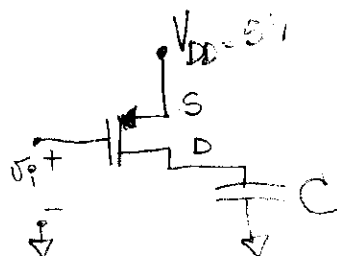
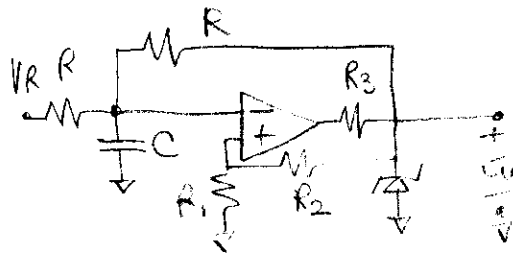


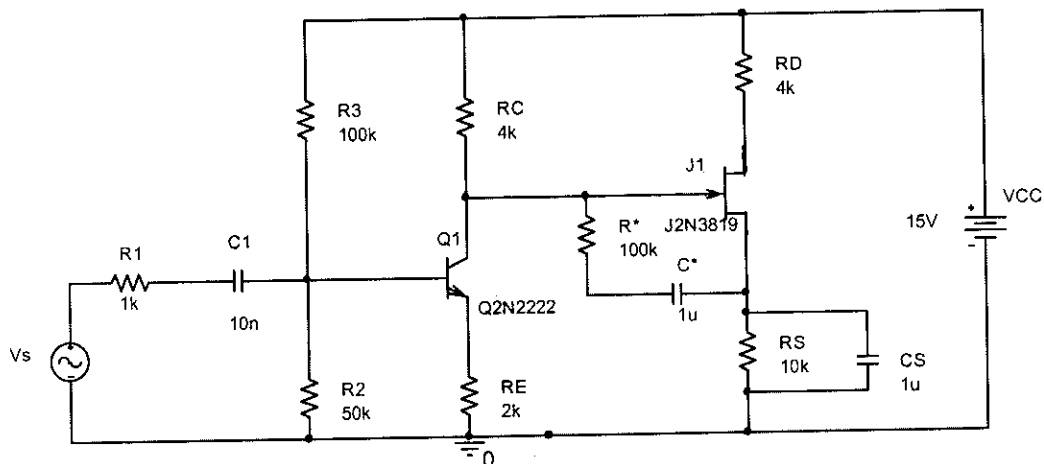
Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
 22 settembre 2005
Parte A

- 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.
- Sia dato il circuito mostrato a lato. Ricavare il periodo dell'onda rettangolare ottenuta in uscita e duty cycle, giustificando il procedimento. Disegnare l'andamento della tensione sul condensatore e all'uscita del circuito nel tempo, sullo stesso asse dei tempi ($R = 1$ K Ω , $C = 4.7$ μ F, $R_1 = R_3 = 2$ K Ω , $R_2 = 6$ K Ω , $V_Z = 5$ V, $V_R = -2$ V).
- 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 $I_{DS}=K(V_{GS}-V_T)V_{DS}$]
- Disegnare e quotare il circuito della porta logica complessa che implementa la funzione logica complessa $Y = (\overline{CB} + \overline{ABC})$ con il minimo numero di transistori.



Punteggio totale Parte A: 14

Parte B



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
- il limite inferiore di banda e il limite superiore di banda

Fare le seguenti ipotesi semplificative:

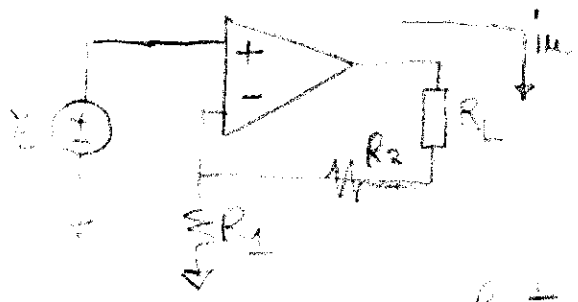
- Q1 ha h_{oe} nullo, J1 ha r_{ds} di valore infinito

Punteggio totale Parte B: 14/30

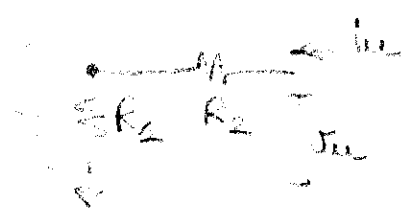
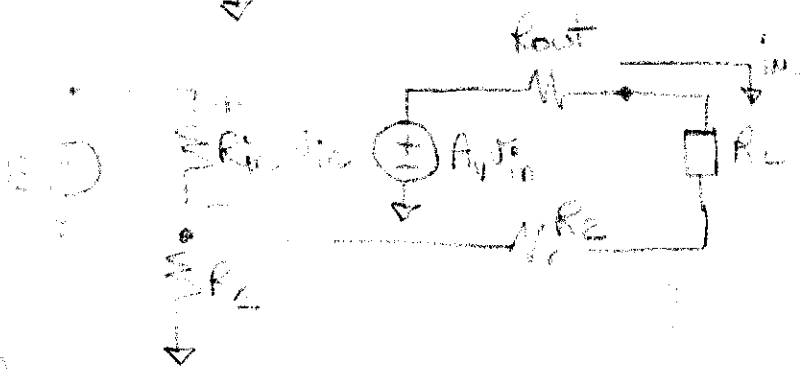
$A_v = 1000$
 $f_p = 500 \text{ Hz}$
 $R_{in} = 2 \text{ M}\Omega$
 $f_{out} = 100 \Omega$

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

Resistor SS



$R_{if} =$



$v_i = +v_o + v_{op}$
 $v_o = A_v i_{in} \cdot R_L$

$R_{if} = -R_1$ $R_{op} = \frac{v_p}{i_p} \Big|_{v_o=0} = R_1$ $R_{of} = \frac{v_o}{i_{out}} \Big|_{v_i=0} = R_1 + R_2$

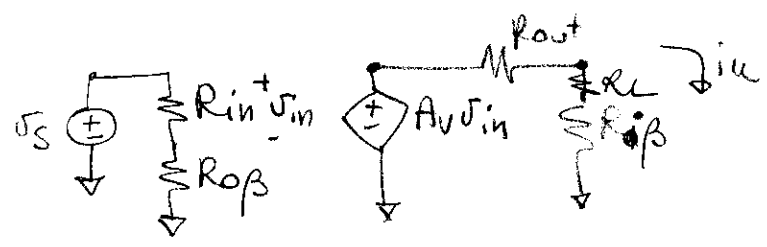
$R_{if} = (R_{in} + R_{op}) (1 - \beta A_e)$
 $R_{of} = (R_{out} + R_{of}) (1 - \beta A_e) \Big|_{R_L=0}$

$10 \text{ M}\Omega < (R_{in} + R_1) (1 - \beta A_e) < 20 \text{ M}\Omega$
 $\quad \quad \quad \uparrow$
 $\quad \quad \quad 2 \text{ M}$
 $(R_{out} + R_1 + R_2) (1 - \beta A_e) \Big|_{R_L=0} > 1500$
 $\quad \quad \quad \uparrow$
 $\quad \quad \quad 100$

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



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

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

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

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

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

$$-4 = \frac{-R_1 A_v \overset{1000}{\uparrow}}{R_{out} + R_L + R_{f\beta} \overset{100}{\uparrow}} \frac{R_{in}}{R_{in} + R_1}$$

Se scegliamo $R_1 = 100 \Omega$

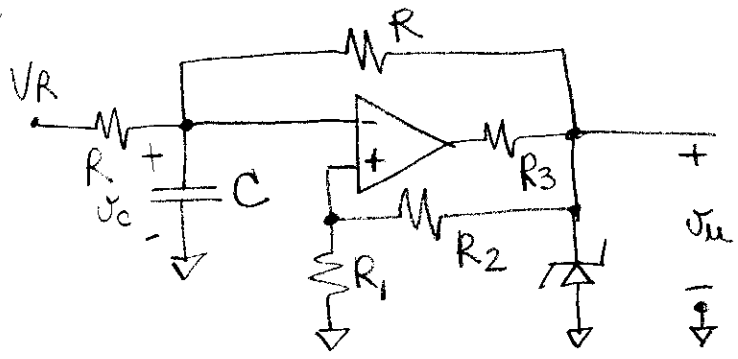
$$R_2 = \frac{R_1 A_v R_{in}}{+4 R_{in} + R_1} - R_1 - R_{out} - R_L = 25000 - 100 - 100 - 1000$$

$$R_2 = 23800 \Omega$$

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

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

2



Soglie: se $V_u = +V_2 = 5V$

$$V_+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_u = \frac{2}{8} 5 = 1.25V = V_A \rightarrow \text{asintoto della carica delle capacità } \frac{V_R + V_u}{2} = \frac{1.5V}{2} = 0.75V$$

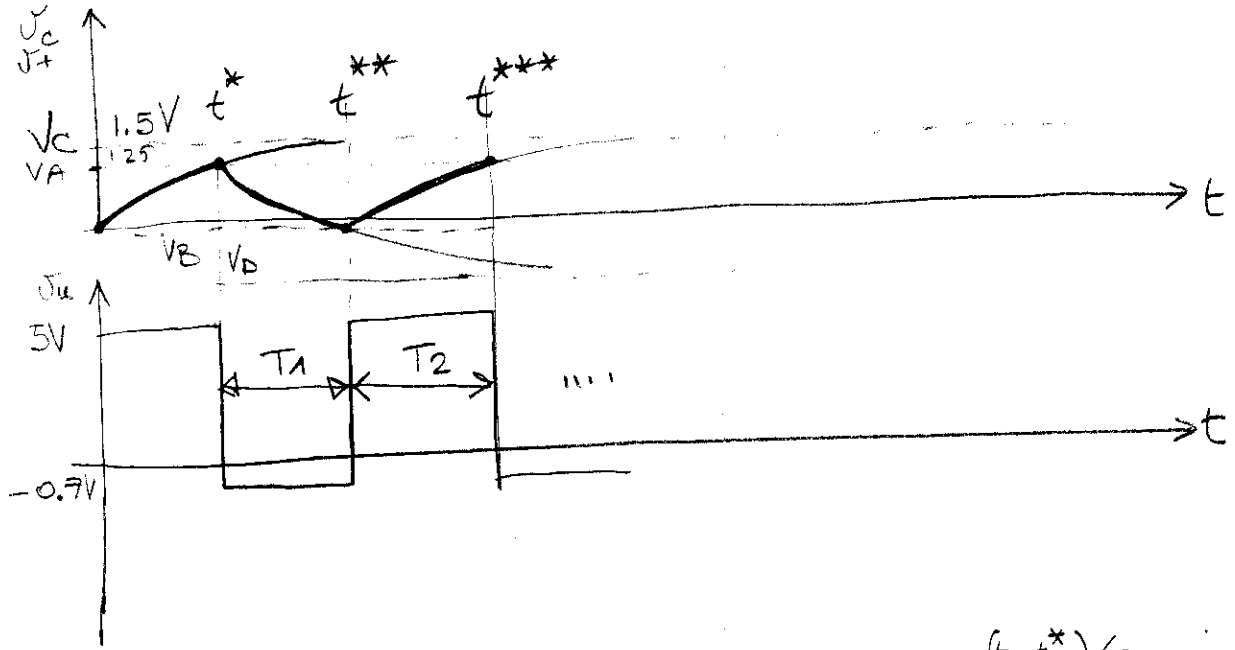
se $V_u = -V_f = -0.7V$

$$V_- = -\frac{2}{8} \cdot 0.7 = -0.175V = V_B$$

asintot. asintoto $\frac{V_R + V_u}{2} = \frac{-2 - 0.7}{2} = -1.35V = V_D$

costante di tempo $\tau = \frac{RC}{2} = 500 \cdot 4.7 \cdot 10^{-6} = 2.35 \cdot 10^{-3} s$

supponiamo che per $t=0$ la capacità sia scarica e $V_u = 5V$



calcolo di T_1 :
per $t^* < t < t^{**}$

$$V_c(t) = V_D + (V_A - V_D) e^{-(t-t^*)/\tau}$$

$$V_c(t^{**}) = V_D + (V_A - V_D) e^{-\frac{(t^{**}-t^*)}{\tau}} = V_B$$

$$V_D + (V_A - V_D) e^{-T_1/\tau} = V_B \rightarrow e^{-T_1/\tau} = \frac{V_B - V_D}{V_A - V_D}$$

$$T_1 = \tau \ln \frac{V_A - V_D}{V_B - V_D} = 2.35 \cdot 10^{-3} \ln \frac{1.25 + 1.35}{-0.175 + 1.35} = 1.87 \text{ ms}$$

Calcolo di T_2
 $t^{**} < t < t^{***}$

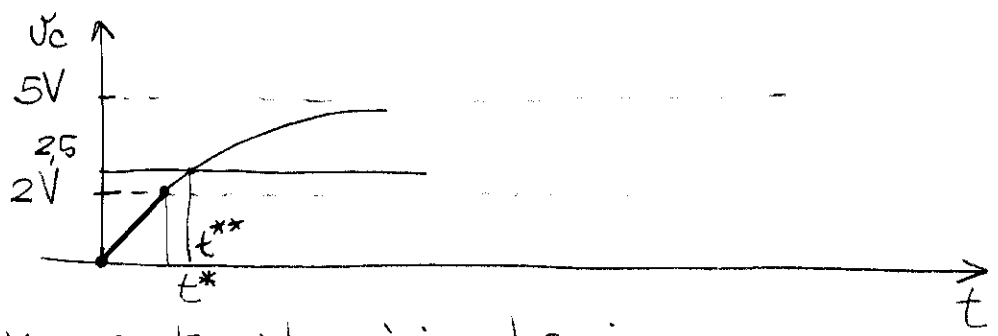
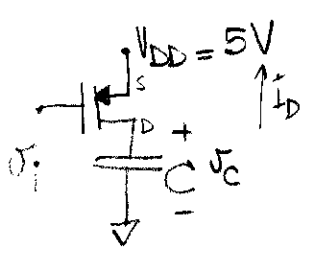
$$v_c(t) = v_c + (v_B - v_c) e^{-(t-t^{**})/\tau}$$

$$v_c(t^{***}) = v_A = v_c + (v_B - v_c) e^{-T_2/\tau}$$

$$\frac{v_A - v_c}{v_B - v_c} = e^{-T_2/\tau} \rightarrow T_2 = \tau \ln \frac{v_B - v_c}{v_A - v_c} = \underline{4.47 \text{ ms}}$$

$$T = T_1 + T_2 = 6.34 \text{ ms} \quad \delta = T_2/T = \underline{0.705}$$

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

$$I_D = -\frac{k}{2} (v_{GS} - v_T)^2 = -C \frac{dv_c}{dt} \rightarrow \frac{dv_c}{dt} = \frac{-I_D}{C} = \frac{+0.9 \cdot 10^{-3}}{10^{-7}} = +0.9 \cdot 10^4 \text{ V/s}$$
$$= \frac{-0.2}{2} = -0.9 \text{ mA}$$

$$t^* = \frac{2V}{dv_c/dt} = \frac{2}{0.9 \cdot 10^4} = \underline{0.22 \text{ ms}}$$

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

$$I_{DS} = -k (v_{GS} - v_T) v_{DS}$$

finché v_{GS} è costante.

si comporta come una resistenza di valore $r = \frac{-1}{k(v_{GS} - v_T)} = \frac{1}{0.2 \cdot 3 \cdot 10^3}$

$$\frac{1}{0.6 \cdot 10^3} = 1667 \Omega$$

$$\tau = rC = 1667 \cdot 10^{-7} = \underline{0.1667 \text{ ms}}$$

$$v_c(t) = v_{DD} + (v^* - v_{DD}) e^{-\frac{t-t^*}{\tau}}$$

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

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

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

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

4

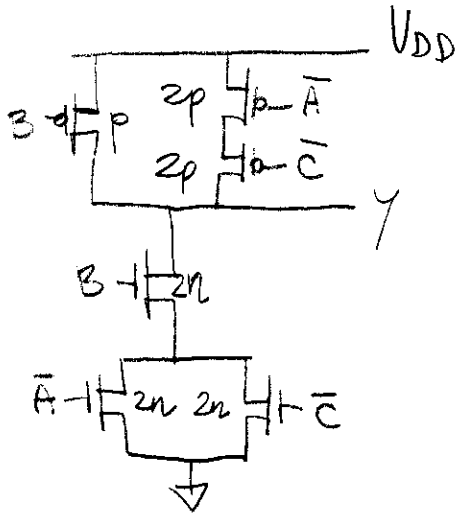
$$Y = \overline{(B\bar{C} + \bar{A}BC)}$$

	AB				
	00	01	11	10	
C	0	1	0	0	1
	1	1	0	1	1

opzione 1: $\bar{Y} = \bar{C}B + \bar{A}B = (\bar{A} + \bar{C})B$

opzione 2: $Y = \bar{B} + AC$

portano alle stesse rete



1

PUNTO DI RIPOSO

BJT: hp. partare. pesante

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{cases} I_{DS} = 1 \text{ mA} \Rightarrow V_{GS} = -3,6V \\ V_{GS} = -2V \Rightarrow I_{DS} = 0,84 \text{ mA} \end{cases}$$

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

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

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

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

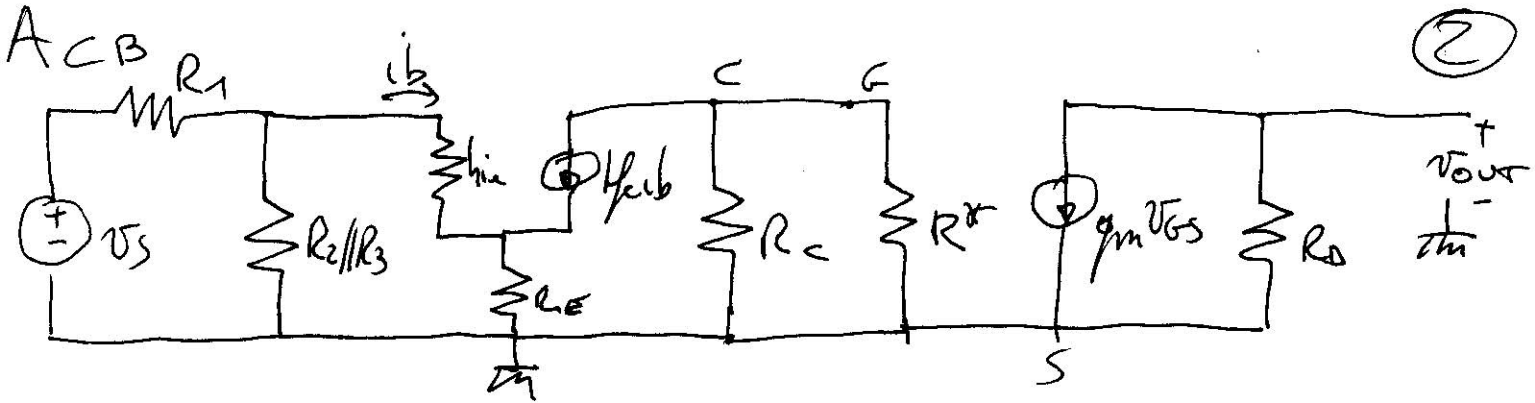
$$h_{fe} = 175; r_b = 450;$$

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

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

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

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



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

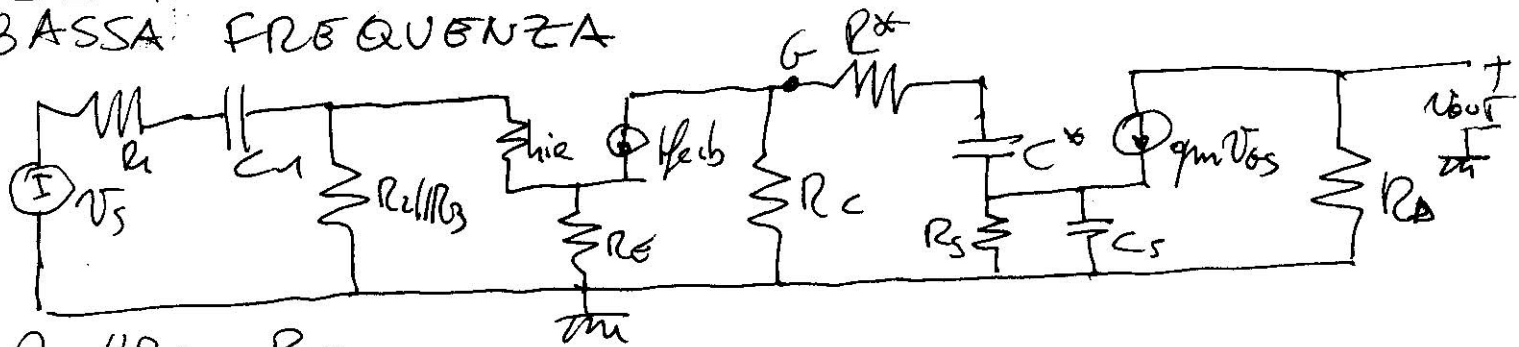
$$v_{GS} = v_o = -h_{fe} i_b R_C // R^*$$

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

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

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

BASSA FREQUENZA



$$R_2 // R_3 = R_B$$

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

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



(3)

~~RVCS~~

Mettiamo un generatore di prova al posto di C_s

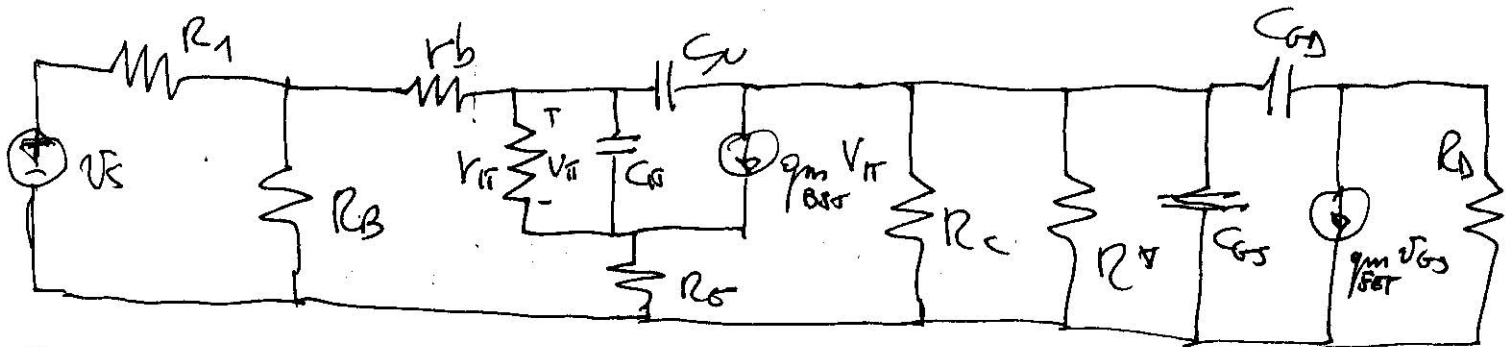
$$V_p = (i_p + g_m V_{GS}) R_s // (R^* + R_c)$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = \frac{V_p R_c}{R_c + R^*} - V_p = - \frac{V_p R^*}{R_c + R^*}$$

$$\frac{V_p}{i_p} = \frac{R_s // (R^* + R_c)}{1 + \frac{g_m R^*}{R_c + R^*} \cdot R_s // (R^* + R_c)} = 338 \Omega$$

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

ALTA FREQUENZA



$$R_{V_{C_{GS}}} = R_c // R^* = 3,85 \text{ k}\Omega$$

$R_{V_{C_{GD}}}$

Mettiamo un generatore di prova

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

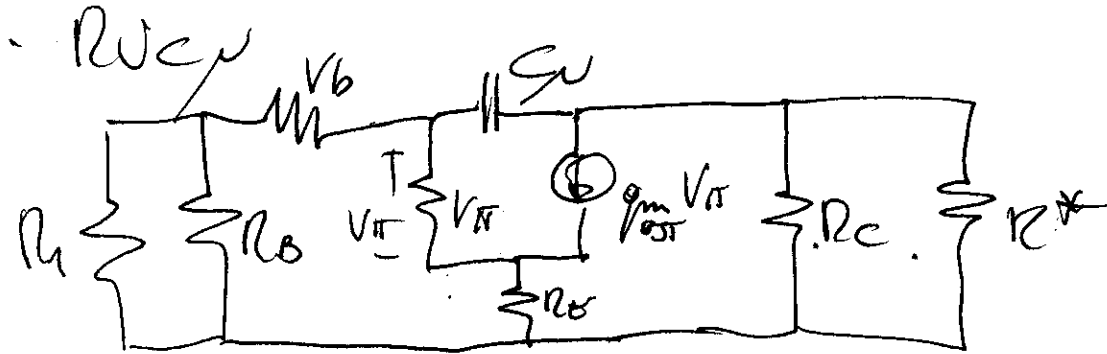
$$V_{GS} = V_G = (R^* // R_c) i_p \Rightarrow \frac{V_p}{i_p} = R^* // R_c + R_D \left(1 + g_m R^* // R_c \right)$$

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

• $R_{W_{CA}}$: \rightarrow V_{π} & R_{B1} & R_{B2} in // alle für

$$v_p = (V_b + R_B // R_1) i_p + R_E (i_p - g_{m_{BST}} v_p)$$

$$R_{W_{CA}} = R_{\pi} // \left[\frac{V_b + R_B // R_1 + R_E}{1 + g_{m_{BST}} R_E} \right] = 20 \Omega$$



$$R_{out} = R_X // R_C = 3,8 k\Omega$$

$$R_{in} = [V_b + (R_B // R_1)] // [V_{\pi} + R_E (1 + g_{m_{BST}} R_E)] = 1 k\Omega$$

$$A_v = - \frac{g_{m_{BST}} V_{\pi} R_C // R_X}{V_{\pi} + R_E \left(\frac{V_{\pi}}{R_{\pi}} + g_{m_{BST}} V_{\pi} \right)} = -1,9$$

$$R_{W_{CP}} = R_{out} + R_{in} (1 - A_v) = 7,9 k\Omega$$

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