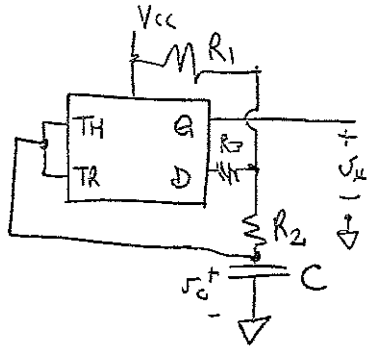
Esame di Elettronica - Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
16 settembre 2009

Parte A

1. Si consideri un amplificatore di tensione con Av = 1000 e polo sp=-100 rad/s, Rin = 2 MΩ, Rout = 1 MΩ. Si reazioni in modo da ottenere un amplificatore con impedenza di ingresso di 80 MΩ e impedenza di uscita maggiore di 10 MΩ. 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 di Colpitts e dimensionare i componenti in modo che si inneschi un oscillazione a frequenza 2 MHz. Giustificare il procedimento.
3. Disegnare e quotare la porta complessa CMOS con il minor numero di transistori che svolga la funzione logica $Y = \left(A\overline{B}C + A\overline{C}\right)$.
4. 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 ($R_1 = 5$ KΩ, $R_2 = 7$ KΩ, $R_3 = 2$ KΩ, C = 33 μF).



Punteggio totale Parte A: 14

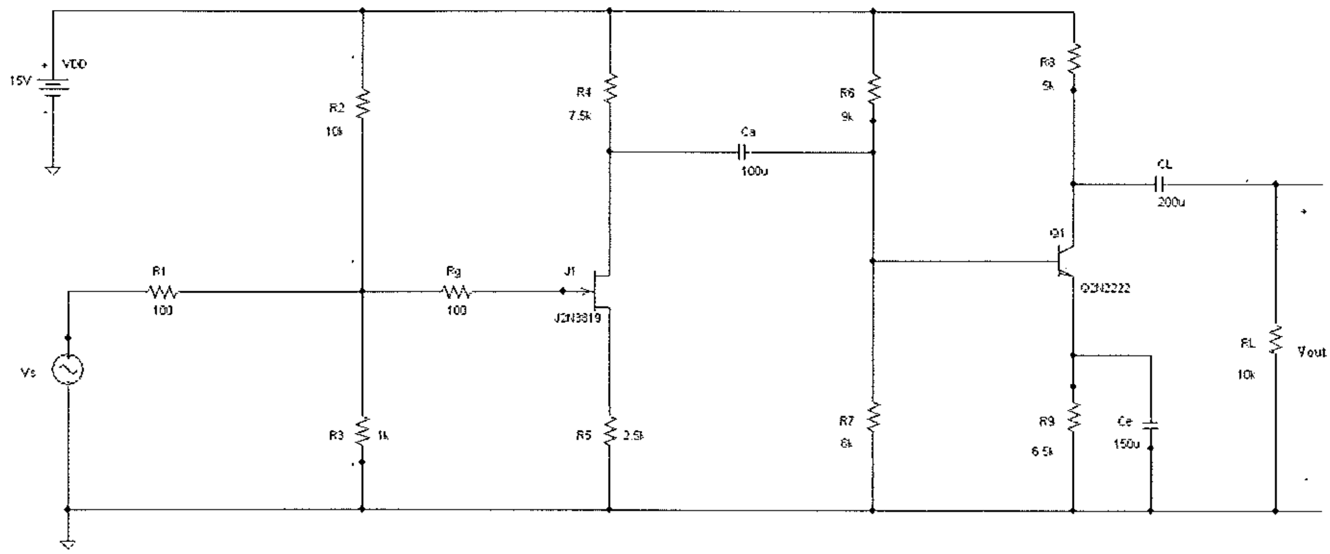
Parte B

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

NOTE:

- Il BJT è un Q2N2222 con hoe=0;
- Il BJT si può considerare resistivo;
- Il JFET è un 2N3819 con rd → ∞

Punteggio totale Parte B: 14.

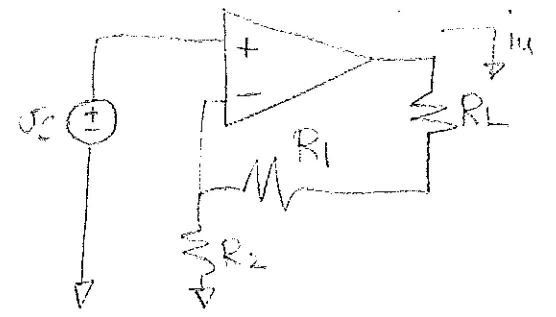


A1

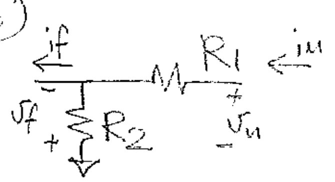
$R_{in} = 2M\Omega \Rightarrow R_{IF} = 80M\Omega$

$R_{out} = 1M\Omega \Rightarrow R_{OF} > 10M\Omega$

Reazione con prelievo di corrente e inserzione di tensione.



rete per il (β)

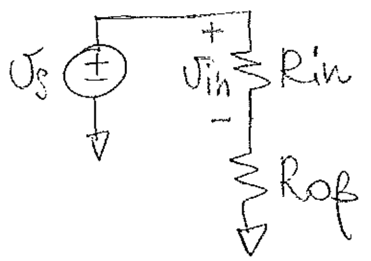


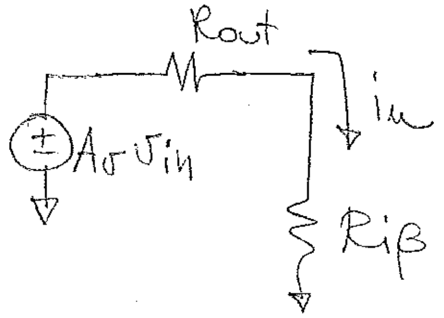
$i_f = \beta i_u + R_{o\beta} i_f$

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

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

rete per (A_e) consideriamo $R_L = 0$





$$A_e = \left.\frac{i_u}{v_s}\right|_{\beta=0} = \frac{A_v}{R_{out} + R_{i\beta}} \times \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{o\beta}}$$

$$R_{IF} = (\underset{2M\Omega}{R_{in}} + \underset{1M\Omega}{R_{o\beta}})(1 - \beta A_e) = 80M\Omega$$

$$R_{OF} = (R_{i\beta} + R_{out})(1 - \beta A_e) > 10M\Omega$$

per soddisfare R_{OF} è sufficiente che $(1 - \beta A_e)$ sia $\gg 10$

R_{IF} per primo:

poniamo $R_o\beta = R_2 \ll R_{in}, R_{out}$

dobbiamo avere $1 - \beta A_e = 40 \Rightarrow \beta A_e = -39$

$$-\beta A_e = \frac{R_2 A_V}{R_{out} + R_1 + R_2} \cdot \underbrace{\frac{R_{in}}{R_{in} + R_2}}_{\sim 1} = 39$$

scegliamo $R_1 = 1K\Omega$

$$R_2 A_V = 39\,(\underset{1M\Omega}{R_{out}} - \underset{1K\Omega}{R_1})$$

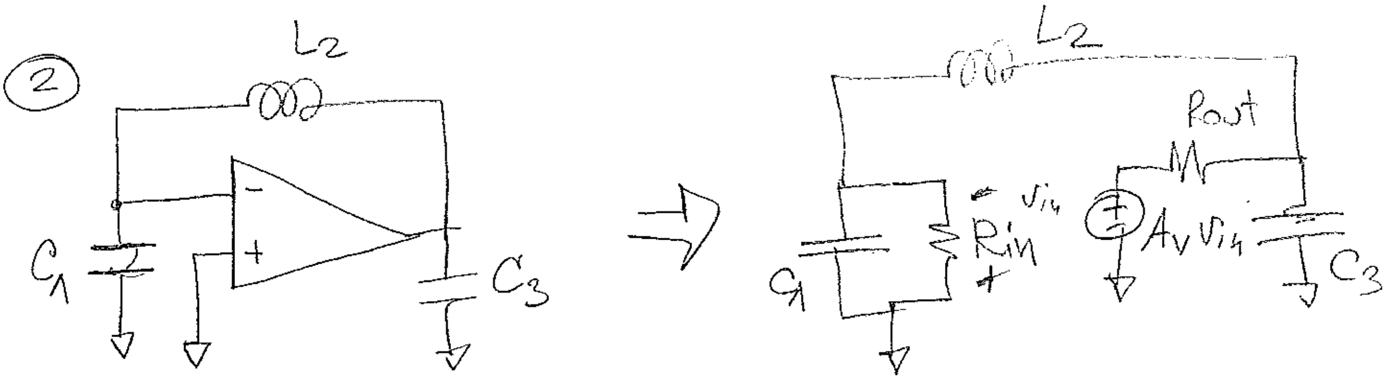
$$R_2 = \frac{39 \cdot 10^6}{10^3} = \underline{39\,K\Omega}$$

$$R_{IF} = 2.039 \cdot 10^6 \left(1 + \frac{39 \cdot 10^6}{1{,}04 \cdot 10^6} \cdot \frac{1 \cdot 10^6}{2{,}039 \cdot 10^6}\right) = 77{,}03\ M\Omega$$

$$R_{OF} = 1{,}04 \cdot 10^6 \left(1 + \frac{39 \cdot 2}{1{,}04 \cdot 2{,}039}\right) = 59{,}29\,M\Omega$$

$$f_H = (1 - \beta A_e) f_p = \frac{100}{2\pi}\left(1 + \frac{39 \cdot 2}{1{,}04 \cdot 2{,}039}\right) = \underline{601\ Hz}$$

(2)



$f_0 = 2\,MHz$

poniamo $R_{in} \Rightarrow 10\,K\Omega$,

dobbiamo avere $\frac{1}{\omega_0 C_1} \ll R_{in}$

$$C_1 \gg \frac{1}{\omega_0 R_{in}} = \frac{1}{2\pi \cdot 2\cdot 10^6 \cdot 10\cdot 10^4} = 0{,}04\cdot 10^{-11} = 0{,}4\,pF$$

scegliamo $C_1 = 10\,pF$

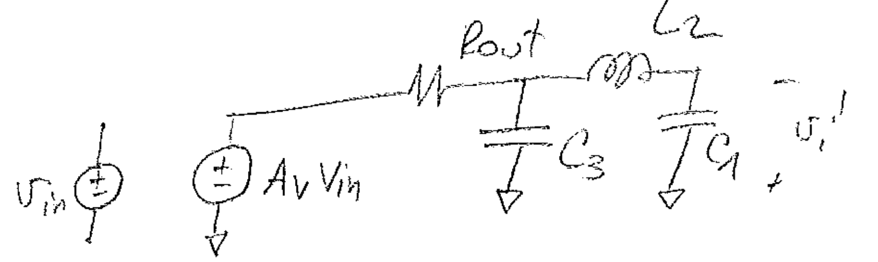
la frequenza di oscillazione deve essere 2 MHz

$$\frac{1}{\omega_0 C_1} - \omega_0 L_2 + \frac{1}{\omega_0 C_3} = 0$$

poniamo $C_3 = C_1 \rightarrow L_2 = \frac{2}{\omega_0^2 C_1} = \frac{2}{(2\pi \cdot 2\cdot 10^6)^2 \cdot 10^{-11}}$

$L_2 = 1{,}27\,mH$

infine $|\beta A(\omega_0)| > 1$

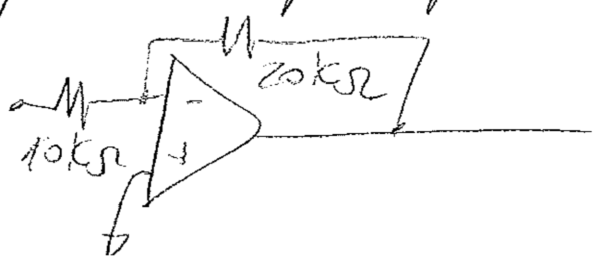


$$\beta A = \frac{v_1'}{v_{in}} = \frac{\frac{1}{j\omega_0 C_1}}{\frac{1}{j\omega_0 C_1} + j\omega_0 L_2} \cdot \frac{\frac{1}{j\omega_0 C_3}\cdot\left(\frac{1}{j\omega_0 C_1} + j\omega_0 L_2\right) A_V}{R_{out}\left[\frac{1}{j\omega_0 C_3} + \frac{1}{j\omega_0 C_1} + j\omega_0 L_2\right] + \frac{1}{j\omega_0 C_3}\left(\frac{1}{j\omega_0 C_1} + j\omega_0 L_2\right)}$$

$$\beta A(\omega_0) = \frac{-A_V}{1 - \omega_0^2 C_1 L_1} = A_V \rightarrow A_V > 1$$

scegliamo $A_V > 2$

Come amplificatore basta per esempio usare un invertente

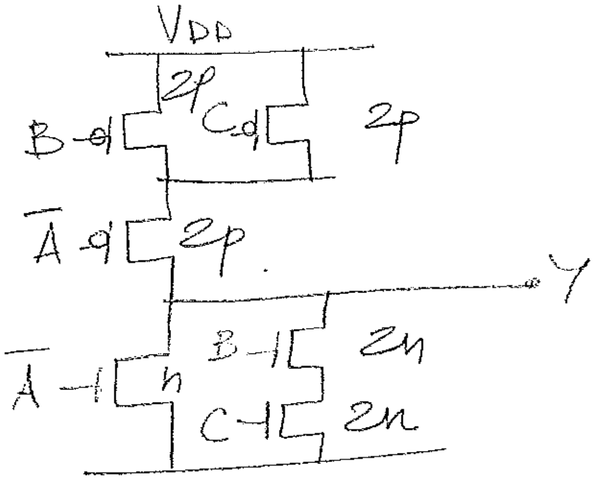


3)

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

$$Y = A\bar{C} + A\bar{B} = A(\bar{B}+\bar{C}) \quad (4)$$

oppure

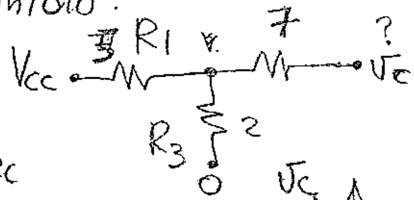


4) carica : costante di tempo $\tau_1 = (R_1 + R_2)C = 12 \cdot 33 \cdot 10^{-3}$ s $= 0{,}396$ s
da 1/3 Vcc a 2/3 Vcc

scarica : costante di tempo $\tau_2 = (R_2 + R_1 /\!/ R_3)C =$

$$= \left(7 + \frac{10}{7}\right) 33 \cdot 10^{-3} = 0{,}278 \text{ s}$$

asintoto:

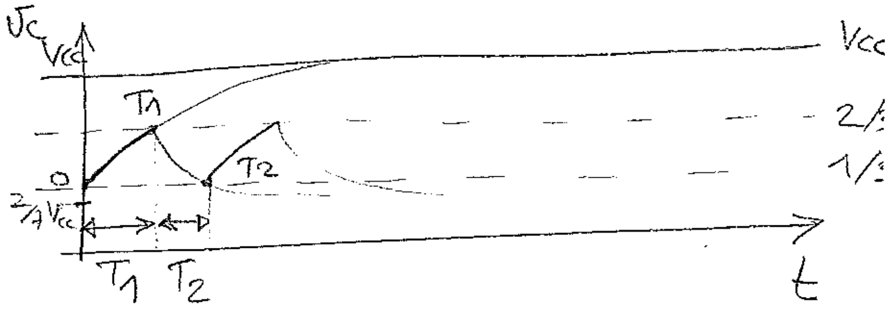


$$V_A = \frac{R_3 V_{cc}}{R_1 + R_3} = \frac{2}{7} V_{cc}$$

per t=0 sia $v_C = \frac{1}{3}V_{cc}$

Tempo di carica

$$v_C(t) = V_{cc} - \frac{2}{3} V_{cc}\, e^{-t/\tau_1}$$



$$v_C(T_1) = \frac{2}{3} V_{cc}$$

$$\frac{2}{3} = 1 - \frac{2}{3} e^{-T_1/\tau_1} \rightarrow T_1 = \tau_1 \ln 2 = 0{,}274 \text{ s}$$

tempo di scarica

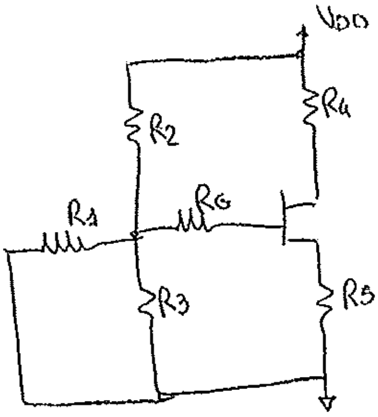
$$V_c(t) = \left(\frac{2}{3}V_{cc} - \frac{2}{7}V_{cc}\right) e^{-\left(\frac{t-T_1}{\tau_2}\right)} + \frac{2}{7}V_{cc}$$

$$V_c(T_2 + T_1) = \frac{1}{3}V_{cc} \rightarrow \frac{1}{3} = \frac{8}{21} e^{-\frac{T_2}{\tau_2}} + \frac{2}{7} = \frac{1}{21} = \frac{8}{21} e^{-T_2/\tau_2} \rightarrow T_2 = \tau_2 \ln 8 =$$

$$= 0{,}57 \text{ s}$$

PARTE B

PUNTO DI RIPOSO JFET



$$V_G = V_{DD} \cdot \frac{R_1 // R_3}{R_1 // R_3 + R_2} = 0.835\,V$$

$$V_{GS} = V_G - R_5 \cdot I_{DS} \Rightarrow I_{DS} = \frac{V_G - V_{GS}}{R_5}$$

DALLE CARATTERISTICHE

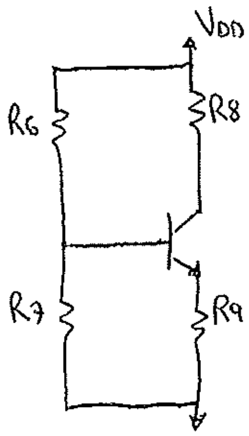
$$\begin{cases} V_{GS} = 0 \Rightarrow I_{DS} \cong 0.05\,mA \\ V_{GS} = -3V \Rightarrow I_{DS} \cong 1.25\,mA \end{cases} \Rightarrow \boxed{V_{GS} \cong -2.165V \quad I_{DS} \cong 0.92\,mA}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (R_4 + R_5) I_{DS} = 5.8\,V$$

VERIFICA Hp. JFET IN SATURAZIONE

$$\begin{cases} V_{GS} > V_{GSoff} = -3V \Rightarrow OK \\ V_{DS} > V_{GS} - V_{GSoff} = 0.835 \Rightarrow OK \end{cases}$$

PUNTO DI RIPOSO BJT



$$V_B = V_{DD} \cdot \frac{R_7}{R_6 + R_7} = 6\,V$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 5.3\,V$$

$$I_E \cong I_C = \frac{V_E}{R_9} = 0.815\,mA$$

$$V_{CE} = V_{DD} - (R_8 + R_9) \cdot I_C = 5.628\,V$$

VERIFICA Hp. PARTITORE PESANTE

$h_{FE} \cong 150$ DAL GRAFICO

$$I_B \cong \frac{I_C}{h_{FE}} \cong 5.43\,\mu A$$

$$I_{R6} \cong I_{R7} = \frac{V_B}{R_7} = 1\,mA$$

$I_B << I_{R6}, I_{R7} \Rightarrow OK$

PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE JFET

$g_m \cong 2.5\,mS$

$C_{iss} \cong 2\,pF$

$C_{rss} \cong 0.9\,pF$

$C_{GD} = C_{rss} = 0.9\,pF$

$C_{GS} = C_{iss} - C_{rss} = 1.1\,pF$

PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE BJT

$h_{fe} = \frac{50+300}{2} = 175$

$h_{ie} @ 1mA = \frac{2+8}{2} = 5\,K\Omega$

$r_{b'e} @ 1mA = \frac{V_T \cdot h_{fe}}{I_c @ 1mA} = 4.55\,K\Omega$

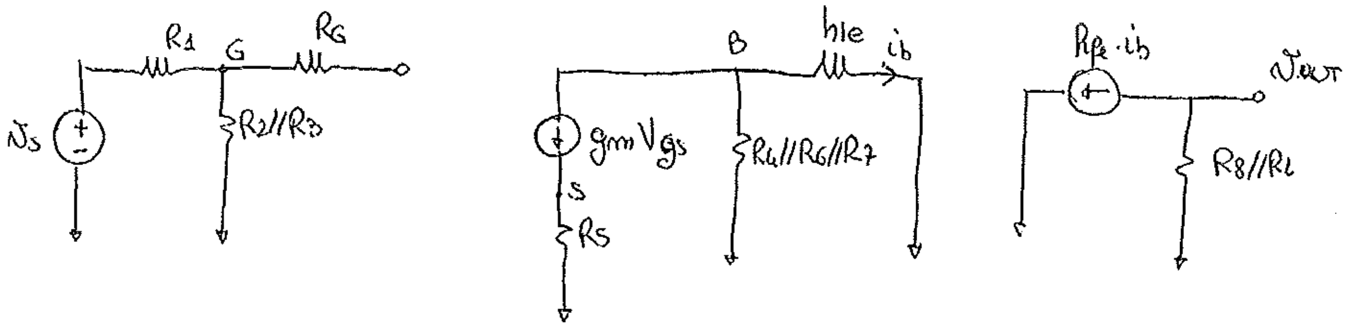
$r_{bb'} = h_{ie} - r_{b'e} = 450\,\Omega$

$r_{b'e} = \frac{V_T \cdot h_{fe}}{I_c} = 5.58\,K\Omega$

$h_{ie} = r_{b'e} + r_{bb'} = 6.03\,K\Omega$

$f_T \cong 80\,MHz$

GUADAGNO A CENTRO BANDA



$$v_{OUT} = -R_8 // R_L \cdot h_{fe} \cdot i_b$$

$$i_b = -g_m v_{gs} \cdot \frac{R_4 // R_6 // R_7}{R_4 // R_6 // R_7 + h_{ie}}$$

$$v_g = v_s \cdot \frac{R_2 // R_3}{R_2 // R_3 + R_1} \quad \ldots$$

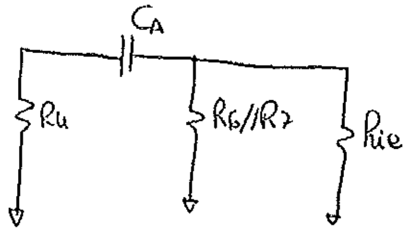
$$v_s = R_5 \cdot g_m \cdot v_{gs}$$

$$v_{gs} = v_s \cdot \frac{R_2 // R_3}{R_2 // R_3 + R_1} - R_5 g_m v_{gs}$$

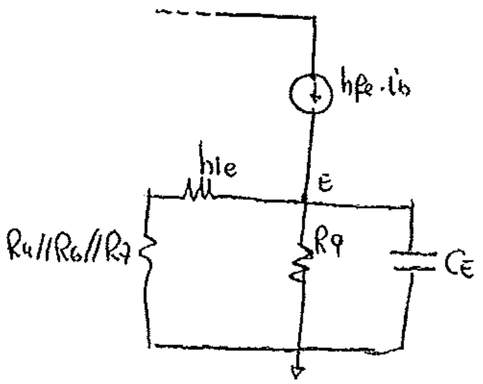
$$v_{gs} = \frac{1}{1 + R_5 g_m} \cdot \frac{R_2 // R_3}{R_2 // R_3 + R_1} \cdot v_s$$

$$A_{CB} = \frac{v_{out}}{v_s} = R_8 // R_L \cdot h_{fe} \cdot g_m \frac{R_4 // R_6 // R_7}{R_4 // R_6 // R_7 + h_{ie}} \cdot \frac{1}{1 + R_5 g_m} \cdot \frac{R_2 // R_3}{R_2 // R_3 + R_1} \cong 52$$

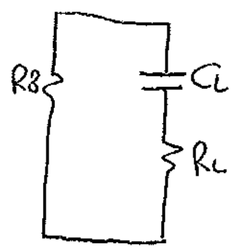
LIMITE INFERIORE DI BANDA



$$R_{VCA} = R_4 + R_6 // R_7 // h_{ie} = 9.75\,K\Omega$$



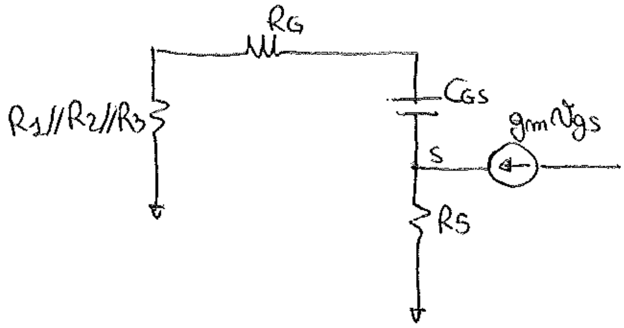
$$R_{VCE} = R_9 // \left[\frac{h_{ie} + R_4//R_6//R_7}{h_{fe} + 1} \right] \cong 47.6\,\Omega$$



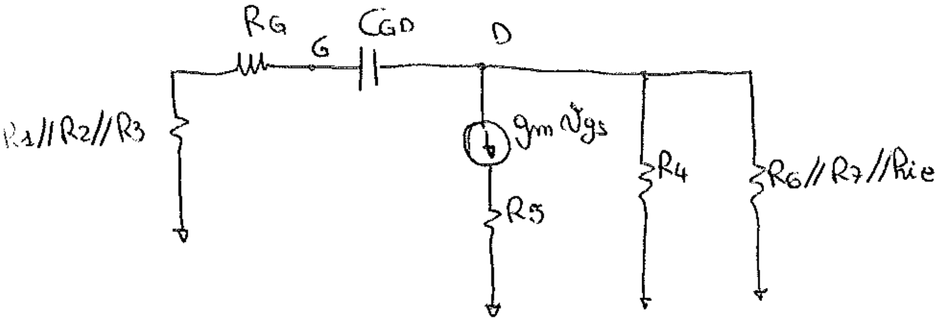
$$R_{VCL} = R_8 + R_L = 15\,K\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{R_{VCA} \cdot C_A} + \frac{1}{R_{VCE} \cdot C_E} + \frac{1}{R_{VCL} \cdot C_L} \right] \cong 22\,Hz$$

LIMITE SUPERIORE DI BANDA



$$R_{VGS} = (R_5 + R_G + R_1//R_2//R_3) / (1 + g_m R_5) = 371\,\Omega$$



$$R_{VGD} = R_4//R_6//R_7//h_{ie} + (R_1//R_2//R_3 + R_G)\left[1 + \frac{g_m (R_4//R_6//R_7//h_{ie})}{1 + g_m R_5}\right] \cong$$

$$\cong 2.035\,\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi (C_{GS} \cdot R_{VGS} + C_{GD} \cdot R_{VGD})} \cong 71\,MHz$$