Przetwarzanie sygnałów

Ćwiczenie 5

Filtry o skończonej odpowiedzi impulsowej (SOI)

dr hab. inż. Tomasz Piasecki, prof. Uczelni (tomasz.piasecki@pwr.edu.pl)

Spis treści

Katedra Nanometrologii
Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów
Politechnika Wrocławska

1 Filtracja cyfrowa – podstawowe wiadomości

Cyfrowa filtracja sygnału ma na celu wyodrębnienie pożądanej informacji z danego sygnału dyskretnego. Sygnał wejściowy nazywany jest często **pobudzeniem filtru**. Natomiast sygnał wyjściowy **odpowiedzią filtru**. Relacje pomiędzy nimi opisują charakterystyki określane w dziedzinie czasu (np. odpowiedź impulsowa i skokowa) oraz częstotliwości (np. transmitancja)

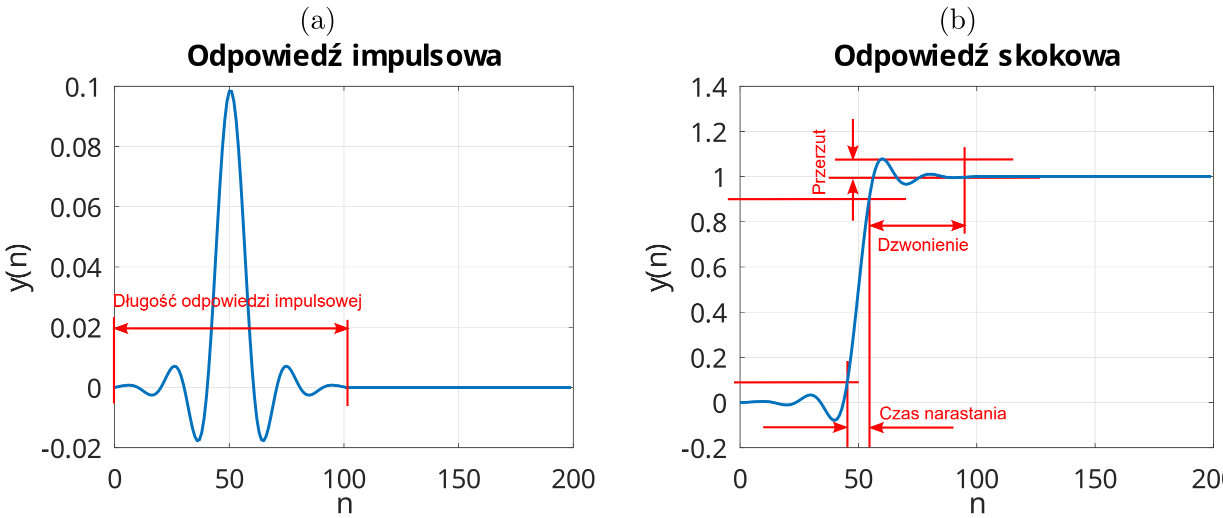
Celem ćwiczenia 4 jest opanowanie umiejętności badania właściwości filtrów cyfrowych w dziedzinie czasu i częstotliwości, oraz umiejętności projektowania pasmowych filtrów o skończonej odpowiedzi impulsowej.

1.1 Właściwości filtru w dziedzinie czasu

W dziedzinie czasu właściwości filtrów cyfrowych określają następujące charakterystyki:

odpowiedź impulsowa (rys. 1a), czyli odpowiedź na pobudzenie deltą Kroneckera.

odpowiedź skokowa (rys. 1b), czyli odpowiedź na skok jednostkowy.



Rysunek 1: Ilustracja odpowiedzi: a) skokowej i b) impulsowej przykładowego filtru i ich najważniejszych parametrów. Na osi poziomej są numery próbek filtru.

Charakterystyki te w całości określają działanie filtru. Z punktu widzenia zastosowania filtrów, szczególnie niektórych ich rodzajów, istotne są pewne parametry liczbowe odczytane z takich charakterystyk. Są to:

długość odpowiedzi impulsowej - czyli czas trwania niezerowego sygnału na wyjściu filtra pobudzonego impulsem Kroneckera. Zależnie od rodzaju filtra czas ten może być skończony bądź nieskończony, na przykład gdy ta odpowiedź asymptotycznie dąży do 0 nigdy go nie osiągając.

czas narastania - określany dla odpowiedzi skokowej, mierzony od 10% do 90% pomiędzy stanami ustalonymi przed i po skoku.

czas dzwonienia - czas trwania oscylacji po odpowiedzi skokowej.

przerzut - amplituda oscylacji w odpowiedzi skokowej.

Czasy określać można w liczbie próbek odpowiedzi (jak na rysunku) bądź w jednostkach czasu. Odcinek n próbek trwa $T_n = \frac{n}{f_s}$ sekund, gdzie f_s to częstotliwość próbkowania.

1.2 Właściwościowości filtru w dziedzinie częstotliwości

Właściwości filtrów w dziedzinie częstotliwości określa **charakterystyka częstotliwościowa** filtru. Zawarte są w niej informacje o tym, jak filtr zareaguje gdy przepuścić przez niego sygnały harmoniczne o różnych częstotliwościach. Dla każdej częstotliwości charakterystyka ta określa amplitudę i przesunięcie fazowe odpowiedzi w stosunku do pobudzenia reprezentowane jako moduł i argument charakterystyki zespolonej.

Charakterystyka częstotliwościowa systemów SLS, w tym filtru, jest transformatą Fouriera jego odpowiedzi impulsowej. Fakt ten jest szczególnie istotny dla filtrów cyfrowych. Dzięki niemu można obliczyć odpowiedź częstotliwościową poprzez obliczenie DFT odpowiedzi impulsowej filtru. Jest to zadanie obliczeniowo dużo prostsze od wyznaczania odpowiedzi dla sygnałów harmonicznych o różnych częstotliwościach. Szczegóły techniczne związane z obliczaniem DFT odpowiedzi impulsowej, wyjaśnione są dalej w punkcie 3 przy okazji funkcji `flt_freq_resp`.

Charakterystyki częstotliwościowe filtra cyfrowego wyrażane w hercach zależałyby od częstotliwości próbkowania i taktowania filtra. Taki sam filtr przetwarzający sygnał próbkowany dziesięciokrotnie szybciej miałby częstotliwości graniczną wyrażoną w hercach dziesięciokrotnie większą.

Stąd bardzo częstym jest posługiwanie się bezwymiarową częstotliwością znormalizowaną przy projektowaniu filtra czy reprezentowaniu charakterystyk na wykresach. Niestety, sposób jej normalizacji nie jest ujednolicony. Istnieją co najmniej dwie konwencje:

- normalizowanie częstotliwości przez częstotliwość próbkowania czyli częstotliwość znormalizowana f_n równa jest:

  $$f_n = \frac{f}{f_s} \tag{1}$$

  Taką konwencję przyjęto na wykładzie i w podręczniku Richarda Lyonsa, **tak są również przygotowane instrukcje do ćwiczeń**. W tej konwencji maksymalną częstotliwością znormalizowaną jaką przenosi system cyfrowy to 0,5 - bo to połowa częstotliwości próbkowania. Chcąc częstotliwość znormalizowaną przeliczyć na częstotliwość w hercach, wystarczy ją pomnożyć przez częstotliwość próbkowania:

  $$f = f_n \cdot f_s \tag{2}$$

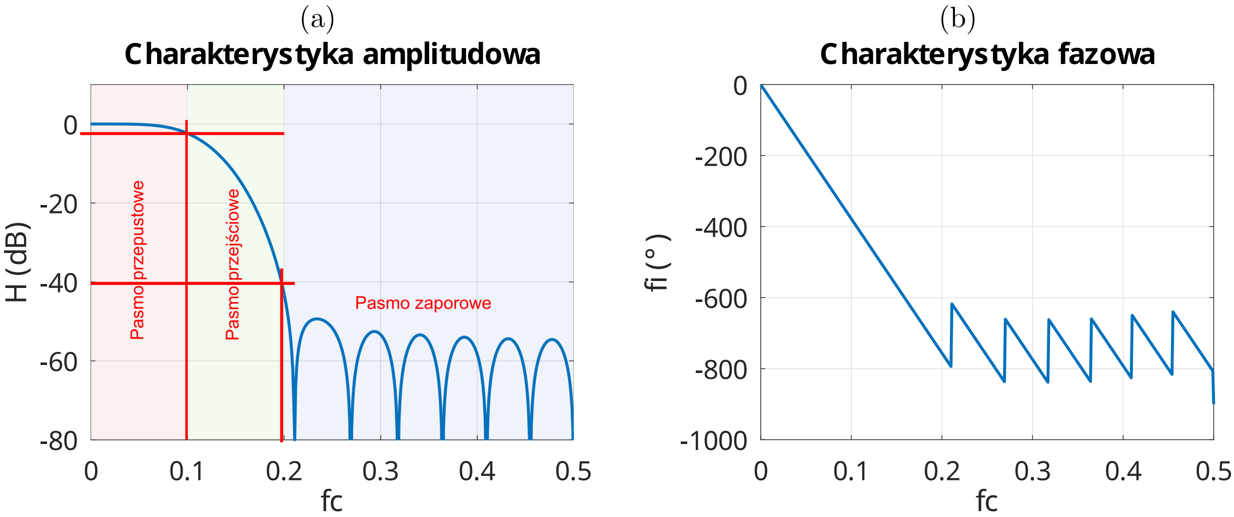
- normalizowanie częstotliwości przez częstotliwość Nyquista, czyli

  $$f'_n = \frac{f}{\frac{f_s}{2}} \tag{3}$$

  Taką konwencję przyjęto w Octave. Wbudowane funkcje dotyczące filtracji wymagają tak podanej częstotliwości znormalizowanej. Tutaj maksymalną wartością f'_n jest 1. Nie zdziw się zatem, jeżeli gdzieś w poleceniu będzie wskazane aby do funkcji Octave podać częstotliwość znormalizowaną dwa razy większą niż tę, którą używasz wszędzie indziej.

Charakterystyka częstotliwościowa prezentowana jest często jako **częstotliwościowa charakterystyka amplitudowa**, gdzie na osi rzędnych prezentuje się moduł charakterystyki zespolonej. Uzupełnia się ją **częstotliwościową charakterystyką fazową**, gdzie na osi rzędnych prezentuje się argumenty charakterystyki zespolonej, zazwyczaj z zastosowaniem rozwijania fazy.

Krótko charakterystyki te nazywa się odpowiedzią (charakterystyką) amplitudową i odpowiedzią fazową filtru.



Rysunek 2: Przykładowe charakterystyki częstotliwościowe amplitudowa w skali decybelowej (a) oraz fazowa z zastosowaniem rozwijania fazy (b) wraz z opisanymi parametrami. Za kryterium pasma zaporowego przyjęto 40 dB tłumienia. Oś pozioma w częstotliwości znormalizowanej.

Amplitudową charakterystykę częstotliwościową przedstawia się często w skali decybelowej. Wartości na osi rzędnych (pionowej) wyrażane są tam w decybelach:

$$H_{dB}[k] = 20 \log \left(H[k] \right) \tag{4}$$

gdzie $H_{dB}[k]$ - amplituda w decybelach. Taki sposób prezentacji poprawia odbiór wizualny charakterystyki, która ma duży zakres zmienności (na wykresie dobrze widać zarówno wartości bliskie 1, jak i wartości bliskie zeru np. 10^{-3}).

Podobnie do odpowiedzi impulsowej i skokowej charakterystyki częstotliwościowe również mają swoje parametry.

Dla filtrów pasmowych istotnym parametrem jest podział charakterystyki amplitudowej na pasma przepustowe i pasma zaporowe (rys. 2a). **Pasmem przepustowym** jest zakres częstotliwości, dla których amplituda się nie spada poniżej arbitralnie określonej wartości. **Pasmem zaporowym jest** zakres częstotliwości, dla których sygnały są tłumione w stopniu silniejszym niż arbitralnie określona wartość.

Przyjętą powszechnie granicą pasma przepustowego jest częstotliwość, dla której filtr tłumi połowę mocy sygnału harmonicznego (amplituda sygnału harmonicznego maleje razy, tłumienie wynosi około 0.707 V/V lub -3 dB). Granicę tę nazywa się częstotliwością graniczną (zwyczajowo nazwa ta obowiązuje dla częstotliwości w hercach) lub częstotliwością odcięcia (zwyczajowo ta nazwa odnosi się do częstotliwości znormalizowanej). Granica pasma zaporowego nie jest ustandaryzowana i zależy od wymaganego przez projektanta filtru minimalnego tłumienia w paśmie zaporowym. Jeżeli wymagane tłumienie w paśmie zaporowym wynosi 40 dB, to właśnie dla tego poziomu wyznacza się granicę pasma zaporowego.

Pomiędzy pasmami zaporowymi i przepustowymi występują **pasma przejściowe**. Ich szerokość wpływa na selektywność filtracji. Jeżeli używamy filtrów do przetwarzania sygnałów, w których informacja kodowana jest w dziedzinie częstotliwości, to zwykle zależy nam na tym, aby pasma przejściowe były jak najwęższe, tłumienia w pasmach zaporowych jak największe.

W paśmie przepustowym mogą występować zafalowania, które niekorzystnie wpływają na przenoszone składowe sygnału pobudzającego. Dlatego **poziom zafalowań** jest również istotnym parametrem odpowiedzi częstotliwościowej filtrów pasmowych.

Częstotliwościowa charakterystyka fazowa filtrów (rysunek 2b) powinna być liniowa. Nieliniowości pojawiają się w przypadku braku symetrii odpowiedzi skokowej lub impulsowej filtru.

Nachylenie charakterystyki fazowej (współczynnik kierunkowy prostej) informuje o opóźnieniu sygnału odpowiedzi względem sygnału pobudzenia. Widoczne na rysunku odchyłki od liniowości dla częstotliwości powyżej 0,2 wynikają z ograniczeń numerycznych. Pojawiają się one w punktach, w których filtr bardzo silnie tłumi. Istotną dla oceny liniowości odpowiedzi fazowej jest zakres częstotliwości odpowiadający pasmu przepustowemu i przejściowemu.

2 Filtry SOI

Filtr o skończonej odpowiedzi impulsowej (SOI) (ang. finite impulse response – FIR) jest nierekursywnym filtrem cyfrowym. Nierekursywność oznacza, że nie występuje w tym filtrze sprzężenie zwrotne, co m.in. wiąże się z tym, że odpowiedź filtru SOI na skończone w czasie pobudzenie jest również skończona w czasie.

Filtr SOI określa się ciągiem współczynników $b[n]$. Poniższe równanie przedstawia zależność między pobudzeniem $x[n]$ filtru a jego odpowiedzią $y[n]$.

$$y[n] = b[0]x[n] + b[1]x[n-1] + \ldots + b[M-1]x[n-M+1] = \sum_{k=0}^{M-1} b[k] \cdot x[n-k] \tag{5}$$

M stanowiące liczbę współczynników filtru SOI stanowi jednocześnie długość jego odpowiedzi impulsowej $h[n] = b[n]$. Operacja filtracji różni się od operacji splotu tym, że długość sygnału pobudzenia musi równać się długości sygnału odpowiedzi.

2.1 Rodzaje filtrów ze względu na charakterystykę częstotliwościową

Ze względu na to, które składowe widma są przez filtr tłumione, a które bez zmian zachowywane, wyróżniamy:

- filtry dolnoprzepustowe, przez które tłumione są składowe $f > f_c$;
- filtry górnoprzepustowe, przez które tłumione są składowe $f < f_c$;
- filtry pasmowoprzepustowe, tłumiące składowe $f < f_d$ i $f > f_g$;
- filtry pasmowozaporowe, tłumiące składowe $f_d < f < fg$.

Metody projektowania filtrów SOI skupiają się na projektowaniu filtrów dolnoprzepustowych. Do zaprojektowania pozostałych rodzajów filtrów SOI wykorzystuje się specjalne łączenie filtrów, będzie to tematem innego ćwiczenia.

2.2 Filtry działające na zasadzie średniej kroczącej

Najprostszą metodą filtracji sygnałów, często zupełnie wystarczającą, jest zastosowanie tzw. średniej kroczącej (ang. moving average). Metoda ta polega na uśrednianiu kilku kolejnych próbek sygnału w myśl zależności:

$$y[n] = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} x[n-k], \tag{6}$$

gdzie M jest liczbą uśrednianych próbek.

Jeżeli porównasz równanie (6) z ogólnym równaniem opisującym filtr SOI (5) okaże się, że filtr średniej kroczącej o długości M to nic innego, jak filtr SOI, którego wszystkie współczynniki b są takie same i równe $\frac{1}{M}$.

Częstotliwość odcięcia tego filtru zmienia się wraz z liczbą uśrednianych próbek. Filtr charakteryzuje się słabym tłumieniem w paśmie zaporowym.

2.3 Filtry oparte na okienkowanej funkcji sinc

Filtry dolnoprzepustowe

Filtr ruchomej średniej jest filtrem mającym bardzo dobre właściwości w dziedzinie czasu. Natomiast filtry o dobrych właściwościach w dziedzinie częstotliwości uzyskuje się za pomocą okienkowanej funkcji sinc. W metodzie tej współczynniki filtru oblicza się z równania:

$$b[k] = \begin{cases} \frac{\sin\left(2\pi f_c\left(k-\frac{M-1}{2}\right)\right)}{k-\frac{M-1}{2}} w[k] & \text{dla } k \neq \frac{M-1}{2} \\ 2\pi f_c w[k] & \text{dla } k = \frac{M-1}{2} \end{cases} \tag{7}$$

gdzie $f_c = \frac{f_g}{f_s}$ jest znormalizowaną częstotliwością graniczną, nazywaną też częstotliwością odcięcia. M jest długością odpowiedzi impulsowej filtru (liczbą współczynników), $w[k]$ tak zwaną funkcją okna zdefiniowaną dla $k = 0...M-1$. Kształt funkcji okna wpływa na szerokość pasma przejściowego i tłumienie w paśmie zaporowym. Jednymi z możliwych okien są:

- okno prostokątne: $w[k] = 1$
- okno Blackmana: $w[k] = 0,42 - 0,5\cos\left(\frac{2\pi k}{M-1}\right) + 0,08\cos\left(\frac{4\pi k}{M-1}\right)$
- okno Hamminga: $w[k] = 0,54 - 0,46\cos\left(\frac{2\pi k}{M-1}\right)$

Spośród nich okno Blackmana zapewnia największe tłumienie w paśmie zaporowym, a okno prostokątne najwęższe pasmo przejściowe filtru. Istnieje jeszcze wiele innych rodzajów okien, które pomagają kontrolować te dwie właściwości.

Po obliczeniu w ten sposób współczynników filtru dolnoprzepustowego należy pamiętać o tym, aby go znormalizować. Oznacza to zapewnienie takiego działania filtru, by składowa stała sygnału była po przetworzeniu przez filtr niezmieniona (wzmocnienie filtru dla $f = 0$ wynosi 1). Aby uzyskać taki efekt, należy podzielić każdy element wektora b przez sumę wszystkich jego elementów:

$$b_{norm}[k] = \frac{b[k]}{\sum_{k=0}^{M-1} b[k]} \tag{8}$$

3 Funkcje do przygotowania przed zajęciami

fir_movavg

Funkcja `b = fir_movavg(M)` ma obliczać wektor `b` współczynników filtra średniej kroczącej o długości `M`. Zgodnie z opisem powyżej ma to być po prostu wektor `M` wartości, z których każda równa jest $\frac{1}{M}$.

flt_imp_resp

Funkcja `[y, n] = flt_imp_resp(N, b, a=1)` ma obliczać odpowiedź impulsową o długości `N` filtra cyfrowego o współczynnikach `b` i `a`. Ponieważ filtry SOI będące tematem tych zajęć nie mają współczynników `a` ten ostatni parametr jest opcjonalny. Jeśli się go nie poda przy wywołaniu funkcji przyjmie on domyślną wartość 1. Takie rozwiązanie pozwoli w przyszłości użyć tej samej funkcji do charakteryzowania filtrów mających współczynniki `a`, które się wtedy po prostu poda jawnie przy wywoływaniu tej funkcji jako trzeci parametr.

Funkcja zwraca ona dwa wektory: `y` z tą odpowiedzią i `n` z numerami próbek w odpowiedzi. Da się ją stworzyć prosto:

```
function [y, n] = flt_imp_resp(N, b, a=1)
    x = zeros(N,1)';
```

```
    x(1) = 1; #w x jest impuls Kroneckera dlugosci N
    y = filter(b, a, x); #oblicznie odpowiedzi impulsowej
    n = ...; # obliczenie numerow probek
endfunction
```

Funkcja tworzy w zmiennej lokalnej `x` wektor z impulsem Kroneckera o pożądanej długości. Funkcja `y = filter(b, a, x)` jest funkcją wbudowaną w Octave, która realizuje filtry cyfrowe. Gdy `a=1` będzie to realizacja filtra SOI o współczynnikach `b` filtrujacego sygnał `x`.

Funkcja `flt_imp_resp` zwraca więcej niż jedną wartość. Zapisuje się to w Octave jako wynik funkcji sam będący wektorem elementów `[y, n]`. W ciele funkcji należy przypisać wszystkim zwracanym elementom wartości, robią to dwie ostatnie linijki ciała funkcji. Ostatnia, obliczająca numery próbek odpowiedzi impulsowej jest niedokończona, uzupełnij to.

Przetestuj jej działanie podając jako `b` wektor dowolnych wartości. Jak wiesz z wykładu, odpowiedź impulsowa filtra SOI składa się z próbek odpowiadających wartościom kolejnym współczynnikom tego filtra, po czym następują zera.

flt_step_resp

Podobnie stwórz funkcję:

```
function [y, n] = flt_step_resp(N, b, a=1)
 #definicja ciała funkcji
endfunction
```

która obliczy i zwróci odpowiedź skokową filtra. Jej budowa będzie niemal identyczna z poprzednią, inne będzie jedynie to, jaki sygnał jest w tej funkcji generowany.

flt_freq_resp

Pozostała odpowiedź częstotliwościowa filtra. Typowo odpowiedzi częstotliwościowe filtrów pokazuje się jako jednostronne, a do tego oś częstotliwości dla filtrów cyfrowych zazwyczaj pokazywana jest jako częstotliwość znormalizowana. I tak ma działać przygotowana funkcja. Niech będzie to funkcja `[mH, fiH, mHdB, fc] = flt_freq_resp(N, b, a=1)` której argumenty to `N` - liczba próbek impulsu Kroneckera użytego do obliczenia odpowiedzi impulsowej, `b` i `a` to wektory współczynników filtra z tą samą sztuczką: domyślnie `a=1` i jeśli się tego wektora nie poda, to funkcja wyliczy odpowiedź filtra SOI, a w przyszłości tę samą funkcję będzie można użyć do obliczenia odpowiedzi innych filtrów mających współczynniki `a`.

```
function [mH, fiH, mHdB, fc] = flt_freq_resp(N, b, a=1)
    x = zeros(N,1)';
    x(1) = 1; #w x jest impuls Kroneckera dlugosci N
    y = filter(b, a, x); #oblicznie odpowiedzi impulsowej
    h = fft(y); #transformata Fouriera odpowiedzi impulsowej
    h = h(1:N/2+1); #przyciecie transformaty aby byla jednostronna
    mH = abs(h); #widmo amplitudowe jednostronne unitarne
    fiH = unwrap(arg(h)); #rozwiniete widmo fazowe
    mHdB = ...; #widmo decybelowe
    fc = ...; #czestotliwosc znormalizowana
endfunction
```

Brakuje w niej części odpowiedzialnych za wyliczenie odpowiedzi decybelowej oraz wartości częstotliwości znormalizowanych. To drugie, to powinien być wektor $N/2+1$ wartości, z których pierwsza to 0 a ostatnia to 0,5. Uzupełnij te braki. Czy funkcja działa dobrze możesz sprawdzić na przykładzie niewłaściwego (nieznormalizowanego) ale prostego do zapisania filtra średniej kroczącej uruchamiając następujący skrypt:

```
b = [1 1 1 1 1 1 1 1 1]; # wspolczynniki filtra
[mH, fiH, mHdB, fc] = flt_freq_resp(100, b);
plot (fc, ...)
```

gdzie za wielokropek wpiszesz nazwę jednego z wektorów zwracanych przez testowaną funkcję. Taki filtr powinien być (kiepskim) filtrem dolnoprzepustowym.

Dobierając wartość argumentu `N` funkcji można wpływać na dokładność wyznaczenia odpowiedzi częstotliwościowej, zgodnie z twierdzeniem o skalowaniu w czasie tranformaty Fouriera. Im większe `N`, tym mniejsza różnica $f_k - f_{k-1}$) częstotliwości odpowiadających kolejnym składowym odpowiedzi a co za tym idzie, precyzyjniej wykreślona jest charakterystyka częstotliwościowa. Przy testowaniu i w trakcie zajęć dobieraj tę wartość adekwatnie do przypadku.

fir_sinc

Do przygotowania jest funkcja obliczająca wektor współczynników filtra SOI dolnoprzepustowego na okienkowanej funkcji sinc. `b = fir_sinc(fc, M, wnd)`. Argument `fc` to częstotliwość odcięcia filtra, `M` to liczba współczynników filtra. Argument `wnd` to liczba określająca rodzaj stosowanego okna. Niech 0 oznacza okno prostokątne, 1 - okno Blackmanna, 2 - okno Hamminga. Jej przykładowy szkielet funkcji zaprezentowano poniżej.

```
function b = fir_sinc(fc, M, wnd)
    b = zeros(1,M)'; #wektor ze wspolczynnikami filtra
    for k=0:M-1
     # obliczenie w zmiennej w wartosci funkcji okna
        switch wnd # zaleznie od wnd obliczana jest rozna funkcja okna
        case 1 # okno Blackmana
            w = ...;
        case 2 # okno Hamminga
            w = ...;
        otherwise # w innych wypadkach okno prostokatne
            w = 1;
        endswitch

        if (2*k == M-1) # srodkowy wspolczynnik filtra
            b(k+1) = ...;
        else
            b(k+1) = ...;
        endif
    endfor
    # unormowanie filtra - zapewnienie by suma wspolczynnikow b wynosila 1
    b = b / sum(b);
endfunction
```

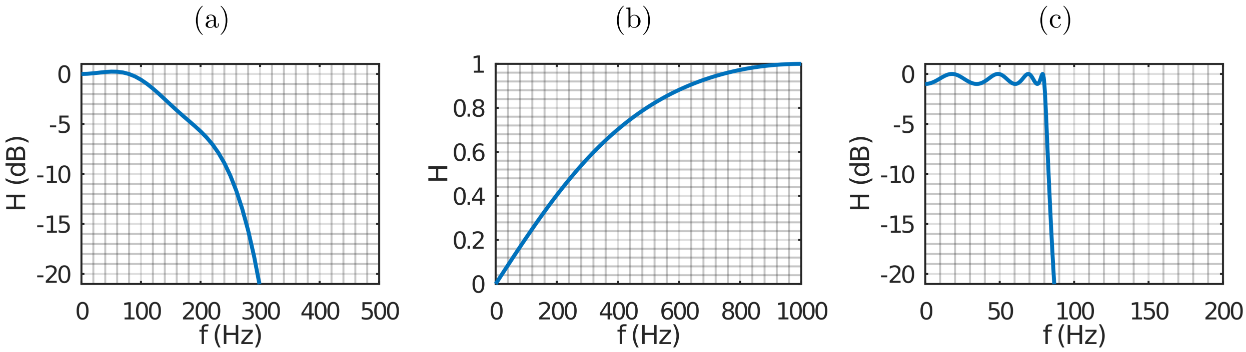
Brakuje w niej matematyki - wyrażeń, które na podstawie numeru współczynnika `k`, oraz parametrów przekazanych do funkcji wyliczą najpierw wartości funkcji okna `w`, a potem sam współczynnik `b`. Uzupełnij te braki adekwatnie do opisu w punkcie 2.3.

4 Origin - poznawane funkcje

`filter(b, a, x)` funkcja filtrująca filtrem cyfrowym sygnał `x`; `b` i `a` to wektory współczynników; dla filtrów SOI należy za `a` podać wartość 1

5 Pytania i zadania na kartkówkę

1. Przeliczanie wartości ze skali liniowej na logarytmiczną np. 10^2 i odwrotnie np. 20 dB.
2. Jakie będą wartości współczynników filtra średniej kroczącej o długości 7?
3. Jakie wartości mogą być na osi odciętych dla charakterystyk czasowych a jakie dla częstotliwościowych?
4. Jak będą wyglądały osie odciętych charakterystyk czasowych i częstotliwościowych filtrów cyfrowych przetwarzających sygnały próbkowane z częstotliwością 1 kHz wyrażane w sekundach?
5. Jaką częstotliwość graniczną w hercach będzie miał dolnoprzepustowy filtr SOI, jeżeli zaprojektowano go dla częstotliwości odcięcia znormalizowanej $fc = 0,1$, a częstotliwość próbkowania filtrowanego sygnału wynosi $f_s = 1\ kHz$?
6. Na rysunku 3 przedstawiono charakterystyki amplitudowe filtrów. Jakie są to rodzaje filtrów? Z jaką częstotliwością próbkowania pracują? Jakie mają częstotliwości graniczne? Jakie mają częstotliwości odcięcia? Czy widać zafalowania w paśmie przepustowym i jeśli tak, to jak duże? Jaki przedział częstotliwości zajmuje pasmo przejściowe zakładając tłumienie pasma zaporowego $-20\,\mathrm{dB}$[1]. Przyjmij, że zakres częstotliwości na osi odciętych wykresu prezentuje całe pasmo filtrowanych sygnałów dyskretnych.
7. Dla jakiej częstotliwości odcięcia należy zaprojektować dolnoprzepustowy filtr SOI, aby z sygnału próbkowanego z częstotliwością $f_s = 1\ kHz$ usunąć wszystkie składowe powyżej 200 Hz?
8. Co należy zrobić, aby zmniejszyć szerokość pasma przejściowego filtru okienkowanej funkcji sinc?



Rysunek 3: Przykładowe charakterystyki amplitudowe filtrów.

Uwaga. Wartości liczbowe podane w pytaniach są przykładowe. Na kartkówce podobne zadania będą zawierały inne dane.

[1] Tę wartość da się wiarygodnie odczytać tylko z charakterystyk ze skalą decybelową (zastanów sie dlaczego).

6 Funkcje stworzone w trakcie realizacji poprzednich ćwiczeń

`gen_cfreq(N, fs)` - generacja częstotliwości składowych widma sygnału zespolonego
`gen_delta(time)` - generacja delty Kroeneckera
`gen_gauss(time, u, s)` - generacja impulsu Gaussa
`gen_rfreq(N, fs)` - generacja częstotliwości składowych widma sygnału rzeczywistego
`gen_sin(time, fsin, A, fi)` - generacja sygnału harmoni7cznego
`gen_time(N, fs)` - generacja czasów próbek
`gen_triangle(time, A, tr, tf)` - generacja impulsu trójkątnego
`sig_conv(x,y)` - obliczenie splotu sygnałów
`sig_delay_N(x, Nd)` - opóźnienie sygnału
`sig_fft(x)` - obliczenie widma zespolonego rozłożonego symetrycznie wokół składowej $k = 0$
`sig_irdft(x)` - odwrotna DFT sygnału rzeczywistego
`sig_rdft(x)` - DFT sygnału rzeczywistego
`spec_uarg(y)` - obliczenie rozwiniętego widma fazowego

7 Zadania do realizacji w trakcie zajęć

Realizując zadania pisz skrypty wywołujące funkcje Octave bądź Twoje własne prowadzące do realizacji postawionego celu. Pierwsze kroki można robić w linii poleceń, sprawdzając co i jak. Dąż jednak do tego, aby całość zadania ująć w jednym skrypcie.

Wszystkie funkcje i skryptu powinny być napisane czytelnie, z zachowaniem zasad formatowania kodów źródłowych języków wysokiego poziomu.

Zadania wymagające przedstawienia wyników w postaci tabel czy wykresów realizuj z pomocą funkcji zapisujących wektory danych do pliku. Chodzi tu o to aby wyniki na wykresie były zarchiwizowane w postaci pliku.

Na koniec zbierz sprawozdanie, pliki ze skryptami, pliki z danymi i inne niezbędne pliki, skompresuj je w jedno archiwum i zamieść jako rozwiązanie zadania w ePortalu.

7.1 Filtr średniej kroczącej

Napisz skrypt wykreślający charakterystyki impulsową, skokową, częstotliwościową liniową, decybelową i fazową filtra średniej kroczącej o długości `M`. Wartość `M` ustal na początku skryptu z zakresu 7 - 51, wg. wskazówek prowadzącego.

Określ częstotliwość graniczą tego filtra, tłumienie w paśmie zaporowym i szerokość pasma przejściowego. Za tłumienie w paśmie zaporowym przyjmij wartość maksymalną pierwszego z "listków bocznych" charakterystyki częstotliwościowej. Czy odpowiedzi impulsowe i skokowe sa takie, jakich się spodziewasz? Określ parametry czasowe tego filtra.

Za zrealizowanie zadania otrzymasz 2 pkt.

7.2 Filtry na okienkowanej funkcji sinc

Napisz skrypt wykreślający charakterystyki impulsową, skokową, częstotliwościową liniową, decybelową i fazową filtrów średniej kroczącej o długości `M` i częstotliwości odcięcia `fc`. Wartość `M` ustal na początku skryptu z zakresu 11 - 51, a `fc` z zakresu 0,05 - 0,4, wg. wskazówek prowadzącego. Filtry mają stosować różne funkcje okna.

Charakterystyki umieść w sprawozdaniu. Określ ich częstotliwości odcięcia, szerokość pasma przejściowego, Przyjmij 40 dB tłumienia za jego granicę. Określ też długość odpowiedzi impulsowej, czas narostu odpowiedzi skokowej, oceń, czy występuje przerzut, dzwonienie i zafalowanie w paśmie przepustowym.

Porównaj ze sobą filtry projektowane z różnymi funkcjami okna.

Za pełne wykonanie tego zadania otrzymasz 2 pkt.

7.3 Porównanie filtra średniej kroczącej i na okienkowanej funkcji sinc

Na koniec zaprezentuj komplet charakterystyk filtra na okienkowanej funkcji sinc z oknem Hamminga o takiej częstotliwości odcięcia, jaką uzyskałeś/uzyskałaś dla filtra średniej kroczącej. Porównaj parametry tych dwóch filtrów.

Za pełne wykonanie tego zadania otrzymasz 1 pkt.