

MSP430 w przykładach (9)

Pomiary wielkości analogowych



Mikrokontrolery MSP430 produkowane są z przetwornikiem A/C typu SAR o rozdzielczości 10 lub 12 bitów. Dostępne są również układy wyposażone w precyzyjne przetworniki A/C typu sigma/delta o rozdzielczości 16, lub 24 bitów. Zainstalowany w module „Komputerek” mikrokontroler MSP430f1232 ma wbudowany 10 bitowy przetwornik A/C typu SAR. W artykule zademonstrujemy praktyczne przykłady użycia przetwornika.

W MSP430f1232 pomiarami analogowymi zarządza moduł ADC10. Parametry pracy modułu są konfigurowane za pomocą 6 rejestrów sterujących (opis w materiałach dodatkowych na CD i serwerze FTP). Konfigurując pracę przetwornika należy pamiętać, że niektóre z bitów sterujących można modyfikować wyłącznie wtedy, gdy bit zezwolenia na konwersję ENC jest wyzerowany.

Moduł ADC10

Moduł przetwornika ADC10 pozwala na wykonanie pomiarów z maksymalną prędkością do 200 tys. próbek na sekundę. Rozdzielczość przetwornika to 10 bitów. Obsługiwane są 4 wewnętrzne kanały pomiarowe oraz 8 zewnętrznych. Napięcie referencyjne może być doprowadzone z zewnątrz, albo z wewnętrznego źródła napięcia (1,5 V lub 2,5 V). Pomiary są wyzwalane programowo lub sprzętowo – zboczem sygnału OUTx. Moduł przetwornika ADC10 obsługuje 4 tryby pracy oraz ma wbudowane mechanizmy oszczędzania energii. Dodatkowo, moduł ADC10 wyposażono w układ DTC pozwalający na automatyczną transmisję wyniku pomiaru do pamięci mikrokontrolera.

Najważniejszym, a zarazem centralnym elementem modułu ADC10 jest 10-bitowy rdzeń SAR. Poza rdzeniem, główne bloki funkcjonalne przetwornika tworzą: moduł napięć referencyjnych, oscylator kwarcowy, czujnik temperatury, moduł próbkowania S/H, multiplexer analogowy, dzielnik do pomiaru napięcia zasilania mikrokontrolera, moduł automatycznego transferu wyniku. Schemat blokowy przetwornika pokazano na rysunku 1.

Tryby pracy przetwornika.

Moduł ADC10 obsługuje 4 tryby pomiarów:

1. Pomiar napięcia w jednym kanale.
2. Pomiar napięcia w kilku kanałach (grupie kanałów).
3. Cykliczny pomiar napięcia w jednym kanale.
4. Cykliczny pomiar napięcia w kilku kanałach (grupie kanałów).

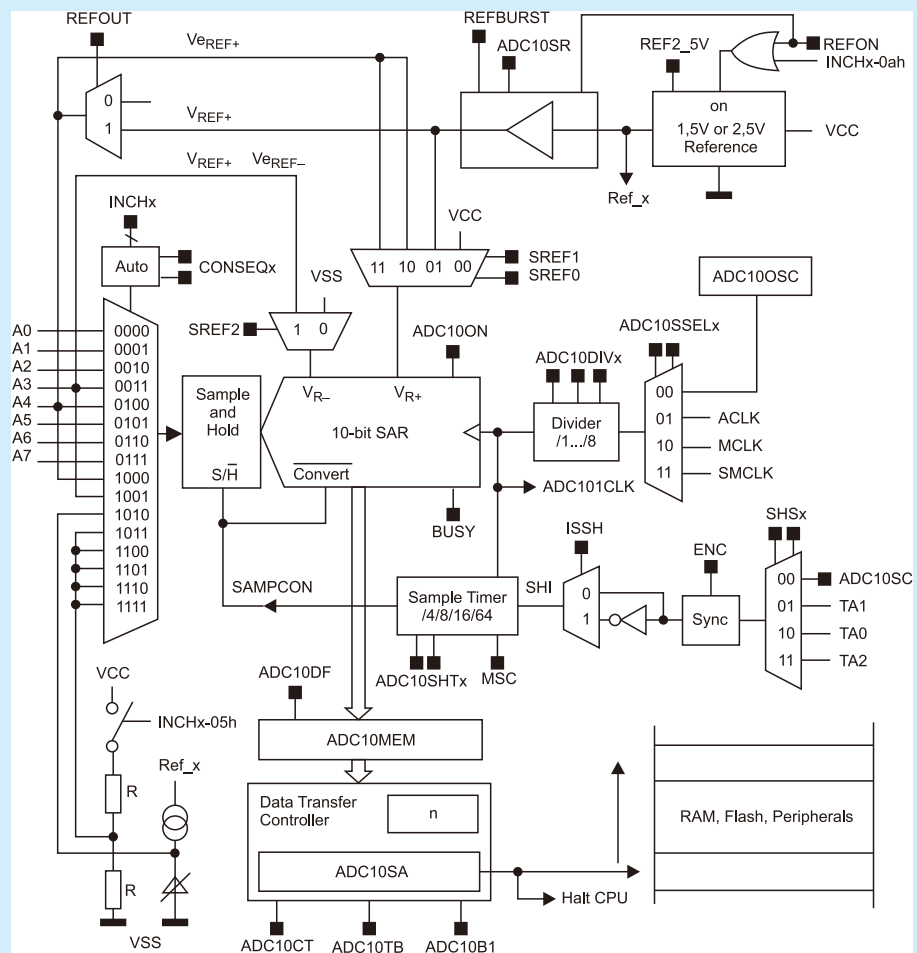
Dodatkowe materiały na CD/FTP:

<ftp://ep.com.pl>, user: 20637, pass: 7430ukcs

3. Cykliczny pomiar napięcia w jednym kanale.
4. Cykliczny pomiar napięcia w kilku kanałach (grupie kanałów).

Tryb pracy przetwornika konfiguruje bit CONSEQx z rejestru ADC10CTL1.

Kanały pomiarowe. ADC10 obsługuje 12 wejść (kanałów) pomiarowych. Kanały pomiarowe wybiera multiplexer analogowy konfigurowany za pomocą bitu INCHx z rejestru ADC10CTL1. W trybach pracy pomiaru w pojedynczym kanale (1 i 3) multiplexer wybiera kanał pomiarowy wskazany przez bit INCHx. Pozostałe kanały pomiarowe są nieużywane i dołączone do masy.



Rysunek 1. Schemat blokowy modułu przetwornika ADC10

W trybach pracy pomiaru grupy kanałów (2, 4) bit INCHx wybiera najstarszy kanał w grupie pomiarowej. Po wykonaniu pomiaru multiplexer automatycznie przełącza się na kanał o wcześniejszym numerze. Kanały pomiarowe są przełączane do momentu wykonania pomiaru napięcia w kanale 0 (pomiar od kanału wskazanego bitem INCHx do kanału zerowego).

Kanały pomiarowe o numerach A0-A7 służą do pomiaru napięcia zewnętrznego doprowadzonego do linii wejścia/wyjścia mikrokontrolera. Żeby rozpocząć pomiar należy linię wejścia/wyjścia, do której doprowadzono sygnał analogowy, przełączyć w tryb funkcyjny (rejestr PxSEL) oraz włączyć wejście analogowe (rejestr ADC10AE). Pozostałe 4 kanały pomiarowe to kanały wewnętrzne. Umożliwiają one pomiar napięcia zasilania mikrokontrolera, pomiar temperatury z wykorzystaniem wewnętrznego czujnika temperatury oraz pomiar wewnętrznego napięcia referencyjnego.

Potencjały referencyjne VR-, VR+. Konwersja napięcia z postaci analogowej do postaci cyfrowej odbywa się w rdzeniu SAR przy wykorzystaniu potencjałów referencyjnych VR-, VR+. Wynik pomiaru w formie cyfrowej NADC określa **wzór 9.1**.

$$N_{ADC} = 1023 \times \frac{(V_{IN} - V_{R-})}{(V_{R+} - V_{R-})} \quad (9.1)$$

gdzie:

- NADC – wynik pomiaru w formacie cyfrowym,
- V_{IN} – mierzone napięcie wejściowe [V],
- V_{R-} – niższy potencjał referencyjny [V],
- V_{R+} – wyższy potencjał referencyjny [V].

Jeśli wartość mierzonego napięcia V_{IN} jest większa lub równa V_{R+} , wówczas wynik przyjmuje wartość maksymalną 1023. W wypadku napięcia V_{IN} mniejszego lub równego V_{R-} , wynik pomiaru wynosi 0. Tak zdefiniowane parametry pracy określają zakres pomiarowy $V_{R-} \dots V_{R+}$ oraz ziarno przetwornika wynoszące $(V_{R+} - V_{R-})/1024$.

W module przetwornika ADC10 jest dostępnych kilka źródeł potencjałów referencyjnych. Źródła potencjałów V_{R-} , V_{R+} konfiguruje bit SREFx z rejestru ADC10CTL0. Źródłem V_{R-} może być masa zasilania mikrokontrolera V_{SS} lub napięcie zewnętrzne V_{eREF} o wartości z zakresu 0...1,2 V. Źródłem V_{R+} mogą być:

- V_{CC} , napięcie zasilania mikrokontrolera,
- V_{REF+} napięcie (1,5 V albo 2,5 V) wytwarzane przez źródło wbudowane w strukturę mikrokontrolera.
- V_{eREF+} tj. napięcie zewnętrzne o wartości 1,4... V_{CC} .

W praktyce najczęściej stosuje się zewnętrzne napięcia referencyjne V_{eREF-} , V_{eREF} lub masę V_{SS} i napięcie wewnętrzne V_{REF+} .

Zewnętrzne napięcie referencyjne. Zewnętrzne napięcia referencyjne V_{eREF-} oraz V_{eREF} mogą być źródłem potencjałów referencyjnych V_{R-} i V_{R+} . Napięcia referencyjne V_{eREF-} i V_{eREF} dołączamy do kanałów pomiarowych A3 oraz A4 mikrokontrolera, więc korzystając z zewnętrznych napięć referencyjnych zmniejszamy o 2 liczbę dostępnych kanałów pomiarowych. Mimo tego stosowanie zewnętrznych napięć referencyjnych może okazać się korzystne w niektórych typach aplikacji. Ustalając wartość napięć referencyjnych możemy w optymalny sposób zdefiniować rozdzielczości oraz zakres pomiarowy przetwornika. Dodatkowo, stabilna wartość napięcia referencyjnego pozwala na uzyskiwanie powtarzalnych wyników pomiarów.

Wewnętrzne napięcie referencyjne. Wewnętrzne napięcie referencyjne V_{REF+} może być źródłem potencjału referencyjnego V_{R+} . Wewnętrzne napięcie V_{REF+} jest wytwarzane przez wbudowane w strukturę mikrokontrolera źródło napięcia składające się z bloku źródła napięcia oraz separowanego bufora $REFB$. Źródło wytwarza napięcie referencyjne V_{REF+} oraz napięcie Ref_x zasilające wbudowany czujnik temperatury. Włączyć źródło można na dwa sposoby: wybierając dziesiąty kanał pomiarowy lub ustawiając bit $REFON$. Od momentu włączenia źródła (bit $REFON$) do pojawienia się napięcia V_{REF+} mija co najmniej 30 μs .

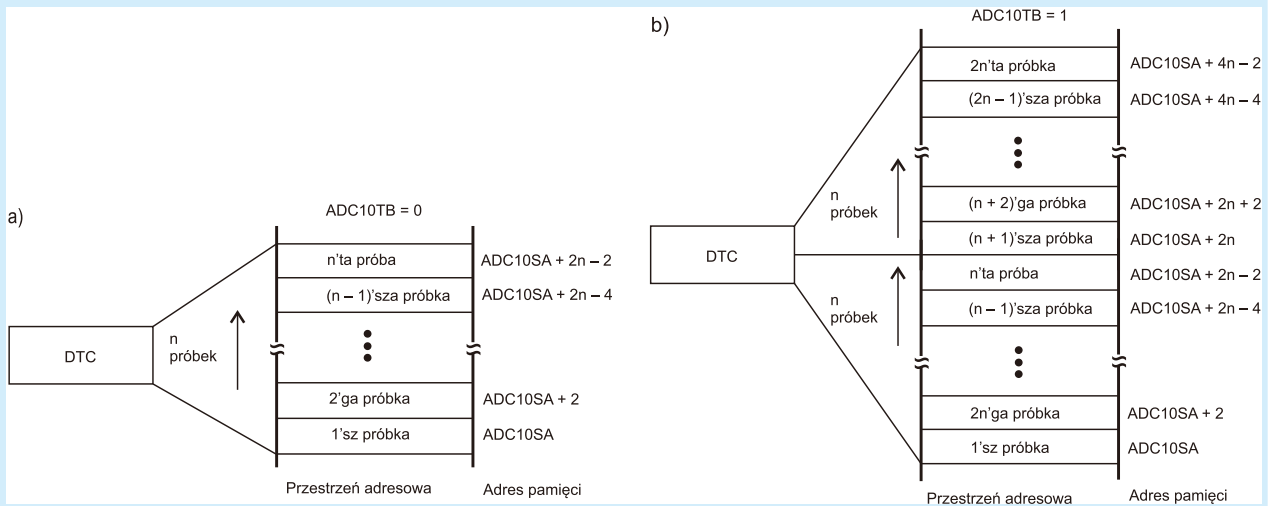
Wartość napięcia referencyjnego V_{REF+} jest konfigurowana za pomocą bitu $REF2_5V$ z rejestru $ADC10CTL0$. Dostępne nastawy to: 1,5 V oraz 2,5 V. Tolerancja wartości napięcia mieści się w granicach $\pm 0,15$ V dla wartości 2,5 V, oraz $\pm 0,09$ dla 1,5 V (oscyluje w granicach $\pm 6\%$). Korzystając z wewnętrznego generatora napięcia należy pamiętać, że jego praca jest niestabilna temperaturowo i w aplikacjach wymagających precyzyjnych pomiarów wytwarzane przez generator napięcie referencyjne V_{REF+} nie powinno być używane. W praktyce napięcie V_{REF+} stosuje się w przypadku pomiarów, w których precyzyjny wynik pomiaru nie jest sprawą najważniejszą, a wystarczy jedynie przybliżone wskazanie. Przykładem takich aplikacji może być pomiar temperatury otoczenia, oraz pomiar poziomu zużycia baterii.

Wyzwalanie pomiaru. Pomiar napięcia można wyzwoić w programowo lub sprzętowo. Sposób wyzwalania pomiaru konfiguruje bit $SHSx$ z rejestru $ADC10CTL1$. Przy wyzwalaniu programowym przetwornik rozpoczyna cykl pomiarowy w momencie ustawienia w rejestrze $ADC10CTL1$ bitu $ADC10SC$. Przy wyzwalaniu sprzętowym należy skonfigurować pracę modułu $Timer_A$, a cykl pomiarowy jest wyzwalany sygnałem $OUTx$ jednego z rejestrów $TACCRx$.

Przydatną funkcją przetwornika $ADC10$ dostępną w trybach pracy 2,3,4 jest możliwość zapętlenia pracy układu. Wówczas w przypadku pomiaru grupy kanałów (tryb 2) pomiar wyzwalany jest raz dla całej grupy i nie ma konieczności wyzwalania pomiaru dla każdego kanału w grupie. Przy pomiarach cyklicznych w pojedynczym kanale (tryb 3) lub w grupie kanałów (tryb 4), raz wywołona akwizycja trwa aż do momentu zablokowania. Zapętlenie pomiarów konfiguruje bit MSC z rejestru $ADC10CTL0$.

Taktowanie przetwornika. Próbkowanie sygnału analogowego oraz jego konwersja na postać cyfrową taktowane są sygnałem $ADC10CLK$. Źródłem sygnału $ADC10CLK$ może być jeden z wewnętrznych sygnałów zegarowy $ACLK$, $MCLK$, $SMCLK$, bądź sygnał generowany przez wbudowany w strukturę modułu $ADC10$ oscylator kwarcowy $ADC10OSC$. Źródło sygnału $ADC10CLK$ konfiguruje bit $ADC10SSELx$ z rejestru $ADC10CTL1$. Częstotliwość sygnału $ADC10CLK$ może być podzielona przez liczbę z zakresu 1...8 (bit $ADC10DIVx$ z rejestru $ADC10CLK1$). Dopuszczalny zakres regulacji częstotliwości to 0,45...6,3 MHz dla konwersji szybkiej oraz 0,45...1,5 MHz dla konwersji wolnej.

Najczęściej w praktyce sygnał $ADC10CLK$ pochodzi z wewnętrznego oscylatora $ADC10OSC$. Wbudowany w strukturę mikrokontrolera oscylator jest włączany na czas trwania konwersji i automatycznie wyłączany po jej zakończeniu. Może być stosowany w trybach oszczędzania energii $LPMx$.



Rysunek 2. Moduł DTC, tryb pracy zapisu a) jednego b) dwóch bloków danych

Oscylator ADC10OSC jest generatorem typu RC i generowana przez niego częstotliwość ma pewne fluktuacje. Częstotliwość sygnału zmienia się w zależności od temperatury otoczenia oraz od wartości napięcia zasilającego mikrokontrolera. Przykładowo, dla napięcia zasilającego 2,2 V wynosi 3,7 MHz, a dla napięcia zasilającego 3 V osiąga 6,3 MHz. Dla mikrokontrolera MSP430f1232 zastosowanego w module „Komputerek” należy przyjąć, że częstotliwość sygnału wytwarzanego przez wbudowany generator wynosi 5 MHz.

Pomiar

Proces konwersji analogowo/cyfrowej w MSP430 możemy podzielić na dwa etapy: próbkowanie i zapamiętanie sygnału analogowego w module *sample & hold* oraz konwersję, tj. zamianę zapamiętanego sygnału analogowego na postać cyfrową. Czas próbkowania definiujemy za pomocą bitu ADC10SHTx z rejestru ADC10CTL0. Dostępne nastawy to 4, 8, 16 lub 64 takty sygnału ADC10CLK. Minimalny czas próbkowania T_{sample} zależy od rezystancji R_s źródła mierzonego napięcia i jest wyliczany na podstawie wzoru 9.2.

$$(9.2) \quad T_{sample} > (R_s + 2 \text{ k}\Omega) \times 7,625 \times 20 \text{ pF} + T_{sr}$$

gdzie:

- T_{sample} – minimalny czas próbkowania sygnału [s],
- R_s – rezystancja źródła [k Ω],
- T_{sr} – współczynnik maksymalnej prędkości konwersji; gdy szybka konwersja (bit ADC10SR=1) to $T_{sr}=800$ ns, gdy konwersja wolna (bit ADC10SR=0), to $T_{sr}=2,5$ μ s.

Po zakończeniu próbkowania sygnału zapamiętana w module *sample & hold* wartość sygnału analogowego jest zamieniana w rdzeniu SAR na postać cyfrową. Zamiana trwa zaledwie 12 taktów sygnału ADC10CLK. Z kolejnym, 13 taktom 10-bitowy (cyfrowy) wynik pomiaru jest zapisywany w rejestrze ADC10MEM. Wynik pomiaru (NADC) może być zapisany w kodzie binarnym albo uzupełnienia do dwóch. Format prezentacji wyniku konfiguruje bit ADC10DF z rejestru ADC10CTL1. Wynik konwersji na postać binarną określa wzór 9.1. Po zastosowaniu przekształceń matematycznych otrzymujemy wzór 9.3 służący do obliczenia wartości mierzonego napięcia.

$$V_{IN} = \frac{N_{ADC} \times (V_{R+} - V_{R-})}{1023} + V_{R-}$$

gdzie:

- V_{IN} – wartość mierzonego napięcia [V],
- N_{ADC} – cyfrowy wynik pomiaru odczytany z rejestru ADC10MEM,
- V_{R-} – niższy potencjał referencyjny [V],
- V_{R+} – wyższy potencjał referencyjny [V].

Zakończenie pomiaru i wpisanie wyniku do rejestru ADC10MEM, powoduje ustawienie flagi przerwania ADC10IFG. Obsługę przerw dla modułu ADC10 konfiguruje bit ADC10IE z rejestru ADC10CTL0.

Zatrzymywanie pomiaru. Aby zatrzymać pomiar napięcia trzeba wyzerować bit zezwolenia na konwersję ENC w rejestrze ADC10CTL0. Należy jednak przestrzegać pewnych zasad. Otóż w trybie pracy pomiaru w pojedynczym kanale (1) zatrzymanie pomiaru w trakcie jego trwania spowoduje, że w rejestrze ADC10MEM znajdzie się niepoprawny wynik. Dlatego też przed wyzerowaniem bitu ENC należy sprawdzić czy przetwornik nie wykonuje pomiaru. Aby to zrobić, należy w rejestrze ADC10CTL1 sprawdzić wartość bitu ADC10BUSY. Ustawiony bit będzie oznaczał, że przetwornik jest zajęty (wykonuje pomiar). W pozostałych trybach pracy (2, 3, 4), nie ma konieczności sprawdzania bitu zajętości przetwornika. Bit zezwolenia na konwersję ENC można wyzerować w dowolnym momencie. Wówczas w trybie pomiaru grupy kanałów (2), pomiary będą zablokowane po wykonaniu wszystkich pomiarów w grupie, a w trybie pomiarów cyklicznych (3, 4) po zakończeniu cyklu pomiarowego.

Moduł DTC

W module ADC10 zainstalowano układ kontrolera DTC (*Data Transfer Controller*), który umożliwia bezpośredni transfer wyniku pomiaru z rejestru ADC10MEM do przestrzeni adresowej mikrokontrolera. Przykładowo, może to być pamięć Flash, RAM czy też odwzorowane w przestrzeni adresowej mikrokontrolera urządzenie peryferyjne. Przesyłanie wyniku jest wykonywane sprzętowo w czasie 1 taktu sygnału zegarowego MCLK. W trakcie przepisywania wyniku pomiaru, moduł DTC nie korzysta z CPU.

Parametry pracy modułu DTC konfigurowane są za pomocą rejestrów ADC10DTC0, ADC10DTC1 i ADC10SA. Można je modyfikować tylko wtedy, gdy moduł ADC10 nie wykonuje pomiaru. Jeśli przetwornik jest w trakcie wykonywania pomiarów, to przed rozpoczę-

ciem konfiguracji modułu DTC należy pomiary zatrzymać.

Moduł DTC może pracować w trybie transmisji jednego bądź dwóch bloków danych. Tryb pracy modułu konfiguruje bit ADC10TB z rejestru ADC10DTC0. Adres bloku danych ustawiamy w rejestrze ADC10SA. Liczbę danych do zapisania w bloku wprowadzamy do rejestru ADC10DTC1.

W trybie pracy transmisji jednego bloku danych (**rysunek 2a**) dane z rejestru ADC10MEM zapisywane są do pamięci mikrokontrolera od adresu zdefiniowanego w rejestrze ADC10SA do adresu $ADC10SA + 2n - 2$ (współczynnik „n” określa liczbę danych transmitowanych do pamięci - wartość z rejestru ADC10DTC1). Po każdym zapisie adres ADC10SA jest automatycznie zwiększany o 2, a wartość licznika transmisji danych zmniejszana o 1. W momencie, gdy licznik osiągnie wartość 0 (zapisanie pełnego bloku danych) ustawiona zostanie flaga przerwania ADC10IFG.

W trybie pracy transmisji dwóch bloków danych (**rysunek 2b**), najpierw zapisywany jest pierwszy blok danych ($ADC10SA - ADC10SA + 2n - 2$), ustawiana jest flaga ADC10IFG, a współczynnik „n” przyjmuje wartość początkową z rejestru ADC10DTC1. Następnie rozpoczyna się zapis drugiego bloku danych ($ADC10SA + 2n - ADC10SA + 4n - 2$). Zakończenie zapisu drugiego bloku, powoduje ustawienie flagi ADC10IFG. W procedurze obsługi przerwania od ADC10 możemy wykryć, czy ustawienie flagi ADC10IFG było skutkiem zakończenia zapisu pierwszego, czy też drugiego bloku danych. Informację taką zwraca bit ADC10B1 z rejestru ADC10DTC0.

Energooszczędność

Moduł ADC10 „uzbrojono” w mechanizmy oszczędzania energii. Rdzeń SAR, wewnętrzny oscylator kwarcowy oraz bufor napięć referencyjnych (gdy jest ustawiony bit REFBURST) włączane są na czas trwania pomiaru, a po wykonaniu pomiaru są automatycznie wyłączane. Pracą wewnętrznego generatora napięcia referencyjnego VREF+ (źródło i bufor) oraz zewnętrznych kanałów pomiarowych A0...A7 należy sterować „ręcznie”. Generator oraz kanały pomiarowe powinny być włączane przed pomiarem, a wyłączane po wykonaniu pomiaru. Zewnętrzne kanały pomiarowe konfiguruje bity ADC10AEx z rejestru ADC10AE, źródło i bufor konfiguruje bit REFON z rejestru ADC10CTL0.

Moduł DTC także został zaprojektowany z myślą o oszczędzaniu energii. Wynik pomiaru w pamięci mikrokontrolera jest zapisywany w jednym taktie zegara MCLK i nie obciąża jednostki CPU mikrokontrolera. W trybach pracy energooszczędnej LPMx (sygnał MCLK wyłączony) moduł DTC samodzielnie włącza sygnał zegarowy MCLK taktujący pracę modułu. Dodatkowo, jeśli w trybie uśpienia LPMx źródło sygnału taktującego MCLK jest wyłączone, to moduł DTC włącza wewnętrzne źródło DCO i sygnał zegarowy MCLK jest przez nie generowany. Po zakończeniu pracy, moduł DTC wyłącza sygnał zegarowy MCLK oraz – w razie potrzeby – źródło DCO.

Przykłady

Zademonstrujemy trzy przykłady obsługi modułu ADC10 w MSP430f1232. Kody źródłowe programów, oraz filmy ilustrujące działanie przykładów zamieszczono na płycie CD i serwerze FTP.

W przykładzie „Termometr pokojowy” użyto czujnika temperatury (złącze typu PN) zainstalowanego w module ADC10. Pomiary wykonywane są z częstotliwością 1 Hz, a wynik pomiaru jest prezentowany na ekranie LCD. Parametry pracy czujnika definiuje wzór 9.4. Po zastosowaniu przekształceń matematycznych otrzymujemy wzory 9.5 i 9.6 pozwalające na obliczenie temperatury czujnika.

$$V_{IN} = 0,00355 [V/^{\circ}C] \times Temp + 0,986 [V]$$

$$Temp = \frac{V_{IN} - 0,986 [V]}{0,00355 [V/^{\circ}C]}$$

$$Temp \approx 281,7 [1/V] \times V_{IN} - 277,7 [^{\circ}C]$$

gdzie:

- V_{IN} – wartość napięcia mierzona na czujniku (złącza PN) [V],
- Temp – temperatura mikrokontrolera [$^{\circ}C$]

Korzystając z czujnika należy pamiętać, że współczynniki 0,00355 [$V/^{\circ}C$] i 0,986 [V] (wzór 9.4) mają rozrzut produkcyjny, odpowiednio, $\pm 5\%$, $\pm 3\%$, natomiast wewnętrzne źródło napięcia referencyjnego $\pm 5\%$. Dodatkowo, może ono być niestabilne temperaturowo (w dodatku do programu zamieszczono program demonstrujący pomiar napięcia referencyjnego mikrokontrolera). Należy też mieć na uwadze fakt, że czujnik mierzy temperaturę struktury mikrokontrolera. Jedynie na potrzeby przykładu przyjęto, że czujnik mierzy temperaturę otoczenia. W praktyce należy wykonać kalibrację czujnika.

W przykładzie „Precyzyjny Woltomierz Cyfrowy” jest realizowany pomiar napięcia na wejściu analogowym A0 modułu ADC10 (napięcie na wyjściu potencjometru). Raz na sekundę jest wykonywana seria 16 pomiarów. Następnie wynik pomiaru jest uśredniany i wyświetlany na ekranie LCD. Moduł ADC10 korzysta z zewnętrznego napięcia referencyjnego o wartości 0 V dla potencjału VR- oraz 3,24 V dla potencjału VR+. W dodatku do przykładu jest prezentowana wersja programu, w której do pomiaru napięcia jest używane wewnętrzne napięcie referencyjne.

W przykładzie „Pomiar Zużycia Baterii” jest wykonywany pomiar napięcia zasilającego mikrokontroler (napięcie baterii). Jest ono mierzone za pomocą wewnętrznego kanału pomiarowego A11 (układ dzielnika napięcia zasilania). Wartość napięcia zasilania obliczamy ze wzoru 9.7.

$$(9.7) \quad V_{BAT} = 2 \times V_{IN}$$

gdzie

- v_{Bat} – wartość napięcia zasilania mikrokontrolera [V],
- V_{IN} – wartość napięcia mierzonego na dzielniku [V] (wzór 9.3).

Pomiary wykonywane są z częstotliwością 1 Hz, a wynik pomiaru jest prezentowany na ekranie LCD (wartość napięcia w woltach, poziom zużycia baterii w procentach, wykres zużycia baterii). Pomiary wyzwalane są w sposób sprzętowy. W programie wykorzystano moduł DTC (transmisja jednego bloku danych o wielkości 16 próbek pomiarowych).

Termometr pokojowy. Program „Termometr Pokojowy” uruchamiamy korzystając z modułu „Komputerek”. Zworki JP7 i JP8 dołączające rezonator kwarcowy do źródła zegarowego LFXT1 należy ustawić w pozycji LF. Pozostałe zworki układu należy ustawić w pozycji IO/Off. W złączu szpilkowym Dis1 należy zamontować wyświetlacz LCD.

W pierwszych liniach programu deklarowane są zmienne globalne. W programie głównym zatrzymywana jest praca układu Watchdog oraz konfigurowane linie wejścia/wyjścia mikrokontrolera. Następnie uruchamiane są procedury obsługi wyświetlacza LCD, a w pierwszej linii ekranu jest wyświetlany komunikat „Temperatura:”. W kolejnych krokach jest konfigurowana praca modułu ADC10, zerowany bit zezwolenia na konwersję ENC i ustawiane potencjały referencyjne VR- (masa Vss) VR+ (napięcie VREF+ o wartości 1,5 V z wewnętrznego źródła napięcia; bit SREF_1). Następnie jest włączany tryb wolnego pomiaru (bit ADC10SR) oraz obsługa przerw (bit ADC10IE). Multiplexer analogowy jest ustawiany na pomiar napięcia w 10 kanale pomiarowym (bit INCH_10). Konfigurowane jest źródło (wewnętrzny oscylator ADC10OSC) oraz częstotliwość (5 MHz) sygnału ADC10CLK taktującego pracę przetwornika (bit ADC10SEL_0). Częstotliwość sygnału ADC10CLK jest dzielona przez 4 (bit ADC10DIV_3). Zgodnie z dokumentacją, czas próbkowania *sample & hold* dla czujnika temperatury nie powinien być krótszy niż 30 μ s. Przy taktowaniu pomiaru sygnałem ADC10CLK o częstotliwości 1,25 MHz wartość współczynnika SHT powinna być większa niż 37,5 (30 μ s \times 1,25 MHz). Najbliższa wartość większa od obliczonej to 64 i taką ustawiono podczas konfigurowania przetwornika (bit ADC10SHT_3). Na zakończenie jest ustawiany tryb pracy przetwornika (bit CONSEQ_0 – tryb pomiaru w pojedynczym kanale). Instrukcje konfiguracyjne przetwornik zamieszczono na **listingu 1**.

Następnie konfigurowane są parametry pracy licznika TAR. Licznik pracuje w trybie „Licz Do” i jest taktowany sygnałem zegarowym ACLK. Rejestr TACCR0 pracuje w trybie „Porównaj”, a przerwania od rejestru zgłaszane są raz na sekundę. W pętli głównej programu mikrokontroler jest wprowadzany w tryb uśpienia LPM3. W momencie wystąpienia przerwania od rejestru TACCR0 jest wywoływana procedura obsługi przerwania. W procedurze jest włączany wewnętrzne źródło napięcia referencyjnego (bit REFON) oraz przetwornik A/C (bit ADC10ON). Następnie wykonanie programu jest zatrzymywane na czas 100 μ s (czas potrzebny do włączenia generatora napięcia to minimum 30 μ s). Po tym czasie ustawiane jest programowe wyzwalanie pomiaru (bit ADC10SC). Procedurę obsługi przerwania rejestru TACCR0 pokazano na **listingu 2**.

Rozpoczyna się pomiar napięcia na kanale A10 przetwornika. W momencie zakończenia pomiaru uruchamiana jest procedura obsługi przerwania dla modułu ADC10. W procedurze wynik pomiaru zapamiętywany jest w zmiennej *tBinarnie*. Wyłączany jest generator napięcia referencyjnego oraz przetwornik A/C. Na zakończenie procedury wywoływane jest instrukcja nakazująca opuszczenie trybu uśpienia LPM3 i powrót do wykonania pętli głównej programu. Kod procedury obsługi przerwania modułu ADC10 pokazano na **listingu 3**.

W pętli głównej programu obliczana jest wartość temperatury w stopniach Celsjusza. Obliczenia wykonywane są na podstawie wzoru 9.8 (wzory 9.6 i 9.3, w których potencjały referencyjne wynoszą 0 V oraz 1,5 V).

Wynik pomiaru wyświetlany jest na ekranie LCD. W kolejnej iteracji pętli głównej programu mikrokontroler jest ponownie usypiany. Po około 1 sekundzie przerwanie od licznika TACCR0 budzi mikrokontroler i rozpoczyna się kolejny pomiar temperatury. Cykl pracy urządzenia powtarza się.

```
Listing 1. Instrukcje konfiguracyjne przetwornik
ADC10CTL0 &= ~ENC;
ADC10CTL0 = SREF_1+ADC10SHT_3+ADC10SR+ADC10IE;
ADC10CTL1 = INCH_10+ADC10DIV_3+ADC10SEL_0+CONSEQ_0;
```

```
Listing 2. Procedura obsługi przerwania rejestru TACCR0
#pragma vector=TIMER0_VECTOR
__interrupt void Timer_A0 (void)
{
    ADC10CTL0 &= ~ENC;
    ADC10CTL0 |= (REFON + ADC10ON);
    ADC10CTL0 |= ENC;
    delay_cycles(TAKTY_ZEGARA_100_US);
    ADC10CTL0 |= ADC10SC;
}
```

Precyzyjny woltomierz cyfrowy. Program „Precyzyjny woltomierz cyfrowy” uruchamiamy korzystając z modułu „Komputerek”. W programie będziemy mierzyć napięcie na ślizgaczu zamontowanego na płytce potencjometru. Zworkę J5 (sterowanie zasilaniem potencjometru) należy ustawić w pozycji *PWR On*. Zworkę J10 dołączającą wyjście potencjometru do wejścia analogowego mikrokontrolera należy ustawić w pozycji *Pot*. Zworki JP7 i JP8 dołączające rezonator kwarcowy do źródła zegarowego LFXT1 należy ustawić w pozycji *LF*. Pozostałe zworki układu należy ustawić w pozycji *IO/Off*, a w złączu szpilkowym Dis1 należy zamontować wyświetlacz LCD. Do linii P2.3, P2.4 należy podłączyć napięcia referencyjne. W omawianym przykładzie do linii P2.3 (ujemny potencjał referencyjny) dołączono sygnał masy, a do linii P2.4 (dodatni potencjał referencyjny) napięcie o wartości 3.24 Volta (napięcie zasilania mikrokontrolera). Zworkę JP11 należy ustawić w pozycji *USB* (zewnętrzne zasilanie), a moduł „Komputerek” podłączyć do portu USB komputera PC.

Struktura programu jest identyczna, jak w przykładzie „Termometr pokojowy”. W pętli głównej programu mikrokontroler jest usypiany w trybie LPM3. Raz na sekundę mikrokontroler jest budzony przez przerwanie od rejestru TACCR0, a w procedurze obsługi przerwania uruchamiany jest przetwornik A/C oraz wyzwalane są pomiary analogowe. Po zakończeniu pomiarów wynik wyświetlany jest na ekranie LCD, a mikrokontroler jest ponownie usypiany. W przykładzie jest mierzone napięcie podane na wejście A0 (bit INCH_0) przetwornika przy wykorzystaniu zewnętrznego napięcia referencyjnego (bit SREF_2). Przetwornik pracuje w trybie cyklicznego pomiaru pojedynczego kanału (bit CONSEQ_2) z włączoną opcją zapełnienia wyzwalania pomiarów (bit MSC). Konfigurację przetwornika pokazano na **listingu 4**.

W serii pomiarowej jest wykonywane 16 pomiarów. Próbkę pomiarową zapisywane są w pamięci mikrokontrolera. Wynik pomiaru jest obliczany jako średnia arytmetyczna 16 zmierzonych wartości. Przed rozpoczęciem pomiarów jest włączany przetwornik (bit ADC10ON) oraz wejście analogowe A0 (bit 0 w rejestrze ADC10AE). Dodatkowo, linie wejścia/wyjścia, do których doprowadzono zewnętrzne napięcia referencyjne (P2.3 kanał A3, P2.4 kanał A4) oraz napięcie na wyjściu potencjometru (P2.0 kanał A0) konfigurowane są w trybie funkcyjnym.

```
Listing 3. Procedura obsługi przerwania modułu ADC10
#pragma vector=ADC10_VECTOR
__interrupt void ADC10_ISR (void)
{
    tBinarnie = ADC10MEM;
    ADC10CTL0 &= ~ENC;
    ADC10CTL0 &= ~(REFON + ADC10ON);
    __bic_SR_register_on_exit(CPUOFF+SCG0+SCG1);
}
```

Listing 4. Procedura konfigurująca przetwornik

```
ADC10CTL0 &= ~ENC;
ADC10CTL0 = SREF_2+ADC10SHT_3+ADC10SR+ADC10IE+MSC;
ADC10CTL1 = INCH_0+ADC10DIV_3+ADC10SSEL_0+CONSEQ_2;
```

Listing 5. Procedura konfigurująca przetwornik

```
ADC10CTL0 &= ~ENC;
ADC10CTL0 =
SREF_1+ADC10SHT_3+ADC10SR+ADC10IE+REF2_5V+MSC;
ADC10CTL1 =
INCH_11+ADC10DIV_3+ADC10SSEL_0+CONSEQ_2+SHS_1;
```

Po zakończeniu pomiaru przetwornik i wejście analogowe są wyłączane, a linie wejścia/wyjścia (P2.3, P2.4 oraz P2.0) są ustawiane w tryb pracy wejścia/wyjścia (tryb funkcyjny jest wyłączany).

Pomiar zużycia baterii. Program „Pomiar zużycia baterii” uruchamiamy korzystając z modułu „Komputerek”. Zworki JP7 i JP8 należy ustawić w pozycji LF. Zworkę JP11 (zasilanie) należy ustawić w pozycji *Bat*. Pozostałe zworki układu należy ustawić w pozycji IO/Off. W złączu szpilkowym Dis1 należy zamontować wyświetlacz LCD.

W programie przetwornik analogowy pracuje w trybie cyklicznego pomiaru pojedynczego kanału. Źródłem potencjału referencyjnego VR+ jest wewnętrzny generator napięcia (bit SREF_1), który wytwarza napięcie o wartości 2,5 V (bit REF2_5V). Włączona została funkcja sprzętowego wyzwalania pomiarów (bit SHS_1). Procedurę konfigurującą przetwornik pokazano na **listingu 5**.

W pętli głównej programu mikrokontroler jest wprowadzany w tryb uśpienia LPM3. Przerwanie od rejestru TACCR0 budzi mikrokontroler (przerwania zgłaszane cyklicznie, raz na sekundę). W procedurze obsługi przerwania włączany jest wewnętrzny generator napięcia referencyjnego oraz przetwornik. Następnie sygnał OUT1 (rejestr TACCR1) aktywuje rozpoczęcie pomiarów (sprzętowe wyzwalanie pomiaru). Wykonywane jest 16 pomiarów napięcia w kanale A11. Próbkę pomiarową zapisywane są w pamięci RAM mikrokontrolera (tablica danych o nazwie *blokDTC*). Do transmisji danych zastosowano moduł DTC. Po zakończeniu pomiarów i zapisaniu danych wewnętrzny generator napięcia oraz przetwornik są wyłączane. Następnie jest obliczany uśredniony wynik pomiaru. Na podstawie wzoru 9.7 jest obliczane napięcie zasilające mikrokontroler. Na ekranie LCD wyświetlane są napięcie baterii w Voltach oraz poziom zużycia baterii w procentach. Dodatkowo, poziom zużycia baterii jest prezentowany graficznie (w pierwszej linii ekranu jest rysowany bargraf). Po wyświetleniu wyników pomiaru mikrokontroler jest ponownie usypiany. Po około sekundzie przerwanie od rejestru TACCR0 budzi mikrokontroler z uśpienia i rozpoczyna się kolejny cykl pomiaru napięcia zasilania mikrokontrolera.

Łukasz Krysiwicz, EP

8-kanałowy termometr do PC

AVT5330



Wybrane parametry:

- pomiar temperatury w zakresie -55°C do +125°C z dokładnością 0,1°C (0,5°C)
- współpraca z ośmioma czujnikami DS18B20, DS18S20 lub DS18B20 (w zestawie 2 czujniki)
- automatyczne rozpoznawanie typu czujnika dla każdego kanału
- opcjonalna rejestracja pomiarów wraz ze znacznikiem czasu
- pomiary automatyczne co 2 sekundy lub wyzwalane za pomocą sygnału zewnętrznego
- połączenie z komputerem poprzez port USB
- zasilanie 5V z portu USB

Układ po podłączeniu do komputera PC umożliwił pomiar i rejestrowanie temperatury odczytywanej w maksymalnie ośmiu punktach. Wymiana danych z komputerem odbywa się poprzez Interfejs USB. Całość ma niewielkie wymiary i nieskomplikowaną budowę.

Dotychczasowe oprogramowanie umożliwiło automatyczny odczyt wyników pomiarów oraz ich prezentację graficzną. Dodatkowo możliwy jest zapis pomiarów do pliku i ich późniejszy odczyt, jak i późniejsza obróbka np. w arkuszu kalkulacyjnym.

Więcej informacji:


www.sklep.avt.pl

AVT-Korporacja Sp. z o.o., 03-197 Warszawa, ul. Leszczyńska 11,
tel.: 22 257 84 50, fax: 22 257 84 55, e-mail: handlowy@avt.pl