

MSP430, część 3

Co ma takiego, czego inne nie mają?

Elastyczny system taktowania i skrajnie niski pobór mocy

Każdy mikroprocesor i mikrokontroler jest układem synchronicznym, musi być wobec tego wyposażony w jakiś system taktowania. Zazwyczaj źródłem sygnału zegarowego jest generator o częstotliwości stabilizowanej rezonatorem kwarcowym. W mikroprocesorach uniwersalnych wyraźnie dąży się do zwiększania częstotliwości taktowania. Sięga ona obecnie nawet gigaherców. Nieco inaczej sytuacja wygląda w przypadku mikrokontrolerów – tutaj maksymalna częstotliwość pracy od wielu już lat uległa pewnej stabilizacji i raczej nie przekracza 24, 33, czy co najwyżej 50 MHz. Wynika to głównie z tego, że mikrokontrolery rzadko wykorzystywane są w zastosowaniach wymagających najwyższej wydajności, natomiast wraz z masowym rozpowszechnieniem systemów zasilanych bateryjnie niezmiernie istotnym parametrem staje się pobór mocy, rosnący z częstotliwością pracy niemal proporcjonalnie. Przy zasilaniu sieciowym, 50 mA prądu pobieranego przez system jest całkowicie akceptowalne, natomiast dla zasilanego bateryjnie czujnika przeciwpożarowego, regulatora temperatury do pieca centralnego ogrzewania, czy zmiernika oświetlenia nawet 100 μ A może być zbyt dużo. Z drugiej strony, w przypadku takich urządzeń opóźnienia reakcji sięgające nawet sekund nie mają żadnego praktycznego znaczenia – parametrem krytycznym staje się czas ciągłej pracy na jednym komplecie baterii. Dotyczy to również obszernej grupy urządzeń zasilanych sieciowo, ale z podtrzymaniem bateryjnym, takich jak zegarki, budziki, wyłączniki czasowe i podobne. Dlatego też od wielu lat daje się zaobserwować dążenie nie tylko do zwiększania częstotliwości taktowa-

MSP430F20xx Ultra-Low-Power MCUs
 Low-pin-count with no compromise

Block diagram components:

- 16MHz Oscillator
- FLASH 1-2KB
- RAM 128B
- POR BOR
- Port 1/2 with IRQ Pull-up Pull-down
- RISC CPU 16-bit
- Watchdog Enhanced 15-bit
- Timer_A2 16-bit
- SD16 Δ ADC VREF TEMP
- USI SPI/12C

Interconnects: MAB, MDB, Spy Bi-Wire

Product image: MSP430F20xx Ultra-Low-Power MCUs, 4mm x 4mm package.

Features:

- Tiny: 14-pin packaging, 4x4mm
- Fast: 0-to-16 MIPS <math><1\mu\text{s}</math>
- Flexible:
 - 0.7 μ A standby and 200 μ A/MIPS
 - 100% code compatible
 - Comparator/10-bit/16-bit ADC
 - Spy Bi-Wire emulation
 - Universal Serial Interface (USI)

TEXAS INSTRUMENTS

Polscy konstruktorzy aparatury elektronicznej i bardziej ambitni amatorzy zaczynają coraz wyraźniej przekonywać się do mikrokontrolerów serii MSP430. Całkiem słusznie, nie wiadomo tylko, dlaczego z tak dużym opóźnieniem – rodzina MSP430 ma już przecież sporo ponad dziesięć lat! Czym wyróżnia się ten mikrokontroler na tle wielu innych, częstokroć nowszych, powszechnie znanych, łatwo dostępnych globalnie i masowo stosowanych?

nia mikrokontrolerów, ale także do jej obniżania, i to do wręcz śmiesznych z punktu widzenia przeciętnego użytkownika domowego peceta wartości mierzonych w kilohercach. Oczywiście wcale nie tak rzadko zdarzają się zastosowania, w których z kolei wymagana jest jak największa szybkość pracy mikrokontrolera (oscylloskop cyfrowy). Tak więc współczesny mikrokontroler powinien mieć możliwość pracy zarówno z dużymi, jak i bardzo małymi częstotliwościami taktowania, przy czym zmiana częstotliwości w trakcie pracy, „w biegu”, nie powinna stwarzać trudności

i stanowić zagrożenia dla stabilności systemu. Właściwie w praktyce stosowane są 2 rozwiązania: generator małej częstotliwości stabilizowany rezonatorem kwarcowym „zegarkowym” 32768 Hz i system powielania częstotliwości oparty na pętli fazowej PLL, albo przestrajany generator RC. W rozwiązaniu z pętlą PLL dostępnych jest tylko kilka wybranych częstotliwości, a czasami użytkownik w ogóle nie ma wpływu na współczynnik powielania, ale za to podstawa czasu jest dobrze określona, dokładna i stabilna. Generator RC może być przestrajany w szerokim zakresie,

ale z kolei jego częstotliwość zależna jest w znacznym stopniu od warunków środowiskowych, takich jak napięcie zasilania i temperatura. W mikrokontrolerach system taktowania powinien spełniać jeszcze dodatkowe wymagania, narzucane przez wbudowane układy peryferyjne, w szczególności układy czasowe, w tym zegary czasu rzeczywistego, układy transmisji szeregowej, przetworniki A/C i przetworniki C/A oparte o generatory PWM. Wymagania te są zwykle sprzeczne, a pożądane częstotliwości nie mają niczego wspólnego z częstotliwością taktowania jednostki centralnej. Dla programowej realizacji zegara czasu rzeczywistego potrzebny jest stabilny sygnał o częstotliwości dokładnie 1 Hz, z kolei standardowy interfejs szeregowy o znormalizowanej przepływności 4800 bodów wymaga zwykle taktowania częstotliwością 76,8 kHz. Obie te wartości raczej do siebie nie przystają. W większości mikrokontrolerów sygnały zegarowe dla podzespołów peryferyjnych uzyskiwane są przez podział częstotliwości taktowania jednostki

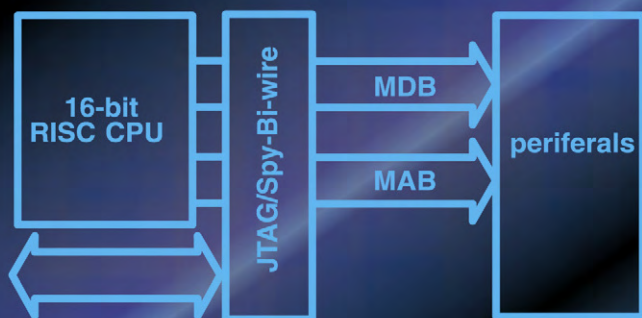
centralnej, przez co stają się one związane na dobre i na złe. Stąd bierze się „dziwna” częstotliwość kwarców stosowanych powszechnie w '51, czyli 11,059 MHz i wynikający z tego niewygodny czas realizacji jednego cyklu wynoszący 1,085 μ s. MSP430 jest chyba pierwszym i nadal jedynym mikrokontrolerem, w którym wszystkie wymienione problemy zostały rozwiązane w sposób przemyślny, bardzo elastyczny i wygodny dla użytkownika. Schemat systemu taktowania jest przedstawiony na rys. 7.

Częstotliwości zegarowe dla jednostki centralnej (MCLK – *Main System Clock*) i układów peryferyjnych (SMCLK – *Sub-System Clock*) zostały całkowicie rozdzielone, każda z nich może pochodzić z różnych źródeł i przyjmować zupełnie różne wartości (na przykład 4 kHz i 16 MHz, w dowolnej kombinacji). Dodatkowo jest do dyspozycji jeszcze trzeci, pomocniczy sygnał zegarowy ACLK – *Auxiliary Clock*. W prostych modelach tej rodziny generator kwarcowy może pracować

w jednym z 2 trybów, współpracując albo z kwarcem „zegarkowym”, albo z rezonatorem dużej częstotliwości, w zakresie 400 kHz...16 MHz. W pierwszym z wymienionych trybów niezbędne do poprawnej pracy generatora kondensatory dołączane są wewnętrznie, przy czym do wyboru jest kilka wartości pojemności, co pozwala na dopasowanie się do konkretnego rezonatora i precyzyjne dostrojenie częstotliwości dokładnie do 32768 Hz. Korzystanie z generatora kwarcowego nie jest obowiązkowe, ponieważ mikrokontrolery wyposażone są też w przestrajane w bardzo szerokim zakresie (od 100 kHz do ponad 16 MHz) generatory RC o dobrej stabilności. Częstotliwość można programować z rozdzielczością lepszą od 0,5%. Dla kilku wybranych wartości w pamięci danych EEPROM są zapisywane w procesie produkcji współczynniki konfiguracyjne, dzięki czemu częstotliwości generatora 1, 8, 12 i 16 MHz są kalibrowane z dużą dokładnością. Jedną z ważnych zalet generatora RC jest jego szybki start po włączeniu (pojedyn-

MSP430

mikrokontroler z wbudowanym emulatorem



Interfejs emulacyjny JTAG / Spy-Bi-wire

- *nadzór wykonywania programu bez zajmowania zasobów
- *kontrola zegarów systemowych
- *tracing

Bootstrap Loader

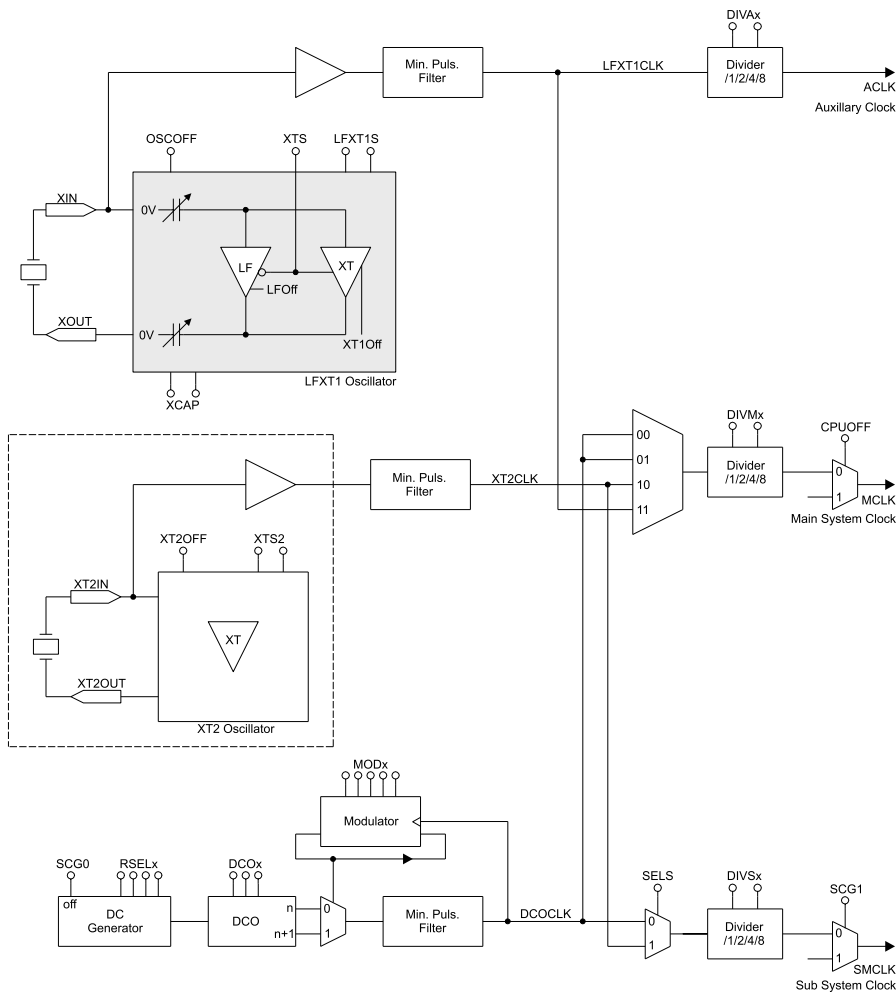
- *zaprogramuj MSP430 przez port szeregowy!
- * 9600/38400 bps
- * 350kbps z FlashPro!!!

Programator FlashPro/GangPro

- *JTAG / Bootstrap Loader / Spy-Bi-wire
- *programowanie układów SoC rodziny Chipcon CC1xxx i CC2xxx



Świat MSP430



Rys. 7. Schemat układu taktowania mikrokontrolera MSP430

cze μ s). Każdy z generatorów może być niezależnie włączany i wyłączany. Po wyłączeniu generatora kwarcowego, albo w przypadku jego uszkodzenia, następuje automatyczne przełączenie na generator RC. Przewidziano też odpowiednie zabezpieczenia, pozwalające na przełączanie źródeł taktowania i zmianę częstotliwości bez żadnych zakłóceń w pracy systemu.

Sygnał zegarowy dla jednostki centralnej MCLK pochodzi albo z generatora kwarcowego, albo RC. Jego częstotliwość można opcjonalnie dodatkowo podzielić przez 2, 4 albo 8. Tak więc, przy wykorzystaniu rezonatora „zegarkowego”, osiągalna staje się częstotliwość zaledwie 4 kHz, z zachowaniem pełnej funkcjonalności rdzenia. Obniżanie częstotliwości pracy mikrokontrolerów do najmniejszych niezbędnych wartości nabiera znaczenia z jeszcze jednego istotnego ostatnio powodu – chodzi o łatwiejsze spełnienie wymagań dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej

i promieniowania zakłóceń o częstotliwościach radiowych (znak CE).

Identyczne opcje wyboru, ale całkiem niezależnie, dotyczą sygnału zegarowego dla układów peryferyjnych SMCLK. Źródłem pomocniczego sygnału zegarowego ACLK jest tylko generator kwarcowy, ale jego częstotliwość także można podzielić przez 1, 2, 4 albo 8. Układy peryferyjne zazwyczaj pozwalają na wybór źródła taktowania (SMCLK lub ACLK) i często są wyposażone w dodatkowe preskalery. Wszystko to tworzy rozbudowany i bardzo elastyczny system taktowania, mogący zaspokoić praktycznie wszystkie pojawiające się w praktyce potrzeby konstruktorów. Warto tu jeszcze wspomnieć o układzie watchdoga, który można skonfigurować na różne sposoby, również tak, by zamiast zerowania systemu po przepełnieniu generował cyklicznie przerwanie dokładnie co 1 sekundę. Pozwala to na bardzo prostą programową realizację zegara czasu rzeczywistego.

Zmniejszenie poboru mocy jest możliwe nie tylko poprzez odpowiedni dobór częstotliwości taktowania, ale także dzięki kilku różnym trybom „uśpienia” mikrokontrolera oraz możliwości odcinania nieużywanych układów peryferyjnych. W trybie LPM3 jednostka centralna i jej sygnał zegarowy są wyłączone, a układy peryferyjne aktywne i taktowane sygnałem ACLK, pochodzącym z generatora kwarcowego 32 kHz. Z trybu tego wyprowadza mikrokontroler dowolne niezablokowane przerwanie, pochodzące np. z układu licznikowo-czasowego, watchdoga albo portu wejściowego, a pobór prądu wynosi w nim zaledwie 2μ A! Wielkość ta spada do $0,1 \mu$ A po całkowitym uśpieniu układu (tryb LPM4). W przeciwieństwie do wielu innych mikrokontrolerów wyprowadzenie z trybu uśpienia jest możliwe nie tylko przez sygnał zerowania, ale także przez dowolne niezablokowane przerwanie zewnętrzne, a w MSP430 wejściem sygnału przerwania może być każde wyprowadzenie portów P1 i P2! W trakcie obsługi przerwania na stosie zawsze zapisywana jest automatycznie zawartość licznika rozkazów PC i rejestru statusu SR, a następnie rejestr statusu jest zerowany. Ponieważ właśnie ten rejestr zawiera informacje o trybie pracy, więc skutkuje to natychmiastowym opuszczeniem każdego z trybów obniżonego poboru mocy i realizację procedury obsługi przerwania z pełną szybkością. Związane zwykle ze zmianą trybu pracy przełączenie na generator RC następuje zaledwie w mikrosekundę. Zakończenie obsługi przerwania instrukcją RETI przywraca poprzednią zawartość rejestru statusu i zdefiniowany w nim tryb pracy. Przechowywany czasowo na stosie rejestr SR może być dowolnie modyfikowany, bo w mikrokontrolerze tym w pełni dostępne są operacje na elementach stosu, zatem powrót z obsługi przerwania może, ale nie musi, następować w innym trybie – zależy to tylko od programu.

MSP430 jest przeznaczony do pracy z niskimi napięciami zasilania, w zakresie 1,8...3,6 V. W praktyce przeciętne egzemplarze w temperaturze pokojowej pracują poprawnie przy napięciu zasilania sporo poniżej jednego wolta! Pobór prądu

MCD[®] electronics

MCD Electronics
34-300 Żywiec ul. Lelewela 26
tel/fax: 33/861 60 35
e-mail: smt@mcd.com.pl
www.mcd.com.pl

MONTAŻ SMT (ZGODNE Z ROHS):

- na paście
- na kleju

PROJEKTOWANIE I KONSTRUOWANIE:

- systemów zabezpieczeń budynków, głównie oświetlenia awaryjnego,
- sterowników embedded do urządzeń medycznych,
- podzespołów elektronicznych dla branży motoryzacyjnej, głównie sterowników programowalnych i ich otoczenia,

PONADTO:

- montaż mieszany: przewlekany i SMT
- lutowanie na fali lutowniczej

nawet w stanie aktywnym pozostaje niewielki, rzędu 200 μ A przy częstotliwości 1 MHz. Niskie napięcie zasilania jest oczywiście zaletą, ale stwarza pewne problemy przy współpracy mikrokontrolera z innymi komponentami systemu, zasilanymi napięciem 5 V. Dotyczy to w szczególności wyświetlaczy alfanumerycznych LCD, wymagających takiego właśnie napięcia dla zapewnienia wystarczającego kontrastu.



Bardzo mały pobór mocy spotykany jest raczej wśród mikrokontrolerów 8-bitowych (PIC-e, CoolRisc), a i to nie zawsze. Rodzina MSP430 łączy w sobie tę cechę z dużą szybkością pracy i starannie przemyślaną 16-bitową architekturą. Trzeba pamiętać, że przy wykonywaniu operacji na zawartości rejestrów realizacja każdej instrukcji zajmuje tylko 1 takt zegara, a więc przy częstotliwości 16 MHz zaledwie 62 ns. Jest to porównywalne z uważanymi za bardzo

szybkie AVR-ami, które przecież też operują tylko na zawartości rejestrów wewnętrznych. MSP430 są przy tym o wiele bardziej elastyczne i efektywne. Również pod względem ceny, dostępności narzędzi uruchomieniowych, rodzaju obudów, możliwości programowania wewnętrznej pamięci Flash bezpośrednio w docelowym systemie i innych cech użytkowych pozostają one bardzo atrakcyjne. Jako jeszcze jeden argument przemawiający za stosowaniem MSP430 można wymienić zaimplementowany w nich program ładujący, tzw. *Bootstrap Loader*. Pozwala on na programowanie pamięci programu nie tylko w sposób standardowy, poprzez interfejs JTAG, ale za pośrednictwem zwykłego łącza szeregowego, np. RS232. Ta na pozór drobna modyfikacja udostępnia bardzo czasem użyteczną funkcję – programowanie pamięci na odległość, za pośrednictwem mode-

Czytelników zainteresowanych mikrokontrolerami MSP430 zachęcamy do zakupu EP00L5/2007, w której publikujemy płytę z narzędziami, notami katalogowymi i aplikacjami mikrokontrolerów MSP430. Na str. 37..42 tego wydania EP publikujemy przegląd projektów na MSP430, jakie przygotowaliśmy i publikowaliśmy w EP w ostatnich latach.

mu. Zresztą, ponieważ w MSP430 program można uruchomić z wewnętrznej pamięci RAM, sposobów programowania pamięci Flash może być naprawdę wiele, zależy to tylko od inwencji użytkownika. Wreszcie nie można pominąć faktu, że bardziej rozbudowane modele z tej rodziny mają wbudowany bardzo szybki sprzętowy układ mnożący, realizujący operacje mnożenia oraz mnożenia z akumulacją dwóch liczb 16-bitowych, ze znakiem lub bez.

Maciej Nowiński

ACS ELEKTRONIK WWW.ACS.ATS.PL
 SZYDŁOWIEC 26-500 ul. Kolejowa 11
 e-mail: acs@acs.ats.pl tel./fax. 048 617-60-00
 PROFESJONALNE URZĄDZENIA LABORATORYJNE

OSCYSKOPIY CYFROWE ADS220

- pasmo 60MHz
- sampling 2 x 200MSPS
- rozdzielczość 8bit
- 2 kanały + EXT
- zakres 5mV - 5V

analiza FFT, pomiary: freq, okres, pk-pk, RMS, średnia...
 interpolacja sin(x)/x, kalibracja 24bit
 z notebookiem mobilne stanowisko pomiarowe

PROGRAMATORY PAMIĘCI ACS VI-LAB ERICA PS32

- wirtualne laboratorium - 3 funkcje programator, emulator RT, tester
- podstawa ZIF 48Pin 0,3"- 0,6"
- emulacja pamięci w czasie rzeczywistym 27xxx, 62xxx, 24cxx, 93cxx, 25/95xxx
- możliwość dopisywania własnych układów

PROGRAMATORY PAMIĘCI XELTEK SP3000U

- obsługa ponad 20,000 układów
- możliwość pracy bez komputera
- wbudowany LCD, klawiatura, pamięć CF-256MB
- komunikacja port USB
- podstawa ZIF 48Pin 0,3"- 0,6"
- praca z układami 100pin
- adaptery 1:1
- tester TTL, CMOS, PLD, SRAM, DRAM, MCU