



Designnotat

Tittel: Operasjonsforsterker

Forfattere: Peter Pham

Versjon: 1.0

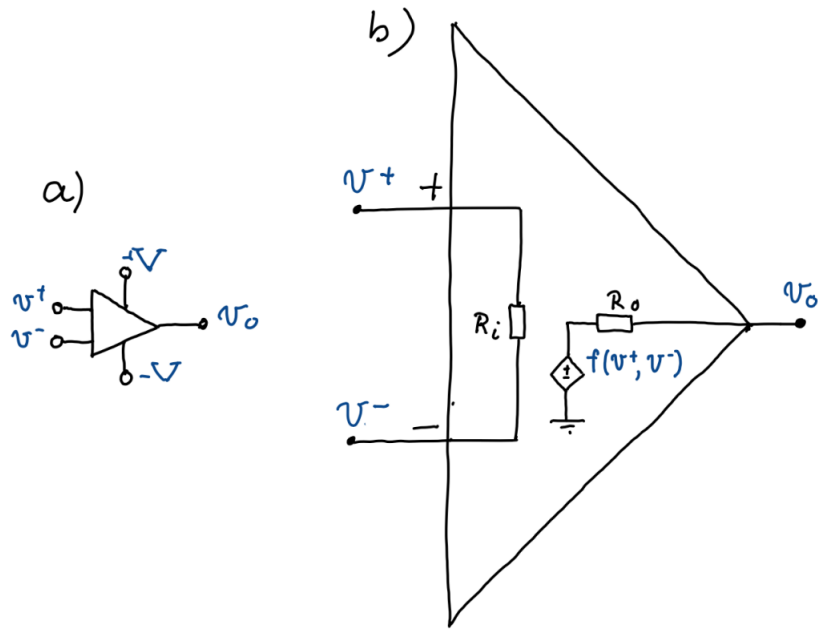
Dato:01.11.2022

Innhold

1	Problembeskrivelse	2
2	prinsipiell løsning	4
3	Realisering og test	7
4	Konklusjon	12
5	Referanser	13

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

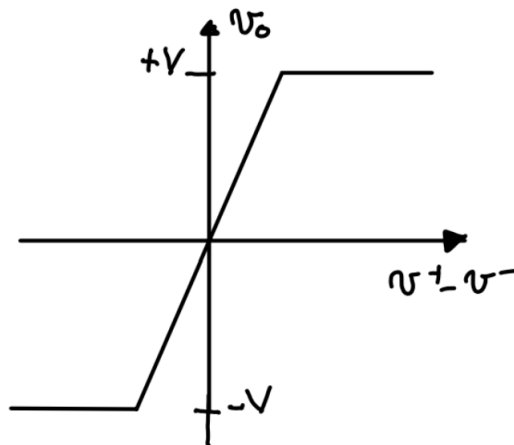
$$v_o = f(v^+, v^-) = \begin{cases} \min\{V, A(v^+ - v^-)\} & \text{for } v^+ - v^- > 0 \\ \max\{-V, A(v^+ - v^-)\} & \text{for } v^+ - v^- < 0 \end{cases} \quad (1)$$

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 $f = 1kHz$

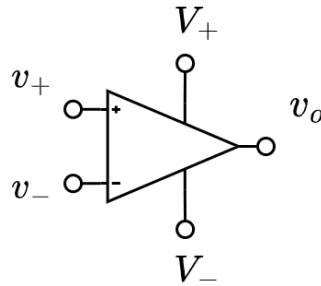
De to siste punktene skal undersøkes ved to forskjellige lastmotstander: $R_L = 100 \text{ kohm}$ og $R_L = 100 \text{ ohm}$.

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].



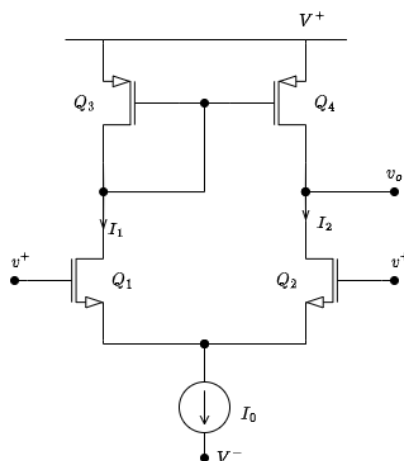
Figur 3: opamp.

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

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.

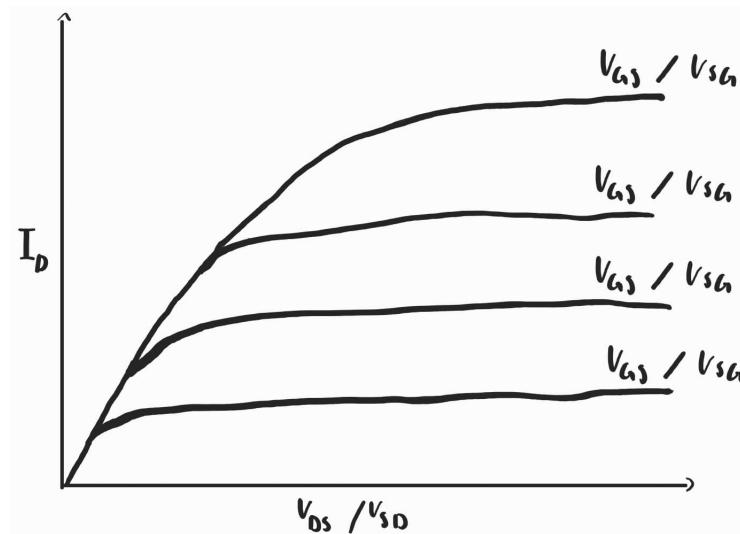
En idé til en slik krets kan være en differentialforsterker som vist i figur 4



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.

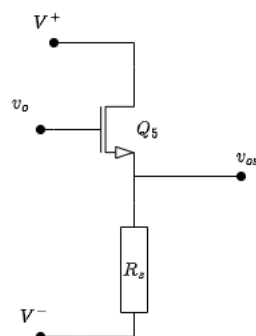


Figur 5: Skisse av karakteristikk ved en MOSFET transistor.

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

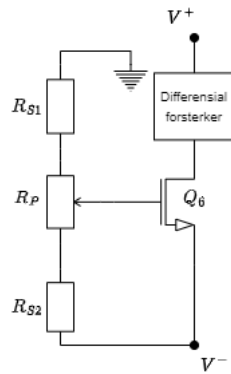
For å kunne holde Q_3 og Q_4 i det aktive området uten å måtte manuelt justere på gate spenningen så gatene til noden mellom Q_1 og Q_3 som vist i figur 4. Dette fører dermed til en negativ tilbakekobling som gjør at spenningsnivået til gatene til Q_3 og Q_4 alltid vil justere seg til riktig nivå.

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.

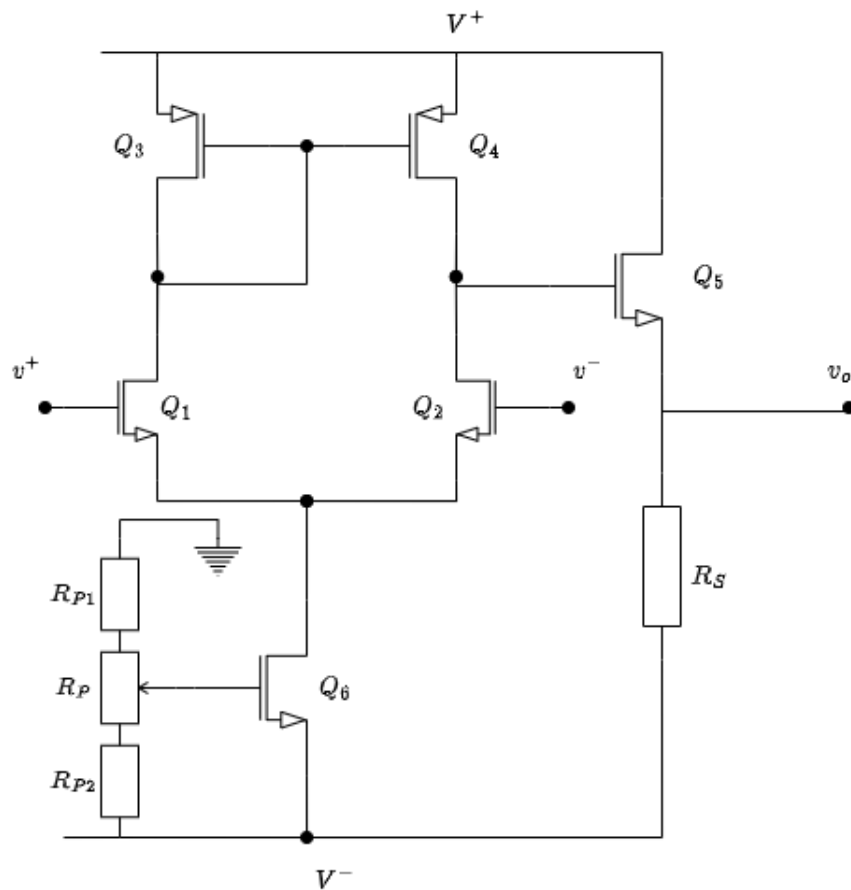
Strømkilden fra figur 4 kan lages som vist i figur 7



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



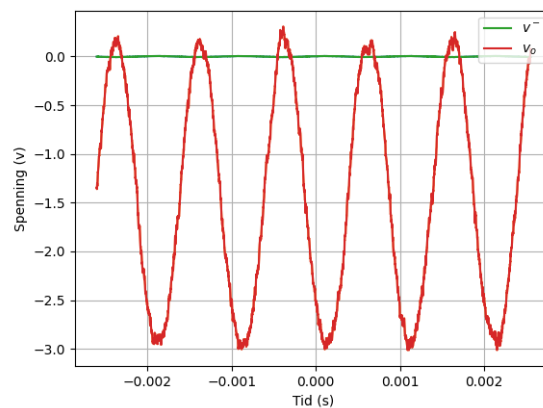
Figur 8: Hele systemets kretsdiagram.

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 Ω
R_{P1}		20k Ω
R_{P2}		10k Ω
R_S		1k Ω
R_{I1}		1.2k Ω
R_{i2}		10.8k Ω

3 Realisering og test

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



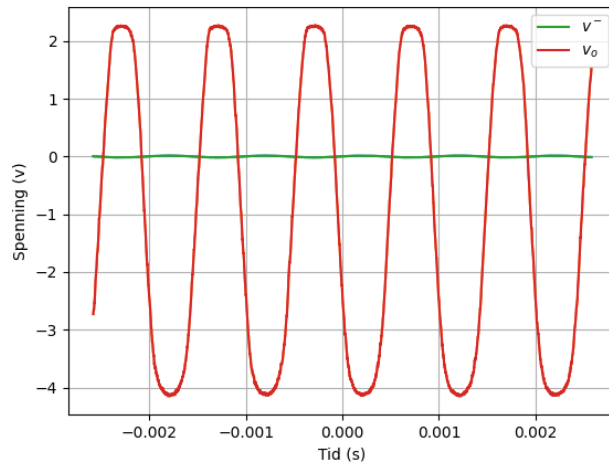
Figur 9: Åpen-løkkeforsterkning med en inngangssignal på 5mV.

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 inngangssignal 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 Ω og 100 k Ω er plottet inn i tabell 2 utgangssignalene er vist i figur

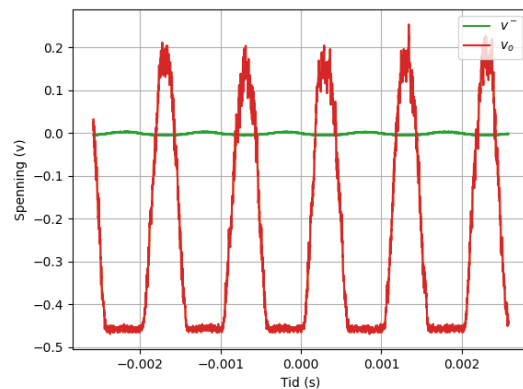
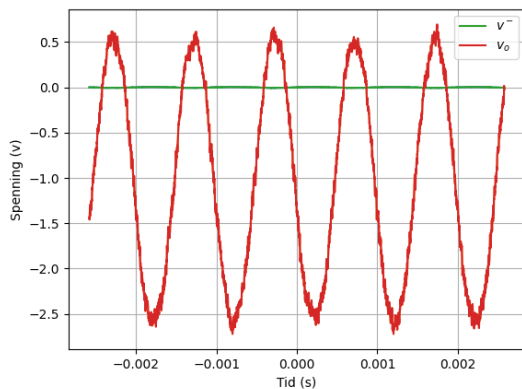
Siden spenningen blir lavere over lastmotstanden R_L ved lav motstand kan det tenkes at



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

Tabell 2: Forsterkning og THD ved ulike last motstand og type måling.

Type	R_0	A	THD[dBc]
Åpen-løkke	0	348	-36.7
Åpen-løkke	100 Ω	91	-7.7
Åpen-løkke	100 $K\Omega$	346	-37.0
Ikke-inverterende	100 Ω	9.74	-48.01
Ikke-inverterende	100 $K\Omega$	9.83	-59.85

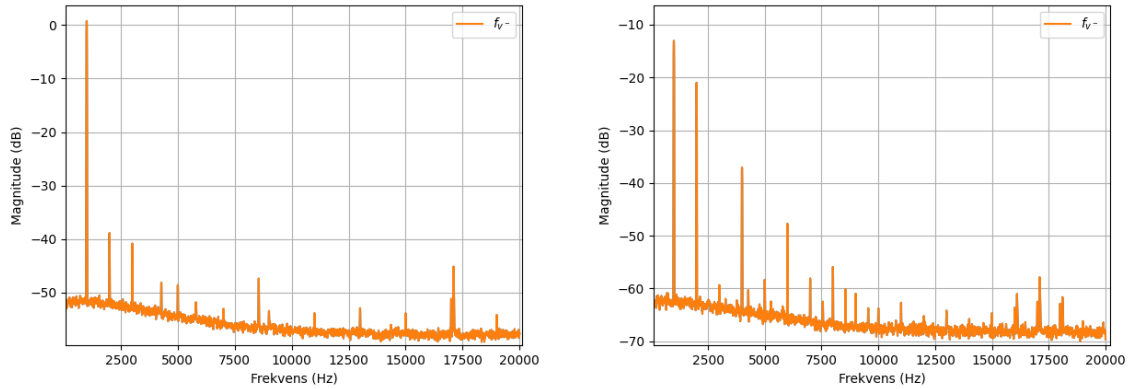


(a) Åpen-løkkeforsterkning med lastmotsand på 100 k Ω **(b)** Åpen-løkkeforsterkning med lastmotsand på 100 Ω

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.

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

Ved ikke-inverterende forsterkerkobling som vist i figur 13 med en forsterkning $A \approx 10$ ble

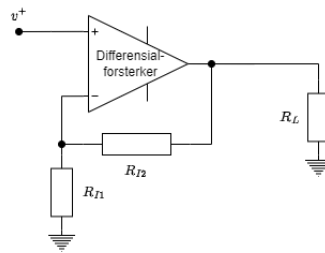


(a) Åpen-løkkeforsterkning med lastmotsand på 100 kΩ (b) Åpen-løkkeforsterkning med lastmotsand på 100 Ω

Figur 12: Frkvensspekter for lastmotsand på 100 kΩ og 100 Ω

utgangssignalene seende som vist i figur 14, mens frekvensspekteret er plottet i figur 15. Da det er lavere forsterkning her så blir det brukt et høyere amplitude på inngangssignalet. Det er lite forskjell på forsterkning mellom høy og lav lastmotstand, men det forekommer mer støy på den ikke-inverterende forsterkerkoblingen med lav lastmotstand. Til tross for dette så er det generelt lavere støy og forsterkningene på 9.74 og 9.83 ganske så nærme 10 som det burde vært ifølge teorien i [4] der det oppgis at forsterkningen skal være

$$A = 1 + \frac{R_{I2}}{R_{I1}} \quad (4)$$



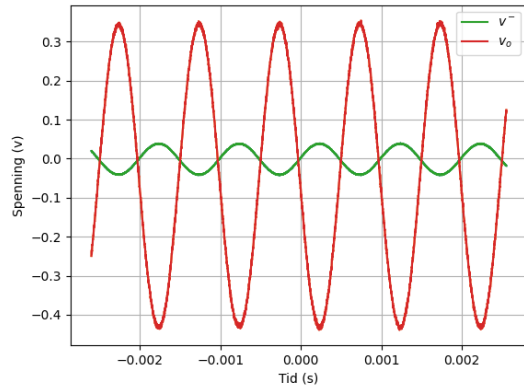
Figur 13: Ikke-inverterende forsterkerkobling.

For å finne ut av inngangs- og utgangshastigheten blir metoden i løsningsforslaget [5] brukt, der formelen for inngangsmotstanden er gitt ved

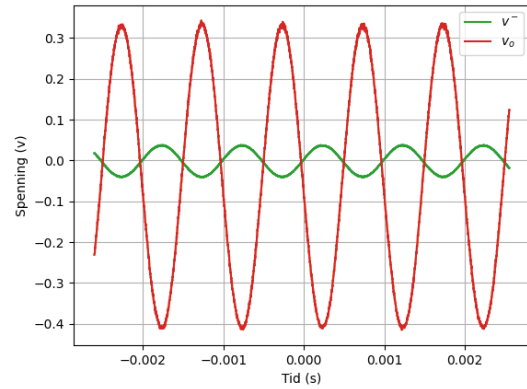
$$R_i = R' \frac{v_i}{v_s} \quad (5)$$

For å måle inngangsmotstanden ble det brukt en motstand på 1 MΩ i figur 16, v_i ble målt til 69 mV, og v_s ble målt til 42 mV. Dette gir en inngangsmotstand på $R_i \approx 1.55 \text{ M}\Omega$.

Ved måling av utgangsmotstanden ble en motstand brukt som vist i figur 17 der spenningen v_o målt før motstanden ble satt på ble målt til 3.276 V, mens v_L ble målt til 1.37 V. Motstanden

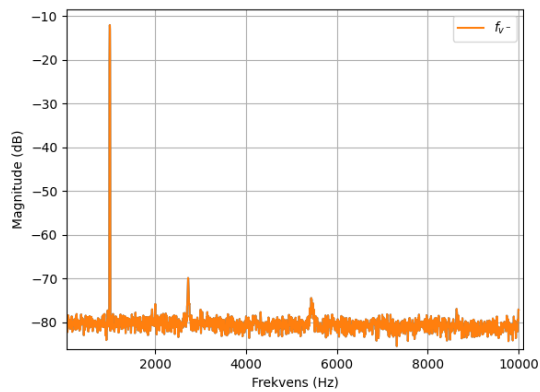


(a) Ikke-inverterendeforsterkning med lastmotsand på 100 kΩ

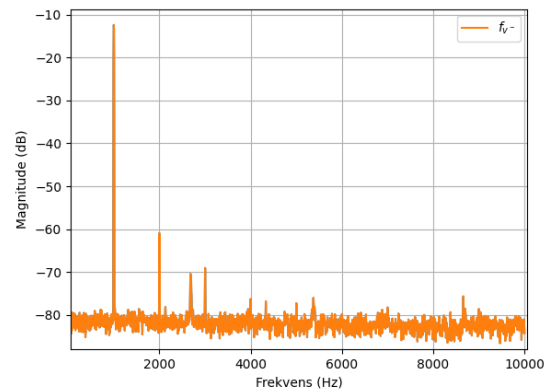


(b) Ikke-inverterendeforsterkning med lastmotsand på 100 Ω

Figur 14: Ikke-inverterendeforsterkning med inngangssignal på 40mV.

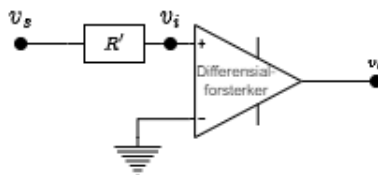


(a) Frekvensspekter med lastmotsand på 100 kΩ



(b) Frekvensspekter med lastmotsand på 100 Ω

Figur 15: Frekvensspekter til ikke-inverterendeforsterkning med inngangssignal på 40mV.

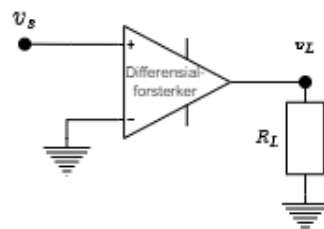


Figur 16: måling av inngangsmotstand.

som ble brukt var på 100Ω dermed ved bruk av formelen i LF [5] så gir det en utgangsmotstand på $R_o \approx 129\Omega$.

$$R_o = R_L \frac{v_o - v_L}{v_L} \quad (6)$$

brukt på kretsen i figur 17



Figur 17: måling av utgangsmotstand.

4 Konklusjon

Med en differentialforsterker og sourcefølger har det blitt laget en opamp med en åpen-løkkeforsterkning på 348 ved en lastmotstand på $100\text{k}\Omega$ og 91 i forsterkning med en last-motstand på 100Ω . THD ble målt til -37dBc , mens med en ikke-inverterende forsterkerkrets ble det en forsterkning på 9.83 med en THD på -59.85dBc . Inngangsmotstanden ble målt til 1.55Ω , mens utgangsmotstanden ble målt til 139Ω . I

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 (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).
- [4] *Glossary Definition for Non-Inverting Op Amp*. Maximintegrated.com, 2020. URL: <https://www.maximintegrated.com/en/glossary/definitions.mvp/term/Non-Inverting%20Op%20Amp/gpk/1219#:~:text=A%20non%2Dinverting%20op%20amp,180o%20out%20of%20phase>. (sjekket 11.11.2022).
- [5] NTNU. *TTT4265 – Elektronisk systemdesign og -analyse II LF Øving 13*. 2022.