



Designnotat IV

Tittel: Frekvensfordobler

Forfattere: Jakob Furnesvik Eikeland

Versjon: 1.0

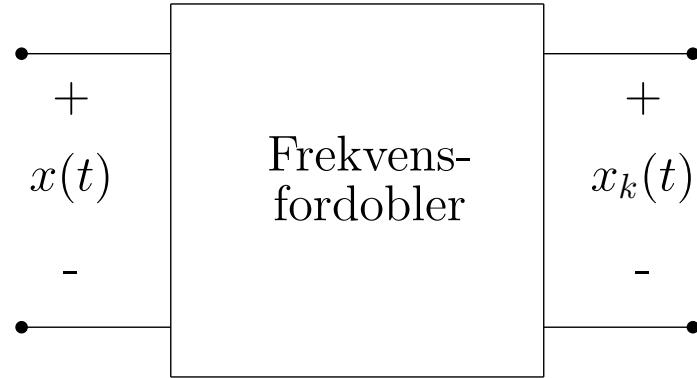
Dato: 08.04.25

Innhold

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

1 Problembeskrivelse

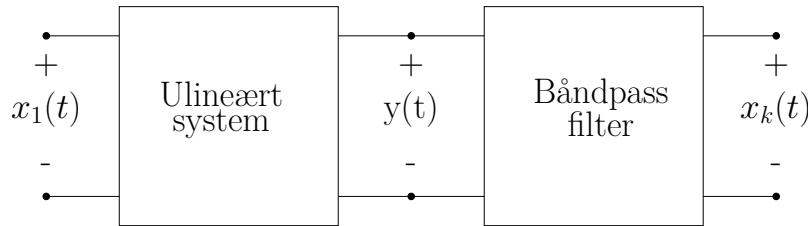
Det skal designes og testes en frekvensfordobler. Systemet skal kunne ta inn et sinussignal $x_1 = A_1 \cos(2\pi ft)$ med kjent frekvens, f , og produsere et nytt signal $x_2 = A_2 \cos(2\pi 2ft + \phi)$ med den doble frekvensen. Det stilles ingen krav til amplituden, A_2 , eller fasen ϕ . Systemets designes utifra en mulig idé for realisering av et slikt system gitt ved [1].



Figur 1: Frekvensfordobler system

2 Prinsipiell løsning

Idéen for realiseringen av en frekvensfordobler slik som beskrevet av Lundheim går ut på to delsystemer integrert i lag for å danne det nye signalet med dobbel frekvens som i Figur 2. Delsystemene består henholdsvis av et ulineære system som forvrenger sinussignalet og et filter. Signalet ut av det ulineære systemet vil bestå av en grunnfrekvens, f , i tillegg til flere 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 kf .

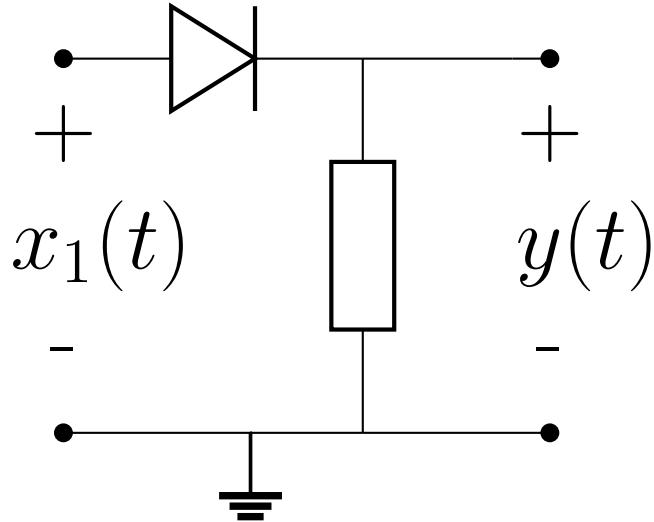


Figur 2: Frekvensmultiplikator idé fra [1].

2.1 Ulineært system

Ved å koble en diode i lag med en motstand som 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 forvrengte signalet regnes som en uendelig sum av sinusformede signaler med frekvenser lik kf . Ved å analysere det forvrengte signalet med en spektrumanalysator kan vi finne frekvenskomponenten som har den ønskede frekvensen lik $2f$.



Figur 3: Ulineært system

2.2 Båndpassfilter

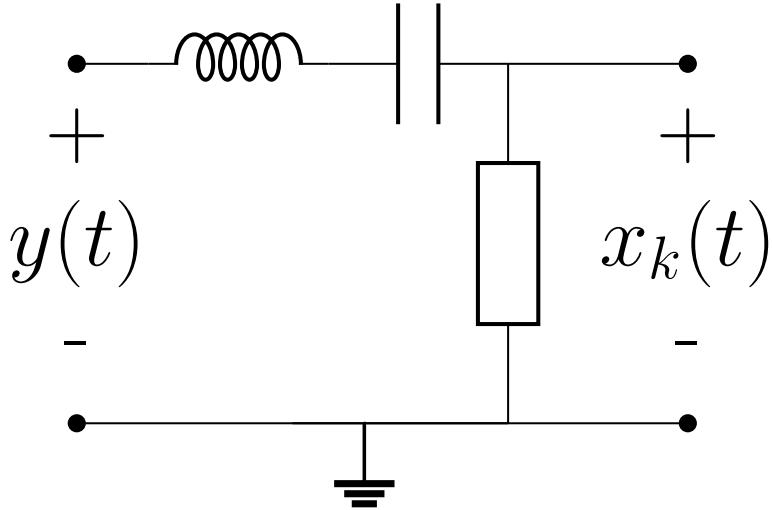
Et båndpassfilter kan realiseres ved å koble en spole og kondensator i serie med en motstand til jord som i Figur 4.

Resonansfrekvensen til båndpassfilteret, f_0 , vil tilsvare de frekvenskomponentene som ikke blir dempet. For en frekvensfordobler blir da:

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

Ved å måle verdi for spolen som skal brukes kan kondensator verdien regnes med formelen:

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



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:

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

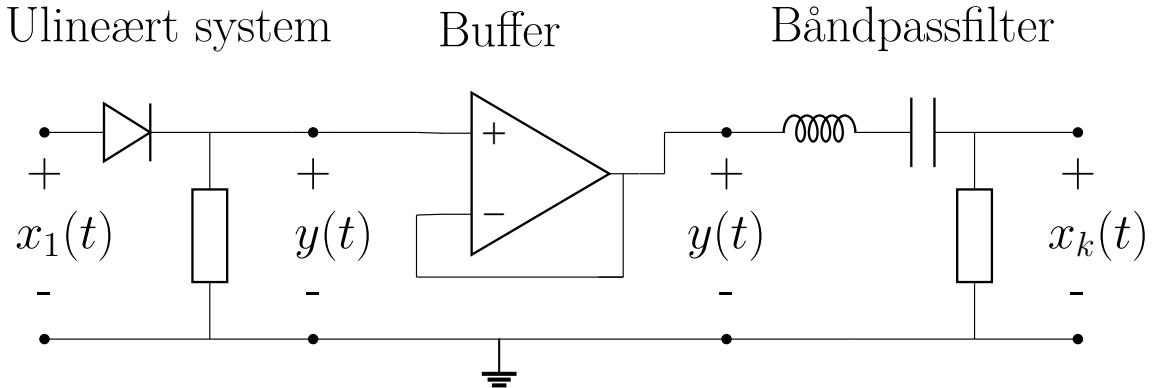
Det tilsvarer det inverse av den relative båndbredden til filteret, hvor B er avstanden mellom de to frekvensene der amplituderesponsen har synkt med 3 dB og f_0 er senterfrekvensen til filteret. Siden spolen og kondensatoren er et satt utifra resonansfrekvensen til systemet kan vi bruke Q-faktoren til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

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

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 Figur 5.



Figur 5: Frekvensfordobler system

2.3.1 Signal-to-Distortion Ratio (SDR)

For å vurdere hvor godt systemet er regnes systemets signal-til-distorsjons forhold (SDR). Ved å måle effektivverdien (RMS) til den ønskede frekvenskomponenten, V_{x_k} , med en spektrumsanalysator og effektivverdien til det oppnådde signalet, $V_{\hat{x}_k}$, med et oscilloskop kan vi regne ut SDR-verdien gitt formelen [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 idén for frekvensfordobler realiseres og vurderes for en sinustone med 3925 Hz utifra oppnådd signal-til-distorsjons-forhold (SDR). Realiseringen deles opp i realisering av det ulinære systeme, 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 at signalet ikke blir for mye dempet av det ulinære systemet, ble en motstand på $1M\Omega$ 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 2.2nF i parallel.

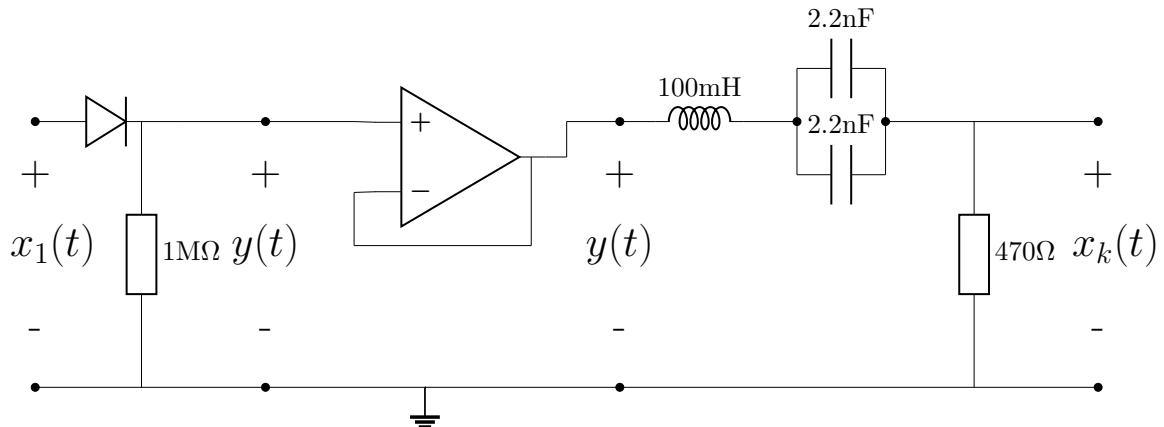
For å få et relativt smallt filter, ble det valgt å regne ut motstandsverdi for $Q \geq 10$. Fra Ligning 4 kan vi da regne

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

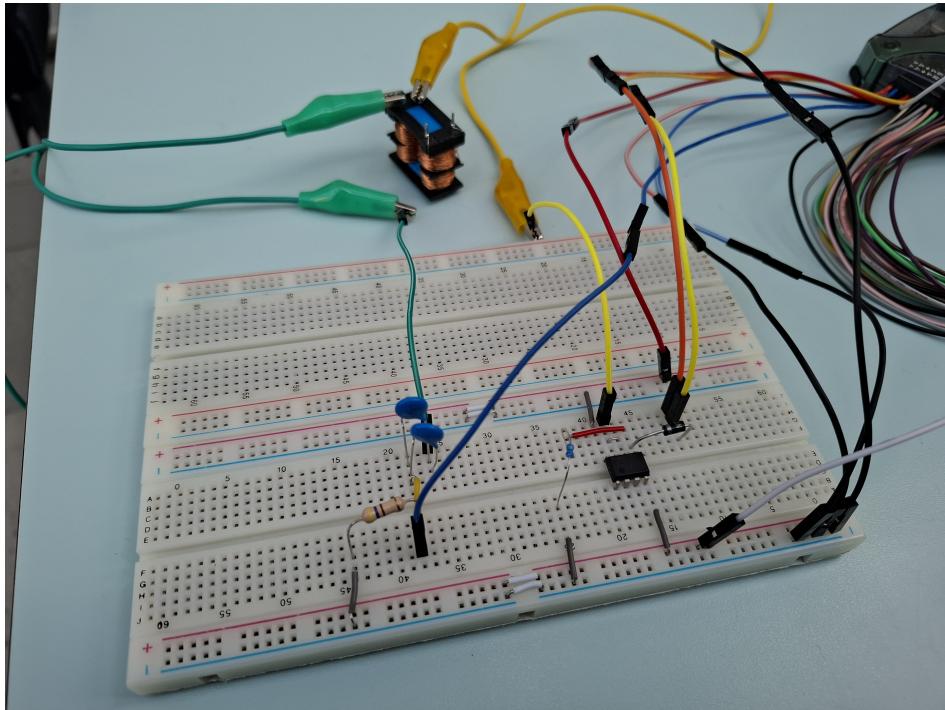
Ettersom mindre motstandsverdi gir høyere Q-faktor velges en 470Ω motstand, som gir en Q-faktor på 10.14.

3.3 Test av systemet

Det sammensatte systemet ble koblet i hendold til Figur 5:

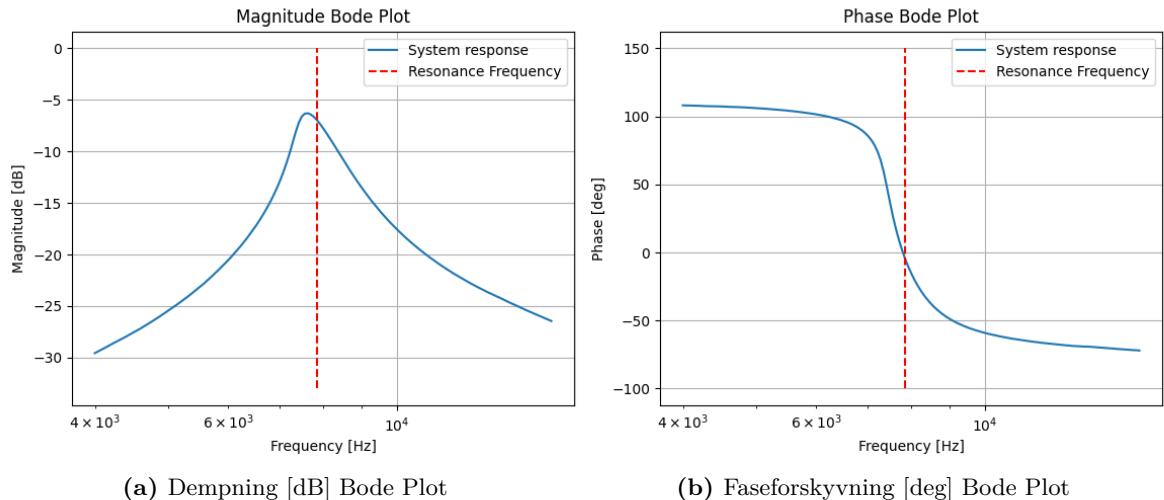


Figur 6: Realisert krets med komponentverdier



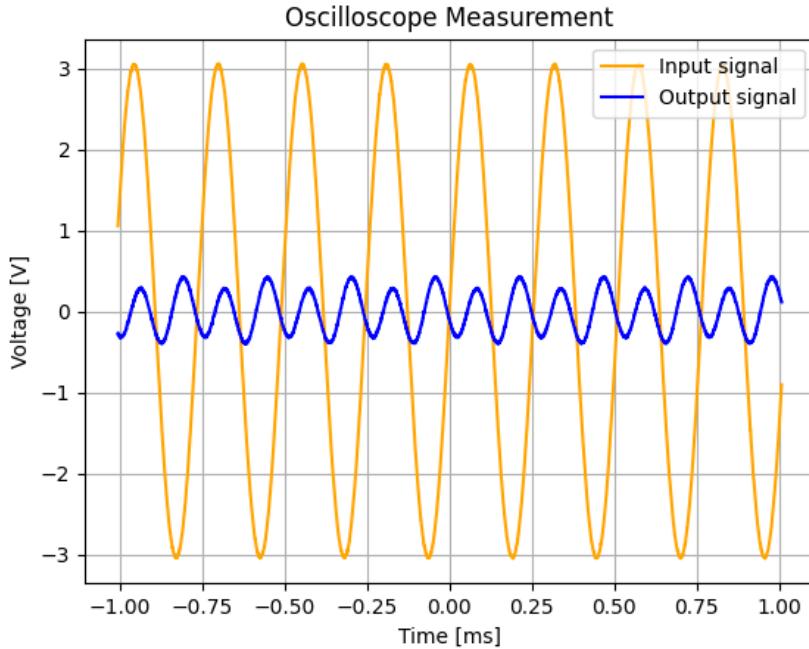
Figur 7: Bilde av realisert system

Før påføring av inngangssignalet ble det utført en nettverksanalyse av systemet 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 målt med et oscilloskop:



Figur 9: Måling av inn- og utgangssignalet med osciloskop.

Ser da fra oscilloskopet at utgangssignalet har en frekvens på 7850Hz, som tilsvarer en fordobling av frekvensen til inngangssignalet.

For å finne signalt-til-distorsjons forholdet måles effektivverdien, V_{x_k} , ved bruk av osciloskop. Verden for V_{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

Ser av Figur 8a at signalet ut blir ganske dempet 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.

Systemet gir ut ønsket frekvens 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 distorsjon av inngangssignalet.

4 Konklusjon

Frekvensdobler 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. Systemet har vært testet med et sinusformet signal med amplitud 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 for god hjelp og tilbakemeldinger på rapportskrivingen.

Referanser

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