

# Микроконтроллеры Gecko для реализации счетчиков воды, газа, тепла и электроэнергии

Алексей КУРИЛИН  
ak@efo.ru

В последние годы многие российские фирмы — производители различных электронных приборов стали выходить на массовый рынок автоматизированных систем учета газа, воды, тепла и электроэнергии. При реализации таких систем каждый разработчик применяет разные, как правило, уже знакомые по прежним разработкам микроконтроллеры, среди которых удается найти подходящий по ключевым параметрам кристалл, который и закладывается в основу устройства.

## Введение

Среди микроконтроллеров, подходящих для создания бытовых счетчиков, оптимальным является тот, который за наименьшие деньги позволяет реализовать устройство, обеспечивающее функции получения данных с первичного преобразователя, отображения накопленных данных и передачу информации по предусмотренному каналу связи с центральным блоком. Длительность работы такого устройства от предусмотренного источника питания (как правило, батарейки) должна исчисляться годами.

В статье описаны микроконтроллеры семейства Gecko норвежской фирмы Energy Micro, приобретенной в этом году американской компанией Silicon Labs. При выборе микроконтроллера для реализации бытового расходомера мы рекомендуем обратить внимание на кристаллы Gecko, так как специалисты из Energy Micro изначально задумывали и прорабатывали их как микропотребляющие микроконтроллеры и в первую очередь — для рынка бытовых расходомеров. На сегодня эти микроконтроллеры, несмотря на малую известность в России, уже используются в счетчиках газа, воды, тепла и элек-

троэнергии, выпускаемых серийно на европейском и азиатском рынках.

## Общая информация

Микроконтроллеры семейства Gecko разных серий построены на базе ядер Cortex-M3 и Cortex-M4. Ближе к IV кварталу 2013 года будут доступны и микроконтроллеры с ядром Cortex-M0+.

В модели этого семейства интегрированы различные блоки, как типичные для универсальных 32-разрядных микроконтроллеров, так и специализированные, характер-

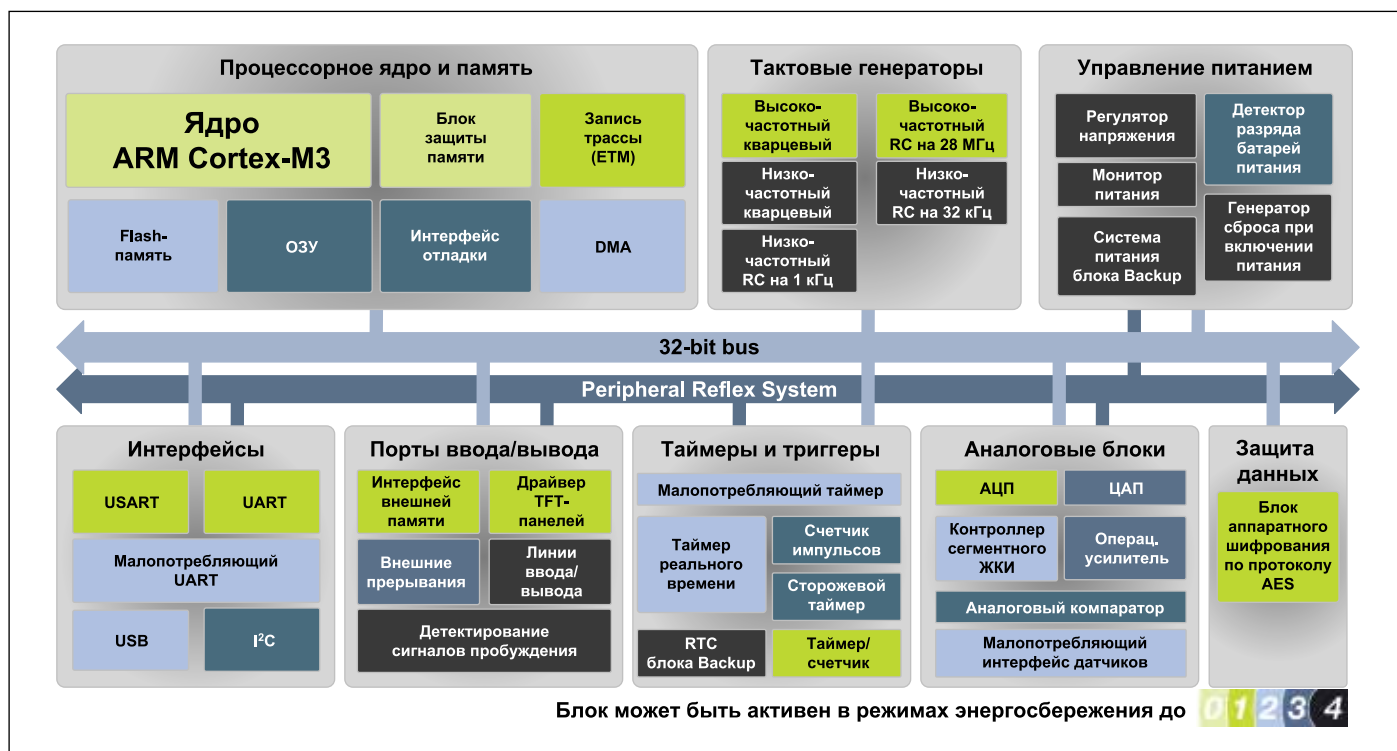


Рис. 1. Периферийные блоки микроконтроллеров Leopard Gecko

ные именно для микроконтроллеров Gecko. На рис. 1 приведены функциональные блоки, интегрированные в серию микроконтроллеров Leopard Gecko. На этом рисунке пятью цветами указаны самые малопотребляющие режимы, в которых доступен каждый из имеющихся блоков.

При реализации малопотребляющего изделия важно, чтобы процессорное ядро, как основной потребитель энергии, находилось в состоянии энергосбережения, а периферийные блоки могли при этом выполнять свои основные функции, привлекая процессорное ядро лишь в исключительных случаях.

В процессорах Gecko предусмотрены различные режимы энергосбережения. Для реализации бытовых расходомеров, по мнению автора, самым интересным с точки зрения энергопотребления и функциональности является режим энергосбережения EM2 (Deep sleep). Именно в этом режиме может быть активна и функциональна практически вся периферия, которая необходима для создания счетчика. В режиме глубокого сна устройство сможет находиться максимально продолжительное время, производя при этом большинство необходимых в таком узле операций. Типовое энергопотребление кристаллов Gecko в нормальных условиях в режиме EM2 составляет около одного микроампера, а максимальное значение при +85 °C — от двух до четырех микроампер, в зависимости от серии кристалла. И при таком энергопотреблении учтены как хранение данных в RAM, так и часы реального времени и монитор питания.

Рассмотрим возможности и особенности периферийных блоков кристаллов Gecko, благодаря использованию которых можно реализовать бытовой расходомер, который будет заметно отличаться по показателям энергопотребления от устройств, выполненных на 32-разрядных микроконтроллерах других производителей.

### Счетчик импульсов

В качестве источника измерительной информации в счетчиках воды и газа часто используются компоненты либо готовые конструктивы, имеющие импульсный выход с нормированной ценой импульса. Измерительная составляющая электронной части таких приборов заключается в счетчике, считающем эти импульсы.

В микроконтроллерах Energy Micro предусмотрен специальный аппаратный блок, осуществляющий эту функцию. Он представляет собой 8- либо 16-битный реверсивный счетчик импульсов, поступающих на отдельный вывод микроконтроллера. При достижении заданного числа импульсов может быть сгенерировано прерывание, позволяющее «разбудить» устройство, чтобы процессор, который был заранее активизирован,

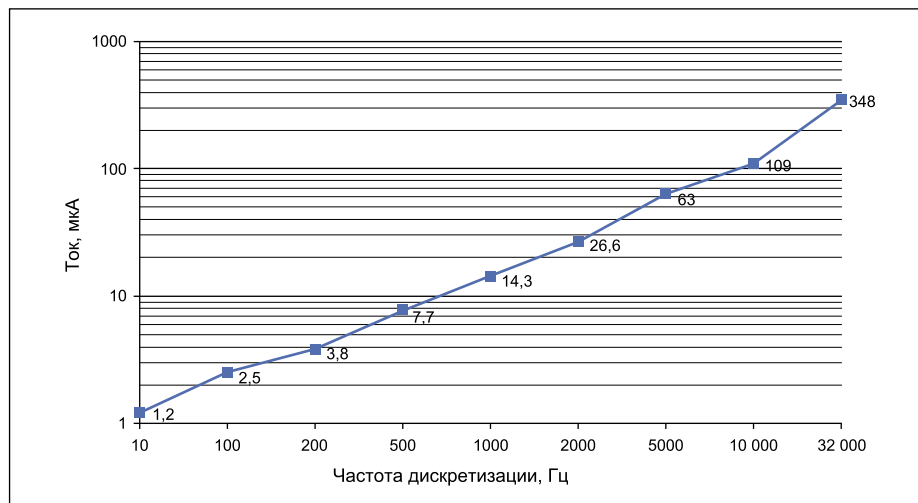


Рис. 2. Энергопотребление АЦП кристаллов Gecko в зависимости от частоты дискретизации

мог принять накопленные данные, что исключает вероятность переполнения счетчика и потери данных. Для предотвращения счета импульсных помех предусмотрена фильтрация входного сигнала.

Счетчик импульсов в отличие таймера/счетчика дает заметную выгоду по энергопотреблению. Он может быть использован даже в режиме EM3, энергопотребление в котором с включенными часами реального времени и хранением 512 байт данных в ОЗУ составляет всего 600 нА. Включенный счетчик импульсов добавит к этому значению дополнительно всего 100 нА.

Использование счетчика импульсов с примерами кода подробно описано в руководстве по применению AN0024.

### Аналоговые блоки

При реализации приборов учета с первичными преобразователями без блоков преобразования аналогового сигнала могут быть использованы интегрированные в микроконтроллеры Gecko развитые аналоговые блоки: АЦП, ЦАП, аналоговые компараторы, операционные усилители, а также малопотребляющий интерфейс датчиков, детектирующий события на заданном аналоговом входе. Их основные особенности:

1. 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь последовательного приближения обеспечивает преобразование входного аналогового сигнала с частотой до 1 млн отсчетов в секунду. Энергопотребление блока при максимальном значении частоты дискретизации составляет порядка 350 мкА, что крайне редко встречается у микроконтроллеров со встроенными аналого-цифровыми преобразователями с таким быстродействием. Преобразования на меньшей частоте дискретизации обеспечат дополнительную экономию энергии (рис. 2).

Для уменьшения энергопотребления в задачах, где нет необходимости в 12-разряд-

ной точности преобразования, могут быть использованы дополнительные 8- либо 16-битные режимы, в которых заметно уменьшается время этой операции.

Блоки АЦП могут использовать встроенные в кристаллы Gecko источники опорного напряжения на 1,25; 2,5 и 5 В, линию питания либо внешние источники опорного напряжения. Также обеспечивается возможность дифференциального включения некоторых источников опорного напряжения.

Правила работы с АЦП для реализации преобразований с минимальным энергопотреблением детально описаны в руководстве по применению AN0021. В этом документе также приведены режимы работы всего микроконтроллера, в которых можно получить максимально энергоэффективный код при преобразовании входных аналоговых сигналов.

2. Двухканальный 12-разрядный цифро-аналоговый преобразователь в кристаллах Gecko обеспечивает типовую функциональность, свойственную современным микроконтроллерам с интегрированным ЦАП. Зато энергопотребление в режиме максимальной частоты преобразований (500000 преобр./с) обеспечено в этих кристаллах на уровне 400 мкА, а в режиме 1000 преобр./с — 38 мкА.

В блоке ЦАП дополнительно предусмотрен режим автоматической генерации синусоидальных импульсов. Выходной сигнал в этом режиме аппаратно рассчитывается по встроенной в ЦАП таблице коэффициентов преобразования на 16 отсчетов на период.

3. В микроконтроллерах Gecko встраиваются до трех операционных усилителей, позволяющих организовать несколько каскадов усиления входного аналогового сигнала. Эти операционные усилители могут быть запрограммированы на различные режимы энергопотребления (ток потре-

бления — от 13 до 400 нА), устанавливаемые в зависимости от требуемой ширины полосы пропускания входного сигнала. Предусмотрена возможность подключения к входам усилителей сигналов с выходом встроенного ЦАП.

4. Аналоговые компараторы в кристаллах Gecko имеют режимы работы, обеспечивающие различные соотношения энергопотребления и времени реакции на событие. В режиме работы с минимальным энергопотреблением время реакции составляет 4,5 мкс, а типовое значение потребляемого тока — 100 нА.

5. Малопотребляющий интерфейс датчиков предназначен для фиксации событий в схемах измерения аналогового сигнала. Под событием в данном случае понимается достижение входным аналоговым сигналом заданного уровня либо, другими словами, пересечение определенного порога. Этот интерфейс крайне интересен, несмотря на то, что АЦП некоторых микроконтроллеров уже имеют похожую функцию. Но этот блок позволяет детектировать события в малопотребляющих режимах вплоть до EM2, а его энергопотребление не превышает 2 мкА.

Малопотребляющий интерфейс датчиков может быть использован вместе с емкостными, индуктивными либо резистивными первичными преобразователями. В таких цепях можно организовать аппаратную подстройку аналоговых цепей для получения точных измерений на больших и малых уровнях входных аналоговых сигналов. Его можно использовать и для реализации простейшего алгоритма определения времени выхода ЦАП в рабочий режим, что позволит вычислить требуемую временную задержку в реальной схеме измерения аналоговых сигналов, использующей ЦАП в качестве источника опорного сигнала.

При реализации различных методик измерений, где информационным является импульс аналогового сигнала, а не его величина, важно, чтобы при потоке сигналов на каждом импульсе процессору не приходилось пробуждаться. В кристаллах Gecko малопотребляющий интерфейс датчиков вместо генерации прерывания может формировать сигнал, который через встроенную цифровую систему событий может быть передан на вход таймера/счетчика.

Этот блок также можно использовать и для реализации интерфейса пользователя, например, можно реализовать пробуждение микроконтроллера при нажатии на сенсорную кнопку либо организовать детектирование вскрытия прибора с использованием оптических датчиков.

В счетчиках газа, например, этот интерфейс вкупе с имеющимися на кристалле операционными усилителями может служить для детектирования утечек газа с помощью электрохимических детекторов метана, что

в итоге не создаст дополнительной нагрузки на батарею, но обеспечит такую важную для устройства функцию.

Применение малопотребляющего интерфейса датчиков описано в руководствах по применению AN0028, AN0029, AN0036 и AN0053.

## Блок Backup

Для хранения в устройстве критичных данных (например, результатов измерений) в микроконтроллерах Gecko предусмотрен блок Backup. Для питания этого блока есть отдельный вход, что позволяет создать несложную схему, которая, в случае отключения основного источника питания, будет использовать резервный источник. В микроконтроллере предусмотрен специальный режим энергосбережения EM4, переключение в который может происходить по сигналу от монитора питания, генерируемого в случае «проседания» основного питания.

Блок Backup включает в себя:

- 512 байт оперативной памяти.
- 32-битный таймер реального времени с функцией фиксации временной метки отключения основного питания.
- Регулятор напряжения.
- Три генератора тактовых сигналов, что позволяет выбрать оптимальное соотношение стабильности частоты и энергопотребления.

Этот блок может быть полезен даже для поддержки возможности плановой замены батарей питания в устройстве: эксперименты показали, что на имеющемся в цепи питания Backup конденсаторе емкостью 470 мкФ блок сохраняет работоспособность еще в течение получаса.

Подробное описание блока Backup с примерами кода приведено в руководстве по применению AN0041.

## Контроллер ЖКИ

Для отображения информации на сегментном ЖК-дисплее в микроконтроллерах Gecko на кристалле есть контроллер ЖКИ. Он имеет уже привычные для контроллеров такого типа функции анимации изображения и мерцания заданных сегментов.

Энергопотребление самого контроллера ЖКИ во включенном режиме сравнительно мало. Для примера, при управлении дисплеем с количеством сегментов 4×40 энергопотребление контроллера может составлять порядка 550 нА. В то же время сегменты, управление которыми непосредственно осуществляет контроллер ЖКИ, являются емкостной нагрузкой и в зависимости от конкретного исполнения дисплея могут заметно увеличить ток, потребляемый контроллером ЖКИ.

Существуют различные способы для уменьшения энергопотребления конеч-

ной реализации отображения информации на ЖК-дисплее. Это можно сделать, обеспечив на сегментах дисплея управляющие сигналы специальной формы, снизив частоту обновления данных на дисплее или уменьшив до разумного предела контрастность изображения. Освоить основные подходы позволяют программные компоненты из руководства AN0057, где также приведены рекомендации по портированию этой библиотеки для использования ее с другими дисплеями.

## Последовательные интерфейсы

В кристаллах Gecko реализован малопотребляющий интерфейс UART (Low energy UART). Этот интерфейс доступен в самых глубоких режимах сна (кроме EM4) и может быть использован в качестве источника пробуждения кристалла при получении извне определенного символа. Это позволяет реализовать систему, где инициатором процедуры сбора данных будет центральный узел, пробуждающий другие узлы системы, находящиеся в глубоком сне. В качестве канала коммуникации в такой системе можно будет использовать привычный шинный интерфейс RS-485 либо M-BUS, специально разработанный для объединения измерителей в сеть.

Для устройств, являющихся роутерами в других типах сетей, кристаллы Gecko обеспечивают возможность получения всей посылки перед пробуждением процессора. Это осуществляется благодаря взаимосвязанной работе малопотребляющего интерфейса UART с контроллером DMA, который может осуществить пересылку нужного количества байт данных, принимаемых по UART, в оперативную память, доступную и в режиме энергосбережения EM2.

Энергопотребление малопотребляющего интерфейса UART при передаче данных на скорости 9600 бит/с составляет 150 нА, поэтому ощутимой дополнительной нагрузки на источник питания такая реализация канала связи не окажет. В качестве источника тактирования этого блока может быть использован любой из интегрированных на кристалле низкочастотных генераторов.

## Блоки шифрования

Для реализации в системе защищенных каналов связи между узлами сбора данных и концентраторами необходима реализация различных протоколов шифрования. Микроконтроллеры Gecko имеют на кристалле блок для аппаратного шифрования по алгоритму AES со 128- и 256-битным ключом. Он обеспечивает ускорение операций шифрования в 20–80 раз в сравнении с программной их реализацией, что заметно скажется на энергопотреблении, особенно

если передача данных будет организована прозрачным образом под управлением контроллера DMA, когда ядро находится в выключенном состоянии.

Для реализации хранения данных, устойчивого к внешним атакам, а также для организации несимметричных алгоритмов шифрования можно применить недорогие специализированные микросхемы серии VaultIC фирмы Inside Secure. Эти микросхемы, специально созданные для хранения и шифрования данных, смогут выполнить свою основную задачу в максимальной степени энергоэффективно.

### **Мониторинг батарей питания**

Для реализации важной для батарейных приложений функции мониторинга питания в микроконтроллерах Gecko есть отдельный блок. Он обеспечивает возможность генерации прерывания в случае снижения напряжения питания до заданного уровня. Порог может быть выставлен программно в диапазоне от 1,8 до 3,8 В с шагом в 30 мВ.

Энергопотребление блока мониторинга батарей питания не превышает 100 нА. Такой малый потребляемый ток позволяет держать блок включенным все время работы устройства. Тем не менее для дополнительной экономии батареи питания можно использовать этот блок исключительно в моменты пробуждения микроконтроллера, если, конечно же, в устройстве задана определенная периодичность пробуждения.

Использование этого и других блоков, связанных с системой питания, описано в руководстве по применению AN0018.

### **Малопотребляющий таймер**

В кристаллах Gecko также интегрирован малопотребляющий 16-битный таймер, доступный в режиме сна EM2. Его энергопотребление не превышает 150 нА. Этот таймер может запускаться как программно, так и по сигналу Compare часов реального времени. Таким образом обеспечивается воз-

можность учета времени, прошедшего с момента пробуждения устройства по сигналу RTC, либо может быть организован перевод процессора в сон по истечении определенного времени. То есть формируются четко заданные временные отрезки, когда микроконтроллер активен.

Малопотребляющий таймер содержит блок генерации ШИМ-модулированных сигналов. Его можно использовать для работы цепей измерения либо для реализации интерфейса пользователя. Так, например, можно задействовать его для оповещения пользователя в случае детектирования разряда батареи питания. Это можно сделать, реализовав малопотребляющий режим светодиодной индикации либо сформировав звуковые сигналы на дешевом пьезоэлектрическом преобразователе без генератора.

### **Заключение**

В статье описаны ключевые блоки кристаллов Gecko, которые могут быть использованы для реализации счетчиков газа, воды, тепла и электроэнергии. Эти устройства с кристаллами Gecko можно наделить как необходимым, так и полезным дополнительным сервисным функционалом, обеспечив при этом продолжительное время работы устройства.

В статье не было описано множество блоков, имеющих в различных сочетаниях на кристаллах Gecko и свойственных микроконтроллерам этого класса других производителей.

Также отметим, что создатели фирмы Energy Micro — известные фигуры в мире микроэлектроники, они много лет проработали на этом рынке и занимали руководящие посты в таких фирмах, как ChipCon, Atmel, Texas Instruments и Silicon Labs. К этой команде даже присоединился один из создателей архитектуры AVR Alf-Egil Vogen. Поэтому можно быть уверенным в том, что идеи и их реализация, заложенные в микроконтроллеры Gecko, позволят еще долгое время удерживать на лидирующих позициях описанные в статье кристаллы. ■