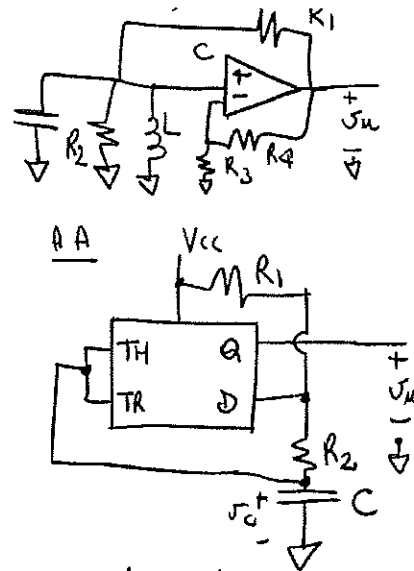


Parte A

1. Si consideri un amplificatore con amplificazione di tensione $A_{v0}=2000$, $R_{in} = 150 \text{ K}\Omega$, $R_{out} = 1 \text{ K}\Omega$, un polo a frequenza $f_p = 1 \text{ KHz}$. Si reazioni in modo da ottenere una resistenza di ingresso maggiore di $1 \text{ M}\Omega$, una resistenza di uscita maggiore di $50 \text{ K}\Omega$, e una banda di 100 KHz . Si consideri la resistenza del generatore nulla, e la resistenza del carico di 100Ω .
2. Sia dato il circuito mostrato a lato. Verificare la possibilità che si inneschi un'oscillazione e a che frequenza. ($L= 50 \mu\text{H}$, $C= 4.7 \mu\text{F}$, $R_1 = R_2 = 10 \text{ K}\Omega$, $R_3 = 3 \text{ K}\Omega$, $R_4 = 5 \text{ K}\Omega$).
3. Sia dato il circuito a lato, con un timer LM555. Calcolare la forma d'onda generata dal circuito, giustificando il procedimento, e rappresentare la tensione di uscita e la tensione sulla capacità sullo stesso asse dei tempi, quotando i punti rilevanti ($R_1 = 5 \text{ K}\Omega$, $R_2 = 15 \text{ K}\Omega$, $C = 1 \mu\text{F}$).
4. Realizzare la ROM a transistori nMOSFET a 2 ingressi che implementi la funzione logica $Y=A+B$. Disegnare il circuito completo al livello delle singole porte logiche.



Punteggio totale Parte A: 14

Parte B

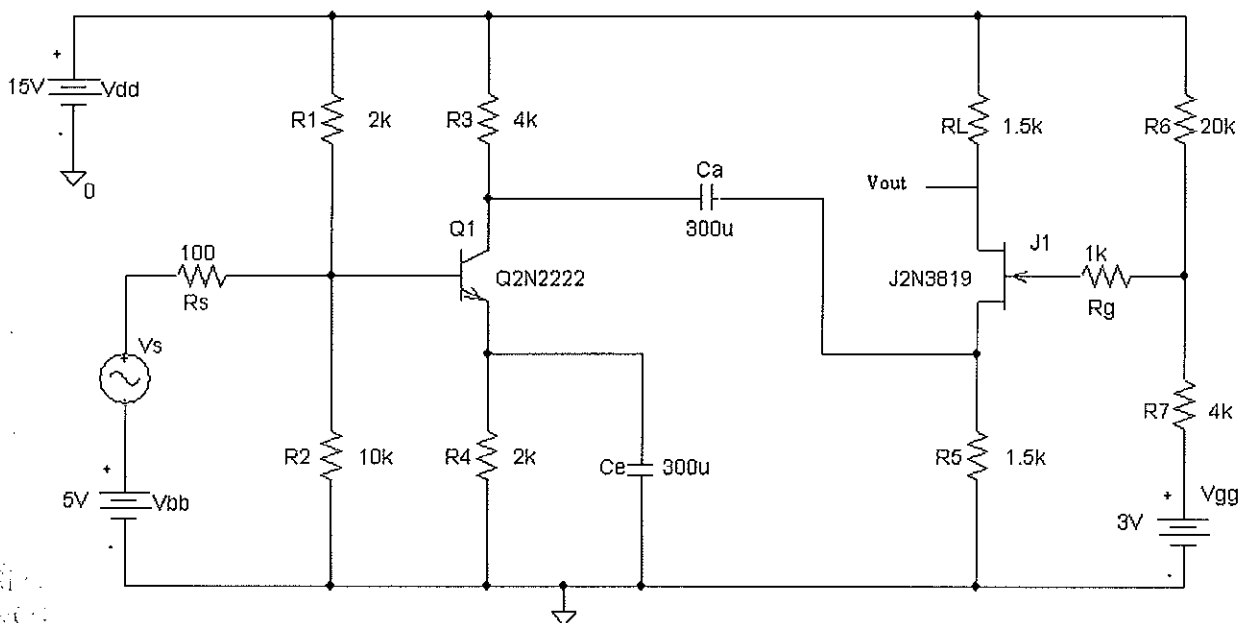
Con riferimento al circuito mostrato a lato, calcolare:

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

Si consideri $V_p = V_{GS(off)} = -3 \text{ V}$

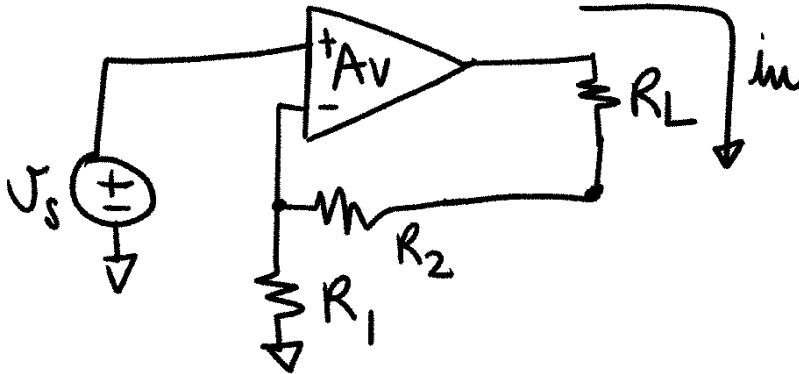
NOTE: Il JFET è un 2N3819 con $r_d \rightarrow \infty$, il BJT è un P2N2222A con $h_{oe}=h_{re}=0$.

Punteggio totale Parte B: 14

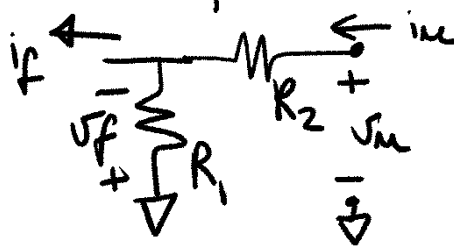


Esercizio 1

Scegliamo una reazione negativa con prelievo di CORRENTE e inserzione di TENSIONE.



Rete per il β :

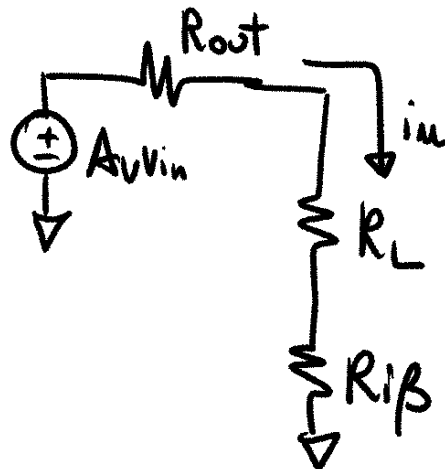
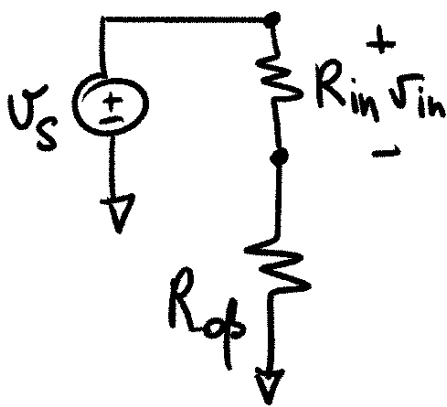


$$v_f = \beta i_{in} + R_o \beta i_f$$

$$v_u = R_{in} i_{in} + \cancel{v_f}$$

$$\beta = \left. \frac{v_f}{i_{in}} \right|_{i_f=0} = -R_1; \quad R_o \beta = \left. \frac{v_f}{i_f} \right|_{i_{in}=0} = R_1; \quad R_i \beta = \left. \frac{v_u}{i_{in}} \right|_{i_f=0} = R_1 + R_2$$

Rete $\times A_e$



$$A_e \triangleq \left. \frac{i_{in}}{v_s} \right|_{\beta=0} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_o \beta} A_v \frac{1}{R_L + R_i \beta + R_o \beta}$$

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

$$f_H = (1 - \beta A_e) f_p \rightarrow \underline{1 - \beta A_e = 100}$$

\uparrow 100kHz \uparrow 1kHz

$$R_{IF} = (R_{in} + R_o \beta) (1 - \beta A_e) \rightarrow R_{IF} > 15 \text{ M}\Omega > 1 \text{ M}\Omega$$

\uparrow 150k Ω \uparrow 100

quindi è sempre verificata se $1 - \beta A_e = 100$

$$R_{OF} = (R_{out} + R_i \beta) (1 - \beta A_e) \Rightarrow R_{OF} > 100 \text{ k}\Omega$$

\uparrow 1k Ω \uparrow $R_L = 0$ \uparrow 50k Ω

> 100 perché $A_e|_{R_L=0} > A_e$

Anche la condizione su R_{OF} è verificata se $1 - \beta A_e = 100$

Per rispettare tutte le condizioni è sufficiente fare in modo che

$$1 - \beta A_e = 1 + \frac{R_1 \cdot R_{in}}{R_{in} + R_1} A_v \frac{1}{R_L + R_1 + R_2 + R_{out}} = 100$$

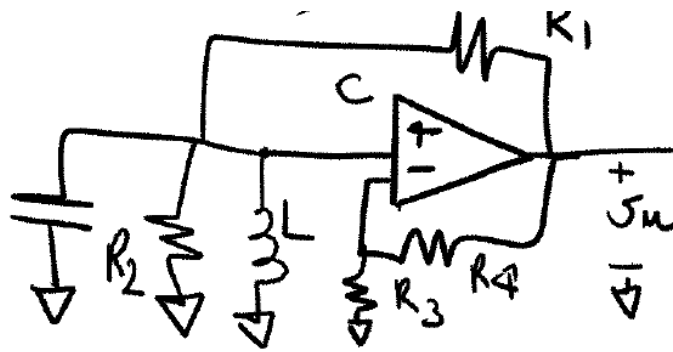
Scegliamo $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$

ottengo

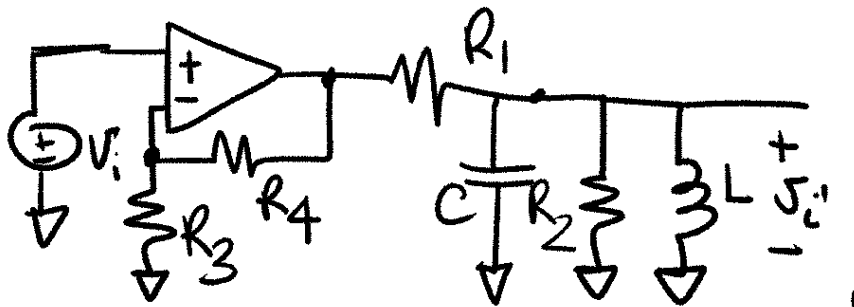
$$R_2 + R_1 + R_L + R_{out} = \frac{R_1 R_{in}}{R_{in} + R_1} A_v \frac{1}{99}$$

da cui $R_2 = 178,3 \text{ k}\Omega$ \rightarrow $R_{IF} = 16 \text{ M}\Omega$
 $R_{OF} = 18,9 \text{ M}\Omega$

Esercizio 2



Apriamo l'anello di reazione e calcoliamo il βA_e



$$\beta A_e = \frac{V_i'}{V_i} = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \frac{\left[j\omega C + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{j\omega L}\right]^{-1}}{\left[j\omega C + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{j\omega L}\right]^{-1} + R_1}$$

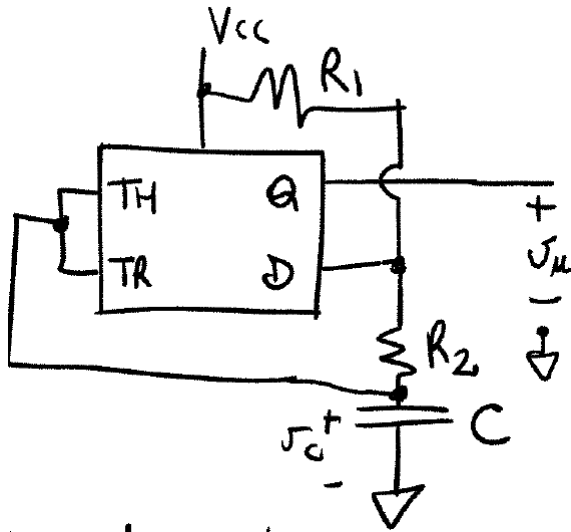
$$= \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \frac{\left[\frac{j\omega L + R_2 - R_2\omega^2 LC}{R_2 j\omega L}\right]^{-1}}{\left[\frac{j\omega L + R_2 - R_2\omega^2 LC}{R_2 j\omega L}\right]^{-1} + R_1}$$

$$= \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \frac{R_2 j\omega L}{R_2 j\omega L + R_1 R_2 + j R_1 \omega L - R_2 R_1 \omega^2 LC}$$

$$\angle \beta A_e = 0 \Rightarrow \omega^2 LC = 1 \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\beta A_e(\omega_0) = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \frac{R_2}{R_2 + R_1} = 1.3331 \quad | \quad f_0 = 10.4 \text{ KHz}$$

Esercizio 3



Supponiamo che per $t=0$ C sia scarica

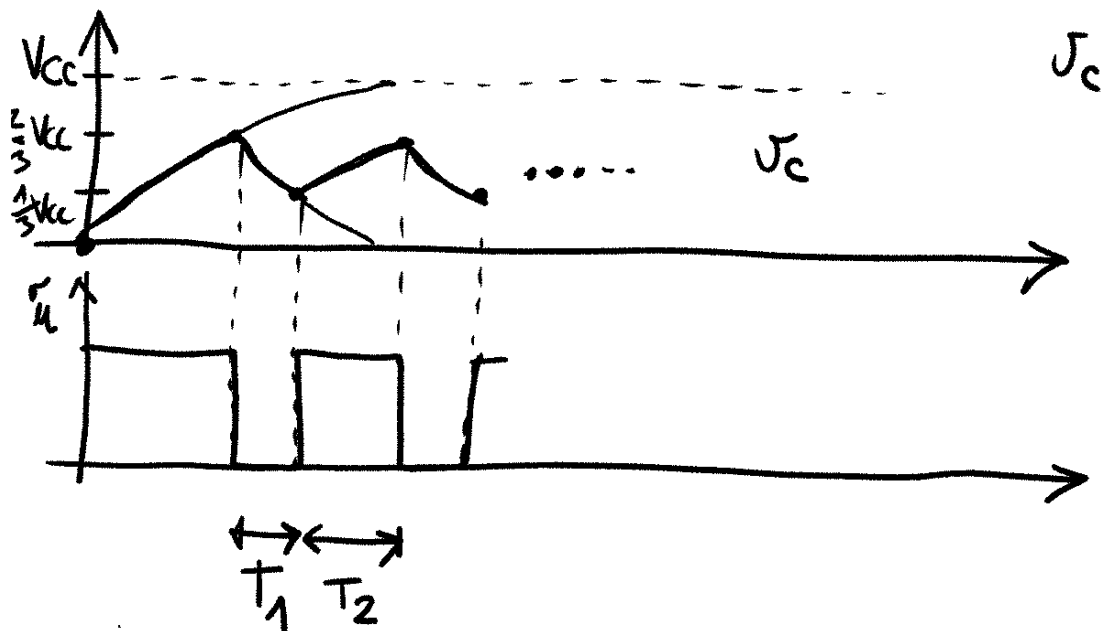
$V_{TR}=0 \rightarrow \underline{Q=1} \rightarrow C$ si carica e V_{cc}
con costante di tempo
 $(R_1+R_2)C$

quando $v_c = \frac{2}{3}V_{cc}$ abbiamo

$$V_H = v_c = \frac{2}{3}V_{cc} \rightarrow Q=0$$

il condensatore si scarica con costante
di tempo R_2C

quando $V_{TR} = v_c = \frac{1}{3}V_{cc} \rightarrow Q=1$ e C si carica
di nuovo



scarica

$$\frac{1}{3}V_{cc} = \frac{2}{3}V_{cc} e^{-T_1/R_2 C} \rightarrow T_1 = R_2 C \ln 2 = 10.4 \text{ ms}$$

carica

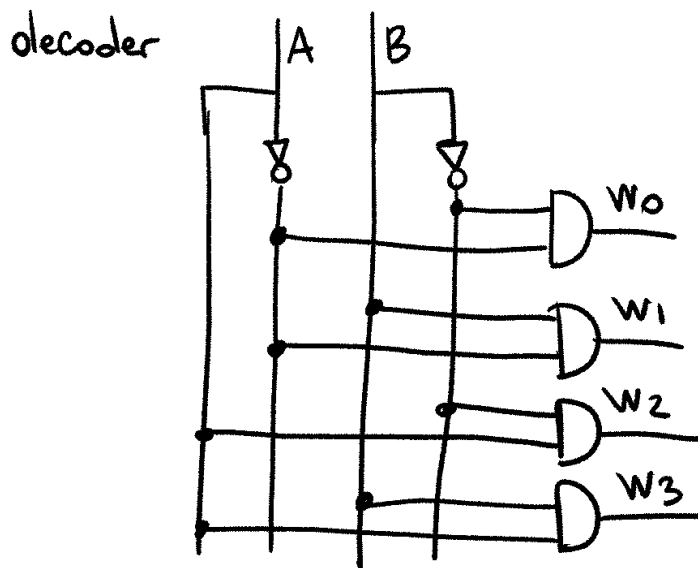
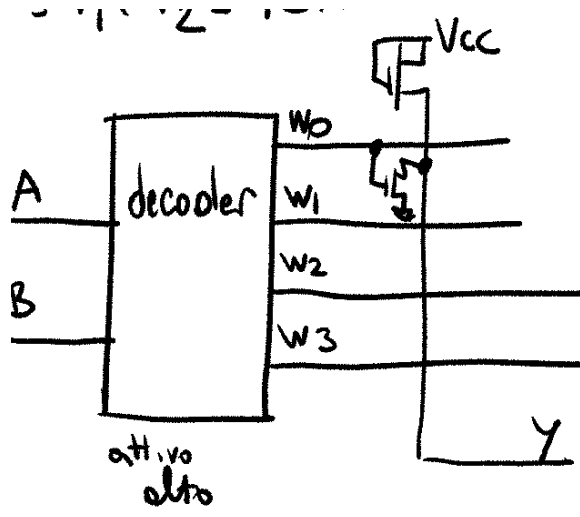
$$\frac{2}{3}V_{cc} = \frac{1}{3}V_{cc} + \left(V_{cc} - \frac{1}{3}V_{cc}\right) \left(1 - e^{-T_2/(R_1+R_2)C}\right)$$

$$1 = 2 \left(1 - e^{-\frac{T_2}{(R_1+R_2)C}}\right)$$

$$T_2 = (R_1 + R_2) C \ln 2 = 13.9 \text{ ms}$$

$$T_1 + T_2 = 24.3 \text{ ms} \quad \delta = \frac{T_2}{T_1 + T_2} = 0.57$$

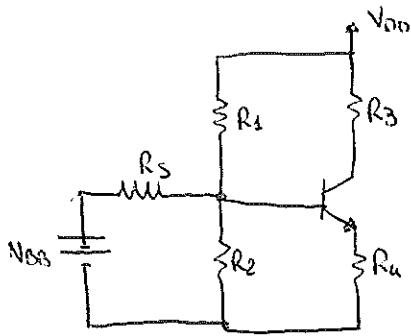
Esercizio 4



PARTE B

(7)

PUNTO DI RIPOSO BJT



Hp. sovrapposizione degli effetti e partitore pesante

$$V_B = V_{B1} + V_{B2}$$

$$V_{B1} = \frac{R_2 // R_S}{R_2 // R_S + R_1} \cdot V_{DD} \approx 0.68V$$

$$V_{B2} = \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + R_S} \cdot V_{BS} \approx 4.72V$$

$$V_B = V_{B1} + V_{B2} = 5.4V$$

$$V_{BE} = V_B - V_E = 0 \Rightarrow V_E = V_B - V_{BE} = V_B - V_{BE} = 4.7V$$

$$I_E \approx I_C = \frac{V_E}{R_4} = 2.35mA$$

$$V_{CE} = V_{DD} - (R_3 + R_4) \cdot I_C = 0.9V$$

VERIFICA HP.
PARTITORE PESANTE

$$P_{FE} = \frac{P_{FE\max} + P_{FE\min}}{2} \approx \frac{300 + 50}{2} = 155$$

$$I_{RS} = \frac{V_B - V_{BS}}{R_S} = 4mA$$

$$I_{R1} = \frac{V_{DD} - V_B}{R_1} = 4.8mA$$

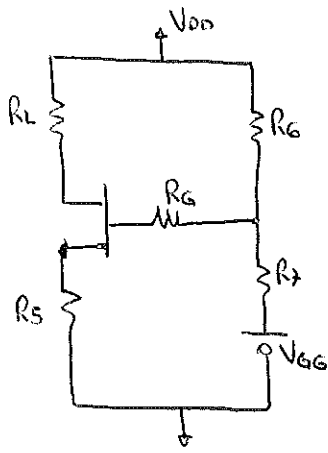
$$I_{R2} = \frac{V_B}{R_2} = 0.54mA$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \approx 15.16\mu A$$

$$I_B \ll I_{RS}, I_{R1}, I_{R2} \quad \text{OK!}$$

PUNTO DI RIPOSO JFET

8



Ip. sovrapposizione degli effetti

$$V_G = V_{G1} + V_{G2}$$

$$V_{G1} = V_{DD} \cdot \frac{R_7}{R_6 + R_7} = 2.5V$$

$$V_{G2} = V_{GG} \cdot \frac{R_6}{R_6 + R_7} = 2.5V$$

$$V_G = V_{G1} + V_{G2} = 5V$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - R_S \cdot I_{DS} \Rightarrow I_{DS} = \frac{V_G - V_{GS}}{R_S}$$

$$\begin{cases} V_{GS} = 0 & \Rightarrow I_{DS} = 3.33mA \\ V_{GS} = -3V & \Rightarrow I_{DS} = 5.33mA \end{cases}$$

Tracciando la retta sulle caratteristiche si ottiene

$$V_{GS} \cong -1.3V \quad I_{DS} \cong 4mA$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (R_L + R_S) \cdot I_{DS} = 3V$$

VERIFICA JFET

IN SATURAZIONE

$$V_{GS} > V_{GSoff} = -3V \quad \text{OK!}$$

$$V_{DS} > V_{GS} - V_{GSoff} = 1.7V \quad \text{OK!}$$

$$R_{pe} = \frac{R_{pe\max} + R_{pe\min}}{2} = \frac{300 + 50}{2} = 175$$

$$r_{ie} @ 1\text{mA} = \frac{(2+8)\text{k}\Omega}{2} = 5\text{k}\Omega$$

$$r_{b'e} @ 1\text{mA} = \frac{V_T \cdot R_{pe}}{I_C @ 1\text{mA}} = 4.55\text{k}\Omega$$

$$r_{bb'} = r_{ie} - r_{b'e} = 450\Omega$$

$$r_{ie} = r_{b'e} + r_{bb'} = \frac{V_T \cdot R_{pe}}{I_C} + r_{bb'} \cong 2.39\text{k}\Omega$$

$$f_T \cong 150\text{MHz}$$

$$g_m^{\text{BJT}} = \frac{I_C}{V_T} \cong 40.38\text{mS}$$

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = (0.9 - 0.7)\text{V} = 0.2\text{V}$$

$$C_{b'c} \cong 10\text{pF}$$

$$C_{b'e} = \frac{g_m^{\text{BJT}}}{2\pi f_T} - C_{b'c} \cong 86\text{pF}$$

CALCOLO PARAMETRI PICCOLO SEGNALE JFET

$$g_m \cong 4.5\text{mS}$$

$$C_{iss} \cong 2.8\text{pF}$$

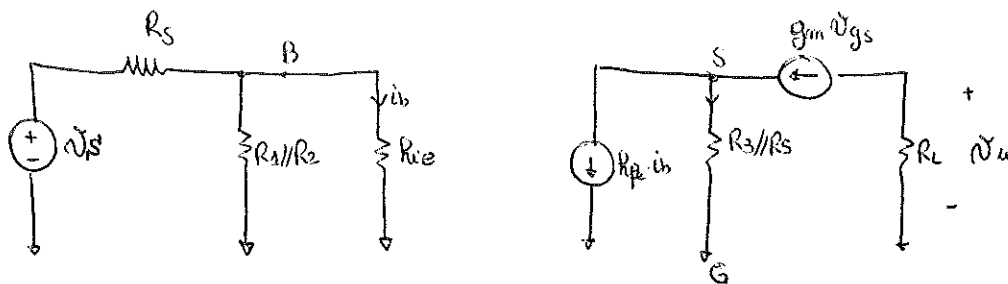
$$C_{rss} \cong 1.4\text{pF}$$

$$C_{GD} = C_{rss} = 1.4\text{pF}$$

$$C_{GS} = C_{iss} - C_{rss} = 1.4\text{pF}$$

GUADAGNO A CENTRO BANDA

10



$$V_u = -R_L g_m V_{gs}$$

$$V_{gs} = V_g - V_s = -V_s \Rightarrow V_u = R_L g_m V_s$$

$$V_s = (R_3 // R_s) \cdot (g_m V_{gs} - R_{fe} \cdot i_b)$$

$$V_s = R_3 // R_s g_m V_{gs} - R_3 // R_s R_{fe} \cdot i_b$$

$$V_s = -R_3 // R_s g_m V_s - R_3 // R_s R_{fe} \cdot i_b$$

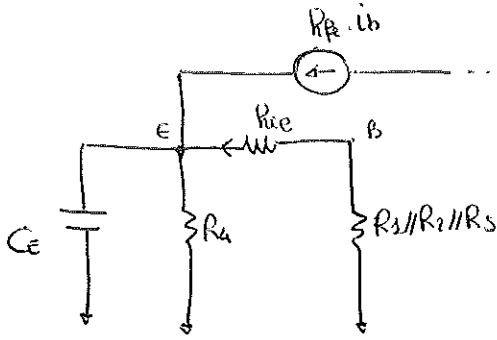
$$V_s = - \frac{R_3 // R_s \cdot R_{fe} \cdot i_b}{1 + g_m R_3 // R_s}$$

$$i_b = \frac{V_s}{R_s + (R_1 // R_2 // r_{ie})} \cdot \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + r_{ie}}$$

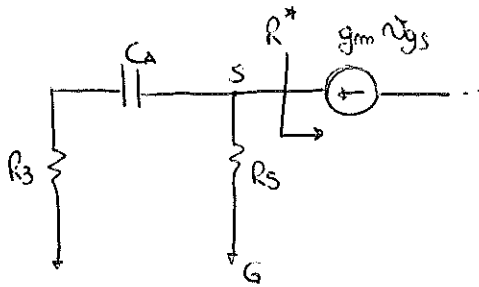
$$A_{CB} = \frac{V_u}{V_s} = -R_L g_m \frac{R_3 // R_s R_{fe}}{1 + g_m R_3 // R_s} \cdot \frac{1}{R_s + (R_1 // R_2 // r_{ie})} \cdot \frac{R_1 // R_2}{(R_1 // R_2) + r_{ie}} \approx -83$$

LIMITE INFERIORE DI BANDA

(11)



$$R_{V_{CE}} \Big|_{C_{E \text{ corto}}} = R_4 // \frac{r_{be} + R_1 // R_2 // R_3}{\beta + 1} \approx 14 \Omega$$



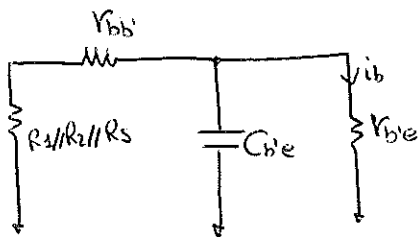
$$\check{v}_{gs} = -\check{v}_s$$

$$R^* = \frac{\check{v}_s}{g_m \check{v}_s} = \frac{1}{g_m}$$

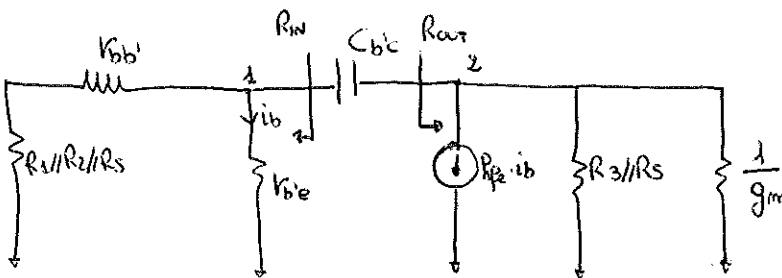
$$R_{V_{CA}} \Big|_{C_{E \text{ corto}}} = R_3 + R_S // \frac{1}{g_m} \approx 6.2 \Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{C_E \cdot R_{V_{CE}}} + \frac{1}{C_A \cdot R_{V_{CA}}} \right] \approx 166 \text{ Hz}$$

LIMITE SUPERIORE DI BANDA



$$R_{V_{C_{b'e}}} = R_{b'e} // [R_{bb'} + R_1 // R_2 // R_3] \approx 486 \Omega$$



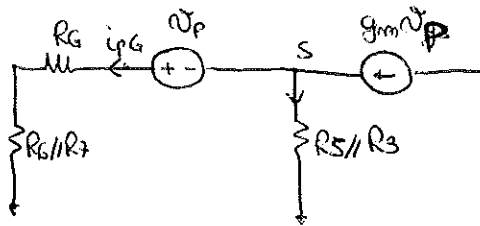
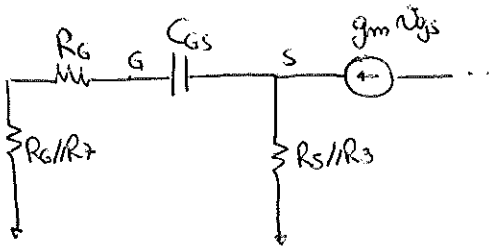
$$R_{V_{C_{b'c}}} = R_{in} (1 + |A_v|) + R_{out}$$

$$R_{in} = R_{V_{cb'e}} \cong 486 \Omega$$

$$R_{out} = R_3 // R_5 // \frac{1}{g_m} \cong 185 \Omega$$

$$A_v = \frac{V_2}{V_1} = - \frac{R_{out} R_{p2} i_b}{V_{b'e} \cdot i_b} \cong -16.72$$

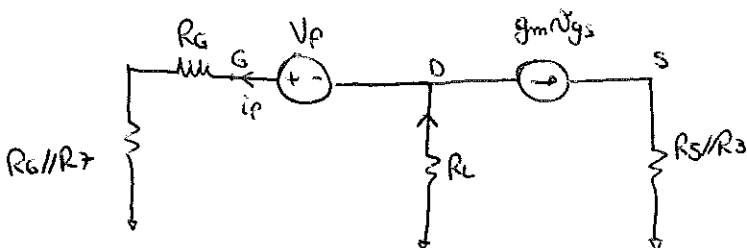
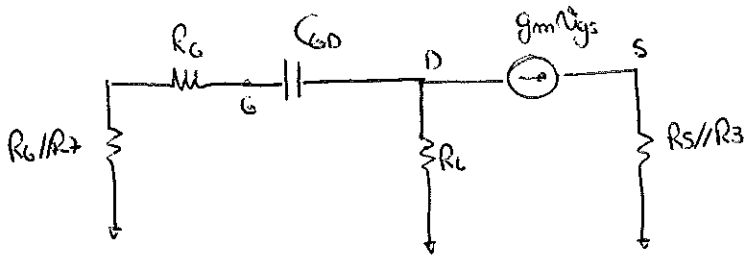
$$R_{V_{cb'e}} = R_{in} (1 + |A_v|) + R_{out} \cong 8.8 k\Omega$$



$$\begin{cases} V_p = V_{GS} = V_G - V_S \\ V_G = (R_G + R_6 // R_7) \cdot i_p \\ V_S = (R_5 // R_3) (g_m V_p - i_p) \end{cases}$$

$$V_p = (R_G + R_6 // R_7) \cdot i_p - (R_5 // R_3) (g_m V_p - i_p)$$

$$R_{V_{C_{GS}}} = \frac{V_p}{i_p} = \frac{R_G + R_6 // R_7 + (R_5 // R_3) g_m}{1 + (R_5 // R_3) g_m} \cong 1.56 k\Omega$$



$$\begin{cases} V_p = V_{GD} = V_G - V_D \\ V_G = (R_G + R_6 // R_7) i_p \\ V_D = -R_L (g_m v_{gs} + i_p) \end{cases}$$

$$V_s = R_s / R_3 \cdot g_m V_{gs}$$

$$V_{gs} = V_G - V_s = (R_G + R_G // R_7) \cdot i_p - R_s // R_3 g_m V_{gs}$$

$$V_{gs} = \frac{(R_G + R_G // R_7) i_p}{1 + R_s // R_3 \cdot g_m}$$

$$V_p = V_G - V_o$$

$$V_p = (R_G + R_G // R_7) \cdot i_p + R_L \cdot i_p \left(g_m \frac{R_G + R_G // R_7}{1 + R_s // R_3 g_m} + 1 \right)$$

$$R_{V_{C_{GD}}} = R_G + R_G // R_7 + R_L \left(g_m \frac{R_G + R_G // R_7}{1 + R_s // R_3 g_m} + 1 \right) \approx 10.8 \text{ k}\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi [C_{b'e} \cdot R_{V_{C_{b'e}}} + C_{b'c} \cdot R_{V_{C_{b'c}}} + C_{GS} \cdot R_{V_{C_{GS}}} + C_{GD} \cdot R_{V_{C_{GD}}}] } \approx 1.1 \text{ MHz}$$