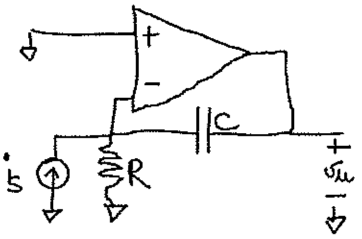
Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
9 gennaio 2009
Parte A

1. Calcolare l'espressione dell'impedenza di ingresso del circuito a lato, e disegnarne i diagrammi di Bode in fase e ampiezza. Si consideri l'amplificatore di tensione con Av = 100, Rin = 1 MΩ, Rout = 100 Ω. Inoltre R = 1 KΩ e C = 10 nF.



2. Disegnare lo schema di un generatore d'onda rettangolare con periodo 1 KHz, duty cicle 1/2, livello alto +5 V, livello basso -2 V. Dimensionare i componenti e giustificare il procedimento.
3. Disegnare lo schema e dimensionare i componenti di un filtro biquadratico con due poli coincidenti di -1000 rad/s. Giustificare il procedimento.
4. Disegnare e quotare il circuito a porte complessa CMOS che realizzi un demultiplexer 1:2, fino al livello dei singoli transistori. Realizzare lo stesso circuito anche con pass gate.

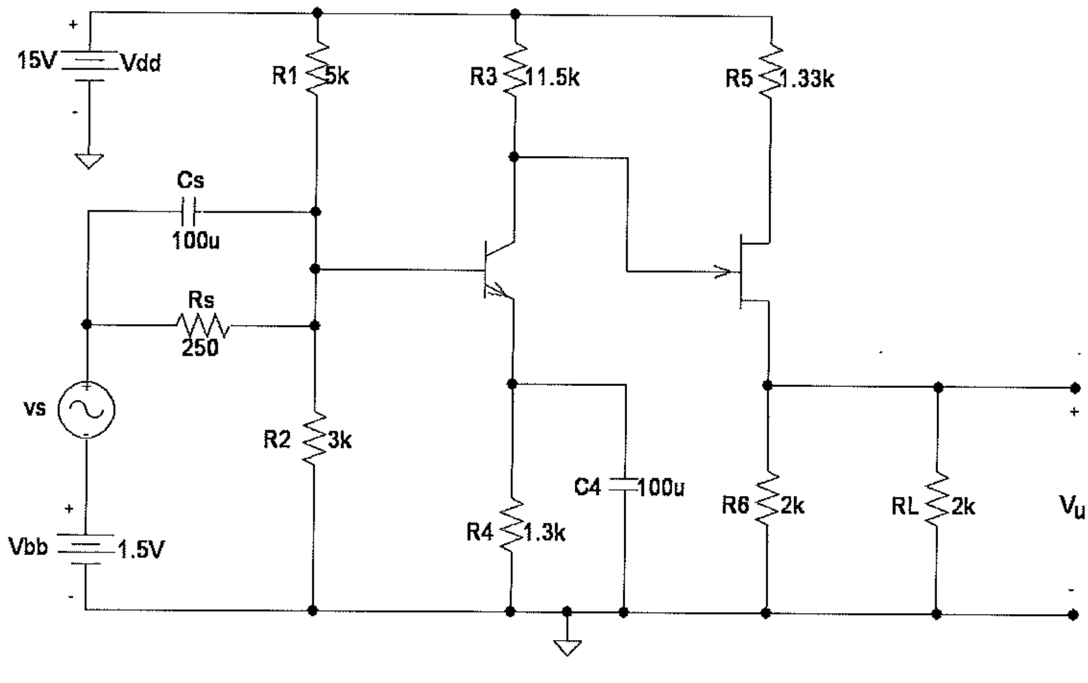
Punteggio totale Parte A: 14.

Parte B

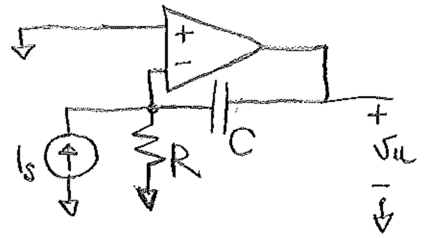
Dato l'amplificatore disegnato in figura, calcolare:
- il punto di riposo dei due transistori,
- l'amplificazione Vu/Vs a centrobanda,
- il limite superiore di banda e il limite inferiore di banda

NOTE:
- Il BJT è un BC109B con hoe=0;
- Il JFET è un 2N3819 con rd → ∞.

Punteggio totale Parte B: 14.



1)



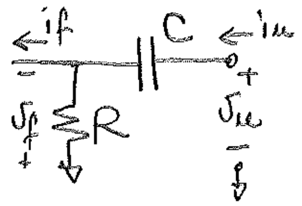
$R_{in} = 1M\Omega$ $\quad R = 1K\Omega$

$R_{out} = 100\Omega$ $\quad C = 10nF$

$A_v = 100$

Calcolare l'impedenza di ingresso

rete per β (reazione con prelievo di tensione e inserzione di corrente)

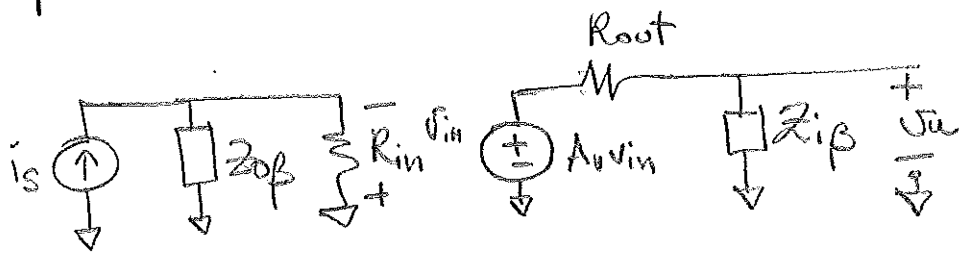


$$i_f = \beta v_u + \frac{v_f}{Z_{o\beta}}$$

$$i_u = \frac{v_u}{Z_{i\beta}} + \cancel{K v_f}$$

$$\beta = \left.\frac{i_f}{v_u}\right|_{v_f=0} = Cs \qquad Z_{i\beta} = \left.\frac{v_u}{i_u}\right|_{v_f=0} = \frac{1}{Cs} \qquad Z_{o\beta} = \left.\frac{v_f}{i_f}\right|_{v_u=0} = R /\!/ \frac{1}{Cs} = \frac{R}{RCs+1}$$

rete per Ae



$$v_{in} = -i_s \left[R_{in} /\!/ Z_{o\beta}\right]$$

$$v_u = \frac{+A_v v_{in} Z_{i\beta}}{R_{out} + Z_{i\beta}} \Rightarrow A_e = \left.\frac{v_u}{v_i}\right|_{\beta=0} = -\frac{A_v R_{in} /\!/ Z_{o\beta}}{R_{out} + Z_{i\beta}} Z_{i\beta}$$

$$Z_{IF} = \frac{(R_{in} /\!/ Z_{o\beta})}{1-\beta A_e} = \frac{R_{in} /\!/ R /\!/ \frac{1}{Cs}}{1 + \cancel{Cs}\left[\frac{1}{\cancel{Cs}}\left(\frac{A_v R_{in} /\!/ R /\!/ \frac{1}{Cs}}{R_{out} + \frac{1}{Cs}}\right)\right]} =$$

$$= \frac{\frac{(R_{in} /\!/ R)}{(R_{in} /\!/ R)Cs + 1}}{1 + A_v \frac{(R_{in} /\!/ R)Cs}{\left[(R_{in} /\!/ R)Cs + 1\right](R_{out}Cs + 1)}} = \frac{(R_{in} /\!/ R)(R_{out}Cs + 1)}{(1 + R_{out}Cs)\left[1 + (R_{in} /\!/ R)Cs\right] + A_v (R_{in} /\!/ R)Cs}$$

$$Z_{IF} = \frac{(R_{in}/\!/R)(R_{out}Cs+1)}{R_{out}(R_{in}/\!/R)C^2s^2+\left[R_{out}C + R_{in}/\!/RC + A_v R_{in}/\!/RC\right]s+1}$$

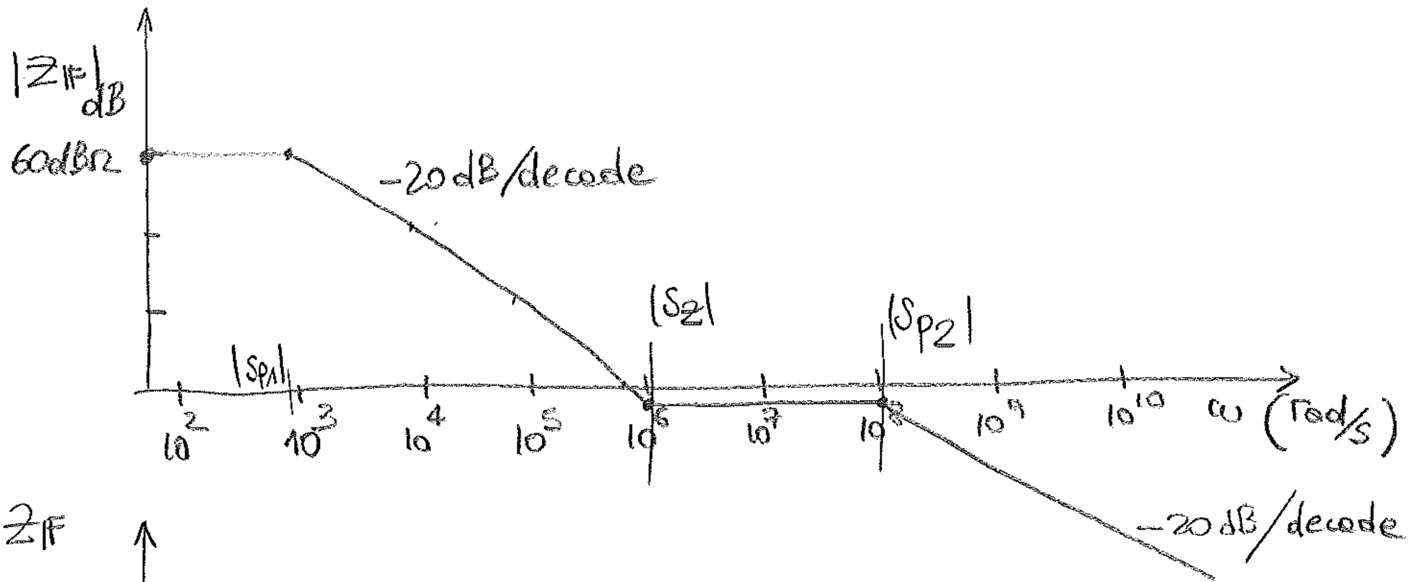
$$R_{IF}\Big|_{s=0} = R_{in}/\!/R = 1k\Omega = 60dB\Omega$$

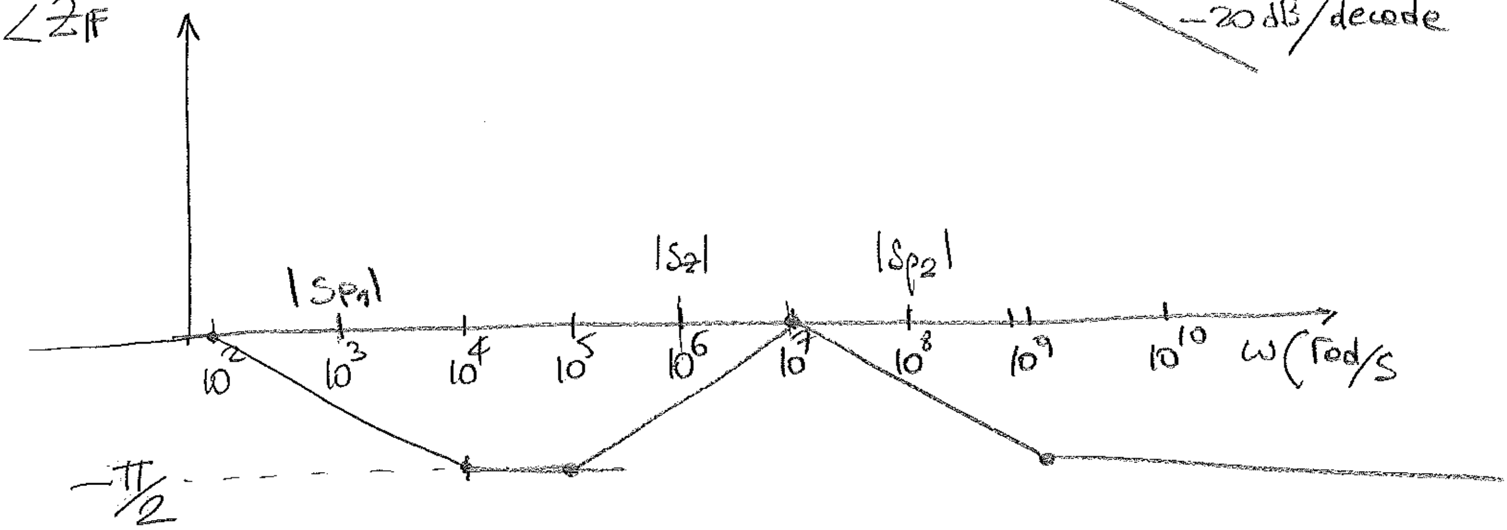
zero $\quad s_z = -\frac{1}{R_{out}C} = 1\,Mrad/s$

denominatore

$$10^{-11}s^2+\left[10^2\cdot10^{-8}+10^3\cdot10^{-8}+100\cdot10^3\cdot10^{-8}\right]s+1$$

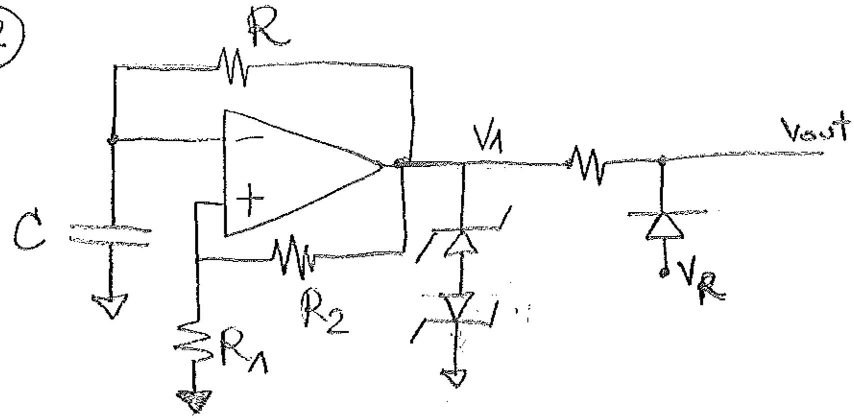
$$10^{-11}s^2 + 1{,}01\cdot10^{-3}s+1 \qquad s_{p1} = -990\ rad/s \qquad s_{p2} = -101\ Mrad/s$$





Att: è importante notare che il circuito originario ha un solo polo (perché c'è solo una capacità), e i due poli qui vengono fuori per le approssimazioni (k→0)

2)



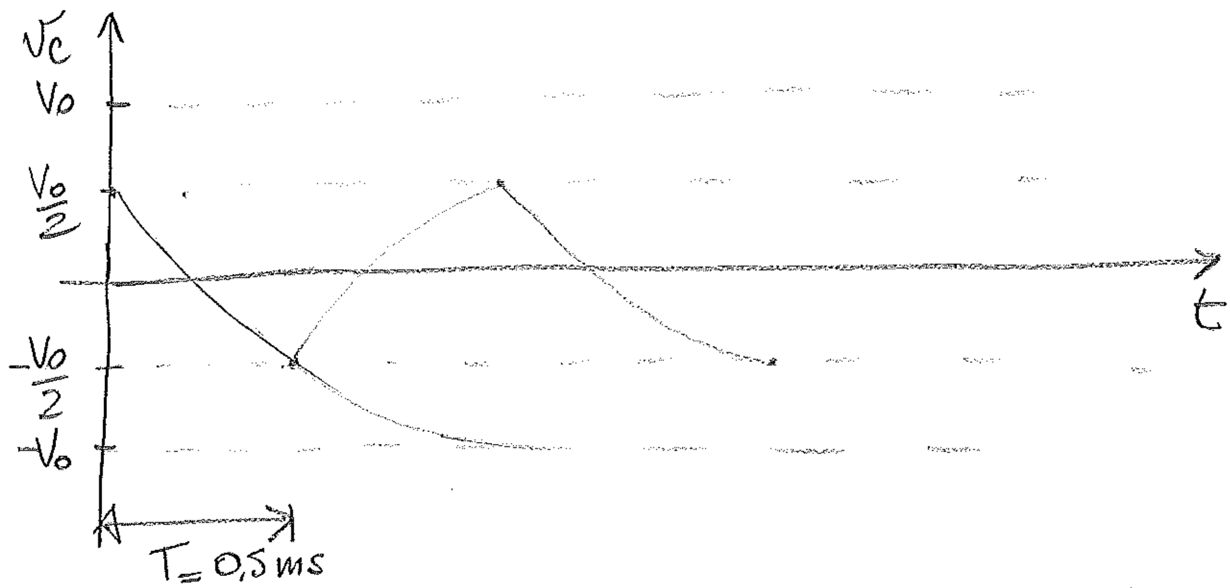
Il modo più semplice di ottenere il circuito è realizzare prima un generatore d'onda quadra con uscita da +5 a −5 V, e poi introdurre un limitatore che togli le tensione bassa a −2 V.

se $V_\gamma = 0{,}6$, scegliamo gli zener con $V_Z = 4{,}4\,V$

in modo che $V_0 = V_\gamma + V_Z = 5\,V$. Inoltre scegliamo $V_R = -1{,}4\,V$

di modo che la minima tensione Vout sia $V_R - V_\gamma = -2\,V$

Ora dobbiamo imporre la durata delle semionda. Scegliamo $R_1 = R_2 = 1\,k\Omega$, così le soglie sono a $\pm V_0/2 = \pm 2{,}5\,V$



poniamo che per $t=0$ si abbia una commutazione con $v_C = V_0/2$

$$v_C(t) = \frac{3V_0}{2} e^{-t/\tau} - V_0$$

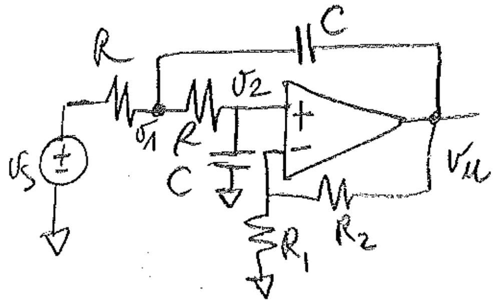
$$v_C(T) = \frac{3V_0}{2} e^{-T/\tau} - V_0 = -\frac{V_0}{2}$$

$$\frac{3}{2} e^{-T/\tau} = \frac{1}{2} \quad \Rightarrow \quad \underline{T = \tau \ln 3}$$

$$\tau = \frac{T}{\ln 3} = \frac{0,5}{1,098} = \underline{0,455 \, ms} = RC$$

scegliamo $R = 1 K\Omega$ $\quad C = \frac{0,455 \cdot 10^{-3}}{10^3} = 0,455 \, \mu F$

3) Realizziamo una cella di Sallen-Key passa basso



calcoliamo la funzione di trasferimento

$$v_1 \left[\frac{2}{R} + Cs\right] - \frac{1}{R} v_s - \frac{1}{R} v_2 - Cs \, v_u = 0$$

$$v_2 = \frac{v_1}{1 + RCs} = \frac{v_u}{A_v}$$

$$v_1 = \frac{v_u}{A_v}(1 + RCs)$$

sostituendo

$$\frac{v_u}{A_v}(1+RCs)(2+RCs) - v_s - \frac{v_u}{A_v} - RCs \, v_u = 0$$

$$v_u \left[R^2C^2s^2 + (3 - A_v) RCs + 1\right] = A_v v_s$$

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

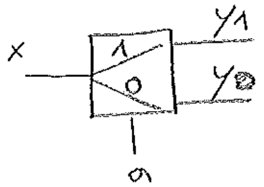
per avere i poli coincidenti dobbiamo avere $A_v = 1$;

poiche $A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$, abbiamo $\underline{R_2 = 0}$, possiamo mettere $R_1 \to \infty$

poli $s_{p1} = s_{p2} = -\frac{1}{RC}$

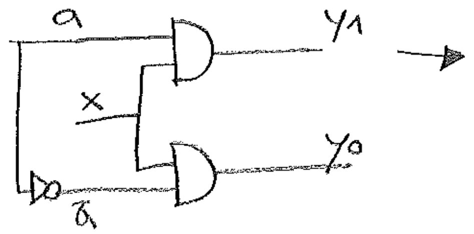
scegliamo $R = 1 K\Omega$, $C = 1 \mu F$

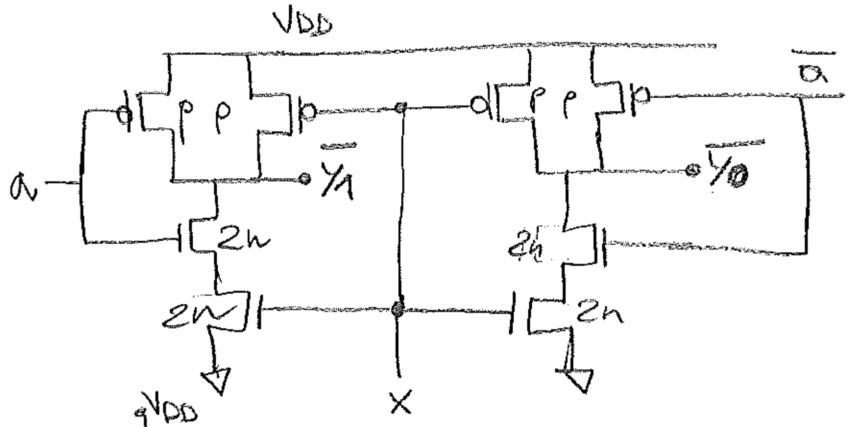
4)



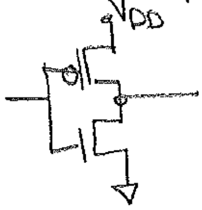
x	a	y_1	y_0
1	1	1	0
0	1	0	0
1	0	0	1
0	0	0	0

$y_1 = xa$ $\qquad$ $y_0 = x\bar{a}$

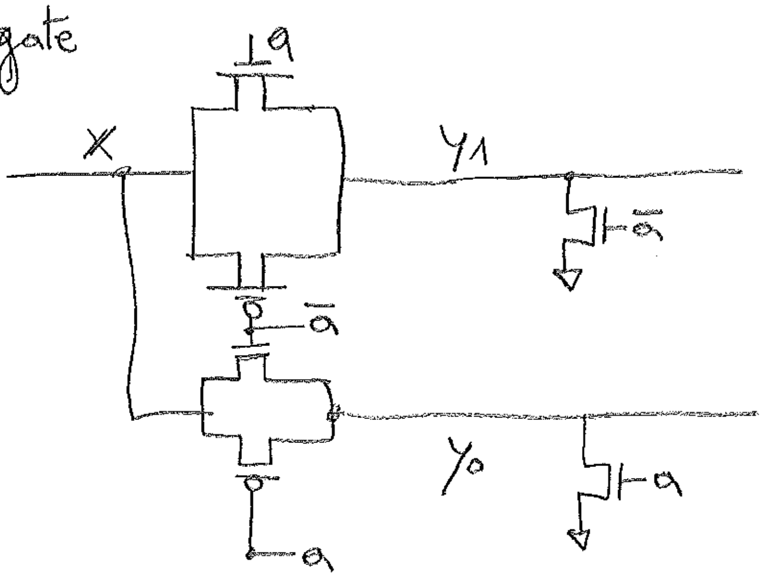




$\bar{y}_1, \bar{y}_0$, e $\bar{a}$ vanno invertiti

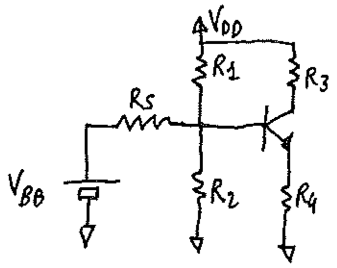


a. pass gate



PARTE B

PUNTO DI RIPOSO BJT:



Hp. P.P. + sovrapposizione degli effetti:

$$V_B = V_{DD}\frac{R_2//R_S}{R_1+R_2//R_S} + V_{BB}\frac{R_1//R_2}{R_S+R_1//R_2} \cong 1{,}99V$$

$$V_E = V_B - V_\gamma \cong 1{,}29V$$

$$I_C \cong I_E = \frac{V_E}{R_4} \cong 1mA$$

$$V_{CE} = V_{DD} - (R_3+R_4)I_C \cong 2{,}2V$$

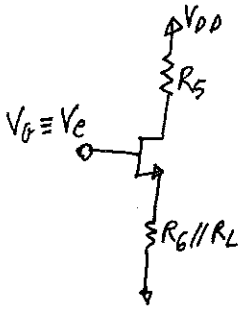
Verifica Hp. P.P.:

$$h_{FE} = 290 \cdot 0{,}9 = 261$$

$$\begin{cases} I_{RS} = \dfrac{V_B - V_{BB}}{R_S} = 2mA \\ I_{R1} = \dfrac{V_{DD} - V_B}{R_1} = 2{,}6mA \\ I_{R2} = \dfrac{V_B}{R_2} \cong 663\mu A \end{cases}$$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} \cong 3{,}83\mu A \ll I_{RS}, I_{R1}, I_{R2} \Rightarrow \underline{\underline{OK}}$$

PUNTO DI RIPOSO JFET:



$$V_G \equiv V_C = V_{DD} - R_3 I_C = 3{,}5V$$

$$I_{DS} = \frac{V_G - V_{GS}}{R_6//R_L} \Rightarrow \begin{cases} V_{GS} = -1V, & I_{DS} \cong 4{,}5mA \\ V_{GS} = -2V, & I_{DS} = 5{,}5mA \end{cases}$$

Dalle caratteristiche:

$$V_{GS} = -1{,}2V, \quad I_{DS} = 4{,}5mA$$

$$\begin{cases} V_{GS} > V_{GSoff} = -3V \\ V_{DS} > V_{GS} - V_{GSoff} = 1{,}8V \end{cases} \Rightarrow \underline{OK}$$

dove $V_{DS} = V_{DD} - (R_5 + R_6//R_L)I_{DS} = 4{,}52V$

PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE BJT:

$$h_{fe}=300 \quad , \quad h_{ie}@2mA = 4{,}8K\Omega \quad , \quad r_{b'e}@2mA = \frac{V_T h_{fe}}{I_C@2mA} = 3{,}9K\Omega \Rightarrow$$

$$\Rightarrow r_{bb'} = h_{ie}@2mA - r_{b'e}@2mA = 900\Omega \quad , \quad r_{b'e} = \frac{V_T h_{fe}}{I_C} = 7{,}8K\Omega \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_{ie} = r_{bb'} + r_{b'e} = 8{,}7K\Omega \quad , \quad V_{CB} = 1{,}5V \Rightarrow C_{b'c} \cong 6{,}5pF$$

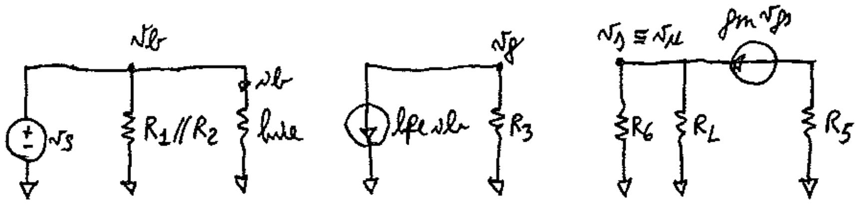
$$\left.\begin{array}{l} f_T \cong 125MHz \\ g_m^{BJT} = \dfrac{I_C}{V_T} = 38{,}5mS \end{array}\right\} \Rightarrow C_{b'e} = \frac{g_m^{BJT}}{2\pi f_T} - C_{b'c} = 42{,}5pF$$

PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE JFET:

$$g_m = 4{,}8mS \quad , \quad C_{iss} \cong 3pF \quad , \quad C_{rss} \cong 1{,}5pF \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_{GD} = C_{rss} = 1{,}5pF \quad , \quad C_{GS} = C_{iss} - C_{rss} = 1{,}5pF$$

GUADAGNO A CENTRO BANDA



$v_u = v_S$

$$v_u = g_m v_{gs} (R_6//R_L) = g_m (v_g - v_u)(R_6//R_L) \Rightarrow v_u = \frac{g_m v_g (R_6//R_L)}{1 + g_m (R_6//R_L)} \quad (1)$$

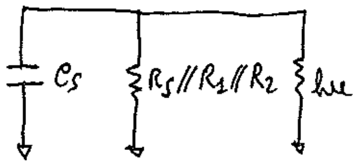
$$v_g = -R_3 h_{fe} i_b \quad (2)$$

$$i_b = \frac{v_s}{h_{ie}} \quad (3)$$

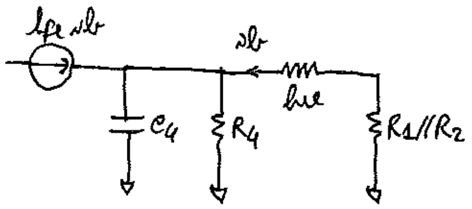
Combinando la (1), la (2) e la (3), si ottiene:

$$A_{CB} = \frac{v_u}{v_s} = - \frac{g_m R_3 h_{fe} (R_6//R_L)}{h_{ie}\left[1 + g_m (R_6//R_L)\right]} \cong -328{,}2$$

LIMITE INFERIORE DI BANDA:



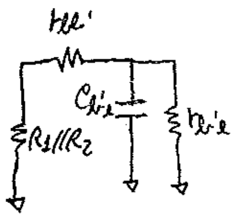
$$R_{VC_S}\Big|_{C_4\ \text{corto}} = R_S//R_1//R_2//h_{ie} \cong 215\,\Omega$$



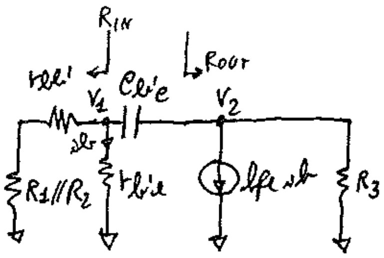
$$R_{VC_4}\Big|_{C_S\ \text{corto}} = R_4 // \left[\frac{h_{ie}+R_1//R_2}{h_{fe}+1}\right] \cong 34\,\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{1}{C_S\,R_{VC_S}} + \frac{1}{C_4\,R_{VC_4}}\right] \cong 54\ Hz$$

LIMITE SUPERIORE DI BANDA:



$$R_{VC_{b'e}} = r_{b'e} // \left[r_{bb'} + R_1//R_2\right] \cong 2\,K\Omega$$

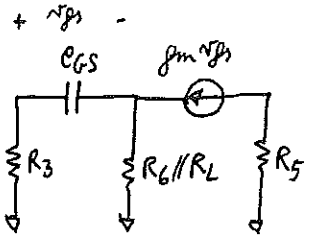


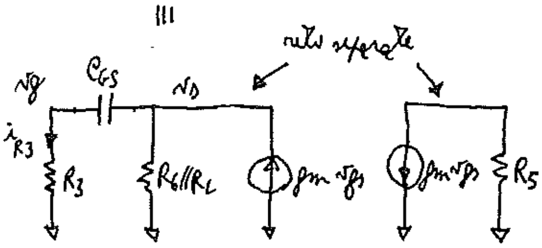
$$R_{VC_{b'c}} = R_{IN}(1+|A_V|) + R_{OUT} \cong 919\,K\Omega$$

dove $R_{IN} = r_{b'e} // \left[r_{bb'} + R_1//R_2\right] = R_{VC_{b'e}}$

$$R_{OUT} = R_3 = 11{,}5\,K\Omega$$

$$A_V = \frac{V_2}{V_1} = \frac{-R_3\,h_{fe}\,v_b}{r_{b'e}\,v_b} = -\frac{R_{OUT}\,h_{fe}}{r_{b'e}} \cong -442{,}3$$

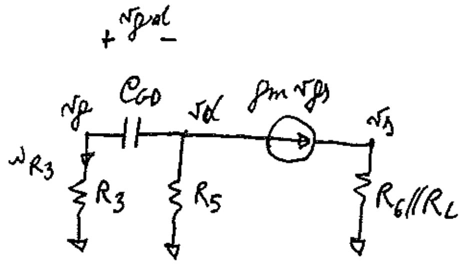




$$R_{V_{GS}} = \frac{v_{gs}}{i_{R3}}$$

$$v_s = R_3\, i_{R3} - v_{gs} = (g_m v_{gs} - i_{R3})(R_6//R_L) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_{V_{GS}} = \frac{R_6//R_L + R_3}{1+g_m(R_6//R_L)} \cong 2{,}16 K\Omega$$



$$R_{V_{GD}} = \frac{v_{gd}}{i_{R3}}$$

$$v_g = R_3\, i_{R3}$$

$$v_d = v_g - v_{gd} = -R_5\left(g_m v_{gs} + i_{R3}\right)$$

$$v_s = (R_6//R_L)\, g_m v_{gs}$$

$$v_{gs} = v_g - v_s = \frac{R_3\, i_{R3}}{1+g_m(R_6//R_L)}$$

$$v_{gd} = v_g - v_d = R_3 + R_5\left[1+\frac{g_m R_3}{1+g_m(R_6//R_L)}\right] i_{R3}$$

da cui,

$$R_{V_{GD}} = R_3 + R_5\left[1+\frac{g_m R_3}{1+g_m(R_6//R_L)}\right] \cong 25{,}5 K\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi\left[C_{b'e} R_{b'e} + C_{b'c} R_{Vb'c} + C_{GS} R_{V_{GS}} + C_{GD} R_{V_{GD}}\right]} \cong 26 KHz$$