

Politechnika  Białostocka

Wydział Elektryczny

Katedra Telekomunikacji i Aparatury Elektronicznej

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu:

Przetwarzanie Sygnałów

Kod: TS1A400027

Temat ćwiczenia:

**Badanie charakterystyk czasowych i częstotliwościowych
podstawowych typów filtrów cyfrowych**

Opracował: dr inż. Dariusz Jańczak

Białystok 2014

Temat: Badanie charakterystyk czasowych i częstotliwościowych podstawowych typów filtrów cyfrowych

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poszerzenie wiedzy studentów oraz nabycie przez nich umiejętności z zakresu analizy prostych układów przetwarzania sygnałów w dziedzinie czasu i częstotliwości, przy użyciu odpowiednich narzędzi sprzętowych i programowych. W ramach zajęć studenci nabywają umiejętność realizacji sprzętowej prostych cyfrowych układów przetwarzania sygnałów oraz umiejętność wykonania pomiarów ich charakterystyk. Jednocześnie poprzez prowadzone badania, studenci w sposób eksperymentalny potwierdzają i rozszerzają nabytą wcześniej wiedzę na temat właściwości podstawowych typów filtrów cyfrowych w dziedzinie czasu i częstotliwości. Studenci doskonają także umiejętność opracowania dokumentacji dotyczącej realizacji zadania inżynierskiego wraz z omówieniem wyników.

2. Zagadnienia do opracowania przed przystąpieniem do zajęć

2.1 Przed przystąpieniem do zajęć należy opracować (na podstawie materiałów z wykładu "Przetwarzanie Sygnałów 1") następujące zagadnienia teoretyczne:

- wyznaczanie odpowiedzi impulsowej filtrów;
- znaczenie praktyczne odpowiedzi impulsowej filtrów;
- metody wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych (w sposób teoretyczny i sprzętowy);
- znaczenie praktyczne charakterystyk częstotliwościowych (amplitudowych i fazowych);
- struktury cyfrowych filtrów NOI oraz SOI (transwersalnych);
- transmitancyjny opis filtrów cyfrowych.

2.2 Przed przystąpieniem do zajęć należy opracować następujące zagadnienia obliczeniowe:

- wyznaczyć odpowiedź impulsową cyfrowego filtra rekurencyjnego pierwszego rzędu o współczynniku $m=0,5$ oraz odpowiedź impulsową filtra transwersalnego rzędu $N=6$ o równomiernych współczynnikach $b_0=b_1=\dots=b_6=0,2$ (patrz przykłady zamieszczone

w materiałach z wykładu "Przetwarzanie Sygnałów 1");

- wyznaczyć analitycznie charakterystykę amplitudową filtra rekurencyjnego pierwszego rzędu o ułamkowym dodatnim i ujemnym współczynniku (patrz Dodatek 1);
- posługując się wyznaczonymi w poprzednim punkcie charakterystykami amplitudowymi dla filtra rekurencyjnego pierwszego rzędu o współczynniku $m=0,5$ oraz przyjmując częstotliwość próbkowania $f_d=1kHz$ wyznaczyć amplitudy sygnałów na wyjściu filtra (podać również rodzaj tych sygnałów), jeśli na wejściu podawane są sygnały sinusoidalne o częstotliwościach: $f_s \in \{1Hz, 250Hz, 500Hz, 1kHz, 1,25kHz\}$.
- wyznaczyć analitycznie charakterystykę amplitudową filtra transwersalnego rzędu $N=6$ o równomiernych współczynnikach (patrz Dodatek 2).

3. Program ćwiczeń

Zbadać odpowiedzi impulsowe i skokowe oraz charakterystyki częstotliwościowe następujących filtrów cyfrowych:

3.1. Rekurencyjny filtr pierwszego rzędu przy różnych wartościach sprzężenia zwrotnego (np.: $m = -1.0 ; -0.5 ; 0.8 ; 1.0 ; 2.0$)

(przyjąć okres próbkowania $T_d = 0,2ms$, czyli $f_d = 5kHz$)

3.3. Filtr transwersalny z odczepami równomiernymi

Zaobserwować charakterystyki filtra transwersalnego o odczepach równomiernych (o wybranym $N \in \{6, 7, \dots, 10\}$).

Następnie przeprowadzić badania zmian charakterystyk filtra w zależności od jego rzędu oraz wzmocnień w odczepach.

Przeprowadzić badania dla filtrów uśredniających o różnych szerokościach okna uśredniania.

3.2. Rezonator cyfrowy

$$H(z) = \frac{1 - e^{-\alpha T_d} \cos(\omega_0 T_d) z^{-1}}{1 - 2e^{-\alpha T_d} \cos(\omega_0 T_d) z^{-1} + e^{-2\alpha T_d} z^{-2}}$$

gdzie ω_0 - pulsacja drgań własnych, α - współczynnik tłumienia, T_d okres próbkowania

$$b_0 = 1$$

$$b_1 = -e^{-\alpha T_d} \cos(\omega_0 T_d)$$

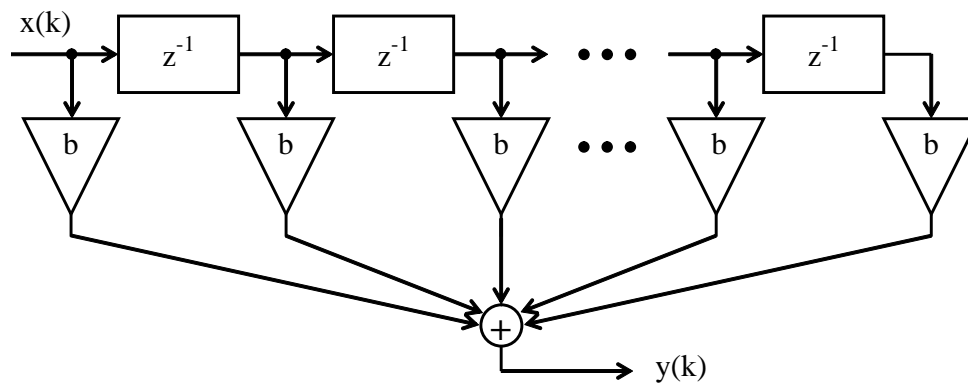
$$b_2 = 0$$

$$a_1 = -2e^{-\alpha T_d} \cos(\omega_0 T_d)$$

$$a_2 = e^{-2\alpha T_d}$$

ω_0 - pulsacja drgań własnych, α - współczynnik tłumienia, T_d okres próbkowania

c) Filtr transwersalny z odczepami równomiernymi



Transmitancja filtra:

$$H_1(z) = b + bz^{-1} + bz^{-2} + \dots + bz^{-N},$$

gdzie $b = \frac{1}{N+1}$

4.2 Badania symulacyjne

Badania symulacyjne należy przeprowadzić w środowisku programu Matlab-Simulink.

Odpowiedzi impulsowe należy wyznaczyć korzystając z programu Simulink, natomiast wymagane charakterystyki częstotliwościowe można uzyskać w środowisku Matlab korzystając z funkcji:

- freqz(L,M,Pf,Fd) - odpowiedź częstotliwościowa filtru cyfrowego

gdzie L, M - licznik, mianownik transmitancji

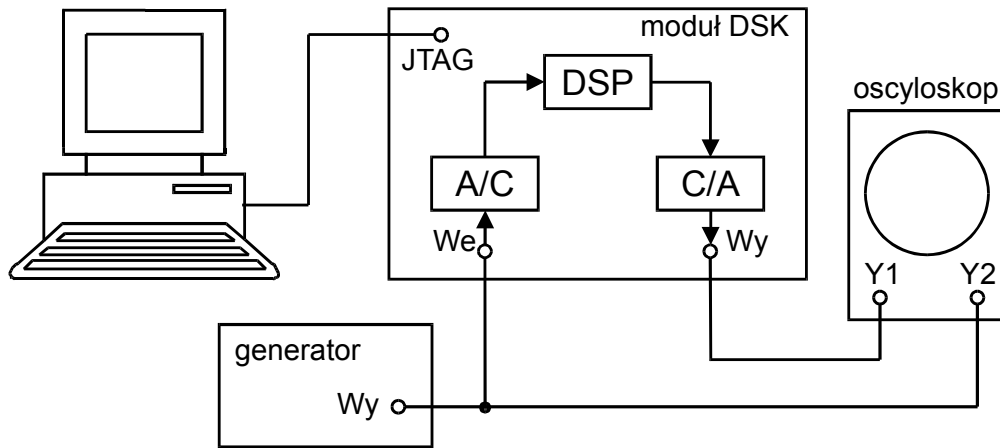
Pf - wektor punktów w których liczona jest odpowiedź

Fd - częstotliwość próbkowania w Hz

np. freqz([1], [1, -.2], 100:10:1000, 5000)

4.3 Badania sprzętowe

Sprzętowe badania eksperymentalne należy przeprowadzić w laboratoryjnym układzie DSP połączonym według poniższego schematu.

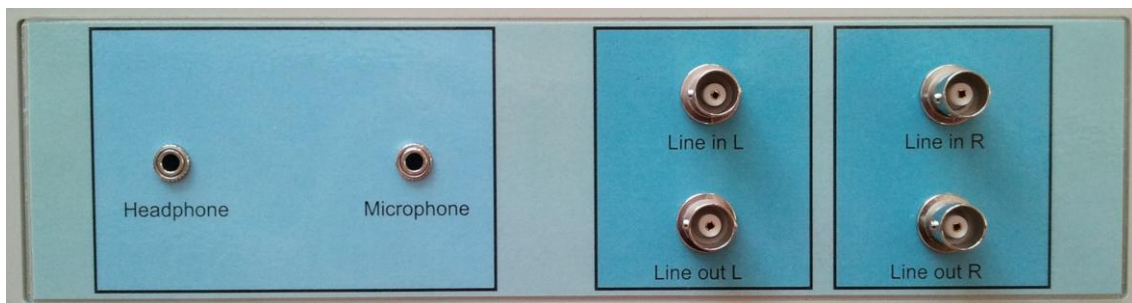


Rys. 1. Schemat połączeń stanowiska laboratoryjnego DSP

Uwaga!

Przed dołączeniem generatora do układu DSK upewnić się, że amplituda sygnału nie przekracza 1V.

W ćwiczeniu należy wykorzystać kanał lewy (patrz rys.2.: "Line in L" - wejście, "Line out L" - wyjście).



Rys. 2. Widok płyty czołowej modułu

Po połączeniu układu pomiarowego, należy w środowisku Matlab uruchomić program *filtr_DSP.m* (znajdujący się w katalogu *d:\PS*). Program ten służy do zmiany parametrów filtrów realizowanych przez moduł DSP. Transmitancję filtra można wprowadzić w trybie dialogowym (wywołanie: *filtr_DSP*) lub przez podanie odpowiednich parametrów podczas wywołania:

$$\text{filtr_DSP}(L, M, fd)$$

gdzie L , M - licznik i mianownik transmitancji, fd - częstotliwość próbkowania podana w Hz.

Przykłady: `filtr_DSP ([1], [1, -.5], 5000)` %filtr rekursywny
 `filtr_DSP([.5 .5 .5 .5], 1, 5000)` %filtr transwersalny

Program `filtr_DSP.m` automatycznie generuje plik konfiguracyjny `dane.dat` i zapisuje go w odpowiednim katalogu projektu DSP.

Kolejnym krokiem jest uruchomienie środowiska Code Composer Studio i otwarcie projektu `PS_lab4.plt` znajdującego się w katalogu `d:\PS\PS_lab4`. Projekt należy poddać kompilacji i linkowaniu oraz załadować do modułu DSP (czynności te realizuje polecenie `REBUILD ALL`). Jeśli nie zostały zgłoszone błędy można uruchomić program (polecenie `RUN`). Każdorazowa zmiana parametrów filtrów poprzez program `filtr_DSP.m` wymaga powtórzenia poleceń: `REBUILD` oraz `RUN`.

Odpowiedzi impulsowe należy obserwować przy następujących ustawieniach:

a) ustawienia modułu DSP:

- częstotliwość próbkowania: 5kHz

b) ustawienia generatora:

- przebieg impulsowy
- powtarzanie 10ms
- poziom maksymalny HiLev=1V
- poziom minimalny LoLev=0V
- szerokość impulsu 200 μ s

Uwaga: po zmianach ustawień generatora należy przy pomocy oscyloskopu sprawdzić, czy przebieg generowany jest prawidłowo.

Odpowiedzi czasowe filtrów należy zaobserwować na oscyloskopie, po czym można je przenieść do komputera PC za korzystając z programu `freecapture`.

5. Sprawozdanie powinno zawierać:

- odpowiedzi czasowe badanych filtrów cyfrowych wraz z analizą ich zależności od parametrów filtrów;
- charakterystyki amplitudowe i fazowe badanych filtrów cyfrowych wraz z analizą ich zależności od parametrów filtrów;

- porównanie charakterystyk obliczonych analitycznie, wyznaczonych symulacyjnie i na laboratoryjnym stanowisku DSP;
- uwagi i wnioski nasuwające się w trakcie wykonywania ćwiczenia.

6. Wymagania BHP

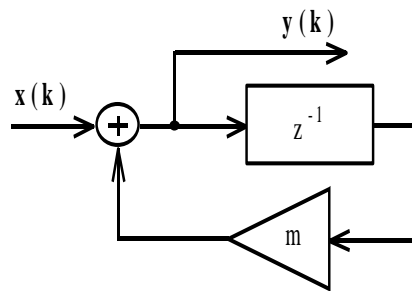
W trakcie realizacji programu ćwiczenia należy przestrzegać zasad omówionych we wstępie do ćwiczeń, zawartych w: „Regulaminie porządkowym w laboratorium” oraz w „Instrukcji obsługi urządzeń elektronicznych znajdujących się w laboratorium z uwzględnieniem przepisów BHP”. Regulamin i instrukcja są dostępne w pomieszczeniu laboratoryjnym w widocznym miejscu.

7. Literatura:

1. Lyons R., *Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów*, WKŁ, Warszawa, 2010.
2. Zieliński T., *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów: od teorii do zastosowań*, WKŁ, Warszawa, 2009.
3. Stranneby D., *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów: metody, algorytmy, zastosowania*, BTC, Warszawa, 2004
4. Smith S. W., *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów: praktyczny poradnik dla inżynierów i naukowców*, Wydawnictwo BTC, Warszawa, 2007.

Dodatek 1

Charakterystyki częstotliwościowe filtru rekursywnego pierwszego rzędu $H(z) = \frac{1}{1 - m \cdot z^{-1}}$:



$$H(e^{j\omega}) = \frac{1}{1 - m \cdot e^{-j\omega T_d}} = \frac{1}{(1 - m \cdot \cos(\omega T_d)) + j \cdot m \cdot \sin(\omega T_d)}$$

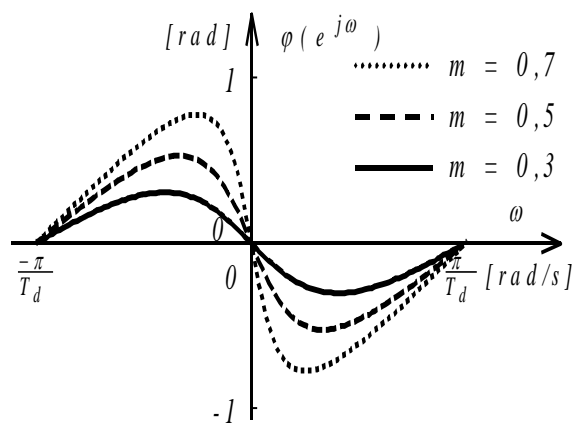
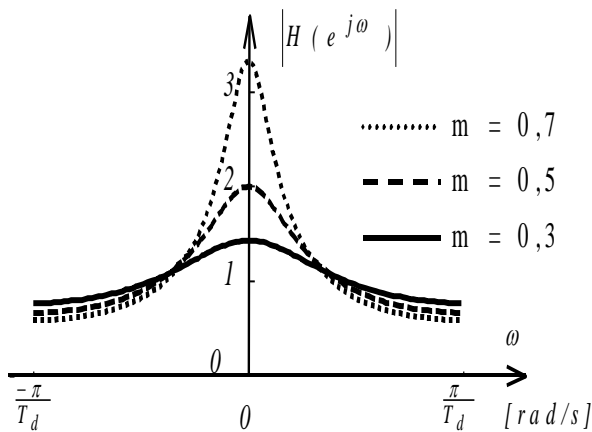
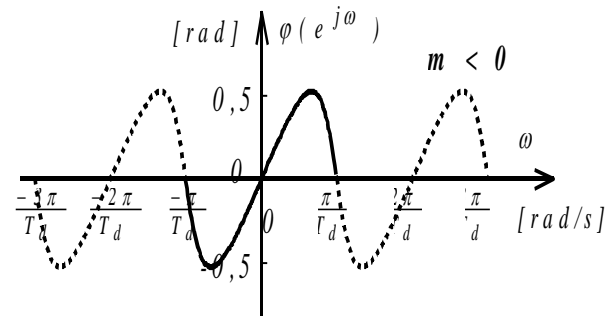
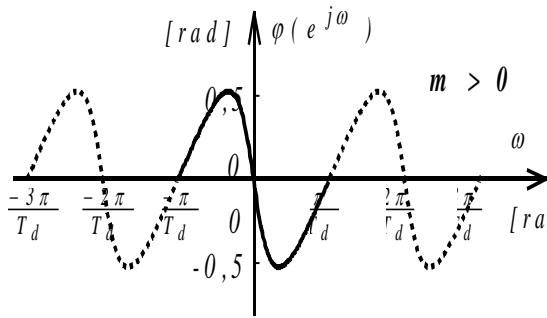
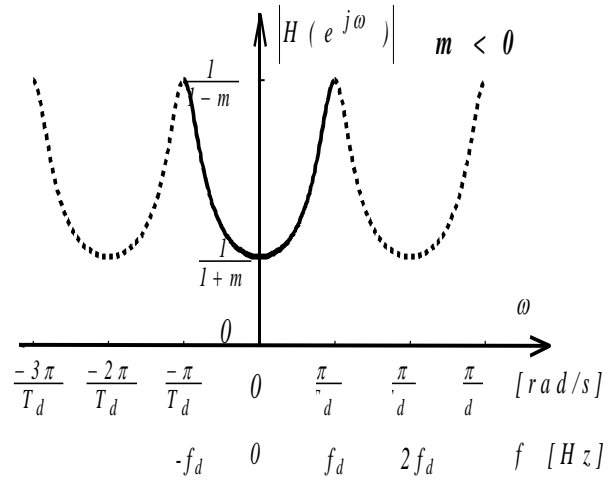
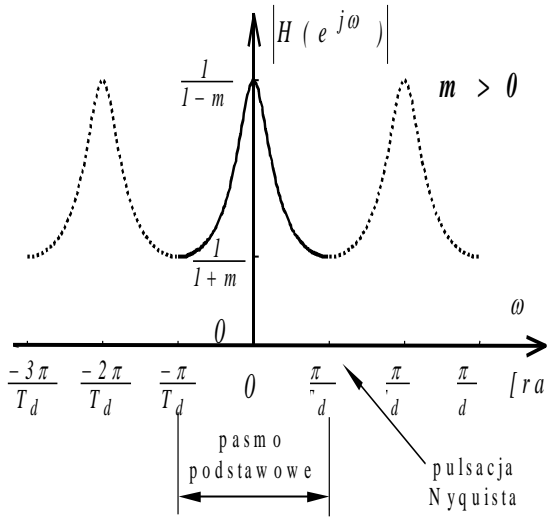
$$|H(e^{j\omega})| = \frac{1}{\sqrt{(1 - m \cdot \cos(\omega T_d))^2 + m^2 \sin^2(\omega T_d)}} = \frac{1}{\sqrt{1 + m^2 - 2m \cdot \cos(\omega T_d)}}$$

$$\varphi(e^{j\omega}) = \arg(H(e^{j\omega})) = 0 - \operatorname{arctg} \frac{m \cdot \sin(\omega T_d)}{1 - m \cdot \cos(\omega T_d)}$$

ω	$0 + (n \cdot \frac{2\pi}{T_d})$	$\frac{\pi}{2T_d} + (n \cdot \frac{2\pi}{T_d})$	$\frac{\pi}{T_d} + (n \cdot \frac{2\pi}{T_d})$
$ H(e^{j\omega}) $	$\frac{1}{ 1 - m }$	$\frac{1}{\sqrt{1 + m^2}}$	$\frac{1}{ 1 + m }$
$\varphi(e^{j\omega})$	0	$-\operatorname{arctg}(m)$	0

$$n = \dots, -1, 0, 1, \dots$$

f_d, T_d - częstotliwość, okres próbkowania ($f_d = \frac{1}{T_d}$)



Dodatek 2.

Charakterystyki częstotliwościowe filtra transwersalnego uśredniającego $N + 1$ kolejnych próbek sygnału wejściowego (uśrednianie w przesuwającym się oknie).

Równanie różnicowe:

$$y(k) = \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N x(k-n)$$

$$Y(z) = \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N z^{-n} \cdot X(z) = \frac{1}{N+1} \cdot \frac{1-z^{-(N+1)}}{1-z^{-1}} \cdot X(z)$$

$$H(z) = \frac{1}{N+1} \cdot \frac{1-z^{-(N+1)}}{1-z^{-1}}$$

$$H(e^{j\omega}) = \frac{1-e^{-j(N+1)\omega T_d}}{(N+1)(1-e^{-j\omega T_d})} = \frac{1-\cos((N+1)\omega T_d) + j\sin((N+1)\omega T_d)}{(N+1)[1-\cos(\omega T_d) + j\sin(\omega T_d)]}$$

$$\begin{aligned} |H(e^{j\omega})| &= \frac{\sqrt{[1-\cos((N+1)\omega T_d)]^2 + \sin^2((N+1)\omega T_d)}}{\sqrt{(N+1)^2[(1-\cos(\omega T_d))^2 + \sin^2(\omega T_d)]}} = \frac{1}{N+1} \cdot \frac{\sqrt{2-2\cos((N+1)\omega T_d)}}{\sqrt{2-2\cos(\omega T_d)}} = \\ &= \frac{1}{N+1} \cdot \frac{\sqrt{1-(1-2\sin^2(\frac{(N+1)\omega T_d}{2}))}}{\sqrt{1-(1-2\sin^2(\frac{\omega T_d}{2}))}} = \frac{1}{N+1} \cdot \sqrt{\frac{\sin^2(\frac{(N+1)\omega T_d}{2})}{\sin^2(\frac{\omega T_d}{2})}} = \left| \frac{\sin^2(\frac{(N+1)\omega T_d}{2})}{(N+1) \cdot \sin^2(\frac{\omega T_d}{2})} \right| \end{aligned}$$

$$|H(e^{j\omega})| = 0 \Leftrightarrow \frac{(N+1)\omega T_d}{2} = k\pi \Leftrightarrow \omega = k \cdot \frac{2}{N+1} \cdot \frac{\pi}{T_d}, \quad k \neq 0.$$

