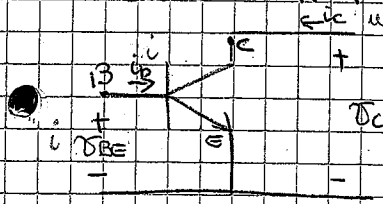
MODELLO PER PICCOLI SEGNALI DEL BJT



MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

$$\begin{cases} v_{be} = h_{ie}\, i_b + h_{re}\, v_{ce} \\ i_c = h_{fe}\, i_b + h_{oe}\, v_{ce} \end{cases}$$

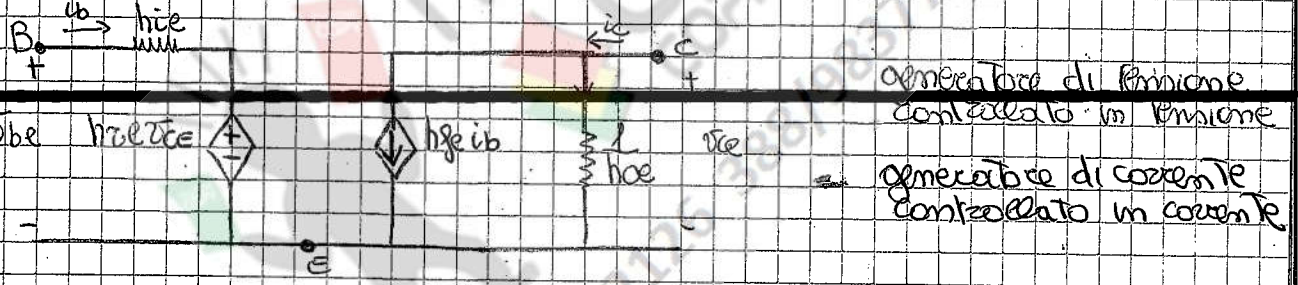
$$h_{ie} = \left.\frac{\partial v_{BE}}{\partial i_B}\right|_Q \qquad h_{fe} = \left.\frac{\partial i_c}{\partial i_b}\right|_Q$$

$$h_{re} = \left.\frac{\partial v_{BE}}{\partial v_{CE}}\right|_Q \qquad h_{oe} = \left.\frac{\partial i_c}{\partial v_{CE}}\right|_Q$$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Circuito eq. a parametri h a emettitore comune

Circuito equivalente che devo sostituire al posto del BJT per piccoli segnali:



generatore di tensione controllato in tensione

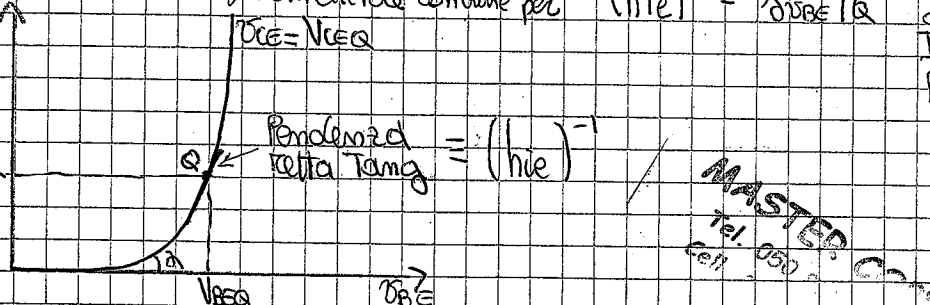
generatore di corrente controllato in corrente

Come determinare $h_{oe}, h_{ie}, h_{fe}, h_{re}$ una volta noto il punto di riposo?

1 MODO: Metodo grafico

Supponiamo di conoscere le caratteristiche di ingresso e di uscita. Considero le derivate come limiti dei rapporti incrementali

- $h_{ie} = \left.\frac{\partial v_{BE}}{\partial i_B}\right|_Q$



caratteris. di ingresso a emettitore comune per $V_{CE} = V_{CEQ}$

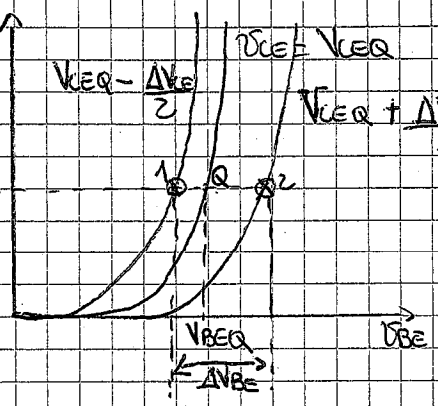
$$(h_{ie})^{-1} = \left.\frac{\partial i_b}{\partial v_{BE}}\right|_Q = \frac{\text{coeff. angolare della retta Tangente nel punto Q}}{}$$

MASTER
Tel. 050
Cell.

• $h_{re} = \left.\frac{\partial V_{BE}}{\partial V_{CE}}\right|_Q \simeq \left.\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta V_{CE}}\right|_Q$ → di quanto cambia V_{BE} per effetto di una variazione di V_{CE}

Se V_{CE} cambia, questa caratteristica cambia: è l'effetto Early

Se V_{CE} aumenta la caratter. si sposta a dx
Se V_{CE} diminuisce " " a sx

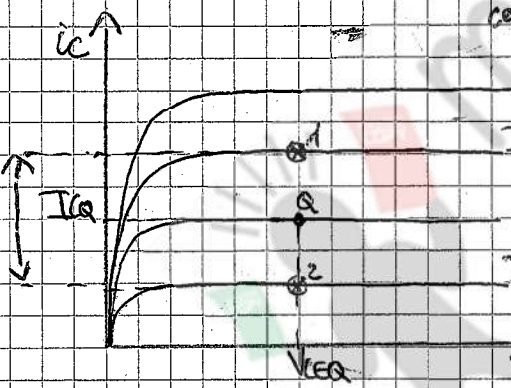


Devo ora vedere come cambia V_{BE} nel punto di riposo: Tengo i_B costante e trovo 2 punti e vado a misurare il ΔV_{BE} che ottengo

h_{re}: è il parametro per piccoli segnali che tiene conto dell'effetto early nelle caratteristiche di ingresso

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

• $h_{fe} = \left.\frac{\partial i_c}{\partial i_b}\right|_Q \simeq \left.\frac{\Delta i_c}{\Delta i_b}\right|_Q$



applico una variazione della i_b e prendo 2 caratteristiche: $I_{BQ} + \frac{\Delta i_b}{2}$ e $I_{BQ} - \frac{\Delta i_b}{2}$

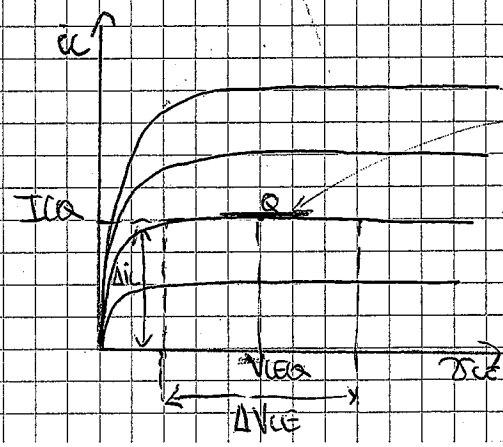
Poi devo vedere come varia la i_C mantenendo gli altri parametri del punto di lavoro costanti: valuto a V_{CE} costante e trovo 2 punti

Più si spostano le caratter. e più ho guadagno

h_{fe}: Tiene conto di quanto variano le caratteristiche in positivo e negativo intorno all'I_{BQ} quando cambia i_b

• $h_{oe} = \left.\frac{\partial i_c}{\partial V_{CE}}\right|_Q \simeq \left.\frac{\Delta i_c}{\Delta V_{CE}}\right|_Q$ → è la derivata calcolata nel punto di lavoro

per I_B costante e pari al valore di riposo. Valuto la



Di solito la Tangente è quasi orizzontale, dato il piccolo valore di h_{oe}, quindi conviene considerare la variazione di i_C

guardare disegno p.61

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

hoe: è il parametro che mi tiene conto dell'effetto Early sulle caratteristiche di uscita

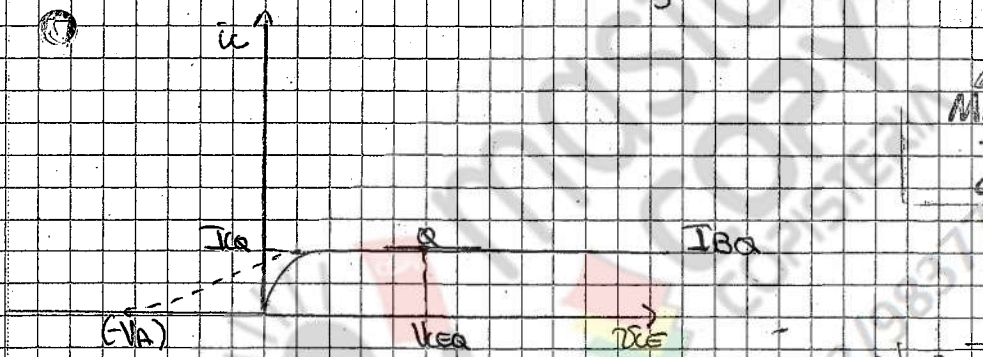
2 MODO: Valutazione hoe tramite la tensione di Early

- $h_{re} = 0$

In quanto l'effetto Early sulle caratteristiche di ingresso è molto piccolo.

$h_{re}=0$ significa che la maglia di ingresso non ha più nessun legame con la maglia di uscita → la maglia di ingresso si riduce a una singola resistenza di h_{ie}

- $h_{oe} \simeq \frac{I_{CQ}}{V_A + V_{CEQ}}$ (si dispongo) rapporto tra i 2 cateti di questo triangolo della tensione di Early

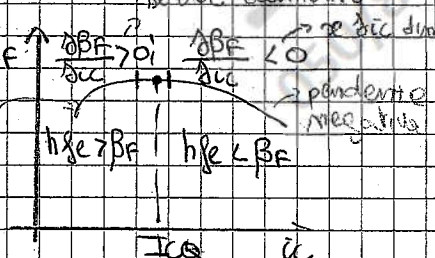


MASTER COPY
Tel. 050 831 21 26
Cell. 388 9037745

→ hoe è definito in modo automatico senza considerare le caratt. di ingresso

- $h_{fe} = \left.\frac{\partial i_C}{\partial i_B}\right|_Q$

Se sono in Z.A.D. $\Rightarrow i_C = \beta_F i_B$



→ non è costante al variare di i_C

se i_C varia, varia anche β_F

MASTER COPY
Tel. 050 831 21 26
Cell. 388 9037745

$\rightarrow \beta_F = f(i_C) = g(i_B)$

$\frac{\partial i_C}{\partial i_B} = \frac{\partial}{\partial i_B}(\beta_F i_B) = \beta_F + \left(\frac{\partial \beta_F}{\partial i_B}\right) i_B = \beta_F + \left(\frac{\partial \beta_F}{\partial i_C} \cdot \frac{\partial i_C}{\partial i_B}\right) i_B =$

(β_F non è costante; $\frac{\partial}{\partial i_B} \to \frac{\partial i_C}{\partial i_B} \cdot \frac{\partial}{\partial i_C}$; $\beta_F \to \frac{\partial \beta_F}{\partial i_C} i_C$; (*) percentuale di variazione di β_F al variare di i_B)

(*) → lo porto a I membro

$= \frac{\partial i_C}{\partial i_B} - \frac{\partial i_C}{\partial i_B}\frac{\partial \beta_F}{\partial i_C} i_B = \beta_F$

$= \left(\frac{\partial i_C}{\partial i_B}\right)\left(1 - \frac{\partial \beta_F}{\partial i_C} i_B\right) = \beta_F$

(metto in evidenza)

$\rightarrow \frac{\partial i_C}{\partial i_B} = \frac{\beta_F}{1 - \frac{\partial \beta_F}{\partial i_C}\cdot\left(\frac{i_C}{\beta_F}\right)}$ ⓐ

$i_C \rightarrow i_B$

$\rightarrow h_{fe} = \frac{\beta_F}{1 - \frac{\partial \beta_F}{\partial i_C} I_{CQ} \beta_F}$ ⓐ* formula corretta

regione tra h_{fe} e β_F

Se $\frac{\partial \beta_F}{\partial i_C} \simeq 0 \rightarrow h_{fe} \simeq \beta_F = h_{FE}$ ⓑ → ma questo non è vero SEMPRE

↓ Se mi sposto poco attorno al punto di lavoro ⇒ derivata NULLA

↳ se β_F è costante o $\beta_F \simeq 0$ ⇒ uso questa approssimazione

ma $h_{fe} \neq h_{FE}$

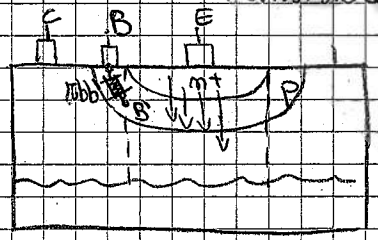
↓ guadagno a piccoli segnali

↓ guadagno a grandi segnali

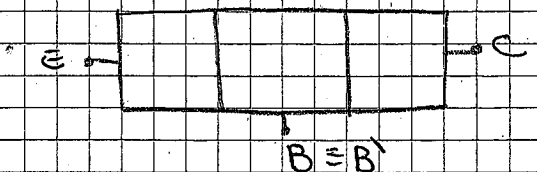
In assenza di informazioni utili uso questa ⓑ

Scomposizione di h_{ie} in $r_{bb'}$ e $r_{b'e}$

- $h_{ie} = r_{bb'} + r_{b'e}$
  - $r_{b'e}$ → è la resistenza differenziale che deriva da v_{BE}
  - $r_{bb'}$ → è la resistenza costante, dovuta al fatto che la i_B deve compiere un percorso. È data da come è stato costruito il Transistore



Il modello di Ebers-Moll è stato ricavato ragionando su questa sezione



Il terminale di base che è laterale non è esattamente in contatto con la zona dove avviene il passaggio di portatori ma è spostato lateralmente.
→ h_{ie} è la somma di 2 contributi

↓ Si individua un contatto interno B' che sarebbe B

$r_{bb'}$ è indipendente dal punto di lavoro. Quanto vale di Ω

↳ è la resistenza di questo pezzo di silicio

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Calcolo parametro differenziale: Valutazione di $r_{b'e}$ a partire dal punto di lavoro

$$r_{b'e} = \left.\frac{\partial v_{B'E}}{\partial i_B}\right|_Q$$

$$(r_{b'e})^{-1} = \left.\frac{\partial i_B}{\partial v_{B'E}}\right|_Q$$

utilizzo le eq. di Ebers-Moll

↓ 2.A.D

$$\begin{cases} i_C = \alpha_F I_{ES}\, e^{\frac{v_{B'E}}{V_T}} \simeq I_{ES}\, e^{\frac{v_{B'E}}{V_T}} \\ i_B = \frac{i_C}{\beta_F} = \frac{1}{\beta_F}\left(I_{ES}\, e^{\frac{v_{B'E}}{V_T}}\right) \end{cases}$$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9637745

$$\frac{\partial i_B}{\partial v_{B'E}} = \frac{\partial}{\partial v_{B'E}}\left[\frac{1}{\beta_F}\left(I_{ES}\, e^{\frac{v_{B'E}}{V_T}}\right)\right] =$$

$$= \frac{1}{\beta_F}\cdot\frac{1}{V_T}\underbrace{I_{ES}\, e^{\frac{v_{B'E}}{V_T}}}_{i_C} + \underbrace{\left(-\frac{1}{\beta_F^2}\cdot\frac{\partial \beta_F}{\partial v_{B'E}}\right)}_{\text{derivata di } 1/\beta_F}\underbrace{\left(I_{ES}\, e^{\frac{v_{B'E}}{V_T}}\right)}_{i_C} =$$

$$= \frac{1}{\beta_F}\frac{1}{V_T} i_C - \frac{1}{\beta_F^2} i_C \left(\frac{\partial \beta_F}{\partial i_C}\cdot\frac{\partial i_C}{\partial v_{B'E}}\right) =$$

$\rightarrow \frac{\partial}{\partial v_{B'E}}\left(I_{ES}\, e^{\frac{v_{B'E}}{V_T}}\right) = \frac{1}{V_T}\underbrace{I_{ES}\, e^{\frac{v_{B'E}}{V_T}}}_{i_C}$

$$= \frac{1}{\beta_F}\frac{1}{V_T} i_C - \frac{1}{\beta_F^2} i_C \left(\frac{\partial \beta_F}{\partial i_C}\right)\left(\frac{1}{V_T}\right) i_C =$$

metto in evidenza

$$= \frac{1}{\beta_F}\frac{1}{V_T} i_C \left[1 - \frac{1}{\beta_F}\cdot\frac{\partial \beta_F}{\partial i_C} i_C\right]_Q =$$

$$\left.\frac{\partial \beta_F}{\partial i_C}\right|_Q \frac{I_{CQ}}{\beta_F} = \frac{\beta_F}{h_{fe}}$$ (il contributo ⊛)

$$\circledast 1 \quad \frac{1}{h_{fe}} = 1 - \frac{\partial \beta_F}{\partial i_C}\frac{i_C}{\beta_F}$$

$$\frac{\beta_F}{h_{fe}}$$

$$= \frac{1}{\beta_F}\cdot\frac{1}{V_T} I_{CQ}\frac{\beta_F}{h_{fe}} =$$

$$= \frac{I_{CQ}}{V_T h_{fe}} = (r_{b'e})^{-1}$$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9637745

$$\rightarrow r_{b'e} = \frac{V_T}{I_{CQ}}\cdot h_{fe}$$

$r_{bb'}$ = non lo conosco a meno che non me lo fornisce il costruttore. $r_{bb'} \ll r_{b'e}$ quindi anche se non lo conosco non fa nulla, è trascurabile.

Se il costruttore mi fornisce direttamente $r_{bb'}$ → ho finito
Ma se il costruttore mi fornisce: h_{ie} @ $I_{CQ} = 2\,mA$ → per un particolare punto di riposo
$V_{CEQ} = 5\,V$
$h_{ie} = 5\,k\Omega$

* : parametri dati dal costruttore