

# Особенности применения микроконтроллеров ATSAM4L в приложениях с батарейным питанием

Алексей КУРИЛИН  
ak@efo.ru

В 2012 году корпорация Atmel анонсировала очередное семейство микропотребляющих микроконтроллеров с процессорным ядром Cortex-M4, ориентированное на приложения с батарейным питанием. Микроконтроллеры ATSAM4L выпускаются двумя сериями — ATSAM4LS и ATSAM4LC, в каждой из которых кристаллы доступны в корпусах с 48, 64 и 100 выводами. В кристаллах серии ATSAM4LC есть встроенный контроллер ЖКИ на 160 (4×40), 92 (4×23) и 52 (4×13) сегмента, а помимо интерфейса USB Device реализован интерфейс USB Host.

## Введение

В целом серия микросхем ATSAM4L имеет сбалансированный набор аналоговых и цифровых периферийных блоков, что позволяет использовать эти кристаллы в широком круге задач. Но помимо стандартных возможностей ATSAM4L производитель заявляет о достигнутых показателях по энергопотреблению в активном режиме и режимах «сна», ориентируя это семейство микроконтроллеров для приложений с батарейным питанием. В таблице приведены эти значения параметров ATSAM4L в сравнении с выпущенными ранее семействами кристаллов Atmel. Видно, что компания в очередной раз сделала качественный рывок, улучшив основные показатели, важные для устройств, работающих от батарей. Заявленные значения энергопотребления в активном режиме выделяют ATSAM4L не только среди микроконтроллеров с процессорным ядром такого класса, но и среди более простых 8- и 16-разрядных кристаллов с Flash-памятью. Значения энергопотребления микросхем, которые выпускают лидеры рынка, колеблются в диапазоне 150–180 мкА/МГц.

Значение энергопотребления на уровне 90 мкА/МГц в активном режиме доступно

Таблица. Ток потребления кристаллов Atmel

Режим работы	UC3B (анонсирован в 2007 году)	UC3L (анонсирован в 2010 году)	SAM4L (анонсирован в 2012 году)
Активный, мкА/МГц	308	165	90
С сохранением данных в ОЗУ, мкА	15	7	1,5
Воспри, мкА	25	0,9	0,7

только в определенном режиме работы кристалла. Это ограничивает круг приложений, где достижимы такие значения потребляемого тока. Цель автора статьи — показать эту особенность, чтобы разработчики не тратили время на освоение кристалла в задачах, где такое ограничение неприемлемо. С другой стороны, для тех проектов, где требуемый режим работы ATSAM4L допустим, это семейство микроконтроллеров действительно сможет обеспечить оптимальное значение энергопотребления при высоких вычислительных возможностях процессорного ядра.

## Применение ATSAM4L в активном режиме

Для достижения лучшего энергопотребления система питания кристаллов ATSAM4L

должна находиться в определенном режиме работы. Схема питания ядра и периферии ATSAM4L приведена на рис. 1.

Особенностью этой схемы является то, что процессорное ядро и цифровые блоки питаются не непосредственно от внешнего источника питания, значения напряжения которого могут быть любыми в диапазоне от 1,68 до 3,6 В, а подключены к встроенному в кристалл регулятору напряжения. Будучи в системе основными потребителями мощности, эти цифровые блоки и процессорное ядро потребляют ток, пропорциональный квадрату напряжения питания. Задача регулятора состоит в том, чтобы обеспечить цифровым блокам и ядру минимальный уровень питания, достаточный для их стабильной работы в заданном режиме, максимально снижая их энергопотребление.

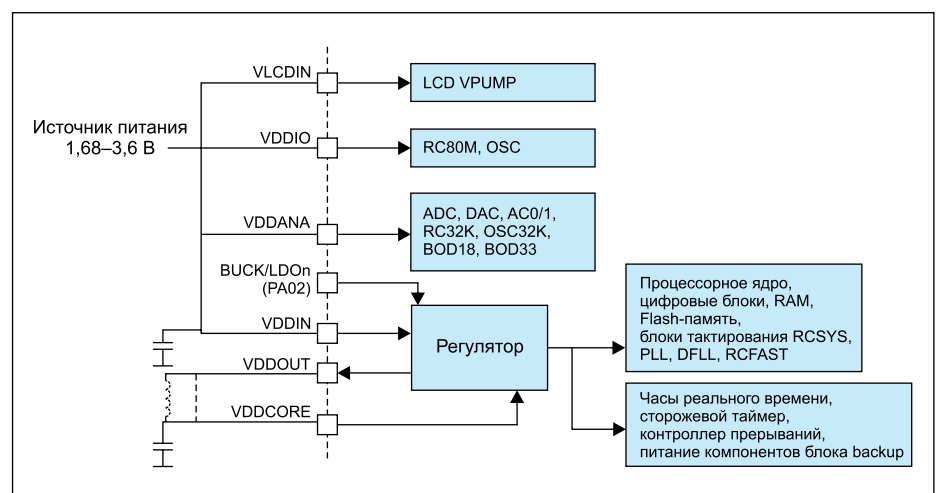


Рис. 1. Схема питания ядра и периферии ATSAM4L

	Напряжение на входе VDDIN				
	1,68 В	1,8 В	2 В	2,3 В	3,6 В
Импульсный режим (BUCK/LDO (PA02)=1)	Недопустимо		Возможно, но не оптимально	Оптимальный режим	
Линейный режим (BUCK/LDO (PA02)=0)	Оптимальный режим			Возможно, но не оптимально	
Максимальная тактовая частота ядра процессора	до 12 МГц		до 12 МГц при PS = 1 до 48 МГц при PS = 0		
Возможные режимы работы регулятора (PS)	PS = 1		PS = 0 либо PS = 1		
Типовые значения энергопотребления в активном режиме	~212 мкА/МГц при Fcpu = 12 МГц ~180 мкА/МГц при Fcpu = 48 МГц		~100 мкА/МГц при Fcpu = 12 МГц и Vddin = 3,3 В ~180 мкА/МГц при Fcpu = 48 МГц и Vddin = 3,3 В		
Ток в режиме «сна» с хранением данных в ОЗУ	1,5 мА				

Рис. 2. Особенности применения кристаллов ATSAM4L

Регулятор напряжения питания может работать в двух режимах: импульсном и линейном. То, в каком режиме может и/или должен инициализироваться регулятор, определяется уровнем напряжения питания на входе микросхемы и требуемой частотой запуска ядра процессора. Режим работы задается уровнем сигнала на линии BUCK/LDO во время включения питания.

На рис. 2 приведены критерии выбора режима работы регулятора напряжения и ограничения, налагаемые каждым из режимов.

Среди представленных на рис. 2 значений одним из параметров, налагающим ограничения, является значение бита PS (power scaling). Этот бит фактически является сигналом управления регулятором напряжения, который при значении PS = 0 формирует выходное напряжение 1,8 В, а при PS = 1 — напряжение 1,2 В. Процессорное ядро, в соответствии с рисунком, при напряжении питания 1,2 В может работать на частоте до 12 МГц, а при уровне питания 1,8 В — на частоте до 48 МГц.

В результате анализа представленной информации можно сделать следующий вывод: минимальное энергопотребление доступно при условии запуска процессора на единственной тактовой частоте 12 МГц при импульсном режиме работы регулятора с выходным напряжением 1,2 В. Это и есть тот самый режим, о котором было сказано в начале статьи.

Но обозначенный режим работы регулятора напряжения и тактовая частота процессора 12 МГц — не единственные требования для достижения энергопотребления 90 мкА/МГц. Заявленный уровень может быть получен только при условии высокой степени попадания кода в кэш, то есть минимальной частоте обращения к Flash-памяти. В контроллеры

Flash-памяти процессоров ATSAM4L интегрирован блок PicoCache (рис. 3), который содержит отдельную область ОЗУ размером 2 кбайт, куда по определенному алгоритму кэшируются команды, считанные ранее из Flash-памяти.

Для демонстрации возможности достижения заявленных значений энергопотребления в активном режиме производитель приводит пример поиска 64 значений простых чисел по представленному им коду программы:

```
primes[0] = 1;
for (i = 1; i < PRIM_NUMS; ) {
    for (n = primes[i - 1] + 1; n++)
        for (d = 2; d <= n; d++)
            if (n == d) {
                primes[i] = n;
                goto nexti;
            }
            if (n % d == 0) break;
    }
    nexti:
    i++;
}
```

Проверка проекта на фирменном отладочном комплекте ATSAM4L-EK показывает реальность этих цифр: при циклическом выполнении этого кода процессором ATSAM4LC4CA на частоте 12 МГц энергопотребление составляет 92 мкА/МГц. Эксперименты показали, что при выполнении кода, написанного не оптимальным образом, процессор будет потреблять ток в диапазоне от 1,21 до 1,32 мА, то есть в пересчете на 1 МГц получают значения 100–110 мкА/МГц. При выполнении различных блоков оптимального кода на использованном измерителе тока фиксируются значения от 1,05 до 1,12 мА, то есть в пересчете на 1 МГц — 0,88–0,93 мА/МГц. В ин-

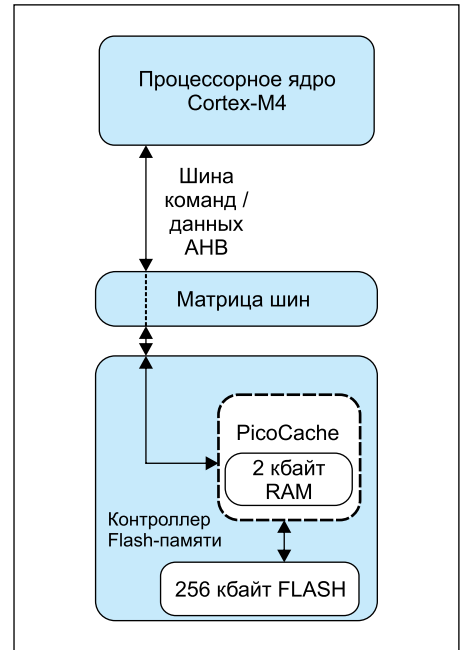


Рис. 3. Считывание команд с использованием PicoCache

формации, полученной по каналам технической поддержки Atmel, сказано, что при минимальных значениях тока потребления свои коррективы вносит процессорное ядро, которое имеет небольшие отличия в токе потребления в зависимости от того, какие группы команд оно выполняет.

### Применение в режимах энергосбережения

В последнее время большинство производителей, достигнув предела технологических возможностей по снижению энергопотребления кристаллов в активном режиме, стали повсеместно продвигать новые идеи и технологии для обеспечения максимальной функциональности процессоров в режимах энергосбережения. Известно, что в типовых батарейных приложениях можно позволить процессорному ядру без ущерба для функциональности пребывать в выключенном состоянии более 80% времени работы всего устройства. Поэтому для улучшения общего энергопотребления рассматриваются различные режимы «сна», а для минимизации частоты пробуждения ядра периферия процессора наделяется дополнительными функциями.

В кристаллах серии ATSAM4L имеются такие возможности, которые добавляют периферийным блокам собственную «интеллектуальность»: они еще в прошлые годы были реализованы Atmel в идеологии PicoPower. Среди них:

- Система событий, которая обеспечивает передачу команд между периферийными блоками без участия процессорного ядра.
- Технология SleepWalking, осуществляющая оценку входных условий перед пробуждением процессорного ядра.

Оценка системой SleepWalking входных данных в периферийном блоке, являющемся источником пробуждения ядра, снижает вероятность ненужных пробуждений процессорного ядра за счет того, что формирование сигнала пробуждения передается ядру только при условии выполнения определенных требований к данным в этом периферийном блоке. Такими условиями могут быть, например, проверка уровня входного аналогового сигнала на предмет пересечения заданного порога либо проверка адреса получателя, поступившего по шине I<sup>2</sup>C, с адресом пробуждаемого устройства.

Одним из режимов энергосбережения ATSAM4L является Retention mode, в котором сохраняется содержимое ОЗУ и регистров процессора. В этом режиме энергопотребление составит 1,5 мкА, а скорость пробуждения с тактированием от внутреннего RC-генератора будет порядка 1,5 мкс. Интересно, что, затратив дополнительно порядка десятка наноампер в этом режиме, можно добавить активный канал UART, который обеспечит пробуждение ядра либо генерацию события при получении определенной посылки (символа). Это реализуется блоком PicoUART, который имеет единственный режим работы: скорость 9600 бод, 1 стартовый бит, 8 бит данных, 1 стоповый бит, без контроля четности. Блок PicoUART может быть использован во всех, даже более глубоких режимах «сна».

Вывод на экран символов и сообщений с использованием контроллера ЖКИ (даже с эффектами анимации) в ATSAM4LC возможен без участия процессорного ядра. Блок

ЖКИ имеет независимую таблицу символов ASCII и встроенные функции скроллинга и мерцания изображения.

Организовать шифрование данных при их пересылке под управлением DMA можно «прозрачным» для процессора способом — аппаратным блоком шифрования, интегрированным в ATSAM4L.

В целом, чтобы достигнуть заявленных характеристик по энергопотреблению в различных режимах «сна», разработчику необходимо выполнить типовые требования для создания малопотребляющих схем дизайна. Они были подробно описаны в статье [1] применительно к другим процессорам. Перечислим основные, их невыполнение является грубой ошибкой:

- Исключить возможность нахождения в зоне неопределенности логических уровней всех входных сигналов на цифровых линиях. Проверить, что сигналы согласованы с внешними цепями, имеющими другие уровни логических сигналов.
- Логический уровень неиспользуемых линий ввода/вывода должен быть задан внешними либо внутренними цепями микроконтроллера. Линии, запрограммированные на вход, должны быть подтянуты к питанию, а линии, запрограммированные на выход, — к нулю; внутренний подтягивающий резистор должен быть отключен.
- Внешние частотоподающие цепи генераторов должны находиться максимально близко к микросхеме, а соединяющие проводники должны иметь минимальную длину.

- Тактирование всех неиспользуемых цифровых блоков должно быть отключено.

## Заключение

Микроконтроллеры ATSAM4L — весьма специфичный продукт корпорации Atmel в отношении применения его в приложениях с батарейным питанием. И основное его ограничение — тактовая частота, на которой достигаются низкие значения тока потребления в активном режиме. Тактовая частота 12 МГц определенно не является той частотой, на которой должны работать микроконтроллеры такого класса, но популярность и освоенность архитектуры такова, что кристаллы класса ARM7 часто применяются и в тех приложениях, где достаточно 16-, а часто и 8-разрядных процессоров с их невысокими тактовыми частотами. Поэтому при удачном совпадении требований проекта с возможностями ATSAM4L это семейство микроконтроллеров с ядром Cortex-M4 выполнит возложенную на него задачу и сделает это в максимальной степени энергоэффективно. ■

## Литература

1. Курилин А. И. Микроконтроллеры серии C8051F9xx, или Как обеспечить «пожизненную» работу микроконтроллера от одной батарейки // Компоненты и технологии. 2009. № 8.
2. Материалы технического тренинга Atmel FAE training. Грассау, Германия.
3. [www.atmel.com](http://www.atmel.com)