Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
29 gennaio 2008
Parte A

1. Si consideri un amplificatore di tensione con $A_{vo}=10^4$, $f_p=100$ Hz, $R_{in} = 1$ MΩ, $R_{out} = 500$ Ω. Si reazioni l'amplificatore in modo da ottenere una resistenza di ingresso maggiore di 10 MΩ, una resistenza di uscita maggiore di 50 KΩ, e limite superiore di banda $f_H = 20$ KHz. Si supponga che il carico sia una resistenza $R_L = 5$ KΩ.
2. Disegnare lo schema di un oscillatore di Hartley e dimensionare i componenti in modo che si inneschi un oscillazione a frequenza 2 MHz. Giustificare il procedimento.
3. Supponiamo che fino all'istante t=0- un inverter CMOS abbia l'ingresso alto (V_{DD} = 5 V) e l'uscita bassa (0 V). Il carico del CMOS sia una capacita' di valore 1 nF. All'istante t=0 l'ingresso dell'inverter diventa zero. Calcolare dopo quanto tempo la tensione di uscita dell'inverter raggiunge $V_{DD}/2 = 2.5$ V.
   Sia $V_{tn} = - V_{tp} = 2$ V; $K_n=K_p=1$ mA/V^2. [Si supponga che la caratteristica di un pMOSFET in zona di saturazione sia $I_D=K_p(V_{GS}-V_{Tp})^2/2$, e in zona triodo si possa scrivere $I_D=K_p(V_{GS}-V_{Tp})V_{DS}$].
4. Disegnare e quotare la porta complessa CMOS con tre ingressi e con il minor numero di transistori che svolga seguente la funzione logica: l'uscita Y è 1 se ci sono un numero dispari di uno in ingresso, zero altrimenti.

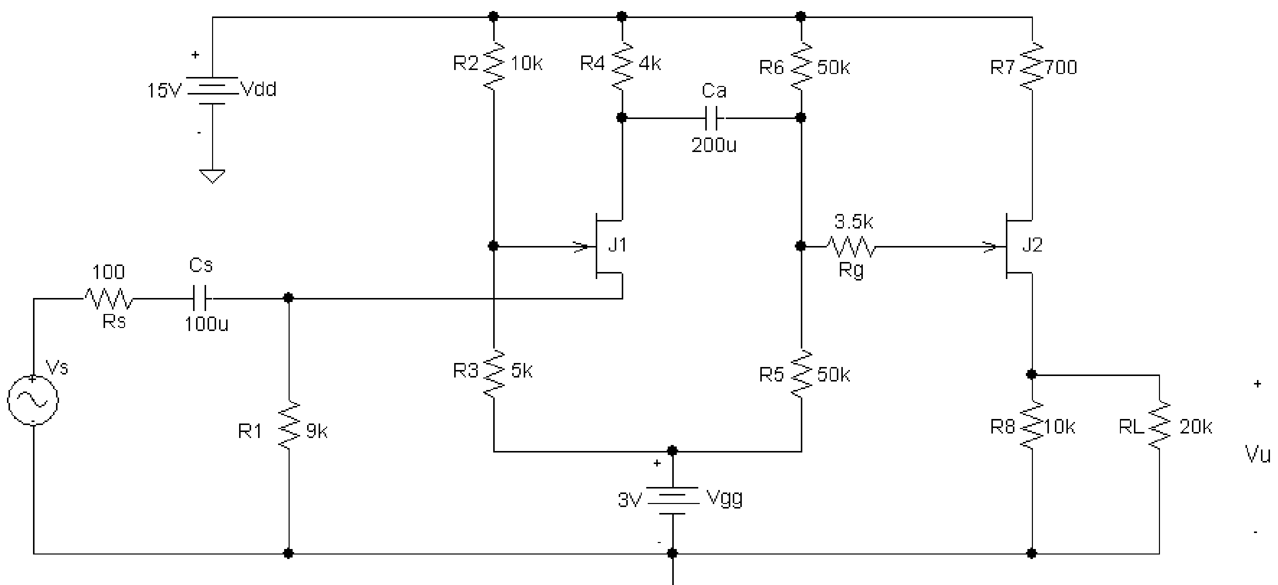
Punteggio totale Parte A: 14.

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: J1 e J2 sono 2N3819 con rd → ∞

Punteggio totale Parte B: 14.



Parte A

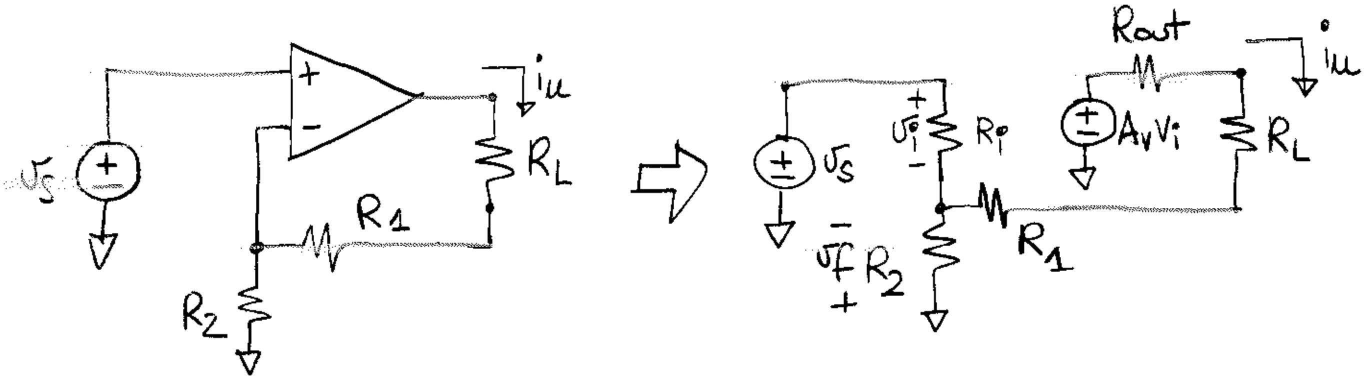
Esercizio 1

$R_{in} = 1\,M\Omega$ $\quad R_L = 5\,K\Omega$
$R_{out} = 500\,\Omega$
$A_V = 10^4$
$f_p = 100\,Hz$

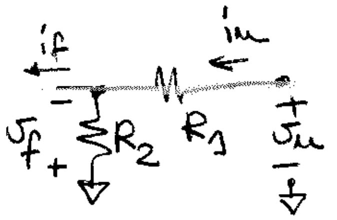
Vogliamo ottenere $R_{IF} > 10\,M\Omega$, e $R_{OF} > 50\,K\Omega$, $f_H = 20\,KHz$ quindi abbiamo bisogno di una reazione con prelievo di corrente e inserzione di tensione

$$f_H = (1-\beta A_e) f_p \rightarrow (1-\beta A_e) = \frac{f_H}{f_p} = \underline{\underline{200}}$$

circuito :



rete del β



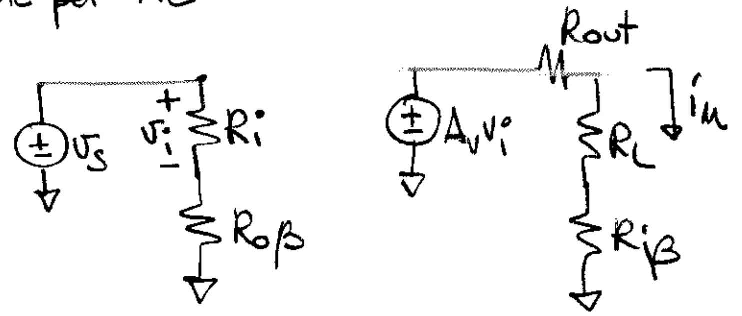
$$v_f = \beta i_u + R_{o\beta} i_f$$
$$v_u = R_{i\beta} i_u + \cancel{K i_f}$$

$$\beta = \left.\frac{v_f}{i_u}\right|_{i_f=0} = -R_2$$

$$R_{o\beta} = \left.\frac{v_f}{i_f}\right|_{i_u=0} = R_2$$

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

Rete per A_e



$$A_e = \frac{R_i}{R_i + R_{o\beta}} A_v \frac{1}{R_{out}+R_L+R_{i\beta}} = \frac{R_i}{R_i+R_2} A_v \frac{1}{R_{out}+R_L+R_1+R_2}$$

$$R_{IF} = (R_i + R_{o\beta})(1-\beta A_e) = (10^6 + R_{o\beta})(200) > \underline{10\,M\Omega}$$ SEMPRE VERIFICATO

$$R_{OF} = \underbrace{(R_1 + R_2 \parallel R_{out})}_{500}\underbrace{\left(1-\beta A_e\Big|_{R_L=0}\right)}_{>200} \geq 50\,k\Omega$$ sempre

$$1-\beta A_e = 200 \rightarrow \beta A_e = -199$$

$$R_2 \frac{R_i}{R_i+R_2} \underset{10^4}{A_v} \frac{1}{\underbrace{R_{out}+R_L}_{5500}+R_1+R_2} = 199$$

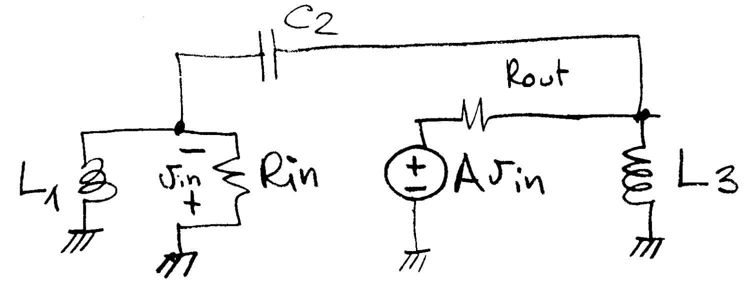
dovrebbe essere molto semplice trovare una coppia di R_1 e R_2

poniamo $\underline{R_2 = 1K\Omega}$

$$\frac{10^3 \cdot 10^6}{1001000} \cdot 10^4 \cdot \frac{1}{6500+R_1} = 199$$

$$6500 + R_1 = 50201 \rightarrow \underline{R_1 = 43701\ \Omega}$$

[illegible]) Un oscillatore di Hartley può essere [illegible] qualsiasi amplificatore invertente, con amplificazione A, resistenza di uscita Rin e resistenze d'ingresso Rout.



poniamo che $|j\omega L_1| \ll R_{in}$

abbiamo $$\beta A = \frac{A \; j\omega L_3 // \left[j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_2}\right]}{R_{out} + j\omega L_3 // \left[j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_2}\right]} \cdot \frac{j\omega L_1}{j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_2}}$$

$$\beta A(j\omega) = \frac{A\, j\omega L_3 \left[\cancel{j}\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_2}\right]}{R_{out}\left[j\omega L_3 + j\omega L_1 - j\frac{1}{\omega C_2}\right] + j\omega L_3\left[j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_2}\right]} \cdot \frac{j\omega L_1}{j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_2}}$$

βA è reale se $$j\omega L_3 + j\omega L_1 - \frac{\cancel{j}}{\omega C_2} = 0$$

$$\omega[L_3 + L_1] - \frac{1}{\omega C_2} = 0 \Rightarrow \boxed{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{(L_1+L_3)C_2}}}$$

$$\beta A(j\omega_0) = A\frac{L_1}{L_3}$$ dobbiamo avere $\underline{\underline{\frac{A L_1}{L_3} > 1}}$

Scegliamo L_1 e L_2 in modo che per $\omega_0 = 2\pi \cdot 2\,MHz$ la loro impedenza sia dell'ordine delle decine di Ω.

$L_1 = L_2 \quad 1\,\mu H$

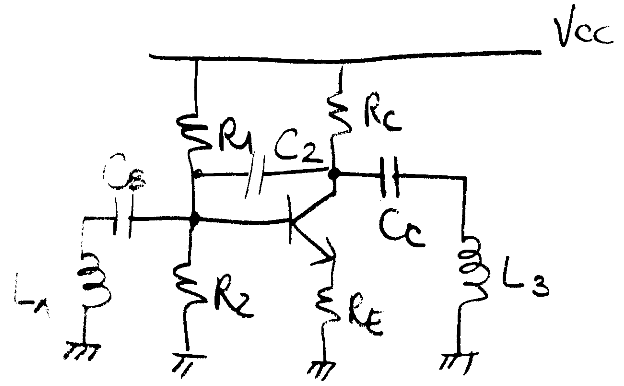
$\omega L_1 = \omega L_2 = 2\pi \cdot 2MHz \cdot 10^{-6} = 12{,}56\,\Omega$

$C = \frac{1}{\omega_0^2(L_1+L_3)} \qquad 3{,}16\,nF$

ho quindi bisogno di un amplificatore invertente che amplifichi almeno 1 $\left(\frac{A L_1}{L_3} > 1\right)$

e che abbia una resistenza di ingresso $\gg 12.56\,\Omega$ (ωL_1)

posso usare quindi uno stadio CE



poniamo $V_{cc} = 12V$

uso un 2N2222, polarizzalo con $I_C = 2mA$ e $V_{CE} = 5V$

come sappiamo, il modulo dell'amplificazione è circa R_C / R_E

poniamo $R_E = 500\,\Omega \rightarrow V_E = I_C R_E = 1V$

allora devo avere $V_B = V_E + V_{BE\,ON} = 1.7V$. Posso far passare nel partitore (pesante) composto da R_1 e R_2 una corrente di $0.1\,mA$ $(\gg I_B)$. Quindi ho $R_1 + R_2 = 120\,k\Omega \rightarrow R_2$ deve essere $17\,k\Omega$, $R_1 = 120 - 17 = 103\,k\Omega$ in modo da avere $V_B = 1.7\,V$.

V_C è $V_{CE} + V_E = 6V \rightarrow R_C = \frac{V_{cc} - V_C}{I_C} = \frac{12-6}{2mA} = 3\,k\Omega$

La resistenza d'ingresso è

$$R_1 \parallel R_2 \parallel \left[h_{ie} + R_E(h_{fe}+1)\right] \gg |j\omega L_1|$$

(h_{ie} per $I_C = 2mA$ è $5\,k\Omega$)

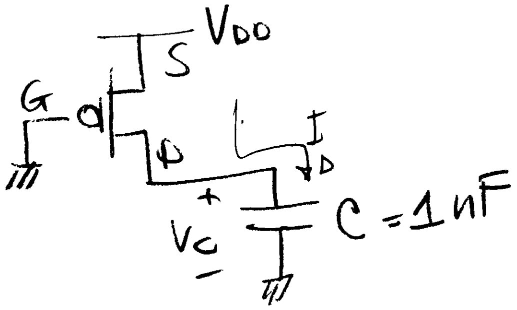
L'amplificazione è circa $-\frac{R_C}{R_E} = -6$

Infine, scegliamo C_C e C_B in modo che abbiano impedenze molto minori di L_1 e L_3

per esempio $\left|\frac{1}{j\omega C_B}\right| < 1\,\Omega$ $\qquad C_B > \frac{1}{\omega \cdot 1\,\Omega} = 4{,}96 \cdot 10^{-8}$

scegliamo $C_C = C_B = 1\,nF$

(3) Dobbiamo studiare la carica della capacità attraverso un pMOS



$V_{DD} = 5V$

$V_{Tp} = -2V$

$K_p = 1 \frac{mA}{V^2}$

per $T=0$ $V_C=0$ abbiamo $V_{DS} < V_{GS} - V_{Tp}$ quindi il PMOS è in saturazione

$$I_D = \frac{K_p}{2}(V_{GS}-V_{Tp})^2 = \frac{1}{2}(5-2)^2 \; 4{,}5\,mA$$

il PMOS rimane in saturazione finché $V_{DS} = V_{GS} - V_{Tp} = -3V$, cioè finché $V_C^* = 2V$.

poiché $\frac{dV_C}{dt} = \frac{I_D}{C}$

V_C è uguale a 2V dopo un tempo $t^* = \frac{V_C^* C}{I_D} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 10^{-9}}{4{,}5 \cdot 10^{-3}} = 0{,}44\,\mu s$

successivamente il PMOS va in zona triodo, in cui

$$I_D = K_p(V_{GS}-V_{Tp})V_{DS}$$

cioè si comporta come una resistenza di valore

$$R^* = \frac{1}{K_p(V_{GS}-V_{Tp})} = \frac{1}{10^{-3}\cdot 3} = 333\,\Omega$$

la tensione aumenta come un esponenziale con costante di tempo R^*C

$$V_c(t) = V_c(t^*) + \left[1 - e^{-\frac{(t-t^*)}{R^*C}}\right]\left[V_{DD} - V_c(t^*)\right] =$$

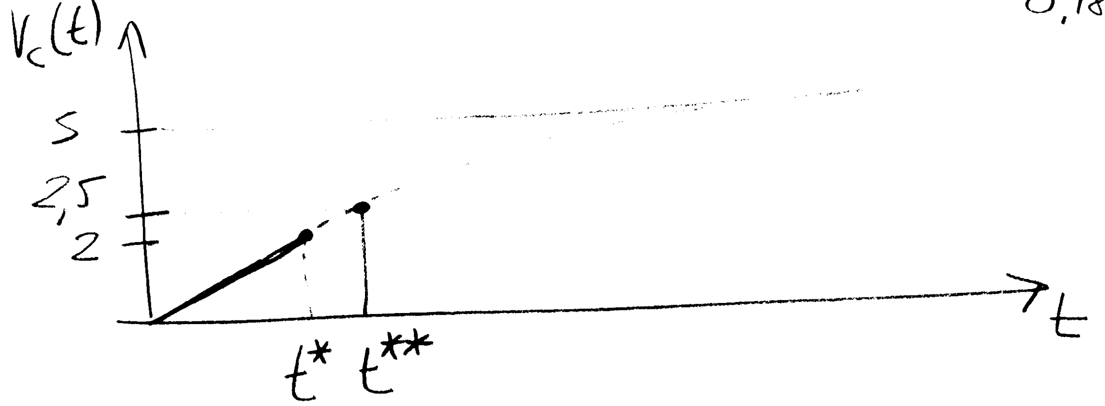
$$V_c(t) = V_{DD} + \left[V_c(t^*) - V_{DD}\right] e^{-\frac{(t-t^*)}{R^*C}}$$

all'istante t^{**} abbiamo $V_c(t^{**}) = 2{,}5\,V$. Quindi

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

$$e^{\frac{t^{**}-t^*}{RC}} = \frac{V_C(t^*)-V_{DD}}{V_C(t^{**})-V_{DD}} = \frac{2-5}{2{,}5-5} = 1{,}2$$

$$t^{**} = t^* + RC\ln(1.2) = 0{,}44\mu s + 333\cdot 1e^{-9}\underbrace{\ln(1{,}2)}_{0{,}182} = \underline{0{,}50\mu s}$$

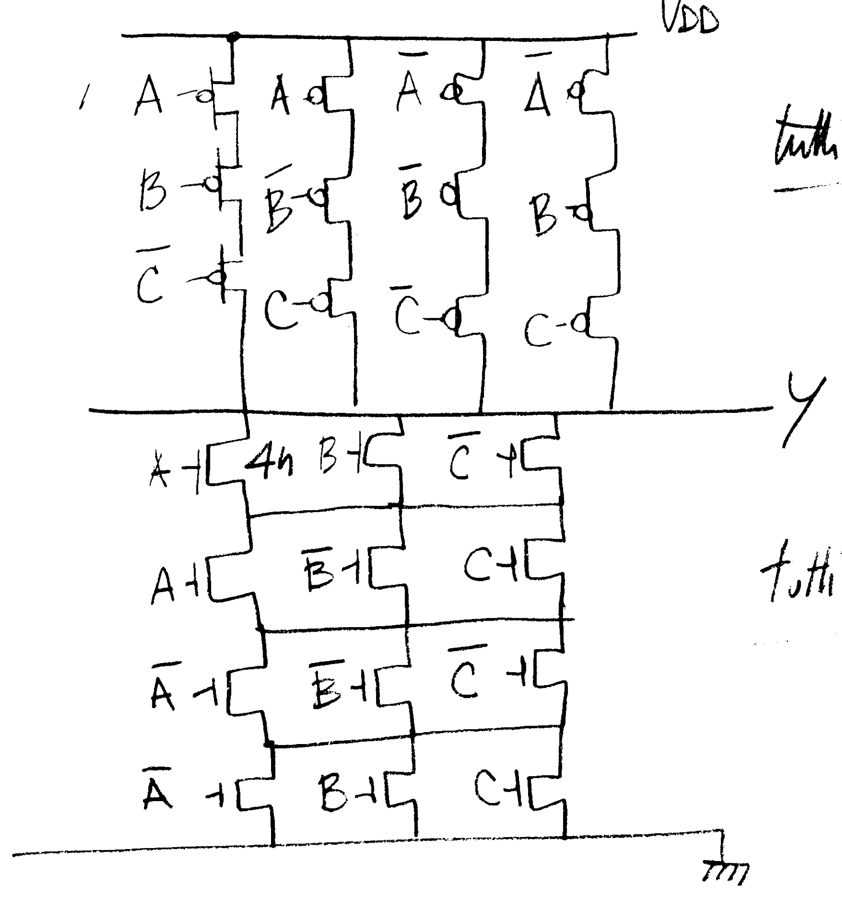


④

ABC	Y
000	0
001	1
011	0
010	1
100	1
101	0
111	1
110	0

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

la funzione è uno XOR



tutti 3p

tutti 4n

PARTE B

PUNTO DI RIPOSO DI J1:

$$V_{G1} = V_{GG} \frac{R_2}{R_2+R_3} + V_{DD} \frac{R_3}{R_2+R_3} \cong 7V$$

$$V_{GS_1} = V_{G1} - R_1 I_{DS1} \Rightarrow I_{DS1} \cong 1\,mA \quad , \quad V_{GS1} \cong -2V \,.$$

↳ dalle caratteristiche

$$V_{DS_1} = V_{DD} - (R_4 + R_1) I_{DS1} \cong 2V \Rightarrow \begin{cases} V_{DS_1} > V_{GS1} - V_P \\ V_{GS1} > V_P \end{cases}$$

PUNTO DI RIPOSO DI J2:

$$V_{G2} = V_{GG} \frac{R_6}{R_5+R_6} + V_{DD} \frac{R_5}{R_5+R_6} = 9V$$

$$V_{GS2} = V_{G2} - (R_8 /\!/ R_L) I_{DS2} \Rightarrow I_{DS2} \cong 1{,}7\,mA \quad , \quad V_{GS2} \cong -1{,}8V$$

↳ dalle caratteristiche

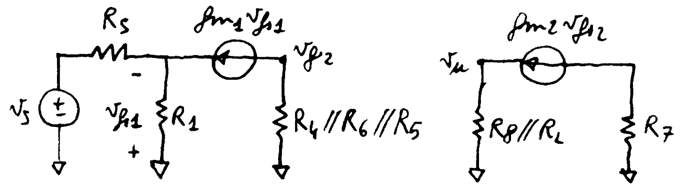
$$V_{DS2} = V_{DD} - (R_7 + R_8 /\!/ R_L) I_{DS2} \cong 2{,}5V \Rightarrow \begin{cases} V_{DS2} > V_{GS2} - V_P \\ V_{GS_2} > V_P \end{cases}$$

PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE:

$$g_{m1} \cong 2{,}5\,mS \quad , \quad g_{m2} \cong 3\,mS$$

$$\begin{matrix} C_{iss2} \cong C_{iss_1} \cong 2{,}5pF \\ C_{rss2} \cong C_{rss1} \cong 1{,}3pF \end{matrix} \Rightarrow \begin{cases} C_{GD} = C_{rss} \cong 1{,}3pF \\ C_{GS} = C_{iss} - C_{rss} \cong 1{,}2pF \end{cases}$$

GUADAGNO A CENTRO BANDA:



$$v_u = g_{m2} (R_8 /\!/ R_L) v_{gs2} = g_{m2} (R_8 /\!/ R_L)(v_{g2} - v_u) \Rightarrow v_u = \frac{g_{m2}(R_8/\!/R_L)}{1+g_{m2}(R_8/\!/R_L)} v_{g2}$$

$$v_{g2} = -g_{m1} v_{gs1} (R_4 /\!/ R_6 /\!/ R_5)$$

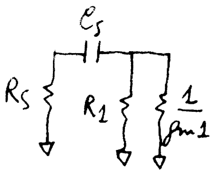
$$v_{gs1} = -v_{s1} = -R_1 \left[\frac{v_S - v_{s1}}{R_S} - g_{m1} v_{s1}\right] \Rightarrow v_{gs1} = -\frac{R_1}{R_1 + R_S + g_{m1} R_S R_1} v_S \Rightarrow$$

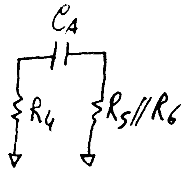
$$\Rightarrow v_{g2} = g_{m1} \frac{R_1}{R_1 + R_S(1+g_{m1}R_1)} (R_4 /\!/ R_6 /\!/ R_5) v_S \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{CB} = \frac{v_u}{v_S} = \frac{g_{m1} R_1}{R_1 + R_S(1+g_{m1}R_1)} (R_4 /\!/ R_5 /\!/ R_6) \frac{g_{m2}(R_8/\!/R_L)}{1+g_{m2}(R_8/\!/R_L)} \cong 6{,}51$$

LIMITE INFERIORE DI BANDA:

$$R_{vC_a}\Big|_{C_s\,cc} = R_4 + R_5/\!/R_6 \cong 29\,K\Omega$$

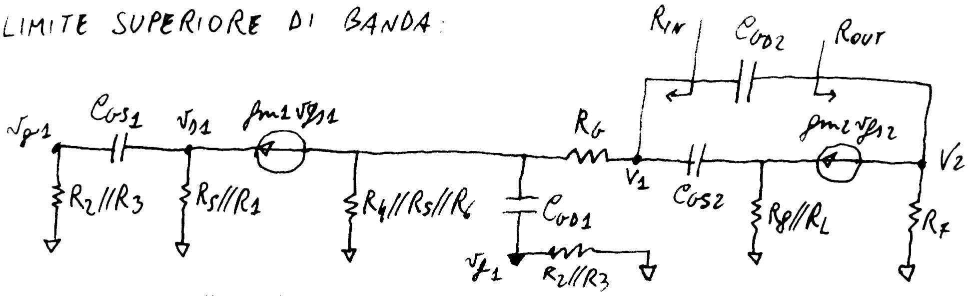




$$R_{vC_s}\Big|_{C_a\,cc} = R_S + R_1/\!/\frac{1}{g_{m1}} \cong 483\,\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{1}{C_a R_{vC_a}} + \frac{1}{C_s R_{vC_s}}\right] \cong 3{,}32\,Hz$$

LIMITE SUPERIORE DI BANDA:



$$R_{vGS1} = \frac{R_S/\!/R_1 + R_2/\!/R_3}{1+g_{m1}(R_1/\!/R_S)} \cong 2{,}75\,K\Omega$$

$$R_{vGD1} = R_2/\!/R_3 + R_4/\!/R_5/\!/R_6\left[\frac{1+g_{m1}(R_2/\!/R_3 + R_1/\!/R_S)}{1+g_{m1}(R_1/\!/R_S)}\right] \cong 30{,}5\,K\Omega$$

$$R_{vGS2} = \frac{R_G + R_4/\!/R_5/\!/R_6 + R_8/\!/R_L}{1+g_{m2}(R_8/\!/R_L)} \cong 648\,\Omega$$

$$R_{vGD2} = R_{IN}(1+|A_v|) + R_{OUT} \cong 8{,}34\,K\Omega$$

dove $R_{IN} = R_G + R_4/\!/R_5/\!/R_6 \cong 6{,}95\,K\Omega$

$R_{OUT} = R_7 = 700\,\Omega$

$$A_v = -\frac{R_7\,g_{m2}}{1+g_{m2}(R_8/\!/R_L)} \cong -0{,}1$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi\left[C_{GS}(R_{vGS1}+R_{vGS2}) + C_{GD}(R_{vGD1}+R_{vGD2})\right]} \cong 3\,MHz$$