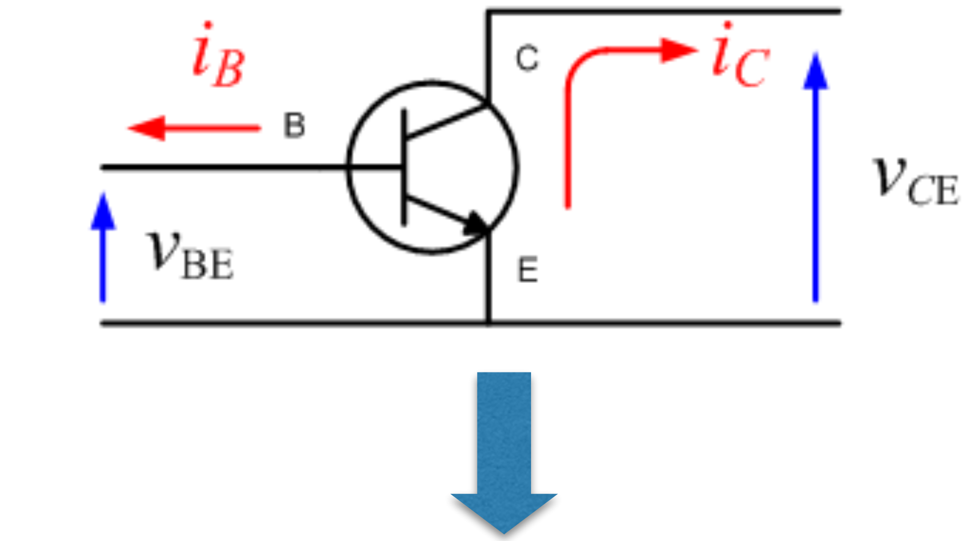
Transistor brukt som forsterker

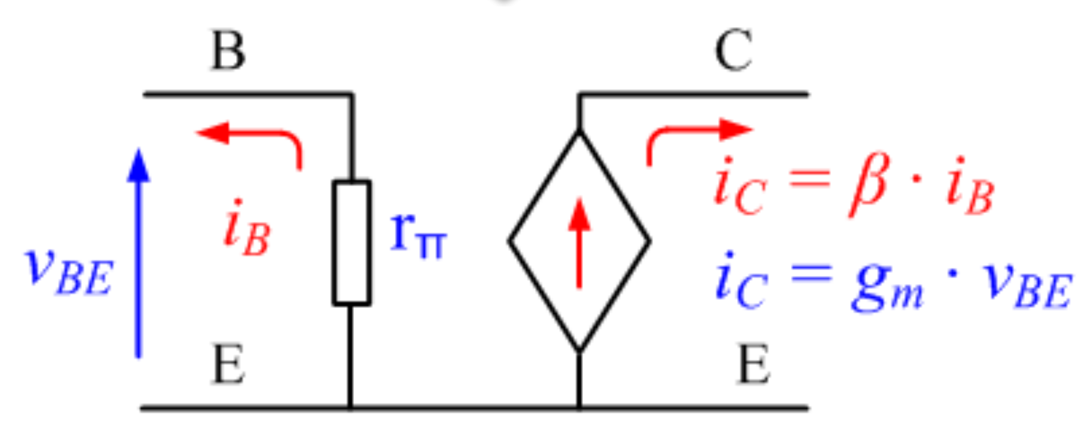
Vi ser på Småsignalmodeller

Vi har sett hvordan vi vha. en emittermotstand kan stabilisere forsterkerens arbeidspunkt
- Alle betraktninger så langt er gjort med en DC – modell av forsterkeren. (En statisk beregningsmodell)

Men hvordan virker forsterkeren for små signaler?

Vi erstatter det vanlige transistorsymbolet med en småsignalmodell og signalstrømmer og spenninger angis med små bokstaver





Mellom Base og Emitter "ser" signalet en "dynamisk" motstand r_π (BE-dioden).
Mellom Emitter og Collector finner vi en strømgenerator som leverer signalstrømmen iC.
Denne strømmen bestemmes av transistorens transkonduktans gm
r_π og g_m kalles småsignalparametere

Småsignalparametere

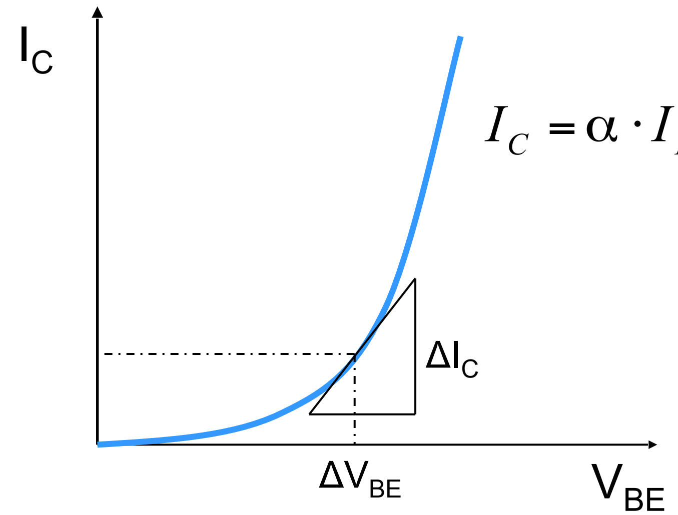
Transkonduktans - steilhet g_m

$$Emitterstrømmen \quad I_E = I_{ES} \cdot e^{V_D / V_T}$$

$$hvor \quad V_D = V_{BE} \; og \; V_T = 25mV$$

$$(diodelikningen)$$

$$I_C = I_E - I_B \rightarrow I_C = \alpha \cdot I_E \quad \alpha \cong 1$$



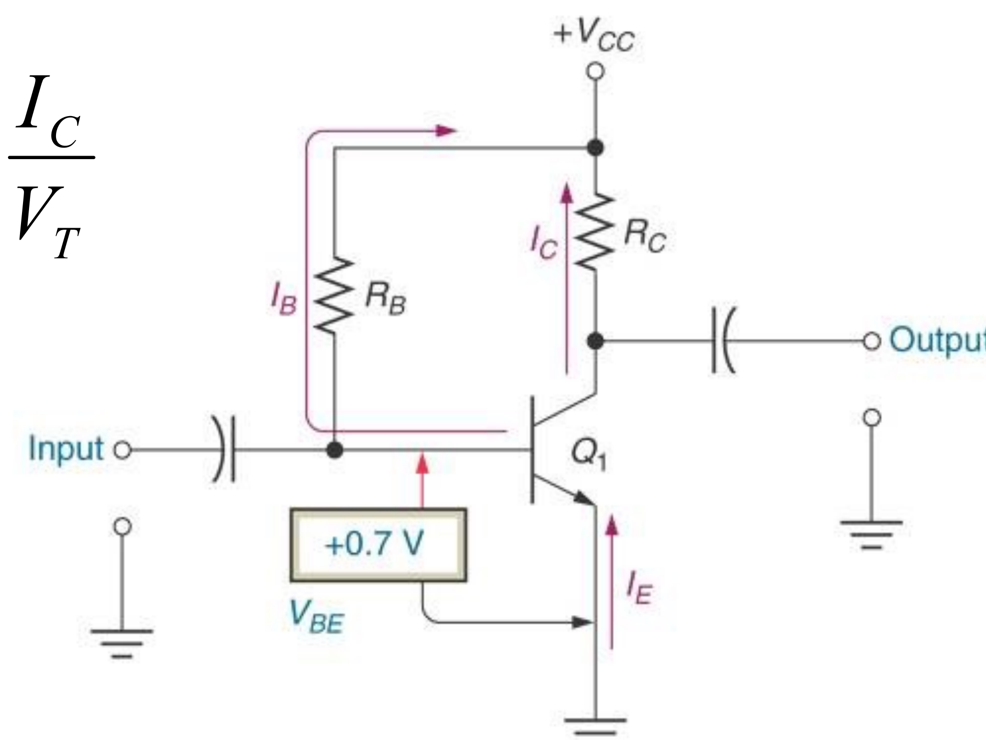
$$I_C = \alpha \cdot I_{ES} \cdot e^{V_{BE} / V_T}$$

$$Steilhet \quad g_m = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}}$$

Steilheten gm er gitt av tangenten til kurven for IC . Deriverer IC mhp. V_{EB}

$$g_m = \frac{d(I_C)}{dV_{EB}} = \alpha \cdot I_{ES} \cdot e^{V_{EB} / V_T} \cdot \frac{1}{V_T} = I_C \cdot \frac{1}{V_T} = \frac{I_C}{V_T}$$

$$\boxed{g_m = \frac{I_C}{V_T}}$$



Eksempel : Forsterkeren settes opp
med IC = 2 mA, som gir:

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2mA}{25mV} = 80mS$$ (benevning Siemens)

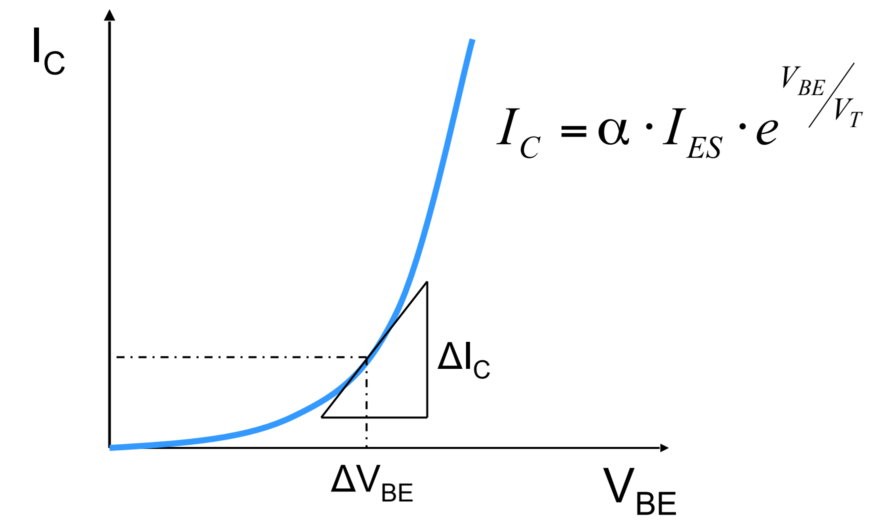
Småsignalparametere

Dynamisk inngangsmotstand r_π

$$r_\pi = \frac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_B}$$

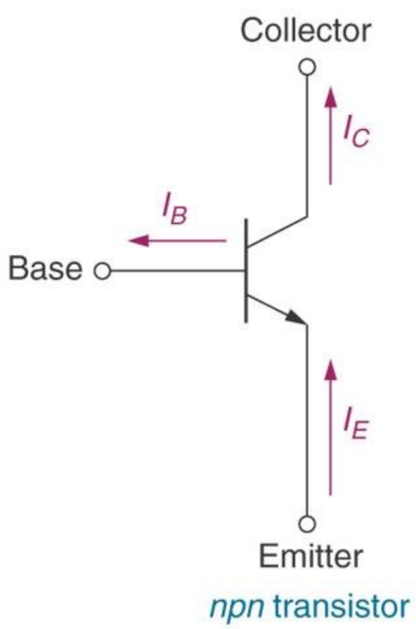
$$I_C = \beta \cdot I_B$$

en liten endring i I_B gir stor endring i I_C



$$1)\quad \Delta I_B = \frac{\Delta I_C}{\beta} \qquad 2)\quad g_m = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{EB}} \rightarrow \Delta I_C = g_m \cdot \Delta V_{EB}$$

Forholdet mellom ΔV_{EB} og ΔI_B kalles
den dynamiske inngangsresistansen r_π
Kombinerer likning 1) og 2)



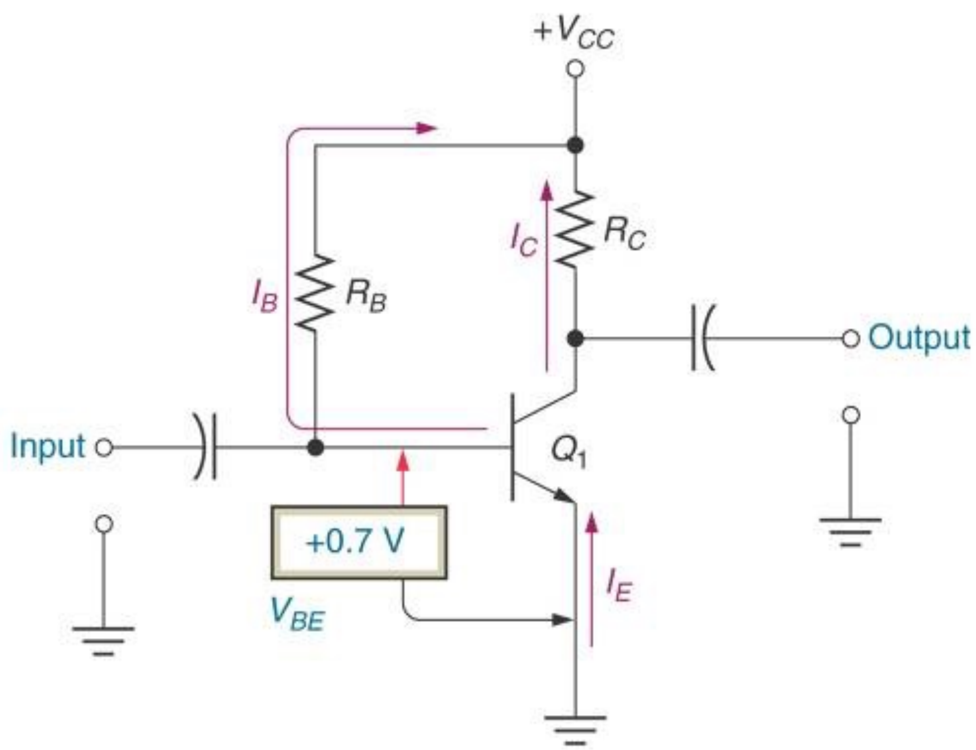
$$\Delta I_B = \frac{g_m \cdot \Delta V_{EB}}{\beta}$$

$$r_\pi = \frac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_B} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{\beta \cdot V_T}{I_C}$$

Transistorforsterker

Vi beregner spenningsforsterkningen Av

$$Steilhet \quad g_m = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}}$$



$$1) \quad \Delta I_C = g_m \cdot \Delta V_{BE}$$

$$2) \quad \Delta V_{RC} = \Delta I_C \cdot R_C \quad (ohms\ lov)$$

Setter inn 1) i 2) som gir

$$\Delta V_{RC} = g_m \cdot \Delta V_{BE} \cdot R_C$$

Forsterningen A_V er definert som

$$A_V = \frac{V_{Output}}{V_{Input}} = \frac{\Delta V_{RC}}{\Delta V_{BE}} = g_m \cdot R_C$$

$$\boxed{A_V = g_m \cdot R_C}$$

Gitt V_{CC}=10volt Setter V_C= 5volt Vi bestemmer at I_C = 2mA

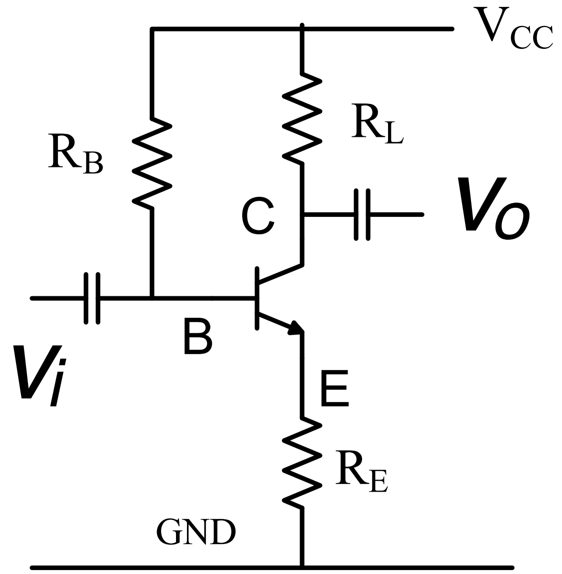
$$Beregner\ R_C = \frac{V_{RC}}{I_C} = \frac{5v}{2mA} = 2{,}5\ k\Omega \qquad g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2mA}{25mV} = 80mS$$

$$\underline{\underline{Forsterkningen \quad A_V = 80\ mS \cdot 2{,}5\ k\Omega = 200}}$$

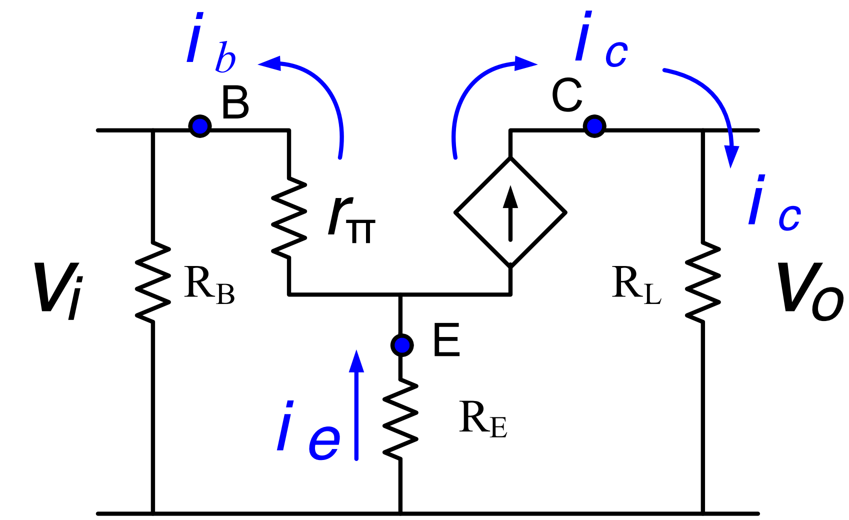
Transistorforsterker

Småsignalmodeller- forsterker med emittermotstand

DC-modell



Småsignalmodell



$$v_i = v_{be} + v_E \quad (1) \qquad v_{be} = i_b \cdot r_\pi \quad (2)$$

$$v_E = (i_b + i_c)\cdot R_E = (i_b + i_b \cdot \beta)\cdot R_E = i_b(\beta - 1)\cdot R_E \quad (3)$$

Setter (2) og (3) inn i (1)

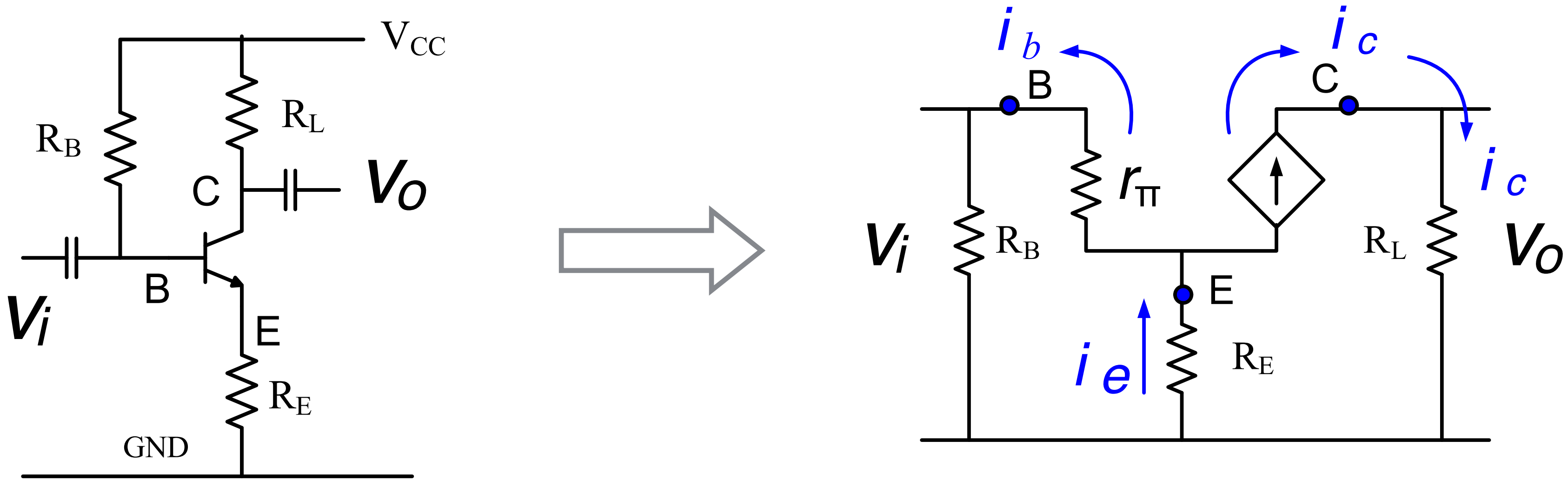
$$v_i = i_b \cdot r_\pi + i_b(\beta + 1)\cdot R_E \rightarrow i_b = \frac{v_i}{r_\pi + (\beta + 1)\cdot R_E} \quad (4)$$

$$v_o = -i_c \cdot R_L = -i_b \cdot \beta \cdot R_L \rightarrow (4) \rightarrow = -\frac{\beta \cdot v_i}{r_\pi + (\beta + 1)\cdot R_E}\cdot R_L \qquad A_v = -\frac{v_o}{v_i}$$

Bemerk (-) Forsterkeren inverterer signalet.
Positivt signal-sving på basen kommer ut som negativt sving på kollektor

Transistorforsterker

Småsignalmodeller- forsterker med emittermotstand



$$v_i = i_b \cdot r_\pi + i_b(\beta + 1)\cdot R_E \rightarrow i_b = \frac{v_i}{r_\pi + (\beta+1)\cdot R_E} \quad (4)$$

$$v_o = -i_c \cdot R_L = -i_b \cdot \beta \cdot R_L \rightarrow (4) \rightarrow = -\frac{\beta \cdot v_i}{r_\pi + (\beta+1)\cdot R_E}\cdot R_L$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{\beta \cdot R_L}{r_\pi + (\beta+1)\cdot R_E} \qquad \textit{setter inn} \;\; r_\pi = \frac{\beta}{g_m}$$

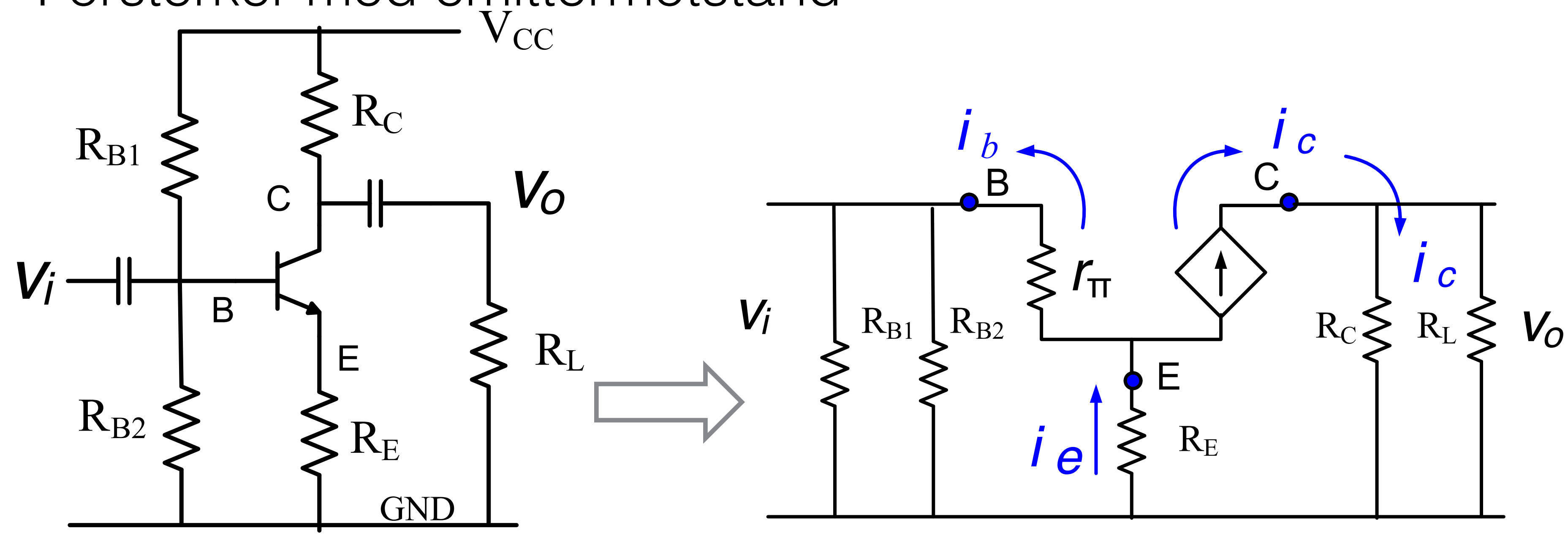
$$A_v = -\frac{g_m \cdot R_L}{1 + (1+\frac{1}{\beta})\cdot g_m \cdot R_E} \approx -\frac{g_m \cdot R_L}{1 + g_m \cdot R_E} \approx -\frac{R_L}{R_E} \quad \Rightarrow \quad \boxed{A_v \approx -\frac{R_L}{R_E}}$$

Ser på "input resistance" til transistoren $\quad r_{inn} = \frac{v_i}{i_b} \rightarrow fra\,(4) \rightarrow \underline{\underline{r_\pi + (\beta+1)R_E}}$

Transistorforsterker

Småsignalmodeller- forsterker med emittermotstand

Forsterker med emittermotstand



Forsterkning

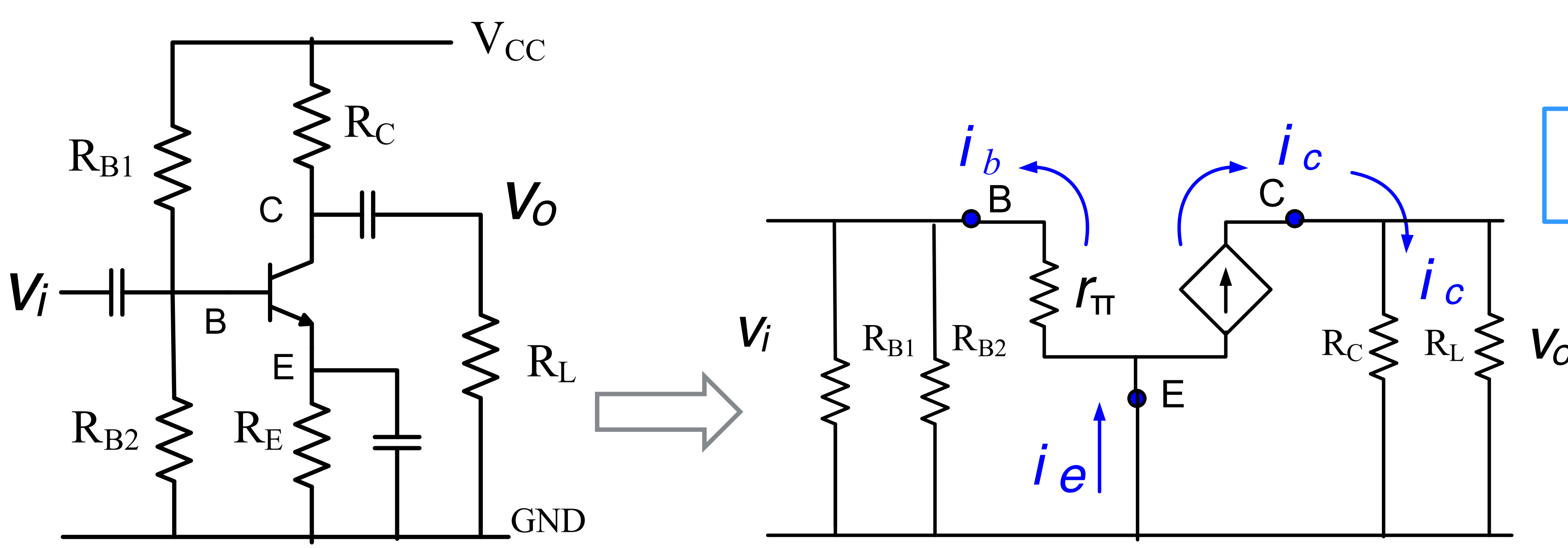
$$A_v \approx -\frac{R_C \| R_L}{R_E}$$

Signalkilden ser inn mot en motstand

$$R = R_{B1} \| R_{B2} \| \, r_{inn} \text{ hvor}$$

$$r_{inn} = r_\pi + (\beta + 1) R_E$$

Forsterker med avkoplet emittermotstand



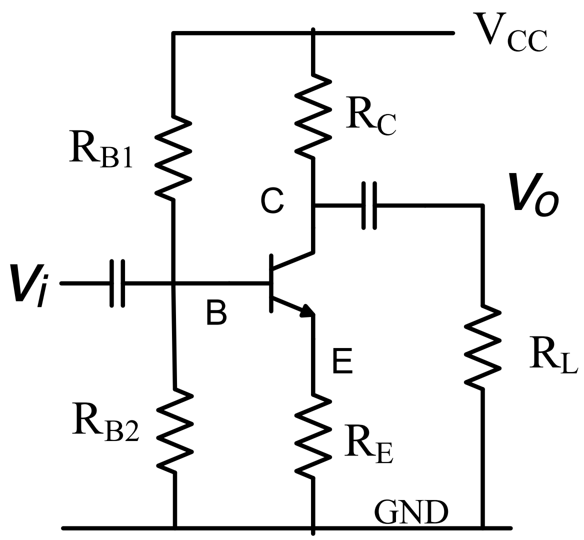
Forsterkning

$$A_V = -g_m \cdot (R_C \| R_L)$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

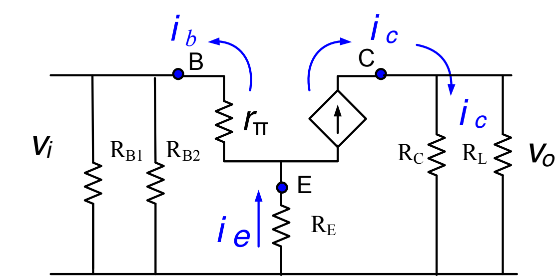
Transistorforsterker

Regneeksempel



R_{B1} = 35 kΩ, R_{B2} = 15 kΩ, R_C = 6 kΩ,

R_L = 1,5kΩ , R_E = 1kΩ I_C = 2mA β = 200



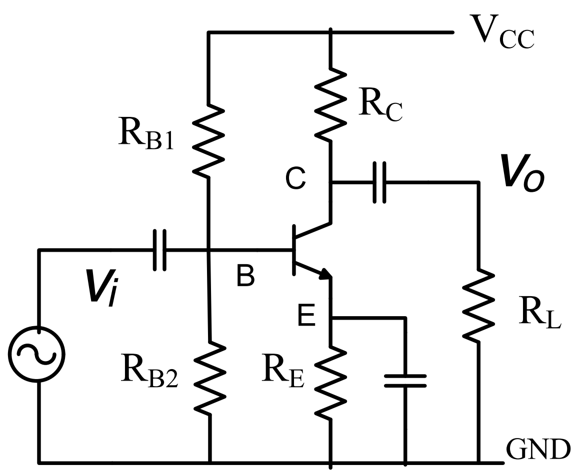
$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2mA}{25mV} = 80\ mS \qquad r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{200}{80\ mS} = 2{,}5\ k\Omega$$

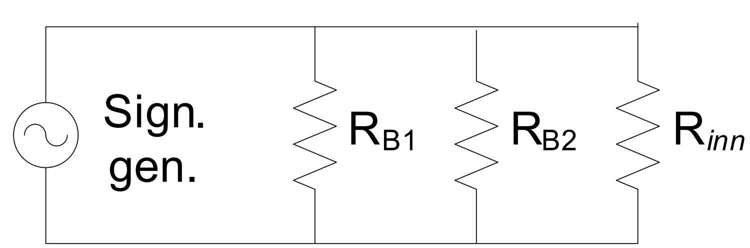
$$R_P = R_C \| R_L = \frac{6k \cdot 1{,}5k}{6k + 1{,}5k} = 1{,}2k \qquad A_V = -\frac{R_P}{R_E} = \frac{1{,}2k}{1k} = -1{,}2$$

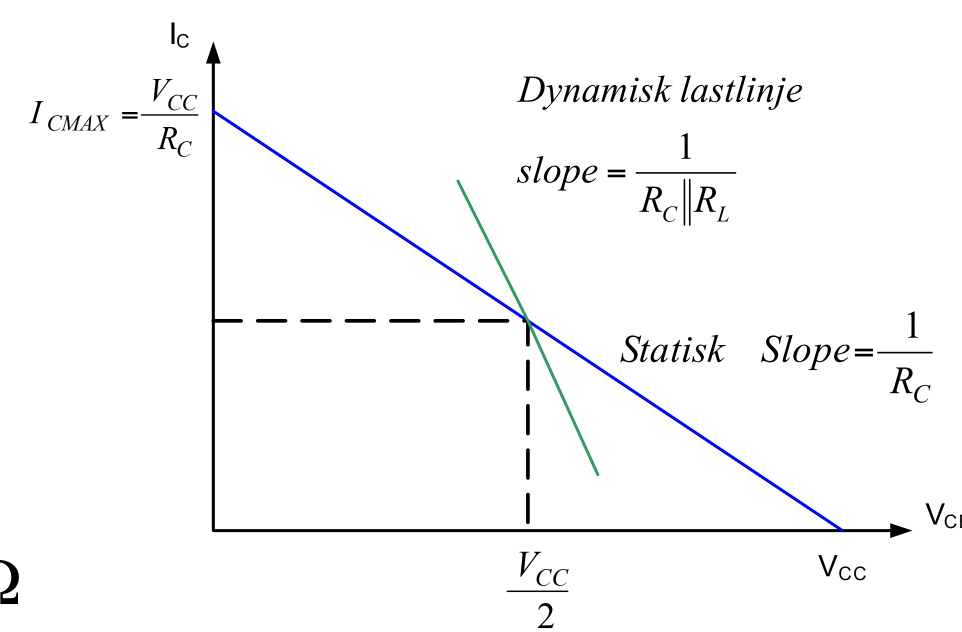
Hvis vi avkopler emittermotstanden med en kondensator $A_v = -g_m \cdot R_P = 80mS \cdot 1{,}2k = -96$

Lastlinjen endres i forhold til DC-modellen

$$R_{inn} = r_\pi + (\beta + 1)R_E = 2{,}5k + 201 \cdot 1k = 203{,}5k\Omega$$



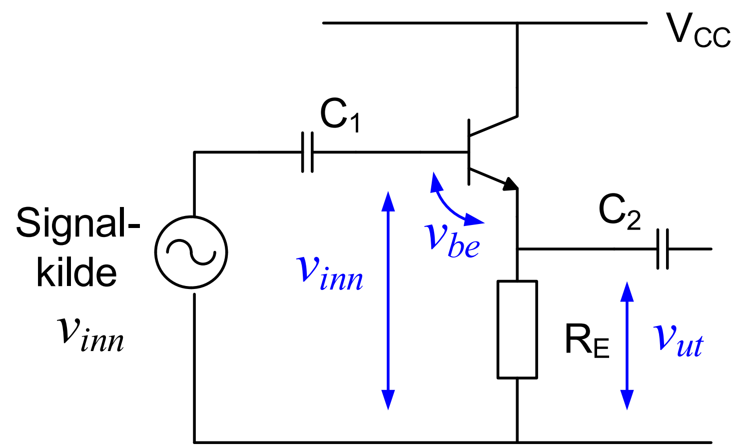




generatoren ser inn mot $R_{INN} = R_{B1} \| R_{B2} \| R_{inn} \cong 10k\Omega$

Transistorforsterker

EMITTERFØLGER -Signalet hentes ut over emittermotstanden



Betrakter signalspenningene $v_{inn} = v_{be} + v_{ut}$

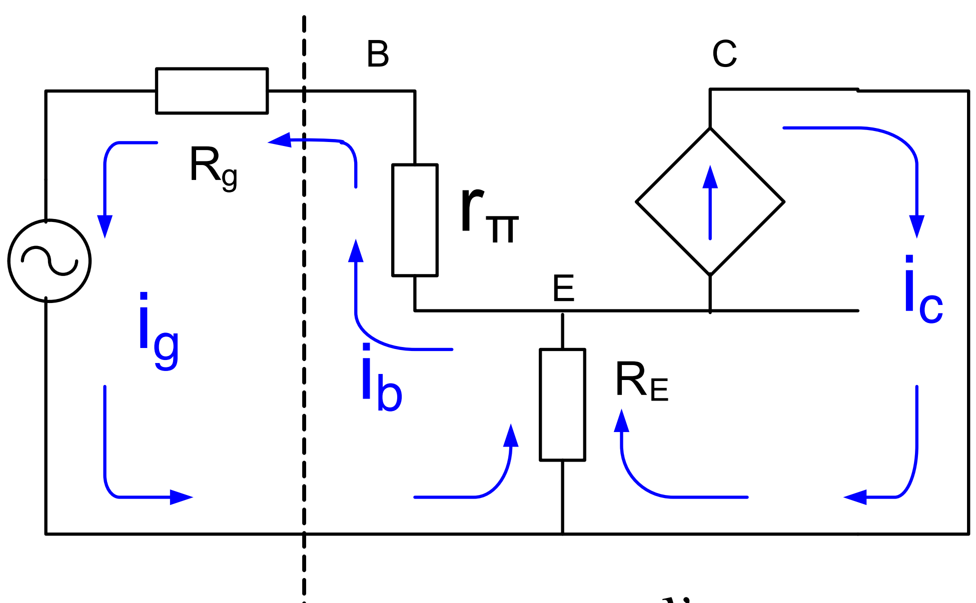
v_{be} er liten → $v_{inn} \approx v_{ut}$

Ser på tilkoplingen av en signalgenerator med indre motstand R_g og signal V_{inn}

Forenklet skjema – utelatt spenningsdeler på basen

Vi ser bort fra kondensatorene – de stopper DC men slipper signalet uhindret igjennom

Småsignalmodellen



$$i_e = (\beta + 1) \cdot i_b \quad \rightarrow i_g = i_b \rightarrow \quad i_e = (\beta + 1) \cdot i_g$$

Strømforsterkning

$$A_i = \frac{i_e}{i_g} = (\beta + 1) \quad \textit{Effektforsterkning} \quad P = v \cdot i$$

$$v_{ut} + v_{be} = v_{inn} \rightarrow (\beta + 1) \cdot i_b \cdot R_E + i_b \cdot r_\pi = v_{inn}$$

$$\rightarrow \quad i_b = \frac{v_{inn}}{r_\pi + (\beta + 1) \cdot R_E}$$

$$v_{ut} = i_e \cdot R_E = (\beta + 1) \cdot i_b \cdot R_E = \frac{(\beta + 1) \cdot R_E \cdot v_{inn}}{r_\pi + (\beta + 1) \cdot R_E}$$

$$A_v = \frac{v_{ut}}{v_{inn}} = \frac{(\beta + 1) \cdot R_E}{r_\pi + (\beta + 1) \cdot R_E} \cong 1$$

Stor strømforsterkning
- Ingen spenningsforsterkning

END