



Designnotat

Tittel: Pipetonefilter

Forfattere: Øyvind Skaaden

Versjon: 2.0

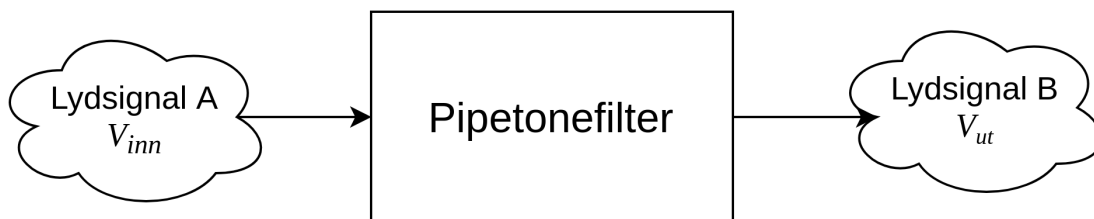
Dato: 29. april 2019

Innhold

1	Problembeskrivelse	1
2	Prinsipiell løsning	2
3	Realisering og test	5
3.1	Realisering	5
3.2	Test	8
4	Konklusjon	9
5	Takk	9
	Referanser	9

1 Problembeskrivelse

Vi skal ta for oss et system som beskrevet i figur 1:



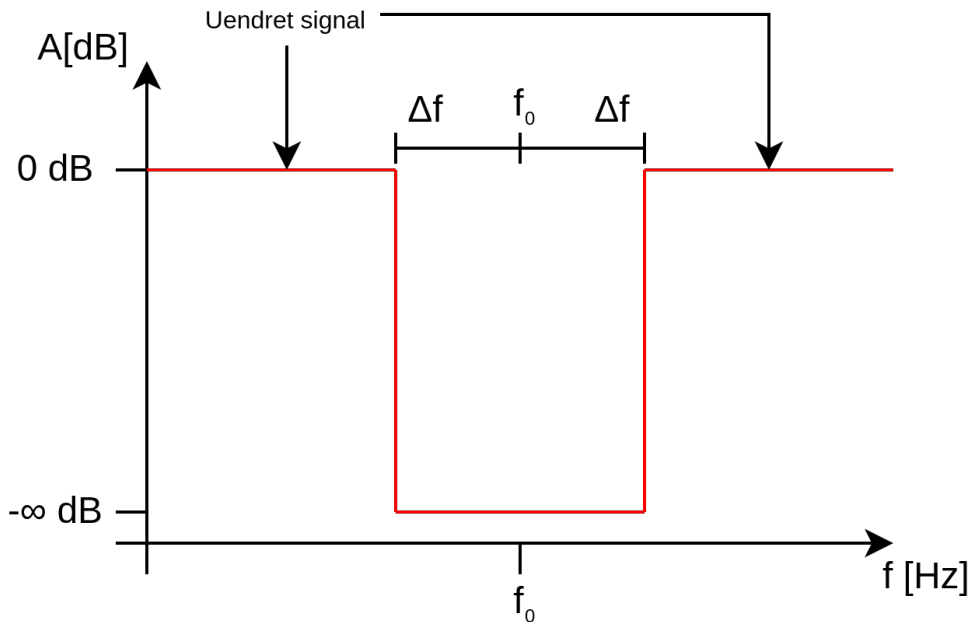
Figur 1: Blokkdiagram over systemet.

Systemet skal fungere som et pipetonefilter for å fjerne uønsket støy på et lydsignal. Vi ønsker at filteret kun skal fjerne den uønskede støyen og la resten av lydsignalet bevege seg gjennom filteret uendret.

Systemet skal ta inn et signal v_1 , og sende ut et signal v_2 som har fjernet den uønskede støyen.

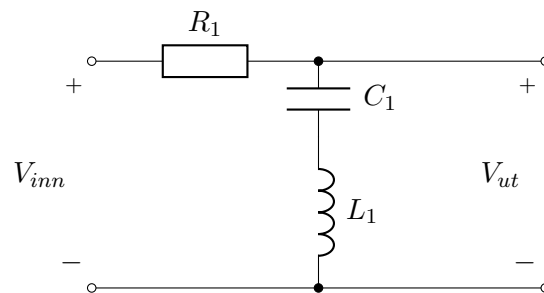
2 Prinsipiell løsning

For å fjerne støy på en spesifikk frekvens kan vi bruke et båndstopp-filter. Det kan designes slik at det ressonerer med en bestemt frekvens og dermed stopper den frekvensen fra å slippe gjennom. Et bånd er i denne sammenhengen et område rundt en stoppfrekvens f_0 , der bredden er $\pm\Delta f$ rundt et punkt f_0 . Den slipper gjennom alle frekvenser utenom frekvensen f_0 og et område rundt Δf . Se figur 2, der den røde linjen er forholdet mellom frekvens og demping.



Figur 2: Frekvensdiagram for båndstoppfilter.

En krets som kan skape en slik oppførsel er en båndstoppkrets som vist i figur 3.



Figur 3: Skjema for en båndstoppkrets.

Siden både kondensatorer og spoler har en impedans som er frekvensavhengig kan vi finne frekvensen da begge resonnerer, altså når de begge får en lav reell impedanse til sammen.

Dersom vi tar utgangspunkt i skjemaet i Figur 3. Da har impedansene:

- Motstand: $Z_{R_1} = R_1$
- Kondensator: $Z_{C_1} = -j\frac{1}{\omega C_1}$
- Spole: $Z_{L_1} = j\omega L_1$

Der Z_{R_1} , Z_{C_1} , Z_{L_1} er impedansene, j er det komplekse tallet $j = \sqrt{-1}$ og ω er vinkelhastigheten, kan også skrives som i (1), der f er frekvensen.

$$\omega = 2\pi f \quad (1)$$

Vi kan da se på hvordan den komplekse amplituden til V_{ut} oppfører seg. Vi bruker Kirchofs' spenningslov om spenningsdeling.

$$V_{ut} = |H(\omega)| \cdot V_{inn} \quad (2)$$

Her er $|H(\omega)|$ amplituderesponsen (amplituden til frekvensresponsen)

$$V_{ut} = \frac{|Z_{C_1} + Z_{L_1}|}{|Z_{R_1} + Z_{C_1} + Z_{L_1}|} \cdot V_{inn} \quad (3)$$

$$= \frac{|j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1}|}{|R_1 + j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1}|} \cdot V_{inn} \quad (4)$$

$$= \frac{\left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}\right)}{\sqrt{(R_1)^2 + \left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}\right)^2}} \cdot V_{inn} \quad (5)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\frac{(R_1)^2}{\left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}\right)^2} + 1}} \cdot V_{inn} \quad (6)$$

Vi kan i (6) se at utgangssignalet er avhengig av R_1 , L_1 og C_1 . Merk at dersom vi velger motstanden $R_1 = 0\Omega$ vil signalet ut være likt inn, $V_{ut} = V_{inn}$. Vi må derav velge en R_1 tilstrekkelig stor.

Ettersom vi ønsker å dempe inngangssignalet når kretsen resonnerer, altså at $V_{ut} \rightarrow 0$, kan vi se på når telleren i (3) er lik 0.

$$j\left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}\right) = 0 \quad (7)$$

$$\omega L_1 + \frac{1}{\omega C_1} = 0 \quad (8)$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} \quad (9)$$

Bytter ut $\omega = 2\pi f_0$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \quad (10)$$

Vi har nå en måte å regne ut den resonnerende frekvensen til en krets som i figur 3.

Vi ser at motstanden R_1 ikke er i likning (10), men den er i nevneren i (6). Dersom vi ønsker V_{ut} så liten som mulig må vi kun velge en tilstrekkelig stor motstand, slik at uttrykket beveger seg raskere mot 0. Den kan også gjøres varierbar ved å bruke en variabel motstand. Ved den resonnerende frekvensen, vil leddet med spolen L_1 og kondensatoren C_1 ha en veldig liten reel impedanse, med andre ord; veldig lite motstand. Ved Kirchoffs spenningslov vil da mesteparten av spenningen ligge over motstanden R_1 dersom den er større enn motstanden til spolen og kondensatoren.

For å få en tilstrekkelig stor demping av frekvensen, må vi velge en stor nok motstand R_1 , men i følge (6) vil denne også gjøre området Δf bredere. Vi kan tenke oss at amplituderresponsen til et system er en trampoline, dersom vi trykker ned et sted på trampolinen vil vi “dempe” området vi trykker ned. Dersom vi deretter trykker enda hardere, vil vi også ta med oss et område rundt der vi trykker. Dette området blir større desto hardere vi trykker.

Det samme gjelder systemet vi jobber med nå, desto mer vi demper, desto større område demper vi også. Dersom dempingen øker vil også Δf også øke.

Vi velger derfor R_1 slik at vi oppnår ønsket demping av støyen vi prøver å fjerne.

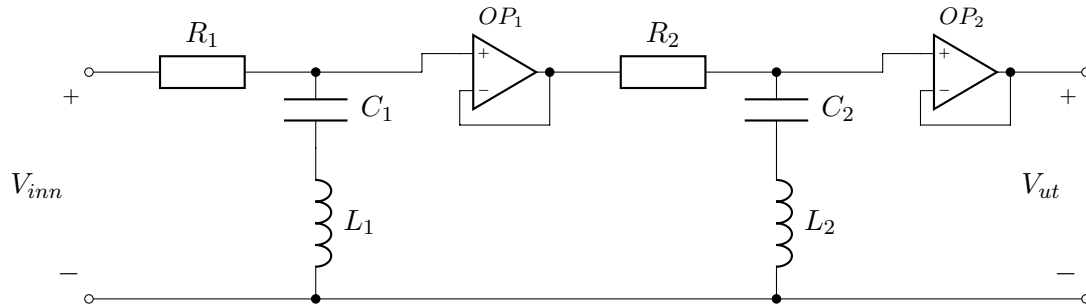
Vi ønsker å ikke endre på andre deler av lydsignalet vårt enn støyen. Et problem med å bruke en krets som i figur 3 er at den har får en veldig stor Δf ved de dempingsnivåene vi ønsker. For å forebygge dette, kan vi legge flere av den typen krets i serie, som beskrevet i kapittel 4 i *Enkle prinsipper for støyfjerning* av Lars Lundheim [1]. Dempingen vil ikke bare summeres, men den vil bli tilnærmet multiplisert.

Siden hver av filterene krever en del strøm, er det lurt å legge inn en buffer, slik at vi ikke endrer på signalet fordi vi ikke klarer å levere tilstrekkelig med strøm. Vi ønsker også å høre på resultatet etter fjerning av støy, så vi trenger også en buffer eller forsterker for å drive en høyttaler.

Som buffer kan vi bruke operasjonsforsterkere, opamper, for å ta inn et signal og sende ut det samme signalet, men med mulighet til å levere mye mer strøm. Vi bruker to opamper i denne kretsen, OP_1 og OP_2 .

Den ferdige kretsen blir da som i figur 4.

Her vil komponentene $C_1 = C_2$ og $L_1 = L_2$. Motstandene settes slik at vi oppnår ønsket demping av støy. Utgangen kan også drive en høyttaler.

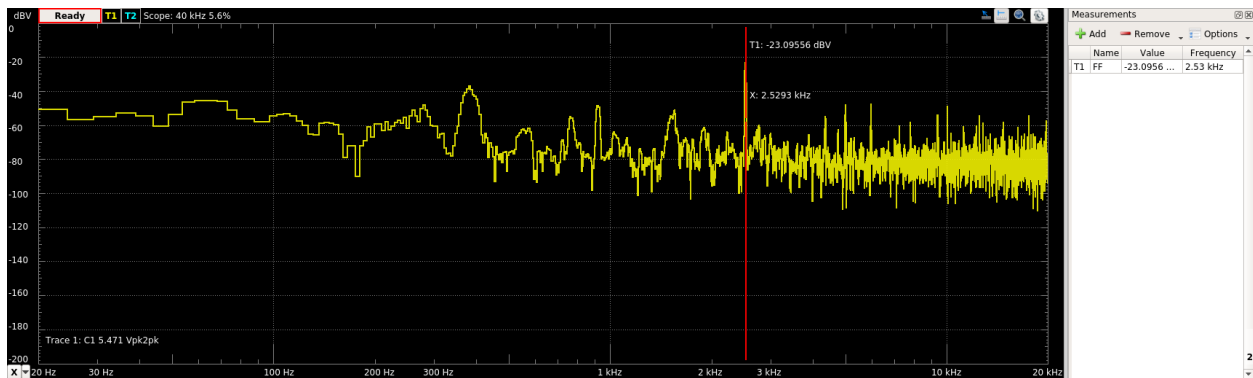


Figur 4: Fullstendig krets.

3 Realisering og test

3.1 Realisering

Det første som gjøres er å finne ut hvilken frekvens som skal fjernes. Måler lydsignalet. Figur 5 viser frekvensdiagrammet til V_{inn} , støyet ligger på frekvensen $f_0 = 2.53\text{kHz}$.



Figur 5: Frekvensdiagram av V_{inn} .

For å realisere kretsen i figur 4, må vi velge noen komponenter.

Ettersom R_1 og R_2 kun bestemmer hvor mye damping som blir gjort, og at vi ikke kan bestemme bredden, velges det å bruke variable motstander med en motstandsverdi på $10\text{k}\Omega$.

Vi vet også at $C_1 = C_2$ og $L_1 = L_2$. Vi velger en spole med verdi $L_1 = L_2 = 100\text{mH}$. Vi kan da bruke (10) for å finne C_1 og C_2 .

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$$

$$C_1 = \frac{1}{L(2\pi f)^2}$$

$$C_1 = \frac{1}{100\text{mH}(2\pi \cdot 2.53\text{kHz})^2}$$

$$C_1 \approx 39.6\text{nF}$$

Den nærmeste standardverdien på kondensatoren er 33nF, tester om denne verdien demper støyen tilstrekkelig.

Frekvensen som dempes vil endres litt grunnet endring av kondensator, sjekker hvor langt unna. Tar utgangspunkt i (10).

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$$

$$= \frac{1}{2\pi\sqrt{100\text{mH} \cdot 33\text{nF}}}$$

$$\approx 2.77\text{kHz} \quad (11)$$

Siden vi demper så mye som vi gjør, vil området som dempes være ganske stort. $\pm 200\text{Hz}$ av f_0 er innenfor området som dempes.

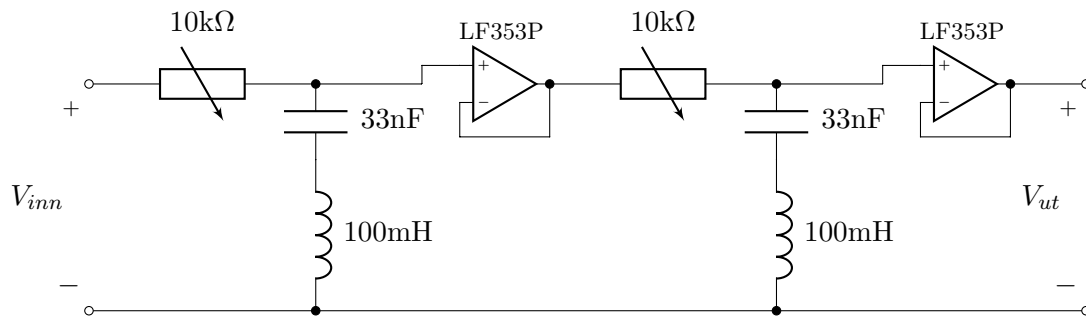
Vi bruker også operasjonsforsterkeren (opamp) LF353P, som har to opamper innebygget.

Da har vi alle komponentene listet i tabell 1.

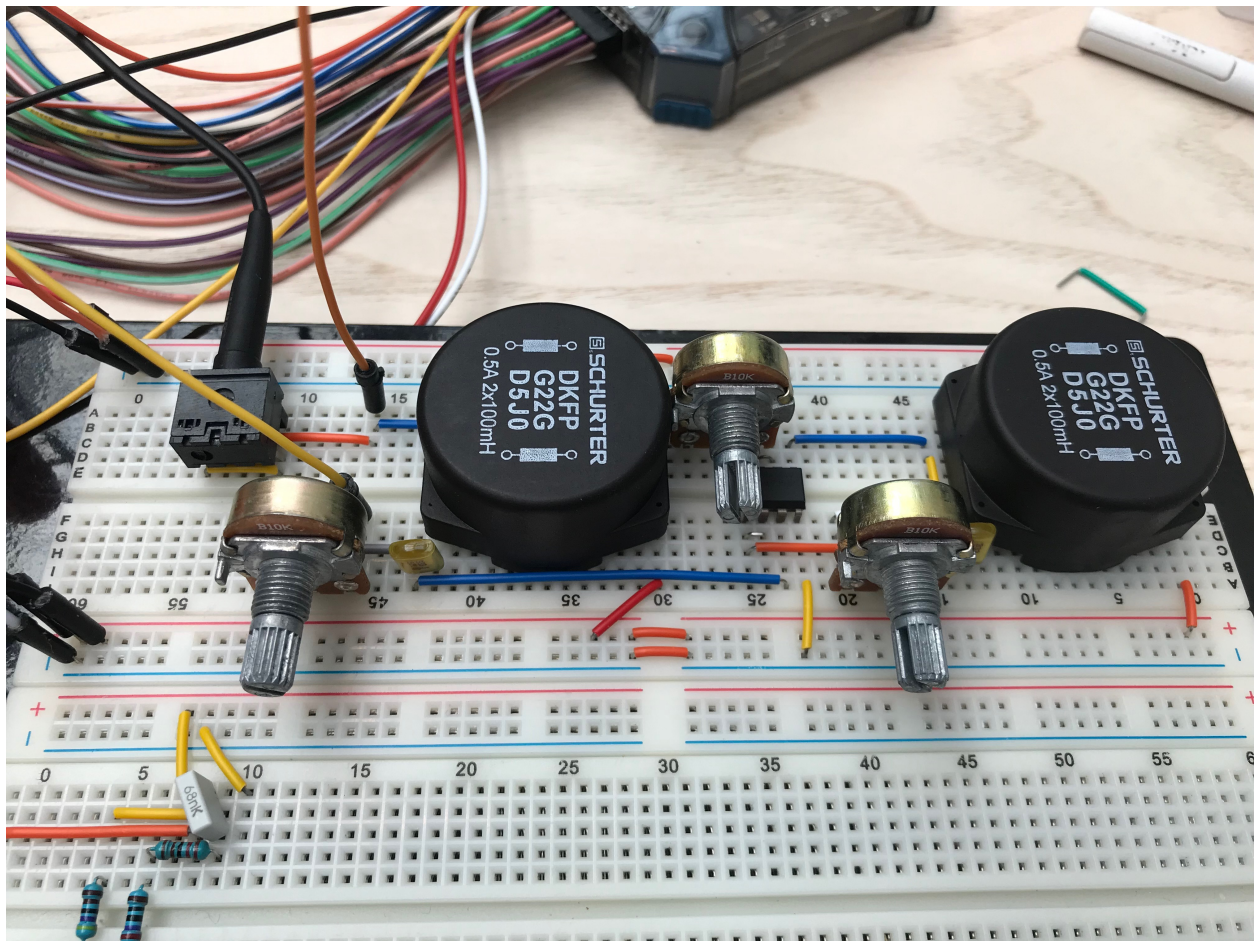
Kretsen er da som følger, skjema i figur 6 og ferdig oppkoblet i figur 7.

Tabell 1: Komponentverdier.

Komponent	Verdi
R_1	10k Ω (Variabel motstand)
R_2	10k Ω (Variabel motstand)
L_1	100mH
L_2	100mH
C_1	33nF
C_2	33nF
OpAmp	LF353P



Figur 6: Fullstendig krets med komponentverdier.



Figur 7: Ferdig oppkoblet krets, med komponenter. Den midterste/bakerste variable motstanden er kun for å regulere volumet, uviktig for kretsen.

3.2 Test

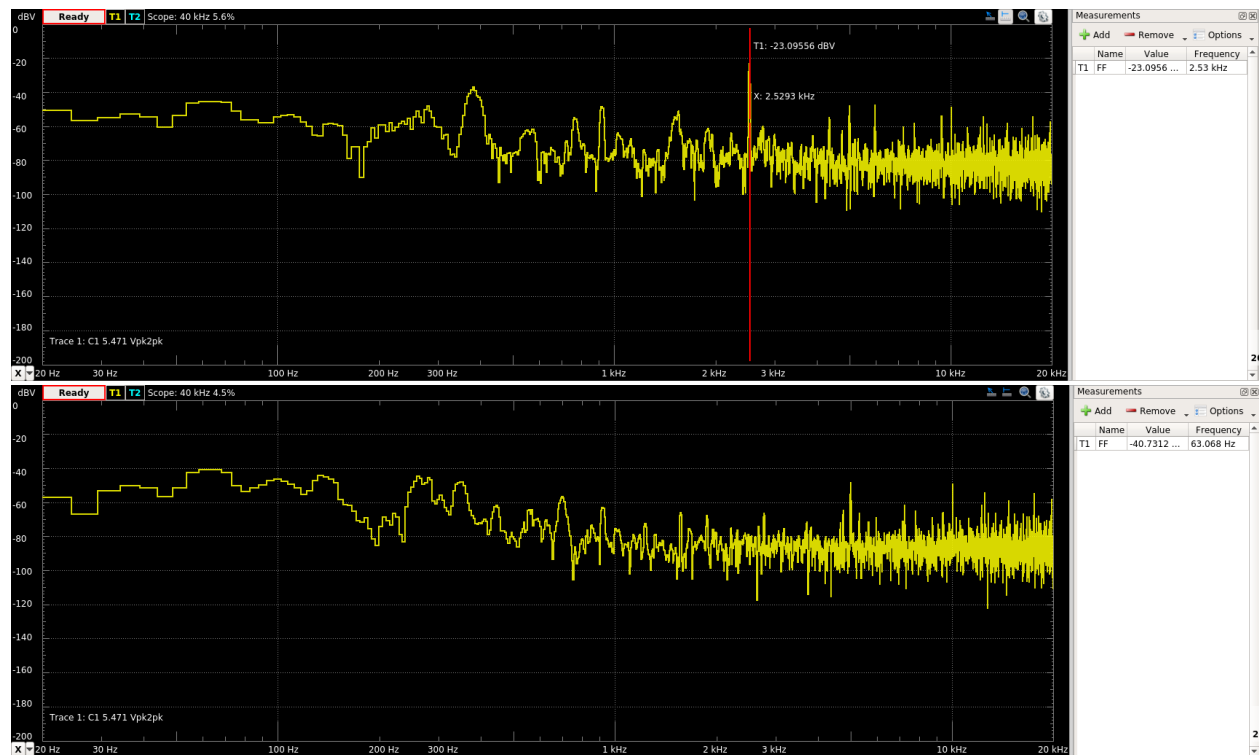
For å teste om kretsen fungerte som forventet, er det to hovedtester. Den subjektive, om pipetonen har forsvunnet, og den objektive, om vi har fjernet den veldig spisse toppen som var i figur 5.

Det ble gjort to forsøk; et uten noe endring av signalet, og et med demping av signalet. Pipetonen er vedlig definert før demping, men etter er den nesten ikke hørbar. Lyden mister litt klarhet, fordi vi må dempe den spesifikke frekvensen så mye at andre ting også blir litt dempet. Det er ikke ellers noe dårligere lyd.

Siden dette er veldig subjektivt om lyden er bra eller ikke, er det ikke noen tall som er relevante for resultatet.

Ved målinger ser vi at toppen har forsvunnet; vi har dempet pipetonen ca 35dB, og at vi demper et lite område rundt den frekvensen vi ønsket å fjerne. Se Figur 8 for sammenligning frekvensdiagrammet til det udempede og dempede signalet.

Merk: De spisse frekvensene som ligger over den frekvensen vi ønsket å fjerne er overtoner av den originale pipetonen. De er ikke merkbare i forhold til hvordan grunntonen var før den ble dempet. Disse kan fjernes på tilsvarende måte som grunntonen.



Figur 8: Øvre bilde: Frekvensdiagram for V_{ut} før demping. Nedre bilde: Frekvensdiagram for V_{ut} etter demping.

4 Konklusjon

Designet av en krets som fjernet en pipetone fungerte som forventet. Pipetonen ble fjernet uten at det andre signalet ble for mye forstyrret.

5 Takk

Takk til Ulrik Bredland for bra samarbeid og gode diskusjoner.

Referanser

- [1] Lundheim L., *Teknisk notat: Enkle prinsipper for støyfjerning*, Elsys-2016-LL-2, NTNU, 2016.
- [2] Eriksen J. A. & Brastad L., *Filterkretser*, Prosjekt i faget FY1013, NTNU, 2005, Hentet fra http://web.phys.ntnu.no/~stovngeng/FY1013_2005/prosjekt/filterkretser.pdf.