

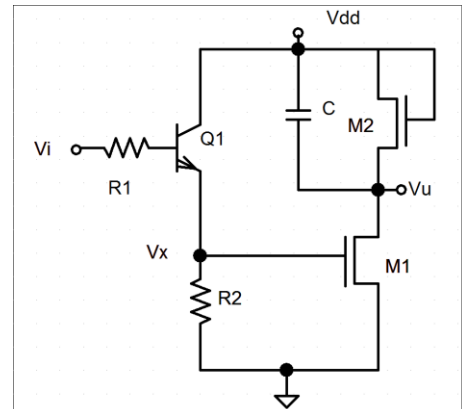
PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA 1
23 GIUGNO 2016

- 1) 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 , ed il transistor bipolare può essere descritto da un modello "a soglia", con $V_{\gamma}=0.75$ V e $V_{CE,sat}=0.2$ V.

Il segnale d'ingresso abbia il seguente andamento:

$$t < 0: \quad V_i = 0$$

$$t > 0: \quad V_i = V_{dd}$$



Si calcoli il tempo di propagazione $t_{p,HL}$ del circuito (definito come il tempo necessario a V_u per compiere il 50% della propria escursione).

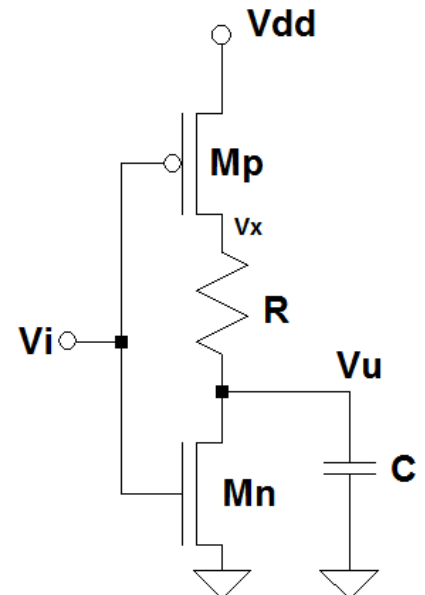
$V_{dd} = 3.5$ V, $\beta_F=100$, $V_{T1}= 0.35$ V, $V_{T2}= 0.6$ V, $\beta_1=2$ mA/V², $\beta_2=1.5$ mA/V², $R_1= 8$ k Ω , $R_2=1$ k Ω , $C= 10$ nF.

- 2) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalla tensione di soglia $V_{Tn}=|V_{Tp}|=V_T$ e dai coefficienti β_n e β_p .

Si determinino i valori di β_n e β_p in modo che:

- il tempo di propagazione $t_{p,HL}$ relativo alla transizione del segnale di uscita V_u sia pari a 15 ps.
- Il valore della tensione di soglia logica del circuito sia $V_{TL}=1.45$ V

$V_{dd} = 3.3$ V, $V_T = 0.3$ V, $R = 500$ Ω , $C = 0.1$ pF.



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

23.6.2016 – Esercizio 1

OSS. PRELIMINARI:

Il transistor M2 quando è on ($v_{dd}-v_u > v_{t2}$ sse $v_u < 2.9$ V) è in saturazione. Q1 quando è on è in AD.

1) Per $t < 0$ $v_i = 0$, Q1 off, $v_x = 0$ V, M1 off e $v_u = v_{dd} - v_{t2} = 2.9$ V.

2) Per $t \rightarrow \infty$, $v_i = v_{dd}$, quindi Q1 on in AD. Calcolo v_x .

$i_{b1} = (v_{dd} - (v_x + v_{\gamma})) / R_1$	Ma $i_{e1} = (\beta_f + 1) \cdot i_{b1}$
$i_{e1} = v_x / R_2$	da cui si ricava che $v_x = 2.548$ V

Suppongo M1 lin, sse $v_x > v_u + v_{t1}$, ma $v_x = 2.548$ V \rightarrow sse $v_u < 2.198$ V (da verificare). M2 on e sat.

$i_{dn1lin} = \beta_1 \cdot ((v_x - v_{t1}) \cdot v_u - 1/2 \cdot v_u^2)$	Da cui si ricava che $v_u = 0.874$ V e $v_u = 4.124$ V.
$i_{dn2sat} = \beta_2 / 2 \cdot (v_{dd} - v_u - v_{t2})^2$	La prima soluzione è quella accettabile e verifica la Hp su M1 lin, $v_u (= 0.874 \text{ V}) < 2.198$ V.
Ma $i_{dn1lin} = i_{dn2sat}$	Quindi $v_u(t \rightarrow \infty) = 0.874$ V

3) Per $t = 0+$ $v_i = v_{dd}$, Q1 si accende e va in AD, v_x si porta a 2.548 V, M1 va on.

Ma $v_u(0+) = v_u(0-) = v_{dd} - v_{t2} = 2.9$ V e $v_u(\infty) = 0.874$ V.

Il $t_{p,LH}$ è il tempo che il segnale d'uscita impiega per compiere il 50% della sua escursione, quindi per passare da $v_{u_{iniz}} = 2.9$ V a $v_{u_{final}} = (v_u(0+) + v_u(\infty)) / 2 = 1.887$

Analizzo le regioni di funzionamento di M1 durante il transitorio analizzato:

A) M1 sat per $v_x < v_u + v_{t1}$, sse $v_u > 2.198$ V

B) M1 lin per $v_x > v_u + v_{t1}$, sse $v_u < 2.198$ V

<p>A)</p> <p>$v_x = 2.548$ V durante tutto il transitorio</p> <p>$i_{dn1sat} = \beta_1 / 2 \cdot (v_x - v_{t1})^2$</p> <p>$i_{dn2sat} = \beta_2 / 2 \cdot (v_{dd} - v_u - v_{t2})^2$</p> <p>$i_{dn2sat} - i_{dn1sat} = C dv_u / dt$</p> $t_{pHL,1} = \int_{2.9}^{2.198} \frac{C}{i_{dn2sat} - i_{dn1sat}} dv_u$ <p style="text-align: center;">$= 1.492 \mu s$</p>	<p>B)</p> <p>$v_x = 2.548$ V durante tutto il transitorio</p> <p>$i_{dn1lin} = \beta_1 \cdot ((v_x - v_{t1}) \cdot v_u - 1/2 \cdot v_u^2)$</p> <p>$i_{dn2sat} = \beta_2 / 2 \cdot (v_{dd} - v_u - v_{t2})^2$</p> <p>$i_{dn2sat} - i_{dn1lin} = C dv_u / dt$</p> $t_{pHL,2} = \int_{2.198}^{1.887} \frac{C}{i_{dn2sat} - i_{dn1lin}} dv_u$ <p style="text-align: center;">$= 0.728 \mu s$</p> <p style="text-align: center;">Da cui si ricava $t_{p,HL} = 2.22 \mu s$</p>
---	--

23.6.2016 – Esercizio 2

Il circuito è costituito da un invertitore CMOS nel quale la rete di pull-up è costituita dal transistor M_p in serie al resistore R . Si ha:

$$\begin{aligned} V_{GSn} = V_i < V_T &\rightarrow M_n \text{ off} \rightarrow I_{Dn} = I_{Dn} = 0 \rightarrow V_u = V_x = V_{dd} \\ V_{SGp} = V_{dd} - V_i < V_T &\rightarrow V_{dd} - V_T < V_i \rightarrow M_p \text{ off} \rightarrow I_{Dn} = I_{Dn} = 0 \rightarrow V_u = V_x = 0 \end{aligned}$$

In entrambe queste condizioni, infatti, la caduta sulla resistenza R è nulla, e le relazioni sono quindi identiche a quelle ricavate per l'invertitore CMOS.

Il tempo di propagazione $t_{p,HL}$ è quindi il tempo necessario alla scarica del condensatore C dal valore alto V_{dd} al valore medio dell'escursione $V_{dd}/2$, attraverso la corrente di pull-down drenata dal transistor M_n . Durante tale transitorio si ha:

$$M_p \text{ off} \rightarrow I_{Dn} = I_R = 0$$

Il resistore non ha quindi alcuna rilevanza in questo caso ed è possibile utilizzare direttamente la relazione nota per il tempo di propagazione di un invertitore CMOS. Si ha quindi:

$$t_{p,HL} = \frac{C}{\beta_n(V_{dd} - V_T)} \left[\frac{2V_T}{(V_{dd} - V_T)} + \ln \left(3 - \frac{4V_T}{V_{dd}} \right) \right] = 15ps \rightarrow \beta_n = 2.6 \frac{mA}{V^2}$$

Imponendo il valore della tensione di soglia logica, si ha:

$$V_i = V_u = V_{TL} \rightarrow V_{GSn} = V_{DSn} \rightarrow V_{GSn} < V_{DSn} + V_T \rightarrow M_n \text{ sat} \rightarrow I_{Dn} = \frac{\beta_n}{2} (V_{TL} - V_T)^2 = 1.72 mA$$

Si ha, inoltre:

$$V_x = V_u + RI_R \xrightarrow{I_{Dn}=I_R} V_x = 2.31 V$$

E quindi:

$$V_{SGp} = V_{dd} - V_{TL} = 1.85V > V_{SDp} + V_T = V_{dd} - V_x + V_T = 0.69V \rightarrow M_p \text{ lin}$$

Da cui:

$$I_{Dp} = \beta_p \left((V_{dd} - V_{TL} - V_T)(V_{dd} - V_x) - \frac{(V_{dd} - V_x)^2}{2} \right) \xrightarrow{I_{Dn}=I_{Dp}} \beta_p = 1.64 \frac{mA}{V^2}$$