Mikrokontrolery tinyAVR PicoPower

małe i oszczędne

Najważniejszym kryterium doboru układów scalonych do urządzeń przenośnych jest mały pobór energii ze źródła zasilania. Kluczowym problemem staje się bowiem wydłużenie czasu używania baterii czy akumulatora. Dlatego skupienie uwagi projektantów i producentów układów na rozwiązanie tego problemu jest bardziej istotne niż dla urządzeń stacjonarnych.

Atmel od ponad dwóch lat realizuje mikrokontrolery przeznaczone do zastosowania w sprzęcie przenośnym w technologii pikoPower, której celem jest minimalizacja poboru energii przez te układy. Produkowane dotychczas mikrokontrolery są w większości sukcesywnie przeprojektowywane do tej technologii. Mają te same możliwości funkcjonalne i zasoby co ich pierwowzory, lecz charakteryzują się zmniejszonym poborem energii i są identyfikowane przyrostkiem P dodanym do symbolu typu, np. ATmega165 ma w nowej technologii oznaczenie ATmega165P (**tab. 1**).

Należy przypomnieć, że nieco wcześniej Texas Instruments także opracował i wprowadził na rynek mikrokontrolery rodziny MSP430 o ultra niskim poborze energii.

Nowe ATtiny

W połowie czerwca Atmel ogłosił wprowadzenie na rynek dwóch nowych, energooszczędnych mikrokontrolerów z rodziny TinyAVR: Tiny48 i Tiny88, zrealizowane w energooszczędnej technologii picoPower, dzięki której skutecznie wyeliminowano, różnymi zabiegami, zbędny pobór energii ze źródła zasilania. W stanie aktywnym pobierają poniżej 240 μA przy napięciu zasilania 1,8 V i częstotliwości taktowania 1 MHz, natomiast w stanie obniżonego poboru energii (w trybie uśpienia PWD – patrz ramka) poniżej 100 nA. Są przeznaczone do przenośnych i oszczędnych energetycznie małych urządzeń o krótkim okresie aktywności, a długim oczekiwania, który spędzają w stanie uśpienia. W tych kontrolerach są stosowane trzy tryby uśpienia: PWD, ADC NR i Idle (ramka).

Kontrolery ATtiny48/88 mogą być zasilane napięciem 1,8...5,5 V. Mają 8-kanałowy (bądź 6-kanałowy, zależnie od obudowy) 10-bitowy przetwornik ADC, interfejsy szeregowe SPI i I²C, wewnętrzny oscylator większość bloków funkcjonalnych dostępnych w innych kontrolerach AVR. Ich moc obliczeniowa przy częstotliwości taktowania 12 MHz wynosi 12 MIPS. Podobnie jak w innych mikrokontrolerach AVR, w mikrokontrolerach 48/88 jest wbudowany interfejs debugWIRE umożliwiający łatwiejsze, szybsze poprawianie oprogramowania (*on-chip debug system*), czyli efektywniejsze uruchamianie aplikacji z tymi mikrokontrolerami.

Dla tych mikrokontrolerów mogą być używane standardowe narzędzia projektowe dla mikrokontrolerów AVR, to jest zintegrowane środowisko projektowe AVR Studio, dostępne bezpłatnie w witrynie internetowej Atmela.

Mikrokontrolery są montowane w obudowach: próbki układów ATtiny48 są już dostępne, a układów ATtiny88 zapowiedziano na trzeci kwartał bieżącego roku. Przewidywana cena dla woluminu powyżej 10000 to odpowiednio $0,80 i $1,05 dla ATtiny48 i ATtiny88.

Oszczędzanie energii w technologii pikoPower

W technologii picoPower wprowadzono wiele mechanizmów i zabiegów technologicznych w celu zaoszczędzenia energii zarówno w stanie aktywnym, jak i uśpienia.

Stan aktywny

Najważniejszymi dla tej technologii zabiegami powodującymi oszczędności energii w stanie aktywnym są:

- obniżenie napięcia zasilania wszystkich bloków do 1,8 V,
- wprowadzenie bramkowania sygnału zegarowego,
- zastosowanie rejestru redukcji energii,
- próbkowania pamięci Flash.

W stanie aktywnym mikrokontrolera, tak jak w każdym układzie CMOS, energia tracona w czasie 1 sekundy, czyli tracona moc, jest proporcjonalna do liczby przełączanych bramek (N), częstotliwości ich przełączania (F), wartości pasożytniczej pojemności obciążającej te bramki (C) i kwadratu napięcia zasilania (V):

$$P=1/2NFCV^2$$

Aby ją zminimalizować, należy zminimalizować wartości wszystkich czynników tego wyrażenia, jednak bez zagrożenia prawidłowego działania mikrokontrolera przy realizacji danego zadania. Zatem należy maksymalnie zmniejszyć napięcie zasilania i pasożytnicze pojemności obciążenia, przez zastosowanie odpowiednich zabiegów technologicznych, przede wszystkim zmniejszenie wymiarów geometrycznych elementów (wskutek zastosowania reguł projektowych z submikronowym wymiarem charakterystycznym). Ponadto, należy wyłączyć elementy składowe (bramki, przerzutniki) nieuży-

Tab. 1. Dostępne mikrokontrolery w technologii pikoPower

Symbol mikrokontrolera	Flash [kB]	EEPRO [B]	RAM [B]	I/O	Vcc [V]	Sygnał zegarowy [MHz]	Przeznaczenie
ATmega1284P	128	4	16K	32	1,8...5,5	20	ogólne
ATmega164P	16	512	1024	32	1,8...5,5	20	ogólne
ATmega324P	32	1024	2048	32	1,8...5,5	20	ogólne
ATmega644P	64	2048	4096	32	1,8...5,5	20	ogólne
ATmega48P	4	256	512	23	1,8...5,5	20	ogólne
ATmega88P	8	512	512	23	1,8...5,5	20	ogólne
ATmega168P	16	512	1K	23	1,8...5,5	20	ogólne
ATmega328P	32	1024	2048	23	1,8...5,5	20	ogólne
ATmega165P*	16	512	1024	54	1,8...5,5	16	ogólne
ATmega169P*	16	512	1024	54	1,8...5,5	16	4x25 LCD Ctrl
ATmega325P	32	1024	2048	54	1,8...5,5	20	ogólne
ATmega3250P	32	1024	2048	69	1,8...5,5	20	ogólne
ATmega329P	32	1024	2048	54	1,8...5,5	20	4x25 LCD Ctrl
ATmega3290P	32	1024	2048	69	1,8...5,5	20	4x40 LCD Ctrl
ATtiny13A**	1	64	64	6	1,8...5,5	20	ogólne
ATtiny48**	4	64	256	6	1,8...5,5	12	ogólne
ATtiny88**	8	64	512	6	1,8...5,5	12	ogólne

* W ATmega165P i ATmega169P nie zastosowano trybu uśpienia detektora BOD
** Nie zawierają oscylatora kwarcowego 32 kHz (Ultra Low Power)

We wszystkich mikrokontrolerach jest dostępnych kilka trybów uśpienia, w których następuje znaczne zmniejszenie poboru energii. W kontrolerach AVR są stosowane następujące tryby:
- Power Down (PWD), w którym wszystkie bloki, łącznie z generatorem zegarowym, są wyłączone (aktywne są jedynie obwody kontroli przerwań zewnętrznych i ewentualnie watchdog);
- Power Save (PS), w którym wszystkie bloki są wyłączone z wyjątkiem generatora kwarcowego o małej częstotliwości (32 kHz);
- ADC Noise Reduction (ADC NR) – stosowany podczas konwersji sygnału przez przetworniki ADC, w którym wyłączany jest rdzeń kontrolera i bloki peryferyjne w celu obniżenia poziomu szumów podczas konwersji;
- Idle, w którym wyłączane są tylko te bloki komputera, które aktualnie nie są używane, natomiast rdzeń mikrokontrolera jest aktywny.

Jest oczywiste, że ilość zaoszczędzonej energii zależy od zastosowanego trybu uśpienia. Tak na przykład, mikrokontroler ATmega165P, z niskoenergetycznej rodziny AVR, przy napięciu zasilania 1,8 V i częstotliwości sygnału taktującego 1 MHz pobiera w stanie aktywnym ze źródła zasilania 340 μA (stan aktywny), a w trybach: Idle, Power Save i Power Down stanu uśpienia odpowiednio: 150 μA, 0,65 μA i tylko 0,1 μA.

wanych bloków funkcjonalnych i, jeżeli to możliwe, zmniejszyć częstotliwość przełączania (taktowania) elementów bloków używanych. W tym celu stosuje się bramkowanie sygnału zegarowego, podobnie jak jest to realizowane w niektórych trybach uśpienia. Do zarządzania bramkowaniem sygnału zegarowego dla nieużywanych w danym zadaniu układów peryferyjnych stosowany jest rejestr obniżania poboru energii PRR (*Power Reduction Register*), który przez odpowiednie ustawianie bitów kontrolnych powoduje wyłączanie nieużywanych bloków peryferyjnych. Rejestr ten jest kontrolowany programowo, czyli programista może włączać i wyłączać moduły peryferyjne w dowolnym czasie. Wyłączenie jednego modułu peryferyjnego powoduje redukcję pobieranej energii o 5...10% w stanie aktywnym, a o 10...20% w trybie uśpienia Idle.

Pamięć Flash, jako blok w istocie analogowy (pod względem budowy elektrycznej), pobiera energię również w warunkach statycznych. Przy małej częstotliwości sygnału zegarowego czas odczytu jest dużo krótszy od okresu zegara, a więc może być ona wyłączana po odczycie, co powoduje znaczne zredukowania traconej energii. W mikrokontrolerach AVR zastosowano technikę zwaną Flash sampling, która polega na włączaniu pamięci Flash tylko na okres próbkowania zawartości jej matrycy, po czym jest natychmiast wyłączana.

Stan uśpienia

W aplikacjach, w których mikrokontroler przeważającą część czasu jest w stanie nieaktywnym (np. 99% czasu pracy, co odpowiada impulsowemu w stanie aktywnym poborowi dużego prądu z zasilania o „współczynniku wypełnienia" 1%), jest ważne zminimalizowanie poboru energii w stanie uśpienia, gdyż znacznie wpływa na średnią wartość prądu pobieranego z zasilania. Pobór energii w tym stanie jest określony prądem pobieranym przez:
- detektor wykrywający spadek napięcia zasilania poniżej określonego progu,
- generator synchronizujący proces budzenia,
- analogowe obwody wejściowe przetworników ADC.

Najważniejszym modułem z punktu widzenia poboru energii w trybie uśpienia jest detektor BOR (*Brown-out Detektor*). Zabezpiecza działanie mikrokontrolera zerując go, gdy napięcie zasilania spadnie poniżej określonego progu. Działanie BOD jest zbędne, gdy mikrokontroler jest w stanie uśpienia, natomiast ekstremalnie ważne, gdy budzi się lub jest w stanie aktywnym. Wyeliminowania poboru energii przez BOD w stanie uśpienia może być zrealizowane dwoma sposobami: przez zbudowanie układu o zerowym poborze mocy (*zero-power BOD*), albo wyłączania go.

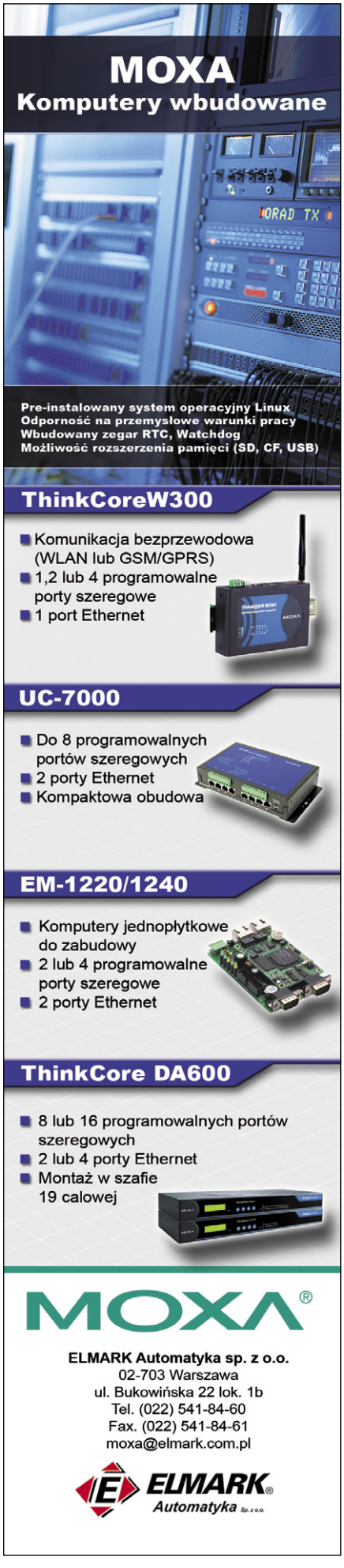
BOD musi działać, gdy kontroler budzi się, to zbudowanie *zero-power BOD* wydaje się być jedynym rozsądnym rozwiązaniem. Jednak zmniejszenie poboru energii modułu analogowego może spowodować, że stanie się on zbyt wolny. Ponieważ mikrokontroler nie jest aktywny, to nic nie jest odczytywane ani zapisywane do pamięci Flash czy EEPROM, a więc w trybie uśpienia BOD nie jest niezbędny. Rozwiązaniem tego problemu jest więc wyłączanie BOD gdy mikrokontroler wchodzi w stan uśpienia, a włączanie przed opuszczeniem tego stanu. Takie podejście zapewnia, że BOD funkcjonuje wtedy, gdy jest potrzebny bez żadnego obciążenia prądowego w stanie uśpienia.

Generalnie są dwa sposoby synchronizowania obudzenia procesora z głębokiego uśpienia: za pomocą zegara czasu rzeczywistego RTC (*Real Time Clock*) lub bardzo oszczędnego energetycznie oscylatora VLO (*Very Low Power Oscillator*). Różnią się one głównie dokładnością i stabilnością, gdyż częstotliwość RTC jest stabilizowana kwarcem o częstotliwości rezonansowej 32 kHz. W tym przypadku oszczędność energii wynika z zastosowania niskiej częstotliwości taktowania i oszczędnego generatora.

Podsumowanie

Osiągnięte, dzięki ukierunkowanemu odpowiednio modyfikowaniu technologii i architektury, wartości prądów zasilania mikrokontrolerów realizowanych w technologii pikoPower są w wielu zastosowaniach ich niewątpliwą zaletą. Ponadto, nie ustępują pod względem poboru energii swym odpowiednikom, na przykład mikrokontrolerom MSP430 firmy Texas Instrument (**tab. 2**).

jp

Tab. 2 Pobór prądu w trybie PWD

Mikrokontroler	Producent	I_{CCtyp} (VCC=3 V, T25°C)	I_{CCmax} (V_{CC}=3 V, T=85°C)
MSP430F4xxx	TI	0,1 μA	3,5 μA
MSP430F2xxx	TI	0,1 μA	1,9 μA
ATmega165P	Atmel	0,1 μA	2 μA