

## RODZINA MSP – ENERGOOSZCZĘDNE, 16-BITOWE MIKROKONTROLERY RISC DO ZASTOSOWAŃ PRZEMYSŁOWYCH

### STRESZCZENIE

Ze względu na zalew rynku przez wszelkiego rodzaju bateryjnie zasilane urządzenia przenośne, w ostatnich kilku latach pojawiło się zapotrzebowanie na układy mikroprocesorowe, które, przy zachowaniu dużej wydajności obliczeniowej, cechuje niskie zużycie energii elektrycznej. Kryteria te spełniają 16-bitowe, stałoprzecinkowe mikrokontrolery RISC z rodziny MSP (Texas Instruments). W artykule przedstawiono opis rodziny mikrokontrolerów MSP, kładąc szczególny nacisk na mechanizmy pozwalające na ograniczenie zużycia energii oraz na moduły peryferyjne (przetworniki A/C, C/A, układy zegarowo-licznikowe, układy komunikacji I/O, moduł DMA). Ponadto zaprezentowano narzędzia pozwalające na programowanie, testowanie i uruchamianie aplikacji z procesorami MSP. W ostatniej części artykułu przedstawiono opis stanowiska laboratoryjnego „Układ do pozyskiwania energii elektrycznej z ogniw fotowoltaicznych” ze sterownikiem cyfrowym zrealizowanym na bazie mikrokontrolera MSP430F1232IDW.

**Słowa kluczowe:** sterowanie cyfrowe, mikrokontrolery o niskim zużyciu energii elektrycznej

### MSP FAMILY – POWER-SAVING, 16-BITS RISC MICROCONTROLLERS FOR INDUSTRIAL USE

In the recent years a demand for highly efficient and energy-saving microprocessor devices has risen because of rising popularity of mobile devices and other battery-operated devices. These requirements are fulfilled by 16-bit, fixed-point RISC microcontrollers of MSP Texas Instruments family. MSP family is described in the article and a method for limiting of power consumption and a description of peripheral modules are taken into special consideration. Additionally programming, debugging and testing tools for program development are shown. At the end of the article the device for gaining electrical energy from solar cells with microcontroller MSP430F1232IDW is presented.

**Keywords:** digital control, low power microcontrollers

### 1. WSTĘP

Mikrokontrolery i mikroprocesory stosowane są w wielu dziedzinach. Wykorzystuje się je począwszy od medycyny, mediów oraz przemysłu, na urządzeniach użytku domowego skończywszy. Wielość rozwiązań sterowników oraz różnorodność ich budowy wynika z zastosowania danego mikrokontrolera w konkretnej dziedzinie i aplikacji. Istnieje wiele kryteriów oceny przydatności danego sterownika mikroprocesorowego. Niektóre z nich to:

- liczba operacji w jednostce czasu (wydajność obliczeniowa);
- cena;
- wyposażenie w moduły peryferyjne, rodzaj i ilość pamięci;
- parametry elektryczne (napięcie zasilania, pobór energii).

Ze względu na pojawienie się ogromnej ilości urządzeń mobilnych zasilanych z baterii bądź akumulatorów, bardzo istotną cechą układów mikroprocesorowych stało się ograniczenie do minimum zużycia energii elektrycznej przy jednoczesnym zachowaniu dużej wydajności obliczeniowej. Pogodzenie ze sobą tych dwóch pozornie wzajemnie wykluczających się założeń jest możliwe, dzięki zastosowaniu rozbudowanych modułów zarządzania zużyciem energii, które pozwalają na niezależne zawiadywanie po-

szczególnymi peryferiami mikrokontrolera (włączanie, wyłączanie, obniżanie częstotliwości pracy).

Układami spełniającymi przedstawione powyżej kryteria są mikroprocesory RISC (*Reduced Instructions Set Computers*) z rodziny MSP (*Microsoft Project*). Szesnastobitowa architektura MSP oraz wbudowana sprzętowa mnożarka wraz z zaawansowanym systemem zarządzania energią pozwalają na uzyskanie minimalizacji poboru energii przy zachowaniu względnie dużej wydajności obliczeniowej.

W artykule przedstawiono cechy rodziny mikrokontrolerów MSP ze szczególnym uwzględnieniem modułów peryferyjnych oraz mechanizmów pozwalających na efektywne zarządzanie zużyciem energii elektrycznej. Zaprezentowano narzędzia uruchomieniowe (oprogramowanie, zestawy ewaluacyjne) oraz metody testowania i weryfikacji aplikacji.

### 2. PRZEGLĄD RODZINY MIKROPROCESORÓW MSP

Mikrokontrolery MSP to stałoprzecinkowe mikrokontrolery typu RISC o 16-bitowej architekturze. Pamięć jest zorganizowana na architekturze harwardzkiej, gdzie dostęp do rozdzielonych pamięci programu i danych jest realizowana za pomocą 16-bitowej magistrali danych i 16-bitowej magistrali adresowej. System instrukcji jest systemem ortogonalnym, co oznacza, że każda instrukcja może zostać użyta

\* Doktorant WEAIiE, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

\*\* Katedra Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

w każdym dostępnym trybie adresowania. Wszystkie instrukcje wykonywane są w jednym cyklu rozkazowym [1].

Mikrokontrolery MSP zostały podzielone na cztery rodziny. W każdej z rodzin poszczególne modele różnią się:

- 1) ilością dostępnej pamięci,
- 2) rodzajem pamięci,
- 3) wbudowanymi peryferiami,
- 4) obudową.

### 2.1. Rodzina MSP430x1xx

Rodzina mikroprocesorów MSP z pamięcią typu FLASH lub ROM. Zakres napięć pracy w zależności od konkretnego modelu waha się między 1,8 V a 3,6 V. Modele z tej rodziny dysponują pamięcią do 60 kB, a wydajność pracy procesora dla podstawowego zegara wynosi około 6 MIPS. Mikrokontrolery tej rodziny mogą zawierać moduły peryferyjne prostych komparatorów niskiej mocy do wysoko-wydajnych przetworników A/C i C/A, modułów komunikacyjnych i sprzętowych układów mnożących.

### 2.2. Rodzina MSP430F2xx

Mikrokontrolery tej rodziny oparte są na pamięci typu FLASH. Układy te w porównaniu do poprzednich układów posiadają jeszcze niższy pobór mocy, przy jednoczesnej większej wydajności (16 MIPS) i tych samym zakresie napięć pracy (1,8÷3,6 V). Dodatkowe ulepszenia to między innymi: wbudowany oscylator bardzo niskiej mocy, wbudowane rezystory podciągające dla portów wejścia/wyjścia, zwiększona ilość wejść analogowych.

### 2.3. Rodzina MSP430x3xx

Jest to rodzina starszych mikroprocesorów MSP opartych na pamięciach ROM/OTP. Zakres napięć pracy zawiera się pomiędzy 2,5÷5 V, rozmiar pamięci do 32 kB a wydajność 4 MIPS z zegarem typu zamkniętej pętli częstotliwościowej FLL (*Frequency Locked Loop*). Układy tej rodziny mają wbudowany sprzętowy kontroler wyświetlacza LCD (*Liquid Crystal Display*).

### 2.4. Rodzina MSP430x4xx

Są to mikroprocesory z pamięcią typu FLASH lub ROM do 120 kB w zakresie napięć od 1,8÷3,6 V. Wydajność obliczeniowa 8 MIPS dla zegara typu zamkniętej pętli częstotliwościowej (FLL). Posiadają także wbudowany kontroler LCD. Mikroprocesory tej rodziny są szczególnie przydatne w miernictwie i aplikacjach medycznych.

## 3. MODUŁY PERYFERYJNE MIKROPROCESORÓW MSP

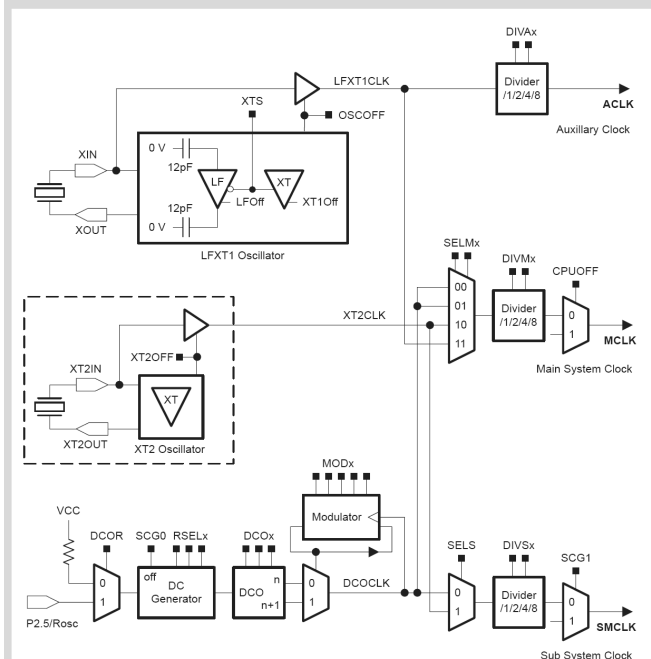
Jednym z najistotniejszych elementów decydujących o przydatności mikrokontrolera do konkretnych zadań są wbudowane w jego strukturę wewnętrzną moduły peryferyjne. Pozwala to na minimalizację kosztów oraz gabarytów urzą-

dzenia obsługiwanego przez mikrokontroler (ograniczenie do minimum ilości elementów stosowanych do produkcji urządzenia) oraz zmniejsza podatność na zakłócenia zewnętrzne.

Poszczególne modele mikrokontrolerów MSP różnią się wbudowanymi modułami peryferyjnymi. Rozwiązanie takie pozwala optymalizować system mikroprocesorowy pod względem kosztów. Poniżej zostaną omówione najbardziej istotne spośród dostępnych w rodzinie MSP modułów peryferyjnych.

### 3.1. System zegarów mikroprocesora. Energoszczędne tryby pracy

System zegarów mikrokontrolera MSP jest źródłem sygnałów taktujących dla poszczególnych modułów peryferyjnych oraz CPU (*Central Processing Unit*). Zastosowaniu modułu pozwalającego na elastyczne zarządzanie sposobem rozprawienia, częstotliwością oraz załączaniem i wyłączaniem poszczególnych sygnałów zegarowych pozwala na optymalizację pracy mikrokontrolera pod względem zużycia energii elektrycznej przez moduły peryferyjne oraz dobrać odpowiednią dla danej aplikacji wydajność obliczeniową CPU.



Rys. 1. Schemat blokowy modułu zegarów rodziny mikrokontrolerów MSP430x1xx [1]

Przykładowy schemat blokowy modułu zegarów mikrokontrolera MSP przedstawia rysunek 1. Budowa modułu zmienia się wraz z rodziną mikroprocesorów MSP, a nawet wraz z konkretnym modelem w danej rodzinie. Cechą wspólną wszystkich tych modułów jest występowanie co najmniej dwóch źródeł sygnałów zegarowych oraz co najmniej trzech wyjściowych sygnałów zegarowych modułu. Źródłem tych sygnałów może być jeden z dwóch zewnętrznych rezonatorów dołączonych przez użytkownika bądź wewnętrzny, programowalny oscylator typu RC.

**Tabela 1**  
 Tryby pracy mikrokontrolerów

Tryb	Moduły i sygnały mikrokontrolera pracujące w danym trybie						Ustawienia bitów			
	CPU	Sygnały zegarowe			DC oscy-lator	DCO modulator	SCG1	SCG0	OSCOFF	CPUOFF
		MCLK	SMCLK	ACLK						
<b>AM</b>	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	0	0	0	0
<b>LPM0</b>	NIE	NIE	TAK	TAK	TAK	TAK	0	0	0	1
<b>LPM1</b>	NIE	NIE	TAK	TAK	TAK	NIE	0	1	0	1
<b>LPM2</b>	NIE	NIE	TAK	TAK	NIE	TAK	1	0	0	1
<b>LPM3</b>	NIE	NIE	NIE	TAK	NIE	NIE	1	1	0	1
<b>LPM4</b>	NIE	NIE	NIE	NIE	NIE	NIE	1	1	1	1

Źródłami sygnałów zegarowych w zależności od modelu i rodziny mikrokontrolera są:

- LFXT1CLK – oscylator korzysta z zewnętrznego zegara kwarcowego bądź innego rezonatora o częstotliwościach od 32 kHz do 8 MHz lub 16 MHz w zależności od modelu;
- XT2CLK – opcjonalny oscylator wysokiej częstotliwości; zakres możliwych do użycia zewnętrznych rezonatorów waha się od 450 kHz do 8 MHz lub 16 MHz w zależności od rodziny mikrokontrolera;
- DCOCLK – wewnętrzny programowalny oscylator (DCO).

Mikrokontrolery MSP pracują z trzema podstawowymi sygnałami zegarowymi:

- 1) ACLK (*Auxiliary clock*) – sygnał zegarowy z programowalnym dzielnikiem 1, 2, 4 lub 8, wykorzystywany przez peryferia mikrokontrolera. ACLK korzysta z sygnału z oscylatora LFXT1CLK.
- 2) MCLK (*Master clock*) – używany przez system i CPU. Może zostać podzielony przez 1, 2, 4 lub 8; źródłem sygnału MCLK może być sygnał z oscylatorów LFXT1CLK, XT2CLK lub DCOCLK.
- 3) SMCLK (*Sub-main clock*) – dodatkowy sygnał wykorzystywany przez moduły peryferyjne. Posiada dzielnik programowalny 1, 2, 4, lub 8; źródłem sygnału MCLK może być sygnał z oscylatorów LFXT1CLK, XT2CLK lub DCOCLK.

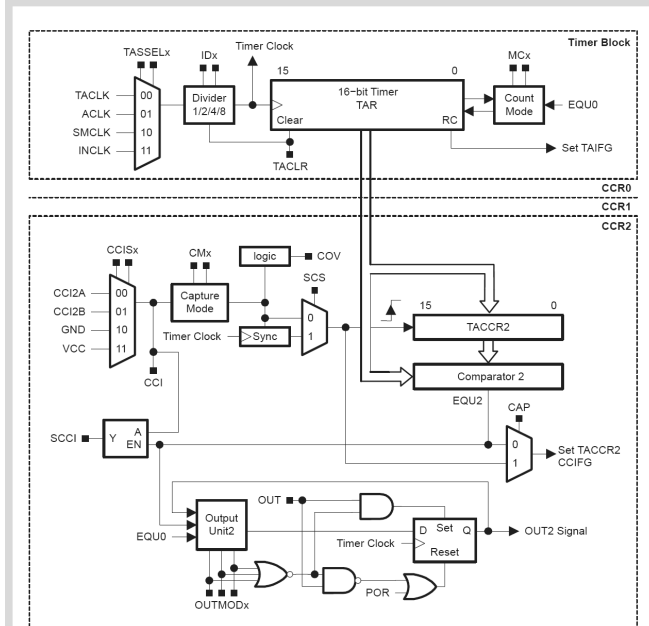
Zarządzanie modułem zegarowym z poziomu aplikacji odbywa się za pomocą bitów sterujących (CPUOFF, OSOCCOFF, SCG0, SCG1). Bity te umiejscowione są w rejestrze stanu procesora (SR) obok bitów flag procesora. Każde wywołanie przerwania zeruje bity odpowiedzialne za uspienie CPU, pozwalając na wyjście ze stanu oczekiwania i wykonanie programu przerwania. Poprzednia wartość rejestru statusu odkładana jest na stosie. Taki zabieg pozwala na powrót do poprzedniego stanu pracy po wyjściu z przerwania.

Cechą charakterystyczną mikrokontrolerów MSP jest rozbudowany system energooszczędnych stanów pracy. Każdy z trybów pracy mikroprocesora jest zestawem ustawień zegarów systemowych mikrokontrolera opisanych odpowiednią kombinacją wartości bitów sterujących CPUOFF, OSOCCOFF, SCG0, SCG1. Wyróżnia się sześć stanów pracy mikrokontrolerów MSP (jeden stan aktywny i pięć trybów obniżonego poboru energii), które zostały przedstawione w tabeli 1.

### 3.2. Moduły zegarowo-licznikowe

Mikrokontrolery MSP zostały wyposażone w szesnastobitowe układy zegarowo-licznikowe w liczbie od jednego do trzech. Każdy z układów oprócz podstawowej jednostki zliczającej posiada także co najmniej trzy układy przechwytyjące i komparujące.

Schemat blokowy licznika przedstawiono na rysunku 2.



**Rys. 2.** Schemat blokowy układu zegarowo-licznikowego [1]

Do głównych cech tego licznika można zaliczyć:

- asynchroniczny, 16-bitowy układ zliczający w czterech różnych trybach;
- możliwość zliczania sygnałów zarówno wewnętrznych, zegarowych mikrokontrolera, jak i sygnałów zewnętrznych;
- co najmniej trzy układy przechwytyjąco-komparujące;
- autonomiczne wyliczanie parametrów sygnału PWM;
- wewnętrzny wektor przerwań do rozpoznawania przerwań modułu licznika.

Układy zegarowo-licznikowe w mikroprocesorach MSP dzielą się na dwa typy: typ A i typ B. Moduł typu B ma możliwość wyboru długości bitowej licznika od 8÷16 bitów oraz posiada podwójnie zbuforowane rejestry.

### 3.3. Przetworniki A/C

Mikrokontrolery mogą być wyposażone w dwa rodzaje przetworników A/C: 12-bitowe przetworniki aproksymacji sukcesywnej oraz 16-bitowe przetworniki sigma-delta.

Przetworniki A/C sukcesywnej aproksymacji charakteryzują następujące właściwości:

- 12-bitowa rozdzielczość;
- moduł podtrzymywania mierzonego napięcia (Sample and Hold);
- start konwersji przerwaniem układu zegarowo-licznikowego lub start konwersji przez aplikację;
- wewnętrzne źródła napięcia odniesienia (1,5 V i 2,5 V);
- możliwość wyboru źródła napięcia odniesienia zewnętrznego lub wewnętrznego przez aplikację;
- do dwunastu wejść zewnętrznych analogowych oraz pomiar temperatury z wewnętrznego czujnika;
- możliwość wyboru źródła sygnału taktującego pracę A/C;
- cztery tryby pracy przetwornika (pojedyncza konwersja jednego wejścia analogowego, ciągła konwersja jednego wejścia, pojedyncza sekwencja konwersji wybranych wejść analogowych, powtarzalna sekwencja konwersji wybranych wejść analogowych);
- możliwość oddzielnego wyłączenia zasilania modułu A/C i modułu napięcia odniesienia;
- wewnętrzny wektor przerwań przetwornika A/C do szybkiego rozpoznawania jednego z osiemnastu przerwań przetwornika;
- szesnaście rejestrów wyników.

Przetworniki A/C sigma-delta mają następujące własności:

- 16-bitowa architektura,
- do ośmiu multipleksowanych wejść analogowych,
- możliwość wyboru źródła napięcia odniesienia spośród wewnętrznego 1,2 V źródła oraz zewnętrznego źródła napięcia,
- wbudowany czujnik temperatury,
- opcjonalnie konwersja w niskim stanie poboru energii.

### 3.4. Przetworniki C/A

Mikrokontrolery MSP mogą być wyposażone w jeden lub kilka przetworników C/A. Podstawowe właściwości wbudowanych przetworników C/A to:

- 12-bitowe wyjście;
- możliwość wyboru wewnętrznego lub zewnętrznego źródła napięcia odniesienia;
- format danych wejściowych może być zarówno bezpośredni bitowy, jak i w kodzie uzupełnień do dwóch;
- synchronizacja wyjść przetworników C/A dla wielu przetworników.

### 3.5. Układ kopiowania pamięci DMA

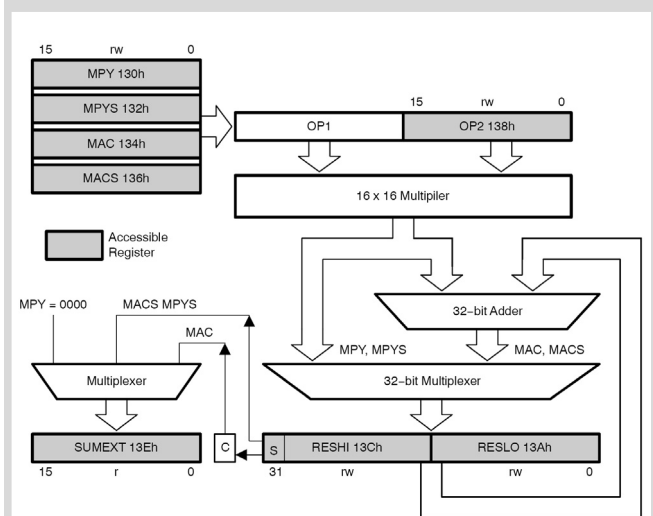
Niektóre modele mikroprocesorów MSP zostały wyposażone w sprzętowy układ kopiowania bloków pamięci (DMA) pozwalający na przeniesienie danych pomiędzy różnymi obszarami pamięci bez angażowania zasobów samego mikroprocesora. Użycie tego modułu jest szczególnie przydatne przy kopiowaniu danych z rejestrów przetwornika A/C. Jako przykład można podać algorytm realizujący filtr cyfrowy FIR, który wymaga umieszczenia danych z przetwornika A/C w odpowiednim miejscu pamięci. Kopiowanie danej z rejestru przetwornika A/C do tabeli danych może w tym wypadku odbywać się bez udziału samej procesora.

Układ DMA omawianych mikrokontrolerów charakteryzuje się następującymi właściwościami:

- może mieć do trzech niezależnych kanałów kopiowania danych,
- ma możliwość ustawienia priorytetów dla poszczególnych kanałów kopiowania,
- umożliwia kopiowanie danych 8-bitowych i 16-bitowych,
- pozwala skonfigurować moment startu transferu danych,
- ma cztery tryby adresowania.

### 3.6. Sprzętowy układ mnożący

Rzadkim rozwiązaniem w mikrokontrolerach podobnych typów jest wyposażenie mikrokontrolerów MSP w sprzętowy układ mnożący (rys. 3).



Rys. 3. Schemat blokowy układu mnożącego mikrokontrolerów MSP

Układ ten nie jest częścią samego procesora lecz jest jednym z modułów peryferyjnych. Wynik mnożenia jest dostępny w rejestrze wyniku po trzech cyklach zegara systemowego. Układ mnożący pozwala na wykonanie następujących operacji mnożenia:

- mnożenie bez znaku;
- mnożenie ze znakiem;
- mnożenie bez znaku i akumulacja wyników;
- mnożenie ze znakiem i akumulacja wyników;
- mnożenie 16×16, 16×8, 8×16, 8×8.

Pojawienie się sprzętowego układu mnożącego wraz z przetwornikami A/C i C/A pozwala na efektywną obróbkę cyfrową sygnałów. Wbudowanie takich modułów w mikrokontrolerach MSP zbliża je pod względem funkcjonalności do procesorów sygnałowych.

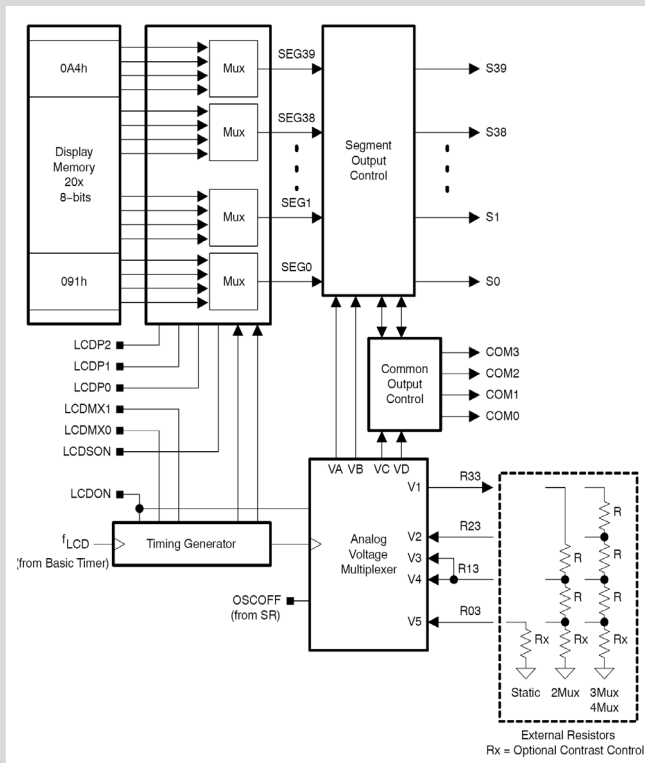
### 3.7. Moduły i protokoły komunikacyjne

Mikrokontrolery MSP są wyposażone w dwa moduły transmisji szeregowej:

- 1) USART (*Universal Synchronous/Asynchronous Receive/Transmit*),
- 2) USCI (*Universal Serial Communication Interface*), które umożliwiają przesyłanie danych następującymi protokołami:
  - UART (*Universal Asynchronous Receive/Transmit*),
  - SPI (*Serial Peripheral Interface*),
  - I2C (*Inter-Integrated Circuit*).

### 3.8. Sprzętowy kontroler wyświetlacza LCD

Jednym z bardzo przydatnych modułów mikroprocesorów MSP jest wbudowany kontroler wyświetlacza LCD (rys. 4).



Rys. 4. Schemat blokowy przykładowego kontrolera wyświetlacza LCD [1]

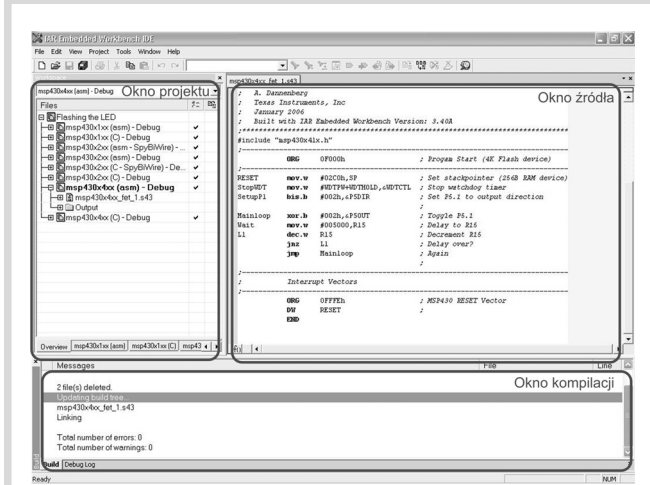
Moduł ten pozwala na korzystanie ze statycznych wyświetlaczy LCD typów: Static, 2-mux, 3-mux, 4-mux. Podstawowe właściwości oferowane przez kontroler wyświetlacza LCD w mikroprocesorach MSP to:

- wykorzystanie obszaru pamięci RAM jako pamięci obrazu,
- automatyczna generacja sygnałów sterujących obsługiwany typ wyświetlacza LCD,
- możliwość programowej zmiany częstotliwości pracy modułu w celu dostosowania się do typu wyświetlacza,
- realizacja sprzętowego migotania wyświetlanymi danymi.

Wyposażenie mikrokontrolerów w sprzętowy układ obsługi wyświetlacza LCD ułatwia realizację systemów wykorzystujących wizualizację danych. Zwalnia to użytkownika z programowej realizacji funkcji wyświetlacza LCD, i dodatkowo oszczędza zasoby mikroprocesora.

## 4. NARZĘDZIA PROGRAMISTYCZNE

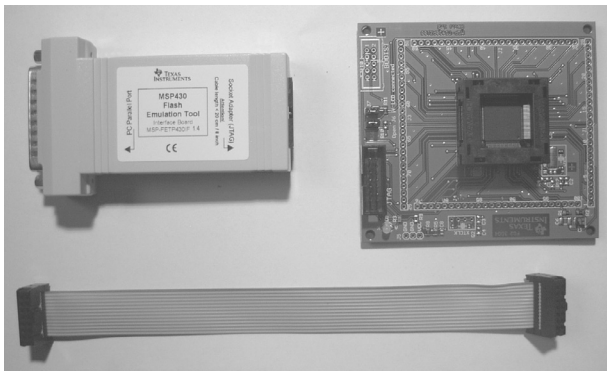
Producent mikrokontrolerów MSP, firma Texas Instruments, dostarcza pełen pakiet narzędzi (*IAR Embedded Workbench*) pozwalający w wygodny sposób programować i weryfikować tworzone przez użytkownika aplikacje (rys. 5). Oprogramowanie komunikuje się z mikroprocesorem MSP za pośrednictwem sondy emulacyjnej JTAG [3]. Sonda emulacyjna w standardzie IEEE 1149.1 pozwala na dostęp do wszystkich rejestrów procesora jak też do mapy pamięci. Istnieje możliwość odczytu oraz zmiany poszczególnych rejestrów procesora, ułatwiając weryfikację tworzonej aplikacji. Typowy zestaw ewaluacyjny (przedstawiony na rys. 5) jest wyposażony w moduł MSP oraz sondę emulacyjną MSP, którą można łączyć z komputerem klasy PC za pomocą kabla USB (*Universal Serial Bus*) bądź kabla szeregowego RS232.



Rys. 5. Okno aplikacji wspomagającej programowanie mikrokontrolerów MSP

Pakiet programistyczny pozwala na kompilację i scalanie modułów aplikacji użytkownika bez obecności mikrokontrolera. Istnieje możliwość tworzenia aplikacji zarówno

w assemblerze, jak i w języku C. Do wad pakietu należy zaliczyć brak symulatora, jednak przy tak rozbudowanych i różnorodnych peryferiach stworzenie takiego oprogramowania byłoby bardzo trudne. Niedogodność ta jest w pewnym stopniu rekompensowana przez dostępność tanich zestawów ewaluacyjnych (rys. 6) pozwalających na testowanie algorytmów i aplikacji.



Rys. 6. Zestaw ewaluacyjny MSP MSP430x4xx

## 5. WYKORZYSTANIE MIKROKONTROLERA MSP DO STEROWANIA PRZETWORNICĄ NAPIĘCIA W SYSTEMIE POZYSKIWANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ Z OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH

Na rysunku 7 przedstawiono schemat poglądowy stanowiska pozwalającego na pozyskiwanie energii elektrycznej z paneli fotowoltaicznych. Urządzenie składa się z zespołu ogniw fotowoltaicznych (RWE Solar ASI30 015/120/115  $V_{oc} = 24$  V), przetwornicy DC/DC ze sterownikiem zbudowanym na bazie mikrokontrolera MSP430F1232IDW, oraz akumulatora.

Układ realizujący pozyskiwanie energii z ogniw słonecznych musi cechować dużą sprawność przetwarzania energii elektrycznej oraz małe straty własne. Straty energii możliwe do optymalizacji to straty w elementach przełączających oraz w układzie sterownika (pomijając straty w cyklu przeładowania akumulatora).

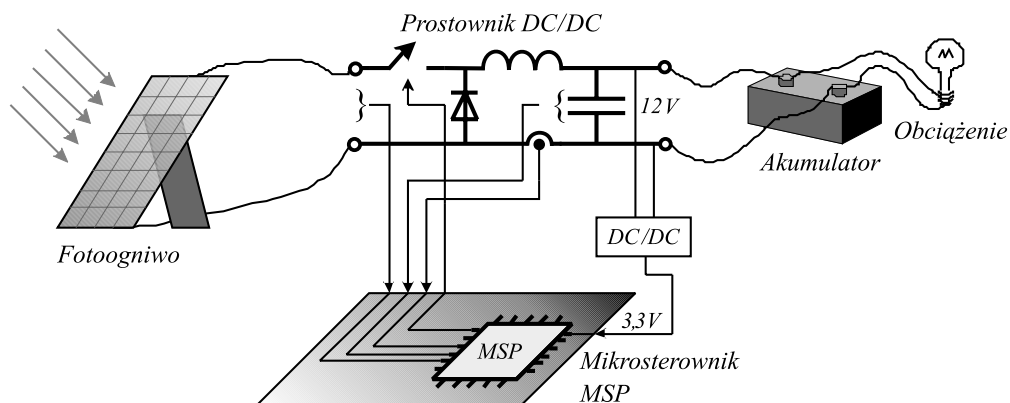
Sterownik mikroprocesorowy zastosowany w opisywanej aplikacji ma za zadanie:

- Realizację sterowania przetwornicą napięcia w ten sposób, aby optymalnie (w zależności od aktualnie panujących warunków oświetleniowych) wykorzystać energię pozyskiwaną w panelu fotowoltaicznych, co sprowadza się do utrzymywania punktu maksymalnej mocy ogniwa PV (algorytm MPPT – *Maximum Power Point Tracking*).
- Kontrolę procesu ładowania baterii akumulatorów.
- Efektywne zarządzanie poborem energii (kontrola stanów uśpienia i pracy) w sposób pozwalający na minimalizację strat związanych z pracą układu sterownika. Sterownik mikroprocesorowy dynamicznie przechodzi w stan uśpienia, wyłączając łącznik półprzewodnikowy prostownika DC/DC w momencie rozpoznania stanu braku dostatecznego natężenia światła. Pomiar napięcia fotoogniwa w stanie wyłączanego łącznika prostownika DC/DC, przy jednoczesnym braku przepływu prądu przez indukcyjność prostownika, stanowi podstawę do określenia warunków powrotu do stanu aktywnego pracy mikrokontrolera. Wykorzystanie różnych trybów pracy mikrokontrolera MSP w znacznym stopniu ogranicza zużycie energii elektrycznej i pozwala zwiększyć sprawność całego urządzenia.

Zaprezentowane urządzenie jest jednym z licznych przykładów zastosowania procesorów MSP w aplikacjach wymagających ograniczenia zużywanej energii elektrycznej.

## 6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W artykule przedstawiono rodzinę nowoczesnych, 16-bitowych mikrokontrolerów RISC, które, ze względu na bardzo wydajny system zarządzania zużyciem energii oraz wysoką w swej klasie wydajność obliczeniową, doskonale nadają się do zastosowania w systemach, gdzie jednym z głównych kryteriów jest oszczędność energii elektrycznej. Szczegółowe informacje na temat układów można znaleźć w pracy [1].



Rys. 7. Schemat poglądowy stanowiska do pozyskiwania energii elektrycznej z ogniw fotowoltaicznych

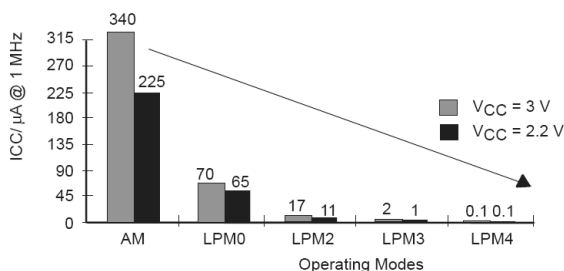
W tabeli 2 przedstawiono porównanie cen [4] oraz poborów prądu dla stanów pracy aktywnej i trybu uśpienia jednego z mikrokontrolerów MSP oraz typowego przedstawiciela 8-bitowych mikrokontrolerów typu RISC – ATmega.

**Tabela 2**

Porównanie mikrokontrolera MSP z typowym przedstawicielem 8-bitowych mikrokontrolerów – Atmega64

$f_{CLK} = 1 \text{ MHz}$ , $V_{CC} = 3 \text{ V}$	MSP430FE427	ATmega64
Aktywny tryb pracy	500 $\mu\text{A}$	1200 $\mu\text{A}$
Tryb uśpienia	0,5 $\mu\text{A}$	7 $\mu\text{A}$
Cena	Ok. 40 PLN	Ok. 35 PLN

Bogaty zestaw modułów peryferyjnych pozwala na szerokie spektrum zastosowań, a niski pobór energii sprawia, że doskonale nadają się do stosowania w urządzeniach o zasilaniu bateryjnym. Na rysunku 8 przedstawiono typowe wartości prądu dla pracy w różnych trybach, przy założeniu, że  $f_{clk} = 1 \text{ MHz}$ .



**Rys. 8.** Typowe zużycie prądu rodziny MSP320x1xx [1]

W artykule zaprezentowano system pozyskiwania energii elektrycznej z paneli fotowoltaicznych, w którym w charakterze układu sterującego wykorzystano mikrokontroler MSP430F1232IDW.

## Literatura

- [1] <http://www.ti.com/>: Dokumenty elektroniczne: slau049f.pdf, slau144b.pdf, slau056f.pdf, slau134.pdf, slau012a.pdf
- [2] <http://www.atmel.com/>
- [3] <http://www.jtag.com/>
- [4] <http://www.kamami.pl/>

Wpłynęło: 29.03.2007

Adam PENCZEK



Urodził się 31 lipca 1973 roku. Jest pracownikiem Katedry Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych. Jego zainteresowania to: zastosowanie nowoczesnych sterowników DSP w energoelektronice oraz problematyka jakości energii elektrycznej.

e-mail: [penczek@agh.edu.pl](mailto:penczek@agh.edu.pl)

Marcin GURBIEL



Urodził się 5 stycznia 1981 roku. Jest doktorantem Wydziału EAIiE Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie na kierunku elektrotechnika przy Katedrze Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych. Jego zainteresowania skupiają się wokół

zagadnień sterowania napędami, energoelektroniki oraz cyfrowego przetwarzania sygnałów.

e-mail: [gurbiel@agh.edu.pl](mailto:gurbiel@agh.edu.pl)