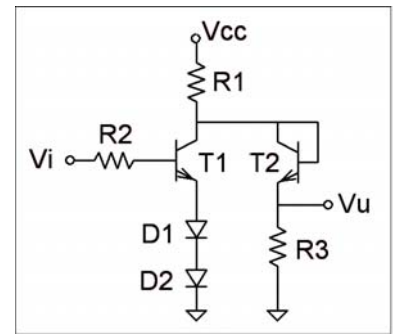


1) Nel circuito in figura, i transistori e i diodi possono essere descritti da un modello “a soglia”, con  $V_{\gamma}=0.75\text{ V}$  e  $V_{CE,sat}=0.2\text{ V}$ . Si determini la caratteristica statica di trasferimento  $V_u(V_i)$ , per  $0 < V_i < V_{CC}$ , specificando, per ogni tratto, la regione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

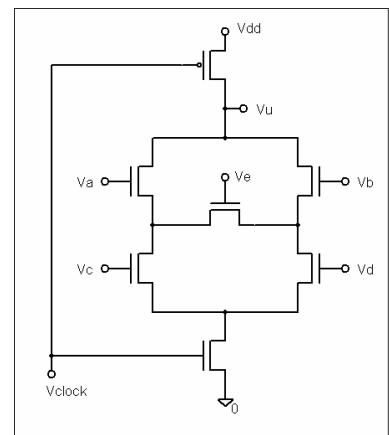
$V_{CC} = 5\text{ V}$ ,  $\beta_F = 100$ ,  $R_1 = 500\ \Omega$ ,  $R_2 = 15\text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 2\text{ k}\Omega$ .



2)  $a, b, c, d, e$  siano variabili logiche rappresentate in logica positiva (facendo corrispondere al valore logico “1” una tensione “alta” e al valore logico “0” una tensione “bassa”). Si determini la funzione logica svolta dal circuito in figura.

Tutti i transistori nMOS utilizzati siano caratterizzati dagli stessi parametri  $\beta_n$  e  $V_{Tn}$ ; tutti i transistori pMOS utilizzati siano caratterizzati dagli stessi parametri  $\beta_p$  e  $V_{Tp}$ , con  $V_{Tn} = -V_{Tp} = V_T$ . Si determinino i valori di  $\beta_n$  e  $\beta_p$  in maniera che:

- il tempo di discesa del segnale di uscita  $V_u$ , sia, nel caso peggiore, pari a  $0.5\text{ ns}$
- il tempo di discesa del segnale di uscita  $V_u$ , sia, nel caso migliore, pari al tempo di salita dello stesso segnale

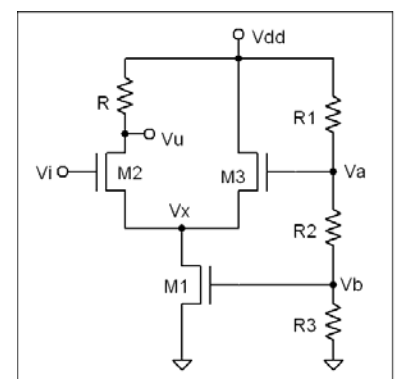


Si ipotizzi, a tale scopo, che la capacità vista dal nodo di uscita della rete sia pari a  $50\text{ fF}$ .

$V_{dd} = 3.5\text{ V}$ ,  $V_T = 0.5\text{ V}$ .

3) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalla tensione di soglia  $V_{Tn}$  e dai coefficienti  $\beta_1, \beta_2$  e  $\beta_3$ . Si determini l'escursione logica della rete.

$V_{dd} = 3.5\text{ V}$ ,  $V_T = 0.4\text{ V}$ ,  $\beta_1 = 3\text{ ma/V}^2$ ,  $\beta_2 = \beta_3 = 2\text{ ma/V}^2$ ,  $R = 25\text{ k}\Omega$ ,  $R_1 = 2.1\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 3.8\text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 1.5\text{ k}\Omega$ .



- 
- 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

30/6/05 Es. 1

T2 è commesso "a diodo":  $V_{EC} = 0 \rightarrow$  non può saturare -

Suppongo T1 OFF, T2 ON:  $\left. \begin{array}{l} D1, D2 \text{ ON} \leftrightarrow T1 \text{ ON} \end{array} \right\}$

$$V_i - R_2 I_{B1} - \underset{\substack{\parallel \\ 0}}{V_{BE1}} - \underset{\substack{\wedge \\ V_Y}}{V_{D1}} - \underset{\substack{\wedge \\ V_Y}}{V_{D2}} = 0 \rightarrow V_i < 3V_Y$$

$$V_{CC} - R_1 (I_{C1} + \underbrace{I_{E2} + I_{C2}}_{I_{E1}}) - \underset{\substack{\parallel \\ V_Y}}{V_{BE2}} - R_3 I_{E2} = 0 \rightarrow I_{E2} = \frac{V_{CC} - V_Y}{R_1 + R_3}$$

$$V_u = (V_{CC} - V_Y) \frac{R_3}{R_1 + R_3} = \underline{3.4V}$$

T1 ON, D1, D2 ON, T2 ON

$$\left. \begin{array}{l} V_i - R_2 I_{B1} - \underset{\substack{\parallel \\ V_Y}}{V_{BE1}} - \underset{\substack{\parallel \\ V_Y}}{V_{D1}} - \underset{\substack{\parallel \\ V_Y}}{V_{D2}} = 0 \\ I_{C1} = \beta_F I_{B1} \\ V_{CC} - R_1 (I_{C1} + I_{E2}) - V_Y - R_3 I_{E2} = 0 \\ V_u = R_3 I_{E2} \end{array} \right\} \rightarrow \left. \begin{array}{l} I_{B1} = \frac{V_i - 3V_Y}{R_2} \\ V_u = 9.4 - 2.66 V_i \end{array} \right\} \rightarrow V_u = 9.4 - 2.66 V_i \quad (*)$$

Vale finché:

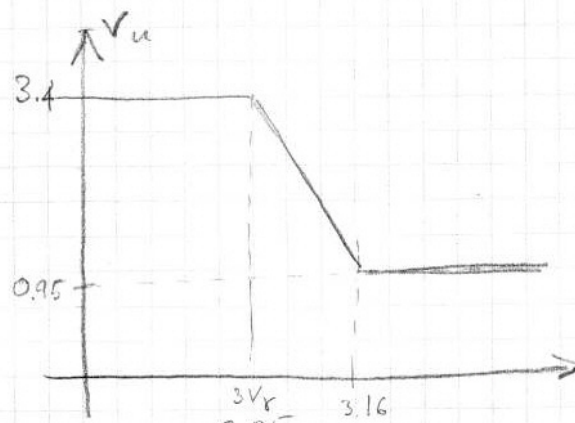
$$\left. \begin{array}{l} T1 \text{ RN} \rightarrow \text{SAT} : V_{CE1} > V_{CESAT} \\ V_{CE1} = \underset{\substack{\parallel \\ (*)}}{V_u} + \underset{\substack{\parallel \\ V_Y}}{V_{BE2}} - \underset{\substack{\parallel \\ V_Y}}{V_{D1}} - \underset{\substack{\parallel \\ V_Y}}{V_{D2}} \end{array} \right\} \rightarrow V_i < 3.16V \rightarrow T1 \text{ SAT prima che } T2 \text{ OFF}$$

oppure:

$$T2 \text{ RN} \rightarrow \text{OFF} : I_{E2} \approx 0 \rightarrow V_u > 0 \rightarrow V_i < 3.52V$$

T1 SAT, D1, D2 ON, T2 ON

$$\underset{\substack{\parallel \\ V_Y}}{V_{D1}} + \underset{\substack{\parallel \\ V_Y}}{V_{D2}} + \underset{\substack{\parallel \\ V_{CESAT}}}{V_{CE1}} - \underset{\substack{\parallel \\ V_Y}}{V_{BE2}} = V_u \rightarrow V_u = 0.95V$$



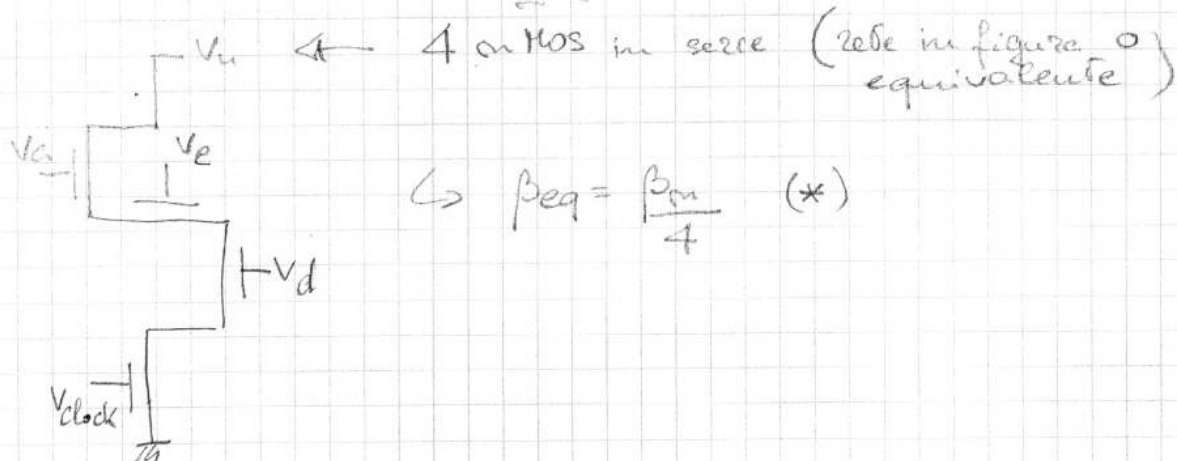
30/06/05 Es. 2

Si tratta di una logica dinamica PE, con funzione logica:

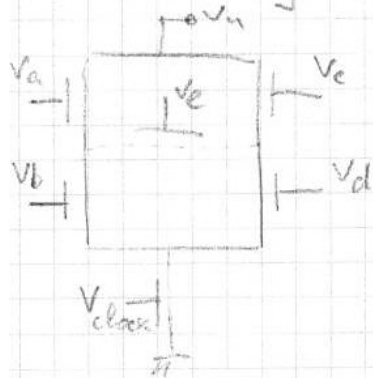
$$u = ac + bd + e(ad + bc)$$

La rete di PU è sempre costituita dal solo pMOS

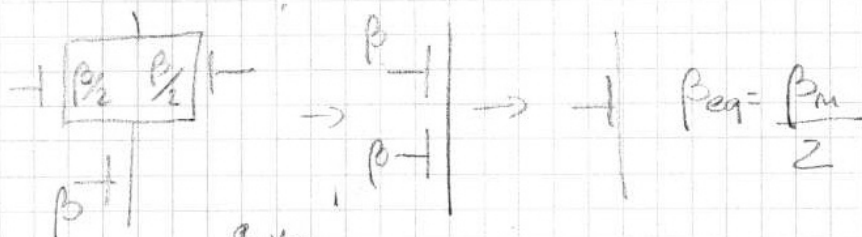
La rete di PD di caso peggiore è costituita da



Nel caso migliore:



il transistor controllato da  $V_e$  è percorso da corrente nulla ( $V_{DS} = 0$ ), quindi la rete equivale a



$$t_{salita} = \int_{V_{DD}/10}^{V_T} \frac{2C}{\beta_p (V_{DD} - V_T)^2} dV_u + \int_{V_T}^{\frac{9}{10} V_{DD}} \frac{C}{\beta_p \left[ (V_{DD} \cdot V_T)(V_{DD} \cdot V_u) \cdot \frac{(V_{DD} - V_u)^2}{2} \right]} dV_u = \dots = \frac{48 \cdot 10^{-15}}{\beta_p (**)}$$

$$t_{discesa} = \dots = \frac{48 \cdot 10^{-15}}{\beta_{eq}}$$

caso peggiore:  $t_{disc.} = 0.5 \text{ ns} \rightarrow \beta_{eq} = 96.05 \mu\text{A}/\text{V}^2 \xrightarrow{(*)} \beta_m = 384.2 \mu\text{A}/\text{V}^2$

caso migliore:  $\beta_{eq} = \frac{\beta_m}{2} \rightarrow t_{disc} = 0.25 \text{ ns}$

salita:  $t_{salita} = 0.25 \text{ ns} \xrightarrow{(**)} \beta_p = 192.1 \mu\text{A}/\text{V}^2$

30/6/05 ES.3

$$V_A = V_{DD} (R_2 + R_3) / (R_1 + R_2 + R_3) = 2.51 \text{ V}$$

$$V_B = V_{DD} R_3 / (R_1 + R_2 + R_3) = 0.71 \text{ V}$$

Calcolo di  $V_H$ : ipotizzo M2 OFF  $\rightarrow V_u = V_{DD} - RI_{D2} = V_{DD}$

$$\left. \begin{array}{l} \text{vale per } V_{GS2} < V_T \\ V_{GS2} = V_i - V_x \end{array} \right\} \rightarrow V_i < V_x + V_T$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{GS3} = V_A - V_x \\ V_{DS3} = V_{DD} - V_x \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} V_{GS3} < V_{DS3} + V_T \rightarrow \text{M2 SAT} \\ V_A - V_x < V_{DD} - V_x + V_T \end{array}$$

Suppongo M1 SAT:

$$I_{D1} = I_{D2} + I_{D3} \rightarrow \frac{\beta_1}{2} (V_B - V_T)^2 = \frac{\beta_2}{2} (V_A - V_x - V_T)^2 \rightarrow$$

$$\rightarrow V_x = \begin{cases} 1.73 \text{ V} \rightarrow V_{GS3} > V_T, \quad V_{GS1} < V_{DS1} + V_T \rightarrow \text{OK} \\ 2.48 \text{ V} \rightarrow V_{GS3} = V_A - V_x < V_T \rightarrow \text{NO} \end{cases}$$

$\rightarrow$  M2 OFF per  $V_i < V_x + V_T = 2.13 \text{ V}$  (\*)

Calcolo  $V_L$ . Suppongo  $V_i = V_{DD} = V_H$  (ancora da verificare)

M2 ON (HP. LIN)

$$I_{D1} = I_{D2} + I_{D3}, \quad I_{D2} = I_R$$

M1 ON (HP. SAT)

M3 ON (HP. SAT)

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\beta_2}{2} \left[ (V_i - V_x - V_T)(V_u - V_x) - \frac{(V_u - V_x)^2}{2} \right] = \frac{\beta_1}{2} (V_B - V_T)^2 + \frac{\beta_3}{2} (V_A - V_x - V_T)^2 \\ \frac{\beta_2}{2} \left[ \dots \right] = \frac{V_{DD} - V_u}{R} \end{array} \right.$$

$\rightarrow$  Sistema di 2 eq. di 2° grado  $\rightarrow$  4 soluzioni in  $V_u, V_x$

$V_u \quad V_x$

$$4.53 \quad 1.67 \rightarrow I_{D2} = \frac{(V_{DD} - V_u)}{R} < 0 \rightarrow \text{NO}$$

$$3.71 \quad 2.19 \rightarrow \text{IDEN} \rightarrow \text{NO}$$

$$2.45 \quad 2.42 \rightarrow V_{GS3} = V_A - V_x < V_T \rightarrow \text{NO}$$

$$1.85 \quad 1.82 \rightarrow \dots \rightarrow \text{OK}$$

Quindi:

$$V_L = 1.85, \quad V_H = 3.5$$

verifica:

$$V_i = V_L \xrightarrow{(*)} \text{M2 OFF} \rightarrow V_u = V_{DD}$$

OK