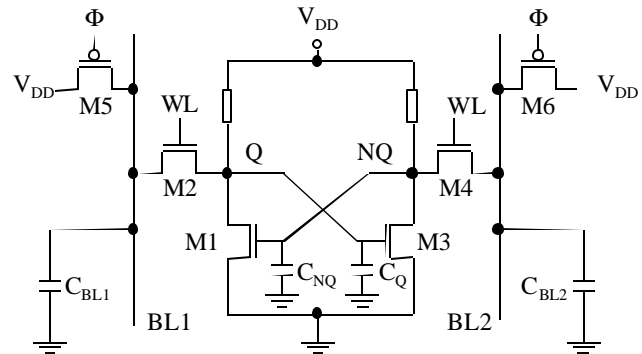


PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI A
25 FEBBRAIO 2004

PARTE PRIMA

Con riferimento alla cella di memoria RAM di tipo statico schematizzata in figura, si dimensionino:

1. i coefficienti β dei transistori di precarica M5 e M6 in modo tale che il tempo necessario affinché il segnale di precarica raggiunga il 90% della sua escursione sia pari a 2ns. Si suppongano inizialmente scariche le capacità C_{BL1} e C_{BL2} ;
2. i coefficienti β dei transistori M1 e M3 (supposti uguali) supponendo che in condizioni stazionarie la potenza dissipata dalla cella sia pari a 2.4 nW.



Ipotizzando di voler scrivere il dato $V_{BL1} = "1"$ e $V_{BL2} = "0"$ e supponendo che nella cella sia inizialmente memorizzato il dato $V_Q = "0"$ e $V_{NQ} = "1"$, si calcoli il tempo necessario affinché il nodo NQ raggiunga la soglia di spegnimento di M1. A tal fine, per semplicità, si consideri:

1. costante la tensione sulle bit-line;
2. che, durante il transitorio in questione, la tensione al nodo Q rimanga inferiore alla soglia di accensione di M3.

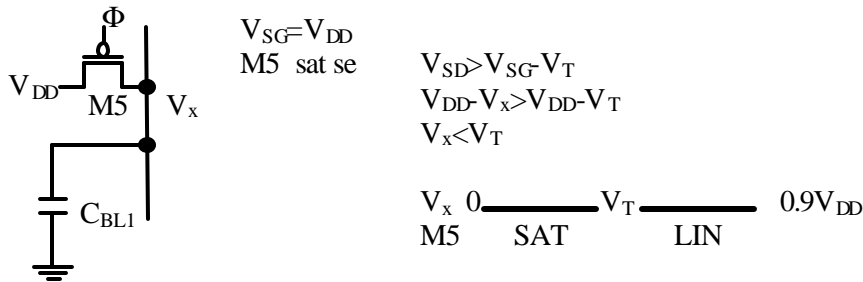
$V_{DD} = 3.5 \text{ V};$
 $V_{TN} = |V_{TP}| = V_T = 0.5 \text{ V};$
 $\beta_4 = \beta_2 = 50 \mu\text{A/V}^2;$
 $WL_H = \Phi_H = V_{DD};$
 $WL_L = \Phi_L = 0 \text{ V};$
 $C_{BL1} = C_{BL2} = 5 \text{ pF};$
 $C_Q = C_{NQ} = 10 \text{ fF};$
 $R = 5100 \text{ M}\Omega$

PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI A
25 FEBBRAIO 2004

PARTE SECONDA

Pregi e difetti delle logiche nMOS e CMOS

1)



M5 sat

$$\frac{b_5}{2}(V_{DD} - V_T)^2 = C_{BL1} \frac{dV_x}{dt}$$

$$\int_0^{V_T} dt = \frac{2C_{BL1}}{b_5} \int_0^{V_T} \frac{dV_x}{(V_{DD} - V_T)^2}$$

$$t_1 = \frac{2C_{BL1}}{b_5} \int_0^{V_T} \frac{dV_x}{(V_{DD} - V_T)^2}$$

M5 lin

$$b_5 \left[(V_{DD} - V_T)(V_{DD} - V_x) - \frac{(V_{DD} - V_x)^2}{2} \right] = C_{BL1} \frac{dV_x}{dt}$$

$$\int_0^{0.9V_{DD}} dt = \frac{C_{BL1}}{b_5} \int_{V_T}^{0.9V_{DD}} \frac{dV_x}{(V_{DD} - V_T)(V_{DD} - V_x) - \frac{(V_{DD} - V_x)^2}{2}}$$

$$t_2 = \frac{C_{BL1}}{b_5} \int_{V_T}^{0.9V_{DD}} \frac{dV_x}{(V_{DD} - V_T)(V_{DD} - V_x) - \frac{(V_{DD} - V_x)^2}{2}}$$

$$b_5 = \frac{C_{BL1}}{t_1 + t_2} \left[2 \int_0^{V_T} \frac{dV_x}{(V_{DD} - V_T)^2} + \int_{V_T}^{0.9V_{DD}} \frac{dV_x}{(V_{DD} - V_T)(V_{DD} - V_x) - \frac{(V_{DD} - V_x)^2}{2}} \right] = \frac{C_{BL1}}{t_1 + t_2} (k_1 + k_2)$$

$$t_1 + t_2 = 2ns$$

$$k_1 = 0.11 \quad k_2 = 0.93$$

$$b_5 = b_6 = 2.59 \text{ mA} / V^2$$

2)

N.B. in condizioni stazionarie il MOS di pull-down di uno dei due rami della cella è spento, pertanto non assorbe corrente quindi

$$P_{statica} = I_R V_{DD} = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R} V_{DD}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (R \cdot P_{statica} / V_{DD}) = 0.003 \text{ V}$$

si supponga V_Q basso $\Rightarrow V_Q = V_{DS} = 0.003 \text{ V} \Rightarrow M3$ spento ($V_Q < V_T$) $\Rightarrow V_{GM1} = V_{NQ} = V_{DD}$

$M1$ sat se $V_{DS} > V_{GS} - V_T$

$V_Q > V_{DD} - V_T$ falso, $V_Q < V_T$, allora $M1$ lin

$$\frac{V_{DD} - V_{DS}}{R} = b_1 \left[(V_{DD} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

$$b_1 = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R} \left/ \left[(V_{DD} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \right.$$

$$b_1 = b_3 = 0.08 \text{ mA} / V^2$$

3)

osservazione: $V_Q : 0? V_T$ (soglia di accensione di $M3$) \Rightarrow durante il transitorio che interessa

il nodo NQ , $M3$ off \Rightarrow il circuito da studiare è costituito dalla resistenza R dal mos $M4$ e

dalla capacità C_{NQ}

$V_{NQ} : V_{DD} ? V_T$

$WL = V_{DD}$

$M4$ on,

sat se $V_{NQ} > V_{DD} - V_T$

$V_{NQ} : V_{NQ} \xrightarrow{\text{SAT}} V_{DD} - V_T \xrightarrow{\text{LIN}} V_T$

$M4 : \quad \quad \quad \text{SAT} \quad \quad \quad \text{LIN}$

I tratto $M4$ sat

$$\frac{b_4}{2} (V_{DD} - V_T)^2 = -C_{NQ} \frac{dV_{NQ}}{dt} + \frac{V_{DD} - V_{NQ}}{R}$$

$$\frac{b_4}{2} (V_{DD} - V_T)^2 - \frac{V_{DD} - V_{NQ}}{R} = -C_{NQ} \frac{dV_{NQ}}{dt}$$

$$t_{sat} = -C_{NQ} \int_{V_{DD}}^{V_{DD} - V_T} \frac{dV_{NQ}}{\frac{b_4}{2} (V_{DD} - V_T)^2 - \frac{V_{DD} - V_{NQ}}{R}} = 22.22 \text{ ps}$$

II tratto $M4$ lin

$$b_4 \left[(V_{DD} - V_T) V_{NQ} - \frac{V_{NQ}^2}{2} \right] = -C_{NQ} \frac{dV_{NQ}}{dt} + \frac{V_{DD} - V_{NQ}}{R}$$

$$b_4 \left[(V_{DD} - V_T) V_{NQ} - \frac{V_{NQ}^2}{2} \right] - \frac{V_{DD} - V_{NQ}}{R} = -C_{NQ} \frac{dV_{NQ}}{dt}$$

$$t_{lin} = -C_{NQ} \int_{V_{DD} - V_T}^{V_T} \frac{dV_{NQ}}{b_4 \left[(V_{DD} - V_T) V_{NQ} - \frac{V_{NQ}^2}{2} \right] - \frac{V_{DD} - V_{NQ}}{R}} = 0.16 \text{ ns}$$

$$t_{tot} = t_{sat} + t_{lin} = 0.18 \text{ ns}$$