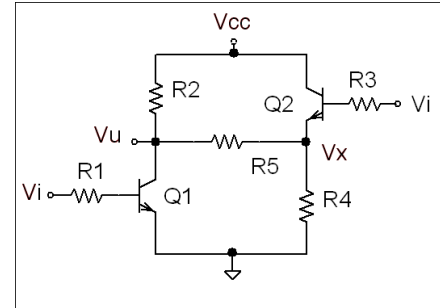


PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA
15 LUGLIO 2009

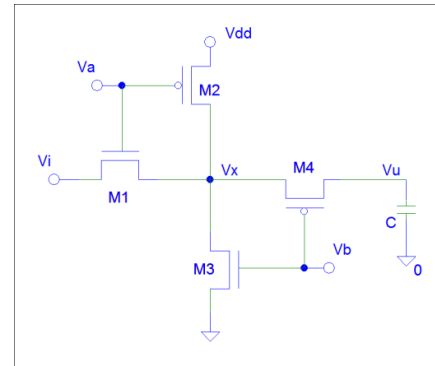
1) Nel circuito in figura, i transistori possono essere descritti da un modello "a soglia", con $V_T = 0.75 \text{ V}$ e $V_{CE,sat} = 0.2 \text{ V}$. Si determinino la caratteristica statica di trasferimento $V_u(V_i)$, per $0 < V_i < V_{CC}$, ed i margini d'immunità ai disturbi NM_L , NM_H , NM della rete.



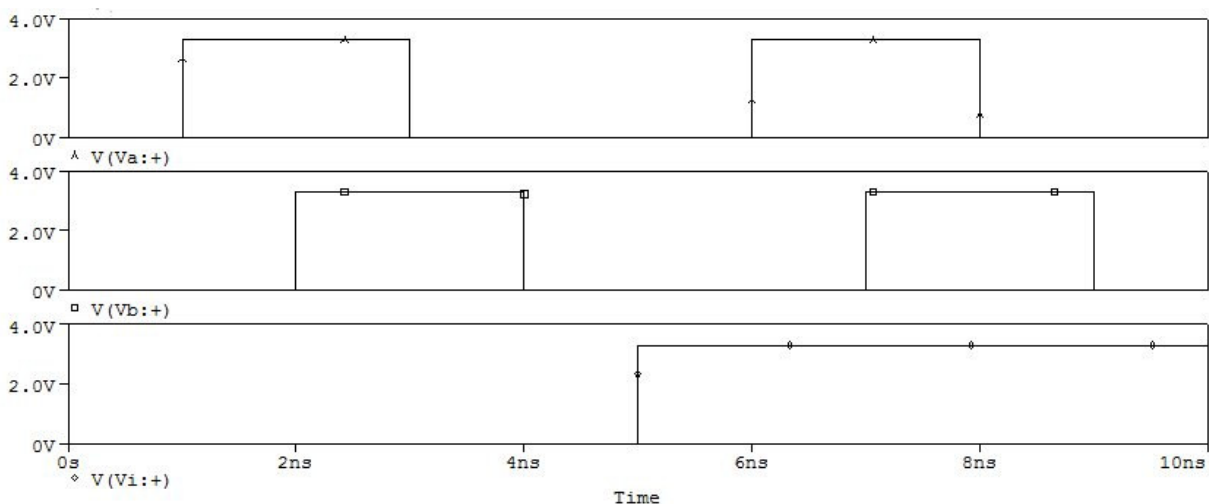
$V_{CC} = 5 \text{ V}$, $\beta_F = 100$, $R_1 = 5 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \Omega$, $R_3 = 100 \Omega$, $R_4 = 5 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 5 \text{ k}\Omega$.

2) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalle tensioni di soglia V_{Tn} e V_{Tp} e dai coefficienti β_n e β_p .

I segnali di ingresso (V_a , V_b e V_i) hanno l'andamento mostrato in figura. Si determini il corrispondente andamento di V_x e V_u , calcolandone i valori in corrispondenza di ciascuna transizione. E' lecito, a questo scopo, considerare istantanea ciascuna transizione (si trascurino cioè i tempi di transitorio).



$V_{dd} = 3.3 \text{ V}$, $V_{Tn} = 0.45 \text{ V}$, $V_{Tp} = -0.35 \text{ V}$, $\beta_n = 1 \text{ mA/V}^2$, $\beta_p = 800 \mu\text{A/V}^2$.



15/7/2009 Esercizio 1

Osservazione preliminare: Q2 quando è on è in AD, essendo sempre $v_{bc}(Q2) \leq 0$.

Regione 1 : $v_i < v_\gamma$: Q1 ad, Q2 off, $v_u = v_{cc} \cdot (r_4 + r_5) / (r_4 + r_5 + r_2) = 4.95 \text{ V}$.

Regione 2: Per $v_i > v_\gamma$: Q1 AD, Q2 off. Calcolo dei punti notevoli.

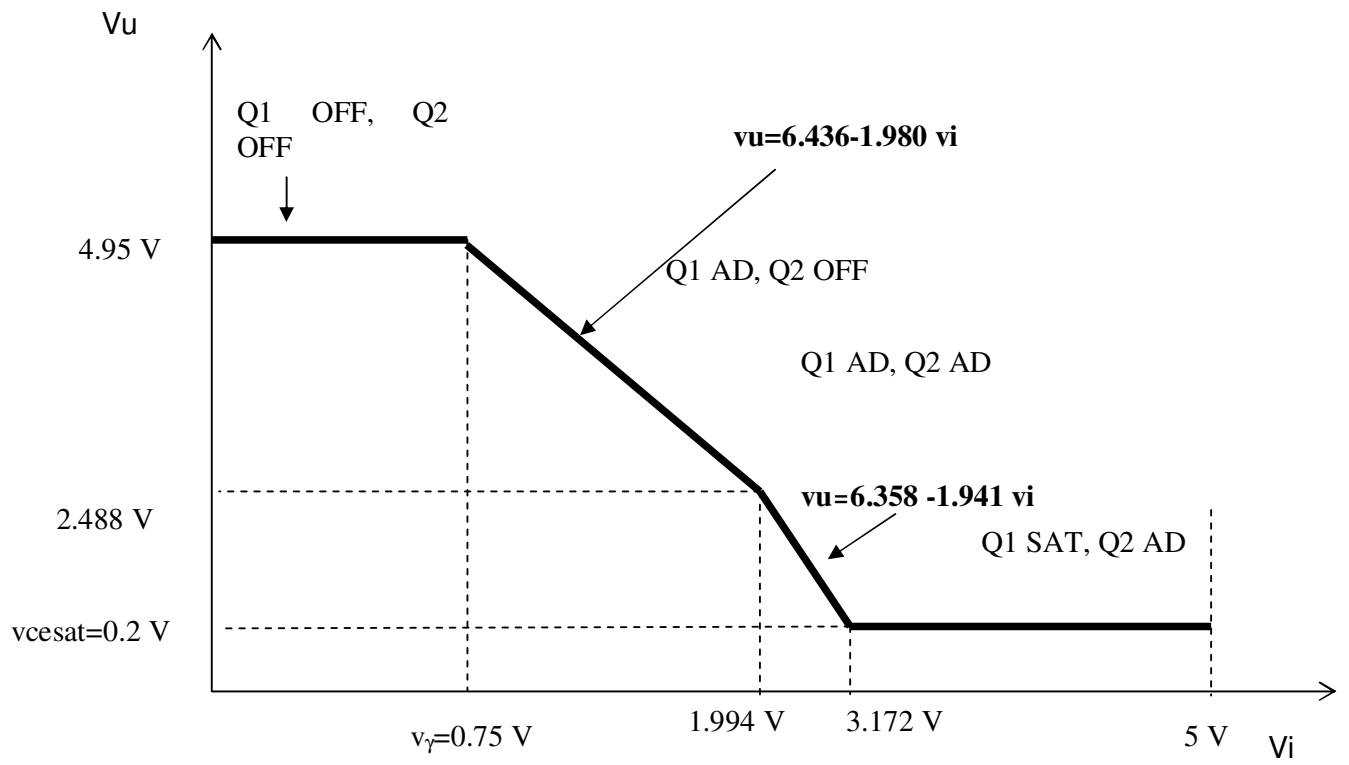
$i_{b1} = (v_i - v_\gamma) / r_1$ $i_{r2} = (v_{cc} - v_u) / r_2$ $i_{r5} = v_u / (r_5 + r_4)$ $i_{c1} = \beta_f \cdot i_{b1}$ Ma $i_{r2} = i_{c1} + i_{r5}$ $v_x = r_4 \cdot v_u / (r_4 + r_5)$	Risolvendo il sistema di equazioni si trova che: $v_u = 6.436 - 1.980 v_i$, e $v_x = 3.218 - 0.990 v_i$ Si può notare come in questa regione $dv_u/dv_i = 1.980 > 1$. Quindi il primo punto notevole coincide con il punto angolare prima trovato, e cioè: $V_{OHMIN} = 4.95 \text{ V}$, $V_{ILMAX} = v_\gamma = 0.75 \text{ V}$.
Si rimarrà in questa regione fintantochè Q1 va SAT o Q2 va ON. Q1 va sat : quando $v_u = v_{cesat}$ con $v_u = 6.436 - 1.980 v_i$, quindi sse $v_i = 3.149 \text{ V}$.	Q2 va ON quando $v_i - v_x = v_\gamma$, con $v_x = 3.218 - 0.990 v_i$ quindi sse $v_i = 1.994 \text{ V}$ E' quindi Q2 ad accendersi.
Regione 2: $v_\gamma < v_u < 1.994 \text{ V}$.	

Regione 3: Per $v_i > 1.994 \text{ V}$: Q1 AD, Q2 AD.

$i_{b1} = (v_i - v_\gamma) / r_1$ $i_{r2} = (v_{cc} - v_u) / r_2$ $i_{c1} = \beta_f \cdot i_{b1}$ $i_{b2} = (v_i - v_\gamma - v_x) / r_3$ $i_{r5} = (v_u - v_x) / r_5$ $i_{r4} = v_x / r_4$.	Ma $i_{r2} = i_{c1} + i_{r5}$ $i_{r4} = i_{r5} + (\beta_f + 1) i_{b2}$ Risolvendo il sistema di equazioni si trova che: $v_u = 6.358 - 1.941 v_i$, $v_x = -0.748 + 0.999 v_i$. Si può notare come in questa regione $dv_u/dv_i = 1.941 > 1$. Quindi il secondo punto notevole non si trova tra la regione 2 e 3.
Si rimarrà in questa regione fintantochè Q1 non va SAT o Q2 non va OFF. Q1 va sat : quando $v_u = v_{cesat}$ $v_u = 6.358 - 1.941 v_i$, quindi sse $v_i = 3.172 \text{ V}$.	Il punto di passaggio dalla regione 3 alla 4 è allora il secondo punto notevole: $V_{IHMIN} = 3.172 \text{ V}$, $V_{ILMAX} = v_{cesat} = 0.2 \text{ V}$. Si ricava allora che $NM_H = (4.95 - 3.172) \text{ V} = 1.778 \text{ V}$ e $NM_L = (0.75 - 0.2) \text{ V} = 0.55 \text{ V} = NM$
Regione 3: $1.994 \text{ V} < v_i < 3.172 \text{ V}$	

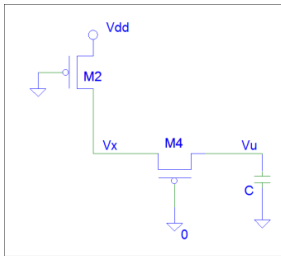
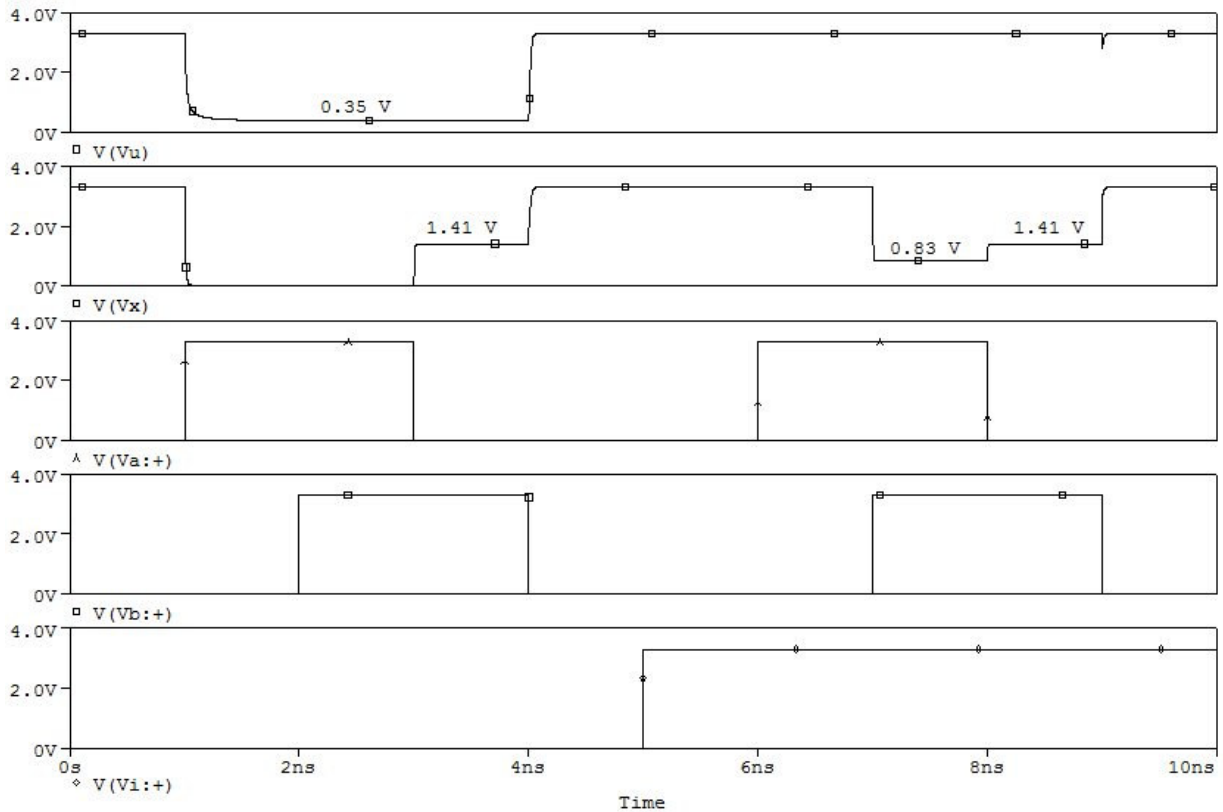
Regione 4: Per $v_i > 3.172 \text{ V}$, $v_u = v_{cesat}$.

Caratteristica statica di trasferimento.



15/7/2009 Esercizio 2

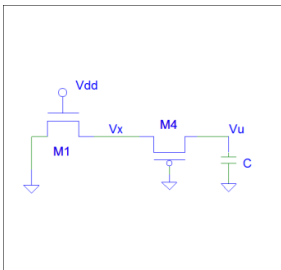
L'andamento dei segnali è riportato nella figura seguente:



$0 < t < 1 \text{ ns}, V_a = V_b = V_i = 0$

$M_1 \text{ off}, M_2 \text{ on}, M_3 \text{ off}, M_4 \text{ on}$

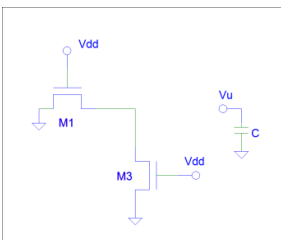
$V_x = V_u = V_{dd}$



$1 \text{ ns} < t < 2 \text{ ns}, V_a = V_{dd}, V_b = V_i = 0$

$M_1 \text{ on}, M_2 \text{ off}, M_3 \text{ off}, M_4 \text{ on}$

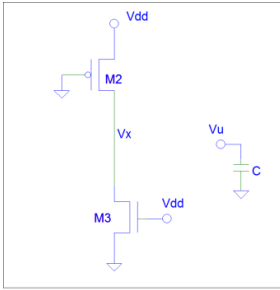
$V_x = 0$
 $V_u = |V_{tp}|$ (pull down pMOS)



$2 \text{ ns} < t < 3 \text{ ns}, V_a = V_b = V_{dd}, V_i = 0$

$M_1 \text{ on}, M_2 \text{ off}, M_3 \text{ on}, M_4 \text{ off}$

$V_x = 0$
 $V_u = |V_{tp}|$ (alta impedenza)



$3\text{ ns} < t < 4\text{ ns}$, $V_a = 0, V_b = V_{dd}, V_i = 0$

$M_1\text{ off}, M_2\text{ on}, M_3\text{ on}, M_4\text{ off}$

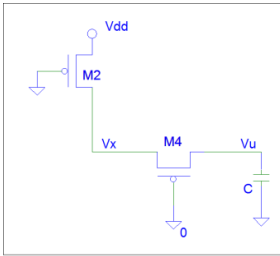
$V_u = |V_{Tp}|$ (alta impedenza)

Calcolo di V_x : sono accesi sia il pull-up (M_2) che il pull-down (M_3). Ipotizzo entrambi in regione lineare di funzionamento:

$$\left. \begin{aligned} I_{D3} &= \beta_3 \left((V_{dd} - V_{Tn})V_x - \frac{V_x^2}{2} \right) \\ I_{D2} &= \beta_2 \left((V_{dd} - |V_{Tp}|)(V_{dd} - V_x) - \frac{(V_{dd} - V_x)^2}{2} \right) \\ I_{D3} &= I_{D2} \end{aligned} \right\} \rightarrow \dots \rightarrow \begin{cases} V_x = 1.41\text{ V} \\ V_x = 24.29\text{ V} \end{cases}$$

Verifiche:

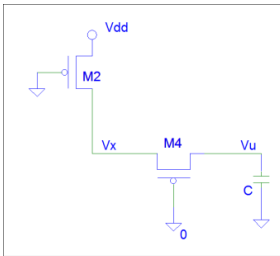
$$\begin{aligned} V_x = 1.41\text{ V} &\rightarrow \begin{cases} V_{GS3} > V_{DS3} + V_{Tn} \rightarrow V_{dd} > V_x + V_{Tn} \text{ (OK)} \\ V_{SG2} > V_{SD2} + |V_{Tp}| \rightarrow V_{dd} > (V_{dd} - V_x) + |V_{Tp}| \text{ (OK)} \end{cases} \\ V_x = 24.29\text{ V} &\rightarrow \begin{cases} V_{GS3} > V_{DS3} + V_{Tn} \rightarrow V_{dd} > V_x + V_{Tn} \text{ (NO)} \\ V_{SG2} > V_{SD2} + |V_{Tp}| \rightarrow V_{dd} > (V_{dd} - V_x) + |V_{Tp}| \text{ (NO)} \end{cases} \end{aligned} \rightarrow V_x = 1.41\text{ V}$$



$4\text{ ns} < t < 5\text{ ns}$, $V_a = V_b = V_i = 0$

$M_1\text{ off}, M_2\text{ on}, M_3\text{ off}, M_4\text{ on}$

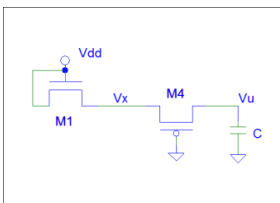
$V_x = V_u = V_{dd}$



$5\text{ ns} < t < 6\text{ ns}$, $V_a = V_b = 0, V_i = V_{dd}$

$M_1\text{ off}, M_2\text{ on}, M_3\text{ off}, M_4\text{ on}$

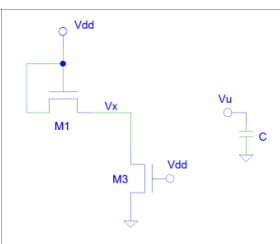
$V_x = V_u = V_{dd}$ ($M_1\text{ off} \rightarrow$ l'ingresso V_i è isolato)



$6\text{ ns} < t < 7\text{ ns}$, $V_a = V_{dd}, V_b = 0, V_i = V_{dd}$

$M_1\text{ off}, M_2\text{ off}, M_3\text{ off}, M_4\text{ on}$

M_1 è un pull-up a canale n "saturato" (inadatto a pilotare l'uscita al valore alto di piena escursione) ma $V_x = V_{dd} \rightarrow V_{GS1} = 0 < V_{Tn} \rightarrow M_1\text{ off}$
 $V_x = V_u = V_{dd}$ (alta impedenza)



$7\text{ ns} < t < 8\text{ ns}$, $V_a = V_b = V_i = V_{dd}$

$M_1\text{ on}, M_2\text{ off}, M_3\text{ on}, M_4\text{ off}$

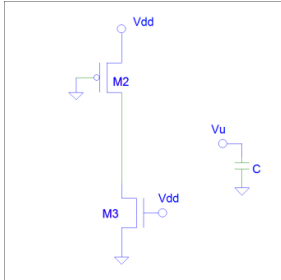
$V_u = V_{dd}$ (alta impedenza)

Calcolo di V_x : sono accesi sia il pull-up (M_1 , necessariamente saturo) che il pull-down (M_3). Ipotizzo M_3 in regione lineare di funzionamento:

$$\left. \begin{aligned} I_{D3} &= \beta_3 \left((V_{dd} - V_{Tn})V_x - \frac{V_x^2}{2} \right) \\ I_{D1} &= \frac{\beta_2}{2} (V_{dd} - V_x - V_{Tn})^2 \\ I_{D3} &= I_{D2} \end{aligned} \right\} \rightarrow \dots \rightarrow \begin{cases} V_x = 0.83 \text{ V} \\ V_x = 4.86 \text{ V} \end{cases}$$

Verifiche:

$$\begin{aligned} V_x = 0.83 \text{ V} &\rightarrow V_{GS3} > V_{DS3} + V_{Tn} \rightarrow V_{dd} > V_x + V_{Tn} \text{ (OK)} \\ V_x = 4.86 \text{ V} &\rightarrow V_{GS3} > V_{DS3} + V_{Tn} \rightarrow V_{dd} > V_x + V_{Tn} \text{ (NO)} \end{aligned} \rightarrow V_x = 0.83 \text{ V}$$

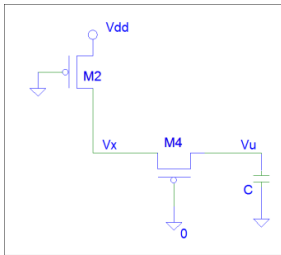


$$8 \text{ ns} < t < 9 \text{ ns}, V_a = 0, V_b = V_i = V_{dd}$$

M_1 off, M_2 on, M_3 on, M_4 off

$V_u = V_{dd}$ (alta impedenza)

Analogo all'intervallo $[3 \text{ ns} < t < 4 \text{ ns}]$, per cui $V_x = 1.41 \text{ V}$



$$9 \text{ ns} < t < 10 \text{ ns}, V_a = V_b = 0, V_i = V_{dd}$$

M_1 off, M_2 on, M_3 off, M_4 on

Analogo all'intervallo $[5 \text{ ns} < t < 6 \text{ ns}]$, per cui:

$V_x = V_u = V_{dd}$ (M_1 off \rightarrow l'ingresso V_i è isolato)