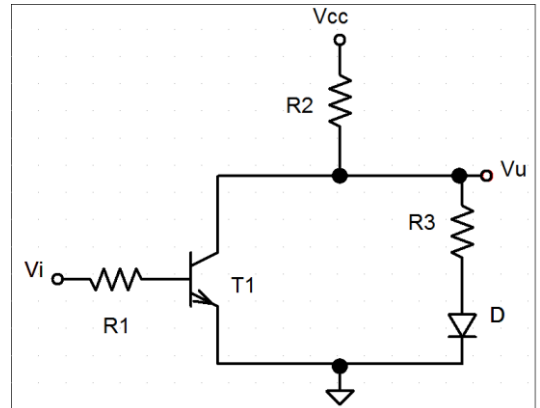


PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA 1
22 SETTEMBRE 2017

1) Nel circuito in figura, i transistori e il diodo possono essere descritti da un modello “a soglia”, con $V_\gamma=0.75\text{ V}$ e $V_{CE,sat}=0.2\text{ V}$. Si determini la caratteristica statica di trasferimento $V_u(V_i)$, per $0 < V_i < V_{cc}$ e il margine d’immunità ai disturbi della rete.



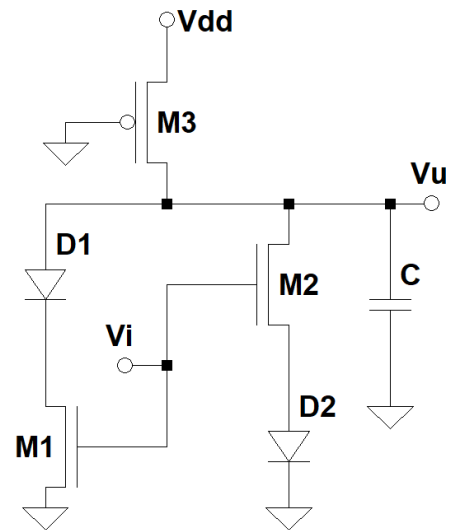
$V_{cc} = 5\text{ V}$, $\beta_F=100$, $R_1 = 20\text{ k}\Omega$, $R_2 = 900\text{ }\Omega$, $R_3 = 5\text{ k}\Omega$.

2) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalla tensione di soglia $V_{Tn}=|V_{Tp}|=V_T$ e dai coefficienti $\beta_1=\beta_2=\beta_n$ e $\beta_3=\beta_p$. I diodi sono descritti da un modello a soglia, con $V_\gamma=0.75\text{ V}$. Il segnale di ingresso V_i abbia l’andamento seguente:

$$\begin{cases} t < 0, & V_i = V_{dd} \\ t > 0, & V_i = 0 \end{cases}$$

Si determini il corrispondente tempo di propagazione relativo al segnale di uscita V_u (ossia il tempo necessario a compiere il 50% dell’intera escursione).

$V_{dd} = 3.3\text{ V}$, $V_T = 0.4\text{ V}$, $\beta_n=1.25\text{ mA/V}^2$, $\beta_p= 0.25\text{ mA/V}^2$, $C=40\text{ fF}$.



Esame di ELETTRONICA AB (mod. B): svolgere l'esercizio 1 (tempo disponibile 1h 15m).

Esame di ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI A: l'esercizio 2 (tempo disponibile 1h 15m).

Esame di ELETTRONICA 1 / FONDAMENTI DI ELETTRONICA A: svolgere gli esercizi 1 e 2 (tempo disponibile 2h e 30m).

- Indicare su ciascun foglio nome, cognome, data e numero di matricola
- Non usare penne o matite rosse
- L'elaborato deve essere contenuto in un unico foglio (4 facciate) protocollo

Regione 1: $v_i < v_\gamma$, T1 off, D on, e v_u da calcolare col partitore resistivo.

$i_{r2} = (v_{cc} - v_u) / r_2$ $i_{r3} = (v_u - v_\gamma) / r_3$ Ma $i_{r2} = i_{r3}$	da cui si ricava che $v_u = 4.352 \text{ V}$
Regione 1 per $0 < v_i < v_\gamma$	

Regione 2: T1 AD e D on ($v_i > v_\gamma$).

$i_{r2} = (v_{cc} - v_u) / r_2$ $i_{r3} = (v_u - v_\gamma) / r_3$ $i_{b1} = (v_i - v_\gamma) / r_1$ Ma $i_{r2} = i_{r3} + \beta_f \cdot i_{b1}$ da cui si ricava che $v_u = 7.212 - 3.813 v_i$. Si può notare come in questa regione $ dv_u/dv_i = 3.81 > 1$. Quindi il primo punto notevole coincide con il punto angoloso prima trovato, e cioè: $V_{OHMIN} = 4.352 \text{ V}$, $V_{ILMAX} = v_\gamma = 0.75 \text{ V}$.	Si rimane in regione 2 fintantoché T1 va sat; oppure D va off Ma quando T1 va in saturazione, $v_u = v_{cesat} = 0.2 \text{ V}$, quindi il diodo D deve essere già spento. Cerchiamo quindi solo il valore per il quale D va off, ovvero il valore per il quale $v_u = v_\gamma = 0.75 \text{ V}$. -> (B) Il diodo va off quando $v_u = v_\gamma$, ma $v_u = 7.212 - 3.813 v_i$, da cui si ricava che $v_i = 1.694 \text{ V}$
Regione 2 per $v_\gamma < v_i < 1.694 \text{ V}$.	

Regione 3 : T1 on in AD, D off.

$i_{r2} = (v_{cc} - v_u) / r_2$ $i_{b1} = (v_i - v_\gamma) / r_1$ Ma $i_{r2} = \beta_f \cdot i_{b1}$ Risolvendo si trova che: $v_u = 8.375 - 4.5 v_i$	Si rimane in questa regione fintantoché T1 va sat, sse $v_u = v_{cesat}$, ovvero sse $v_u = 8.375 - 4.5 v_i = v_{cesat}$, da cui si ricava che $v_i = 1.817 \text{ V}$.
Regione 3 per $1.694 < v_i < 1.817 \text{ V}$.	

Regione 4: Per $v_i > 1.817 \text{ V}$ T1 sat, e $v_u = v_{cesat} = 0.2 \text{ V}$.

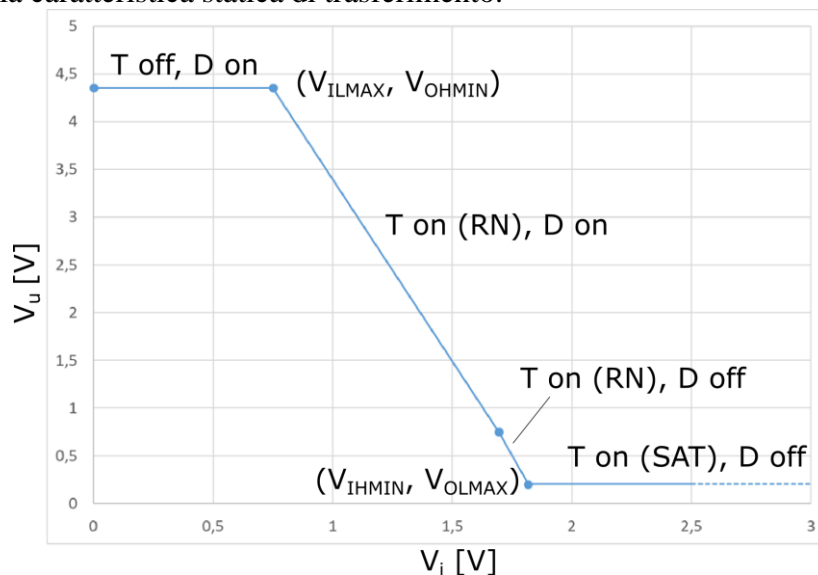
Si può notare come dalla Regione 3 alla Regione 4 il guadagno di tensione passi da $|dv_u/dv_i| = 4.5 > 1$ a $|dv_u/dv_i| = 0$.

Quindi il secondo punto notevole coincide con il terzo punto angoloso trovato, e cioè:

$V_{OLMAX} = v_{cesat}$, $V_{IHMIN} = 1.817 \text{ V}$.

Si ricava allora che $NM_H = (4.352 - 1.817) \text{ V} = 2.535 \text{ V}$ e $NM_L = (0.75 - 0.2) \text{ V} = 0.55 \text{ V} = NM$

Di seguito si riporta la caratteristica statica di trasferimento.



22.9.2017 – Esercizio 2

Il circuito è un invertitore, il cui pull-up è costituito da un transistor pMOS in configurazione pseudo-nMOS mentre il pull down è costituito dal parallelo fra i rami M1-D1 e M2-D2. Si ha :

$$\begin{aligned} V_{GS1} &= V_i & V_{GS2} &= V_i - V_{D2} & V_{SG3} &= V_{dd} \\ V_{DS1} &= V_u - V_{D1} & V_{DS2} &= V_u - V_{D2} & V_{SD3} &= V_{dd} - V_u \end{aligned}$$

Essendo il transistor M_1 e il diodo D_1 in serie (cioè attraversati dalla stessa corrente) essi possono essere solo contemporaneamente ON o contemporaneamente OFF. Analogamente, M_2 e D_2 possono essere solo contemporaneamente ON o contemporaneamente OFF.

M_1 e D_1 sono ON se:

$$V_{GS1} = V_i > V_T$$

M_2 e D_2 sono ON se:

$$\left. \begin{aligned} V_{GS2} &= V_i - V_{D2} > V_T \\ V_{D2} &= V_Y \end{aligned} \right\} \rightarrow V_i > V_T + V_Y$$

Per $t < 0$, quindi, si ha $V_i = V_{dd} > V_T + V_Y > V_T$ e M_1, D_1, M_2, D_2 ON. Ipotizzando (*) M_1, M_2 in regione lineare di funzionamento, si ha:

$$\begin{aligned} I_{D1} &= \beta_n \left((V_{dd} - V_T)(V_u - V_Y) - \frac{(V_u - V_Y)^2}{2} \right) \\ I_{D2} &= \beta_n \left((V_{dd} - V_Y - V_T)(V_u - V_Y) - \frac{(V_u - V_Y)^2}{2} \right) \end{aligned}$$

M_3 è necessariamente ON ($V_{SG3} = V_{dd} > V_T$). Inoltre, la condizione di saturazione:

$$V_{SG3} < V_{SD3} + V_T \rightarrow V_u < V_T$$

non può essere soddisfatta se il pull-down è ON. In questo caso, infatti, necessariamente i diodi sono ON e

$$V_u > V_Y > V_T$$

M_3 è quindi in regione lineare e:

$$I_{D3} = \beta_p \left((V_{dd} - V_T)(V_{dd} - V_u) - \frac{(V_{dd} - V_u)^2}{2} \right) \quad (**)$$

L'equazione di Kirchhoff al nodo di uscita impone:

$$I_{D3} = I_{D1} + I_{D2} \rightarrow V_u = \begin{cases} 0.917 V \\ 6.272 V \end{cases}$$

Il secondo valore non è compatibile con le ipotesi ($V_{SD3} = V_{dd} - V_u < 0$), mentre il primo soddisfa tutte le ipotesi di linearità (*).

Per $t > 0$, invece, si ha $V_i = 0 < V_T$ e M_1, D_1, M_2, D_2 OFF. Il pull-up si comporta come nel caso noto di un invertitore CMOS o pseudo-nMOS con ingresso basso, e si ha $V_u = V_{dd}$. Il transitorio quindi prevede la carica del condensatore C dal valore iniziale $V_{u,iniz} = 0.917V$ al valore finale $V_{u,finale} = V_{dd}$. Il tempo di propagazione va quindi calcolato sul valore intermedio della escursione:

$$V_{u,50\%} = \frac{V_{u,iniz} + V_{u,finale}}{2} = 2.108 V$$

In tale intervallo si ha sempre $V_u < V_T$. Quindi M_3 è sempre in regione lineare e I_{D3} è descritta da (**). Si ha:

$$I_{D3} = I_C = C \frac{dV_u}{dt} \rightarrow \int_0^{t_{p,LH}} dt = \int_{V_{u,iniz}}^{V_{u,50\%}} \frac{C}{I_{D3,LIN}} dV_u \rightarrow t_{p,LH} = 54.75 \text{ ps}$$