

Politechnika Łódzka

Katedra Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych

**WWW.DSOD.PL**

## **LABORATORIUM METROLOGII ELEKTRONICZNEJ**

### ĆWICZENIE nr **3**

Badanie podstawowych parametrów metrologicznych  
przetworników analogowo-cyfrowych

Łódź 2009

---

---

**CEL ĆWICZENIA:**

---

---

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawowymi parametrami metrologicznymi przetworników analogowo-cyfrowych oraz metodami wyznaczania ich wartości.

---

---

**SPECYFIKACJA APARATURY:**

---

---

W ćwiczeniu wykorzystana zostanie następująca aparatura pomiarowa oraz oprogramowanie:

**Aparatura**

1. generator cyfrowy DDS typu DF1410
2. Oscyloskop cyfrowy 2-kanałowy typu RIGOL 1052E z modułem obliczeniowym FFT
3. Zestaw dydaktyczny „PSoC-GRAM-ADDA”

**Oprogramowanie:**

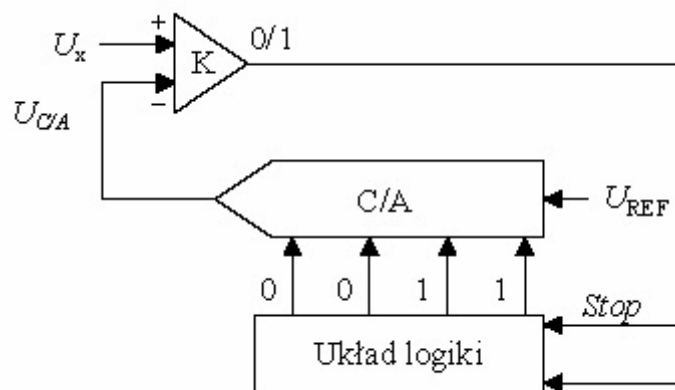
1. Program Data4711 do obsługi m. in. zestawu dydaktycznego „PSoC-GRAM-ADDA”
2. Arkusz kalkulacyjny z pakietu Office do przetwarzania danych z programu Data4711

## PODSTAWY TEORETYCZNE

Przetworniki analogowo-cyfrowe (A/C) można podzielić ze względu na: zasadę działania, liczbę bitów (rozdzielczość), szybkość przetwarzania (częstotliwość próbkowania), dokładność przetwarzania. Podstawowe rodzaje przetworników to: przetworniki całkujące, przetworniki delta-sigma, przetworniki kompensacyjne, przetworniki potokowe i flash. Nie istnieje jeden uniwersalny przetwornik A/C o dużej rozdzielczości i dużej częstotliwości próbkowania. Najbardziej rozpowszechnionymi przetwornikami dla średnich częstotliwości próbkowania są przetworniki z kompensacją wagową (SAR – successive approximation register) oraz delta-sigma.

Przetworniki z kompensacją wagową zapewniają rozdzielczość 16-18 bitów z częstotliwością próbkowania 1-5 MSA/s (megasamples per second).

Zasada działania została pokazana na rysunku 1. Napięcie przetwarzane  $U_x$  jest porównywane z napięciem z przetwornika C/A. Proces równoważenia przebiega w sposób wagowy tzn. porównywane z napięciem  $U_x$  są kolejno napięcia  $U_{ref}/2, U_{ref}/4, \dots, U_{ref}/2^N$  lub ich odpowiednie sumy.



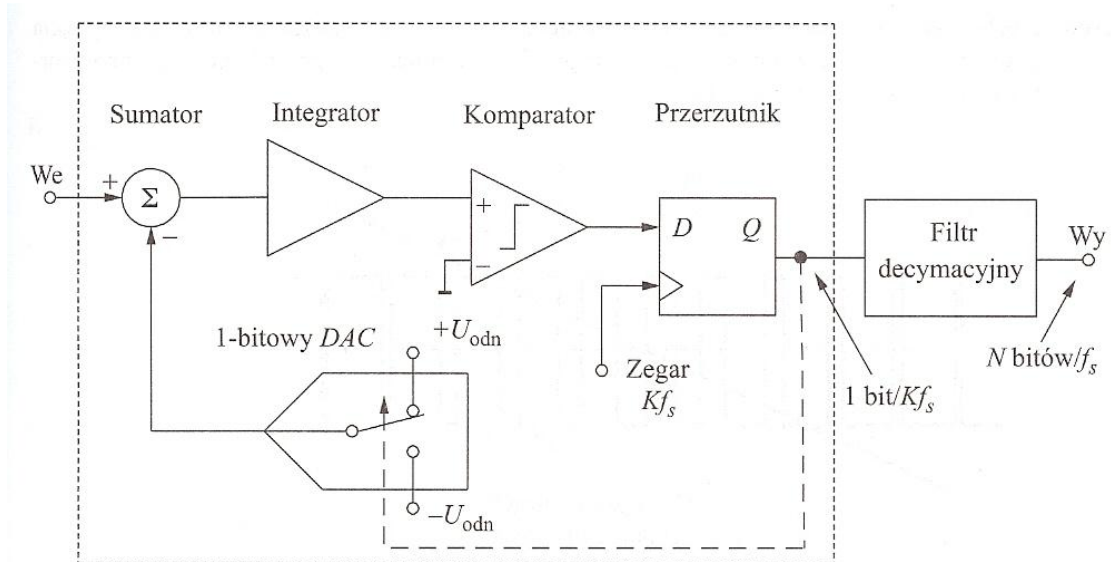
Rys. 1 Schemat blokowy przetwornika kompensacyjnego

Zaletą przetwornika jest prosta budowa (jeden komparator) oraz niewielka moc pobierana. Cykl pomiarowy wymaga wykonania najczęściej kilkunastu kroków.

Przetworniki delta-sigma wykorzystują modulację delta ( $\Delta$ ) oraz technikę nadpróbkowania. Zaletą przetworników jest możliwość uzyskania dużej rozdzielczości (do 24 bitów) przy częstotliwości próbkowania ok. 30 kSA/s.

Zasadę działania przetwornika delta-sigma pokazano na rysunku 2.

Modulator porównuje różnicę między napięciem wejściowym, a napięciem wyjściowym z jednobitowego przetwornika C/A. Piłokształtne napięcie z integratora steruje komparatorem, który uruchamia ciąg impulsów. Średnia liczba impulsów jest proporcjonalna do napięcia wejściowego.



Rys.2 Schemat blokowy przetwornika delta-sigma [7]

Charakterystyki przetwarzania A/C , C/A oraz charakterystyki błędów : offset, wzmocnienia , nieliniowości DNL, INL pokazano na kolejnych rysunkach [materiały firmy Analog Devices, [www.analog.com](http://www.analog.com)]

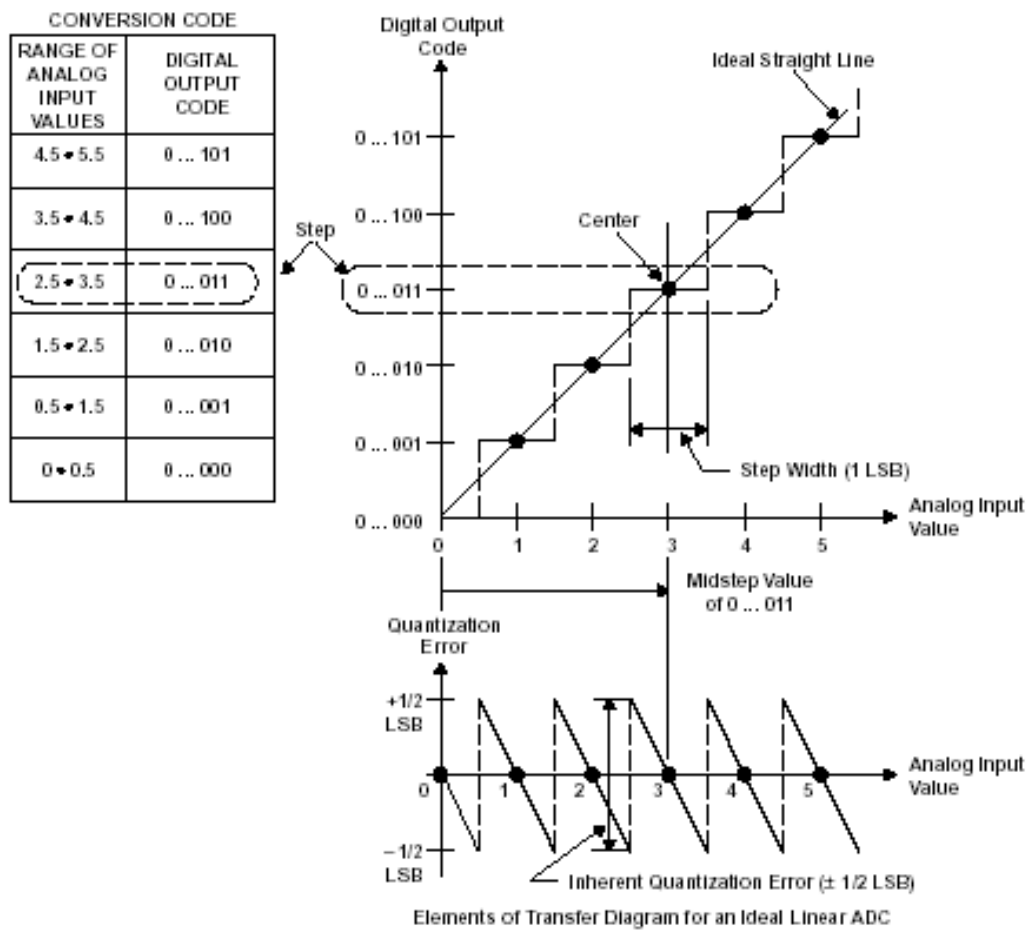
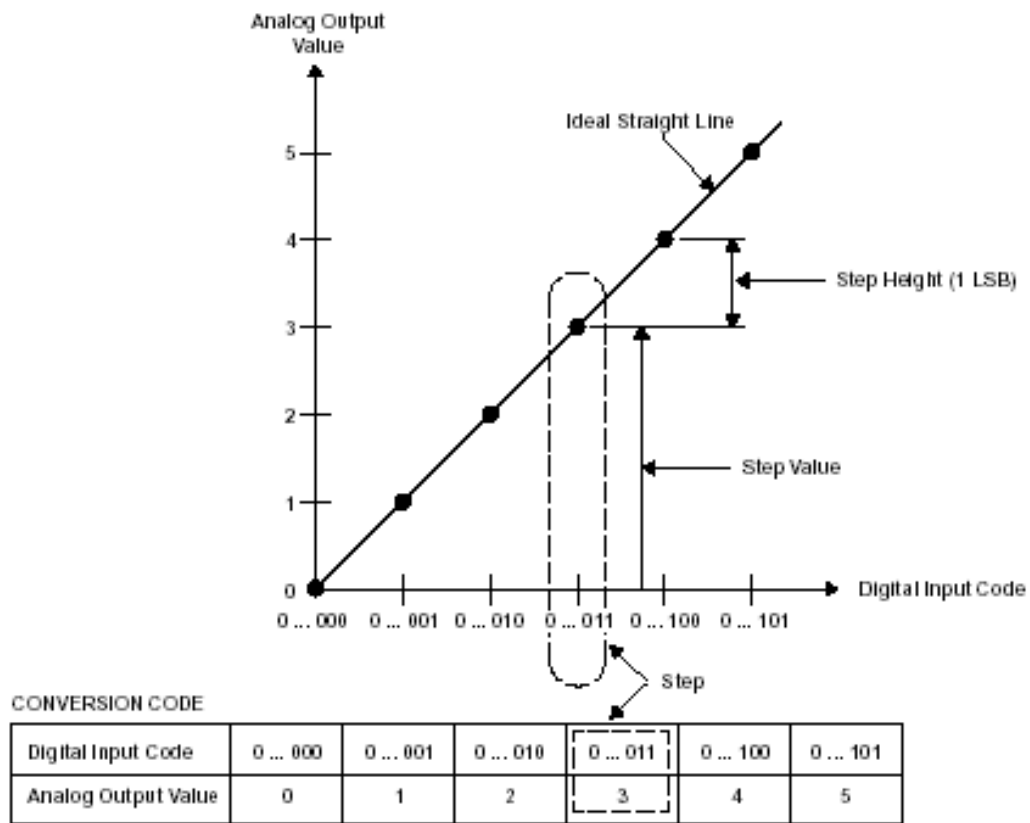
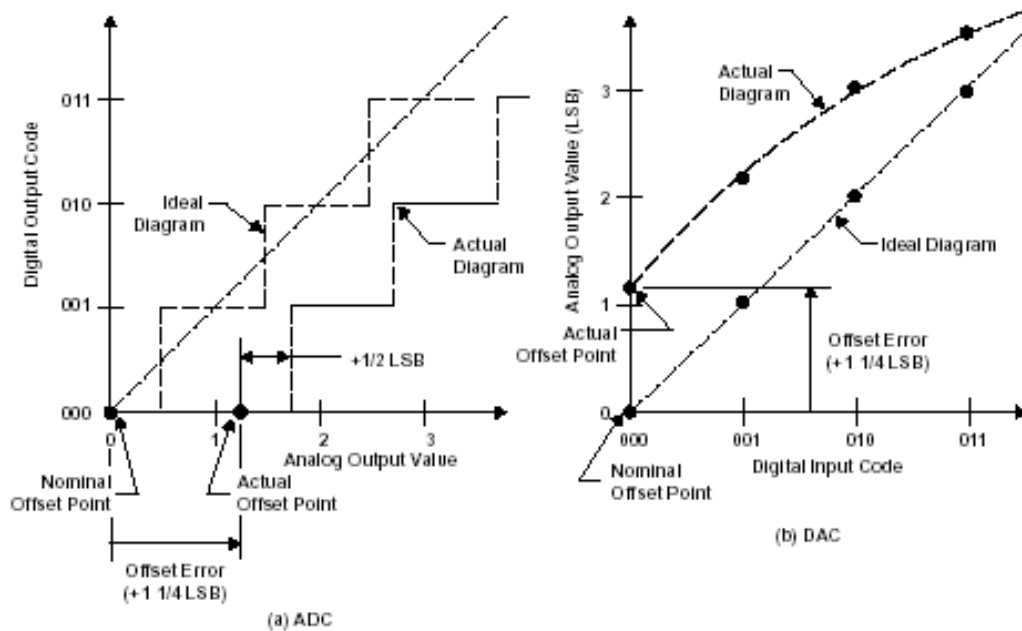


Figure 1. The Ideal Transfer Function (ADC)



Elements of Transfer Diagram for an Ideal Linear DAC

Figure 2. The Ideal Transfer Function (DAC)

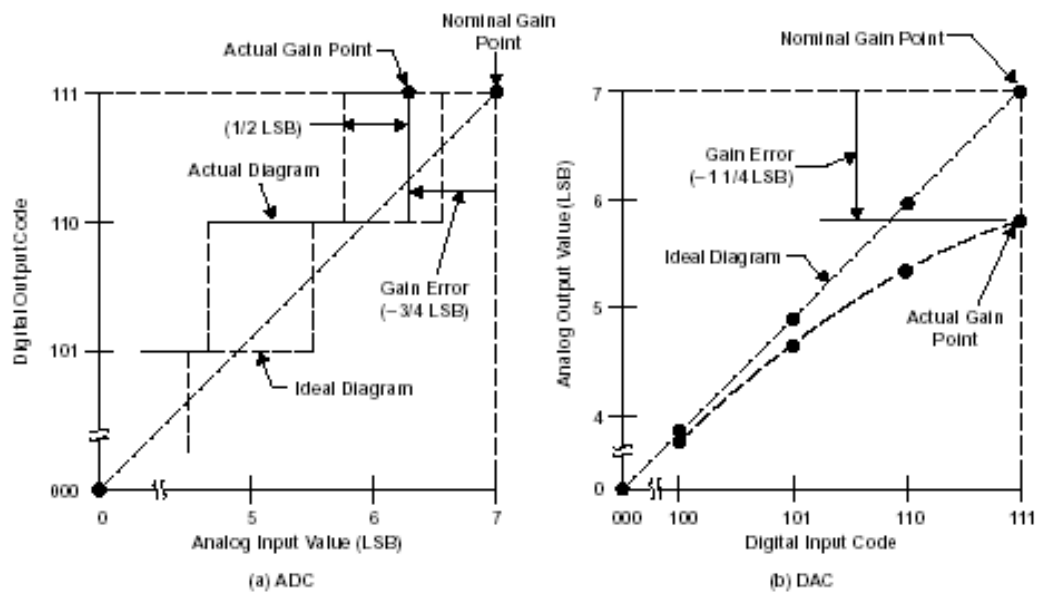


(a) ADC

(b) DAC

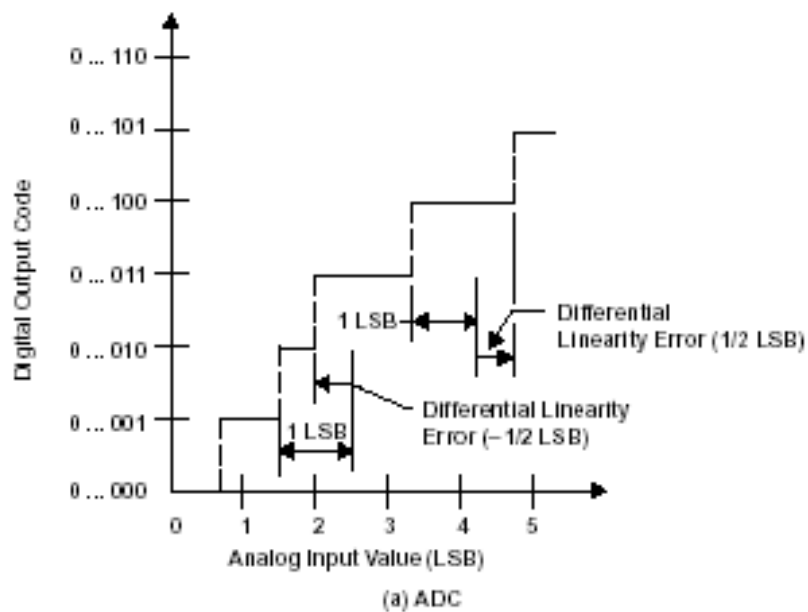
Offset error of a Linear 3-Bit Natural Binary Code Converter (Specified at Step 000)

Figure 3. Offset Error



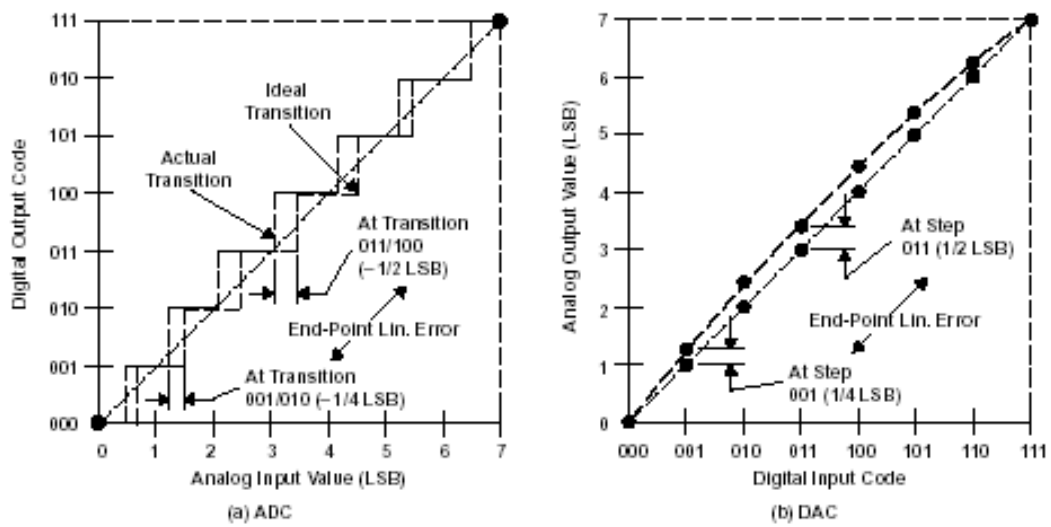
Gain Error of a Linear 3-Bit Natural Binary Code Converter (Specified at Step 111), After Correction of the Offset Error

Figure 4. Gain Error



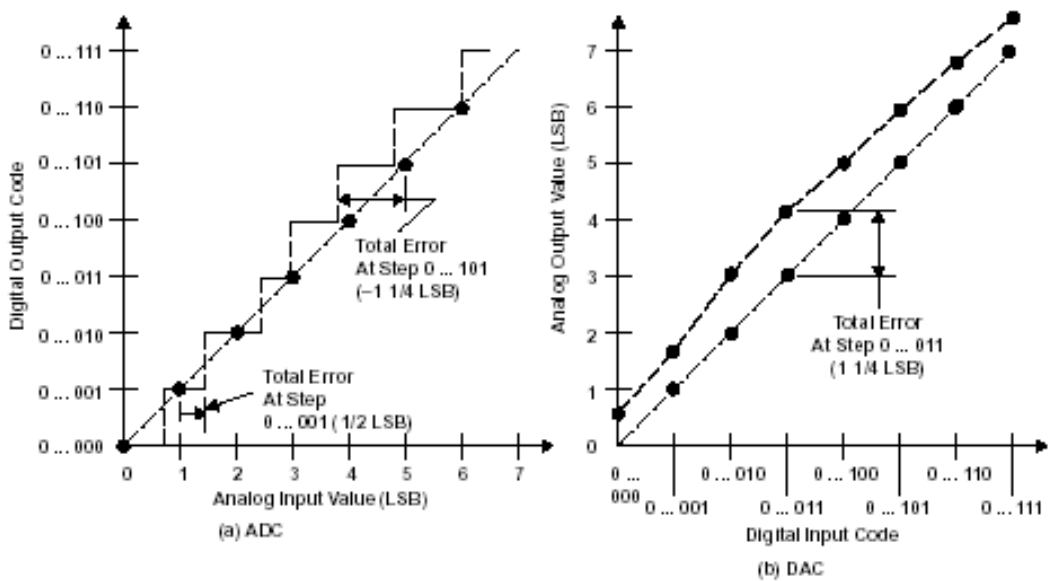
Differential Linearity Error of a Linear ADC or DAC

Figure 5. Differential Nonlinearity (DNL)



End-Point Linearity Error of a Linear 3-Bit Natural Binary-Coded ADC or DAC  
(Offset Error and Gain Error are Adjusted to the Value Zero)

Figure 6. Integral Nonlinearity (INL) Error



Absolute Accuracy or Total Error of a Linear ADC or DAC

Figure 7. Absolute Accuracy (Total) Error



#### 4 APERTURE ERROR

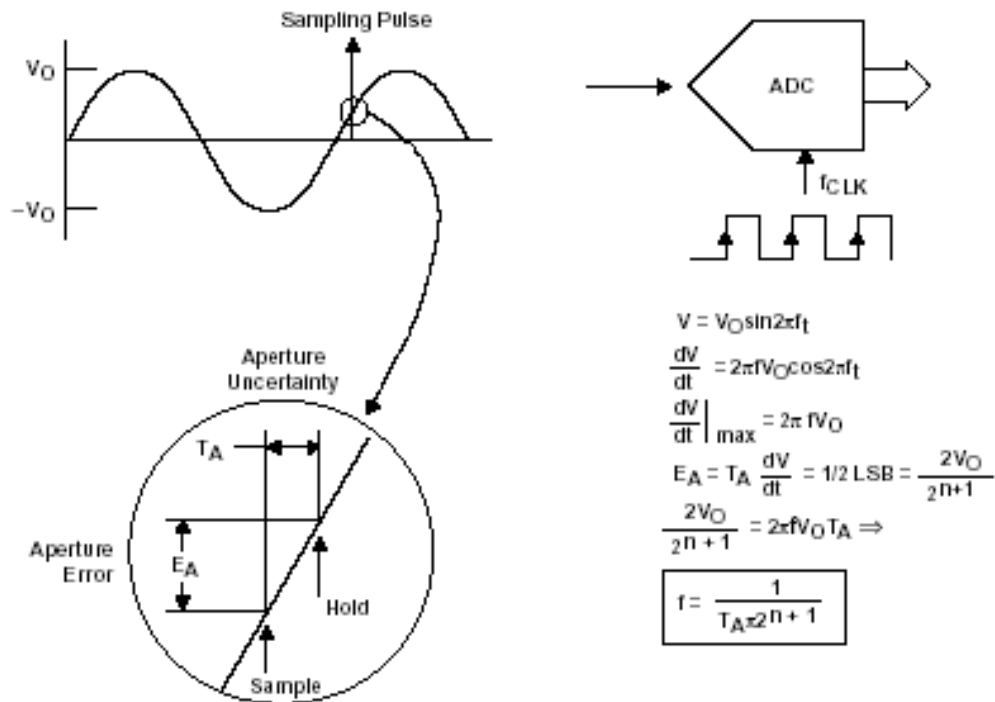


Figure 8. Aperture Error

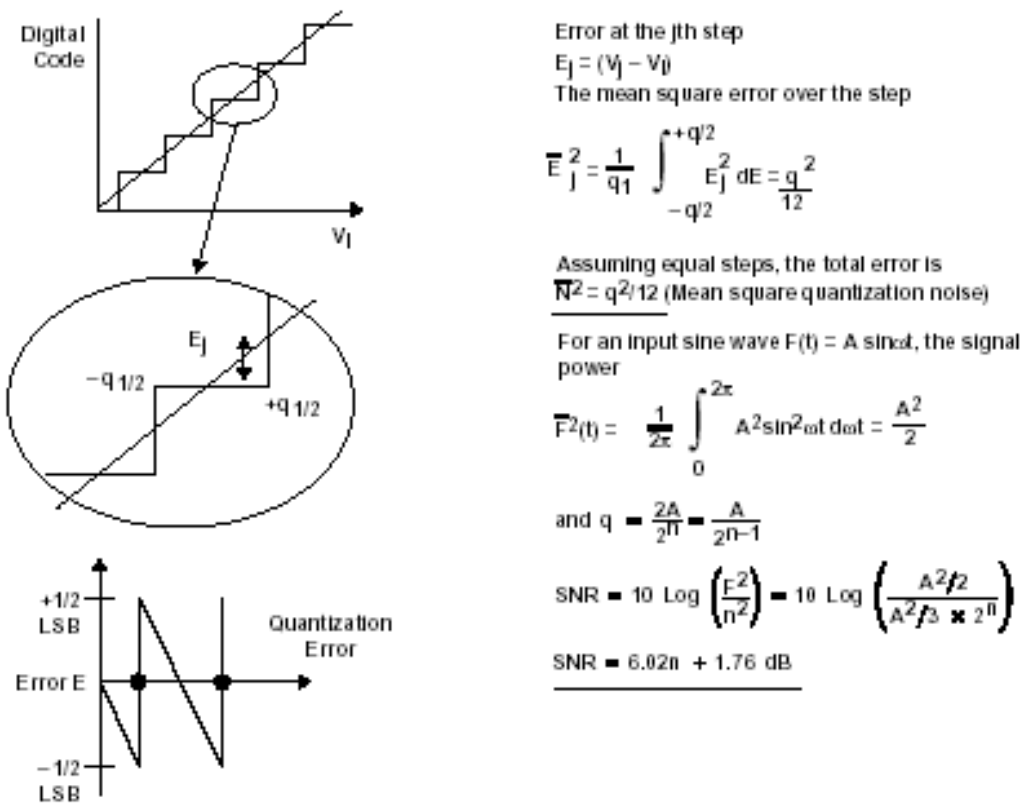


Figure 9. Quantization Effects

---

---

## PRZEBIEG ĆWICZENIA:

---

---

---

### Uwagi ogólne

---

W realizowanym ćwiczeniu sygnał pomiarowy podlega przetwarzaniu A/C w dwóch przetwornikach jednocześnie (synchronicznie), mianowicie w przetworniku kompensacyjnym (SAR) 6 bitowym oraz przetworniku  $\Sigma$ - $\Delta$  (sigma-delta) 12 bitowym z modulatorem drugiego rzędu. Badanym przetwornikiem jest przetwornik kompensacyjny (SAR), natomiast przetwornik  $\Sigma$ - $\Delta$  jest przetwornikiem referencyjnym (przetwornikiem wzorcowym). Wyszczególnione przetworniki A/C zostały skonfigurowane programowo w obszarze struktur „mixed-signal” mikrokontrolera PSoC typu CY8C29866-24AXI. Parametry metrologiczne wyszczególnionych przetworników są dostępne na stronie firmy Cypress.

---

### ZADANIE 1:

---

Wyznaczenie błędu przesunięcia (offset error) oraz błędu wzmacnienia (gain error) charakterystyki przetwarzania kompensacyjnego przetwornika A/C (SAR)

Szczegółowe dane odnośnie parametrów sygnałów i warunków przetwarzania będą podane przez prowadzącego zajęcia.

---

### ZADANIE 2

---

Wyznaczenie błędu nieliniowości różniczkowej (DNL) oraz błędu nieliniowości całkowitej (INL) kompensacyjnego przetwornika A/C (SAR)

Wyznaczenie powyższych błędów bazuje na danych pomiarowych z próbkowania charakterystyki przetwarzania przetwornika SAR za pomocą przetwornika  $\Sigma$ - $\Delta$ . Graficzna (oraz oczywiście ilościowa) interpretacja błędów INL oraz DNL może być przedstawiona jako złożenie ortogonalne (prostokąt – czyli zobrazowanie X-Y) wyników przetwarzania tego samego sygnału za pomocą obu zastosowanych przetworników A/C. Błąd DNL określa się na podstawie rozrzutu „szerokości schodka” na charakterystyce. Natomiast błąd INL określa się na podstawie „odchylenia” przebiegu charakterystyki rzeczywistej (SAR) od charakterystyki teoretycznej ( $\Sigma$ - $\Delta$ ).

Do wyznaczenia powyższych parametrów należy zastosować sygnał narastający liniowo. Szczegółowe dane odnośnie parametrów sygnałów, warunków przetwarzania oraz wykorzystania pakietu MS-OFFICE będą podane przez prowadzącego zajęcia.

---

### ZADANIE 3

---

Wyznaczenie odstepu poziomu harmonicznego sygnału przetwarzanego od poziomu szumu kwantyzacji (SNR) dla obu przetworników.

Wyznaczenie powyższych parametrów realizuje się dla wejściowego sygnału harmonicznego i analizy FFT sygnału cyfrowego. Należy określić parametr SNR dla obu przetworników. Szczegółowe dane odnośnie parametrów sygnałów, warunków przetwarzania oraz wykorzystania pakietu MS-OFFICE będą podane przez prowadzącego zajęcia.

---

### ZADANIE 4

---

Wyznaczenie funkcji gęstości prawdopodobieństwa (histogramu) pojawiania się kodów wyjściowych dla dwóch rodzajów sygnałów wejściowych:

-sygnał harmoniczny,

-sygnał trójkątny.

Wyznaczenie powyższych parametrów realizuje się dla dwóch wejściowych sygnałów: harmonicznego i trójkątnego, w odniesieniu do sygnału cyfrowego z przetwornika kompensacyjnego (SAR). Szczegółowe dane odnośnie parametrów sygnałów, warunków przetwarzania oraz wykorzystania pakietu MS-OFFICE będą podane przez prowadzącego zajęcia.

---

### ZADANIE 5

---

Wyznaczenie współczynnika tłumienia wejściowego filtra antyaliasingowego dla częstotliwości Nyquista.

Wyznaczenie tego parametru realizuję poprzez oscyloskopowy pomiar współczynnika tłumienia sygnału harmonicznego przez wejściowy filtr antyaliasingowy o częstotliwości równej połowie częstotliwości próbkowania. Szczegółowe dane odnośnie parametrów sygnałów, warunków przetwarzania będą podane przez prowadzącego zajęcia.

---

---

### UWAGI KOŃCOWE

---

---

W opracowaniu sprawozdania z realizowanych eksperymentów należy przedstawić komentarz w odniesieniu do wartości wyznaczonych parametrów metrologicznych (zadanie 1, 2 ,3), stwierdzić czy histogramy (zadanie 4) są zgodne z funkcjami gęstości prawdopodobieństwa funkcji SIN i funkcji liniowej oraz czy filtr antyaliasingowy (zadanie 5) jest odpowiedni (czy zapewnia dostateczne tłumienie dla  $f_s/2$ ) dla przetwornika SAR 6-bitowego.

---

---

## LITERATURA I MATERIAŁY DODATKOWE

---

---

1. R.G.Lyons , Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów, WKŁ,Warszawa 1999
2. T.P. Zieliński, Od teorii do cyfrowego przetwarzania sygnałów, Wydawnictwo ANTYKWA, Kraków 2002
3. T.P. Zieliński, Zarys cyfrowego przetwarzania sygnałów. Od teorii do zastosowań Wydawnictwo WKŁ, Warszawa 2006
4. R.Plassche, Scalone przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo analogowe, Wydawnictwo WKŁ, Warszawa 1997
5. C.M.Gilliam Ewers, Zarys cyfrowego przetwarzania sygnałów, Wydawnictwo WKŁ, Warszawa 1999
6. D.Stranneby Cyfrowe, przetwarzanie sygnałów metody, algorytmy, zastosowania, Wydawnictwo BTC, Warszawa 2004
7. S. Tumański , Technika pomiarowa, WNT, Warszawa, 2007

### **Materiały dodatkowe:**

1. [www.dspguide.com](http://www.dspguide.com)
2. [www.analog.com/processors/learning/training/dsp\\_book\\_index.html](http://www.analog.com/processors/learning/training/dsp_book_index.html)

# POLITECHNIKA ŁÓDZKA

## KATEDRA PRZYRZĄDÓW PÓŁPRZEWODNIKOWYCH I OPTOELEKTRONICZNYCH

WWW.DSOD.PL

### LABORATORIUM METROLOGII ELEKTRONICZNEJ

<b>ĆWICZENIE NR:</b>	
<b>TEMAT:</b>	

<b>GRUPA LABORATORYJNA</b>		<b>Kierunek/Semestr</b>	
<b>Lp.</b>	<b>NAZWISKO IMIĘ</b>	<b>NR ALBUMU</b>	
<b>1</b>			
<b>2</b>			
<b>3</b>			
<b>4</b>			

<b>Prowadzący:</b>	
<b>Dzień tygodnia:</b> <b>Data wykonania ćwiczenia:</b>	
<b>Data oddania sprawozdania:</b>	
<b>Ocena:</b>	
<b>Uwagi:</b>	