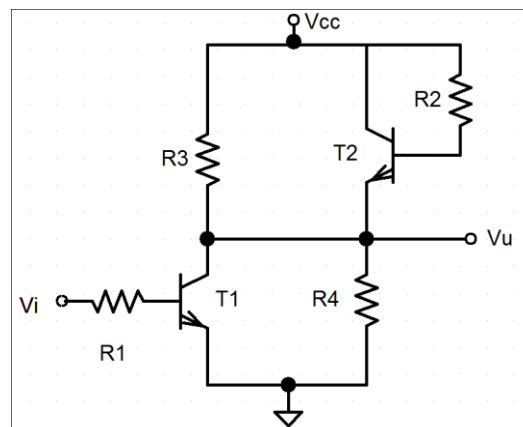


PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA 1
20 LUGLIO 2017

1) Nel circuito in figura, i transistori possono essere descritti da un modello “a soglia”, con $V_T = 0.75 \text{ V}$ 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.



$V_{CC} = 5 \text{ V}$, $\beta_F = 100$, $R_1 = 500 \Omega$, $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 800 \Omega$, $R_4 = 800 \Omega$.

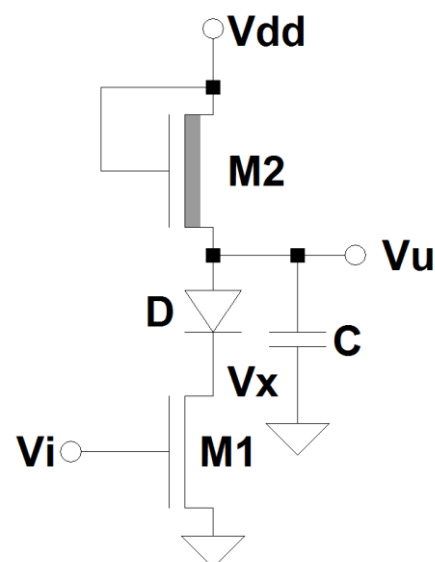
2) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalle tensioni di soglia V_{T1} e V_{T2} e dai coefficienti β_1 e β_2 . In particolare, il transistor M2 è del tipo “a svuotamento”, con $V_{T2} < 0$. Il diodo è descritto da un modello a soglia, con $V_T = 0.75 \text{ V}$.

Il segnale di ingresso abbia l'andamento seguente:

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

Si determini il tempo di propagazione T_p relativo alla corrispondente transizione del segnale di uscita V_u .

$V_{dd} = 3.3 \text{ V}$, $V_{T1} = 0.35 \text{ V}$, $V_{T2} = -0.05 \text{ V}$,
 $\beta_1 = 1.4 \text{ mA/V}^2$, $\beta_2 = 0.2 \text{ mA/V}^2$, $C = 15 \text{ fF}$.



- 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

Compito del 18-07-2017 - Esercizio #1

Osservazioni preliminari:

- 1) T2 quando ON è in AD;

Regione 1: $v_i < v_\gamma$: T1 OFF; T2 AD

$i_{r3} = (v_{cc} - v_u)/r_3$ $i_{b2} = (v_{cc} - (v_u + v_\gamma))/r_2$ $i_{r4} = v_u/r_4$ Ma $i_{r3} + (\beta_f + 1) \cdot i_{b2} = i_{r4}$	Risolvendo si trova che: $v_u = 4.057 \text{ V}$
Si rimane in questa regione fintantoché T1 rimane off, sse $v_i < v_\gamma$, sse $v_i < 0.75 \text{ V}$	
Regione 1: per $0 < v_i < v_\gamma$	

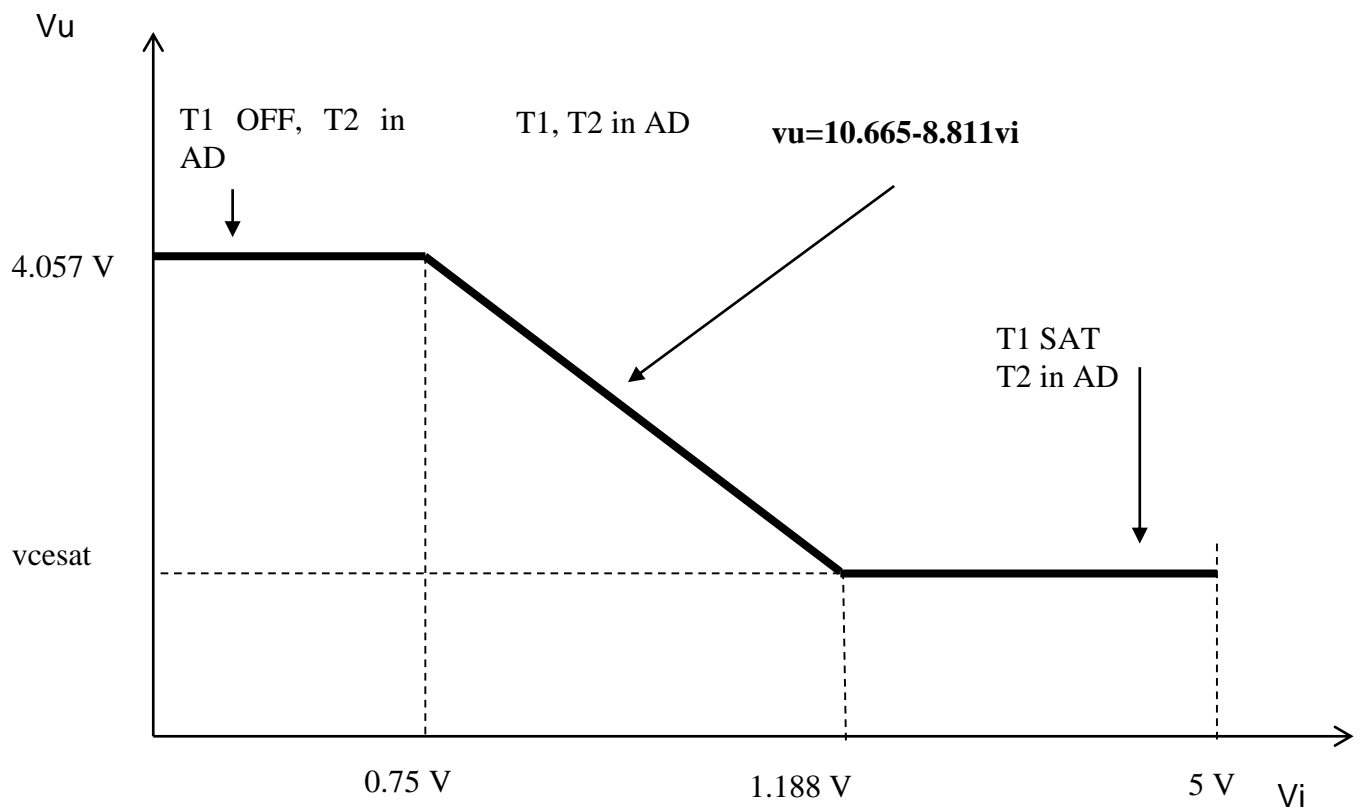
Regione 2: T1 ON in AD, T2 in AD.

$i_{r3} = (v_{cc} - v_u)/r_3$ $i_{b2} = (v_{cc} - (v_u + v_\gamma))/r_2$ $i_{r4} = v_u/r_4$ $i_{b1} = (v_i - v_\gamma)/r_1$ Ma $i_{r3} + (\beta_f + 1) \cdot i_{b2} = i_{r4} + \beta_f \cdot i_{b1}$	Risolvendo si trova che: $v_u = 10.665 - 8.811 v_i$ Si rimane in questa regione fintantoché T1 va sat.
T1 va sat quando $v_u = v_{cesat}$ sse $v_u = 1.188 \text{ V}$	Si può notare come in questa regione $ dv_u/dv_i = 10.665 > 1$. Quindi il primo punto notevole coincide con il punto angoloso prima trovato, e cioè: $V_{OHMIN} = 4.057 \text{ V}$, $V_{ILMAX} = v_\gamma = 0.75 \text{ V}$.
Regione 2: per $v_\gamma < v_i < 1.188 \text{ V}$	

Regione 3: T1 SAT, e T2 in AD.

$v_u = v_{cesat}$	Quindi il secondo punto notevole coincide con il secondo punto angoloso, e cioè: $V_{OLMAX} = v_{cesat} \text{ V}$, $V_{IHMIN} = 1.188 \text{ V}$.
Regione 3: per $1.188 \text{ V} < v_i < V_{cc}$	
Si ricava allora che $NM_H = (4.057 - 1.188) \text{ V} = 2.869$ e $NM_L = (0.75 - 0.2) \text{ V} = 0.55 \text{ V} = NM$	

Di seguito si riporta la caratteristica statica di trasferimento.



20.7.2017 – Esercizio 2

Il circuito è un invertitore nMOS, con pull-up costituito da un transistor nMOS a svuotamento. Il pull-down è costituito da un nMOS in serie a un diodo.

Osservazioni preliminari:

$$\left. \begin{array}{l} V_{GS2} = V_{dd} - V_u \\ V_{DS2} = V_{dd} - V_u \end{array} \right\} \rightarrow V_{GS2} = V_{DS2} \xrightarrow{V_{T2} < 0} V_{GS2} > V_{DS2} + V_{T2} \rightarrow M_2 \text{ LIN (se ON)}$$

Se M_2 ON, LIN:

$$I_{D2} > 0 \xrightarrow{I_{D2}=I_{Diodo}} I_{Diodo} > 0 \rightarrow D \text{ ON}$$

e viceversa.

$t < 0$: $V_i = V_{dd} > V_{T1} \rightarrow M_1 \text{ ON}$. In condizioni statiche, la corrente sul condensatore è nulla e quindi $I_{D1} = I_{D2} = I_{Diodo} > 0$ e quindi M_2 ON (necessariamente LIN) e D ON.

Ipotizzando M_1 in regione lineare (*) si ha :

$$\left. \begin{array}{l} I_{D1} = \beta_1 \left((V_{dd} - V_{T1})V_x - \frac{V_x^2}{2} \right) \\ I_{D2} = \beta_2 \left((V_{dd} - V_u - V_{T2})(V_{dd} - V_u) - \frac{(V_{dd} - V_u)^2}{2} \right) \\ V_x = V_u - V_y \end{array} \right\} \xrightarrow{I_{D2}=I_{D3}} V_u = \begin{cases} \mathbf{0.899 \text{ V}} \\ 6.413 \text{ V (inaccettabile)} \end{cases}$$

La soluzione soddisfa l'ipotesi (*):

$$V_{GS1} = V_{dd} > V_{DS1} + V_{T1} = 0.899 + 0.35$$

$t > 0$: $V_i = 0 < V_{T1} \rightarrow M_1 \text{ OFF}$. In condizioni statiche ($t \rightarrow \infty$), la corrente sul condensatore è nulla e quindi $I_{D1} = I_{D2} = I_{Diodo} = 0$. Il transistor M_2 , è OFF per:

$$V_{GS2} = V_{dd} - V_u < V_{T2} \rightarrow V_u > V_{dd} - V_{T2} = 3.35 \text{ V} > V_{dd}$$

M_2 è quindi ON e necessariamente LIN, per cui si ha:

$$I_{D2} = 0 \rightarrow V_{DS2} = V_{dd} - V_u = 0 \rightarrow V_u = V_{dd}$$

La tensione di uscita, quindi, compie una transizione da 0.899 a 3.3 V. Il valore intermedio (50% dell'escursione) vale:

$$V_{u,fin} = \frac{0.899 + 3.3}{2} = 2.1 \text{ V}$$

Durante il transitorio, M_2 è sempre in regione lineare e si ha:

$$\left. \begin{array}{l} I_C = C \frac{dV_u}{dt} \\ I_{D2} = \beta_2 \left((V_{dd} - V_u - V_{T2})(V_{dd} - V_u) - \frac{(V_{dd} - V_u)^2}{2} \right) \\ I_{D2} = I_C \end{array} \right\} \rightarrow$$

$$\rightarrow t_p = \int_{0.899}^{2.1} \frac{C}{\beta_2 \left((V_{dd} - V_u - V_{T2})(V_{dd} - V_u) - \frac{(V_{dd} - V_u)^2}{2} \right)} dV_u = \mathbf{58.81 \text{ ps}}$$