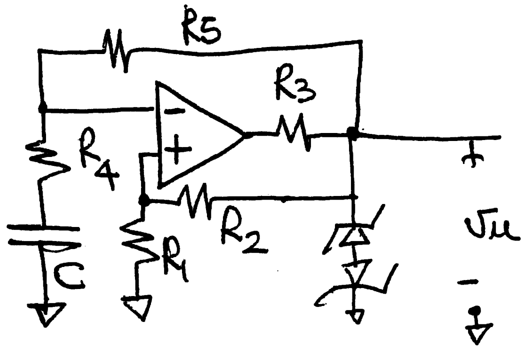
Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
7 giugno 2007
Parte A

1. Sia dato un amplificatore con A_v=2000, R_{in}=50 KΩ, R_{out}=1200 Ω. Imporre una reazione in modo da ottenere una resistenza d'ingresso maggiore di 1 MΩ, una resistenza di uscita minore di 100Ω e una amplificazione di tensione reazionata a vuoto A_F = 20.
2. Disegnare e dimensionare un filtro biquadratico che abbia due zeri nell'origine e due poli complessi coniugati di valore sp1,sp2 = - 2000 ± 5000 rad/s. Giustificare in dettaglio il procedimento.
3. Calcolare la forma d'onda generata dal circuito a lato, giustificandone completamente il procedimento. R1=R2=R3=R5=5 KΩ, R4=10KΩ, C=100 nF, Vo=6V. Si consideri ideale l'amplificatore operazionale.



4. Disegnare e quotare la porta logica con una uscita Y tale che Y sia l'OR degli ingressi A e B quando l'ingresso di controllo C=1 e l'AND di A e B quando l'ingresso di controllo C=0.

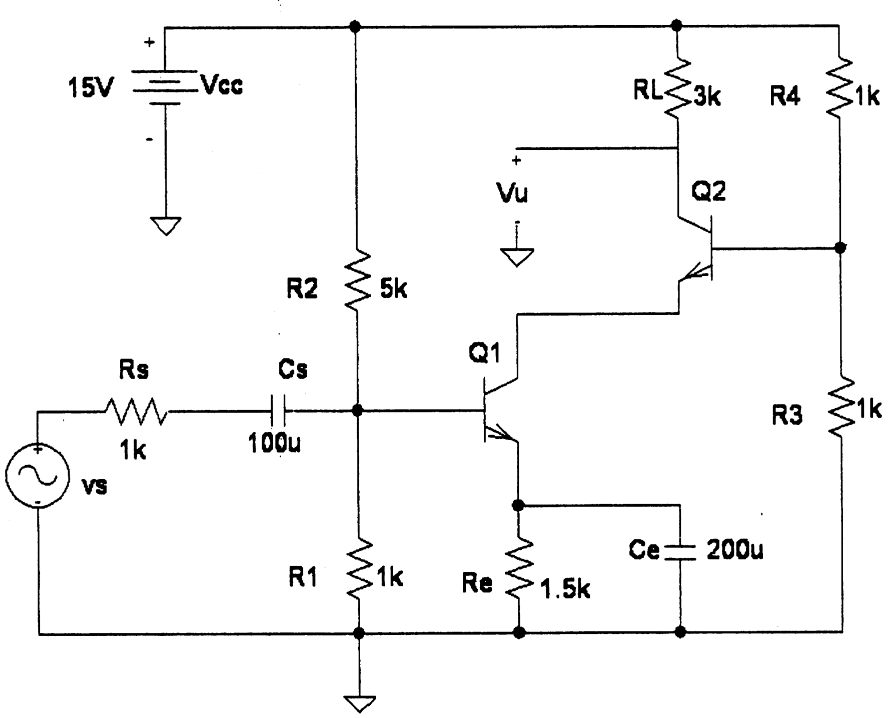
Punteggio totale Parte A: 14

Parte B

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

Ipotesi semplificative: Q1 e Q2 hanno hoe=0 e hre=0.

Punteggio totale Parte B: 14.

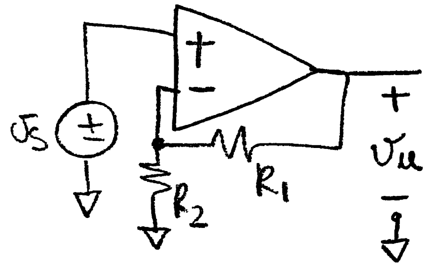


1

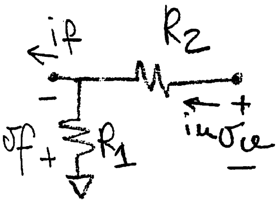
$A_V = 2000$
$R_{in} = 50\ K\Omega$
$R_{out} = 1200\ \Omega$

$A_F = 20$
$R_{IF} \geq 1\ M\Omega$
$R_{OF} \leq 100\ \Omega$

Dobbiamo scegliere una reazione con prelievo di tensione e inserzione di tensione.



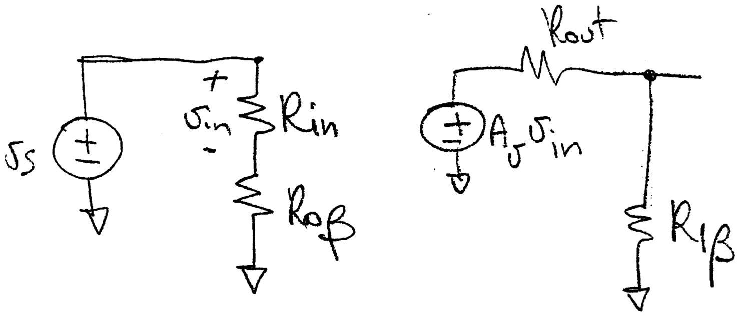
β



$$\begin{cases} v_f = \beta v_u + R_{o\beta} i_f \\ i_u = \dfrac{v_u}{R_{i\beta}} + k i_f \end{cases}$$

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

Ae



$$A_e = \frac{R_{in}}{R_{in}+R_{o\beta}} A_V \frac{R_{i\beta}}{R_{i\beta}+R_{OUT}} = \frac{R_{in}}{R_{in}+R_1/\!/R_2} A_V \frac{R_1+R_2}{R_1+R_2+R_{out}}$$

$$A_F = \frac{A_e}{1-\beta A_e} \simeq \frac{1}{-\beta} = 20 \rightarrow \quad R_1 = \frac{1}{20}(R_1+R_2)$$

$$R_2 = 19 R_1$$

$$R_{IF} = (\underset{\substack{\uparrow \\ 50\,k\Omega}}{R_{in}} + R_{o\beta})(1-\beta A_e) > 1\,M\Omega \quad \rightarrow \quad 1-\beta A_e > 20$$

$$R_{oF} \approx \frac{R_{out} /\!/ \overset{1200\,\Omega}{R_{i\beta}}}{1-\beta A_e} < 100$$

è sufficiente che $1-\beta A_e$ sia maggiore di 20 perché tutte le condizioni siano soddisfatte.

$$1-\beta A_e > 20 \rightarrow -\beta A_e > 19$$

$$\frac{R_1}{\cancel{R_1+R_2}} \frac{R_{in}}{R_{in}+R_1/\!/R_2} A_v \frac{\cancel{R_1+R_2}}{R_1+R_2+R_{out}} > 19$$

$$R_2 = 19 R_1 \qquad R_1/\!/R_2 = \frac{19}{20} R_1$$

$$-\beta A_e = \frac{R_1}{20 R_1 + \underset{\substack{\uparrow \\ 1200}}{R_{out}}} \underset{\substack{\uparrow \\ 2000}}{A_v} \frac{R_{in}}{\underset{\substack{\uparrow \\ 50\,k\Omega}}{R_{in}} + \frac{19}{20} R_1} > 19$$

la condizione è molto facile da realizzare. L'ultima frazione fa circa 1.
Se poniamo $R_1 = 1\,k\Omega$, ad esempio otteniamo

$$-\beta A_e \quad \frac{1000}{21200} \cdot 2000 \cdot \frac{50000}{50950} = \underline{94{,}057} > 19 \qquad \rightarrow 1-\beta A_e = 95{,}057$$

Otteniamo quindi

$$R_{IF} = (R_{in} + R_{o\beta})(1-\beta A_e) = (50000 + 950)\, 95.057 = 4{,}84\,M\Omega$$

$$R_{oF} = \frac{R_{out} /\!/ R_{i\beta}}{1-\beta A_e} = \frac{1200 /\!/ 20000}{95{,}057} = 11.91\,\Omega$$

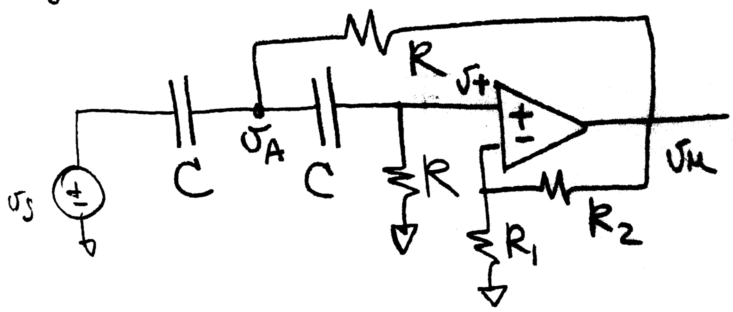
2) Il filtro è un filtro passaalto che ha fdt del tipo

$$H(s) = \frac{H_\infty \frac{s^2}{\omega_0^2}}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + \frac{s}{Q\omega_0} + 1}$$

nel nostro caso $\omega_0 = |S_p| = \sqrt{2000^2 + 5000^2} = 5385$ rad/s

$$Q = \frac{1}{2\cos\xi} \quad \text{dove} \quad \cos\xi = \frac{-Re\{S_p\}}{\omega_0} = \frac{2000}{5385} = 0.37 \rightarrow \underline{Q = 1{,}35}$$

Il filtro può essere realizzato con una cella di Sallen-Key passa alto



$A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

$v_+ = v_u / A$.

equazione al nodo v_A : $v_A\left(2Cs + \frac{1}{R}\right) - v_S Cs - \frac{v_u}{A}Cs - \frac{v_u}{R} = 0$

inoltre $\frac{v_u}{A} = \frac{v_A}{R + \frac{1}{Cs}} R = \frac{v_A RCs}{1+RCs}$

$v_A = \frac{v_u}{A}(1+RCs)$

$\frac{v_u}{A}\frac{(1+RCs)}{RCs}\left(\frac{1}{R}+2Cs\right) - v_S Cs - \frac{v_u}{A}Cs - \frac{v_u}{R} = 0$

$v_u(1+RCs)(1+2RCs) - v_S A R^2C^2s^2 - v_u R^2C^2s^2 - v_u RCs A = 0$

$v_u\left[1 + 3RCs + 2R^2C^2s^2 - R^2C^2s^2 - RCs A\right] = v_S A R^2C^2s^2$

$$\frac{v_u}{v_S} = \frac{A R^2C^2s^2}{R^2C^2s^2 + (3-A)RCs + 1}$$

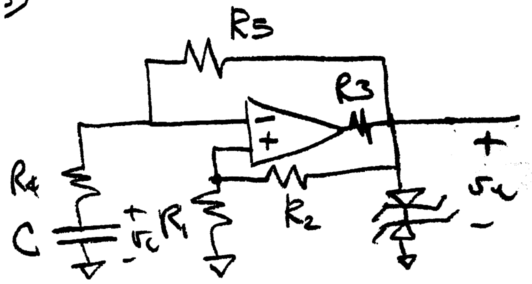
confrontando con l'espressione precedente troviamo

$5385\,\text{rad/s} = \omega_0 = \frac{1}{RC} \rightarrow \boxed{R = 10\,k\Omega} \rightarrow C = \frac{1}{R\omega_0} = \boxed{18.57\,nF}$

$\frac{1}{Q} = 3 - A \rightarrow A = 3 - \frac{1}{Q} = 3 - 0{,}74 = \underline{\underline{2{,}26}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

es $\boxed{\begin{array}{l} R_1 = 10\,k\Omega \\ R_2 = 12.6\,k\Omega \end{array}}$

3)



proviamo a vedere se funziona da generatore di forma d'onda.

poniamo che per $t=0$ $v_C=0$ e $v_u=+V_0$

abbiamo $v^+=\frac{1}{2}V_0$ e $v^-=\frac{R_4}{R_4+R_5}v_0=\frac{2}{3}V_0$, cioè $v^->v^+$, che non è compatibile con la scelta iniziale

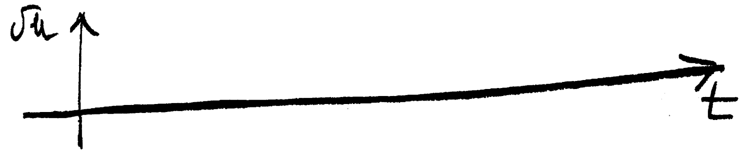
se poniamo $v_C(0)=0$ e $v_u(-V_0)$, abbiamo $v^+=-\frac{1}{2}V_0$ e $v^-=-\frac{2}{3}V_0$, ancora non compatibile con le scelte iniziale.

Però se poniamo che l'operazionale sia in zona di funzionamento lineare, cioè che valga il c.c. virtuale, abbiamo $-V_0<v_u^{(0)}<V_0 \Rightarrow v^+=v^-$

$$v^+=\frac{v_u}{2}, \quad \text{se } v_C(0)=0 \quad v^-=\frac{R_4}{R_4+R_5}v_u=\frac{2}{3}v_u$$

imponiamo $v^+=v^- \Rightarrow \frac{v_u}{2}=\frac{2}{3}v_u \rightarrow \boxed{v_u=0}$

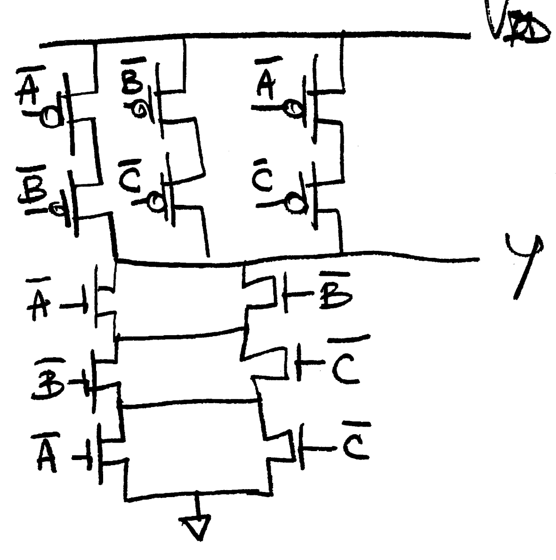
se $v_u=0$ tutte le correnti sono nulle e quindi lo stato del sistema non cambia nel tempo. Abbiamo $v_u=0$ per $t\geq 0$



4) La funzione logica da implementare è $Y=(A+B)C+(AB)\overline{C}$

C \ AB	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	0	1	1	1

$Y=AB+BC+AC$



PUNTO DI RIPOSO

IPOTESI DI PARTITORE PESANTE

$$V_{B1} = V_{CC}\frac{R_1}{R_1+R_2} = 2{,}5\,V$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_\gamma = 1{,}8\,V$$

$$I_{C1} \cong \frac{V_{E1}}{R_E} = 1{,}2\,mA = I_{C2}$$

$$V_{B2} = V_{CC}\frac{R_3}{R_3+R_4} = 7{,}5\,V$$

IPOTESI DI PARTITORE PESANTE

$$V_{C1} = V_{E2} = V_{B2} - V_\gamma = 6{,}8\,V \quad \Rightarrow V_{CE1} = 5\,V$$

$$V_{C2} = V_{DD} - R_L I_{C2} = 11{,}4\,V \quad \Rightarrow V_{CE2} = 4{,}6\,V$$

Q_1: $V_{CE1} = 5\,V$, $I_{C1} = 1{,}2\,mA$, $h_{FE} \cong 0{,}9 \cdot 290 = 261$

Q_2: $V_{CE2} = 4{,}6\,V$, $I_{C2} = 1{,}2\,mA$, $h_{FE} \cong 0{,}9 \cdot 290 = 261$

VERIFICA IPOTESI DI PARTITORE PESANTE PER Q1

$$I_{B1} = \frac{I_{C1}}{h_{FE}} \cong 4{,}6\,\mu A \quad \Rightarrow \frac{V_{CC}}{R_1+R_2} = 2{,}5\,mA \gg I_{B1}$$

VERIFICA IPOTESI DI PARTITORE PESANTE PER Q2

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{h_{FE}} \cong 4{,}6\,\mu A \quad \Rightarrow \frac{V_{CC}}{R_3+R_4} = 7{,}5\,mA \gg I_{B2}$$

CALCOLO DEI PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE

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

$$g_{m1} = g_{m2} = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1{,}2\cdot 10^{-3}}{26\cdot 10^{-3}} \cong 46\,m\Omega^{-1}$$

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

$$\Rightarrow r_{bb'} = 4{,}8\,K\Omega - 3{,}9\,K\Omega = 900\,\Omega$$

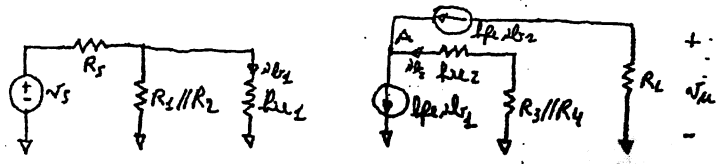
$$r_{b'e1} = r_{b'e2} = \frac{h_{fe}}{g_m} \cong 6{,}52\,K\Omega \quad \Rightarrow h_{ie1} = h_{ie2} \cong 7{,}42\,K\Omega$$

$$f_{T1} = f_{T2} \cong 130\,MHz$$

$$C_{b'c1\,(V_{CB}=4{,}3V)} \cong 4{,}5\,pF \quad \Rightarrow C_{b'e1} = \frac{g_{m1}}{2\pi f_T} - C_{b'c1} \cong 51{,}8\,pF$$

$$C_{b'c2\,(V_{CB}=3{,}9V)} \cong 5\,pF \quad \Rightarrow C_{b'e2} = \frac{g_{m2}}{2\pi f_T} - C_{b'c2} \cong 51{,}3\,pF$$

CALCOLO DEL GUADAGNO A CENTROBANDA



$$v_u = -R_L h_{fe} i_{b2} \quad (1)$$

Legge al nodo A: $\left[(h_{fe}+1) i_{b2} - h_{fe} i_{b1}\right] = 0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow i_{b2} = \frac{h_{fe} i_{b1}}{h_{fe}+1} \quad (2)$$

$$i_{b1} = \frac{v_S}{R_S} \frac{R_S//R_1//R_2}{R_S//R_1//R_2 + h_{ie}} \quad (3)$$

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

$$A_{CB} = \frac{v_u}{v_S} = -\frac{(R_S//R_1//R_2)\, h_{fe}^2 R_L}{\left[R_S//R_1//R_2 + h_{ie}\right](h_{fe}+1) R_S} \cong -51,78$$

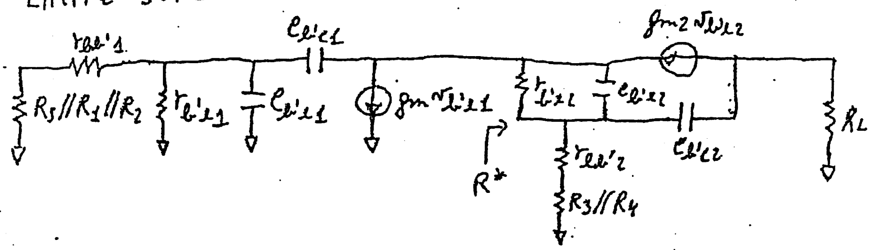
LIMITE INFERIORE DI BANDA

$$R_{VC_E}\Big|_{C_S cc} = R_E // \left[\frac{h_{ie1} + R_S//R_1//R_2}{h_{fe}+1}\right] \cong 25,71\ \Omega$$

$$R_{VC_S}\Big|_{C_E cc} = R_S + R_1//R_2//h_{ie} \cong 1,75\ K\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{1}{R_{VC_E} \cdot C_E} + \frac{1}{R_{VC_S} \cdot C_S}\right) \cong 31,82\ Hz$$

LIMITE SUPERIORE DI BANDA



$$R_{Vb'e1} = r_{b'e1} // \left[r_{bb'1} + R_1//R_2//R_S\right] \cong 1,12\ K\Omega$$

$$R_{Vb'c1} = R_{Vb'e1}(1 + g_m R^*) + R^* \cong 2,5\ K\Omega \qquad \text{dove } R^* = \frac{r_{b'e2} + r_{bb'2} + R_3//R_4}{h_{fe}+1} \cong 26,31\ \Omega$$

$$R_{Vb'e2} = r_{b'e2} // \frac{1}{g_{m2}} \cong 21,67\ \Omega$$

$$R_{Vb'c2} = R_L + r_{bb'2} + R_3//R_4 \cong 4,4\ K\Omega$$

$$f_H = \frac{1/2\pi}{R_{Vb'e1}C_{b'e1} + R_{Vb'c1}C_{b'c1} + R_{b'e2}C_{b'e2} + R_{Vb'c2}C_{b'c2}} \cong 1,72\ MHz$$