

# MSP432 – mikrokontroler do nowoczesnych aplikacji

Pod koniec marca firma Texas Instruments wprowadziła do oferty interesujący mikrokontroler. Jest on 32-bitowym następcą 16-bitowego MSP430 i dlatego nadano mu nazwę MSP432. Co ciekawe, pomimo iż MSP430 ma rdzeń natywny opracowany przez Texas Instruments, to jego następcę wyposażono w rdzeń firmy ARM – Cortex-M4F.



Opracowanie przez firmę Texas Instruments mikrokontrolera MSP432 można podsumować słowami „idzie nowe”. Projektanci firmy przewidują, że ze względu na wymagania nowoczesnych aplikacji, w niedalekiej przyszłości użytkownicy MSP430 będą musieli zastosować procesor o bardziej przyszłościowej, wydajnej, energooszczędnej architekturze.

Każda osoba zajmująca się układami energooszczędnymi nadzorowanymi przez mikrokontroler wie, że kluczowe znaczenie dla niej ma prędkość wykonywania operacji, ponieważ dzięki temu procesor może bardzo krótko po wyjściu z uśpienia przebywać w trybie aktywnym (przed ponownym uśpieniem), przez co maleje średni pobór energii. Nie dziwi więc fakt, że w celu opracowania energooszczędnego mikrokontrolera projektanci firmy TI zdecydowali się na zastosowanie rdzenia Cortex-M4F, który jeszcze został dodatkowo przez nich „tuningowany”. Jest to na pewno znacznie lepszy wybór, niż rdzeń Cortex-M0 (a nawet Cortex-M0+) opracowany przez firmę ARM w 2008 r. z myślą o urządzeniach, w których dotychczas były stosowane mikrokontrolery 8- i 16-bitowe. Oczywiście, ten rdzeń jest funkcjonalny i z powodzeniem może być stosowany w różnych aplikacjach, ale nie wolno zapominać, że nadciąga era technologii Internet of Things, która wprowadza zupełnie

nowe wymagania odnośnie do mocy obliczeniowej i zdolności łączeniowych procesora z otoczeniem.

Schemat blokowy mikrokontrolera MSP432 pokazano na **rysunku 1**. Jego rdzeń Cortex-M4F jest taktowany przebiegiem o częstotliwości 48 MHz. Oprócz dostępnej standardowo w tej architekturze jednostki wspomagającej obliczenia zmiennopozycyjne, producent zadbał o wyposażenie mikrokontrolera, które podwyższa jego walory użytkowe:

- 32-bitowa, sprzętowa jednostka mnożąca, za której pomocą można uzyskać 32- lub 64-bitowy wynik ze znakiem lub bez niego.
- Funkcja dodawania lub odejmowania realizowana po wykonaniu mnożenia.
- 32-bitowa, sprzętowa jednostka wykonująca operację dzielenia.
- Wsparcie dla arytmetyki nasyceniowej.
- Rozszerzenie DSP za pomocą: 16/32-bitowego układu MAC; jednocyklowego, podwójnego, 16-bitowego układu MAC (*multiply and accumulate*); 8/16-bitowy SIMD (*single instruction, multiple data* – upraszczając, możliwość jednoczesnego wykonywania kilku instrukcji).

Osoby używające mikrokontrolera MSP430 na pewno rozpoznają niektóre bloki funkcjonalne dostępne w MSP432, ponieważ przeniesiono je z tego mikrokontrolera (**rysunek 2**) włączając w to bibliotekę sterowników urządzeń I/O, zegar czasu rzeczywistego, timer/generator przebiegu PWM, timer Watchdog, interfejs JTAG, jednostkę szyfrującą zgodnie z algorytmem AES-256, interfejsy: UART, SPI, I<sup>2</sup>C; szereg modułów analogowych, takich jak komparator, źródło napięcia odniesienia, czujnik temperatury oraz wprowadzenia I/O z funkcjonalnością interfejsu dotykowego.

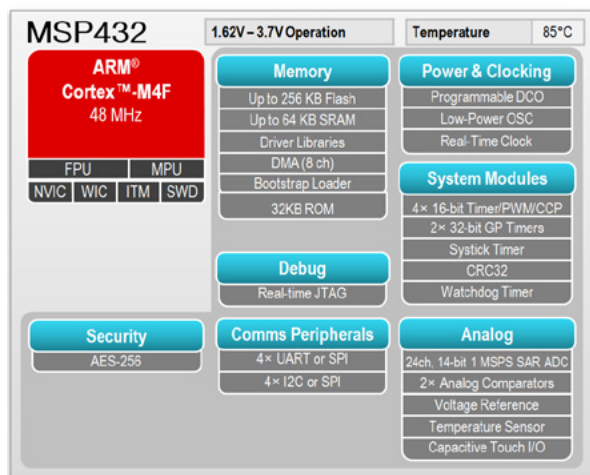
Nowy mikrokontroler pobiera bardzo mały prąd – zaledwie 95  $\mu$ A/MHz w trybie aktywnym oraz 850 nA w trybie

Arytmetyka nasyceniowa (saturated arithmetic) to sposób przeprowadzania obliczeń na całkowitych liczbach binarnych, w której reakcją na przekroczenie zakresu liczb jest przypisanie wyników górnej lub dolnej granicy zakresu. Arytmetyka ta znajduje zastosowanie m.in. w DSP (m.in. przetwarzanie dźwięku i obrazu), upraszczając programy i przyspieszając wiele algorytmów. Dla porównania arytmetyka powszechnie stosowana w komputerach to tzw. arytmetyka modularna (ang. wraparound), tj. z wyniku brana jest zawsze określona liczba najmłodszych bitów, zaś fakt przekroczenia zakresu jest np. sygnalizowany przez procesor poprzez ustawienie określonych bitów w rejestrze flag – wykrywanie tej sytuacji i korygowanie wyników spoczywa na programie. Obliczenia z nasyceniem są dostępne w popularnych procesorach mających rozszerzenia MMX i SSE.

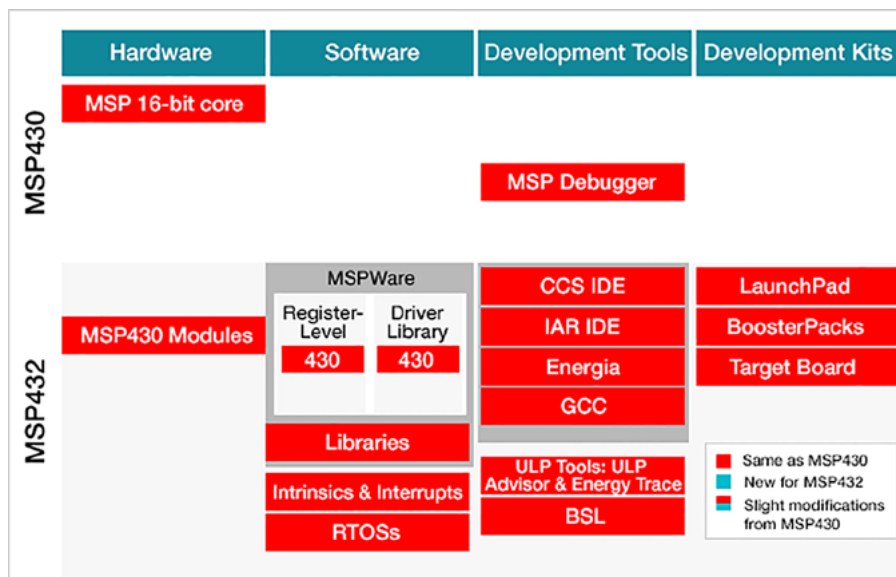
uśpienia. Aby osiągnąć tak dobry wynik, firma TI użyła procesu wytwórczego CMOS 90 nm umożliwiającego wykonanie struktur półprzewodnikowych układów scalonych o niewielkim prądzie upływu i funkcjonujących w rozszerzonym zakresie napięcia 1,62...3,7 V (typowo w podobnych mikrokontrolerach ten zakres rozciąga się od 1,8 do 3,5 V). Rozszerzenie zakresu napięcia wpływa korzystnie na pobór prądu, a dodatkowo układ może być zasilany z baterii o wyższym napięciu.

W układzie dokonano również szeregu „zabiegów” mających na celu zapewnienie jak najmniejszego poboru energii. Niektóre z nich są oczywiste, inne wymagały pomysłowości i zastosowania pewnych specyficznych rozwiązań.

Aby obniżyć pobór mocy podczas operacji wykonywanych na pamięci RAM, należy oddać użytkownikowi do dyspozycji tyle pamięci operacyjnej wewnątrz układu scalonego, ile wymaga aplikacja, ponieważ zastosowanie pamięci zewnętrznej zwykle podwyższa zużycie energii. Dlatego firma zaimplementowała obszerną pamięć RAM, aktualnie mieszczącą 64 kB, która w kolejnych mikrokontrolerach będzie rozbudowana do 256 kB. Dodatkowo, pamięć RAM wykonano w taki sposób, że niepotrzebne w trybie uśpienia banki pamięci



Rysunek 1. Schemat blokowy mikrokontrolera MSP432



Rysunek 2. Wspólne bloki funkcjonalne MSP430 i MSP432

MSP432 MCU	Active	LPM0	Low Frequency LPM0	LPM3	LPM3.5 (wyłączenie, z RTC)	LPM 4.5 (wyłączenie, bez RTC)
Pobór prądu	95 $\mu$ A/MHz (DC/DC), 166 $\mu$ A/MHz (LDO)	65 $\mu$ A/MHz (DC/DC), 100 $\mu$ A/MHz (LDO)	70 $\mu$ A	850 nA	<670 nA	<100 nA

Rysunek 3. Energooszczędne tryby pracy MSP432

można odłączyć od zasilania, co obniża pobór o 30 nA na pojedynczy bank. Dla przykładu, mogą w ten sposób być wyłączone obszary pamięci RAM normalnie używane do przechowywania zmiennych tymczasowych lub jako buforów transmisyjnych. Na energooszczędność pamięci RAM wpływa też zastosowanie 8-kanalowego kontrolera DMA, który po pierwsze – odciąża CPU, a po drugie – eliminując konieczność jego włączania, ogranicza pobierany prąd.

Pamięć Flash układu MSP432 zorganizowana w dwa niezależne banki, co pozwala na równoczesne wykonywanie operacji odczytu jednego banku i kasowania zawartości innego. Jest to szczególnie użyteczne podczas aktualizowania firmware urządzenia lub akwizycji danych. Dzięki tej funkcjonalności również osiągnięto zmniejszenie poboru energii poprzez skrócenie czasu wykonywania aktualizacji Flash.

Zamiast przechowywać sterowniki urządzeń lub biblioteki kodu w pamięci Flash, producent zapisał je w pamięci ROM. Oprócz zmniejszenia w ten sposób wielkości struktury układu (komórki pamięci ROM są znacznie mniejsze niż pamięci Flash), osiągnięto dalsze zmniejszenie poboru energii – aż o 35% w porównaniu do układu, który zawierałby *DriverLib* w pamięci Flash. Dodatkowo, pamięć ROM ma czas dostępu blisko 2-krotnie krótszy od Flash, co przyspiesza wykonywanie programu i ułatwia realizowanie operacji czasu rzeczywistego.

W strukturze MSP432 zaimplementowano dwa stabilizatory: liniowy LDO oraz przetwornicę DC/DC. Gdy jest używany LDO, to mikrokontroler szybciej wychodzi z trybu uśpienia.

Gdy jest używana przetwornica DC/DC, to czas przejścia do trybu aktywnego wydłuża się, jednak przetwornica ma większą sprawność, sięgającą nawet 95%. Oba źródła zasilania mają swoje wady i zalety, więc producent oddał do rąk użytkownika możliwość decydowania o wyborze zasilacza i przełączania się pomiędzy nimi, zależnie np. od trybu pracy i wymagań aplikacji.

14-bitowy przetwornik A/C pobiera jedynie 375  $\mu$ A prądu jednocześnie próbując 32 kanały wejściowe z prędkością do 1 MS/s. Jest to około pięciokrotnie szybciej od najszybszego MSP430, przy jednoczesnym zachowaniu jego energooszczędności. Jednoczesne próbkowanie wejść pozwala na skrócenie czasu pracy mikrokontrolera i dalsze obniżenie poboru energii. Jakby tego było mało, CPU mikrokontrolera MSP432 pobiera z predykcją do 8 instrukcji z pamięci programu w tym samym czasie, co zmniejsza liczbę cykli odczytu pamięci Flash, podwyższając prędkość wykonywania aplikacji oraz obniżając pobieraną moc. Zmieniono też podejście do trybów pracy energooszczędnej – teraz procesor nie tylko może przebywać w którymś z 5 trybów, ale również dynamicznie zmieniać je w trakcie pracy aplikacji (rysunek 3).

Firma TI nie ograniczyła swoich działań jedynie do ograniczenia poboru mocy przez nowy mikrokontroler. Jako część oprogramowania narzędziowego jest dostarczany program *EnergyTrace+*, który mierzy i wyświetla profil energetyczny aplikacji oraz pomaga zoptymalizować oprogramowanie użytkownika pod kątem zużycia energii. Ciekawostką stanowi

metoda zastosowana do pomiaru poboru prądu. Zwykle mierzy się go metodą techniczną za pomocą pomiaru spadku napięcia na rezystorze pomiarowym. Tu jest inaczej – kontrolowana przez oprogramowanie przetwornica DC/DC wytwarza zasilanie dla układu. Czas trwania impulsów jej przebiegu PWM jest zależny od poboru energii przez mikrokontroler, więc pomiar poboru prądu jest wykonywany poprzez pomiar czasu trwania impulsu i odpowiednią konwersję wyniku.

Narzędzia dla mikrokontrolera MSP432 są dostępne w chmurze **TI's Cloud IDE**, która zawiera między innymi środowisko **Code Composer Studio (CCS) Cloud IDE V1.0** oraz program narzędziowy **Resource Explorer**.

Środowisko CCS Cloud IDE jest uruchamiane w przeglądarce, a przez to – pod kontrolą dowolnego systemu operacyjnego. Za jego pomocą można tworzyć, edytować i kompilować projekty on-line. Środowisko IDE pracujące w chmurze jest uzupełnieniem „tradycyjnego” Code Composer Studio i jest ukłonem firmy TI w stronę nowoczesnych technologii i innego stylu pracy programistów, niż było to przed laty. Resource Explorer to oprogramowanie służące do wyświetlania oraz dostępu do zasobów internetowych, bez konieczności ich pobierania na dysk lokalny komputera PC.

Próbki układów MSP432P401RIPZ są dostępne za pomocą strony internetowej firmy TI oraz u jej dystrybutorów. Kolejne układy mikrokontrolerów będą produkowane z różnym wyposażeniem, w obudowach o różnej wielkości, z pamięcią Flash mieszczącą do 256 kB. Konstruktorzy i programiści mogą do pracy wykorzystywać MSP-EXP432P401R LaunchPad (fotografia 4) dostępną w cenie ok. 13 USD lub płytkę MSP-TS432PZ100 w cenie ok. 89 USD.

Mimo iż w wielu materiałach reklamowych firma TI porównuje MSP432 ze starszym MSP430, to produkcja procesorów 16-bitowych nadal będzie kontynuowana, a rolą nowego procesora nie jest jej zastąpienie, a jedynie uatrakcyjnienie oferty firmy. Zgodnie z zapowiedziami TI, rozwój MSP430 nadal będzie kontynuowany, równoległe do rozwoju MSP432.

Jacek Bogusz, EP



Fotografia 4. MSP-EXP432P401R LaunchPad