

**Esame di Elettronica**  
**Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni**  
**13 settembre 2012**

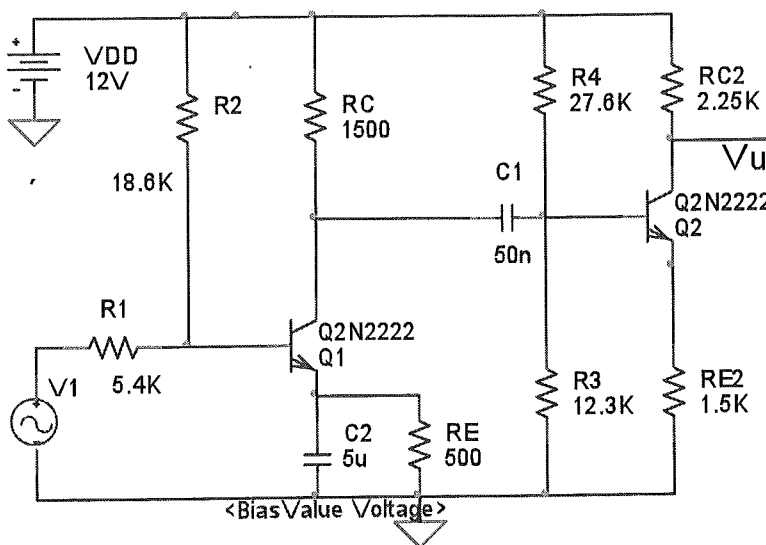
1. Si supponga di avere a disposizione un amplificatore differenziale con guadagno di tensione a centrobanda  $A_V = 10000$  e limite superiore di banda 10 Hz. Si supponga che l'impedenza di ingresso sia 10 K $\Omega$  e l'impedenza di uscita 1 K $\Omega$ . Si introduca una reazione in modo da ottenere una banda passante di 1 KHz, un'impedenza di uscita inferiore a 100  $\Omega$  e impedenza d'ingresso superiore a 100 K $\Omega$ , giustificando il procedimento. Calcolare la nuova funzione di trasferimento.
2. Calcolare il guadagno di corrente di corto circuito di un transistor bipolare in funzione della frequenza. Enunciare la definizione di frequenza di transizione di un BJT e ricavare l'espressione del suo valore in funzione dei parametri del circuito di piccolo segnale.

3. Con riferimento al circuito mostrato a lato, calcolare:

- il punto di riposo dei due transistori Q1 e Q2 e i parametri del circuito di piccolo segnale
- la funzione di trasferimento a centro banda
- il limite superiore di banda

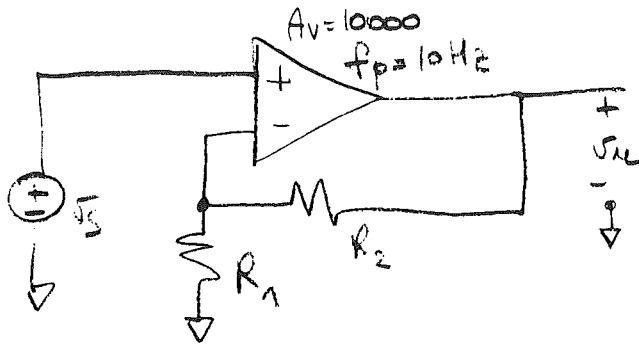
Fare le seguenti ipotesi semplificative:

- Q2 totalmente resistivo (non considerare le capacità del circuito di piccolo segnale).
- Q1 e Q2 hanno  $h_{oe}$  nullo



- ①  $R_{in} = 10\text{K}\Omega$       vogliamo       $R_{IF} > 100\text{K}\Omega$   
 $R_{out} = 1\text{K}\Omega$                                $R_{OF} < 100\Omega$

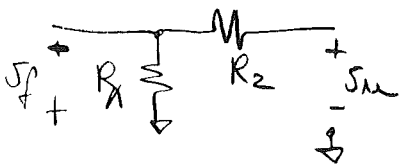
abbiamo quindi bisogno di una reazione con prelievo di tensione e inserzione di tensione



Poché vogliamo  $f_H = 1\text{KHz}$  abbiamo

$$f_H = (1 - \beta A_e) \frac{f_p}{\beta} \rightarrow 1 - \beta A_e = 100 \rightarrow \beta A_e = -99$$

Rete per  $\beta$ :

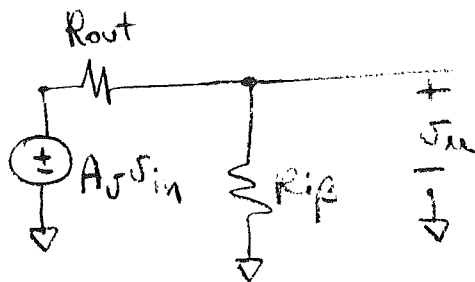
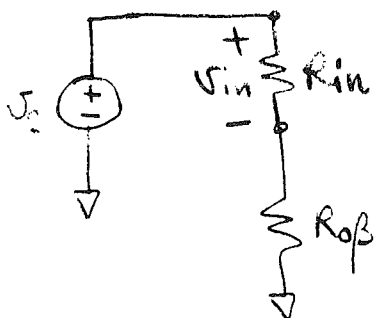


$$v_f = \beta v_u + R_o \beta i_f$$

$$i_u = \frac{v_u}{R_1 \beta} + i_f$$

$$\beta = \left. \frac{v_f}{v_u} \right|_{i_u=0} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}, \quad R_o \beta = \left. \frac{v_f}{i_f} \right|_{v_u=0} = R_1 // R_2; \quad R_i \beta = \left. \frac{v_u}{i_u} \right|_{v_f=0} = R_1 + R_2$$

Rete per  $A_e$



$$A_e = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{o\beta}} A_o \frac{R_{i\beta}}{R_{i\beta} + R_{out}}$$

$$-\frac{R_i}{R_1+R_2} \left[ \frac{R_{in}}{R_{in}+R_1 \parallel R_2} A_v \frac{R_1+R_2}{R_1+R_2+R_{out}} \right] = -99$$

condizioni:

$$R_{in} = (R_{in} + R_{op}) (1 - \beta A_e) > 100 \text{ k}\Omega \quad \begin{array}{l} \text{sempre} \\ \text{soddisfatta} \end{array}$$

$\uparrow$   $10 \text{ k}\Omega$                        $\uparrow$   $100$

$$R_{out} = \frac{R_1 \parallel R_2 \parallel R_{out}}{1 - \beta A_e} < 100 \Omega \quad \text{sempre soddisfatta}$$

$\nwarrow$   $1 \text{ k}\Omega$   
 $\uparrow$   $100$

inoltre  $R_1+R_2 = 1 \text{ k}\Omega$  abbiamo di sicuro  $R_1 \parallel R_2$  più piccolo di  $\frac{R_{in}}{100}$

quindi trascurabile nel termine  $R_{in}+R_1 \parallel R_2$ .

$$A_e = \frac{-R_1 A_v}{R_1+R_2+R_{out}} = -99 \Rightarrow R_1 = \frac{+99 \cdot 2000}{10000} = \underline{\underline{+19,8 \Omega}}$$

$\nwarrow$   $10^4$   
 $\nwarrow$   $1000$                        $\uparrow$   $1000$

$$R_2 = 1000 - R_1 = \underline{\underline{980,2 \Omega}}$$

ma dunque  $R_{op} = R_1 \parallel R_2 = 19,4 \Omega$

$$R_{in} = (R_{in} + R_{op}) (1 - \beta A_e) = 100019,4 \cdot 100 = \underline{\underline{10 \text{ M}\Omega}}$$

$$R_{out} = \frac{(R_1+R_2) \parallel R_{out}}{1 - \beta A_e} = \frac{1000}{100} = \underline{\underline{10 \Omega}}$$

l'esercizio è stato svolto a lezione. Verificare.

RIPOSO

$$I_{12} = \frac{V_{DD}}{R_1 + R_2} = \frac{12}{24 \cdot 10^3} = 0.5 \mu A$$

$$V_{B1} = I_{12} \cdot R_1 = 2.7 V$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_{\gamma} = 2 V$$

$$I_{E1} = \frac{V_{E1}}{R_{E1}} = 4 \mu A \approx I_{C1}$$

$$V_{CB1} = 3.3 V$$

$$V_{C1} = V_{DD} - R_{C1} \cdot I_{C1} = 12 - 6 = 6 V$$

$$V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} = 4 V$$

Dal datasheet, per  $I_{C1} = 4 \mu A$ ,  $h_{FE1} \approx 180$

$$I_{B1} = \frac{I_{C1}}{h_{FE1}} = 22.2 \mu A \ll I_{12} \quad \text{Partitore Resistive OK}$$

$$I_{34} = \frac{V_{DD}}{R_3 + R_4} = \frac{12}{39.9 \cdot 10^3} = 0.3 \mu A$$

$$V_{B2} = I_{34} \cdot R_3 = 3.69 V$$

$$V_{E2} = V_{B2} - V_{\gamma} \approx 3 V$$

$$V_{CB2} = 3.81 V$$

$$I_{C2} \approx \frac{V_{E2}}{R_{E2}} = 2 \mu A \quad h_{FE2} \approx 160$$

$$V_{C2} = V_{DD} - R_{C2} \cdot I_{C2} = 12 - 4.5 = 7.5 V$$

$$V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = 4.5 V$$

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{h_{FE2}} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{160} = 12.5 \mu A \ll I_{34} \quad \text{Partitore Resistive OK}$$

$h_{oe1} = h_{oe2} = 0$  vedi testo

Per  $h_{fe}$  possiamo anche prendere il valore @  $1 \mu A$ :

$$h_{fe1} \approx h_{fe2} \approx \frac{h_{fe[1\mu A]_{min}} + h_{fe[1\mu A]_{max}}}{2} = 175$$

$$g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{26 \cdot 10^{-3}} = 15.38 \cdot 10^{-2} \Omega^{-1}$$

$$r_{\pi1} = \frac{h_{fe1}}{g_{m1}} = \frac{175}{15.38 \cdot 10^{-2}} = 1138 \Omega$$

$$r_b \approx 450 \Omega$$

$$h_{ie1} = r_{\pi1} + r_b = 1588 \Omega$$

Dalle caratteristiche  $C_{\mu1} \approx 5 \text{ pF}$ ,  $f_{T1} \approx 200 \text{ MHz}$  ;

$$f_{T1} = \frac{g_{m1}}{2\pi(C_{\mu1} + C_{\pi1})} \Rightarrow C_{\pi1} = \frac{g_{m1}}{2\pi f_{T1}} - C_{\mu1} = 117 \text{ pF}$$

$$g_{m2} = \frac{I_{C2}}{V_T} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{26 \cdot 10^{-3}} = 7.69 \cdot 10^{-2} \Omega^{-1}$$

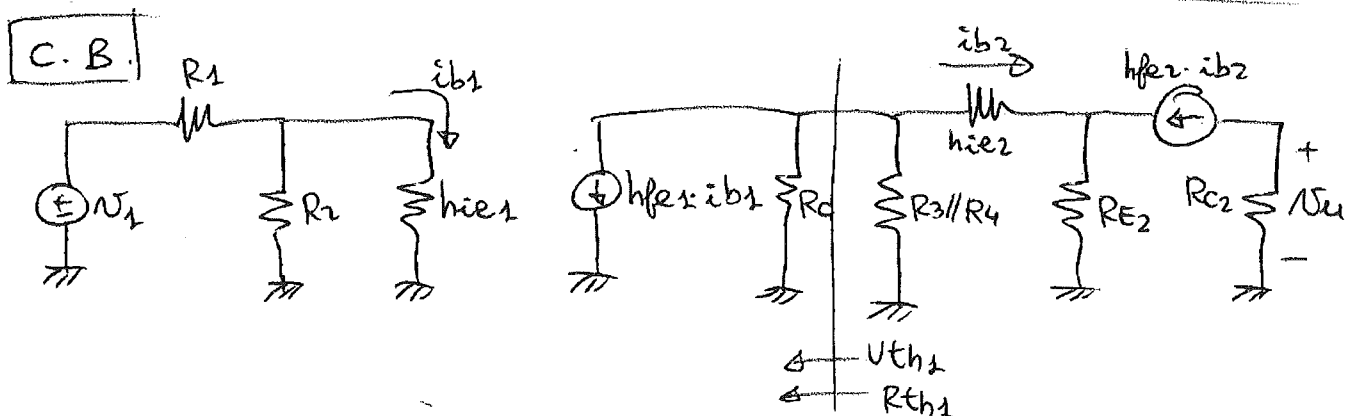
$$r_{\pi2} = \frac{h_{fe2}}{g_{m2}} = \frac{175}{7.69 \cdot 10^{-2}} = 2275 \Omega$$

$$h_{ie2} = r_{\pi2} + r_b = 2725 \Omega$$

Dalle caratteristiche  $C_{\mu2} \approx 5 \text{ pF}$ ,  $f_{T2} \approx 140 \text{ MHz}$  ;

$$C_{\pi2} = \frac{g_{m2}}{2\pi f_{T2}} - C_{\mu2} = 82 \text{ pF}$$

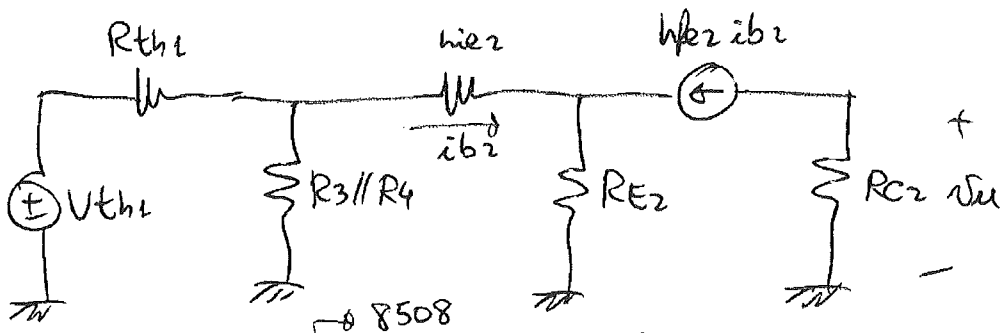
NON RICHIEDE DAL TESTO



$$\frac{V_{th1}}{V_B} = \frac{-R_2}{R_2 + R_1} \cdot \frac{h_{fe1} \cdot R_c}{(R_1 \parallel R_2) + h_{ie1}} = -35.24$$

$\hookrightarrow 4185$

$$R_{th1} = R_c = 1500 \Omega$$



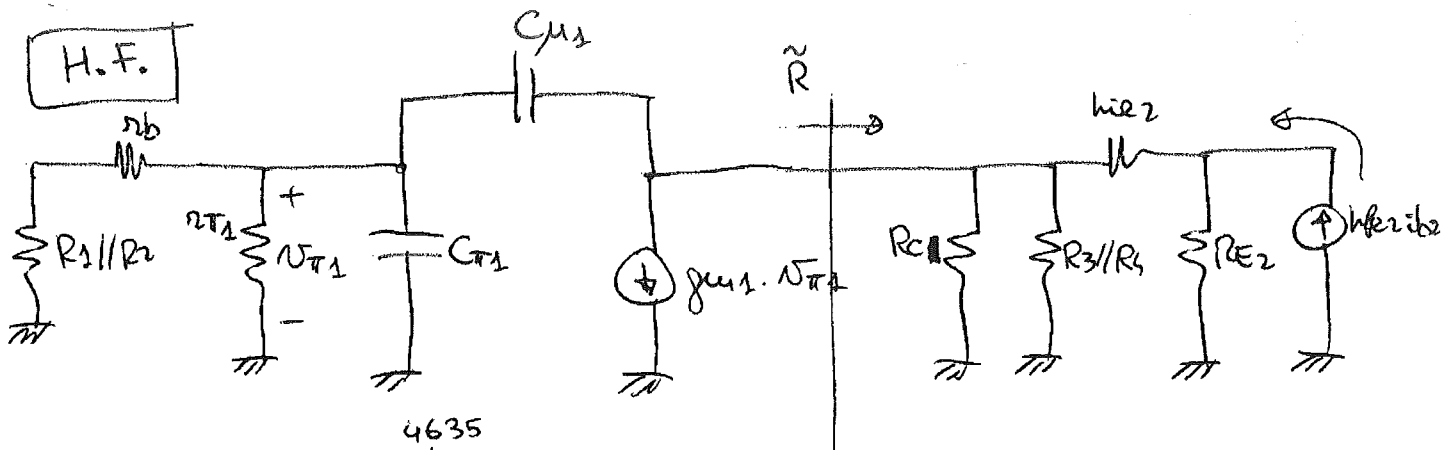
$$\frac{v_o}{V_{th1}} = \frac{R_3 // R_4}{R_{th1} + R_3 // R_4} \cdot \frac{-h_{fe2} R_{C2}}{R_{th1} // R_3 // R_4 + h_{ie2} + R_{E2} (h_{fe2} + 1)}$$

$\downarrow$   
8508

$\downarrow$   
1275

$$= -0.85 \cdot 1.47 = -1.25$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_{i1}} = \frac{V_{th1}}{v_{i1}} \cdot \frac{v_o}{V_{th1}} = 35.24 \times 1.25 = \underline{\underline{44.05}}$$



$$R_{V_{\pi 1}} = r_{\pi 1} // \left[ r_b + R_1 // R_2 \right] = 914 \Omega$$

$\downarrow$   
4635

$$\tilde{R} = R_C // R_3 // R_4 // (h_{ie2} + R_{E2} (h_{fe2} + 1)) = 1269 \Omega$$

$\downarrow$   
8245

$$R_{V_{\mu 1}} = R_{V_{\pi 1}} (1 + g_{m1} \tilde{R}) + \tilde{R} = 180.57 \text{ k}\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi} \left[ R_{V_{\pi 1}} \cdot C_{\pi 1} + R_{V_{\mu 1}} \cdot C_{\mu 1} \right]^{-1} = \underline{\underline{157.61 \text{ kHz}}}$$