



Akademia Górniczo-
Hutnicza
w Krakowie
Katedra Elektroniki
WIET



Laboratorium TM2

Ćwiczenie 5

Przetwornik A/C i C/A

Autor: Mariusz Sokołowski

wer. 21.11.2020

1. WSTĘP

1.1.CEL

Celem ćwiczenia jest:

- ✚ zapoznanie studenta z techniką poprawnej inicjalizacji, wyzwalania i obsługą danych przetwornika A/C i C/A,
- ✚ nabycie umiejętności łączenia funkcjonalnego układów peryferyjnych, na przykładzie:
 - współpracy przetwornika A/C z czujnikiem natężenia światła,
 - współpracy przetwornika A/C z czujnikiem temperatury,
 - współpracy przetwornika C/A z diodami LED oraz przetwornikiem A/C,
 - wykorzystania techniki uśredniania (celem ograniczenia zakłóceń mierzonego sygnału), wspomagana wzorcowym sygnałem o okresie 100ms,
 - sprzętowego wyzwalania przetwarzania sygnałem z licznika PIT0.

1.2.WYMAGANIA

Sprzętowe:

- komputer klasy PC, spełniający wymagania sprzętowe aplikacji KEIL v5,
- zestaw FRDMKL05Z

Programowe:

- system operacyjny Windows 7 lub wyższy,
- środowisko Keil / uVision 5 MDK-ARM

Doświadczenie:

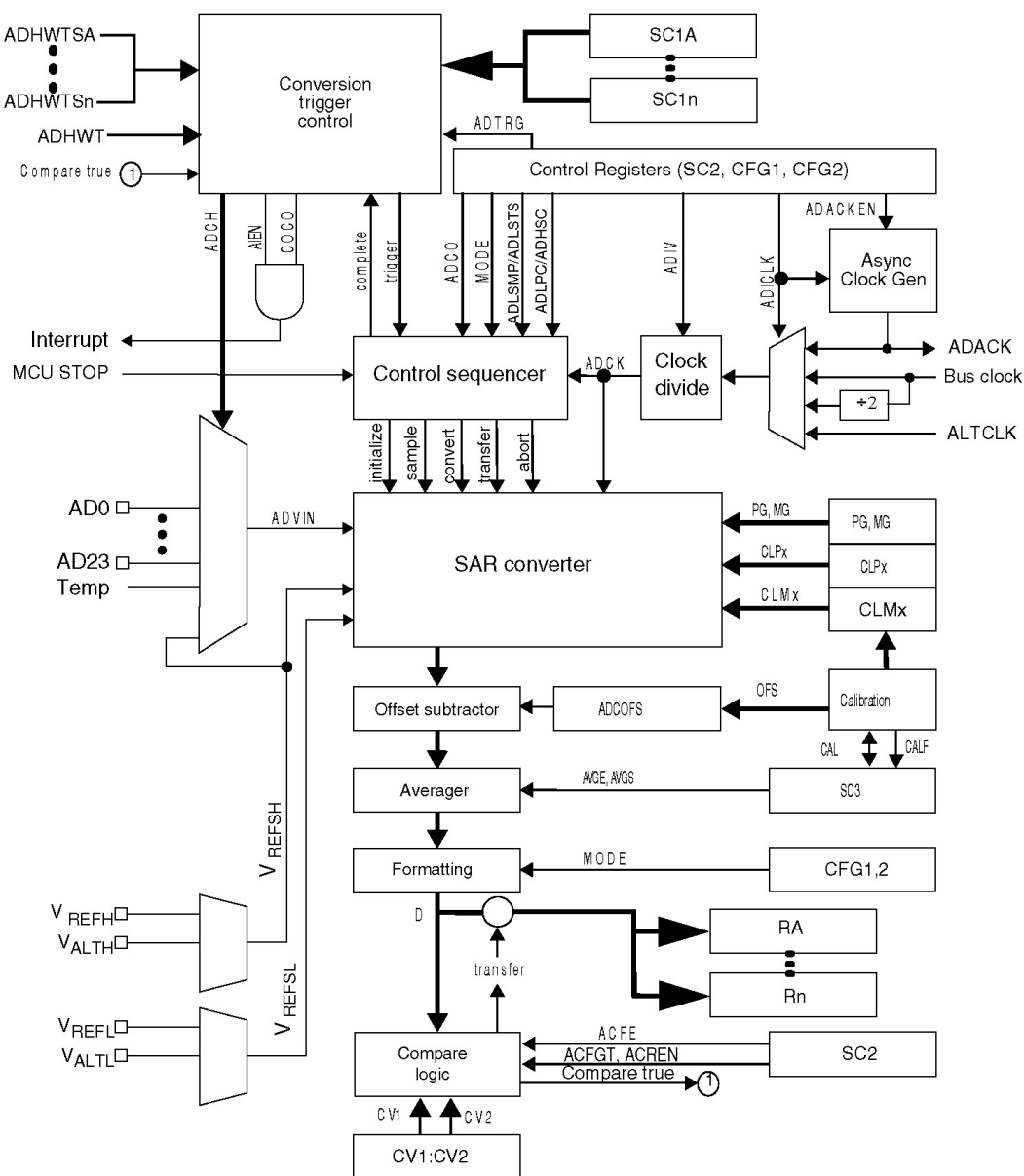
- podstawowa umiejętność obsługi komputera klasy PC,
- podstawowa znajomość systemów operacyjnych rodziny Windows,
- podstawowa znajomość zagadnień z Techniki Mikroprocesorowej 1
- podstawowa znajomość zagadnień z Techniki Cyfrowej

Literatura:

- KL05 Sub-Family Reference Manual, Freescale Semiconductor
- Kinetis L Peripheral Module Quick Reference, Freescale Semiconductor
- Ambient Light Sensor Surface - Mount ALS-PT19-315C/L177/TR8 datasheet

2. PRZETWORNIK A/C

Układ MKL05Z32VLC4, będący "sercem" zestawu FRDM-KL05Z, posiada w swoich zasobach sprzętowych, wielokanałowy, 12-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy (rys. 1).



Rys. 1. Schemat przetwornika A/C

Wszystkie wejścia mogą pracować tylko w konfiguracji niesymetrycznej (w stosunku do masy). Istnieją trzy tryby pracy: 8, 10 i 12 bitów. Wynik jest liczbą bez znaku. Zewnętrzne napięcie referencyjne wynosi 2.91V (może zależeć od egzemplarza). Jest to wartość, której nie powinno się przekraczać na wejściach.

Pierwszą czynnością, którą należy wykonać przed wykorzystywaniem przetwornika, jest kalibracja. Jednak zanim się ją uruchomi, należy ustawić odpowiednie wartości w rejestrach konfiguracyjnych, wg następującego klucza:

- ✓ upewnić się, czy stała `CLOCK_SETUP`, w zbiorze `system_MKL05Z4.c`, ma wartość 0. Jeśli nie, to należy ją zmienić. Dla takiego ustawienia, parametry podstawowych sygnałów zegarowych mają następujące wartości:
 - zegar referencyjny dla modułu MCG - 32.768kHz,
 - Core clock - 41.94MHz (41 943 040Hz),
 - BusClock - 20.97MHz (20 971 520Hz).
- ✓ dołączyć sygnał taktujący do modułu A/C, w rejestrze `SIM_SCGC6` [`ADC0=1`],
- ✓ dołączyć sygnał taktujący, w rejestrze `SIM_SCGC5`, do odpowiedniego portu, którego pin będziemy wykorzystywać jako wejście analogowe - w niniejszym ćwiczeniu jest to port A, pin `PTA12` (`SIM_SCGC5[PORTA=1]`).
Należy ustawić `PORTA_PCR[12][MUX=0]`, aby pracował jako wejście analogowe, kanału 0, przetwornika `ADC0`,
- ✓ ustawić źródło sygnału zegarowego przetwornika (`ADICLK=1`; `BUS_CLOCK/2`), wartość dzielnika (`ADIV=2`; dzielnik przez 4) dla tego sygnału oraz długi czas próbkowania (`ADLSMP=1`), w rejestrze `ADC0_CFG1` - wynikowa częstotliwość sygnału zegarowego `ADCK` powinna być mniejsza lub równa 4MHz,
- ✓ ustawić wspomaganie dla wysokich częstotliwości próbkowania (`ADHSC=1`) oraz ilość dodatkowych cykli `ADCK` (`ADLSTS=0`; domyślna największa) dla długiego czasu próbkowania (`ADC0_CFG1[ADLSMP]=1`), w rejestrze `ADC0_CFG2`,
- ✓ włączyć uśrednianie sprzętowe (`AVGE=1`) oraz ustawić ilość próbek do uśredniania (`AVGS=3`; 32 próbki), w rejestrze `ADC0_SC3`,
- ✓ rozpocząć kalibrację, poprzez ustawienie bitu `CAL` na wartość 1, w rejestrze `ADC0_SC3`.

Dla potrzeb kalibracji niepotrzebne jest ustawienie numeru kanału, trybu przetwarzania (pojedynczy czy ciągły), parametrów funkcji porównywania czy rozdzielczości. Czekać na koniec kalibracji należy sprawdzać stan bitu `CAL`. Wartość 0 oznacza koniec kalibracji. Następnie konieczne jest sprawdzenie stanu bitu `CALF`. Jeśli jest ustawiony na wartość 1, to kalibracja się nie powiodła i należy ją powtórzyć, względnie podjąć inne działania obsługujące tego rodzaju błąd.

Po zakończonej pomyślnie kalibracji należy jej wyniki przetworzyć i zapisać do odpowiednich rejestrów. Wygląda to następująco:

- ❖ zsumować ze sobą wszystkie rejestry `ADC0_CLPx`,
- ❖ wynik podzielić przez 2,
- ❖ ustawić najbardziej znaczący bit na 1,
- ❖ wysłać do rejestru `ADC0_PG`,

W tym momencie przetwornik jest gotowy do pracy. Teraz wystarczy tylko ustawić pozostałe parametry oraz zmienić, w razie potrzeby, inne wcześniej ustawione. Do celów naszego ćwiczenia należy ustawić następujące parametry:

- w rejestrze `ADC0_CFG1`: zegar na `BUS_CLOCK/2` (`ADICLK=1`), dzielnik przez 1 (`ADIV=0`), długi czas próbkowania (`ADLSMP=1`), rozdzielczość 12 bitów (`MODE=1`),
- tryb pracy ciągłej, czyli wyzwalanie automatyczne (`ADC0=1`, w rejestrze `ADC0_SC3`), nie zmieniając wcześniejszych ustawień dla uśrednianego przetwarzania,

- lub tryb pracy z wyzwalaniem na żądanie (ADCO=0, w rejestrze ADC0_SC3), nie zmieniając wcześniejszych ustawień dla uśrednianego przetwarzania,
- w rejestrze ADC0_SC1[0]: przerwanie aktywne (AIEN=1).

Ponieważ domyślnie, po sygnale RESET, pewne ustawienia są już zapewnione (np. wyzwalanie programowe), więc nie trzeba ich ponownie wprowadzać. Wyzwalanie pomiaru przeprowadza się poprzez ustawienie w rejestrze ADC0_SC1[0] numeru kanału pomiarowego. Trzeba pamiętać, że układ domyślnie jest ustawiony na wyzwalanie programowe (ADTRG=0 w rejestrze ADC0_SC2). Wynik przetwarzania jest dostępny poprzez odczyt rejestru ADC0_R[0]. W przypadku wyzwalania automatycznego, wystarczy tylko raz wyzwoić pomiar, czy to programowo czy sprzętowo.

Jest również dostępny tryb pracy ze sprzętowym wyzwalaniem (ADTRG=1 w rejestrze ADC0_SC2). Wtedy pomiar jest wyzwalany narastającym zboczem sygnału wyzwalającego, którego źródłem może być:

- sygnał zewnętrzny (EXTRG_IN),
- licznik: PIT0, PIT1, TPM0, TPM1, LPTMR0,
- zegar czasu rzeczywistego RTC,
- komparator CMP0,

Aby można było wykorzystać któreś z powyższych urządzeń, w rejestrze SIM_SOPT7 ustawiamy bit ADC0ALTTRGEN=1 oraz pole ADC0TRGSEL, zgodnie z wyborem źródła wyzwalającego (np. ADC0TRGSEL=4 dla PIT0).

Zatrzymania konwersji można dokonać na parę sposobów:

- w rejestrze ADC0_SC1[0], numer kanału ustawić na 31,
- dokonać wpisu do dowolnego rejestru konfiguracyjnego, oprócz ADC0_SC1[0],
- brutalnie, wciskając przycisk RESET.

Po zakończeniu każdej konwersji, w rejestrze ADC0_SC1[0], jest ustawiany bit COCO=1, który, wraz z bitem AIEN, formuje sygnał zgłaszający przerwanie. Aby system nie „umarł” w wiecznej pętli od przerwania przetwornika A/C, bit COCO musi zostać skasowany. Czynność ta dokonuje się automatycznie po odczytaniu danej z rejestru ADC0_R[0] lub w czasie zapisu rejestru ADC0_SC1[0]. Innej możliwości nie ma.

W załączonych programach są komentarze, które mogą jeszcze bardziej „rozjaśnić” dane zagadnienie.

2.1. CZUJNIK TEMPERATURY

Przetwornik A/C ma wbudowany czujnik temperatury, którego wyjście napięciowe jest dostępne w kanale nr 26. Wzór przeliczeniowy napięcia na temperaturę ma postać:

$$T = 25 - \frac{(U_T - U_{T25})}{m} \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

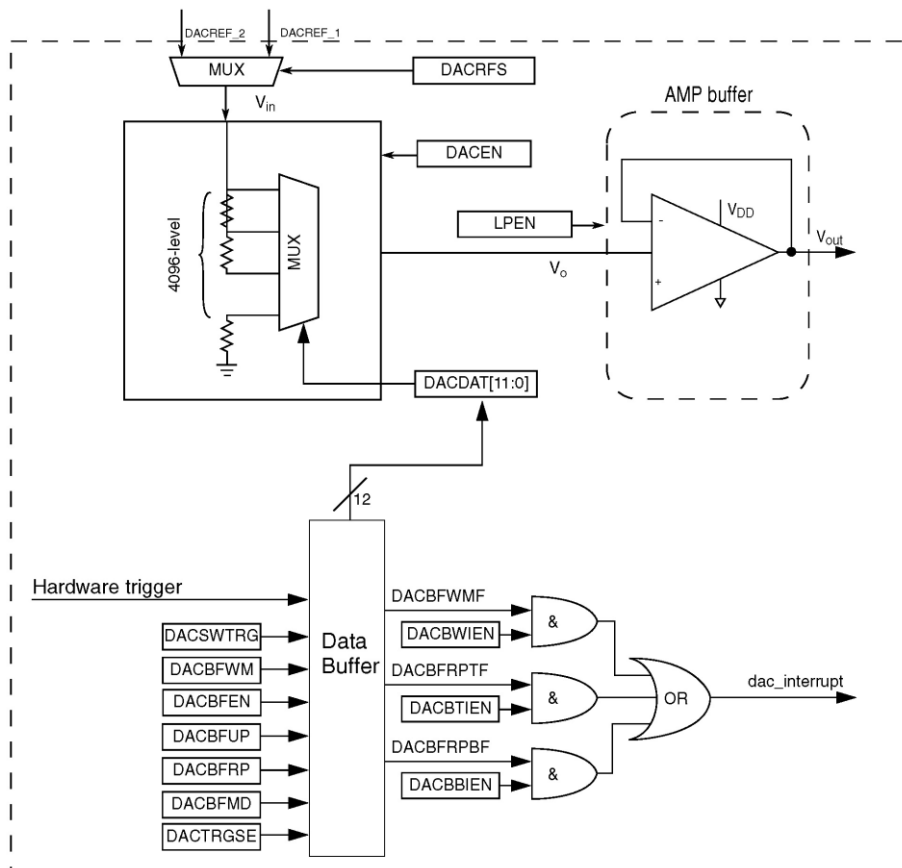
gdzie: U_T - napięcie zmierzone w temperaturze mierzonej T

U_{T25} - napięcie generowane przez czujnik w temperaturze 25°C równe 716mV

m - współczynnik temperaturowy czujnika równy $1.62 \frac{mV}{^{\circ}C}$

3. PRZETWORNIK C/A

Kolejnym układem peryferyjnym jest 12-bitowy przetwornik C/A. Jego schemat jest zamieszczony na rysunku Rys. 2.



Rys. 2. Schemat przetwornika C/A

Napięcie referencyjne przetwornika wynosi 2.91V (może zależeć od egzemplarza). Czas ustalania się sygnału na wyjściu, to typowo 15 μ s, dla normalnego trybu pracy mikrokontrolera.

Podstawowa konfiguracja przetwornika C/A przebiega następująco:

- ✓ dołączyć sygnał taktujący do modułu C/A, w rejestrze SIM_SC6[$DAC0=1$],
- ✓ dołączyć sygnał taktujący (w rejestrze SIM_SC5[$PORTB=1$] do odpowiedniego portu, którego pin będziemy wykorzystywać jako wyjście analogowe - w niniejszym ćwiczeniu jest to port B, pin PTB1 (jego domyślna funkcja, to wyjście analogowe przetwornika $DAC0$),
- ✓ ustawić tryb pracy z programowym wyzwaniem ($DACTRGSEL=1$) oraz włączyć przetwornik ($DACEN=1$), w rejestrze $DAC0_C0$.

Aby wymusić dany stan napięcia na wyjściu przetwornika, należy:

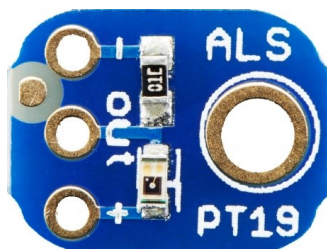
- wpisać młodszy bajt, 12-bitowej wartości, do rejestru DAC0_DAT[DATL],
- wpisać starszy bajt, 12-bitowej wartości, do rejestru DAC0_DAT[DATH],
- wyzwoić przetwarzanie, ustawiając bit DACSWTRG=1, w rejestrze DAC0_C0.

Warto pamiętać, że przetwornik jest 12-bitowy, więc zapisanie do jego rejestrów DATx, liczby większej niż 0xFFFF, spowoduje obcięcie najstarszego półbajta. Dlatego dobrze jest stworzyć odpowiednią funkcję zapisującą, która najpierw sprawdzi zakres wpisywanej danej.

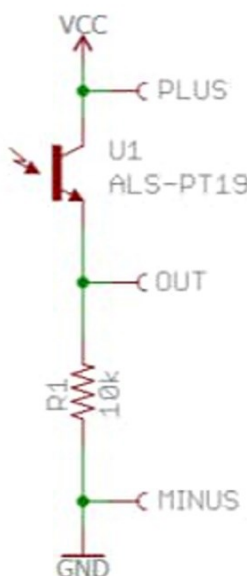
Tak jak w przypadku przetwornika A/C, istnieje również możliwość sprzętowego wyzwalania przetwarzania. Zaimplementowane jest tylko jedno źródło sygnału wyzwalającego, którym jest licznik PIT0, wybierany bitem DACTRGSEL=0, w rejestrze DAC0_C0.

4. ALS-PT19 - ANALOGOWY CZUJNIK ŚWIATŁA

Do testowania przetwornika A/C wykorzystamy m.in. moduł analogowego czujnika światła, zbudowany w oparciu o fototranzystor ALS-PT19 (Rys. 3). Schemat elektryczny modułu jest zamieszczony na rysunku Rys. 4.



Rys. 3. Moduł analogowego czujnika światła ALS-PT19



Rys. 4. Schemat ideowy analogowego czujnika światła ALS-PT19

Prawidłowe podłączenie:

- a) końcówka „+” (VCC - PLUS) - 3.3V,
- b) końcówka „-” (GND - MINUS) - GND,
- c) końcówka „OUT” – PTA12.

!!! Ponieważ maksymalne napięcie wejściowe przetwornika A/C to 3.6V, nie wolno podłączać końcówki „+” modułu do napięcia 5V !!!

5. ĆWICZENIE NR 1 - PROGRAMOWE WYZWALANIE PRZETWORNIKA A/C, W TRYBIE AUTOMATYCZNYM

Ponieważ w ćwiczeniach będą używane funkcje operujące na wartościach zmiennoprzecinkowych, zwiększono pojemność stosu, ustawiając go na wartość: **Stack_Size EQU 0x00000300**, w zbiorze *startup_MKL05Z4.s*.

Zbiór *1602lcd.c* został uzupełniony o funkcję wykrywania adresu ekspandera. Adres ten jest już ustawiany automatycznie na prawidłową wartość.

Podłączyć czujnik światła wg punktu 4. Wyświetlacz LCD podłączyć zgodnie z wcześniejszymi zaleceniami. Rozpakować zbiór *Lab_5.zip*. Zbiór ten, oprócz gotowych projektów, wykorzystywanych w poszczególnych ćwiczeniach, zawiera również uruchamialne zbiory zadań domowych (**rozszerzenie .he_**, **które należy zamienić na .hex**). Programy te można uruchomić, kopiując odpowiedni zbiór *.hex* na dysk FRDM-KL05Z, stosując np. technikę „chwyc i upuść”. Pozwoli to zaprezentować działanie programu, które jest celem zadania domowego.

Uruchomić projekt *Cw_1.uvprojx*. Program wyświetla wartość zmierzonego napięcia („U”), panującego na końcówce OUT czujnika światła. Przeanalizować etapy programowania przetwornika A/C (zbiór *ADC.c*). Następnie, zamiast końcówki „OUT” przetwornika światła, do PTA12 podłączyć masę GND. Sprawdzić, czy wskazanie pokazuje 0.0000V. Jeśli nie, to odblokować linię zawierającą modyfikację offsetu `ADC0_OFS = 0`, w zbiorze *ADC.c*. Wiedząc, że najmniejszy kwant przetwornika to ok. 0.0007V, wpisać, w miejsce wartości 0, wartość, która wynika ze stosunku odczytanej wielkości do kwantu. Wpisać najbliższą wartość całkowitą. Np. dla odczytu 0.0008 wpisać 1. Opisaną korekcję zastosować we wszystkich projektach.

Oświetlić czujnik światła źródłem zasilanym napięciem sieciowym 230V/50Hz (najlepiej zwykłą żarówką lub świetlówką).

Dlaczego pomiar „szaleje”, mimo włączonego uśredniania sprzętowego?

Zadanie domowe:

Uzupełnić projekt o zbiory *pit.c* i *pit.h* (patrz pkt. 3). W zbiorze *pit.c* ustawić interwał czasowy między przerwaniami (od licznika PIT0) na 100ms. Wykorzystując fakt, że przerwania od licznika PIT0 są zgłaszane co 100ms (5 okresów sieci), zmodyfikować program tak, aby wyświetlany wynik pomiaru napięcia (z czujnika światła) był stabilny na trzecim miejscu po przecinku. Obejrzeć działanie programu *Cw_1_Zad.hex*.

6. ĆWICZENIE NR 2 - PROGRAMOWE WYZWALANIE PRZETWORNIKA A/C, W TRYBIE WYZWALANIA NA ŻĄDANIE

Uruchomić projekt *Cw_2.uvprojx*. Czujnik światła podłączony jak w Ćwiczeniu nr 1. Przeanalizować różnice pomiędzy trybem automatycznym i trybem na żądanie.

7. ĆWICZENIE NR 3 - SPRZĘTOWE WYZWALANIE PRZETWORNIKA A/C, W TRYBIE AUTOMATYCZNYM

Uruchomić projekt *Cw_3.uvprojx*. Czujnik światła podłączony jak w Ćwiczeniu nr 1. Licznik PITO jest ustawiony tak, aby zgłaszał przerwanie co 1s. W trybie automatycznym, tylko pierwsze wyzwolenie pomiaru następuje na skutek przerwania PITO (napis „---” znika po upływie jednej sekundy). Potem, każdy następny pomiar jest wyzwalany automatycznie, przez sam przetwornik ADC0 (działa już niezależnie od przerwania licznika PITO). Aby to udowodnić, w podprogramie obsługi przerwania PITO jest instrukcja wyłączająca licznik PITO. Już po pierwszym przerwaniu licznik się wyłącza.

8. ĆWICZENIE NR 4 - SPRZĘTOWE WYZWALANIE PRZETWORNIKA A/C, W TRYBIE NA ŻĄDANIE

Uruchomić projekt *Cw_4.uvprojx*. Czujnik światła podłączony jak w Ćwiczeniu nr 1. Licznik PITO jest ustawiony tak, aby zgłaszał przerwanie co 1s. Po pierwszym wyzwoleniu pomiaru napis „---” znika (po upływie jednej sekundy). Każdy następny pomiar pojawia się po czasie 1s. Proszę porównać z Ćwiczeniem nr 3.

9. ĆWICZENIE NR 5 - WSPÓŁPRACA PRZETWORNIKA C/A Z PRZETWORNIKIEM A/C

Połączyć końcówki PTB1 (wyjście przetwornika C/A) i PTA12 (wejście przetwornika A/C). Uruchomić projekt *Cw_5.uvprojx*.

Na wyświetlaczu pojawiają się dwie wartości:

- „A/C” - zmierzona wartość napięcia na wejściu przetwornika A/C,
- „C/A” - teoretyczna wartość napięcia na wyjściu przetwornika C/A, wynikająca z wartości wysłanej do DAC0.

Przetwornik A/C jest wyzwalany sprzętowo, na żądanie, przez licznik PITO. W zbiorze *PIT.c* można wybrać interwał czasowy pojawiania się przerwania od tego licznika, a tym samym moment wyzwalania przetwornika A/C. Początkowo czas ten jest ustawiony na 1s. Jest

włączone uśrednianie sprzętowe i ustawione na 32 próbki. Co jedną sekundę wartość wysyłana do przetwornika C/A jest zwiększana o 1.

Teoretyczna wartość początkowa napięcia na wyjściu przetwornika C/A to 0V. Jeżeli odpowiadająca jej wartość zmierzona nie jest również równa 0V, to jakie mogą być tego przyczyny?

10. ĆWICZENIE NR 6 - STEROWANIE JASNOŚCIĄ DIODY LED ZA POMOCĄ PRZETWORNIKA C/A

Połączyć ze sobą końcówki: PTB1 (wyjście przetwornika C/A), PTA12 (wejście przetwornika A/C) i PTB8 (katoda czerwonej diody LED). Końcówka PTB8 jest zdefiniowana jako wejście GPIO, bez rezystora „podciągającego”. Zabieg ten pozwoli na sterowanie diodą za pomocą innego wyjścia (u nas jest to wyjście przetwornika C/A). Uruchomić projekt *Cw_6.uvprojx*.

Program wyświetla dwie wartości:

- „Slider” - pozycja palca na polu dotykowym,
- „Uk” - wartość napięcia panującego na diodzie LED.

Zadanie domowe:

Przesuwając palcem po polu dotykowym, doprowadzić do zgaśnięcia diody (granica między świeceniem a zgaśnięciem). Zakładając, że prąd diody już nie płynie, i wiedząc, że napięcie zasilające diodę to 2.91V, określić napięcie progowe czerwonej diody LED.

Podobne doświadczenie przeprowadzić dla diody zielonej (PTB9) i niebieskiej (PTB10).

Zmodyfikować program tak, aby większym wartościom „Slider’a” odpowiadała większa jasność świecenia. Obejrzeć działanie programu *Cw_6_Zad.hex*.

Jaka jest różnica między sterowaniem jasnością diody za pomocą PWM i przetwornika C/A?

11. ĆWICZENIE 7 - REGULATOR ZMIERZCHOWY

Połączyć ze sobą końcówki: PTB1 (wyjście przetwornika C/A) i PTB8 (katoda czerwonej diody LED). Końcówka PTB8 jest zdefiniowana jako wejście GPIO, bez rezystora „podciągającego”. Do końcówki PTA12 (wejście przetwornika A/C) podłączyć czujnik oświetlenia tak, jak w pkt. 4. Uruchomić projekt *Cw_7.uvprojx*.

Program wyświetla wartość napięcia panującego na diodzie LED („Uk”). W zależności od natężenia oświetlenia, padającego na czujnik światła, dioda przygasa dla zwiększającego się natężenia oświetlenia i rozjaśnia się w przypadku odwrotnym.

Zadanie domowe:

Zmodyfikować program tak, aby regulator działał odwrotnie: dioda przygasa dla zmniejszającego się natężenia oświetlenia i rozjaśnia się w przypadku odwrotnym. Obejrzeć działanie programu *Cw_7_Zad.hex*.

12. ĆWICZENIE 8 - MIERNIK TEMPERATURY

Zadanie dodatkowe:

Do wykonania niniejszego ćwiczenia nie są potrzebne żadne połączenia dotyczące czujników czy przetworników.

Wykorzystując wiedzę, zdobytą podczas wykonywania w/w ćwiczeń, napisać program, realizujący miernik temperatury. Potrzebne dane są w punkcie 2.1. Ponieważ na każdy stopień Celsjusza napięcie przetwornika zmienia się o 1.6mV, a przetwornik ma pojemność 12 bitów, więc rozdzielczość projektowanego miernika będzie ok. 0.5°C. Obejrzeć działanie programu *Cw_8_Zad.hex* i zrealizować tak samo.