

Esame di Elettronica - Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni

20 settembre 2019

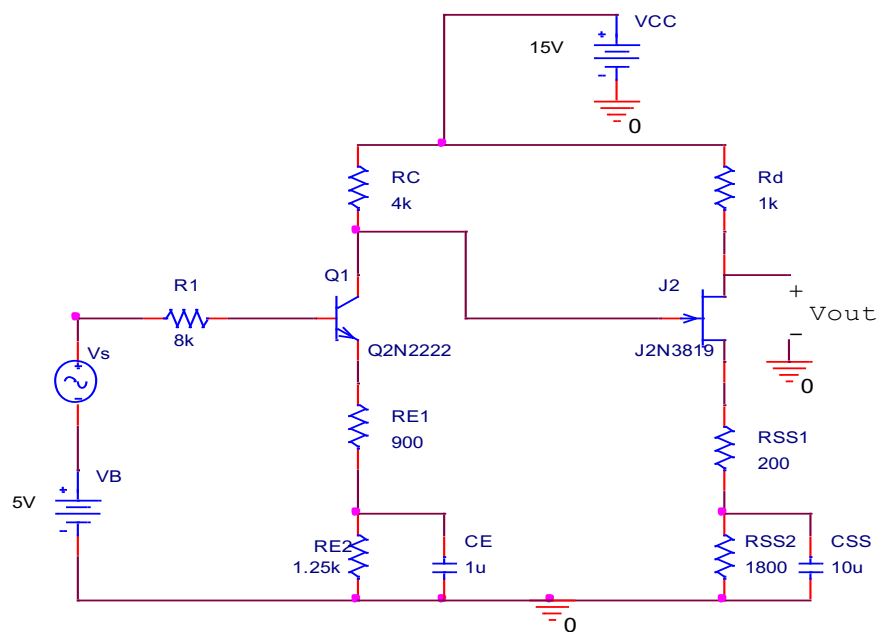
1. Si consideri un amplificatore con amplificazione di tensione in continua $A_{v0}=2000$, $R_{in} = 50 \text{ K}\Omega$, $R_{out} = 200 \Omega$, un polo a frequenza $f_p = 1 \text{ KHz}$. Inoltre sia $R_s = 1 \text{ K}\Omega$ la resistenza del generatore di segnale e $R_L = 200 \Omega$ la resistenza del carico. Si reazioni il circuito in modo da ottenere una resistenza di ingresso maggiore di $5 \text{ M}\Omega$ e una resistenza di uscita compresa tra 100 e $200 \text{ K}\Omega$. Si calcoli la nuova funzione di trasferimento del circuito.
2. Si ricavi il circuito di un filtro con due poli reali di valore $sp_1 = -1500 \text{ rad/s}$ e $sp_2 = -2500 \text{ rad/s}$ e nessuno zero nell'origine e si dimensionino i parametri. E' necessario giustificare il procedimento.

3. 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
- il limite inferiore di banda

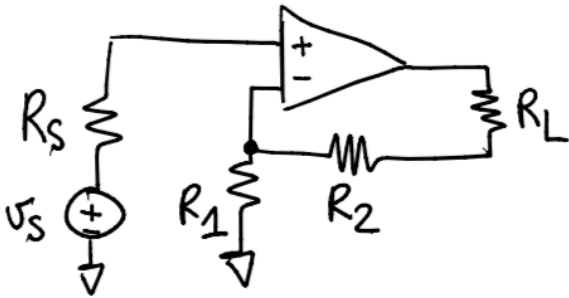
Assunzioni semplificative:

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

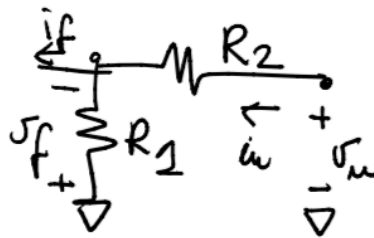


Esercizio 1

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



Rete per il β :



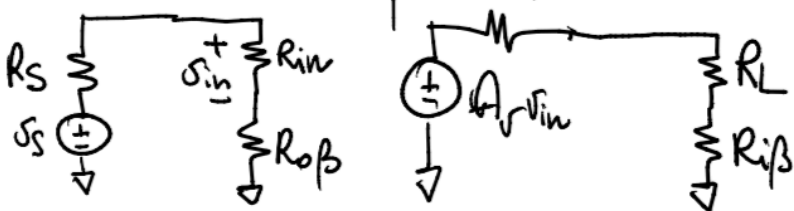
$$v_f = \beta i_u + R_{op} i_f$$

$$v_u = R_{ip} \beta i_u + \dots$$

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

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

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



$$A_{e0} = \frac{R_{in}}{R_s + R_{in} + R_{op}} A_{v0} \frac{1}{R_{ip} + R_L + R_{out}}$$

$$R_{IF} = (R_{op} + R_{in}) (1 - \beta A_{e0}) > 5 \text{ M}\Omega$$

$$R_{OF} = (R_{ip} + R_{out}) (1 - \beta A_{e0} \Big|_{R_L=0}) \Rightarrow 100 \text{ k}\Omega < R_{OF} < 200 \text{ k}\Omega$$

se poniamo $R_{ip} \approx 1000 \Omega$ e $-\beta A_{e0} \approx 150$ abbiamo $R_{OF} \approx 120 \text{ k}\Omega$
 e $i_u \gg 5 \text{ M}\Omega$

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

Vogliamo $\beta A_{eo}|_{R_L=0} = -150 = \frac{-R_1}{R_{if} + R_{out}} A_{vo} \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s + R_o}$

$\begin{matrix} \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ 2000 & 50k & \end{matrix}$

ottengo una equazione di 1° grado in R_1

$$\frac{+150 \cdot 50}{50 \cdot 2000} = \frac{R_1}{R_{if} + R_{out}} \rightarrow 0.078 (1200) = R_1 \geq 93.6 \Omega$$

$$R_2 = 906.4 \Omega$$

Calcoliamo $R_{of} = (R_{if} + R_{out})(1 - \beta A_{eo}|_{R_L=0}) =$

$$= 1200 (1 + 150) = 181200$$

OK

$R_{if} = (R_o + R_{in})(1 - \beta A_{eo}|_{R_s=0}) =$

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

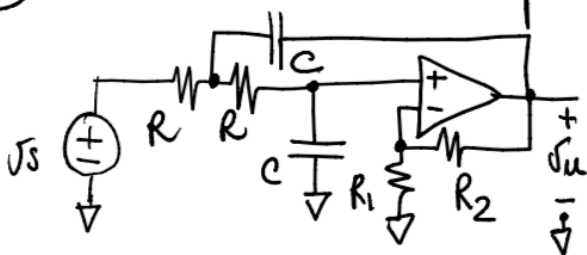
$$= 50093.6 (1 + 131.09) = 6.617 \text{ M}\Omega$$

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

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

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

② Possiamo usare una cella passabasso di Sallen Key



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

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

Se vogliamo $sp_1 = -1500 \text{ rad/s}$ e $sp_2 = -2500 \text{ rad/s}$

$$\frac{1}{R^2 C^2} = sp_1 sp_2 = 3.75 \cdot 10^6 \text{ rad}^2/\text{s}^2$$

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

poniamo $C = 100 \text{ nF}$

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

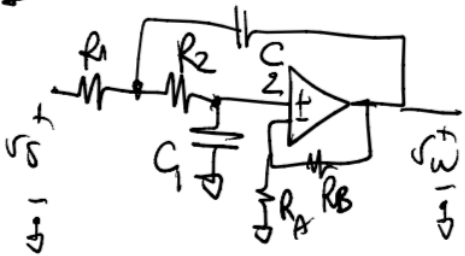
$$RC(3 - A_V) = -\left(\frac{1}{sp_1} + \frac{1}{sp_2}\right) = \frac{1}{1500} + \frac{1}{2500} = 0.00107 \text{ s}$$

$$3 - A_V = \frac{0.00107}{5164 \cdot 10^{-6}} = 2.065 \rightarrow \underline{\underline{A_V = 0.935}}$$

così non posso usare l'amplificatore
invertente zero fase così

Abbiamo a questo punto 2 soluzioni possibili:

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



$$\frac{v_w}{v_s} = \frac{A_V}{R_1 R_2 C_1 C_2 s^2 + [(R_1 + R_2) C_2 + R_1 (1 - A_V)] s + 1}$$

$$R_1 R_2 C_1 C_2 = \frac{1}{sp_1 sp_2} = 2.67 \cdot 10^{-7} \text{ s}^2$$

$$(R_1 + R_2) C_2 + R_1 C_1 (1 - A_V) = 0.00107 \text{ s}$$

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

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

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

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

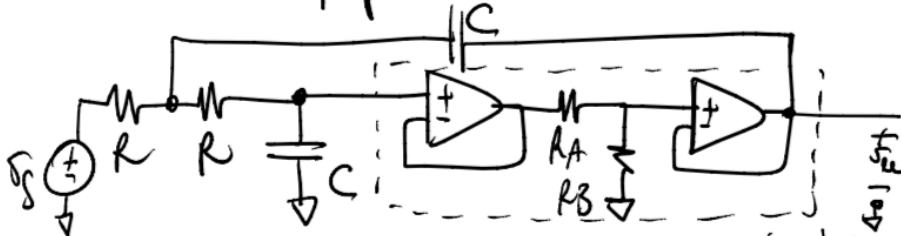
$$(12 - A_V)RC = 0.00107 \rightarrow 12 - A_V = 0.00107 / 1.63 \cdot 10^{-4} = 6.564$$

$$\underline{A_V = 5.436}$$

$$R_A = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = 44.36 \text{ k}\Omega$$

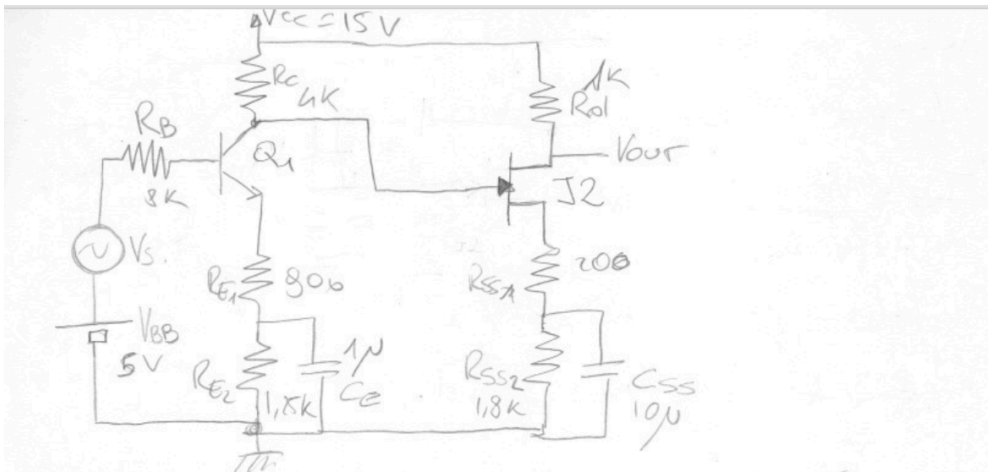
2. Usare un amplificatore di tensione ideale che amplifichi 0.935.



$$R_B = 9.35 \text{ k}\Omega \quad \text{il blocco nel riquadro}$$

$$R_A = 650 \Omega \quad \text{Tratteggiato amplificatore } \underline{\underline{0.935}}$$

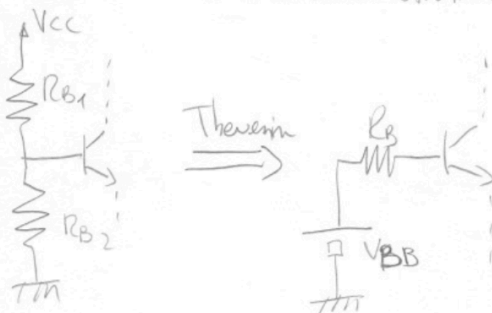
Esercizio 3



$h_{oe} = 0$ $V_{ol} = \infty$ $h_{fe} = 0$ J2: resistivo ($V_{GS,off} = -3V$)

PUNTO DI RIPOSO.

Iniziamo da Q1. Le batterie V_{BE} e le resistenze R_B possono essere immaginate come l'equivalente al Thevenin delle classica strutture a partitore.



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

$$V_B = \frac{V_{CC}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot R_{B2}$$

Equazione alle maglie d'ingresso

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

Perché R_B sia trascurabile dobbiamo imporre che

$$R_B I_B \ll (R_{E1} + R_{E2})(h_{FE} + 1) I_B \Rightarrow R_B \ll (R_{E1} + R_{E2})(h_{FE} + 1) \quad \underline{\underline{OK}}$$

Allora, con l'ipotesi fatta,

$$V_{B1} = V_{BB} \Rightarrow V_{E1} = V_{BB} - V_{\gamma} = 4,3V. \quad \left[\begin{array}{l} \text{Ipotesi} \\ \text{elettiva diretta} \end{array} \right]$$

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

Verifichiamo subito la 1^a ipotesi.

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

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 13,3 \mu A \Rightarrow R_B I_B = 106 mV \ll 5V \quad \underline{\underline{OK}}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_{E1} + R_{E2}) I_E = 2,7V \quad (>> V_{CESAT} \stackrel{OK}{\Rightarrow} \text{Z.A.D.})$$

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

Calcoliamo anche i parametri di piccolo segnale per Q1

$$h_{fe} \approx 175$$

$$r_b = 450 \text{ per il } Q2N2222$$

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

$$g_{m_{ost}} = \frac{I_C}{V_T} = 77,2 mS$$

$$f_T \approx 140 MHz$$

$$C_U @ V_{CB} = 2V = 6pF \Rightarrow C_{\pi} = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_U = 81,8 pF$$

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 $V_{GS} = 0$

⇓

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

Se $V_{GS} = -3V$

⇓

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

$$\boxed{\begin{aligned} V_{GS} &\approx -1,25 \text{ V} \\ I_{DS} &\approx 4,1 \text{ mA} \end{aligned}}$$

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

Allora

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

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

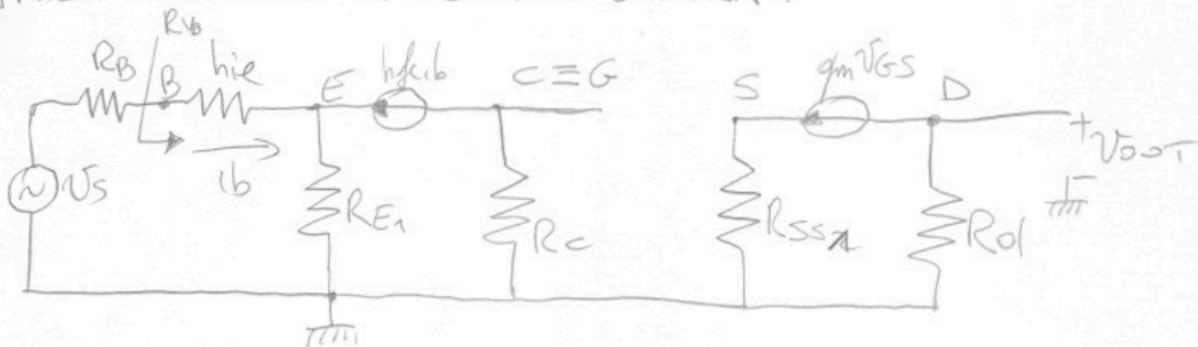
$$2,7 \geq -1,25 - (-3V) = 1,75 \quad \underline{\underline{OK}}$$

Calcoliamo anche i parametri di piccolo segnale

$$g_m = 4,5 \text{ mS}$$

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

AMPLIFICAZIONE A CENTRO BANDA.



Come al solito procediamo dall'uscita verso l'ingresso.

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

Dobbiamo calcolare V_{GS}

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

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

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

$$i_b = \frac{V_S}{R_B + h_{ie} + R_{E1} (h_{fe} + 1)}$$

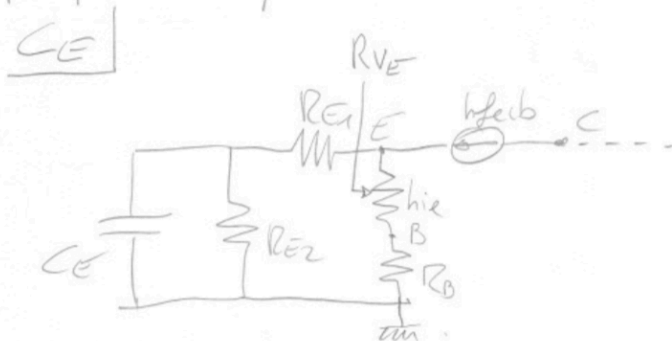
R_{VB}

Mettendo tutto assieme otteniamo

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

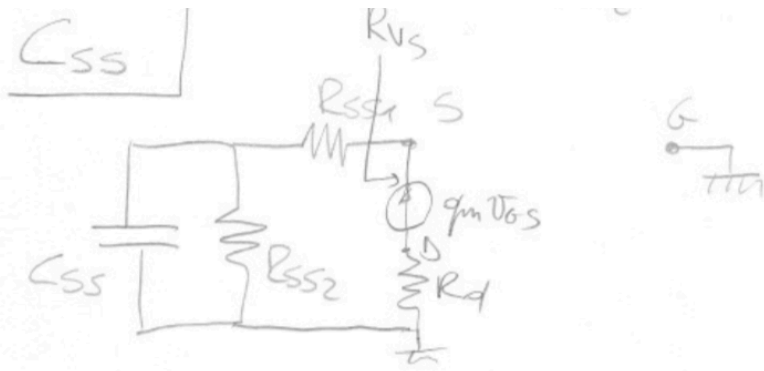
FREQUENZA DI TAGLIO INFERIORE.

Dobbiamo calcolare le resistenze viste da C_E e da C_{SS} .
Il calcolo è molto semplice e può essere fatto direttamente sul circuito. Per completezza ripartiamo comunque i circuiti per piccoli segnali.



$$R_{V_{CE}} = R_{E2} \parallel \left[R_{E1} + \frac{h_{ie} + R_B}{h_{fe} + 1} \right] = 543 \Omega$$

R_{VE}



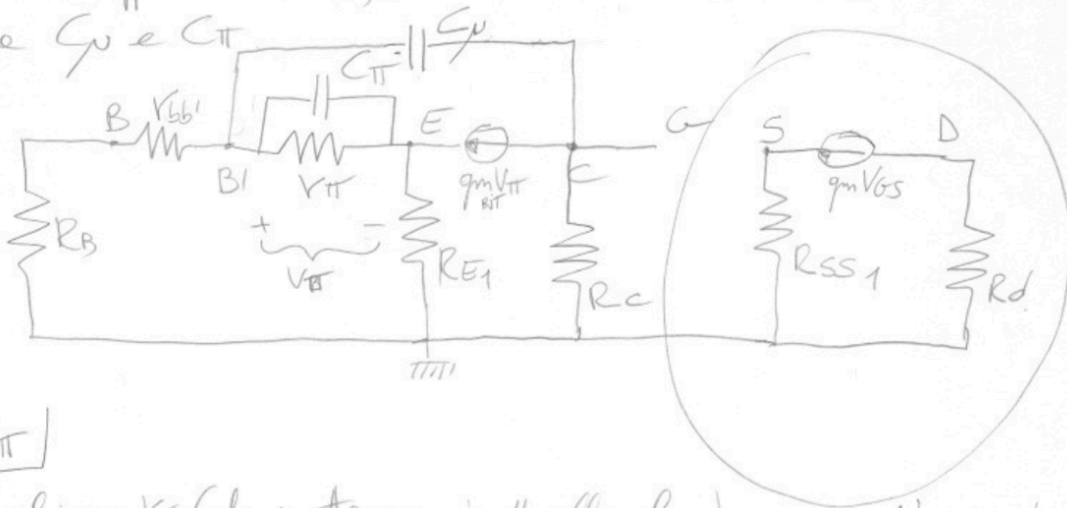
$$R_{V_{GS}} = R_{SS2} \parallel \left[R_{SS1} + \frac{1}{g_m} \right] = 342 \Omega$$

$R_{V_{GS}} \approx G \bar{e} \text{ a mense}$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{C_E R_{V_{CE}}} + \frac{1}{C_{SS} R_{V_{GS}}} \right] \approx 340 \text{ Hz}$$

FREQUENZA DI TAGLIO SUPERIORE

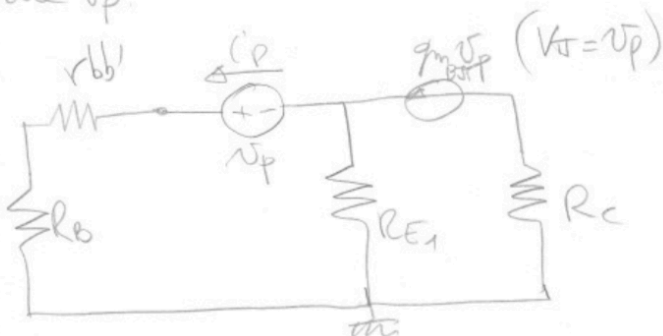
I_2 è supposto resistivo, dobbiamo calcolare le resistenze viste da C_U e C_{T1}



C_{T1}

Togliamo V_{T1} (de metteremo in // alle fine) e mettiamo al posto di C_{T1} un generatore di prova V_p .

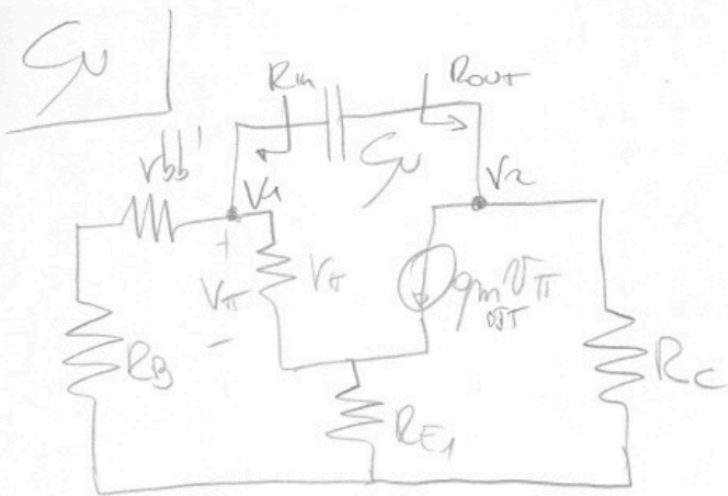
Non conta nel calcolo delle resistenze



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

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

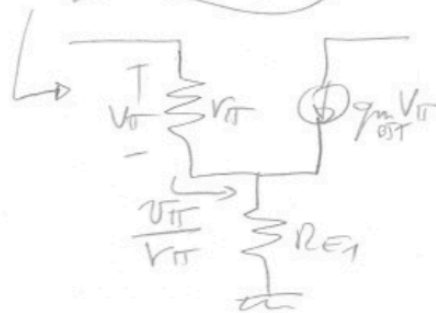
$$R_{V_{in}} = r_{\pi} \parallel \left[\frac{r_{bb'} + R_B + R_{E1}}{1 + g_{m_{BJT}} R_{E1}} \right] \approx 125 \Omega$$



Utilizziamo il metodo usuale per il calcolo delle resistenze viste da una coperta tre ingressi e usate di uno stadio amplificatore.

$$R_{out} = R_C = 4k\Omega$$

$$R_{in} = (r_{bb'} + R_B) \parallel \left[r_{\pi} + R_{E1} (1 + g_{m_{BJT}} r_{\pi}) \right] \approx 8k\Omega$$



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

$$A_v = - \frac{g_m R_c}{1 + \left(g_m + \frac{1}{r_{\pi}} \right) R_{E1}} = -4,35$$

$$R_{VGu} = R_{in} (1 + |A_v|) + R_{out} = 46,85 \text{ K}\Omega$$

Alle fine abbiamo

$$f_H = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{R_{VGu} \cdot C_{\pi} + R_{VGu} C_u} \right] = 516 \text{ K.Hz$$