

# Energy harvesting

## Projektowanie urządzeń zasilanych energią wolnodostępną

*O energy harvestingu dużo się teraz słyszy, choć często nie wiadomo, czym on właściwie jest. Termin ten jest czasem używany na określenie kompletnych systemów wymagających niewiele energii, choć tak naprawdę układy zbierające energię, nazywane „harvesterami”, stanowią zawsze tylko część większej całości. Harvestery są stosowane przede wszystkim w systemach elektronicznych, które muszą być samowystarczalne energetycznie, czyli takich, które nie są zasilane ani z sieci, ani z baterii. Drugim ich zastosowaniem jest przedłużanie czasu życia baterii.*

W systemach wykorzystujących harvesting energię może być pozyskiwana z różnych źródeł, m.in.: termicznych, kinetycznych i optycznych, a jej gromadzenie, przetwarzanie, przechowywanie i użycie muszą być ze sobą skoordynowane. Innym problemem jest fakt, że to, co uda się uzyskać dzięki przetwarzaniu często nie wystarcza do stabilnego zasilenia systemu. Pojawia się więc miejsce dla scalonych układów zarządzających procesem harvestingu. Zajmują się one gromadzeniem i przechowywaniem ładunku, zabezpieczają przed spadkiem napięcia poniżej określonego poziomu i zapewniają – mniej lub bardziej autonomicznie – stabilne zasilanie systemu. Gdy energię uda się już zgromadzić, ostatnią rzeczą, jakiej możemy sobie życzyć jest jej marnowanie. Płynie stąd oczywisty wniosek, że do budowy systemów opartych o energy harvesting należy używać elementów i układów o jak najmniejszym poborze energii.

Jakie zatem wymagania są stawiane układom zarządzającym procesem harvestingu? Ich zadaniem jest przetwarzanie, gromadzenie i udostępnianie energii zebranej z otoczenia systemu tak efektywnie, jak to możliwe, aby system mógł być zasilany bez wykorzystywania innych źródeł. Dzięki coraz większej dostępności oszczędnych energetycznie elementów i układów, syste-

my niezależne energetycznie będą się stawały coraz popularniejsze, a energy harvesting jest czynnikiem, mającym dodatkowy, pozytywny wpływ na szybki rozwój tej gałęzi elektroniki. Biorąc za przykład bezprzewodowy czujnik – celem jest nie tylko redukcja kosztów produkcji, lecz także kosztów pracy urządzenia w czasie całego jego życia.

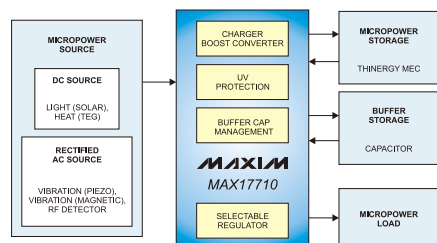
Poznanie energy harvestingu i nauk wykorzystywania systemów niezależnych energetycznie ułatwi inżynierom platforma ewaluacyjna, opracowana przez firmę Avnet Memece w współpracy z firmami Maxim Integrated Products i Energy Micro. Produkt ten został zaprezentowany w czasie tegorocznych targów Embedded World w Norymberdze. Pierwsza jego wersja została zbudowana w oparciu o istniejące platformy ewaluacyjne dla układu harwestera MAX17710 firmy Maxim oraz energooszczędnego mikrokontrolera EFM32TG840F32 z linii Tiny Gecko firmy Energy Micro.

MAX17710 jest obecnie jedynym na rynku układem scalonym łączącym wszystkie funkcje konieczne do zarządzania energią w zastosowaniach energy harvesting, w tym także ładowanie i zabezpieczanie ogniwa Thinerger Micro-Energy Cell (MEC) firmy Infinite Power Solutions (IPS), w które wyposażony jest zestaw ewaluacyjny. Układ MAX17710 może współpracować nawet z bardzo niestabilnymi źródłami, takimi jak przetworniki zbierające energię o mocy wyjściowej od 1  $\mu$ W do 100 mW. Poza tym, układ jest wyposażony w przetwornicę podwyższającą typu boost, pozwalającą ładować ogniwo przy napięciu źródła wynoszącym tylko 0,75 V. Zestaw ewaluacyjny dla układu MAX17710 jest zasilany z ogniwa słonecznego, a wbudowany stabilizator chroni ogniwo przed przeładowaniem. Napięcia wyjściowe,

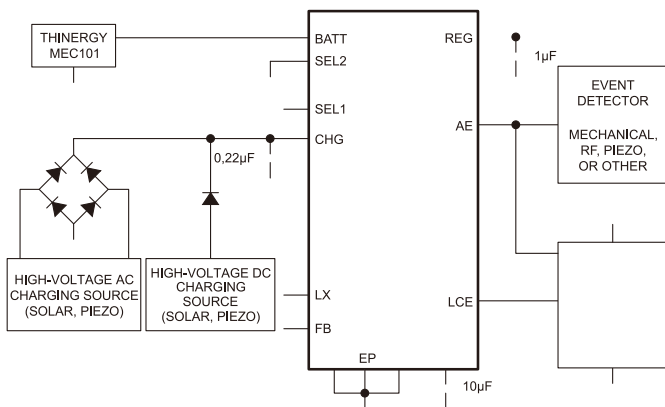
dostarczane do systemu docelowego są stabilizowane za pomocą konfigurowalnego, liniowego stabilizatora LDO, który może dostarczać napięcie o wartości: 3,3 V; 2,3 V lub 1,8 V. Układ MAX17710 jest też wyposażony w zabezpieczenie przed nadmiernym spadkiem napięcia oraz układ zarządzania buforem wyjściowym przydatny przy współpracy z bateriami litowymi. Obwód ładowania takich baterii w układzie MAX17710 pracujący w trybie *standby*, pobiera jedynie 1 nA (IQBATT).

Układ MAX17710 jest dostępny w wyjątkowo cienkiej, 12-nóżkowej obudowie UTDFN o wymiarach 3 mm  $\times$  3 mm  $\times$  0,5 mm (**rysunek 1**) i nie wymaga projektowania skomplikowanej płytki oraz stosowania wielu elementów zewnętrznych. Ładowanie ogniwa odbywa się z zewnętrznego źródła energii, dołączonego do wyjścia CHG. Jeśli napięcie na tym wyprowadzeniu przekracza próg  $V_{CE}$ , wewnętrzny stabilizator ogranicza je do 4,125 V, aby zabezpieczyć ogniwo przed przeładowaniem. W takim wypadku zerowane są także wszelkie blokady wynikające ze spadku napięcia poniżej określonego poziomu, czyli *Undervoltage Lockout* (UVLO), co pozwala stabilizatorowi LDO zasilać obciążenie. Blok UVLO jest reaktywowany, gdy tylko napięcie zostanie odłączone od wyprowadzenia CHG. Gdy natomiast zewnętrzne źródło dostarcza napięcie przekraczające 5,3 V, to wewnętrzny stabilizator boczniujący (*Shunt Regulator*) chroni wyjście CHG. Stabilizator ten toleruje prąd do 50 mA. Jeśli istnieje jakakolwiek szansa, że przetwornik harvestujący dostarczy większą moc, należy zastosować dodatkowy układ ochronny. Na **rysunku 2** zaprezentowano typowy obwód harvestujący z wysokonapięciowych źródeł ładunku.

Wbudowana prosta przetwornica podwyższająca typu boost pozwala wykorzystać także niskonapięciowe źródła harvestujące, takie jak ogniwa słoneczne czy generatory termoelektryczne (TEG). Może ona pracować przy poziomie mocy nawet 1  $\mu$ W (w trybie harvestowania impulsowego) i do 100 mW (przy przetwarzaniu ciągłym). W rezultacie, układ scalony może dostarczyć ponad 20 mA (80 mW), jeśli jest zasilany z odpowiedniego źródła harvestującego (0,8 V) i ładuje ogniwo litowe o napięciu 4,1 V. Na **rysunku 3** pokazano typowy układ



**Rysunek 1. Schemat blokowy aplikacji układu MAX17710**



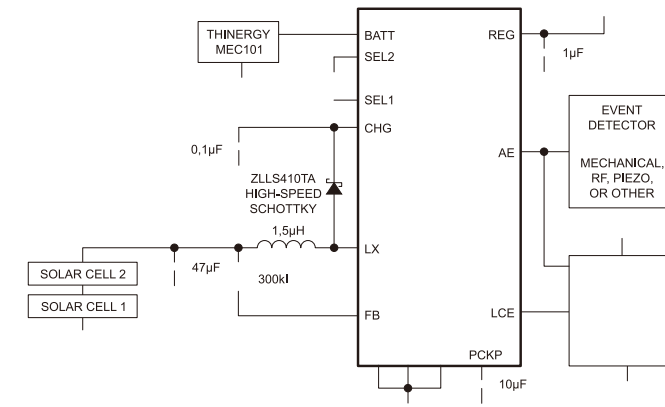
Rysunek 2. Schemat ideowy harwestera ze źródłem piezoelektrycznym

przetwornicy typu *boost* zbierającej energię z niskonapięciowego ogniwa słonecznego.

Ważną częścią zestawu ewaluacyjnego dla układu MAX17710 jest ogniwo Thinerger Micro-Energy Cell (MEC) firmy Infinite Power Solutions (IPS). Jest to nowy typ baterii z elektrolitem stałym, która może pracować przez cały czas życia systemu i ma wiele zalet w porównaniu z bateriami konwencjonalnymi i superkondensatorami, a właściwie łączy zalety obu tych typów baterii. Sprawia to, że ogniwa MEC doskonale nadają się do wykorzystania w systemach z harvestingiem energii, gdyż znoszą

dobrze duże prądy, mają do 50 razy lepszą gęstość upakowania energii i 4000 razy mniejsze upływności niż superkondensatory, a przy tym mogą być ładowane 100 razy częściej niż zwykłe baterie. Co więcej, mają bardzo małe rozmiary (grubość tylko 0,17 mm) i są elastyczne, co pozwala wykorzystywać je w zastosowaniach, do których zwykle baterie się nie nadają.

Mikrokontroler użyty w omawianym zestawie ewaluacyjnym do energy harvestingu należy do rodziny Tiny Gecko produkowanej przez firmę Energy Micro. Oparte na rdzeniu ARM Cortex-M3 układy tej rodziny są obecnie



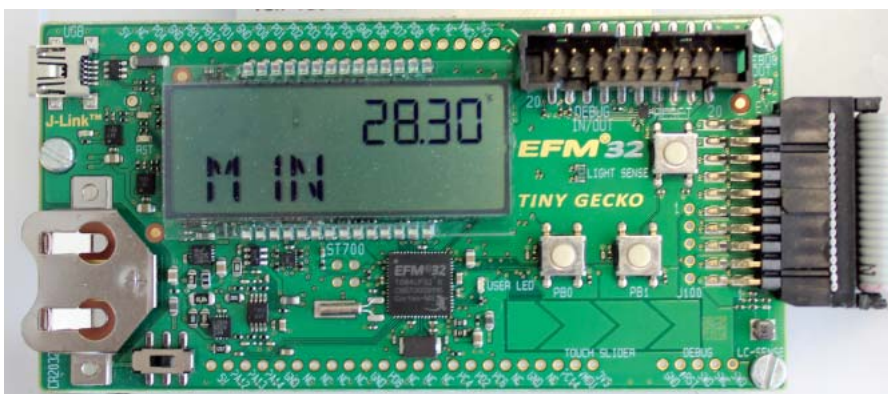
Rysunek 3. Schemat ideowy harwestera z baterią słoneczną

najlepsze na rynku pod względem zapotrzebowania na energię. Mają zużycie prądu 150 µA/MHz w czasie aktywnej pracy i 900 nA w trybie głębokiego uśpienia (EM2), w którym aktywne pozostają: zegar czasu rzeczywistego, detektor spadku napięcia i układ włączający zasilanie przy zerowaniu oraz utrzymana jest zawartość pamięci RAM i stan CPU. Platforma ewaluacyjna wykorzystuje zestaw Tiny Gecko Starter Kit (EFM32-G8XX-STK), wyposażony w mikrokontroler EFM32TG840F32. Rysunek 4 przedstawia, które części mikrokontrolera są aktywne w różnych trybach pracy. Tajemnicą stojącą za niezwykle niskim zużyciem energii jest kombinacja następujących dziesięciu czynników.

1. Bardzo niski pobór prądu w czasie pracy w stanie aktywnym:
  - 210 µA/MHz przy napięciu 3 V i częstotliwości 1 MHz,
  - 150 µA/MHz przy napięciu 3 V i częstotliwości 25 MHz,
  - 150 µA/MHz przy napięciu 3 V i częstotliwości 32 MHz.
2. Czas przetwarzania, skrócony dzięki wydajności rdzenia Cortex-M3 (1,25 DMIPS/MHz).
3. Bardzo szybkie wybudzenie z trybów uśpienia, trwające tylko 2 µs.
4. Bardzo mały pobór prądu w trybach *stand-by*: 20 nA w trybie *shutoff* i 900 nA w trybie *deep sleep* (w którym podtrzymywane są: POR, BOD, RTC, zawartość RAM i stan CPU).
5. Autonomiczne peryferia pracujące także, gdy CPU jest uśpiona oraz bardzo rozwinięta obsługa DMA.
6. Wyposażenie w *Peripheral Reflex System* pozwalający konfigurować bezpośrednie połączenia między peryferiami.
7. Dobrze zaprojektowane tryby pracy:
  - EM0 (*Run Mode*): 150 µA/MHz,
  - EM1 (*Sleep Mode*): 45 µA/MHz (uśpiona CPU, wszystkie peryferia aktywne),
  - EM2 (*Deep Sleep Mode*): 900 nA (aktywne: LCD, PCNT, WDOG, LEUART, I²C, ACMP, OPAMP, LESENSE, RTC, Brownout Detector, Power On Reset, RAM i CPU),



Rysunek 4. Ekran programu Simplicity Studio pokazujący aktywne bloki mikrokontrolera




Fotografia 5. Zestaw ewaluacyjny dla mikrokontrolerów Gecko


240 + Scalable Low Energy EFM32s

- Software Compatible
- Pin Compatible within each package


Series	Optional Features	QFN24	QFN32	QFN64	QFP48	QFP64	QFP100	BGA48	BGA112	BGA120
Wonder	USB LCD TFT DSP with FPU	EFM32WG940 EFM32WG330 EFM32WG840 EFM32WG230			EFM32WG942 EFM32WG332 EFM32WG842 EFM32WG232	EFM32WG980 EFM32WG380 EFM32WG880 EFM32WG280		EFM32WG990 EFM32WG390 EFM32WG890 EFM32WG290	EFM32WG995 EFM32WG395 EFM32WG895 EFM32WG295	
Giant	USB LCD TFT	EFM32GG940 EFM32GG330 EFM32GG840 EFM32GG230			EFM32GG942 EFM32GG332 EFM32GG842 EFM32GG232	EFM32GG980 EFM32GG380 EFM32GG880 EFM32GG280		EFM32GG990 EFM32GG390 EFM32GG890 EFM32GG290	EFM32GG995 EFM32GG395 EFM32GG895 EFM32GG295	
Leopard	USB LCD TFT	EFM32LG940 EFM32LG330 EFM32LG840 EFM32LG230			EFM32LG942 EFM32LG332 EFM32LG842 EFM32LG232	EFM32LG980 EFM32LG380 EFM32LG880 EFM32LG280		EFM32LG990 EFM32LG390 EFM32LG890 EFM32LG290	EFM32LG995 EFM32LG395 EFM32LG895 EFM32LG295	
Gecko	LCD	EFM32G210 EFM32G200	EFM32G840 EFM32G230	EFM32G222	EFM32G842 EFM32G232	EFM32G880 EFM32G280		EFM32G890 EFM32G290		
Tiny	LCD	EFM32TG110 EFM32TG108	EFM32TG840 EFM32TG210	EFM32TG822	EFM32TG842 EFM32TG232		EFM32TG825			
Zero		EFM32ZG110 EFM32ZG108	EFM32ZG210	EFM32ZG222						




**ZERO**  
Total 16 MCUs  
Flash: 4-32  
RAM: 2-4




**TINY**  
Total 35 MCUs  
Flash: 4-32  
RAM: 2-4




**GECKO**  
Total 31 MCUs  
Flash: 16-128  
RAM: 8-16



**LEOPARD**  
Total 16 MCUs  
Flash: 64-256  
RAM: 32



**GIANT**  
Total 40 MCUs  
Flash: 512-1024  
RAM: 128



**WONDER**  
Total 60 MCUs  
Flash: 64-256  
RAM: 32

Rysunek 6. Przegląd mikrokontrolerów Gecko

- EM3 (Stop Mode): 600 nA (BOD, POR, RAM i CPU),
  - EM4 (Shutoff Mode): 20 nA (POR, wybudzanie przez GPIO).
- Bardzo wydajne energetycznie peryferia: Przetwornik A/C: 12-bit przy 1 MSa/s: 350 µA, 6-bit przy 1 kSa/s: 500 nA, niskomocowy UART (Low Energy UART): 150 nA (przy 9600 b/s), kontroler LCD 4×40: 550 nA.
  - Energooszczędny interfejs czujników, pozwalający na niezależne, konfigurowalne monitorowanie w trybie EM2 (Deep Sleep) do 16 czujników jednocześnie.
  - Możliwość analizy w czasie rzeczywistym zużycia energii dzięki narzędziu Advanced Energy Monitoring, wbudowanemu w środowisko Simplicity Studio.

Jako środowisko projektowe dla zestawu ewaluacyjnego (fotografia 5) jest używane Simplicity Studio ([www.energymicro.com/software](http://www.energymicro.com/software)). Użytkownicy mają w nim dostęp z poziomu interfejsu graficznego do wszystkich aktualizacji i nowinek dotyczących firmy Energy Micro, a także najnowszej dokumentacji mikrokontrolerów, oprogramowania i zestawów ewaluacyjnych. Dostępny jest także bezpośredni odnośnik do zintegrowanych narzędzi wspomagających analizy zużycia energii (energy aware tools), pozwalających projektantom identyfikować i eliminować słabe punkty oprogramowania jeszcze w fazie tworzenia go. Jeśli chodzi o kompilatory, to w razie potrzeby istnieje możliwość integracji ze środowiskiem narzędzi IAR, Keil, Rowley oraz bezpłatnego środowiska opartego o Eclipse.

Rodzina Gecko liczy sobie obecnie ponad 240 układów. Na rysunku 6 zaprezentowano ich przegląd. Różne serie (Zero, Tiny, Gecko, Leopard, Giant i Wonder) zostały oznaczone różnymi kolorami. Wszystkie te układy są kompatybilne, jeśli chodzi o układ wyprowadzeń, w ramach danego typu obudowy. Jeśli w nazwie układu po kodzie oznaczającym serię występuje ten sam ciąg liczb, oznacza to, że układy mają taki sam zestaw peryferiów (LCD, interfejsy, wyprowadzenia GPIO itd.). Tak jak wszystkie zestawy ewaluacyjne firmy Energy Micro, EFM32-G8XX-STK jest wyposażony we w pełni funkcjonalny debugger J-Link z interfejsem USB. Pozwala to projektantom efektywnie debugować oprogramowanie pisane pod płyty ewaluacyjne firmy Energy Micro i wykorzystywać później ten sam interfejs debugujący do pracy z własnym sprzętem. System narzędzi firmy Energy Micro obejmuje także adaptory do debuggerów, kompilatory oraz programatory i oprogramowanie typu middleware.

Firma Energy Micro wkrótce zaprezentuje też swoje pierwsze energooszczędne układy do transmisji radiowej, które będą początkowo obsługiwały trzy typy konfiguracji systemu:

1. Transceiver + mikrokontroler.
2. Procesor sieciowy + mikrokontroler.
3. System-on-Chip (SoC).

Będą one pracowały w zakresie częstotliwości od 167 MHz do 2,5 GHz, co pozwoli na ich używanie na całym świecie. Dostępne są też już stopy protokołów, zarówno opracowanych przez Energy Micro, jak i innych producentów, wliczając w to takie interfejsy jak: Wireless M-Bus, Bluetooth LE, KNX, io-Homecontrol oraz ZigBee i oparty na standardzie 802.15.4(g). Szczegółowe informacje można znaleźć na stronie [www.energymicro.com/drac](http://www.energymicro.com/drac).

**Ingo Seehagen**  
Field Application Engineer  
w firmie Avnet Memec

REKLAMA

## Z DUMĄ PREZENTUJEMY OFERTĘ INNOWACYJNYCH PRODUKTÓW DOPASOWANYCH DO TWOICH POTRZEB

Avnet Memec jest dystrybutorem specjalizującym się w najnowszych technologiach półprzewodnikowych. Koncentrujemy się na innowacyjnych rozwiązaniach. Doświadczony zespół inżynierów i specjalistów ds. sprzedaży, dysponujący rozległą wiedzą, znajomością rynku i różnorodnych zastosowań, pomoże w znalezieniu produktów dopasowanych do Twoich potrzeb. Zapewniamy ponadto pełną obsługę logistyczną oraz wsparcie techniczne.

Zapraszamy do współpracy z naszym biurem w Katowicach pod numerem tel. 32 337 56 20 lub [katowice@avnet-memec.eu](mailto:katowice@avnet-memec.eu).

CREATE  
INNOVATE  
ACCELERATE  
[www.avnet-memec.eu](http://www.avnet-memec.eu)

