

PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI
6 FEBBRAIO 2004

PARTE PRIMA

Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dai coefficienti β_i e dalla stessa tensione di soglia $V_{Tn}=|V_{Tp}|=V_T$.

Si determini:

1. la funzione logica svolta dal circuito.

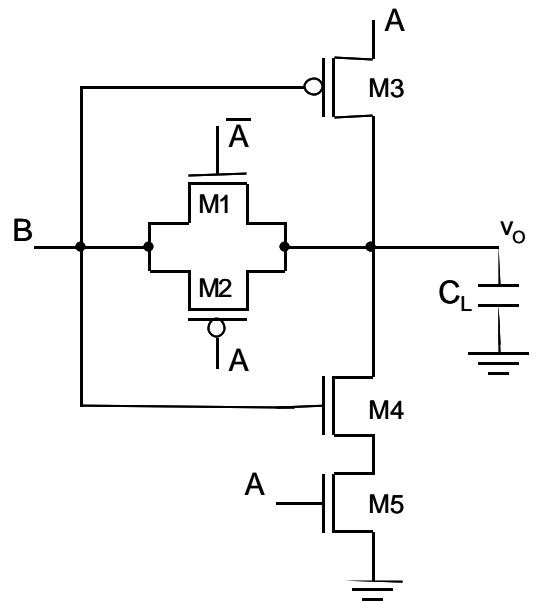
A tale scopo si compili una tabella tipo quella riportata in figura indicando per ogni possibile configurazione degli ingressi lo stato di ciascun transistor (ON/OFF)

A	B	M1	M2	M3	M4	M5	V_o

2. il tempo di salita/discesa corrispondente alla seguente transizione istantanea degli ingressi:

$$V_A = \begin{cases} 0 & \text{per } t < 0 \\ 0 & \text{per } t > 0 \end{cases} \quad V_B = \begin{cases} V_{IH} & \text{per } t < 0 \\ 0 & \text{per } t > 0 \end{cases}$$

Per ogni tratto del transitorio si specifichi chiaramente la regione di funzionamento di ciascun transistor.



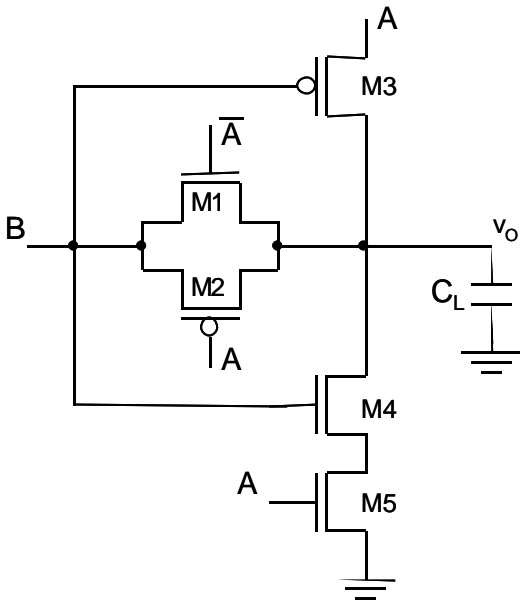
$V_T=0.5 \text{ V};$
 $\beta_1=2 \text{ mA/V}^2;$
 $\beta_2=1 \text{ mA/V}^2;$
 $\beta_3=1 \text{ mA/V}^2;$
 $\beta_4=2.5 \text{ mA/V}^2;$
 $\beta_5=2.5 \text{ mA/V}^2;$
 $C_L=200 \text{ fF};$
 $V_{IH}=3.5 \text{ V};$
 $V_{IL}=0 \text{ V}.$

PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI
6 FEBBRAIO 2004

PARTE SECONDA

Si descrivano il principio di funzionamento, la struttura circuitale e le tecniche realizzative di una memoria di tipo EPROM.

Soluzione



\overline{A}	A	B	M1	M2	M3	M4	M5	V _O
1	0	0	on	off	off	off	off	0 (V _{IL})
1	0	1	off	on	off	on	off	1 (V _{IH})
0	1	0	off	off	on	off	on	1 (V _{IH})
0	1	1	off	off	off	on	on	0 (0V)

Funzione logica svolta dal circuito: XOR

A = 0 costante

B: $1 \rightarrow 0$ ($V_H \rightarrow V_L$)

Per t=0⁻ V_A=V_{IL}, V_B=V_{IH} → V_O(0⁻)=V_H
M1 off, M2 on, M3 off, M4 on, M5 off

Per $t=0^+$ $V_A=V_{IL}$, $V_B=V_{IL}$ e $V_O(0^+)=V_{IH}$
M1 on, M2 on, M3 on, M4 off, M5 off

Per $t \rightarrow \infty$ $V_A = V_{IL}$, $V_B = V_{IL}$ e $V_O(\infty) = V_{IL}$
M1 on, M2 off, M3 off, M4 off, M5 off

M1 sat se

$$\begin{aligned} &V_{DS} > V_{GS} - V_T \\ &V_O - V_{IL} > V_{IH} - V_{IL} - V_T \\ &V_O > V_{IH} - V_T \end{aligned}$$

M2 sat se $V_{SD} > V_{SG} - V_T$
 $V_{O} - V_{IL} > V_{O} - V_{IL} - V_T$
 $0 > -V_T \Rightarrow$ M2, se acceso (cioè se $V_{SG} > V_T$), sempre sat

M3 sat se $V_{SD} > V_{SG} - V_T$
 $V_0 - V_{IL} > V_0 - V_{IL} - V_T$
 $0 > -V_T \Rightarrow$ M3, se acceso (cioè se $V_{SG} > V_T$), sempre sat

$V_O : V_{IH} \rightarrow V_{IL} (3.5\text{ V} \rightarrow 0) \Rightarrow C_L$ si scarica attraverso M1, M2, M3

$$I_{M3} + I_{M2} + I_{M1} = -C_L \frac{dV_O}{dt}$$

il transitorio di discesa (calcolato dal 10% al 90% dell'escursione $V_H \rightarrow V_L$) è composto pertanto da 3 tratti:

1. $0.9V_{IH} > V_O > V_{IH} - V_T \Rightarrow 3.15 > V_O > 3$ M1, M2, M3 sat
2. $V_{IH} - V_T > V_O > V_T \Rightarrow 3 > V_O > 0.5$ M1 lin, M2, M3 sat
3. $V_T > V_O > 0.1V_{IH} \Rightarrow 0.5 > V_O > 0.35$ M1 lin, M2, M3 off

tratto 1

$$\frac{\mathbf{b}_1}{2}(\mathbf{V}_{IH} - \mathbf{V}_T)^2 + \frac{\mathbf{b}_2}{2}(\mathbf{V}_o - \mathbf{V}_T)^2 + \frac{\mathbf{b}_3}{2}(\mathbf{V}_o - \mathbf{V}_T)^2 = -\mathbf{C}_L \frac{dV_o}{dt}$$

$$\frac{\mathbf{b}_1}{2}(\mathbf{V}_{IH} - \mathbf{V}_T)^2 + \frac{\mathbf{b}_2 + \mathbf{b}_3}{2}(\mathbf{V}_o - \mathbf{V}_T)^2 = -\mathbf{C}_L \frac{dV_o}{dt}$$

$$\int_0^1 dt = -2\mathbf{C}_L \int_{0.9V_{IH}}^{V_{IH}-V_T} \frac{dV_o}{\mathbf{b}_1(\mathbf{V}_{IH} - \mathbf{V}_T)^2 + (\mathbf{b}_2 + \mathbf{b}_3)(\mathbf{V}_o - \mathbf{V}_T)^2}$$

$$t_1 = 1.92 ps$$

tratto 2

$$\mathbf{b}_1 \left[(\mathbf{V}_{IH} - \mathbf{V}_T) \mathbf{V}_o - \frac{\mathbf{V}_o^2}{2} \right] + \frac{\mathbf{b}_2 + \mathbf{b}_3}{2} (\mathbf{V}_o - \mathbf{V}_T)^2 = -\mathbf{C}_L \frac{dV_o}{dt}$$

$$\frac{\mathbf{b}_1}{2} [2(\mathbf{V}_{IH} - \mathbf{V}_T) \mathbf{V}_o - \mathbf{V}_o^2] + \frac{\mathbf{b}_2 + \mathbf{b}_3}{2} (\mathbf{V}_o - \mathbf{V}_T)^2 = -\mathbf{C}_L \frac{dV_o}{dt}$$

$$\int_0^2 dt = -2\mathbf{C}_L \int_{V_{IH}-V_T}^{V_T} \frac{dV_o}{\mathbf{b}_1 [2(\mathbf{V}_{IH} - \mathbf{V}_T) \mathbf{V}_o - \mathbf{V}_o^2] + (\mathbf{b}_2 + \mathbf{b}_3)(\mathbf{V}_o - \mathbf{V}_T)^2}$$

$$t_2 = 68.52 ps$$

tratto 3

$$\mathbf{b}_1 \left[(\mathbf{V}_{IH} - \mathbf{V}_T) \mathbf{V}_o - \frac{\mathbf{V}_o^2}{2} \right] = -\mathbf{C}_L \frac{dV_o}{dt}$$

$$\int_0^3 dt = -2\mathbf{C}_L \int_{V_T}^{0.1V_{IH}} \frac{dV_o}{\mathbf{b}_1 [2(\mathbf{V}_{IH} - \mathbf{V}_T) \mathbf{V}_o - \mathbf{V}_o^2]}$$

$$t_3 = 12.78 ps$$

$$t_f = t_1 + t_2 + t_3 = 83.22 ps$$