

Микроконтроллеры Pearl Gecko и Jade Gecko: первые «драгоценные камни» среди микроконтроллеров EFM32

Алексей КУРИЛИН
ak@efo.ru

В статье описаны два семейства микроконтроллеров EFM32 нового поколения Gemstones («драгоценные камни») компании Silicon Labs. Эти серии кристаллов именуются Pearl Gecko и Jade Gecko и являются первыми представителями очередного витка развития всего семейства. Специалисты компании сделали очередной шаг в повышении степени интеграции на кристалл широкого набора периферийных блоков, оперативной и Flash-памяти, а также провели работы по улучшению энергопотребления данных устройств.

Важным фактором, влияющим на привлекательность новых кристаллов, стала разумная ценовая политика — производитель предлагает их по меньшей в сравнении с предшествующими кристаллами цене. Их стоимость из расчета потребности проекта в 5000 микросхем в год стартует с \$1,17 (с учетом НДС) и, что важно, не устремляется резко вверх с ростом объема памяти и количества периферии.

Кристаллы EFM32 Pearl Gecko и Jade Gecko наследуют ключевые особенности всего семейства микроконтроллеров EFM32, которые были созданы для применения в устройствах с батарейным питанием — подробно с ними можно ознакомиться в статье [1]. Сегодня сделаем основной акцент на моментах, отличающих новые микросхемы от уже завоевавших популярность серий кристаллов EFM32 Zero Gecko, Harry Gecko, Tiny Gecko, Leopard Gecko, Giant Gecko и Wonder Gecko.

Микроконтроллеры EFM32 Pearl и Jade Gecko выпускаются четырьмя сериями: EFM32PG1, EFM32JG1, EFM32PG12 и EFM32JG12. Их функциональное наполнение показано в таблице. Кристаллы EFM32PG1 и EFM32PG12 построены на процессорном ядре ARM Cortex-M4, а EFM32JG1 и EFM32JG12 — на ядре ARM Cortex-M3. Из них серия с ядром Cortex-M4 ориентирована на применение в задачах, где необхо-

дими насыщенные математические вычисления, а кристаллы с ядром Cortex-M3 можно применить в приложениях, где важнее стоимость компонента (разница в цене при прочих равных может достигать 30%). Между тем, и те и другие ориентированы на задачи, предусматривающие обеспечение работоспособности изделия в автономном режиме максимально длительный срок, исчисляемый годами.

В блок-схемах (рис. 1 и 2) показана структура кристаллов EFM32PG/JG1 и EFM32PG/JG12 — они попарно имеют одинаковые периферийные блоки. На рис. 1 значком NEW отмечена периферия, которая впервые появилась у EFM32 Pearl и Jade Gecko, а на рис. 2 — периферия, имеющаяся только у кристаллов серий EFM32PG12 и EFM32JG12.

Ключевая идея, заложенная в EFM32, показана на обоих рисунках в цветовой раскраске периферийных блоков — цвет блока обозначает минимальный режим энергосбережения, в котором блок может быть работоспособен. Так, классический режим энергосбережения, когда микроконтроллер и вся периферия спят, а пробуждение происходит периодически по таймеру, в EFM32 заложен в самый крайний режим энергосбережения — EM4, где потребляемый ток кристалла будет находиться на уровне 0,45–1 мкА в зависимости от используемого таймера и источника тактирования.

Таблица. Ассортимент микроконтроллеров EFM32 Pearl и Jade Gecko

Коды для заказа (XX = объем Flash-памяти и диапазон рабочих температур)	Корпус	Ядро	Объем Flash-памяти, кбайт	Объем ОЗУ, кбайт	Линий ввода/вывода	DC/DC-преобразователь	Блок управления безопасностью	USART/SPI/I ² S	LEUART	I ² C	Таймеров/счетчиков (каналов ШИМ)	LETIMER	Cryotimer	Часы реального времени с календарем	Счетчик импульсов	Сторожевых таймеров	АЦП, выводов	ЦАП, выводов	ЦАП с токовым выходом, выводов	Аналоговых компараторов, выводов	Операционных усилителей	Блок криптографии	Генератор случайных чисел	Блок сенсорных интерфейсов, выводов	Блок LESENSE
PEARL GECKO																									
EFM32PG12B500FXXL125	BGA125	M4F	1024	256	65	+	+	4	1	2	4(14)	+	+	+	+	2	1(54)	1(54)	1(18)	2(54)	3	+	+	1(54)	+
EFM32PG12B500FXXM48	QFN48	M4F	1024	256	33	+	+	4	1	2	4(14)	+	+	+	+	2	1(33)	1(33)	1(18)	2(33)	3	+	+	1(33)	+
EFM32PG1B200FXXM48	QFN48	M4F	128/256	32	32	+	-	2	1	1	2(7)	+	+	+	+	1	1(32)	-	1(18)	2(32)	-	+	-	-	-
EFM32PG1B200FXXM32	QFN32	M4F	128/256	32	20	+	-	2	1	1	2(7)	+	+	+	+	1	1(20)	-	1(14)	2(20)	-	+	-	-	-
EFM32PG1B100FXXM32	QFN32	M4F	128/256	32	24	-	-	2	1	1	2(7)	+	+	+	+	1	1(24)	-	1(14)	2(24)	-	+	-	-	-
JADE GECKO																									
EFM32JG12B500FXXL125	BGA125	M3	1024	256	65	+	+	4	1	2	4(14)	+	+	+	+	2	1(54)	1(54)	1(18)	2(54)	3	+	+	1(54)	+
EFM32JG12B500FXXM48	QFN48	M3	1024	256	33	+	+	4	1	2	4(14)	+	+	+	+	2	1(33)	1(33)	1(18)	2(33)	3	+	+	1(33)	+
EFM32JG1B200FXXM48	QFN48	M3	128/256	32	32	+	-	2	1	1	2(7)	+	+	+	+	1	1(32)	-	1(18)	2(32)	-	+	-	-	-
EFM32JG1B200FXXM32	QFN32	M3	128/256	32	20	+	-	2	1	1	2(7)	+	+	+	+	1	1(20)	-	1(14)	2(20)	-	+	-	-	-
EFM32JG1B100FXXM32	QFN32	M3	128/256	32	24	-	-	2	1	1	2(7)	+	+	+	+	1	1(24)	-	1(14)	2(24)	-	+	-	-	-



Рис. 1. Блок-схема микроконтроллеров EFM32PG1



Рис. 2. Блок-схема микроконтроллеров EFM32PG12

Более важными в кристаллах EFM32 являются другие режимы энергосбережения, в которых помимо часов, генерирующих периодические пробуждения, активны и другие периферийные блоки. В частности, в режиме EM2, где энергопотребление с учетом сохранения данных во всем объеме оперативной памяти составит 2,5 мкА, могут быть активированы все блоки, отмеченные на блок-схеме голубыми и синими оттенками. Как видно из соотношения цветов, в режиме энергосбережения EM2 может использоваться большая часть периферии на кристалле, а значит, обеспечивается высокая функциональность кристалла при выключенном процессорном ядре и малом энергопотреблении. Каждый из периферийных блоков максимально проработан с точки зрения энергопотребления таким образом, чтобы включение любого из них не привело к значительному увеличению общего энергопотребления кристалла.

Для того чтобы минимизировать частоту обращений к процессорному ядру в спящих режимах, EFM32 снабжены периферийной рефлексной системой (PRS), осуществляющей обмен командами между периферийными блоками. Для передачи данных предусмотрен блок прямого доступа к памяти (DMA), который в EFM32 Pearl и Jade Gecko имеет свою особенность — поддерживает возможность организации связанных дескрипторов, которые, в свою очередь, можно закольцевать, организовав непрерывный процесс передачи данных с минимальным участием процессорного ядра. Подобная возможность особенно полезна при приеме и передаче данных по сравнительно медленным коммуникационным интерфейсам, где для сокращения энергопотребления можно отправить процессор в режим сна и осуществить передачу данных без его участия.

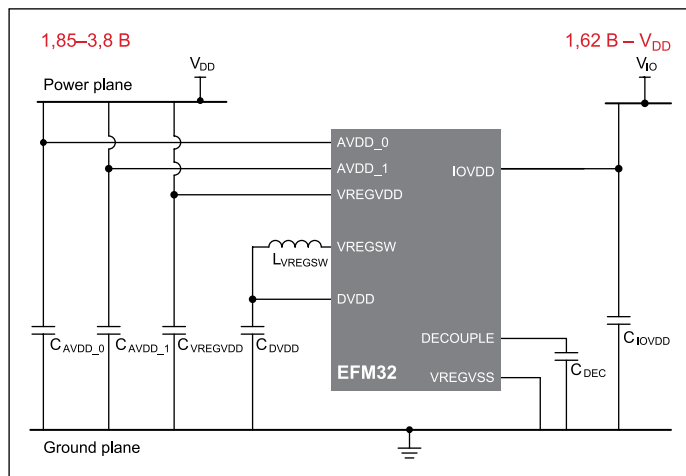


Рис. 3. Организация питания EFM32 Pearl и Jade Gecko при работе от литиевой батареи

Для приложений, связанных с передачей данных за пределы кристалла по проводным и беспроводным каналам связи, полезен интегрированный на кристаллы EFM32 Pearl и Jade Gecko аппаратный криптографический ускоритель, позволяющий реализовать быстрое выполнение алгоритмов шифрования AES с 128- и 256-битным ключом, криптографического хэширования SHA-1, SHA-224/256, а также несимметричных алгоритмов шифрования на эллиптических кривых, реализующих создание цифровых подписей и протоколов обмена сессионными ключами, таких как ГОСТ 34.10-2012, Диффи-Хеллмана, ECDSA.

Для эффективной работы криптографических алгоритмов аппаратно реализован генератор недетерминированных случайных чисел, чьи результаты работы проходят жесткие тесты американского Национального института стандартизации NIST 800-22 и немецкого Федерального управления по информационной безопасности (BSI) AIS-31.

Кристаллы серии EFM32PG/JG12 также снабжены блоком управления безопасностью, который в паре со стандартным для процессоров ARM блоком защиты памяти (MPU) обеспечивает эффективную реализацию привилегированного и непривилегированного режимов работы, организуемых на низком уровне различными операционными системами, обеспечивая защиту доступа к памяти и периферийным блокам на уровне шины данных. Этот подход гарантирует защиту от внедрения в код программы процессора стороннего кода, способного извлечь критические данные либо изменить работу устройства в целом.

К тому же кристаллы EFM32 Pearl и Jade Gecko снабжены блоком контроля целостности данных, аппаратно реализующим хэш-функцию по алгоритму CRC. Он позволяет без участия специального программного обеспечения контролировать корректность данных при реализации протоколов IEEE 802.3/Ethernet, IEC16-MBus, ZigBee, 802.15.4, USB, Bluetooth, а также интерфейсов, использующих протокол CRC-16-CCITT.

Наличие вышеперечисленных аппаратных блоков реализации различных мер защиты позволяет осуществлять защищенное хранение и передачу данных максимально энергоэффективно. Особенно это важно при создании автономных систем удаленного сбора информации с приборов учета энергоресурсов, где пользовательские сведения должны быть защищены согласно федеральному закону 152-ФЗ «О персональных данных», а сам канал связи защищен от немеренного изменения данных с целью сокрытия истинных значений израсходованных ресурсов. Нельзя исключать и тот вариант, что с целью ограбления квартир определенных категорий граждан уже существуют продвинутые грабители, которые, используя слабо защищенный канал связи, могут составить график присутствия и отсутствия хозяев дома.

Еще один блок, предназначенный для уменьшения энергопотребления кристалла, — интегрированный на кристаллы EFM32 Pearl и Jade Gecko контроллер DC/DC-преобразователя. При минимальных накладных расходах он обеспечивает самое низкое напряжение питания, необходимое для цифровой подсистемы. Это требуется для уменьшения ее энергопотребления, которое в активном режиме пропорционально квадрату значения напряжения питания.

В популярном схемотехническом дизайне автономного устройства, где в качестве основного источника питания используется литиевая батарея, оптимальная схема организации питания кристаллов EFM32 Pearl и Jade Gecko с помощью встроенного DC/DC-преобразователя будет соответствовать схеме, приведенной на рис. 3. Здесь требуется одна внешняя индуктивность для работы преобразователя. Выходное напряжение с него может быть запрограммировано в диапазоне от 1,8 В до уровня напряжения на его входе. Выходное напряжение с преобразователя, пониженное до нужного значения, можно задействовать для питания внешних цепей — допустимый предел общей нагрузки составляет 200 мА. Для работы с внешней периферией, предусматривающей уровни логических сигналов меньше 3 В, можно вход питания линий ввода/вывода (VIO) также завести на выход регулятора. Но делать это лучше с кристаллами серии EFM32PG/JG12, поскольку в EFM32PG/JG1 могут потребоваться дополнительные схемотехнические решения для защиты внешних цепей, не поддерживающих 3-В сигналы (подробнее см. руководство по применению AN0948).

Помимо экономии на компонентах, такое решение позволяет реализовать дизайн максимально компактно. Готовое устройство с питанием и тактированием на базе кристалла в корпусе QFN48 помещается в квадрате размером 8×9 мм с односторонним монтажом компонентов.

Очередным, долгожданным для EFM32 блоком, появившимся в кристаллах EFM32 Pearl и Jade Gecko, являются полноценные часы реального времени, которые позволяют считывать соответствующую информацию без дополнительных преобразований. Часы предоставляют возможность установить три будильника и учитывают високосные годы. Для приложений, где требуется пробуждение процессора с определенными интервалами и не нужны данные о времени, кристаллы Pearl и Jade Gecko имеют отдельный блок CRYOTIMER, который организует пробуждение кристалла с заданной периодичностью и помогает дополнительно оптимизировать энергопотребление. Блок доступен вплоть до самого малопотребляющего режима, в котором при тактировании от низкочастотного RC-генератора и сохранением 128 байт ОЗУ, энергопотребление не превышает 400 нА.

Компания Silicon Labs улучшила в этих кристаллах и аналоговую подсистему, поскольку в мире до сих пор широко востребованы первичные преобразователи с аналоговой выходной величиной. В микроконтроллерах EFM32 Pearl и Jade Gecko интегрирован модернизированный АЦП, энергопотребление которого на максимальной частоте дискретизации (1 млн отсчетов/с) составляет всего 300 мкА, к тому же в этих микроконтроллерах он может функционировать в энергосберегающих режимах EM2 и EM3. Это особенно полезно при организации непрерывных преобразований без участия процессорного ядра в режимах EM2 и EM3, где запуск преобразований можно «поручить» таймеру-счетчику, который передает сигнал старта через периферийную рефлексную систему, а результаты преобразований помещаются в буфер FIFO, имеющийся при АЦП, откуда данные забирает контроллер DMA. В свою очередь, АЦП снабжен режимом автоматического сканирования по заданным каналам, результаты преобразования также помещаются в буфер FIFO с указанием номера канала, откуда эти данные получены.

В микроконтроллерах EFM32PG/JG12 интегрировано три операционных усилителя. Они, пожалуй, единственные, кого нельзя включить в список уникальных по энергопотреблению блоков, интегрированных на кристалл, поскольку их минимальное потребление составит 4,7 мкА, что не является уникальным показателем в сравне-

нии с дискретными усилителями. Однако и здесь хорошо заметна работа производителя — в прежних сериях микроконтроллеров EFM32 минимальное значение энергопотребления составляло 13 мкА.

Кристаллы EFM32PG/JG12 оснащены блоком LESENSE. Хотя он и не новый для микроконтроллеров EFM32, но следует помнить о нем и в этих кристаллах, так как он особенно полезен для мониторинга параметров с применением активных R-, L- и C-преобразователей, требующих возбуждения (питания). Блоку LESENSE можно поручить в режиме энергосбережения EM2 контроль до 16 каналов измерения, установив для каждого порог или окно наблюдения, при пересечении которых будет генерироваться прерывание либо событие через периферийную рефлексную систему. По заданному алгоритму блок LESENSE формирует возбуждающие сигналы на каждый датчик и с помощью АЦП либо компаратора контролирует выход наблюдаемого параметра за заданный предел.

Еще одно небольшое, но важное нововведение в кристаллах EFM32PG/JG12, имеющих большой объем Flash-памяти (1 Мбайт), — разделение Flash-памяти на два банка. Это позволяет организовать безопасное обновление кода программ по любому, даже нестабильному каналу связи таким образом, что новый код будет помещен в отдельный банк памяти, затем пройдет его проверка на совместимость и целостность с помощью контрольных и хэш-сумм, и только затем будет осуществлен переход на выполнение. Это обеспечивает гарантированную работу устройства, которое не окажется неработоспособным из-за обрыва связи при получении новой версии программы, а также защищает от запуска на кристалле видеоизмененного кода, созданного сторонними лицами, либо кода, предназначенного для другой аппаратной версии устройства.

Кристаллы EFM32PG/JG12 имеют значительный для такой ценовой категории и размеров объем оперативной памяти — 256 кбайт. Этот объем может быть разбит на блоки для организации одновременного доступа к ней по разным шинам. Помимо хранения оперативных данных, она может быть также полезна для снижения энергопотребления кристалла — в нее можно скопировать наиболее часто используемые блоки программы и выполнять их непосредственно из ОЗУ, минимизировав обращения к Flash-памяти, являющейся заметным потребителем энергии.

Также следует отметить новый блок цифрового ФАПЧ, интегрированного на кристаллы EFM32PG/JG12. С его помощью удастся получить стабильный высокочастотный тактовый сигнал, используя в качестве опорного сигнал с низкочастотного генератора с часовым кварцем. Это имеет значение в целях экономии не только на лишнем резонаторе, но и на времени запуска процессора при переходе из спящего в активный режим: время запуска генератора с выходной частотой 40 МГц с ФАПЧ на базе низкочастотного генератора с часовым кварцем (который обычно включен для работы часов реального времени) составит 183 мкс, притом что запуск высокочастотного кварцевого генератора занимает порядка 300 мкс.

Значительный шаг в развитии EFM32 Pearl и Jade Gecko сделан в показателях энергопотребления кристалла в активном режиме — их ток потребления может достигать 63 мкА/МГц при выполнении программы из Flash-памяти на высокой тактовой частоте. Этот показатель крайне важен для кристаллов EFM32, так как компания Silicon Labs предлагает свои микросхемы в том числе для тех задач, где должны реализовываться достаточно сложные протоколы беспроводной передачи данных, где процессор вынужден достаточно часто переходить в активный режим для упаковки или распаковки пакетов данных и мониторинга принимаемого трафика.

Микроконтроллеры с процессорными ядрами Cortex-M3 и Cortex-M4 с энергопотреблением в активном режиме на уровне 63 мкА/МГц на сегодняшний день не может предложить ни один производитель в мире, кроме компании Silicon Labs. В приложениях с батарейным питанием, где частота пробуждения кристалла достаточно высока, указанный параметр имеет важное значение, поскольку в таких случаях вклад в среднее энергопотребление кристалла становится значительным.

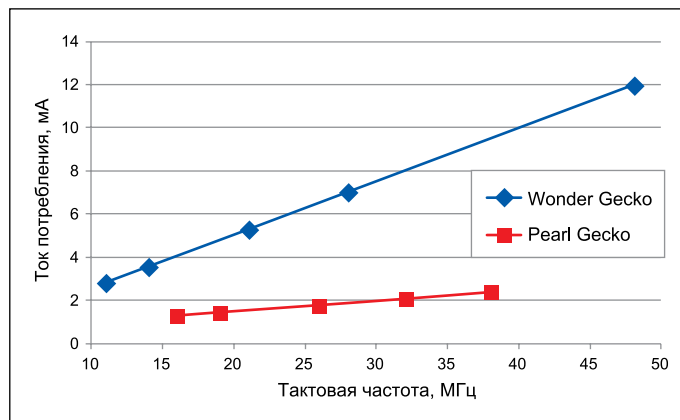


Рис. 4. Ток потребления микроконтроллеров серий EFM32 Pearl и Wonder Gecko

Для подтверждения заявленных производителем показателей энергопотребления микросхем EFM32 Pearl и Jade Gecko было решено проверить значение энергопотребления в активном режиме, поскольку разные производители обычно приукрашивают эту величину, скрывая условия, при которых она получена (одни показывают ее при выполнении бесполезной операции NOP, другие — при выполнении программы из ОЗУ и т. д.).

Для измерений использован фирменный отладочный комплект SLSTK3401A. В нем на плате распаян микроконтроллер EFM32PG1B200F256GM48, и организованы цепи для измерения тока потребления микросхемы и передачи данных на ПК для построения графика и вычисления среднего значения потребляемого тока.

В качестве тестовой программы применен код, выполняющий в цикле поиск простых чисел. Такая программа, конечно, не является идеальной для демонстрации всех вычислительных возможностей процессорного ядра, зато многие производители приводят значения энергопотребления своих кристаллов при осуществлении такой программы, и полученные величины уже можно сопоставлять.

Измеренные значения потребляемого тока приведены на рис. 4. В качестве референтной группы представлены результаты измерений на такой же плате с микроконтроллером предыдущего поколения EFM32 серии Wonder Gecko, построенного на процессорном ядре Cortex-M4, где была запущена эта же программа.

Здесь видно, что кристаллы серии Pearl Gecko в активном режиме имеют значительно меньшее энергопотребление в сравнении с кристаллами серии Wonder Gecko, которые, в свою очередь, успешно применяются в различных устройствах, где требуется обеспечить крайне длительную автономную работу. В абсолютных цифрах удельное потребление всего кристалла Pearl Gecko на тактовой частоте 38 МГц составляет 63 мкА/МГц — ровно столько, сколько указано в документации на кристалл. Удельное потребление плавно растет с понижением частоты — начинают более выражено проявляться токи потребления обвязывающих блоков (тактирования, Flash-памяти, шин), уменьшающиеся нелинейно.

Для объективности следует отметить, что более низкие токи потребления EFM32 Pearl Gecko в большой мере обеспечены пониженным напряжением питания их цифровой подсистемы, так как на фирменной отладочной плате и используемом программном обеспечении задействован DC/DC-преобразователь, которого на кристалле и на плате для Wonder Gecko не реализовано. Тем не менее усилия по получению заметно меньшего энергопотребления минимальны, а результат — значителен.

Заключение

В статье описаны особенности кристаллов серий EFM32 Pearl и Jade Gecko, отличающие их от остальных представителей микроконтроллеров EFM32. Но характерные черты самого семейства EFM32 так-

же достойны того, чтобы быть изученными читателем, не знакомым с микроконтроллерами EFM32, — эти процессоры уникальны по сочетанию возможностей, энергопотреблению и, что крайне важно, цене. В новых EFM32 Pearl и Jade Gecko сделан очередной шаг в повышении степени интеграции на кристалл широкого набора периферийных блоков, оперативной и Flash-памяти и проведены работы по улучшению энергопотребления, а главное, бóльшие возможности предостав-

ляются за меньшие деньги. Кроме того, версии с Flash-памятью 1 Мбайт компания предлагает по уникальной цене, чего пока не сделал ни один другой производитель.

Дальнейшее развитие семейства EFM32 будет включать новые микросхемы с большим количеством выводов и новыми коммуникационными блоками, которые в EFM32 ранее не встречались. Для приложений с беспроводными коммуникациями следует обратить внимание на однокристалльные микросхемы

серии EFR32, построенные на базе микроконтроллеров EFM32 Pearl Gecko и Jade Gecko, снабженные радиочастотным трактом, реализующим широкий спектр протоколов беспроводной связи. ■

Литература

1. Курилин А. Микроконтроллеры Gecko для реализации счетчиков воды, газа, тепла и электроэнергии // Компоненты и технологии. 2013. № 9.