Esame di Elettronica - Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
13 gennaio 2015

1. Si consideri un amplificatore con amplificazione di tensione in continua A_{VO}=2000, R_{in} = 50 KΩ, R_{out} = 200 Ω, un polo a frequenza f_p = 1 KHz. Inoltre sia R_s = 1 KΩ la resistenza del generatore di segnale e R_L = 200 Ω la resistenza del carico. Si reazioni il circuito in modo da ottenere una resistenza di ingresso maggiore di 5 MΩ e una resistenza di uscita compresa tra 100 e 200 KΩ. Si calcoli la nuova funzione di trasferimento del circuito.

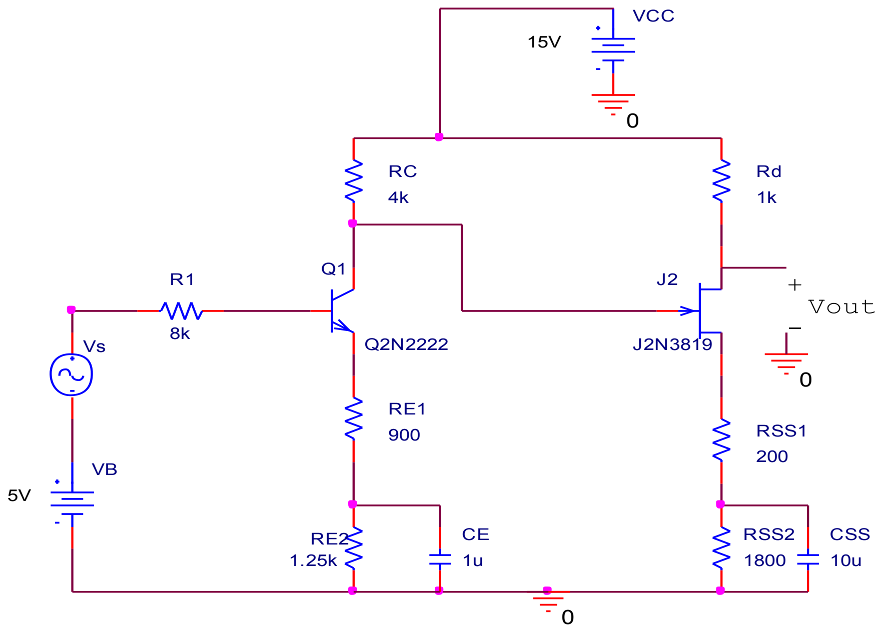
2. Si ricavi il circuito e si quotino i parametri di un filtro con due poli reali di valore sp_1 = - 1500 rad/s e sp_2 = - 2500 rad/s e nessuno zero nell'origine. E' necessario giustificare il procedimento.

Con riferimento al circuito mostrato a lato, calcolare:

- il punto di riposo dei due transistori Q1 e J2 e i parametri del circuito di piccolo segnale
- la funzione di trasferimento a centro banda
- il limite superiore di banda

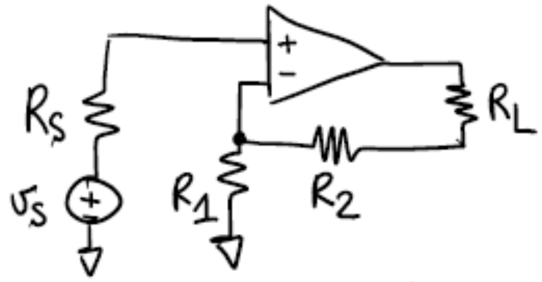
Assunzioni semplificative:

- Per il transistore Q1: considerare h_{oe}=0, h_{re}=0
- Per il transistore J2, considerare il transistore resistivo, $r_d \rightarrow \infty$, V_{gsoff}= 3V , J2 resistivo

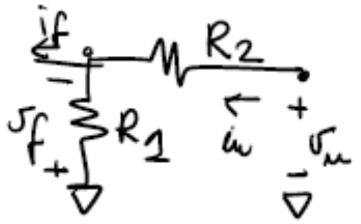


Es. 1

1) $R_{IF} \gg R_{in}$; $R_{OF} \gg R_{out}$ → Prelievo di corrente
inserzione di tensione



Rete per il β:



$v_f = \beta i_u + R_{o\beta} i_f$

$v_u = R_{i\beta} i_u + \cancel{k i_f}$

$$\beta \equiv \left.\frac{v_f}{i_u}\right|_{i_f=0} = -R_1 \ ; \quad R_{o\beta} = \left.\frac{v_f}{i_f}\right|_{i_u=0} = R_1$$

$$R_{i\beta} = \left.\frac{v_u}{i_u}\right|_{i_f=0} = R_1 + R_2$$

Circuito per $A_e \equiv \left.\frac{i_u}{v_s}\right|_{\beta=0}$

$$A_{e_0} = \frac{R_{in}}{R_S + R_{in} + R_{o\beta}} \ A_{v_0} \frac{1}{R_{i\beta} + R_L + R_{out}}$$

$$R_{IF} = (R_{o\beta} + \underbrace{R_{in}}_{50\,k\Omega})(1 - \beta A_{e0}) > 5\,M\Omega$$

$$R_{OF} = (\underset{\uparrow}{R_{i\beta}} + \underset{\substack{\uparrow \\ 200}}{R_{out}})\left(1 - \beta A_{e0}\Big|_{R_L=0}\right) \Rightarrow 100\,k\Omega < R_{OF} < 200\,k\Omega$$

se poniamo $R_{i\beta} \sim 1000\,\Omega$ e $-\beta A_{e0} \simeq 150$ abbiamo $R_{OF} \sim 120\,k\Omega$
e $R_{IF} > 5\,M\Omega$

Poniamo $R_{i\beta} = R_1 + R_2 = 1000\ \Omega$

Vogliamo $\beta A_{e0}|_{R_L=0} = -150 = \dfrac{-R_1}{R_{i\beta}+R_{out}}\ \underset{2000}{A_{v0}}\ \dfrac{\overset{50k}{R_{in}}}{\underset{50k}{R_{in}}+R_S+R_{o\beta}}$

ottengo una equazione di 1° grado in R_1

$$+\frac{150 \cdot 52}{50 \cdot 2000} = \frac{R_1}{R_{i\beta}+R_{out}} \Rightarrow 0.078\,(1200) = R_1 \approx 93.6\ \Omega$$

$$R_2 = 906.4\ \Omega$$

Calcoliamo $R_{oF} = (R_{i\beta}+R_{out})(1-\beta A_{e0}|_{R_L=0}) =$

$$= 1200\,(1+150) = 181\,200 \qquad \underline{\text{OK}}$$

$$R_{iF} = (R_{o\beta}+R_{in})(1-\beta A_{e0}|_{R_S=0}) =$$

$$= (93.6+50000)\left(1+\frac{93.6}{1400}\,2000\,\frac{50}{51}\right) =$$

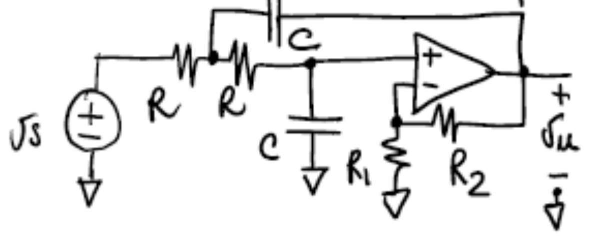
$$= 50093.6\,(1+131.09) = 6.617\ M\Omega$$

$$A_{F0} = \frac{i_u}{v_s} = \frac{A_{e0}}{1-\beta A_{e0}} = 0.0107$$

$$f_H = f_p(1-\beta A_{e0}) = 1000 \cdot 129.6 = 129.6\ KHz$$

$$\boxed{A_F = \frac{A_{F0}}{1+jf/f_H}}$$

② Possiamo usare una cella passabasso di Sallen Key



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

con $A_V = 1+\frac{R_2}{R_1}$

Se vogliamo $s_{p1} = -1500$ rad/s e $s_{p2} = -2500$ rad/s

$$\frac{1}{R^2C^2} = s_{p1}s_{p2} = 3.75 \cdot 10^6 \ \text{rad}^2/\text{s}^2$$

$$RC = \frac{1}{\sqrt{3.75 \cdot 10^6}} = \underline{516.4 \mu s}$$

poniamo $\underline{C = 100 \ nF}$

$$R = \frac{516 \cdot 10^{-6}}{10^{-7}} = \underline{5164 \ \Omega}$$

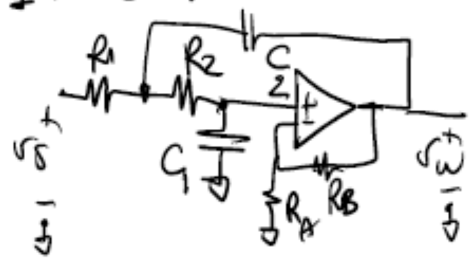
$$RC(3 - A_V) = -\left(\frac{1}{s_{p1}} + \frac{1}{s_{p2}}\right) = \frac{1}{1500} + \frac{1}{2500} = 0.00107 \ s$$

$$3 - A_V = \frac{0.00107}{516.4 \cdot 10^{-6}} = 2.065 \rightarrow \underline{\underline{A_V = 0.935}}$$

così non posso usare l'amplificatore invertente devo fare così

Abbiamo a questo punto 2 soluzioni possibili

1 usare $R_1 \neq R_2$ $C_1 \neq C_2$ in generale



$$\frac{v_u}{v_s} = \frac{A_V}{R_1R_2C_1C_2s^2 + \left[(R_1+R_2)C_2 + R_1C_1(1-A_V)\right]s + 1}$$

$$R_1R_2C_1C_2 = \frac{1}{s_{p1}s_{p2}} = 2.67 \cdot 10^{-7} \ s^2$$

$$(R_1+R_2)C_2 + R_1C_1(1 - A_V) = 0.00107 \ s$$

poniamo $C_1 = C_2 = C$ e $R_2 = 10R_1$

il denominatore diventa $\quad \underbrace{10R_1^2C^2s^2} + \underbrace{(12 - A_V)RCs}_{0.00107} + 1$

$$10R_1^2C^2 = \frac{1}{3.75 \cdot 10^6}$$

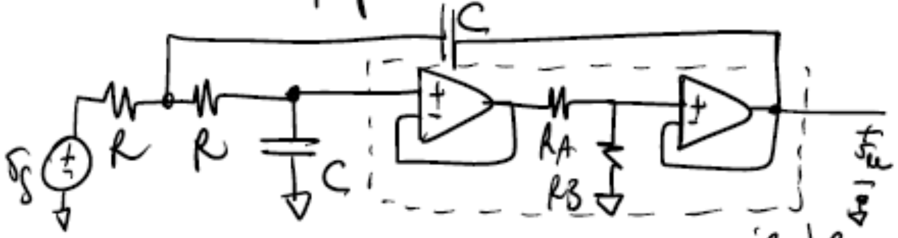
$$R_1C = \sqrt{\frac{1}{3.75 \cdot 10^7}} = 1.63 \cdot 10^{-4} s \rightarrow \begin{array}{l} C = 100 \ nF \\ R_1 = 1.63 \ k\Omega \end{array}$$

$\underline{(12-A_V)R_1C} = 0.00107 \rightarrow 12-A_V = 0.00107/1.63\cdot10^{-4} =$

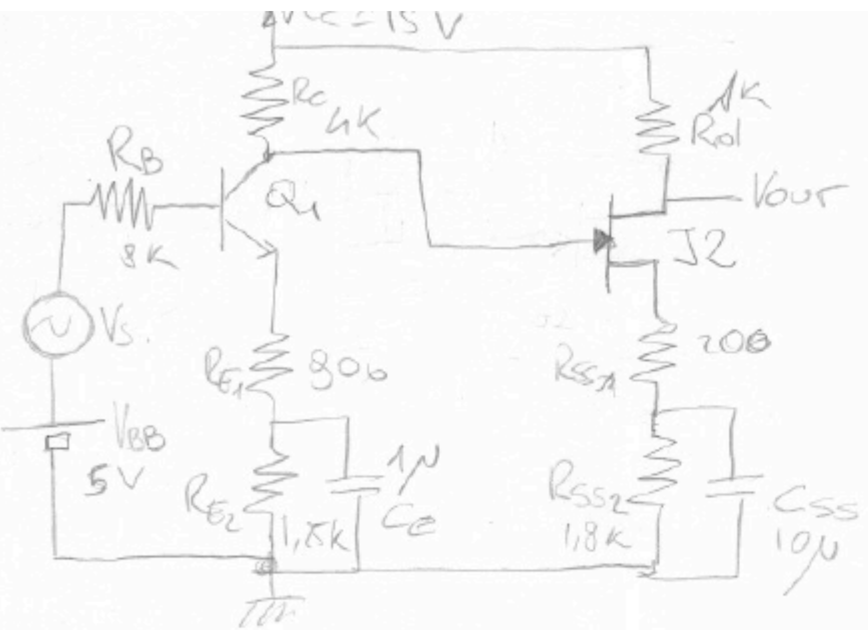
$= 6.564$

$\underline{\underline{A_V = 5.436}}$ $\quad R_A = 10\,K\Omega$ ||
$R_B = 44.36\,K\Omega$

2. Usare un amplificatore di tensione ideale che amplifichi 0.935



$R_B = 9.35\,K\Omega$
$R_A = 650\,\Omega$ || il blocco nel riquadro Tratteggiato amplifica $\underline{\underline{0.935}}$



$h_{oe} = 0 \quad V_A = \infty \quad h_{re} = 0 \quad$ J2: resistivo ($V_{GSoff} = -3V$)

PUNTO DI RIPOSO

Iniziamo da Q1. La batteria VBB e la resistenza RB possono essere immaginati come l'equivalente di Thevenin della classica struttura a partitore

$R_B = R_{B1} // R_{B2}$

$V_B = \dfrac{V_{CC}}{R_{B1}+R_{B2}} \, R_{B2}.$

Equazione alla maglia d'ingresso

$V_{BB} = R_B I_B + V_\gamma + (R_{E1}+R_{E2})(h_{FE}+1) I_B$

Perché RB sia trascurabile dobbiamo imporre che

$R_B I_B \ll (R_{E1}+R_{E2})(h_{FE}+1) I_B \implies R_B \ll (R_{E1}+R_{E2})(h_{FE}+1)$. OK

Allora, con l'ipotesi fatta,

$V_{B1} = V_{BB} \implies V_{E1} = V_{BB} - V_\gamma = 4{,}3\,V$ [Hp di zona attiva diretta]

$I_E = \dfrac{V_{E1}}{R_{E1}+R_{E2}} = 2\,mA$

Verifichiamo subito la 1ª ipotesi.

$h_{FE}@2mA = 150$ (da caratteristiche)

$I_B = \dfrac{I_C}{h_{FE}} = 13{,}3\,\mu A \implies R_B I_B = 106\,mV << 5\,V$ <u>OK</u>

$V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_{E1} + R_{E2}) I_E = 2{,}7\,V$ $\left(>> V_{CESAT} \overset{ok}{\implies} Z.A.D \right)$

$V_{CB} = \underbrace{V_{CC} - R_C I_C}_{V_C} - \underbrace{V_{BB}}_{V_B} = 2\,V$

Calcoliamo anche i parametri di piccolo segnale per Q1

$h_{fe} \simeq 175$

$r_b = 450$ per il Q 2N2222

$r_\pi = \dfrac{V_T}{I_C} h_{fe} = 2{,}26\,K\Omega \implies h_{ie} = r_\pi + r_b = 2{,}715\,K\Omega$

$g_{m_{BJT}} = \dfrac{I_C}{V_T} = 77{,}2\,mS$

$f_T \simeq 140\,MHz$

$C_\mu @ V_{CB}=2V = 6\,pF \implies C_\pi = \dfrac{g_m}{2\pi f_T} - C_\mu = 81{,}8\,pF$

Passiamo adesso al JFET.

$V_G = V_{C1} = V_{CC} - R_C I_{C1} = 7V$

$V_S = (R_{SS1} + R_{SS2}) I_{DS}$

$V_{GS} = V_G - (R_{SS1} + R_{SS2}) I_{DS}$

Se $V_{GS} = 0$

$\Downarrow$

$I_{DS} = \dfrac{V_G}{R_{SS1} + R_{SS2}} = 3,5 mA$

Se $V_{GS} = -3V$

$\Downarrow$

$I_{DS} = \dfrac{V_G - V_{GS}}{R_{SS1} + R_{SS2}} = 5 mA$

$$\boxed{\begin{array}{l} V_{GS} \simeq -1,25\,V \\ I_{DS} \simeq 4,1\,mA \end{array}}$$

Dalle caratteristiche (con l'ipotesi che il JFET sia in saturazione)

Allora

$V_{DS} = V_{CC} - (R_d + R_{SS1} + R_{SS2}) \cdot I_{DS} = 2,7V$

Dobbiamo verificare che $V_{DS} \geq V_{GS} - V_P$

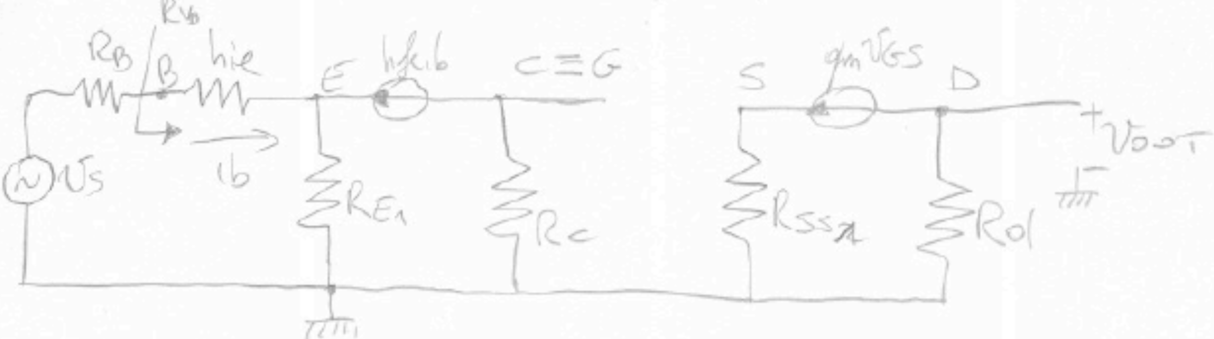
$2,7 \geq -1,25 - (-3V) = 1,75$ OK

Calcoliamo anche i parametri di piccolo segnale

$g_m = 4,5 mS$

Le capacità non dobbiamo calcolarle perché J2 è stato supposto resistivo.

AMPLIFICAZIONE A CENTRO BANDA.



Come al solito procediam dall'uscita verso l'ingresso

$V_{OUT} = -g_m V_{GS} R_d$

Dobbiamo calcolare V_{GS}

$$V_{GS} = V_G - V_S = \underbrace{-h_{fe} i_b R_C}_{V_G} - \underbrace{g_m V_{GS} R_{SS1}}_{V_S}$$

$$V_{GS}(1 + g_m R_{SS1}) = -h_{fe} i_b R_C \Rightarrow V_{GS} = -\frac{h_{fe} R_C}{1 + g_m R_{SS1}} \cdot i_b$$

Non ci rimane che calcolare i_b in funzione di V_s. (i_b è la corrente erogata da V_s).

$$i_b = \frac{V_s}{R_B + \underbrace{h_{ie} + R_{E1}(h_{fe}+1)}_{R_{VB}}}$$

Mettendo tutto insieme otteniamo

$$\frac{V_U}{V_S} = \frac{g_m R_d h_{fe} R_C}{1 + g_m R_{SS1}} \cdot \frac{1}{R_B + h_{ie} + R_{E1}(h_{fe}+1)} = 9{,}8$$

FREQUENZA DI TAGLIO SUPERIORE

J2 è supposto resistivo, dobbiamo calcolare le resistenze viste da C_μ e C_π

Non conta nel calcolo delle resistenze

C_π

Togliamo r_π (la metteremo in // alla fine) e mettiamo al posto di C_π un generatore di prova V_p.

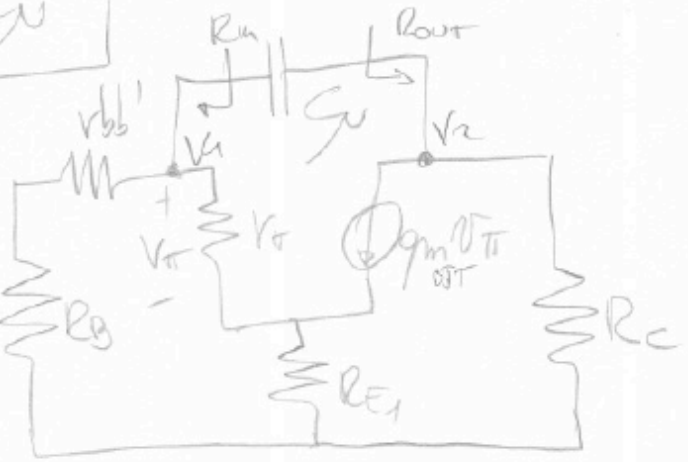
$$v_p = (r_{bb'} + R_B)\, i_p + R_{E1}\left(i_p - g_{m_{BJT}} v_p\right)$$

$$\Downarrow$$

$$\frac{v_p}{i_p} = \frac{r_{bb'} + R_B + R_{E1}}{1 + g_{m_{BJT}} R_{E1}}$$

$$R_{V_{C\pi}} = r_\pi \,//\, \left[\frac{r_{bb'} + R_B + R_{E1}}{1 + g_{m_{BJT}} R_{E1}}\right] \simeq 125\,\Omega$$

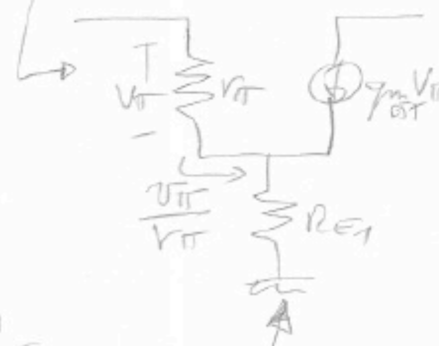
C_μ



Utilizziamo il metodo usuale per il calcolo delle resistenze viste da una capacità tra ingresso e uscita di uno stadio amplificatore.

$$R_{OUT} = R_C = 4K\Omega$$

$$R_{in} = (r_{bb'}+R_B) \,//\, \underbrace{\left[r_\pi + R_{E1}\left(1+g_{m_{BJT}} r_\pi\right)\right]} \simeq 8K\Omega$$



$$A_v = \frac{v_2}{v_1} = \frac{-g_{m_{BJT}} v_\pi R_C}{v_\pi + R_{E1}\left(g_{m_{BJT}} v_\pi + \frac{v_\pi}{r_\pi}\right)}$$

$$A_v = -\frac{g_{m_{BJT}} R_C}{1+\left(g_{m_{BJT}} + \frac{1}{r_\pi}\right) R_{E1}} = -4{,}35$$

$$R_{V C_\mu} = R_{in}\left(1+|A_v|\right) + R_{out} = 46{,}85\,K\Omega$$

Alla fine abbiamo

$$f_H = \frac{1}{2\pi} \cdot \left[\frac{1}{R_{Vc\pi} \cdot C_\pi + R_{Vc\mu} C_\mu} \right] = 5{,}16 \ \underline{\underline{KHz}}$$