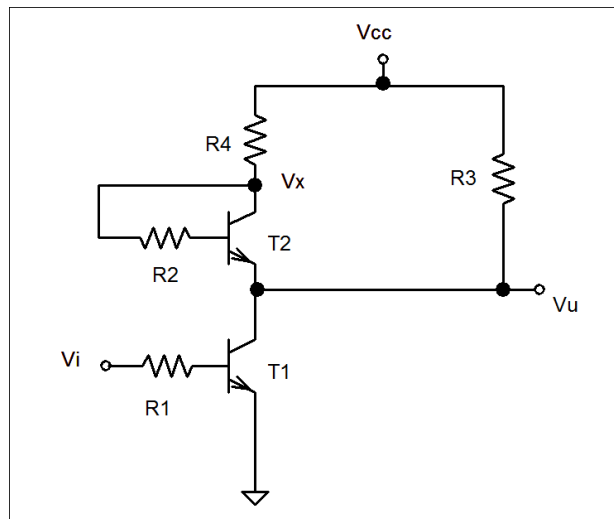


PROVA SCRITTA DI FONDAMENTI DI ELETTRONICA A
28 GENNAIO 2010

- 1) Nel circuito in figura, i transistori bipolari 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 $0 < v_i < v_{cc}$, ed i margini d’immunità ai disturbi N_{ML} , N_{MH} e N_M della rete.

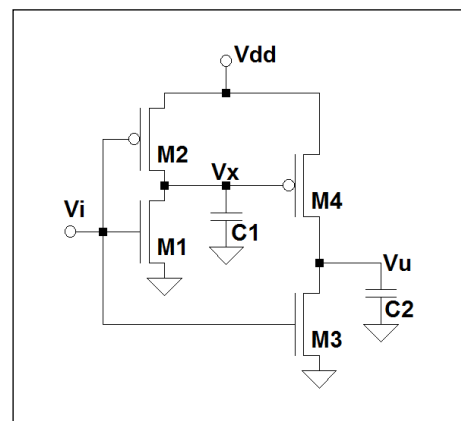


$V_{cc} = 5.0\text{ V}$, $\beta_F=100$, $R_1 = 20\text{ k}\Omega$, $R_2 = 5\text{ k}\Omega$, $R_3 = 2\text{ k}\Omega$, $R_4 = 500\text{ }\Omega$.

- 2) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalle tensioni di soglia $V_{Tn}=-V_{Tp}=V_T$ e dai coefficienti β_n e β_p . Il segnale di ingresso V_i è periodico, alternando i valori 0 e V_{dd} , con periodo di 4 ns e duty-cycle pari al 50%.

Si determini il corrispondente andamento di V_u ; a tale scopo si considerino “brusche” le transizioni del segnale V_x , ritardate rispetto alla variazione del segnale V_i di un tempo pari al tempo di propagazione associato alla transizione specifica (cioè al tempo necessario a compiere il 50% di ciascuna transizione). Si determinino quindi tali tempi di transizione.

Si determini infine la potenza statica media erogata dal generatore V_{dd} . A tale scopo si trascurino le potenze associate ai transistori di carica e scarica delle capacità.



$V_{dd} = 3.3\text{ V}$, $V_T = 0.4\text{ V}$, $\beta_n=1.2\text{ mA/V}^2$, $\beta_p=750\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $C_1=250\text{ fF}$, C_2 trascurabile.

Esercizio 1

Osservazioni preliminari:

1) T2 quando ON è in AD. Inoltre T2 può essere ON solo se T1 è ON.

Regione 1: $v_i < v_\gamma$: T1 OFF ; T2 OFF. T2 off (perché T1 è off), allora $i_{r4} = (v_{cc} - v_x)/r_4 = 0$, sse $v_x = v_{cc}$. $i_{r3} = (v_{cc} - v_u)/r_3 = 0$ sse $v_u = v_{cc}$.

Regione 2: $v_i > v_\gamma$: T1 AD ; T2 OFF

$i_{r3} = (v_{cc} - v_u)/r_3$ $i_{b1} = (v_i - v_\gamma)/r_1$ Ma $i_{r3} = \beta f \cdot i_{b1}$ Risolvendo si trova che: $v_u = 12.5 - 10 v_i$	Il punto di passaggio dalla regione 1 alla 2 è un punto angoloso che corrisponde al punto (V_{ILMAX} , V_{OHMIN}), essendo il punto in cui la caratteristica passa da una regione ad $ A_v = 0$ ad una ad $ A_v (=10) > 1$. Ne determino le coordinate: (V_{ILMAX} , V_{OHMIN}) = (v_γ , v_{cc}) Si rimane in questa regione fintantoché T1 va sat o T2 va ON.
1) T1 va sat quando $v_u = v_{cesat}$ Ma $v_u = 12.5 - 10 v_i = v_{cesat}$ sse $v_i = 1.23V$	2) T2 va on (in AD) quando $v_x - v_u = v_\gamma$, ma $v_x = v_{cc}$, quindi quando $v_{cc} - v_u = v_\gamma$ sse $v_i = 0.825 V$
Delle due condizioni quella che si verifica prima è allora l'accensione di T2	
Regione 2: per $v_\gamma < v_i < 0.825 V$	

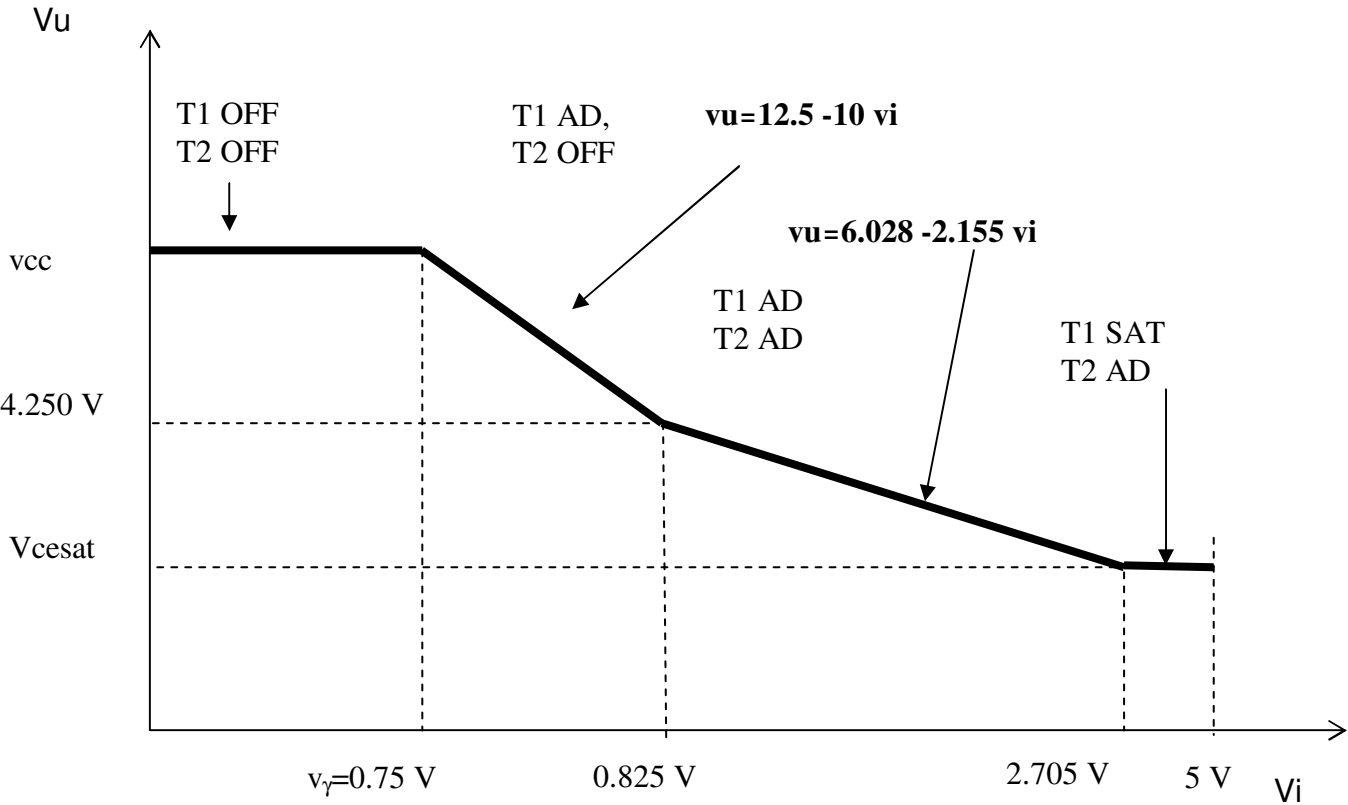
Regione 3: T1 ON in AD, T2 AD.

$i_{r3} = (v_{cc} - v_u)/r_3$ $i_{r4} = (v_{cc} - v_x)/r_4$ $i_{b2} = (v_x - v_u - v_\gamma)/r_2$ $i_{b1} = (v_i - v_\gamma)/r_1$	Ma $i_{r4} + (v_{cc} - v_u)/r_3 = \beta f \cdot i_{b1}$ e $i_{b2} \cdot (\beta f + 1) = i_{r4}$ Risolvendo si trova che: $v_x = 6.618 - 1.961 v_i$, $v_u = 6.028 - 2.155 v_i$
Il transistor T1 rimane in AD fintantoché $v_u > v_{cesat}$, ma $v_u = 6.028 - 2.155 v_i$, quindi sse $v_i < 2.704 V$.	
Regione 3: per $0.825 V < v_i < 2.704 V$	

Regione 4: T1 SAT, e T2 AD.

$v_u = v_{cesat} = 0.2V$, quindi $A_v = dv_u/dv_i = 0$. Il punto di passaggio dalla regione 3 alla 4 è un punto angoloso che corrisponde al punto (V_{IHMIN} , V_{OLMAX}), essendo il punto in cui la caratteristica passa da una regione ad $ A_v (=2.155) > 1$ ad una ad $ A_v = 0$. Ne determino le coordinate (V_{IHMIN} , V_{OLMAX}), = (2.705, 0.2)	
$NM_H = (V_{OHMIN} - V_{IHMIN}) = v_{cc} - 2.705 V = 2.295 V$ $NM_L = (V_{ILMAX} - V_{OLMAX}) = v_\gamma - 0.2 V = 0.55 V = NM$	

Di seguito si riporta la caratteristica statica di trasferimento.



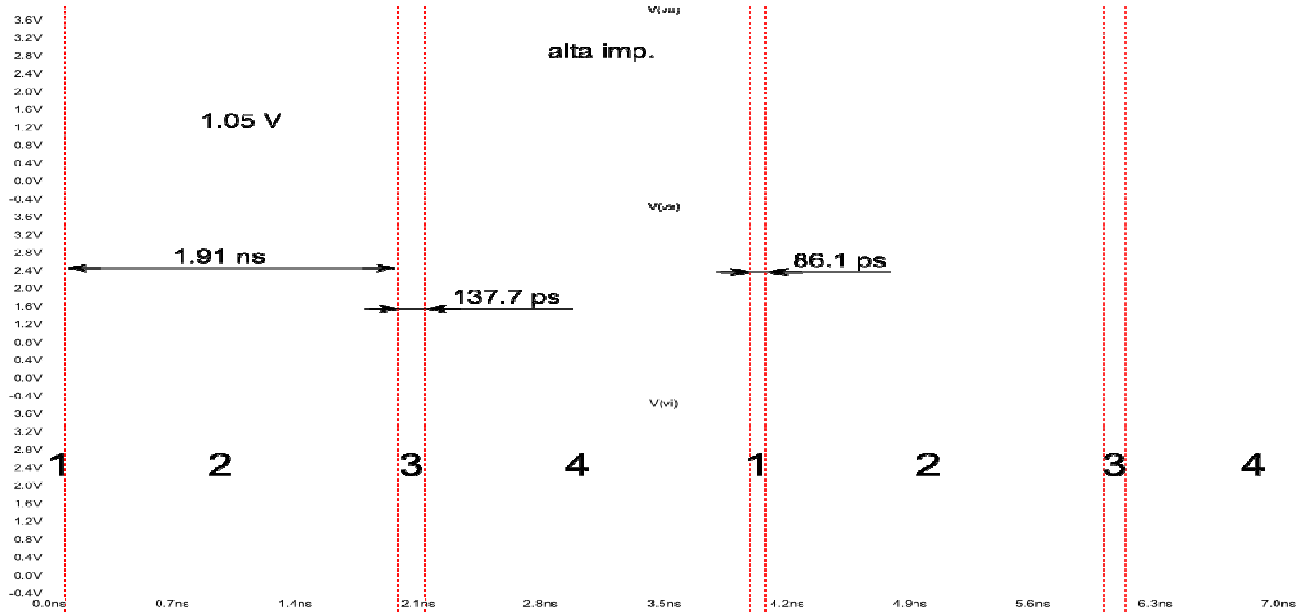
Esercizio 2

Il segnale V_x è l'uscita di un invertitore CMOS, con ingresso V_i . I tempi di propagazione possono quindi essere calcolati utilizzando le relazioni generali già calcolate, e risultano:

$$t_{pX,HL} = 86.1 \text{ ps}$$

$$t_{pX,LH} = 137.7 \text{ ps}$$

L'andamento qualitativo dell'uscita è quindi mostrato in figura:



Inizialmente (1), $V_i = V_{dd}$, M_3 on \rightarrow dopo $t_{pX,HL}$, $V_x = 0$, M_4 on (2). Lo stadio finale ha quindi pull-up e pull-down simultaneamente accesi, e quindi è attraversato da una corrente statica non nulla. Il valore di V_u può venire calcolato imponendo l'uguaglianza delle correnti. Ipotizzando che M_3 e M_4 lavorino in regime lineare:

$$\left. \begin{aligned} I_{D3} &= \beta_n \left((V_{dd} - V_T)V_u - \frac{V_u^2}{2} \right) \\ I_{D4} &= \beta_p \left((V_{dd} - V_T)(V_{dd} - V_u) - \frac{(V_{dd} - V_u)^2}{2} \right) \\ I_{D3} &= I_{D4} \end{aligned} \right\} \rightarrow V_u = \begin{cases} 1.05 \text{ V} \\ 13.08 \text{ V (inaccettabile)} \end{cases}$$

La soluzione $V_u = 1.05 \text{ V}$ soddisfa le ipotesi di funzionamento lineare:

$$\left. \begin{aligned} V_{GS3} &= V_{dd} \\ V_{DS3} &= V_u \end{aligned} \right\} \rightarrow V_{GS3} > V_{DS3} + V_T$$

$$\left. \begin{aligned} V_{SG4} &= V_{dd} \\ V_{SD4} &= (V_{dd} - V_u) \end{aligned} \right\} \rightarrow V_{SG4} > V_{SD4} + V_T$$

In queste condizioni, si ha:

$$I_{D3} = I_{D4} = 2.99 \text{ mA}$$

Successivamente (3), $V_i = 0$, M_3 off, mentre è ancora $V_x = 0$, a causa del ritardo $t_{pX,LH}$. In questo intervallo, quindi, è acceso il PU e spento il PD, per cui istantaneamente $V_u = V_{dd}$ (C_2 è trascurabile). Infine (4) $V_x = V_{dd} \rightarrow$ si spegne anche il PU e l'uscita si porta in alta impedenza, mantenendo costante il valore $V_u = V_{dd}$ fino al termine del periodo. Il ciclo si ripete quindi periodicamente.

Il generatore V_{dd} eroga quindi una corrente statica durante l'intervallo (2), che ha durata pari a

$$\frac{T}{2} - t_{pX,HL} = 2 \text{ ns} - 86.1 \text{ ps} = 1.9139 \text{ ns}$$

La potenza media vale quindi:

$$\tilde{P} = \frac{1}{T} \int_0^T V_{dd} I(t) dt = \frac{1}{T} \left(\int_0^{86.1 \text{ ps}} V_{dd} \cdot 0 dt + \int_{86.1 \text{ ps}}^{2 \text{ ns}} V_{dd} \cdot (2.99 \text{ mA}) dt + \int_{2 \text{ ns}}^{4 \text{ ns}} V_{dd} \cdot 0 dt \right) = 4.73 \text{ mW}$$