



Frekvensdobler

Tittel: Frekvensdobler

Forfattere: Andreas Lindeman

Versjon: 2.0

Dato: 16.05.2025

Innhold

1	Problembeskrivelse	1
2	Prinsipiell løsning	2
2.1	Utregning av kondensatorverdier	3
2.2	Beregning av Signal-to-Distortion Ratio (SDR)	3
3	Realisering og test	4
3.1	filterspesifisering	4
3.1.1	Oppbygging av kondensatorer	5
3.2	Beregning av støy	5
4	Konklusjon	8

1 Problembeskrivelse

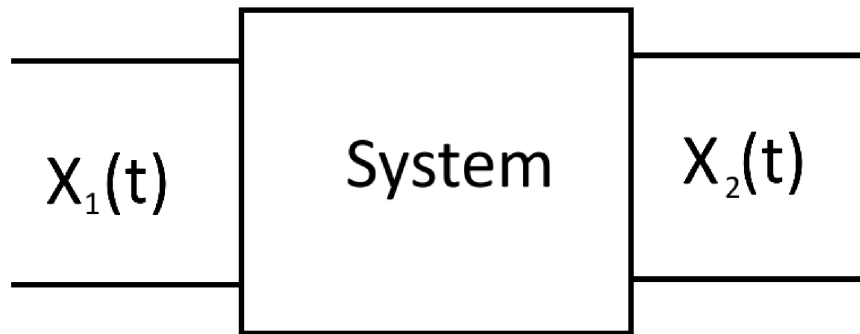
Oppgaven går ut på å designe en frekvensfordobler. Et sinusformet inngangssignal med kjent frekvens

$$x_1(t) = A_1 \cos(2\pi f t)$$

skal omformes til et utgangssignal med dobbel frekvens

$$x_2(t) = A_2 \cos(2\pi(2f)t + \varphi).$$

Det stilles ingen krav til den nye amplituden A_2 eller faseforskyvningen φ . Hovedmålet med designet er å oppnå en frekvensfordobling med et så høyt signal-til-distorsjonsforhold (SDR) som mulig, slik at utgangssignalet har minimal forvrengning.



Figur 1: Overordnet blokkskjema for frekvensfordobleren.

Figur 1 viser hvordan systemet tenkelig kan se ut.

2 Prinsipiell løsning

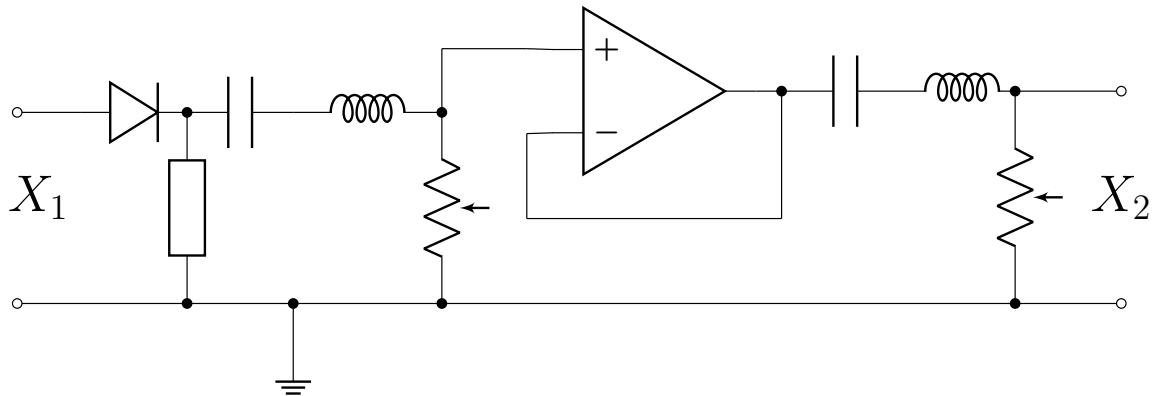
Løsningen bygger på de ikke-lineære egenskapene til en diode for å generere ulinjært signal fra et sinusformet inngangssignal. Når inngangssignalet går gjennom dioden, produseres en rekke frekvenser, der den dobbelte frekvensen er en av dem. Hovedideen er deretter å dempe uønskede frekvenser og isolere den ønskede dobbelte frekvensen ved hjelp av filtreringsteknikker.

Følgende prinsipielle elementer inngår i løsningen:

- **Ikke-lineær klipping:** En diode benyttes til å klippe inngangssignalet, noe som medfører at harmoniske frekvenser, inkludert signalet ved dobbel frekvens, genereres.
- **Etablering av referanse og signalnivå:** En motstand kobles til dioden for å sette et definert arbeidsnivå og gi en stabil referanse.
- **Filtrering av uønskede komponenter:** En kondensator benyttes i kombinasjon med en spole og et justerbart potensiometer for å danne et LC-båndpassfilter. Dette filteret er sentrert rundt den dobbelte frekvensen og demper andre frekvenser.
- **Signalbuffer:** En operasjonsforsterker med negativ tilbakekobling benyttes som buffer for å unngå at de to filterene vil påvirke hverandre.
- **Finjustering av utgangssignalet:** Etter bufferen anvendes ytterligere en spole og en kondensator sammen med et nytt potensiometer for optimal innstilling av signalets kvalitet før måling.

Denne prinsipielle løsningen er valgt for å maksimere signal-til-distorsjonsforholdet (SDR) og sikre at utgangssignalet med dobbel frekvens oppnår minimal forvrengning.

Figur 2 illustrerer den overordnede strukturen i løsningen.



Figur 2: Prinsipiell oversikt over frekvensfordobleren.

For at kretsen skal dempe uønskede frekvenser og gi et klart utgangssignal, må komponentene ha spesifikk verdi som samhandler med hverandre. Disse verdiene kan vi regne ut med noen generelle formler.

2.1 Utregning av kondensatorverdier

For LC-båndpassfilteret gjelder den fundamentale formelen:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

der f_0 er resonansfrekvensen, L induktans og C kapasitans. Om vi løser formelen for C :

$$C = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L}. \quad (1)$$

Får vi den nøyaktige kapasitansen for en spesifikk frekvens, for å skape denne kapasitansen kan jeg sammenkoble fler kondesatorer. Formlene for kapasitans for kondensatorer i serie og parallell er som følger:

$$C_{\text{serie}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad \text{og} \quad C_{\text{parallel}} = C_1 + C_2 + \dots \quad (2)$$

2.2 Beregning av Signal-to-Distortion Ratio (SDR)

Signal-to-Distortion Ratio (SDR) uttrykkes i desibel (dB) som:

$$\text{SDR} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{støy}}} \right). \quad (3)$$

Hvor P_{signal} er mengden effekt [W] som leveres til systemet, og $P_{støyt}$ er definert med:

$$P_{støyt} = P_{ut} - P_{f_0} \quad (4)$$

P_{ut} er effekten systemet leverer, og P_{f_0} er mengden effekt i utgangssignalet som tilhører ønsket frekvens f_0 .

Vi kan få effekt [W] fra spenning [V] ved å bruke formelen:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (5)$$

3 Realisering og test

Denne delen beskriver hvordan løsningen ble realisert i praksis, inkludert både oppbygging av kretsen og utførte målinger. Vi presenterer her de matematiske utledninger som førte fram til valg av kondensatorverdier, samt en beregning av Signal-to-Distortion Ratio (SDR) basert på målte AC RMS-verdier med Analog Discovery 2.

Ingangssignalet har en frekvens på 3725Hz , det betyr at det ønskede utgangssignalet skal være på 7450Hz . Etersom utgangsfrekvensen nå er spesifisert, kan vi finne hvilke komponenter vi trenger til filterene våre.

3.1 filterspesifisering

Vi har målt to spoler med følgende induktansverdier:

- $L_1 = 92\text{ mH}$
- $L_2 = 102\text{ mH}$

Vi kan nå regne ut størrelsen vi vil ha på kondensatorene ved å bruke Ligning 5.

For $L_1 = 92\text{ mH}$:

$$C_{L1} = \frac{1}{(2\pi \cdot 7450)^2 \cdot 0.092}$$

Beregninger:

$$C_{L1} \approx \frac{1}{2.02 \times 10^8} \approx 4.95 \times 10^{-9} \text{ F} \approx 5 \text{ nF}.$$

For $L_2 = 102 \text{ mH}$:

$$C_{L2} = \frac{1}{(2\pi \cdot 7450)^2 \cdot 0.102}$$

Beregning:

$$C_{L2} \approx \frac{1}{2.24 \times 10^8} \approx 4.46 \times 10^{-9} \text{ F} \approx 4.5 \text{ nF}.$$

3.1.1 Oppbygging av kondensatorer

Siden de beregnede verdiene (ca. 5 nF og 4.5 nF) ikke var direkte tilgjengelige, ble følgende løsninger benyttet:

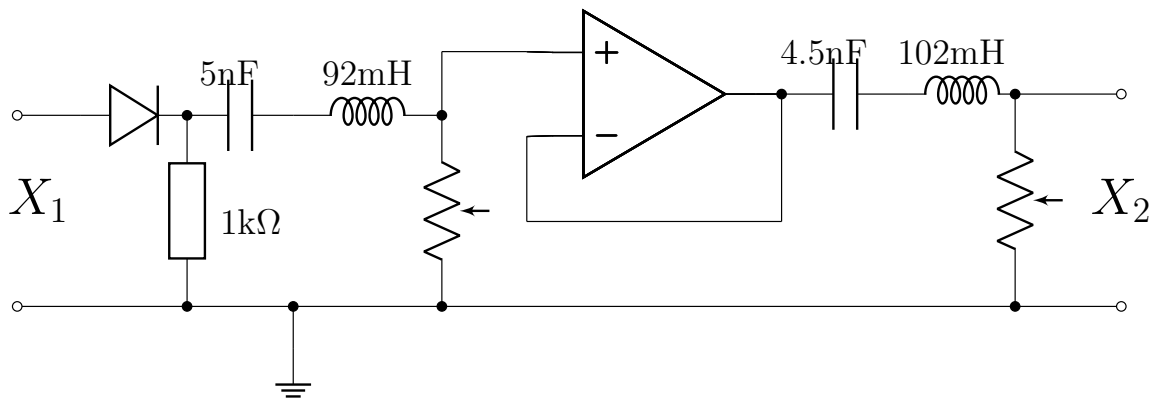
- **For ca. 5 nF:** To 10 nF kondensatorer ble koblet i serie, slik at

$$C = \frac{10 \text{ nF} \cdot 10 \text{ nF}}{10 \text{ nF} + 10 \text{ nF}} = 5 \text{ nF}.$$

- **For ca. 4.5 nF:** En kombinasjon med seriekobling og parallellkobling ble benyttet, med utgangspunkt i den forrige kondensatoren:

$$C = \frac{5 \text{ nF} \cdot (22 + 22) \text{ nF}}{5 \text{ nF} + (22 + 22) \text{ nF}} \approx 4.5 \text{ nF}.$$

Den eksakte sammensetningen bør dokumenteres nærmere, men løsningen resulterte i en effektiv kapasitans på ca. 4.5 nF.

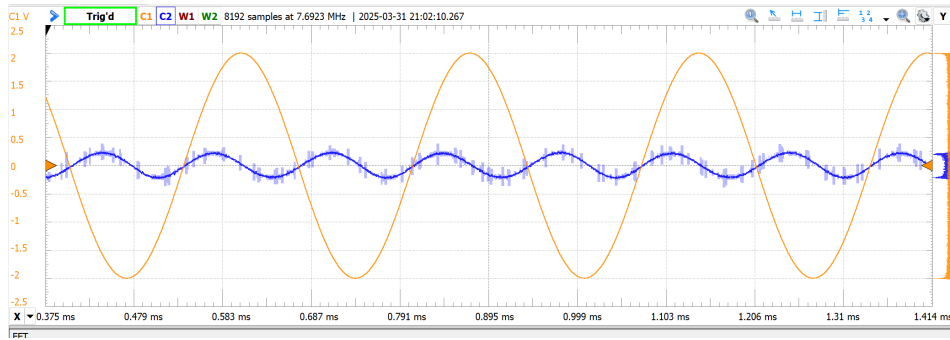


Figur 3: Krets med nøyaktige verdieier

Som du ser fra kretskjema i Figur 3 har vi også satt resistoren etter dioden til $1 \text{ k}\Omega$, verdiene til potensiometerene kan vi finne senere og sette de slik at vi minimerer støynivået til systemet.

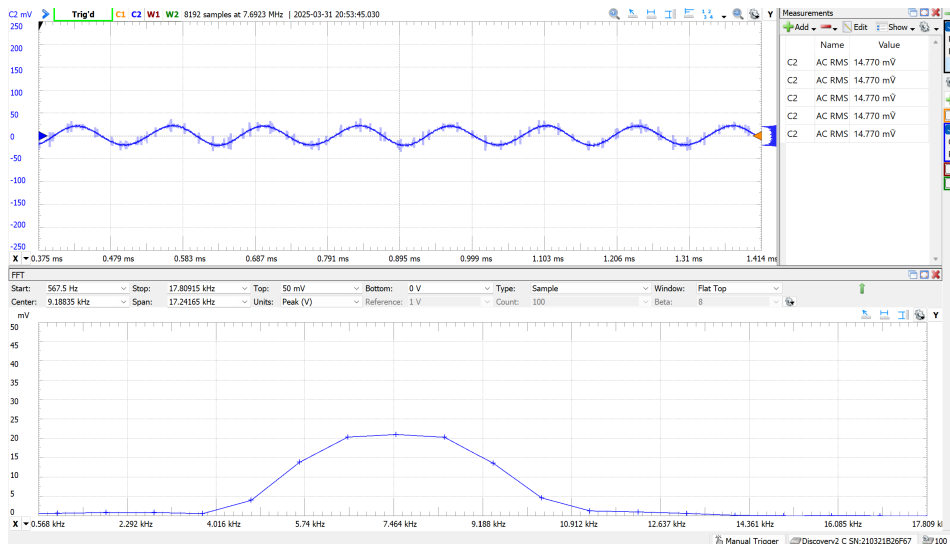
3.2 Beregning av støy

For å måle kvaliteten på frekvensdobleren koblet jeg den opp til en analog-discovery 2. Analog discovery 2 kan både sende inn et sinussignal på ønsket frekvens og lese av utgangen av kretsen.



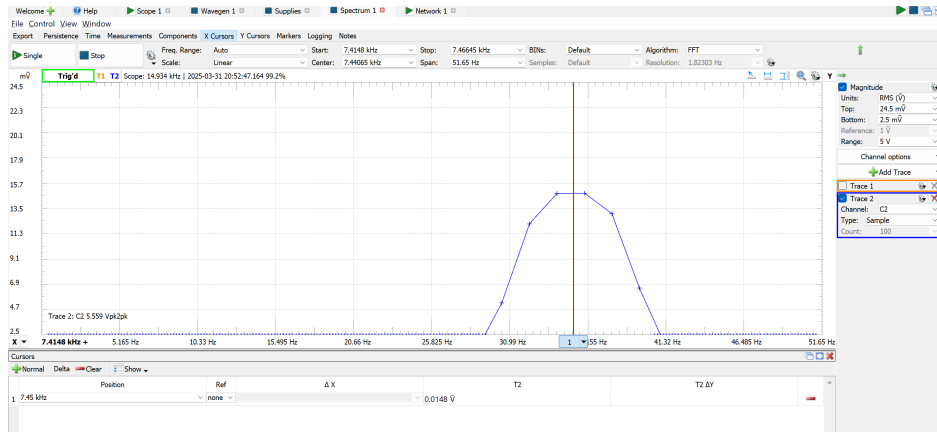
Figur 4: Samtidig visualisering av inngangs- og utgangssignal.

I Figur 4 over kan du se inngangssignalet X_1 i orange visualisert sammen med utgangssignalet X_2 i blå.



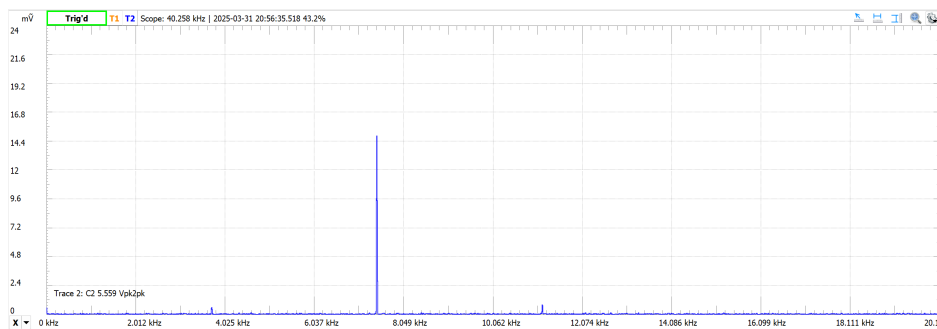
Figur 5: Måling av AC RMS for utgangssignalet.

Utgangssignalet ble målt til å ha en AC RMS-verdi på $14.77mV$.



Figur 6: Måling av AC RMS for den isolerte frekvenskomponenten (7450 Hz).

For RMS verdi til den ønskede frekvenskomponenten fikk vi ikke like høy nøyaktighet, den målte verdien var 14.8mV noe vi runder ned til 14.75mV for å være på den sikre siden. Figur 6 er veldig viser bare den ønskede frekvensen, når vi ser på et større frekvensspekter.



Figur 7: Oversikt over millivoltverdier for utgangssignalets frekvenser.

Som i Figur 7 kan vi tydelig se hvor klart signalet er på den ønskede frekvensen i forhold til andre frekvenser.

Nå som vi har tellverdier for inngangen og utgangen til systemet kan vi bruke de til å beregne en SDR-verdi. Vi setter inn verdiene:

$$P_{ut} = (0.01475)^2 \approx 2.1756 \times 10^{-4} \text{ V}^2,$$

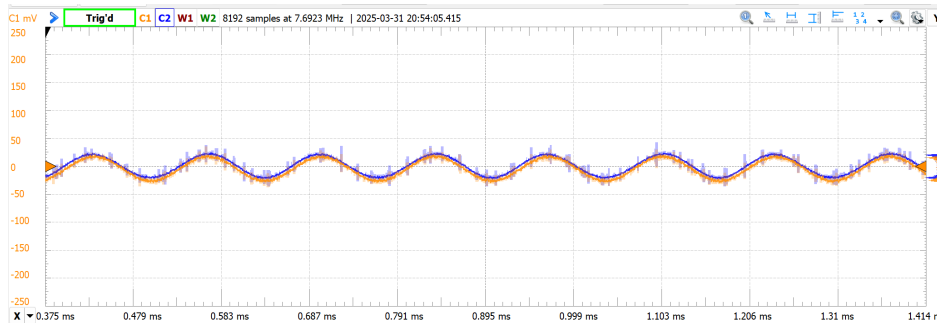
$$P_{f_0} = (0.01477)^2 \approx 2.1803 \times 10^{-4} \text{ V}^2,$$

$$P_{st\emptyset y} = 2.1803 \times 10^{-4} - 2.1756 \times 10^{-4} \approx 4.70 \times 10^{-7} \text{ V}^2.$$

og SDR blir da:

$$\text{SDR} \approx 10 \cdot \log_{10} \frac{2.1756 \times 10^{-4}}{4.70 \times 10^{-7}} \approx 10 \cdot 2.666 \approx 26.66 \text{ dB}.$$

Dette blir da den nedre grensen til SDR verdien ettersom vi rundtet spenningen fra frekvenskomponenten ned.



Figur 8: Sammenligning: Utgangssignal mot ønsket/ideelt signal.

Ved å legge til en måling av et uforstyrret sinussignal (orange) med utgangssignalet kan vi lett visualisere nøyaktigheten til systemet.

Avslutningsvis verifiserer både de teoretiske beregningene og de praktiske testene at frekvensdoblingen er realisert med høy presisjon, og SDR-beregningen viser et forhold på ca. 26.66 dB – under forutsetning av at den isolerte frekvenskomponenten måles med en veldig konservativ verdi.

4 Konklusjon

En analog frekvensfordobler for et sinusformet inngangssignal med frekvens 3725 Hz ble designet, bygget og testet. Løsningen benyttet en diode for generering av harmoniske, og to påfølgende båndpassfiltre for å isolere og forsterke signalet med dobbelt frekvens. Spolene ble målt med Analog Discovery, og kondensatorene ble satt sammen av flere enheter for å oppnå ønskede verdier.

Systemet oppnådde en signal-til-distorsjons-forhold (SDR) på minst 26.66 dB, noe som indikerer at en tydelig og ren $2f$ -signal ble generert. Den praktiske realiseringen samsvarte i stor grad med de teoretiske beregningene, og resultatene viser at metoden er effektiv for analog frekvensfordobling ved moderate krav til nøyaktighet.