

Energoozczędnie z Cortex-M3

**TEMAT
NUMERU**



Wrześniowy temat numeru to nowoczesne mikrokontrolery z rdzeniami opracowanymi przez firmę ARM. Tym samym mamy okazję, żeby przedstawić naszym Czytelnikom mało (na razie) znane mikrokontrolery z rdzeniem Cortex-M3 produkowane przez firmę EnergyMicro. Producent reklamuje je hasłem „most energy friendly microcontroller”. Czy jest ono prawdziwe?

Dodatkowe informacje:
Zestaw prezentowany w artykule udostępniła firma Codico, która jest dystrybutorem mikrokontrolerów produkowanych przez EnergyMicro w naszym kraju. Dodatkowe informacje są dostępne pod adresem www.codico.com i numerem telefonu 12-4171083.

Dodatkowe materiały na CD i FTP:
<ftp://ep.com.pl>, user: 14635, pass: 6uc6eled

Na to pytanie trudno będzie jednoznacznie odpowiedzieć, ponieważ – nieco zaskakujące w dziedzinie tak ścisłej jak elektronika – nie ma obecnie jednoznacznej metody pomiaru poboru prądu przez mikrokontrolery. Marketingowcy wykorzystują dostępne sztuczki techniczne po to, żeby z jednej strony zmaksymalizować wartość MIPS/MHz i – z drugiej strony – zminimalizować wartość mA/MHz. Bo właśnie w mA/MHz lub μ A/MHz jest parametrem określającym we współczesnej elektronice natężenie pobieranego prądu, skrzętnie manipulowanym w celach marketingowych.

Dlaczego pomiary nie są jednoznaczne?

Każdy elektronik wie, że nie ma prostszego sposobu zmierzenia prądu pobieranego przez układ scalony, jak włączenie amperomierza w szereg z jego zasilaniem. Na tym prostota się kończy: ze względu na stosowane przez producentów zaawansowane rozwiązania wspomagające oszczędzanie energii, ustalenie prawdziwej wartości natężenia prądu pobieranego przez zaawansowane układy scalone wymaga każdorazowo bardzo precyzyjnego ustalenia warunków pomiaru. Faktyczny pobór prądu przez mikrokontroler można w znacznym stopniu zmieniać dzięki m.in. selektywnemu dołączaniu sygnałów taktujących do bloków peryferyjnych, niektóre układy wyposażono ponadto w wewnętrzne klucze prądowe, odcinające zasilanie od peryferii, które nie są wykorzystywane w danej aplikacji. Ponieważ w układach CMOS (wszystkie współczesne układy dużej skali integracji są wykonywane w tej technologii) pobór prądu jest zależny od częstotliwości taktowania, są stosowane mechanizmy dynamicznego dostosowywania częstotliwości taktowania CPU do bieżących wymagań wykonywanej aplikacji, dzięki czemu – z jednej

strony – można ograniczyć pobór prądu, a z drugiej jest to kolejny stopień swobody utrudniający porównanie poboru mocy przez podzespoły pochodzące od różnych producentów.

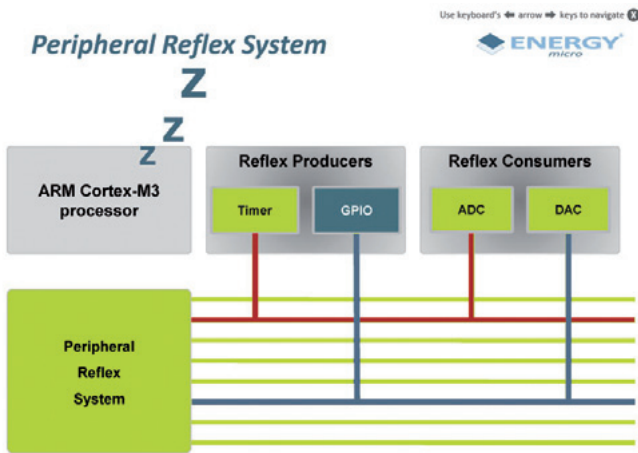
Nie są to wszystkie rozwiązania zaciemniające sytuację, widać na ich podstawie, że odpowiedź na pytanie: ile twój mikrokontroler pobiera prądu, nie zawsze jest możliwa do udzielenia od ręki.

Tabela 1. Zestawienie podstawowych cech mikrokontrolerów Gecko

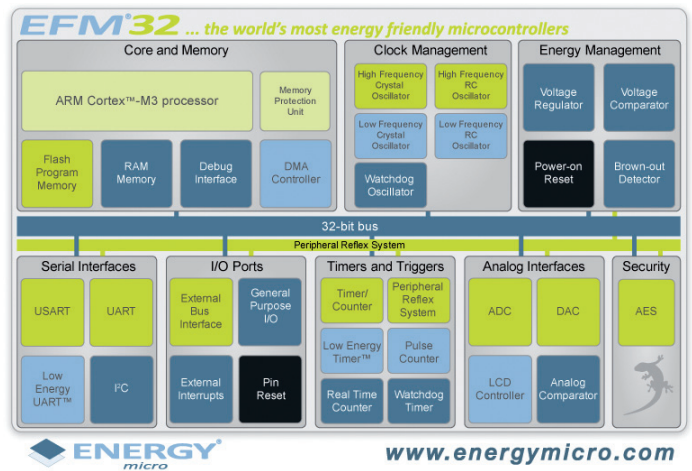
Typ	Pamięć Flash [kB]	Pamięć SRAM [kB]	Kontroler LCD	A/C	Moduł AES	Liczba GPIO	Obudowa
EFM32G890F128	128	16	4×40	+	+	90	BGA112
EFM32G890F64	64	16	4×40	+	+	90	BGA112
EFM32G890F32	32	8	4×40	+	+	90	BGA112
EFM32G880F128	128	16	4×40	+	+	86	QFP100
EFM32G880F64	64	16	4×40	+	+	86	QFP100
EFM32G880F32	32	8	4×40	+	+	86	QFP100
EFM32G840F128	128	16	4×24	+	+	56	QFN64
EFM32G840F64	64	16	4×24	+	+	56	QFN64
EFM32G840F32	32	8	4×24	+	+	56	QFN64
EFM32G290F128	128	16	–	+	+	90	BGA112
EFM32G290F64	64	16	–	+	+	90	BGA112
EFM32G290F32	32	8	–	+	+	90	BGA112
EFM32G280F128	128	16	–	+	+	86	QFP100
EFM32G280F64	64	16	–	+	+	86	QFP100
EFM32G280F32	32	8	–	+	+	86	QFP100
EFM32G230F128	128	16	–	+	+	56	QFN64
EFM32G230F64	64	16	–	+	+	56	QFN64
EFM32G230F32	32	8	–	+	+	56	QFN64
EFM32G210F128	128	16	–	+	+	24	QFN32
EFM32G200F64	64	16	–	+	–	24	QFN32
EFM32G200F32	32	8	–	+	–	24	QFN32
EFM32G200F16	16	8	–	+	–	24	QFN32

Tabela 2. Zestawienie podstawowych cech mikrokontrolerów TinyGecko

Typ	Pamięć Flash [kB]	Pamięć SRAM [kB]	Kontroler LCD	A/C	Moduł AES	Liczba GPIO	Obudowa
EFM32TG840F32	32	4	4×24	+	+	56	QFN64
EFM32TG840F16	16	4	4×24	+	+	56	QFN64
EFM32TG840F8	8	2	4×24	+	+	56	QFN64
EFM32TG230F32	32	4	–	+	+	56	QFN64
EFM32TG230F16	16	4	–	+	+	56	QFN64
EFM32TG230F8	8	2	–	+	+	56	QFN64
EFM32TG200F32	32	4	–	+	+	24	QFN32
EFM32TG200F16	16	4	–	+	+	24	QFN32
EFM32TG200F8	8	2	–	+	+	24	QFN32
EFM32TG100F32	32	4	–	+	+	12	QFN20
EFM32TG100F16	16	4	–	+	+	12	QFN20
EFM32TG100F8	8	2	–	+	+	12	QFN20
EFM32TG100F4	4	1	–	+	+	12	QFN20



Rysunek 1. Blok PRS (*Peripheral Reflex System* – rys. 1) umożliwia niektórym peryferiom wbudowanym w mikrokontrolery EFM32 działanie podczas uśpienia CPU



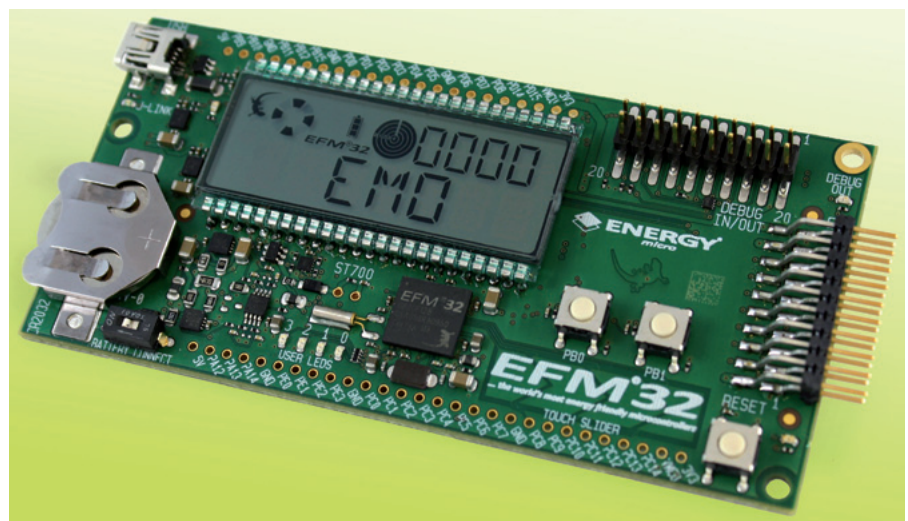
Rysunek 2. Schemat blokowy mikrokontrolerów EFM32 z zaznaczonymi na zielono peryferiami współpracującymi z PRS

EFM32, czyli Cortex-M3 w wersji bardzo *low-power*

Jednym z podstawowych atutów rdzeni Cortex-M3 (według ARM) jest niewielki pobór mocy przez CPU, wspomagany przez zintegrowany z rdzeniem system zarządzania poborem energii. Ponieważ samo CPU – choćby tak doskonale jak Cortex-M3 – niewiele jest w stanie zrobić, większość mikrokontrolerów jest wyposażona w wewnętrzną pamięć Flash (z całą „obudową”), pamięć SRAM, interfejsy komunikacyjne, przetworniki A/C i C/A, system generacji, syntezy i dystrybucji sygnałów zegarowych, porty GPIO i wiele innych bloków funkcjonalnych, których istnienie nie zawsze jest widoczne na zewnątrz. Biorąc pod uwagę, że dobrze się sprzedają mikrokontrolery mające „dużo wszystkiego” (w tym MHz taktujących CPU), ryzyko tracenia sporej ilości energii na zadania inne niż wykonywanie programu (co oceniają: konstruktor i programista) jest duże. Takim problemom przyjrzyli się projektanci mikrokontrolerów z firmy EnergyMicro, którzy postanowili tak zoptymalizować własną implementację mikrokontrolerów z rdzeniem Cortex-M3 (który nie został opracowany przez ARM do stosowania w aplikacjach zasilanych bateryjnie), żeby były konkurencyjne dla klasycznych mikrokontrolerów energooszczędnych. W ten sposób trafiła na rynek rodzina mikrokontrolerów EFM32, których zestawienie podstawowych cech znajduje się w **tabeli 1** (mikrokontrolery Gecko) i **tabeli 2** (mikrokontrolery TinyGecko).

Gecko czyli gekon

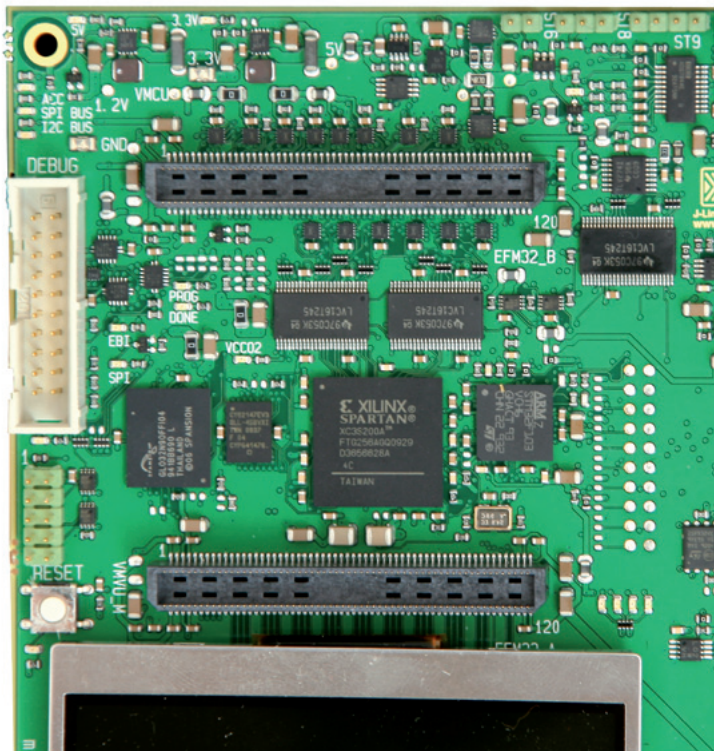
Gekony to prymitywne jaszczurki, które opanowały do perfekcji gospodarkę energią. Potrafią całymi dniami pozostawać bez ruchu, obniżając temperaturę ciała do temperatury otoczenia nie zużywając prawie energii, pozostając przy tym czujnymi, by przy nadarzącej się okazji błyskawicznie się obudzić, upolować ofiarę i ponownie zapaść w stan uśpienia.



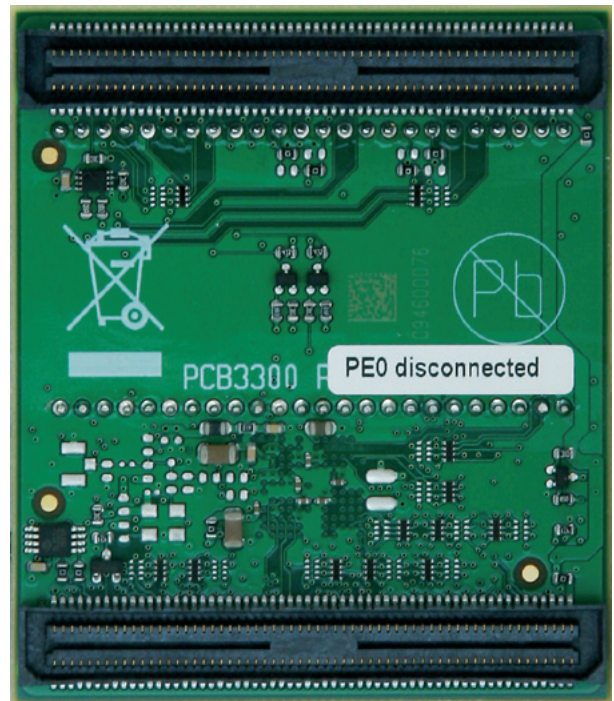
Fotografia 3. Zestaw ewaluacyjny EFM32 Gecko Starter Kit z mikrokontrolerem EFM32G890F128 i 16-segmentowym wyświetlaczem LCD



Fotografia 4. Zestaw uruchomieniowy EFM32 Gecko Development Kit z mikrokontrolerem EFM32G890F128. Dane wyświetlane na reklamowej wersji zdjęcia wyświetlacza monitora poboru energii są bardzo optymistyczne...



Fotografia 5. Szokujące dla autora było „odkrycie” na płytce zestawu EFM32 Gecko Starter Kit mikrokontrolera z rodziny STM32

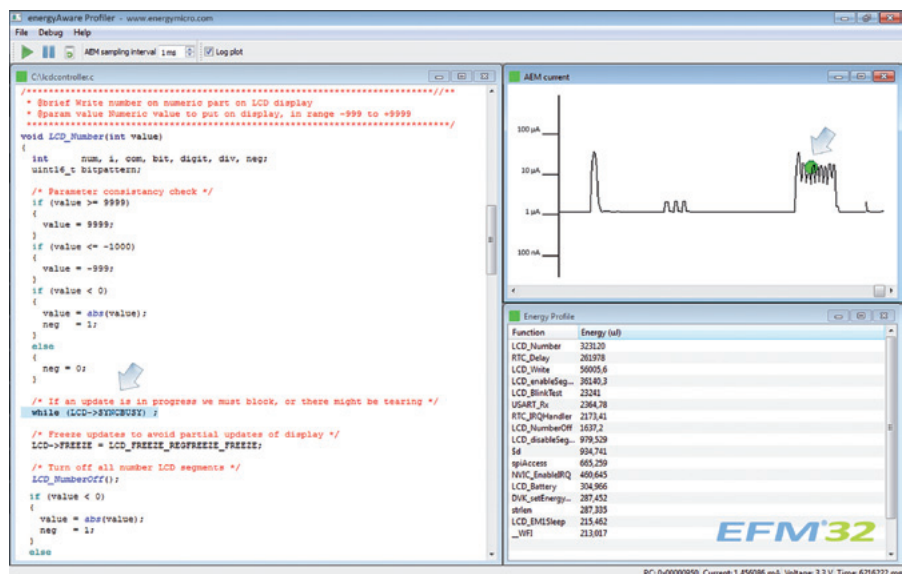


Fotografia 6. Złącza zastosowane w zestawie EFM32 Gecko Starter Kit są trudne do zdobycia, do tego w zdecydowanie zniechęcającej cenie, ale nie każdy użytkownik tego zestawu będzie ich potrzebował

Inżynierowie firmy EnergyMicro – poza energetyczną optymalizacją CPU – zastosowali kilka dodatkowych rozwiązań, dzięki którym mikrokontrolery EFM32 są w stanie (przy odpowiednio przygotowanych benchmarkach) wykazać się poborem energii konkurencyjnym w stosunku nie tylko do 16-bitowych mikrokontrolerów z rodziny MSP430 (wg producenta 165 $\mu\text{A}/\text{MHz}$) czy „oszczędnościowych” wersji STM32L (wg producenta 230 $\mu\text{A}/\text{MHz}$), pobierają bowiem (także według producenta) ok. 180 $\mu\text{A}/\text{MHz}$ – dane podano w porównywalnych trybach pracy.

Ważnym elementem ograniczającym pobór mocy przez mikrokontrolery z rodziny EFM32 jest wyposażenie ich w blok PRS (*Peripheral Reflex System* – rysunek 1), który umożliwia komunikację pomiędzy blokami peryferyjnymi oznaczonymi na rysunku 2 kolorem zielonym bez udziału CPU i – co bardzo ważne – w trybie oszczędzania energii Energy Mode 1, kiedy to rdzeń (CPU) i MPU (*Memory Protection Unit*) nie są aktywne.

Kolejnym ważnym zabiegiem „oszczędnościowym” jest wyposażenie mikrokontrolerów EFM32 w timer (LETIMER, od *Low Energy TIMER*) i interfejs komunikacyjny UART (LEUART, od *Low Energy UART*) zoptymalizowane konstrukcyjnie pod kątem zminimalizowania pobieranej energii, zastosowane do pracy z sygnałem zegarowym 32 kHz w trybach oszczędzania Energy Mode 1 i Energy Mode 2. Dzięki tym rozwiązaniom nawet uśpiony mikrokontroler jest w stanie reagować na wydarzenia zewnętrzne, pozostając w stanie nieaktywnym tak długo, jak to



Rysunek 7. Widok okna programu narzędziowego energyAwareProfiler umożliwiającą wygodną analizę przyczyn zwiększonego poboru energii przez mikrokontrolery EFM32

jest tylko możliwe bez uszczerbku dla prawidłowego funkcjonowania aplikacji.

Poznanie przez badanie

Prawdziwy konstruktor jeśli nie dotknie, to nie uwierzy. Żeby ułatwić im poznanie cech i zalet mikrokontrolerów EFM32, producent przygotował dwa zestawy ewaluacyjno-uruchomieniowe:

- prosty EFM32 Gecko Starter Kit (fotografia 3) z mikrokontrolerem EFM32G890F128 i 16-segmentowym wyświetlaczem LCD, wyposażonym w kompletny interfejs umożliwiający de-

bugowanie pracy mikrokontrolera i programowanie jego pamięci Flash zgodnie z interfejsem J-Link firmy Segger,

- duży, modułowy zestaw EFM32 Gecko Development Kit (fotografia 4) z mikrokontrolerem EFM32G290F128 lub EFM32G890F128, wyposażonym w kolorowy wyświetlacz LCD-TFT, kompletny interfejs umożliwiający debugowanie pracy mikrokontrolera i programowanie jego pamięci Flash zgodny z interfejsem J-Link firmy Segger oraz płytka z polem uniwersalnym i wyprowadzonymi na goldpiny liniami GPIO mikrokontrolera.



Fotografia 8. W roku 2011 do sprzedaży mają trafić mikrokontrolery EFM32 GiantGecko wyposażone m.in. w interfejs USB

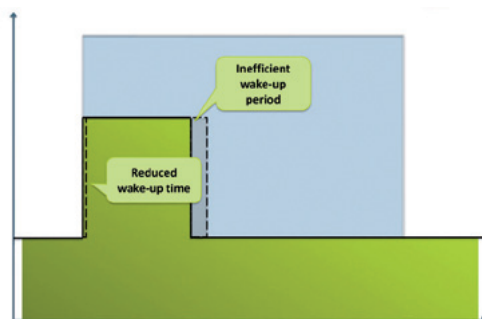
Do testów otrzymaliśmy zestaw EFM32 Gecko Development Kit w wersji z mikrokontrolerem EFM32G890F128, który składa się z trzech bloków:

- płyty bazowej z układami peryferyjnymi, złączami oraz systemem pomiaru energii AEM (*Advanced Energy Monitoring*), sprzętowym debuggerem-programatorem wykonanym (sic!) na mikrokontrolerze STM32 (fotografia 5) wspomagającym

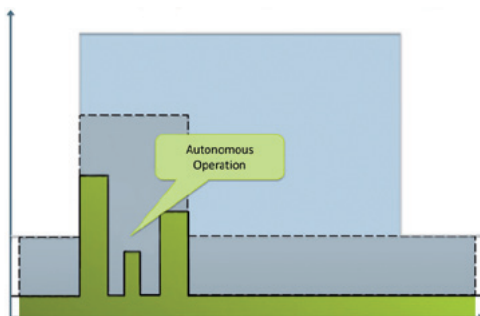
przez potężny układ FPGA (spełniający rolę wielobitowego, dwukierunkowego przełącznika interfejsu JTAG),

- płytki mikrokontrolera z monochromatycznym, segmentowym wyświetlaczem LCD,
- płytki z polem uniwersalnym, polami do montażu elementów SMD oraz szpilkami w rastrze 2,54 mm, na które wprowadzono linie GPIO mikrokontrolera.

Jedną z mniej spektakularnych, ale ważną dla obniżenia poboru energii, cech mikrokontrolerów EFM32 jest krótki czas wybudzania i wchodzenia CPU z/do stanów energooszczędnych. Ponadto mikrokontrolery EFM32 pobierają bardzo mało prądu w stanach uśpienia (tryb EM4: 20 nA/3 V czas wybudzenia 160 μ s, tryb EM3: 0,6 μ A/3 V czas wybudzenia 2 μ s, tryb EM2: 0,9 μ A/3 V czas wybudzenia 2 μ s)



Wiele mikrokontrolerów budzi się i usypia w czasie porównywalnym z czasem niezbędnym do wykonania zadania, co zmniejsza efektywność przechodzenia w stan uśpienia. Podsumowując (co widać na rysunku poniżej) „pole” pobieranej mocy jest mocno ograniczone w mikrokontrolerach EFM32.



Zestaw jest zasilany z USB (opcjonalnie z zasilacza zewnętrznego, który nie wchodzi w skład zestawu), a zgromadzone na płycie bazowej interfejsy (m.in. RS232, IrDA, SD/MMC, wejście i wyjście sygnału audio, fotorezystor, joystick, DIP-switch, potencjometr itp.) umożliwiają wykonywanie niemal dowolnych eksperymentów. Jedynym problemem, jaki może być dokuczliwy dla użytkowników zestawu, są zastosowane przez producenta wyrafinowane i przez to kosztowne złącza (fotografia 6), za pomocą których są dołączane płytki: z mikrokontrolerem i montażowa do płyty bazowej. Nie ma praktycznie możliwości samodzielnego przebudowania zestawu lub wyposażenia go we własne płytki rozszerzeń, co w niektórych przypadkach może być dokuczliwe.

Producent dostarcza w zestawie wyłącznie ewaluacyjną wersję środowiska projektowego Embedded Workbench firmy IAR, ale z jego strony internetowej można pobrać także interesujący program narzędziowy *energyAware-Profiler* (rysunek 7), za pomocą którego można poddawać analizie energetycznej pliki obiektowe generowane podczas kompilacji projektów programistycznych. Oprogramowanie to w interaktywny sposób wskazuje miejsca programu związane w osi czasu ze wskazanym na wykresie poborem prądu i odwrotnie.

Co dalej?

Firma EnergyMicro powstała na bazie wiedzy i doświadczeń inżynierów ze znanej w naszym kraju firmy Chipcon. Nauczeni wcześniejszymi doświadczeniami przygotowali oni sensowną ofertę na bardzo konkurencyjnym rynku i – co ważne – mają dobre ukierunkowane plany na przyszłość, czego efektem są zapowiedzi rychłego wdrożenia do produkcji mikrokontrolerów z rodziny EFM32 GiantGecko (fotografia 8, pamięć Flash do 1 MB, wbudowany interfejs USB) oraz oficjalna gwarancja dostępności wybranych typów mikrokontrolerów aż do roku 2021 (<http://www.energymicro.com/products/longevity-guarantee>), do czego oficjalnie nie zmusił się dotychczas żaden z producentów podobnych mikrokontrolerów. W nieco (oficjalnie) mniej sprecyzowanych zapowiedziach są także mikrokontrolery EFR32 (od *Energy Friendly Radio*), które będą 32-bitowymi odpowiednikami popularnych zintegrowanych transceiverów RF z 8-bitowymi mikrokontrolerami, produkowanymi do niedawna przez firmę Chipcon.

Czy buńczuczne stwierdzenia typu *most energy friendly microcontroller* są prawdziwe? W znacznym stopniu tak, ale warto wziąć pod uwagę, że nie zawsze gigantyczna moc obliczeniowa rdzenia Cortex-M3 jest potrzebna, a nieco mniej wydajne, ale bardziej energooszczędne rozwiązania także są dostępne na rynku.

Piotr Zbysiński, EP
piotr.zbysinski@ep.com.pl