

СОВРЕМЕННЫЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ ATMEL: АКЦЕНТ НА 32 РАЗРЯДА

Николай Королев, руководитель инженерного центра, ООО «АРГУССОФТ Компани»

После феноменального успеха AVR-микроконтроллеров на «8-разрядном» рынке корпорация ATMEL обратила свое внимание на рынок 32-разрядных микроконтроллеров. О степени интереса говорит тот факт, что в последнее время развиваются сразу три серии таких микросхем – SAM7, SAM9 и AVR32.

В октябре 2006 г. ATMEL провела технический семинар для европейских дистрибуторов, на котором специалисты из французского отделения корпорации, занимающиеся разработкой микросхем на ядрах ARM7 и ARM9, рассказали о своих новых изделиях. Автор статьи был единственным участником семинара из России, поэтому представленная ниже информация может оказаться весьма интересной для российских разработчиков.

Введение

Микроконтроллеры на базе ядра ARM7 выпускаются различными производителями по лицензии английской фирмы ARM. Микросхемы имеют одинаковое ядро и примерно равные объемы встроенных ПЗУ и ОЗУ. Основные различия микросхем состоят в скорости работы и наборе периферии.

Корпорация ATMEL производит микроконтроллеры на базе ядра ARM достаточно продолжительное время; современное же поколение микроконтроллеров на ядре ARM7TDMI (SAM7, Smart ARM7), производится с 2005 г. Микросхемы изготавливаются по технологическим нормам 0,18 мкм и работают на частоте до

60 МГц. Эти микросхемы являются высоконтегрированными – на кристалле, помимо собственно ядра ARM7, размещены флэш-ПЗУ, ОЗУ, а также большое количество периферийных модулей. Исторически первыми были микросхемы SAM7A, и они имели некоторые ограничения. Так, микросхемы SAM7A3 не имели на кристалле ПЗУ с подпрограммой-загрузчиком, поэтому для программирования флэш-ПЗУ нужно было применять внешние средства. Все последующие семейства (SAM7S, SAM7X, SAM7SE) уже содержат ROM-загрузчик, поэтому память программ загружается посредством стандартного кабеля через порт UART или USB.

Флэш-память программ имеет ширину шины данных 32 бита и время доступа 25 нс. Если тактовая частота не превышает 30 МГц, выборка команды происходит без задержки. Если частота ядра находится в диапазоне 30...60 МГц, для выборки команды вводится такт задержки. При использовании контроллера в режиме THUMB (ширина команды 16 бит) за одно обращение к флэш-памяти происходит выборка двух команд, которые затем выполняются последовательно.

Микросхемы имеют гибкую систему тактирования. В качестве источника тактирования можно выбрать встроенный RC-генератор (частота 22...42 кГц), кварцевый (частота 3...20 МГц) или внешний генератор (частота 1...50 МГц). На кристалле находится модуль ФАПЧ с дробным коэффициентом умножения. После модуля ФАПЧ тактовые импульсы поступают на делитель, который формирует системную частоту и частоту работы периферийных модулей. Для получения частоты 48 МГц (интерфейс USB) используется отдельный делитель. Структура подсистемы тактирования кристалла приведена на рисунке 1.

Известно, что общая производительность контроллера зависит не только от собственно тактовой час-

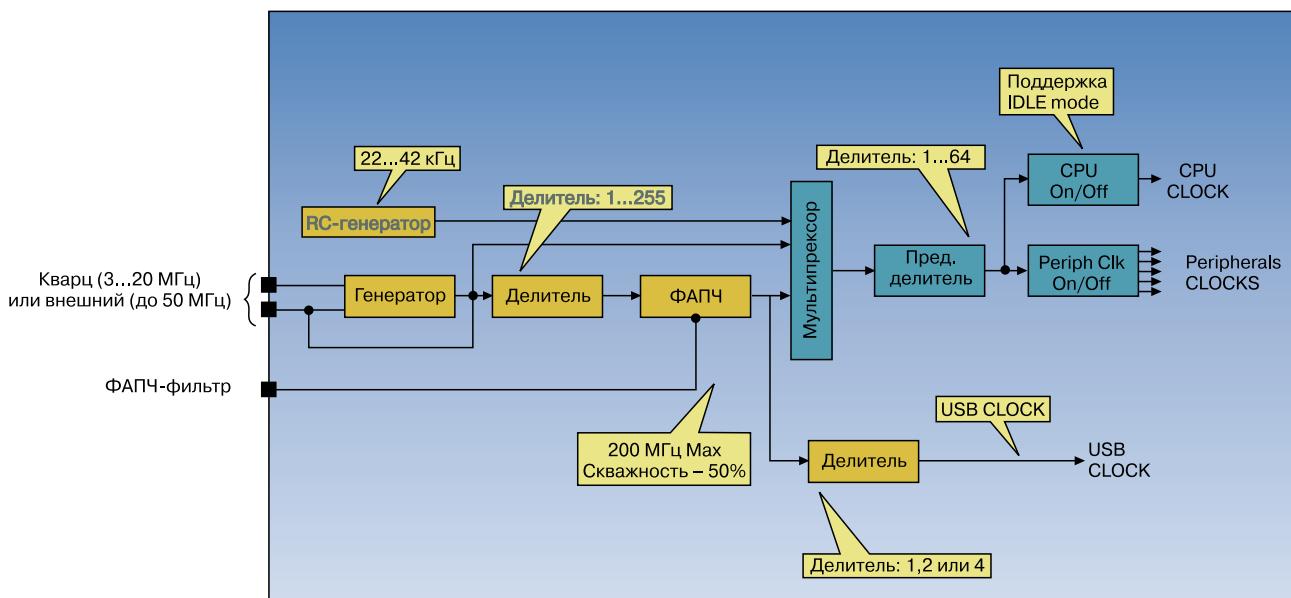


Рис. 1. Структура подсистемы тактирования микросхем SAM7

тоты ядра, но, в большой степени, от организации потоков данных в кристалле. Очевидное преимущество микросхем SAM7 состоит в применении контроллеров прямого доступа к памяти (DMA-контроллер), причем для каждого периферийного модуля есть выделенный DMA-контроллер с отдельными каналами для приема и передачи.

Все микросхемы имеют на кристалле стандартный модуль АЦП с выделенным DMA-контроллером. Разрядность АЦП – 10 бит, число каналов – 8 для микросхем SAM7S, SAM7X, SAM7SE и 16 – для

SAM7A3. Скорость преобразования – 384 Квыб./с при частоте тактирования АЦП 5 МГц. Структурная схема АЦП показана на рисунке 2.

Микросхемы имеют раздельное питание ядра и периферийных модулей: 1,8 и 3,3 В соответственно. Встроенный преобразователь питания ядра снимает необходимость в применении внешнего стабилизатора напряжения. Такое сочетание параметров позволяет применять микроконтроллеры SAM7 в самых различных приложениях, в том числе для построения экономичных систем, работающих в реальном масштабе времени.

Микросхемы SAM7 состоят из семейств AT91SAM7S/A/X. Различие семейств заключается в наборе периферийных модулей и, соответственно, в количестве выводов корпуса (см. табл. 1). Базовое семейство, SAM7S (64-выводный корпус), содержит интерфейсы USART, UART, SPI, I²C, SSC и USB. Семейство SAM7A (100-выводной корпус) дополнительно оснащено CAN-контроллером на 1, 2 или 4 канала, а семейство SAM7X (100-выводной корпус) – одноканальным CAN-контроллером и модулем Ethernet MAC 10/100 Mbit Base-T.

Общие характеристики микроконтроллеров серии AT91SAM7:

- наилучшее соотношение производительность/потребляемая мощность;
- производительность 30...60 MIPS;
- 32/16-битная шина команд (ARM/THUMB);
- 32-битная внутренняя шина данных;
- тип выхода – трехстабильный или открытый сток;
- многоканальный контроллер прямого доступа к памяти (PDC);
- интерфейс USB (2.0 Full Speed, 12 Мбит/с);
- последовательный интерфейс SPI (Master/Slave режим);
- последовательный интерфейс UART с функцией отладки;
- последовательный интерфейс USART (скорость обмена до 25 Мбит/с);

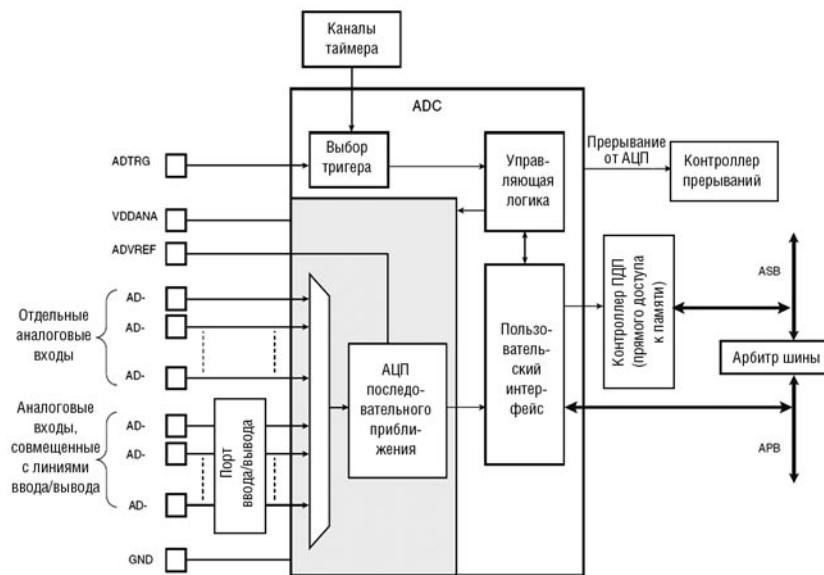


Рис. 2. Структурная схема АЦП, встроенного в микросхемы SAM7

Таблица 1: Основные параметры микроконтроллеров семейства SAM7

	Максимальная частота, МГц	SRAM, Кбайт	Флэш-память, Кбайт	USART/DBGU	Pасшир. USART	SPI	TWI (I ² C)	SSC	DMA-каналы	MMC	CAN-контроллер	16-битные счетчики	ШИМ-контроллер	Системный таймер	Сторожевой таймер	10-битный АЦП	Сброс по питанию	Контроль питания	RC-генератор	16-мА выходы	Входы/выходы	Корпус
SAM7S32	55	8 16 32 64 128 256 512	32 К 64 128 256 128 256 512	1 1 2 1 1 10 4 2	9 1 1 11 1 9 10 3	– – – 1 – 9 – 1	4 + + 16 8 8 4 +	8 8 8 16 16 16 8 4	QFP48 QFP64 QFP100 QFP144 QFP176 QFP100 QFP128	32 60 49 57 62 88	QFP48 QFP64 QFP100 QFP144 QFP176 QFP100 QFP128											
SAM7S321																						
SAM7S64																						
SAM7S128																						
SAM7S256																						
SAM7X128																						
SAM7X256																						
SAM7X512																						
SAM7A1	40	4	–	3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
SAM7A2	30	16	–	2	–	10	4	–	–	–	9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
SAM7A3	60	32	256	3	2	2	19	+	2	9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
SAM7SE32	48	8	32	1	2	1	11	–	2	3	4	8	+	8	8	8	8	+	–	–	–	–
SAM7SE256		32	256	1	1	1	11	–	2	3	4	8	+	8	8	8	8	+	–	–	–	
SAM7SE512			512																			

Микросхемы SAM7X имеют на кристалле модуль Ethernet MAC 10/100.

- двухпроводный интерфейс TWI, (совместимый с I²C), поддержка режима Master Mode;
- интерфейс SSC, поддержка режима I²S;
- интерфейс JTAG;
- встроенный микромощный RC-генератор и модуль ФАПЧ;
- расширенный тактовый генератор и контроллер управления энергопотреблением;
- четыре программируемых внешних источника тактирования;
- контроллер прерываний с расширенными функциями;
- четырехканальный 16-разрядный ШИМ-контроллер;
- внутрисхемный эмулятор с коммуникационным отладочным каналом;
- встроенный модуль отладки (через UART);
- таймер реального времени (Real-time Timer) с отдельным прерыванием;
- 2 или 3 трехканальных 16-битных таймера/счетчика;
- 20-разрядный интервальный таймер (Periodic Interval Timer, PIT);
- 32-разрядный таймер реального времени (Real Time Timer, RTT);
- 10-битный 8/16-канальный АЦП с временем преобразования 2,6 мкс;
- схема задержки при включении питания (POR);
- схема слежения за уровнем напряжения питания (BOD);
- режимы снижения энергопотребления;
- напряжение питания 3,0...3,6 В;
- защита памяти программ от несанкционированного чтения;
- диапазон рабочих температур -40...85°C.

На октябрьском семинаре было объявлено о начале производства «старших» микросхем в рядах SAM7S и SAM7X: AT91SAM7S512 и AT91SAM7X512 соответственно. Кроме этого, специалисты ATMEL предоставили развернутую информацию о четвертом семействе микросхем SAM7 – AT91SAM7SE. Главной отличительной особенностью этого семейства является наличие внешней шины адреса/данных (EBI, External Bus Interface), к которой могут быть подключены различные типы памяти: SRAM, SDRAM, Parallel Flash, NAND Flash (Smart Media). Микросхемы SAM7SE выпускаются, естественно, в бессвинцовом исполнении. Микросхемы SAM7S уже достаточно хорошо известны в России, поэтому далее рассматриваются семейства SAM7X и SAM7SE.

Семейство AT91SAM7X

Микроконтроллер AT91SAM7X является интересным представителем семейства SAM7. Его структурная схема показана на рисунке 3.

Эта микросхема, несмотря на малогабаритный 100-выводной корпус, имеет чрезвычайно богатый набор периферии. К уже описанным модулям здесь добавились следующие:

- дополнительный порт SPI, поддержка режима Master/Slave, 8- и 16-битный обмен;
- порт CAN, поддержка режима 2.0A и 2.0B;
- модуль Ethernet MAC 10/100.

Таким образом, пользователь получает систему на кристалле, позволяющую строить на ее основе высокointегрированные малогабаритные одноплатные контроллеры, которые могут общаться с внешним миром по интерфейсам 7 различных типов!

Старшая микросхема имеет 512 Кбайт флэш-ПЗУ на кристалле. ПЗУ размещено в двух банках по 256 Кбайт, причем это не страничное, а линейное размещение. Банк 0 занимает адресное пространство 0x000000...0x13FFFF, а банк 1 – 0x140000...0x17FFFF. Такая компоновка памяти позволяет, например, перезаписывать содержимое одного банка флэш-ПЗУ в то время, пока исполняется программа, размещенная в другом банке.

Максимальный ток потребления при частоте ядра 50 МГц составляет примерно 30 мА, в режиме ожидания – 16 мКА.

Семейство AT91SAM7SE

Техническое описание микросхемы AT91SAM7SE занимает примерно 650 страниц, поэтому в статье рассмотрены лишь основные характеристики. Из таблицы 1 видно, что семейство SAM7SE состоит из трех микросхем, отличающихся только объемом памяти флэш-ПЗУ и ОЗУ.

Структурная схема AT91SAM7SE показана на рисунке 4. С внешним миром микроконтроллер SAM7SE общается через три порта ввода/вывода: порты A и B содержат по 32 линии, а порт C – 24 линии. В процессе инициализации каждая линия порта может быть назначена как универсальная линия ввода/вывода, вход прерывания или линия периферийного интерфейса. В семействе SAM7SE отсутствует возможность подключения внешних устройств с уровнями сигнала 5 В. Вместо этого на каждую входную линию порта установлен триггер Шмидта.

Размер ОЗУ сравнительно небольшой: 8 или 32 Кбайт, что объясняется возможностью подключения внешнего ОЗУ достаточно большой емкости.

Модуль MPU (Memory Protection Unit) обеспечивает защиту внутренней памяти и периферии от несанкционированного чтения/модификации. Внутреннее адресное пространство может быть разделено на 16 областей размером от 1 Кбайт до 4 Мбайт. При этом для каждой области назначается один из режимов: доступ запрещен (No Access), только запись (Read Only), запись/чтение (Read/Write).

Наличие шины EBI подразумевает использование внешней памяти ОЗУ,

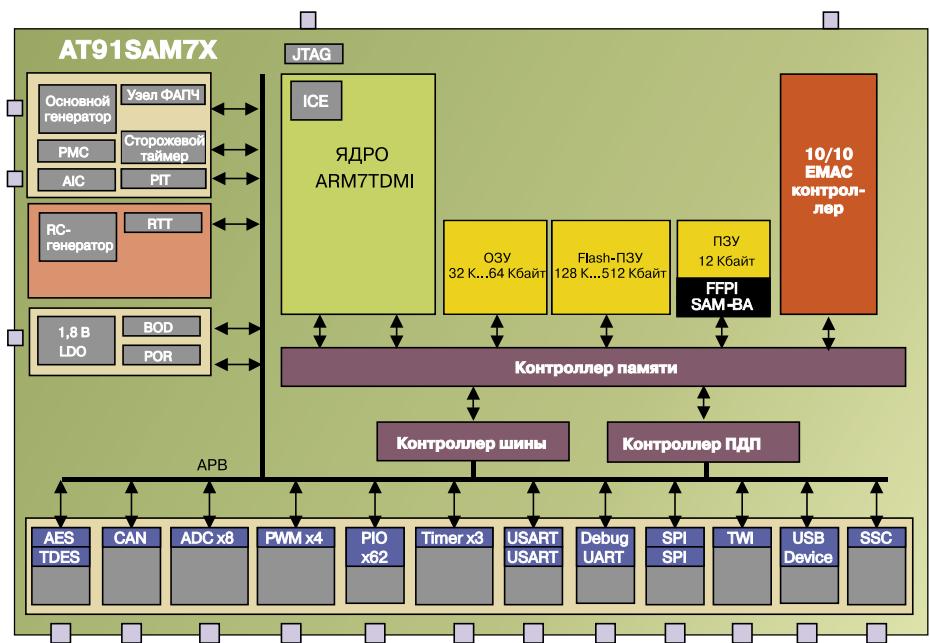


Рис. 3. Структурная схема микроконтроллера AT91SAM7X

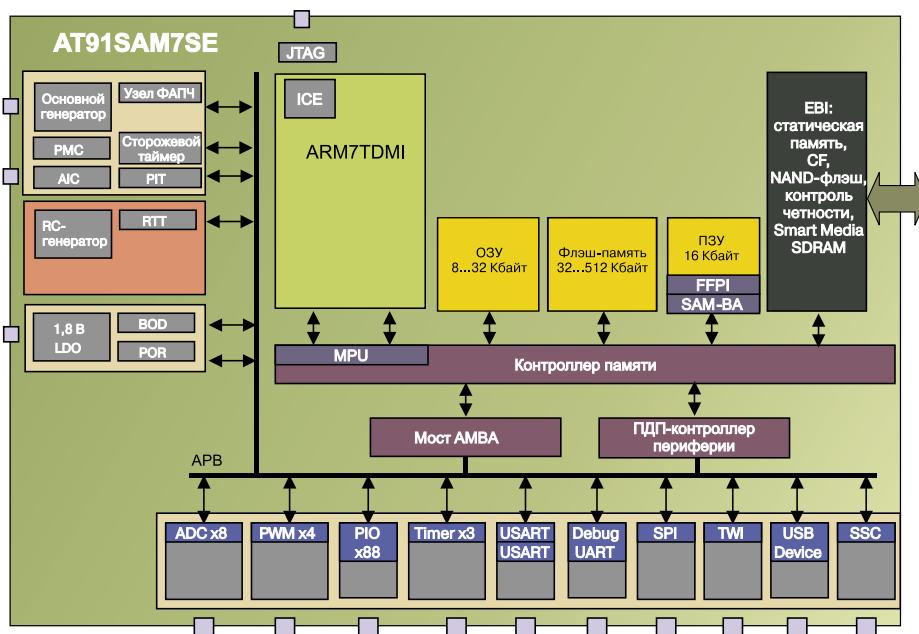


Рис. 4. Структурная схема микроконтроллера AT91SAM7SE

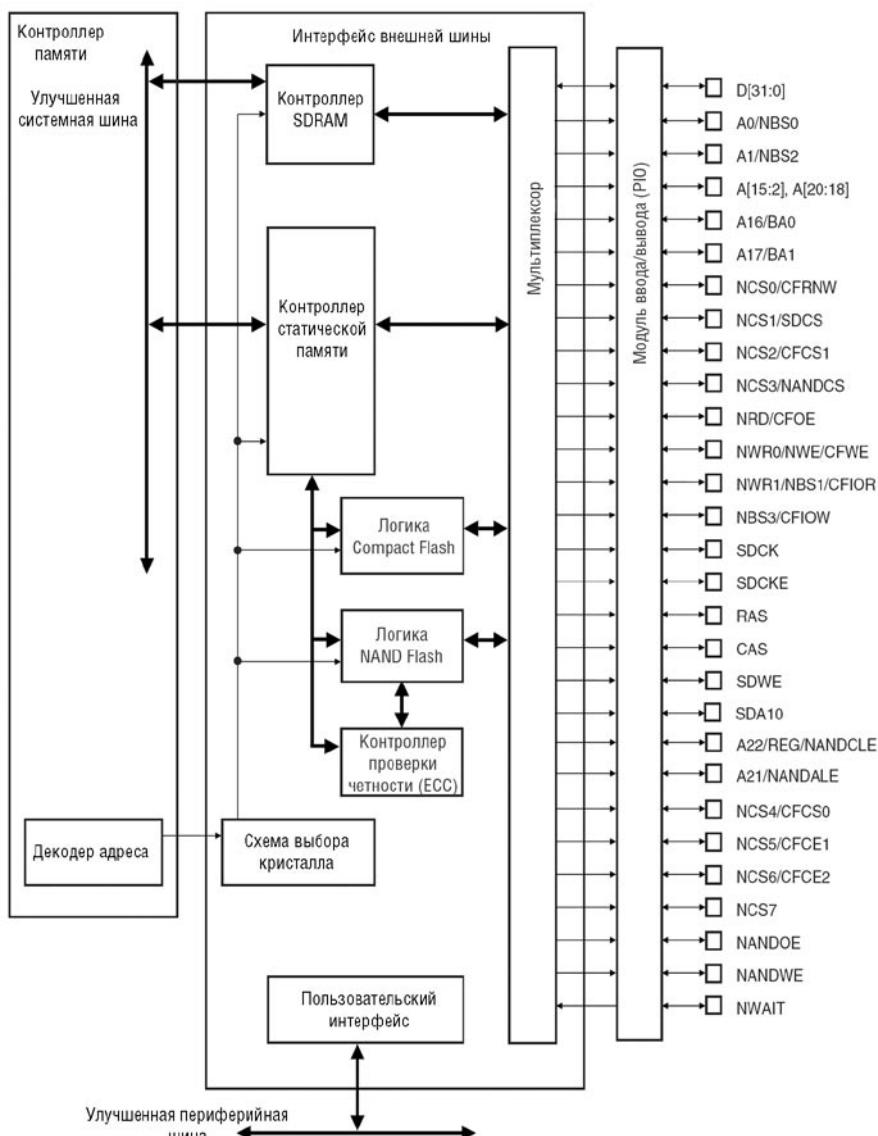


Рис. 5. Структурная схема интерфейса EBI

а также, при необходимости, ПЗУ, поэтому в состав EBI включены контроллеры SRAM, SDRAM, Parallel ROM, NAND Flash, Compact Flash. Адресное пространство ограничивается шириной внешней шины адреса (23 разряда) и набором выводов Chip Select (8 линий). Особенность шины данных состоит в том, что для работы с памятью типа SDRAM используются все 32 разряда шины данных, тогда как для работы с остальными типами памяти доступны лишь младшие 16 бит шины данных.

Специфические характеристики микроконтроллеров серии AT91SAM7SE:

- интерфейс внешней шины EBI;
- модуль защиты памяти (MPU);
- 8 линий «выбор кристалла» (Chip Select);
- программируемая 8/16/32-битная внешняя шина данных;
- 88 линий ввода/вывода; каждая может быть источником прерывания;
- триггер Шмидта по каждому входу;
- встроенная программа-автозагрузчик для программирования флэш-памяти через UART или USB-порт;
- корпус: 128-выводный LQFP (шаг 0,5 мм) и 144-выводный LBGA (шаг 0,8 мм).

На рисунке 5 приведена структурная схема интерфейса EBI. Он содержит набор контроллеров памяти различного типа и мультиплексор, который подключает один из контроллеров к модулю PIO (Peripheral Input/Output).

Ширина внутренней адресной шины (32 разряда) позволяет не экономить при распределении адресного пространства между внутренней памятью, встроенными периферийными модулями и устройствами, которые подключаются к внешнейшине. На рисунке 6 представлена карта памяти контроллера AT91SAM7SE.

Внешнее адресное пространство разделено на 8 регионов, размером 256 Мбайт каждый. Все адресное пространство может быть использовано для подключения внешней статической памяти, однако ряд выводов CS имеет также и специальные функции. Так, вывод CS1 используется при обращении с памятью SDRAM, выводы CS2 и CS4 – к памяти Compact Flash, а вывод CS3 – к памяти NAND Flash.

На рисунке 7 показано подключение 16-разрядной микросхемы памяти типа SDRAM объемом 256 Мбит. Для полноценного использования возможностей 32-разрядной шины данных нужно подключить вторую такую

же микросхему к старшей половине шины данных.

Как известно, память типа NAND Flash имеет особенность, определяемую технологией производства: наличие секторов с дефектными битами памяти, причем число таких секторов увеличивается в процессе эксплуатации микросхемы. Таким образом, для корректной работы необходим механизм, управляющий процессом записи и проверяющий целостность записанных данных. Такой механизм реализует контроллер ECC (Error Corrected Code), который входит в состав микросхемы SAM7SE. В процессе записи он вычисляет контрольную сумму пакета данных и записывает ее в специально отведенную область памяти, а при чтении проверяет ее. Используя механизм избыточного кодирования, механизм может исправить одиночную ошибку в пакете и обнаружить двойную ошибку. Рисунок 8 иллюстрирует подключение микросхемы NAND Flash емкостью 2 Гбит через интерфейс EBI по 8-разряднойшине. Аналогично подключаются микросхемы с 16-разрядной шиной.

Максимальная частота работы шины EBI составляет 48 МГц. Следовательно, оптимальное место для размещения кода программы, с точки зрения скорости выполнения программы (а также стоимости изделия) – это память типа SDRAM с разрядностью 32 бита.

Аппаратные средства для работы с SAM7, предлагаемые корпорацией ATAMEL

Для работы с микросхемами SAM7X и SAM7SE корпорация ATAMEL предлагает отладочные платы AT91SAM7X-EK и AT91SAM7SE-EK.

На платах реализована типовая схема включения контроллера. Все интерфейсы выведены на разъемы. Для отладки программ рекомендуется использовать малогабаритный внутрисхемный эмулятор AT91SAM-ICE, который подключается к USB-порту компьютера. Эмулятор поддерживает работу с любой микросхемой серии AT91, включая SAM7 и SAM9. На каждой отладочной плате установлен 20-контактный разъем для подключения эмулятора.

Аппаратные средства для работы с SAM7, разработанные в АРГУССОФТ Компани

Специалисты АРГУССОФТ Компани разработали плату AS-sam7X, которая программно совместима с фирменным комплектом, однако имеет ряд аппаратных расширений.

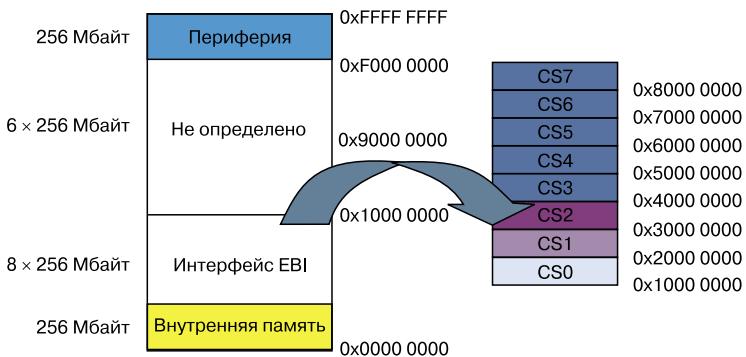


Рис. 6. Карта памяти контроллера AT91SAM7SE

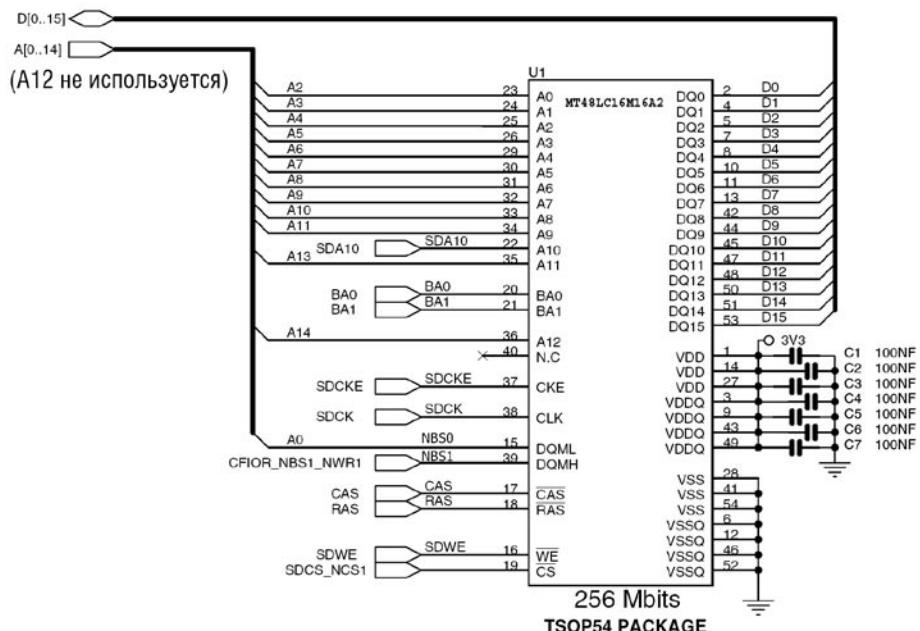


Рис. 7. Схема подключения 16-разрядной SDRAM объемом 256 Мбит

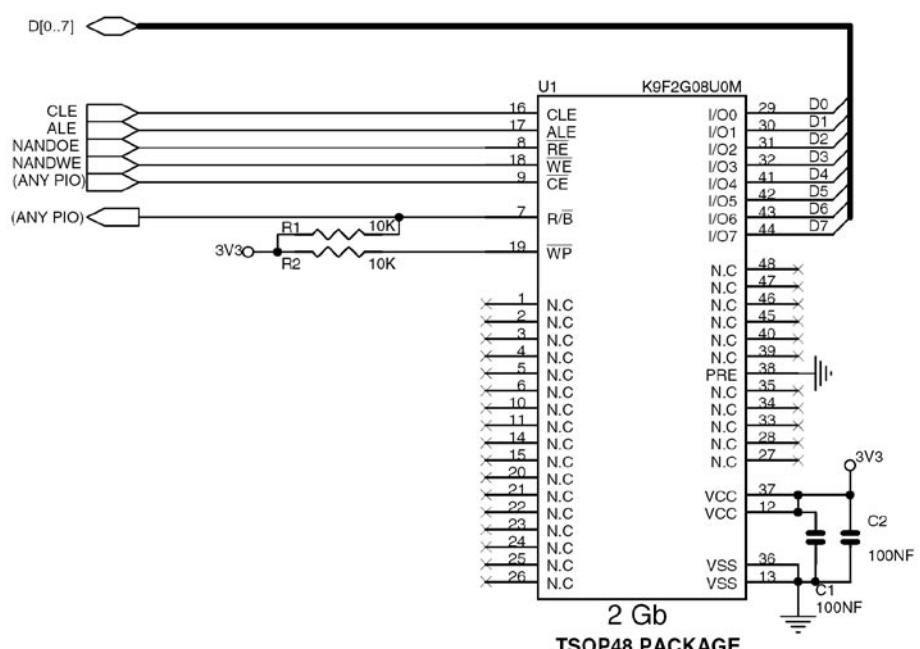


Рис. 8. Подключение NAND Flash емкостью 2 Гбит через интерфейс EBI по 8-разрядной шине

В целом плата AS-sam7X имеет следующие аппаратные ресурсы:

- микроконтроллер AT91SAMX128;
- температурный датчик AD7415;
- стабилизатор напряжения питания (3,3 В);
- разъем Ethernet 10/100 Мбит/с;
- разъем USB типа B, интерфейс USB;
- разъем типа RJ45, интерфейс RS-485;
- разъем DB9, интерфейс DBGU-RS-232;
- разъем PLS5, дополнительный интерфейс RS-232;
- разъемы PLD10 (2 шт.), интерфейс SPI, графический ЖКИ;
- разъемы PLD20 и PLD40 для подключения внешних сигналов к портам контроллера;
- разъем PLS5, два оптоизолированных ключа с «сухими» контактами;
- разъем PLS6 для 4 аналоговых входов с питанием;
- разъем PLS5 для вывода аналоговых сигналов с внешнего ЦАП;
- разъем PLD20 для подключения JTAG-эмулятора (ATSAM-ICE);
- штыревые разъемы для подключения внешних аналоговых сигналов (до 8);
- 5 пользовательских кнопок и кнопка сброса;
- 4 пользовательских светодиода.

Кроме того, на плате предусмотрено место для распайки следующих дополнительных компонентов:

- микросхема ПЗУ серии DataFlash (AT45) в корпусе TSOP28;
- микросхема ПЗУ серии DataFlash (AT45) в корпусе SOIC8;
- микросхема двухканального 8/10/12-разрядного ЦАП AD5302/12/22;
- микросхема трехосевого интегрального датчика ускорений ADXL330;
- микросхема часов реального времени DS1307 с возможностью подключения батареи питания;
- разъем карт памяти с интерфейсом SPI;
- разъем PLD28 для подключения модуля радиоинтерфейса на базе трансивера ATR2406;
- генератор тактового сигнала для модуля радиоинтерфейса.

Программирование микроконтроллера и микросхем DataFlash производится при помощи бесплат-

ного программного обеспечения SAM-BA через порт DBGU (кабель RS-232), либо через порт USB (кабель USB), либо посредством эмулятора AT91SAM-ICE. Габаритные размеры платы – 103 × 75 мм.

С платой поставляются примеры программ: USB Mass Storage Device, программа работы с периферией, установленной на плате, а также исполняемый файл операционной системы реального времени FreeRTOS со встроенным стеком протоколов TCP/IP.

Программные средства

На начальной стадии изучения микросхем SAM7 в качестве программной среды удобно использовать пакет IAR KickStart компании IAR. Это полнофункциональная бесплатная усеченная версия пакета IAR Embedded Workbench (максимальный размер кода в пакете IAR KickStart ограничен объемом 32 Кбайт). При необходимости можно приобрести полную версию пакета, однако за нее придется заплатить не менее 3000 долл.

Следующий вариант – применение недорогого Си-компилятора ICCARM фирмы ImageCraft. Правда, следует отметить, что симулятор для этого пакета еще находится в стадии разработки.

Пользователи, предпочитающие бесплатный Си-компилятор GCC, могут создавать в нем проекты и для микросхем SAM7 как под операционной системой Linux, так и под Windows, если воспользуются портированной под эту ОС версией компилятора WinARM. Интересно отметить, что энтузиасты уже собрали среду проектирования, используя компилятор WinARM совместно с графической оболочкой Eclipse. Более того, в этой среде можно использовать недорогой эмулятор Wiggler, что существенно уменьшает затраты на рабочее место программиста.

Двоичный файл, полученный в результате компиляции, можно загрузить в микросхему, используя бесплатный пакет SAM-BA (SAM Boot Assistant), версия для Windows 2000/XP, разработанный корпорацией ATMEL. В октябре 2006 г. выпущена 2 версия этого пакета. Эта версия использует

новую библиотеку AT91Boot_DLL.dll и имеет расширенные возможности для программирования микросхем. Программа взаимодействует с ROM-загрузчиком программируемой микросхемы, образуя своеобразный программно-аппаратный комплекс. Загрузка файла программы производится при помощи стандартного кабеля с интерфейсом RS-232 или USB. Программа предоставляет пользователю возможность программирования и чтения как флэш-памяти кристалла, так и оперативной памяти, а также внешней Data Flash серии AT45.

Для загрузки кода во флэш-память кристалла необходимо выбрать закладку «Flash», после чего указать путь к файлу, который нужно загрузить. Программирование микроконтроллера начинается после нажатия на кнопку «Send». При необходимости нажатием на кнопку «Compare send file with memory» можно проверить правильность загрузки файла в микроконтроллер. Можно программировать микросхему и из командной строки при помощи tcl-скрипта. Пример командной строки может выглядеть так: sam-ba.exe COM1 MY_BOARD my_script.tcl.

Пакет SAM-BA содержит также утилиту SAM-Prog, которая имеет упрощенный интерфейс и предназначена только для загрузки в микросхему исполняемого файла и установки бита защиты. В отличие от SAM-BA, утилита SAM-Prog работает с эмулятором AT91SAM-ICE.

Примеры программ можно загрузить со специализированного сайта корпорации Atmel – www.at91.com. Там же размещена документация и форум разработчиков. Дополнительную информацию можно найти на сайте разработчика Си-компилятора, компании IAR Systems – www.iar.com. Программное обеспечение для загрузки памяти программ микроконтроллеров семейства SAM7 SAM-BA может быть загружено с сайтов www.atmel.com и www.argussoft.ru/atmel.

Литература

1. Технические описания микросхем AR91SAM7 (www.atmel.com).
2. Материалы дистрибуторских семинаров ATMEL (www.argussoft.ru/seminars).