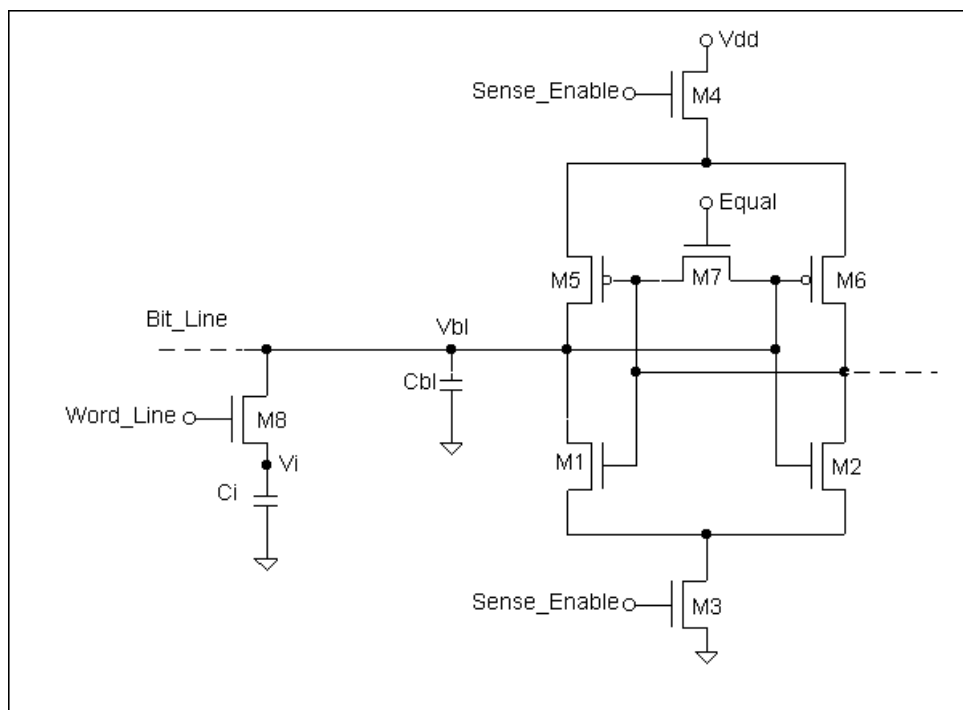


PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI  
17 GIUGNO 2004

PARTE PRIMA



Il circuito in figura rappresenta alcune parti di una RAM dinamica elementare. I transistori MOS sono caratterizzati dai coefficienti  $\beta_i$  e dalle tensioni di soglia  $V_{Tn}$  e  $V_{Tp}$ .

Si supponga che la cella capacitiva  $C_i$  sia stata in precedenza caricata al valore  $V_i = V_{dd}$ , e che la stessa cella debba ora essere letta attraverso il sense amplifier.

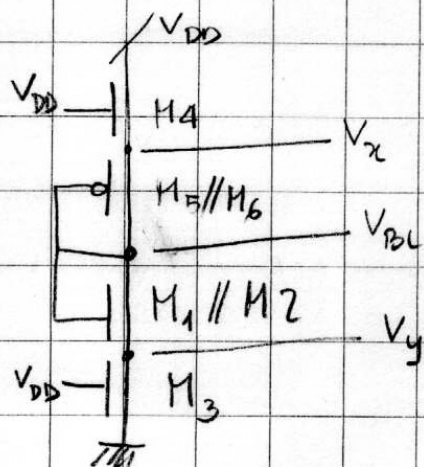
1) A questo scopo, la bit line viene opportunamente precaricata ad un opportuno valore, ponendo i segnali Sense\_Enable ed Equal al valore  $V_{dd}$ . Si determini il valore  $V_{bl-iniz}$  di  $V_{bl}$  al termine della fase di precarica, ipotizzata sufficientemente lunga da consentire l'esaurimento del transitorio.

2) Successivamente, il sense amplifier viene posto in uno stato di alta impedenza, portando i segnali Sense\_Enable ed Equal al valore 0. Viene quindi selezionata la cella  $C_i$ , portando istantaneamente il segnale Word\_Line (inizialmente al valore 0) al valore  $V_{dd}$ . Si determini il valore  $V_{bl-fin}$  di  $V_{bl}$  al termine di tale fase di lettura, ipotizzata sufficientemente lunga da consentire l'esaurimento del transitorio.

3) Si calcoli il tempo necessario affinché il segnale  $V_{bl}$  compia il 90% della transizione fra il suo valore iniziale  $V_{bl-iniz}$  e il suo valore finale  $V_{bl-fin}$ .

$V_{dd} = 3.5 \text{ V}$ ,  $V_{Tn} = 0.45 \text{ V}$ ,  $V_{Tp} = -0.5 \text{ V}$ ,  $\beta_1 = 250 \mu\text{A/V}^2$ ,  $\beta_2 = 250 \mu\text{A/V}^2$ ,  $\beta_3 = 500 \mu\text{A/V}^2$ ,  $\beta_4 = 500 \mu\text{A/V}^2$ ,  $\beta_5 = 100 \mu\text{A/V}^2$ ,  $\beta_6 = 100 \mu\text{A/V}^2$ ,  $\beta_7 = 250 \mu\text{A/V}^2$ ,  $\beta_8 = 100 \mu\text{A/V}^2$ ,  $C_i = 5 \text{ fF}$ ,  $C_{bl} = 30 \text{ fF}$ .

- 1) Fase di precarica: M7, a regime, si comporta come un corto circuito ( $V_{DS7} = 0 \rightarrow V_{G5} = V_{G6} = V_{G1} = V_{G2}$ ), per cui i transistori (M5, M6) e (M1, M2) risultano in parallelo. Il circuito equivale a:



Con M4, M5,6 e M1,2 in SAT ( $V_{GS} = V_{DS}$ )

Ipotesi che M3 sia in LIN -

Calcolo  $V_{BL}$ :

$$I_{D4} = I_{D56} = I_{D12} = I_{D3}$$

$$\beta_{56} = \beta_5 + \beta_6, \quad \beta_{12} = \beta_1 + \beta_2$$

$$\frac{\beta_4}{2} (V_{DD} - V_x - V_{Tn})^2 = \frac{\beta_{56}}{2} (V_x - V_{BL} - |V_{Tp}|)^2 \rightarrow V_x = 2.062 + 0.337 V_{BL} = 2.48 \text{ V}$$

$$\frac{\beta_{56}}{2} (V_x - V_{BL} - |V_{Tp}|)^2 = \frac{\beta_{12}}{2} (V_{BL} - V_y - V_{Tn})^2 \rightarrow V_{BL} = 1.036 + 0.72 V_y = 1.075 \text{ V}$$

$$\frac{\beta_{12}}{2} (V_{BL} - V_y - V_{Tn})^2 = \beta_3 \left[ (V_{DD} - V_{Tn}) V_y - \frac{V_y^2}{2} \right] \rightarrow V_y = 0.054 \text{ V}$$

$$\rightarrow \underline{\underline{V_{BL-init} = 1.075 \text{ V}}}$$

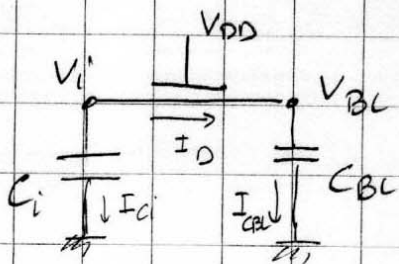
- 2) Al termine del Transitorio di ridistribuzione di carica, si ha:

$$\underline{\underline{V_{BL-fin} = \frac{C_i V_{BL-init} + C_{BL} V_{BL-init}}{C_i + C_{BL}} = 1.4217 \text{ V}}}$$

- 3) Il Transitorio prevede la Transizione di  $V_{BL}$  dal valore iniziale al 90% della escursione:

$$\underline{\underline{V_{BL}^* = V_{BL-init} + 0.9 (V_{BL-fin} - V_{BL-init}) = 1.387 \text{ V}}}$$

Il circuito è:



con:  $V_i^- = V_{DD}$ ,  $V_{BL}^- = V_{BL} - 1075 < V_{DD}$   
 $\rightarrow V_i \rightarrow \text{DRAIN}$ ,  $V_{BL} \rightarrow \text{SOURCE}$

MB inizialmente SAT ( $V_D = V_G = V_{DD}$ )  
 entra in LIN quando

$$V_{GS} = V_{DS} + V_{TM} \rightarrow V_i - V_{BL} = V_i - V_{BL} + V_{TM}$$

$$V_i = V_{DD} - V_{TM}$$

Osservazione:

$$I_{Ci} = -I_{CBL} \rightarrow C_i \frac{dV_i}{dt} = -C_{BL} \frac{dV_{BL}}{dt} \int_0^t \rightarrow V_i(t) - V_i^- = -\frac{C_{BL}}{C_i} (V_{BL}(t) - V_{BL}^-)$$

$$\rightarrow V_i(t) = V_i^- - \frac{C_{BL}}{C_i} (V_{BL}(t) - V_{BL}^-) = 9.95 - 6 V_{BL} (*)$$

1° tratto: MB P.O.  $V_i > V_{DD} - V_{TM} (*) \rightarrow V_{BL} < 1.15 \text{ V}$

$$\frac{\beta_B}{2} (V_{DD} - V_{BL} - V_{TM})^2 = C_{BL} \frac{dV_{BL}}{dt} \rightarrow dt = \frac{2C_{BL} dV_{BL}}{\beta_B (V_{DD} - V_{BL} - V_{TM})^2}$$

Integrando per  $t: 0 \rightarrow t_1$ ,  $V_{BL}: 1.075 \rightarrow 1.15$  si ottiene

$$t_1 = 12 \text{ ps}$$

2° tratto: MB LIN

$$dt = \frac{C_{BL} dV_{BL}}{\beta_B \left\{ (V_{DD} - V_{BL} - V_{TM})(V_i - V_{BL}) - \frac{(V_i - V_{BL})^2}{2} \right\}}$$

(\*)

Sostituendo  $V_i(V_{BL})$  e integrando per  $t: t_1 \rightarrow t_2$ ,  $V_{BL}: 1.15 \rightarrow 1.387$   
 si ottiene:

$$t_2 - t_1 = 66.93 \text{ ps}, \text{ e un Tempo complessivo } t_c = 78.93 \text{ ps}$$