



# Designnotat

Tittel: Operasjonsforsterker

Forfattere: Peter Pham

Versjon: 1.0

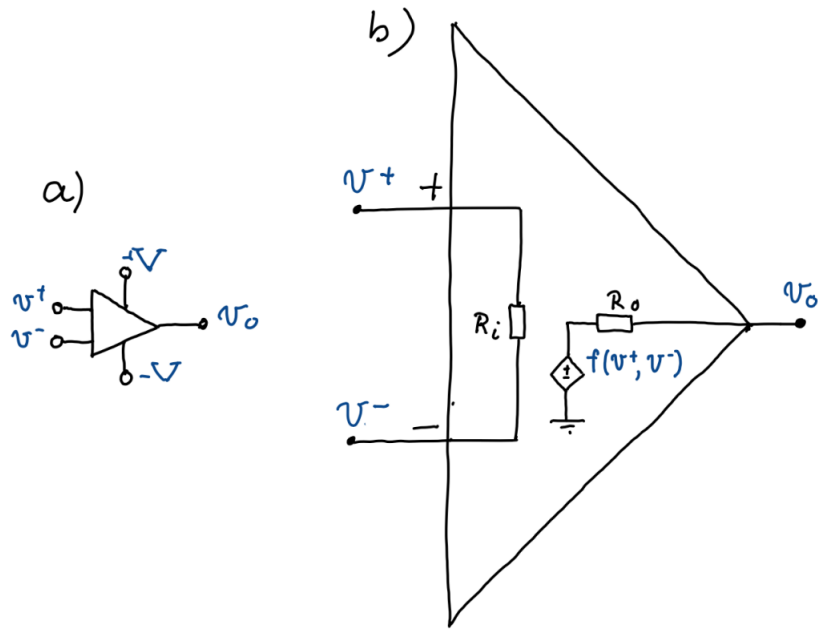
Dato:01.11.2022

## Innhold

1	Problembeskrivelse	2
2	prinsipiell løsning	4
3	Realisering og test	7
4	Konklusjon	9
5	Referanser	10

# 1 Problembeskrivelse

En operasjonsforsterker (opamp) er en krets med fem tilkoblingspunkter som vist i figur 1 a) og med en modell som vist i figur 1 b).



**Figur 1:** Operasjonsforsterker: a) symbol, b) modell.

en *ideell* opamp har følgende egenskaper:

1. inngangsmotstanden  $R_i$  er uendelig stor
2. utgangsmotstanden  $R_o = 0$
3. utgangen er gitt som

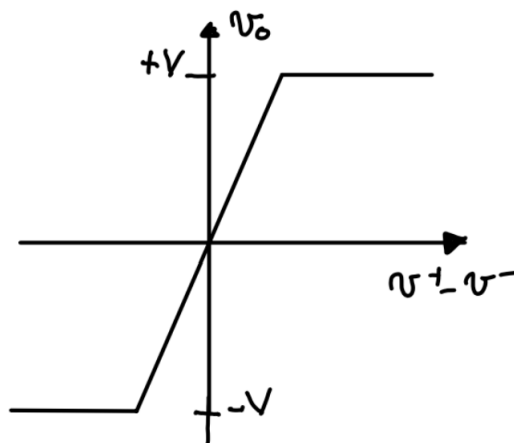
$$v_o = f(v^+, v^-) = \begin{cases} \min\{V, A(v^+ - v^-)\} & \text{for } v^+ - v^- > 0 \\ \max\{-V, A(v^+ - v^-)\} & \text{for } v^+ - v^- < 0 \end{cases} \quad (1)$$

dvs. som vist i figur 2 Konstanten  $A$  er opampens *åpen løkke-forsterking*. En reell operasjonsforsterker er et elektronisksystem som i større eller mindre grad oppfyller betingelsene ovenfor. Typiske avvik er at inngangs- og utgangsmotstandene har endelige verdier. Videre er utgangen gitt som en funksjon.

$$v_o = f(v^+, v^-) \quad (2)$$

som ikke eksakt oppfyller den vi har i 1.

Operasjonsforsterkeren som designes i dette forsøket skal vurderes utifra:



**Figur 2:** Karakteristikk for ideell operasjonsforsterker.

1. Inngangsmotstand
2. Utgangsmotstand
3. Forsterking  $A$  ved sinuspåtrykk med frekvens  $f = 1kHz$
4. Total harmonisk distorsjon ved sinuspåtrykk med frekvens  $f = 1kHz$

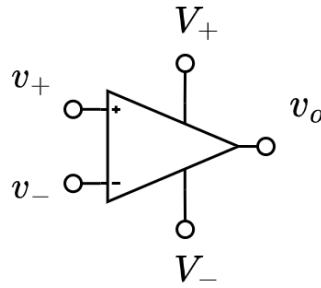
De to siste punktene skal undersøkes ved to forskjellige lastmotstander:  $R_L = 100 \text{ kohm}$  og  $R_L = 100 \text{ ohm}$ .

Forsyningsspenning skal være  $\pm 5 \text{ volt}$ .

Det skal også undersøkes hvor godt kretsløsningen virker som opamp i en ikke-inverterende forsterkerkobling med forsterking 10. Denne forsterkerkoblingen skal også undersøkes med hensyn på inngangs- og utgangsmotstand, samt total harmonisk distorsjon. Som for åpen løkkeforsterking, skal oppførselen undersøkes med de samme to lastmotstandene  $R_L = 100 \text{ kohm}$  og  $R_L = 100 \text{ ohm}$ .

## 2 prinsipiell løsning

En opamp som vist i figur 3 er en elektronisk forsterker som forsterker differansen mellom to inngangssignalene  $v^+$  og  $v^-$ . Utgangs spenningen  $v_o$  vil dermed være lik formel 3 der  $A$  er forsterkningsfaktoren til opampen dette blir også oppgitt i [2].



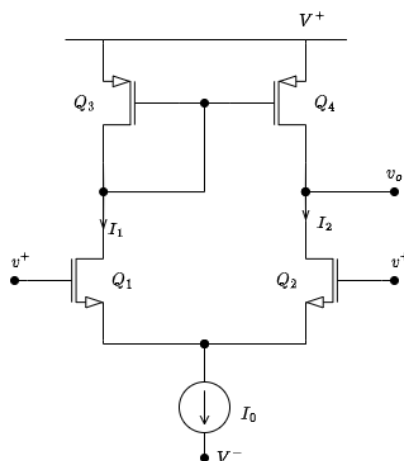
**Figur 3:** opamp.

$$v^o = A(v^+ - v^-) \quad (3)$$

$V^+$  og  $V^-$  er i dette tilfelle spenningsforsyningen, dette setter også begrensningen for opampen da utgangssignalet  $v^o$  vil alltid være  $V^- < v_o < V^+$ .

Fra seksjon 1 får man oppgitt av en idell opamp har en uendelig stor inngangsmotstand og en utgangsmotstand tilnærmet 0. Dette gjør at opampen ikke skal påvirke delsystemer som den er koblet til.

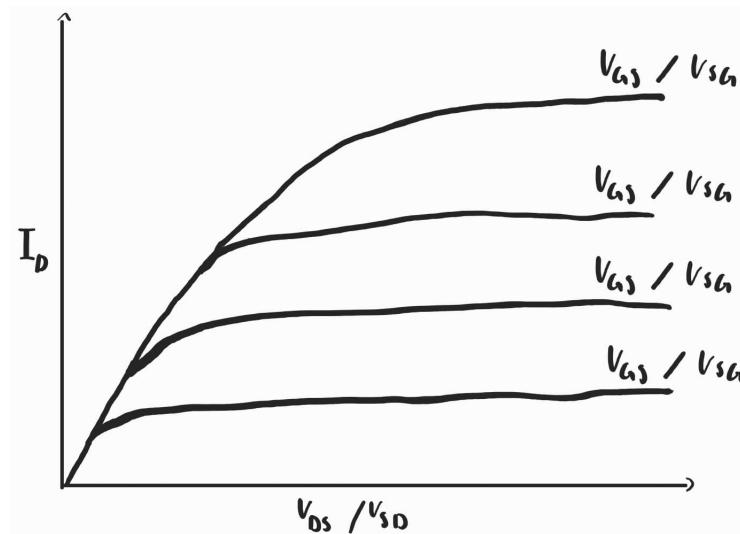
En idé til en slik krets kan være en differentialforsterker som vist i figur 4



**Figur 4:** Differentialforsterker.

Transistorene  $Q_1$  og  $Q_2$  er av typen NMOS mens  $Q_3$  og  $Q_4$  er av typen PMOS. Disse har en

karakteristikk tilsvarende figur 5.

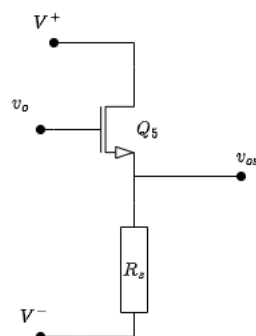


**Figur 5:** Skisse av karakteristikk ved en MOSFET transistor.

Fra video [3] opplyses det man at dersom en setter transistorene  $Q_3$  og  $Q_4$  til å opererer i det aktive området, altså områdene på figur 2 hvor det er mest lineært, Så vil de ha en liten storsignal motstand og samtidig en stor småsignalmotstand. Dermed kan det gå en relativt stor strøm over transistoren uten at spenningsfallet blir noe serlig stort, men samtidig hvis det påtrykkes et lite småsingnal på inngangen slik at strømmen igjennom transistoren får et lite småsignal variasjon, så vil dette føre til en stor spenningsvariasjon på utgangen  $v_o$

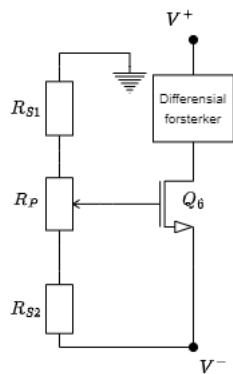
For å kunne holde  $Q_3$  og  $Q_4$  i det aktive området uten å måtte manuelt justere på gate spenningen så gatene til noden mellom  $Q_1$  og  $Q_3$  som vist i figur 4. Dette fører dermed til en negativ tilbakekobling som gjør at spenningsnivået til gatene til  $Q_3$  og  $Q_4$  alltid vil justere seg til riktig nivå.

For å oppnå en lav utgangsmotstand skriver en av administratorene i all about electronics [1] at kan man legge til en source-følger av typen vist i figur 6 på utgangssignalet.



**Figur 6:** Source følger.

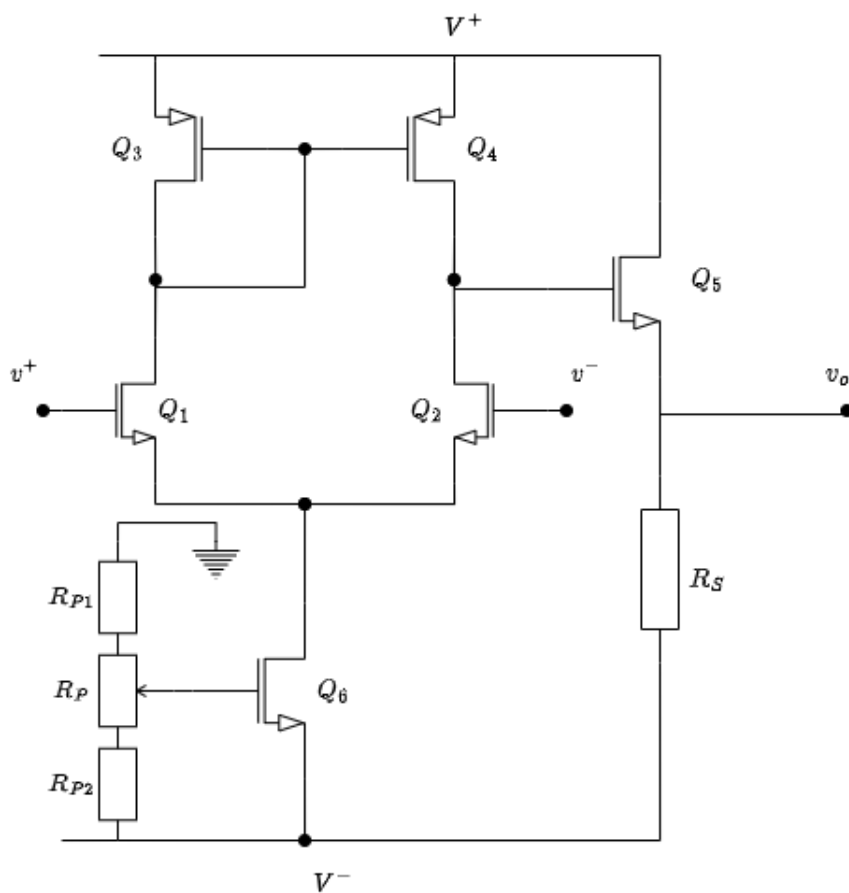
Strømkilden fra figur 4 kan lages som vist i figur 7



**Figur 7:** Strømkilde.

Her brukes potensiometeret  $R_P$  til å justere gate-spenningen slik at man kan få et nokså konstant strøm som kan styres.

Hele systemens kretsdiagram er vist i figur



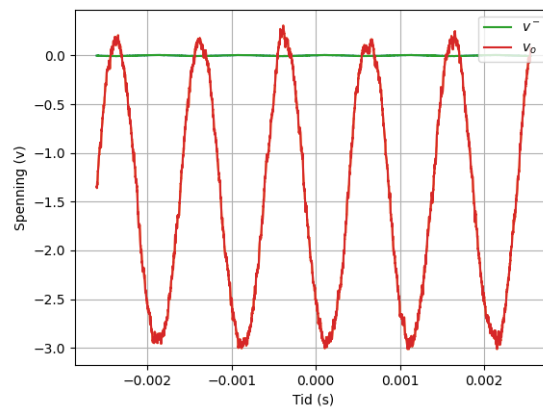
**Figur 8:** Hele systemets kretsdiagram.

**Tabell 1:** Komponenter brukt i differensialforsterkeren.

Komponent	type	verdi
$Q_1$	2N7000	
$Q_2$	2N7000	
$Q_3$	VP2106	
$Q_4$	VP2106	
$Q_5$	2N7000	
$Q_6$	2N7000	
$R_P$	Potensiometer	10k $\Omega$
$R_{P1}$		20k $\Omega$
$R_{P2}$		10k $\Omega$
$R_S$		1k $\Omega$

### 3 Realisering og test

Kretsen i figur 8 ble realisert med komponentene i tabel 1.



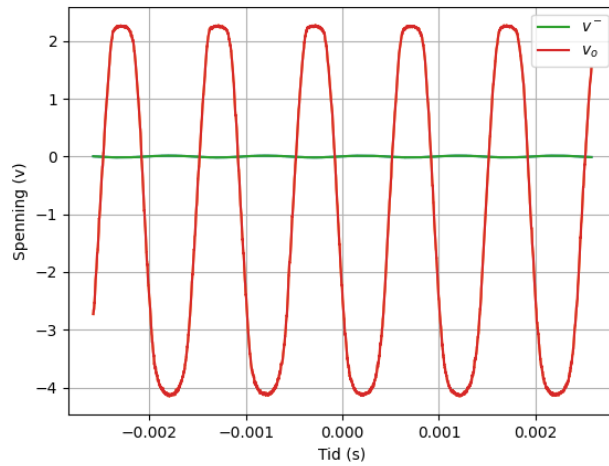
**Figur 9:** Åpen-løkkeforsterkning med en inngangssignal på 5mV.

Dette gav en forsterkning på  $A \approx 350$  og en THD på  $-27.6dB$  med en inngangssignal på 5mV og 1 KHz, det ble også observert lavere forsterkning og høyere THD ved høyere ingangssignal og når inngangssignalet gitt høyere enn 10mV så ble det observert klipping i utgangssignalet som vist i figur 10

Dette kan skyldes at det ikke er tilstrekkelig med spenningsforsyning  $V^+$  og  $V^-$  da tilsvarende klipping også forekom ved en inngangssignal på 5mV når spenningsforsyningen ble redusert.

Måling av THD og forsterkning  $A$  ved sinuspåtrykk med frekvens  $f = 1$  kHz med både 100  $\Omega$  og 100 k $\Omega$  er plottet inn i tabell 2 utgangssignalene er vist i figur

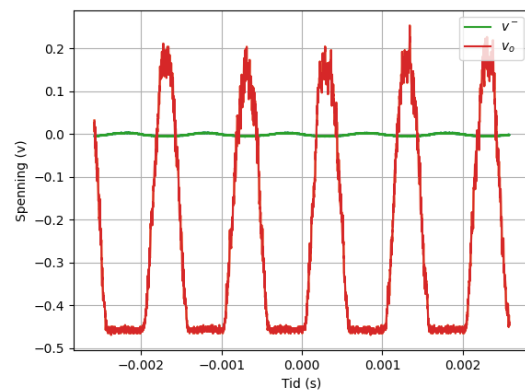
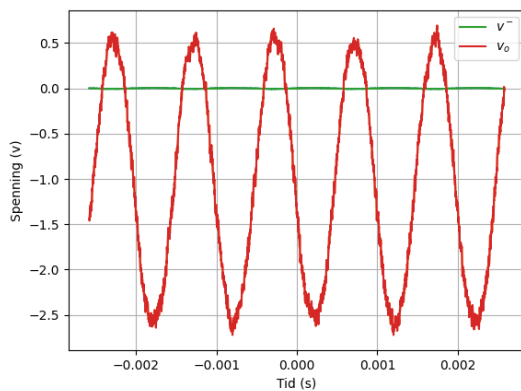
Siden spenningen blir lavere over lastmotstanden ved lav motstand kan det tenkes at utgangsmotstanden til systemet har noe å si da det skjer et spenningsfall før lastmotstanden i motsetning til en høy lastmotsand da tilnermet alt spenningsfallet skjer over denne.



**Figur 10:** Åpen-løkkeforsterkning med en inngangssignal på 15mV.

**Tabell 2:** Forsterkning og THD ved ulike last motstand.

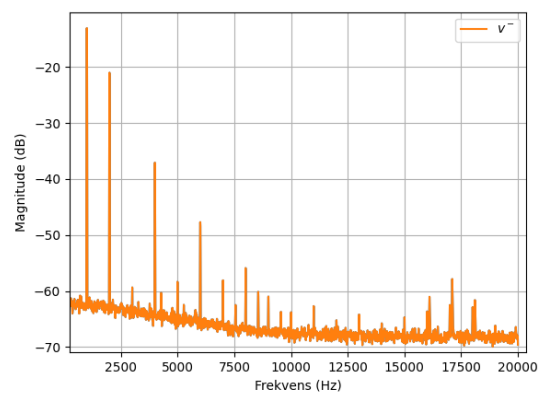
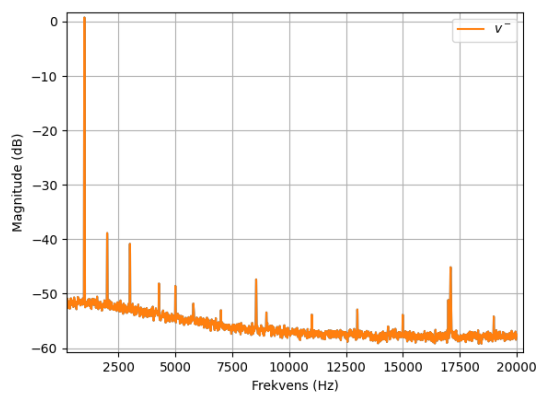
$R_0$	A	THD[dBc]
0	348	-36.7
100 $\Omega$	91	-7.7
100 $K\Omega$	346	-37.0



**(a)** Åpen-løkkeforsterkning med lastmotsand på 100  $k\Omega$  **(b)** Åpen-løkkeforsterkning med lastmotsand på 100  $\Omega$

Det er observert at lav lastmotstand også gir mer overharmonisk støy i figur 12.





(a) Åpen-løkkeforsterkning med lastmotsand på  $100\text{ k}\Omega$  (b) Åpen-løkkeforsterkning med lastmotsand på  $100\text{ }\Omega$

**Figur 12:** Frkvensspekter for lastmotsand på  $100\text{ k}\Omega$  og  $100\text{ }\Omega$

## 4 Konklusjon

## 5 Referanser

### Referanser

- [1] admin. *MOSFET- Source Follower (Common Drain Amplifier)*. ALL ABOUT ELECTRONICS, jan. 2021. URL: <https://www.allaboutelectronics.org/mosfet-source-follower-common-drain-amplifier/> (sjekket 10.11.2022).
- [2] Wikipedia Contributors. *Differential amplifier*. Wikipedia, des. 2021. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Differential\\_amplifier#Biasing](https://en.wikipedia.org/wiki/Differential_amplifier#Biasing) (sjekket 09.11.2022).
- [3] Fredrik Feyling. *Aktiv last praksis*. Panopto, 2022. URL: <https://ntnu.cloud.panopto.eu/Panopto/Pages/Viewer.aspx?id=2d7833c3-3e5b-4cc9-afef-af33012c168b&query=aktiv%20last%20praksis> (sjekket 09.11.2022).