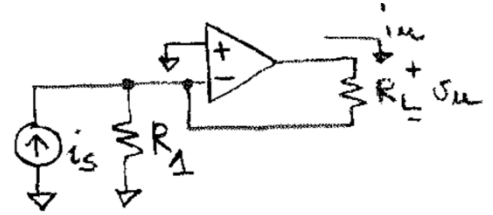
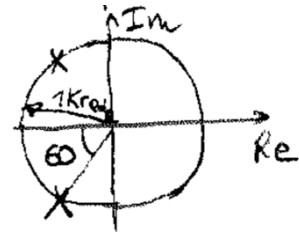


Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
24 luglio 2018

1. Si consideri il circuito indicato in figura, con $R_L = 500 \Omega$, $R_1 = 1 \text{ K}\Omega$, e l'amplificatore con amplificazione di tensione $A_v = 1000$, resistenza di ingresso $R_{in} = 100 \text{ K}\Omega$ e di uscita $R_{out} = 100 \Omega$. Calcolare le impedenze di ingresso e di uscita.



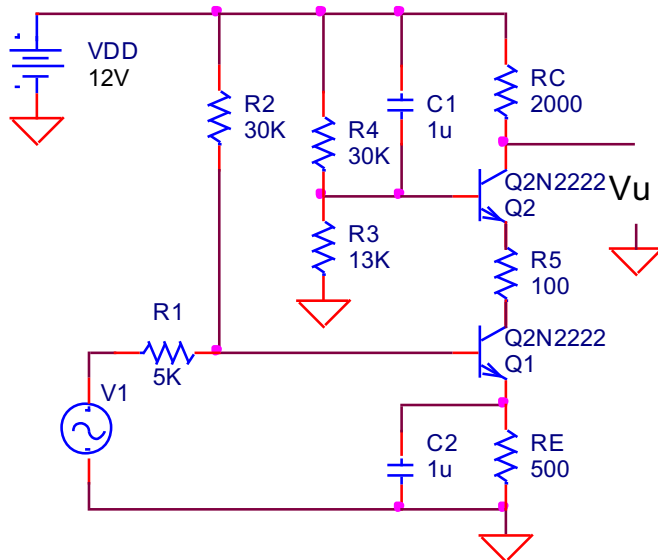
2. Descrivere e scegliere i valori dei componenti di un circuito che abbia nessuno zero e due poli complessi coniugati con parte reale negativa, modulo 1 Krad/s e che formino un angolo di modulo $\pi/3$ con l'asse reale. Giustificare il procedimento.



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
- i limiti di banda superiore e inferiore

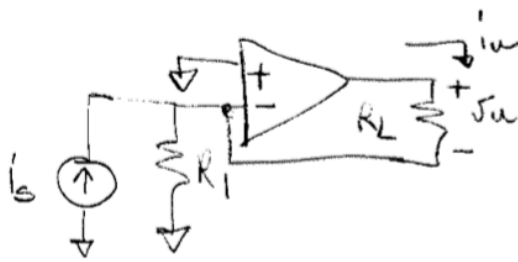


Fare le seguenti ipotesi semplificative:

- Q1 completamente resistivo
- $h_{oe} = 0$ per tutti e due i transistori.

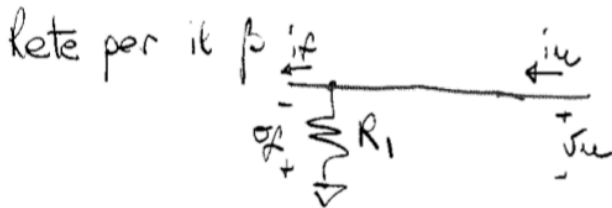
Esercizio 1

Calcolare impedenza d'ingresso e di uscita del circuito



- $R_1 = 1\text{ k}\Omega$
- $R_L = 500\ \Omega$
- $R_{in} = 100\text{ k}\Omega$
- $R_{out} = 100\ \Omega$
- $A_v = 1000$

Reazione con prelievo di corrente e inserzione di corrente

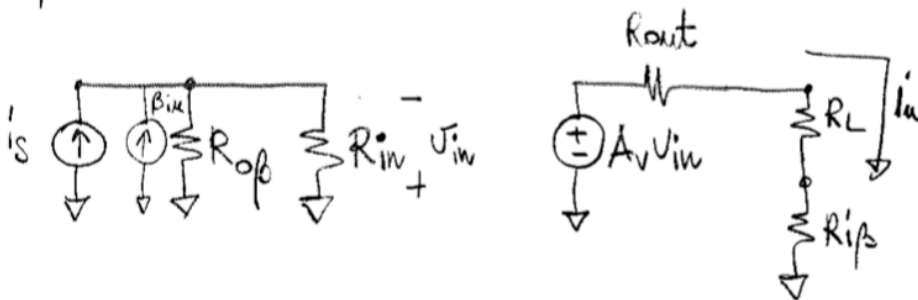


$$i_f = \beta i_u + \frac{v_u}{R_{of}}$$

$$v_u = R_{if} i_u + \cancel{R_{of} i_f}$$

$$\rightarrow \beta = \left. \frac{i_f}{i_u} \right|_{v_u=0} = 1 \quad ; \quad R_{of} = \left. \frac{v_u}{i_f} \right|_{i_u=0} = R_1 \quad ; \quad R_{if} = \left. \frac{v_u}{i_u} \right|_{v_f=0} = 0$$

Rete per A_e



$$A_e = \left. \frac{v_u}{v_s} \right|_{\beta=0} = \frac{-(R_{of} \parallel R_{in}) A_v}{R_{out} + R_L + R_{if}} = \frac{-990 \cdot 1000}{100 + 500} = -1650$$

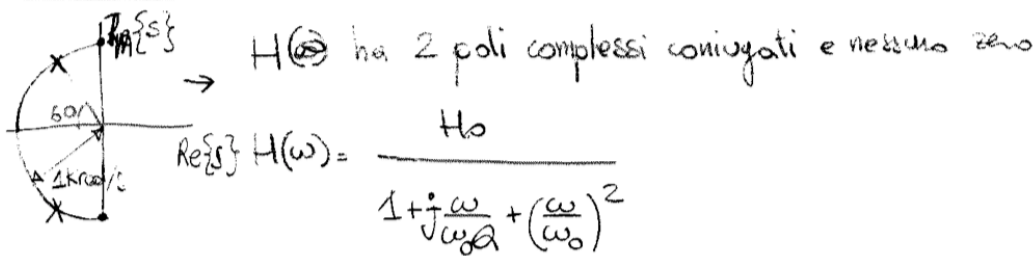
$$A_e \Big|_{R_L=0} = \frac{-(R_{of} \parallel R_{in}) A_v}{R_{out} + R_{if}} = -9900$$

da cui

$$R_{IF} = \frac{R_{op} \parallel R_{iw}}{1 - \beta A_e} = \frac{+990}{1 + 1650} = 0.6 \Omega$$

$$R_{OF} = (R_{ip} + R_{out}) \left(1 - \beta A_e \Big|_{K_L=0} \right) = 100 (1 + 9900) = 990.1 \text{ K}\Omega$$

Esercizio 2

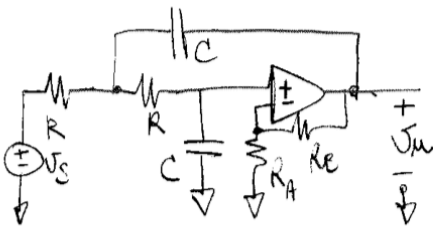


$$\omega_0 = 1000 \text{ rad/s}$$

$$\frac{1}{Q} = 2 \cos \alpha = 2 \cos 60^\circ = 1 \rightarrow Q = 1$$

$$\rightarrow H(\omega) = \frac{H_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0} + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

realizziamo il filtro con una cella di Sallen-Key



$$A(s) = \frac{A_V}{RCS^2 + (3 - A_V)RCs + 1}$$

dove $A_V = \frac{R_A + R_B}{R_B}$

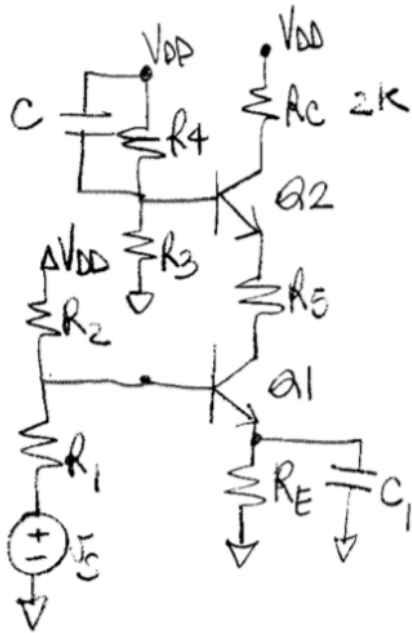
per ottenere la funzione di trasferimento devo scegliere

$$Q = \frac{1}{3 - A_V} = 1 \rightarrow \underline{A_V = 2} \rightarrow R_A = R_B$$

$$\frac{1}{RC} = 1000 \text{ rad/s}$$

scelgo $R = R_A = R_B = \underline{1000 \Omega}$

$$C = \frac{1}{RC\omega_0} = \frac{1}{10^6} = \underline{1 \mu\text{F}}$$



Punto di riposo

Mp R_1 e R_2 partitore pesante

$$V_{B1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} = 1,714V$$

$$I_{C1} = \frac{V_{B1} - V_{BE}}{R_E} = 2mA$$

$h_{FE1} \approx 150$

$$I_{B1} = \frac{I_{C1}}{h_{FE1}} \ll \frac{V_{DD}}{R_1 + R_2}$$

$13\mu A$ $142\mu A$

ipotesi di partitore pesante verificata

Mp R_3 e R_4 partitore pesante per Q_2

$$V_{B2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{DD} = 3,63V$$

$$V_{E2} = V_{B2} - V_{BE} = 2,93V;$$

$$I_{C2} \approx I_{C1} \approx I_{E2}$$

$$V_{C1} = V_{E2} - I_{C1} R_S = 2,73V$$

$$V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} = 1,7V \quad \underline{Q_1 \text{ \u00e9 in z.a.d.}}$$

$$V_{C2} = V_{DD} - R_C I_{C2} = 12 - 2 \cdot 2 = 8V$$

$$V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = 5,07V$$

Q_2 \u00e9 in zona attiva diretta

$$h_{fe1} \approx h_{fe2} \approx h_{fe @ 1mA} = 175$$

$$g_{m1} = g_{m2} = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{26 \cdot 10^{-3}} = 7,69 \cdot 10^{-2} \Omega^{-1}$$

$$r_{be1} = \frac{h_{fe1}}{g_{m1}} = \frac{175}{7,69 \cdot 10^{-2}} = 2275 \Omega = r_{be2}$$

ricaviamo $r_{bb'}$ dal punto per $I_C = 1\text{mA}$ sui data sheet

$$r_{bb'} = h_{ie@1\text{mA}} - r_{be@1\text{mA}} = h_{ie@1\text{mA}} - \frac{V_T @ 1\text{mA} \cdot V_T}{10^2} =$$

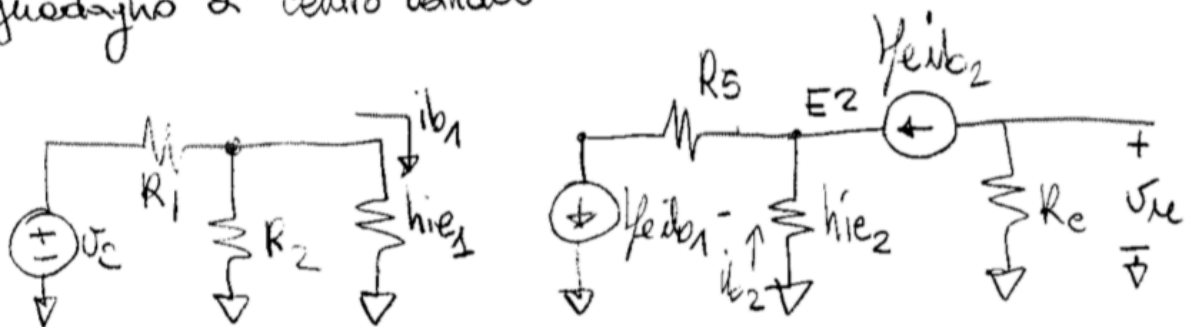
$$= 5\text{K}\Omega - \frac{175,26}{10^2} = 450\Omega$$

$$h_{ie} = r_{bb'} + r_{be} = 450 + 2275 = \underline{2725\Omega}$$

$$f_T = 140\text{MHz} = \frac{g_m}{2\pi(C_{\mu} + C_{\pi})} \rightarrow C_{\mu} + C_{\pi} = \frac{g_m}{2\pi f_T} = \underline{87,5\text{pF}}$$

$$C_{\mu} \Big|_{V_{BC_2} = -4,37\text{V}} = 5\text{pF} \rightarrow C_{\pi} = 82,5\text{pF}$$

guadagno a centro banda



$$i_{b1} = V_S \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{R_1 // R_2 + h_{ie1}}$$

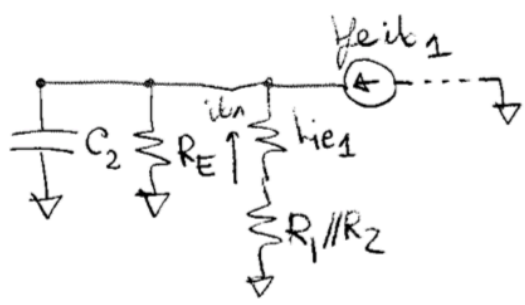
$$(h_{fe} + 1) i_{b2} = h_{fe} i_{b1} \rightarrow i_{b2} = \frac{h_{fe}}{h_{fe} + 1} i_{b1}$$

$$v_{ce} = -R_c h_{fe} i_{b2}$$

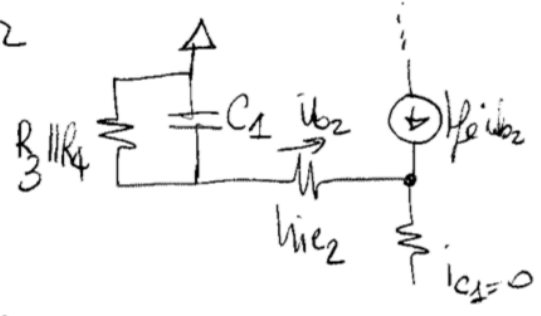
$$\Delta_V = \frac{v_{ce}}{V_S} = -R_c h_{fe} \frac{h_{fe}}{h_{fe} + 1} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{\underset{4000}{R_1 // R_2} + \underset{2725}{h_{ie1}}} = \underline{\underline{-42,8}}$$

LIMITE INFERIORE DI BANDA

$$R_{V_{C_2}} = R_E // \left[\frac{h_{ie1} + R_1 // R_2}{\beta + 1} \right] = 37.3 \Omega$$



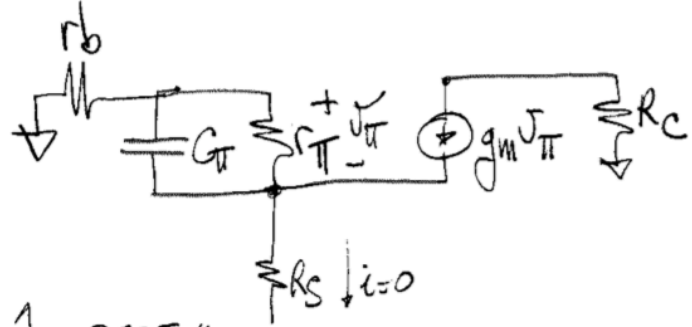
$$R_{V_{C_1}} = R_3 // R_4 = 9.07 K\Omega$$



$$f_L = \left[\frac{1}{R_{V_{C_2}} C_2} + \frac{1}{R_{V_{C_1}} C_1} \right] \frac{1}{2\pi} = \frac{1}{6.28} [26810 + 110.25] = 4.28 KHz$$

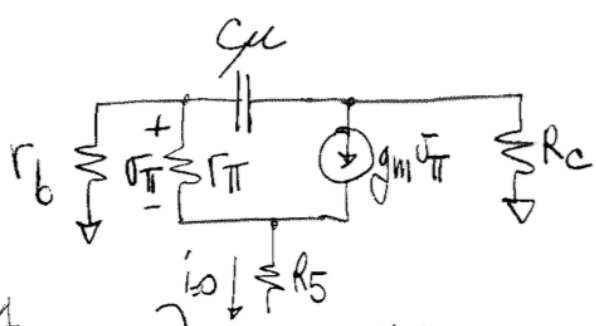
LIMITE SUPERIORE DI BANDA [N.B. Q1 è resistivo]

$R_{V_{G_T}}$



$$R_{V_{G_T}} = r_{\pi} // \frac{1}{g_m} = 2725 // 13 = 12.94 \Omega$$

$R_{V_{C_{\mu}}}$



$$\frac{v_{\pi}}{r_{\pi}} + g_m v_{\pi} = 0$$

$$\hookrightarrow v_{\pi} = 0$$

$$R_{V_{C_{\mu}}} = r_b + R_c$$

$$= 450 + 2000 = 2450 \Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{R_{V_{G_T}} C_T} + \frac{1}{R_{V_{C_{\mu}}} C_{\mu}} \right] = 11.96 MHz$$