

# Operationsforstærkeren

## Øvelse 8, 10030, Januar 2012

Ole Trinhammer

Opdateret 22. december 2011

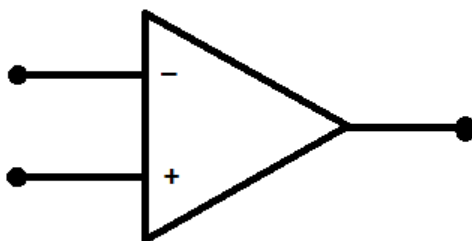
### Formål

Målet med denne øvelse er at stifte bekendtskab med operationsforstærkeren.

### Måleprogram

I skal undersøge inverterende og ikke-inverterende forstærkning. Dernæst skal I bruge forstærkeren til at konstruere to forskellige apparater: En analog-digital omformer og et termometer. Endelig skal I undersøge om forstærkeren også kan bruges som filter for vekselstrømssignaler.

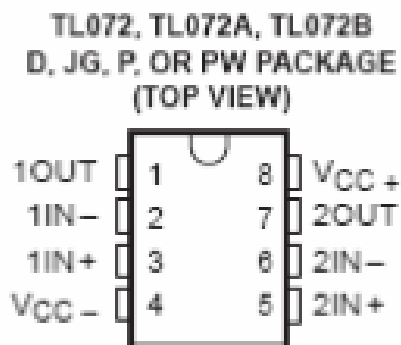
### Hvad er en operationsforstærker?



Figur 1: Symbol for operationsforstærker.

Det er en integreret kreds med to indgange og en udgang, se figur 1. Man anvender som regel kredsen uden at bekymre sig om dens indre struktur.

Kredsen er en aktiv elektrisk komponent, dvs. den skal tilføres en forsynings-spænding for at fungere. Operationsforstærkere sælges f.eks. sammenbygget parvis med fælles forsyning, se figur 2



Figur 2: En IC med to OPamp'er.

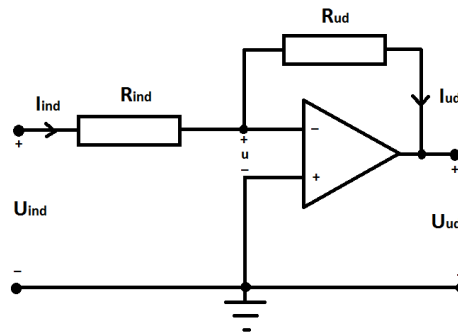
Forsyningsspændingen har ikke direkte forbindelse til det kredsløb, hvor man anvender den, men har indflydelse på hvor stor spændingsforstærkning man kan opnå. Forstærkeren opererer efter følgende to gyldne regler

- I Udgangen forsøger at gøre, hvad der er nødvendigt for at holde spændingsforskellen mellem de to indgange på nul.
- II Indgangene trækker ikke strøm.

De to regler skal forstås som idealisationer af de faktiske forhold. Idealisationerne tjener til at kunne forudsige hvordan et kredsløb vil opføre sig, hvis det indeholder en operationsforstærker. Regel I betyder ikke, at op-amp'en ændrer spændingen ved sine indgange. (Hvordan skulle den kunne det og være konsistent med regel II?). Hvad den gør, er at "kigge" på indgangene og vende sin udgang rundt så det ydre kredsløb ved tilbagekobling bringer indgangsforskellen til nul (hvis muligt). Lad os som eksempel se på den inverterende ("omvendende") forstærker, figur 3.

## Opgave 1

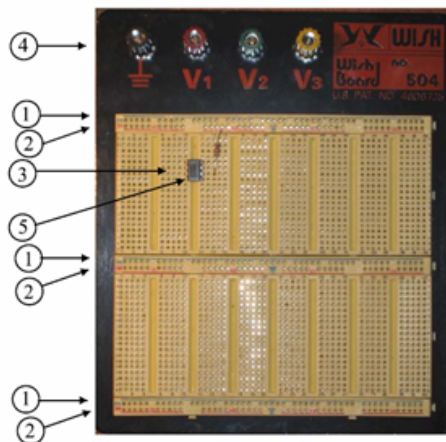
Benyt de to gyldne regler til at vise at kredsen i figur 3 fungerer som inverterende spændingsforstærker. (Vink: Find udtryk for strømmene  $I_{ind}$  og  $I_{ud}$ , når udgangen er ubelastet og hjælpestørrelsen  $u = 0$ .)



Figur 3: Inverterende forstærker  $U_{ud} = -\frac{R_{ud}}{R_{ind}} U_{ind}$ . Strømpile og symbolerne +/- viser fortegnskonventionerne og må ikke forveksles med de faktiske strømretninger og spændingsniveauer.

## Spændingsforstærker

I skal afprøve kredsen i figur 3. Kredsen opbygges på en monteringsplade (fumlebræt) som ses på figur 4



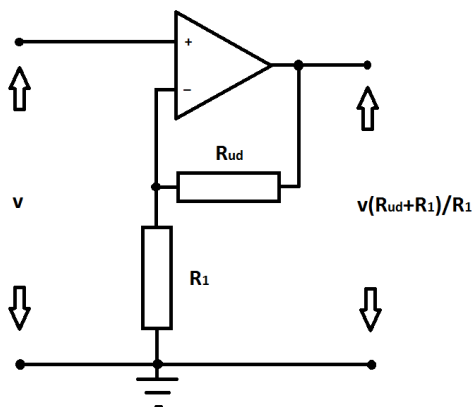
Figur 4: Fumlebræt med integreret kredsløb og modstand monteret. Fotomontage: Claus Schelde Jacobsen.

Figur 4 er lånt fra materiale til kurset 10467, hvorfra vi også henter hvad tallene indikerer:

1. Mærket (-): 3 rækker monteringshuller, der hver for sig er internt forbundet.

2. Mærket (+): Hver gruppe med 10 huller er internt forbundet.
3. Rækker med 5 monteringshuller, der hver for sig er internt forbundet.
4. Telefonbøsninger, der kan bruges til forbindelser til omverdenen (strømforsyning mv.).
5. Viser hvordan operationsforstærkeren monteres. Der er også vist, hvordan en modstand kan forbinde et ben på forstærkeren til en række af typen 2.

Prøv kredsen i figur 3 med forskellige modstandskombinationer. Prøvesignaler kan hentes fra en tonegenerator. Prøvesignalet sendes ind i kredsen og parallelt hermed til kanal 1 på et oscilloskop. Udgangssignalet sendes til kanal 2 på oscilloskopet. Prøv også den ikke-inverterende forstærker i figur 5.



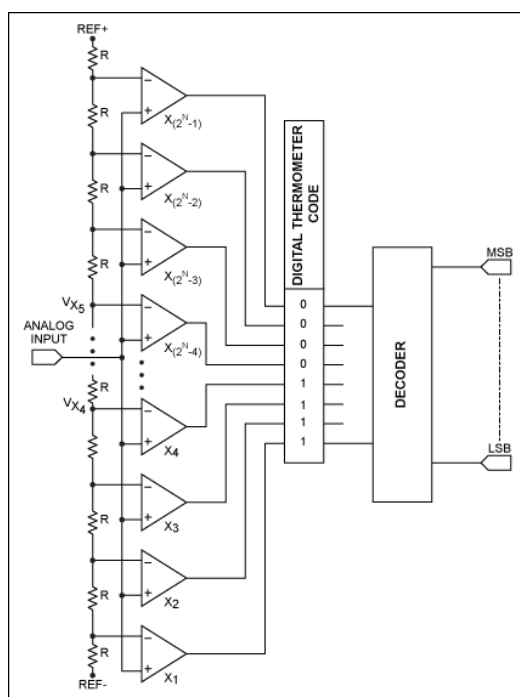
Figur 5: Ikke-inverterende forstærker.

## Komparator

Operationsforstærkeren er i sin "rå" tilstand en spændingsforstærker med en forstærkningsfaktor på typisk en million. Dette kan udnyttes til en simpel sammenligning mellem to spændinger. Hvis spændingsforskellen mellem de to indgange i figur 1 er større end nogle få millivolt, vil udgangen nemlig "mætte", dvs. blive lig med en af de to forsyningsspændinger, ca. +/- 15 V. Prøv at sætte 9V fra batteriet til plus-indgangen og en variabel spænding til minus-indgangen. Skru op for spændingen, mens I holder øje med udgangen. Prøv også med 9 V på minus-indgangen. Tegn diagram og kommenter.

## Analog-digital omformer (FLASH ADC)

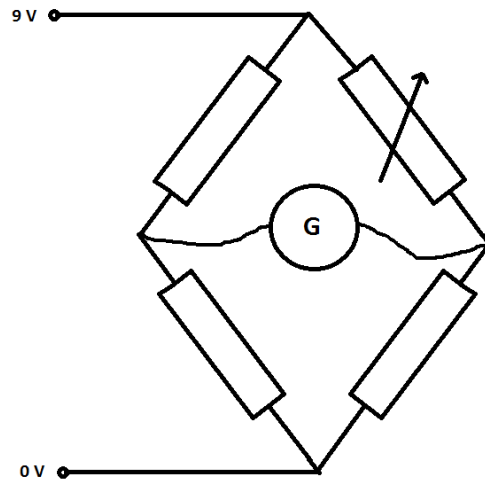
Figur 6 viser hvordan et analogt signal kan deles op i brøkdele, dvs. digitaliseres, ved hjælp af en stak af komparatorer. Den viste kreds svarer til en 3-bits opløsning af signalet (overvej!). I skal efterligne princippet ved at bygge en kreds med fire operationsforstærkere, der bruges som komparatorer (sammenlignere). I stedet for en samlet afkodeenhed skal i på hver udgang sætte en lysdiode i serie med en kOhms modstand. Diodernes lange ben er plus. Brug 9V-batteri som reference og afprøv kredsen med variabel strømforsyning.



Figur 6: Analog til digital omformer. Afkodeenheden læser udgangene parallelt hvilket giver en hurtig omformning bestemt af samplefrekvensen. (Figuren er hentet fra [www.maxim-ic.com](http://www.maxim-ic.com)).

## Temperaturføler med forstærkning til viserinstrument

I skal bygge en Wheatstone-bro med fire grene a 1 , se figur 7. En af grenene indeholder to trimme-potentiometre og en modstand, der er mere temperaturfølsom end de andre. Broen forspændes med 9V-batteriet. Spændingen



Figur 7: Wheatstonebro. Når alle fire modstande er ens, er broen i balance, og galvanometret  $G$  viser nul. Den variable modstand (med pil) er temperaturfølsom.

mellem broens to midtpunkter balanceres foreløbigt og forstærkes dernæst en faktor 100 ved hjælp af en operationsforstærker. Spændingen på forstærkerudgangen balanceres til nul vha. trimme-potmetrene. Herefter kobles forstærkerudgangen til et viserinstrument (OBS: MAX 60 mV), som gerne skulle slå ud, når den følsomme modstand lunes mellem to fingre. Tegn diagram.

## Filterforstærker

I skal her undersøge om forstærkningsfaktoren også gælder for ikke-ohmske impedanser. Byg igen den inverterende forstærker i figur 3. Sæt en kapacitor i serie med indgangsmodstanden.

$R_{ind} = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{ud} = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $C_{ind} = 0,1 \mu\text{F}$ . Hvis udtrykket for forstærkningsfaktoren kan generaliseres til  $U_{ud} = -\frac{Z_{ud}}{Z_{ind}} R_{ind}$ , ved hvilken frekvens vil forstærkningen så være faldet med en faktor  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ? (Denne frekvens kaldes knækfrekvensen).

Prøvesignal fra funktionsgeneratoren kobles til indgangen og oscilloskop til udgangen. Tegn diagram. Undersøg jeres forudsigelse fra opgave 2 ved at måle på jeres kreds i et stort frekvensområde. Tip: Oscilloskopet kan måle bund-til-top-værdier (Peak-to-peak) – og det kan sættes til at inverttere den ene kanal. Læg mærke til eventuelle faseforskydninger og tegn graf over amplitudeforholdet som funktion af frekvensen i et dobbeltlogaritmisk koor-

dinatsystem.

Denne graf kaldes et Bode-plot. Hvilken filterfunktion har jeres forstærker? Prøv i stedet at sætte kapacitoren i serie med udgangsmodstanden. Kommenter.