Tilbakekopling - *Feedback* – Kap. 23 Paynter

Feedback brukes til :

1. Linearisering
2. Stabilisering
3. Regulering og kontroll

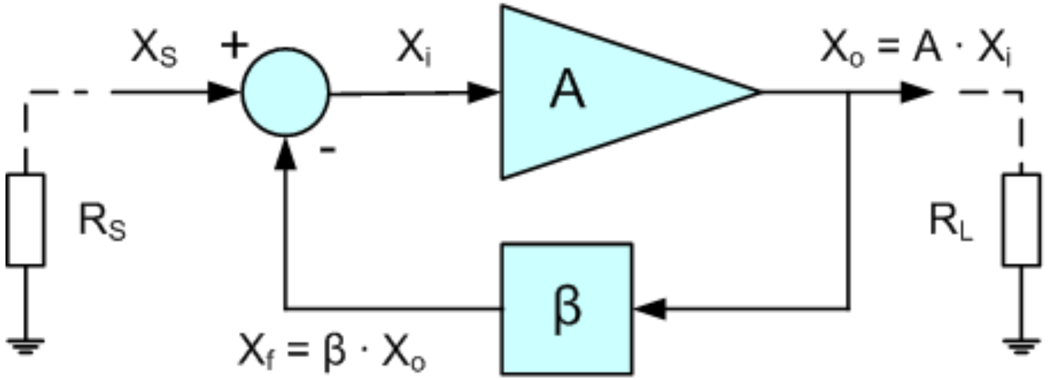
Tilbakekopling finnes i de fleste systemer :

Tekniske systemer - eksempler

Biologiske systemer - eksempler

Økologiske systemer - eksempler

Økonomiske systemer - eksempler



Negativ feedback

Uten feedback :

$X_i = X_S$

$X_O = A \cdot X_i$

β er uavhengig av R_S og R_L

$$x_i = x_s - \beta \cdot x_o$$

$$x_o = A \cdot (x_s - \beta \cdot x_o)$$

$$x_o = \frac{A \cdot x_s}{1 + A \cdot \beta}$$

$$\boxed{\frac{x_o}{x_s} = A_f = \frac{A}{1 + A \cdot \beta}}$$

Positiv feedback

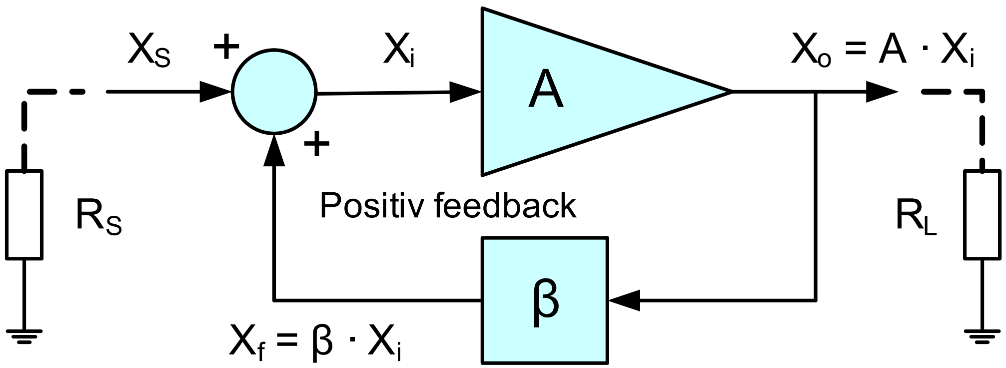
$|A_f| > |A|$

Negativ feedback

$|A_f| < |A|$

Tilbakekopling - *Feedback* – Kap. 23 Paynter

Positiv tilbakekopling



$$\boxed{\frac{x_o}{x_s} = A_f = \frac{A}{1 - A \cdot \beta}}$$

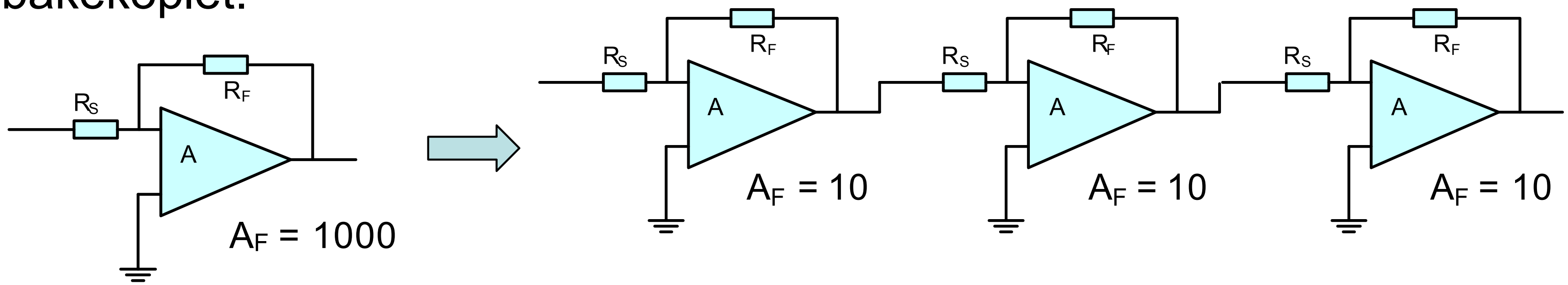
$$Når\ A \cdot \beta \rightarrow 1\ vil\ A_f \rightarrow \infty$$

Positiv tilbakekopling gir en ustabil krets. Brukes i signalgeneratorer/oscillatorer

Negativ tilbakekopling

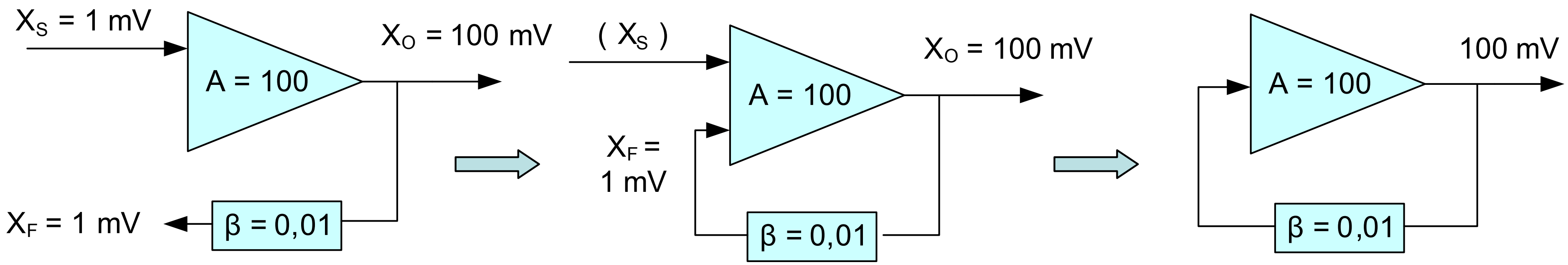
Negativ tilbakekopling lineariserer systemet. Vi taper forsterkning – men vi får økt stabilitet.

I praksis betyr dette : Ønsker vi en krets med stor forsterkning er det viktig å seriekople flere forsterkere – hvor hver av forsterkerne er kraftig tilbakekoplet.



Tilbakekopling - *Feedback* – Oscillator - Kap. 23 Paynter

Oscillator - sløyfeforsterkningen (Loop Gain) $F = A \cdot \beta = 1$



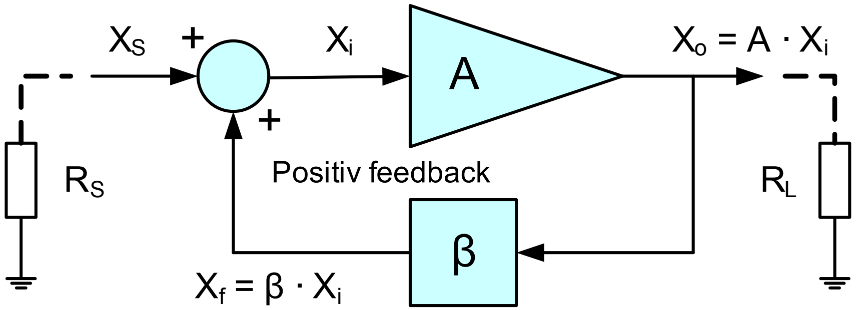
Hvis signalet som koples tilbake på inngangen (X_F) er identisk med det opprinnelige signalet X_S – vil signalet ut fra kretsen (X_O) opprettholdes – selv om vi fjerner X_S. For et sinusformet signal må amplitude, fase og frekvens til X_S og X_F være identiske. Dvs. Loop Gain faseskift = 0 ($n \cdot 2\pi$)

BARKHAUSEN kriteriet for oscillasjon : (Loop Gain) $F = A \cdot \beta = 1$

Hvis $| A \cdot \beta | < 1$ vil oscillasjonene dø ut –

Hvis $| A \cdot \beta | > 1$ vil signalet øke – og forsterkeren går i metning (saturation)

Tilbakekopling - *Feedback* – Oscillator - Kap. 23 Paynter

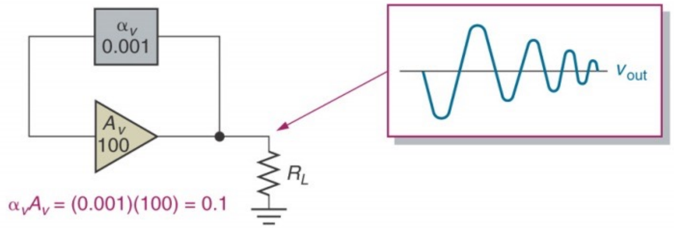


$$\boxed{\frac{x_o}{x_s} = A_f = \frac{A}{1 - A \cdot \beta}}$$

$$Når\ A \cdot \beta \rightarrow 1\ vil\ \ A_f \rightarrow \infty$$

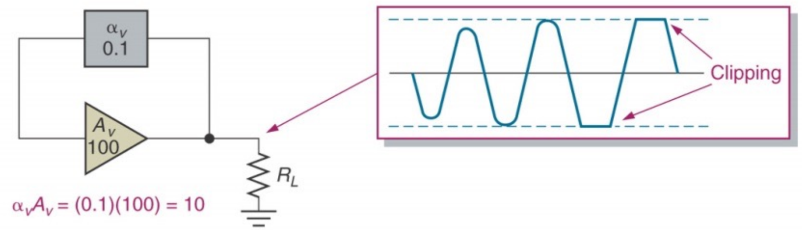
Barkhausenkriteriet :

Hvis loop-gain < 1 vil oscillasjonene dø ut etter noen få perioder



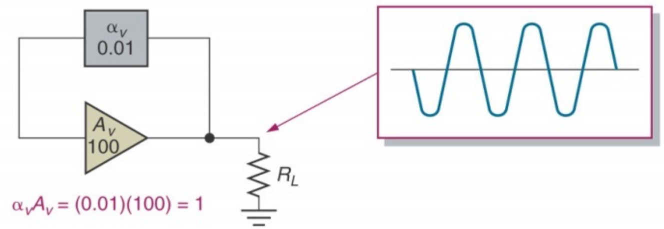
(a) The output fades out when $\alpha_v A_v < 1$.

Hvis loop-gain > 1 vil oscillasjonene øke inntil



(b) The output is driven into clipping when $\alpha_v A_v > 1$.

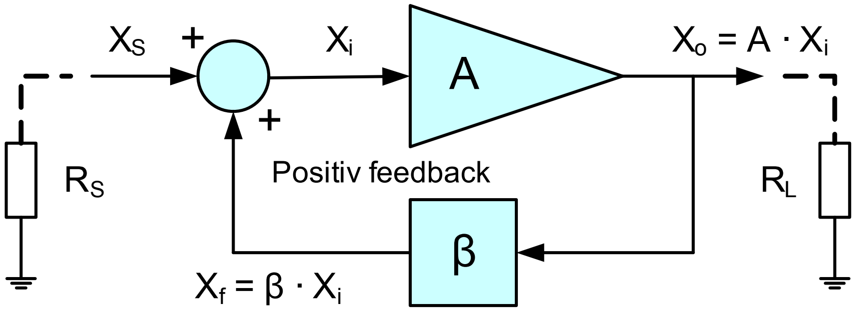
Hvis loop-gain = 1 vil Oscillasjonene holde konstant amplitude.



(c) A constant-amplitude output is produced when $\alpha_v A_v = 1$.

End

Tilbakekopling - *Feedback* – Oscillator - Kap. 23 Paynter

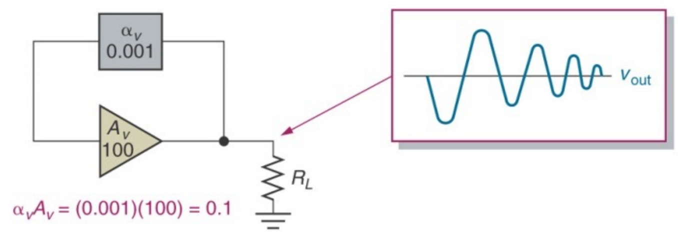


$$\boxed{\frac{x_o}{x_s} = A_f = \frac{A}{1 - A \cdot \beta}}$$

$$Når\ A \cdot \beta \rightarrow 1\ vil\ \ A_f \rightarrow \infty$$

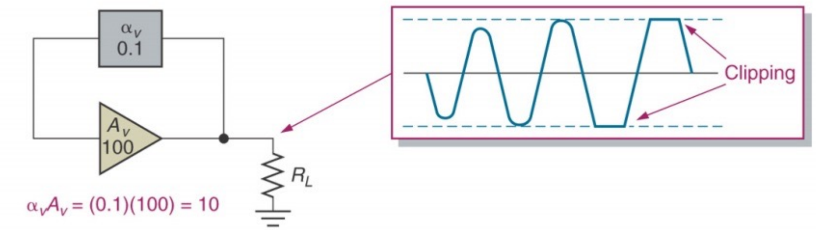
Barkhausenkriteriet :

Hvis loop-gain < 1 vil oscillasjonene dø ut etter noen få perioder



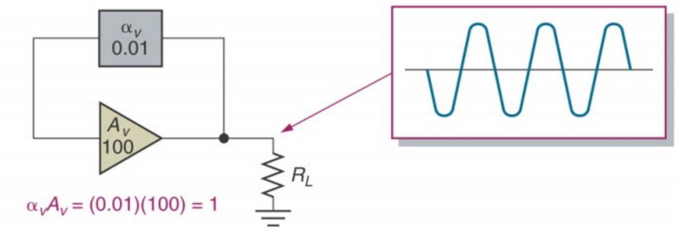
(a) The output fades out when $\alpha_v A_v < 1$.

Hvis loop-gain > 1 vil oscillasjonene øke inntil



(b) The output is driven into clipping when $\alpha_v A_v > 1$.

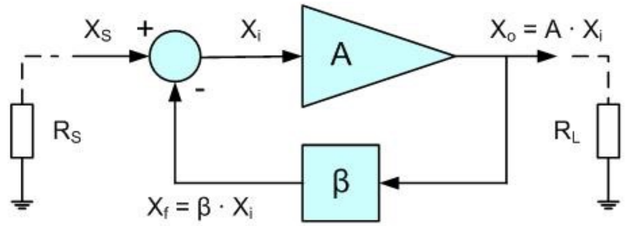
Hvis loop-gain = 1 vil Oscillasjonene holde konstant amplitude.



(c) A constant-amplitude output is produced when $\alpha_v A_v = 1$.

End

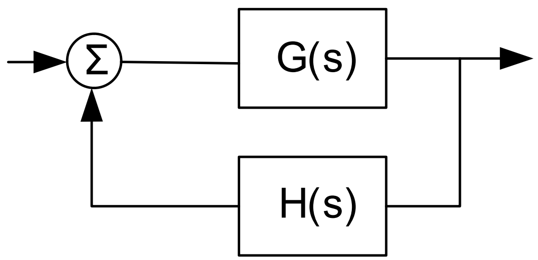
Tilbakekopling – *Feedback* – *Nyquist*



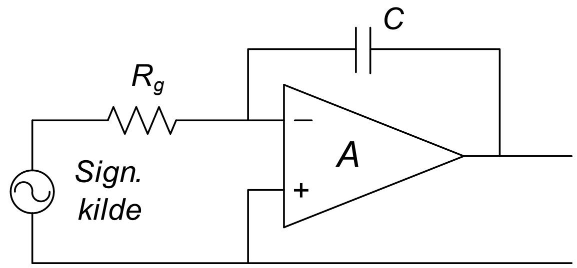
Forsterkere med negativ tilbakekopling

– Kretsen som gir tilbakekopling (β) må ikke fasedreie signalet så mye at noen frekvenskomponenter får positiv feedback.
Hvis noen frekvenser får positiv feedback er det viktig at disse har et Loop Gain | A·β | < 1 Dvs. de oppfyller ikke kravet til Barkhausen

Skal vi undersøke om en forsterker er stabil kan vi tegne opp den komplekse vektoren A·β som funksjon av frekvensen i det komplekse planet. En slik kurve kalles et Nyquist-diagram – etter Harry Nyquist..
Nyquist : Vi kan bestemme stabiliteten til den lukkede sløyfa (Closed loop) ved å analysere frekvensresponsen til den åpne sløyfa (Open loop)
Dette beskrives senere i kurs som FYS-3220 Lineær kretsteori eller kurs i signalbehandling



Tilbakekopling – *frekvensrespons* - *Miller-effekt* (John H. Miller - 1919)

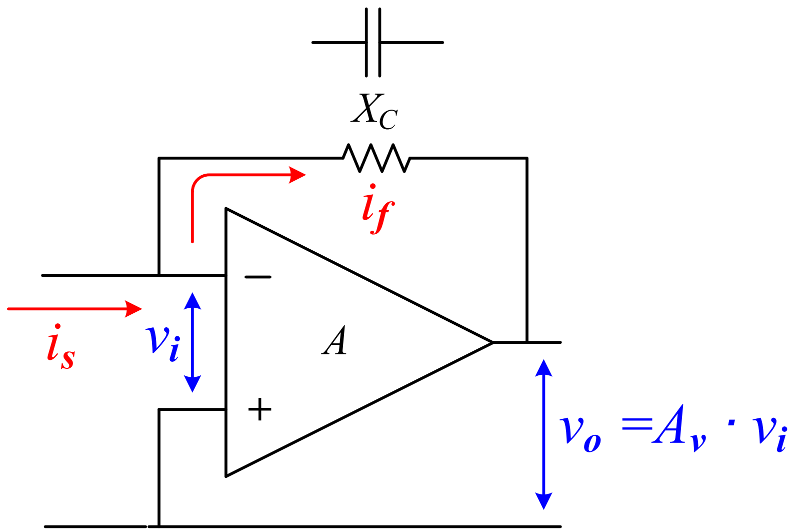


Hva skjer når vi setter en kondensator C mellom inngang og utgang på en inverterende forsterker?
Vi skal se at denne kondensatoren vil opptre som en vesentlig større kondensator koplet over inngangen. Fenomenet har fått navnet Miller-effekt. Signalet ser inn mot en impedans (reaktans) Spørsmålet blir hvordan $\boldsymbol{Z_{INN}}$ kan uttrykkes ved C og A.

$$Z_{INN} = \frac{v_i}{i_s}$$

Markerer kondensatoren C med reaktansen :

$$X_C = \frac{1}{j\omega C} = \left(\frac{1}{2\pi f C}\right)$$



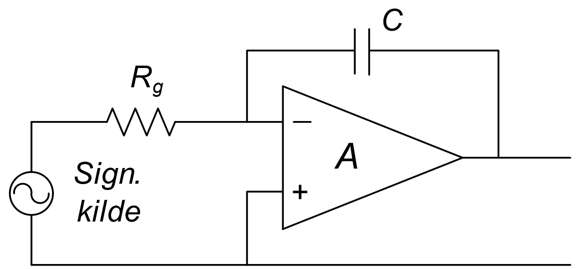
Forsterkeren betraktes som ideell, - dvs. meget stor inngangsmotstand - ingen strøm inn til forsterkeren.

Det betyr at hele strømmen $\boldsymbol{i_s}$ må gå gjennom $\boldsymbol{Z_C}$.

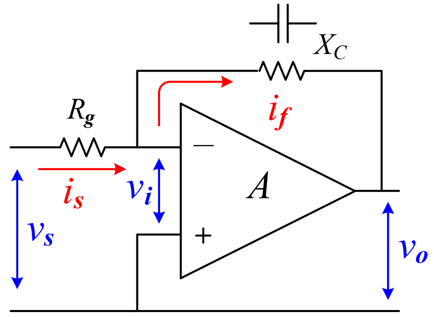
Signalstrømmen $\boldsymbol{i_s}$ kan uttrykkes ved $\boldsymbol{X_c}$, $\boldsymbol{v_i}$ og $\boldsymbol{v_o}$

Tilbakekopling – *frekvensrespons* - *Miller-effekt*

Forsterkeren betraktes som ideell, - dvs. meget stor inngangsmotstand - ingen strøm inn til forsterkeren. Det betyr at hele strømmen i_s må gå gjennom X_C.

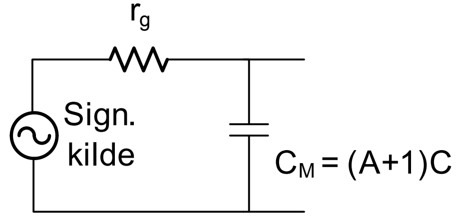


Signalstrømmen i_s kan uttrykkes ved X_C , v_i og v_o



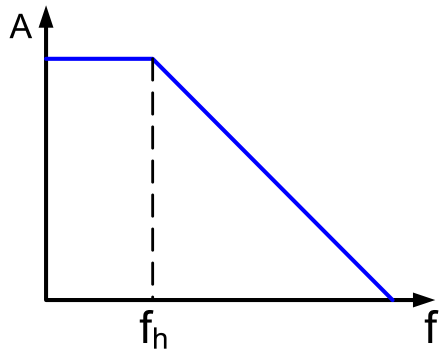
$$Vi\ \ ser\ \ at\ \ i_s = \frac{v_i - v_o}{X_C}\ \ og\ \ v_o = -A\cdot v_i \rightarrow Z_{inn} = \frac{v_i}{i_s} = \frac{v_i \cdot X_C}{v_i - v_o}$$

$$Z_{INN} = \frac{v_i \cdot X_C}{v_i + A\cdot v_i} = \frac{X_C}{1+A} = \frac{1}{j\omega\, C(1+A)}$$



Det betyr at signalet opplever en kondensator som er (1+A) ganger større enn den fysiske kondensatoren som ligger mellom utgang og inngang – Millerkapasiteten $\boldsymbol{C_M = C\,(1+A)}$ **.**

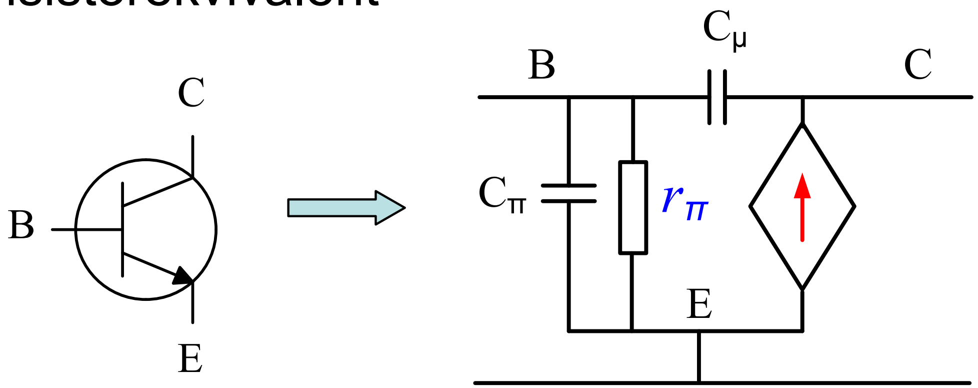
Denne effekten har stor betydning for høyfrekvensresponsen til forsterkere. *Stor forsterkning vil medføre tidlig kutt av høye frekvenser . Se frekvensresponsen til operasjonsforsterkere..*



$$\boxed{f_h = \frac{1}{2\pi \cdot R_g \cdot C\,(1+A)}}$$

Tilbakekopling – *frekvensrespons* - *Miller-effekt*

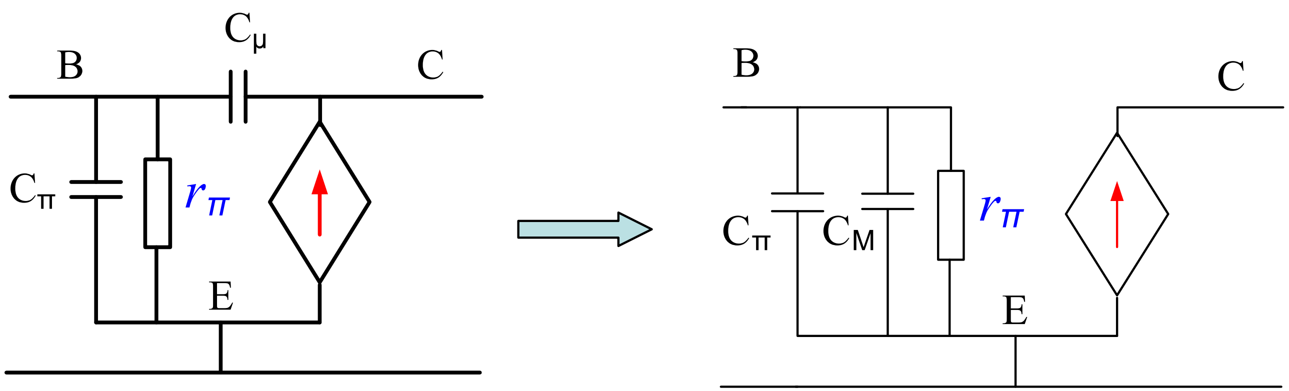
Transistorekvivalent

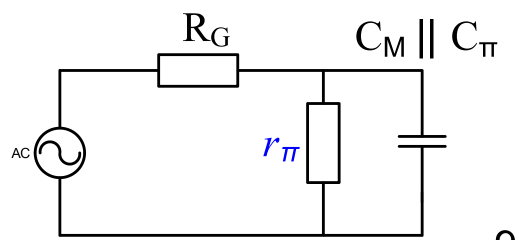


I en bipolar transistor har vi 2 kapasiteter :
C_μ mellom basis – kollektor og
C_π mellom basis – emitter

Ved høye frekvenser vil disse kondensatorene få stor betydning. Spesielt vil C_μ som kopler signalet fra utgangen tilbake mot inngangen bli dominerende pga Millereffekt $C_M = C_\mu\,(1+A)$. Millerkapasiteten C_M vil sammen med signalkildens utgangsimpedans danne et RC lavpassfilter som effektivt kutter høye frekvenser.

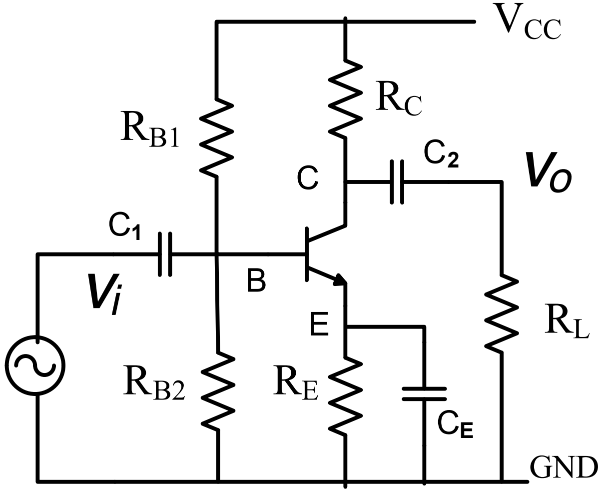
Transistorer for høye frekvenser må konstrueres slik at C_μ blir minst mulig



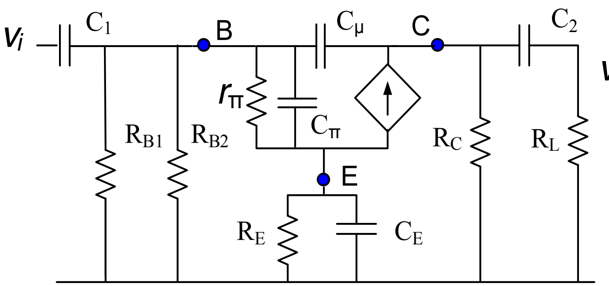


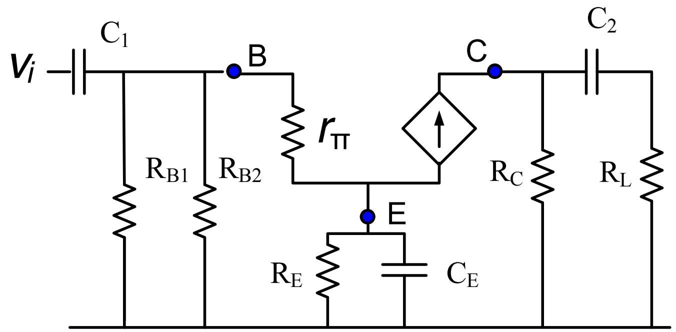
Tilbakekopling – *frekvensresponsen til transistorforsterker*

Forsterkerekvivalenten har 3 versjoner – en for lave – en for midlere og en for høye frekvenser

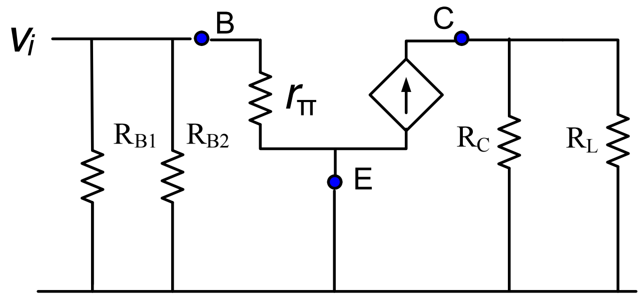


småsignalmodell –
Med alle komponenter av betydning

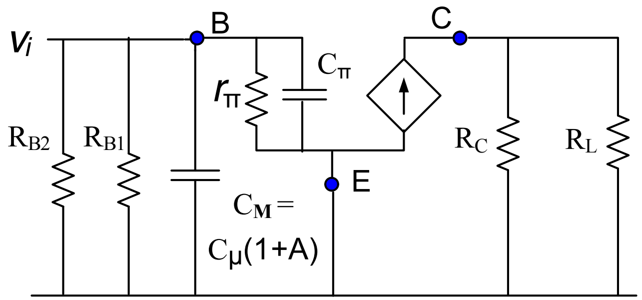




Lave frekvenser – utvendige kapasiteter bestemmer f_L



Midlere frekvenser – vi kan se bort fra alle kapasiteter

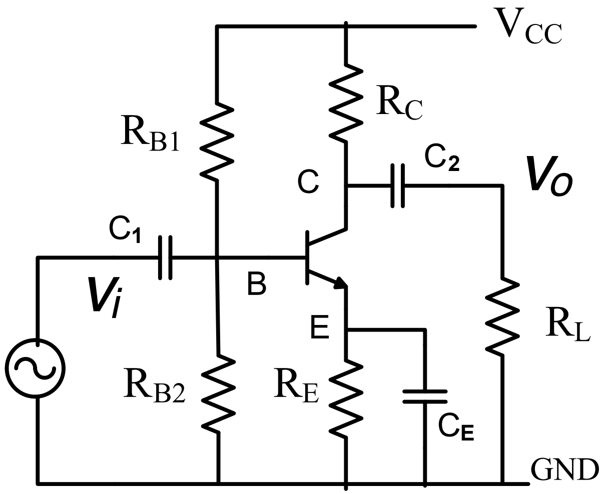


Høye frekvenser – interne kapasiteter bestemmer f_H

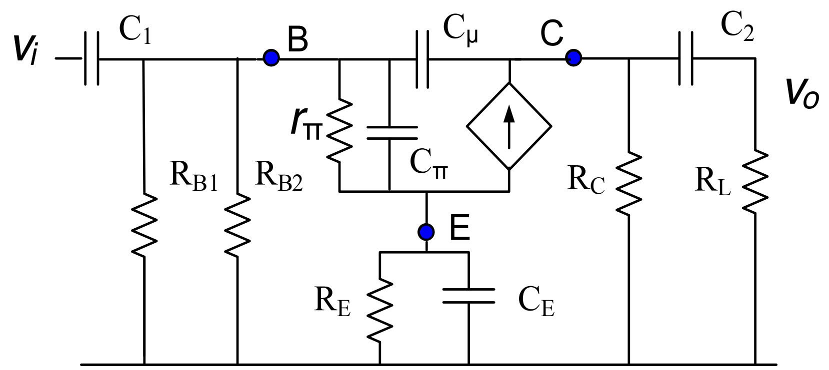
Millerkapasiteten

$C_M = C\mu\ (1+A)$

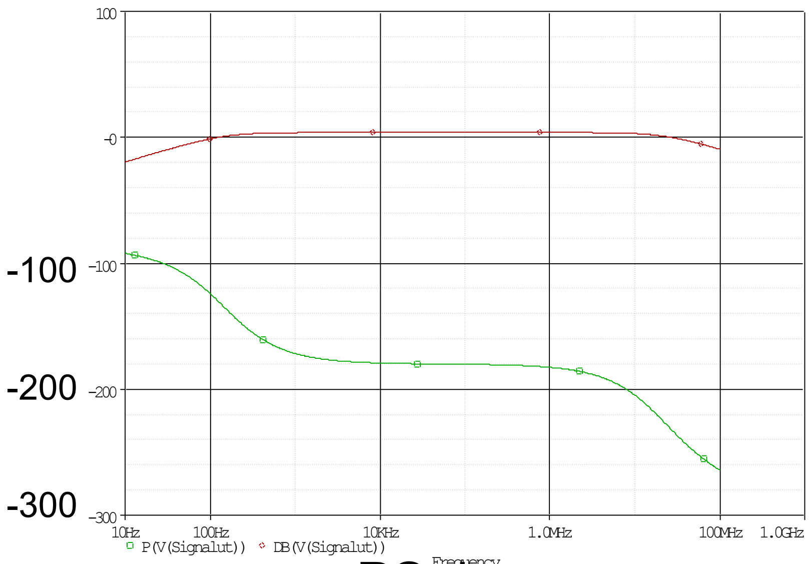
Frekvensresponsen til transistorforsterker / Bodeplot



småsignalmodell –
Med alle komponenter av betydning



Bode plot – viser samtidig frekvensrespons og faseskift



PSpice