



# Designnotat IV

Tittel: Frekvensfordobler

Forfatter: Jakob Furnesvik Eikeland

Versjon: 2.0

Dato: 16.05.2025

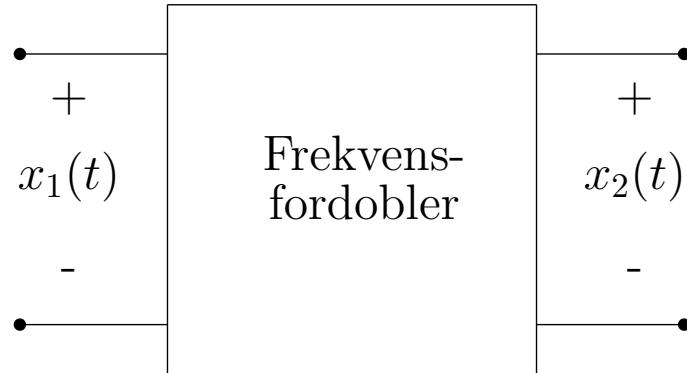
## Innhold

<b>1</b>	<b>Problembeskrivelse</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Prinsipiell løsning</b>	<b>2</b>
2.1	Ulineært system	3
2.2	Båndpassfilter	3
2.2.1	Q-faktor	4
2.3	Fullstendig system	4
2.3.1	Signal-to-Distortion Ratio (SDR)	5
<b>3</b>	<b>Realisering og test</b>	<b>5</b>
3.1	Realisering av ulineært system	5
3.2	Realisering av båndpassfilter	5
3.3	Test av systemet	6
3.4	Drøfting	8
<b>4</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Takk</b>	<b>9</b>
	<b>Referanser</b>	<b>10</b>

---

## 1 Problembeskrivelse

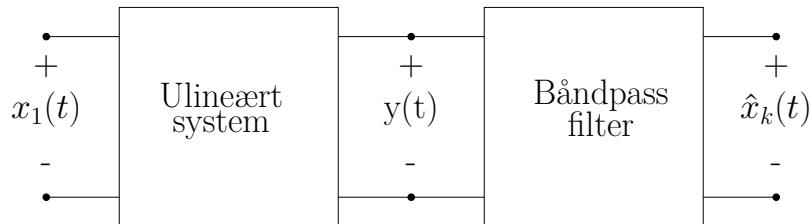
Det skal designes og testes en frekvensfordobler som vist i Figur 1. Systemet skal kunne ta inn et sinussignal  $x_1 = A_1 \cos(2\pi ft)$  med kjent frekvens,  $f$ , og produsere et nytt signal  $x_2 = A_2 \cos(2\pi 2ft + \phi)$  med den doble frekvensen. Det stilles ingen krav til amplituden,  $A_2$ , eller fasen  $\phi$ . Frekvensfordobleren designes og realiseres ut ifra en mulig idé for et slikt system, beskrevet av Lundheim [1].



**Figur 1:** Frekvensfordobler system

## 2 Prinsipiell løsning

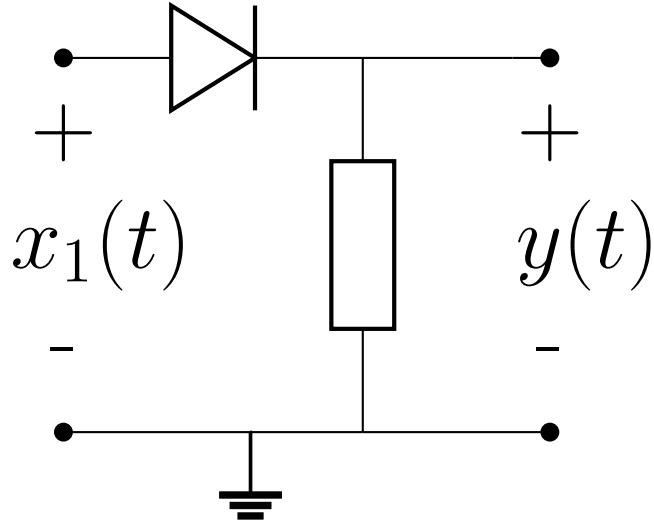
Idéen for realisering av en frekvensfordobler går ut på to delsystemer integrert sammen for å gi ut et nytt signal med dobbel frekvens som vist i Figur 2. Delsystemene består henholdsvis av et ulineært system som forvrenger sinussignalet og et filter. Signalet ut av det ulineære systemet vil bestå av en grunnfrekvens,  $f$ , i tillegg til flere harmoniske frekvenskomponenter på formen  $kf$ . Ved hjelp av et tilstrekkelig smalt filter kan vi velge å filtrere vekk alle andre sinussignaler som ikke har frekvensen  $kf$  der  $k$  er den ønskede faktoren for systemet, i dette tilfellet 2. Signalet ut av filteret,  $\hat{x}_k(t)$ , vil da være tilnærmet et sinusformet signal med frekvensen  $2f$ .



**Figur 2:** Frekvensmultiplikator idé fra [1].

## 2.1 Ulineært system

Ved å koble en diode i lag med en motstand som vist i Figur 3 kan det ulineære systemet realiseres. Signalet ut,  $y(t)$ , vil ha samme frekvens som signalet inn,  $x_1(t)$ , uten de negative periodene. Fra Fouriers teorem kan det forvrenge signalet regnes som en uendelig sum av sinusformede signaler med frekvenser lik  $kf$ . Ved å analysere det forvrenge signalet med en spektrumanalysator kan vi finne frekvenskomponenten som har den ønskede frekvensen lik  $2f$ .



**Figur 3:** Ulineært system

## 2.2 Båndpassfilter

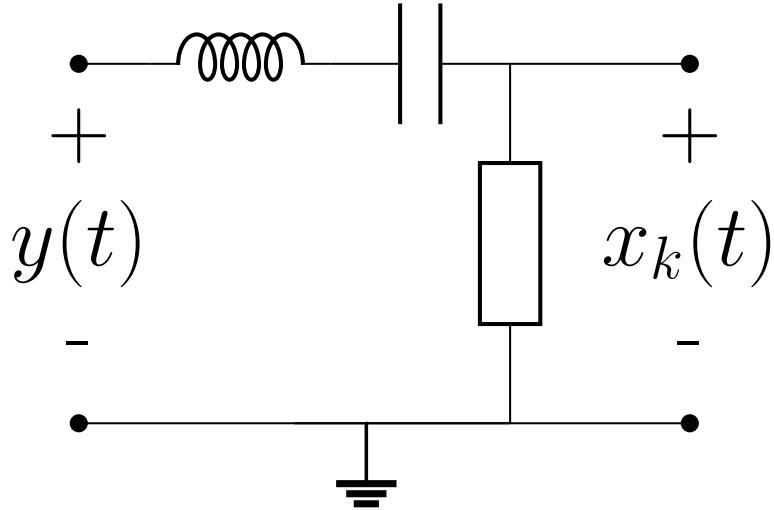
For å plukke ut den ønskede frekvenskomponenten er det valgt å bruke et båndpassfilter. Et båndpassfilter kan realiseres ved å koble en spole og kondensator i serie med en motstand til jord som vist i Figur 4.

Resonansfrekvensen til båndpassfilteret,  $f_0$ , vil tilsvare de frekvenskomponentene som ikke blir dempet. For en frekvensfordobler vil resonansfrekvensen være gitt ved Ligning 1.

$$f_0 = 2f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (1)$$

Ved å måle verdi for spolen som skal brukes kan kondensatorverdien regnes med Ligning 2.

$$C = \frac{1}{16Lf^2\pi^2} \quad (2)$$



**Figur 4:** Båndpassfilter

### 2.2.1 Q-faktor

En måte å bestemme om et filter er smalt nok er ved å regne ut filterets Q-faktor gitt ved Ligning 3.

$$Q = \frac{f_0}{B} = \sqrt{\frac{L}{CR^2}} \quad (3)$$

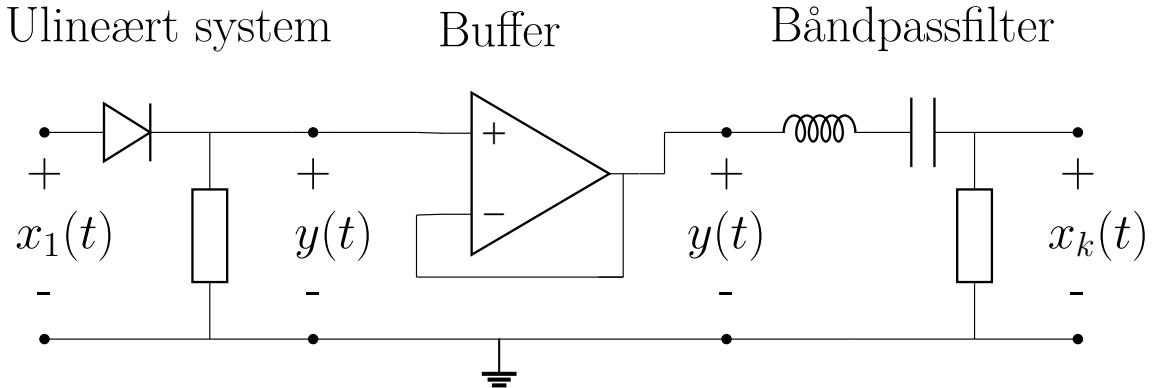
Det tilsvarer det inverse av den relative båndbredden til filteret, hvor  $B$  er avstanden mellom de to frekvensene der amplituderesponsen har sunket med 3 dB og  $f_0$  er senterfrekvensen til filteret. Siden spolen og kondensatoren er et bestemt utifra resonansfrekvensen til systemet, kan vi bruke Q-faktoren til å bestemme en verdi for motstanden i filteret. Dermed kan motstandsverdien regnes fra Ligning 4.

$$R = \sqrt{\frac{L}{CQ^2}} \quad (4)$$

Motstandsverdien vil også ha en påvirkning på hvor stor demping filteret vil ha, som videre diskuteres under drøfting.

## 2.3 Fullstendig system

For å sørge for at hvert av systemene ikke påvirker hverandre, settes et buffer imellom dem. Dette gjøres ved å koble en OP-amp med negativ tilbakekobling mellom den positive inn- og utgangen til delsystemene. Det fullstendige systemet vil da se ut som vist i Figur 5.



**Figur 5:** Frekvensfordobler system

### 2.3.1 Signal-to-Distortion Ratio (SDR)

For å vurdere signalkvaliteten regnes systemets signal-til-distorsjons forhold (SDR). Ved å måle effektivverdien (RMS) til den ønskede frekvenskomponenten,  $V_{x_k}$ , og det oppnådde signalet,  $V_{\hat{x}_k}$ , med henholdsvis en spektrums-analysator og et oscilloskop kan vi regne ut SDR-verdien gitt Ligning 5 [1].

$$SDR[\text{dB}] = 10 \log \left( \frac{V_{x_k}^2}{V_{\hat{x}_k}^2 - V_{x_k}^2} \right) \quad (5)$$

## 3 Realisering og test

Videre vil idéen for frekvensfordobler realiseres og vurderes for en sinustone med 3925 Hz ut ifra oppnådd SDR verdi. Realiseringen deles opp i realisering av det ulineære systemet, båndpassfilteret og test av det fullstendige systemet.

### 3.1 Realisering av ulineært system

Dioden som ble brukt har en diodespenning på ca 1.1 volt. For å minske effekten brukt av systemet og for at signalet ikke blir for mye dempet av det ulineære systemet, ble en motstand på  $1\text{M}\Omega$  brukt.

### 3.2 Realisering av båndpassfilter

For realisering av båndpassfilteret ble en spole på 100mH brukt. Fra Ligning 2 regnes kondensatorverdien til

$$C = \frac{1}{16 \cdot 0.1 \cdot 3925^2 \cdot \pi^2} = 4.11\text{nF}.$$

Dette tilnærmes med to kondensatorer på  $2.2\text{nF}$  i parallel.

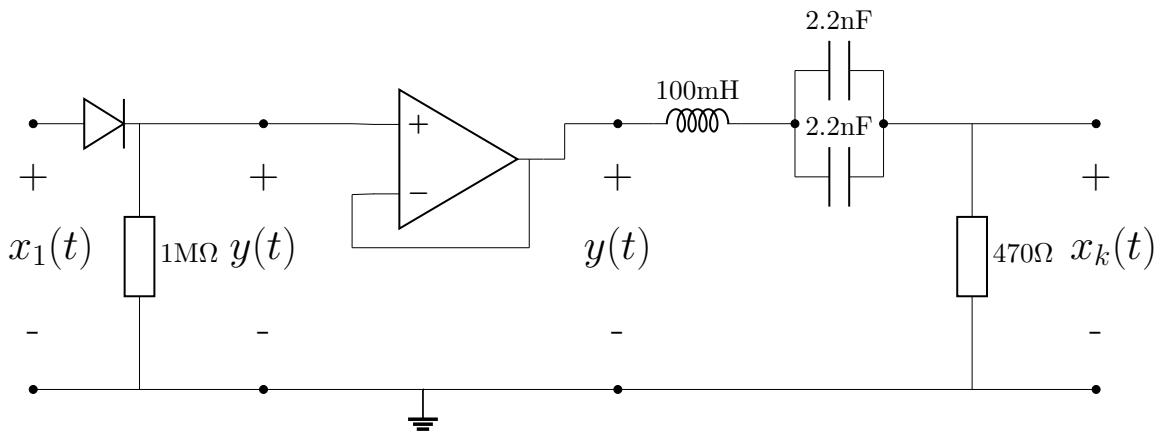
For å få et relativt smallt filter, ble det valgt å regne ut motstandsverdi for  $Q \geq 10$ . Fra Ligning 4 kan vi da regne verdien for motstanden

$$R = \sqrt{\frac{0.1}{4.4 \cdot 10^{-9} \cdot 10^2}} = 476.73\Omega.$$

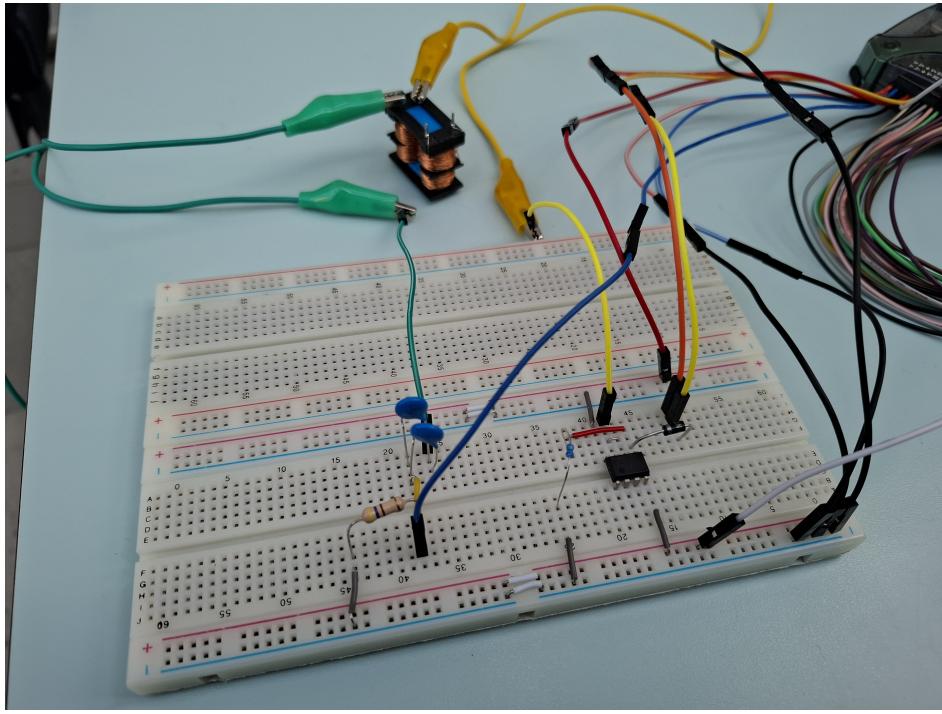
Ettersom mindre motstandsverdi gir høyere Q-faktor velges en  $470\Omega$  motstand, som gir en Q-faktor på 10.14.

### 3.3 Test av systemet

Det sammensatte systemet ble koblet i henhold til Figur 5. Det realiserte systemet med komponentverdier og oppkoblingen er vist i henholdsvis Figur 6 og Figur 7.

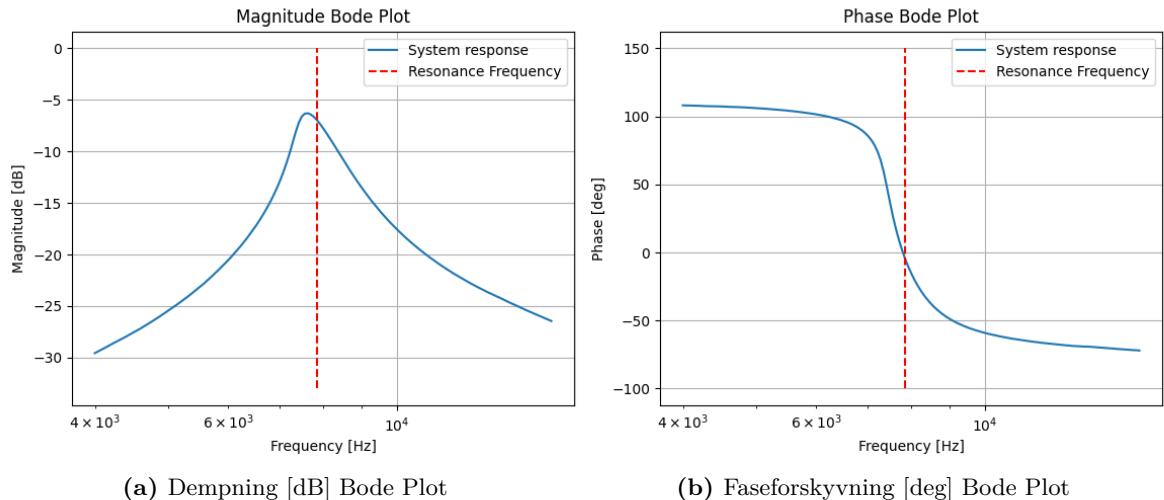


**Figur 6:** Realisert krets med komponentverdier



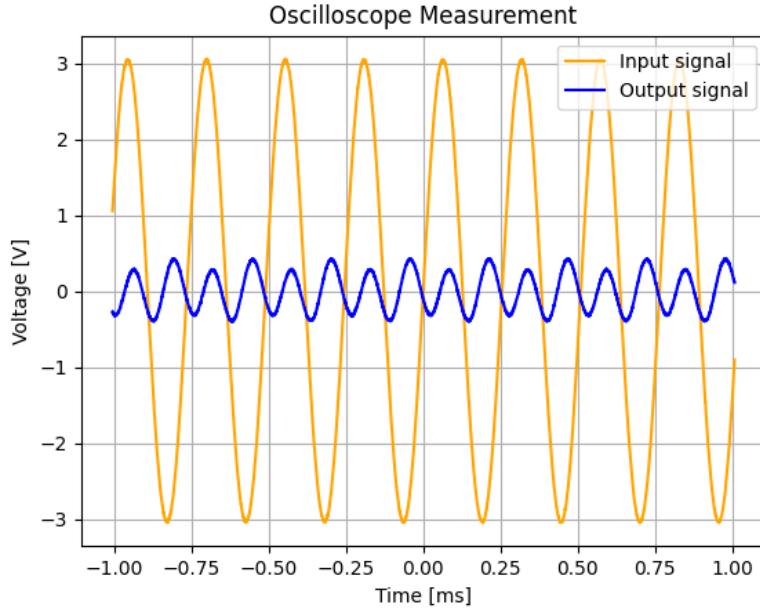
**Figur 7:** Bilde av realisert system

Før påføring av inngangssignalet ble det utført en nettverksanalyse av systemet som vist i Figur 8 for å se at det hadde ønsket amplituderespons.



**Figur 8:** Nettverksanalyse av systemet

Deretter ble systemet påført et sinusformet signal med amplitude på 3 volt og en frekvens på 3925 Hz. Systemets inn- og utgang måles så med et oscilloskop som vist i Figur 9.



**Figur 9:** Måling av inn- og utgangssignal med oscilloskop.

Figur 9 viser at utgangssignalet har en frekvens på 7850Hz, som tilsvarer en fordobling av frekvensen til inngangssignalet.

For å finne signal-til-distorsjons forholdet måles effektivverdien,  $V_{\hat{x}_k}$  ved bruk av oscilloskop. Verdien for  $V_{\hat{x}_k}$  måles til 254.5mV. Effektivverdien for den ønskelige frekvensen,  $V_{x_k}$  finnes ved bruk av spektrumsanalysator. Verdien for  $V_{x_k}$  måles til 245.2mV. Fra Ligning 5 kan systemets SDR regnes ut til:

$$\text{SDR[dB]} = 10 \log \left( \frac{245.2^2}{254.5^2 - 245.2^2} \right) = 11.12 \text{dB}$$

### 3.4 Drøfting

Figur 8a viser at signalet ut blir ganske dempet med ca 6dB selv ved resonansfrekvensen. Dette kan forhindres ved å øke motstandsverdien i båndpassfilteret, på bekostning av Q-faktoren. Da vil det bli mindre spenningsfall over kondensatoren og spolen, og mer over motstanden. Men dette øker bredden på båndpassfilteret, som vi vil ha relativt smalt. I tillegg treffer ikke resonansfrekvensen helt toppen av amplituderesponsen ettersom kapasitansen er litt for høy, som kan være en mulig forbedring.

Figur 9 viser at systemet gir ut ønsket frekvens på 7850Hz men har blitt svært dempet og har alternerende amplitude verdier. Systemet har en målt SDR verdi på 11.12dB. Idéen fungerer dermed effektivt i å doble frekvensen til inngangssignalet, men på bekostning av demping og distorsjon av inngangssignalet.

## **4 Konklusjon**

Frekvensfordobler idéen til Lundheim vil kunne brukes for et system der en er interessert i å fordoble frekvensen av inngangssignalet og ikke er bekymret for distorsjon og demping. Idéen består av 3 delsystemer koblet i kaskade; et ulineært system, en buffer og et båndpassfilter. Frekvensfordobleren ble realisert med en diode, to motstander på  $1M$  og  $470\Omega$ , en OP-amp, en spole på  $100mH$  og to kondensatorer på  $2.2nF$ . Deretter ble systemet testet med et sinusformet signal med amplitude på 3 volt og frekvens på 3925 Hz. Systemet ble så målt og utregnet signal-til-distorsjonsforholdet (SDR) til 11.12 dB.

## **5 Takk**

Vil gi en takk til Håkon Karveit Mikalsen for godt samarbeid og hjelp med prosjektet. Vil også gi en takk til Kjartan Roalsvik og Sofie Furnesvik Eikeland for god hjelp og tilbakemeldinger på rapportskrivingen.

## **Referanser**

- [1] L. Lundheim, “Frekvensmultiplikator”, Teknisk notat, Elsys-2021-LL-1, NTNU, 2021.