En enkel BJT - transistor brukt som forsterker - Hvor stor blir forsterkningen ? Vi ser på Småsignalmodeller

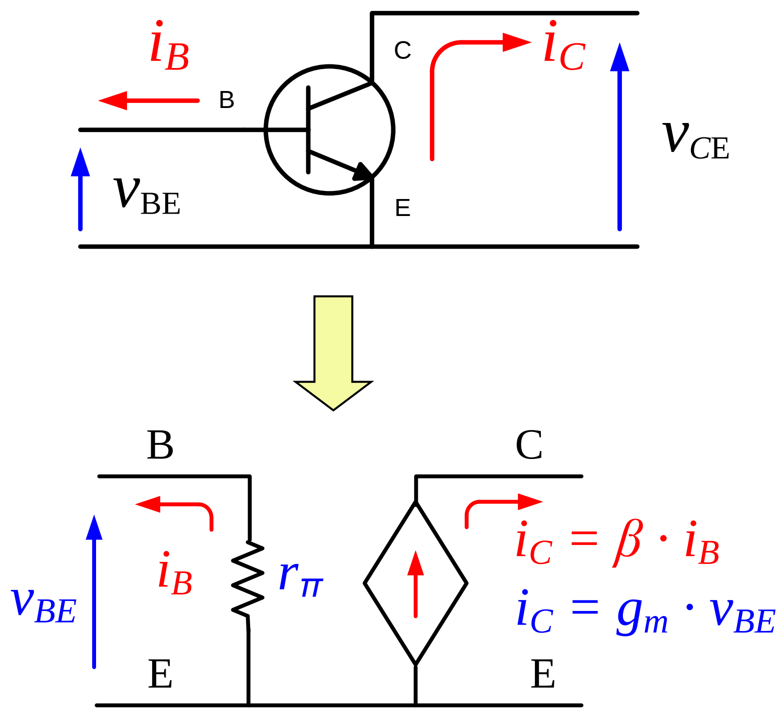
Vi har sett hvordan vi vha. en emittermotstand kan stabilisere forsterkerens arbeidspunkt - Alle betraktninger så langt er gjort med en DC – modell av forsterkeren. (En statisk beregningsmodell)

- Men hvordan virker forsterkeren for små signaler ?

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

Mellom Base og Emitter "ser" signalet en *"dynamisk" motstand* r_{π} – mellom Emitter og Collector finner vi en strømgenerator som leverer signalstrømmen i_C . Denne strømmen bestemmes av transistorens *transkonduktans* g_m *- (**"steilhet"**)*

r_{π} og g_m *kalles småsignalparametere*



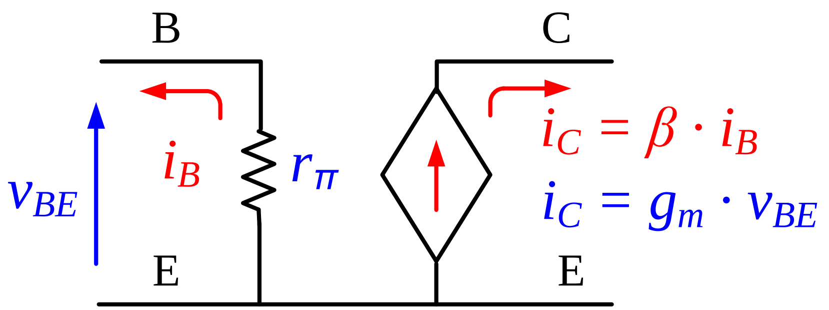
En enkel BJT - transistor brukt som forsterker - Hvor stor blir forsterkningen ? Vi ser på Småsignalmodeller

Vi kan betrakte transistoren både som en strømstyrt og en spenningsstyrt komponent.

Signalstrømmen på kollektor - i_C

- kan beregnes hvis vi kjenner i_B

eller v_{BE}.



$$\boxed{i_B = \frac{v_{BE}}{r_\pi} \qquad i_C = \beta \cdot i_B \quad = g_m \cdot v_{BE}}$$

Når signalkomponentene v_{BE}, i_B og i_C er <u>små</u> – er disse likningene lineære

Vi må finne generelle uttrykk for småsignalparametrene g_m og r_π

$$Steilhet \quad g_m = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}} \qquad\qquad r_\pi = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}$$

Småsignalparametere : g_m og r_π

Transkonduktans - steilhet g_m

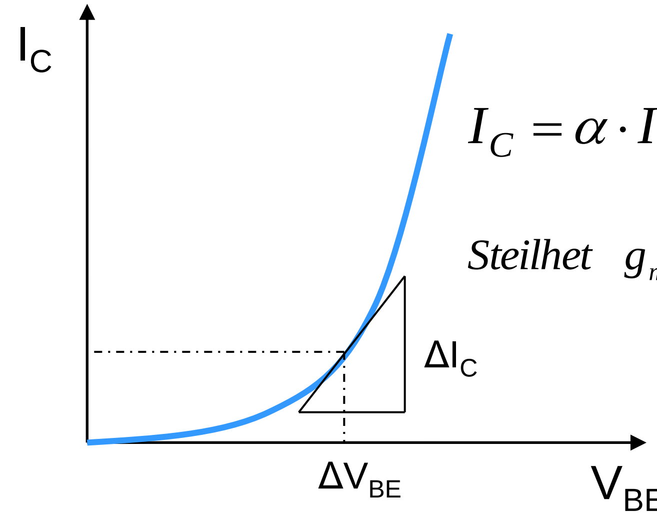
(benevning Siemens)

$$Emitterstrømmen\ \ I_E = I_S \cdot e^{V_D/V_T}$$

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

$$(diodelikningen)$$

$$I_C = \alpha \cdot I_E \qquad \alpha \cong 1$$



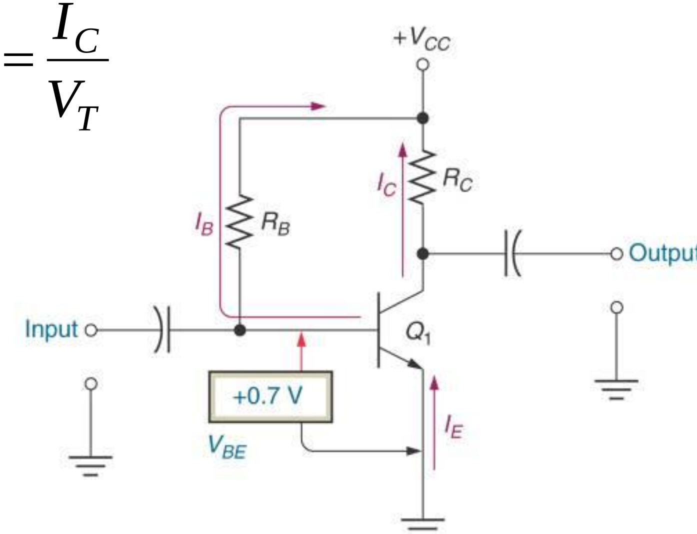
$$I_C = \alpha \cdot I_{ES} \cdot e^{V_{BE}/V_T}$$

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

Steilheten g_m er gitt av tangenten til kurven for I_C. Deriverer I_C mhp. V_{BE}

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

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



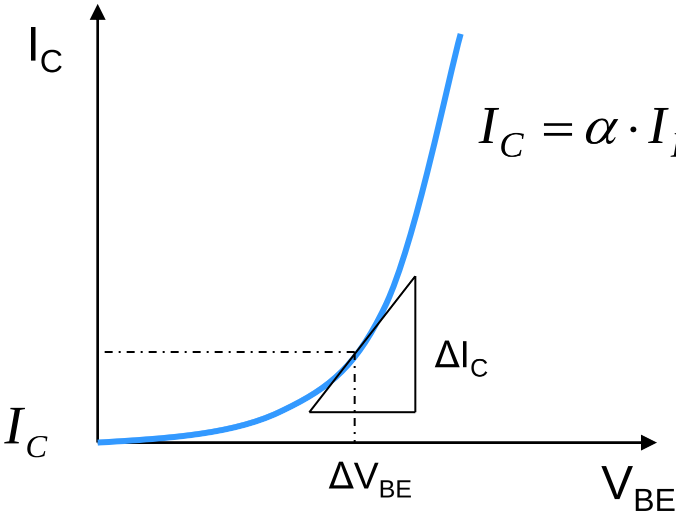
Eksempel : Forsterkeren settes opp med $I_C = 2\ mA$
- som gir

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2mA}{25mV} = 80mS$$

Småsignalparametere : g_m og r_π

Dynamisk inngangsmotstand r_π

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

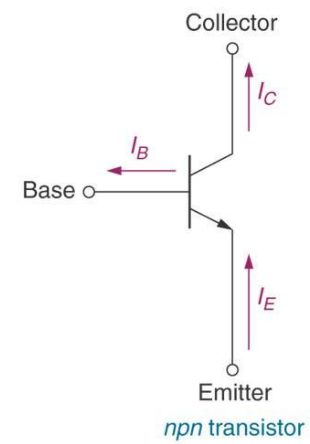


$$I_C = \alpha \cdot I_{ES} \cdot e^{V_{BE}/V_T}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

en liten endring i I_B gir stor endring i I_C

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



Forholdet mellom ΔV_{EB} og ΔI_B kalles

den dynamiske inngangsresistansen r_π

Kombinerer likning 1) og 2)

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

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

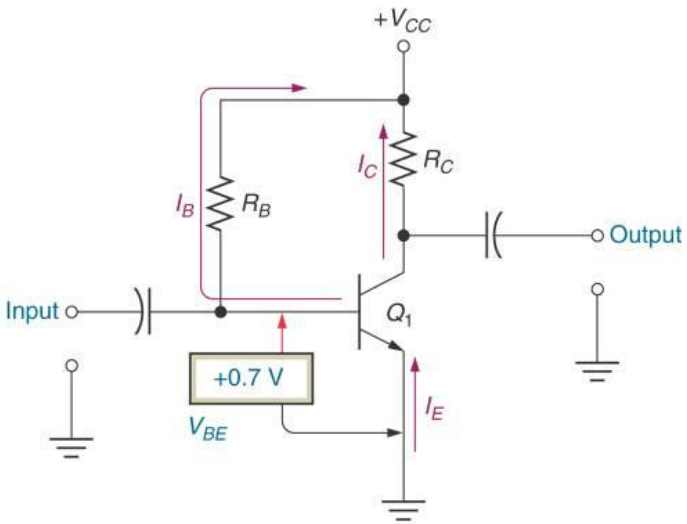
$I_C = I_E - I_B \rightarrow I_C = \alpha \cdot I_E$

Transistorforsterker – småsignalparametere

Vi beregning spenningsforsterkningen A_V

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

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



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

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

Setter inn 1) i 2) som gir

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

$$Forsterningen\ A_V\ er\ definert\ som\ A_V = \frac{V_{Output}}{V_{Input}} = \frac{\Delta V_{RC}}{\Delta V_{BE}} = g_m \cdot R_C \qquad \boxed{A_V = g_m \cdot R_C}$$

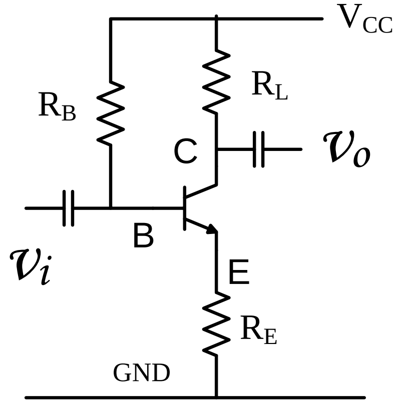
Eksempel: Gitt V_{CC}=10volt Setter V_C= 5volt Vi bestemmer at I_C = 2mA

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

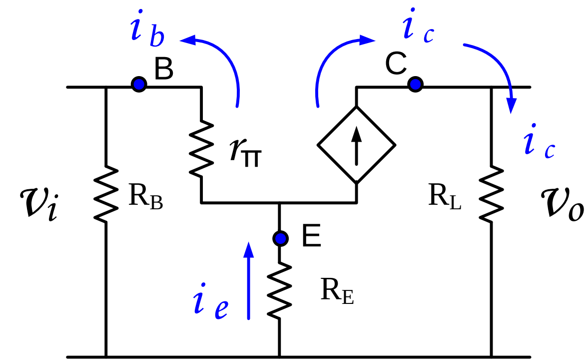
$$\underline{\underline{Forsterkningen\ \ A_V = 80\,mS \cdot 2{,}5\,k\Omega = 200}}$$

Småsignalmodeller   Forsterker med emittermotstand

DC-modell



småsignalmodell



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

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

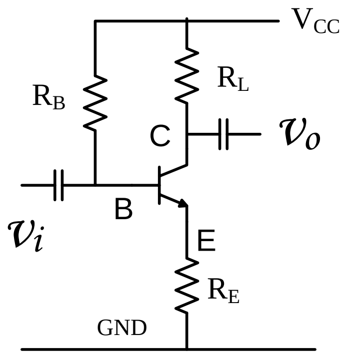
Setter (2) og (3) inn i (1)

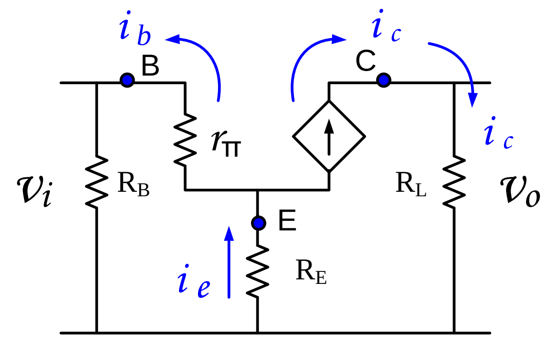
$$v_i = i_b \cdot r_\pi + i_b(\beta + 1)\cdot R_E \rightarrow i_b = \frac{v_i}{r_\pi + (\beta+1)\cdot R_E} \qquad (4)$$

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

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

Småsignalmodeller Forsterker med emittermotstand (2)





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

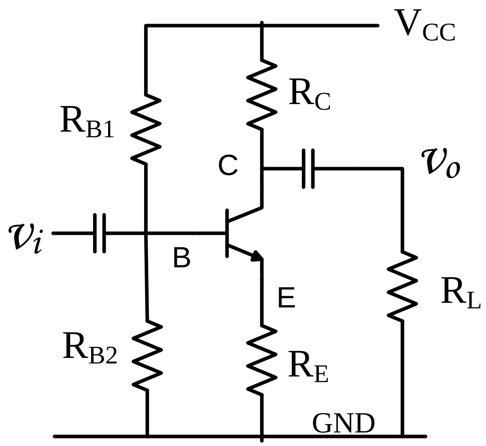
$$v_o = -i_c \cdot R_L = -i_b \cdot \beta \cdot R_L \rightarrow (4) \rightarrow = -\frac{\beta \cdot v_i}{r_\pi + (\beta+1)\cdot R_E} \cdot R_L$$

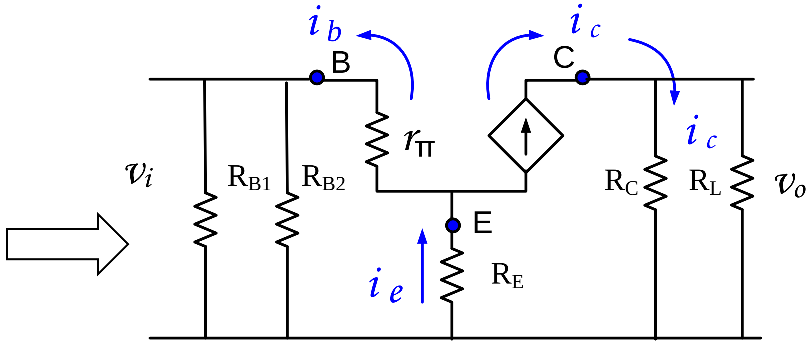
$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{\beta \cdot R_L}{r_\pi + (\beta+1)\cdot R_E} \qquad \textit{setter inn} \;\; r_\pi = \frac{\beta}{g_m}$$

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

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

Småsignalmodeller Forsterker med emittermotstand (3)





Forsterkning

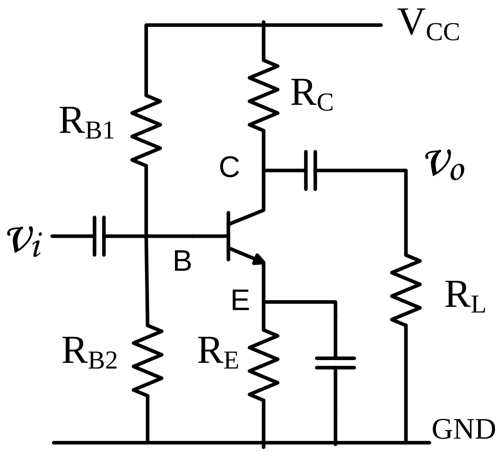
$$\boxed{A_v \approx -\frac{R_C \| R_L}{R_E}}$$

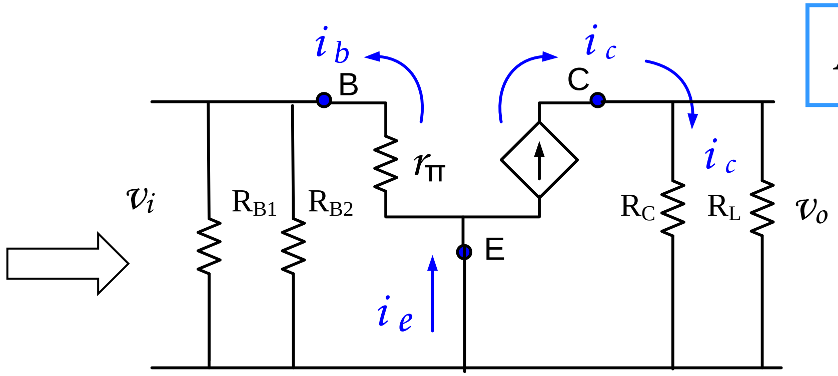
Signalkilden ser inn mot en motstand

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

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

Småsignalmodell Forsterker med avkoplet emittermotstand



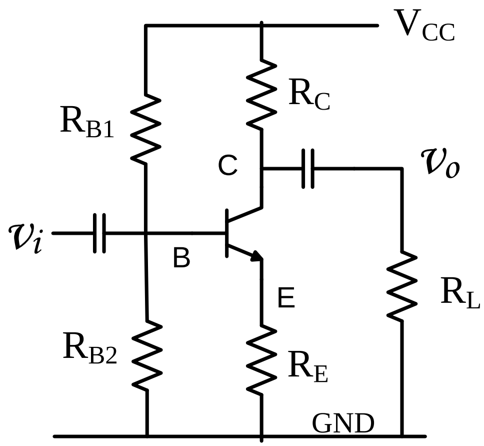


Forsterkning

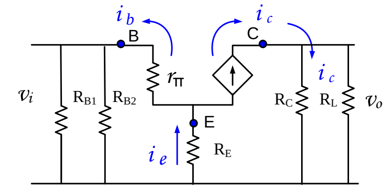
$$\boxed{A_V = -g_m \cdot (R_C \| R_L)}$$

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

Regneeksempel - Gitt en forsterker med emittermotstand



R_{B1} = 35 kΩ, R_{B2} = 15 kΩ, R_C = 6 kΩ,
R_L = 1,5kΩ , R_E = 1kΩ I_C = 2mA β = 200



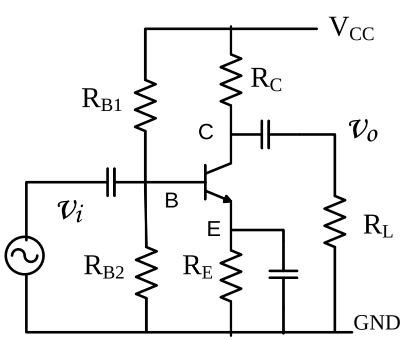
$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2mA}{25mV} = 80\,mS \qquad r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{200}{80\,mS} = 2{,}5\,k\Omega$$

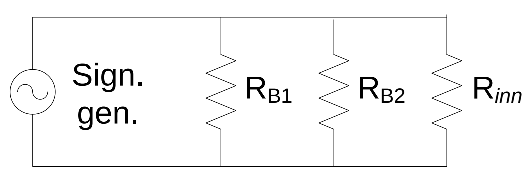
$$R_P = R_C \| R_L = \frac{6k \cdot 1{,}5k}{6k + 1{,}5k} = 1{,}2k \qquad \underline{\underline{A_V = -\frac{R_P}{R_E} = \frac{1{,}2k}{1k} = -1{,}2}}$$

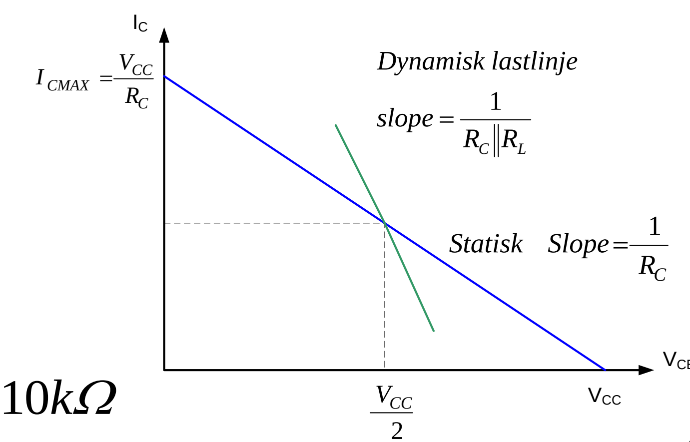
Hvis vi avkopler emittermotstanden med en kondensator $\underline{\underline{A_v = -g_m \cdot R_P = 80mS \cdot 1{,}2k = -96}}$

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

Lastlinjen endres i forhold til DC-modellen

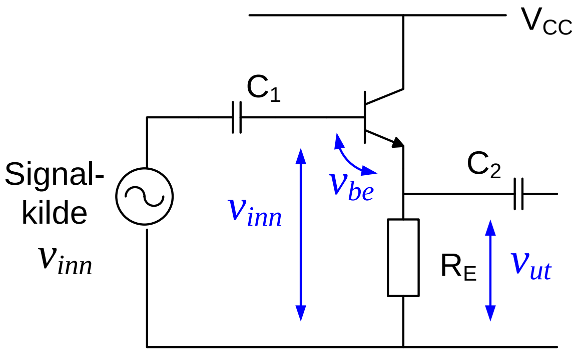






$$generatoren\ ser\ inn\ mot \quad R_{INN} = R_{B1} \| R_{B2} \| R_{inn} \cong 10k\Omega$$

EMITTERFØLGER - Signalet hentes ut over emittermotstanden



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

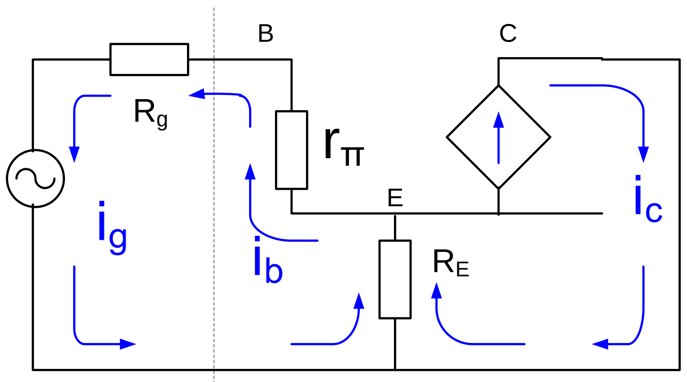
v_{be} er liten $\rightarrow v_{inn} \approx v_{ut}$

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

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

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

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

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

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

Stor strømforsterkning
- Ingen spenningsforsterkning

END