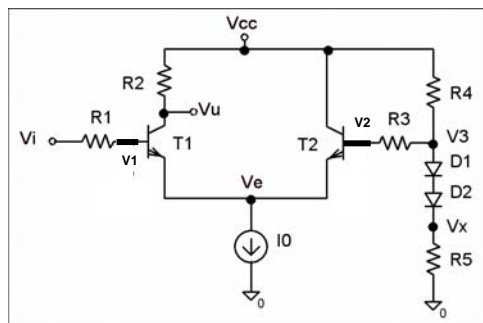


**PROVA SCRITTA DI FONDAMENTI DI ELETTRONICA A E ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI A**  
**2 FEBBRAIO 2006**

1) Nel circuito in figura, i diodi e i transistori possono essere descritti da un modello "a soglia", con  $V_{\gamma}=0.75\text{ V}$  e  $V_{CE,sat}=0.2\text{ V}$ . Si determini la caratteristica statica di trasferimento  $V_u(V_i)$ , per  $0 < V_i < V_{CC}$ .



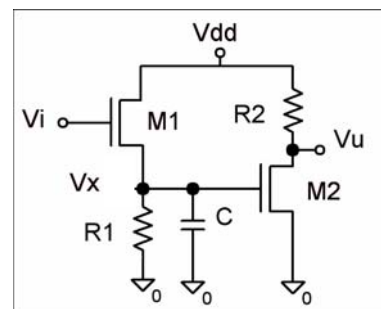
$V_{CC} = 5\text{ V}$ ,  $\beta_F = 100$ ,  $R_1 = 7\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1.5\text{ k}\Omega$ ,  
 $R_3 = 100\text{ }\Omega$ ,  $R_4 = 10\text{ k}\Omega$ ,  $R_5 = 1\text{ k}\Omega$ ,  $I_0 = 0.5\text{ mA}$ .

2) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalla tensione di soglia  $V_{Tn1}=V_{Tn2}=V_T$  e dai coefficienti  $\beta_1=\beta_2=\beta_n$ . Il segnale d'ingresso abbia il seguente andamento:

$$\begin{aligned} t < 0: & V_i = 0 \\ t > 0: & V_i = V_{DD} \end{aligned}$$

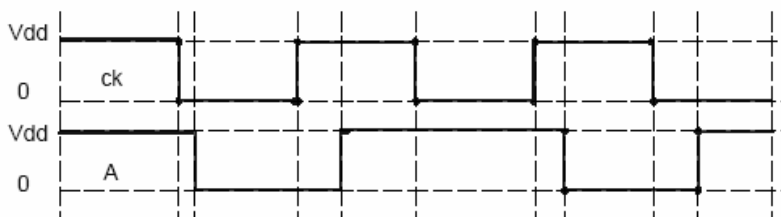
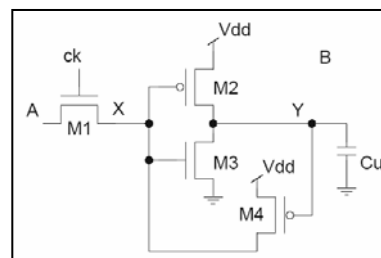
Si calcoli il tempo di propagazione  $t_{p,HL}$  (relativo al segnale di uscita  $V_u$ ).

$V_{DD} = 3.5\text{ V}$ ,  $V_T = 0.5\text{ V}$ ,  $\beta_n = 2\text{ mA/V}^2$ ,  $R_1 = 8\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 5\text{ k}\Omega$ ,  $C = 10\text{ pF}$ .

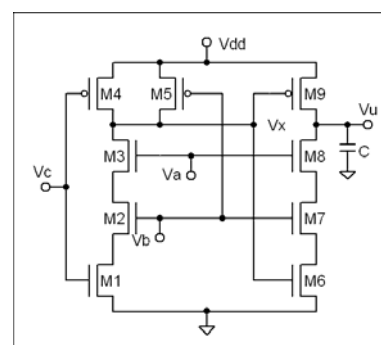
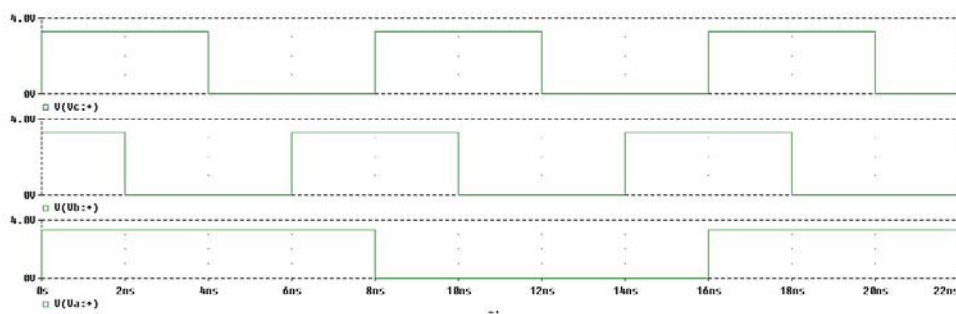


3) Nel circuito in figura i transistori MOS sono caratterizzati dai coefficienti  $\beta_n$  e  $\beta_p$ . Si tracci l'andamento qualitativo dei segnali  $V_x$  e  $V_y$  nell'intervallo in figura e si calcoli il tempo di discesa associato al segnale  $V_y$ . Per semplicità, si supponga che i transistori M1 e M4 non introducano ritardi nella propagazione del segnale (risposta istantanea).

$V_{DD} = 3.5\text{ V}$ ,  $\beta_p = 80\text{ }\mu\text{A/V}^2$ ,  $\beta_n = 50\text{ }\mu\text{A/V}^2$ ,  $V_{Tn} = 0.5\text{ V}$ ,  $|V_{Tp}| = 0.4\text{ V}$ ,  $C_u = 10\text{ fF}$



4) Nel circuito in figura i transistori MOS sono caratterizzati dai coefficienti  $\beta_n = \beta_p$  e dalle tensioni di soglia  $V_{tn}=|V_{tp}|$ . I segnali periodici di ingresso  $V_a$ ,  $V_b$  e  $V_c$  abbiano gli andamenti riportati in figura.



Si determini l'andamento del segnale  $V_u(t)$  nel periodo  $[0, 16\text{ ns}]$ , **considerando la presenza di correnti di perdita** nei transistori M5, M6, M7 e M8. Per semplicità, si assumi a questo fine il bipolo drain-source di ciascuno di tali transistori a un resistore avente resistenza nulla (se "acceso") o pari a  $10\text{ M}\Omega$  (se "spento").

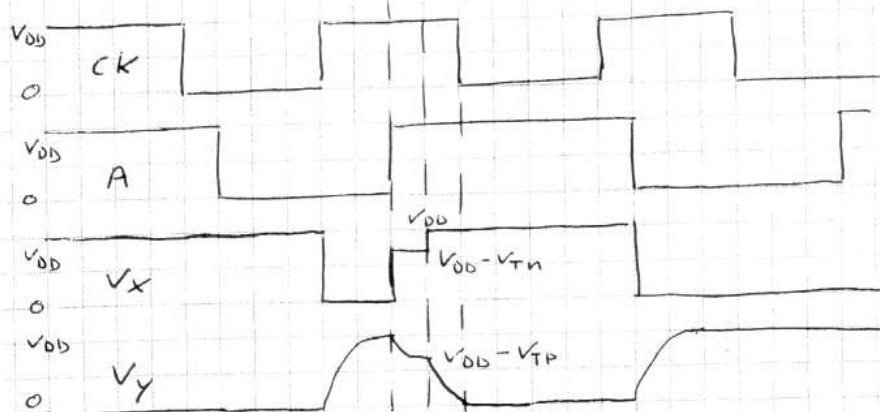
$V_{DD} = 3.3\text{ V}$ ,  $C = 3\text{ fF}$

Esame di ELETTRONICA AB (mod. B): svolgere gli esercizi 1 e 2.

Esame di ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI A: svolgere gli esercizi 3 e 4

Esame di FONDAMENTI DI ELETTRONICA A: svolgere almeno uno fra gli esercizi 1 e 2 e almeno uno fra gli esercizi 3 e 4.

- 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

Andamento qualitativo dei segnali  $V_x$  e  $V_y$ tempo di discesa [escursione logica  $V_{DD} \rightarrow 0$ ]

durante il transitorio di discesa:

$$CK = 1 \Rightarrow M1 \text{ ON} \Rightarrow V_x = V_{DD} - V_{tn} \Rightarrow M3 \text{ ON}$$

$$M4 \text{ OFF si accende per } V_y = V_{DD} - V_{tp}$$

$$M3 \text{ SAT se } V_y > V_x - V_{tn} = V_{DD} - V_{tn} - V_{tn} = V_{DD} - 2V_{tn} = 2.5V$$

$$1^{\circ} \text{ tratto } M3 \text{ SAT } (0.5V_{DD} \rightarrow V_{DD} - V_{tp})$$

$$t_1 = \int_{0.5V_{DD}=3.15}^{V_{DD}-V_{tp}=3.1} - \frac{C_y}{\frac{\beta_n}{2} (V_{DD} - V_{tn} - V_{tn})^2} dV_y = 3.2 \text{ ps}$$

$$2^{\circ} \text{ tratto } (V_{DD} - V_{tp} \rightarrow V_{DD} - V_{tn}) \quad V_{DD} - V_{tp} = 3.1V$$

$$M4 \text{ si accende} \Rightarrow V_x = V_{DD} \text{ istantaneamente}$$

$$M3 \text{ SAT se } V_y > V_{DD} - V_{tn} = 3V \Rightarrow M3 \text{ SAT}$$

$$t_2 = \int_{V_{DD}-V_{tp}}^{V_{DD}-V_{tn}} - \frac{C_y}{\frac{\beta_n}{2} (V_{DD} - V_{tn})^2} dV_y = 4.44 \text{ ps}$$

$$3^{\circ} \text{ tratto } (V_{DD} - V_{tn} \rightarrow 0.1V_{DD}) \quad M3 \text{ LIN}$$

$$t_3 = \int_{V_{DD}-V_{tn}}^{0.1V_{DD}} - \frac{C_y}{\beta_n \left[ (V_{DD} - V_{tn}) V_y - \frac{V_y^2}{2} \right]} dV_y = 185.43 \text{ ps}$$

$$t_f = t_1 + t_2 + t_3 = 193.07 \text{ ps}$$

2/2/06 es. 4

0 < t < 2 ms  $V_A = V_B = V_C = V_{DD}$

M1, M2, M3 ON, M4 OFF  $\rightarrow V_X = 0 \rightarrow$  M9 ON, M6 OFF  $\rightarrow V_U = V_{DD}$  (a)

2 ms < t < 4 ms  $V_A = V_C = V_{DD}, V_B = 0$

M1 OFF, M2 OFF, M3 ON  $\rightarrow V_X = V_{DD} \rightarrow$  M9 OFF, M7 OFF  $\rightarrow V_U$  alta impedenza.

Inizialmente,  $V_U = V_{DD}$ , poi si scarica a causa delle correnti di perdita.

$V_X$  - M9 OFF  
 $V_A$  - M6 ON  
 $V_B$  - M7 OFF  
 $V_C$  - M3 ON  
 $V_U$  - M1 OFF

$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$   
 $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$

$$\frac{V_{DD} - V_U}{R_1} - \frac{V_U}{R_2} = C \frac{dV_U}{dt} \rightarrow C \frac{dV_U}{dt} + V_U \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{V_{DD}}{R_1}$$

$$\rightarrow V_U(t) = A e^{-\frac{2t}{RC}} + B$$

$$V_U(0) = A + B = V_{DD}$$

$$V_U(t \rightarrow \infty) = B = V_{DD} \cdot \frac{1}{R_1 \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} = \frac{V_{DD}}{2} \rightarrow A = V_{DD} - \frac{V_{DD}}{2} = \frac{V_{DD}}{2}$$

$\rightarrow V_U(t) = \frac{V_{DD}}{2} \left( 1 + e^{-\frac{2t}{RC}} \right) \rightarrow t = t_0 + 2 \text{ ms} \rightarrow V_U = 3.094 \text{ V} \quad (t = 4 \text{ ms})$  (b)

4 ms < t < 6 ms  $V_A = V_{DD}, V_B = V_C = 0$

M1 ON, M2, M4 OFF, M3 ON  $\rightarrow V_X = V_{DD} \rightarrow$  identico al caso precedente:

$\rightarrow \dots \rightarrow V_U(6 \text{ ms}) = 2.914 \text{ V}$  (c)

6 ms < t < 8 ms  $V_A = V_B = V_{DD}, V_C = 0$

M1 OFF, M2 ON, M3 ON, M5 OFF, M4 ON  $\rightarrow V_X = V_{DD} \rightarrow$  M6 ON, M9 OFF, M7 ON, M8 ON  $\rightarrow V_U = 0$  (d)

8 ms < t < 10 ms  $V_A = 0, V_B = V_C = V_{DD}$

M1 ON, M2 ON, M3 OFF, M4 OFF, M5 OFF  $\rightarrow V_X$  alta impedenza  $\rightarrow V_X = V_{DD} \rightarrow$  M9 OFF, M6 ON, M7 ON, M8 OFF

$\rightarrow V_U$  alta impedenza: inizialmente  $V_U = 0$ , poi:

$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$   
 $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$   
 $\rightarrow \dots \rightarrow V_U(10 \text{ ms}) = 0.206 \text{ V}$  (e)

10 ms < t < 12 ms  $V_A = V_B = 0, V_C = V_{DD} \rightarrow$  M1 ON, M2 OFF, M3 OFF, M4 OFF, M5 ON  $\rightarrow V_X = V_{DD}$   
 $\rightarrow$  M9 OFF, M6 ON, M7 OFF, M8 ON  $\rightarrow$  identico al precedente  $\rightarrow \dots \rightarrow V_U(12 \text{ ms}) = 0.386 \text{ V}$  (f)

12 ms < t < 14 ms  $V_A = V_B = V_C = 0 \rightarrow$  M1, M2, M3 OFF, M4, M5 ON  $\rightarrow V_X = V_{DD}$

$\rightarrow$  M6 ON, M7, M8 OFF, M9 OFF  $\rightarrow$  analogo, ma con  $R_2 = 20 \text{ k}\Omega \rightarrow \dots \rightarrow V_U(14 \text{ ms}) = 0.559 \text{ V}$  (g)

14 ms < t < 16 ms  $V_A = V_C = 0, V_B = V_{DD} \rightarrow \dots \rightarrow V_X = V_{DD} \rightarrow \dots \rightarrow$  M6 ON, M7 ON, M8 OFF, M9 OFF

$\rightarrow$  analogo ( $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ )

$\rightarrow V_U(16 \text{ ms}) = 0.695 \text{ V}$  (h)

