



Designnotat

Tittel: Op-AMP

Forfattere: Eirik Mathias Silnes

Versjon: 1.0

Dato: 5. oktober 2023

Innhold

1	Problembeskrivelse	2
2	Prinsipiell løsning	3
3	Realisering	4
3.1	Kretsopkobling	4
3.2	Målinger	5
3.3	Forbedringer	5
4	Konklusjon	6
5	Takk	6
	Referanser	7
A	Fullstendige utregninger	8

1 Problembeskrivelse

I dette designnotatet skal det designes en operasjonsforsterker på transistor nivå. En ideell operasjonsforsterker har følgende egenskaper og modell som vist i fig 1.

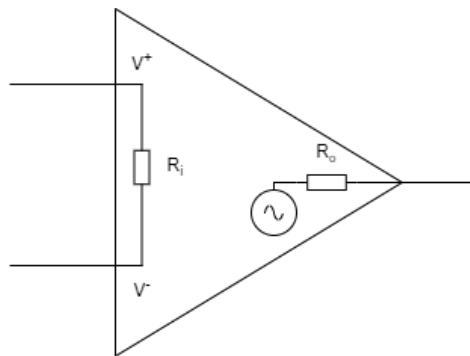
- Inngangsimpedansen til $R_i = \infty$
- Utgangsimpedansen til $R_o = 0$
- Utgangen er gitt som

$$V_{out} = f(V_+ - V_-) = \begin{cases} \min\{V, A(v^+ - v^-)\} & \text{for } v^+ - v^- > 0 \\ \max\{V, A(v^+ - v^-)\} & \text{for } v^+ - v^- < 0 \end{cases} \quad (1)$$

Spesielt i dette designnotatet skal de følgende egenskapene undersøkes nærmere:

- forsterkningen A ved sinuspåtrykk med frekvens $f = 1kHz$ og
- Total harmonisk distorsjon (THD) ved sinuspåtrykk med frekvens $f = 1kHz$

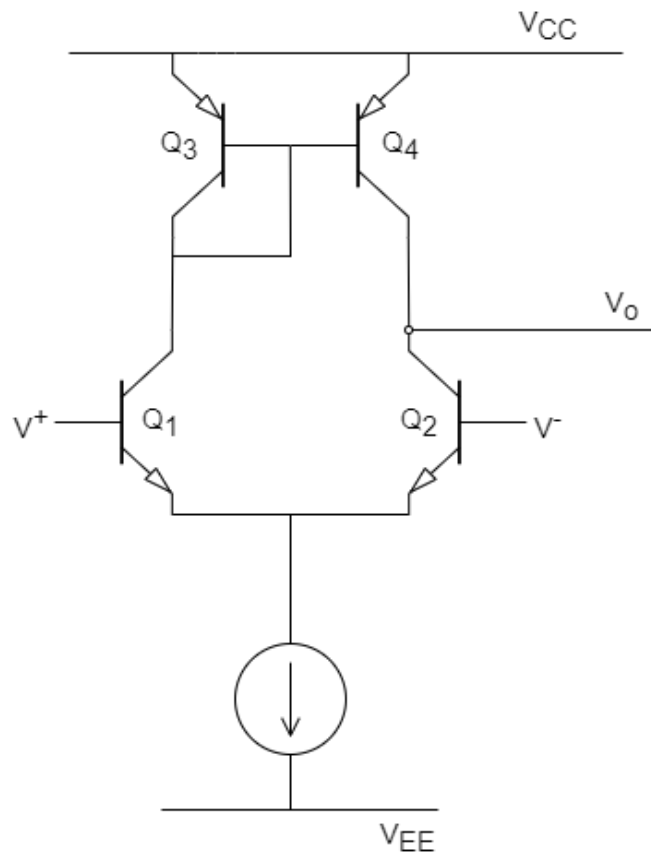
De to punktene skal undersøkes med to forskjellige lastmotstander $R_L = 100k\Omega$ og $R_L = 100\Omega$. Det skal også undersøkes hvor godt kretsløsningen virker som en opamp i en inverterende forsterker med forsterkning $A = -10$ og $R_L = 1k\Omega$. Sammenlign dette med ved både åpen løkke forsterkning og negativ tilbakelkobling.



Figur 1: Ideell opamp modell

2 Prinsipiell løsning

En differensialforsterker er en nøkkelkomponent i designet av operasjonsforsterkere (op-amp)[2, s. 105]. I en differensialforsterker benyttes ofte to inngangstransistorer i en konfigurasjon som tillater differensiell signalbehandling. Bipolare transistorer, som for eksempel NPN- og PNP-transistorer, er valgt for deres egenskaper som forsterkningsenheter og deres evne til å drive signaler med høy presisjon. Et typisk eksempel på en differensialforsterker er vist i figur 2.

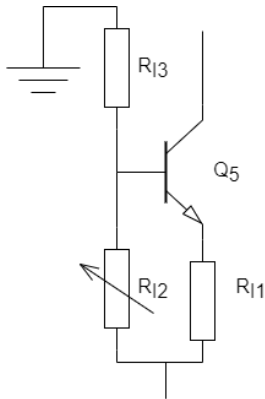


Figur 2: Differensialforsterker som en operasjonsforsterker

3 Realisering

3.1 Kretsopkobling

Oppkoblingen ble gjort som vist i den prinsipielle løsningen i figur 2, hvor strømkliden ble realisert som i figur 3. Modellene og verdiene som ble brukt vises i tabell 4.

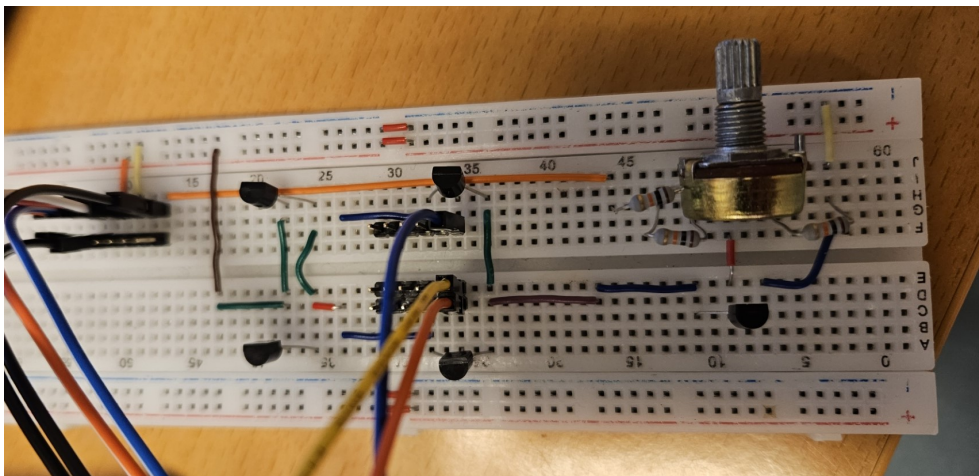


Figur 3: Realisert strømkilde.

Komponent	Verdi/Produktnummer
$Q_1 \& Q_2 \& Q_5$	BC547A (NPN)
$Q_3 \& Q_4$	BC557B (PNP)
R_{I1}	3k Ω
R_{I2}	0 Ω – 10k Ω
R_{I3}	10k Ω

Figur 4: Komponenter og verdier brukt i designet.

Den oppkoblede kretsen vises i figur 5.



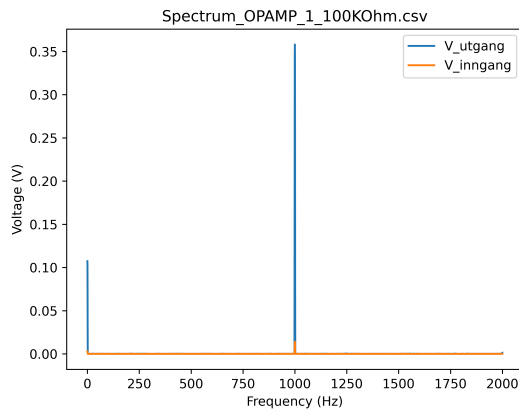
Figur 5: Realisert operasjonsforsterker

3.2 Målinger

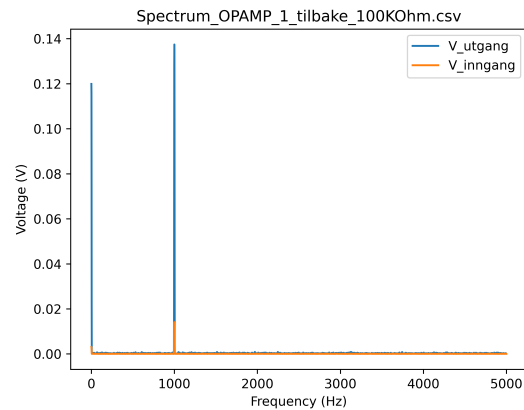
Set ble gjort målinger med oscilloskop og spektrumsanalysator, deretter ble målingene prosessert i python for å finne THD og forsterkning. Målingene ble gjort med en inngangsamplitude på 0.04V og en frekvens på 1kHz. Resultatene av målingene vises i tabell 1. Ut av tabellen kan vi se at forsterkningen varierer mye når vi ikke har tilbakekobling på utgangen. Vi ser også at når vi setter på en lav lastmotstand så synker forsterkningen kraftig, dette er fordi kretsen ikke klarer å levere den strømmen som kreves. Spektrumsanalysen av utgagnssignalet med last på $R_L = 100k\Omega$ både med og uten tilbakekobling vises i figur 7 og i figur 6.

Konfigurasjon	Amplitude inn	Amplitude ut	Forsterkning	THD
$R_L = 0$	0.04V	0.90V	20	17.92%
$R_L = 100k\Omega$	0.04	0.99V	22	3.56%
$R_L = 100\Omega$	0.04V	0.72V	16	3.93%
Tilbakekobling $R_L = 0$	0.04V	0.42V	9.7	8.15%
Tilbakekobling $R_L = 100k\Omega$	0.04V	0.42V	9.4	8.61%
Tilbakekobling $R_L = 100\Omega$	0.04V	0.21V	4.7	9.99%

Tabell 1: THD and Amplitude Data



Figur 6: Spectrum med $R_L = 100k\Omega$ åpen løkke



Figur 7: Spectrum med $R_L = 100k\Omega$ tilbakekobling

Som vi ser i figur 7 så er det mye distorsjon ved 0Hz. Dette er fordi vi har en DC offset på utgangen. Dette kan vi fjerne ved å sette inn en kondensator i tilbakekoblingen.

3.3 Forbedringer

Denne kretsen kunne blitt bedre hadde man koblet opp en emitter følger ved utgangen.

4 Konklusjon

Kretsen som var koblet opp var en differensialforsterker som ble brukt som en operasjonsforsterker. Total Harmonisk Distorsjon var litt høyere enn forventet på grunn av DC oppførselen til kretsen. Forsterkninkgen varierer mye med lastmotstand, og det er derfor viktig å ha en emitterfølger ved utgangen. Forsterkninkgen blir mer stabli med tilbakekobling frem til man trekker for mye strøm fra kretsen.

5 Takk

Referanser

- [1] L. Lundheim, *Designprosjekt 6*, Institutt for elektronisk systemdesign NTNU 2023.
- [2] P. Horowitz, W. Hill, *The Art of Electronics*, Cambridge University Press, 3. utgave, 2016.

A Fullstendige utregninger