

Pracownia Konstrukcji i Eksploatacji Urządzeń Cyfrowych
Pracownia Konstrukcji i Eksploatacji Urządzeń Elektronicznych

Badanie przetworników C/A i A/C

opracowali:
Irena Hoja
Henryk Kiersnowski

Sprawozdania wykonał:.....

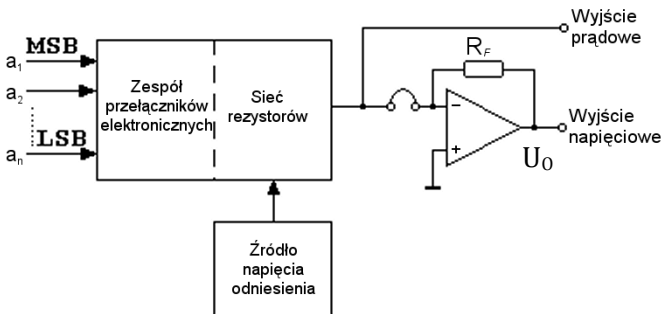
Klasa:.....

1. Wprowadzenie

Przetworniki cyfrowo – analogowe **C/A** (ang **D/A** – *digital to analog converter*) i analogowo – cyfrowe **A/C** (ang. **A/D** – *analog to digital converter*) mają za zadanie zmieniać postać sygnałów sterujących wyrażonych albo w postaci analogowej albo w postaci cyfrowej nie wprowadzając przy tym zmian ich wartości względnych.

PRZETWORNIKI CYFROWO – ANALOGOWO

Zadaniem przetworników C/A jest zamiana sygnału cyfrowego w postaci n-bitowego słowa w odpowiednim kodzie na sygnał analogowy (prąd lub napięcie) o określonej wartości i znaku



Rys. 1. Schemat blokowy przetwornika c/a

binarnym oraz od wartości sygnału odniesienia U_{odn} .

Przykładowo dla kodu binarnego sygnał wyjściowy U_0 jest równy:

$$U_0 = \frac{U_{odn}}{2^n} (a_{n-1}2^{n-1} + \dots + a_22^2 + a_12^1 + a_02^0) \quad (*)$$

Gdzie: a_{n-1}, \dots, a_0 – poszczególne bity słowa kodowanego

n – liczba bitów słowa kodowanego

Podstawowe parametry przetworników c/a

- **Rozdzielczość** – najmniejsza zmiana sygnału wyjściowego.

$$\Delta U = \frac{U_{odn}}{2^n} [mV]$$

Na podstawie długości słowa wejściowego można określić najmniejszą zmianę sygnału wyjściowego w odniesieniu do całego zakresu. Dla przetwornika n - bitowego można uzyskać 2^n różnych wartości sygnału wyjściowego. Wynika stąd, że zmiana słowa wejściowego na pozycji najmniej znaczącej (LSB) stanowi $1/2^n$ część pełnego zakresu przetwarzania. Często tę właśnie wartość, wyrażoną w procentach, podaje się jako rozdzielczość przetwornika c/a.

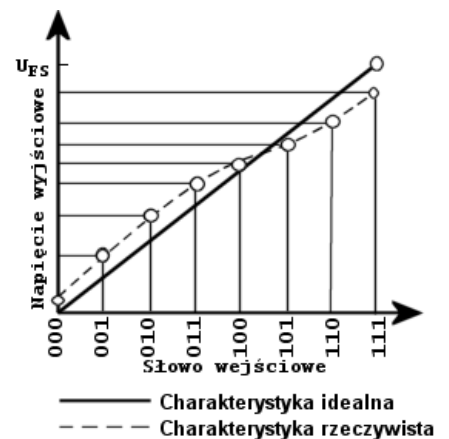
Np. dla długości słowa wejściowego 10 bitów rozdzielczość jest równa:

$$\frac{1}{2^{10}} \cdot 100\% = 0,0977\%$$

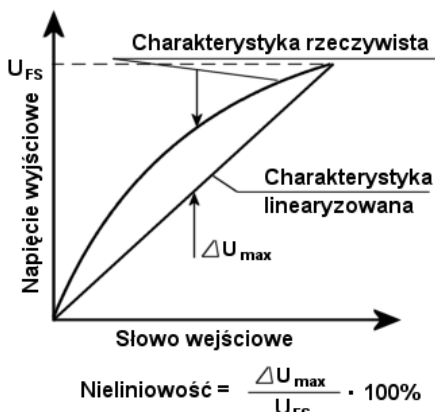
Przetwornika c/a składa się z:

- zespołu przełączników analogowych sterowanych wejściowymi sygnałami cyfrowymi,
- sieci rezystorów precyzyjnych
- źródła napięcia odniesienia,
- przetwornika prąd - napięcie w układzie ze wzmacniaczem operacyjnym w. przetwornikach c/a z wyjściem napięciowym.

Wartość analogowa sygnału wyjściowego U_0 zależy od wejściowego słowa cyfrowego podanego np.: w kodzie



Rys.2. Charakterystyka przetwarzania dla 3-bitowego przetwornika c/a



Rys. 3. Sposób określenia nieliniowości

✓ **Dokładność** – różnica między wartością zmierzoną a przewidywaną napięcia wyjściowego odniesioną do napięcia pełnej skali. Dokładność można wyznaczyć na podstawie porównania charakterystyki rzeczywistej i idealnej (rys. 2). Charakterystyka przetwarzania jest z natury swojej nieciągła. Wygodnie jednak jest posługiwać się linią ciągłą, otrzymaną przez połączenie wszystkich punktów charakterystyki. W idealnym wypadku jest to linia prosta przechodząca przez początek układu współrzędnych. Charakterystyka rzeczywista uwzględnia błędy nieliniowości przetwarzania, niezrównoważenia układu oraz błąd skalowania. Sumaryczny błąd określający dokładność powinien być mniejszy od połowy zmiany napięcia wyjściowego, odpowiadającej zmianie najmniej znaczącego bitu (w skrócie

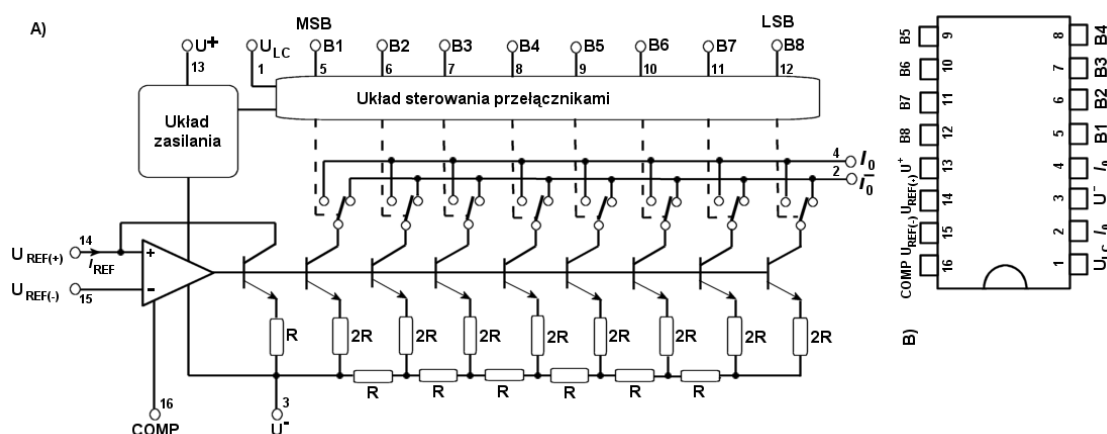
zapisuje się $\frac{1}{2}LSB$). Istotnym czynnikiem wpływającym na dokładność, ze względu na brak możliwości regulacji, jest nieliniowość. Określa się ją przez podanie maksymalnego odchylenia charakterystyki rzeczywistej od prostej przechodzącej przez punkt początkowy i końcowy charakterystyki rzeczywistej. Wartość tę odnosi się do zakresu przetwarzania i wyraża w procentach (rys. 3).

- ✓ **Błąd bezwzględny** – największa różnica między zmierzonym napięciem wyjściowym a obliczonym ze wzoru ($*$)
- ✓ **Błąd względny** – stosunek błędu bezwzględnego do wartości napięcia odniesienia,
- ✓ **Szybkość działania** przetwornika określa się przez pomiar czasu ustalenia, tzn. czasu, po którym napięcie wyjściowe osiągnie wartość ustaloną określonym błędem (zwykle $\frac{1}{2}LSB$). Najszybszymi są przetworniki ze źródłami prądowymi bez wyjściowych konwerterów prąd-napięcie.

Przetwornik scalony c/a typu DAC-08

Układ DAC-08 jest 8-bitowym mnożącym przetwornikiem c/a o dużej szybkości działania. Schemat blokowy układu wraz z oznaczeniami wyprowadzeń przedstawiono na rys. 4. Przetwornik DAC-08 zawiera:

- ✓ zespół 8 źródeł prądowych ze wzmacniaczem operacyjnym,
- ✓ drabinkę rezystorową R-2R,
- ✓ zespół 8 przełączników,
- ✓ układ sterowania przełącznikami,
- ✓ układ polaryzacji.

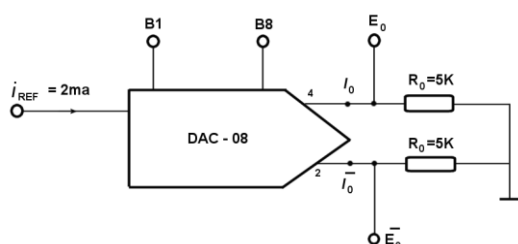


Rys. 4. Przetwornik analogowo-cyfrowy DAC-08: A) schemat wewnętrzny, B) topologia wyprowadzeń

Końcówka U_{LC} umożliwia przystosowanie przetwornika do współpracy z elementami cyfrowymi należącymi do różnych rodzin. W układzie tym prąd odniesienia I_{REF} , tzn. prąd wpływający do wejścia $U_{REF(+)}$ może mieć wartość ustaloną lub zmieniać się w zakresie od 0 do 4mA. Prąd pełnego zakresu I_{FS} jest liniową funkcją prądu odniesienia I_{REF} zgodnie z zależnością

$$I_{FS} = I_0 + \bar{I}_0 = \frac{255}{256} \cdot I_{REF}$$

gdzie I_{REF} jest prądem ustalonym zewnątrz.



Rys. 5. Przetwornik z wyjściem napięciowym

Przetwornik DAC-08 ma dwa komplementarne wyjścia prądowe I_0 oraz \bar{I}_0 . Wartość prądu I_0 zależy od wartości prądu I_{REF} i od stanu wejść cyfrowych. Najprostszą metodą uzyskania napięciowego sygnału wyjściowego jest dołączenie rezystorów obciążających. Przykładowy schemat jest przedstawiony na rys. 5. W układzie tym napięcia wyjściowe przyjmują wartości tylko ujemne.

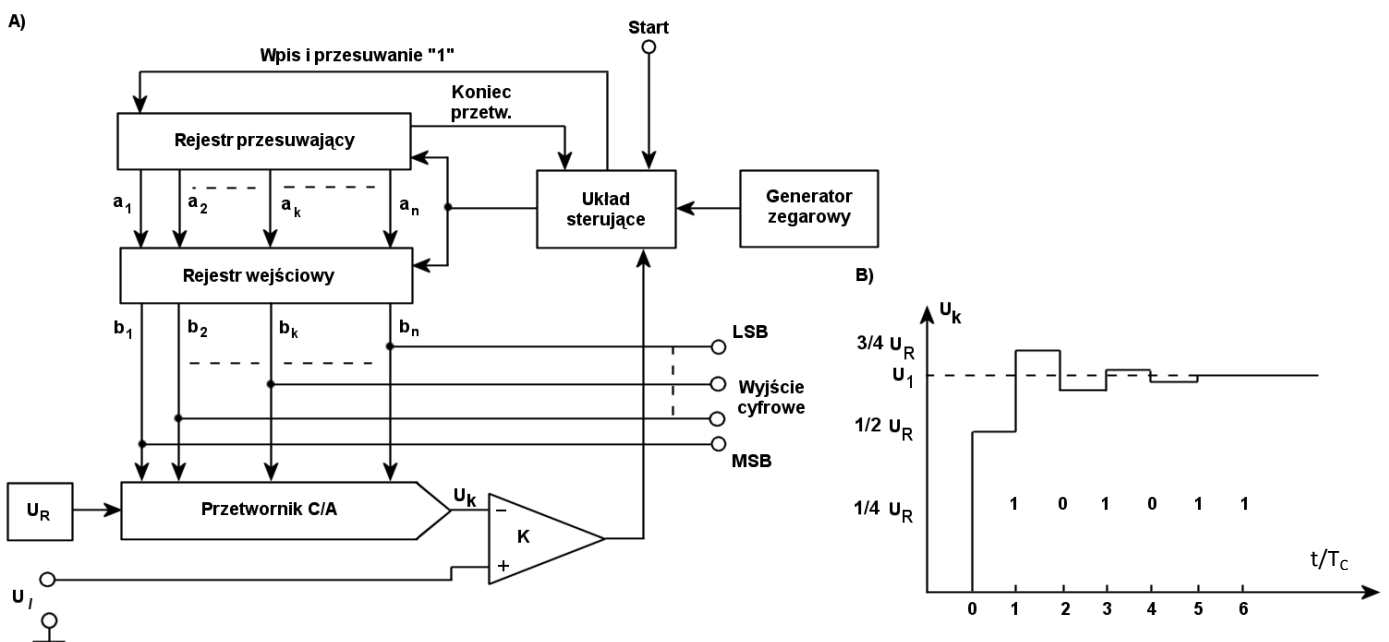
PRZETWORNIKI ANALOGOWO-CYFROWE

Zadaniem przetwornika a/c jest przetworzenie analogowej postaci sygnału, zwykle napięciowego, na równoważną mu wartość cyfrową. Ogólnie metody przetwarzania można podzielić na metody bezpośrednie i pośrednie. W układach opartych na metodach bezpośrednich następuje od razu porównanie wielkości przetwarzanej z wielkością odniesienia. Do tej grupy zalicza się przetworniki z bezpośrednim porównywaniem oraz przetworniki kompensacyjne. Przy metodach pośrednich najpierw odbywa się zmiana wielkości przetwarzanej na pewną wielkość pomocniczą (np. czas lub częstotliwość), porównywaną następnie z wielkością odniesienia. W zależności od rodzaju wielkości pomocniczej wyróżnia się metodę częstotliwościową i metodę czasową (prostą lub z dwukrotnym całkowaniem). Ważnym zagadnieniem jest określenie minimalnej częstotliwości próbkowania zapewniającej pełne odtworzenie sygnału analogowego po przetworzeniu go na postać cyfrową. Problem ten został teoretycznie rozwiązany przez C. Shannona oraz W. Kotelnikowa i sformułowany w postaci tzw. **prawa próbkowania**. Mówi ono, że cała informacja zawarta w sygnale ciągłym zmieniającym się w czasie może być wyrażona za pomocą kolejnych próbek cyfrowych jego wartości, jeśli częstotliwość próbkowania f jest co najmniej dwukrotnie większa od maksymalnej częstotliwości f_{max} występującej w widmie sygnału. Najpowszechniej obecnie stosowanym metodami przetwarzania są te, które dobrze nadają się do realizacji za pomocą układów scalonych lub do realizacji monolitycznej. Do tych metod należą:

- ✓ metoda bezpośredniego porównania,
- ✓ metoda kompensacyjna wagowa (z kolejnym porównaniem),
- ✓ metoda czasowa z dwukrotnym całkowaniem,
- ✓ metoda częstotliwościowa.

Metoda kompensacyjno - wagowa

Przetwarzanie w tej metodzie polega na kolejnym porównywaniu napięcia przetwarzanego U_I (rys. 6) z napięciem odniesienia wytwarzanym w przetworniku c/a. W pierwszej kolejności następuje porównanie napięcia U_I z napięciem $U_R/2$, odpowiadającym połowie pełnego zakresu przetwarzania. Rezultat tego porównania ustala w rejestrze wartość cyfrową najstarszego bitu słowa wyjściowego oraz wartość najstarszego bitu wejścia przetwornika c/a. W ten sposób, gdy $U_I > U_R/2$, to napięcie $U_R/2$ pozostaje włączone podczas następnych porównań, a w przeciwnym razie – jest wyłączone. W przypadku przetwornika n -bitowego pełny cykl przetwarzania obejmuje n porównań. Po n -tym porównaniu stan rejestru wyjściowego jest cyfrową reprezentacją napięcia U_I .



Rys. 6. Przetwarzanie a/c metodą kompensacji wagowej (z kolejnymi porównaniami): A) schemat blokowy, B) przebiegi napięcia na wyjściu przetwornika c/a w przypadku słowa wyjściowego 101011; T_c – okres generatora zegarowego

Zaletą metody kompensacji wagowej jest krótki czas przetwarzania równy nT_C (gdzie T_C czas trwania jednego kroku) i jest on niezależny od wartości przetwarzanego napięcia. Wadą metody jest duża nieliniowość różniczkowa uwarunkowana właściwościami przetwornika c/a .

Podstawowe parametry przetworników a/c

Dokładność przetwarzania jest miarą dokładności cyfrowego odwzorowania sygnału analogowego i jest ograniczona przez błędy powstające w procesie przetwarzania. Przetwornik a/c ma cechy zarówno układu cyfrowego, jak i analogowego. Z jego właściwościami jako układu cyfrowego związany jest błąd kwantyzacji, określający rozdzielczość przetwarzania, a z cechami analogowymi – błędy analogowe wyrażone przez dokładność względną i bezwzględną.

- **rozdzielczość** wyraża najmniejszą wielkość sygnału wejściowego rozróżnialną przez przetwornik

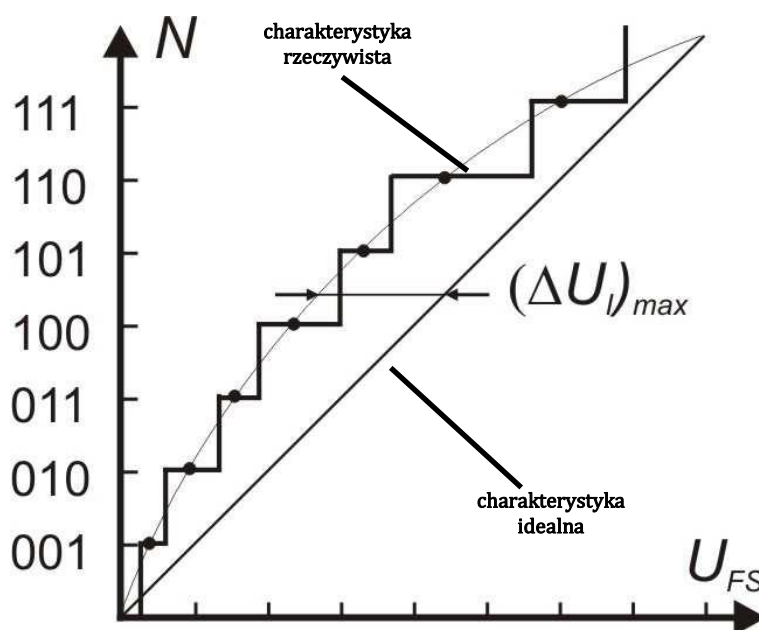
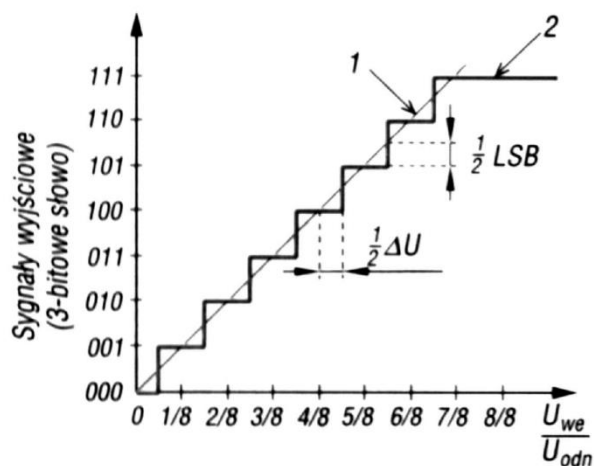
$$\Delta U = \frac{U_{FS}}{2^n} [mV]$$

U_{FS} – nominalny pełny zakres przetwarzania,

n – liczba bitów słowa wyjściowego

- **rozdzielczość względna** wyrażona jako wartość $100\% / 2^n$

- **błąd kwantyzacji** ($\pm\Delta U/2$ lub $LSB/2$) – odchyłka rzeczywistej charakterystyki schodkowej od charakterystyki idealnej.
- **dokładność bezwzględna** $(\Delta U_I)_{max}$ jest określana jako różnica między teoretyczną i rzeczywistą wartością napięcia U_I , powodującą powstanie na wyjściu określonej wartości cyfrowej, przy czym wartości U_I wyznacza się jako punkty środków przedziałów kwantowania na idealnej i rzeczywistej charakterystyce przetwarzania



Rys. 7. Charakterystyka przetwornika a/c

- **dokładność względna** jest określana jako wartość dokładności bezwzględnej odniesiona do pełnego nominalnego zakresu przetwarzania i wyrażona w procentach lub w częściach wartości najmniej znaczącego bitu,
- **nieliniowość całkowita** (ang. *integral nonlinearity*) jest określana jako maksymalna różnica $(\Delta U_I)_{max}$ napięcia wejściowego pomiędzy rzeczywistą charakterystyką przetwarzania $N = f(U_I)$ a charakterystyką idealną, odniesiona do maksymalnej wartości napięcia przetwarzania U_{FS} (U_{max}), wyrażona w procentach. Charakterystykę idealną wyznacza się jako prostą łączącą skrajne punkty zakresu przetwarzania, charakterystykę rzeczywistą natomiast jako linię łączącą środki przedziałów napięcia U_i , odpowiadających kolejnym wartościom cyfrowym na wyjściu przetwornika.

$$\varepsilon_c = \frac{(\Delta U_I)_{max}}{U_{FS}} 100\%$$

2. Literatura

- Głocki W., Grabowski L.: Pracownia podstaw techniki cyfrowej, WSiP – 1998,
- Kulka Z., Libura A., Nadachowski M.: Przetworniki analogowo – cyfrowe i cyfrowo – analogowe, WKiŁ – 1987
- Pióro B., Pióro M.; Podstawy elektroniki cz. 2.; Warszawa 1997
- ADC0804 <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/intersil/fn3094.pdf>

Imię i nazwisko:	Klasa:	Stanowisko:	Nr w dzienniku:
Skład grupy:.....			
Temat ćwiczenia: Badanie przetworników analogowo-cyfrowych (a/c) i cyfrowo-analogowych (c/a)			Data:
Przygotowanie do ćwiczenia	Wykonanie ćwiczenia	Sprawozdanie z ćwiczenia	
Pkt.:	Pkt.:	Pkt.:	
Suma punktów:			
Ocena z przeprowadzonego ćwiczenia:			Podpis nauczyciela:

Przypomniano o stosowaniu zasad bezpiecznej pracy i przestrzeganiu instrukcji BHiP.

Zestaw przyrządów:

-
-
-

ZADANIA POMIAROWE

1. Badanie przetwornika analogowo – cyfrowego ADC0804 (.....)}

- Wykonaj pomiary do charakterystyki przejściowej przetwornika a/c – $N = f(U_I)$
 - odczytaj wartości binarne (cyfrowe) z wyjścia przetwornika a/c w zależności od napięcia wejściowego U_I . Dla ułatwienia ustawiaj taką wartość napięcia na wejściu, przy którym wyświetlą się podane stany w tabeli 1. Wynik zapisz w pozycji U_I .

Tabela 1. $U_{ref} = 5 \text{ V};$ (.....) ustaw $U_{odn} = U_{ref}/2 = 2,5 \text{ V}.$ (.....)

l.p.	HEX	DEC	N = Liczba BIN								a/c			c/a
			a_7	a_6	a_5	a_4	a_3	a_2	a_1	a_0	U_I	U_{obl}	błąd ΔU	
			D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0				
1			0	0	0	0	0	0	0	0				
2			0	0	0	0	0	0	0	1				
3			0	0	0	0	0	0	1	0				
4			0	0	0	0	0	0	1	1				
5			0	0	0	0	0	1	0	0				
6			0	0	0	0	0	1	0	1				
7			0	0	0	0	0	1	1	0				
8			0	0	0	0	0	1	1	1				
9			0	0	0	0	1	0	0	0				
10			0	0	0	0	1	0	0	1				
11			0	0	0	0	1	0	1	0				
12			0	0	0	0	1	0	1	1				
13			0	0	0	0	1	1	0	0				
14			0	0	0	0	1	1	0	1				
15			0	0	0	0	1	1	1	0				
16			0	0	0	0	1	1	1	1				
17			0	0	0	1	0	0	0	0				
18			0	0	1	0	0	0	0	0				
19			0	1	0	0	0	0	0	0				
20			0	1	1	0	0	0	0	0				
21			1	0	0	0	0	0	0	0				
22			1	0	1	0	0	0	0	0				
23			1	1	0	0	0	0	0	0				
24			1	1	1	0	0	0	0	0				
25			1	1	1	1	0	0	0	0				
26			1	1	1	1	1	0	0	0				
27			1	1	1	1	1	1	0	1				
28			1	1	1	1	1	1	1	0				
29			1	1	1	1	1	1	1	1				

- Oblicz rozdzielczość badanego przetwornika,

$$\Delta U = \frac{U_{FS}}{2^n} = \quad [mV]$$

$U_{FS} = \dots\dots\dots$ (nominalny pełny zakres przetwarzania),

$n = 8$ (liczba bitów słowa wyjściowego)

- Oblicz wartości dziesiętne i szesnastkowe dla poszczególnych punktów pomiarowych. Obliczona wartość napięcia U_{obl} jest wartością teoretyczną wynikającą z odczytanego słowa wyjściowego i napięcia odniesienia przetwornika.

$$U_{obl} = \frac{U_{odn}}{2^8} (a_7 2^7 + a_6 2^6 + a_5 2^5 + a_4 2^4 + a_3 2^3 + a_2 2^2 + a_1 2^1 + a_0 2^0)$$

$$U_{odn} = 2,4V \quad (\dots\dots\dots)$$

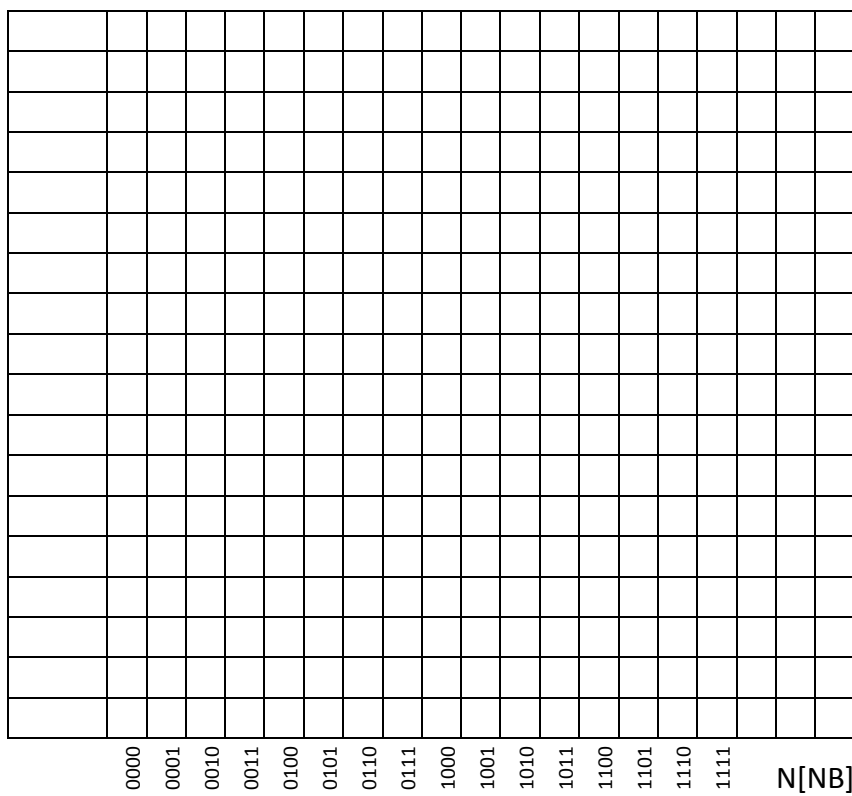
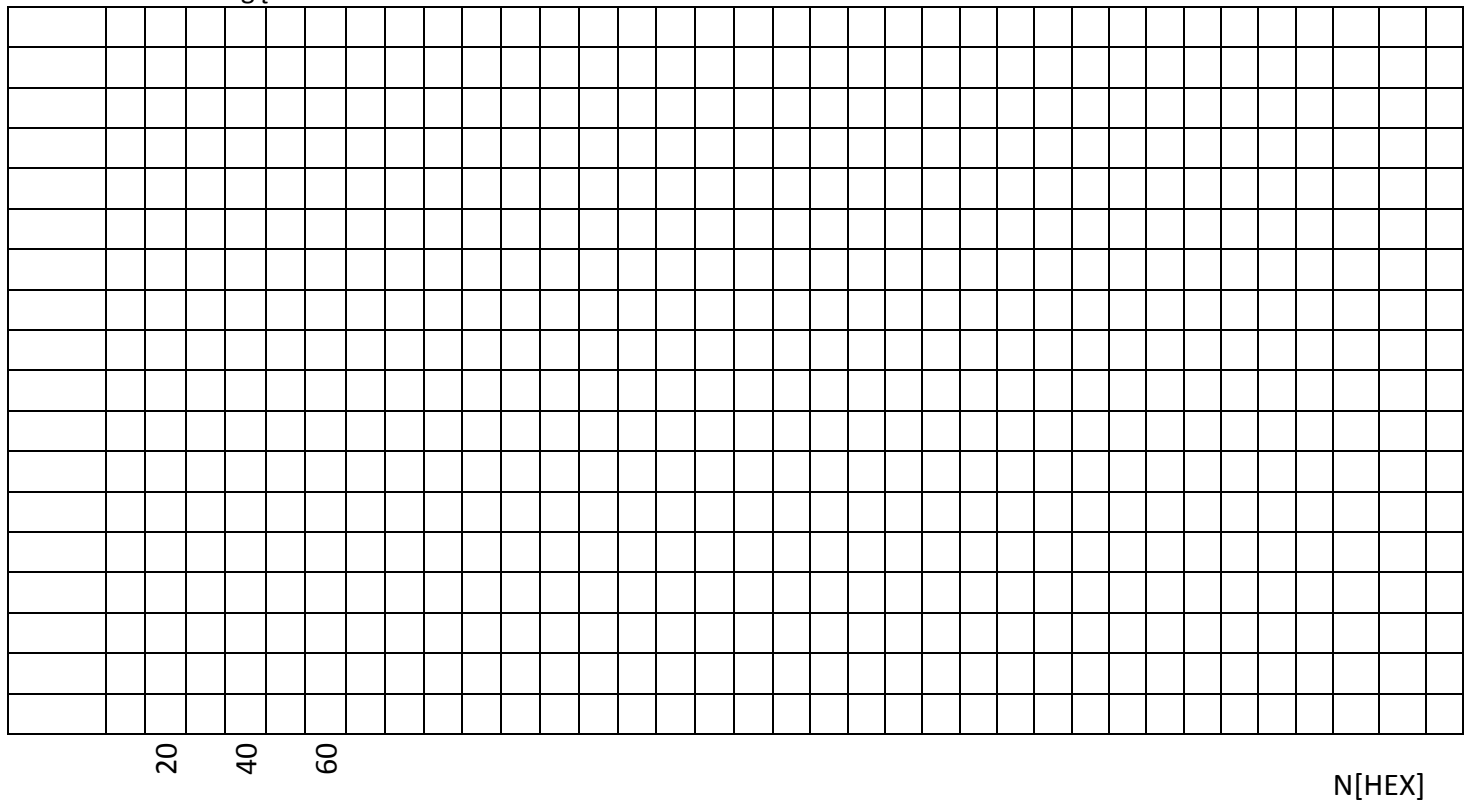
- Narysuj charakterystykę przejściową dla pierwszych 16 wyników (charakterystykę schodkową) i zaznacz błąd kwantyzacji, oraz charakterystykę przejściową dla pełnego zakresu od 0 do 255 przyjmując rozdzielczość 32 (5 bitów).
- Oszacuj błąd kwantyzacji przetwornika.
- Wyjaśnij pojęcia: przetwarzanie analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe, dyskretyzacja i kwantyzacja.

N[NB]																				
1111																				
1110																				
1101																				
1100																				
1011																				
1010																				
1001																				
1000																				
0111																				
0110																				
0101																				
0100																				
0011																				
0010																				
0001																				
0000																				

N[HEX]																				
40																				
20																				

2. **Badanie przetwornika cyfrowo – analogowego DAC0800 (.....)**

- Pomiary do charakterystyki przejściowej przetwornika c/a (cyfrowo – analogowego):
 - ✓ ustawiając stany logiczne na wejściu przetwornika ($D_7 \div D_0$) takie jak w *tabeli 1* odczytaj wartości napięcia wyjściowego przy zwartej zworze **J1**. Wyniki zanotuj w *tabeli 1* w kolumnie U_o .
- Narysuj charakterystyki $U_o = f(N)$:
 - ✓ dla stanów od 0 – 255 przyjmując rozdzielczość 32 (5 bitów),
 - ✓ drugą dla stanów od 0 – 16.



3. Wnioski:

Przetwornik analogowo - cyfrowy

3.1. Omów:

- pojęcie przetwarzanie analogowo-cyfrowe
- etapy przetwarzania sygnału analogowego na cyfrowy (próbkowanie, dyskretyzacja, kwantyzacja, kodowanie)
- od czego zależy dokładność przetwarzania sygnału analogowego na cyfrowy
- jaka metoda przetwarzania została zastosowana w badanym przetworniku A/C (**ADC0804**)
- zestaw podstawowe parametry badanego przetwornika A/C:
 - ✓ rozdzielczość,
 - ✓ rozdzielczość względna
 - ✓ błąd kwantyzacji
 - ✓ dokładność bezwzględna
 - ✓ dokładność względna
- oblicz rozdzielczość i rozdzielczość względną dla przetwornika 10 bitowego jeżeli nominalny pełny zakres przetwarzania $U_{FS} = 10,24[V]$

Przetwornik cyfrowo analogowy

3.2. Omów:

- pojęcie przetwarzanie cyfrowo - analogowe
- jak zbudowany jest badany przetwornik C/A (**DAC0800**)
- zestaw podstawowe parametry badanego przetwornika C/A:
 - ✓ rozdzielczość w [mV] i w [%]
 - ✓ nieliniowość
 - ✓ błąd bezwzględny
 - ✓ błąd względny