

## Ćwiczenie nr 1

# **Metody wprowadzania informacji cyfrowej o wyniku pomiaru do komputera**

Cel ćwiczenia: zapoznanie z podstawowymi typami przetwarzania analogowo-cyfrowego oraz wyznaczaniem błędów statycznych i dynamicznych przetwarzania.

## 1. Wstęp

Przetwornik służy do zmiany jednej wielkości lub jej postaci w inną. Możemy także zmieniać wielkość w taką samą ale o innej wartości - takie przetworniki nazywamy przetwornikami skali. Najważniejsze jest aby przetwarzanie odbywało się w sposób jednoznaczny. W przypadku konieczności wprowadzenia informacji o sygnale elektrycznym do komputera lub systemu mikroprocesorowego należy przetworzyć wielkość analogową w postać cyfrową - dokładniej mówiąc w jej reprezentację liczbową w odpowiedniej postaci (binarnej, szesnastkowej lub też dziesiętnej). Dokonujemy tego za pomocą przetwornika analogowo-cyfrowego (ang. analog - digital converter w skrócie ADC). Wyprowadzając sygnał z komputera do układu należy go przetworzyć z wartości cyfrowej na analogową za pomocą przetwornika cyfrowo-analogowego (ang. digital-analog converter DAC).

## 2. Przetwornik cyfrowo-analogowy

Przetwornik cyfrowo-analogowy dokonuje zamiany dyskretnego sygnału cyfrowego na wartość elektryczną (napięcie lub prąd) zgodnie z zależnością:

$$U_{wy} = U_{ref} \sum_{i=1}^N a_i 2^{-i} \quad (1)$$

gdzie:

$U_{ref}$  - napięcie odniesienia

$a_i$  - bity 0 lub 1 pochodzące od kodu sygnału wejściowego od najbardziej znaczącego (MSB) do najmniej znaczącego (LSB)

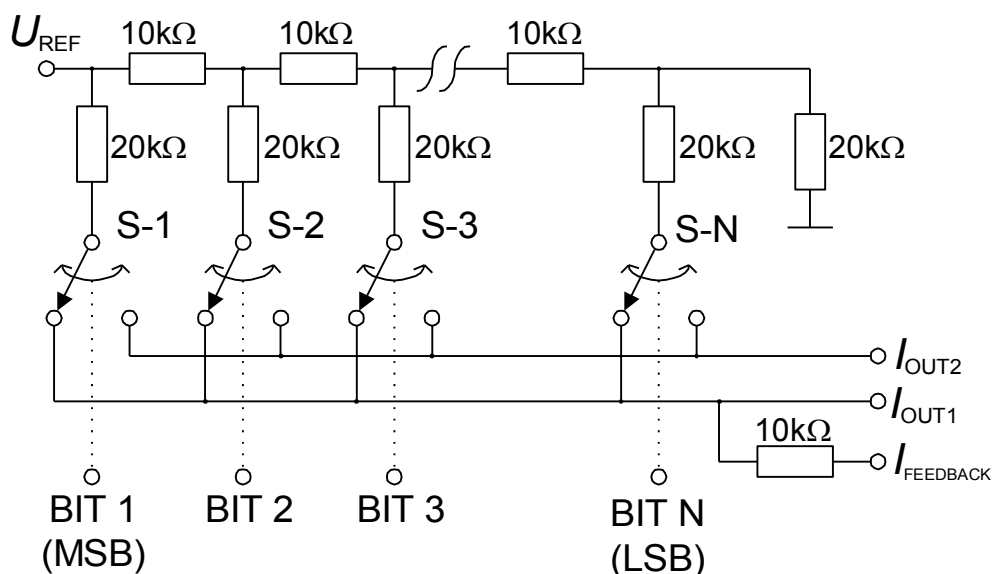
$N$  - liczba bitów sygnału wejściowego

Możemy wyróżnić przetworniki z wyjściem unipolarnym w którym sygnał wyjściowy zmienia się w zakresie od 0 do  $U_{ref}$  i wyjściem bipolarnym dla sygnału zmieniającego się w zakresie od  $-1/2U_{ref}$  do  $+1/2U_{ref}$ .

Ze względu na strukturę przetworniki możemy podzielić na bezpośrednie i pośrednie. Przetworniki bezpośrednie polegają na bezpośrednim sterowaniu wejściowym kodem cyfrowym i sumowaniem na wyjściu poprzez wzmacniacz sumacyjny. W przetwornikach pośrednich sygnał cyfrowy zamieniany jest na inną postać np. liczbę impulsów o różnej szerokości a dopiero w następnym etapie na sygnał analogowy w postaci napięcia lub prądu.

Możemy dokonać podziału przetworników ze względu na sposób wprowadzania sygnału cyfrowego. W przetwornikach równoległych wszystkie bity równocześnie są podawane na wejście przetwornika, natomiast do przetwornika szeregowego wprowadzamy informację bit po bicie. Najczęściej stosowane są przetworniki równoległe.

Biorąc pod uwagę budowę wewnętrzną przetwornika możemy wyróżnić przetworniki z drabinką rezystorową o wartościach wagowych ( $R$ - $2R$ - $4R$  itd.) lub też z siecią rezystorów  $R$ - $2R$ . Przykład typowego przetwornika równoległego z siecią rezystorów  $R$ - $2R$  przedstawiony jest na rysunku 1. Jest to struktura układu AD7533 firmy Analog Devices.



Rys.1. Uproszczony schemat przetwornika C/A

### 3. Przetworniki analogowo-cyfrowe

Przetwornik analogowo-cyfrowy dostaje na wejście sygnał analogowy (najczęściej napięcie) i przetwarza go na zakodowaną postać cyfrową. Przetwarzanie A/C polega na przyporządkowaniu wartości napięcia wejściowego  $U_{we}$  odpowiedniej wartości kodu cyfrowego  $N_x$  w postaci stanów logicznych 0 lub 1.

Dla napięć unipolarnych możemy zapisać przybliżone równanie przetwarzania jako:

$$\frac{U_{we}}{U_{ref}} \approx \frac{N_x}{N} \quad (2)$$

gdzie:

$U_{ref}$  - napięcie odniesienia

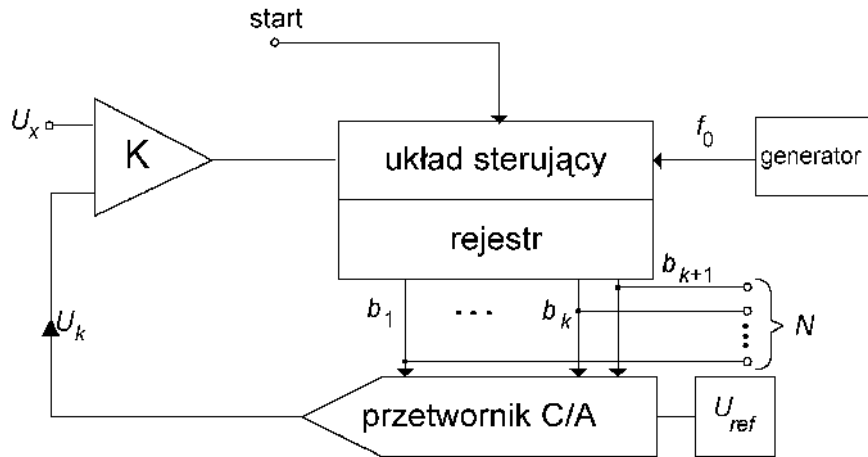
$N$  - zakres przetwarzania równy wartości kodu odpowiadających ustawienie wszystkich bitów w stanie 1.

#### 3.1 Przetwornik analogowo-cyfrowy z sukcesywną aproksymacją (kompensacji wagowej)

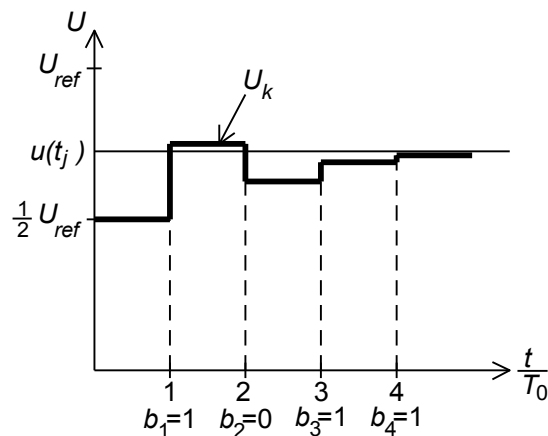
Działanie tego typu przetwornika polega na sukcesywnym równoważeniu napięcia przetwarzanego  $U_{we}$  napięciem wyjściowym  $U_k$  generowanym za pomocą przetwornika C/A doprowadzając stopniowo do tego aby  $U_{we} - U_k = 0$ . W praktyce różnica ta nie osiąga wartości 0 ze względu na skończoną rozdzielczość przetwornika. Schemat blokowy takiego przetwornika został przestawiony na rysunku 2.

W przetworniku z sukcesywną aproksymacją napięcie wejściowe  $U_{we}$  jest porównywane z napięciem odniesienia zwiększonym kolejno o wartości wagowe  $\frac{U_{ref}}{2}, \frac{U_{ref}}{4}, \frac{U_{ref}}{8}$ , itd. Jeżeli napięcie wejściowe  $U_{we}$  jest większe od kolejnej wartości wagowej to ustawiany jest dany bit w stanie 1 a jeżeli jest mniejsze to ustawiamy bit w stanie 0 po czym przechodzimy do kolejnego porównania z następną załączoną wartością wagową. Przebieg procesu

przetwarzania przedstawia rysunek 3. Bity będą ułożone w kolejności od najbardziej znaczącego MSB do najmniej znaczącego LSB. Po wykorzystaniu pełnej rozdzielczości przetwornika zwykle okazuje się, że pozostaje niewielka wartość napięcia, której nie jesteśmy w stanie zrównoważyć - jest to konsekwencja błędu kwantowania.



Rys.2. Uproszczony schemat przetwornika A/C z sukcesywną aproksymacją



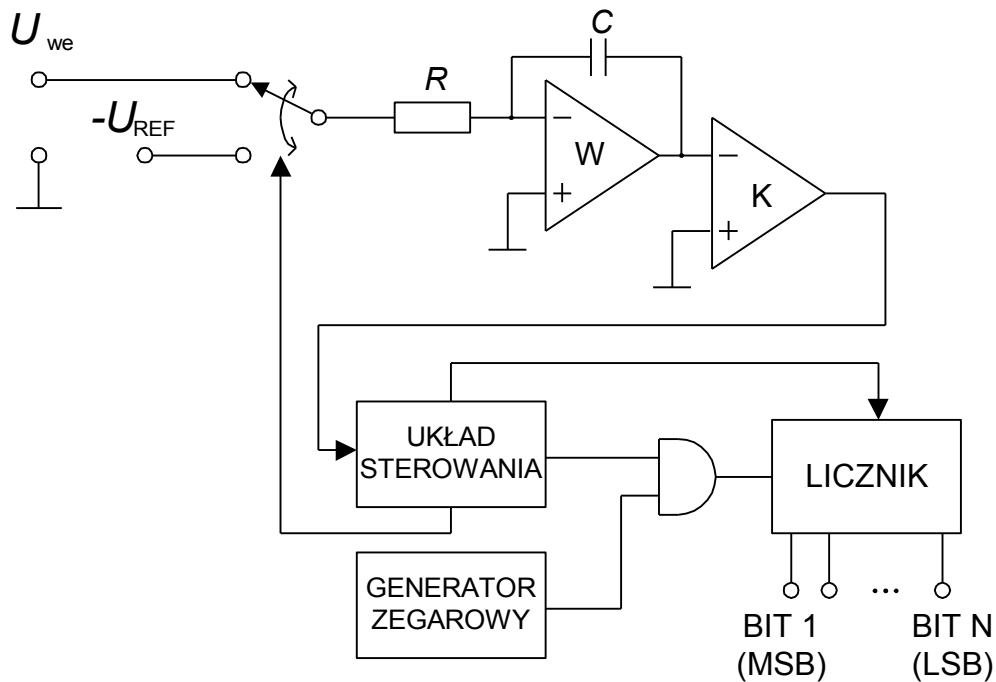
Rys.3. Przebieg procesu przetwarzania A/C w przetworniku z sukcesywną aproksymacją

W przetworniku z sukcesywną aproksymacją trzeba zadbać o to, aby napięcie przetwarzane nie ulegało zmianie przez cały czas przetwarzania - w przeciwnym razie kolejne wartości napięć wagowych będą porównywane z inną wartością napięcia wejściowego, co będzie prowadzić do trudnego w określeniu błędu przetwarzania. Aby uniknąć zmian napięcia wejściowego w czasie pracy przetwornika, stosuje się na jego wejściu przetwornik próbkująco-pamiętający.

### 3.2 Przetwornik analogowo-cyfrowy z podwójnym całkowaniem

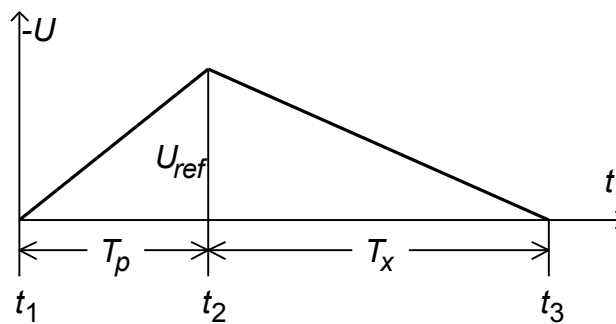
W metodzie tej ładujemy kondensator C przez określony czas prądem, którego natężenie jest proporcjonalne do wartości napięcia wejściowego. W drugim etapie kondensator jest rozładowywany prądem o stałej wartości do 0. Czas rozładowania kondensatora jest proporcjonalny do wartości napięcia wejściowego i zliczane są w tym czasie w liczniku

impulsy generatora zegarowego. Uproszczony schemat blokowy przetwornika z podwójnym całkowaniem przestawiony jest na rysunku 4.



Rys. 4. Uproszczony schemat blokowy przetwornika z podwójnym całkowaniem

Przebieg napięcia podawanego na wejście komparatora w czasie pełnego cyklu pracy przetwornika z podwójnym całkowaniem pokazany jest na rysunku 5.



Rys. 5. Przebieg napięcia na wejściu komparatora w czasie pracy przetwornika z podwójnym całkowaniem

Możemy napisać równanie bilansu ładunku na integratorze:

$$\frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} U_{we} dt = \frac{1}{RC} \int_{t_2}^{t_3} U_{ref} dt \quad (3)$$

Po uproszczeniach i podstawieniu  $T_p$  i  $T_x$  otrzymujemy równanie bilansu:

$$\int_0^{T_p} U_{we} dt = \int_0^{T_x} U_{ref} dt \quad (4)$$

które po wykonaniu całkowania będzie miało postać:

$$U_x T_p = U_{ref} T_x \quad (5)$$

Czas całkowania napięcia wzorcowego opisuje równanie:

$$T_x = T_p \frac{U_x}{U_{ref}} \quad (6)$$

przy czym wartości  $T_p$  i  $U_{ref}$  są ustalone. Wynika z tego, że czas  $T_x$  wyznaczony na podstawie liczby impulsów zliczonej przez licznik jest proporcjonalny do wartości napięcia wejściowego.

Przetwornik z podwójnym całkowaniem jest przetwornikiem uśredniającym więc zmiany napięcia wejściowego  $U_x$  w czasie całkowania  $T_p$  zostają uśrednione. Jeżeli mamy do czynienia ze zmiennym przebiegiem zakłócającym to w przypadku, gdy jego okres jest równy czasowi całkowania  $T_p$  to takie zakłócenie zostanie skutecznie wytłumione. Wykorzystując tą zaletę buduje się przetworniki o dobranym czasie całkowania tak aby wytłumiały przebieg o częstotliwości sieciowej 50Hz (lub też 60Hz w USA i Japonii). Wadą tego przetwornika jest długi czas przetwarzania. Porównanie obu typów przetworników analogowo-cyfrowych zostało przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Porównanie przetworników A/C z podwójnym całkowaniem (Dual Slope) i z sukcesywną aproksymacją (Successive Approximation)

metoda	podwójne całkowanie	sukcesywna aproksymacja
szybkość	niska (1-10 próbek/s)	wysoka (10-10 <sup>5</sup> próbek/s)
rozdzielczość	wysoka (3-6 cyfr, 10-20 bitów)	średnia (8-16 bitów)
niedokładność	bardzo dobra (mniejsza niż 0,01%)	dobra (typowo 0,1%)
tłumienie zakłóceń	bardzo dobre (uśrednianie -całkowanie $U_x$ )	brak - konieczna wcześniejsza filtracja
typowe zastosowanie	multimetry cyfrowe (DMM)	cyfrowe przetwarzanie sygnału (DSP)

#### 4 Błędy przetwarzania cyfrowo-analogowego i analogowo-cyfrowego

Błąd przetwarzania cyfrowo-analogowego możemy wyrazić zależnością:

$$\gamma_{wy} = \gamma_{ref} + \gamma_{ins} \quad (2)$$

gdzie:

$\gamma_{ref}$  - błąd napięcia odniesienia

$\gamma_{ins}$  - błąd instrumentalny

Na błąd instrumentalny składają się:

- błąd zera polegający na przesunięciu charakterystyki rzeczywistej w punkcie 0, prosta zamiast równania  $y=ax$  ma równanie  $y=ax+b$ ,
- błąd skali polega na złym kącie nachylenia charakterystyki względem charakterystyki idealnej - wartości są zawyżane lub zaniżane względem rzeczywistych,

- błąd nieliniowości powodujący odchylenie charakterystyki przetwarzania od liniowej, wyraża się go jako stosunek maksymalnego odchylenia do maksymalnej wartości dopasowywanej
- błąd niemonotoniczności przetwarzania, poszczególne punkty nie leżą na idealnej charakterystyce przetwarzania tylko nad lub pod nią.

W przypadku przetwarzania analogowo-cyfrowego błąd przetwarzania możemy określać podobnie:

$$\gamma_{wy} = \gamma_{ref} + \gamma_{kw} + \gamma_{ins} \quad (4)$$

gdzie dodatkowo  $\gamma_{kw}$  oznacza błąd kwantowania polegający na tym, że wartość mierzona jest zaokrąglana do wartości wynikającej z rozdzielczości przetwornika.

## 5 Wykonanie ćwiczenia

### 5.1. Przetwornik z sukcesywną aproksymacją.

- Uruchomić program symulujący przetwornik z sukcesywną aproksymacją `sac_adc1`. Ustawić napięcie wejściowe i załączyć aplikację. Dobierając ręcznie nastawy bit po bicie doprowadzić do najmniejszej różnicy napięcia wyjściowego przetwornika i napięcia wejściowego. Przeanalizować otrzymany kod cyfrowy w różnych postaciach (dziesiętnej, binarnej i heksydecymalnej).
- Uruchomić program symulujący przetwornik z sukcesywną aproksymacją `sac_adc2`. Ustawić wartość  $U_x$  jak w poprzednim punkcie i zaobserwować pracę przetwornika w trybie automatycznego równoważenia.
- Uruchomić symulację przetwornika `sac_sym2` umożliwiającą zadawanie zakłóceń wraz sygnałem użytecznym. Zaobserwować pracę przetwornika przy zadawaniu różnych parametrów sygnału zakłócającego (amplitudy, częstotliwości, przesunięcia fazowego).
- Wykorzystując podprogram `sac.vi` przetwornika z sukcesywną aproksymacją (z folderu WIAJE) zbudować aplikację wyznaczającą napięcie wyjściowe w funkcji napięcia wejściowego oraz błąd przetwarzania w funkcji napięcia wejściowego. Po wykonaniu aplikacji zaobserwować uzyskane przebiegi w dużym powiększeniu - skomentować otrzymane zależności. Wartość napięcia wyjściowego przetwornika analogowo-cyfrowego można obliczyć na podstawie kodu wyjściowego  $N_x$  z zależności:

$$U_{wy} = U_{ref} \frac{N_x}{1024} \quad (1)$$

- Zmodernizować program wyznaczający przebiegi, tak aby można było wyznaczyć wpływ sygnału zakłócającego w zależności od jego amplitudy i częstotliwości. Po wykonaniu programu przeanalizować uzyskane wyniki.

### 5.2. Przetwornik z podwójnym całkowaniem

- Uruchomić program symulujący działanie przetwornika z podwójnym całkowaniem `dualslope.vi`. Zadając napięcie wejściowe obserwować jak zachowuje się napięcie wyjściowe, którego wartość możemy obliczyć korzystając z zależności:

$$U_{wy} = U_{ref} \frac{\text{licznik}}{20000} \quad (2)$$

- Sprawdzić jak zachowuje się przetwornik w obecności sygnału zakłócającego o różnych parametrach.

- Używając podprogramu dslope.vi zbudować aplikację testującą badany przetwornik i wykonać badanie jak w punkcie 4.3. i 4.4. Porównać otrzymane zależności z wielkościami uzyskanymi za pomocą przetwornika z sukcesywną aproksymacją.

### 5.3. Obsługa multimetru za pomocą transmisji RS-232C.

- otworzyć szablon programu 1.vi i zapisać pod swoją nazwą.
- zapoznać się blokami używanymi do obsługi transmisji RS-232C, określić do czego służą (użyć pomocy Ctrl +H). Określić w jakiej kolejności muszą być wykonane.
- użyć odpowiedniej struktury w celu zapewnienia właściwej kolejności wykonania
- w dokumentacji do przyrządu pomiarowego oraz w jego ustawieniach określić informacje niezbędne do właściwej konfiguracji portu RS-232. W aplikacji numer portu powinien być dostępny do zmiany z panelu. Pojemność bufora ustawić na 1024.
- zgodnie z dokumentacją multimetru skonfigurować go do pomiaru napięcia stałego na zakresie 1V z maksymalną rozdzielczością. Użyć właściwych terminatorów po rozkazach programujących
- zrealizować odczyt wyniku pomiaru i przedstawić go jako łańcuch znaków na panelu. Dokonać konwersji na właściwą liczbę
- dołączyć do zacisków multimetru badane ogniwo i sprawdzić działanie programu
- zmodyfikować ikonę programu (górny prawy róg okna). Prawym klawiszem myszy wybrać opcję SHOW CONNECTOR i wybrać właściwą liczbę przyłączy. Połączyć wejście tworzonego bloku z numerem portu (na panelu) a wyjście z wynikiem w formie liczbowej
- zapisać utworzoną aplikację
- utworzyć nową aplikację (Blank VI) a następnie wybrać z palety function utworzony wcześniej vi (select a VI)
- utworzyć pętlę wykonującą 1000 pomiarów napięcia, z otrzymanych danych ma być wyliczona średnia, odchylenie standardowe.