



Designnotat III

Tittel: Støyfjerning i lydoptak

Forfattere: Jakob Furnesvik Eikeland

Versjon: 1.0

Dato: 11.03.2025

Innhold

1	Problembeskrivelse	1
2	Prinsipiell løsning	2
2.1	Introduksjon	2
2.2	Båndstoppfilter	3
2.3	Krets	4
3	Realisering og test	5
3.1	Støymåling	5
3.2	Oppkobling og måling	5
3.3	Drøfting	8
4	Konklusjon	8
5	Takk	8
	Referanser	9

1 Problembeskrivelse

Feil ved utstyret har gjort at en pipetone er kommet med under opptak av et musikksignal. Det skal utvikles et system som forbedrer signalkvaliteten.

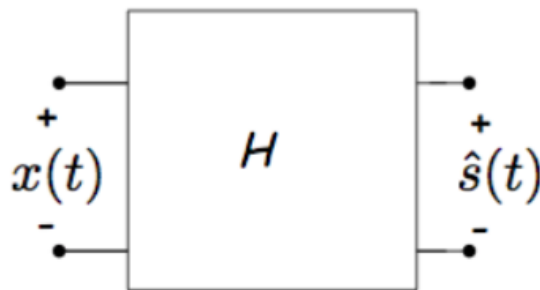
2 Prinsipiell løsning

2.1 Introduksjon

Et signal $x(t)$ vil kunne bestå av flere signaler fra ulike kilder. Ofte vil vi kunne skille mellom signalene fra de ulike kildene i systemet. For å skille mellom signalene kan vi tenke på signalet, $x(t)$, som en sum av det ønskede signalet, $s(t)$, og de andre signalene, $w(t)$.

$$x(t) = s(t) + w(t) \quad (1)$$

Vi kaller da ofte $s(t)$ for *signalet* og $w(t)$ for *støy*. For å fjerne støyet vil vi designe et system slik som i Figur 1.

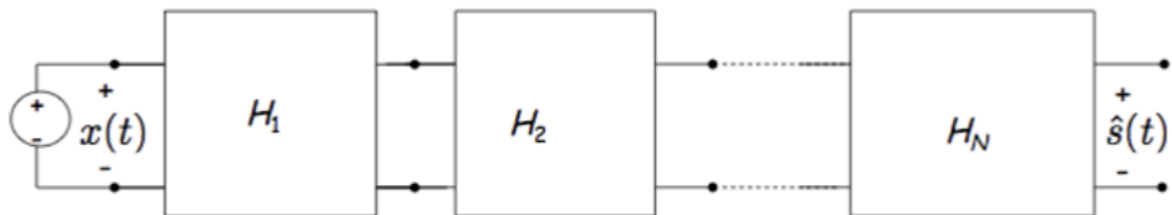


Figur 1: System for fjerning av støy

Der $x(t)$ er inngangssignalet slik som i Ligning 1 og $\hat{s}(t)$ er den beste mulige tilnærmingen til det ønskede signalet, $s(t)$, hvor mest mulig av støyen, $w(t)$, er fjernet og $s(t)$ er endret minst mulig. Dette er for å forbedre signalkvaliteten, som i sammenheng med musikksignalet vil bety å gjøre signalet mer behagelig å lytte til ved å fjerne pipetonen uten å ødelegge musikken.

Et slikt system som i Figur 1 kan realiseres ved bruk av et lineært filter. Dette kan lages analogt eller digitalt, men vil videre fokusere på et lineært analogt filter bestående av motstander, kondensatorer, spoler og operasjonsforsterkere. Dette er fordi slike filtre er tidsinvariant som gjør at vi kan filtrere vekk frekvenskomponenter som er typisk for støyen, og slippe andre frekvenskomponenter gjennom.

For å få det ønskede systemet for fjerning av støy må filteret ha høy dempning og så liten båndbredde som mulig for å minske dempning av resten av signalet. En måte dette kan oppnås på er ved å kaskadekobling av flere delsystemer med lav orden [1].



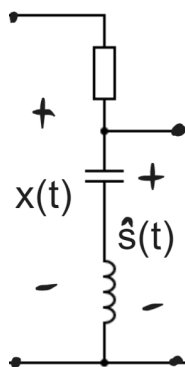
Figur 2: Realisering av systemet ved kaskadekobling

Dersom alle delsystemene har høyere utgangsimpedans enn inngangsimpedansen til det neste delsystemet, kan totalresponsen, $H(f)$ regnes ut som produktet av alle responsene:

$$H(f) = H_1(f) \cdot H_2(f) \cdot \dots \cdot H_N(f) \quad (2)$$

2.2 Båndstoppfilter

Båndstoppfilter er en type lineært analogt filter som slipper igjennom frekvenskomponenter som ikke er lik resonansfrekvensen, f_0 , og som demper frekvenser ved resonansfrekvensen. Filteret består av en motstand koblet i serie med en kondensator og en spole.



Figur 3: Båndstoppfilter

Signalet ut av filteret hentes ut fra over kondensatoren og spolen i serie. For å fjerne støyet i signalet settes resonansfrekvensen til båndpassfilteret til frekvenskomponentene til støyet. Denne frekvensen kan finnes ved bruk av en spektrumanalysator. Resonansfrekvensen vil være frekvensen som gjør at summen av reaktansen gjennom kondensatoren og spolen blir lik 0.

$$0 = j\omega_0 L - j\frac{1}{\omega_0 C} \quad (3)$$

Ved å sette en verdi for spolen eller kondensatoren kan vi beregne verdien til den andre komponenten i båndstoppfilteret fra Ligning 3.

$$C = \frac{1}{L\omega_0^2} \quad (4)$$

$$L = \frac{1}{C\omega_0^2} \quad (5)$$

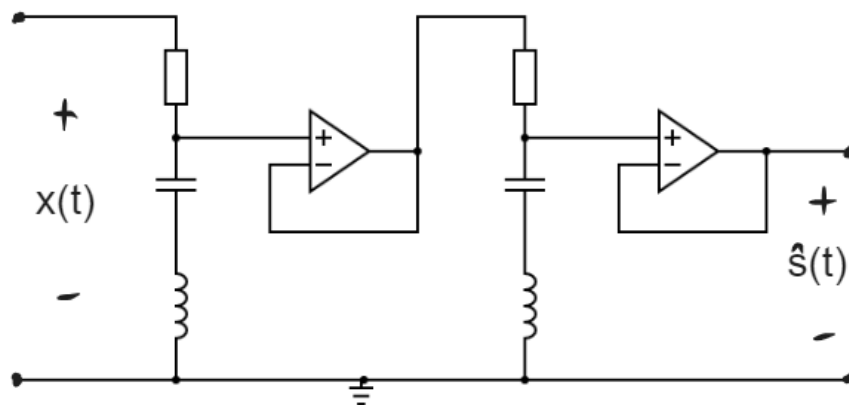
Der resonans-vinkelfrekvensen, ω_0 , er gitt ved formelen:

$$\omega_0 = 2\pi f_0 \quad (6)$$

Etter oppkobling kan filterets resonansfrekvens verifiseres ved bruk av en nettverksanalysator.

2.3 Krets

For å oppnå riktig forhold mellom ut- og inngangsimpedansen kan det settes et buffer i mellom kaskadekoblingene av båndpassfiltrene.

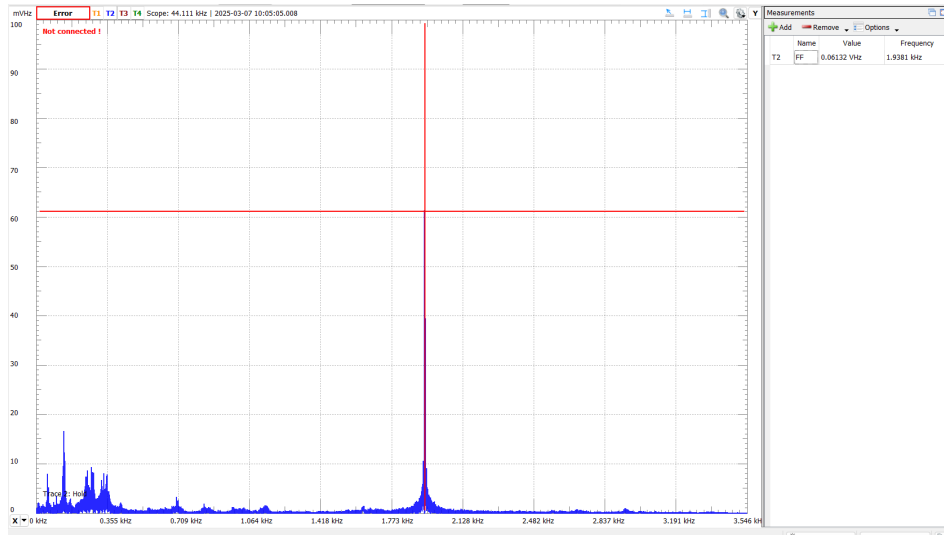


Figur 4: Kretstegning

3 Realisering og test

3.1 Støymåling

For å finne frekvenskomponentene til pipetonen måles musikkssignalet med en spektrumanalysator.



Figur 5: Måling av støyfrekvens.

Vi ser da ut ifra målingene at pipetonen har en frekvens på 1.9381 kHz. Med en spole på oppgitt $100mH$ kan vi beregne en teoretisk verdi for kondensatoren med Ligning 4 og Ligning 6:

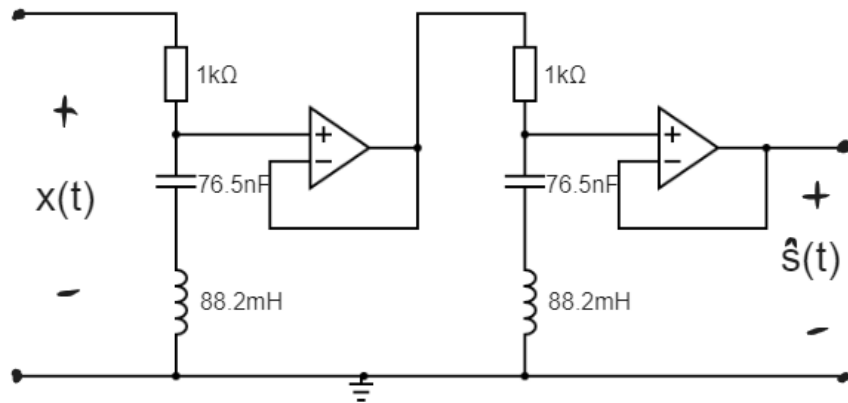
$$C = \frac{1}{0.100 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 1938.1)^2} = 67.4nF$$

3.2 Oppkobling og måling

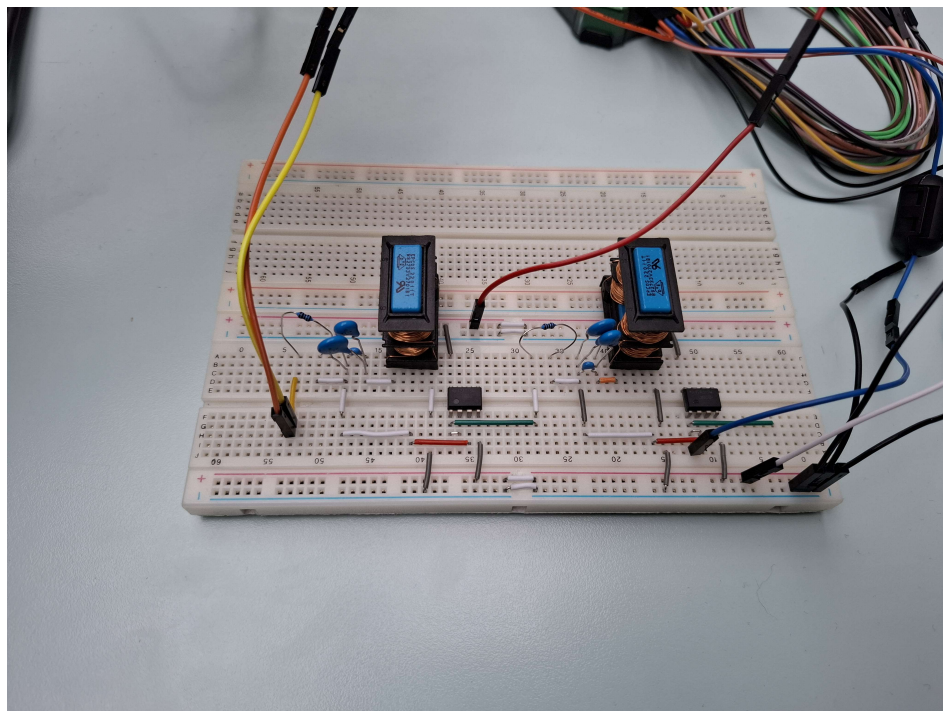
For å få best lyd kvalitet er det valgt å sette opp en kaskadekobling av to båndpassfiltre slik som i Figur 4. For sammenligning og test måles systemet med et, $\hat{s}_1(t)$, og to, $\hat{s}_2(t)$, filtre for å se at systemet og delsystemene har ønsket respons.

Systemets resonansfrekvensen med en $68nF$ kondensator og $1k\Omega$ ble målt høyere enn frekvensen på pipetonen. For å forbedre systemet blir det gjort kontinuerlige målinger av resonansfrekvensen og lagt til kondensatorer med $3.3nF$, $4,7nF$ og $470pF$ i parallell som gir en kapasitans på ca $76.5nF$. Kan beregne den reelle induktansen til spolene med Ligning 5 og Ligning 6:

$$L = \frac{1}{76.5 \cdot 10^{-9} \cdot (2 \cdot \pi \cdot 1938.1)^2} = 88.2mH$$



Figur 6: Kretstegning av realisert krets.



Figur 7: Oppkobling av båndstoppfilter

Måling av systemet med en nettverksanalysator gir følgende bode plots:

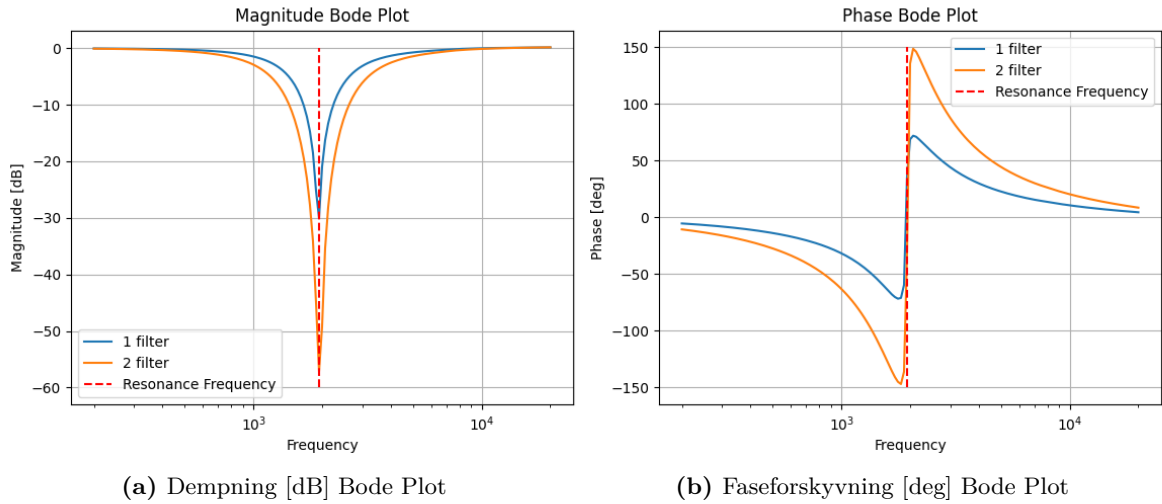


Figure 8: Nettverksanalyse av systemet

Fra Figur 8a og Figur 8b får vi at $\hat{s}_1(t)$ har en dempning på -29.9dB og -33.3 graders faseforskyvning ved resonansfrekvensen. $\hat{s}_2(t)$ derimot har en dempning på -56.9 dB og -32.3 graders faseforskyvning ved resonansfrekvensen.

Ved å koble musikkssignalet inn i systemet kan responsen måles og sammenligne $\hat{s}_1(t)$ og $\hat{s}_2(t)$:

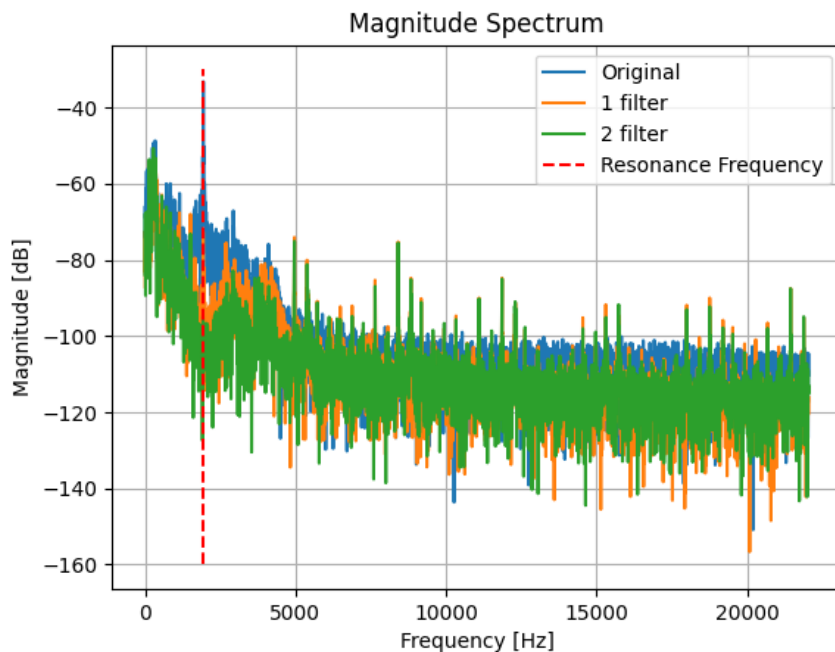


Figure 9: Magnitude spectrum av lydsignal.

Signalene kan så gjøres om til lydfiler slik at vi kan høre på lydkvaliteten av de filtrerte signalene.

3.3 Drøfting

Fra Figur 9 kan vi se at pipetonen er ganske dempet og svært dempet gjennom henholdsvis $\hat{s}_1(t)$ og $\hat{s}_2(t)$. De andre frekvenskomponentene har også blitt dempet ganske likt for begge signalene. Men vi kan også se at ved høyere frekvenser blir det introdusert nye frekvenskomponenter med støy. Dette kan komme av interferens imellom ledningene i testutstyret. I tillegg er det høy usikkerhet i komponentene brukt som forårsaker at det måtte legges til flere kondensatorer, som igjen øker usikkerhet i systemet.

Under lytting av lydsignalene er pipetonen merkbar i $\hat{s}_1(t)$, og så vidt merkbar i $\hat{s}_2(t)$. Resten av musikken er dempet litt men den generelle lydkvaliteten har økt som resultat av filtreringen, hvor $\hat{s}_2(t)$ gir best resultat med rom for forbedring. Det kan oppnås ved bruk av høyere kvalitet komponenter og av å legge til flere delsystemer i kaskadekobling.

4 Konklusjon

Det er designet et system som ved bruk av båndpassfilter i kaskadekobling forbedrer signalkvaliteten på et musikksignal med en uønsket pipetone. Systemet har en dempning på -56.9 dB ved systemets resonansfrekvens. Dette fører til at pipetonen er så vidt merkbar, og musikksignalet er mer behagelig å lytte til.

5 Takk

Vil gi takk til Andreas Heyerdahl, Ask Scott Darup og Håkon Karveit Mikalsen for godt samarbeid og hjelp med å realisere og teste systemet.

Referanser

- [1] Lars Lundheim, Teknisk notat, *Enkle prinsipper for støyfjerning*, NTNU, Versjon: 1, 2016.