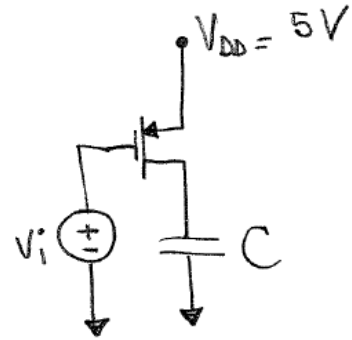


20 febbraio 2013

1. Si consideri un amplificatore di tensione con $A_{v0}=1000$, $f_p=500$ Hz, $R_{in} = 2$ M Ω , $R_{out} = 100$ Ω . Si reazioni l'amplificatore in modo da ottenere una resistenza di ingresso compresa tra 10 M Ω e 20 M Ω , una resistenza di uscita maggiore di 1.5 K Ω . Si supponga che il carico sia una resistenza $R_L = 1$ K Ω . Si calcolino alla fine le resistenze di uscita e di ingresso ottenute, e il limite superiore di banda.

2. Supponiamo che per $t < 0$ la tensione V_i sia 5 V e la tensione sulla capacit  $V_c = 0$ V. All'istante $t=0$ la tensione V_i va a 0 V e rimane costante. Calcolare dopo quanto tempo abbiamo $V_c=2.5$ V, sapendo che $K = 0.2$ mA/V², $V_T = -2$ V, $C=100$ nF. Giustificare il procedimento. [Si supponga che la caratteristica del MOSFET in zona di saturazione sia $I_{DS}=-K(V_{GS}-V_T)^2/2$, e in zona triodo si possa scrivere

$$I_{DS}=K(V_{GS}-V_T)V_{DS}$$

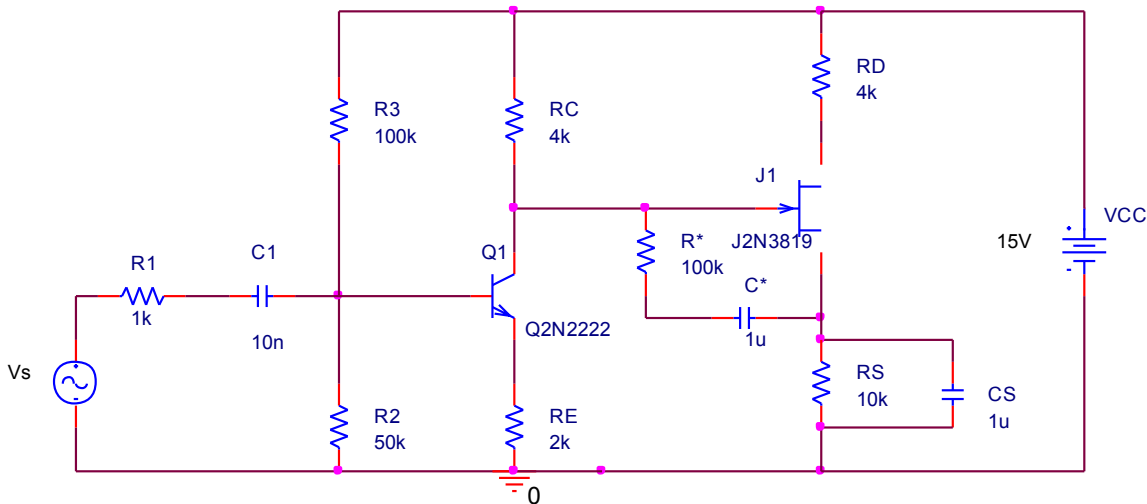


3. Con riferimento al circuito mostrato a lato, calcolare:

- il punto di riposo dei due transistori Q1 e J1 e i parametri del circuito di piccolo segnale
- la funzione di trasferimento a centro banda
- limite superiore di banda

Fare le seguenti ipotesi semplificative:

- Q1 ha h_{oe} nullo, J1 ha r_{ds} di valore infinito

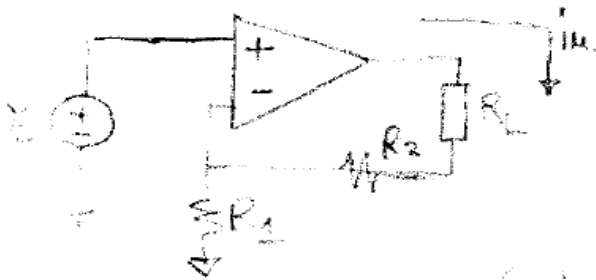


Es. 1

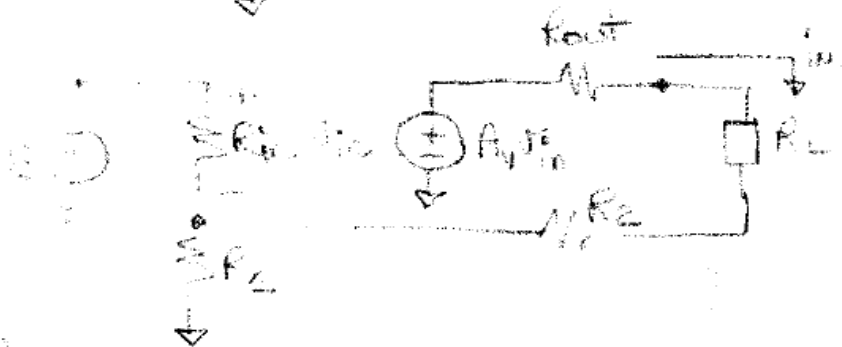
$A_v = 1000$
 $f_p = 500 \text{ Hz}$
 $R_{in} = 2 \text{ M}\Omega$
 $R_{out} = 100 \Omega$

$10 \text{ M}\Omega < R_{iF} < 20 \text{ M}\Omega$
 $R_{oF} > 1500 \Omega$
 $R_L = 2 \text{ k}\Omega$

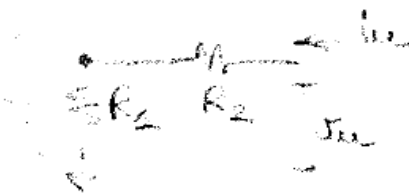
find the R_{iF}



$R_{iF} =$



③



$$v_i = +\beta i_i + R_{oF} i_o$$

$$i_i = R_{iF}^{-1} v_i + \beta i_o$$

$$R_{iF} = -R_1 \quad R_{oF} = \left. \frac{v_o}{i_o} \right|_{v_i=0} = R_1 \quad R_{iF} = \left. \frac{v_i}{i_i} \right|_{i_o=0} = R_1 + R_2$$

$$R_{iF} = (R_{in} + R_{oF})(1 - \beta A_e)$$

$$R_{oF} = (R_{out} + R_{iF}\beta)(1 - \beta A_e) \Big|_{R_L=0}$$

$$10 \text{ M}\Omega < (R_{in} + R_1)(1 - \beta A_e) < 20 \text{ M}\Omega$$

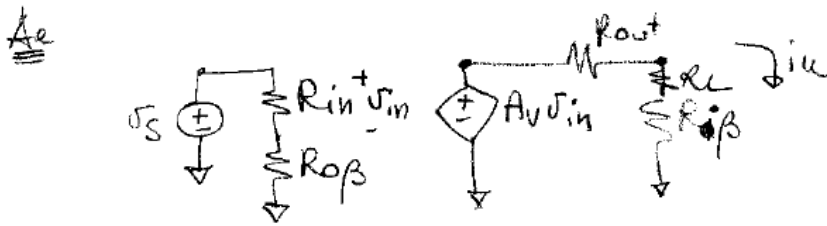
\uparrow
2M

$$(R_{out} + R_1 + R_2)(1 - \beta A_e) \Big|_{R_L=0} > 1500$$

\uparrow
100

Es. 2

sc poniamo $1 - \beta A_e = 5$ e $R_1 < 2 \text{ k}\Omega$
 $1 - \beta A_e / R_1 > 1 - \beta A_e \Rightarrow R_1 + R_2 > 200 \Omega$



$$v_{in} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{of\beta}} v_s$$

$$i_u = \frac{A_v v_{in}}{R_{of} + R_L + R_{f\beta}}$$

$$A_e = \frac{i_u}{v_s} = \frac{A_v}{R_{of} + R_L + R_{f\beta}} \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{of\beta}}$$

$$1 - \beta A_e = 1 + \frac{R_1 A_v}{R_{of} + R_L + R_1 + R_2} \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + R_1}$$

Poniamo $1 - \beta A_e = 5 \rightarrow \beta A_e = -4$

$$-4 = \frac{-R_1 A_v}{R_{of} + R_L + R_1 + R_2} \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + R_1}$$

\uparrow \uparrow \uparrow \uparrow
 100 $2k$ 1000 25000

Se scegliamo $R_1 = 100 \Omega$

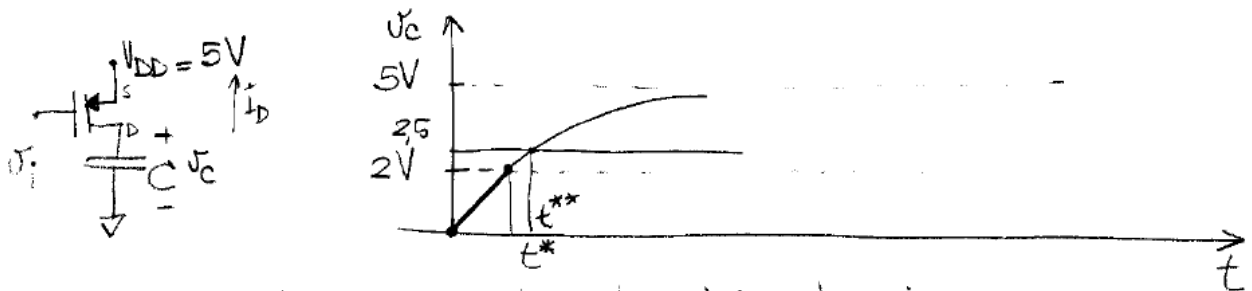
$$R_2 = \frac{R_1 A_v}{+4} \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + R_1} - R_1 - R_{of} - R_L = 25000 - 100 - 100 - 1000$$

$$R_2 = 23800 \Omega$$

$$R_{if} = (R_{in} + R_{of\beta}) (1 - \beta A_e) = (2 \cdot 10^6 + 100) (5) = \underline{\underline{10 \text{ M}\Omega}}$$

$$R_{of} = (R_{of} + R_1 + R_2) \left(1 + \frac{R_1 A_v}{R_{of} + R_1 + R_2} \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + R_1} \right) = 24000 \left(1 + \frac{10^5}{24000} \cdot \frac{2 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^6 + 100} \right) = 124000 \Omega$$

3



finché $V_{DS} < V_{GS} - V_T$ il transistor è in saturazione

$$V_C = V_{DD} + V_{DS} \rightarrow V_C = V_{DD} + V_{GS} - V_T = 5 - 5 + 2 = 2V$$

se $V_C < 2V$ saturazione

$$I_D = -\frac{k}{2} (V_{GS} - V_T)^2 = -C \frac{dV_C}{dt} \rightarrow \frac{dV_C}{dt} = \frac{-I_D}{C} = \frac{+0,9 \cdot 10^{-3}}{10^{-7}} = +0,9 \cdot 10^4 \text{ V/s}$$

$$= \frac{-0,2}{2} \cdot 9 = -0,9 \text{ mA}$$

$$t^* = \frac{2V}{dV_C/dt} = \frac{2}{0,9 \cdot 10^4} = 0,22 \text{ ms}$$

se $V_C > 2V$ il transistor è in zona triodo

$$I_{DS} = -k (V_{GS} - V_T) V_{DS}$$

che V_{GS} è costante. Si comporta come una resistenza di valore $r = \frac{-1}{k(V_{GS} - V_T)} = \frac{1}{0,2 \cdot 3 \cdot 10^3}$

$$\frac{1}{0,6 \cdot 10^3} = 1667 \Omega$$

$$\tau = rC = 1667 \cdot 10^{-7} = 0,1667 \text{ ms}$$

$$V_C(t) = V_{DD} + (V^* - V_{DD}) e^{-\frac{t-t^*}{\tau}}$$

poniamo che t^{**} sia l'istante per cui $V_C = 2,5V$

$$V_C(t^{**}) = V_{DD} + (V^* - V_{DD}) e^{-\frac{(t^{**} - t^*)}{\tau}}$$

$$t^{**} = t^* + \tau \ln \left[\frac{V^* - V_{DD}}{V_C(t^{**}) - V_{DD}} \right] =$$

$$= 0,22 \cdot 10^3 + 0,167 \cdot 10^3 \cdot 0,182 = 0,25 \cdot 10^3 \text{ s}$$

PUNTO DI RIPOSO

①

BJT: hp. part. pesante

$$V_B = \frac{V_{CC}}{R_3 + R_2} \cdot R_2 = 5V \Rightarrow V_E = 4,3V$$

$$I_E \approx I_C = \frac{V_E}{R_E} = 2,15 \text{ mA}$$

$$I_{2,3} = \frac{V_{CC}}{R_2 + R_3} = 0,1 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E) I_C = 2,1V \quad (> V_{CE_{SAT}} \text{ z. r. d.})$$

$$h_{FE} \approx 150 \Rightarrow I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 14,3 \mu\text{A} \quad (\text{OK p.p.})$$

$$V_{CB} = 1,4V$$

JFET ($V_{GS_{off}} = -3V$)

$$V_G = V_C = V_{CC} - R_C I_C = 6,4V$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - R_S I_{DS}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{DS} = 1 \text{ mA} \Rightarrow V_{GS} = -3,6V \\ V_{GS} = -2V \Rightarrow I_{DS} = 0,84 \text{ mA} \end{array} \right.$$

$$\boxed{\begin{array}{l} I_{DS} \approx 0,85 \text{ mA} \\ V_{GS} \approx -2,2V \end{array}}$$

$$g_{m_{JFET}} = 2 \text{ mS}$$

$$V_{DS} = V_{CC} - (R_S + R_D) I_{DS} = 3,1V \quad (> V_{GS} - V_p \text{ OK})$$

PARAMETRI PICCOLO SEGNALE

JFET

$$C_{iss} = 2,5 \text{ pF}, C_{rss} = 1,2 \text{ pF}$$

$$C_{GD} = 1,2 \text{ pF} \quad C_{GS} = 1,3 \text{ pF}$$

BJT

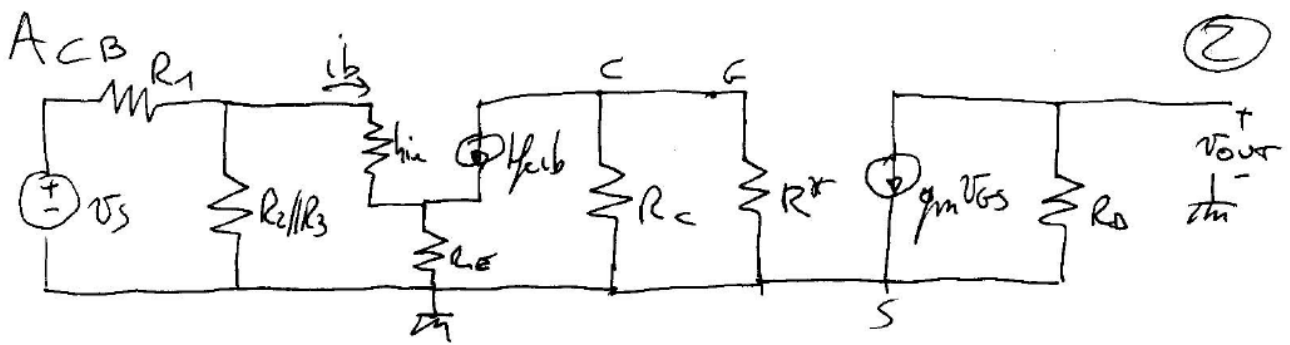
$$h_{fe} = 175; r_b = 450;$$

$$h_{ie} = r_{\pi} + r_b = 2,1 \text{ k}\Omega + 450 = 2,55 \text{ k}\Omega$$

$$f_T \approx 150 \text{ MHz}; g_{m_{BJT}} = \frac{I_C}{V_T} = 83 \text{ mS}$$

$$C_{CB} = 6,5 \text{ pF} \quad (\text{oppure } C_{\mu})$$

$$C_{\pi} = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_{\mu} = 81,6 \text{ pF}$$



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

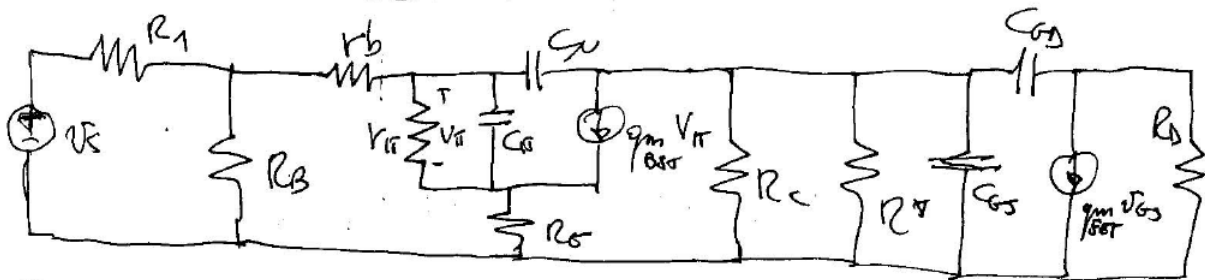
$$V_{GS} = V_O = -h_{fe} i_b R_C // R^*$$

$$i_b = \frac{V_S}{R_1 + R_2 // R_3 // (h_{ie} + R_E(h_{fe} + 1))} \cdot \frac{R_2 // R_3}{R_2 // R_3 + h_{ie} + R_E(h_{fe} + 1)}$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_S} = \frac{g_m R_D h_{fe} R_C // R^* R_2 // R_3}{[R_1 + R_2 // R_3 // (h_{ie} + R_E(h_{fe} + 1))] \cdot [R_2 // R_3 + h_{ie} + R_E(h_{fe} + 1)]}$$

$$A_v = \frac{V_{OUT}}{V_S} = 14,7$$

ALTA FREQUENZA



$$R_{VC_{GS}} = R_C // R^* = 3,85 \text{ k}\Omega$$

$$R_{VC_{GD}}$$

Mettiamo un generatore di prova

$$V_p = (R^* // R_C) i_p + R_D (i_p + g_m V_{GS})$$

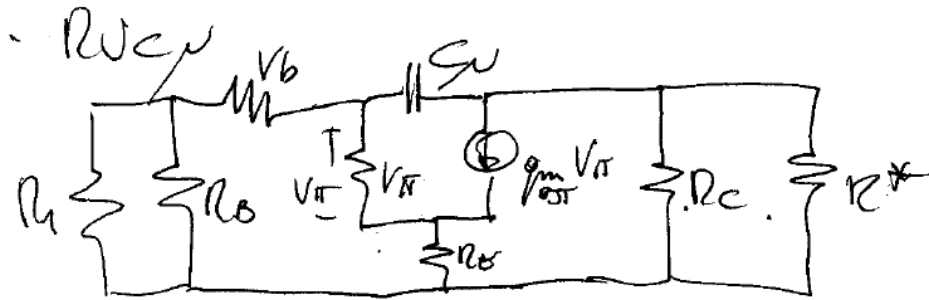
$$V_{GS} = V_O = (R^* // R_C) i_p \Rightarrow \frac{V_p}{i_p} = R^* // R_C + R_D \left(1 + g_m \frac{R^* // R_C}{\beta} \right)$$

$$R_{VC_{GD}} = 38,61 \text{ k}\Omega$$

• $R_{W_{CT}}$: \rightarrow plus v_{π} e lemetas in // alle fin

$$v_p = (v_b + R_b // R_1) i_p + R_e (i_p - g_{m_{BST}} v_p)$$

$$R_{W_{CT}} = v_{\pi} // \left[\frac{v_b + R_b // R_1 + R_e}{1 + g_{m_{BST}} R_e} \right] = 20 \Omega$$



$$R_{out} = R_x // R_c = 3,8 k\Omega$$

$$R_{in} = [v_b + (R_b // R_1)] // [v_{\pi} + R_e (1 + g_{m_{BST}} v_{\pi})] = 1,4 k\Omega$$

$$A_v = - \frac{g_{m_{BST}} v_{\pi} R_c // R_x}{v_{\pi} + R_e \left(\frac{v_{\pi}}{R_b} + g_{m_{BST}} v_{\pi} \right)} = -1,9$$

$$R_{W_{CP}} = R_{out} + R_{in} (1 - A_v) = 7,8 k\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi (R_{W_{CP}} C_p + R_{W_{CT}} C_T + R_{W_{CS}} C_{CS} + R_{W_{CO}} C_{CO})} = 1,6 MHz$$