



# Designnotat III

Tittel: Støyfjerning i lydoptak

Forfatter: Jakob Furnesvik Eikeland

Versjon: 2.0

Dato: 16.05.2025

## Innhold

<b>1</b>	<b>Problembeskrivelse</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Prinsipiell løsning</b>	<b>3</b>
2.1	Båndstoppfilter . . . . .	4
2.2	Krets . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Realisering og test</b>	<b>6</b>
3.1	Støymåling . . . . .	6
3.2	Oppkobling og måling . . . . .	6
3.3	Drøfting . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Takk</b>	<b>10</b>
	<b>Referanser</b>	<b>11</b>

---

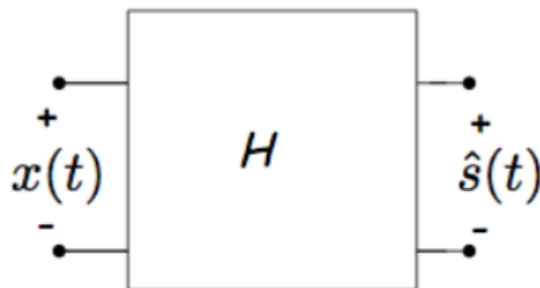
# 1 Problembeskrivelse

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

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 det tenkes på som en sum av det ønskede signalet,  $s(t)$ , og de andre signalene,  $w(t)$  som vist i Ligning 1.

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

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



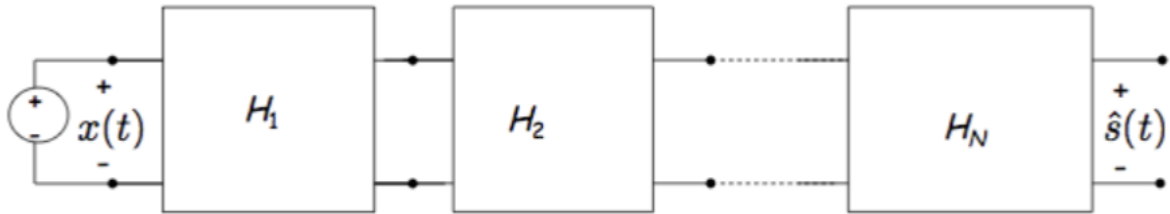
**Figur 1:** System for fjerning av støy

$x(t)$  er inngangssignalet slik som i Ligning 1.  $\hat{s}(t)$  er den ønskelige tilnærmingen til 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.

## 2 Prinsipiell løsning

Et slikt system som i Figur 1 kan realiseres ved bruk av et lineært filter. Dette kan lages analogt eller digitalt, men designnotatet vil videre fokusere på et lineært analogt filter bestående av motstander, kondensatorer, spoler og operasjonsforsterkere. Dette fordi slike filtre er tidsinvariant som gjør at vi kan filtrere vekk frekvenskomponenter som er typiske 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 det resterende signalet. En måte dette kan oppnås på er ved å kaskadekoble flere delsystemer av lav orden som vist i Figur 2 [1].



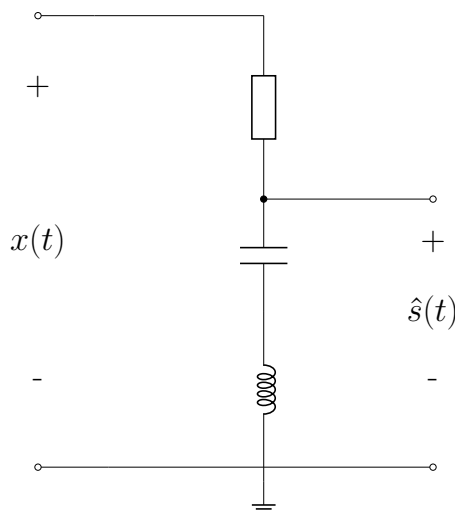
**Figur 2:** Realisering av systemet ved kaskadekobling

Dersom alle delsystemene har høyere utgangsimpedans enn inngangsimpedansen til det neste delsystemet, kan totalresponsen,  $H(f)$  regnes ut som produktet av alle responsene gitt ved Ligning 2 [1].

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

## 2.1 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 som vist i Figur 3.



**Figur 3:** Båndstoppfilter

Signalet  $\hat{s}(t)$  kan hentes ut fra over kondensatoren og spolen i serie. For å fjerne støyen i signalet settes båndpassfilterets resonansfrekvens til den analyserte frekvensen til støyen. Denne frekvensen kan finnes ved bruk av en spektrumanalysator. Resonansfrekvensen vil være frekvensen som gjør at summen av impedansen 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 ut ifra Ligning 3 som gir henholdsvis Ligning 4 og Ligning 5.

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

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

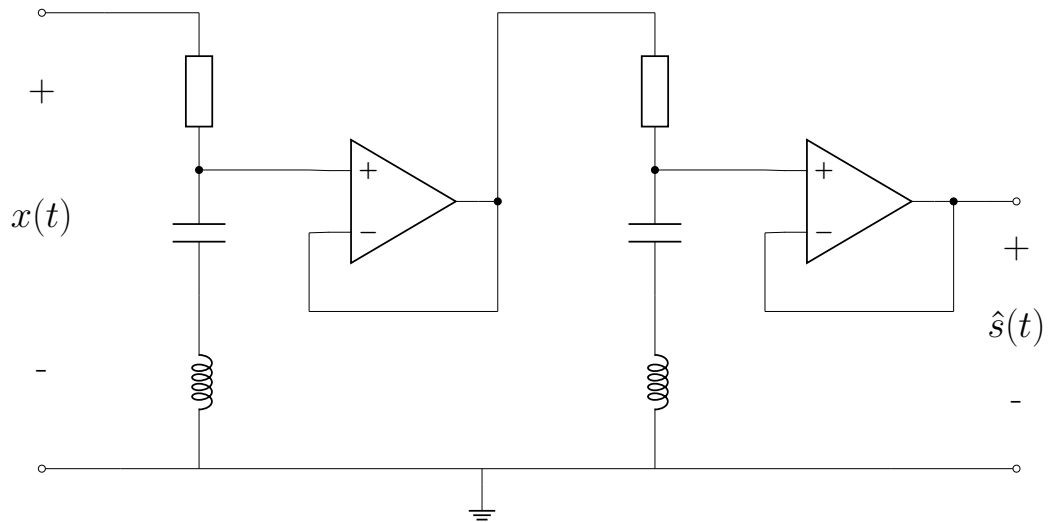
Der resonans-vinkelfrekvensen,  $\omega_0$ , er gitt ved Ligning 6.

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

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

## 2.2 Krets

For å oppnå riktig forhold mellom ut- og inngangsimpedansen kan det settes et buffer i mellom kaskadekoblingene av båndpassfiltrene som vist i Figur 4.

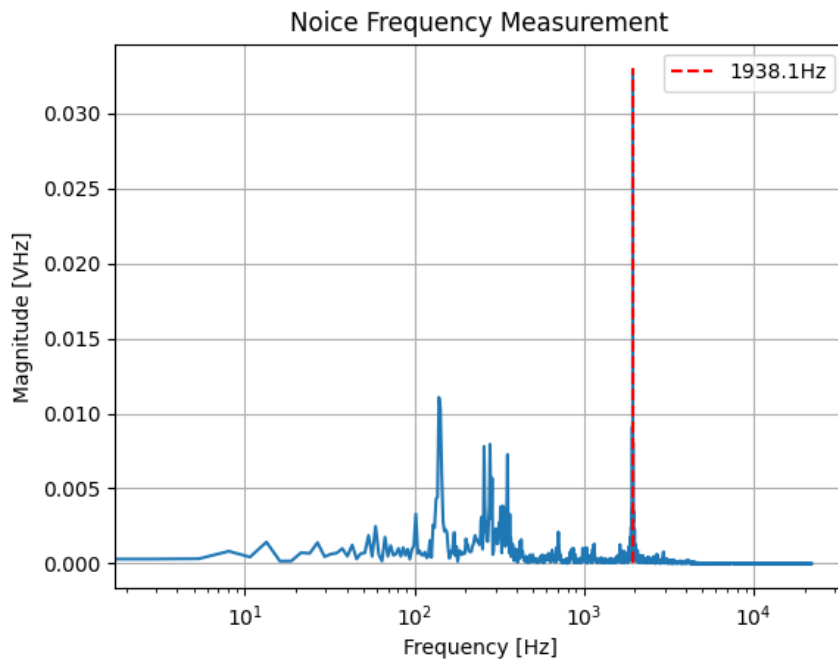


**Figur 4:** Kretstegning

### 3 Realisering og test

#### 3.1 Støymåling

For å finne frekvenskomponentene til pipetonen måles musikkssignalet med en spektrumanalysator som vist i Figur 5.



**Figur 5:** Måling av støyfrekvens med spektrumanalysator.

Figur 5 viser 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:

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

#### 3.2 Oppkobling og måling

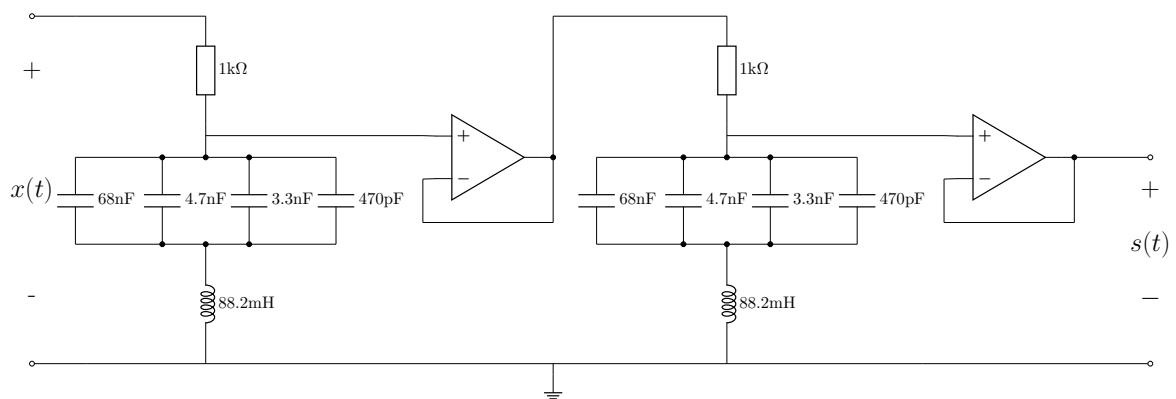
For å få best lydkvalitet er det valgt å sette opp en kaskadekobling av to båndpassfiltre slik som i Figur 4. Ved sammenligning og test måles systemet med et og to filtre,  $\hat{s}_1(t)$  og  $\hat{s}_2(t)$ , for å se at systemet og delsystemene har ønsket respons.

Systemets resonansfrekvens 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

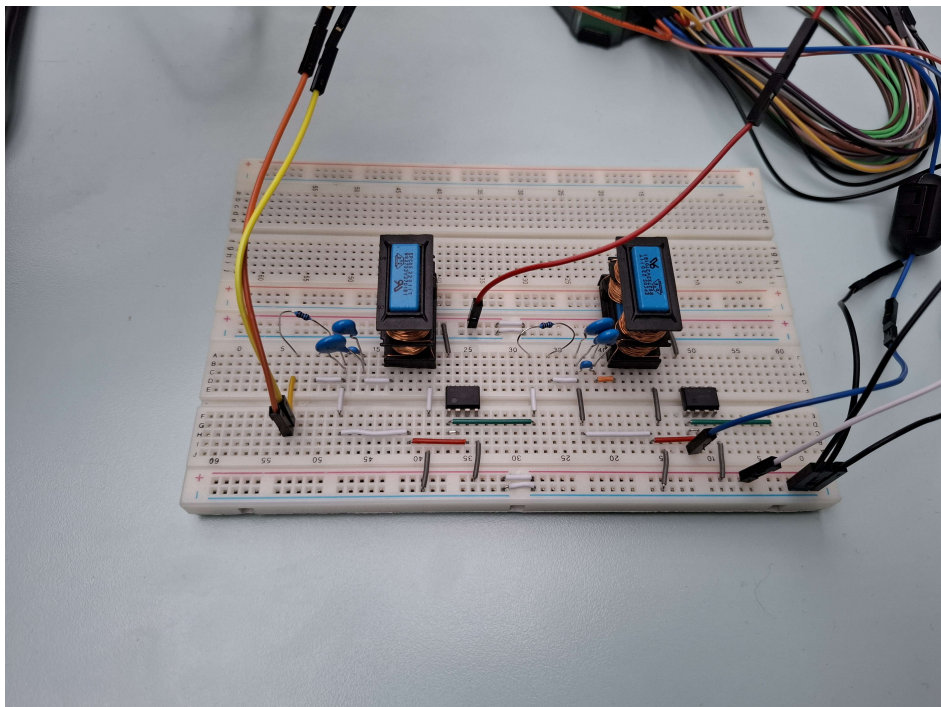
på ca 76.5nF. Med utgangspunkt i målingene og den nye verdien for kapasitansen, beregnes den reelle induktansen til spolene med Ligning 5 og Ligning 6.

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

Det endelige realiserste systemet med komponentverdier og oppkoblingen er vist i henholdsvis Figur 6 og Figur 7.

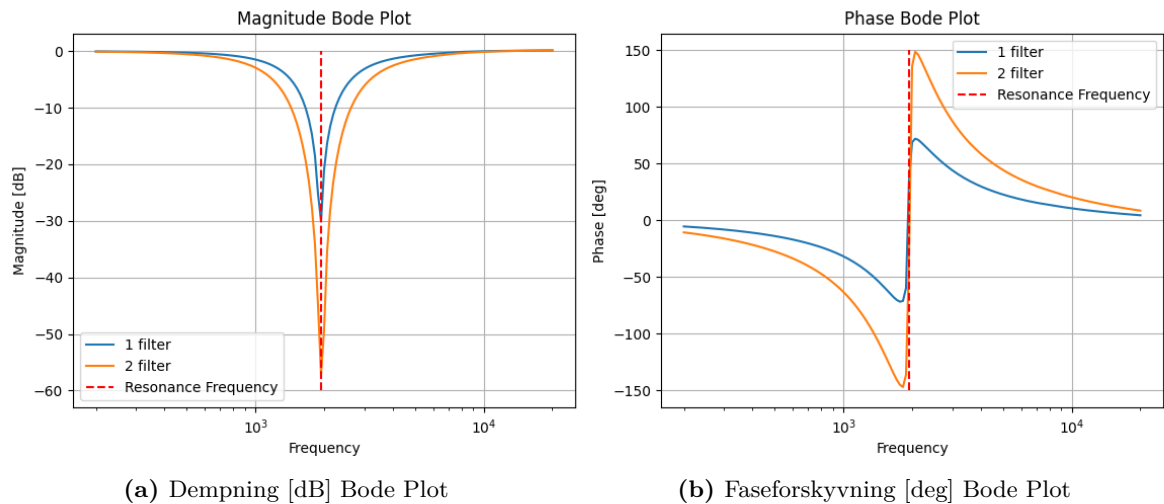


**Figur 6:** Kretstegning av realisert krets.



**Figur 7:** Oppkobling av båndstopperfilter

Systemet måles så med en nettverksanalysator som vist i Figur 8 med et og to filter koblet til.

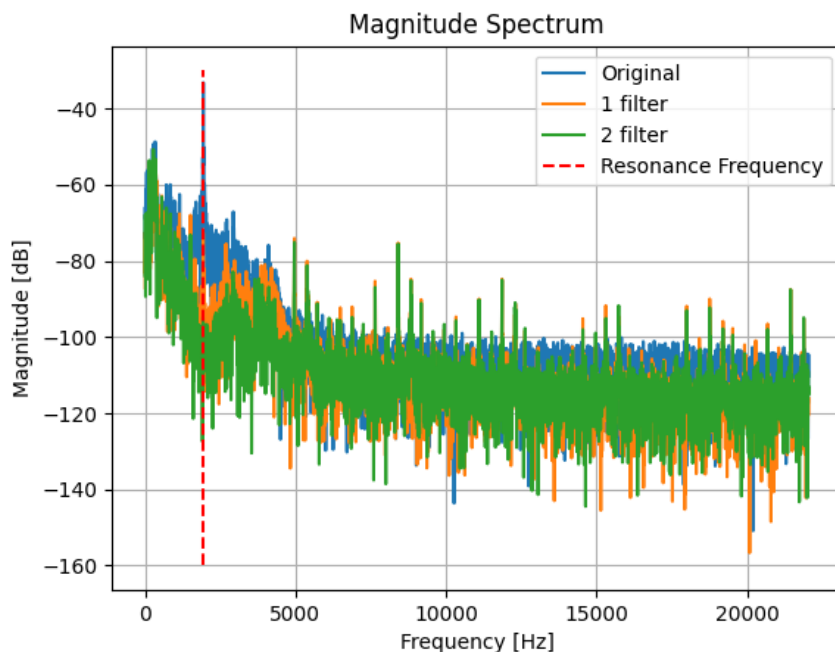


**Figur 8:** Nettverksanalyse av systemet

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 musikksignalet inn i systemet og kjøre en spektrumanalyse som vist i Figur 9 kan amplitudespekteret til lydsignalet sammenlignes gjennom et og to filtre.





**Figure 9:** Amplitudespekter av lydsignalet gjennom et og to filter.

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 forårsaket høy usikkerhet i spolen brukt at det måtte legges til flere kondensatorer, som igjen øker usikkerheten 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 kvalitetskomponenter og ved å legge til flere delsystemer i kaskadekobling.

## 4 Konklusjon

Det er designet et system som ved bruk av to båndpassfiltre i kaskadekobling forbedrer signalkvaliteten på et musikksignal med en uønsket pipetone. Systemet ble realisert med to henholdsvis motstander på  $1\text{k}\Omega$ , sett med kondensatorer i parallell på  $76.5\text{nF}$ , spoler på  $88.2\text{mH}$  og OP-amper brukt som buffere. Systemet har en dempning på  $56.9\text{dB}$  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. Vil også gi takk til Sofie Furnesvik Eikeland og Kjartan Roalsvik for god hjelp og tilbakemeldinger på rapportskrivningen.

## Referanser

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