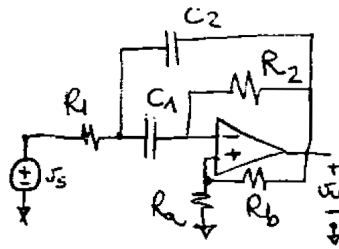


Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
 2 luglio 2015

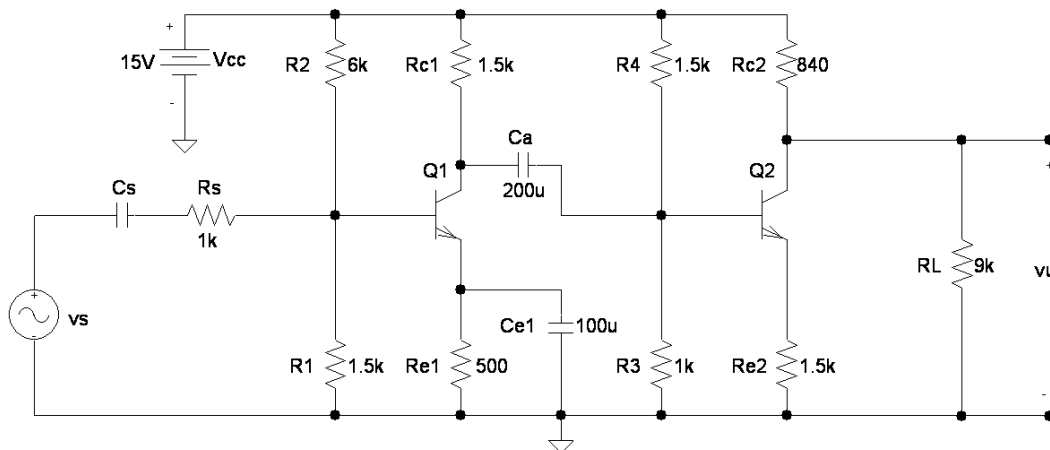
1. Sia dato un amplificatore con amplificazione di tensione $A_v=2400$, $R_{in}=80\text{ K}\Omega$, $R_{out}=1200\ \Omega$. Imporre una reazione in modo da ottenere una resistenza d'ingresso minore di $2\text{ K}\Omega$, una resistenza di uscita minore di $80\ \Omega$ e maggiore di $30\ \Omega$.
2. Calcolare la funzione di trasferimento del filtro a lato e disegnarne il diagramma di Bode.



$R_1 = 1\text{ K}\Omega$
 $R_2 = 1\text{ K}\Omega$
 $C_1 = 100\ \mu\text{F}$
 $C_2 = 100\ \mu\text{F}$
 $R_a = 1\text{ K}\Omega$
 $R_b = 10\text{ K}\Omega$

3. Dato l'amplificatore disegnato in figura, in cui Q1 e Q2 sono BC109B, calcolare:
 - il punto di riposo dei due transistori,
 - l'amplificazione V_u/V_s a centrobanda,
 - il limite inferiore di banda

Ipotesi semplificative: Q1 e Q2 hanno $h_{oe}=0$ e $h_{re}=0$; considerare $C_s \rightarrow \infty$
 Punteggio totale Parte B: 14.



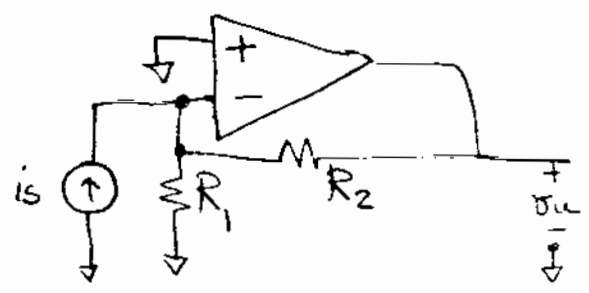
1) dobbiamo effettuare una reazione con prelievo di tensione e inserzione di corrente.

$$R_F = \frac{R_{in} \parallel R_{o\beta}}{1 - \beta A_{e0}} < 2 \text{ K}\Omega$$

$\uparrow 80 \text{ K}\Omega$
 $\uparrow 1200 \Omega$

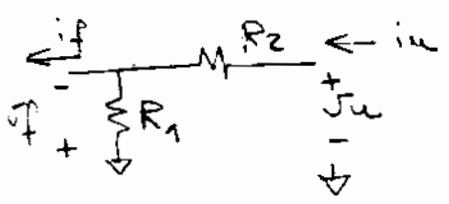
$$30 \Omega < R_{oF} = \frac{R_{out} \parallel R_{i\beta}}{1 - \beta A_{e0}} < 80 \Omega$$

circuito



visto che non sono specificati altri valori, per semplicità scegliamo un generatore di corrente ideale all'ingresso, e il circuito a vuoto in uscita.

Rete per B



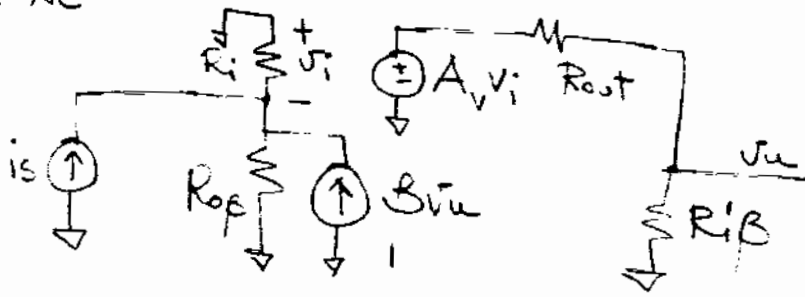
$$\begin{cases} i_f = \beta V_u + \frac{V_f}{R_{o\beta}} \\ i_u = \frac{V_u}{R_{i\beta}} - \frac{V_f}{R_{i\beta}} \leftarrow \text{trascuriamo} \end{cases}$$

$$f = \left. \frac{i_f}{V_u} \right|_{V_f=0} = \frac{1}{R_2}$$

$$R_{oF} = \left. \frac{V_f}{i_f} \right|_{V_u=0} = R_1 \parallel R_2$$

$$R_{iF} = \left. \frac{V_u}{i_u} \right|_{V_f=0} = R_2$$

Rete per Ae



$$A_{eo} \equiv \frac{v_u}{i_s} \Big|_{\beta=0} = - (R_i // R_{op}) A_v \frac{R_{out}}{R_{out} + R_i \beta}$$

$$1 - \beta A_{eo} = 1 + \frac{R_i // R_1 // R_2}{R_2} A_v \frac{R_{out}}{R_{out} + R_2}$$

$$R_{if} = \frac{R_i // R_1 // R_2}{(1 - \beta A_{eo})} < 2 \text{ k}\Omega \quad (1)$$

$$30 \Omega < R_{of} = \frac{R_{out} // R_f}{(1 - \beta A_{eo})} < 50 \Omega \quad (2)$$

Se scegliamo $R_2 = R_{out}$ possiamo poi modificare R_1 per soddisfare la (2).
La (1) viene automaticamente soddisfatta perché il numeratore è più piccolo di R_2 (1200Ω).

Vediamo la (2)

$$30 \Omega < R_{of} = \frac{R_{out}}{2(1 - \beta A_{eo})} < 80 \Omega$$

da cui

$$\frac{R_{out}}{160 \Omega} = 7.5 < (1 - \beta A_{eo}) < \frac{R_{out}}{60 \Omega} = 20$$

$$7.5 < 1 + \frac{R_i // R_1 // R_{out}}{2 R_{out}} A_v < 20$$

poiché dalle equazioni $R_i \ll R_{out}$ possiamo scrivere $R_i // R_{out} // R_1 \approx R_1$

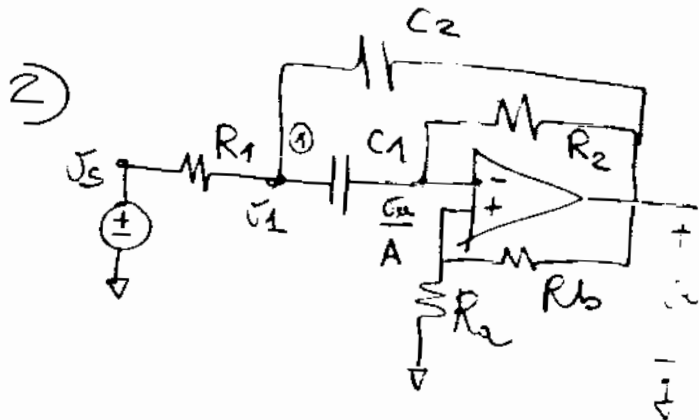
$$\frac{13 R_{out}}{A_v} < R_1 < \frac{19 \cdot 2 R_{out}}{A_v}$$

per esempio $R_1 = \frac{R_{out}}{100} \cdot 125$

Abbiamo $1 - \beta A_0 = 1 + 12 = 13$

$R_{IF} = 0.77 \Omega$

$R_{OF} = 46.2 \Omega$



chiamiamo $A = 1 + \frac{R_b}{R_a} = 11$

per il nodo circuito virtuale $v_- = \frac{v_u}{A}$

equazione al nodo ①

$$\begin{cases} v_1 \left(C_1 s + C_2 s + \frac{1}{R_1} \right) - v_s \frac{1}{R_1} - \frac{v_u}{A} C_1 s - v_u C_2 s = 0 \\ \left(v_1 - \frac{v_u}{A} \right) C_1 s = \left(\frac{v_u}{A} - v_u \right) \frac{1}{R_2} \end{cases}$$

$$\rightarrow v_1 C_1 s = v_u \left[\frac{C_1 s}{A} + \frac{1}{R_2 A} - \frac{1}{R_2} \right]$$

$$\left[\frac{C_1 s}{A} + \frac{1}{R_2 A} - \frac{1}{R_2} \right] \frac{v_u}{C_1 s} \left(C_1 s + C_2 s + \frac{1}{R_1} \right) - \frac{v_s}{R_1} - \frac{v_u}{A} \frac{C_1 s}{A} - v_u C_2 s = 0$$

$$v_u \left[\frac{C_1 s}{A} - \frac{C_1 s}{A} \frac{C_2}{C_1} + \frac{1}{R_1 A} + \frac{1}{R_2} \left(\frac{1}{A} - 1 \right) \left(1 + \frac{C_2}{C_1} + \frac{1}{R_1 C_1 s} \right) - \frac{C_1 s}{A} - C_2 s \right] = \frac{v_s}{R_1}$$

$$v_u \frac{R_1 R_2 C_1^2 s^2 + R_1 R_2 C_1 C_2 s^2 + R_2 C_1 s + R_1 C_1 s (1-A) \left(1 + \frac{C_2}{C_1} + \frac{1}{R_1 C_1 s} \right) - R_1 R_2 C_1 s - R_1 R_2 C_2 A s^2}{A R_1 C_1 R_2 s} = \frac{v_s}{R_1}$$

$$= \frac{v_s}{R_1}$$

$$\frac{v_u}{v_s} = \frac{A R_2 C_1 s}{-s^2 \left[R_1 R_2 C_1 (A-1) \right] + \left[R_1 C_1 s (A-1) - R_2 C_1 s + R_1 C_2 (A-1) \right] - (A-1) \left(1 + \frac{C_2}{C_1} \right)}$$

$$\frac{v_u}{v_s} = \frac{-AR_2C_1s}{R_1R_1C_1C_2(A-1)s^2 + [R_1(C_1+C_2)(A-1) - R_2C_1]s + (A-1)(1 + \frac{C_2}{C_1})}$$

poiché $C_2 = C_1 = C$
 $R_2 = R_1 = R$

$$H(s) = \frac{v_u}{v_s} = \frac{-ARCs}{RC^2(A-1)s^2 + [2RC(A-1) - RC]s + 2(A-1)}$$

denominatore

$$0.1s^2 + (2 - 0.1)s + 20 = 0$$

$$0.1s^2 + 1.9s + 20 = 0$$

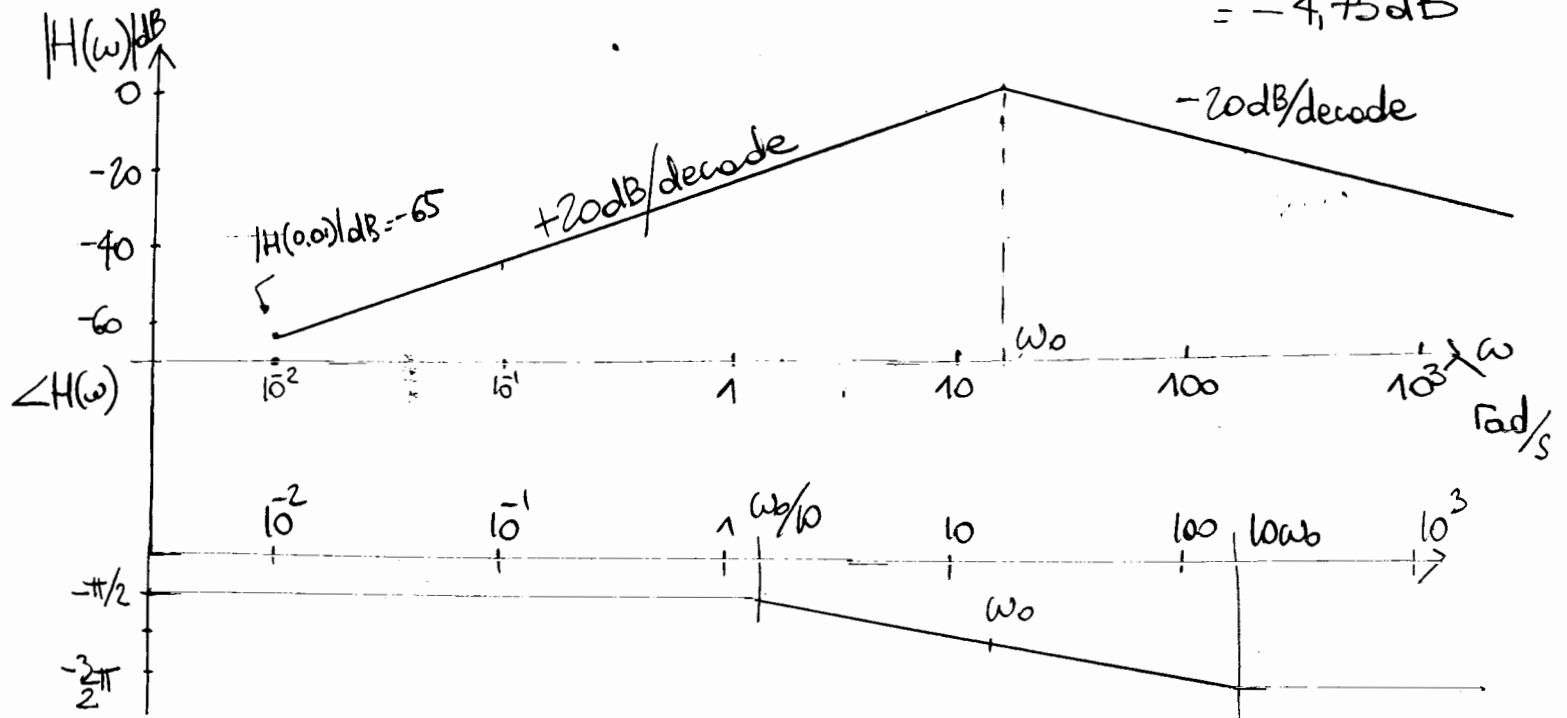
i poli sono complessi coniugati

$$\frac{1}{\omega_0^2} = \frac{0.1}{20} = \frac{1}{200} \rightarrow \omega_0 = \sqrt{200} = 14.14 \text{ rad/s}$$

$$\frac{1.9}{20} = \frac{1}{\omega_0 Q} \rightarrow Q = \frac{20}{1.9 \omega_0} = \frac{20}{1.9 \cdot 14.14} = 0.744$$

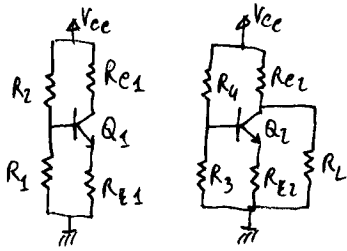
$$\left. \frac{v_u}{v_s} \right|_{s=j\omega} = \frac{-ARC\omega_0}{[2RC(A-1) - RC]\omega_0} = \frac{-A}{2(A-1) - 1} = \frac{-11}{19} = -0.579$$

$$= -4.75 \text{ dB}$$



PARTE B

PUNTO DI RIPOSO



IPOTESI DI PARTITORE PESANTE

IPOTESI DI PARTITORE PESANTE

$$V_{B1} = V_{cc} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 3V$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_{BE} = 2,3V$$

$$I_{E1} \approx \frac{V_{E1}}{R_{E1}} = 4,6 mA$$

$$V_{B2} = V_{cc} \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 6V$$

$$V_{E2} = V_{B2} - V_{BE} = 5,3V$$

$$I_{E2} \approx \frac{V_{E2}}{R_{E2}} = 3,53 mA$$

$$V_{C1} = V_{cc} - R_{c1} I_{C1} = 8,1V \Rightarrow V_{CE1} = 5,8V$$

$$\frac{V_{E2}}{R_L} = \frac{V_{cc} - V_{E2} - I_{C2} R_{c2}}{R_{E2}} \Rightarrow V_{E2} = \frac{V_{cc} - I_{C2} R_{c2}}{\frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_{E2}}} \approx 11V \Rightarrow V_{CE2} = 5,7V$$

Q1: $V_{CE1} = 5,8V$
 $I_{C1} = 4,6 mA$
 $h_{FE} \approx 1,1 \cdot 290 = 319$

Q2: $V_{CE2} = 5,7V$
 $I_{C2} = 3,53 mA$
 $h_{FE} \approx 1,1 \cdot 290 = 319$

VERIFICA IPOTESI DI PARTITORE PESANTE PER Q1

$$I_{B1} = \frac{I_{C1}}{h_{FE}} \approx 14,4 \mu A \Rightarrow \frac{V_{cc}}{R_1 + R_2} = 2 mA \gg I_{B1}$$

VERIFICA IPOTESI DI PARTITORE PESANTE PER Q2

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{h_{FE}} \approx 11,1 \mu A \Rightarrow \frac{V_{cc}}{R_3 + R_4} = 6 mA \gg I_{B2}$$

CALCOLO DEI PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE

$$h_{fe1} = h_{fe2} = h_{fe} = 300$$

$$g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} \approx 177 m\Omega^{-1} \quad g_{m2} = \frac{I_{C2}}{V_T} \approx 136 m\Omega^{-1}$$

$$h_{ie} @ 2mA = r_{b'e} @ 2mA + r_{bb'} = \frac{V_T}{2mA} \cdot h_{fe} + r_{bb'} \Rightarrow r_{bb'} = 900 \Omega$$

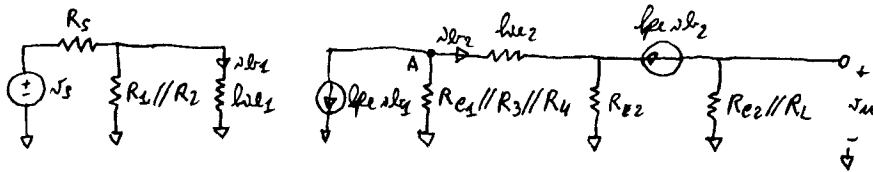
$$r_{b'e1} = \frac{h_{fe}}{g_{m1}} \approx 1,695 K\Omega \quad r_{b'e2} = \frac{h_{fe}}{g_{m2}} \approx 2,21 K\Omega$$

$$f_{T1} \approx 175 MHz \quad f_{T2} \approx 170 MHz$$

$$C_{b'e1} (V_{CE1} = 5,1V) \approx 4,8 pF \Rightarrow C_{b'e1} = \frac{g_{m1}}{2\pi f_{T1}} - C_{b'e1} \approx 156 pF$$

$$C_{b'e2} (V_{CE2} = 5V) \approx 4,7 pF \Rightarrow C_{b'e2} = \frac{g_{m2}}{2\pi f_{T2}} - C_{b'e2} \approx 123 pF$$

CALCOLO DEL GUADAGNO A CENTROBANDA



$$v_u = -(R_{e2} // R_L) h_{fe2} v_{b2} \quad (1)$$

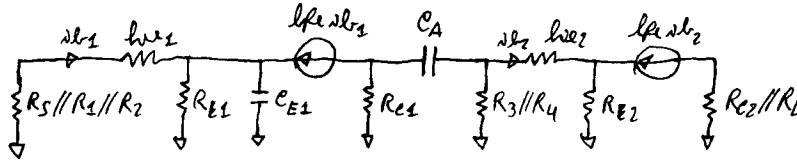
$$\begin{cases} \text{steppe al nodo A: } v_{b2} = -h_{fe2} v_{b1} - \frac{v_A}{R_{e1} // R_3 // R_4} \\ \text{equazione per } v_A: v_A = [h_{ie2} + R_{e2}(h_{fe2} + 1)] v_{b2} \end{cases} \Rightarrow v_{b2} = -h_{fe2} v_{b1} \frac{(R_{e1} // R_3 // R_4)}{(R_{e1} // R_3 // R_4) + h_{ie2} + R_{e2}(h_{fe2} + 1)} \quad (2)$$

$$v_{b1} = \frac{v_s}{R_s} \frac{R_s // R_1 // R_2}{R_s // R_1 // R_2 + h_{ie1}} \quad (3)$$

Combinando (1), (2) e (3), si ottiene:

$$A_{EB} = \frac{v_u}{v_s} = (R_{e2} // R_L) h_{fe2}^2 \cdot \frac{(R_{e1} // R_3 // R_4)}{(R_{e1} // R_3 // R_4) + h_{ie2} + R_{e2}(h_{fe2} + 1)} \cdot \frac{R_s // R_1 // R_2}{R_s [R_s // R_1 // R_2 + h_{ie1}]} \approx 11,31$$

LIMITE INFERIORE DI BANDA



$$R_{ve1} \Big|_{c_{e1} \text{ ee}} = R_{e1} // \left[\frac{h_{ie1} + R_s // R_1 // R_2}{h_{fe1} + 1} \right] \approx 13,87 \Omega$$

$$R_{veA} \Big|_{c_{e1} \text{ ee}} = R_{e1} + R_3 // R_4 // [h_{ie2} + R_{e2}(h_{fe2} + 1)] \approx 2,1 \text{ K}\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{R_{ve1} \cdot C_{e1}} + \frac{1}{R_{veA} \cdot C_A} \right) \approx 115,13 \text{ Hz}$$