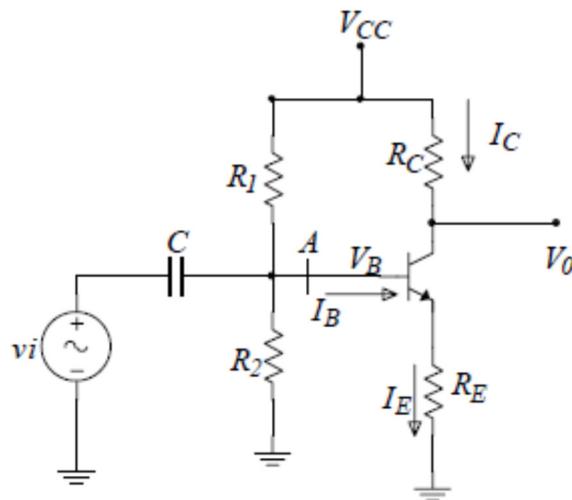


16 - BJT : Polarizzazione e modello a T

Schema migliorato:

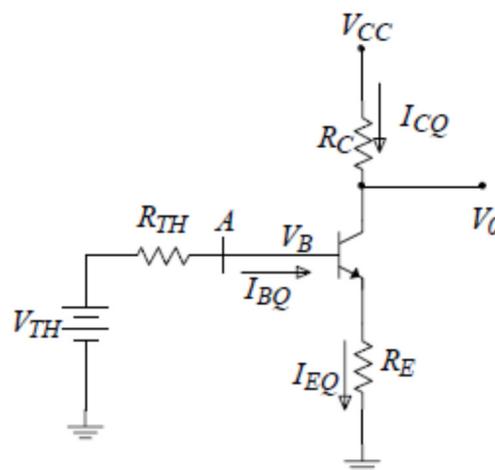


Assunzione di progetto (non sempre valida):

$$V_o \text{ quiescente a meta' range} \rightarrow V_o = \frac{V_{CC}}{2}$$

$$\rightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{2R_C} \rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{V_{CC}}{2\beta R_C}$$

Equivalente di Thevenin del partitore di base alimentato da V_{CC} :



$$R_{TH} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}, V_{TH} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Punto di lavoro (= quiescente):

$$V_{TH} = I_B R_{TH} + V_{BE} + I_E R_E$$

$$I_C = \beta I_B \rightarrow I_E = (\beta + 1) I_B$$

$$\rightarrow V_{TH} = I_B [R_{TH} + (\beta + 1) R_E] + V_{BE}$$

$$\rightarrow I_B = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_{TH} + (\beta + 1) R_E}$$

$$R_{TH} \ll (\beta + 1) R_E \rightarrow I_B \approx \frac{V_{TH} - V_{BE}}{(\beta + 1) R_E}$$

$$\text{Es: } R_{TH} = \frac{(\beta + 1) R_E}{10}$$

$$\rightarrow I_C \approx \frac{\beta (V_{TH} - V_{BE})}{(\beta + 1) R_E} \approx \frac{(V_{TH} - V_{BE})}{R_E}$$

$$\rightarrow V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E = V_{CC} - I_C \left(R_C + \frac{1 + \beta}{\beta} R_E \right)$$

$$\rightarrow V_{CE} \approx V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

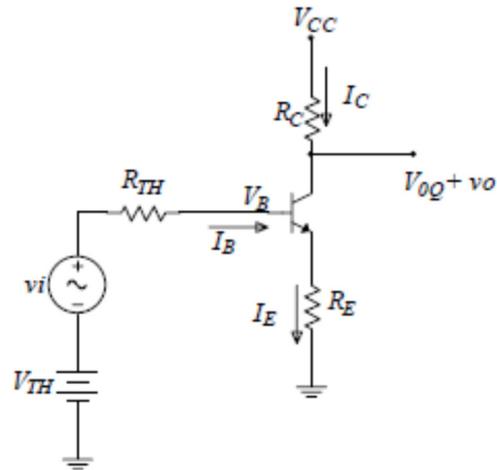
Punto di lavoro (= (I_C, V_{CE})):

Indipendente da β , purché $\beta \gg 1$

→ Indipendente da β

→ Indipendente da T

Guadagno (piccoli segnali):



Transistor in zona lineare:

Correnti/Tensioni corrispondenti al punto di lavoro prescelto

Segnali di ingresso/uscita: incrementi/decrementi rispetto al punto di lavoro

Legge di Kirchoff per le maglie di ingresso e di uscita, applicata agli incrementi di tensione:

$$v_i = i_b R_{TH} + v_{be} + i_E R_E \simeq i_B R_{TH} + i_E R_E \quad V_{BE} \sim \text{cost}$$

$$\beta i_B R_C + v_{CE} + i_E R_E = 0 \quad V_{CC} = \text{cost}$$

$$i_B = \frac{v_i - i_E R_E}{R_{TH}}, i_E = (\beta + 1) i_B$$

$$\rightarrow \beta i_B R_C + v_{CE} + (\beta + 1) i_B R_E = 0$$

$$\rightarrow \frac{v_o}{v_i} = - \frac{\beta i_B R_C}{v_i} = - \frac{\beta i_B R_C}{i_B R_{TH} + i_E R_E} = - \frac{\beta i_B R_C}{i_B R_{TH} + i_B (\beta + 1) R_E}$$

$$\rightarrow \frac{v_o}{v_i} = - \frac{\beta i_B R_C}{i_B R_{TH} + i_B (\beta + 1) R_E} = - \frac{\beta R_C}{R_{TH} + (\beta + 1) R_E}$$

Guadagno di tensione a bassa frequenza per piccoli segnali

$$\frac{v_o}{v_i} \approx - \frac{R_C}{\frac{R_{TH}}{\beta} + R_E} \approx - \frac{R_C}{R_E}, \text{ indipendente da } \beta \text{ etc}$$

Osservazione: Effetto della resistenza di emitter

$$v_o = -i_C R_C$$

$$i_B = \frac{v_i - i_E R_E}{R_{TH}}, i_E = (\beta + 1)i_B, i_C = \beta i_B \rightarrow i_E = \frac{\beta + 1}{\beta} i_C$$

$$\rightarrow v_o = -\beta i_B R_C = -\beta \frac{v_i - i_E R_E}{R_{TH}} R_C$$

$$\rightarrow v_o = -\beta \frac{v_i - R_E \frac{\beta + 1}{\beta} i_C}{R_{TH}} R_C = -\beta \frac{v_i + R_E \frac{\beta + 1}{\beta} \frac{v_o}{R_C}}{R_{TH}} R_C = -\beta \frac{v_i R_C + v_o \frac{\beta + 1}{\beta} R_E}{R_{TH}}$$

$$\rightarrow v_o \left[1 + (\beta + 1) \frac{R_E}{R_{TH}} \right] = -\beta \frac{R_C}{R_{TH}} v_i$$

$$\rightarrow \frac{v_o}{v_i} = - \frac{\beta \frac{R_C}{R_{TH}}}{1 + (\beta + 1) \frac{R_E}{R_{TH}}}$$

Configurazione CE con R_E : Amplif. controeazionato. Infatti:

$$A_v (\text{open loop}) \equiv A_{VOL} = -\frac{i_C R_C}{v_i} = -\beta \frac{i_B R_C}{i_B R_{TH}} = -\beta \frac{R_C}{R_{TH}}, R_E = 0$$

$$A_v (\text{closed loop}) \equiv \frac{A_{VOL}}{1 + B A_{VOL}}, B \text{ feedback fraction}$$

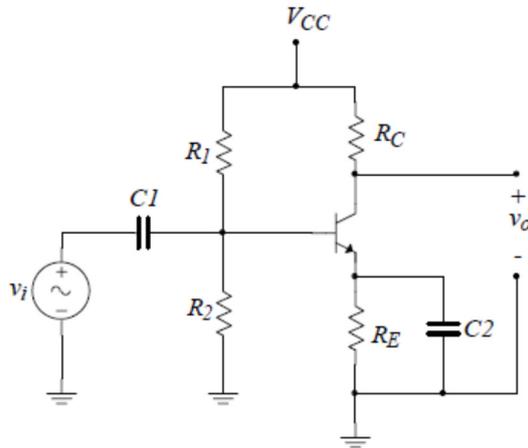
$$v_{fb} = -i_E R_E = -\frac{\beta + 1}{\beta} \frac{R_E}{R_C} v_o$$

$$\rightarrow B = \frac{v_{fb}}{v_o} = -\frac{\beta + 1}{\beta} \frac{R_E}{R_C}$$

$$\rightarrow A_v (\text{closed loop}) = -\frac{\beta \frac{R_C}{R_{TH}}}{1 + \frac{\beta + 1}{\beta} \frac{R_E}{R_C} \beta \frac{R_C}{R_{TH}}} = -\frac{\beta \frac{R_C}{R_{TH}}}{1 + (\beta + 1) \frac{R_E}{R_{TH}}}$$

$$\rightarrow A_v (\text{closed loop}) \underset{\beta \gg 1}{\approx} \frac{A_{VOL}}{1 - A_{VOL} \frac{R_E}{R_C}} \underset{A_{VOL} \gg 1}{\approx} -\frac{R_C}{R_E}$$

Aggiunta di una C di bypass sull'emettitore:



Effetto di C_2 grande quando

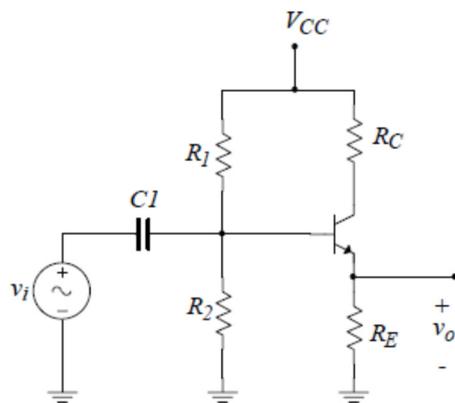
$$\frac{1}{\omega C_2} \ll R_E \rightarrow \omega \gg \frac{1}{R_E C_2}$$

Ad alta frequenza, diminuzione del guadagno di tensione dovuto al calo delle prestazioni del BJT compensata dalla diminuzione di

$$Z_E = R_E \parallel \frac{1}{j\omega C_2} = \frac{R_E \frac{1}{j\omega C_2}}{R_E + \frac{1}{j\omega C_2}} = \frac{\frac{1}{j\omega C_2}}{1 + \frac{1}{j\omega R_E C_2}} \approx \frac{1}{j\omega C_2} \text{ per } \omega \gg \frac{1}{R_E C_2}$$

Altre configurazioni per BJT in zona attiva:

Collettore comune



Ingresso: Base

Uscita: Emittitore

Punto di lavoro: Stessa analisi usata per emettitore comune

Guadagno a bassa frequenza:

$$v_o = i_E R_E = i_B (\beta + 1) R_E$$

$$v_i \simeq i_B [R_{TH} + (\beta + 1) R_E]$$

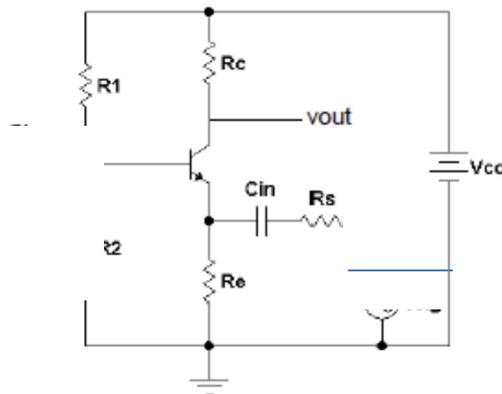
$$\rightarrow \frac{v_o}{v_i} \simeq \frac{(\beta + 1) R_E}{R_{TH} + (\beta + 1) R_E}$$

$$\text{Se } R_{TH} \ll (\beta + 1) R_E \rightarrow \frac{v_o}{v_i} \simeq 1$$

Guadagno quasi unitario: 'Inseguitore di emittitore'

Sistema controreazionato

Base comune



Ingresso: Emittitore

Uscita: Collettore

$$v_o = i_C R_C = \alpha i_E R_C$$

$$v_i \simeq i_E R_E$$

Guadagno in tensione a bassa frequenza:

$$\rightarrow \frac{v_o}{v_i} \simeq \frac{\alpha i_E R_C}{i_E R_E} = \alpha \frac{R_C}{R_E} \approx \frac{R_C}{R_E}$$

→ Come CE, non invertente

Differenze fra le configurazioni:

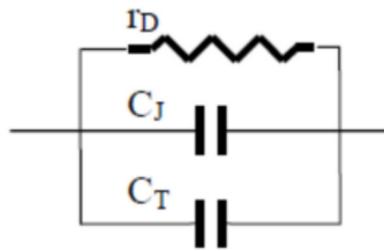
Utile rifarsi a un modello di funzionamento del *BJT*

Molti modelli, utili a fini diversi/in regimi diversi

Idea generale:

Effetto su segnale, in ogni configurazione → Quadripolo

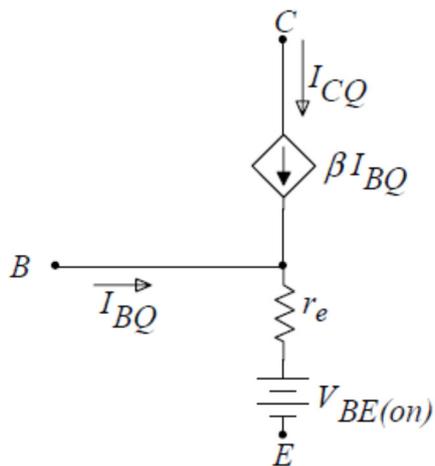
Richiamo: Modello del diodo in conduzione



Inizialmente, solo $r_D = \frac{V_T}{I_D}$

Zona lineare: Giunzione *BE* in conduzione

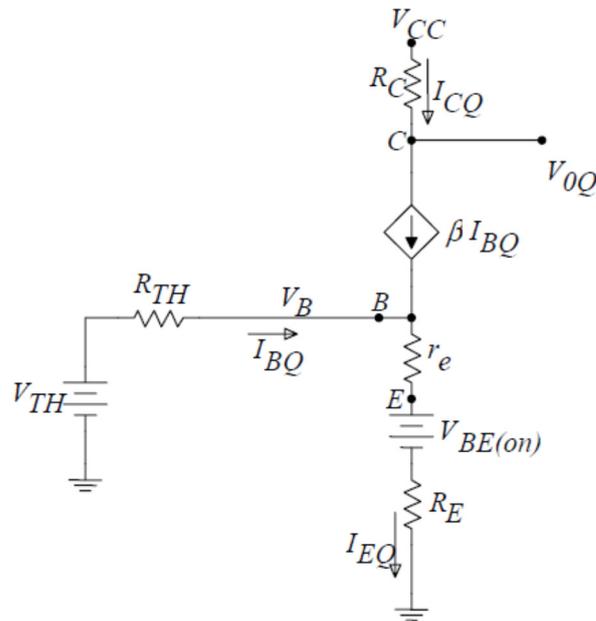
→ Modello a T



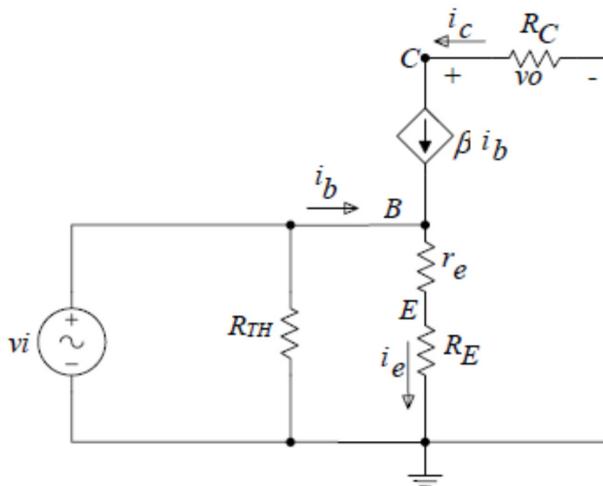
Generatore di corrente controllato:

$$I_C = \beta I_B$$

Modello inserito nella configurazione CE:



Modello a T di CE per i piccoli segnali in AC:



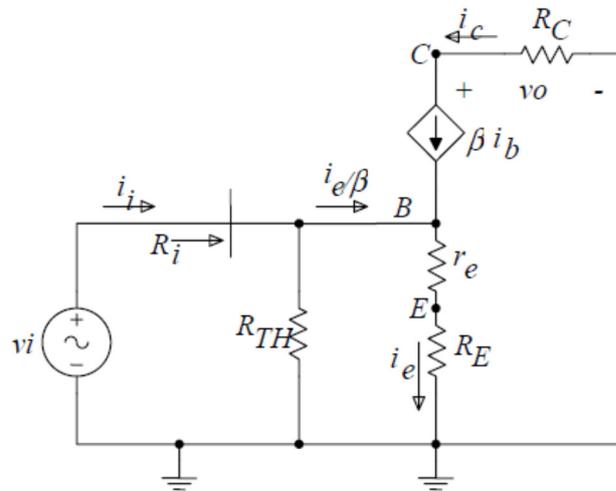
Guadagno di tensione a bassa frequenza:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-i_c R_C}{i_e (r_e + R_E)} = \frac{-\beta i_b R_C}{(1 + \beta) i_b (r_e + R_E)} = -\frac{\beta}{\beta + 1} \frac{R_C}{r_e + R_E}$$

$$r_e \approx \frac{V_T}{I_C} \approx \frac{26}{I_C \text{ (mA)}} \Omega \ll R_E \text{ in generale}$$

$$\rightarrow A_v \approx -\frac{R_C}{R_E}, \text{ OK con risultato già trovato}$$

Resistenze di ingresso, uscita:



$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = R_{TH} \parallel (1 + \beta)(r_e + R_E)$$

Modo di vedere la cosa:

$$R_i = R_{TH} \parallel \text{res. di ingresso del BJT} \equiv r_{in}$$

$$r_{in} = \frac{v_b}{i_b} = \frac{i_e (r_e + R_E)}{i_b} = \frac{i_b (1 + \beta)(r_e + R_E)}{i_b} = (1 + \beta)(r_e + R_E)$$

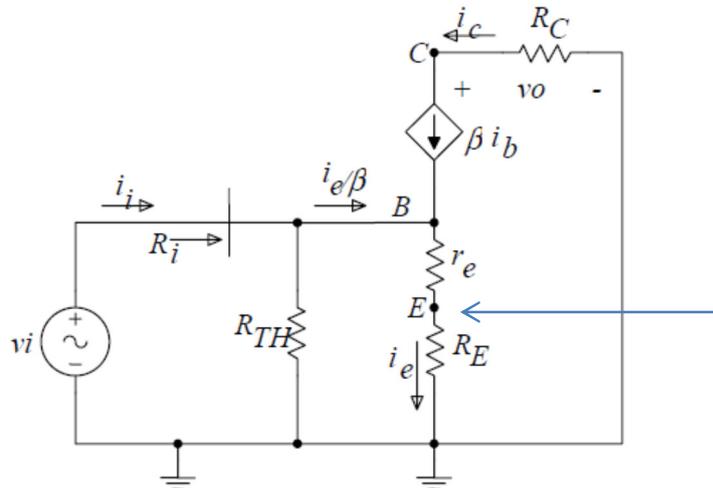
$$R_o = R_C$$

In realta' inesatto, perche' l'effetto Early e' equivalente alla presenza di una resistenza di uscita $< \infty$ per il generatore di corrente nel collettore, di fatto in parallelo a R_C ; tuttavia buona approssimazione

Emitter follower: *CC*

Stesso circuito equivalente a T di prima

Uscita su emettitore



$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = R_{TH} \parallel (1 + \beta)(r_e + R_E) \rightarrow \text{Alta: stessa di } CE$$

$$R_o = r_e \parallel R_E \approx r_e \rightarrow \text{Molto bassa}$$

Modo di vedere la cosa:

Equivalente di Thevenin della rete a monte del punto di uscita = emettitore:

Si ottiene cortocircuitando i gen. di tensione ($= v_{in}$)

e aprendo i gen. di corrente ($= \beta i_b$)

$\rightarrow r_e \parallel R_E \equiv \text{res. di Thevenin} = \text{res. di uscita}$

$\rightarrow CC$: *Buffer*

Guadagno di tensione unitario

Guadagno di corrente elevato

\rightarrow Adattatore di impedenza

Configurazione a base comune: *CB*

Necessita di modelli piu' completi di quello a *T*