

POMIAR CHARAKTERYSTYK NAPIĘCIOWO- PRĄDOWYCH DIOD I CHARAKTERYSTYKI

TEMPERATUROWEJ ZŁĄCZA P-N

POMIAR PODSTAWOWYCH PARAMETRÓW

PRZETWORNIKÓW ANALOGOWO-CYFROWYCH I CYFROWO-ANALOGOWYCH

ĆWICZENIE 3

I. CELE ĆWICZENIA:

Celem ćwiczenia jest nabycie umiejętności planowania i realizacji eksperymentu pomiarowego na przykładzie pomiaru charakterystyk napięciowo-prądowych diod półprzewodnikowych i możliwości wykorzystania złącza półprzewodnikowego do pomiaru wielkości nieelektrycznych – temperatury.

Druga część ćwiczenia ma na celu przybliżenie zasady działania i pomiary podstawowych parametrów przetworników analogowo-cyfrowych i cyfrowo-analogowych

II. ZAGADNIENIA DO PRZYGOTOWANIA

- Podstawowe wiadomości na temat diod półprzewodnikowych – zasada działania, rodzaje diod (w tym diody świecące LED)
- Układy pomiaru prądu i napięcia
- Zasada działania ogniwa Peltiera (grzanie i chłodzenie).
- Metody aproksymacji wyników punktowych funkcją ciągłą
- Przetworniki Analogowo-Cyfrowe i Cyfrowo-Analogowe – zasada działania i właściwości
- Dane techniczne przetworników ADCXXX i DAC 008 dostępne na e-portalu
- Próbkowanie i kwantowanie, błąd kwantowania, rozdzielczość przetwornika, liniowość, układy pracy

III. WYPOSAŻENIE POMIAROWE:

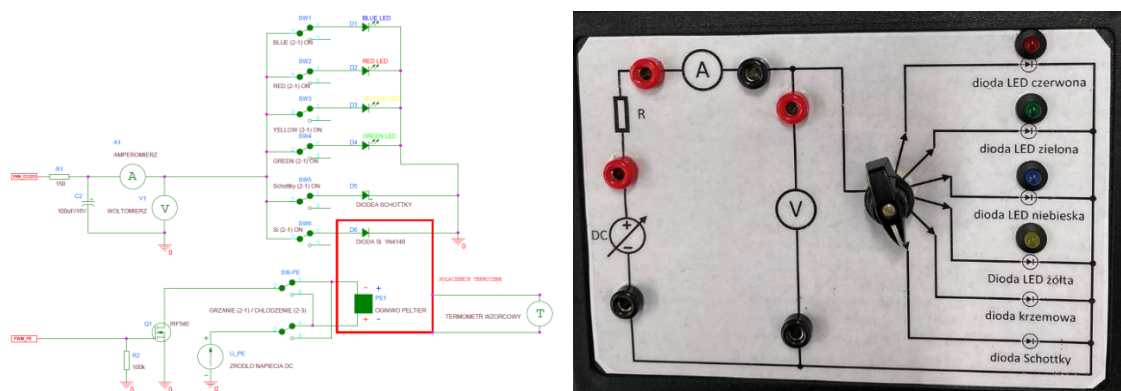
- Regulowany zasilacz napięcia stałego (DC) AX-3005PQ
- Mierniki prądu i napięcia VC8045
- Układ zasilania diod półprzewodnikowych
- Układ grzania-chłodzenia z ogniwnem Peltiera i termometrem
- Diody półprzewodnikowe (Si, Shottky'ego, LED)
- Układ przetwornika analogowo-cyfrowego i cyfrowo-analogowego

Uwaga: Przed przystąpieniem do ćwiczenia należy zweryfikować rodzaj sprzętu dostępny na stanowisku.

IV. PROGRAM ĆWICZENIA

Zadanie 1 - Pomiar charakterystyki prądowo-napięciowej $I=f(U)$ diody półprzewodnikowej.

Do ćwiczenia przygotowano układ zgodny ze schematem z rysunku 1. Układ zabudowano w makiecie – poszczególne diody wybiera się przełącznikiem obrotowym.



Rys. 1. Układ pomiarowy i widok makiety dla Zadania 1.

Do zasilania układu przewidziano zasilacz programowalny z układem sterowania zewnętrznego. Napięcie reguluje się z rozdzielczością 10mV przez obrót pokrętkiem układu zdalnego sterowania do łączonego do zasilacza. Naciśnięcie pokrętła zmienia rozdzielczość nastaw kolejno na 10mV i 100mV. Zasilacz ma ustawione wewnętrzne ograniczenie napięcia wyjściowego do 10V. Pomiar prądu i napięcia na diodach – multimetrem.



Napięcie na wyjściu zasilacza pojawia się tylko po naciśnięciu i podświetleniu szerokiego przycisku „OUTPUT”

Realizacja Zadania 1:

- 1.1. Zestawić układ pomiarowy zgodny z rys.1
- 1.2. Napięcie Zasilacza ustawić na **0,00V**
- 1.3. Pokrętkiem na makiecie wybrać odpowiednią diodę do pomiaru.

Pomiary przeprowadzić dla diody krzemowej (Si), Schottky’ego oraz minimum dwóch wybranych diod LED.

- 1.4. W celu wyznaczenia charakterystyki prądowo napięciowej należy zwiększać napięcie zasilania.
- 1.5. Odczytywać napięcie i prąd płynący przez diodę z multimetrów na stanowisku.

Pomiary wykonywać do uzyskania prądu diody ok. (10-15)mA lub osiągnięcia 10V napięcia zasilacza.

Uwaga: wiedząc, że dioda jest elementem nieliniowym można optymalizować dobór punktów pomiarowych zapisywanych w protokole tak, żeby uzyskać zestaw wyników pozwalający na wystarczająco dokładne odwzorowanie charakterystyki przy możliwie małej liczbie wykonanych pomiarów – np. zagęszczając odstępy między punktami pomiarowymi dla tej

części charakterystyki, gdzie występuje duży gradient zmian, a tam gdzie zmiany są niewielkie – odstępy między punktami mogą być większe.

1.6. Procedurę z punktu 1.5 powtórzyć dla kolejnych diod.

Uwaga: W sprawozdaniu należy wyznaczyć graficznie charakterystykę prądowo-napięciową $I=f(U)$ oraz oszacować niepewności pomiarów. Spróbować określić charakterystyczne fragmenty charakterystyki diody oraz spróbować aproksymować te fragmenty funkcjami analitycznymi (np. wykorzystując funkcję „dodaj linię trendu w Excelu”).

Zadanie 2 - Charakterystyka temperaturowa złącza półprzewodnikowego (diody)

Półprzewodnikowe złącze P-N jest wrażliwe na zmiany temperatury – to znaczy charakterystyka prądowo-napięciowa złącza zmienia się wraz ze zmianą temperatury, zmiany te są powtarzalne i charakterystyczne dla danego rodzaju złącza P-N. Oznacza to, że np. napięcie na diodzie przy stałym prądzie płynącym przez tą diodę będzie się zmieniało przy zmianach temperatury złącza P-N. Wykorzystując tę właściwość można np. wykorzystać takie złącze/diodę jako czujnik temperatury.

Do ćwiczenia przygotowano układ zgodny z dolną, zakreśloną częścią rysunku 1. Dioda krzemowa Si jest sprężona termicznie z ogniwnem Peltiera i czujnikiem termometru cyfrowego. Przez zmianę kierunku napięcia zasilającego ogniwo Peltiera uzyskuje się grzanie lub chłodzenie powierzchni ogniwa i tym samym diody poddanej badaniu. Sterowanie odbywa się z układu zasilania (Rys. 2) – przy użyciu potencjometru. Zmiana wartości napięcia pozwala uzyskać różne temperatury – zaleca się wybranie po 4 położenia potencjometru dla grzania i chłodzenia.

Uwaga – ogniwo Peltiera i radiator mogą osiągnąć temperaturę ponad 60°C – nie wolno dotykać radiatora w czasie pracy i co najmniej kilka minut po zakończeniu pomiarów – grozi poparzeniem



Rys. 2 Układ pomiarowy zadania 2

Realizacja Zadania 2:

- 2.1. Na makiecie przełącznikiem obrotowym wybrać diodę krzemową
- 2.2. Ustawić napięcie o wartości **minimalnej – pokręćło potencjometru maksymalnie w prawą stronę.**
- 2.3. Włączyć zasilanie modułu grzania/chłodzenia (wyłącznik 0-1)
- 2.4. Wybrać tryb **Chłodzenie**
- 2.5. Sterując napięciem zasilacza programowalnego ustawić prąd płynący przez diodę na wartość najbliższą 1,0 mA (lub inną zadaną przez Prowadzącego).
- 2.6. Odczytać temperaturę i napięcie na diodzie (mierniki VC8045).
- 2.7. Zwiększyć napięcie zasilania modułu grzania/chłodzenia – potencjometr
Poczekać do momentu ustabilizowania się temperatury. Termometr odświeża swoje wskazania co ok. 15 sekund – za ustabilizowaną temperaturę można uznać trzy kolejne odczyty nie różniące się o więcej niż 0,5° C. **Jednocześnie należy kontrolować prąd diody i w razie potrzeby skorygować go do wartości z punktu 2.4** (Zasilacz programowalny).
- 2.8. Po ustabilizowaniu wskazania temperatury zapisać napięcie na diodzie.
- 2.9. Powtórzyć powyższe dla kolejnych położeń potencjometru aż do uzyskania pełnego napięcia zasilania – potencjometr w lewym skrajnym położeniu.
Uwaga: przy nastawie maksymalnego chłodzenia należy dokładnie obserwować temperaturę, ponieważ istnieje możliwość, że po osiągnięciu wartości minimalnej – po chwili temperatura zacznie wzrastać mimo ciągłego chłodzenia – w takiej sytuacji należy od razu odczytać wskazania. Po zakończeniu pomiarów w trybie Chłodzenie – ustawić napięcie grzania/chłodzenia na minimum – potencjometr – prawe skrajne położenie.
- 2.10. Przełączyć przełącznik na **Grzanie** i zwiększyć napięcie - potencjometr a następnie wykonać p. 2.8
- 2.11. Powtórzyć pomiary analogicznie jak przy chłodzeniu z punktu 2.6 aż do grzania na wartości maksymalnej.

Uwaga 1: jeżeli pomiary zostaną zrealizowane sprawnie – można powtórzyć całą procedurę dla uzyskania drugiej serii pomiarów i porównania wyników.

*Uwaga 2: W sprawozdaniu należy graficznie wyznaczyć zależność napięcie na diodzie od temperatury i wyznaczyć temperaturowy współczynnik zmian napięcia $T_{coef} = \Delta U / \Delta T$ [mV/°C]. Współczynnik wyznaczyć jako linię trendu z wykresu z pomiarami oraz punktowo dla kilku par punktów np. $T_{coef1} = (U_{25\%cold} - U_{75\%heat}) / (T_{25\%cold} - T_{75\%heat})$. Oszacować niepewność pomiarów i wyznaczania T_{coef} , przeanalizować wyniki i **wyciągnąć wnioski.***

Zadanie 3 - Przetworniki Analogowo-Cyfrowe i Cyfrowo-Analogowe

Celem tej części ćwiczenia jest zbadanie własności przetworników ADC i DAC i ich podstawowych parametrów na podstawie pomiarów. Oprócz niezależnego badania przetwornika ADC i DAC – pomiarom zostanie poddany układ kaskadowego połączenia tych przetworników – podwójne przetwarzanie ADC-DAC analogowego napięcia wejściowego przez jego cyfrową reprezentację na wyjściu ADC do analogowego napięcia wyjściowego przetwornika DAC.

Wprowadzenie

Zastosowane w ćwiczeniu przetworniki scalone, są przetwornikami bezpośrednimi 8-bitowymi, o przetwarzaniu statycznym napięć DC w sposób unipolarny, a zatem dla napięcia równego 0V otrzymujemy kod NBC = 00000000, a dla wartości pełnej skali pomniejszonej o wartość 1LSB= q , otrzymujemy kod NBC = 11111111. W przetworniku ADC różnica między nominalną a rzeczywistą wartością zakresu przetwarzania wynika z faktu, że w ADC n -bit jednym z 2^n możliwych stanów wyjściowych jest stan zerowy, tak więc istnieje tylko 2^n-1 przedziałów kwantowania, a więc, możemy zapisać, że U_{inADC_MAX} będzie równe:

$$U_{inADC_MAX} = U_{REF} \frac{2^n - 1}{2^n} = q(2^n - 1) = U_{REF} - q, \text{ gdzie } U_{REF} = 2^n q$$

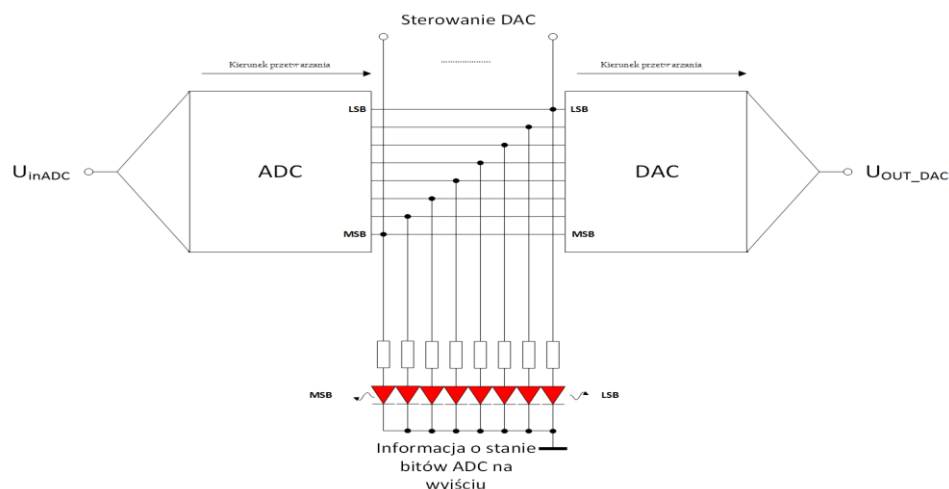
W przypadku przetwornika DAC podobnie, jak w przetworniku ADC n -bitowym, wartość minimalna teoretyczna na wyjściu dla 1LSB jest określana za pomocą wzoru:

$$\frac{U_{REF}}{2^n} = q, \text{ gdzie } U_{REF} \text{ jest to napięcie odniesienia równe } 10V.$$

Natomiast wartość napięcia na jego wyjściu (DAC – unipolarny) jest syntezowana za pomocą wzoru:

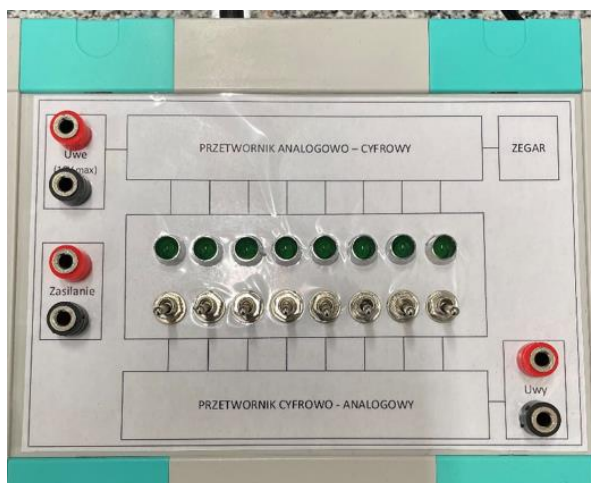
$$U_{OUT_DAC} = U_{REF} \sum_{k=1}^n \frac{a_k}{2^k}, \text{ gdzie } a_k \text{ – jest wektorem danych binarnych, tak że: } MSB=a_1, \dots, LBS=a_n$$

Każde a_k , wektora danych binarnych, może przyjmować wartości 0 lub 1.



Rys. 1. Schemat blokowy układów przetworników ADC i DAC 8-bitowych połączonych, do pomiarów parametrów autonomicznych przetworników ADC, lub DAC i kaskadowego przetwarzania ADC-DAC.

Zasada działania modułu laboratoryjnego do pomiaru przetworników ADC i DAC



Rys. 2. Widok modułu przetwornika ADC - DAC

Moduł przetwornika ADC i DAC wykorzystywany w ćwiczeniu jest sterowany bezpośrednio: Przetwornik **ADC** - przez doprowadzenie napięcia wejściowego z zasilacza programowalnego i odczyt wyjścia przetwornika na diodach świecących na obudowie modułu. Przetwornik **DAC** - przez ustawienie zadanego słowa bitowego na wejściu przetwornika DAC przełącznikami hebelkowymi na obudowie modułu. Przełącznik hebelkowy w dół – bit ustawiony na „0” (dioda LED nie świeci), – w górę – bit ustawiony na „1” (dioda LED świeci). Napięcie wyjściowe DAC odczytuje się na woltomierzu dołączonym do wyjścia DAC.

WAŻNE: Przełączniki hebelkowe nadpisują stany logiczne magistrali łączącej oba przetworniki, więc w trybie pomiaru **ADC** należy wszystkie przełączniki przełączyć do stanu niskiego (w dół, dioda LED jest wygaszona), a w trybie pomiaru **DAC** należy odłączyć zasilacz od wejścia przetwornika ADC, lub ustawić jego napięcie na 0,00V i za pomocą przełączników hebelkowych podawać zadane stany na wejście przetwornika DAC.

Przetworniki ADC i DAC mogą być badane autonomicznie, jak i w połączeniu kaskadowym ADC-DAC w celu badania przetwarzania napięcia U_{inADC} na napięcie U_{OUT_DAC} .

Na rys. 2, przedstawiono widok panelu sterowania przetwornikiem DAC, wprowadzając w tryb pracy, bądź ADC – napięcie z zasilacza laboratoryjnego sterowane podawane jest na wejście U_{inADC} i przetworzone na postać binarną wyświetlaną za pomocą diod LED, bądź DAC – w tym przypadku 8-mio bitowe słowo wejściowe przetwornika jest ustawienie za pomocą 8-iu włączników hebelkowych znajdujących się na module z przetwornikami. Natomiast odczytu wytworzonego napięcia U_{OUT_DAC} przez przetwornik DAC, dokonujemy za pomocą multimetru laboratoryjnego.

Realizacja Zadania 3:

3. Pomiary przetwornika Analogowo-Cyfrowego (ADC)

Przełączyć wszystkie przełączniki hebelkowe w dół (diody LED wygaszone), podłączyć zasilacz do wejścia przetwornika Uwe na makiecie.

3.1. Pomiar czułości przetwornika ADC.

3.1.1. Z zasilacza programowalnego podać napięcie U_{inADC} od wartości 0.00 V do takiej (jak najmniejszej) wartości przy której dioda LED odpowiadająca bitowi LSB zapali się a, reszta diod **nie świeci**.

3.1.2. Pomiary powtórzyć kilka razy – zwiększając napięcie do momentu zapalenia diody oraz obniżając do momentu jej zgaśnięcia.

3.1.3. Analogiczne pomiary przeprowadzić dla kilku innych wyższych napięć wejściowych (wyznaczając ziarno przy większej wartości napięcia).

Czułość, w tym przypadku, będzie wyznaczona jako różnica napięć powodująca zmianę na wyjściu przetwornika o 1 bit.

Uwaga 1: W sprawozdaniu wyniki porównać z teorią, znając rozdzielczość przetwornika n -bit i napięcie odniesienia. Oszacować niepewność takich pomiarów, przeanalizować wyniki i wyciągnąć wnioski.

Uwaga 2: Różnica $q = 1LSB$ pomiędzy kolejnymi sąsiednimi wartościami nazywa się szerokością przedziału kwantowania lub po prostu przedziałem kwantowania albo potocznie „ziarnem przetwornika”.

3.2. Pomiar liniowości przetwornika ADC i parametrów przetwarzania skali.

3.2.1. Podać z zasilacza napięcie na wejście U_{inADC} o wartościach $U_{inADC}=0$; $1/8UR$; $1/4UR$; $1/2UR$; $3/4UR$ i UR , (gdzie napięcie UR jest napięciem pełnej skali ADC, równym 10V).

3.2.2. Zapisać wartości binarne wyświetlone za pomocą diod LED przez przetwornik, odpowiadające nastawionym wartościom analogowym (wartości napięcia).

Uwaga: W sprawozdaniu wyniki porównać z teorią znając rozdzielczość przetwornika i napięcie odniesienia, sporządzić wykres teoria - pomiar. Określić błąd kwantowania przetwornika uzyskany z pomiarów i porównać go z teorią.

3.3. Wyznaczanie binarnego stanu wyjściowego przetwornika ADC.

3.3.1. Podać na wejście wyznaczone teoretycznie napięcie odpowiadające wybranemu stanowi binarnemu wyjść przetwornika.

(np. wyznaczyć jakie napięcie należy podać dla uzyskania 00101101).

3.3.2. Zapisać rzeczywisty stan wyjściowy binarny wyświetlony na LED-ach przetwornika ADC.

Jeżeli rzeczywiste wskazanie binarne różni się od oczekiwanego - zmieniając precyzyjnie napięcie wejściowe doprowadzić wyjście do stanu oczekiwanego i zapisać wartość napięcia.

3.3.3. Następnie zmieniać napięcie wejściowe do uzyskania zmiany stanu wyjściowego o 1bit powyżej i poniżej wartości zadanej.

3.3.4. Zapisać wyniki.

Uwaga: W sprawozdaniu wyniki przeanalizować i porównać z wartościami teoretycznymi. Oszacować błąd kwantowania. Porównać z wartościami wyznaczonymi teoretycznie. Określić różnicę napięć między wartością wyznaczoną teoretycznie a rzeczywistym napięciem niezbędnym do uzyskania oczekiwanego stanu wyjścia.

4. Pomiary przetwornika Cyfrowo-Analogowego (DAC)

Przed przystąpieniem do punktu należy wyłączyć zasilanie przez ustawienie napięcia zasilacza na 0,00V lub odłączyć przewody z wejścia U_{in} .

4.1. Pomiar ziarna przetwarzania przetwornika DAC

4.1.1. Przełącznikami hebelkowymi na module ADC/DAC ustawić wartość binarną na jego wyjściu na 00000000 a następnie kolejno na 00000001, 00000010 i 00000011.

- 4.1.2. Zmierzyć napięcia stałe na wyjściu przetwornika DAC U_{OUT_DAC} odpowiadające kolejnym ustawieniom.
- 4.1.3. Pomiary powtórzyć dla kilku innych nastaw wejścia przetwornika np. z okolic $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ czy $\frac{3}{4}$ skali.
- 4.1.4. Określić ziarno przetwarzania w tych punktach.

Uwaga: W sprawozdaniu wyniki porównać z wartościami wyznaczonymi teoretycznie.

4.2. Pomiar liniowości przetwornika DAC

- 4.2.1. Ustawić wartość binarną na jego wejściu na 00000000 następnie 11111111, oraz kilkanaście innych wartości dla różnych punktów skali.
- 4.2.2. Zanotować napięcia wyjściowe przetwornika i porównać z teorią.

W sprawozdaniu określić graficznie liniowość przetwarzania – narysować wykres U_{OUT_DAC} w funkcji wartości bitowej na wejściu i oszacować odchylenia otrzymanego wykresu od funkcji liniowej (wykorzystując np. funkcję „dodaj linię trendu” w EXCELU). Wykonać również analizy punktowe – dla wybranych par wartości – analogicznie jak dla współczynnika temperaturowego diody w Zadaniu 2.

5. Pomiary toru przetwornik Analogowo-Cyfrowy i Cyfrowo-Analogowy (ADC-DAC)

(podwójne przetwarzania – napięcie na słowo bitowe i to słowo bitowe z powrotem na napięcie)

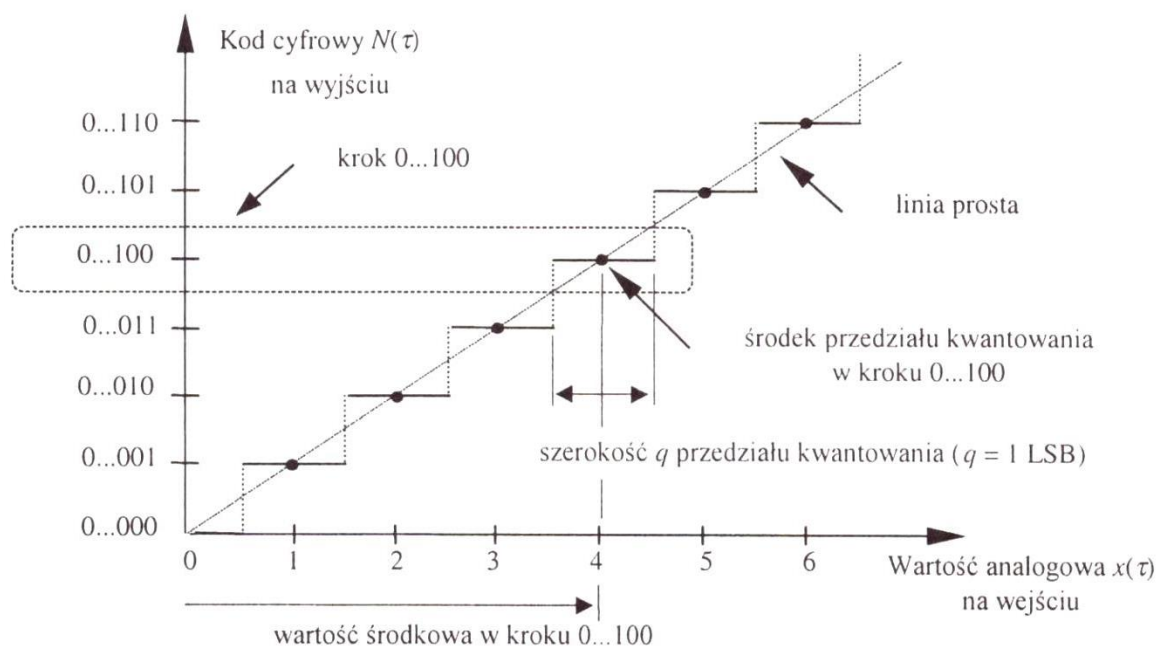
Przełączyć wszystkie przełączniki hebelkowe w dół (diody LED wygaszone), podłączyć zasilacz do wejścia przetwornika Uwe na makiecie.

- 5.1.1. Z zasilacza programowalnego podać szereg napięć między 0 V a 10 V na wejście U_{inADC} przetwornika ADC (wybrać napięcia samemu lub uzgodnić z Prowadzącym).
- 5.1.2. Zmierzyć dla każdego napięcia wejściowego napięcie na wyjściu U_{OUT_DAC} przetwornika DAC.
- 5.1.3. Sprawdzić rozdzielczość przetwarzania przez zmianę napięcia wejściowego w zakresie 1 bita przetwornika ADC i analizując zmianę napięcia wyjściowego przetwornika DAC (np. ustawić napięcie wejściowe 4V i zmieniać co 10mV aż do zmiany stanu ADC o 1 bit) – oszacować największy błąd takiego przetwarzania

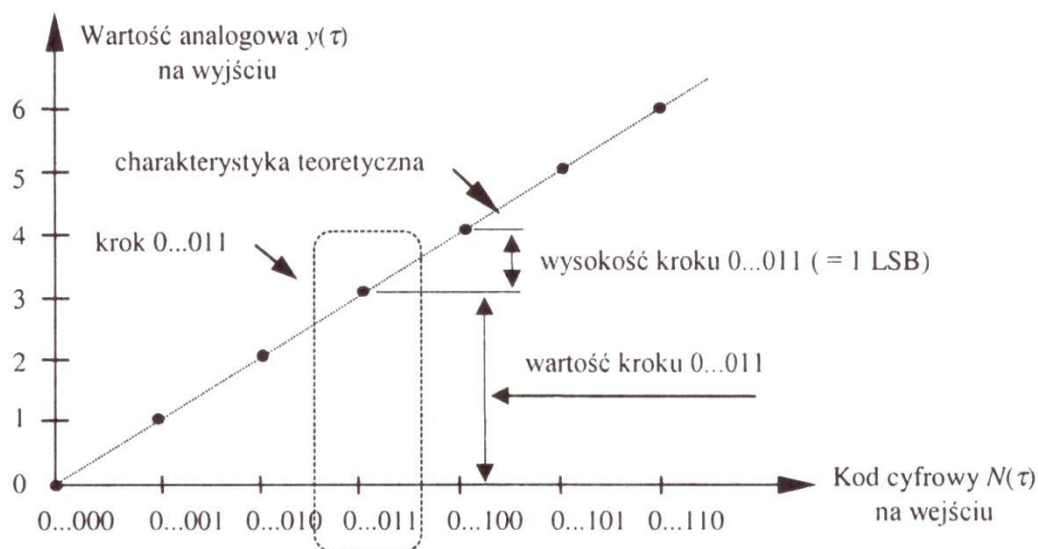
Uwaga: W sprawozdaniu oszacować liniowość i błędy przetwarzania, porównać z wartościami wyznaczonymi teoretycznie na podstawie parametrów przetworników. Ponadto sporządzić wykres U_{inADC} do U_{OUT_DAC} .

Dodatek informacyjny

Charakterystyki przetwarzania idealnych przetworników ADC i DAC.



Rys. 3. Charakterystyka przetwarzania idealnego przetwornika ADC.



Rys. 4. Charakterystyka przetwarzania idealnego przetwornika DAC.