

Elektronik för D

Bertil Larsson
2013-04-23

Sammanfattning föreläsning 15

Mål

Få en förståelse för förstärkare på ett generellt plan. Kunna beskriva olika typer av förstärkare och krav på dessa. Kunna förstå och rita upp inverterande och icke inverterande spänningsförstärkare med OPn och kunna ta fram förstärkning för andra OP-kopplingar med hjälp av kretsteori och OPns approximationer.

Förstärkare

En krets som består av en in-port ("input") och en ut-port ("output") kallas för en två-port. Det speciella med en två-port är att den inte har någon annan koppling mellan in och ut än just förstärkningen. Inströmmen går alltså endast i ingången och utströmmen endast i utgången, se högra delen i figur 2. Kvoten mellan insignalen och utsignalen kallas förstärkning och kan vara enhetslös, $A = v_{ut}/v_{in}$, eller ha enhet, $A = i_{ut}/v_{in}$.

Om A är mindre än 1 så kallas kretsen för en dämpare och om A är större än 1 så kallas kretsen för en förstärkare. Då insignalen och utsignalen är spänningar så kallas kretsen för en spänningsförstärkare och om insignalen och utsignalen är strömmar så kallas kretsen för en strömförstärkare.

A kan vara negativ och då kallas förstärkaren för en inverterande förstärkare.

Förstärkartyper

Om insignalen och utsignalen kan vara antingen ström eller spänning kan fyra typer av förstärkare konstrueras: Spänningsförstärkare $\frac{v}{v}$, Transadmittans $\frac{i}{v}$, Transimpedans $\frac{v}{i}$ och Strömförstärkare $\frac{i}{i}$. De ideala in- och utimpedanserna ges i tabellen nedan

Förstärkare	Ingångsresistans	Utgångsresistans
Spänningsförstärkare, $\frac{v}{v}$	∞	0
Transadmittansförstärkare, $\frac{i}{v}$	∞	∞
Transimpedansförstärkare, $\frac{v}{i}$	0	0
Strömförstärkare, $\frac{i}{i}$	0	∞

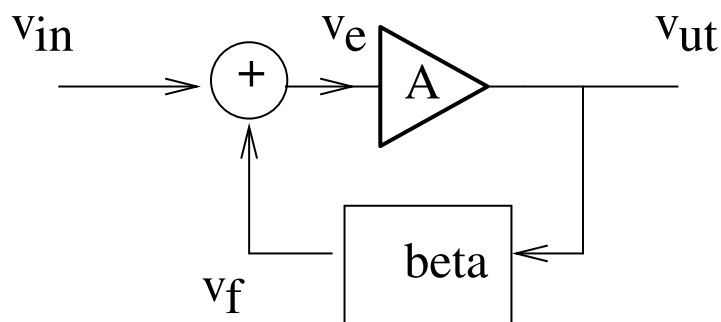
Verkningsgrad

För att utsignalen från en krets ska kunna utföra ett arbete så krävs att det överförs effekt till den apparat som ska utföra arbetet (t. ex., högtalare, elmotor, lampor, värme-element). För att förstärka en signals effekt så måste man förstärka både spänningen och strömmen i en signal. Energin som behövs för att förstärka effekten i en signal tillförs från förstärkarens strömförsörjning. Av den tillförda effekten från strömförsörjningen så kommer en del att användas till att förstärka signalen och en del kommer att försvinna i värme. Förhållandet mellan effekten som används för förstärkning och den totala tillförda effekten från strömförsörjningen kallas för förstärkarens effektivitet eller verkningsgrad.

$$\text{verkningsgraden } \eta = \frac{P_{\text{använd}}}{P_{\text{tillförd}}}$$

Återkoppling

Återkoppling betyder att man mäter utsignalen och återför och dämpar den samt därefter jämför den med insignalen. Skillnaden man får mellan den dämpade utsignalen och insignalen förstärks och driver utsignalen till rätt värde. För att detta ska fungera måste s.k. negativ återkoppling användas d.v.s. den återkopplade signalen ska subtraheras från insignalen. I figur 1 ser man Blacks återkopplingsmodell från 1927. Återkoppling reducerar distortion och gör förstärkare mer linjära, vilket var ett stort behov i förstärkare i telegrafledningarna över atlanten vid den tiden.



Figur 1: Blacks återkopplingsmodell

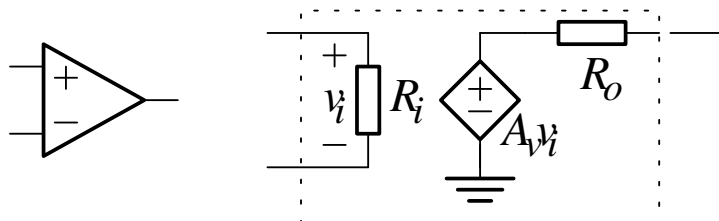
Ur figur 1 kan man få följande samband:

$$\begin{aligned}
 v_{ut} &= Av_e \\
 v_e &= v_{in} + v_f \\
 v_f &= \beta v_{ut} \\
 v_{ut} &= A(v_{in} + v_f) \\
 A_{total} &= \frac{v_{ut}}{v_{in}} = \frac{A}{1 - \beta A}
 \end{aligned}$$

Det sista uttrycket är det intressanta. Om man låter βA vara mycket större än 1 blir $A_{total} = \frac{1}{\beta}$. Förstärkningen blir alltså bara beroende av β . Detta ger två stora fördelar: β är en dämpare d.v.s. en spänningsdelare som man t.ex. kan göra med två motstånd och nästan godtyckligt exakt. Genom att göra olika typer av dämpare kan fyra olika typer av förstärkare konstrueras: $\frac{v}{v}$, $\frac{i}{v}$, $\frac{v}{i}$, och $\frac{i}{i}$. Det enda viktiga krav som ställs på A -delen är att den ska vara stor så att $|\beta A| \gg 1$. Operationsförstärkaren är en sådan komponent.

Operationsförstärkaren, OP

En OP-förstärkare är ett integrerat förstärkarblock, en komponent, som är konstruerad så att man ska behöva så lite extra yttre komponenter som möjligt för att konstruera sin förstärkarkoppling, A i figur 1. För att få största möjliga användningsområde så är OP-förstärkaren en så kallad differensförstärkare. Det vill säga att den förstärker endast skillnaden mellan de två ingångarna till förstärkaren, $v_{ut} = A_{op}(v_{in+} - v_{in-})$. Symbolen för en OP-förstärkare är en triangel med tre anslutningar (förutom matningsspänningarna), se figur 2. En ideal OP-förstärkare har oändligt hög inresistans, låg utresistans och oändligt hög förstärkning. Verkliga värden är bra $A > 10^5$, $R_{in} > 10^6 \Omega$ och $R_{ut} < 100 \Omega$.

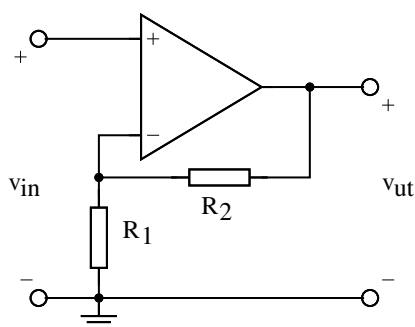


Figur 2: Operationsförstärkaren, symbol och kretsmodell

OPns approximationer

Eftersom förstärkningen är oändligt stor och utspänningen är lika med $v_{ut} = A_{op}(v_{in+} - v_{in-})$ volt, så måste skillnadsspänningen mellan ingångarna vara oändligt liten om utsignalen är begränsad t.ex. 5V. Det gäller också att inresistansen är oändligt stor vilket medför att det inte flyter någon ström in till förstärkarens minus- och plusingångar. Vid approximativa beräkningar kan man alltså använda att $v_{in+} - v_{in-} \approx 0$ och $i_{in+} = i_{in-} \approx 0$, vilket förenklar livet avsevärt.

Spänningsförstärkare med OP



Figur 3: Spänningsförstärkare med OP

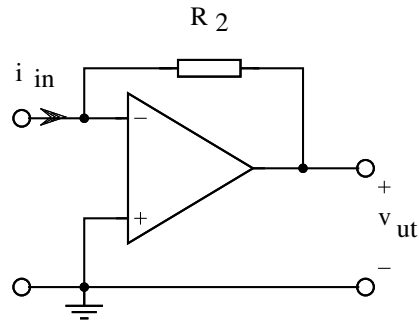
Spänningsförstärkaren kopplas enligt figur 3. Med approximationen ovan ligger spänningen v_{in} över R_1 och därmed blir $v_{in} = \frac{R_1}{R_1+R_2}v_{ut}$. Ur detta får man förstärkningen

$$A_{total} = \frac{v_{ut}}{v_{in}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad \text{eller} \quad A_{total} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Inresistansen i förstärkaren blir stor eftersom inströmmen är nära noll enligt approximationen.

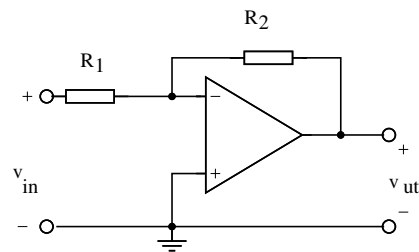
Transimpedansförstärkare med OP

Transimpedansförstärkare kopplas enligt figur 4. Med approximationen ovan blir utspänningen $v_{ut} = 0 - i_{in}R_2 = -i_{in}R_2$. Förstärkningen blir alltså $A = -R_2$ med sorten Ohm. Att den är negativ betyder att det är en inverterande förstärkare, d.v.s. när inströmmen ökar blir utspänningen negativ givet definitionsriktningarna i figuren.



Figur 4: Transimpedansförstärkare med OP

Inverterande spänningsförstärkaren
 Inverterande spänningsförstärkare kopplas enligt figur 5. Med approxima-



Figur 5: Transimpedansförstärkare med OP

tionen ovan blir utspänningen $v_{ut} = 0 - i_{in}R_2 = -i_{in}R_2$. Men i_{in} skapas från $\frac{v_{in}}{R_1}$ så $v_{ut} = -i_{in}R_2 = -\frac{R_2}{R_1}v_{in}$. Förstärkningen blir alltså $A = -\frac{R_2}{R_1}$.

Medan transimpedansförstärkaren har ideala egenskaper enligt tabellen så har den inverterande spänningsförstärkaren som bygger på den kopplingen inte det. Inresistansen är R_1 och om man vill göra den stor blir R_2 ännu större om förstärkningen skall vara stor. Här blir det alltså en kompromiss. Trots detta är det en vanlig koppling eftersom den 1) inverterar och 2) kan ha förstärkning mindre än 1.