

Mikrokontroler pomiarowy MSP430

Artykuł prezentuje nowoczesny mikrokontroler jednocukłowy MSP430 firmy Texas Instruments, którego cechy i parametry użytkowe predestynują do zastosowań w technice pomiarowej wymagającej dużej precyzji i szybkości obliczeń, przy minimalnym zużyciu energii.

Dzięki nowoczesnej konstrukcji układ może pełnić samodzielnie funkcję kompletnego przyrządu pomiarowego, pracującego ponad 10 lat na pojedynczej baterii litowej.

Współczesna technika pomiarowa jest jedną z bardziej wymagających dziedzin zastosowań elektroniki. Duża dokładność i szybkość obróbki danych to tylko niektóre z głównych wymagań odnoszących się do nowoczesnego przyrządu pomiarowego. W technice kontrolnej bardzo istotnym parametrem jest czas reakcji na zaistniałe zdarzenie, który powinien być oczywiście jak najkrótszy. Niebagatelną sprawą jest także zużycie energii, które obecnie nabiera coraz większego znaczenia. Wymaganie to jest szczególnie istotne w przyrządach przenośnych, dla których czas między wymianą baterii lub akumulatora decyduje o przydatności danego urządzenia.

Naprzeciw tym wymaganiom wyszła firma Texas Instruments ze swym nowym wyrobem - MSP430. Jest to mikrokontroler jednocukłowy, opracowany specjalnie pod kątem zastosowań w miernictwie. Stanowi rozwinięcie idei zawartej w poprzednim wyrobie tej firmy, mikrokontrolerze TSS400. Jest to w pełni 16-bitowy układ zawierający wielokanałowy przetwornik analogowo-cyfrowy, sterownik wyświetlacza LCD, timer, układ watchdog'a, pamięć RAM i ROM (EPROM). Schemat blokowy MSP430 przedstawia rys. 1. Układ charakteryzuje ponadto bardzo mały pobór prądu, który w czasie czuwania wynosi tylko 0,5mA!

Jednostka centralna MSP430 zawiera aż 16 16-bitowych rejestrów, z których kilka może pełnić, oprócz standardowego przechowywania danych, funkcje specjalne. Są one wybierane automatycznie, zależnie od trybu adresacji. Odnosi się to zwłaszcza do rejestrów R2 i R3, które mogą pracować jako generatory stałych. Przy indeksowym bądź bezpośrednim trybie adresacji argument jest pobierany z generatora stałych, przez co uzyskujemy skrócenie czasu wy-



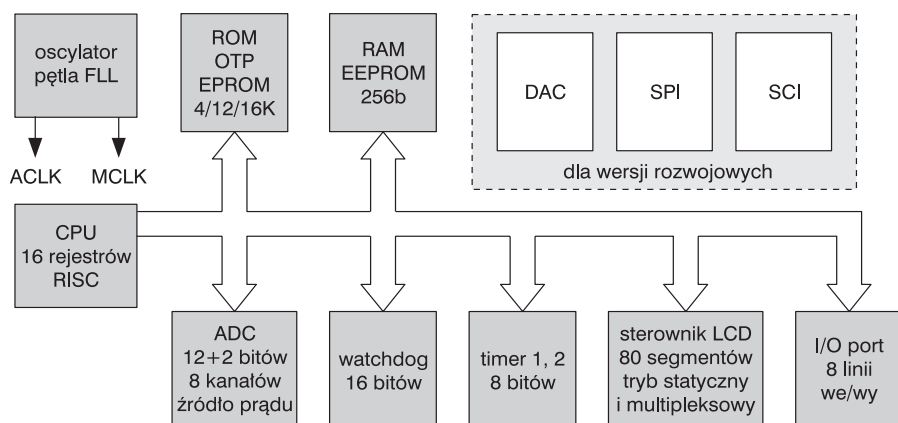
Podstawowe cechy MSP430

- ✓ 16-bitowa architektura RISC,
- ✓ 64k przestrzeni adresowej, wspólnej dla kodu, danych i układów I/O,
- ✓ wiele trybów adresacji danych,
- ✓ przetwornik A/C 14-bitów, do 8 kanałów, możliwość pracy ze źródłem prądowym 4 kanałów,
- ✓ sterownik LCD,
- ✓ 256 bajtów RAM,
- ✓ watchdog,
- ✓ timer i/lub licznik,
- ✓ 8 linii I/O, z możliwością wykorzystania linii sterownika LCD,
- ✓ wewnętrzna pętla FLL,
- ✓ napięcie zasilania 2,5V...5V,
- ✓ bardzo mały pobór prądu,
- ✓ zakres temperatur pracy -40°C...+85°C

konywania instrukcji. Opcja ta jest dostępna tylko dla danych równych - 1, 0, 1, 2, 4, 8. Ciekawą cechą jest możliwość dowolnego adresowania wszystkich rejestrów, w tym również RO. Pełni on funkcję licznika rozkazów, więc wykonanie rozkazu `mov#1234h, R0` spowoduje skok do adresu 1234h! Jest to więc zupełnie nowe podejście do techniki programowania mikroprocesorów.

Duża szybkość przetwarzania danych może być osiągnięta dwoma metodami: przez skrócenie cyklu maszynowego lub użycie wydajnego zestawu instrukcji, umożliwiającego bardzo elastyczne operowanie danymi. Można również mówić o przetwarzaniu wielopotokowym, lecz tego typu rozwiązania nie są stosowane w tej grupie mikrokontrolerów. Pozostaje więc do dyspozycji jeden z powyższych sposobów. Zwiększenie częstotliwości zegarowej prowadzi oczywiście do wzrostu wydajności CPU, jednakże powoduje gwałtowny wzrost poboru prądu. Jeśli mikrokontroler ma zużywać mało energii, to należy się skłaniać raczej ku drugiemu rozwiązaniu, bądź rozsądnej kombinacji obydwu.

Rozbite skomplikowanych instrukcji, wykonujących się w bardzo wielu cyklach zegara (np. dzielenie), na jedno- lub kilkocyklowe przesłania i proste operacje dodawania i odejmowania jest cechą charakterystyczną dla procesorów typu RISC (ang. Reduced Instruction Set Computer). W jednostkach tego typu osiąga się bardzo dużą



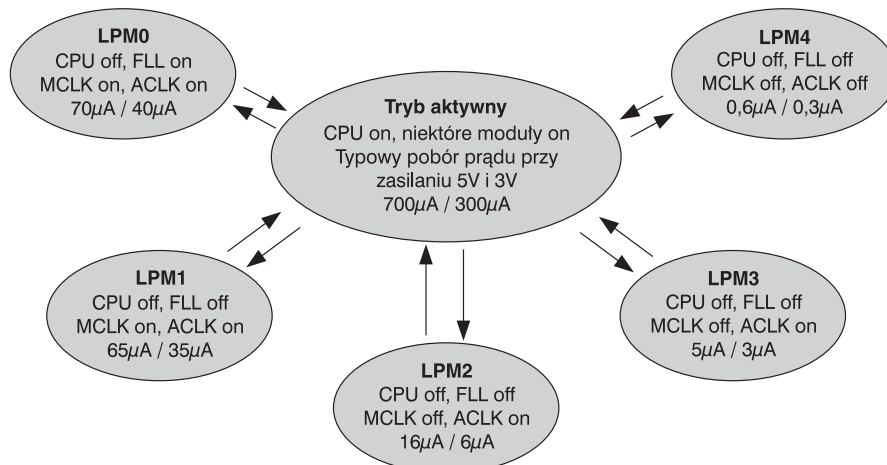
Rys. 1.

wydajność, dzięki optymalizacji instrukcji pod kątem najczęściej wykonywanych operacji, a więc przesłania i testowania danych. W typowych zastosowaniach mikrokontrolerów operacje takie stanowią większość wykonywanych zadań. Takie też rozwiązanie przyjęto w MSP430. Struktura jednostki centralnej procesora RISC zapewnia bardzo elastyczne i efektywne operowanie danymi. Możliwe jest adresowanie argumentów źródłowych na siedem różnych sposobów, w tym również w trybie rejestrowym z postinkrementacją, zaś adres przeznaczenia może być wyznaczony na cztery sposoby. Nieważne jest przy tym czy operujemy na komórkach pamięci RAM, ROM, rejestrach czy układach I/O. Wszystkie tryby adresacji są dostępne dla wszystkich modułów!

Gwarantuje to naprawdę dużą swobodę przy tworzeniu oprogramowania. Dodatkowo, w czasie asemblacji jest dokonywane automatycznie (przez asembler) optymalizowanie trybu adresacji pod kątem uzyskania jak najkrótszego kodu, wykonującego się w jak najkrótszym czasie. Jest to szczególnie użyteczne przy testowaniu bitów bądź przesłaniach, gdy jeden z argumentów może być zastąpiony przez generator stałych. Przykładem może być instrukcja *mov 4(R4), R6*, która powoduje załadowanie danej spod adresu (*4+R4*) do rejestru *R6*. Wydawać by się mogło, że instrukcja ta powinna mieć długość 2 słów (kod rozkazu plus argument), jednak w rzeczywistości zajmuje tylko jedno dwubajtowe słowo. Stała 4 jest pobierana z generatora stałych *CG1*, zaś cała instrukcja jest wykonywana w jednym cyklu maszynowym. Przy wielokrotnym stosowaniu tej instrukcji taka podmiana daje oczywiście korzyści.

Przetwornik analogowo-cyfrowy MSP430 jest mocną stroną tego procesora. Zapewnia uzyskanie 12-bitowej rozdzielczości, przy dość krótkim czasie przetwarzania równym 96µs (przy *MCLK = 1MHz*). Możliwe jest także uzyskanie rozdzielczości 14-bitowej, przy zastosowaniu metody podziału zakresu mierzonego na przedziały. W tym celu określa się najpierw, w którym z 4 przedziałów mieści się napięcie wejściowe (a więc 2 bity), a następnie przetwarza z rozdzielczością 12-bitową w danym podzakresie. Tak uzyskany wynik jest dalej obrabiany przez 16-bitowe CPU. MSP430 jest specjalnie zaprojektowany do współpracy z różnymi typami i rodzajami czujników. Niektóre z nich, jak np. przetworniki ciśnienia czy hallotrony, wymagają w czasie pomiaru przepływu stałego prądu. W typowych rozwiązaniach należało w takich przypadkach dodać zewnętrzne źródło prądowe, wymuszające przepływ przez czujnik prądu o określonej wartości.

W MSP430 funkcję wyjścia źródła prądowego, zasilającego czujnik, może pełnić wejście pomiarowe przetwornika A/C! W tym celu, za pomocą zewnętrznego rezystora *Ri* określa się wartość prądu *I*, który ma płynąć przez sensor *Rsens* oraz odpowiednio programuje tryb pracy przetwornika A/C. Stabilność wewnętrzznego źródła prądowego jest wystarczająca do



Rys. 2.

uzyskania 14 bitów rozdzielczości. Możliwość taką wykorzystuje się zwłaszcza przy bardzo dokładnych pomiarach rezystancji, kiedy to należy używać metody czteroprzewodowej, np. do współpracy z czujnikiem Pt100.

W układach pracujących w trudnych warunkach przemysłowych bardzo ważne jest zapewnienie prawidłowego funkcjonowania urządzenia w obecności zakłóceń. Zazwyczaj wykorzystuje się w tym celu układ nadzorowania typu watchdog. Jeśli przez określony czas nie zostanie wpisana odpowiednia sekwencja do rejestru kontrolnego, co może się zdarzyć, gdy program „zawisnie”, to wówczas jest generowany sygnał resetu. Identyfikacja źródła resetu - *power on* lub *s* - powoduje podjęcie odpowiednich działań, czyli np. powtórzenie ostatniej pętli lub inicjalizację systemu. Oprócz watchdoga w MSP jest zawarty także układ timera, który można wykorzystać do generowania opóźnień lub „napędzania” wyświetlacza LCD.

Sterownik wyświetlacza ciekłokrystalicznego ma możliwość obsługi do 80 segmentów w trybie statycznym lub multiplexowym. Jednakże nie zawsze zachodzi konieczność użycia aż tak wielu segmentów (10 cyfr!). Istnieje możliwość wykorzystania części lub wszystkich linii wyjściowych segmentów LCD jako typowych linii wyjściowych.

MSP430 jest specjalnie dedykowany do systemów, w których wymagana jest obróbka sygnałów analogowych z jednoczesną prezentacją wyniku w postaci cyfrowej, przy maksymalnie długim okresie czasu pracy. Maksymalnie długi czas należy rozumieć w sposób dosłowny, gdyż dotychczas opracowane aplikacje MSP430 zdolne są pracować co najmniej 10 lat bez wymiany baterii. W takich warunkach istotniejsze jest samorozładowanie baterii, niż pobór prądu przez układ. Przy typowym, średnim poborze prądu przez MSP rzędu 10µA, przy zastosowaniu baterii litowej o pojemności 1,5Ah teoretyczny czas pracy wynosi około 17 lat (!), co niestety jest na razie nieosiągalne tylko ze względu na niedoskonałość baterii. Obecnie na światowym rynku nie ma podobnego mikrokontrolera, który mógłby z nim konkurować pod względem poboru prądu i możliwości.

MSP430 może znajdować się w trybie aktywnym lub jednym z 5 trybów obniżonego poboru mocy (rys.2). W trybie aktywnym mogą być zasilane tylko te moduły, które są w danej chwili aktywne, dzięki czemu można znacznie ograniczyć chwilowe zużycie energii do niezbędnego minimum. Różnice między trybami pracy prezentuje rys 2. Tryb LPM3 w porównaniu do LPM2 posiada nieaktywny generator pętli CDO, stąd też występujące różnice w poborze prądu.

Praktycznie w każdym układzie duża szybkość pracy pozostaje w sprzeczności z wymaganym małym poborem prądu. Jednakże istnieje sposób na zapewnienie małego zużycia energii przy dużej częstotliwości pracy. Metodę tę wykorzystuje się zwłaszcza w sytuacji, gdy nie występuje konieczność obsługi zdarzeń lub gdy są one okresowe. W przerwach między zdarzeniami układ wprowadza się w tryb pracy z obniżonym poborem mocy, przez co średni pobór prądu jest niewielki. Dodatkowo, aby maksymalnie skrócić czas obsługi zdarzenia, można przyspieszyć pracę procesora. Służy do tego wewnętrzna pętla FLL, której częstotliwość wyjściowa $MCLK=N \cdot ACLK$ określa szybkość pracy CPU. Jest ona tworzona na podstawie częstotliwości zegarowej ACLK, która może być niewielka i zazwyczaj wynosi 32768Hz. W stanie czuwania ustala się na $N = 1$, zaś w stanie aktywnym $N = 1 \dots 128$. Jak widać z tego krótkiego opisu, MSP430 może samodzielnie realizować wszystkie funkcje przewidziane dla przyrządu pomiarowego. Jest to niewątpliwie bardzo interesująca konstrukcja, znajdująca coraz szersze zastosowanie. Na jego bazie tworzy się obecnie różnego rodzaju ciepłomierze, liczniki i inne przyrządy, wymagające niskiego poboru prądu i jednocześnie zapewniające wysoką dokładność pomiaru.

W firmie Texas Instruments opracowuje się obecnie kilka wersji rozwojowych tego procesora, które zawierają będą m.in. przetwornik C/A, port szeregowy - synchroniczny i asynchroniczny - oraz pamięć EEPROM. Jak na razie, pomimo braku tych modułów, układ stanowi bardzo nowoczesną i zachęcającą do wykorzystania konstrukcję.

Grzegorz Oleszek