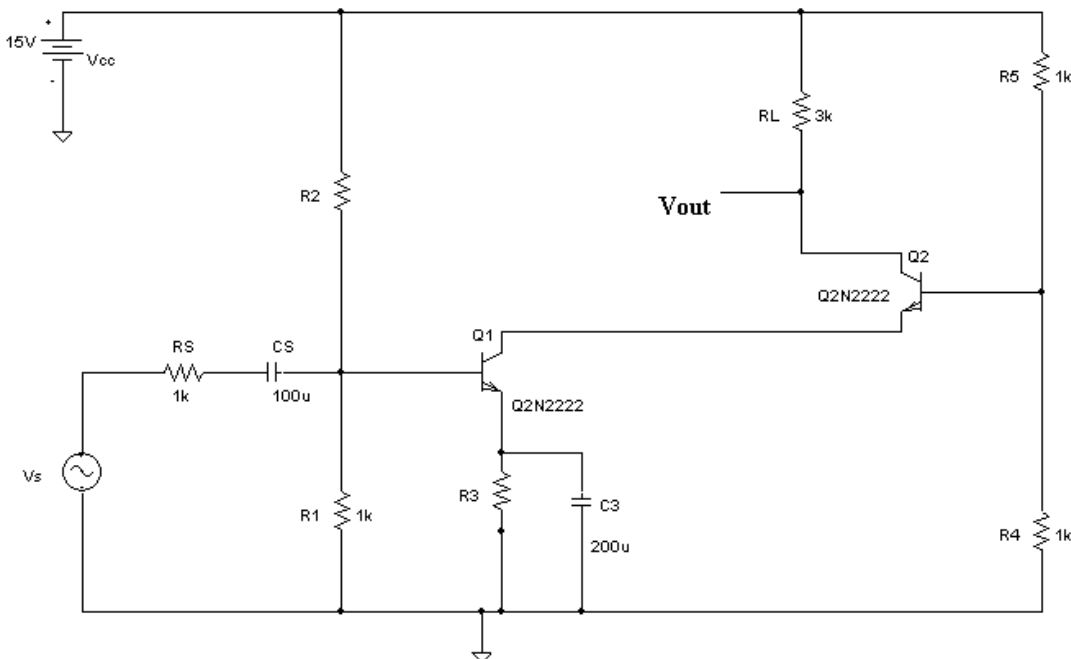


# Prova scritta di Elettronica - Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni

9 febbraio 2011

1. Si consideri un amplificatore con amplificazione di tensione  $A_{v0}=3000$ ,  $R_{in} = 100 \text{ K}\Omega$ ,  $R_{out} = 10 \text{ K}\Omega$ . Si reazioni in modo da ottenere una resistenza di ingresso di  $50 \Omega$  (con un errore ammesso del 5%), una resistenza di uscita maggiore di  $1 \text{ M}\Omega$ . Si consideri la resistenza del generatore nulla, e l'amplificatore a vuoto. (punteggio 5/30)
2. Disegnare e dimensionare un filtro di Butterworth passabasso del terzo ordine, con limite superiore di banda  $2 \text{ KHz}$ , giustificando il procedimento. Rappresentare il diagramma di Bode della funzione di trasferimento. (punteggio 5/30)
3. Con riferimento al circuito in basso, calcolare:
  - Il valore di  $R_2$  e  $R_3$  in modo da avere come punto di riposto del transistor  $Q_1$ :  $I_{C1} = 1.2 \text{ mA}$  e  $V_{CE1} = 5 \text{ V}$  e i parametri di piccolo segnale di entrambi i transistor (punteggio 5/30).
  - La funzione di trasferimento a centro banda (punteggio 4/30)
  - Il limite inferiore di banda e il limite superiore di banda (punteggio 8/30)

Considerare il transistore  $Q_1$  resistivo.



4. Consegna esercizi con spice (3 punti)

1)

$$A_{v0} = 3000$$

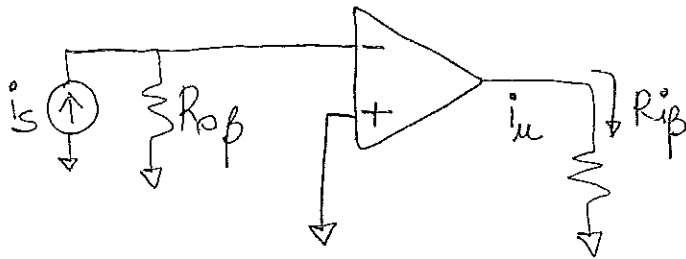
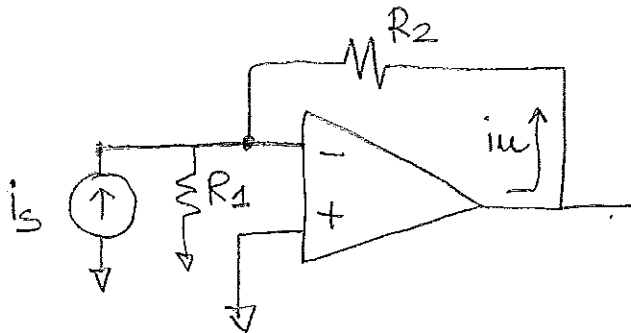
$$R_{in} = 100 \text{ K}\Omega$$

$$R_{out} = 10 \text{ K}\Omega$$

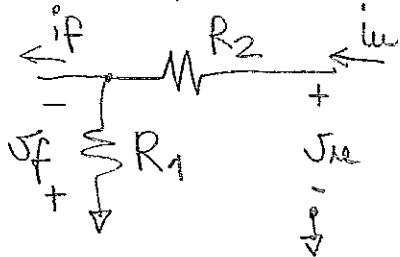
$$R_{IF} = 50 \Omega$$

$$R_{of} > 1 \text{ M}\Omega$$

abbiamo bisogno di effettuare una reazione con inserzione di corrente e prelievo di corrente



rete per il  $\beta$



$$\beta \triangleq \left. \frac{i_f}{i_u} \right|_{J_{if}=0} = 1$$

$$R_{ip} = \left. \frac{J_u}{i_u} \right|_{J_{if}=0} = R_2$$

$$R_{of} = \left. \frac{J_f}{i_f} \right|_{i_u=0} = R_1$$

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

$$J_u = R_{ip} i_u + \cancel{\frac{J_f}{\beta}}$$

$$A_e = - \frac{(R_{of} \parallel R_{in}) A_{v0}}{R_{ip} + R_{out}} = - \frac{R_1 \parallel R_{in}}{R_2 + R_{out}} A_{v0}$$

$$R_{IF} = \frac{R_o \beta // R_{in}}{1 - \beta A_e} = \frac{R_1 // R_{in} \overset{100 \text{ K}\Omega}{\uparrow}}{1 + \frac{R_1 // R_{in} \overset{A_{V0}}{\uparrow} 3000}{R_2 + R_{out}}} = 50 \Omega$$

$$R_{OF} = (R_{i\beta} + R_{out})(1 - \beta A_e) > 1 \text{ M}\Omega$$

Supponendo  $\beta A_e \gg 1$  (da verificare), abbiamo

$$R_{IF} = \frac{(R_2 + R_{out}) \leftarrow 10 \text{ k}\Omega}{A_{V0} \uparrow 3000}$$

$$\text{per avere } R_{IF} = 50 \Omega \Rightarrow R_2 = A_{V0} R_{IF} - R_{out} = 15000 - 10000 = \underline{\underline{140 \text{ K}\Omega}}$$

$$R_{OF} = (R_1 // R_{in}) \overset{A_{V0} \uparrow 3000}{\uparrow} > 1 \text{ M}\Omega$$

Scegliendo  $R_1 = R_2 = \underline{\underline{140 \text{ K}\Omega}}$  le due condizioni sono senz'altro risolte, e  $\beta A_e$  viene  $\gg 1$ .

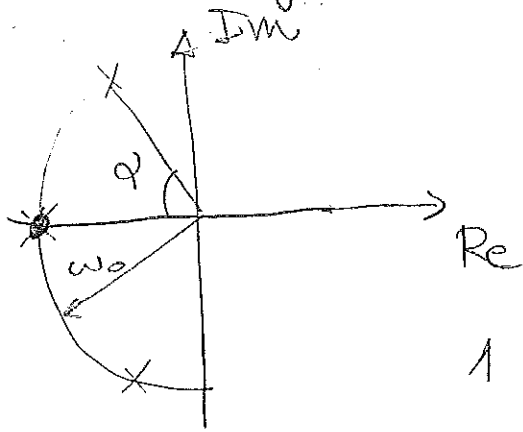
$$1 - \beta A_e = A_{V0} \frac{R_1 // R_{in}}{R_2 + R_{out}} = 1167$$

$$R_{IF} = \frac{R_1 // R_{in}}{1 - \beta A_e} = \frac{58.33 \cdot 10^3}{1 + 1167} = 49.94 \Omega \quad \text{OK}$$

$$R_{OF} = (R_{i\beta} + R_{out})(1 - \beta A_e) = 150 \text{ K}\Omega \cdot 1168 = 175.2 \text{ M}\Omega$$

2)

Poli del filtro di Butterworth



$$\omega_0 = -2\pi \cdot 2000 \text{ rad/s}$$

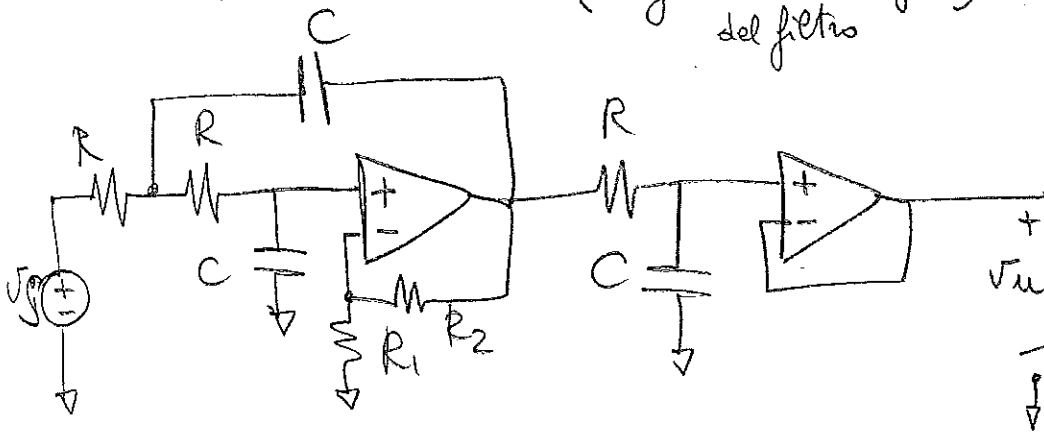
$$\phi = \frac{\pi}{3}$$

1 polo reale a  $-\omega_0 = -12,56 \text{ Krad/s}$

2 poli complessi coniugati di modulo  $\omega_0$  e

$$Q = \frac{1}{2\cos\phi} = 1$$

Realizzo il filtro con una cella di Sallen-Key e una squadratura, come ho fatto.  
(bisogna ricavare le fitt del filtro)



$$RC = \frac{1}{\omega_0} = 7,96 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

$$R = 1 \text{ K}\Omega$$

$$C = \frac{1}{\omega_0 R} = 79,6 \text{ nF}$$

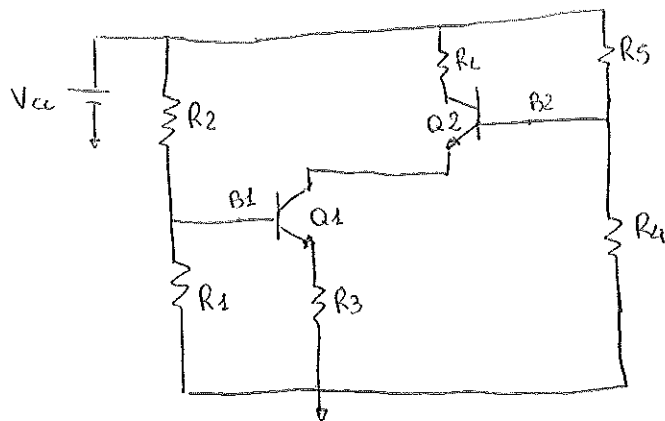
$$Q = \frac{1}{(3-A_v)} \Rightarrow \text{se } Q=1 \Rightarrow A_v=2 \Rightarrow R_1=R_2=R$$

3) DEVE ESSERE

$$I_{C1} = 1.2 \text{ mA}$$

$$V_{CE1} = 5 \text{ V}$$

$$V_{CE2} = 1$$



$$V_{B2} = V_{CC} \cdot \frac{R_6}{R_5 + R_6} = 15 \cdot \frac{1}{1+1} = 7.5 \text{ V}$$

$$V_{BE2} = V_{B2} - V_{E2} \Rightarrow V_{E2} = V_{B2} - V_{BE2} = V_{B2} - V_{\gamma} = 7.5 - 0.7 = 6.8 \text{ V}$$

ESSENDO

$$V_{E2} = V_{C1}$$

$$V_{C1} = 6.8 \text{ V}$$

$$V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} \Rightarrow V_{E1} = V_{C1} - V_{CE1} = 6.8 - 5 = 1.8 \text{ V}$$

$$V_{BE1} = V_{B1} - V_{E1} \Rightarrow V_{B1} = V_{BE1} + V_{E1} = V_{\gamma} + V_{E1} = 0.7 + 1.8 = 2.5 \text{ V}$$

$$V_{B1} = V_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{V_{B1}}{V_{CC}} \Rightarrow R_1 + R_2 = \frac{R_1 V_{CC}}{V_{B1}}$$

$$R_2 = \frac{R_1 V_{CC}}{V_{B1}} - R_1 = \frac{1.15}{2.5} - 1 = 5 \text{ k}\Omega$$

$$\boxed{R_2 = 5 \text{ k}\Omega}$$

HP. PARTITORE PESANTE

$$R_3 = \frac{V_{E1}}{I_{C1}} = \frac{1.8}{1.2} = 1.5 \text{ k}\Omega$$

$$\boxed{R_3 = 1.5 \text{ k}\Omega}$$

$$I_{C2} = I_{C1} \quad \text{HP} \quad \text{PARTITORE} \quad \text{PESANTE}$$

$$V_{C2} = V_{CC} - R_L I_{C2} = 15 - 3 \cdot 1.2 = 11.4 \text{ V}$$

$$V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = 11.4 - 6.8 = 4.6 \text{ V}$$

$$Q1: V_{CE1} = 5 \text{ V}$$

$$I_{C1} = 1.2 \text{ mA}$$

$$\beta_{FE1} = 150$$

DAL GRAFICO  
NELLE CARATTERISTICHE

$$Q2: V_{CE2} = 4.6 \text{ V}$$

$$I_{C2} = 1.2 \text{ mA}$$

$$\beta_{FE2} = 150$$

$$I_{B1} = I_{B2} = \frac{I_C}{\beta_{FE}} = \frac{1.2}{150} = 8 \mu\text{A}$$

$$I_{R1,R2} = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{15}{1+5} = 2.5 \text{ mA}$$

$$I_{R4,R5} = \frac{V_{CC}}{R_4 + R_5} = \frac{15}{1+1} = 7.5 \text{ mA}$$

$$I_{B2} \ll I_{R4,R5}$$

$$I_{B1} \ll I_{R1,R2}$$

PARAMETRI PICCOLO SEGNALE

$$\beta_{FE1} = \beta_{FE2} = \frac{50+300}{2} = 175$$

$$r_{ie} @ 1 \text{ mA} = \frac{2+8}{2} = 5 \text{ k}\Omega$$

$$r_{b'e} @ 1 \text{ mA} = \frac{V_T \cdot \beta_{FE}}{I_C @ 1 \text{ mA}} = 4.55 \text{ k}\Omega$$

$$r_{bb'} = r_{ie} - r_{b'e} = 450 \Omega$$

$$r_{b'e} = \frac{V_T \cdot \beta_{FE}}{I_{C1}} = 3.8 \text{ k}\Omega$$

$$r_{ie} = r_{b'e} + r_{bb'} = 4.25 \text{ k}\Omega$$

$$f_T \approx 100 \text{ MHz}$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 46.15 \text{ mS}$$

Q1

$$V_{CE1} = V_{CE1} - V_{BE1} = V_{CE1} - V_{\gamma} = 5 - 0.7 = 4.3V$$

$$C_{b'c1} = 4.8pF$$

$$C_{b'e1} = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_{b'c1} = 68.7pF$$

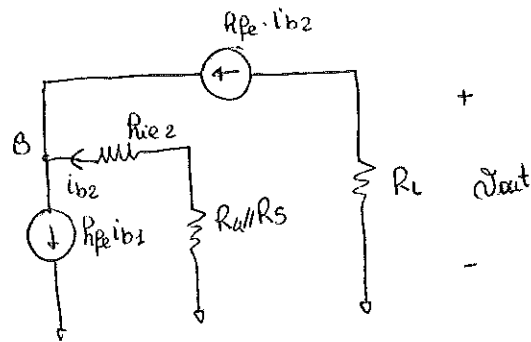
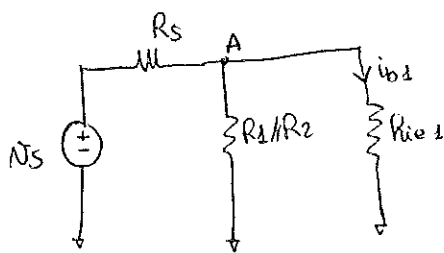
Q2

$$V_{CE2} = V_{CE2} - V_{BE2} = V_{CE2} - V_{\gamma} = 4.6 - 0.7 = 3.9V$$

$$C_{b'c2} = 5pF$$

$$C_{b'e2} = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_{b'c2} = 68.5pF$$

GUADAGNO A CENTRO BANCA



$$V_{out} = -R_L h_{fe} \cdot i_{b2}$$

NODO B

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

$$i_{b2} = \frac{h_{fe} \cdot i_{b1}}{h_{fe} + 1}$$

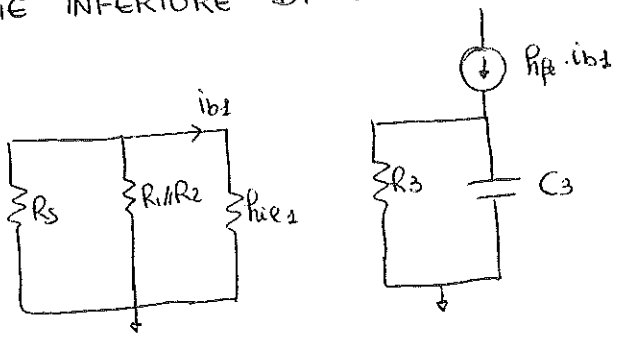
NODO A

$$i_{b1} = \frac{V_s}{R_s} \cdot \frac{R_1 // R_2 // R_s}{R_{ie1} + R_1 // R_2 // R_s}$$

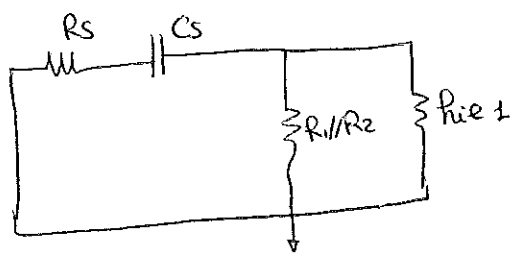
$$i_{b2} = \frac{h_{fe}}{h_{fe} + 1} \cdot \frac{V_s}{R_s} \cdot \frac{R_1 // R_2 // R_s}{R_{ie1} + R_1 // R_2 // R_s}$$

$$v_s \frac{V_{out}}{V_s} = - \frac{R_L A_{\beta e}^2}{(A_{\beta e} + 1) R_s} \frac{R_1 // R_2 // R_s}{A_{\beta e} + 1 + R_1 // R_2 // R_s} \approx -50.5$$

LIMITE INFERIORE DI BANDA



$$R_{V_{C3}} \Big|_{C_{S_{CC}}} = R_3 // \left[ \frac{h_{ie1} + R_1 // R_2 // R_s}{h_{\beta e} + 1} \right] \approx 26 \Omega$$



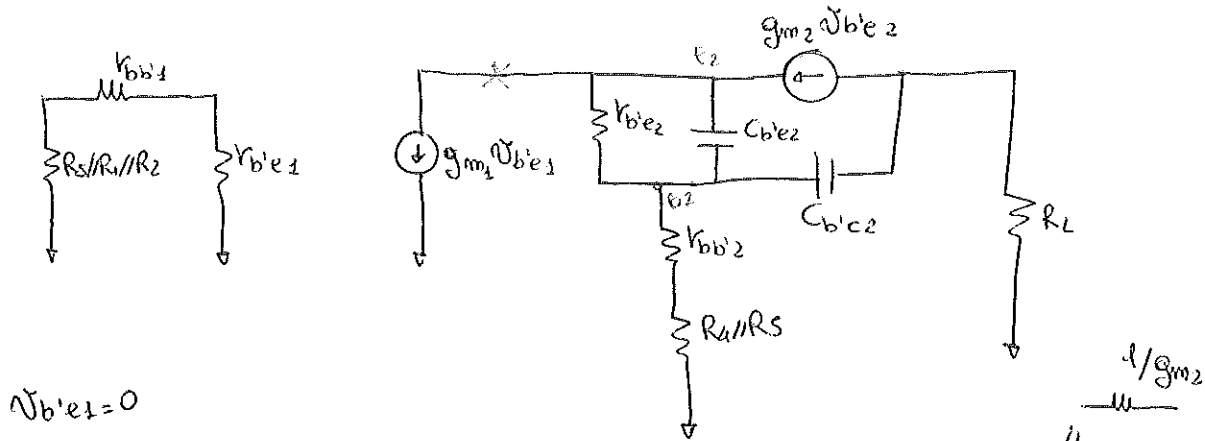
$$R_{V_{C_s}} \Big|_{C_{S_{CC}}} = R_s + R_1 // R_2 // h_{ie1} = 1.7 k\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{1}{R_{V_{C3}} \cdot C_3} + \frac{1}{R_{V_{C_s}} \cdot C_s} \right) \approx \frac{1}{2\pi} \left( \frac{1}{26 \cdot 200\mu} + \frac{1}{1700 \cdot 100\mu} \right) \approx 31.5 Hz$$



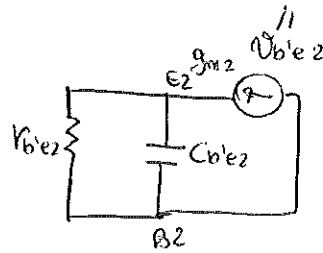
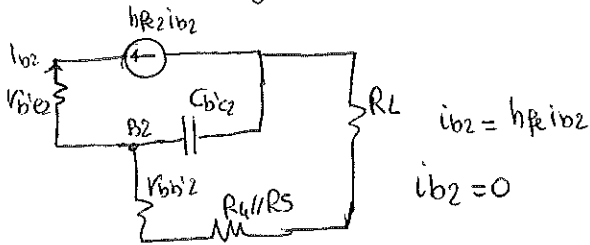
# LIMITE SUPERIORE DI BANDA

Q1 RESISTIVO



$v_{be1} = 0$

$$R_{v_{be2}} = r_{be2} \parallel \frac{1}{g_{m2}} = 0.022 \text{ k}\Omega$$



$R_L, r_{bc2}, R_4//R_S$   
 sarebbero in serie  
 al generatore di  
 corrente

$$R_{v_{bc2}} = R_L + r_{bc2} + R_4//R_S = 3.95 \text{ k}\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi (R_{v_{be2}} \cdot C_{be2} + R_{v_{bc2}} \cdot C_{bc2})} = \frac{1}{2\pi (0.022 \cdot 68.7 + 3.95 \cdot 4.8)} \approx 7.7 \text{ MHz}$$