

Politechnika Poznańska
Wydział Informatyki i Telekomunikacji

Wstęp do Cyfrowego Przetwarzania Sygnałów - Laboratorium

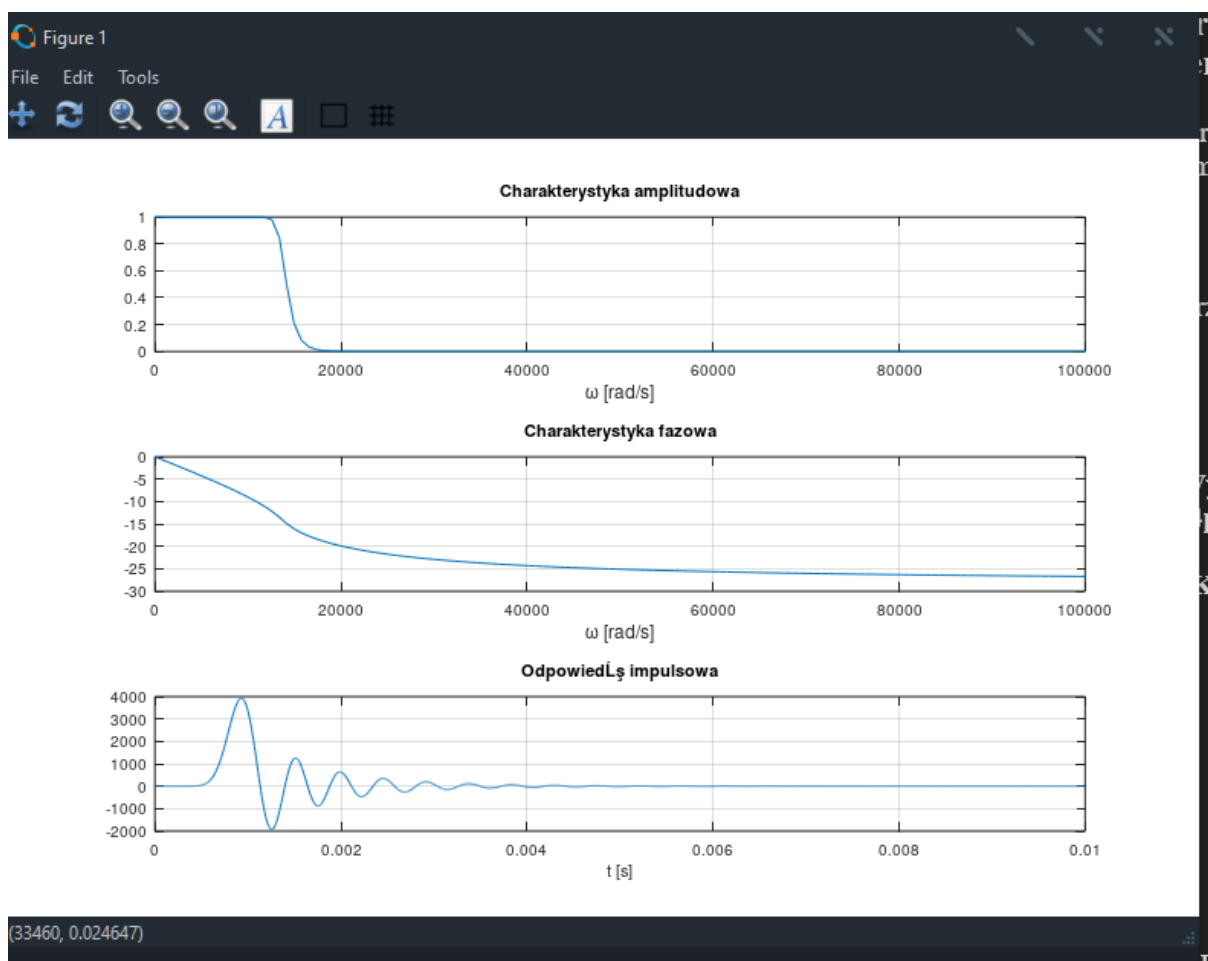
Filtry IIR
(IIR ang. Infinite Impulse Response)

1. Ćwiczenie

Projektowanie analogowego prototypu filtra

1. Uruchom plik CPS_IIR_analogowy_prototyp.m, zapoznaj się z nim i odczytaj (z Workspace): (**4 pkt**)
 - Tłumienie w paśmie przepustowym A_p : 0.1737 [dB]
 - Tłumienie w paśmie zaporowym A_s : 20.086 [dB]
 - Rząd filtra n : 18
 - Pulsację odcięcia W_n : 13 734 [rad/s]
2. Przeanalizuj wykres z charakterystyką amplitudową, fazową oraz odpowiedzią impulsową. Następnie odczytaj: (**6 pkt**)

Wykres:



Analiza – filtr analogowy

a) Charakterystyka amplitudowa:

Zauważamy, że zaprojektowany filtr, jest filtrem dolnoprzepustowym. Częstotliwość graniczna pasma przepustowego f_p , wynosi 2000 Hz, a częstotliwość graniczna pasma zaporowego f_s , wynosi 2500 Hz. Pasma przejściowe ma zatem szerokość 500 Hz.

Pulsacje to odpowiednio graniczna przepustowa $W_p = 12\,566$ rad/s, zaporowa $W_s = 15\,707$ rad/s.

b) Charakterystyka fazowa:

Charakterystyka opada liniowo do ok. W_p , po czym w paśmie przejściowym spadek staje się bardziej gwałtowny, nieco przypominając wykres funkcji $f(x) = \exp(-x)$ i taki pozostaje także w paśmie zaporowym.

c) Odpowiedź impulsowa:

Odpowiedź jest w przeciwieństwie do filtrów typu FIR funkcją ciągłą oraz nieskończoną, choć po pewnym czasie oscylacje zostają w zasadzie wygaszone i wartość funkcji staje się bardzo bliska 0.

3. Przelicz odczytane pulsacje na częstotliwości [Hz] i oceń parametry zaprojektowanego filtru: (4 pkt)

$f_p = 2000$ Hz

$f_s = 2500$ Hz

$f_n = 2185$ Hz

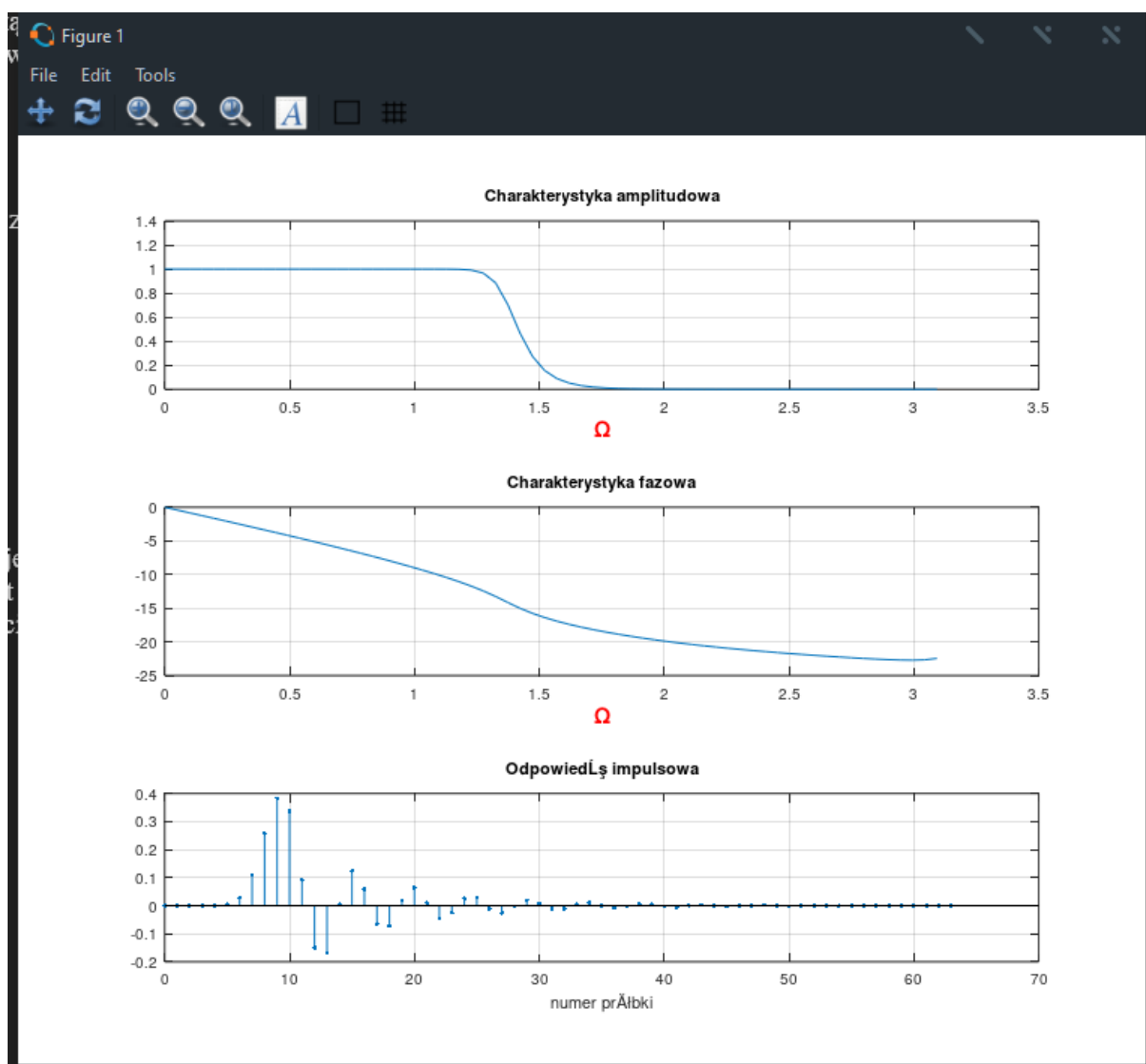
- pasmo przenoszenia: 0 – 2185 Hz
- pasmo zaporowe: 2500 – 100 000 Hz
- zafalowanie w paśmie przenoszenia, $z_p = 0.01$
- zafalowanie w paśmie zaporowym, $z_s = 0.1$

Filtr charakteryzuje się małymi zafalowaniami w paśmie przepustowym co jest pożądane, jednak posiada dość duże pasmo przejściowe wynoszące 500 Hz, sygnał jest odcinany ok. 200Hz powyżej oczekiwanej granicznej wartości, co stanowi 10% szerokości pasma przepustowego.

Konwersja analogowego prototypu filtra na filtr cyfrowy metodą niezmienności odpowiedzi impulsowej

4. Uruchom plik CPS_IIR_cyfrowy.m i przeanalizuj wykres z charakterystyką amplitudową, fazową oraz odpowiedzią impulsową. Następnie odczytaj: **(6 pkt)**
- Pulsację graniczną pasma przepustowego ω_p : 12 566 [rad/s]
 - Pulsację graniczną pasma zaporowego ω_s : 15 707 [rad/s]
 - Częstotliwość próbkowania F_s 10 000

Wykres:



Analiza – filtr cyfrowy

Widmo amplitudowe przypomina charakterystykę poprzedniego filtra, charakterystyka jest wyrysowana w dziedzinie $[\Omega]$, nie jest ona tym razem nieskończona jak poprzednio a kończy się dla Ω nieco powyżej 3, parametry filtra są takie same jak poprzednio.

Widmo fazowe również przypomina to które widzieliśmy poprzednio i także jest wyrysowane w dziedzinie $[\Omega]$ oraz nie jest nieskończone, kończy się dla wartości Ω nieco powyżej 3.

Odpowiedź impulsowa jest teraz funkcją dyskretną oraz skończoną, w naszym przypadku ma szerokość 64 próbek. Przypomina tę z filtrów typu FIR.

5. Przelicz odczytane pulsacje na częstotliwości [Hz] i oceń parametry filtra: **(4pkt)**

- pasmo przenoszenia, 0 – 2000 Hz
- pasmo zaporowe, powyżej 2500 Hz
- zafalowanie w paśmie przenoszenia, $z_p = 0.01$
- zafalowanie w paśmie zaporowym, $z_s = 0.1$

Parametry filtra, są w zasadzie identyczne jak te filtra analogowego

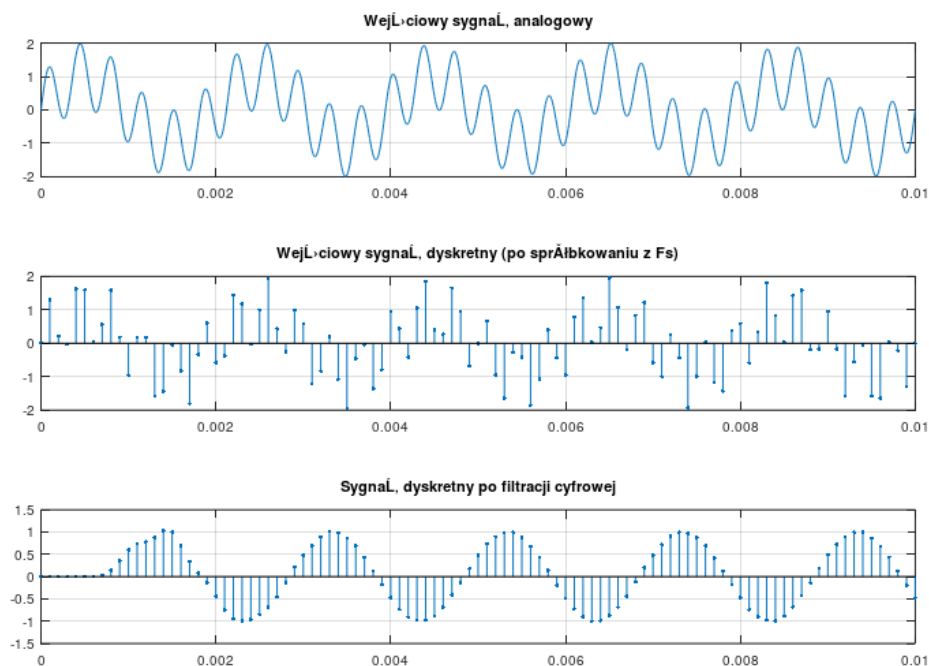
6. Wygeneruj wykres sprawdzający działanie filtra cyfrowego i opisz uzyskane rezultaty **(4pkt)**

Na wejście filtra wchodzi suma dwóch sygnałów, pierwszy to x_1 o częstotliwości 500 Hz oraz drugi x_2 o częstotliwości 2800 Hz.

Następnie suma ta jest próbkowana z częstotliwością $F_s = 10\,000$

Potem spróbkowana suma jest ostatecznie filtrowana i na wyjściu otrzymujemy sygnał nie zawierający już próbek sygnału x_2 o częstotliwości wyższej niż częstotliwość graniczna przepuszczana przez filtr, czyli 2000Hz, sygnał jest oczywiście cyfrowy (dyskretny)

Wykresy:



WNIOSKI (6 pkt)

- Odpowiedź impulsowa prototypu analogowego jest rzeczywiście nieskończona, choć po pewnym czasie w zasadzie drgania są wygaszane i jej wartość jest bliska 0.
- Długość odpowiedzi impulsowa filtru cyfrowego, zależy od tego ile jej próbek użyjemy.
- Potencjalnie przeciwnie do filtrów typu FIR, ze względu na rekursywność filtru (odwoływanie się do samego siebie) układ taki może stać się niestabilny, stanie się to wtedy, gdy bieguny transmitancji znajdą się poza okręgiem jednostkowym w zespolonym układzie współrzędnych, odpowiedź takiego filtru będzie wtedy zamiast schodzić się do zera, rozchodzić się w nieskończoność.
- Ostatecznie charakterystyki filtrów analogowego i cyfrowego w zasadzie identyczne.

2. Wzór sprawozdania

Wstęp do cyfrowego przetwarzania sygnałów – laboratorium		
Temat:		
Imię i nazwisko: Marcel Garczyk		
Data ćwiczenia:	Data oddania sprawozdania:	Ocena:

Sprawozdanie powinno zawierać:

- Wykresy otrzymanych przebiegów,
- Odpowiedzi na pytania,
- Wyniki
- Wnioski.

CPS_IIR_analogowy_prototyp.m

```
% Analogowy prototyp FDP (Filtru DolnoPrzepustowego Butterwortha (W-omega))

clear; clc;
zp=0.01; % zafalowanie w paśmie przepustowym
zs=0.1; % zafalowanie w paśmie zaporowym
fp=2000; Wp=2*pi*fp; % pulsacja graniczna pasma przepustowego
fs=2500; Ws=2*pi*fs; % pulsacja graniczna pasma zaporowego

% zamiana zafalowań na wartości w [dB]
eps=(2*sqrt(zp))/(1-zp);
A=(1+zs)/zs;
Ap=-10*log10(1/(eps^2+1)); % w dB
As=-10*log10(1/A^2); % w dB

[n,Wn]=buttord(Wp,Ws,Ap,As,'s'); % obliczanie rzędu filtru analogowego

[b,a]=butter(n,Wn,'s'); % filtr analogowy Butterwortha - transmitancja

%uzyskano Ap=? As=? n=? Wn=? [rad/s] odczytaj z workspace

% Charakterystyka częstotliwościowa filtru analogowego W[rad/s]
wa = linspace(0,10^5,128);
HA=freqs(b,a,wa);

% Odpowiedź impulsowa filtru analogowego
[r,p,k]=residue(b,a); % r,p są zespolone (i zespolone sprzężone)
t=0:0.00001:0.01;
ha=0;
for i=1:length(r)
    ha=ha+r(i)*exp(t.*p(i));
end

M=abs(HA);

subplot(3,1,1); plot(wa,abs(HA)); grid; title('Charakterystyka amplitudowa');
xlabel('\omega [rad/s]','FontSize',12);
subplot(3,1,2); plot(wa,unwrap(angle(HA))); grid; title('Charakterystyka fazowa');
xlabel('\omega [rad/s]','FontSize',12);
subplot(3,1,3); plot(t,ha); grid; title('Odpowiedź impulsowa');
xlabel('t [s]');

%uzyskano Wp=? [rad/s] Ws=? [rad/s] odczytaj z wykresu

%subplot(2,1,1); plot(t, real(ha));
%subplot(2,1,2); plot(t, imag(ha));
```


CPS_IIR_cyfrowy.m

```
% Tworzenie cyfrowego IIR-FDP na podstawie prototypu analogowego
% Metoda niezmienności odpowiedzi impulsowej oraz przeksz. bilinearnego
clear; clc;
zp=0.01; % zafalowanie w paśmie przepustowym
zs=0.1; % zafalowanie w paśmie zaporowym
fp=2000; Wp=2*pi*fp; % pulsacja graniczna pasma przepustowego
fs=2500; Ws=2*pi*fs; % pulsacja graniczna pasma zaporowego

% zamiana zafalowań na wartości w [dB]
eps=(2*sqrt(zp))/(1-zp);
A=(1+zs)/zs;
Ap=-10*log10(1/(eps^2+1)); % w dB
As=-10*log10(1/A^2); % w dB

[n,Wn]=buttord(Wp,Ws,Ap,As,'s'); % obliczanie rzędu f.a.
[b,a]=butter(n,Wn,'s'); % f.a. Butterwortha-transmitancja
%

Fs=10000; % częstotliwość próbkowania
[bz,az]=impinvar(b,a,Fs); % METODA 1 niezmienności
% odpowiedzi impulsowej
%[bz,az]=bilinear(b,a,Fs); % METODA 2 przeksz. bilinearnego
niestety poprawnie działa tylko w Matlabie

% Charakterystyka częstotliwościowa f.c. w Omega[cyfrowa];
[H,W]=freqz(bz,az,64);

M=abs(H);
subplot(3,1,1); plot(W,M); grid; title('Charakterystyka amplitudowa');
xlabel('\Omega','FontSize',14,'FontWeight','bold','Color','r');
subplot(3,1,2); plot(W,unwrap(angle(H))); grid; title('Charakterystyka fazowa');
xlabel('\Omega','FontSize',14,'FontWeight','bold','Color','r');
%uzyskano Wp=? [rad/s] Ws=? [rad/s] odczytaj z wykresu

% Odpowiedź impulsowa
[h,t]=impz(bz,az,64); % 64 próbki odpowiedzi impulsowej

subplot(3,1,3); stem(t,h,'.'); grid; title('Odpowiedź impulsowa');
xlabel('numer próbki');

%DZIAŁANIE FILTRU Sprawdzenie
% f1=500; f2=2800;
% t=0:1/Fs:100/Fs; % odstępy między próbkami wynikające z Fs
% x1=sin(2*pi*f1*t); x2=sin(2*pi*f2*t);
% x=x1+x2; % sygnał przed filtracją - spróbkowany z Fs
% y=filter(bz,az,x); % sygnał po filtracji cyfrowej
%
% tt=0:0.00001:100/Fs;
% xx=sin(2*pi*f1*tt)+sin(2*pi*f2*tt); % sygnał analogowy

% subplot(3,1,1); plot(tt,xx); title('Wejściowy sygnał analogowy'); grid;
% subplot(3,1,2); stem(t,x,'.'); title('Wejściowy sygnał dyskretny (po spróbkowaniu z Fs)'); grid;
% subplot(3,1,3); stem(t,y,'.'); title('Sygnał dyskretny po filtracji cyfrowej'); grid;
```