ESERCIZIO: QUASI DARLINGTON #1

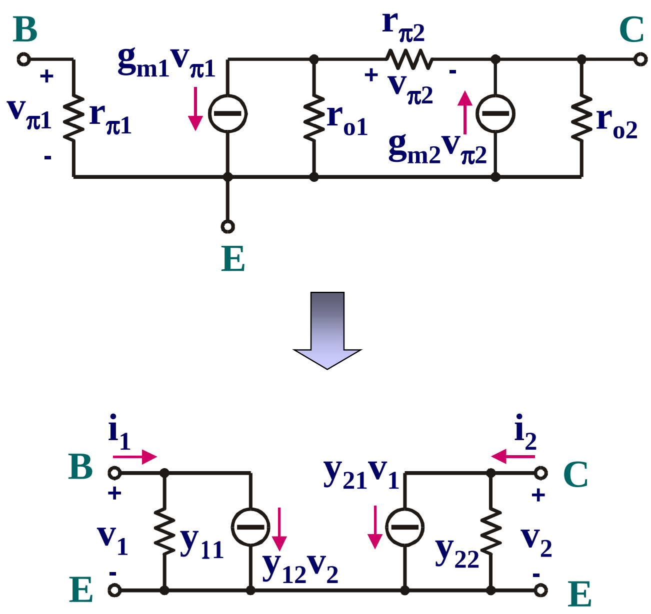

Figura 1

SOLUZIONE

Il modello ai piccoli segnali della connessione quasi darlington è riportato in figura 1, assieme alla rappresentazione equivalente a parametri [y] caratterizzata dalle seguenti equazioni:

$$\begin{cases} i_1 = y_{11}v_1 + y_{12}v_2 \\ i_2 = y_{21}v_1 + y_{22}v_2 \end{cases} \tag{1}$$

Dalla (1), si ricavano le seguenti definizioni dei parametri [y]:

$$y_{11} = \frac{i_1}{v_1}\Big|_{v_2=0} \tag{2.a}$$

$$y_{12} = \frac{i_1}{v_2}\Big|_{v_1=0} \tag{2.b}$$

$$y_{21} = \frac{i_2}{v_1}\Big|_{v_2=0} \tag{2.c}$$

$$y_{22} = \frac{i_2}{v_2}\Big|_{v_1=0} \tag{2.d}$$

Prima di procedere con il loro calcolo, ricaviamo i vincoli imposti dalla particolare connessione in oggetto ai parametri ai piccoli segnali di ciascun transistor. Per quanto riguarda il parametro transconduttanza possiamo scrivere:

$$I_{B2} = I_{C1} \quad \Rightarrow \quad I_{C2} = \beta_{F2}I_{B2} = \beta_{F2}I_{C1} \tag{3.a}$$

da cui,

$$g_{m2}=\frac{I_{C2}}{V_T}=\frac{\beta_{F2}I_{C1}}{V_T}=\beta_{F2}g_{m1}\quad\Rightarrow\quad g_{m2}\approx\beta_{02}g_{m1}\tag{3.b}$$

Di conseguenza, le resistenze di ingresso devono soddisfare la seguente relazione:

$$r_{\pi 2}=\frac{\beta_{02}}{g_{m2}}\approx\frac{1}{g_{m1}}=\frac{r_{\pi 1}}{\beta_{01}}\tag{4}$$

Per quanto riguarda le resistenze di uscita possiamo scrivere:

$$r_{o1}=\frac{V_{CE1}+V_A}{I_{C1}}\approx\frac{V_A}{I_{C1}}=\frac{V_A}{I_{C2}}\frac{I_{C2}}{I_{C1}}\approx\beta_{02}r_{o2}\tag{5}$$

Per il calcolo dei parametri [y], facciamo riferimento alle figure 3 e 4, nelle quali si è considerato $v_1 = 0$ e $v_2 = 0$ rispettivamente. Le espressioni approssimate ricavate in seguito considerano $\beta_0 >> 1$.

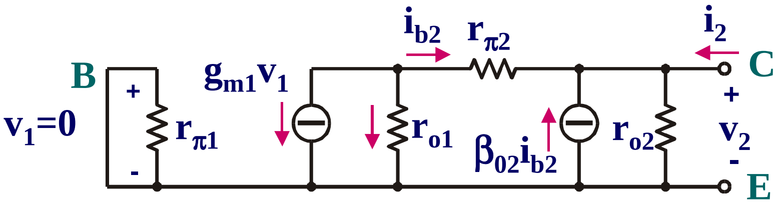

Figura 3

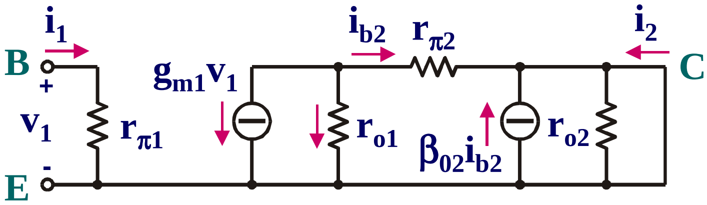

Figura 4

Determinazione di y_{11}:

Il parametro y_{11} rappresenta la conduttanza di ingresso quando viene annullata la tensione di uscita. Il circuito da analizzare è pertanto quello mostrato in figura 4 nel quale si è posto l'uscita in cortocircuito e si è applicato un generatore di tensione v_1 in ingresso. Da questo schema si calcola il rapporto i_1/v_1 come segue:

$$v_1=r_{\pi 1}i_1\tag{6}$$

$$y_{11}=\frac{1}{r_{\pi 1}}\approx\frac{1}{r_{\pi 2}\beta_{01}}\tag{7}$$

dove si è fatto uso della (4).

Determinazione di y_{12}:

Il parametro y_{12} rappresenta la transconduttanza inversa quando viene cortocircuitata la porta di ingresso. Il circuito da analizzare è mostrato in figura 3. Da questo schema otteniamo:

$$i_1 = 0 \quad \Rightarrow \quad y_{12} = 0 \tag{8}$$

Determinazione di y_{21}:

Il parametro y_{21} rappresenta la transconduttanza diretta con l'uscita in cortocircuito. Per la sua determinazione si faccia uso della figura 4. Da questo schema calcoliamo:

$$i_2 = -(1+\beta_{02})i_{b2} \tag{9}$$

$$i_{b2} = -i_{o1} - g_{m1}v_1 \tag{10}$$

$$i_{o1} = \frac{r_{\pi 2} i_{b2}}{r_{o1}} \tag{11}$$

Sostituendo la (11) nella (10) otteniamo:

$$i_{b2} = -\frac{g_{m1}}{1+\frac{r_{\pi 2}}{r_{o1}}} v_1 \tag{12}$$

che, sostituita nella (9) fornisce la seguente espressione (si utilizzi la (3.b)):

$$y_{21} = (1+\beta_{02})\left(\frac{g_{m1}}{1+\frac{r_{\pi 2}}{r_{o1}}}\right) = \left(\frac{1+\beta_{02}}{\beta_{02}}\right)\left(\frac{g_{m2}}{1+\frac{r_{\pi 2}}{\beta_{01} r_{o2}}}\right) \approx \frac{g_{m2}}{1+\frac{V_T}{V_A}} \approx g_{m2} \tag{13}$$

(Il potenziale termico V_T è, senza ombra di dubbio, ordini di grandezza inferiore alla tensione di early V_A).

Determinazione di y_{22}:

Il parametro y_{22} rappresenta la conduttanza di uscita quando viene cortocircuitata la porta di ingresso. Il circuito da analizzare rimane quello di figura 3. Possiamo scrivere:

$$y_{22} = \frac{1}{r_{o2}} + \frac{1+\beta_{02}}{r_{o1} + r_{\pi 2}} \approx \frac{1}{r_{o2}} + \frac{1+\beta_{02}}{\beta_{02} r_{o2} + r_{\pi 2}} \approx \frac{1}{r_{o2}} + \frac{1}{r_{o2} + \frac{r_{\pi 2}}{\beta_{02}}} = \frac{1}{r_{o2}} + \frac{1}{r_{o2} + \frac{1}{g_{m2}}} \approx \frac{2}{r_{o2}} \tag{14}$$

In definitiva, la connessione quasi darlington può essere trattata alla stregua di un singolo transistor avente il seguente modello ai piccoli segnali:

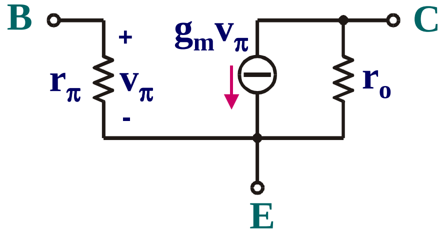

Figura 5

in cui i parametri valgono:

$$r_\pi \approx \beta_{01} r_{\pi 2} \tag{15.a}$$

$$g_m \approx g_{m2} \tag{15.b}$$

$$r_o \approx \frac{r_{o2}}{2} \tag{15.c}$$