модулей. Примером такого развития являются контроллеры ATmega32HVE2 и ATmega64HVE2. Они предназначены для мониторинга состояния свинцовых и литий-ионных батарей, хотя их с успехом можно применять и в других приложениях.

Структурная схема контроллера представлена на рис. 3.

Микроконтроллеры имеют несколько специализированных периферийных модулей. Во-первых, это регулятор напряжения питания кристалла, позволяющий подключать микросхему напрямую к источнику напряжения +12 В. Далее, это два ΣΔ-АЦП, первый — 7-канальный 17-разрядный со смещением менее 1 LSB, второй — дифференциальный 18-разрядный с программируемым входным усилителем и смещением менее 5 мкВ. В дополнение к этому на кристалле размещен 32/64-разрядный математический сопроцессор, выполняющий арифметические и логические операции с 32-разрядными операндами за 1–2 такта, а с 64-разрядными операндами — за 2–6 тактов. Микросхема выпускается в 48-выводном корпусе типа QFN и работает в диапазоне температур –40…+125 °C.

Другая тенденция развития микроконтроллеров серии ATmega — размещение на кристалле трансивера на частоту 2,4 ГГц. Это группа контроллеров ATmegaRF. Компания Atmel разработала и выложила на сайт бесплатный комплект библиотек со ZigBee-стеком для AVR-микроконтроллеров. Этот сертифицированный полнофункциональный программный стек второго поколения называется BitCloud ZigBee, и его можно применять для разработки надежных, масштабируемых приложений с защищенным беспроводным обменом. В 2010 году Atmel начала выпуск однокристального контроллера-трансивера на базе ядра ATmega128 с увеличенным объемом ОЗУ. На кристалле размещен трансивер, функционально аналогичный микросхеме AT86RF231. Этот контроллер — ATmega128RFA1 — является однокристальным решением для приложений, использующих ZigBee-интерфейс.

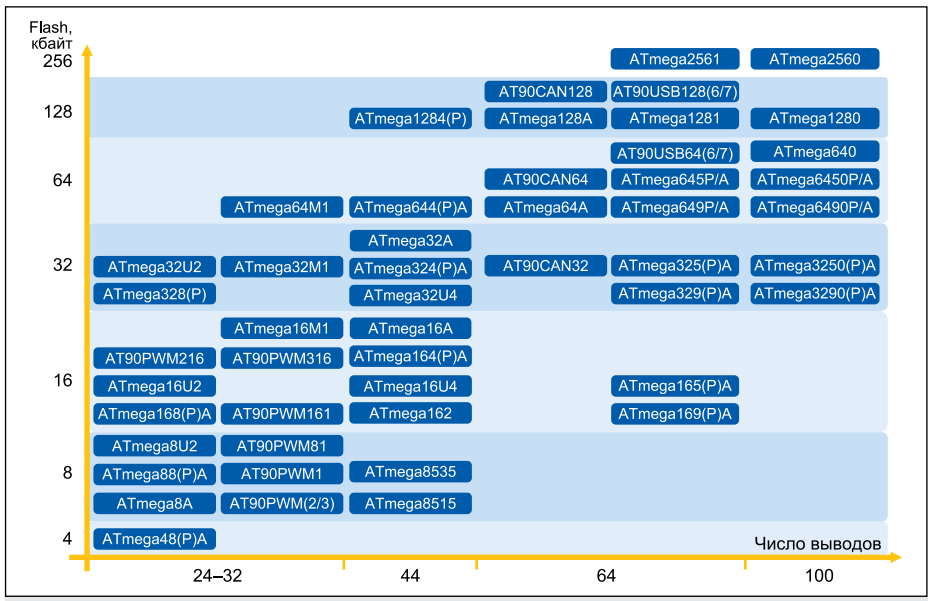

Рис. 2. Состав серии контроллеров ATmega

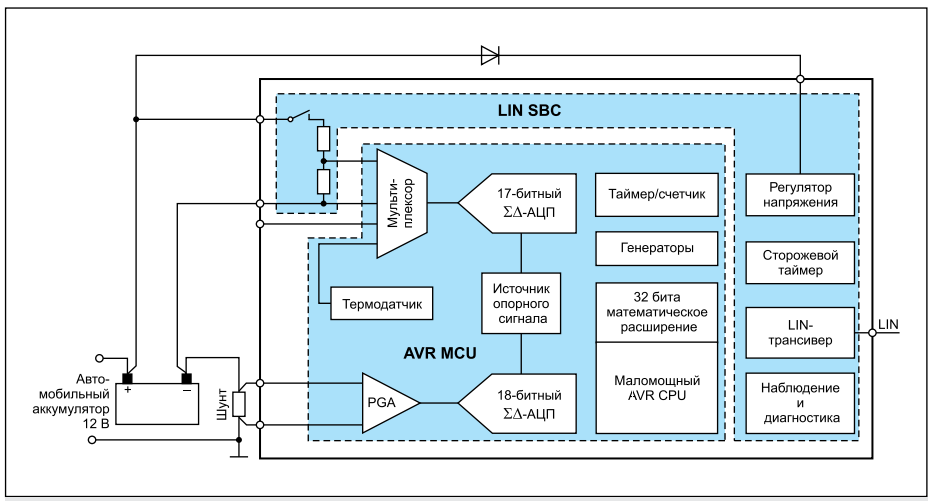

Рис. 3. Структурная схема контроллера ATmega32HVE2

Сравнительные характеристики ATmega128RFA1 и отдельных ZigBee-трансиверов приведены в таблице 1.

Кристалл ATmega128RFA1 изготовлен по технологии 0,15 мкм, что обеспечивает производительность ядра 16 MIPS при напряжении питания 1,8 В. На кристалле также есть аппаратный криптомодуль, поддерживающий кодирование «на лету» по стандарту AES со 128-битным ключом. Микросхема работает в диапазоне температур –40…+125 °C.

Основные параметры микроконтроллера ATmega128RFA1:

- Объем Flash-памяти — 128 кбайт.
- Объем SRAM-памяти — 16 байт.
- Объем EE-памяти — 4 кбайт.
- Скорость передачи данных — 2 Мбит/с.
- Ток в спящем режиме — 0,25 мА.
- Ток в режиме передачи — 12,5 мА.
- Ток в режиме приема — 14,5 мА.
- Чувствительность — –100 дБм.
- Выходная мощность — +3,5 дБм.
- Питание — 1,8–3,6 В.
- Корпус — QFN64.

Таблица 1. Сравнительные характеристики контроллера ATmega128RFA1 и отдельных ZigBee-трансиверов

Название	Диапазон частот, ГГц	Максимальная скорость передачи данных, Msps	RX, дБм	TX, дБм	V_{CC}, В	Корпус
ATmega128RFA1	2,4	2	–100	От –17 до +3,5	1,8–3,6	QFN64
AT86RF231	2,4	2	–101	От –17 до +3		QFN32
AT86RF232	2,4	250 ksps	–100	От –17 до +3		QFN32
AT86RF233	2,4	2	–101	От –17 до +4		QFN32
AT86RF212B	700/800/900 МГц	1	–110	От –11 до +10		QFN32

В 2012 году выпущена модифицированная версия кристалла — ATmegaRFR2 — с увеличенной до +4,5 дБм выходной мощностью. Технология RPC (Reduced power consumption — пониженная потребляемая мощность) позволяет существенно снизить энергопотребление в режиме приема. Контроллеры выпускаются в трех модификациях: ATmega64RFR2, ATmega128RFR2 и ATmega256RFR2. Старшая микросхема имеет 256 кбайт Flash-памяти и 32 кбайт SRAM-памяти. Эти микросхемы поддерживают технологию дистанционного управления различными бытовыми приборами по стандарту RF4CE (RF for Consumer Electronics — радиоинтерфейс для бытовой электроники). Стандарт RF4CE, так же, как и ZigBee, базируется на спецификациях IEEE 802.15.4. Поддержкой и развитием этого стандарта занимается ZigBee Alliance, в состав которого входит компания Atmel. Дополнительную информацию о стандарте RF4CE и бесплатное программное обеспечение можно получить на сайте [8].

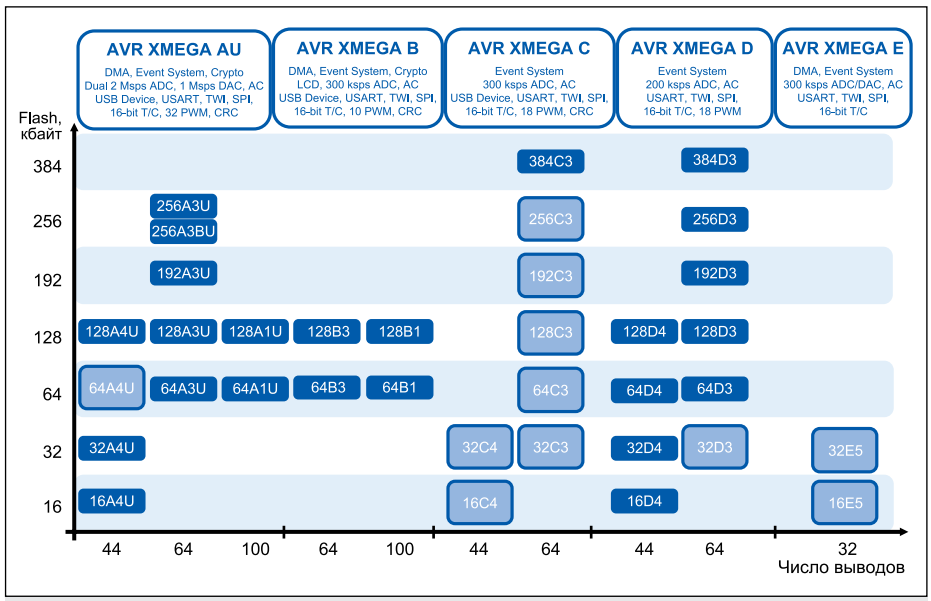

Рис. 4. Состав серии контроллеров ATxmega

Серия ATxmega

Классические AVR-контроллеры покрывают очень широкий спектр приложений, но, как правило, у разработчика в какой-то момент времени появляется проект, где производительности ATmega уже не хватает. Для таких задач Atmel в 2008 году выпустила новое поколение AVR-контроллеров, которые называются ATxmega. Они используют ту же систему команд, но, помимо повышения тактовой частоты до 32 МГц, имеют дополнительные аппаратные ресурсы. Это, в первую очередь, 4-канальный контроллер DMA и многоуровневый контроллер прерываний.

Инженеры компании Atmel не ограничились стандартными аппаратными решениями. Для микроконтроллеров ATxmega была разработана так называемая Event System (система событий). Это аппаратное решение, позволяющее коммутировать между собой периферийные модули микроконтролера. Таким образом, можно управлять работой периферии без участия ядра микроконтроллера, а также без контроллеров DMA и прерываний. Такая архитектура кристалла имеет два серьезных преимущества. Во-первых, время реакции на событие фиксировано, в отличие от использования контроллера прерываний, когда для входа в прерывание требуется различное число тактов, которое зависит от конкретной стадии выполнения программы. Во-вторых, задержка реакции на событие очень короткая: всего два периода тактовой частоты. При частоте ядра 32 МГц эта задержка составляет всего 62 нс, то есть микроконтроллеры ATxmega очень удобны для применения в системах реального времени. Кстати, после обкатки на 8-разрядных контроллерах Event System была включена в состав 32-разрядных контроллеров UC3 на ядре AVR32, а позднее встроена в контроллеры SAM4 на ядре Cortex-M4.

В семействе ATXmega наблюдается строгая иерархия в названиях микросхем. Помимо того, что непосредственно в названии микросхемы указан объем Flash-памяти, можно однозначно определить, что микросхемы, наименование которых оканчивается на цифру 1, выпускаются в 100-выводном корпусе, а микросхемы, чье наименование оканчива-

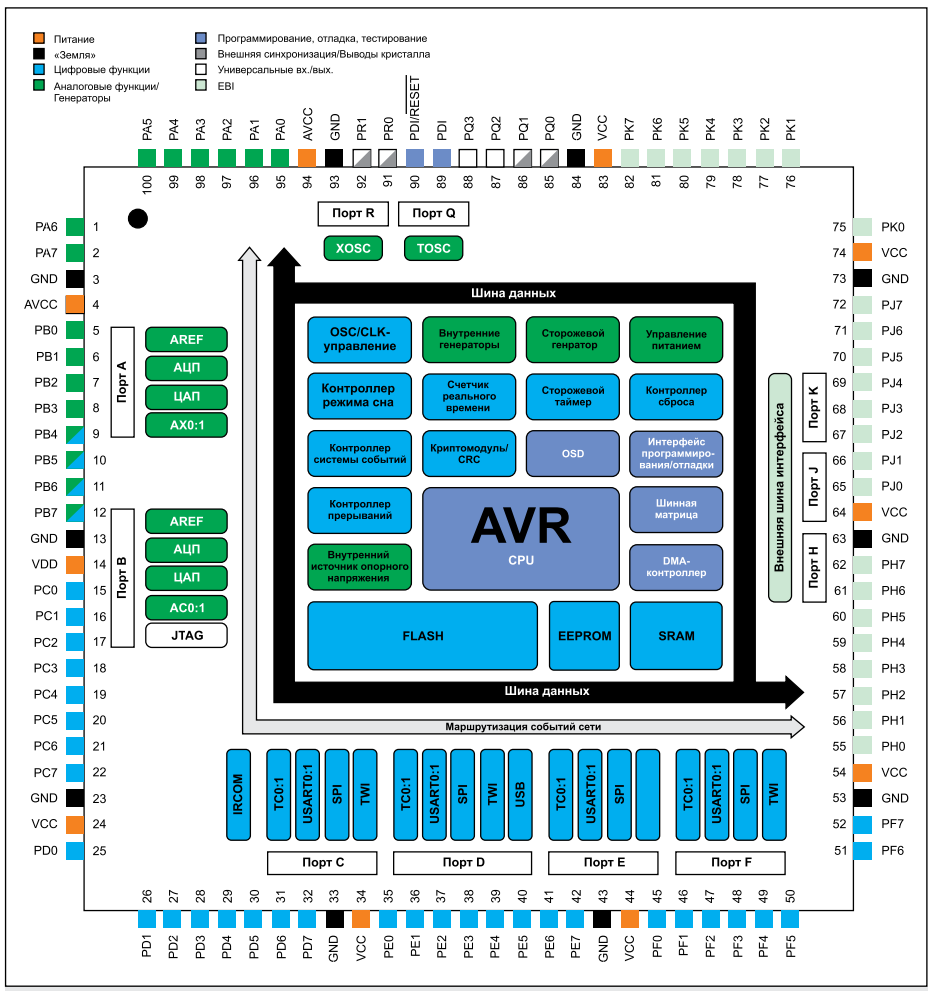

Рис. 5. Структурная схема контроллера ATxmega128A1U

ется на цифры 3, 4 и 5, — в корпусах с числом выводов 64, 44 и 32 соответственно.

Состав серии ATxmega представлен на рис. 4.

На рис. 4 видно, что серия ATxmega находится в стадии активного расширения: новые микроконтроллеры отмечены светлыми прямоугольниками.

Первые контроллеры в серии имели суффикс «A». Компания продолжает их выпуск, однако они постепенно вытесняются микросхемами с суффиксом «AU». Последняя буква означает, что на кристалле размещен USB-контроллер.

Напряжение питания микросхем ATxmega составляет 1,6–3,6 В. При напряжении питания ниже 2,7 В максимальная тактовая частота ограничена на уровне 12 МГц, в остальных случаях она может достигать 32 МГц. Аппаратные ресурсы микроконтроллеров серии ATxmega будут рассмотрены на примере контроллера ATxmega128A1U (рис. 5).

Контроллер ATxmega128A1U содержит на кристалле следующие ресурсы:

- Flash-память — 128 кбайт.
- SRAM-память — 8 кбайт.
- EE-память — 2 кбайт.
- 4-канальный контроллер DMA.
- Многоуровневый контроллер прерываний.
- 8-канальная система событий.
- Восемь16-разрядных таймеров-счетчиков.
- 16-разрядный таймер-счетчик реального времени.
- Интерфейс USB Full speed device.
- Восемь портов USART; поддержка IrDA.
- Четыре двухпроводных интерфейса I²C/SMBus.
- Четыре интерфейса SPI.
- Криптомодуль стандарта DES/AES.
- Генератор CRC16/CRC32.
- Два 8-канальных 12-разрядных АЦП, производительностью 2 Msps.
- Два 2-канальных 12-разрядных ЦАП, производительностью 1 Msps.
- Четыре аналоговых компаратора.
- Сторожевой таймер.

На кристалле организована возможность генерации прерывания по любому из 78 выводов I/O. Для программирования и отладки служат два интерфейса: классический четырехпроводный JTAG или собственный двухпроводный интерфейс PDI (Program and Debug Interface). Во втором случае для тактирования используется вывод Reset, а данные передаются по выделенному выводу контроллера. Таким образом, при отладке нет необходимости жертвовать выводом порта общего назначения. Платой за такую аппаратную простоту интерфейса является пониженная скорость отладки.

Система тактирования ATxmega

Гибкая система тактирования кристалла предоставляет возможность использовать в качестве источника частоты один из трех внутренних RC-генераторов (частота 32 кГц, 2 и 32 МГц) либо один из двух генераторов с внешним кварцем. К входам XTAL1 и XTAL2 можно подключать кварц либо керамический резонатор частотой от 0,4 до 16 МГц. Вывод XTAL1 также можно использовать для подключения к внешнему источнику частоты. Второй генератор оптимизирован для работы с «часовым» кварцем частотой 32,768 кГц. Следует отметить, что на кристалле имеется еще один — микромощный RC-генератор на частоту 32 кГц, он обеспечивает работу сторожевого таймера и цепей схемы слежения за уровнем напряжения питания BoD (Brown-out Detector).

Конкретную частоту работы ядра контроллера обеспечивает модуль цифровой ФАПЧ (Digital Frequency Looked Loop, DPLL), а также модуль классической PLL.

Внешняя шина ATxmega

Фундаментальным отличием архитектуры AVR-контроллеров от существовавших в 1990-е годы 8-разрядных конкурентов является отказ от многобанковой организации регистров общего назначения и страничной адресации памяти программ и данных. Цель была достигнута увеличением ширины команды до 16 бит, при этом программист имеет возможность получать за один такт доступ к любому из 32 регистров общего назначения, а также доступ к данным во внешней памяти без дополнительных задержек для выбора страницы.

При организации параллельного интерфейса адрес/данные для работы с внешними периферийными устройствами используется шина EBI (External Bus Interface). Изначально в архитектуре AVR заложена 24-разрядная шина адреса, и в контроллере ATxmega128A1U эта аппаратная возможность реализована в полной мере. В микросхеме с использованием трех 8-разрядных портов можно сформировать 22-разрядный адрес (при этом не нужен привычный внешний регистр-защелка адреса), а также сигналы чтения/записи RD и WR для непосредственного подключения микросхемы памяти SRAM объемом 4 Мбайт с 8-разрядной шиной данных. Если же использовать внешний регистр-защелку, можно сформировать полный 24-разрядный адрес для работы с памятью объемом 16 Мбайт, а также получить четыре сигнала CS для подключения дополнительных внешних устройств.

В контроллере реализована поддержка интерфейса SDRAM, и к ней можно подключить микросхему памяти емкостью до 128 Мбит по 4- или 8-разрядной шине данных.

Последовательные интерфейсы ATxmega

Контроллеры ATxmega в 100-выводном корпусе имеют 78 выводов общего назначения, которые могут быть использованы для связи с внешним миром. При этом некоторые 8-разрядные параллельные порты в контроллерах ATxmega имеют также предопределенные функции. Например, порты A и B — это аналоговая периферия, входы АЦП и аналоговых компараторов, а также выходы ЦАП. Порты H, J и K используются для выдачи адреса на внешнее устройство. Порты C, D, E и F отведены для последовательных интерфейсов. В микросхеме ATxmega128A1U каждый из этих портов содержит два интерфейса UART/USART и по одному интерфейсу SPI и TWI (I²C). Максимальная скорость работы для UART — 1/8 скорости ядра, для USART — 1/2 скорости ядра. Параметры протокола обмена стандартные: 5, 6, 7, 8 или 9 битов данных, 1 или 2 стоповых битов и бит контроля четности.

Одно из множества отличий контроллеров ATxmega от «родителя» ATmega — наличие модуля дробного делителя частоты, который снимает необходимость тактировать микросхему частотой, кратной скорости обмена по портам UART/USART. Попутная полезная функция порта UART/USART — работа в режиме SPI master на скорости до 1/2 скорости ядра. На кристалле есть модуль IRCOM (IR Communication Module), импульсный модулятор/демодулятор для обеспечения связи через инфракрасный порт на скорости до 115,2 кбод. Модуль IRCOM может быть скоммутирован на любой порт UART/USART.

Каждый из четырех интерфейсов SPI работает в полнодуплексном режиме, программируется на одну из восьми скоростей работы, поддерживает режимы master/slave и управление выдачей пакета начиная с младшего или старшего бита. Интерфейс может выдавать запрос на прерывание после окончания транзакции, а также «будить» микроконтроллер при начале приема пакета.

Интерфейс TWI, совместимый с интерфейсом I²C компании Philips и SMbus, поддерживает режимы Bus master (Multi-master) и Slave, работает на частоте 100 и 400 кГц, поддерживает 7- и 10-битную адресацию.

USB-интерфейс ATxmega

Об этом интерфейсе следует рассказать подробнее. USB отсутствовал в первом поколении контроллеров ATxmega, однако в версиях кристаллов ATxmega_AU/BU/CU он стал штатным интерфейсом. Инженеры Atmel много времени посвятили модернизации интерфейса USB, и отличия новой редакции от версий, которые использовались в классических AT90USB128 и ATmega16U, видны невооруженным глазом. В добавление к стандартному режиму XMEGA Normal Mode появился режим XMEGA Ping-Pong, повышающий скорость передачи на 30%. Но самая существенная модификация модуля USB — введение режима XMEGA Multipacket, изобретенного в компании Atmel, который позволяет при высокой скорости передачи снизить нагрузку на ядро контроллера до 7%.

Таблица 2. Сравнительные данные по скорости передачи и степени загрузки ядра контроллера

Режим	Скорость, Мбит/с	Загрузка CPU, %
Normal Mode (64 байт)	5,64	44
Ping-Pong	8,72	77
Multipacket (960 байт)	8,6	6
Multipacket+Ping-Pong	8,72	7

В таблице 2 приведены сравнительные данные по скорости передачи и степени загрузки ядра контроллера.

На сайте www.youtube.com есть забавная анимация, объясняющая принцип использования вышеперечисленных режимов. Ее можно найти по строке поиска "Atmel AVR XMEGA USB Performance".

Еще одно интересное инженерное решение — работа интерфейса USB без использования кварцевого генератора. Для этого частота встроенного RC-генератора, который называется "32MHz Run-time Calibrated Internal Oscillator", поднимается до 48 МГц, и ее необходимая точность поддерживается с помощью системы DFLL.

Контроллеры ATxmegaA с суффиксом U совместимы по выводам с контроллерами прежнего поколения, так как интерфейс USB использует пару выводов I/O контроллера. Таким образом, в ряде случаев можно минимальной доработкой печатной платы добавить новый интерфейс в уже существующие проекты. Кстати, бинарный код, скомпилированный для ATxmega128A1, будет без каких-либо изменений выполняться на ATxmega128A1U. Учитывая, что цена у нового контроллера ниже предыдущего, имеет смысл перейти на него даже в существующих проектах, в которых интерфейс USB не требуется.

Аналоговая периферия ATxmega

В микроконтроллерах ATxmega используется модуль АЦП следующего поколения, и его характеристики позволяют отнести эти микроконтроллеры к высокопроизводительным системам сбора и обработки аналоговой информации. Действительно, два 8-канальных 12-разрядных АЦП с производительностью два миллиона выборок в секунду могут в совокупности дать скорость 4 Msps. Входы АЦП могут быть сконфигурированы как одиночные или дифференциальные. На входе АЦП стоит программируемый усилитель с коэффициентом усиления от 0,5 до 64. Есть также внутренние каналы АЦП, подключенные к источнику питания, встроенному источнику опорного напряжения с уровнем 1,1 В, термодатчику и выходу встроенного ЦАП. АЦП может передавать данные результатов измерений непосредственно в память по каналу DMA. Также АЦП может работать в режиме аналогового компаратора с запрограммированным порогом. При повышении/понижении напряжения на измеряемом входе формируется прерывание или фиксируется событие для Event System.

Таблица 3. Краткие данные по характеристикам микроконтроллеров ATxmega

Серия	XMEGA AU			XMEGA B		XMEGA C		XMEGA D	
Подсерия	A1U	A3U	A4U	B1	B3	C3	C4	D3	D4
Объем Flash-памяти, кбайт	64–128	64–256	16–128	64–128	64–128	64–384	16–32	64–256	16–128
Объем SRAM-памяти, кбайт	4–8	4–16	2–8	4–8	4–8	8–32	2–8	4–16	2–8
Объем EEPROM-памяти, кбайт	2	2–4	1–2	2	2	2–4	1	2–4	1–2
Количество DMA-каналов	4			2		Нет		Нет	
Таймеры	8	7	5	3	2	5	4	5	4
USART	8	7	5	2	1	3	3	3	2
SPI	4	3	2	1	1	2	2	2	2
TWI	4	2	2	1	1	2	2	2	2
USB	1	1	1	1	1	Нет		Нет	
АЦП	12-битный, 2 Msps			12-битный, 300 ksps		12-битный, 300 ksps			
ЦАП	12-битный, 1 Msps			Нет		Нет		Нет	
Компаратор	4	4	2	4	2	2	2	2	2
Криптомодуль	AES/DES					Нет		Нет	
ЖКИ	Нет			160 seg	100 seg	Нет		Нет	

Контроллер ATxmega128A1U содержит два независимых 12-разрядных ЦАП с производительностью 1 Msps. Есть калибровочные регистры для компенсации ошибок смещения и усиления. Высокая нагрузочная способность выходного усилителя позволяет подключать как резистивную, так и емкостную нагрузку. Данные в регистры ЦАП можно загружать по каналу DMA.

Четыре идентичных аналоговых компаратора контроллера имеют следующие характеристики:

- Настройка задержки распространения сигнала.
- 64 программируемых значения порога срабатывания.
- Выбор значения напряжения гистерезиса.
- Генерация прерывания (события) по фронту/спаду/изменению измеряемого сигнала.
- Значение состояния компаратора может быть выведено на ножку контроллера.

Модули CRC и Crypto

Современные микроконтроллерные системы работают с данными, часто содержащими важную информацию о стабильности работы системы, текущих режимах или журналы событий. Когда данные уходят во внешний мир, хочется их защитить от случайных или преднамеренных искажений. Для этого в контроллерах ATxmega есть аппаратные модули подсчета контрольной суммы пакета данных и криптозащиты данных. Первый модуль — генератор контрольной суммы (Cyclic Redundancy Check Generator), он «на лету» формирует контрольные суммы для данных, передаваемых/принимаемых по коммуникационным портам, а также может быть использован для проверки целостности данных в памяти SRAM или Flash (даже при включенном lock-бите). Для вычисления CRC используются полиномы CRC-16 (CRC-CCITT) и CRC-32 (IEEE 802.3).

Если данные должны быть защищены от несанкционированного доступа, можно их кодировать по алгоритму DES, Triple-DES или AES. Скорость кодирования по алгоритму Triple-DES составляет 3,2 Мбит/с, а по алгоритму AES — 4 Мбит/с.

Особенностью микроконтроллера ATxmega256A3BU является наличие на кристалле двух энергонезависимых регистров и дополнительного модуля часов реального времени с возможностью его питания от батареи. Ток потребления этого модуля составляет 500 нА.

Другие серии ATxmega

Выше были рассмотрены типичные (но далеко не все) аппаратные ресурсы контроллера ATxmega с суффиксом «A». В семействе есть и другие серии — B, C, D и E. Ниже коротко перечислены их особенности.

- Серия B: добавлен модуль управления ЖКИ с числом сегментов до 160, использован «медленный» АЦП с временем преобразования 300 ksps, снижено до десяти число ШИМ-каналов.
- Серия C: исключен контроллер DMA, максимальный объем Flash-памяти увеличен до 384 кбайт.
- Серия D: исключен контроллер DMA, производительность АЦП снижена до 200 ksps, снижено общее энергопотребление.
- Серия E: производительность АЦП 300 ksps, добавлен модуль пользовательской логики Xmega Custom Logic (XCL). Осуществляется поддержка всех типов логических операций. Есть триггеры-защелки D- и RS-типа, а также счетные триггеры.

Краткие данные по характеристикам микроконтроллеров ATxmega приведены в таблице 3.

Известно, что Atmel выпускает контроллеры на базе ядер, разработанных компанией ARM: ARM7, ARM9, Cortex-M3, Cortex-M4 и Cortex-A5. Интересно разобраться, почему в этом списке нет контроллеров на ядре Cortex-M0? Для этого можно привести несложное сравнение объема памяти и параметров периферии микросхем на ядре Cortex-M0 и микросхем на ядре AVR. Эти параметры приведены в таблице 4.

Видно, что здесь AVR-контроллеры показывают лучшие результаты. На аргумент «Они проигрывают контроллерам на ядре Cortex-M0 в производительности» есть ответ:

Таблица 4. Сравнительные параметры микросхем на ядре Cortex-M0 и AVR

Параметры	Cortex-M0	tiny/mega AVR	Xmega
Максимальный объем памяти Flash и SRAM, кбайт	128/16/4	256/16/4	384/32/4
Минимальный объем памяти EEPROM, кбайт	4/1/0	0,5/0,03/0	16/2/1
Криптомодуль	Нет	Нет	DES/AES
Беспроводной модуль	Нет	Да	Нет
Количество ШИМ-каналов	До 13	До 15	До 32
АЦП	12-битный, 1 Msps	10-битный, 125 ksps	2×12-битный, 2 Msps
Система событий	Нет	Нет	Да
DMA (MM/PM/PP*)	Да/да/нет	Нет/нет/нет	Да/да/да
Порт USB	USB device (few)	USB OTG (AT90USB)	USB device (most)

Примечание. * MM — Memory-to-Memory; PM — Peripheral-to-Memory; PP — Peripheral-to-Peripheral.

для типового приложения 8–16-разрядного контроллера, на рынок которых нацелены Cortex-M0, приоритетом является скоростная работа с периферией, а не частота ядра. И здесь у AVR-контроллеров явное преимущество, вытекающее из архитектуры AVR: оптимальная система команд, управление состоянием вывода микроконтроллера за один период тактовой частоты, использование раздельных шин для адреса и данных, малое время выхода из спящего режима и входа в прерывание. К этому можно также добавить меньшее энергопотребление. Если же в конкретном приложении требуется высокая производительность, то здесь можно с успехом противопоставить контроллеру на ядре Cortex-M0 контроллер на ядре AVR32, например UC3L, который имеет мощное ядро, быструю периферию и низкое энергопотребление. Таким образом, можно сделать вывод, что решение Atmel не выпускать контроллеры на ядре Cortex-M0 вызвано не желанием сэкономить деньги на приобретении лицензии, а отсутствием практической необходимости.

Программные средства разработки

Как правило, для разработки и отладки программ для AVR-контроллеров использовались два пакета:

- коммерческий — IAR Embedded Workbench;
- бесплатный — AVR Studio.

От версии к версии возможности AVR Studio росли, а выпущенная 1 марта 2011 года полностью переработанная, пятая версия пакета с графическим интерфейсом на базе Microsoft Visual Studio 2010 сразу завоевала большую популярность. Эта версия существовала всего год, так как в мае 2012 года была объявлена Atmel Studio версия 6, которая поддерживает все Flash-микроконтроллеры компании Atmel, включая SAM3 и SAM4. Следует признать, что особенно удобно дополнение к Atmel Studio — пакет ASF (Atmel Studio Framework), который является, по сути, коллекцией исходных кодов для всех типов контроллеров компании Atmel.

На момент написания статьи ASF версии 3.41 содержала 104 примера исходников для AVR ATmega и 339 примеров для ATxmega. Видеолекции о работе в пакете Atmel Studio можно найти на сайте Atmel [9]. Компания Atmel открыла и специализированный сайт [10], на котором можно получить, в частности, последние обновления к пакету Atmel Studio.

Аппаратные средства разработки

Для работы с микроконтроллерами ATtiny, ATmega и ATxmega компания Atmel предлагает два типа отладочных плат. Прежде всего это универсальный комплект STK600, который поддерживает практически все AVR-контроллеры. Правда, как всякое универсальное решение, этот комплект является громоздким сооружением, и, возможно, не каждый сможет оценить достоинства такого инструмента.

Второй тип — это специализированные платы небольшого размера, на которых распаян контроллер ATmega или ATxmega, а также необходимая периферия. Для популярного контроллера ATmega128A доступны отладочные платы отечественного производства AS-megaM, которые имеют несколько модификаций. На плате распаян собственно микроконтроллер, внешняя память SRAM емкостью 32 кбайт с регистром-защелкой адреса и разъем для установки стандартного цифробуквенного ЖКИ. На плате также разведены посадочные места для распайки микросхемы интерфейса RS-485, микросхемы 10/12-разрядного ЦАП AD5312/22 и 16-разрядного АЦП AD7680 с интерфейсом SPI. Если требуется повышенная точность АЦП, можно использовать плату AS-megaCU, на которой есть место для установки 24-разрядного дифференциального ΣΔ-АЦП AD7793. Плата имеет гальваноразвязанный интерфейс USB.

Для загрузки кода программы в описанные платы удобно использовать внутрисхемный программатор AS-4. От стандартных внутрисхемных AVR-программаторов он отличается удобной графической оболочкой, позволяющей просматривать и непосредственно в окне редактировать содержимое файлов для программирования Flash-памяти и EEPROM микроконтроллера. Программатор AS-4 имеет гальваноразвязанный интерфейс USB для защиты USB-порта компьютера при некорректных действиях с отлаживаемой платой.

Для отладки программы непосредственно на пользовательской плате компания Atmel выпускает внутрисхемные эмуляторы. Самый простой и дешевый называется AVR-Dragon. В целях снижения стоимости он поставляется в бескорпусном исполнении и без всяких кабелей, что не всегда удобно. Кроме того, по отзывам пользователей, схема этого эмулятора недостаточно продумана, и есть нарекания на его надежность.

Наиболее популярным эмулятором является ATJTAG ICE3. Он работает со всеми типами AVR-контроллеров, 8- и 32-разрядными, и его поддержка встроена в пакет Atmel Studio. Несомненным плюсом этого эмулятора является наличие высокоскоростного порта USB.

Для отладки серьезных проектов компания Atmel предлагает профессиональный эмулятор, который называется AVR ONE!. Он построен на базе мощной FPGA и имеет несколько отладочных интерфейсов, в том числе Nexus auxiliary interface, поддерживающий отладку высокоскоростных контроллеров.

Литература

1. Материалы технического семинара Atmel. Германия. Октябрь 2012 г.
2. Королев Н. Atmel: новые возможности пакета AVR Studio // Компоненты и технологии. 2011. № 10.
3. Королев Н. AVR-контроллеры: развитие семейства. Ч. 1 // Компоненты и технологии. 2010. № 5.
4. Королев Н. AVR-контроллеры: развитие семейства. Ч. 2 // Компоненты и технологии. 2010. № 6.
5. Королев Н. Atmel: микроконтроллеры для автопрома // Компоненты и технологии. 2008. № 7.
6. Королев Н., Королев Д. AVR: программирование в среде AVR Studio // Компоненты и технологии. 2004. № 3.
7. www.ineltek.com/ru/presentations.php
8. www.atmel.com/RF4CE
9. http://www.atmel.com/Microsite/atmel_studio6/default.aspx
10. http://gallery.atmel.com