

Esame di Elettronica - Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
25 luglio 2017

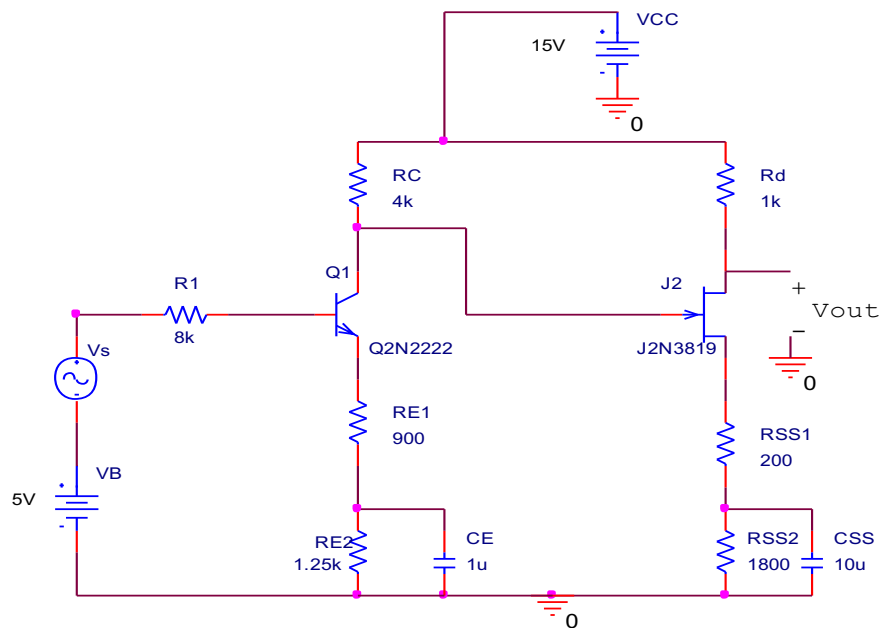
1. Si consideri un amplificatore con amplificazione di tensione in continua $A_{v0}=2000$, $R_{in} = 50 \text{ K}\Omega$, $R_{out} = 200 \Omega$, un polo a frequenza $f_p = 1 \text{ KHz}$. Inoltre sia $R_s = 1 \text{ K}\Omega$ la resistenza del generatore di segnale e $R_L = 200 \Omega$ la resistenza 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. (6 punti)
2. Disegnare la caratteristica di trasferimento (V_u-V_i) di un inverter CMOS, identificando in modo preciso le varie zone di funzionamento dei transistori nel piano V_i-V_u (6punti).
- 3.

Con riferimento al circuito mostrato a lato, calcolare:

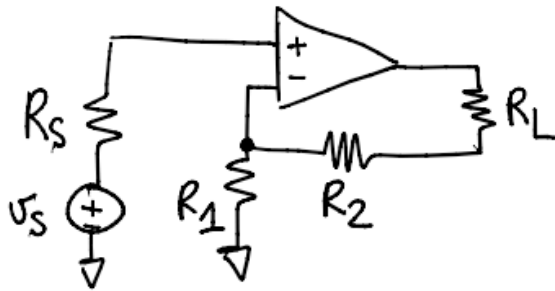
- il punto di riposo dei due transistori Q1 e J2 e i parametri del circuito di piccolo segnale (6 punti)
- la funzione di trasferimento a centro banda (4 punti)
- il limite superiore di banda (5punti)

Assunzioni semplificative:

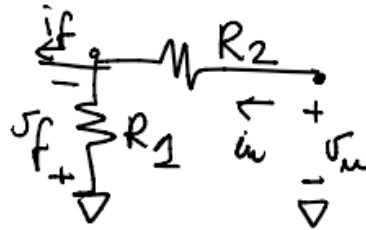
- Per il transistore Q1: considerare $h_{oe}=0$, $h_{re}=0$
- Per il transistore J2, considerare il transistore resistivo, $r_d \rightarrow \infty$, $V_{gs\text{off}} = 3\text{V}$, J2 resistivo



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



Rete per il β :



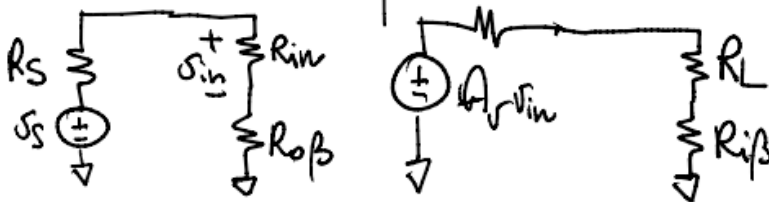
$$v_p = \beta i_u + R_{op} i_f$$

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

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

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

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 $R_{OF} \approx 100 \text{ k}\Omega$
 e $i_u \rightarrow 5 \text{ M}\Omega$

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

Vogliamo $\beta A_{e0}|_{R_L=0} = -150 = \frac{-R_1}{R_{\beta} + R_{out}} A_{v0} \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s + R_{\beta}}$

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

ottengo una equazione di 1° grado in R_1

$$+ \frac{150 \cdot 52}{50 \cdot 2000} = \frac{R_1}{R_{\beta} + R_{out}} \rightarrow 0,078 (1200) = R_1 \geq 93,6 \Omega$$

$$R_2 = 906,4 \Omega$$

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

$$= 1200 (1 + 150) = 181 \ 200 \quad \underline{\underline{OK}}$$

$$R_{if} = (R_{\beta} + R_{in})(1 - \beta A_{e0}|_{R_s=0}) =$$

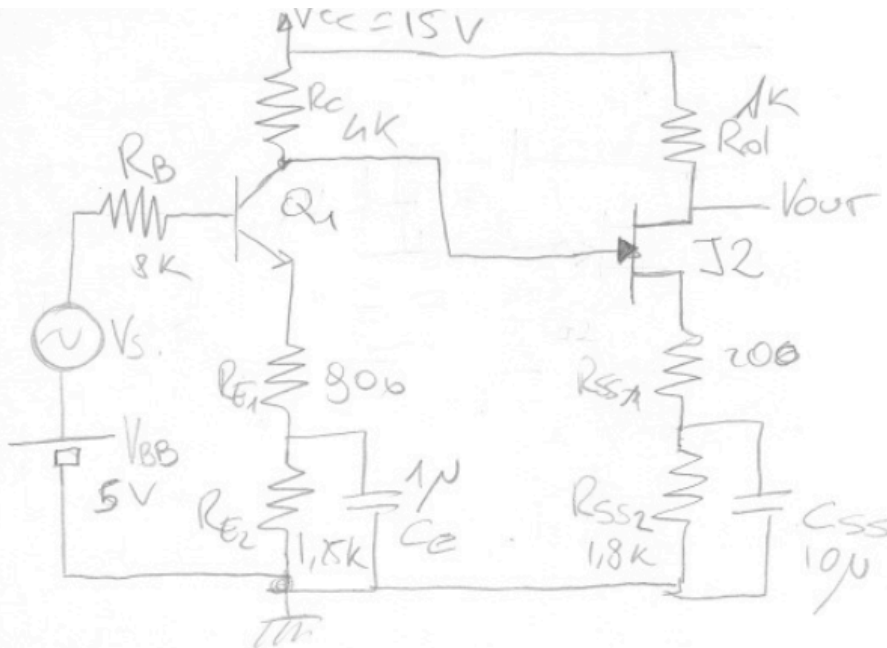
$$= (93,6 + 50000) \left(1 + \frac{93,6}{1400} \frac{2000}{51}\right) =$$

$$= 50093,6 (1 + 131,09) = 6,617 \text{ M}\Omega$$

$$A_{F0} = \frac{i_w}{v_s} = \frac{A_{e0}}{1 - \beta A_{e0}} = 0,0107$$

$$f_H = f_p (1 - \beta A_{e0}) = 1000 \cdot 129,6 = 129,6 \text{ KHz}$$

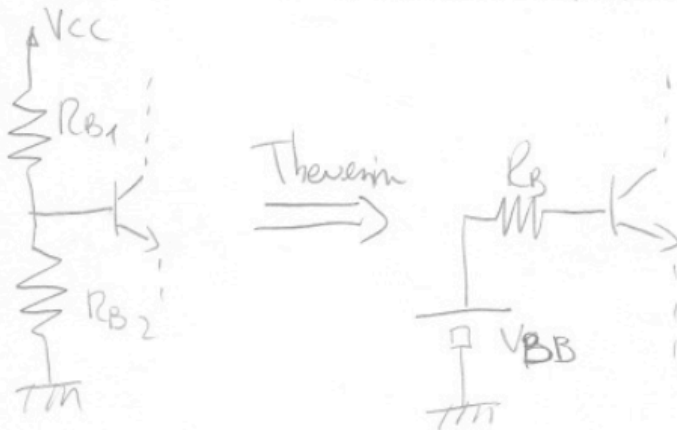
$$A_F = \frac{A_{F0}}{1 + jf/f_H}$$



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

PUNTO DI RIPOSO.

Iniziamo da Q_1 . Le batterie V_{BE} e la resistenza R_B possono essere immaginate come l'equivalente al Thevenin delle diverse strutture a portate.



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

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

Equazione alle maglie d'ingresso

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

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,

$$V_{B1} = V_{BB} \Rightarrow V_{E1} = V_{BB} - V_{\gamma} = 4,3 \text{ V.} \quad \left[\begin{array}{l} \text{Hpo di zona} \\ \text{e due di rete} \end{array} \right]$$

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

Verifichiamo subito le 1^e ipotesi.

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

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

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

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

Calcoliamo anche i parametri di piccolo segnale per Q1
 $h_{fe} \approx 175$

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

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

$$g_{m_{0.5T}} = \frac{I_C}{V_T} = 77,2 \text{ mS}$$

$$f_T \approx 140 \text{ MHz}$$

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

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 $V_{GS} = -3V$



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

$V_{GS} \approx -1,25 \text{ V}$ $I_{DS} \approx 4,1 \text{ mA}$
--

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 $V_{DS} \geq V_{GS} - V_p$

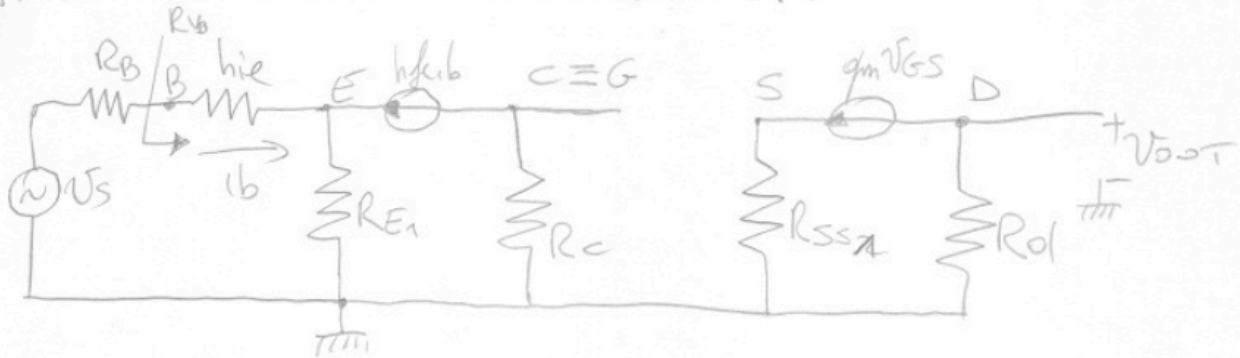
$$2,7 \gg -1,25 - (-3V) = 1,75 \quad \underline{\underline{OK}}$$

Calcoliamo anche i parametri di piccolo segnale

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

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

AMPLIFICAZIONE A CENTRO BANNA.



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

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

Dobbiamo calcolare V_{GS}

$$V_{GS} = V_G - V_S = \underbrace{-h_{fe} i_b R_c}_{V_G} - \underbrace{g_m V_{GS} R_{ss1}}_{V_S}$$

$$V_{GS} (1 + g_m R_{ss1}) = -h_{fe} i_b R_c \Rightarrow V_{GS} = \frac{-h_{fe} R_c}{1 + g_m R_{ss1}} \cdot i_b$$

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

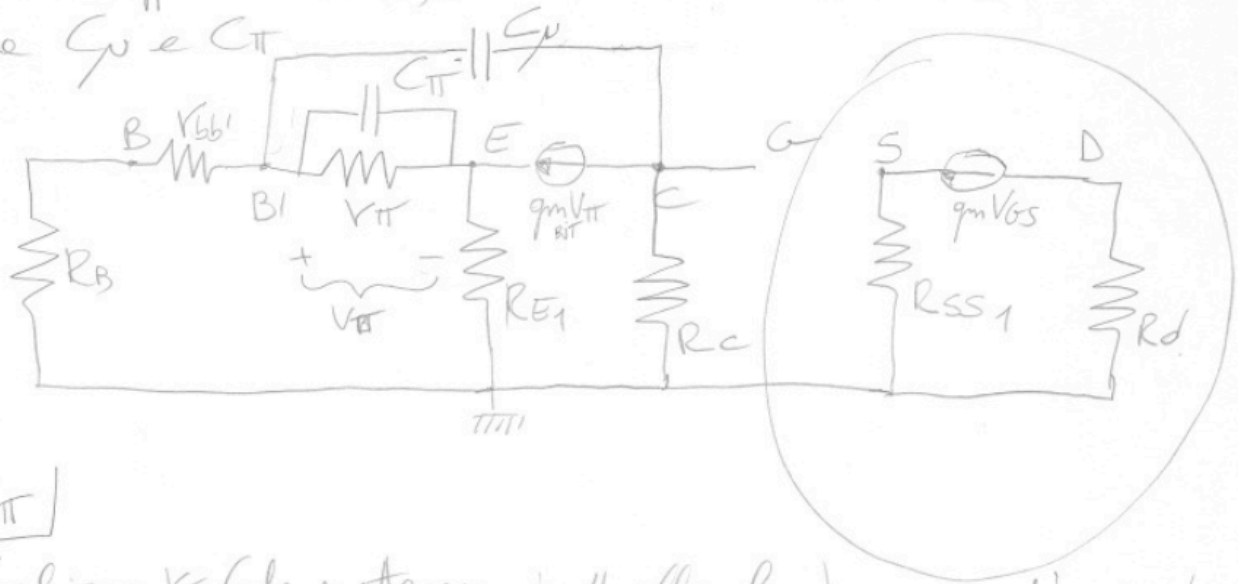
$$i_b = \frac{V_S}{R_B + \underbrace{h_{ie} + R_{E1} (h_{fe} + 1)}_{R_{VB}}}$$

Mettendo tutto insieme otteniamo

$$\frac{V_o}{V_S} = \frac{g_m R_d h_{fe} R_c}{1 + g_m R_{ss1}} \cdot \frac{1}{R_B + h_{ie} + R_{E1} (h_{fe} + 1)} = 9,8$$

FREQUENZA DI TAGLIO SUPERIORE

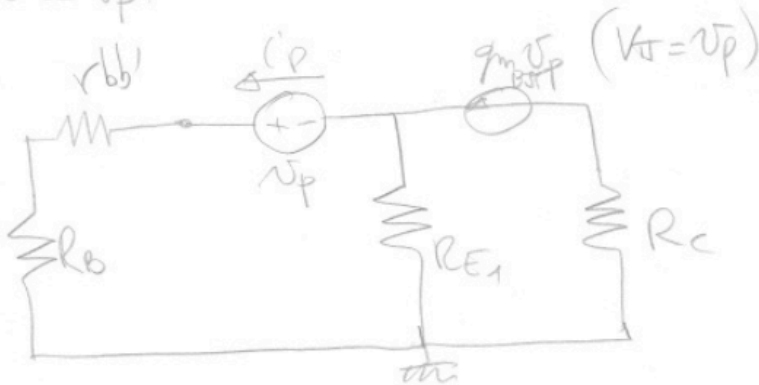
Il è supposto resistivo, dobbiamo calcolare le resistenze viste da C_{π} e C_{T}



C_{π}

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

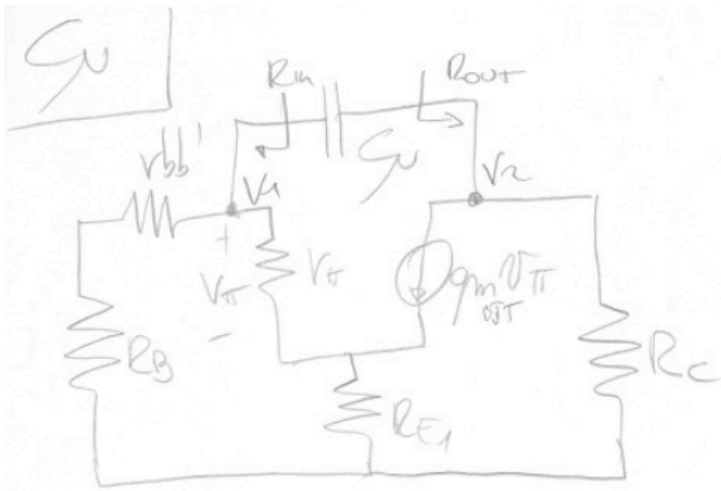
Non conta nel calcolo delle resistenze



$$V_p = (r_{bb'} + R_B) i_p + R_{E1} (i_p - g_m V_p)$$

$$\frac{V_p}{i_p} = \frac{r_{bb'} + R_B + R_{E1}}{1 + g_m R_{E1}}$$

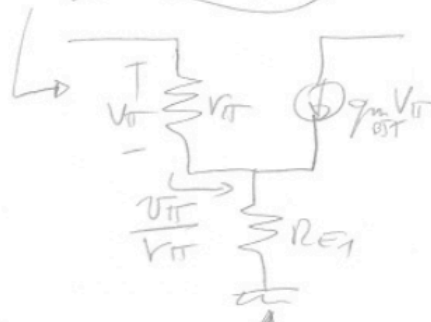
$$R_{V_{\pi}} = V_{\pi} \parallel \left[\frac{r_{bb'} + R_B + R_{E1}}{1 + g_m R_{E1}} \right] \approx 125 \Omega$$



Utilizziamo il metodo usuale per il calcolo delle resistenze viste da una coperta tra ingresso e usate da uno stadio amplificatore.

$$R_{out} = R_C = 4\text{K}\Omega$$

$$R_{in} = (v_{bb}' + R_B) \parallel \left[r_{\pi} + R_{E1} (1 + g_m r_{\pi}) \right] \approx 8\text{K}\Omega$$



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

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

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

Alle fine abbiamo

$$f_H = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{R_{V_{GU}} \cdot C_U + R_{V_{\pi}} \cdot C_{\pi}} \right] = \underline{\underline{516\text{KHz}}}$$