32-разрядные

Flash-микроконтроллеры Atmel

В начале мая 2012 года компания Atmel провела очередной технический тренинг для европейских дистрибьюторов. Основное время тренинга было посвящено знакомству с новыми 32-разрядными микроконтроллерами и пакетом программ Atmel Studio шестой версии, которая является иллюстрацией к сформулированному в свое время Ф. Энгельсом закону о переходе количества в качество. Говоря серьезно, теперь существует единый инструмент написания и отладки кода практически для всех современных микроконтроллеров Atmel с Flash-памятью программ, начиная с 8-разрядных ATtiny и заканчивая 32-разрядными AVR32, SAM3 и SAM4.

Французская и норвежская команды инженеров компании Atmel развивают направления контроллеров на лицензированных ядрах Cortex-M3/ Cortex-M4 и на собственном ядре AVR32 соответственно. Здоровая внутрикорпоративная конкуренция помогает выпускать высококачественные продукты. По сравнению со старшим, «устоявшимся» семейством AVR32 новые микроконтроллеры на ядре Cortex имеют более высокую скорость ядра и, соответственно, большую производительность, тогда как архитектура AVR32 изначально включает DSP-команды и аппаратные решения, обеспечивающие повышенную надежность.

Николай КОРОЛЕВ korolev@ineltek.com

Микроконтроллеры **SAM3**

Atmel сотрудничает с компанией ARM уже более десяти лет и имеет большой опыт в выпуске микросхем на ядрах ARM7 и ARM9 (рис. 1). В начале 2000-х годов микроконтроллеры Atmel серии AT91 работали с внешней памятью программ и данных, позднее кристалл Flash-памяти устанавливали в корпусе с кристаллом собственно контроллера. Ситуация коренным образом изменилась с выходом серии SAM7 (Smart ARM7), MK которой содержали на кристалле ядро, Flashпамять программ, память данных SRAM, а также блок памяти ROM с «зашитым» загрузчиком. Теперь код программы можно загружать в контроллер через порт UART или USB, таким образом, отпала необходимость в применении отдельного программатора.

Современные ядра компании ARM семейства Согtех построены на улучшенной архитектуре ARMv7-M. Компания Atmel осуществляет плавный переход от микросхем SAM7 к микросхемам SAM3/SAM4. Предлагаются микросхемы с объемом Flashпамяти на кристалле от 16 кбайт до 1 Мбайт и в корпусах от 48 до 144 выводов. Учитывая высокую популярность контроллеров SAM7S, компания выпустила их аналоги SAM3 в 48-и 64-выводных корпусах, которые можно устанавливать в печатные платы, разработанные для контроллеров SAM7S.

Основные отличия контроллеров SAM3S от SAM7S:

- Набор команд Thumb-2 позволяет получить более компактный код.
- Производительность ядра повышена с 0,9 до 1,25 MIPS/МГц.

- Ширина шины команд увеличена с 32 до 128 бит.
- Структура многослойной шинной матрицы АНВ/АРВ улучшена.
- Частота ядра повышена с 55 до 64 МГц.
- Два модуля PLL позволяют одновременно формировать две частоты — 48 МГц для порта USB и 64 МГц для работы ядра.
 Новые аппаратные характеристики SAM3S:
- Встроенный высокоточный подстраиваемый RC-генератор с базовой частотой 4 МГц.
- Тактирование от внешнего керамического резонатора 3–20 МГц.
- Тактирование от внешнего кристалла 32 кГп.
- Переключение на тактирование от RCгенератора при отказе кварца.
- Встроенные фильтры PLL.
- Число линий ввод/вывод для 64-выводного корпуса увеличено с 32 до 47.
- Аппаратное вычисление контрольной суммы CRC для встроенной и внешней памяти.
- Добавлен модуль MPU (Memory Protection Unit).
- Пакет SAM-BA поддерживает интерфейс с SAM3S с различными значениями тактовой частоты.

Краткая информация по семейству SAM3 представлена на рис. 2.

Микроконтроллеры SAM3N можно назвать микросхемами «начального уровня»: у них отсутствует порт USB, скорость ядра ограничена уровнем 48 МГц, а максимальный объем Flash-памяти составляет 256 кбайт.



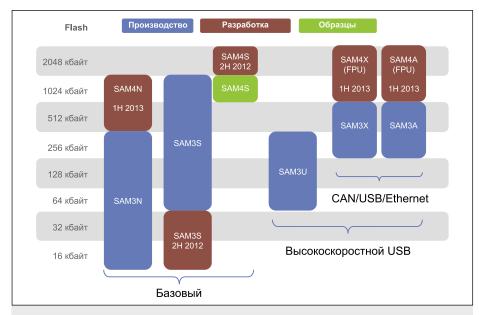


Рис. 2. Состав семейства SAM3/SAM

Микросхемы SAM3S — это «стандартные» контроллеры с максимальной скоростью ядра 64/96 МГц, наличием порта USB Full Speed или High Speed и максимальным объемом Flash-памяти до 1 Мбайт. Это самое многочисленное подсемейство, и в разработке находятся еще два контроллера с уменьшенным объемом Flash-памяти — 16 и 32 кбайт. Контроллеры SAM3N совместимы по выводам с контроллерами SAM3S и могут быть использованы в тех же печатных платах.

Отличием микросхем SAM3X и SAM3A является двухканальный CAN-интерфейс, а SAM3X содержит на кристалле модуль Ethernet MAC 10/100 Мбит. Кроме того, высокоскоростной интерфейс USB поддерживает режим ОТG (On-The-Go). Все микроконтроллеры SAM3 имеют напряжение питания ядра 1,8 В, а напряжение питания периферийных модулей — 3,3 В.

В контроллерах SAM3 применены быстродействующие выходные буферы: максимальная рабочая частота типовой линии вывода составляет 35 МГц, а для интерфейса SPI эта частота даже выше — 45 МГц.

Каждая микросхема SAM3 содержит уникальный 128-битный номер (идентификатор, ID). Идентификатор присваивается в процессе изготовления кристалла и не может быть стерт или модифицирован. Одно из применений идентификатора — скремблирование данных на внешней шине, что позволяет защитить информацию, которая выдается во «внешний мир».

Говоря о структуре линий ввода/вывода, нужно отметить, что, помимо добавления на входе триггера Шмитта и pull-down резистора, появился также проходной резистор ООТ (On-Die Termination) сопротивлением 36 Ом. Этот резистор препятствует возникновению паразитных колебаний на емкостной нагрузке, каковой является, например,

плоский кабель. На рис. З зеленым цветом показана форма напряжения на выводе контроллера, соединенного с входом СМОЅмикросхемы через 15-см плоский кабель типа 28 AWG с шагом проводников 0,05 дюйма. Для сравнения красным цветом обозначена форма выходного сигнала без использования проходного резистора.

Внешний шинный интерфейс EBI (External Bus Interface) имеет 8-разрядную шину данных, 24-разрядную шину адреса и четыре линии Chip Select. К внешней шине можно подключать память различных типов (NOR Flash, SLC NAND Flash, LBA-NANDTM (MLC NAND + ECC + Bad Block Mgt), SRAM, PSRAM), а также внешний ЖК-индикатор,

Ethernet-контроллер и любые другие периферийные устройства.

Высокоскоростной интерфейс МСІ позволяет работать с картами памяти типа ММС и SD в 1-разрядном и 4-разрядном режимах. Аппаратный модуль вычисления контрольной суммы (CRC) поддерживает три алгоритма:

- ССІТ802.3; полином 0х04С11DB7;
- CRC-32C (CASTAGNOLI); полином 0x1EDC6F41;
- ССІТ16; полином 0х1021.

С помощью DMA-канала при вычислении CRC этот процесс можно осуществлять «на лету». Вычисление контрольной суммы может быть произведено для памяти любого типа — встроенной Flash, встроенной SRAM, а также памяти, подключенной к внешней шине данных микроконтроллера.

Шина данных может работать в режиме "8-bit Parallel Capture Mode", который удобен для подключения высокоскоростных периферийных устройств, таких как быстрые АЦП, микросхемы FPGA или CMOS-видеокамера.

Микроконтроллеры SAM4

Ядро Cortex-M4 компании ARM — это логическое развитие ядра Cortex-M3. Главное отличие — появление аппаратного модуля для выполнения команд DSP и SIMD. В перспективе микроконтроллеры Atmel на ядре Cortex-M4 будут способны выполнять DSP-команды с плавающей точкой. Что немаловажно, обеспечена обратная совместимость с ядром Cortex-M3. Общие характеристики контроллеров представлены на рис. 4.

Наличие модуля DSP-команд позволяет существенно сократить время вычисления для ряда математических алгоритмов. Матричные вычисления контроллер на ядре SAM4 произ-

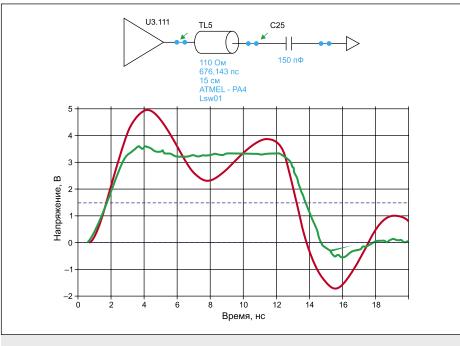


Рис. 3. Форма выходного сигнала

водит на 30–40% быстрее, а в задачах цифровой фильтрации сигналов он на 60% быстрее, чем контроллер на ядре SAM3.

В микроконтроллерах SAM4 применяется автокалибровка встроенного АЦП. Процесс автокалибровки запускается установкой бита AUTOCAL в управляющем регистре АЦП. Корректирующие значения коэффициента усиления и ошибка смещения сохраняются в отдельной памяти АЦП. Следует отметить, что после выполнения программного сброса, а также при выходе из ждущего режима процедуру автокалибровки необходимо повторить.

Многие современные микроконтроллеры имеют на кристалле выделенный таймер для выполнения функции часов реального времени. Обычно этот таймер тактируется от внешнего «часового» кварца с начальной точностью ±50 ppm. Такая точность дает ошибку несколько секунд в сутки, но в ряде задач требуется более высокая точность. В микроконтроллере SAM4S16 аппаратно реализована возможность коррекции ошибки задающего кварца путем периодического измерения температуры вблизи кварца и табличного вычисления корректирующего коэффициента. При этом можно получить точность 1–5 ppm для полного рабочего диапазона температуры.

Еще одно отличие микроконтроллеров SAM4 — пониженное энергопотребление. Например, в активном режиме при частоте ядра 64 МГц ток потребления SAM3S16 составляет 22,4 мА, а для SAM4 S16 — 14,6 мА. Более впечатляющие значения тока получены для режима BACKUP — 13 мкА для SAM3S16 и 2 мкА для SAM4S16. Этого удалось добиться благодаря отключению напряжения 3,3 В с модуля Flash-памяти в режиме BACKUP.

Микроконтроллеры AVR UC3

Микроконтроллеры AVR UC3 построены на высокопроизводительном 32-разрядном ядре AVR32 собственной разработки компании Atmel. В момент выхода на рынок оно было, возможно, самым передовым в своем классе. В базовый набор команд включены DSP-инструкции, применен эффективный 3-стадийный конвейер, многослойная шина данных с периферийным мостом, развязывающим потоки данных, передаваемых по низко- и высокоскоростным интерфейсам. Система команд работает с 32-, 16и 8-разрядными элементами памяти, упакованными без разрывов, что приводит к более рациональному использованию ресурсов. Можно сказать, что в 2012 году архитектура контроллеров SAM3/SAM4 достигла уровня контроллеров AVR UC3 выпуска 2006-2007 гг. Производительность контроллеров AVR UC3 теперь составляет 1,49 MIPS/МГц (SAM4 — 1,25 МІРЅ/МГц), причем более высокая скорость ядра у SAM3/SAM4 определяется не архитектурой, а технологией производства.

В семействе AVR UC3 насчитывается примерно 50 различных микросхем (табл. 1).

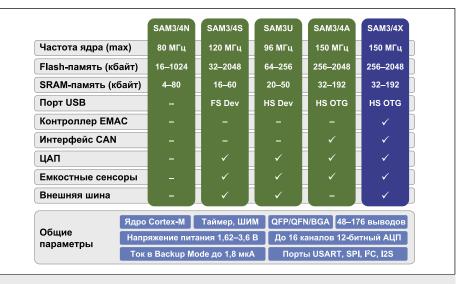


Рис. 4. Характеристики SAM3/4

Многие микросхемы выпускаются в различных типах корпусов. Микроконтроллеры разделены на несколько подсемейств, которые различаются суффиксом в названии. Первыми в семействе были выпущены контроллеры подсемейства «А0/А1», и они условно считаются базовым подсемейством. Эти контроллеры характеризуются наличием интерфейсов высокоскоростного USB с поддержкой режима ОТG. Контроллеры А0 в 144-выводных корпусах также имеют 16-разрядную шину данных.

Контроллеры подсемейства B0/B1 — это усеченные версии с меньшими по размеру корпусами, скоростью ядра и набором периферии. Подсемейство D3/D4 — это бюджетные версии подсемейства B0/B1 в совместимых корпусах. Их цена сравнима с 8-разрядными контроллерами с аналогичным размером памяти. При этом у микросхем D3/D4 добавлены некоторые новые функции.

Контроллеры подсемейства C0/C1/C2 находятся несколько в стороне от мэйнстрима AVR UC3. Качество и надежность AT32UC3C

соответствует автомобильным нормам AEC-Q100 grade 1, что допускает функционирование в температурном диапазоне от –40 до +125 °C. Flash-память микроконтроллеров семейства UC3C характеризуется временем хранения 15 лет и выдерживает не менее 100 000 циклов стирания/записи. Микросхемы могут работать как от напряжения 3,3 В, так и от напряжения 5 В, что обеспечивает повышенную помехо-устойчивость. Ориентация на автопром подразумевает наличие на кристалле многоканальных ШИМ-контроллеров и двухканального CAN-контроллера.

Немаловажным преимуществом микроконтроллеров C0/C1/C2 является периферийный контроллер событий (Peripheral Event Controller, PEC), разработанный инженерами Atmel и впервые примененный в микроконтроллерах АТхтеда. Технология РЕС аппаратно реализует очень быструю реакцию контроллера на внешнее событие без использования прерываний. Время реакции всегда одинаково и составляет два такта системной частоты. Для частоты ядра 66 МГц это время равно 30 нс.

Таблица 1. Характеристики микросхем семейства AVR UC3

Параметры	A3/A4	B0/B1	C0/C1/C2	D3/D4	L0/L3/L4
DMIPS/Частота, МГц	92/66	83/60	91/66	61/48	64/50
Объем Flash, кбайт	64-296	64-512	64-512	64-128	16-256
Объем SRAM, кбайт	128	16-96	20-68	16	8-32
Порты USART	4	4/3	5/5/4	4	4
Порты SPI	6	3/2	7/7/5	4	4
Порты TWI/I ² C	2	1	3/3/2	2	2
Порты I ² C	1	1/0	1	2	1
Каналы АЦП	8	8/6	16/16/11	16	8
Каналы ЦАП	2	2/0	4/4/2	2	0
Интерфейс SD/MMC	Dual	нет	нет	нет	нет
Шина EBI	да/нет	нет	да/нет/нет	нет	нет
Емкостные сенсоры	нет	нет	нет	да	да
Порт USB	HS OTG	FS OTG	FS OTG	FS Dev	нет/FS De
Ethernet	нет	нет	да	нет	нет
Порт CAN	нет	нет	да	нет	нет
Система событий	нет	нет	да	нет	да
Режим picoPower	нет	нет	нет	нет	да
Модуль FlashVault	нет	нет	да	нет	да
Число линий GPIO	110/70	44/28	123/81/45	51/35	36/51/36
Корпус	144/100	64/48	144/100/64	64/48	48/64/48

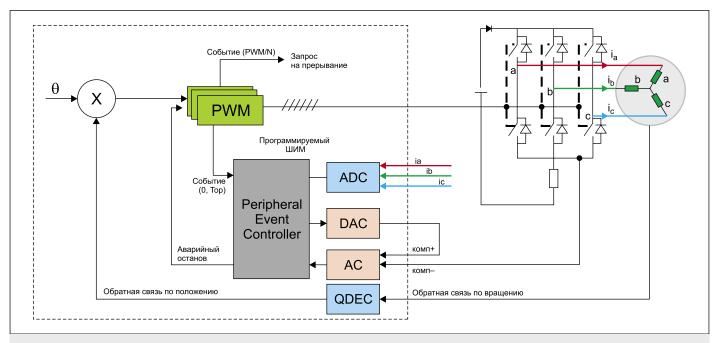


Рис. 5. Система управления двигателем

В системах управления мощными электродвигателями такая скорость реакции на срабатывание датчика превышения тока позволяет в случае аварийной ситуации вовремя снять напряжение с силовых ключей и сохранить как сами ключи, так и обмотки двигателя.

Пример системы управления двигателем представлен на рис. 5.

Подсемейство L0/L3/L4 ориентировано на рынок мобильных устройств. В этом подсемействе аппаратно реализована технология QTouch — поддержка работы с емкостными сенсорными датчиками, а также технология PicoPower, позволяющая радикально снизить потребляемый ток как в активном режиме, так и в режиме ожидания.

В таблице 2 приведены значения потребляемой мощности микроконтроллеров типа ATmega168, UC3B и UC3L. Видно, что по сравнению с UC3B в активном режиме мощность снижена вдвое, а в ждущем режиме — более чем в 10 раз.

Размер Flash-памяти у AVR UC3 варьируется от 16 до 512 кбайт, причем все микроконтроллеры поставляются с программойзагрузчиком, который «прошит» во Flash-памяти. Если контроллер имеет порт USB, в нем «лежит» USB-загрузчик, если же порт USB отсутствует, тогда загрузка микросхемы доступна через порт UART.

В 2012 году компания Atmel выпустила новые контроллеры в подсемействах D и L, дополнив первое микросхемами в 48-выводных корпусах, а второе — в 64-выводных корпусах.

Atmel Studio 6

С момента выпуска первых 8-разрядных AVR-контроллеров компания Atmel обеспечивала их бесплатными программными сред-

ствами. Сначала это был ассемблер с работой из командной строки, затем простейшее Windows-приложение. Несколько позднее появился пакет AVR Studio, который пережил пять версий. Разработка и развитие пакета служили вполне очевидной цели — увеличению популярности AVR-микроконтроллеров. В четвертой версии пакета произошло значительное изменение: был официально поддержан бесплатный Си-компилятор, WInAVR, а пятая версия, о выпуске которой было объявлено 1 марта 2011 года, изменилась кардинально: она построена на графическом интерфейсе Visual Studio 2010, купленном у компании Microsoft. И вот год спустя вышла шестая версия пакета, в которую включили поддержку микроконтроллеров SAM3 и SAM4. В связи с этим пакет изменил название, и теперь это Atmel Studio 6.

Начиная с пятой версии пакета Atmel использует концепцию оформления примеров исходных кодов для AVR/AVR32 (а теперь и SAM3/SAM4) в отдельный пакет — ASF (AVR Studio Framework, переименованный теперь, естественно, в Atmel Studio Framework). Пакет встроен в Atmel Studio 6, при этом есть возможность подгружать новые версии ASF, не удаляя старые. Более того, существует автономная версия пакета ASF, которую можно использовать, например, с Си-компилятором компании IAR. В настоящее время выпущен пакет ASF версии 3.1, который содержит более 1100 примеров исходных кодов как для AVRконтроллеров (8- и 32-разрядных), так и для контроллеров SAM3/SAM4.

Литература

- 1. Королев H. Atmel: новые возможности пакета AVR Studio // Компоненты и технологии. 2011. № 10.
- Королев H. Atmel: AVR32-микроконтроллеры в 2011 году // Компоненты и технологии. 2011. № 5.

Таблица. 2. Потребляемая мощность UC3L

Режим	AT mega168P (2007)	ATmega168PA (2010)	Изменение, %
Активный	290 мА/МГц	190 мА/МГц	-34,5
RTC	0,8 мА	0,75 мА	-6,25
Ждущий	100 нА	100 нА	-0
Режим	UC3B (2007)	US3 L* (2010)	Изменение,
Режим Активный			
	(2007)	(2010)	%

Примечание. * — Выполняется комплексный рекурсивный алгоритм Фиббоначчи.

- Королев Н. AVR-контроллеры: развитие семейства. Ч. 2 // Компоненты и технологии. 2010. № 6.
- 4. Королев Н. 32-разрядные ARM7-микроконтроллеры Atmel: практика работы // Электроника: HTБ. 2009. № 4.
- Королев H. Atmel: 32-разрядные Flash-микроконтроллеры на ядре AVR32 // Компоненты и технологии. 2008. № 11.
- Королев Н. 32 разряда от Atmel: развитие линии ARM-контроллеров // Компоненты и технологии. 2008. № 1.
- 7. Королев Н. 32-разрядные микроконтроллеры Atmel на базе ядра ARM7 // Компоненты и технологии. 2006. № 6.
- 8. Королев Н., Королев Д. AVR: программирование в среде AVR Studio // Компоненты и технологии. 2004. № 4.
- Королев Н., Королев Д. AVR-микроконтроллеры второго поколения // Компоненты и технологии. 2003. № 7.
- Материалы технического семинара компании Atmel. Грассау. Бавария. Германия. Май 2012 г.
- 11. Презентации по теме: www.ineltek.com/ presentations.php