

1. Projektowanie filtrów FIR metodą okien (2 pkt)

Metodą okien zaprojektuj **pasmowoprzepustowy** (BP), nierekursywny filtr cyfrowy o następujących parametrach: częstotliwość próbkowania $f_{pr} = 1200$ Hz, pasmo przepustowe o szerokości $d_f = 200$ Hz, częstotliwość środkowa pasma przepustowego $f_c = 300$ Hz. Zastosuj okna typu: **Prostokątne**, **Hanninga**, **Hamminga**, **Blackmana**, oraz **Blackmana-Harrisa**. Porównaj charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe i fazowo-częstotliwościowe wszystkich filtrów. Wyznacz ich poziom tłumienia w paśmie zaporowym (w decybelach). Przyjmij stałą długość filtru $N=128$ próbek albo 129 próbek. Jakie są konsekwencje tej różnicy?

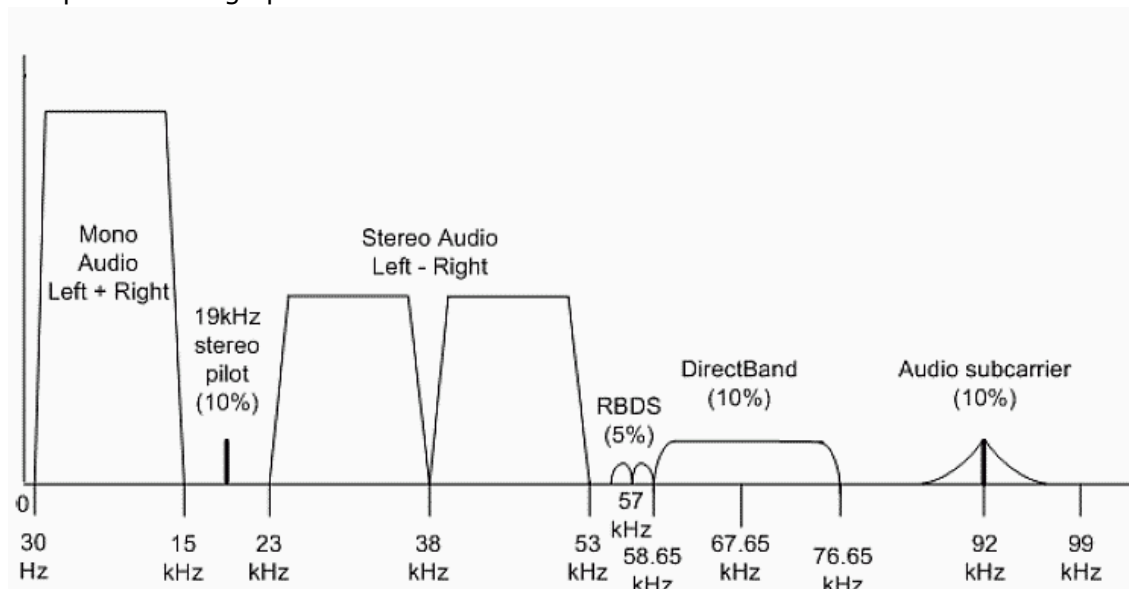
Następnie, zaprojektuj taki sygnał x , na którym wykażesz właściwości powyższych filtrów (np. suma dwóch lub trzech częstotliwości). Narysuj widmo gęstości mocy sygnału x przed oraz po filtracji.

2. Filtry dla radia FM (1+0.25 pkt)

Widmo gęstości widmowej mocy hybrydowego sygnału analogowego radia FM (po konwersji do niskich częstotliwości i demodulacji FM) wygląda jak na poniższym rysunku. Zaprojektuj dwa filtry FIR przepuszczające: tylko składową mono sygnału (L+R) oraz tylko pilota 19 kHz.

Zadbaj o to, aby pierwszy filtr nie miał zafalowań w paśmie przepustowym, ponieważ to zmienia barwę dźwięku (audiofile bardzo tego nie lubią ;-)) oraz żeby częstotliwości od 19 kHz (włącznie) były tłumione ze skutecznością co najmniej 40 dB.

Drugi filtr ma pozostawić wyłącznie sygnał pilota o częstotliwości 19 kHz. Użycie filtru IIR z pojedynczym biegunem „nastrojonym” na 19 kHz może być niewystarczające. Dlatego zastosuj filtr FIR BP: dobierz szerokość pasma tak, aby pilot pozostał w przefiltrowanym sygnale lecz nie był zakłócony (zaszumiony) sąsiadującymi sygnałami o zbliżonych częstotliwościach. Zadbaj korekcję opóźnienia wprowadzanego przez filtr.



źródło: http://en.wikiaudio.org/FM_broadcasting

(**Opcjonalnie** +0.25 pkt) Zmodyfikuj program z laboratorium 06 podmieniając filtr IIR w decymatorze (punkt 4 ćwiczenia 2) na zaprojektowany, dolnoprzepustowy filtr FIR. Odsłuchaj sygnał.

Wykonaj filtrację sygnału `samples_100MHz_fs3200kHz.raw` (z zadania nr 3 laboratorium 6) drugim filtrem w celu uzyskania pilota stereo. Sprawdź na wykresie czasowo-częstotliwościowym czy pilot jest widoczny oraz czy jego położenie w dziedzinie częstotliwości się zmienia.

3. Radio FM Stereo (2+0.5 pkt)

Analogowe radio FM transmitowało pierwotnie sygnał monofoniczny. W celu zachowania kompatybilności „w dół”, przy tworzeniu standardów radia stereofonicznego zastosowano schemat jak na rysunku z zadania 2. Sygnał monofoniczny to suma sygnału L i R (L+R), natomiast w innym paśmie nadawana jest różnica L i R (L-R).

W ten sposób stare, monofoniczne odbiorniki mogły nadal poprawnie dekodować sygnał stereofoniczny odzyskując z niego tylko część „mono”, natomiast nowsze odbiorniki, potrafiły z sygnału uzyskać oba kanały.

Wykonaj następujące kroki aby odzyskać sygnał stereofoniczny:

1. Filtrem BP o częstotliwości środkowej 19 kHz, zaprojektowanym w zadaniu 2, odzyskaj sygnał pilota z hybrydowego sygnału radia FM. Wyznacz jego widmo gęstości mocy w zakresie 18-20 kHz z dokładnością 1 Hz, odczytaj rzeczywistą częstotliwość sygnału pilota f_{pl} .
2. Zaprojektuj filtr FIR o charakterystyce BP do odfiltrowania sygnału stereo (L-R). Wykorzystaj podwojoną wartość f_{pl} (patrz punkt 1) do ustalenia środka pasma przepustowego. Zaprojektowany filtr powinien posiadać płaską charakterystykę pasma przepustowego, oraz tłumienie pasma zaporowego w częstotliwościach f_{pl} i $3f_{pl}$, co najmniej 60 dB (tak aby pilot oraz sygnał tekstowy RDS nie zakłócały sygnału L-R).
3. Odfiltruj sygnał za pomocą filtru z pkt. 2. Następnie przesunij sygnał w częstotliwości z $2f_{pl}$ do 0 Hz metodą jego pomnożenia z funkcją $\cos()$ o częstotliwości $2f_{pl}$. Wyświetl widma sygnałów: przed filtracją, po filtracji, po przesunięciu w częstotliwości. Czy widzisz „ducha” na częstotliwości $4f_{pl}$. Dlaczego się on pojawił?

Aby „przesunąć” sygnał x z $2f_{pl}$ kHz do 0 kHz należy wykonać operację: $y = xe^{j2\pi 2f_{pl}t}$ w praktyce, zakładając sygnały rzeczywiste, będzie to odpowiadało instrukcji: `y = x.*c;` gdzie `c` to kosinusoida o częstotliwości $2f_{pl}$. Dla rzeczywistego sygnału radiowego, sygnał `c` powinien być podwojonym pilotem 19 kHz, obecnym w sygnale hybrydowym, odtworzonym pętlą fazową z dokładnością do fazy. W naszym, uproszczonym przypadku, dla sygnału syntetycznego (plik `stereo_samples_fs1000kHz_LR_IQ.mat`) wystarczy jeżeli będzie to wygenerowana kosinusoida o częstotliwości $2f_{pl}=38$ kHz.

4. Zmniejsz częstotliwość próbkowania sygnału do częstotliwości 30 kHz. Nie zapomnij o filtrze antyaliasingowym, usuwającym „kopię” sygnału L-R na częstotliwości $4f_{pl}$! Dodatkowo przetestuj ostateczny program bez tego filtra.
5. Odtwarzanie sygnału stereo polega na wykonaniu operacji: `yl = 0.5*(ym+ys);`
`yr = 0.5*(ym-ys);` gdzie: `yl` i `yr` to wyjściowy sygnał audio, odpowiednio, kanału lewego i prawego, natomiast `ym` i `ys` to, odpowiednio, składowa mono (L+R) i stereo (L-R) hybrydowego sygnału radiowego. W związku z tym, że sygnały są odejmowane w dziedzinie czasu, to muszą być dobrze zsynchronizowane. Dlatego przed rekonstrukcją sygnałów `yl` i `yr` oblicz opóźnienie sygnału **L-R**, wprowadzane przez separujący filtr BP z punktu 2 i filtr antyaliasingowy z punktu 4, oraz opóźnienie sygnału **L+R**, wprowadzany przez filtr FIR LP, zaprojektowany w zadaniu 2. Skompensuj przesunięcie sygnałów L+R i L-R względem siebie. Jeśli tego nie zrobisz, nastąpi przenikanie kanału L do R i odwrotnie. Sprawdź czy takie przenikanie występuje.

Wykonaj dekodowanie sygnału stereo z zarejestrowanego sygnału rzeczywistego, znajdującego się w pliku `samples_100MHz_fs3200kHz.raw`. Następnie wykonaj to samo na sygnale `stereo_samples_fs1000kHz_LR_IQ.mat`. Zawiera on jedną „syntetyczną” stację radiową FM stereo. Nadaje ona sygnał najpierw na lewym kanale (sinusoida 1000 Hz), a potem następnie na prawym kanale (sinusoida 800 Hz). Zdekoduj sygnał i sprawdź czy poprawnie otrzymałeś lewy i prawy kanał. Sygnał został zapisany w postaci próbek I i Q dostępnych jako wektory w Matlabie. Sygnał jest próbkowany z częstotliwością 1 MHz, stacja została umieszczona na częstotliwości 250 kHz.

Uwaga: Dobierz tak częstotliwości repróbkiowania sygnału (np. operacja decymacji przy przejściu z sygnału radiowego do hybrydowego sygnału FM, przed demodulacją), aby częstotliwość próbkowania przed decymacją była całkowitą wielokrotnością częstotliwości próbkowania po decymacji.

Opcjonalnie (+0.5 pkt) oblicz energię przesłuchu (w dB) pomiędzy kanałami w dwóch przypadkach: gdy przesunięcie wprowadzane przez filtry pomiędzy sygnałem L+R i L-R zostanie uwzględnione oraz zostanie zignorowane.

4. Odszumianie sygnału EKG (+1.25 pkt).

(+1 pkt) Wczytaj do Matlaba sygnał EKG `ECG100.mat` albo pobierz z Internetu dowolny sygnał elektrokardiograficzny EKG (sygnał elektryczny aktywności serca), np. ze strony <https://www.physionet.org/cgi-bin/atm/ATM>. W przypadku zapisu `ECG100.mat` przyjmij $f_{pr} = 360 \text{ Hz}$.

Oblicz i wyświetl widmo częstotliwościowe sygnału (skorzystaj z funkcji `fft()` lub `pwelch()`) : znajdź w jakich częstotliwościach jest skoncentrowana energia sygnału.

Zaprojektuj filtr cyfrowy FIR, przepuszczający tylko podstawowe składowe częstotliwościowe sygnału EKG oraz usuwający pozostałe, związane z szumem. Dokonaj filtracji sygnału: na jednym rysunku narysuj sygnał wejściowy `x(n)` oraz wyjściowy `y(n)`. Skompensuj P-próbkowe opóźnienie wprowadzane przez filtr. Przypomnij sobie: jeśli filtr ma długość $M = 2P+1$ współczynników/wag, to próbka wejściowa `x(P+1)` odpowiada próbce wyjściowej `y(2*P+1)`, i tak dalej, czyli próbki `x=x(P+1:P+1+N_samples-1)` odpowiadają próbkom `y=y(2*P+1:2*P+1+N_samples-1)`. Jeśli poziom szumu w analizowanym sygnale EKG jest mały, dodaj do niego szum gaussowski, sztucznie wygenerowany: `x=x+0.5*randn(1,length(x))` (wektor próbek szumu musi mieć taką samą orientację, poziomą lub pionową, jak wektor próbek sygnału EKG).

Dokonaj filtracji zaszumionego sygnału EKG. Ponownie narysuj na jednym rysunku oryginalny sygnał wejściowy ("czyste" EKG) oraz sygnał wyjściowy z filtra (wynik odszumiania "brudnego" sygnału EKG). Oba sygnały powinny się w przybliżeniu pokrywać — mniej lub bardziej, w zależności od poziomu szumu.

(+0.25 pkt) Zastosuj filtry o różnej szerokości pasma przepustowego, różnym tłumieniu w paśmie zaporowym, różnej długości. Powtórz eksperyment dla szumu o małej i dużej amplitudzie (odchyleniu standardowym - zmień współczynnik skalujący szum równy 0.5 na inny).