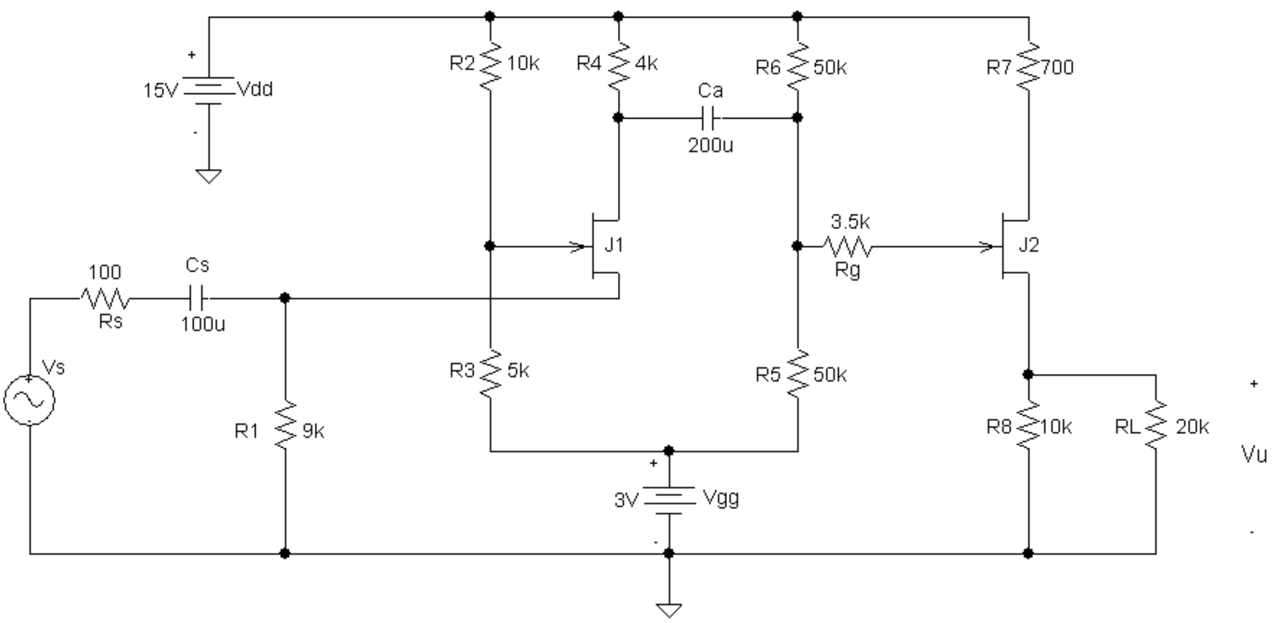
Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
2 luglio 2014

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. (6 punti)
2. 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. (6 punti)
   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 $I_D=K_p(V_{GS}-V_{Tp})V_{DS}$].
3. Dato l'amplificatore disegnato in figura, calcolare:

- il punto di riposo dei due transistori, (5 punti)
- l'amplificazione Vu/Vs a centrobanda, (4 punti)
- il limite superiore di banda (6 punti)

NOTE: J1 e J2 sono 2N3819 con rd → ∞



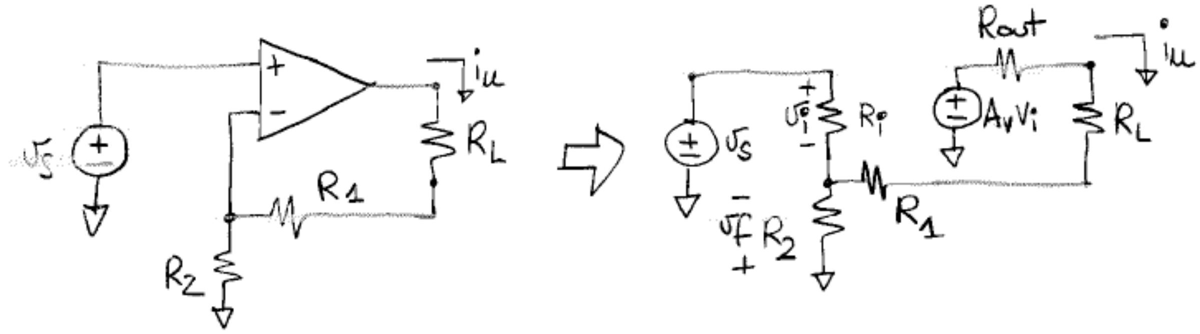
Esercizio 1

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

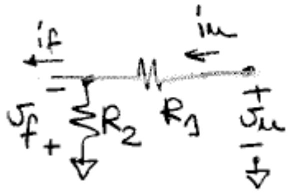
Vogliamo ottenere $R_{IF} > 10\,M\Omega$, $R_{OF} > 50\,K\Omega$, $f_H = 20\,KHz$ quindi abbiamo bisogno di una reazione con prelievo di corrente e inserzione di tensione

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

circuito :



rete del β



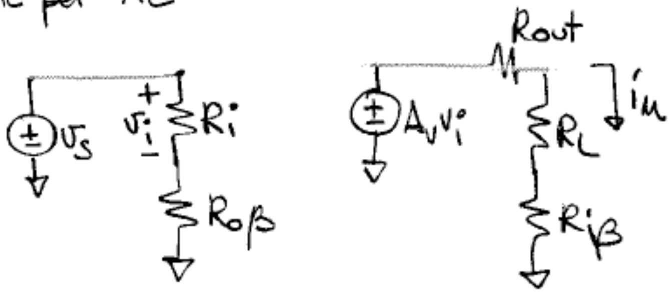
$$v_f = \beta i_u + R_{o\beta}\, i_f$$
$$v_u = R_{i\beta}\, i_u + \cancel{K_A i_f}$$

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

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

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

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

$$R_{OF} = \underbrace{(R_1 + R_{2\parallel}^{+R_{out}})}_{500} \underbrace{\left(1 - \beta A_e\Big|_{R_L=0}\right)}_{>200} \geq 50\,k\Omega \quad \underline{\text{sempre}}$$

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

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

dovrebbe essere molto semplice trovare una coppia di R_1 e R_2

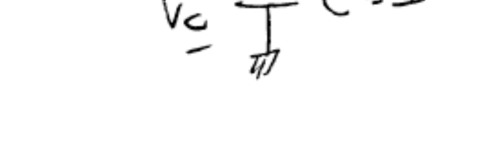
poniamo $\underline{R_2 = 1K\Omega}$

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

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

Esercizio 2

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 $V_{DS} = V_{GS}-V_{Tp} = -3\,V$, cioè finché $V_C^* = 2V$.

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

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

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

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

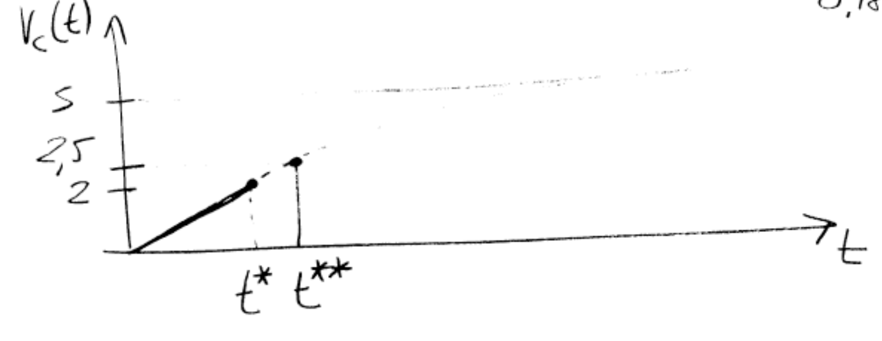
$$V_C(t) = V_{DD} + \left[V_C(t^*) - V_{DD}\right] e^{-\frac{(t-t^*)}{R^*C}}$$

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

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

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

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



Esercizio 3

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:

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

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

↳ dalle caratteristiche

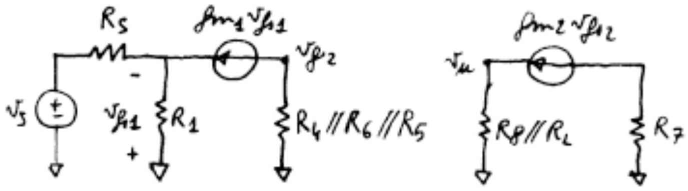
$$V_{DS2} = V_{DD} - (R_7 + R_8/\!/R_L) I_{DS2} \cong 2{,}5V \Rightarrow \begin{cases} V_{DS2} > V_{GS2} - V_P \\ V_{GS_2} > V_P \end{cases}$$

PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE:

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

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

GUADAGNO A CENTRO BANDA:



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

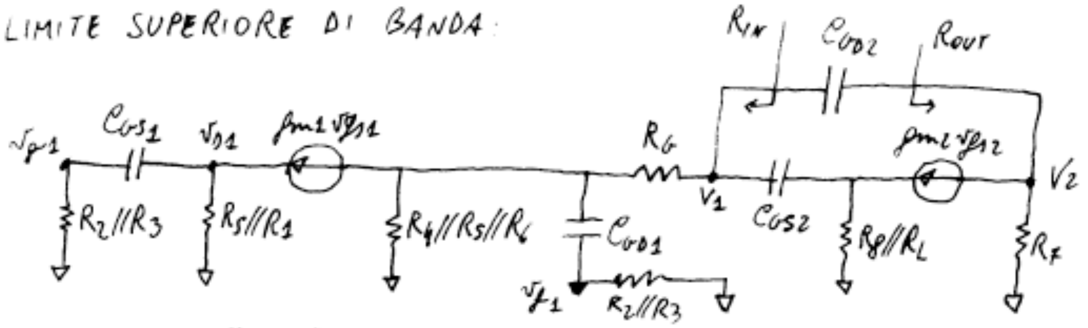
$$v_{g2} = -g_{m1}v_{gs1}(R_4/\!/R_6/\!/R_5)$$

$$v_{gs1} = -v_{s1} = -R_1\left[\frac{v_s - v_{s1}}{R_S} - g_{m1}v_{s1}\right] \Rightarrow v_{gs1} = -\frac{R_1}{R_1+R_S+g_{m1}R_SR_1}v_s \Rightarrow$$

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

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

LIMITE SUPERIORE DI BANDA:



$$R_{V_{GS1}} = \frac{R_5//R_1 + R_2//R_3}{1+g_{m1}(R_1//R_5)} \cong 2{,}75\,K\Omega$$

$$R_{V_{GD1}} = R_2//R_3 + R_4//R_5//R_6\left[\frac{1+g_{m1}(R_2//R_3+R_1//R_5)}{1+g_{m1}(R_1//R_5)}\right] \cong 30{,}5\,K\Omega$$

$$R_{VGS2} = \frac{R_G + R_4//R_5//R_6 + R_8//R_L}{1+g_{m2}(R_8//R_L)} \cong 648\,\Omega$$

$$R_{V_{GD2}} = R_{IN}(1+|A_V|) + R_{OUT} \cong 8{,}34\,K\Omega$$

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

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

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

$$f_H = \frac{1}{2\pi\left[C_{GS}(R_{VGS1}+R_{VGS2}) + C_{GD}(R_{VGD1}+R_{VGD2})\right]} \cong 3\,MHz$$