

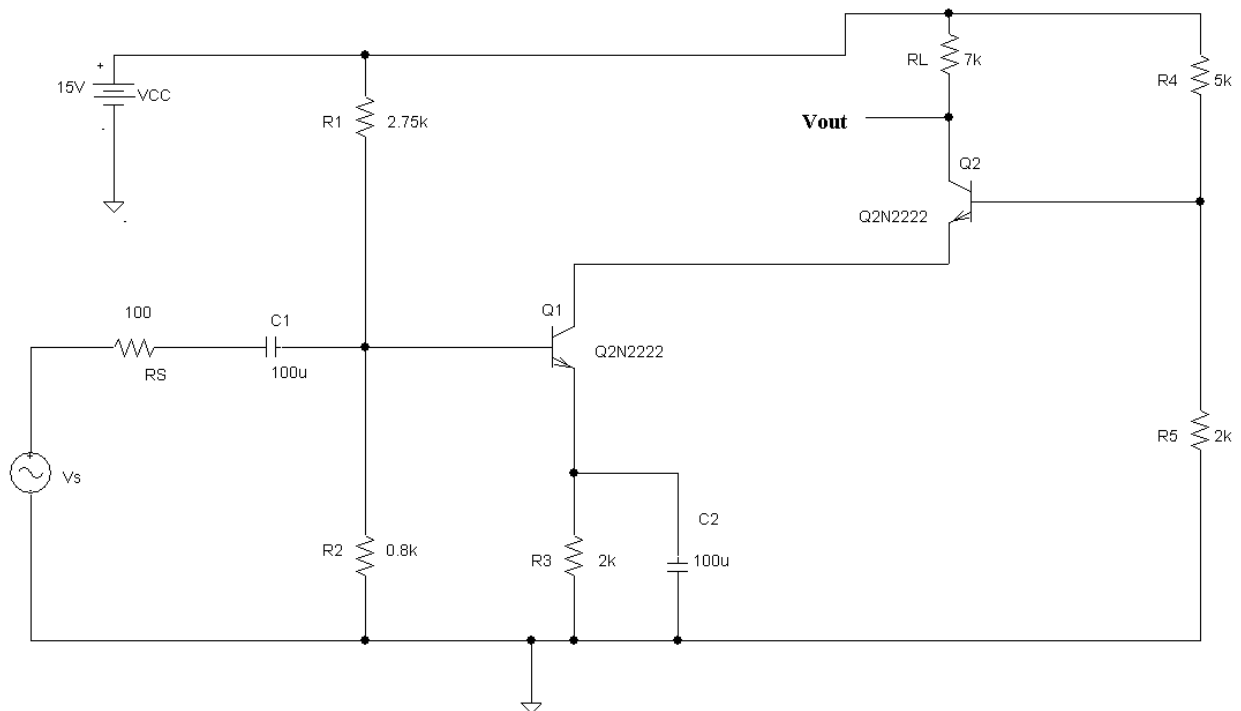
Prova scritta di Elettronica – Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni

15 Febbraio 2012

1. Si consideri un amplificatore con amplificazione di tensione in continua $A_{v0} = 2000$, $R_{in} = 200 \text{ K}\Omega$, $R_{out} = 50 \Omega$, un polo a frequenza $f_p = 1000 \text{ Hz}$. Inoltre sia $R_s = 1 \text{ K}\Omega$ la resistenza del generatore di segnale e $R_L = 100 \Omega$ la resistenza del carico. Si reazioni il circuito in modo da ottenere una resistenza di ingresso maggiore di $10 \text{ M}\Omega$ e una resistenza d'uscita compresa tra 90Ω e 110Ω . Ricavare poi le nuove impedenze di ingresso e di uscita, la nuova funzione di trasferimento il nuovo limite di banda. (5 punti)
2. Progettare e dimensionare completamente un filtro di Butterworth passa basso di terzo ordine, con limite superiore di banda pari a 5 KHz . Giustificare il procedimento (5 punti).
3. Dato l'amplificatore disegnato in figura, calcolare:
 - il punto di riposo dei due transistori, (5 Punti)
 - l'amplificazione V_u/V_s a centrobanda, (4 Punti)
 - il limite superiore di banda e il limite inferiore di banda (8 Punti)

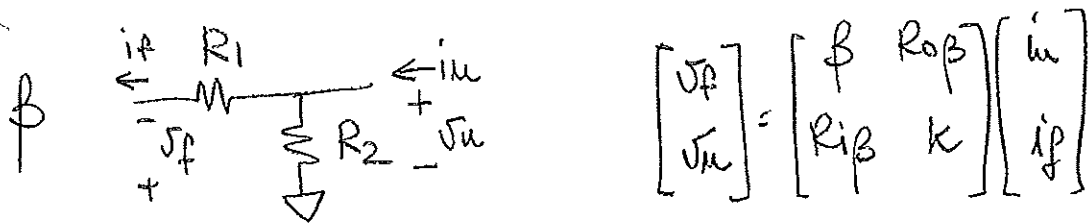
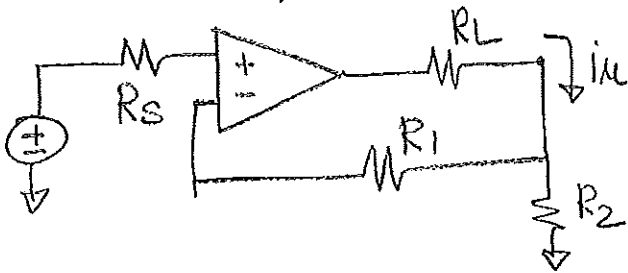
NOTE:

- I BJT sono 2N2222 con $h_{oe} = 0$;
- Il BJT Q2 si può considerare resistivo;



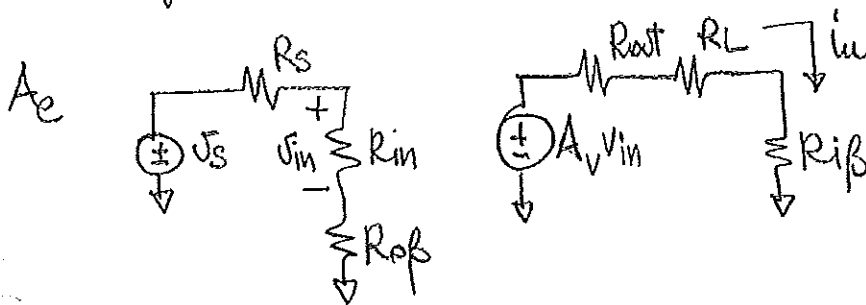
- 1) $A_{v0} = 2000$ $R_S = 1\text{ k}\Omega$
- $R_{in} = 200\text{ k}\Omega$ $R_L = 100\ \Omega$
- $R_{out} = 50\ \Omega$ $R_{IF} > 10\text{ M}\Omega$
- $f_p = 1000\text{ Hz}$ $R_{OF} \in (90, 110)\ \Omega$

Reazione con prelievo di corrente e inserzione di tensione



$$\begin{bmatrix} v_F \\ v_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta & R_{o\beta} \\ R_{i\beta} & k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_u \\ i_F \end{bmatrix}$$

$$\beta = \left. \frac{v_F}{i_u} \right|_{i_F=0} = -R_2 ; \quad R_{o\beta} = \left. \frac{v_F}{i_F} \right|_{i_u=0} = R_1 + R_2 ; \quad R_{i\beta} = \left. \frac{v_u}{i_u} \right|_{i_F=0} = R_2$$



$$A_e = \frac{i_u}{V_S} = \frac{A_v R_{in}}{R_{in} + R_S + R_{o\beta}} \cdot \frac{1}{R_{out} + R_L + R_{i\beta}}$$

$$R_{IF} = (R_{in} + R_{o\beta}) (1 - \beta A_e |_{R_S=0}) > 10\text{ M}\Omega$$

$$R_{OF} = (R_{out} + R_{i\beta}) (1 - \beta A_e |_{R_L=0}) \in (90, 110)\ \Omega$$

Scriviamo per esteso

$$R_{IF} = \left(R_{in} + R_1 + R_2 + \frac{R_2 A_V R_{in}}{R_{out} + R_L + R_2} \right) > 10 \text{ M}\Omega$$

$$R_{OF} = R_{out} + R_2 + \frac{R_2 A_V R_{in}}{R_{in} + R_S + R_2 + R_1} \in (90, 110) \Omega$$

Possiamo scegliere $R_1 \Rightarrow 9,8 \text{ M}\Omega$ in modo da soddisfare senz'altro le condizioni per R_{IF} , e poi ricavare R_2 in modo da avere $R_{OF} \sim 100 \Omega$

$$\Rightarrow R_2 \left[1 + \frac{\overset{2000}{A_V} \overset{200k}{R_{in}}}{\underset{200k}{R_{in}} + \underset{1k}{R_S} + R_2 + R_1} \right] = 50 \Omega$$

$\uparrow R_2$ è senz'altro trascurabile in questa frazione perché deve essere pochi Ω

quindi possiamo imporre R_1 e calcolare R_2

$$R_1 = 10 \text{ M}\Omega$$

$$R_2 \left[1 + \frac{2000 \cdot 200 \text{ k}}{201 \text{ k} + 10000 \text{ k}} \right] = 50$$

$$R_2 = \frac{50}{1 + 30,21} = 1,24 \Omega$$

abbiamo

$$R_{OF} = 100 \Omega$$

$$R_{IF} = 200 \cdot 10^3 + 10^7 + \frac{1,24 \cdot 2000 \cdot 2 \cdot 10^5}{50 + 100 + 1,24} = 13,48 \text{ M}\Omega$$

$$A_e = \frac{2000 \cdot 200 \cdot 10^3}{200 \cdot 10^3 + 10^3 + 10 \cdot 10^6} \cdot \frac{1}{50 + 100 + 1,24} = 0,259 \Omega^{-1}$$

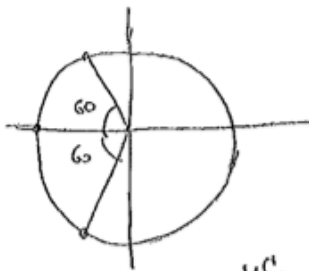
$$A_F = \frac{A_e}{1 - \beta A_e} = \frac{0,259}{1 + 1,24 \cdot 0,259} = 0,196 \Omega^{-1}$$

$$1 - \beta A_e = 1,32$$

$$f_H = f_p (1 - \beta A_e) = 1320 \text{ Hz}$$

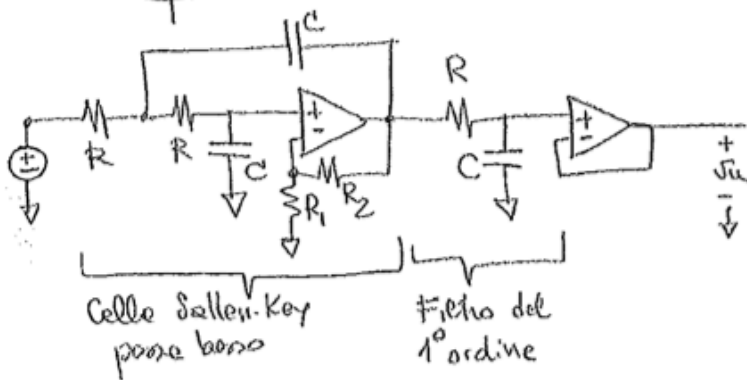
2) Filtro di Butterworth del 3° ordine $f_p = 5 \text{ KHz}$

[3]



polinomio di Butterworth del 3° ordine

$$(s+1)(s^2+s+1)$$



dobbiamo avere $RC = \frac{1}{2\pi \cdot 10^3}$

$$C = 33 \text{ nF}$$

$$R = \frac{1}{2\pi \cdot 10^3 \cdot 33 \cdot 10^{-9}} = 4,8 \text{ K}\Omega$$

funzione di trasferimento Cella Sk

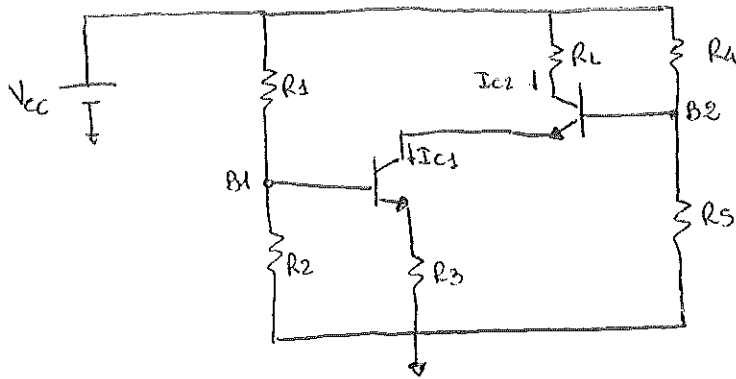
$$\frac{A}{RCs^2 + (3-A)RCs + 1}$$

$$3-A = 1$$

$$A = 2 \rightarrow R_1 = R_2 = R$$

ES. 3

PUNTO DI RIPOSO



HP. PARTITORE PESANTE

$$V_{B1} = V_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 3.38 \text{ V}$$

$$V_{BE1} = V_{B1} - V_{E1} \Rightarrow V_{E1} = V_{B1} - \frac{V_{BE1}}{\beta}$$

$$I_{E1} \cong I_{C1} = \frac{V_E}{R_3} \cong 1.34 \text{ mA}$$

$$I_{C1} \cong I_{E2} \cong I_{C2} \cong 1.34 \text{ mA}$$

$$V_{B2} = V_{CC} \cdot \frac{R_5}{R_4 + R_5} = 4.29 \text{ V}$$

$$V_{BE2} = V_{B2} - V_{E2} \Rightarrow V_{E2} = V_{B2} - \frac{V_{BE2}}{\beta} \cong 3.59 \text{ V}$$

$$V_{E2} = V_{C1} \cong 3.59 \text{ V}$$

$$V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} = 0.91 \text{ V}$$

$$V_{C2} = V_{CC} - R_L I_{C2} = 5.62 \text{ V}$$

$$V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = 2.03 \text{ V}$$

VERIFICA HP. PARTITORE PESANTE

$$h_{FE} \cong 150$$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} \cong 8.93 \text{ } \mu\text{A}$$

$$I_{R1} = \frac{V_{CC} - V_{B1}}{R1} \cong 4.23 \text{ mA}$$

$$I_{R2} = \frac{V_{B1}}{R2} \cong 4.23 \text{ mA}$$

$$I_{R4} = \frac{V_{CC} - V_{B2}}{R4} \cong 2.14 \text{ mA}$$

$$I_{R5} = \frac{V_{B2}}{R5} \cong 2.14 \text{ mA}$$

$$I_B \ll I_{R1}, I_{R2}, I_{R4}, I_{R5} \quad \text{OK!}$$

PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE

Q1 - Q2

$$h_{FE} = \frac{50 + 300}{2} = 175$$

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

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

$$r_{ob'} = r_{ie} - r_{b'e} = 150 \Omega$$

$$r_{b'e} = \frac{V_T \cdot h_{FE}}{I_C} \cong 3.4 \text{ k}\Omega$$

$$h_{ie} = r_{b'e} + r_{ob'} = 3.85 \text{ k}\Omega$$

Q1

$$V_{CE1} = V_{CC1} - V_{BE1} = 0.91 - 0.7 = 0.21 \text{ V}$$

$$f_{T1} \cong 100 \text{ MHz}$$

$$g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} = 51.54 \text{ mS}$$

$$C_{b'c1} \cong 10 \text{ pF}$$

$$C_{b'e1} = \frac{g_{m1}}{2\pi f_{T1}} - C_{b'c1} = 72.03 \text{ pF}$$

Q2

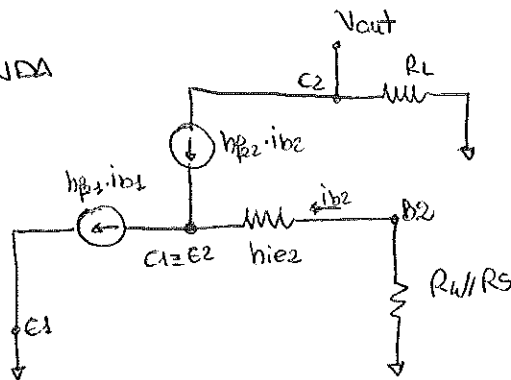
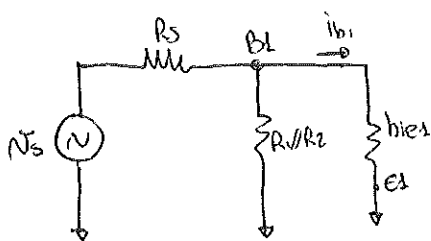
$$V_{ce2} = V_{ce2} - V_{be2} = 1.33 \text{ V}$$

$$f_{T2} \cong 100 \text{ MHz}$$

$$g_{m2} = g_{m1} = 51.54 \text{ mS}$$

Q2 è reattivo.

GUADAGNO A CENTRO BANDE



$$V_{out} = -R_L h_{fe2} \cdot i_{b2}$$

$$h_{fe2} \cdot i_{b2} + i_{b2} = h_{fe1} \cdot i_{b1}$$

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

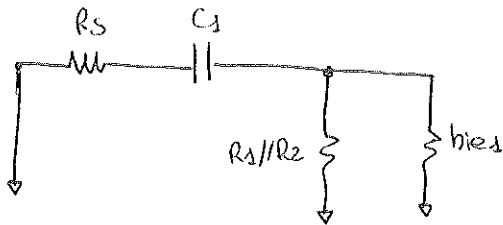
$$i_{b2} (h_{fe} + 1) = h_{fe} \cdot i_{b1}$$

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

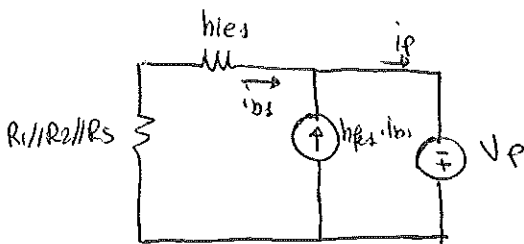
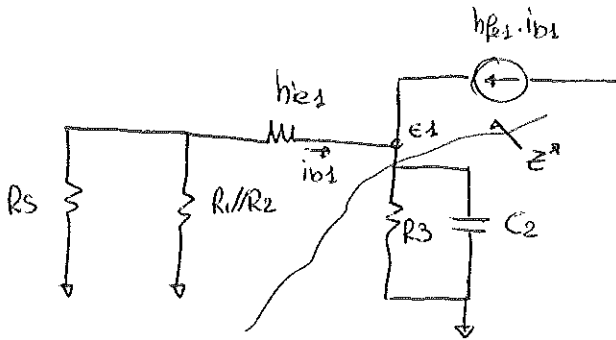
$$i_{b1} = \frac{N_s}{R_s + (R_1 // R_2 // h_{ie1})} \cdot \frac{R_1 // R_2}{(R_1 // R_2) + h_{ie1}}$$

$$V_{out} = -R_L \frac{h_{fe}^2}{h_{fe} + 1} \frac{1}{R_s + (R_1 // R_2 // h_{ie1})} \cdot \frac{R_1 // R_2}{(R_1 // R_2) + h_{ie1}} \cong -269$$

LIMITE INFERIORE DI BANDA



$$R_{Vc1} \Big|_{c.c.c.} = R_1 // R_2 // h_{ie1} + R_s = 0.63 \text{ k}\Omega = 634 \Omega$$



$$i_p = (1 + h_{\beta 1}) \cdot i_{b1}$$

$$V_p = (h_{ie1} + R_1 // R_2 // R_s) \cdot i_{b1}$$

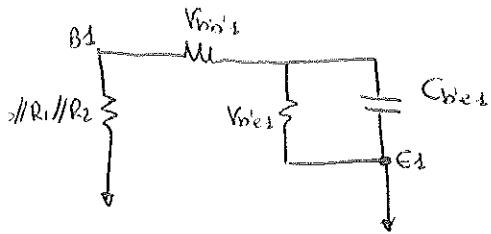
$$Z^* = \frac{V_p}{i_p} = \frac{(h_{ie1} + R_1 // R_2 // R_s)}{(1 + h_{\beta 1})} \approx 22.96 \Omega$$

$$R_{Vc2} \Big|_{c.c.c.} = R_3 // Z^* \approx 22.11 \Omega$$

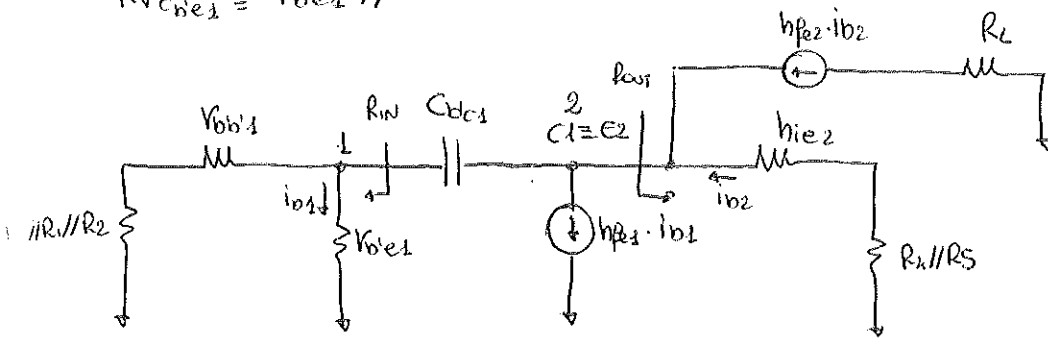
$$f_c = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{R_{Vc1} \cdot C_1} + \frac{1}{R_{Vc2} \cdot C_2} \right] = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{634 \times 100 \times 10^{-6}} + \frac{1}{22.11 \times 100 \times 10^{-6}} \right] \approx$$

$$\approx 74.5 \text{ Hz}$$

LIMITE SUPERIORE DI BANDA



$$R_{V_{C_{be1}}} = V_{be1} // (V_{bb1} + R_s // R_1 // R_2) \approx 463 \Omega.$$



$$R_{V_{C_{bc1}}} = R_{in} (1 + |A_{v1}|) + R_{out}$$

$$R_{in} = R_{V_{C_{be1}}} \approx 436 \Omega$$

$$R_{out} = \frac{h_{ie2} + R_2 // R_s}{h_{\beta} + 1} \approx 30 \Omega$$

$$A_v = \frac{V_2}{V_1} = \frac{-R_{out} h_{fe1} i_{b1}}{V_{be1} \cdot i_{b1}} = -1.55$$

$$R_{V_{C_{bc1}}} = R_{in} (1 + |A_{v1}|) + R_{out} \approx 1.14 \text{ k}\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi [R_{V_{C_{be1}}} C_{be1} + R_{V_{C_{bc1}}} C_{bc1}]} \approx \frac{1}{2\pi [463 \times 72.03 \times 10^{-12} + 1140 \times 10 \times 10^{-12}]} \approx 3.56 \text{ MHz}$$