

# Wstęp

Zastosowanie procesorów sygnałowych w urządzeniach gwałtownie wzrosło, szczególnie za sprawą olbrzymiego rynku telefonii komórkowej. Każda komórka ma swój procesor sygnałowy, a każda komórka znajduje się w zasięgu stacji bazowej, w której jest wiele procesorów sygnałowych. Każdy dysk twardy zawiera procesor sygnałowy, podobnie każdy ultrasonograf i radar. Przecież procesor sygnałowy (ang. *digital signal processor*) to programowalny układ specjalizowany w strumieniowym przetwarzaniu danych cyfrowych. Wprowadzenie na rynek przez firmę Teras Instruments doskonałych procesorów rodziny TMS320C2000 oraz niedrogich zestawów uruchomieniowych z tymi układami, a także pojawienie się niedrogiemu emulatora sprzętowego JTAG bardzo ułatwia praktyczne zapoznanie się z procesorami tej bardzo interesującej rodziny.

Jeśli chcesz (lub musisz) użyć układu procesorowego rodziny TMS320C2000, to dobrze trafiłeś, ta książka jest dla ciebie. Od ponad 20 lat zajmuję się procesorami sygnałowymi, czyli od pojawienia się pierwszego procesora sygnałowego na rynku – układu TMS32010 firmy Texas Instruments. Potem zainteresowały mnie procesory sygnałowe firmy Motorola (obecnie Freescale) i firmy Analog Devices. Od ponad 6 lat zajmuję się procesorami rodziny TMS320C2000. I nagle okazało się, że opracowanie ich dokładnego opisu, przedstawionego w tej książce, jest dużym wyzwaniem. Zaprezentowane tutaj opisy stały się już w trakcie ich tworzenia przydatne w prowadzeniu zajęć dydaktycznych ze studentami elektroniki na Politechnice Warszawskiej.

Aby użyć układów procesorowych rodziny TMS320C2000 należy dokładnie rozumieć to, co się dzieje podczas operacji RESET i bootowania. Również trzeba wiedzieć jak przebiega inicjalizacja różnych układów procesora: pamięci Flash, systemu przerwań, rejestrów systemowych procesora, kodu programu w języku C itd. Wymagane jest również zrozumienie działania modułów peryferyjnych procesora i dołączanie układów zewnętrznych. Dopiero wtedy możemy rozpocząć programowanie. Całe uruchamianie procesora musi wykonać sam użytkownik. Na szczęście są bardzo dobre przykładowe aplikacje dostarczane przez producenta procesorów, Texas Instruments, które „robią to” za użytkownika. Są doskonałą platformą do prób i rozpoczęcia pracy z własnym programem.

Ale to jest tylko początek dobrego programowania układów procesorowych rodziny TMS320C2000. Należy jeszcze rozumieć działanie środowiska programowania Code Composer Studio z kompilatorem języka C. Trzeba znać organizację pliku wynikowego i sposoby ładowania kodu do pamięci RAM procesora oraz programowania kodu do pamięci Flash procesora. Pozostaje jeszcze wiele zagadnień szczegółowych, jak zabezpieczanie kodu programu wpisanego do procesora przed nieuprawnionym odczytem, odpowiednie rozmieszczanie kodu tak, aby uzyskać największą szybkość pracy itd.

Już z tego pobieżnego wyliczania widać, że wszystkiego nie da się w tej książce pokazać i omówić. Pozostaną zagadnienia szczegółowe, które można znaleźć w dokumentacji na stronie internetowej producenta, firmy Texas Instruments. Strona ta bardzo dynamicznie się rozwija i co chwila zaskakuje nowymi możliwościami.

W pierwszej części książki jest dokładnie omówiony rdzeń C28x. Jest on stosowany w układach procesorowych wszystkich serii rodziny TMS320C2000: F2802x/3x/6x Piccolo oraz F283x Delfino. Również najnowsze dwurdzeniowe procesory serii F28M35x Concerto zawierają ten sam rdzeń C28x.

W drugiej części książki jest dokładnie omówiona budowa układów procesorowych serii TMS320F2802x Piccolo oraz TMS320F2803x Piccolo. Zawierają one wszystkie niezbędne elementy konieczne do pełnego poznania procesorów rodziny TMS320C2000. Uzyskały też bardzo dużą popularność w zastosowaniach sterowania. A jednocześnie mają niską cenę i darmowe narzędzia programowania.

Trzecia, ostatnia, część książki zawiera dokładny opis modułów peryferyjnych używanych w układach procesorowych rodziny TMS320C2000 i dołączonych do rdzenia C28x. Również najnowsze dwurdzeniowe procesory serii F28M35x Concerto zawierają te same moduły: ePWM, HRPWM, eCAP, SCI, SPI oraz I2C.

**Rozdział pierwszy** zawiera przegląd układów procesorowych przeznaczonych do sterowania w czasie rzeczywistym. Następnie przedstawiono układy procesorowe rodziny TMS320C2000 firmy Texas Instruments.

**Rozdział drugi** to dokładne omówienie organizacji i budowy rdzenia procesora rodziny TMS320C2000. Pozwala on na dokładne zapoznanie się z wszystkimi bitami wszystkich rejestrów rdzenia. Omówiono również przestrzenie adresowe procesora, łącznie z opisem różnych typów pamięci wewnętrznej oraz mechanizmów ochrony. Dalej zaprezentowano organizację przerwań procesora, działanie liczników CPU, układu CPU Watchdog oraz modułu zarządzania poborem mocy. Następnie opisano moduł emulacji sprzętowej procesora bardzo przydatny dla programistów. Dalej są informacje dotyczące działania procesora na poziomie assemblerowym. Dokładnie omówiono tryby adresowania, działanie potokowania instrukcji oraz wybrane instrukcje.

**Rozdział trzeci** zawiera dokładny opis układów procesorowych serii F2802x Piccolo. Omówiono przestrzenie adresowe procesora oraz układ generacji sygnałów zegarowych. Jest on dosyć rozbudowany i zapewnia zgodność z nowymi wymaganiami Komisji Europejskiej. Dalej opisano moduł wejścia-wyjścia (GPIO), działanie układu przerwań oraz operację RESET procesora. To zaskakujące, ile się może dzieć na początku pracy procesora. Bardzo szczegółowo widać to także w opisie układów POR i BOR oraz procedurze bootowania procesora. Na koniec trochę informacji dotyczących zasilania procesora.

**Rozdział czwarty** to dokładny opis układów procesorowych serii F2803x Piccolo. Ich budowa jest bardzo zbliżona do budowy układów procesorowych serii F2802x Piccolo pokazanych w rozdziale 3. Dlatego w tym rozdziale przedstawiono różnice organizacji przestrzeni adresowych, układu generacji sygnałów zegarowych, organizacji modułu wejścia-wyjścia (GPIO) oraz układu przerwań. Dokładnie omówiono moduł CLA ściśle zintegrowany z rdzeniem układów serii F2803x Piccolo.

**Rozdział piąty** prezentuje dokładny opis dwunastu modułów peryferyjnych układów procesorowych zastosowanych w układach serii TMS320F2802x/3x Piccolo. Każdy opis zaczyna się od omówienia budowy i działania modułu. Dalej są dokładnie („po bitach”) omówione wszystkie rejestry każdego modułu. Wiele opisów

zawiera również przykłady konfigurowania lub użytkowania modułu. Omówiono: moduł ePWM oraz HRPWM, moduł detekcji zależności czasowych eCAP, moduł przetwornika A/C, moduł komparatora COMP, moduł asynchronicznego łącza szeregowego SCI, moduł synchronicznego łącza szeregowego SPI, moduł łącza I2C, moduł detekcji dla czujników kwadraturowych eQEP, moduł łącza LIN oraz moduł łącza CAN. Dlatego ten rozdział jest bardzo obszerny. Lecz jest to konieczne, aby możliwe było rozsądne zastosowanie modułów w docelowej aplikacji.

Książka zawiera ponad 400 rysunków oraz ponad 400 tabel, które tak dobrano, żeby maksymalnie ułatwić zrozumienie omawianych zagadnień.

Książka nie jest poradnikiem na temat projektowania systemów mikroprocesorowych. Czytelnik powinien posiadać podstawową wiedzę w tym zakresie.

Książka nie jest też poradnikiem na temat cyfrowego przetwarzania sygnałów. Jest wiele dobrych pozycji z tej dziedziny dostępnych w języku polskim. Przykłady i ćwiczenia są tak dobrane, aby nie wymagało to szerokiej wiedzy.

W książce są zastosowane nazwy i oznaczenia zgodne z używanymi w dokumentacji producenta procesorów, firmy Texas Instruments. Ułatwi to korzystanie z oryginalnej dokumentacji firmowej. Występują jednak czasami niezgodności nazewnictwa i oznaczeń pomiędzy dokumentami. Czasami też nazwy mogą być niedokładne i wręcz mylące. Takie sytuacje wymagają przyjęcia jednoznacznego rozwiązania. Dotyczy to nawet nazwy rodziny procesorów, gdzie występuje wiele wariantów skrótów i oznaczeń.

Każdy układ procesorowy serii F2802x/3x Piccolo ma bardzo dużo rejestrów modułów peryferyjnych i ich poszczególnych pól bitowych. Dla ułatwienia dokładnego określenia umiejscowienia bitu w rejestrze w książce podawana jest nazwa bitu razem z nazwą rejestru i numerem zajmowanej w nim pozycji bitowej, np. RXRDY(SCIRXST[6]). Podobną notację zastosowano dla pól bitowych rejestrów, np. pole bitowe PM[3:0](ST0[9:7]). Jest to notacja bardzo podobna do stosowanej ostatnio w oryginalnej dokumentacji Texas Instruments. Ta zmiana wydaje się jednak konieczna, aby uniknąć wielu błędów i niedokładności, które występują w tej dokumentacji. Tak rozszerzona notacja powinna zdecydowanie pomóc podczas programowania, zwłaszcza z zastosowaniem modułów peryferyjnych. Szczególnie, że jednocześnie w opisie zamieszczonym w książce usunięto liczne błędy i pomyłki źródłowej dokumentacji.

Uruchomiono witrynę internetową PiccoloDSP (<http://piccolodsp.pl/>). Jest ona pomyślana jako podstawowe źródło aktualnych informacji dotyczących układów procesorowych serii TMS320F2802x/3x Piccolo w języku polskim.

Zagadnienia programowania omówiono w osobnej książce: Henryka A. Kowalskiego *Procesory DSP w przykładach*. Zamieszczono w niej opis środowiska Code Composer Studio, opis sposobów wspomagania programowania układów procesorowych, opis emulatorów i modułów sprzętowych oraz ćwiczenia praktyczne. Są one opracowane tak, aby w kolejnych krokach poznać praktycznie działanie układu procesorowego serii F2803x Piccolo.

Mam nadzieję, że po zapoznaniu się z tą książką czytelnik zdobędzie tyle wiedzy, iż będzie mógł z powodzeniem realizować własne projekty sprzętowe i programowe.

Henryk A. Kowalski