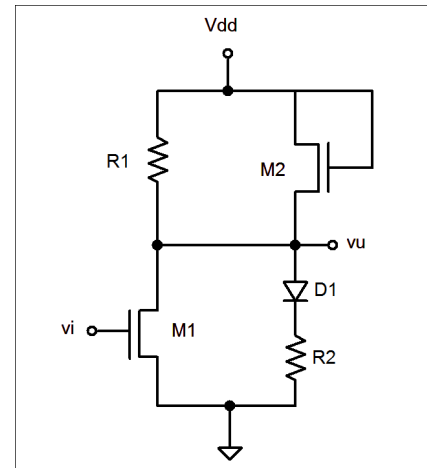


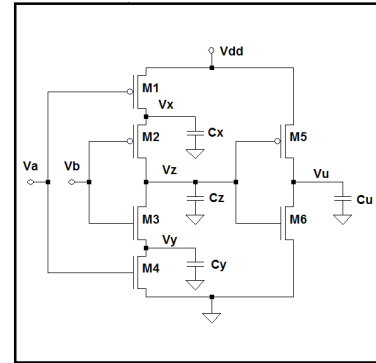
PROVA SCRITTA DI FONDAMENTI DI ELETTRONICA A
18 FEBBRAIO 2010

- 1) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalle tensioni di soglia V_{T1} , V_{T2} e dai coefficienti β_1 e β_2 , mentre il diodo può essere descritto da un modello "a soglia" con $V_\gamma = 0.75$ V. Si determinino i margini d'immunità ai disturbi N_{ML} , N_{MH} e N_M della rete.

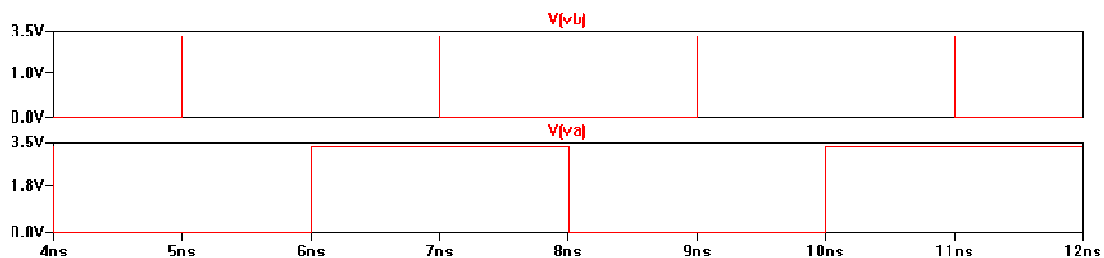


$V_{dd} = 3.5$ V, $V_{T1} = 0.4$ V, $V_{T2} = 0.6$ V, $\beta_1 = 5$ mA/V², $\beta_2 = 0.05$ mA/V², $R_1 = 4$ k Ω , $R_2 = 2$ k Ω .

- 2) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalle tensioni di soglia $V_{Tn} = |V_{Tp}| = V_T$ e dai coefficienti β_n e β_p . I segnali di ingresso V_a e V_b abbiano l'andamento periodico mostrato in figura. Si determini l'andamento dei segnali V_x , V_y , V_z e V_u , valutando in particolare i tempi di propagazione associati alle transizioni del segnale V_u . A questo scopo, si considerino trascurabili i tempi associati alle commutazioni dei segnali V_x , V_y e V_z . Si assuma inoltre che ogni transitorio si esaurisca prima della successiva variazione degli ingressi.



$V_{dd} = 3.3$ V, $V_{Tn} = 0.35$ V, $V_{Tp} = 0.35$ V, $\beta_n = 0.8$ mA/V², $\beta_p = 0.6$ mA/V², $C_x = C_y = 15$ fF, $C_z = 5$ fF, $C_u = 150$ fF.



Compito del 12-01-2011 - Esercizio #1

Oss. Preliminare: M2 quando on (sse $v_u < v_{dd} - v_{t2}$) è sat ($0 < v_{t2}$).

Regione 1: $v_i < v_{t1}$, allora M1 OFF. M2 sat e D1 on (se $v_u > v_\gamma$)

$idn2sat = \beta_2/2 * (v_{dd} - v_u - v_{t2})^2$ $ir1 = (v_{dd} - v_u)/r1$ $ir2 = (v_u - v_\gamma)/r2$ Ma $ir1 + idn2sat = ir2$	Da cui si ricavano i seguenti valori di v_u : $v_u = 1.714 \text{ V}$, $v_u = 34.086 \text{ V}$. Delle due soluzioni la prima è quella accettabile e soddisfa le Hp fatte.
---	--

Regione 2: $v_i > v_{t1}$ M1 sat ($v_i < v_u + v_{t1}$ da verificare). Inoltre M2 sat e D on

Cerco se in questa regione esistono punti della caratteristica statica di trasferimento a pendenza -1 (cioè cerco i punti tali che $d v_u / d v_i = -1$).	
$idn1sat = \beta_1/2 * (v_i - v_{t1})^2$ $idn2sat = \beta_2/2 * (v_{dd} - v_u - v_{t2})^2$ $ir1 = (v_{dd} - v_u)/r1$ $ir2 = (v_u - v_\gamma)/r2$ $d(idn1sat)/d v_i = \beta_1 * (v_i - v_{t1}) * 1$ $d(idn2sat)/d v_i = \beta_2 * (v_{dd} - v_u - v_{t2}) * -1 * -1$ $d(ir1)/d v_i = (-1 * -1)/r1$ $d(ir2)/d v_i = (1 * -1)/r2$ Ma $ir1 + idn2sat = idn1sat + ir2$ e $d(ir1)/d v_i + d(idn2sat)/d v_i = d(idn1sat)/d v_i + d(ir2)/d v_i$	Risolvendo si ricavano le seguenti coppie di valori (v_i , v_u): ($v_i = 0.237 \text{ V}$, $v_u = 34.168 \text{ V}$) e, ($v_i = 0.563 \text{ V}$, $v_u = 1.632 \text{ V}$). Delle due soluzioni quella accettabile è la seconda, quindi: $V_{OHMIN} = 1.632 \text{ V}$, e $V_{ILMAX} = 0.563 \text{ V}$. Tale coppia di valori soddisfa l'Hp di saturazione di M1 [$v_u (=1.632) > v_i - v_{t1} (=0.163 \text{ V})$], e di accensione di M2 e D1.

Possono ora accadere due cose: 1) o M1 va lin, oppure 2) il diodo D1 si spegne. Devo verificare quale delle due condizioni avviene per prima.

1) M1 va lin, M2 sat, D1 on: $idn1lin = \beta_1 * ((v_i - v_{t1}) * v_u - 1/2 * v_u^2)$ $idn2sat = \beta_2/2 * (v_{dd} - v_u - v_{t2})^2$ $ir1 = (v_{dd} - v_u)/r1$ $ir2 = (v_u - v_\gamma)/r2$ Ma $v_i = v_u + v_{t1}$ (per $v_i > v_u + v_{t1}$ M1 diventa lin) e $ir1 + idn2sat = idn1lin + ir2$ da cui si ricava che $v_i = -0.570 \text{ V}$, $v_u = -0.970 \text{ V}$ oppure $v_i = 1.008 \text{ V}$, $v_u = 0.608 \text{ V}$ (Tale soluzione non verifica la Hp di accensione di D1).	2) M1 sat, M2 sat, e D1 va off. $idn1sat = \beta_1/2 * (v_i - v_{t1})^2$ $idn2sat = \beta_2/2 * (v_{dd} - v_u - v_{t2})^2$ $ir1 = (v_{dd} - v_u)/r1$ Ma $v_u = v_\gamma$ (per $v_u < v_\gamma$ D1 diventa off) e $ir1 + idn2sat = idn1sat$ da cui si ricava che $v_i = -0.167 \text{ V}$ o $v_i = 0.967 \text{ V}$ (Tale soluzione è accettabile e verifica la sat di M1: $v_i (=0.967 \text{ V}) < v_u + v_{t1} (=1.15 \text{ V})$) Si verifica allora lo spegnimento del diodo, che avviene per $v_i = 0.967 \text{ V}$.
---	--

Regione 3: M1 sat, M2 sat, D1 off.

Cerco se in questa regione esistono punti della caratteristica statica di trasferimento a pendenza -1 (cioè cerco i punti tali che $d v_u / d v_i = -1$).	
$idn1sat = \beta_1/2 * (v_i - v_{t1})^2$ $idn2sat = \beta_2/2 * (v_{dd} - v_u - v_{t2})^2$ $ir1 = (v_{dd} - v_u)/r1$ $d(idn1sat)/d v_i = \beta_1 * (v_i - v_{t1}) * 1$ $d(idn2sat)/d v_i = \beta_2 * (v_{dd} - v_u - v_{t2}) * -1 * -1$ $d(ir1)/d v_i = (-1 * -1)/r1$	Ma $ir1 + idn2sat = idn1sat$ e $d(ir1)/d v_i + d(idn2sat)/d v_i = d(idn1sat)/d v_i$ da cui si ricavano le seguenti coppie di valori (v_i , v_u): ($v_i = 0.444 \text{ V}$, $v_u = 3.519 \text{ V}$) e ($v_i = 0.356 \text{ V}$, $v_u = 12.281 \text{ V}$) Nessuna delle soluzioni è accettabile.

Regione 4: M1 lin, M2 sat, D1 off.

Cerco se in questa regione esistono punti della caratteristica statica di trasferimento a pendenza -1 (cioè cerco i punti tali che $d v_u / d v_i = -1$).

$$i_{dn1lin} = \beta_1 * ((v_i - v_{t1}) * v_u - 1/2 * v_u^2)$$

$$i_{dn2sat} = \beta_2 / 2 * (v_{dd} - v_u - v_{t2})^2$$

$$i_{r1} = (v_{dd} - v_u) / r_1$$

$$d(i_{dn1lin}) / d v_i = \beta_1 * ((v_i - v_{t1}) * -1 + v_u - 1/2 * 2 * v_u * -1)$$

$$d(i_{dn2sat}) / d v_i = \beta_2 * (v_{dd} - v_u - v_{t2}) * -1 * -1$$

$$d(i_{r1}) / d v_i = (-1 * -1) / r_1$$

$$\text{Ma } i_{r1} + i_{dn2sat} = i_{dn1lin}$$

$$\text{e } d(i_{r1}) / d v_i + d(i_{dn2sat}) / d v_i = d(i_{dn1lin}) / d v_i$$

da cui si ricavano le seguenti coppie di valori (v_i, v_u):

$$(v_i = -0.442 \text{ V}, v_u = -0.380 \text{ V}) \text{ e}$$

$$(v_i = 1.084 \text{ V}, v_u = 0.380 \text{ V})$$

Delle due soluzioni quella accettabile è la seconda.

Tale coppia di valori soddisfa l'Hp di linearità di M1, $1.084 \text{ V} > 0.780 \text{ V}$, e di accensione di M2.

Quindi $V_{IHMIN} = 1.084 \text{ V}$, e $V_{OLMAX} = 0.380 \text{ V}$.

Si ricava allora che:

$$NM_H = 1.632 \text{ V} - 1.084 \text{ V} = 0.548 \text{ V} \text{ e}$$

$$NM_L = 0.563 \text{ V} - 0.380 \text{ V} = 0.183 \text{ V} (= NM).$$

Esercizio 2 – 12.1.2011

Considerando il primo stadio (M_1, M_2, M_3, M_4) si hanno i 4 casi seguenti:

- 1) $0 < t < 1ns$, $V_a = V_b = 0$
 M_1, M_2 on $\rightarrow V_x = V_z = V_{DD} \rightarrow M_5$ off, M_6 on $\rightarrow V_u = 0$
 M_3, M_4 off $\rightarrow V_y$ in alta impedenza (si mantiene al valore precedente- v. (4)) $\rightarrow V_y = 0$
- 2) $1ns < t < 2ns$, $V_a = 0$, $V_b = V_{DD}$
 M_1 on $\rightarrow V_x = V_{DD}$
 M_2 off, M_3 on, M_4 off $\rightarrow V_y, V_z$ in alta impedenza, redistribuzione di carica:

$$V_z^+ = V_y^+ = \frac{C_y V_y^- + C_z V_z^-}{C_y + C_z} = \frac{C_z V_{DD}}{C_y + C_z} = 0.825 V$$

$\rightarrow V_{SG5} = V_{DD} - V_z = 2.545 V > V_T \rightarrow M_5$ on (HP: LIN)

$\rightarrow V_{GS6} = V_z > V_T \rightarrow M_6$ on (HP: SAT)

$$I_{D5} = I_{D6}$$

$$I_{D5} = \beta_p \left((V_{SG5} - V_T)(V_{DD} - V_U) - \frac{(V_{DD} - V_U)^2}{2} \right) \left. \begin{array}{l} I_{D6} = \beta_n \frac{(V_{GS6} - V_T)^2}{2} \end{array} \right\} \rightarrow V_U = 3.228 V$$

- 3) $2ns < t < 3ns$, $V_a = V_b = V_{DD}$
 M_3, M_4 on $\rightarrow V_y = V_z = 0 \rightarrow M_5$ on, M_6 off $\rightarrow V_u = V_{DD}$
 M_1, M_2 off $\rightarrow V_x$ in alta impedenza (si mantiene al valore precedente) $\rightarrow V_x = V_{DD}$
- 4) $3ns < t < 4ns$, $V_a = V_{DD}$, $V_b = 0$
 M_4 on $\rightarrow V_y = 0$
 M_1 off, M_2 on, M_3 off $\rightarrow V_x, V_z$ in alta impedenza, redistribuzione di carica:

$$V_z^+ = V_x^+ = \frac{C_x V_x^- + C_z V_z^-}{C_x + C_z} = \frac{C_x V_{DD}}{C_x + C_z} = 2.475 V$$

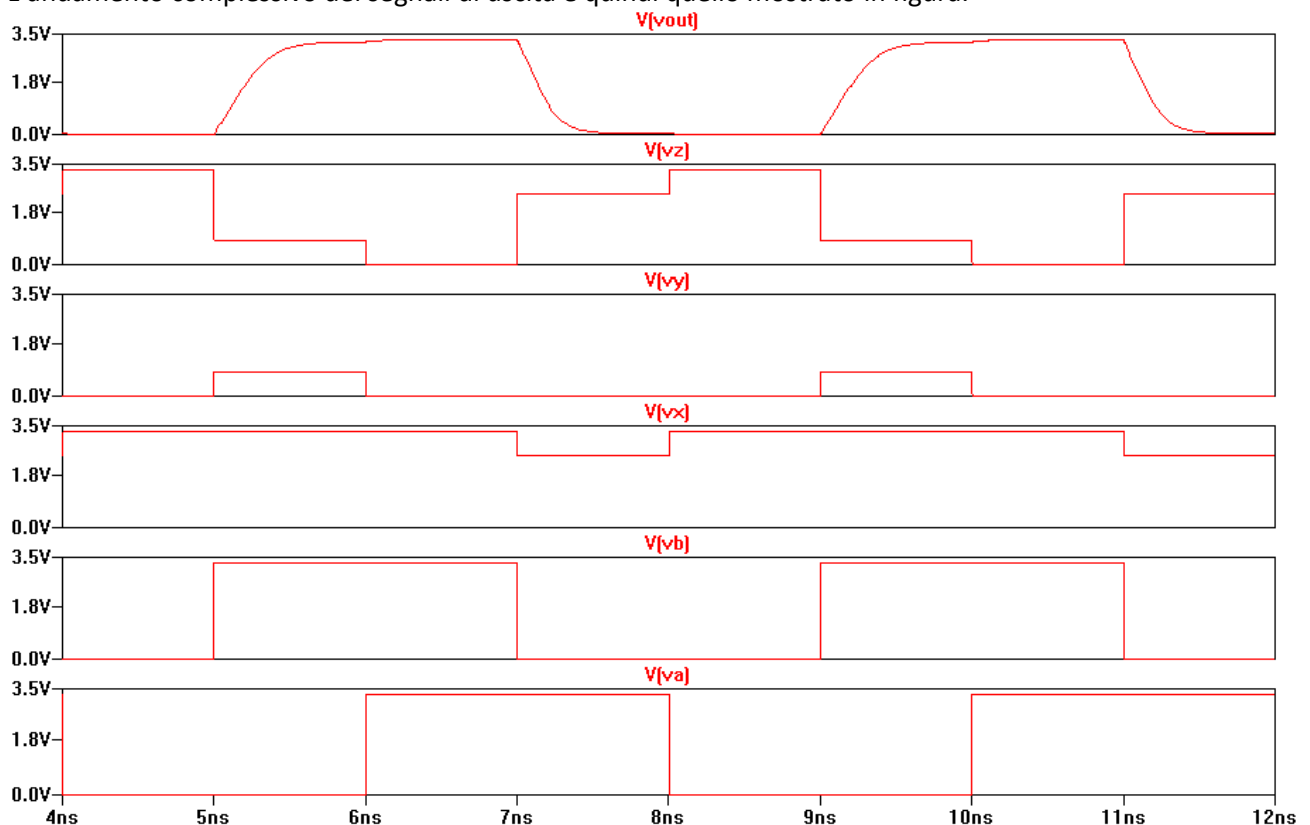
$\rightarrow V_{SG5} = V_{DD} - V_z = 0.825 V > V_T \rightarrow M_5$ on (HP: SAT)

$\rightarrow V_{GS6} = V_z > V_T \rightarrow M_6$ on (HP: LIN)

$$I_{D5} = I_{D6}$$

$$I_{D6} = \beta_n \left((V_{GS6} - V_T)V_U - \frac{V_U^2}{2} \right) \left. \begin{array}{l} I_{D5} = \beta_p \frac{(V_{SG5} - V_T)^2}{2} \end{array} \right\} \rightarrow V_U = 0.04 V$$

L'andamento complessivo dei segnali di uscita è quindi quello mostrato in figura:



Calcolo dei transitori di V_U : il transitorio di salita (a 1 ns, per esempio), prevede $V_U: 0 \rightarrow 3.228V$, con $V_z = 0.825V$ e quindi M_5, M_6 entrambi on. Il tempo di propagazione relativo è quindi il tempo necessario a compiere metà dell'escursione ($0 \rightarrow 1.614V$).

$$M_5 \text{ LIN se: } V_{SG5} > (V_{DD} - V_U) + V_T \rightarrow V_U > 1.175V$$

$$M_6 \text{ LIN se: } V_{GS6} > V_U + V_T \rightarrow V_U < 0.475V$$

Quindi il transitorio si compone di tre parti :

$$V_U: 0 \xrightarrow[(1)]{M_5 \text{ SAT}, M_6 \text{ LIN}} 0.475V \xrightarrow[(2)]{M_5 \text{ SAT}, M_6 \text{ SAT}} 1.175V \xrightarrow[(3)]{M_5 \text{ LIN}, M_6 \text{ SAT}} 1.614V$$

Nel tratto 1:

$$C_U \frac{dV_U}{dt} = I_{D6, \text{LIN}} - I_{D5, \text{SAT}} \rightarrow \int_0^{t_1} dt = \int_0^{0.475V} \frac{C_U}{I_{D6, \text{LIN}} - I_{D5, \text{SAT}}} dV_U \rightarrow t_1 = 55.06 \text{ ps}$$

Analogamente:

$$t_2 = \int_{0.475V}^{1.175V} \frac{C_U}{I_{D6, \text{SAT}} - I_{D5, \text{SAT}}} dV_U \rightarrow t_2 = 83.04 \text{ ps}$$

$$t_3 = \int_{1.175V}^{1.614V} \frac{C_U}{I_{D6, \text{LIN}} - I_{D5, \text{SAT}}} dV_U \rightarrow t_3 = 52.90 \text{ ps}$$

$$\text{e, complessivamente: } t_{p,HL} = t_1 + t_2 + t_3 = 191 \text{ ps.}$$

In maniera duale, il transitorio di discesa (a 3 ns, per esempio), prevede $V_U: V_{DD} \rightarrow 0.04V$, con $V_z = 2.475V$ e quindi M_5, M_6 entrambi on. Il tempo di propagazione relativo è quindi il tempo necessario a compiere metà dell'escursione ($V_{DD} \rightarrow 1.63V$). Analogamente al caso precedente, il transitorio si compone di tre parti :

$$V_U \xrightarrow[(1)]{M_5 \text{ LIN}, M_6 \text{ SAT}} 2.825V \xrightarrow[(2)]{M_5 \text{ SAT}, M_6 \text{ SAT}} 2.125V \xrightarrow[(3)]{M_5 \text{ SAT}, M_6 \text{ LIN}} 1.63V$$

$$\text{e, complessivamente: } t_{p,LH} = t_1 + t_2 + t_3 = 40.46 + 60.40 + 43.55 = 144.4 \text{ ps.}$$

I transitori residui ($V_U: 3.228V \rightarrow V_{DD}, V_U: 0.04V \rightarrow 0$) possono essere trascurati.