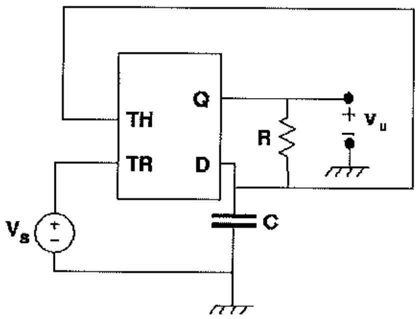
Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
18 febbraio 2009
Parte A

1. Si consideri un amplificatore di tensione con Av = 500 e polo sp=-100 rad/s, Rin = 1 MΩ, Rout = 100 Ω. Si reazioni n modo da ottenere un amplificatore con impedenza di ingresso maggiore di 20 MΩ e impedenza di uscita maggiore di 10 kΩ. Una volta scelta e dimensionata la rete di reazione, si calcolino le resistenze di ingresso e uscita così ottenute, e il limite superiore di banda del sistema.
2. Disegnare lo schema di un oscillatore a ponte di Wien e dimensionare i componenti in modo che si inneschi un oscillazione a frequenza 100 KHz. Giustificare il procedimento.
3. Disegnare e quotare la porta complessa CMOS con il minor numero di transistori che svolga la funzione logica $Y = \left(A\overline{B} + \overline{A}\,\overline{C} + B\right)$.
4. Rappresentare (sulla stessa scala temporale) l'andamento nel tempo della tensione sulla capacità e della tensione di uscita del circuito indicato a lato, supponendo che Vs(t) abbia il seguente andamento:
   t<0: Vs(t) = Vcc = 5 V
   0<t<1 ms: Vs(t) = 1 V
   t>1 ms : Vs(t) = 4 V
   Giustificare il procedimento, ponendo R=1 KΩ, C= 50 nF.

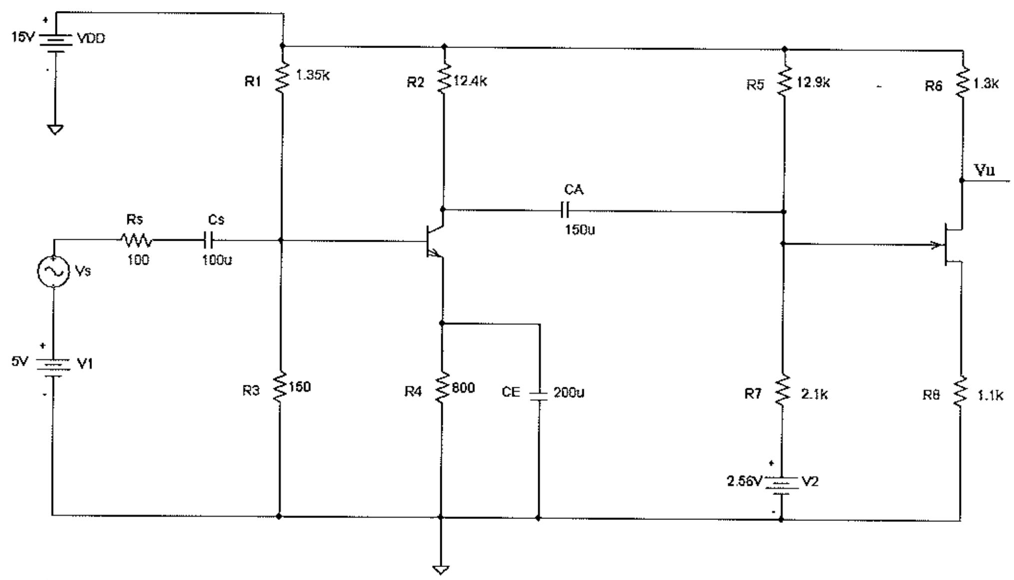


Punteggio totale Parte A: 14.

Parte B

Dato l'amplificatore disegnato in figura, calcolare:
- il punto di riposo dei due transistori,
- l'amplificazione Vu/Vs a centrobanda,
- il limite superiore di banda e il limite inferiore di banda

NOTE:
- Il BJT è un BC109B con hoe=0;
- Il BJT si può considerare resistivo;
- Il JFET è un 2N3819 con rd → ∞.
- C_A ha valore praticamente infinito.



Punteggio totale Parte B: 14.

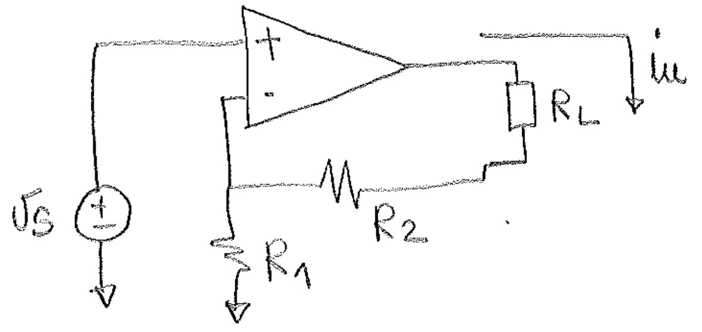
(1) $A_v = 500$

$s_p = -100\ \text{rad/s}$

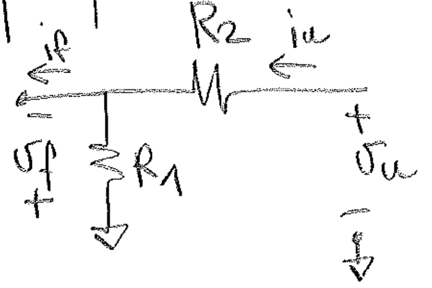
$R_{in} = 1\ M\Omega$ $\qquad R_{IF} > 20\ M\Omega > R_{in}$

$R_{out} = 100\ \Omega$ $\qquad R_{OF} > 10\ K\Omega > R_{out}$

Abbiamo bisogno di una reazione con prelievo di corrente e inserzione di tensione



Rete per β

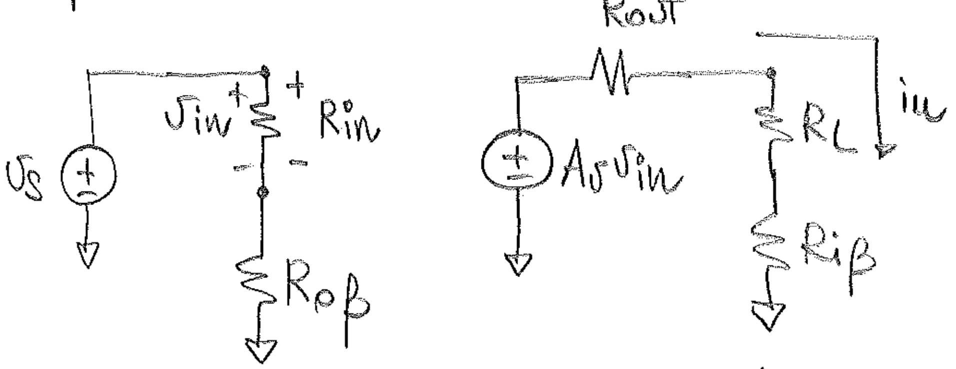


$v_f = \beta i_u + R_{o\beta} i_f$

$v_u = R_{i\beta} i_u + \cancel{K i_f}$

$$\beta = \left.\frac{v_f}{i_u}\right|_{i_f=0} = -R_1 \;;\; R_{o\beta} = \left.\frac{v_f}{i_f}\right|_{i_u=0} = R_1 \;;\; R_{i\beta} = \left.\frac{v_u}{i_u}\right|_{v_f=0} = R_2 + R_1$$

Rete per A_e



$$A_e = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{o\beta}} A_v \frac{1}{R_{out} + R_L + R_{i\beta}}$$

Abbiamo :

$$R_{IF} = (\overset{1M\Omega}{R_{in}} + R_{o\beta})(1-\beta A_e) > 20\,M\Omega$$

$$R_{OF} = (R_{i\beta} + \underset{100}{R_{out}})(1-\beta A_e|_{R_L=0}) > 10\,K\Omega$$

le due condizioni sono soddisfatte se $(1-\beta A_e|_{R_L=0}) > 100$

$\sim \beta A_e|_{R_L=0} < -100$ cioè

$$+R_1 \frac{R_{in}}{R_{in}+R_1} \underset{500}{A_V} \frac{1}{\underset{100}{R_{out}} + R_2 + R_1} > 100$$

se scegliamo $R_1 \ll R_{in}$, per esempio $R_1 = 10K\Omega$ abbiamo

$$\frac{10^4 \cdot 500}{100+R_2} > 100 \rightarrow 100 + R_2 + 10^4 < 50000$$

$\underline{R_2 < 39900\,\Omega}$

scegliamo $\underline{R_2 = 30k\Omega}$

abbiamo così

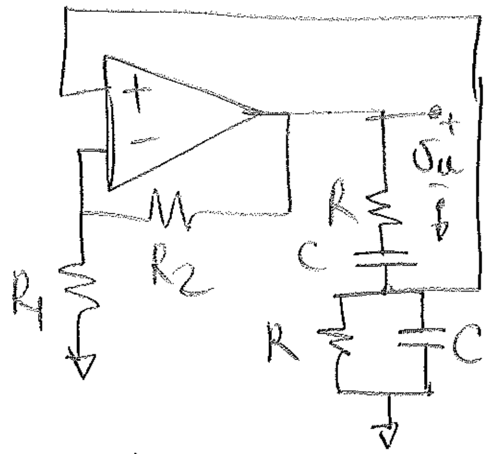
$$1-\beta A_e|_{R_L=0} = 1 + \frac{10^4 \cdot 500}{30100} = 167$$

$R_{OF} = (100 + 30000) \cdot 167 = \underline{5.027\,M\Omega}$

calcoliamo R_{IF} con $R_L=0$ (visto che R_L non è specificato)

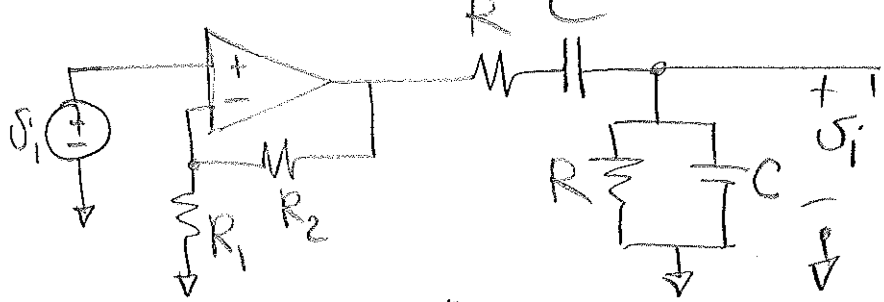
$R_{IF} = (10^6 + 10^3) \cdot 167 = 167.2\,M\Omega$; $f_H = \frac{|S_p|}{2\pi}(1-\beta A_e) = \boxed{2659\,Hz}$

2



100 KHz

apriamo l'anello di reazione:



$$\beta A_e = \left(\frac{R_2}{R_1}+1\right)\frac{\dfrac{R}{RCs+1}}{\dfrac{R}{RCs+1}+R+\dfrac{1}{Cs}} =$$

$$\beta A_e = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{RCs}{RCs+R^2C^2s^2+RCs+RCs+1} =$$

$$= \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{RCs}{R^2C^2s^2+3RCs+1}$$

verifichiamo le condizioni di Barkhausen all'innesco

$$\beta A(j\omega) = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{j\omega RC}{(1-\omega^2R^2C^2)+j3\omega RC}$$

per $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ abbiamo $\beta A = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{1}{3}$

$\beta A(\omega_0) > 1$ se $\frac{R_2}{R_1} > 2$

possiamo quindi scegliere

$$RC = \frac{1}{\omega_0} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^5}$$

poniamo $C = 4{,}7\,nF$

$$R = \frac{1}{4{,}7 \cdot 10^{9} \cdot 2\pi \cdot 10^5} = \underline{339\,\Omega}$$

$R_1 = 1k\Omega$; $R_2 = 3k\Omega$

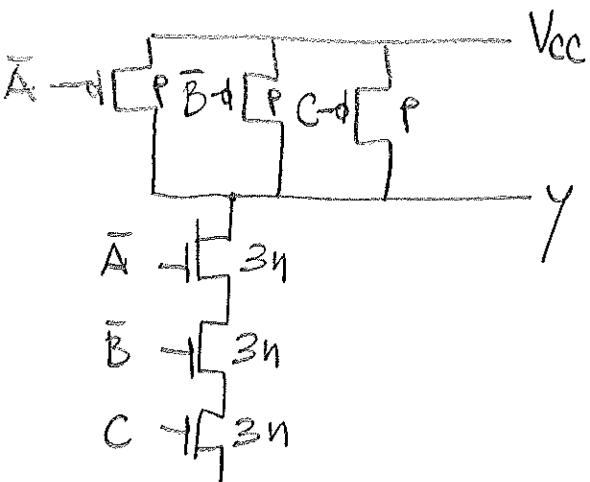
---

3)

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

$Y = A \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot \bar{C} + B$

$\rightarrow \bar{Y} = \bar{A}\bar{B}C$. $Y = \overline{\bar{A}\bar{B}C}$



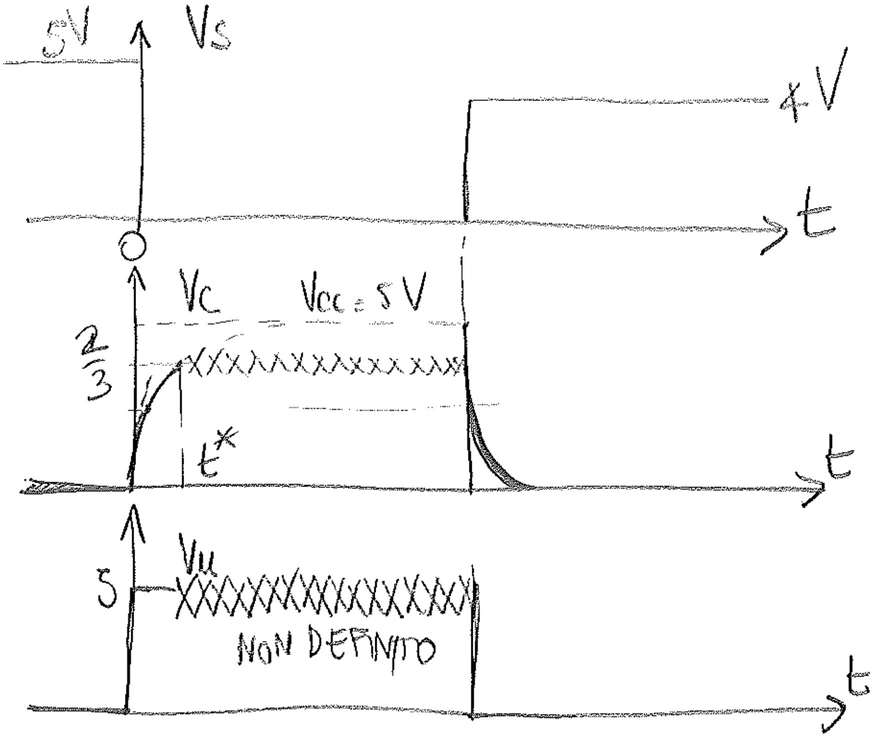
---

④ All'istante $T = 0^-$ abbiamo:

$V_S = 5V$, $V_C = 0$, $V_u = 0$

quando V_s va a 0 il TR $< \frac{1}{3} V_{cc}$ e il FF interno viene settato, Q va alto, D in alta impedenza

La capacità C si carica con costante di tempo RC e tende a Vcc



$$RC = 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-8} = 5 \cdot 10^{-5} = 50\,\mu s$$

$$V_C = V_{cc}\left(1 - e^{-\frac{t^*}{RC}}\right) =$$

$$V_{cc}\left(1 - e^{-\frac{t^*}{RC}}\right) = \frac{2}{3} V_{cc}$$

$$t^* = RC \ln 3 =$$

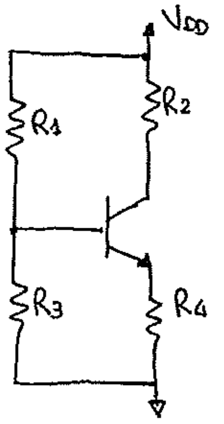
$$\cong 55\,\mu s$$

all'istante t^* la V_c raggiunge $\frac{2}{3} V_{cc}$ e abbiamo $TH > \frac{2}{3} V$, quindi all'ingresso del flip flop interno abbiamo $R = \cancel{1}$, $S = 1$ quindi le due uscite sono entrambe basse $\rightarrow Q = 0$, D in alta impedenza. La V_c e la V_u NON sono definite.

Per $t = 1\,ms$ V_s torna $> \frac{1}{3} V_{cc}$ quindi $R = 0$ nel FF interno $\rightarrow$ D va alto, $Q = 0$ e la capacità comincia a scaricarsi con costante di tempo RC

PARTE B

PUNTO DI RIPOSO BJET:



Hp. PARTITORE PESANTE

$$V_B = \frac{R_3}{R_1+R_3} \cdot V_{DD} = 1.5V$$

$$V_E = V_B - V_\gamma = 0.8V$$

$$I_C \cong I_E = \frac{V_E}{R_4} = 1\,mA$$

$$V_{CE} = V_{DD} - (R_2+R_4)\cdot I_C = 1.8V$$

VERIFICA HP. DI PARTITORE PESANTE:

$$h_{FE} = 290 \cdot 0.9 = 261$$

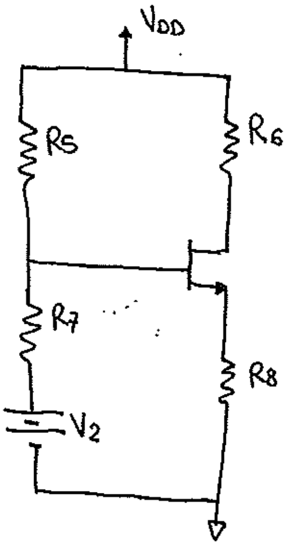
$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{1mA}{261} = 3.83\,\mu A$$

$$I_{R1} = \frac{V_{DD}-V_B}{R_1} = 10\,mA$$

$$I_{R3} = I_{R1}$$

$$I_B \ll I_{R1}, I_{R3} \Rightarrow \text{OK}$$

PUNTO DI RIPOSO JFET:



SOVRAPPOSIZIONE DEGLI EFFETTI:

$$V_G = V_{DD} \cdot \frac{R_7}{R_5+R_7} + V_2 \frac{R_5}{R_5+R_7} = 4.3V$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - R_8 \cdot I_{DS}$$

$$I_{DS} = \frac{V_G - V_{GS}}{R_8}$$

$$\begin{cases} V_{GS} = -0.5\,V \Rightarrow I_{DS} \cong 4.36\,mA \\ V_{GS} = -1.5\,V \Rightarrow I_{DS} \cong 5.27\,mA \end{cases}$$

$$\Rightarrow V_{GS} = -1\,V \Rightarrow I_{DS} \simeq 5\,mA$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (R_6 + R_8)\,I_{DS} \cong 3\,V$$

VERIFICA HP. JFET IN SATURAZIONE:

$$V_{GS} > V_{GSoff} = -3\,V \Rightarrow OK$$

$$V_{DS} > V_{GS} - V_{GSoff} = 2\,V \Rightarrow OK$$

CALCOLO DEI PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE BJT

$h_{fe} = 300$

$h_{ie}\,@\,2mA = 4.8\,K\Omega$

$$r_{b'e}\,@\,2mA = \frac{V_T \cdot h_{fe}}{I_C\,@\,2mA} = 3.9\,K\Omega$$

$$r_{bb'} = h_{ie} - r_{b'e} = 900\,\Omega$$

$$r_{b'e} \simeq \frac{V_T \cdot h_{fe}}{I_C} = 7.8\,K\Omega$$

$$h_{ie} = r_{bb'} + r_{b'e} = 8.7\,K\Omega$$

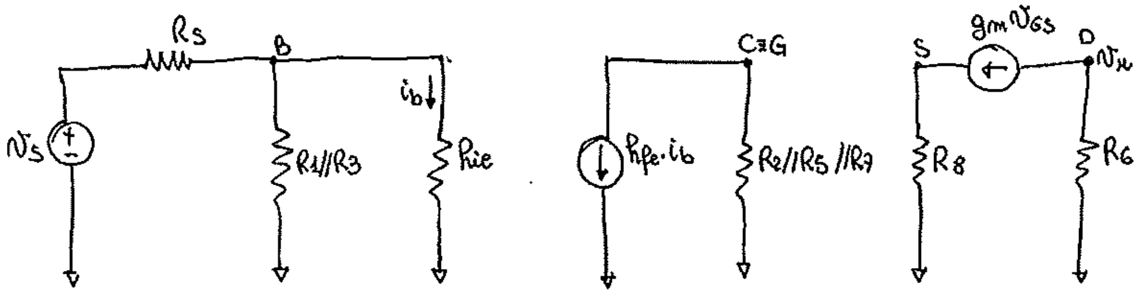
$f_T \cong 125\,MHz$

CALCOLO DEI PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE JFET

$g_m \cong 4\,mS$; $C_{iss} \cong 3\,pF$; $C_{rss} \cong 1.5\,pF$

$C_{GD} = C_{rss} = 1.5\,pF$; $C_{GS} = C_{iss} - C_{rss} = 1.5\,pF$

GUADAGNO A CENTRO BANDA



$$v_u = -R_6\, g_m V_{GS} = -R_6\, g_m (v_G - v_S) \quad (1)$$

$$v_G = -(R_2//R_5//R_7)\, h_{fe} \cdot i_b \quad (2)$$

$$v_S = \frac{R_8 g_m}{1 + R_8 g_m} \cdot v_G \quad (3)$$

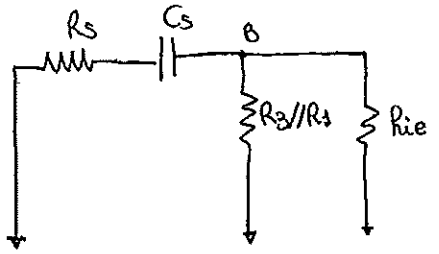
$$i_b = \frac{R_1//R_3}{R_1//R_3 + h_{ie}} \cdot \frac{v_s}{R_s + [(R_1//R_3)//h_{ie}]} \quad (4)$$

Combinando (1), (2), (3) e (4), si ottiene:

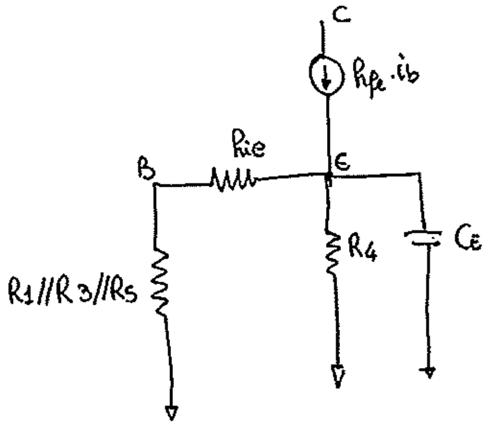
$$A_{CB} = \frac{v_u}{v_s} = R_6\, g_m (R_2//R_5//R_7) \cdot h_{fe} \cdot \frac{R_1//R_3}{R_1//R_3 + h_{ie}} \; \frac{1}{R_s + (R_1//R_3//h_{ie})} \left(1 - \frac{R_8 g_m}{1 + R_8 g_m}\right)$$

$\cong 30$

LIMITE INFERIORE DI BANDA



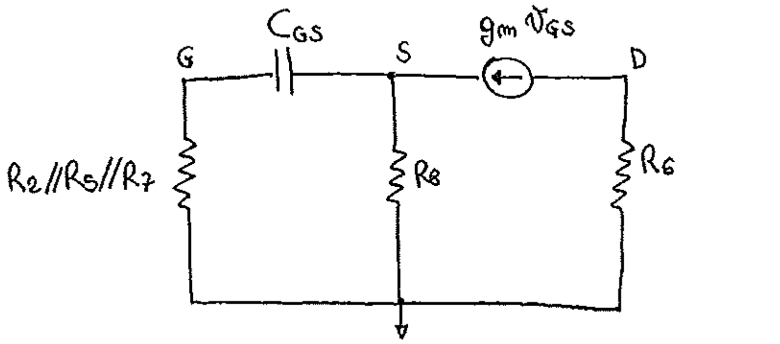
$$R_{VCS}\Big|_{C_E\ CORTO} = \left[h_{ie} \,//\, (R_3//R_1) \right] + R_S \cong 233\,\Omega$$

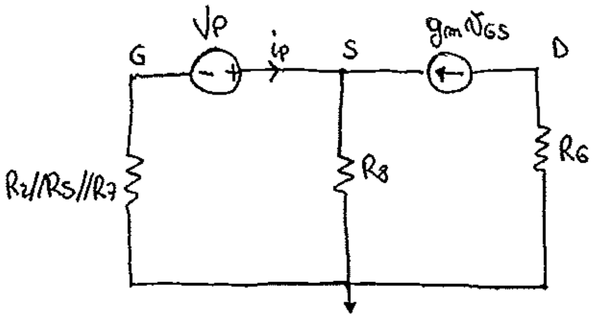


$$R_{VCE}\Big|_{C_S\ CORTO} = R_4 \,//\, \left(\frac{h_{ie} + (R_1//R_3//R_S)}{h_{fe}+1} \right) = 28.3\,\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{C_S \cdot R_{VCS}} + \frac{1}{C_E \cdot R_{VCE}} \right] \cong 35\ Hz$$

LIMITE SUPERIORE DI BANDA

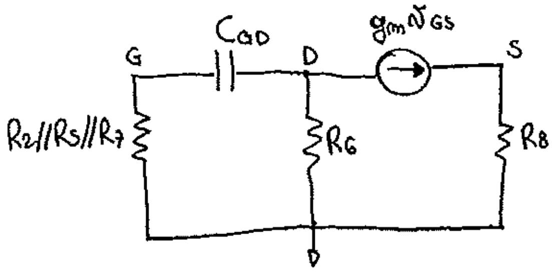


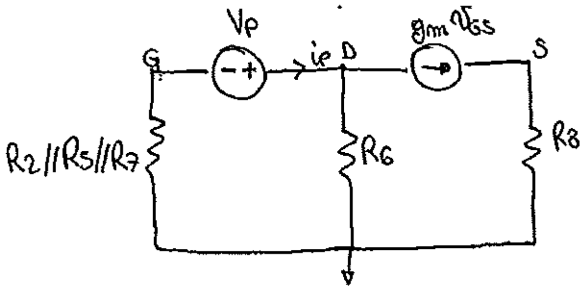


$$v_{GS} = -V_P$$

$$V_P = R_8 i_P - R_8 g_m V_P + (R_2 // R_5 // R_7) \cdot i_P$$

$$R_{vGS} = \frac{V_P}{i_P} = \frac{R_8 + (R_2 // R_5 // R_7)}{1 + R_8 g_m} \cong 495.63\,\Omega$$





$$v_G = -(R_2 // R_5 // R_7) \cdot i_P \qquad (1)$$

$$v_S = \frac{R_8\, g_m}{1 + R_8\, g_m}\, v_G$$

$$v_{GS} = v_G - v_S = \frac{v_G}{1 + R_8\, g_m} \qquad (2)$$

$$v_D = v_P + v_G = v_P - (R_2 // R_5 // R_7) \cdot i_P \qquad (3)$$

$$v_D = R_6 \cdot (i_P - g_m\, v_{GS}) \qquad (4)$$

Uguagliando la (3) e la (4) e sostituendo la (1) e la (2)

$$v_P = (R_2 // R_5 // R_7)\, i_P + R_6\, i_P + R_6 \frac{g_m}{1 + R_8\, g_m} (R_2 // R_5 // R_7) \cdot i_P$$

$$R_{V_{GD}} = (R_2 // R_5 // R_7) + R_6 + R_6 \frac{g_m}{1 + R_8\, g_m} (R_2 // R_5 // R_7) \cong 4.4\,K\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi \left[C_{GS} \cdot R_{V_{GS}} + C_{GD} \cdot R_{V_{GD}} \right]} \cong 22\,MHz$$