

MSP430: mikrokontrolery, które (prawie) nie pobierają prądu, część 9

Komparator analogowy

W ramach cyklu przedstawiamy dwa (w zasadzie niemal trzy) kolejne przykładowe projekty dla mikrokontrolerów MSP430. Funkcjonalność obydwu przykładów oparto na komparatorze analogowym, który jest jedynym z elementów peryferyjnych zaimplementowanym w prezentowanych mikrokontrolerach.

Eksperyment trzeci – sensor pojemnościowy

W trzecim eksperymencie moduł komparatora użyty zostanie jako generator o zasadzie działania identycznej z zasadą działania działania generatora przebiegu prostokątnego ze wzmacniaczem operacyjnym. Generator, jaki powstał w wyniku eksperymentu, nie jest zbyt stabilny ale to właśnie jego niestabilność została użyta w celu wykonania sensora pojemnościowego do zastosowań w aplikacjach zasilanych bateryjnie. Niewątpliwymi zaletami stosowania takiego sensora jako czujnika dotyku w miejsce tradycyjnego klawisza jest

uproszczenie konstrukcji obudowy i możliwość hermetycznego zamknięcia urządzenia.

W projekcie (rys. 25) wykorzystano wejście P1.7 (CA1) oraz wyjście CAOUT, które należy połączyć szeregowym rezystorem o dużej rezystancji (ok. 1 MΩ). Rezystor ten wraz ze szczątkową pojemnością wyprowadzenia CA1 tworzy filtr dolnoprzepustowy, przez który wynik komparacji napięć z wyjścia podawany jest ponownie na wejście, powodując (z opóźnieniem zależnym od parametrów układu RC) ponowne przełączenie komparatora. Powstaje generator przebiegu prostokątnego.

Dodatkowo włączony jest wbudowany filtr dolnoprzepustowy, stanowiący drugi człon opóźnienia, który ustala częstotliwość drgań na wartości kilkuset kHz.

Teraz wystarczy do wyprowadzenia CA1 podłączyć płytkę wykonaną z materiału przewodzącego, by zbliżenie palca powodowało zakłócenie pracy generatora i zmianę jego częstotliwości. Płytkę może być zaizolowana i umieszczona pod osłoną. Dla zauważenia reakcji układu wystarczy zbliżenie palca na odległość kilku milimetrów.

Konfiguracja komparatora obejmuje włączenie inwersji wejść (bit CAEX), wybór referencji i włączenie komparatora a następnie połączenie wejścia i wyjścia.

Wyjście komparatora P2.6 (CAOUT) należy podłączyć zewnętrznym przewodem do wejścia TACLK licznika *TimerA* i włączyć licznik w odpowiedni tryb pracy, by mierzyć częstotliwość generowanego sygnału. Licznik *TimerA* jest skonfigurowany do pracy ciągłej, z taktowaniem sygnałem TACLK.

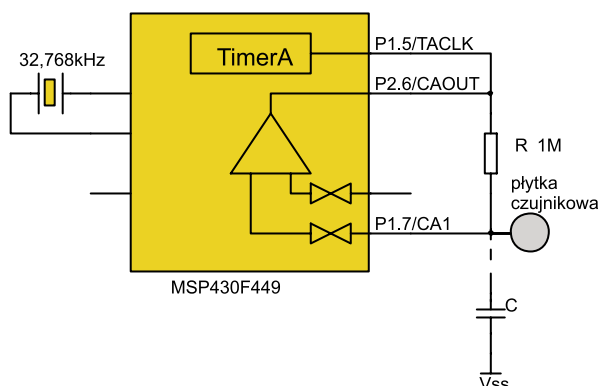
Ponieważ komparator w stanie generacji pobiera sporo prądu, warto ograniczać czas pracy generatora i czas pomiaru. Najlepiej jest włączać generator cyklicznie na krótką chwilę. Aby nie angażować zbyt wielu zasobów mikrokontrolera do tego prostego

działania, zadanie odliczenia czasu pomiaru realizuje pętla oczekiwania. Postąpienie wbrew ogólnej zasadzie unikania takich pętli w energooszczędnych aplikacjach jest tutaj całkowicie uzasadnione. Po każdym cyklu pomiaru moduł komparatora i moduł licznika są wyłączane a ich wyprowadzenia odłączane.

Czas pracy generatora t wynosi ok. 1,5 ms. Pobór prądu i związany z jego działaniem wynosi ok. 0,5...1 mA (w zależności od częstotliwości taktowania jednostki centralnej). Średni pobór prądu wynosi zatem:

$$I_{sr} = \frac{i \cdot t}{1s} = 1,5ms \cdot 1mA = 1,5\mu A$$

Uzyskany pobór prądu jest na tyle niewielki, że można rozpatrzyć zastosowanie takiego rozwiązania w każdej aplikacji. Na koniec uwaga. Można założyć, że zbliżenie palca zwiększa pojemność wchodzącą w skład układu RC. Stąd też częstotliwość pracy generatora spada nieznacznie, gdy zbliżymy palec do płytki metalowej. W przedstawionej konfiguracji uzyskuje się zmianę częstotliwości o ok. 1...2%, co swobodnie wystarcza do detekcji zbliżenia palca. Autor pozostawia Czytelnikom swobodę w eksperymentowaniu z innymi ustawieniami.



Rys. 25. Schemat połączeń dla sensora pojemnościowego

List. 12. Fragment programu obsługującego sensor pojemnościowy

```

{
TACTL = TASSEL0 + TASSEL1 + TACLK + MCL; // włączenie licznika
P1SEL |= BIT5; //wybor wejścia dla InClock (TACLK)
P1DIR &=~ BIT5; // wejście TACLK jako wejście
CACTL1 = CAEX + CAREF0 + CAON; // włączenie komparatora
P2SEL |= BIT6; //wybor wyjścia clk
CACTL2 |= P2CA1; // P1.7 jako (+) komparatora
CACTL2 |= CAOUT ;
P2DIR |= BIT6; // koncówka jako wyjście
for (i=0;i<burst;i++) {}
zliczenie = TAR; // odczyt licznika drgan
P1SEL &=~ BIT5;
TACTL &=~MCL; // wylaczc TimerA
P2DIR &=~ BIT6;
CACTL2 &=~ CAOUT + P2CA1; //odlaczanie wyprowadzen
CACTL1 &=~ CAEX + CAREF0 + CAON ; //wylaczenie komparatora
P2SEL &=~ BIT6; //odlaczanie wyjścia
P1SEL &=~ BIT5; //odlaczanie wyjścia
P1DIR |= BIT5;
}
    
```

Eksperyment czwarty – pomiar rezystancji

Pomiary rezystancji w elektrotechnice występują bardzo często. Pomiar większości parametrów środowiskowych to w istocie pomiar rezystancji. Wykonanie takiego pomiaru nie zawsze musi się wiązać z użyciem przetwornika analogowo-cyfrowego. W czwartym eksperymencie omówiony zostanie porównawczy pomiar rezystancji z przetwornikiem integracyjnym wykonanym w oparciu o komparator napięcia. Opisana aplikacja pomiarowa może być podstawą do budowy termometru elektronicznego i została do takiego zastosowania zoptymalizowana. Metoda pomiaru polega na porównaniu stałej czasowej obwodu RC, w którym znajduje się kondensator C o nieziennej wartości i element rezystancyjny R, którym naprzemiennie jest rezystor wzorcowy Rref lub rezystor mierzony Rpom. Przy zachowaniu zbliżonych warunków pomiaru zachodzi zależność:

$$R_{pom} = \frac{R_{ref} \cdot T_{pom}}{T_{ref}}$$

Kondensator C jest podłączony do wyprowadzenia P1.6 (CA0). Będzie on ładowany z napięcia V_{CC} przez rezystor Rref lub Rpom, kluczowany odpowiednio przez port P1.3 lub P1.7. Komparator z napięciem referencyjnym o wartości 0,5 V_{CC} ma za zadanie śledzić narastanie napięcia i wykryć fakt naładowania kondensatora do wartości progowej. Wyjście komparatora jest sprzężone z licznikiem TimerA a czas osiągnięcia wartości progowej jest rejestrowany. Następnie kondensator jest rozładowywany przed ponownym pomiarem.

Postawmy kilka założeń wstępnych przyjmując, że docelową aplikacją jest termometr z termistorem NTC o wartości 10...20 kΩ (dla 25°C). Zastosowano rezystor wzorcowy o wartości zbliżonej do średniej oczekiwanej rezystancji termistora – Rref=10 kΩ oraz

kondensator C=220 nF, co daje stałą czasową ok. 2,2 ms. Przypomnijmy, że stała czasowa to czas, po którym kondensator naładuje się do wartości ok. 0,69 V_{CC}. Ponieważ mierzony jest czas ładowania do wartości 0,5 V_{CC}, faktycznie zmierzony czas może być jeszcze krótszy – na pewno nie dłuższy niż 2 ms dla rezystora wzorcowego. Aby uzyskać rozsądną precyzję pomiaru czasu, warto ustalić wysoką częstotliwość taktującą licznik TimerA. Ustalono ją na ok. 3 MHz, co powinno dać wynik pomiaru czasu wzorcowego na poziomie 5000 cykli.

Program (list. 13) jest tak przygotowany, by był możliwie krótki i mało skomplikowany. Stąd zastosowanie kilku uproszczeń, szczególnie w sposobie wyzwolenia pomiaru i zbierania wyników.

Pomiar składa się z czterech operacji: ładowania kondensatora przez rezystor wzorcowy z pomiarem, pobrania wyniku i rozładowania, ponownego ładowania przez rezystor mierzony z pomiarem oraz ponownego pobrania wyniku i rozładowania. Wszystkie te operacje odbywają się pojedynczo, w wyniku wykonania instrukcji wyboru case, a po każdej z nich następuje zatrzymanie jednostki centralnej (wprowadzenie trybu obniżonego poboru pomocy co najmniej LPM0). System

oczekuje na przerwanie od licznika Basic Timer, w wyniku którego wykonywane są dalsze operacje (np. treść innego warunku instrukcji case). Częstość przerwania od Basic Timera ustalono na 32 Hz. Okno czasowe dla pomiaru, wyznaczone przez częstość przerwania, wynosi 30 ms, co powinno być wystarczające w każdych warunkach (warto wiedzieć, że rezystancja termistora NTC może być w temperaturze bliskiej 0°C nawet kilkukrotnie większa od nominalnej).

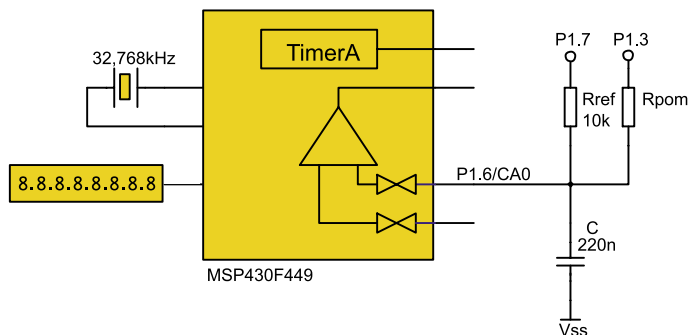
W pierwszym warunku (gdy zmienna LicznikBT = 0) występuje operacja ustalająca stan początkowy. Modyfikowane są ustawienia dla wyprowadzenia P1.6 (CA0), tj. odłączenie wejścia komparatora i ustawienie portu jako wyjście w celu rozładowania kondensatora. Wprowadzony jest tryb redukcji poboru mocy LPM3, w którym działa właściwie tylko generator kwarcowy, sygnał taktujący ACLK i licznik Basic Timer – elementy niezbędne do odliczenia czasu do kolejnego przerwania.

W tym miejscu warto zwrócić uwagę, że zapis:

LPM3;
jest równoznaczny z zapisem:

_BIS_SR(LPM3_bits);
W obu przypadkach mamy do czynienia z makrem zdefiniowanym m.in. w środowiskach IAR Embedded Workbench i Quadravox AQ430. W następstwie przerwania realizowany jest kolejny fragment programu, gdzie włączany jest komparator z referencją 0.5V_{CC} i włączane wyprowadzenie CA0. Następnie wykonywana jest konfiguracja bloku komparującego licznika TimerA.

Instrukcja o treści:
CCTL1 = CM0 + CCI-S0 + CAP;
wykonuje operacje kon-



Rys. 26. Schemat połączeń dla pomiaru rezystancji

figuracji bloku komparującego CCR1 i włącza tryb, w którym nastąpi rejestracja wartości rejestru *TAR*, tj. stanu licznika *TimerA* w wyniku pojawienia się zbocza narastającego sygnału CCI1B, który w mikrokontrolerze MSP430F449 jest w istocie sygnałem CAOUT. Operacja ta nastąpi w chwili, gdy napięcie kondensatora przekroczy wartość progową.

Konfigurowany jest również licznik *TimerA* do trybu pracy z zegarem SMCLK, w tym wypadku ok. 3 MHz. Następnie włączony zostaje klucz dla rezystora wzorcowego i usunięte zwarcie kondensatora. Rozpoczyna się ładowanie kondensatora przez rezystor wzorcowy. Zostaje wprowadzony tryb LPM0, w którym wyłączona jest jednostka centralna lecz działa sygnał SMCLK, taktujący licznik *TimerA*. Wynik pomiaru czasu zostanie wychwycony samoczynnie.

W kolejnym fragmencie programu, realizowanym po następnym przerwaniu od *Basic Timera* zachowywany jest wynik pomiaru czasu, odłączane wejście CA0, odłączany klucz rezystora referencyjnego i zwierany kondensator. Komparator nie jest wyłączany. Nie jest również wyłączany licznik *TimerA*, co nie ma większego znaczenia, gdyż w trybie LPM0, który następuje bezpośrednio potem, licznik nie jest taktowany, gdyż jego sygnał taktujący – SMCLK – jest wyłączany.

W kolejnych fragmentach programu powtarzane są powyższe operacje w odniesieniu do rezystora mierzonego. Na koniec wyłączany jest komparator i licznik *TimerA* oraz obliczana jest i wskazywana wartość. Warto zwrócić uwagę, że do obliczenia wartości rezystora mierzonego uwzględnia się

List. 13. Program realizujący pomiar rezystancji

```
void BT_TM1(void)
{ // przerwanie ma czestosc 32Hz
  licznikBT = (licznikBT & petla); //modulo 15, co daje 1/2 sek okresu
  switch (licznikBT)
  {
  case 0:
  {
    CACTL2 &=~ P2CA0;
    P1DIR |= klucz; //zwarcie kondensatora
    LPM3;
    break;
  }
  case 1:
  {
    CACTL1 = CAON + CARSEL + CAREF1; // ustaw ref na 0.25 Vcc
    CACTL2 = P2CA0; // P1.6 = +comp
    CCTL1 = CM0 + CCIS0 + CAP; //ustawienie capture
    P1DIR |= wzorzec;
    TACTL = MC1 + TASSEL1 + TACLR; // SMCLK, bez dzielnika, zerowanie
    P1DIR &=~ klucz; //wylacz zwarcie kondensatora
    LPM0;
    break;
  }
  case 2:
  {
    v_wzorzec = CCR1; //pobierz wynik
    P1DIR &=~ wzorzec;
    CACTL2 &=~ P2CA0;
    P1DIR |= klucz; //zwarcie kondensatora
    LPM3;
    break;
  }
  case 3:
  {
    CACTL1 = CAON + CARSEL + CAREF1; // ustaw ref na 0.25 Vcc
    CACTL2 = P2CA0; // P1.6 = +comp
    CCTL1 = CM0 + CCIS0 + CAP; //ustawienie capture
    P1DIR |= termistor;
    TACTL = MC1 + TASSEL1 + TACLR; // SMCLK, bez dzielnika, zerowanie
    P1DIR &=~ klucz; //wylacz zwarcie kondensatora
    CCR1 = 1;
    LPM0;
    break;
  }
  case 4:
  {
    v_termo = CCR1; //pobierz wynik
    P1DIR &=~ termistor;
    CACTL1 = 0; //wylacz komparator
    CACTL2 &=~ P2CA0;
    TACTL = 0; //wylacz timerA
    P1DIR &=~klucz; //odpusc kondensator, oszczedz prad
    obliczenie = wzorzec+portrez;
    obliczenie = obliczenie *v_termo;
    obliczenie = obliczenie / v_wzorzec;
    obliczenie -= portrez;
    swiec (obliczenie);
    uni_ptr = (unsigned char *)LCD_buffer;
    seven_seg2LCD (LCD_buffer);
    LPM3;
    break;
  }
  default:
  {
    LPM3;
    break;
  }
  } //end of switch
  licznikBT++;
}
```

w równaniu rezystancję klucza (portu).

Na koniec jeszcze kilka słów o uproszczeniach programu i sposobach jego rozwinięcia.

W programie nie użyto żadnego przerwania poza przerwaniem od licznika *Basic Timer*. Zrezygnowano z użycia przerwania od modułu komparatora lub przerwania od licznika *TimerA*, związanego z przechwyceniem zdarzenia od komparatora, które umożliwiłyby natychmiastowe

wykonywanie kolejnych zadań. W efekcie wszystkie działania są rozsunięte w czasie, pomiar odbywa się dłużej ale zachowana jest przejrzysta struktura programu. Należy zauważyć, że program nie zadziała właściwie, jeśli w systemie pojawi się dodatkowe przerwanie, a to z uwagi na zastosowany bardzo prosty mechanizm przerywania działania funkcji *BT_TM(void)* przez zatrzymanie jednostki centralnej.

Przyjęta metoda pomiaru czasu ładowania kondensatora nie jest optymalna. Przede wszystkim pomiar czasu ładowania jest obciążony relatywnie dużym błędem związanym z chwilowym spadkiem napięcia zasilania w chwili ładowania kondensatora (szczególnie w przypadku zasilania słabą baterią). Lepszym rozwiązaniem jest wstępne ładowanie kondensatora i pomiar czasu rozładowania, na który stan baterii nie ma wpły-

www.unizet.com.pl e-mail: unizet@unizet.com.pl

- REZYSTORY
- PRZEKAŹNIKI ELEKTROMAGNETYCZNE
- WYŁĄCZNIKI I MIKROWYŁĄCZNIKI
- SPRZĘT ELEKTRYCZNY I ELEKTRONICZNY
- CHEMIA DLA ELEKTRONIKI - AEROZOLE

UNITRA
UNIZET

- PÓŁPRZEWODNIKI
- OPTOELEKTRONIKA
- KONDENSATORY
- POTENCJOMETRY

UNITRA-UNIZET Sp. z o.o.
ul. Kolejowa 15/17, 01-217 Warszawa
tel./fax 022 632 46 71, 632 23 36, 631 39 05

Czytaj raport o robotyce przemysłowej www.xtech.pl/robotyka

Raport

Współpraca: Serwis automatyka.pl



Polski rynek robotów przemysłowych
Obecnie w naszym kraju zrobotyzowana
pracy, podczas gdy w Niemczech wsk
Japonii, która jest światowym liderem
Tymczasem japońskie roboty Fanuc
zaangażowaniem robotów i ... 2
więcej »

- Dostawcy robotów przemysłowych »
- Dofinansowanie robotyki w robotyce »
- Perspektywy robotyki w Polsce »



Od stycznia 2008 roku oddajemy do Państwa dyspozycji Raporty branżowe xtech.pl. Cel jaki wyznaczamy sobie przy ich tworzeniu to zebranie w jednym miejscu informacji, które stanowiąc będą kompendium aktualnie dostępnej wiedzy o danym segmencie rynku.

Zapraszamy do innych raportów:

Pompy w branży wod-kan - raport branżowy:
www.xtech.pl/pompy-wodkan

Zasilanie awaryjne - raport branżowy:
www.xtech.pl/zasilanie-awaryjne

Aplikacje HMI/SCADA - analiza rynku:
www.xtech.pl/hmi-scada

x+
xtech.pl
SERWISY BRANŻOWE

Copyright 2000-2008 - Wszelkie prawa zastrzeżone
xtech.pl Serwisy branżowe Sp. z o.o., ul. Garncarska 5, 31-115 Kraków,
e-mail: biuro@xtech.pl, tel. +48 (12) 432-52-00, faks +48 (12) 429-57-08

elektromechanika

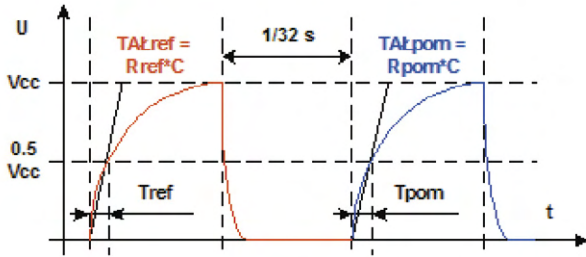


podzespoły elektroniczne
rdzenie ferrytowe elementy indukcyjne

AET

ISO 9001
AKREDYTACJA
POLSKA IZBA
HANDLOWI ZAGRANICZNO
PCA
Polski Certyfikat
AET
Polski Certyfikat
AET

ul. Wysocka 48, 63-400 Ostrów Wielkopolski
tel. 0-62 735 60 46, 0-62 735 55 80, fax 0-62 738 14 93
www.aet.com.pl, e-mail: biuro@aet.com.pl



Rys. 27. Przebieg napięcia na kondensatorze w trakcie pomiaru

wu. Warto wtedy też zastoso- wać referencję 0,25Vcc, do której kondensator rozładowuje się dłużej. Wydłużenie mierzonego okresu czasu mogłoby pozytywnie wpłynąć na precyzję pomiaru. Autor ponownie po-

zostawia Czytelnikom pole do usprawnień. Na koniec rozważmy wpływ napięcia nieźrównoważenia na precyzję pomiaru. Jego wartość wpływa na faktyczną wartość napięcia kondensatora, przy którym nastąpi

rejestracja wyniku i w konsekwencji wpływa na zmierzone czasy. Ponieważ jednak zmiany te są proporcjonalne, w efekcie nie odnotowujemy ich wpływu na wynik obliczenia.

Pomiar własnego napięcia zasilania

Program pomiaru rezystancji niezwykle łatwo jest zmodyfikować tak, by użyć go do pomiaru napięcia zasilania mikrokontrolera. Warto zauważyć, że w programie pomiaru rezystancji stałe są wartości napięcia progowego a przełączana jest wartość rezystancji. Zmierzone zo-

stają dwa czasy ładowania a wynik obliczany jest z prostej proporcji czasów.

W przypadku pomiaru napięcia zasilania stałą wartość zachowuje rezystor (nie musi być to rezystor precyzyjny) a przełączaniu ulegają wartości napięcia progowego (np. 0,25 Vcc i 500 mV). Ponownie zmierzone zostają dwa czasy ładowania, skomplikowaniu ulegają tylko obliczenia, które jednak w warunkach małych wahań napięcia zasilania można zastąpić prostą proporcją.

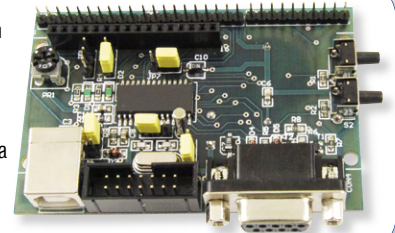
**Mariusz Kaczor
Contrans TI**

eMeSPEK 430

Czytelników zainteresowanych mikrokontrolerami MSP430 zachęcamy do udziału w konkursie (piszemy o nim na str. 8).

Oprócz mikrokontrolera wyposażonego w 8 kB + 256 B pamięci Flash i 256 B pamięci RAM, komputerek wyposażono w dwa źródła sygnałów zegarowych, dwa mikroprzełączniki, interfejs RS232, złącze JTAG, złącze USB (do zasilania), stabilizator napięcia 3,3 V, głośnik piezoceramiczny, gniazdo baterii 3 V oraz złącze wyświetlacza LCD 2 x16 znaków ze sterownikiem 44780. Wszystkie linie I/O wyprowadzono na złącza szpilkowe.

Szczegółowy wykaz nagród publikujemy na str. 47.

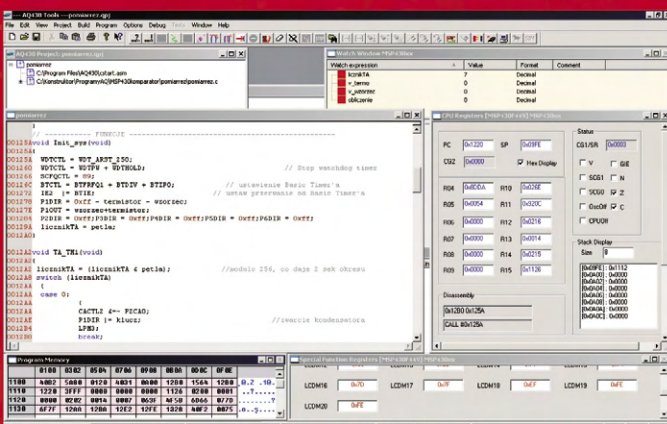


TOOLS

Przypominamy o konkursie dla projektantów MSP 430. Szczegóły na www.contrans.pl

CONTRANS TI

QuadraVox AQ430



QuadraVox AQ430
– zintegrowane środowisko projektowe dla MSP430
kompilator C,
debugging-in-system

W ofercie firmy Contrans również inne narzędzia do procesorów MSP430 i DSP oraz układów radiowych ISM firmy Texas Instruments a także pełna gama układów liniowych, logicznych i cyfrowych z oferty firmy TI.

Narzędzia do mikrokontrolerów **MSP430** i układów radiowych CCxxxx

MSP430FG4618/F2013
Experimenter Board – płyta ewaluacyjna do układów radiowych i MSP430



EZ430-RF2500 – zestaw ewaluacyjny do układów radiowych i MSP430



FlashPro430/FlashProCC – szybki programator JTAG/BSL i emulator do MSP430/programator do CCxxxx



MSP-FET430UIF – emulator JTAG do MSP430 ze złączem USB



MSP 430

CONTRANS TI Sp. z o.o.

ul. Polanowicka 66, 51-180 WROCLAW,
tel. 071/325-26-21...24, fax 071/325-44-39,
e-mail: texas@contrans.pl <http://www.contrans.pl>

