

# МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ EFM32 КОМПАНИИ ENERGY MICRO – УЛЬТРАНИЗКОЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ ПРИ ВЫСОКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Н.Елисеев, к.т.н.

М.Стариченков mikhail.starichenkov@eltech.spb.ru

Резкий рост применения приборов с батарейным питанием вызвал необходимость увеличения срока службы батарей в этих устройствах. Это важно и с точки зрения удобства их использования, и из экологических соображений, и в плане снижения расходов на эксплуатацию [1]. В то же время в приложениях, где используются такие приборы, все более повышаются требования к производительности применяемых в них микроконтроллеров. Поэтому перед создателями микроконтроллеров стоит очень сложная задача – обеспечить максимально низкое энергопотребление, сохранив при этом высокую производительность. С этим успешно справилась компания Energy Micro, создав высокопроизводительные микроконтроллеры EFM32 с энергопотреблением, намного меньшим, чем у аналогов.

**К**омпания Energy Micro – производитель микроконтроллеров и радиочастотных приемопередатчиков. Она была основана в 2007 году специалистами, имевшими опыт работы в Chipcon, Texas Instruments, Atmel and Nordic Semiconductor. Офис компании расположен в Осло (Норвегия). Основная продукция Energy Micro – семейство 32-разрядных микроконтроллеров EFM32 (рис.1) [2]. Микроконтроллеры построены на ядре ARM Cortex-M3 или ARM Cortex-M0 и оснащены богатым набором периферийных устройств. Среди них набор тактовых генераторов, системы управления энергопотреблением, ряд последовательных интерфейсов, порты ввода-вывода, таймеры, ЦАП, АЦП, системы безопасности и др. (рис.2, табл.1) [3, 4]. Напряжение питания микроконтроллеров EFM32 – от 1,8 до 3,8 В, диапазон рабочих температур – от -40 до 85°C.

Семейство EFM32 включает четыре основные серии микроконтроллеров: Zero Gecko, Tiny Gecko, Gecko и Giant Gecko (Gecko – в переводе с английского геккон – ящерица, изображение которой является их логотипом). В контроллерах Zero Gecko используется ядро ARM Cortex-M0, в остальных – более мощное ARM Cortex-M3. Серии

различаются также размерами корпусов, объемами памяти, числом интерфейсов и другими параметрами (см. табл.1).

Главная особенность всех микроконтроллеров EFM32 – очень низкое энергопотребление. По данным компании Energy Micro, оно намного меньше, чем у других 8-, 16- и 32-разрядных микроконтроллеров сопоставимой функциональности и производительности. Чтобы обеспечить столь низкое энергопотребление, компания Energy Micro применила целый ряд решений.

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Общая идея энергосберегающих решений такова. Энергия – это произведение мощности на время. Мощность, потребляемая микроконтроллером, зависит от режима его работы – в активном режиме она намного больше, чем в спящем режиме (рис.3) [5]. Суммарное же энергопотребление зависит от уровней мощности в каждом режиме и соотношения длительностей этих режимов. Поэтому, чтобы минимизировать энергопотребление микроконтроллера, нужно, с одной стороны, снизить уровни мощности как в активном, так и в спящем режимах, а с другой – уменьшить время работы в активном режиме. Посмотрим,



Рис.1. Микроконтроллеры EFM32

за счет чего решены эти задачи в микроконтроллерах EFM32.

**Малая потребляемая мощность в активном режиме.** В активном режиме микроконтроллеры EFM32 могут потреблять всего 160 мА/МГц при частоте процессора 32 МГц. Следует отметить, что эта цифра получена при напряжении питания 3 В. В то же время у других производителей значения потребляемой энергии приводятся для минимально возможного напряжении питания [1]. Но поскольку в реальных приложениях напряжение диктуется используемыми источниками питания, то микроконтроллеры должны обладать высокой энергоэффективностью не только при минимальном, но и при более высоких уровнях напряжения. Низкое энергопотребление в активном режиме достигнуто, в частности, за счет оптимизации использования различных тактовых генераторов – как для процессора, так и для периферийных устройств.

**Высокая производительность.** За счет высокой производительности процессоров Cortex-M3

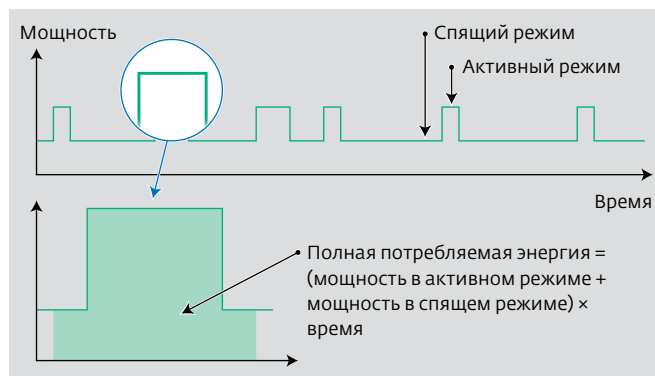


Рис.3. Энергопотребление микроконтроллеров в зависимости от мощности

и Cortex-M0 удалось значительно сократить время выполнения различных операций и, следовательно, время нахождения микроконтроллера EFM32 в активном режиме.

**Быстрый выход из спящего режима.** Когда микроконтроллер переходит из спящего режима в активный, требуется определенное время для стабилизации тактовых генераторов. Лишь после этого процессор может начать выполнение операций. Таким образом, во время переходного периода процессор не работает, но энергии потребляет много. Следовательно, для сокращения общего энергопотребления микроконтроллера необходимо максимально сократить время выхода из спящего режима. Это нужно и для более быстрой реакции микроконтроллера на события в приложениях реального времени. В микроконтроллерах EFM32 время выхода из спящего режима составляет всего 2 мкс.

**Низкое энергопотребление в спящем режиме.** Инженеры компании Energy Micro обеспечили исключительно низкое энергопотребление в спящем режиме – до 20 нА. Собственно о спящем

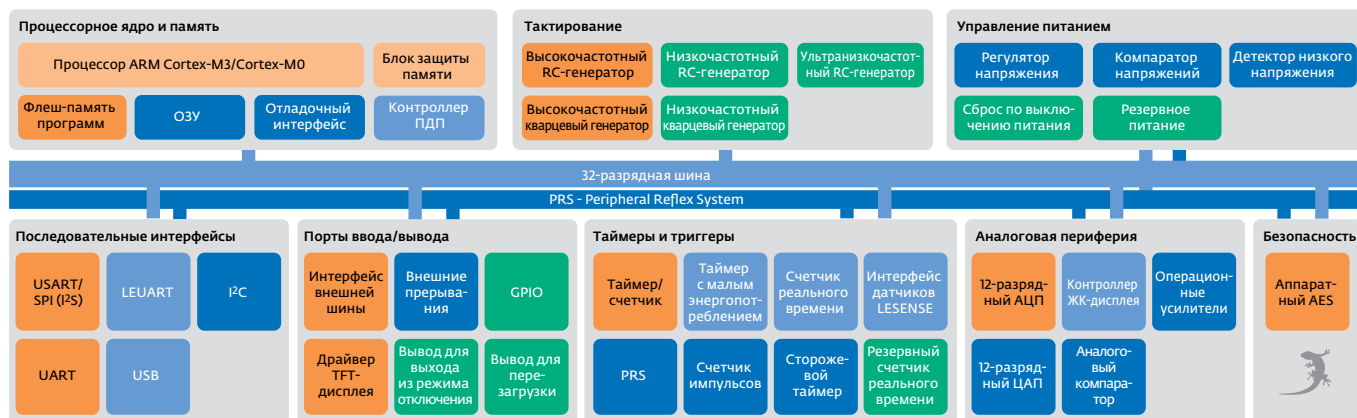
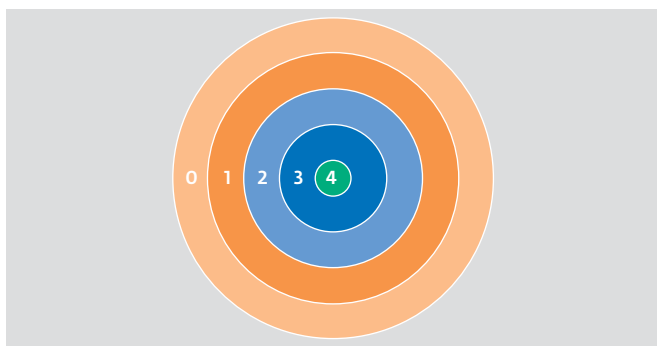


Рис.2. Блок-схема микроконтроллеров EFM32



**Рис.4.** Диаграмма режимов энергопотребления микроконтроллеров EFM32: 0 – активный режим, 1 – спящий режим, 2 – режим глубокого сна, 3 – режим останова, 4 – режим отключения

режиме говорить не совсем верно – в микроконтроллерах EFM32 предусмотрено целых четыре энергосберегающих режима. Это спящий режим (sleep mode), режим глубокого сна (deep sleep mode), режим останова (stop mode), режим отключения (shutoff mode) (табл.2). Для иллюстрации иерархии этих режимов (плюс активного режима) компания Energy Micro использует наглядную круговую диаграмму (рис.4). В каждом режиме (помимо рабочего) работает лишь часть систем микроконтроллера – они отмечены цветом, соответствующим диаграмме рис.4 (см. рис.3). Такой набор энергосберегающих режимов позволяет разработчикам максимально эффективно оптимизировать потребление энергии в различных приложениях, тем самым увеличив срок использования источников питания.

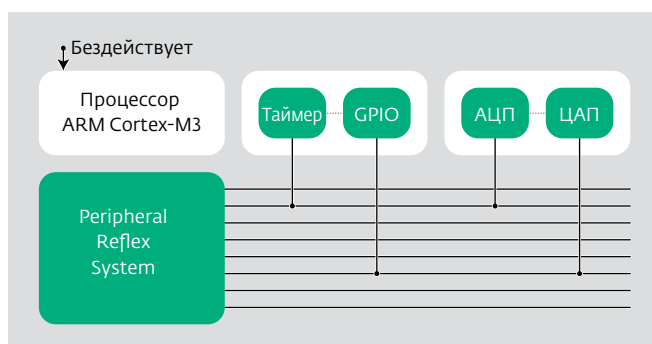
**Низкое энергопотребление периферийных устройств.** Хотя большая часть энергии, потребляемой микроконтроллером, часто приходится на процессор и память, периферийные устройства также могут вносить значительный вклад в суммарное энергопотребление. Поэтому периферийные устройства микроконтроллеров EFM32 разрабатывались так, чтобы максимально снизить потребляемую ими энергию. Эту задачу инженерам компании Energy Micro удалось решить. Вот несколько примеров. 12-разрядный АЦП потребляет лишь 9 мкА при частоте дискретизации  $10^4$  выборок/с и 220 мкА – при максимальной частоте  $10^6$  выборок/с [1]. Можно также перевести АЦП в один из энергосберегающих режимов – тогда он будет потреблять 70 мкА в промежутках между преобразованиями и в течение 1 мкс может переходить в режим максимальной производительности. Драйвер ЖК-дисплея поддерживает работу дисплея размером 160

элементов (40×4), потребляя при этом всего 500 нА (не считая энергопотребления самого дисплея). Энергопотребление аналоговых компараторов составляет лишь 100 нА. Контроллер одного из интерфейсов UART – Low Energy UART (LEUART) – может в одном из энергопотребляющих режимов потреблять всего 150 нА.

Малый вклад периферийных устройств в суммарное энергопотребление микроконтроллера обусловлен не только их собственным низким энергопотреблением, но и возможностью автономной работы. При этом не задействуется центральный процессор контроллера и за счет этого расходуется меньше энергии. Примеры таких периферийных устройств – уже упоминавшиеся выше драйверы ЖК-дисплея и интерфейса LEUART.

Еще один механизм, обеспечивающий малое суммарное энергопотребление периферийных устройств – Peripheral Reflex System (PRS). В большинстве микроконтроллеров взаимодействие периферийных устройств происходит через процессорное ядро. Одно из устройств генерирует прерывание, оно поступает в ядро, которое, в свою очередь, формирует прерывание для передачи другому устройству. При этом расходуется энергия на работу процессорного ядра. Система PRS обеспечивает прямое взаимодействие между периферийными модулями, минуя центральный процессор (рис.5) [1]. Каждый из каналов системы PRS (в общей сложности их восемь) можно гибко конфигурировать для соединения различных периферийных устройств.

Эффективные энергосберегающие решения обеспечили микроконтроллерам EFM32 лидирующие позиции среди аналогичных устройств. В качестве примера можно сравнить EFM32 с микроконтроллером MSP430. Последний долгое время считался наиболее энергоэффективным. Но с появлением EFM32 ситуация изменилась. Сравнение показывает (рис.6), что EFM32



**Рис.5.** Блок-схема системы PRS

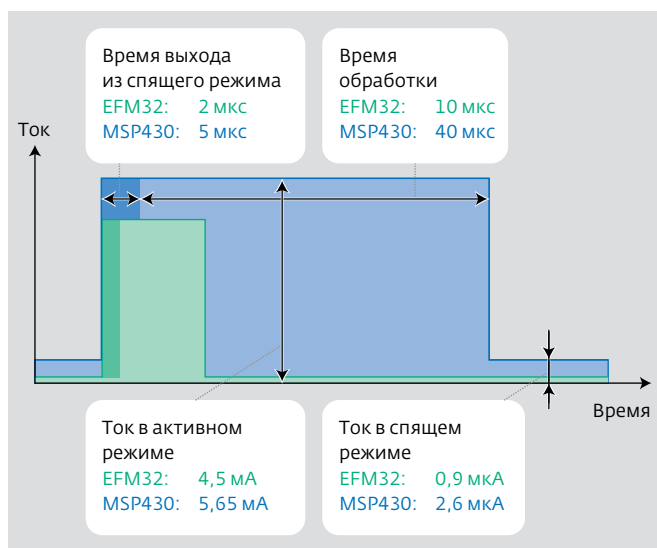


Рис.6. Сравнение микроконтроллеров EFM32 и MSP430

существенно превосходит MSP430 по ряду параметров и в результате этого потребляет намного меньше энергии как в рабочем, так и в ждущем режимах.

### СРЕДСТВА ОТЛАДКИ

Энергоэффективность микроконтроллеров EFM32 в конечных устройствах обусловлена не только аппаратными решениями, используемыми в этих приборах. Компания Energy Micro предлагает разработчикам эффективные отладочные средства, которые позволяют оптимально сконфигурировать микроконтроллеры для минимального энергопотребления.



Рис.7. Комплект разработчика DK для микроконтроллеров EFM32

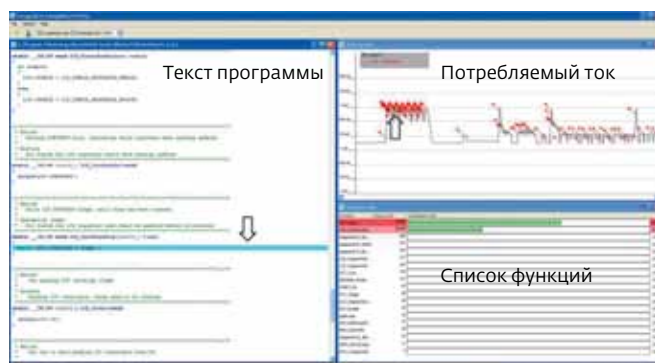


Рис.8. Интерфейс программного обеспечения для отладки микроконтроллеров EFM32

Средства отладки включают различные комплекты разработчика (Development Kits – DK, Starter Kits – STK) (рис.7) [6, 7]. Их основная отличительная особенность в том, что они позволяют оптимизировать программное обеспечение (ПО) микроконтроллеров не только для повышения их функциональности, но и для минимизации энергопотребления. В состав всех комплектов разработчика входит система под названием АЕМ (Advanced Energy Monitoring – развитый мониторинг энергии). Она позволяет в реальном времени отслеживать данные об энергопотреблении микроконтроллера. Эта информация может отображаться либо на экране ЖК-дисплея, входящего в состав DK (см. рис.7), либо на экране подсоединенного к DK компьютера, на котором установлено специальное фирменное программное обеспечение. В последнем случае доступна уникальная возможность: на графике зависимости потребляемого тока от времени, отображаемом с помощью ПО, можно подвести курсор к какому-нибудь пику и увидеть, с какой функцией он связан и какой фрагмент программного кода соответствует этой функции (рис.8) [6]. Оптимизировав соответствующий блок программного обеспечения,

Таблица 1. Технические характеристики микроконтроллеров EFM32

Модель	Объем флеш-памяти, Кбайт	Объем ОЗУ, Кбайт	Число выводов GPIO	Размер поддерживаемого ЖК-дисплея	Число последовательных интерфейсов			Размер, мм	Корпус
					USB	LEUART	I <sup>2</sup> C		
<b>Zero GECKO</b>									
EFM32ZG103	4–32	1–4	9	–	–	–	1	4×4	QFN16
EFM32ZG108	4–32	1–4	17	–	–	–	1	5×5	QFN24
EFM32ZG110	4–32	1–4	17	–	–	–	1	5×5	QFN24
EFM32ZG210	4–32	1–4	24	–	–	–	1	6×6	QFN32
EFM32ZG222	4–32	1–4	37	–	–	–	1	7×7	QFN48
<b>Tiny GECKO</b>									
EFM32TG108	4–32	1–4	17	–	–	1	1	5×5	QFN24
EFM32TG110	4–32	1–4	17	–	–	1	1	5×5	QFN24
EFM32TG210	8–32	2–4	24	–	–	1	1	6×6	QFN32
EFM32TG222	8–32	2–4	37	–	–	1	1	7×7	QFN48
EFM32TG230	8–32	2–4	56	–	–	1	1	9×9	QFN64
EFM32TG822	8–32	2–4	37	8×11	–	1	1	7×7	QFN48
EFM32TG840	8–32	2–4	56	8×20	–	1	1	9×9	QFN64
<b>GECKO</b>									
EFM32G200	16–64	8–16	24	–	–	1	1	6×6	QFN32
EFM32G210	128	16	24	–	–	1	1	6×6	QFN32
EFM32G222	32–128	8–16	37	–	–	2	1	7×7	QFN48
EFM32G230	32–128	8–16	56	–	–	2	1	9×9	QFN64
EFM32G280	32–128	8–16	86	–	–	2	1	14×14	QFP100
EFM32G290	32–128	8–16	90	–	–	2	1	10×10	BGA112
EFM32G840	32–128	8–16	56	4×24	–	2	1	9×9	QFN64
EFM32G880	32–128	8–16	86	4×40	–	2	1	14×14	QFP100
EFM32G890	32–128	8–16	90	4×40	–	2	1	10×10	BGA112
<b>Giant GECKO</b>									
EFM32GG230	256–1024	32–128	56	–	–	2	1	9×9	QFN64
EFM32GG280	256–1024	32–128	86	–	–	2	1	14×14	QFP100
EFM32GG290	256–1024	32–128	90	–	–	2	1	10×10	BGA112
EFM32GG330	64–1024	32–128	52	–	1	2	1	9×9	QFN64
EFM32GG380	64–1024	32–128	81	–	1	2	1	14×14	QFP100
EFM32GG390	64–1024	32–128	86	–	1	2	1	10×10	BGA112
EFM32GG840	256–1024	32–128	56	8×20	–	2	1	9×9	QFN64
EFM32GG880	256–1024	32–128	86	8×36	–	2	1	14×14	QFP100
EFM32GG890	256–1024	32–128	90	8×36	–	2	1	10×10	BGA112
EFM32GG940	64–1024	32–128	52	8×20	1	2	1	9×9	QFN64
EFM32GG980	64–1024	32–128	81	8×36	1	2	1	14×14	QFP100
EFM32GG990	64–1024	32–128	86	8×36	1	2	1	10×10	BGA112

можно уменьшить значение потребляемого тока. Для такого процесса отладки в компании Energy Micro используют специальное название – Energy debugging (букв. – отладка энергопотребления). Для создания и отладки ПО микроконтроллеров EFM32 можно использовать и средства разработки

сторонних производителей, в том числе бесплатные (GCC, Eclipse и др.) [8].

Для разработчика на сайте компании Energy Micro представлена подробная и удобно организованная информация о микроконтроллерах: разнообразная документация (руководства

пользователя, спецификации, технические описания, обзоры, буклеты), программное обеспечение, видеоматериалы и многое другое. Компания Energy Micro разработала специальный (бесплатный) инструмент – Simplicity Studio. Он позволяет автоматически загружать последние версии документации и ПО, а также другую информацию с сайта производителя.

### ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Благодаря чрезвычайно малому энергопотреблению (но не в ущерб производительности) микроконтроллеры особенно эффективны в разнообразных системах с батарейным питанием. Они позволяют использовать батареи меньшей емкости (более дешевые) и/или увеличить срок службы батарей. В результате снижаются расходы на эксплуатацию. Среди применений микроконтроллеров самые разнообразные устройства и системы: счетчики электроэнергии, газа и воды; пульты и датчики систем управления зданиями (контроль доступа, регулирование освещения, климат-контроль, дистанционное управление



Рис.9. Счетчик воды A200 компании Aquiba

и др.); модули систем безопасности (датчики пожарной сигнализации, движения, присутствия и др.); медицинские устройства (портативные и имплантируемые).

Таблица 2. Энергосберегающие режимы микроконтроллеров EFM32 (при напряжении питания 3 В)

Параметр	Активный режим	Спящий режим	Режим глубокого сна	Режим останова	Режим отключения
Потребляемый ток	180 мкА/ МГц	45 мкА/ МГц	0,9 мкА	0,6 мкА	20 нА
Время выхода из режима, мкс	–	0	2	2	160
Процессор	Вкл.	–	–	–	–
Высокочастотные периферийные устройства	Доступны	Доступны	–	–	–
Низкочастотные периферийные устройства	Доступны	Доступны	Доступны	–	–
Асинхронные периферийные устройства	Доступны	Доступны	Доступны	Доступны	–
Сохранение данных в процессоре и ОЗУ	Есть	Есть	Есть	Есть	–
Сброс по выключению питания, детектор низкого напряжения	Работает	Работает	Работает	Работает	Работает

Один из конкретных примеров применения – использование микроконтроллера EFM32 в интеллектуальных счетчиках воды A200 компании Aquiba (рис.9) [9]. Это высокоэффективный счетчик последнего поколения, предназначенный для использования в интеллектуальных системах учета воды. Микроконтроллер EFM32 был выбран для этих счетчиков благодаря его ультранизкому энергопотреблению, богатой периферии, высокой производительности и возможности гибкой настройки и обновления программного обеспечения. В компании Aquiba рассчитывают, что за счет низкого энергопотребления EFM32 срок службы батарей в счетчиках A200 составит 15 лет.

Недавно микроконтроллеры EFM32 стали поставлять в Россию [10]. Их эксклюзивный дистрибьютор – компания ЭЛТЕХ ([www.eltech.spb.ru](http://www.eltech.spb.ru)). Благодаря уникальным характеристикам микроконтроллеров EFM32 есть все основания считать, что они вызовут большой интерес у российских разработчиков и будут успешно применяться в различных портативных устройствах с батарейным питанием.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Larsen R.C.** Batteries worldwide celebrate the arrival of EFM32 ... the world's most energy friendly microcontrollers. – [cdn.energymicro.com/dl/pdf/efm32\\_introduction\\_white\\_paper.pdf](http://cdn.energymicro.com/dl/pdf/efm32_introduction_white_paper.pdf)
2. Energy Micro adds 12 devices to its Cortex-M3 microcontroller range for energy friendly applications. – [www.energymicro.com/news/energy-micro-adds-12-devices-to-its-cortex-m3-microcontroller-range](http://www.energymicro.com/news/energy-micro-adds-12-devices-to-its-cortex-m3-microcontroller-range)
3. EFM32 ... the world's most energy friendly microcontrollers. – [cdn.energymicro.com/dl/pdf/EFM32\\_brochure.pdf](http://cdn.energymicro.com/dl/pdf/EFM32_brochure.pdf)
4. EFM32GG Reference Manual. – [cdn.energymicro.com/dl/devices/pdf/d0053\\_efm32gg\\_reference\\_manual.pdf](http://cdn.energymicro.com/dl/devices/pdf/d0053_efm32gg_reference_manual.pdf)
5. 10 factors that make the 32-bit EFM32 the world's most energy friendly microcontroller. – [www.energymicro.com/technology/](http://www.energymicro.com/technology/)
6. **Monte T.** Energy Debugging Tools for Embedded Applications. – [cdn.energymicro.com/dl/pdf/efm32\\_energy\\_debugging\\_white\\_paper.pdf](http://cdn.energymicro.com/dl/pdf/efm32_energy_debugging_white_paper.pdf)
7. Energy Micro development kit enables real-time energy profiling for optimising application power. – [www.energymicro.com/news-archive/efm32-development-kit-enables-real-time-energy-profiling](http://www.energymicro.com/news-archive/efm32-development-kit-enables-real-time-energy-profiling)
8. Third Party Network. – [www.energymicro.com/tools/third-party](http://www.energymicro.com/tools/third-party)
9. Aquiba selects Energy Micro low power microcontroller for next generation smart water meter. – [www.energymicro.com/news/aquiba-selects-efm32-gecko-microcontroller-for-smart-water-meter](http://www.energymicro.com/news/aquiba-selects-efm32-gecko-microcontroller-for-smart-water-meter)
10. Компания Energy Micro назначает первого российского дистрибьютора микроконтроллеров ARM Cortex и радиотрансиверов. – [www.energymicro.com/news-archive/first-russian-distributor-for-arm-cortex-microcontrollers-and-radios-ru](http://www.energymicro.com/news-archive/first-russian-distributor-for-arm-cortex-microcontrollers-and-radios-ru)