

Energooszczędne MSP430

Nowa seria 0xx

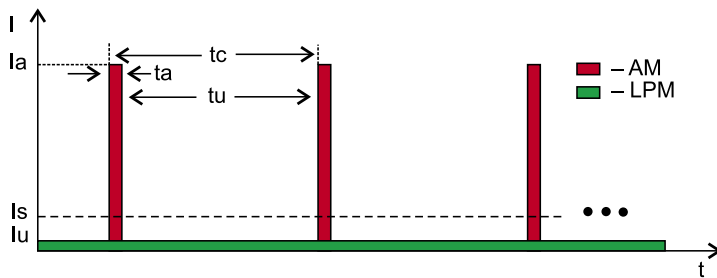
Rozwój rodziny MSP430 nie spowalnia, a wręcz przeciwnie – nabiera rozpędu. Liczba wyprodukowanych modeli mikrokontrolerów przekroczyła 300. Powstała także nowa niskonapięciowa seria układów o oznaczeniu 0xx (Low Voltage Series). W artykule omówiono mikrokontrolery z serii 0xx.

MSP430 mają 5 bądź 6 energooszczędnych trybów uśpienia LPM (Low Power Mode). W trybach LPM3, LPM4 i LPM5 (głę-

bokie uśpienie) pobór prądu przez mikrokontroler może zostać obniżony do wartości rzędu nanoamperów. W trybie pracy aktyw-

nej AM (Active Mode) pobór prądu MSP430 znacząco wzrasta i oscyluje w granicach setek mikroamperów, a nawet pojedynczych miliamperów. Z tej przyczyny, aby wykonać urządzenie energooszczędne, programista musi sterować pracą mikrokontrolera zgodnie ze schematem zamieszczonym na **rysunku 1**. Jednym słowem mikrokontroler musi jak najmniej czasu spędzać w trybie pracy aktywnej (duży pobór prądu), a jak najwięcej w trybie uśpienia (mały pobór prądu). In, krótszy będzie czas pracy MSP430 w trybie aktywnym, tym średnia wartość pobieranego prądu będzie mniejsza, a urządzenie zasilane z baterii będzie pracować dłużej (**ramka 1**).

Niestety, nie wszystkie z założenia energooszczędne urządzenia pracują w sposób zaprezentowany na rysunku 1. W praktyce bardzo często są wykonywane takie, w których mikrokontroler pracuje wyłącznie w trybie aktywnym i w ogóle nie korzysta z trybów uśpienia oraz takie, w których mikrokontroler przez większość czasu pracuje w trybie aktywnym, a z trybów uśpienia korzysta sporadycznie. Z myślą o tego typu urządzeniach inżynierowie z Texas Instruments zaprojektowali nową serię MSP430 o oznaczeniu 0xx. W najnowszych procesorach kilkakrotnie zmniejszono pobór prądu w trybie pracy aktywnej, nieznacznie zwiększając pobór prądu w trybach uśpienia (**rysunek 2**).



Rysunek 1. Optymalne sterowanie pracą MSP430

Maksymalny czas pracy mikrokontrolera na jednym komplecie baterii T_p [h] można obliczyć korzystając ze wzoru $T_p = C_b / I_s$, gdzie: C_b – pojemność (ładunek elektryczny) baterii [mAh], I_s – średni pobór prądu [mA]. W przypadku sterowania jak na rysunku 1, średni pobór prądu mikrokontrolera I_s [mA] można obliczyć korzystając ze wzoru $I_s = (t_a \cdot I_a + t_u \cdot I_u) / t_c$, gdzie: t_a – czas pracy w trybie aktywnym AM [s], t_u – czas pracy w trybie uśpienia LPM [s], t_c – czas trwania pojedynczego cyklu pracy [s], I_a , I_u – pobór prądu w trybie aktywnym, uśpienia [mA].

Przykład:

Urządzenie wyposażone jest w mikrokontroler MSP430f1232. Mikrokontroler pracuje w cyklach jednosekundowych, gdzie przez 100 ms przebywa w trybie aktywnym (pobór prądu 300 μ A), a pozostałe 900 ms jest uśpiony w trybie LPM3 (pobór prądu 800 nA). Urządzenie jest zasilane z baterii typu CR2032 o pojemności 240 mAh.

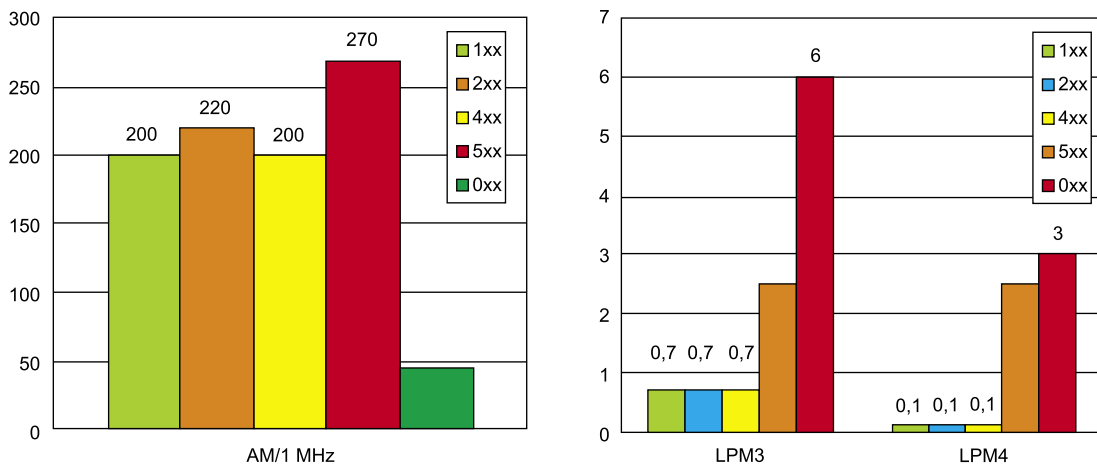
Średni pobór prądu wynosi: $I_s = (0,1 \text{ s} \cdot 0,3 \text{ mA} + 0,9 \text{ s} \cdot 0,0008 \text{ mA}) / 1 \text{ s} = 0,03072 \text{ mA}$

Maksymalny czas pracy na baterii wynosi: $T_p = 240 \text{ mAh} / 0,03072 \text{ mA} = 7812,5 \text{ h}$. Po przeskalowaniu jednostek z otrzymujemy ponad 325 dni pracy urządzenia.

W przypadku, gdy czas pracy MSP430f1232 w trybie aktywnym zmniejszymy z 100 do 20 ms, to średni pobór prądu zmaleje do wartości 0,006784 mA, a maksymalny czas pracy na baterii wydłuży się do ponad 4 lat.

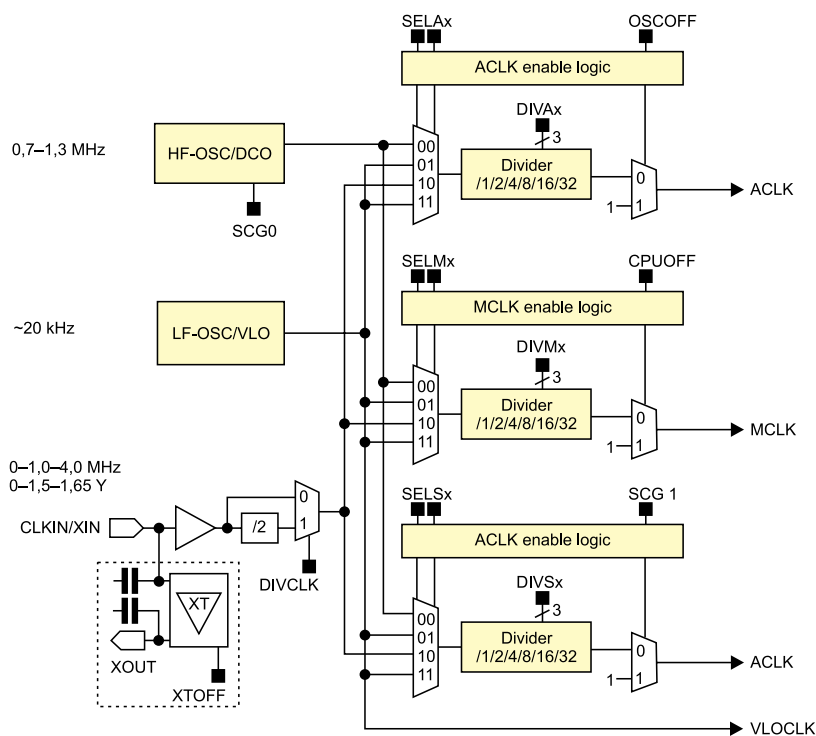
Mikrokontrolery MSP430 z serii 0xx

Mniejszy pobór prądu układów serii 0xx w trybie pracy aktywnej uzyskano przez obniżenie napięcia zasilania mikrokontrolera



Rysunek 2. Pobór prądu MSP430 (μA). W seriach 1xx, 2xx, 4xx przy zasilaniu napięciem 2,2 V, w serii 5xx – 3 V (rdzeń 2 V/ 12 MHz), a w serii 0xx – 1,3 V

Tabela 1. Parametry mikrokontrolerów z serii 0xx				
Procesor	MSP430C091	MSP430C092	MSP430L092	
pamięć	RAM	128 B	128 B	2 KB
	ROM	1 KB	2KB	---
wejścia – wyjścia	11			
układ Watchdog	moduł Watchdog Timer w trybie pracy Watchdog			
system zegarowy	CCS (2 źródła wewnętrzne, 1 źródło zewnętrzne, 4 sygnały zegarowe)			
liczniki	2 liczniki TAR, moduł Watchdog Timer w trybie pracy Timer			
periferia	8-bitowy DAC, 8-bitowy ADC, komparator, generator napięcia referencyjnego 256 mV, dzielnik napięcia zasilania, czujnik temperatury			

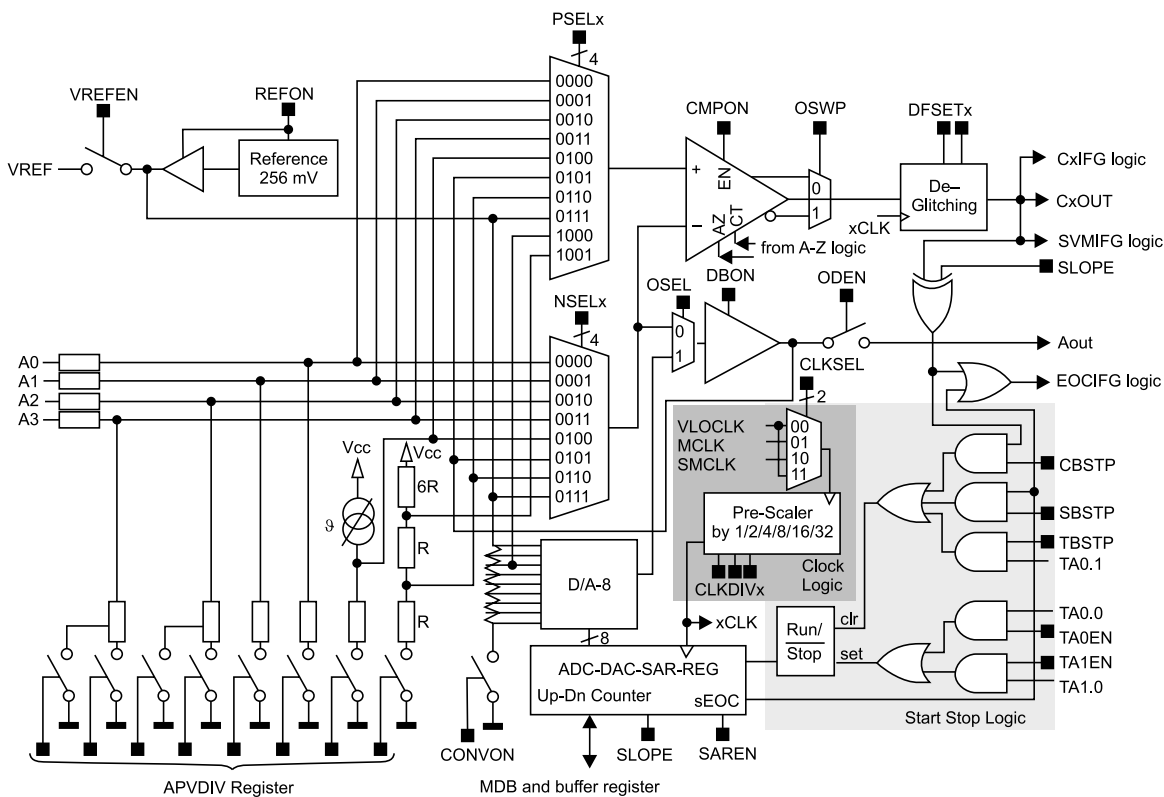


Rysunek 3. Schemat blokowy układu zegarowego CCS

(ramka 2). Wcześniej produkowane MSP430 mogły być zasilane napięciem z zakresu 1,8...3,6 V (w serii 3xx 2,5...5,5 V), w nowych układach serii 0xx napięcie zasilania obniżono do wartości 0,9...1,65 V. Zmniejszenie napięcia zasilania poniżej 1,8 V spowodowało, że w serii 0xx nie są produkowane układy z pamięcią EEPROM/FLASH. Produkowane są wyłącznie procesory wyposażone w pamięć ROM/RAM.

Na dzień dzisiejszy wyprodukowano 3 układy serii 0xx. Wszystkie procesory oferowane są w 14-pinowych obudowach typu TSSOP. Programista ma do dyspozycji 2 porty wejścia-wyjścia P1, P2 obsługujące 11 linii. Każda linia portu P1, P2 może pracować w trybie funkcyjnym, bądź w trybie we-wy. W przypadku, gdy linia pracuje w trybie we-wy programista może ustawić kierunek linii (wejście/wyjście), odczytać stan wejścia, ustawiać stan wyjścia, obsługiwać linię w trybie przerwań, oraz użyć rezystorów podciągających.

Specjalnie na potrzeby serii 0xx zaprojektowano nowy układ zegarowy CCS (Compact Clock System). Schemat blokowy układu ilustruje rysunek 3. Układ zegarowy wyposażono w dwa wewnętrzne źródła zegarowe: LF-OSC (oscylator niskiej częstotliwości odpowiednik znanego z serii 2xx, G2xx, 5xx/6xx, CC430 oscylatora VLO), HF-OSC (oscylator wysokiej częstotliwości odpowiednik występującego we wszystkich seriach MSP430 oscylatora DCO). Oscylator LF-OSC wytwarza sygnał o częstotliwości około 20 kHz i jest zawsze aktywny (nie można go wyłączyć). Oscylator HF-OSC wytwarza sygnał



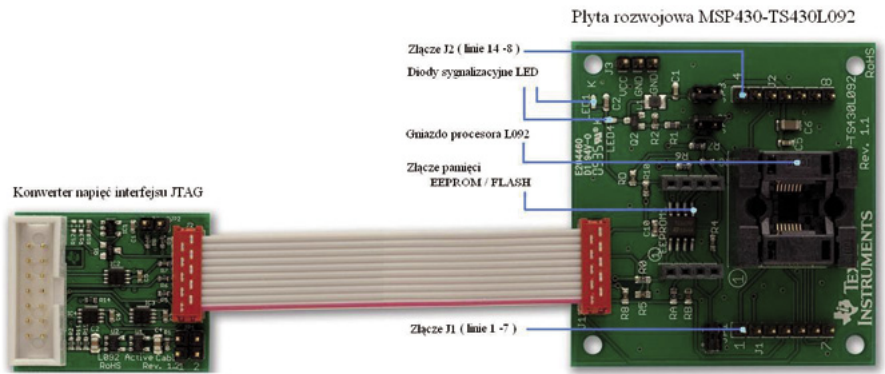
Rysunek 4. Schemat blokowy modułu analogowego A-Pool

o częstotliwości z zakresu 0,7...1,3 MHz (po starcie mikrokontrolera 1 MHz). Parametry pracy oscylatora (częstotliwość na wyjściu) określa programista. Ponieważ oscylator HF-OSC jest generatorem typu RC to częstotliwość wytwarzanego sygnału ulega zmianom. Fluktuacje w zależności od napięcia zasilania mikrokontrolera i temperatury otoczenia wynoszą: $\pm 1\%/V$, $\pm 0,15\%/C$. Żeby na wyjściu oscylatora uzyskać sygnał o stabilnej częstotliwości trzeba (podobnie jak w przypadku DCO) kalibrować parametry pracy oscylatora. Trzecim, źródłem sygnałów zegarowych może być sygnał doprowadzony do wejścia CLKIN procesora (w poprzednich seriach MSP430 wejście XIN). Maksymalna częstotliwość sygnału, który możemy podać na wejście uzależniona jest od napięcia zasilania mikrokontrolera. Przy zasilaniu poniżej 1,5 V (0,9...1,5 V) prędkość sygnału nie może przekraczać 1 MHz. Zwiększając napięcie zasilania powyżej 1,5 V (1,5...1,65 V) do procesora można doprowadzić sygnał o częstotliwości do 4 MHz. Ważną cechą układu zegarowego CCS jest ortogonalność (każde z 3 źródeł może taktować dowolny z 4 sygnałów zegarowych), oraz wbudowane preskalery (1/2/4/8/16/32) pozwalające płynnie regulować częstotliwość sygnałów zegarowych.

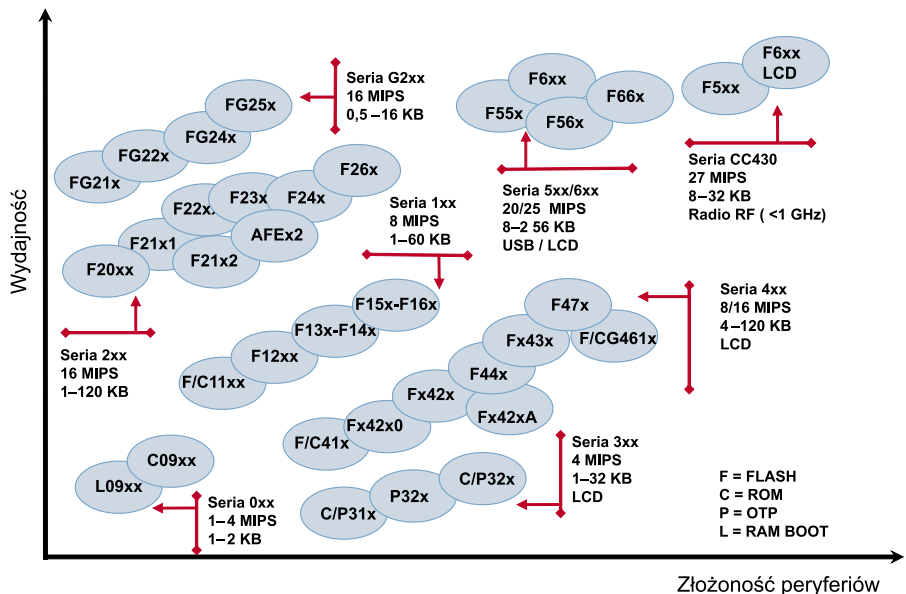
Wszystkie procesory serii 0xx wyposażono w 32-bitowy układ Watchdog Timer (praca w trybie Watchdog (restart), bądź w trybie Timer (licznik)), oraz w dwa 16-bitowe liczniki TAR (każdy licznik współpracuje z 3 rejestrami, Capture (przechwycić)/Compare (porównaj)).

Istotną zmianą wprowadzoną w procesorach serii 0xx jest zaprojektowanie modułu analogowego A-Pool (Analog Pool). Schemat blokowy modułu ilustruje **rysunek 4**.

Sercem modułu A-Pool jest komparator (z filtrem cyfrowym na wyjściu), oraz dwa multiplexery (wybór sygnałów podawanych na wejścia +/- komparatora). W module zainstalowano generator napięcia referencyjnego o wartości 256 mV (opcjonalnie do wejścia VREF można doprowadzić zewnętrzne napięcie odniesienia), 8-bitowy przetwornik DAC (przetwornik wytwarza napięcie z zakresu 1...256 mV, które można wyprowadzić na linię mikrokontrolera, albo podać na wejście komparatora), wewnętrzny czujnik temperatury (możliwość pomiaru temperatury procesora), oraz dzielnik napięcia zasilania (możliwość monitorowania zużycia baterii). Pomiar analogowy wykonuje przetwornik ADC korzystając z metody RAMP, bądź SAR (szczegółowy opis w dokumencie sla475). Wynik pomiaru jest 8-bitowy i może być prezentowany w formie liczby całkowitej (8, 16 bitów), albo zmiennoprzecinkowej (kodowanie Q7, Q15). Przetwornik ADC obsługuje zewnętrzne kanały pomiarowe A0-A3, oraz kanały wewnętrzne (czujnik temperatury, dzielnik napięcia zasilania). Zakres pomia-



Rysunek 5 Układ startowy MSP430-TS430L092



Rysunek 6. Portfolio MSP430

rowy przetwornika wynosi 0...256 mV. Żeby zmierzyć napięcie większe niż 256 mV, trzeba użyć wewnętrznych dzielników APVDIV. Sygnał podany na wejście A0, A1 można podzielić przez 2 (pomiar napięcia 0...0,5 V), a sygnał podany na wejście A2, A3 przez 4, albo 8 (pomiar napięcia 0...1 V bądź 0...2 V). Reasumując moduł A-Pool to rozbudowane sprzętowo (komparator, DAC-8, ADC-8, itd.) narzędzie pozwalające tworzyć zaawansowane procedury pomiaru sygnałów analogowych.

Układ startowy

Procesory C091, C092 wyposażone w pamięć ROM dedykowane są do dużych serii produkcyjnych (tysiące, dziesiątki tysięcy urządzeń). Do celów developerskich i krótkich serii produkcyjnych (kilka, kilkanaście urządzeń) przeznaczony jest wyposażony w pamięć RAM procesor L092. Na **rysunku 5 zaprezentowano** układ startowy MSP430-TS430L092, obsługujący procesor L092. Układ składa się z dwóch części: konwertera napięć interfejsu JTAG (przejście z logiki 3 V na 1,5 V), oraz płytki rozwojowej.

Na płycie rozwojowej zainstalowano koszyk do montażu L092, oraz złącze

do montażu zewnętrznej kości pamięci EEPROM/FLASH (linie procesora wyprowadzono na złącza J1, J2). Programista może wgrać oprogramowanie bezpośrednio do pamięci RAM mikrokontrolera, albo do zewnętrznej kości pamięci. Mikrokontroler L092 wyposażono w bootloader (zapisany w pamięci ROM układu), który po starcie procesora uruchamia procedurę odczytu zewnętrznej pamięci EEPROM/FLASH. Zawartość pamięci (kod programu), kopiowana jest do pamięci RAM mikrokontrolera. Sprawdzana jest poprawność skopiowanego bloku danych (kod programu zabezpiecza CRC) i jeśli bootloader nie wykryje błędów to uruchamiany jest program załadowany do pamięci RAM procesora. Komunikacja pomiędzy L092, a zewnętrzną pamięcią odbywa się za pośrednictwem protokołu SPI. Żeby komunikacja procesor- pamięć przebiegała poprawnie trzeba włączyć zasilanie pamięci, oraz dopasować poziom napięć na liniach transmisyjnych SPI (napięcie zasilania oraz napięcie na liniach SPI musi być wyższe niż 1,8 V). Gotowe schematy elektryczne przetwornic i układów dopasowujących zamieszczono w dokumentacji technicznej serii 0xx (dokument sla321).

Zastosowanie

Mikrokontrolery MSP430 serii 0xx to **pierwsze na świecie procesory**, w których zarówno rdzeń CPU, jak i układy peryferyjne (porty we-wy, komparator, przetworniki AC/DC) mogą pracować przy zasilaniu 0,9 V. Obniżenie napięcia zasilania do poziomu 0,9...1,65 V spowodowało, że procesory serii 0xx można zasilac z jednej baterii alkaicznej typu AAA (tzw. cienki paluszek). Perspektywa zasilania urządzenia z małej baterii typu AAA, oraz niski pobór prądu procesora w trybie pracy aktywnej spowodowały, że 0xx stosowane są m.in. w: elektrycznych szczoteczka-kach do zębów, zabawkach, maszynkach do golenia, urządzeniach alarmowych.

Kierunki rozwoju

W momencie przekazywania artykułu do druku w rodzinie MSP430 dostępnych było 318 procesorów (rysunek 6). Z informacji, które pozyskał autor, wynika, że już w sprzedaży jest dostępna kolejna seria MSP430 (9-ta seria) o oznaczeniu FRxx. Charakterystyczną cechą układów nowej serii jest zainstalowana w procesorze pamięć **FRAM** (Ferroelectric RAM).

Pamięć FRAM łączy w sobie zalety pamięci RAM oraz FLASH. Dzięki temu w nowych mikrokontrolerach MSP430FR pamięć można partycjonować na obszary o takiej wielkości i przeznaczeniu, jakie odpowiadają programiście. Takie podejście umożliwia zrezygnowanie z poszukiwań kompromisu pomiędzy wielkością dostępnej pamięci RAM, a „skojarzonej z nią” pamięci Flash. Bo zwy-

Pobór prądu MSP430 zależy od

napięcia zasilania rdzenia CPU (im niższe napięcie, tym mniejszy pobór prądu). Pracując w trybie aktywnym AM pobór prądu możemy obliczyć korzystając ze wzoru $IAM = IAM[Vx] + Wa * (Vcc - Vx)$, gdzie: $IAM[Vx]$ – pobór prądu zmierzony przy napięciu zasilania o wartości Vx [μA], Wa – współczynnik nachylenia charakterystyki [$\mu A/V$] (odczytany z dokumentacji/uzyskany w wyniku obliczeń), Vcc – aktualna wartość napięcia zasilania [V], Vx – napięcie zasilania przy którym wykonano pomiar prądu $IAM[Vx]$.

Powyższy wzór nie obowiązuje dla układów serii 5xx/6xx, CC430 (procesory nowej generacji).

W mikrokontrolerach tych rdzeń CPU zasilany jest przez napięcie $Vcore$ wytwarzane w procesorze (napięcie $Vcore$ to obniżone przez przetwornicę LDO napięcie zewnętrzne, parametry pracy przetwornicy konfiguruje programista).

W trybie pracy aktywnej pobór prądu MSP430 zależy także od szybkości pracy rdzenia CPU (w uśpieniu CPU jest wyłączone). Zależność opisuje wzór $IAM = IAM[1\text{ MHz}] * fMCLK$, gdzie: $IAM[1\text{ MHz}]$ – pobór prądu zmierzony przy częstotliwości MCLK 1 MHz [μA], $fMCLK$ – aktualna częstotliwość sygnału MCLK [MHz]

Przykład:

Urządzenie wyposażone jest w mikrokontroler MSP430f1232. Mikrokontroler pracuje w trybie aktywnym, zasilany jest napięciem o wartości 3 V (Vx) i pobiera prąd o wartości 300 μA ($IAM[Vx]$). Odczytany z dokumentacji współczynnik Wa ma wartość 120.

W przypadku, gdy napięcie zasilania obniżymy z 3 do 2 V pobór prądu spadnie z 300 do 180 μA . Przy minimalnym dopuszczalnym zasilaniu 1,8 V (w serii 0xx 0,9 V) pobór prądu procesora obniży się do wartości 156 μA ($300 + 120 * (1,8 - 3,0)$).

kle jest tak, że im więcej pamięci RAM ma mikrokontroler, tym więcej ma też pamięci Flash. A co jeśli jest potrzeba napisania niewielkiego programu, ale z użyciem kompilatora języka wysokiego poziomu albo środowiska graficznego? Dzięki nowemu MSP430 z pamięcią FRAM stanie się możliwa zmiana sposobu myślenia o sposobach tworzenia programów i doboru sprzętu do aplikacji. A to nie są jedyne zalety, które nowy mikrokontroler zyskuje dzięki FRAM'owi.

FRAM charakteryzuje się wielokrotnie większą odpornością na zmienne pole elektromagnetyczne, umożliwia osiągnięcie co najmniej 10 miliardów cykli zapisu, pobiera

250 razy mniej energii niż konwencjonalna, równoważna pamięć Flash, ma ogromną w porównaniu z nią szybkość działania (zapis i odczyt danych w czasie rzędu nanosekund).

Dzięki temu pomysłowi firmy Texas Instruments tworzenie aplikacji wbudowanych zyskało zupełnie nowy wymiar. W przyszłości w pamięć FRAM zostaną być może wyposażone mikrokontrolery z serii 0xx. Będzie to kolejny argument przemawiający za tym, że warto zainteresować się układami serii 0xx.

Łukasz Krysiwicz
lukasz_krysiwicz@interia.pl

REKLAMA



Prenumerujesz więcej niż jedno z poniższych pism?

AUDIO Elektronika T3 ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA świat radio
 budujemy Dom a pa automatyka podzespoły aplikacje Perkusista Gitarzysta
 dla wszystkich LIVESOUND Estrada Studio Wętrze czas na młodu technik
 Digital Camera

To znaczy, że jesteś już Członkiem Klubu AVT uprawnionym do comiesięcznego zamawiania bezpłatnych egzemplarzy naszych czasopism, wydanych przed 2 miesiącami. Jeśli prenumerujesz *n* czasopism, możesz zamówić *n-1* darmowych egzemplarzy (np. Prenumerator 2 tytułów może otrzymać za darmo 1 egzemplarz, zaś Prenumerator 6 tytułów ma prawo do 5 darmowych egzemplarzy). Prezentacje aktualnie oferowanych numerów wszystkich czasopism znajdziesz na stronach **AVT.pl/klub**. Tam również możesz złożyć bezpłatne zamówienie.

Jeszcze nie prenumerujesz?

Zaprenumeruj! Zajrzyj na stronę 22 lub skontaktuj się z Działem Prenumeraty:
Telefon 022 2578422, e-mail: prenumerata@avt.pl