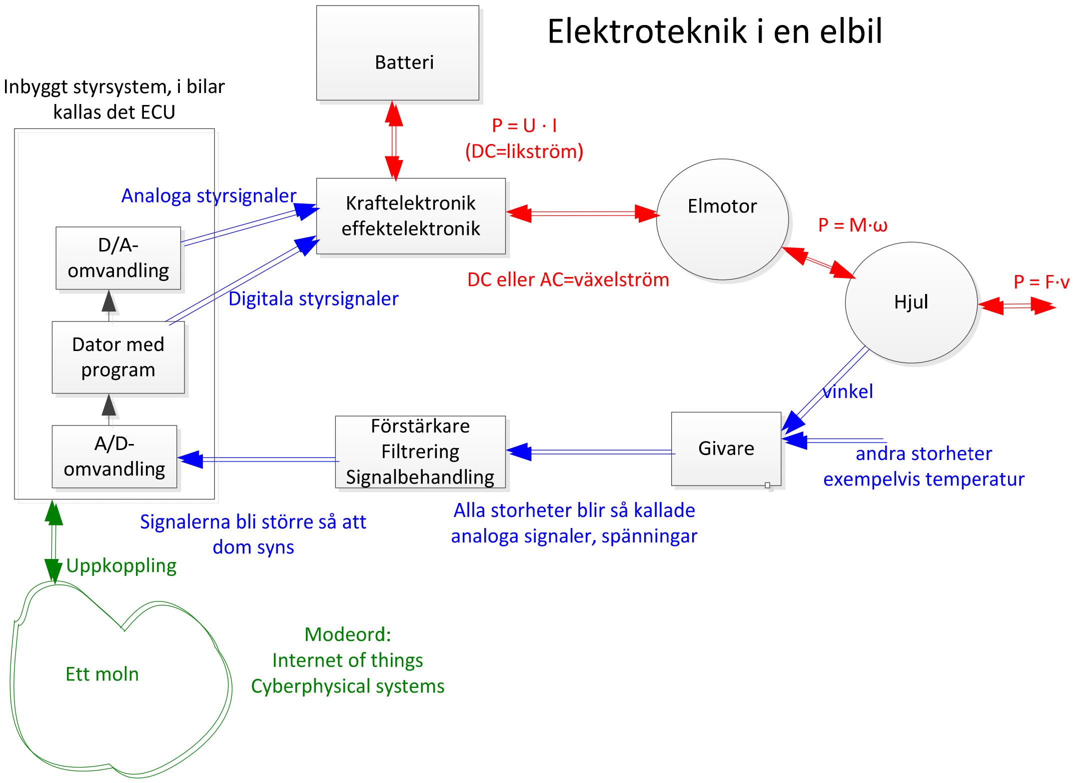
Signalbehandling, förstärkare och filter F9, MF1016

- Signalbehandling: Inledning med helhetsbild.
- Förstärkning
  - Varför förstärkning.
  - Modell för en förstärkare. Inresistans och utresistans
  - Modell för operationsförstärkaren
    (4.3 Operationsförstärkaren)
  - Uppgift U4:3 operationsförstärkaren som komparator (4.4 Förstärkare med OP-förstärkare)
    - Simulering av ovanstående
  - Icke inverterande koppling (4.5 Tre grundkopplingar med OP-förstärkare)
    - Simulering där förstärkaren ”klipper”. (4.6 Verklighetens OP-förstärkare_Det begränsade utstyrningsområdet)
  - Inverterande koppling.

- Filtrering (1.5 Några praktiska tillämpningar_Filter)
    - Lågpassfilter (Ruta 1.31)
    - Högpassfilter

  - Aktiva filter (förstärkare som även filtrerar, överkurs)
    - (4.7 Speciella OP-förstärkarkopplingar_Exempel på högpassfilterkoppling)
    - (4.7 Speciella OP-förstärkarkopplingar_Exempel på lågpassfilterkoppling)

- **Signalbehandling, inledning**
- **Helhetsbild**



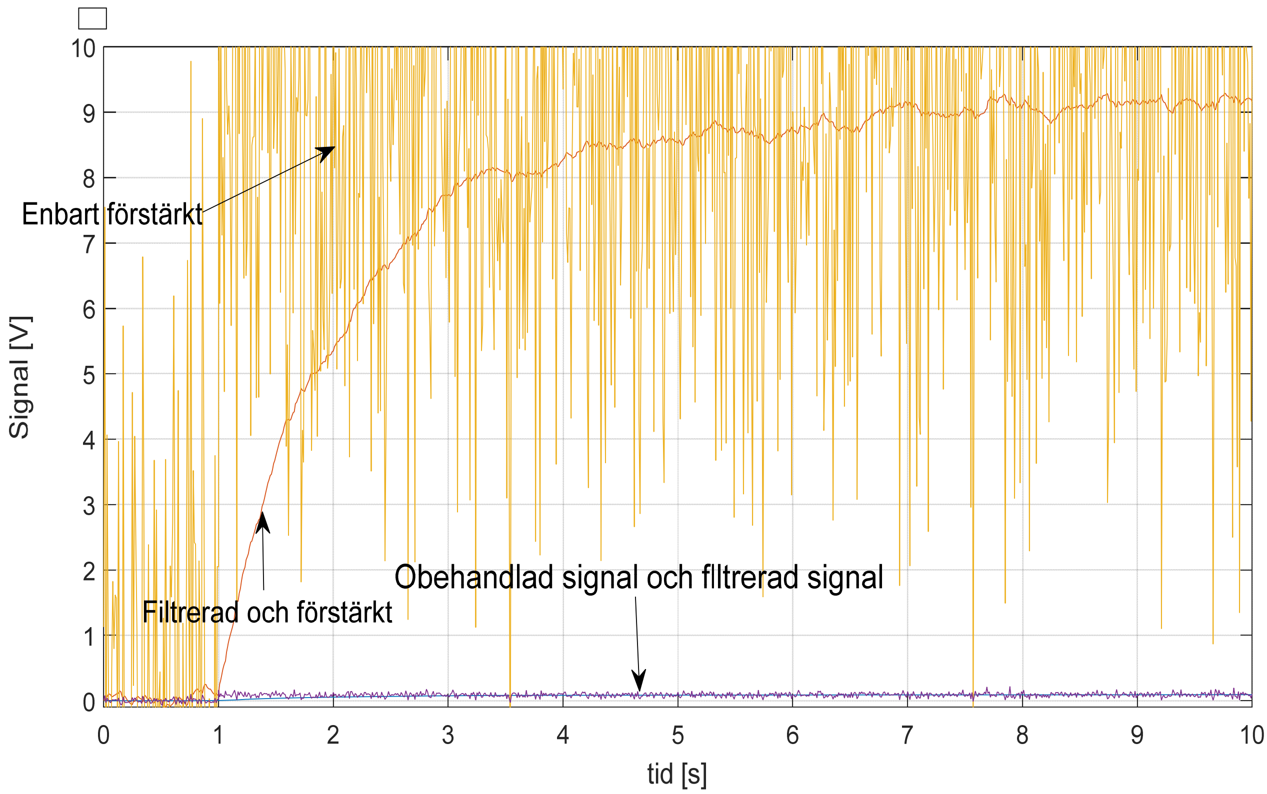
I helhetsbilden ska vi denna gång titta på nedre delen. För att kunna styra och reglera behöver vi mäta storheter till exempel bilens hastighet eller elmotorns och kraftelektroniken temperatur. Även strömmen till motorn och från batteriet behöver mätas. Olika givare omvandlar den storhet som skall mätas till en spänning. Dessa mätvärden är spänningar och kallas analoga signaler, som liknar den storhet de representerar. Ofta är dessa signaler små, låga spänningar och de måste förstärkas för att kunna mätas. Förstärkning är en typ av signalbehandling. Signalerna består av själva nyttosignalen som motsvarar den storhet som skall mätas men innehåller även störningar som ofta har högre frekvens än nyttosignalen, och därför filtreras de höga frekvenserna bort ”spärras” och de låga får passera. Detta kallas lågpassfiltrering och är en annan typ av signalbehandling.

Signaler används vi överföring av data. En mätsignal innehåller information om ett mätvärde Det vanligaste är att en storhet omvandlas till en spänning och att denna spänning omvandlas till ett tal i en dator eller i ett mätinstrument som har en dator inbyggd i sig. Mätinstrumentet är isåfall även ett inbyggt system. Spänningen kallas analog signal och talet i datorn kallas digital signal. Vid omvandlingen från spänning till tal används A/D-omvandlare. Analog betyder liknande och digital betyder siffra.

Under resans gång behövs oftast någon form av signalbehandling. Om signalen är för liten behöver den förstärkas, om signalen är för stor behöver den dämpas. Om signalen innehåller störningar och/eller brus behöver den filtreras så att endast den informationsbärande delen av signalen finns kvar. Om signalen har hög frekvens i förhållande till den sk "samplingsfrekvensen" behöver de höga frekvenserna filtreras bort, detta kallas antivikningsfiltrering.

Nedan visas en bild med 4 signaler.

1. Filtrerad och förstärkt (100ggr).
2. Enbart förstärkt (100 ggr).
3. 4. Obehandlad signal och filtrerad signal. (överlappar varandra)



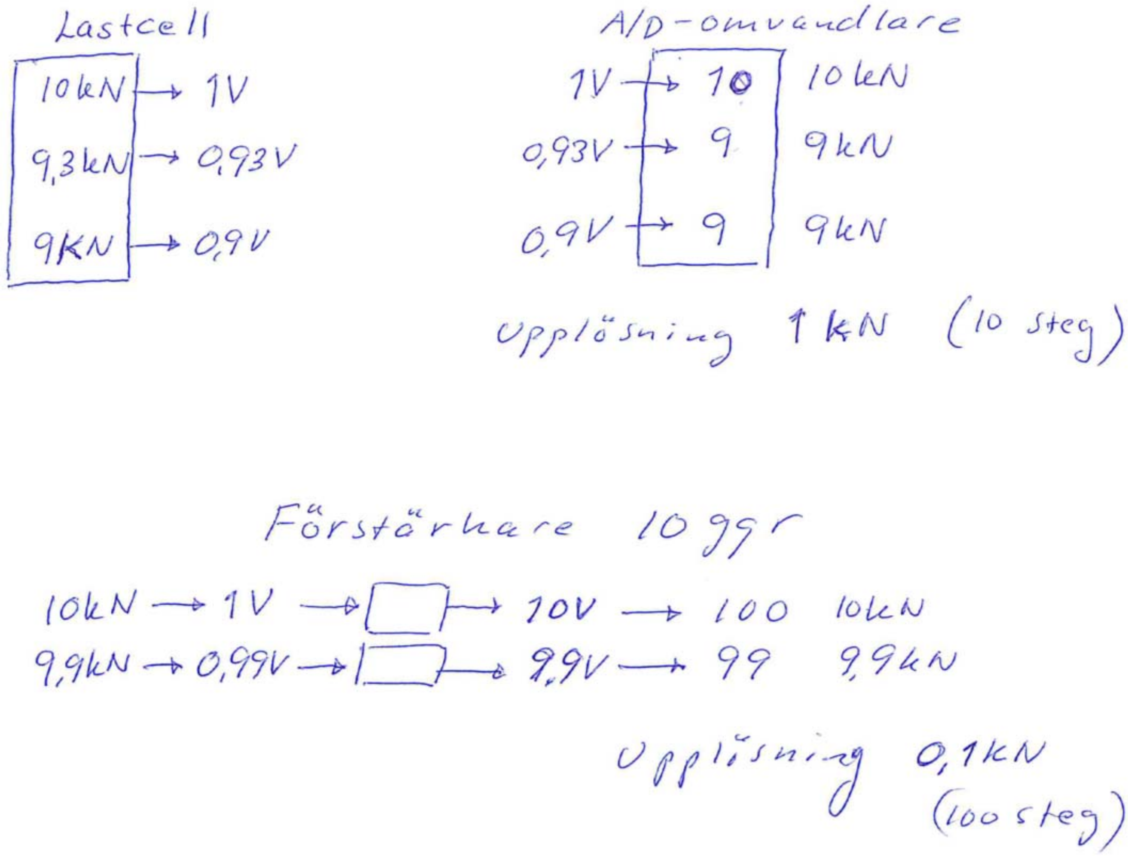
- Förstärkning
- Varför förstärkning?

Användningsområden för förstärkare
Spänningarna från givare eller sensorer är analoga signaler som oftast är små, för små att de med hög noggrannhet låter sig mätas eller omvandlas (Genom att förstärka det lilla föremålet med ett förstoringsglas kan dess konturer lättare urskiljas i den förstorade bilden). För att öka noggrannheten används förstärkare som förstärker en inspänning och producerar en förstärkt utspänning. Till exempel om en signal på 100 mV kopplas till ingången på en förstärkare med förstärkningen 50 ggr blir spänningen på förstärkarens utgång 5000 mV = 5 V.

Exempel:

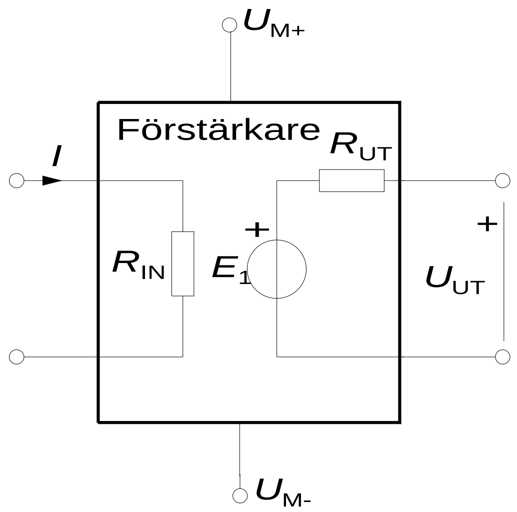
En lastcell (kraftgivare) mäter 0 till 10 kN och ger en spänning på 0 till 1V. Den analoga signalen (spänningen) omvandlas till ett tal i en dator (digital signal). Omvandlaren kallas A/D omvandlare (analog till digital movandlare). Omvandlaren omvandlar 0 – 10V till heltalen 0 -100. (siffrorna är påhittade för att förenkla).

http://sensotest.se/pages/kraftgivare_lastceller.php



Upplösningen är den minsta ändring i temperatur som behövs för att säkert kunna mätas (ge en ändring av talet).

o Modell för en förstärkare. Inresistans och utresistans



Figur 4.3 (lite modifierad) *En förstärkares ekvivalenta schema. Schemat gäller för småsignalförstärkare vid låga frekvenser.*

För att en förstärkare skall fungera behövs matningsspänningarna U_{M+} och U_{M-}. Dessa kan till exempel vara +12V resp -12V. Dessa begränsar även utspänningen i tomgång E så att den ligger mellan U_{M+} och U_{M-}. Förstärkaren har tre parametrar, signalförstärkningen FS, inresistansen RIN samt utresistansen RUT. Ofta talas om inimpedans och utimpedans istället för inresistans och utresistans. Till exempel kan inimpedansen i vissa fall ses som en resistans i parallell med en kapacitans, och då är begreppet impedans mer relevant än resistans.

E = FS * UIN dock begränsad som sagt

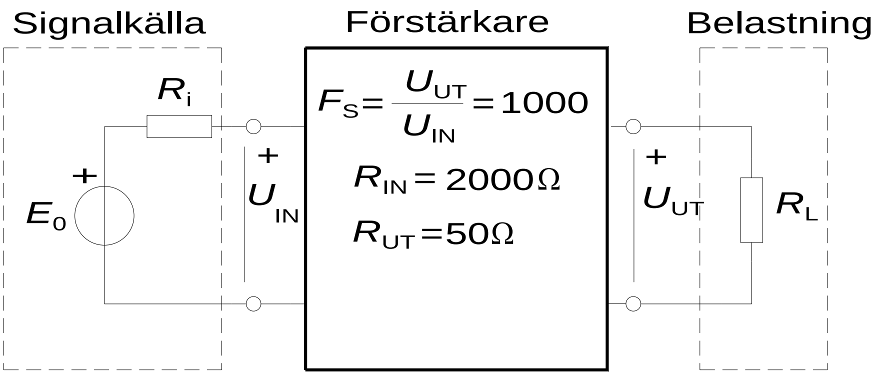
Exempel. Inresistans och utresistans.

Givaren har en utgång och en utresistans.

Förtärkaren har en inresistans och en utresistans.

Omvandlaren har en inresistans.

(I en ideal värld är alla utresistanser noll och alla inresistanser oändliga).



Figur 4.4 *Ekvivalent schema för en förstärkare med signalkälla och belastning. Detta schema gäller bara vid låga frekvenser.*

Nedan visas givare och förstärkare från laborationen FIL.

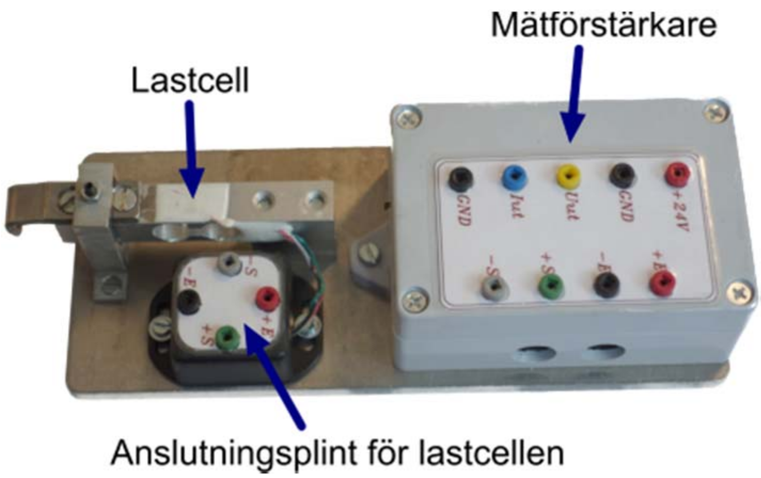
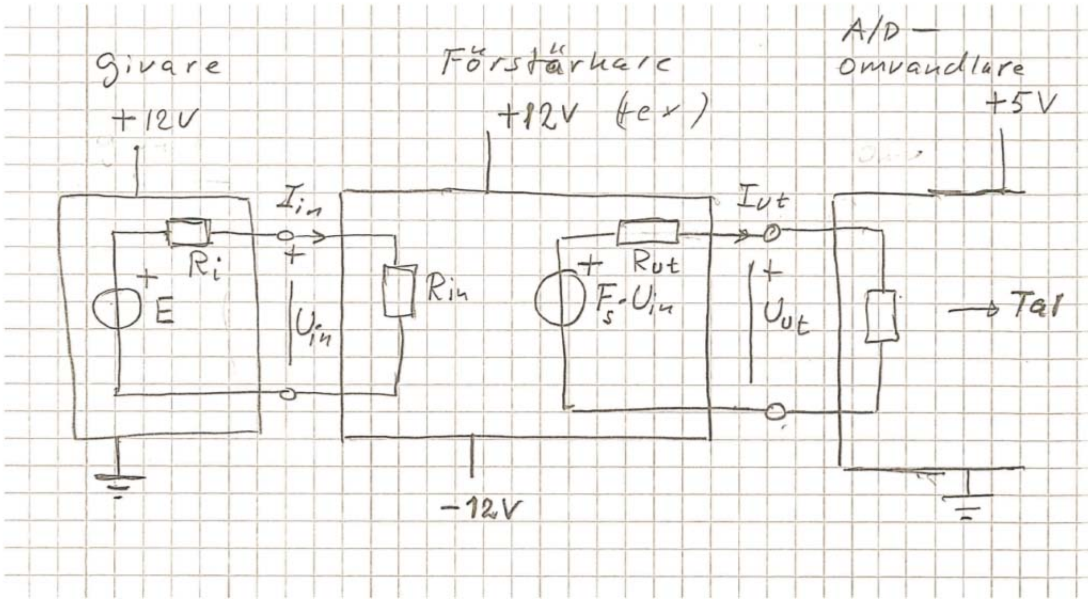


Fig. 7 Lastcellsplatta



Om temperaturen är 100 ^{0}C blir givarens E = 1 V. Om i vårt fall givaren har inre resistansen 200Ω blir:

Ingångskretsen

$$I = \frac{1V}{200\Omega + 2000\Omega} = 0{,}4545\text{mA}$$

$$U_{IN} = 2000\Omega \cdot 0{,}4545mA = \frac{1V}{200\Omega + 2000\Omega} = 0{,}9091V$$

Utgångskretsen men vi hade ju 10 ggrs förstärkning. Vi antar att belastingen, i vårt fall omvandlaren har resistansen 100kΩ

E = 10 * 0,9091V = 9.091 V

$$I_{ut} = \frac{9{,}091V}{50\Omega + 100000\Omega} = 90{,}864\mu\text{A}$$

$$U_{UT} = R_L I_{ut} = 100000\Omega \cdot 90{,}864\mu A = 9{,}0864V$$

Ger talet 90 efter omvandling och vi ”tror” att det är 90^{0}C istället för 100^{0}C.

OBS! Vi borde förstärka 5 ggr istället då omvandlaren har området 0-5V.

I en ideal värld är alla inresistanser oändliga och alla utresistanser 0.

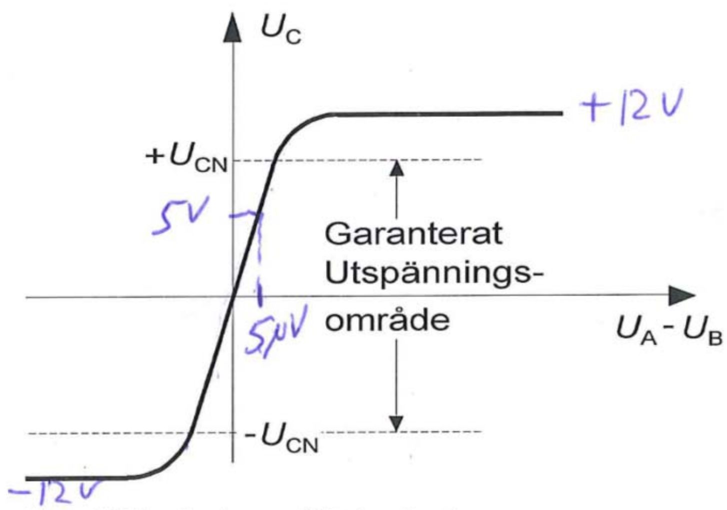
En förstärkare kan i enklaste fallet byggas upp av en komponent som kallas operationsförstärkaren eller förkortat OP-förstärkaren och ett par motstånd. Hur man kan bygga upp en förstärkare baserat på denna komponent kommer vi till nu.

o Modell för operationsförstärkaren (4.3 Operationsförstärkaren)

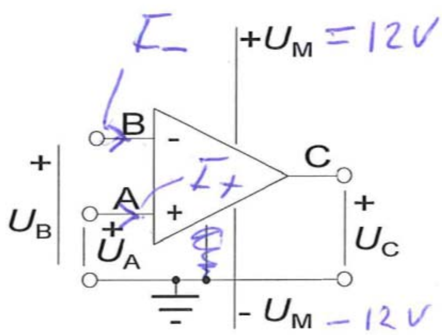
Det stora flertalet OP-förstärkare kräver två matningsspänningar oftast en positiv och en lika stor negativ. (I **Error! Reference source not found.** nedan betecknade med U_{M+} respektive U_{M-}). Vanligen ritar man inte ut de ledare som tillför matningsspänningarna.

När man studerar OP-förstärkartillämpningar har man stor nytta av att betrakta OP-förstärkaren som ideal. En *ideal* OP-förstärkare uppfyller helt ett antal krav som innebär att nedanstående samband gäller

I linjära området ger till exempel 5µV på ingången 5V på utgången. Kvoten kallas råförstärkningen och är i exemplet 1 miljon ggr. Det är detta som approximeras med oänligheten i den ideala modellen.



Figur 4.8 *Utspänningsområdets begränsning*



Figur 4.7 *Operatiopnsförstärkarens schemasymbol kompletterad med anslutningar för matnings-spänningar och jord.*

Ideal modell inimpedansen är oändlig $R_{IN} = \infty$ vilket medför att strömmarna på ingångarna $I_+ = I_- = 0$, se fig.

$U_C = F \cdot (U_A - U_B)$ ekvation 4.7

$F = \infty$

F kallas råförstärkningen

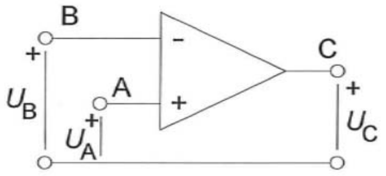
Finns i en Ruta på sid 4:10.

- Uppgift U4:3 operationsförstärkaren som komparator (4.4 Förstärkare med OP-förstärkare)

U4:3 En OP-förstärkare har matningsspänningen $U_M = \pm 15$ V och $U_{CN} = \pm 10$ V samt $F_0 > 10^5$. Hur stor blir U_C för de inspänningskombinationer U_A, U_B, som anges i tabellen nedan? Svara genom att fylla i tabellen.

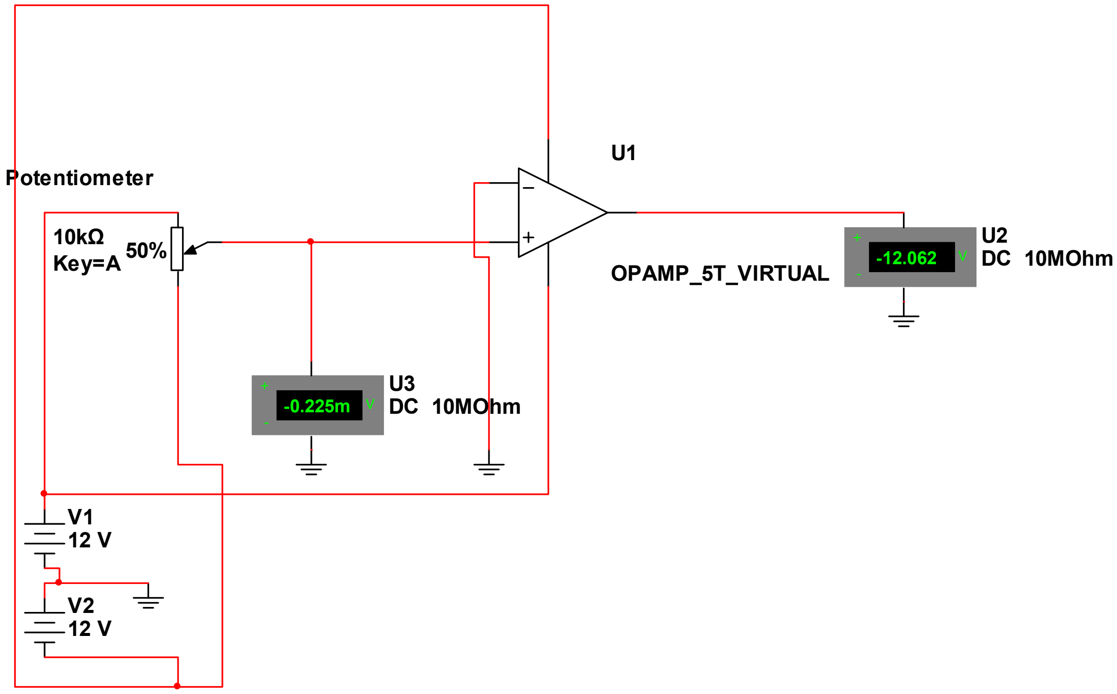
$U_A - U_B$	U_A	U_B	U_C	
−0,3V	-0,2 V	+0,1 V	− ~~30kV~~ −15V	−10V
+0,3V	+0,1 V	-0,2 V	+15V	+10V
+1V	+5 V	+4 V	+15V	+10

a typ



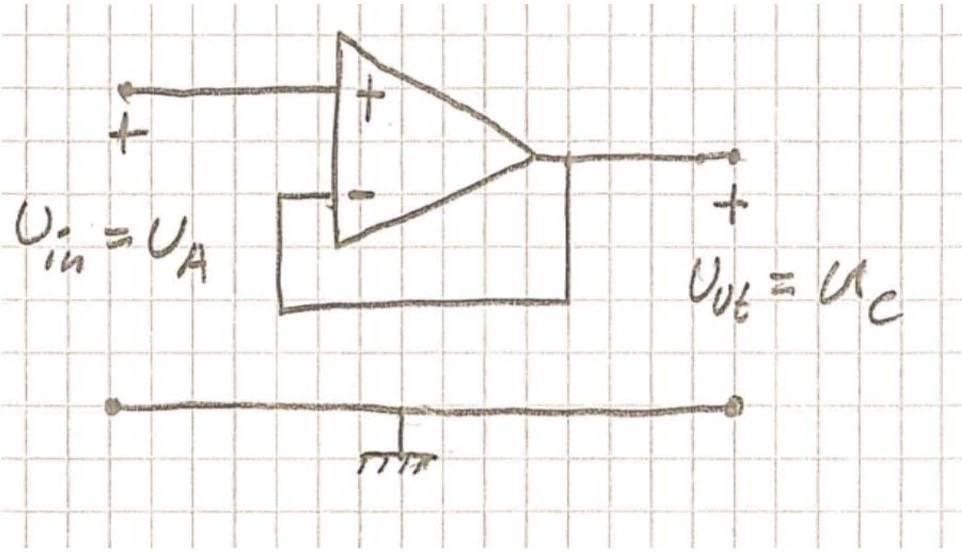
  - Simulering av ovanstående

Kallas komparatorkoppling. De två inspänningarna jämförs och utspänningen lägger sig i ena eller andra "ändläget" beroende på vilken som är störst.


U1
Potentiometer
10kΩ
Key=A
50%
OPAMP_5T_VIRTUAL
-12.062
U2
DC 10MOhm
-0.225m
U3
DC 10MOhm
V1
12 V
V2
12 V

- ### Icke inverterande koppling (4.5 Tre grundkopplingar med OP-förstärkare)

Oftast vill vi inte ha oändlig förstärkning. Negativ återkoppling minskar förstärkningen till önskat värde. Vi studerar först alternativet att återkoppla hela utspänningen till negativa ingången enligt figuren nedan. Inspänningen är $U_A = U_{in}$ och utspänningen är $U_C = U_{ut}$



Ett specialfallet kallas även är spänningsföljaren ovan (även Figur 4.32 Följaren i boken)

$$U_C = F \cdot (U_A - U_B) \qquad \textbf{Ekvation 4.7}$$

Negativ återkoppling från utsignalen C till negativa ingången B ger

$$U_C = F \cdot (U_A - U_C)$$

Substituera $U_A = U_{in}$ och $U_C = U_{ut}$ och lös ut U_{ut} .

$$U_{ut} = F \cdot (U_{in} - U_{ut})$$
$$U_{ut} = \frac{F}{1+F} \cdot U_{in} = \frac{1}{1/F+1} \cdot U_{in}$$

Utsignal är signalförstärkningen F_S ggr insignalen och i detta fall blir

$$F_S = \frac{1}{1/F+1} \approx 1$$

Vid oändligt råförstäkning F blir signalförstärkningen ett.

Det finns ett enklare sätt att beräkna gränsvärdet och signalförstärkningen då F blir oändligt.

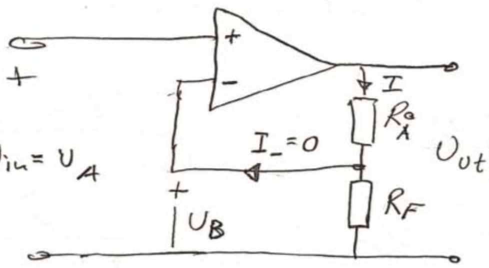
$$U_C = F \cdot (U_A - U_B)$$

Om F går mot oändligheten och UC är begränsad, tex 3V måste parantesen gå mot noll i samma grad som F går mot oändligheten dvs $U_A = U_B$. Det betyder att spänningen mellan A och B ingångarna är noll.

Hela utsignalen återkopplas ger förstärkning ett som vi såg ovan. Om en mindre andel återkopplas blir förstärningen högre (ingen återkoppling gav ju oändligheten). Detta kan åstadkommes med en spänningsdelare, två motstånd.

Icke inverterande koppling.

Icke inverterande koppling



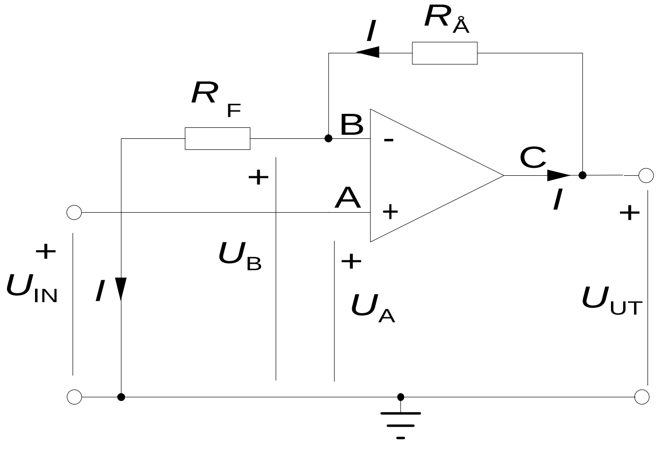
$$U_A = U_B = U_{in}$$

$$U_B = \underbrace{\frac{U_{ut}}{R_{\text{Å}} + R_F}}_{I} \cdot R_F = U_{ut} \cdot \underbrace{\frac{R_F}{R_{\text{Å}} + R_F}}_{\text{spänningsdelning}}$$

$$U_{in} = U_{ut} \frac{R_F}{R_{\text{Å}} + R_F}$$

$$\Rightarrow U_{ut} = \frac{R_{\text{Å}} + R_F}{R_F} U_{in} = \underbrace{\left(1 + \frac{R_{\text{Å}}}{R_F}\right)}_{F_S \quad \text{signalförstärkningen}} U_{in}$$

$F_S = 1 + \frac{R\text{Å}}{RF}$ **Ekvation 4.11**



Figur 4.11 *Icke-inverterande koppling*

Om man kan använda modellen behöver man inte formler för alla olika kopplingar. De är då enkla att härleda. Använd då

$U_A = U_B$ eller $\Delta U = U_A - U_B = 0$

$I_+ = I_- = 0$ ty $R_{in} = \infty$. Mer behövs inte. Jo förresten, en rimlighetskontroll som är enkel att göra.

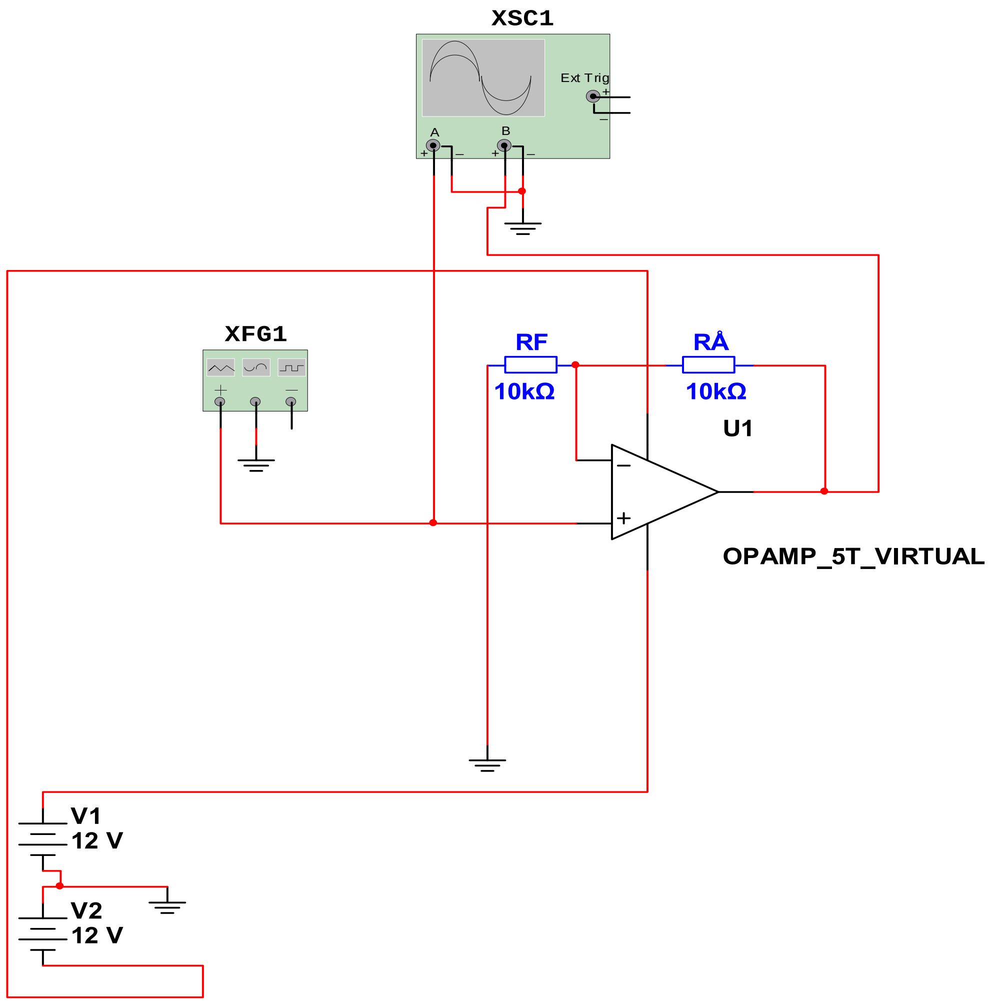
Om U_C ligger utanför $\pm U_{CN}$ tex $\pm 12V$ (eller matningsspänningen) arbetar förstärkaren utanför sitt linjära område och då blir $U_C = 12V$ eller $U_C = -12V$. Däremot blir inte $\Delta U = U_A - U_B = 0$ utan kan beräknas ur $U_C = 12V$ eller $-12V$ (12V är naturligtvis exempel).

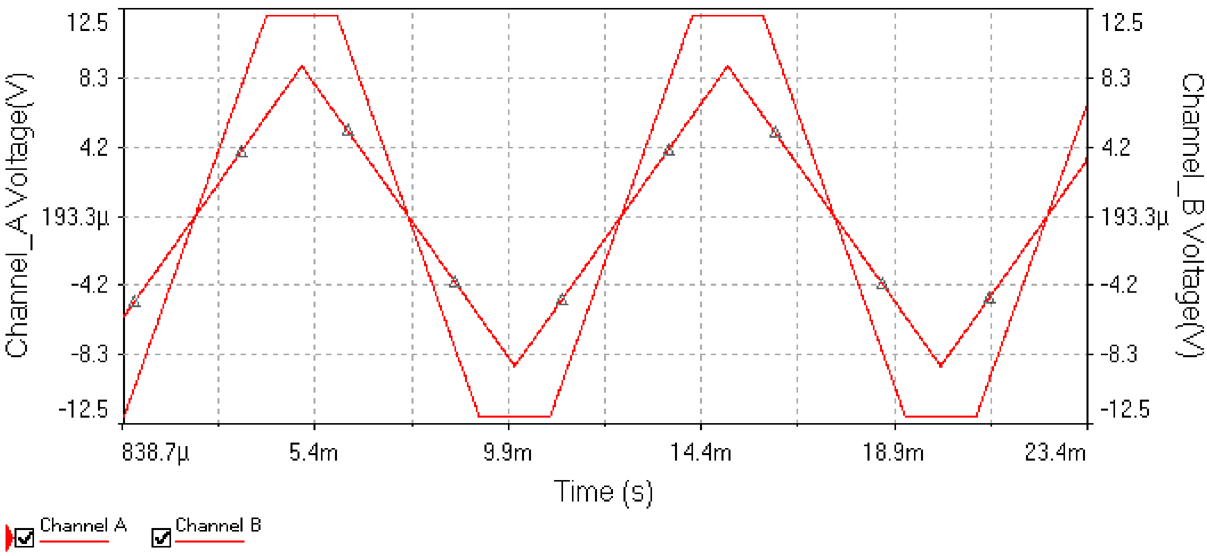
Lite svårare att begripa är att det även finns en ström som ej kan överskridas I_C inom $\pm I_{CN}$.

Om den linjära beräkningen ger $I_C = 1{,}5 I_{CN}$, så skall denna beräkning förkastas och $I_C = I_{CN}$ skall användas. Även här ligger vi utanför det linjära området och $\Delta U = U_A - U_B \neq 0$.

- Simulering där förstärkaren ”klipper”. (4.6 Verklighetens OP-förstärkare_Det begränsade utstyrningsområdet)

Då förstärkaren går utanför sitt linjära område och ”slår i taket” kallas det även att förstärkaren klipper.

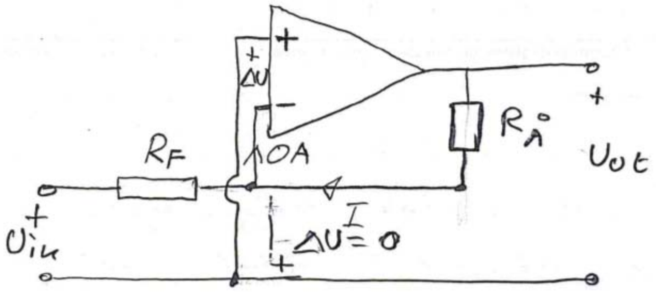




I exemplet ovan är RF = RÅ = 10k och därför är signalförstärkningen 2. Den mindre triangelvågen ovan är inspänningen och den större är utspänningen som ofta är 2 ggr större än inspänningen. Utspännigen är dock begränsad till +12V resp -12V. Därför klipper förstärkaren då insignalen är större än 6V respektive mindre än -6V. Utsignalen är distorderad, det vill säga dess kurvform är förvrängd.

Inverterande koppling.

(detta behöver vi ej veta
sätt bara $\Delta U = 0$)



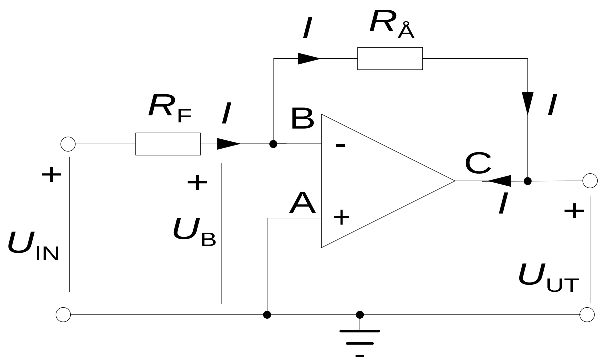
① $U_{ut} - R_Å I + \overbrace{\Delta U}^{=0} = 0 \quad \Rightarrow \quad I = \frac{U_{ut}}{R_Å}$

② $U_{in} + R_F I + \overbrace{\Delta U}^{=0} = 0$

① & ② $U_{in} - R_F \frac{U_{ut}}{R_Å} = 0$

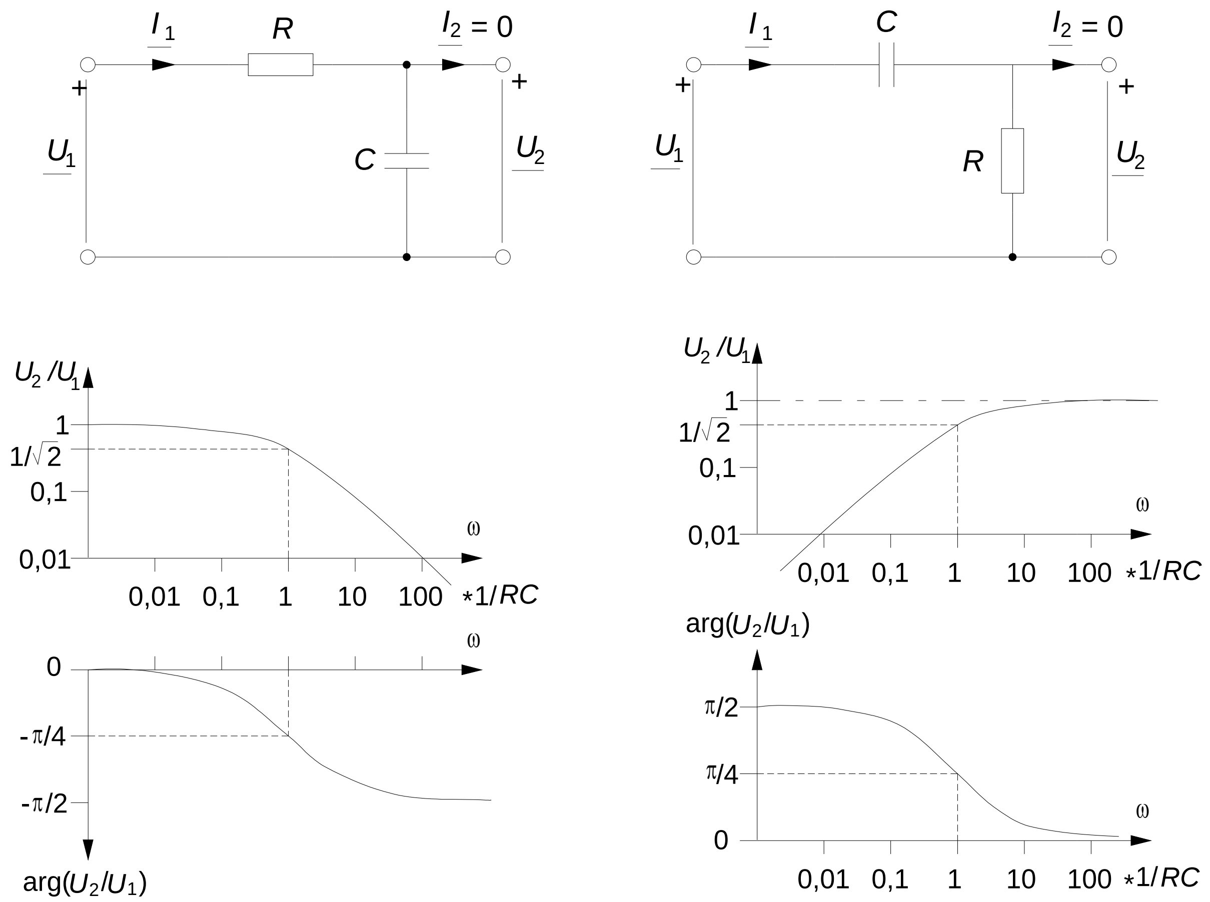
$$\Rightarrow U_{ut} = \underbrace{-\frac{R_Å}{R_F}}_{\text{signalförstärkningen } F_s} \cdot U_{in}$$

$$F_S = -\frac{R\text{Å}}{RF}$$ **Ekvation 4.16**



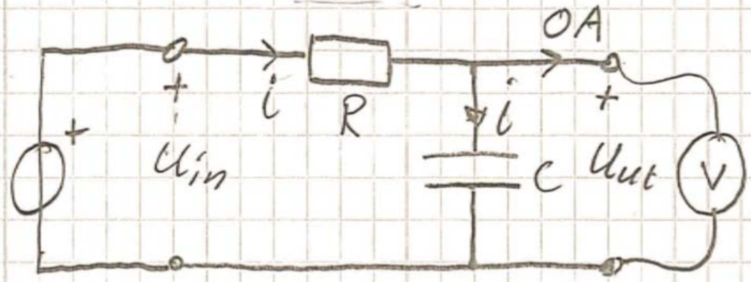
Figur 4.13 *Inverterande koppling*

- Filtrering (1.5 Några praktiska tillämpningar_Filter)
    - Lågpasssfilter (Ruta 1.31)
    - Högpassfilter



Beräkningar följer.

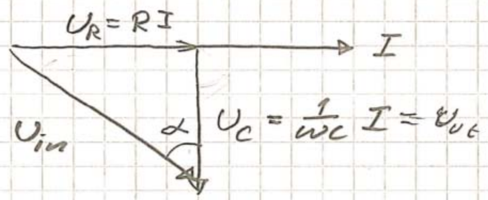
U_R = höga frekv



Tar tid att ladda upp C
⇒ låga frekv

Beräkna $U_{ut} = \underbrace{F_s}_{\text{filterfunktion}} \cdot U_{in}$

Visardiagram:



$$\begin{cases} U_{in}^2 = (RI)^2 + \left(\frac{1}{\omega C} I\right)^2 \\ I = \omega C \, U_{ut} \end{cases}$$

$$U_{in}^2 = \left((\omega RC)^2 + 1^2\right) U_{ut}^2$$

$$U_{ut} = \underbrace{\frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}}_{F_s} U_{in} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} U_{in}$$

$RC = \tau = 1/\omega_0$ $\qquad \omega_0$ = gränsvinkelfrekvens

	F_s
$\omega << \omega_0$	1
$\omega = \omega_0$	$1/\sqrt{2}$
$\omega >> \omega_0$	ω_0/ω

Insignalen ligger före utsignalen

$\alpha = \operatorname{atan}(U_R/U_c) = \operatorname{atan}(\omega RC) = \operatorname{atan}(\omega/\omega_0)$

	α
$\omega << \omega_0$	0
$\omega = \omega_0$	45°
$\omega >> \omega_0$	90°

Högpasslänk eller högpassfilter

Nu är det spänningen över motståndet som är utsignal, ”samma” beräkningar igen nedan. Fasvinkel är enkel, syns i visardiagrammet att den är $90^0 - \alpha$ (motstående vinkel)

$U_R = U_{ut}$

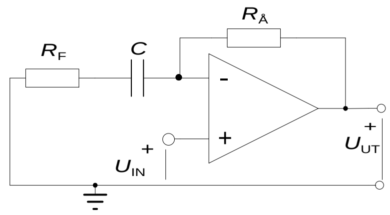
$$\begin{cases} U_{in} = (RI)^2 + \left(\frac{1}{\omega C} I\right)^2 \\ I = U_{ut}/R \end{cases}$$

$U_{in} = U_{ut}^2 + \left(\frac{U_{ut}}{\omega RC}\right)^2$

$$U_{ut} = \underbrace{\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}}}_{F_s} U_{in}$$

$$F_s = \frac{\omega/\omega_0}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_0)^2}}$$

	F_s	Fasvinkel $90^\circ - \alpha$
$\omega << \omega_0$	ω/ω_0	90°
$\omega = \omega_0$	$1/\sqrt{2}$	45°
$\omega >> \omega_0$	1	0°

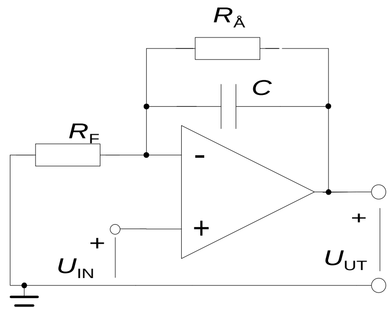


Figur 4.22 *Högpassfilterkoppling*

$$\omega = \omega_0 \Rightarrow 90^\circ - 45^\circ = 45^\circ$$

$$\omega >> \omega_0 \Rightarrow 90^\circ - 90^\circ = 0$$

$$\omega << \omega_0 \Rightarrow 90^\circ - 0 = 90^\circ$$



Figur 4.24 *Lågpassfilterkoppling*

180409/HJ