

Fondamenti di Elettronica - Ingegneria Elettronica - a.a. 2005/06

Prima prova in itinere - 24 novembre 2005 – Traccia di soluzione

Esercizio 1

a) Andamento della tensione V_{OUT}

La costante di tempo del circuito RC risulta pari a

$$\tau = (R_1 // R_2 + R_3)C = 225ns$$

per cui la forma d'onda di uscita va a regime entro ogni semi-periodo.

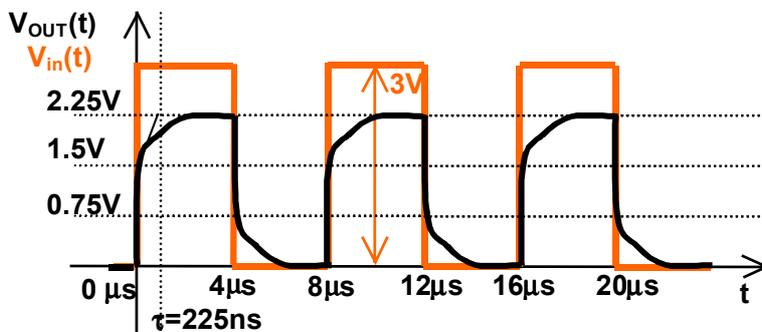
Per determinare l'andamento completo della tensione di uscita calcoliamo il valore dell'uscita sul fronte e a regime.

Il valore di tensione cui va a regime si ottiene considerando la capacità un circuito aperto:

$$V_{out}|_{regime} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{in,max} = 2.25V$$

Per calcolare il valore della tensione di uscita sul fronte consideriamo la capacità un corto circuito:

$$V_{out}|_{fronte} = \frac{R_2 // R_3}{R_2 // R_3 + R_1} V_{in,max} = 1.5V$$



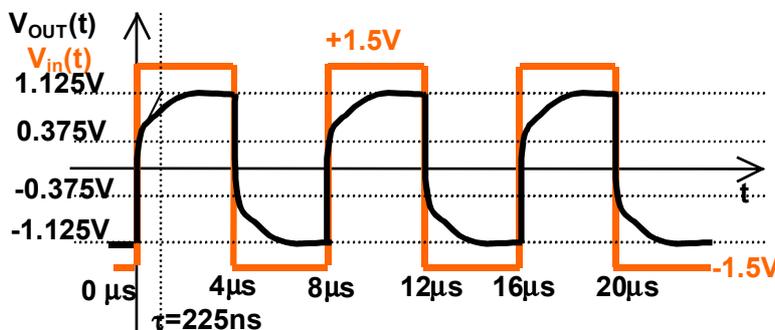
b) Andamento della tensione V_{OUT}

L'andamento della tensione di uscita e' quello gia' calcolato in a) e traslato di

$$1.5V \frac{R_2}{R_2 + R_1} = 1.125V$$

verso il basso. Infatti se calcoliamo il valore dell'uscita a regime otteniamo:

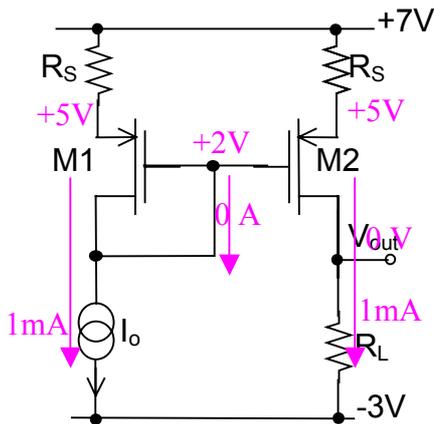
$$V_{out}|_{regime} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{in,max} = 1.125V$$



Esercizio 2

a) Polarizzazione

La capacità e' un circuito aperto, il generatore di corrente di segnale e' spento e, quindi, e' un circuito aperto. Ipotizziamo il MOSFET in zona di saturazione.



Il transistor opera in zona di saturazione e la transconduttanza vale:

$$g_m = 2k_p (V_{GS} - V_T) = 1\text{mS}$$

b) Trasferimento V_{out}/I_{in} a bassa frequenza

$$i_{M2} = i_{M1} = i_{in}$$

$$v_{out} = -i_{in} R_L$$

Quindi il trasferimento ingresso-uscita di piccolo segnale risulta

$$Z|_{LF} = \frac{v_{out}}{i_{in}} = -R_L = -3\text{k}\Omega$$

c) Singolarita' introdotte da C

La capacita' C introduce un polo con costante di tempo

$$\tau_p = C(1/g_m + R_s) = 75\text{ns} \Rightarrow f_p = \frac{1}{2\pi\tau_p} \cong 2.12\text{MHz}$$

e nessuno zero al finito.

d) Resistenza R da sostituire al generatore di corrente e numero di quadri relativo

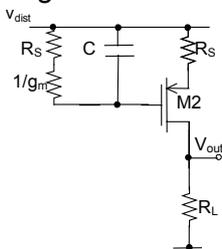
$$R = \frac{\Delta V_R}{I_o} = \frac{V_G - (-3V)}{I_o} = 5\text{k}\Omega$$

$$R_{quadro} = \frac{1}{q\mu_n D} = 521\Omega / \text{quadro}$$

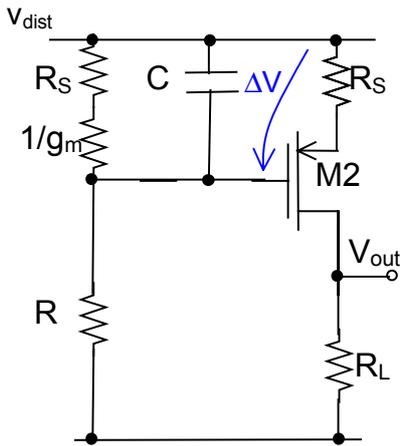
$$n^\circ \text{quadri} = \frac{R}{R_{quadro}} = 9.6 \cong 10 \text{quadri}$$

d) Effetto del disturbo sull'alimentazione positiva

Quando e' presente il generatore di corrente di polarizzazione, il circuito per il disturbo risulta il seguente:



Poiche' nella serie delle resistenze R_s e $1/g_m$ non puo' scorrere corrente, il gate di M2 si muove anch'esso di v_{dist} , conseguentemente la v_{gs} di M2 e' nulla e, quindi, anche la corrente di segnale che lo attraversa. Pertanto, in questo caso, il disturbo sull'alimentazione da' contributo nullo in uscita.



La capacita' C introduce un polo con costante di tempo $\tau_p = C[(1/g_m + R_s) // R_L] = 47ns \Rightarrow f_p = \frac{1}{2\pi\tau_p} \cong 3.4MHz$, quindi

alle frequenze del disturbo la capacita' e' sicuramente assimilabile a un circuito aperto. Calcoliamo, quindi, il contributo del disturbo sulla tensione di uscita che, questa volta, risultera' non nullo.

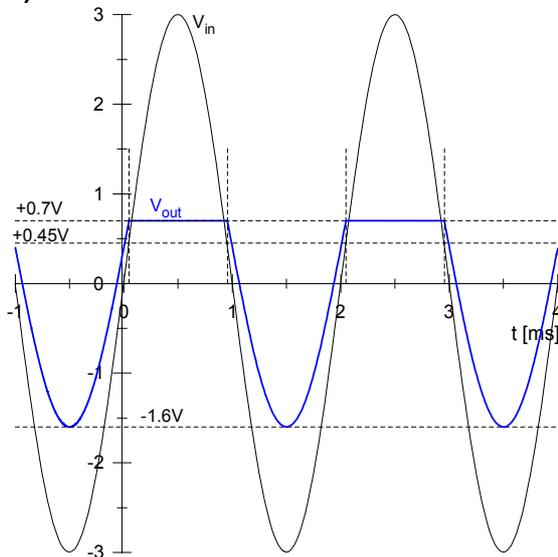
$$\Delta V = v_{dist} \left(\frac{R}{R + R_s + 1/g_m} \right) - v_{dist} = -\frac{3}{8}v_{dist}$$

$$i_{M2} = \frac{v_{dist}}{1/g_m + R_s}$$

$$v_{out} = -i_{M2}R_L = 56mV$$

Esercizio 2

a) Tensione di uscita



Perche' si accenda il diodo D occorre che la tensione di uscita superi +0.7V. Calcoliamo per quale V_{in} accade.

$$V_{out} = 0.7V = I(R_1 // R_2) + \frac{R_2}{R_1 + R_2}V_{in} \Rightarrow V_{in} = 0.45V$$

Se D e' acceso, esso fissa la tensione ai suoi capi e, dunque, la tensione di uscita a 0.7V. Quando D e' spento, esso e' modellizzabile con un circuito aperto e la tensione di uscita ha la seguente espressione

$$V_{out} = I(R_1 // R_2) + \frac{R_2}{R_1 + R_2}V_{in}$$

b) Potenza dissipata

Quando $V_{in}=3V$, il diodo e' in conduzione e la tensione ai suoi capi e' pari a 0.7V. Calcoliamo la corrente che attraversa il diodo effettuando il bilancio delle correnti al nodo.

$$I_D = I - \frac{0.7}{R_2} - \frac{0.7 - V_{in}}{R_1} = 2.55mA$$

La potenza dissipata risulta, quindi pari a $P_D = I_D V_D = 1.785mW$.

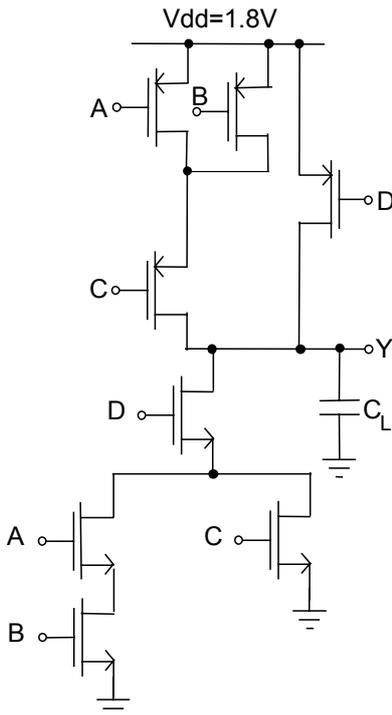
Esercizio 4

a) Rete di pull-up e pull-down

La funzione logica svolta dal circuito e'

$$Y = [(A \cdot B) + C] \cdot D = [(A \cdot B) + C] + \bar{D} = [(A \cdot B) \cdot \bar{C}] + \bar{D} = [(\bar{A} + \bar{B}) \cdot \bar{C}] + \bar{D}$$

Pertanto la rete logica risulta la seguente:



b) Dimensionamento della capacita' di carico
. transizione alto - basso

Nella transizione dell'uscita dal livello logico alto al livello logico basso la scarica della capacita' avviene attraverso gli NMOS. La condizione piu' gravosa si ha quando la scarica avviene attraverso la serie degli NMOS A, B, D.

Approssimazione ohmica: (e' sufficiente uno dei due approcci!)

$$R_{DSon} = \left. \frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} \right|_{V_{DS}=0} = \left| \frac{1}{2k_n(V_{GS} - V_{T,n})} \right| = \frac{1}{2 \cdot \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_n (V_{dd} - V_{T,n})} = 625 \Omega$$

$$R_{DSon|eq,n} = R_{DSon,A} + R_{DSon,B} + R_{DSon,D} = 1.875 k\Omega$$

$$t_{pHL} = 0.69\tau = 0.69 R_{DSon|eq,n} C_L = 6ns \Rightarrow C_L = \frac{6ns}{0.69 R_{DSon|eq,n}} = 4.6 pF$$

Approssimazione saturo: calcoliamo il fattore di forma dell'inverter equivalente relativo alla transizione alto-basso piu' gravosa:

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{n,eq} = \left[\frac{1}{\left(\frac{L}{W}\right)_{n,A} + \left(\frac{L}{W}\right)_{n,B} + \left(\frac{L}{W}\right)_{n,D}} \right]^{-1} = 1.333$$

$$t_{pHL} = \frac{Q_{cond}}{I_{D,sat}} = \frac{C_L \frac{V_{dd}}{2}}{\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_{n,eq} (V_{dd} - V_{T,n})^2} = 6ns \Rightarrow C_L = \frac{6ns \cdot \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_{n,eq} (V_{dd} - V_{T,n})^2}{\frac{V_{dd}}{2}} = 1.8 pF$$

. transizione basso - alto

Nella transizione dell'uscita dal livello logico basso al livello logico alto la carica della capacita' avviene attraverso i PMOS. La condizione piu' gravosa si ha quando la scarica avviene attraverso la serie dei PMOS A e C o A e B.

Approssimazione ohmica: (e' sufficiente uno dei due approcci!)

$$R_{DS_{on}} = \left. \frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} \right|_{V_{DS}=0} = \left| \frac{1}{2k_p (V_{GS} - V_{T,p})} \right| = \frac{1}{2 \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_p (V_{dd} - |V_{T,p}|)} = 625 \Omega$$

$$R_{DS_{on}} \Big|_{eq,p} = R_{DS_{on,A}} + R_{DS_{on,C}} = 1.25 k\Omega$$

$$t_{pHL} = 0.69\tau = 0.69 R_{DS_{on}} \Big|_{eq,p} C_L = 6ns \Rightarrow C_L = \frac{6ns}{0.69 R_{DS_{on}} \Big|_{eq,p}} = 6.9 pF$$

Approssimazione satura: calcoliamo il fattore di forma dell'inverter equivalente relativo alla transizione basso-alto piu' gravosa:

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{p,eq} = \left[\frac{1}{\left(\frac{L}{W}\right)_{p,A} + \left(\frac{L}{W}\right)_{p,C}} \right]^{-1} = 5$$

$$t_{pHL} = \frac{Q_{cond}}{I_{D,sat}} = \frac{C_L \frac{V_{dd}}{2}}{\frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_{p,eq} (V_{dd} - |V_{T,p}|)^2} = 6ns \Rightarrow C_L = \frac{6ns \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_{p,eq} (V_{dd} - |V_{T,p}|)^2}{\frac{V_{dd}}{2}} = 2.7 pF$$

Il massimo valore della capacita' di carico e' pari a 4.6pF, secondo l'approssimazione ohmica, e 1.8 pF, secondo l'approssimazione satura.