

# Digital Signalbehandling – Miniprojekt 3:

Tone Control

Team 4

Ricky Schultz (au634379)

Jenath Srikanth (au634825)

## Indholdsfortegnelse

Figur liste.....	2
Indledning.....	3
Formål.....	3
Analyse .....	4
Audio spectrum .....	4
<i>FilterSelect</i> funktion.....	5
Anvendelse af <i>Tonekontrol</i> .....	8
Konklusion.....	11

## Figur liste

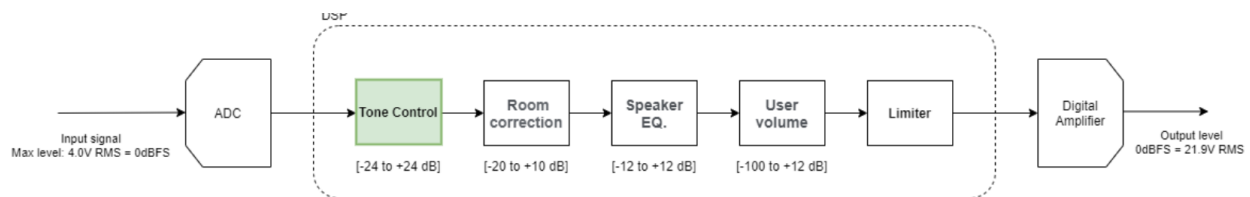
Figur 1 - Flowchart in tone control .....	3
Figur 2 - second-order shelving filter coefficients .....	4
Figur 3 - Sound frequency range.....	5
Figur 4 - Amplituderrespons .....	9
Figur 5 - Faserrespons .....	10
Figur 6 - impulsrespons.....	10

## Indledning

Vi vil i denne opgave anvende digital signalbehandling til at justere lyden i en Lyngdorf TDAI-1120 forstærker. Vi vil arbejde med audiofiltre og algoritmer til at opnå en løsning. Forstærkeren indeholder en DSP med forskellige features som tonecontrol, Room Correction og Speaker EQ. I dette miniprojekt vil vi gøre brug af shelving filtre til at konstruere en tonekontrol for lavfrekvenser (bass) og høje frekvenser (treble).

## Formål

Vi vil analysere og designe en tonekontrol, som skal kunne ændre på gain af henholdsvis bassen og diskanten. Tonekontrol er det førsteled i DSP'en som ses på Figur 1 nedenfor.



Figur 1 - Flowchart in tone control

Dette vil vi gøre ved at konstruere to shelving-filtre i kaskade, hvor den ene er til bass og den anden til treble. Kravene er således:

- 2 x IIR-filtre (shelving)
- Niveau i hvert bånd  $\pm 24\text{dB}$

## Analyse

Den tonekontrol vi skal bygge, bliver en simplificeret udgave af en equalizer med double band indeholdende cut og boost af inputsignalet. Det vil sige, at equalizere former af lydspektret ved at forbedre visse frekvens bands, mens andre forbliver upåvirket. Måden dette kan gøres på, er ved at bruge shelving filtre. Vi konstruerer herved to shelving filtre og kaskade kobler dem. På denne måde får vi lavet et band for de lave frekvenser, og et band for de høje frekvenser, derudover kommer der også et tilhørende band for de individuelle cut-off frekvenser.

Et 1. ordens shelving filter har et slope af frekvenskurven på 6 dB pr. octave (Zölzer, 2011), men i dette miniprojekt ønskes et større slope. Det vil sige stejler hældning, hvilket er hvorfor vi konstruere 2. ordens shelving filtre. Til konstruktionen af shelving IIR-filtrene gøres brug af formlerne fra Table 2.3 se Figur 2. Tabellen beskriver formlerne for de 3 "b" koefficienter og de 2 "a" koefficienter, da "a0" altid er 1. For at kunne bruge formlerne til koefficienterne skal "K" og "V0" beregnes, som der også ses formler til i Table 2.3 se Figur 2.

**Table 2.3** Second-order shelving filter design with  $K = \tan(\pi f_c/f_s)$  and  $V_0 = 10^{G/20}$  [Zöl05].

	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$a_1$	$a_2$
LF boost	$\frac{1+\sqrt{2V_0}K+V_0K^2}{1+\sqrt{2}K+K^2}$	$\frac{2(V_0K^2-1)}{1+\sqrt{2}K+K^2}$	$\frac{1-\sqrt{2V_0}K+V_0K^2}{1+\sqrt{2}K+K^2}$	$\frac{2(K^2-1)}{1+\sqrt{2}K+K^2}$	$\frac{1-\sqrt{2}K+K^2}{1+\sqrt{2}K+K^2}$
LF cut	$\frac{V_0(1+\sqrt{2}K+K^2)}{V_0+\sqrt{2V_0}K+K^2}$	$\frac{2V_0(K^2-1)}{V_0+\sqrt{2V_0}K+K^2}$	$\frac{V_0(1-\sqrt{2}K+K^2)}{V_0+\sqrt{2V_0}K+K^2}$	$\frac{2(K^2-V_0)}{V_0+\sqrt{2V_0}K+K^2}$	$\frac{V_0-\sqrt{2V_0}K+K^2}{V_0+\sqrt{2V_0}K+K^2}$
HF boost	$\frac{V_0+\sqrt{2V_0}K+K^2}{1+\sqrt{2}K+K^2}$	$\frac{2(K^2-V_0)}{1+\sqrt{2}K+K^2}$	$\frac{V_0-\sqrt{2V_0}K+K^2}{1+\sqrt{2}K+K^2}$	$\frac{2(K^2-1)}{1+\sqrt{2}K+K^2}$	$\frac{1-\sqrt{2}K+K^2}{1+\sqrt{2}K+K^2}$
HF cut	$\frac{V_0(1+\sqrt{2}K+K^2)}{1+\sqrt{2V_0}K+V_0K^2}$	$\frac{2V_0(K^2-1)}{1+\sqrt{2V_0}K+V_0K^2}$	$\frac{V_0(1-\sqrt{2}K+K^2)}{1+\sqrt{2V_0}K+V_0K^2}$	$\frac{2(V_0K^2-1)}{1+\sqrt{2V_0}K+V_0K^2}$	$\frac{1-\sqrt{2V_0}K+V_0K^2}{1+\sqrt{2V_0}K+V_0K^2}$

Figur 2 - second-order shelving filter coefficients

## Audio spectrum

Audio spectrum, også kaldet lydspektret er det hørbare frekvensområde for mennesker, som går fra 20 Hz til 20.000 Hz. I denne opgave bruges kun bass og treble, og vi vil derfor undersøge cut-off frekvenserne for disse områder.

Ud fra (Teach Me Audio, 2020) har vi fundet cut-off til bass til at være 60 - 250 Hz, og treble til at være 4 - 6 kHz. Se Figur 3, for lydspektret ved alle områder.

Frequency Range	Frequency Values
Sub-bass	20 to 60 Hz
Bass	60 to 250 Hz
Low midrange	250 to 500 Hz
Midrange	500 Hz to 2 kHz
Upper midrange	2 to 4 kHz
Presence	4 to 6 kHz
Brilliance	6 to 20 kHz

Figur 3 - Sound frequency range

## FilterSelect funktion

For at producere vores filtre, vil vi lave en eksplicit funktion i matlab. Matlab funktionen vil blive vedhæftet som bilag.

Vi starter med at definere funktionen, og kalder den for *FilterSelect*. Den tager fire argumenter henholdsvis sampling frekvens, gain af filtret, cut-off frekvens, og om det er et lavpas- eller højpas-filtret. Funktionen returnerer så B og A koefficienterne af IIR filtret.

K og V0 koefficienterne bestemmes som følgende.

```
%function [Bout,Aout] = FilterSelect(Fs, gain,Fc, sel)
%K = tan(pi*Fc/Fs);
%V0 = 10^(gain/20);
```

Nu skal filterkoefficienterne bestemmes. Det ses at nogle af nævnerne for beregningerne er gentagende, hvorfor disse kan pre-defineres.

```
%denomBoost = (1+sqrt(2)*K+K^2);
%denomCutLF = (V0+sqrt(2*V0)*K+K^2);
%denomCutHF = (1+sqrt(2*V0)*K+V0*K^2);
```

Først udvælges, om det er et filter for bass eller treble, hvilket gøres i den yderste if statement ud fra selector argumentet. Da der er forskellige koefficienter for hvis filteret, skal booste eller cutte, laves der en indre if statement, der tjekker netop dette. Dette gøres ved at se på gain argumentet, da hvis

denne er over eller under 0, er der tale om henholdsvis boost ellers cut. Er gain lig med 0, ved vi at filteret er fladt, og intet skal ændres ved signalet. Derfor er denne case taget med under boost if statementet.

```
%if(sel == "bass")
%    boost
%    if(gain >= 0)
%        b0=(1+sqrt(2*V0)*K+V0*K^2)/denomBoost;
%        b1=(2*(V0*K^2-1))/denomBoost;
%        b2=(1-sqrt(2*V0)*K+V0*K^2)/denomBoost;
%        a1=(2*(K^2-1))/denomBoost;
%        a2=((1-sqrt(2)*K+K^2))/denomBoost;
%        %cut
%    elseif (gain < 0)
%        b0=(V0*(1+sqrt(2)*K+K^2))/denomCutLF;
%        b1=(2*V0*(K^2-1))/denomCutLF;
%        b2=(V0*(1-sqrt(2)*K+K^2))/denomCutLF;
%        a1=(2*(K^2-V0))/denomCutLF;
%        a2=(V0-sqrt(2*V0)*K+K^2)/denomCutLF;
%    end
%elseif(sel == "treble")
%    boost
%    if(gain >= 0)
%        b0=(V0+sqrt(2*V0)*K+K^2)/denomBoost;
%        b1=(2*(K^2-V0))/denomBoost;
%        b2=(V0-sqrt(2*V0)*K+K^2)/denomBoost;
%        a1=(2*(K^2-1))/denomBoost;
%        a2=((1-sqrt(2)*K+K^2))/denomBoost;
%        %cut
%    elseif (gain < 0)
%        b0=(V0*(1+sqrt(2)*K+K^2))/denomCutHF;
%        b1=(2*V0*(K^2-1))/denomCutHF;
%        b2=(V0*(1-sqrt(2)*K+K^2))/denomCutHF;
%        a1=(2*(V0*K^2-1))/denomCutHF;
%        a2=(1-sqrt(2*V0)*K+V0*K^2)/denomCutHF;
```

```
%    end  
%end
```

Når koefficienterne er fundet, kan de samles i hver deres array, og tildeles til retur værdierne for funktionen.

```
%Aout = [b0, b1, b2];  
%Bout = [1, a1, a2];  
%  
%end
```

## Anvendelse af *Tonekontrol*

Nu vil vi anvende funktionen med et konkret eksempel.

```
%[x,Fs]=audioread("dinLydFil.mp3"); % Her kunne man eksempelvis uploade sin egen lydfil
```

Vi uploader lydfile fra miniprojekt 1.

```
load("miniprojekt1_lydklip.mat"); % Her uploads en lydfile vi brugte i Miniprojekt 1
```

Der laves nu fire sliders til at justere henholdsvis cut-off for bass, cut-off for treble, gain for bass og gain for treble.

```
Fcb      = 150  ;      % Cutoff for bass
Fct      = 4500  ;      % Cutoff for treble

gainBass  = 10  ;      % Gain for bass
gainTreble = -6  ;      % Gain for treble
```

Med de ønskede parametre kan den skabte funktion (FilterSelect), nu anvendes til at frembringe filterkoefficienterne for de to filtre.

```
[Bbas,Abas] = FilterSelect(fs_s2,gainBass,Fcb,"bass");      % b og a
koefitienter for bass
[Btreb,Atreb] = FilterSelect(fs_s2,gainTreble,Fct,"treble"); % b og a
koefitienter for treble
```

Vi bruger nu følgende funktioner til at lave filtrene, og derefter kaskade koble de to filtre.

```
Nfft = 4096;      % For at få flere data at arbejde med
Hbas = fft(Bbas,Nfft)./fft(Abas,Nfft); % IIR filter for bass
Htreb = fft(Btreb,Nfft)./fft(ATreb,Nfft); % IIR filter for treble
Hcas = Hbas.*Htreb; % Kaskadekobling af de to IIR filtre
```



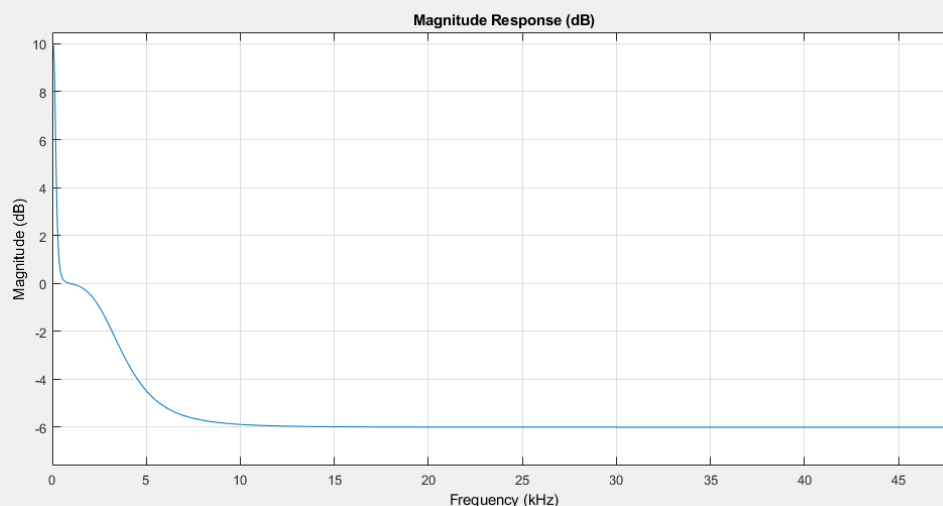
```
Hcas = real(iff(Hcas)); % Ændring af kaskadekoblingen til  
tidsdomæne  
y1 = filter(Bbas,Abas,s2); % Her påtrukkes bassfilteret på  
inputtet  
y2 = filter(Btreb,Atreb,y1); % Her påtrukkes treblefilteret på  
outputtet fra bassfilteret
```

Der er her lavet tre knapper, der kan anvendes til at afspille det filtrerede signal, det ufiltrerede signal og til at stoppe musikken.

```
soundsc(y2,fs_s2) % Det filtrerede signal  
  
soundsc(s2,fs_s2) % Det ufiltrerede signal  
  
clear sound % Stop musik
```

Her ses amplituderesponset for det ønskede filter, og vi kan se at det sammen overens med de valgte parametre.

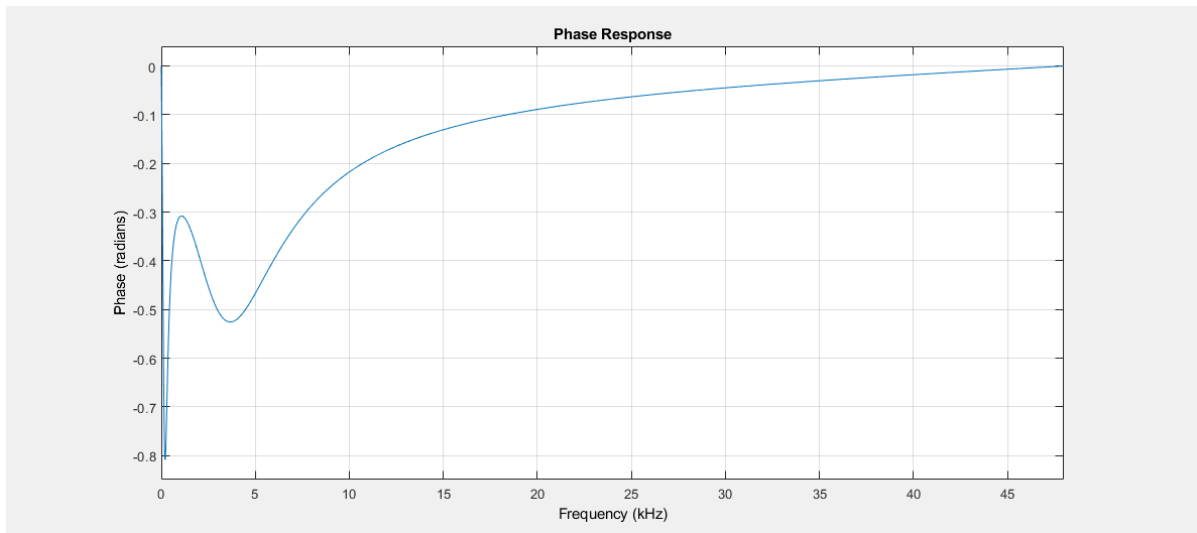
```
fvtool(Hcas, 'Analysis', 'magnitude', 'Fs', fs_s2); % Amplitude plot
```



Figur 4 - Amplituderrespons

Her ses fase responset for det ønskede filter, og vi kan se at der ikke er lineær fase.

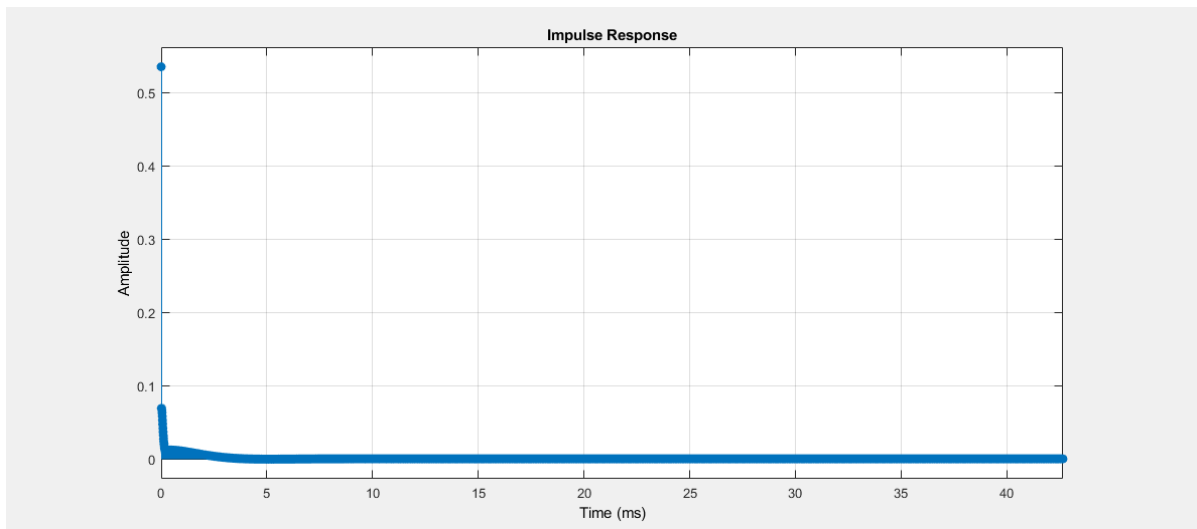
```
fvtool(Hcas, 'Analysis', 'phase', 'Fs', fs_s2); % Fase plot
```



Figur 5 - Faserespons

Her ses impulsresponset for det ønskede filter, og vi kan se at det er et IIR-filter, fordi den forsætter uendeligt.

```
fvtool(Hcas, 'Analysis', 'impulse', 'Fs', fs_s2); % Impuls plot
```



Figur 6 - impulsrespons

## Konklusion

Vi har i denne opgave konstrueret en tonekontrol til Lyngdorf TDAI-1120 forstærker. Dette er blevet udført ved at anvende 2. ordens shelving IIR-filtre. Vi har skabt en filterfunktion, som kan genere "b" og "a" koefficienterne til filtrene ud fra ønskede parametre. Vi har udover funktionen, lavet et brugervenligt miljø til ændring af tonekontrol for treble og bass, med et konkret eksempel.

## Referencer

Teach Me Audio, 2020. *teach me audio*. [Online]

Available at: <https://www.teachmeaudio.com/mixing/techniques/audio-spectrum?fbclid=IwAR3uDkhdU9jIhS4PFD49-gdneO2DQsrFGKYReTSIry4IhxTPNLxQEVj2fv0>

[Senest hentet eller vist den 20 11 2020].

Zölzer, U., 2011. DAFX: Digital Audio Effects, Second Edition. I: s.l.:John Willey & Sons.