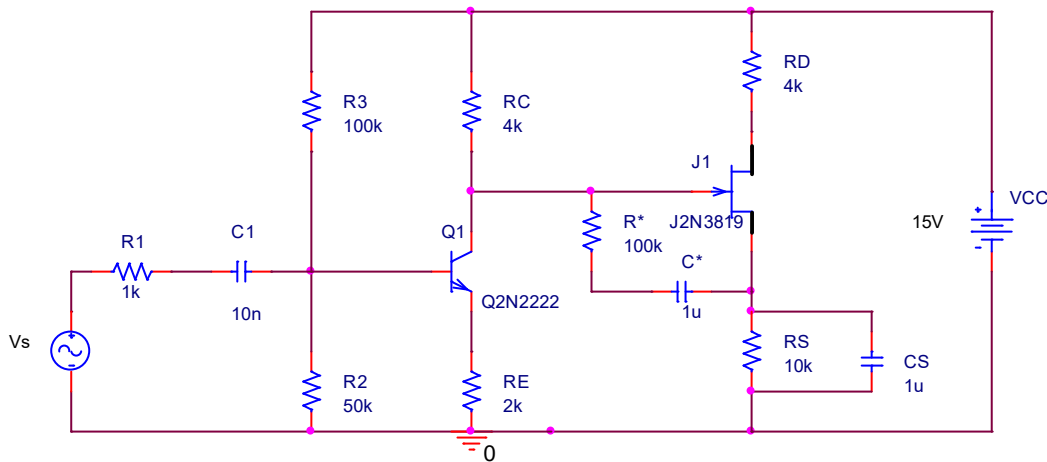
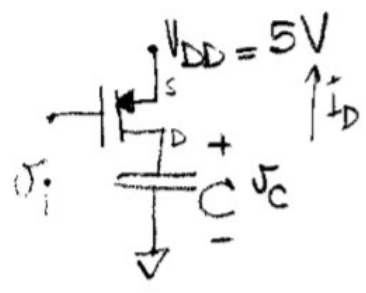


Esame di Elettronica  
 Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni  
 18 settembre 2018  
 Parte A

1. Si consideri un amplificatore di tensione con  $A_{v0}=1000$ ,  $f_p=500$  Hz,  $R_{in} = 2$  M $\Omega$ ,  $R_{out} = 100$   $\Omega$ . Si reazioni l'amplificatore in modo da ottenere una resistenza di ingresso compresa tra 10 M $\Omega$  e 20 M $\Omega$ , una resistenza di uscita maggiore di 1.5 K $\Omega$ . Si supponga che il carico sia una resistenza  $R_L = 1$  K $\Omega$ . 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/V<sup>2</sup>,  $V_T = -2$  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 in basso, 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
  - il limite inferiore di banda e il limite superiore di banda
 Fare le seguenti ipotesi semplificative:
  - Q1 ha  $h_{oe}$  nullo, J1 ha  $r_{ds}$  di valore infinito

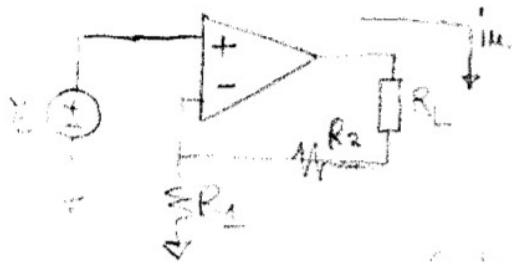


# Esercizio 1

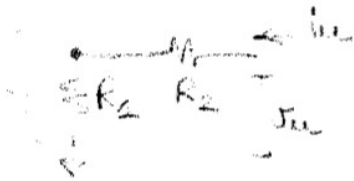
$A_v = 1000$   
 $f_p = 500 \text{ Hz}$   
 $R_{in} = 2 \text{ M}\Omega$   
 $r_{out} = 100 \Omega$

$10 \text{ M}\Omega < R_{if} < 20 \text{ M}\Omega$   
 $f_{of} > 1500 \text{ Hz}$   
 $R_L = 2 \text{ k}\Omega$

Realizzazione CS



$R_{if} =$



$v_i = +\beta i_m + R_2 i_m$   
 $i_m = \frac{v_i}{R_1 + R_2}$

$R_{if} = R_1 + R_2 \beta$   
 $R_{of} = \frac{v_o}{i_m} \Big|_{v_i=0} = R_1 + R_2$

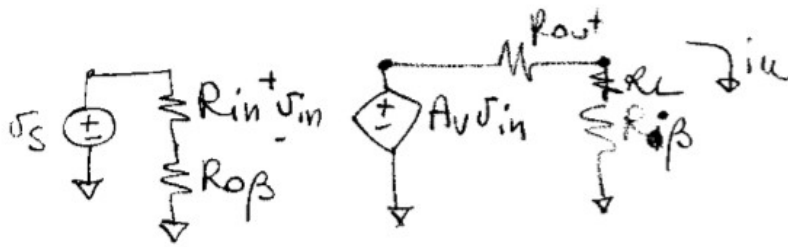
$R_{if} = (R_{in} + R_2 \beta) (1 - \beta A_e)$   
 $R_{of} = (R_{out} + R_1 + R_2) (1 - \beta A_e) \Big|_{R_L=0}$

$10 \text{ M}\Omega < (R_{in} + R_2 \beta) (1 - \beta A_e) < 20 \text{ M}\Omega$   
 $(R_{out} + R_1 + R_2) (1 - \beta A_e) \Big|_{R_L=0} > 1500$

se poniamo  $1 - \beta A_e = 5$  e  $R_1 < 2 \text{ k}\Omega$

$$1 - \beta A_e / R_1 > 1 - \beta A_e \Rightarrow R_1 + R_2 > 200 \Omega$$

$A_e$



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

$$i_u = \frac{A_v v_{in}}{R_{out} + R_L + R_{i\beta}}$$

$$A_e = \frac{i_u}{v_s} = \frac{A_v}{R_{out} + R_L + R_{i\beta}} \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{o\beta}}$$

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

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

$$-4 = \frac{-R_1 A_v \overset{1000}{R_{in}}}{\underset{100}{R_{out} + R_L} + \underset{2k}{R_1 + R_2} + R_{in}}$$

Se scegliamo  $R_1 = 100 \Omega$

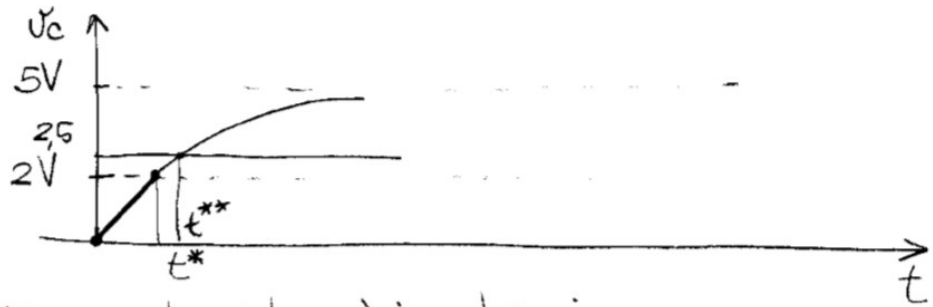
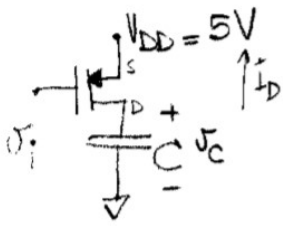
$$R_2 = \frac{R_1 A_v R_{in}}{+4} - R_1 - R_{out} - R_L = 25000 - 100 - 100 - 1000$$

$$R_2 = 23800 \Omega$$

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

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

## Esercizio 2



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

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

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

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

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

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

poiché  $V_{GS}$  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  $V_C = 2,5 \text{ V}$

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

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

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

### Esercizio 3

#### Punto di riposo

BJT: hp. part. pesante

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

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

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

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

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

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

JFET ( $V_{GS\text{off}} = -3V$ )

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

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

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

$I_{DS} = 0,85 \text{ mA}$ $V_{GS} = -2,2V$
--

$$g_{m\text{FET}} = 2 \text{ mS}$$

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

#### 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

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

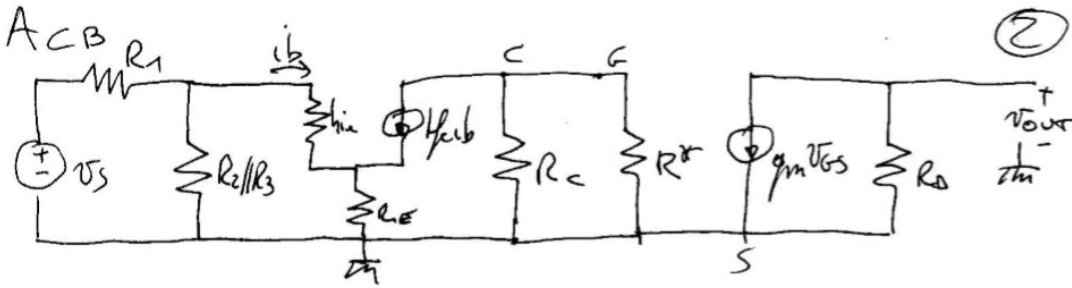
$$h_{ie} = r_{\pi} + r_b = 2,1 \text{ k}\Omega + 450 = 2,55 \text{ k}\Omega$$

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

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

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

## Amplificazione a centrobanda



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

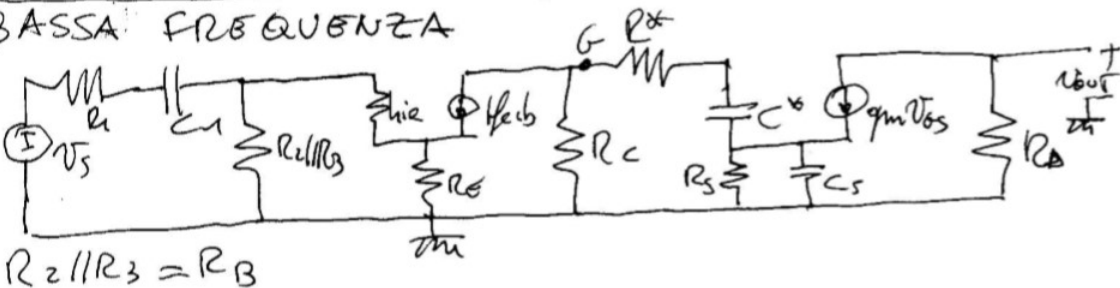
$$v_{GS} = v_G = -h_{fe} i_b R_C // R^*$$

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

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

$$A_v = \frac{v_{OUT}}{v_s} = 14,7$$

BASSA FREQUENZA



$$R_2 // R_3 = R_B$$

$$1) R_{V_{C_1}} = R_1 + R_B // [h_{ie} + R_E (h_{fe} + 1)] = 31,46 \text{ k}\Omega$$

$$2) R_{V_{C_C}} = R^* + R_C = 104 \text{ k}\Omega$$

~~R\_{V\_{C\_E}}~~

Mettiamo un generatore di prova al posto di  $C_S$

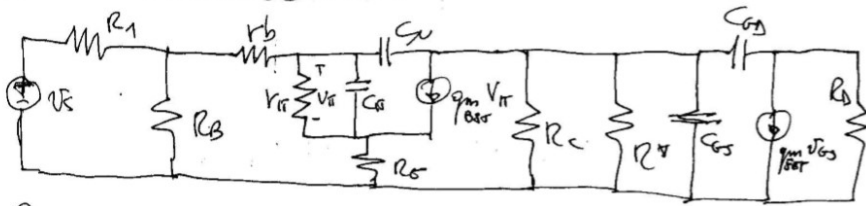
$$v_p = (i_p + g_m v_{GS}) R_S // (R^* + R_C)$$

$$v_{GS} = v_G - v_s = \frac{v_p R_C}{R_C + R^*} - v_p = -\frac{v_p R^*}{R_C + R^*}$$

$$\frac{v_p}{i_p} = \frac{R_S // (R^* + R_C)}{1 + \frac{g_m R^*}{R_C + R^*} \cdot R_S // (R^* + R_C)} = 338 \Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{1}{R_{V_{C1}} C_1} + \frac{1}{R_{V_{C^*}} C^*} + \frac{1}{R_{V_{C_S}} C_S} \right] = 978 \text{ Hz}$$

ALTA FREQUENZA



$$R_{V_{C_S}} = R_C \parallel R^* = 3,85 \text{ k}\Omega$$

$$R_{V_{C_{\mu}}}$$

Mettiamo un generatore di prova

$$v_p = (R^* \parallel R_C) i_p + R_E (i_p + g_{m_{BET}} v_{GS})$$

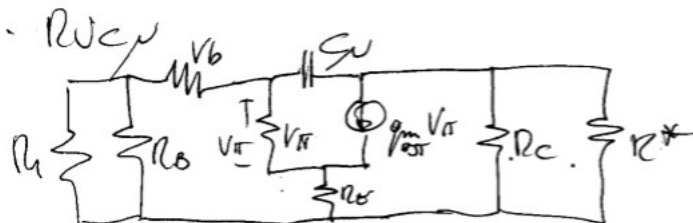
$$v_{GS} = v_o = (R^* \parallel R_C) i_p \Rightarrow \frac{v_p}{i_p} = R^* \parallel R_C + R_E (1 + g_{m_{BET}} R^* \parallel R_C)$$

$$R_{V_{C_{\mu}}} = 38,61 \text{ k}\Omega$$

$R_{V_{C_{\pi}}}$ : togliamo  $v_{\pi}$  e lo mettiamo in // allo fine

$$v_p = (v_b + R_B \parallel R_1) i_p + R_E (i_p - g_{m_{BET}} v_p)$$

$$R_{V_{C_{\pi}}} = r_{\pi} \parallel \left[ \frac{v_b + R_B \parallel R_1 + R_E}{1 + g_{m_{BET}} R_E} \right] = 20 \Omega$$



$$R_{out} = R^* \parallel R_C = 3,84 \text{ k}\Omega$$

$$R_{in} = [v_b + (R_B \parallel R_1)] \parallel [v_{\pi} + R_E (1 + g_{m_{BET}} r_{\pi})] = 14 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = - \frac{g_{m_{BET}} v_{\pi} R_C \parallel R^*}{v_{\pi} + R_E \left( \frac{v_{\pi}}{r_{\pi}} + g_{m_{BET}} v_{\pi} \right)} = -1,9$$

$$R_{V_{C_{\mu}}} = R_{out} + R_{in} (1 - A_v) = 7,8 \text{ k}\Omega$$

$$f_{H1} = \frac{1}{2\pi (R_{V_{C_{\mu}}} C_{\mu} + R_{V_{C_{\pi}}} C_{\pi} + R_{V_{C_S}} C_S + R_{V_{C_{\mu}}} C_{\mu})} = 1,6 \text{ MHz}$$