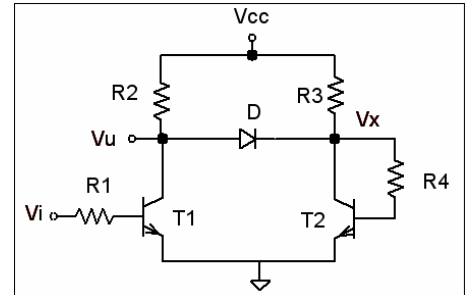


PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA  
3 LUGLIO 2007

1) Nel circuito in figura, i transistori e il diodo 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  $0 < V_i < V_{cc}$ .

$V_{cc} = 5\text{ V}$ ,  $\beta_F = 100$ ,  $R_1 = 3\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 100\text{ }\Omega$ ,  $R_3 = 5\text{ k}\Omega$ ,  $R_4 = 2\text{ k}\Omega$ .

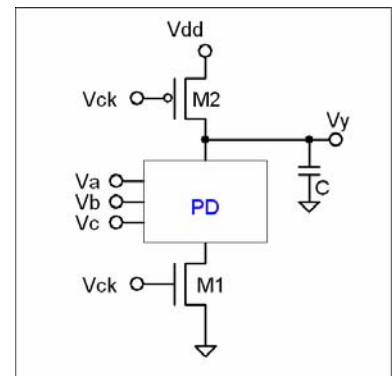


2) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalla tensione di soglia  $V_{Tn}=|V_{Tp}|=V_T$ . La rete di pull-down PD sia realizzata con transistori identici, aventi coefficiente  $\beta_{PD}$ , e, assumendo che il valore logico "1" sia rappresentato dai valori alti di tensione, deve realizzare la funzione logica:

$$Y = \overline{ab+ac+bc}$$

Si determinino i valori di  $\beta_1$  e  $\beta_{PD}$  in modo che il tempo di propagazione  $T_{p,HL}$  sia pari a 15 ps nel caso migliore, e a 20 ps nel caso peggiore.

$V_{dd} = 3.3\text{ V}$ ,  $C = 20\text{ fF}$ ,  $V_T = 0.4\text{ V}$ .



Osservazioni preliminari:

- i) D è schiavo di T2, quindi sarà on solo quando anche T2 è on, mentre T2 può essere on anche se D è off;
- ii) Se Q2 è on (cioè  $v_{be2}=v_\gamma$ ), allora è in AD: infatti se fosse sat  $v_{ce2}=0.2V=v_{be2}-v_{bc2}=v_\gamma+v_{cb2}$ , ma  $v_{cb2}$  deve essere  $\geq 0$ , quindi si avrebbe un assurdo.

**Regione 1:** T1 off e T2 on in AD e D on. T1 sarà off fintantoché  $v_i < v_\gamma$ .

$ir2=(v_{cc}-v_u)/r2$ $ir3=(v_{cc}-v_x)/r3$ $ib2=(v_x-v_\gamma)/r4$ $v_x=v_u-v_\gamma$ Ma $ir2+ir3=(\beta_f+1)*ib2$	da cui si ricava che <b><math>v_u=2.091\text{ V}</math></b> (quindi $v_x=1.341\text{ V}$ ), valore che soddisfa tutte le hp fatte.  Si rimane in regione 1 fintantoché T1 va on, quindi per $v_i > v_\gamma$ .
---	--

**Regione 2 :** T1 on in AD, T2 on in AD, D on.

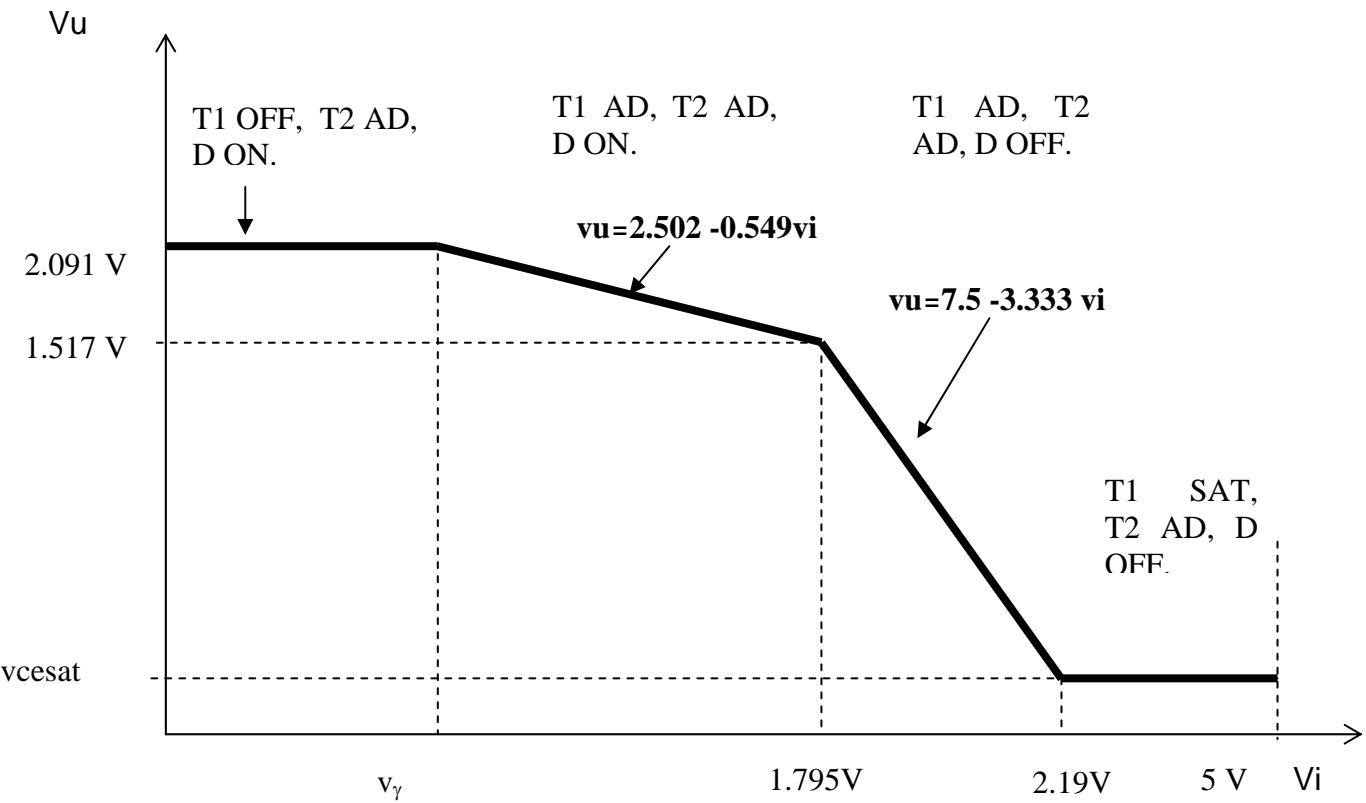
$ib1=(v_i-v_\gamma)/r1$ $ir2=(v_{cc}-v_u)/r2$ $ir3=(v_{cc}-v_x)/r3$ $ib2=(v_x-v_\gamma)/r4$ Ma $ir2+ir3=\beta_f*ib1+(\beta_f+1)*ib2$	Risolvendo si trova che: <b><math>v_u=2.502 - 0.549v_i</math></b>  Si rimane in questa regione fintantoché (A) D1 va off, (B) oppure T1 va sat, (C) oppure T2 va off.
<b>(A)</b> Quando D va off, $i_{diode}=0$ $ir2=(v_{cc}-v_u)/r2$ $ib1=(v_i-v_\gamma)/r1$ $v_u=2.502 - 0.549v_i$ Ma $ir2=\beta_f*ib1$ da cui si ricava che $v_i=1.795\text{ V}$ .	$v_{ce1}(=v_{cesat})=v_{ce2}+v_{diode}$ (dove $v_{ce2}>0$ ), che dà un assurdo.  <b>(C)</b> Invece quando T2 è off $v_x=v_{cc}$ , allora essendo $v_{diode}=v_{cc}-ir2-v_x$ , Q2 può andare off se il diodo è già off.
<b>(B)</b> Si può osservare che quando T1 va sat (ovvero $v_{ce1}=0.2V$ ), il diodo dovrà già essere off, poiché quando il diodo è on si trova che Si rimane in regione 2 per $v_\gamma < v_i < 1.795V$ .	Delle condizioni succitate quella corretta è la (A), per cui si rimane in regione 2 fintantoché $v_i < 1.795\text{ V}$ .

**Regione 3:** T1 AD, T2 AD, D off. In queste condizioni il ramo d'ingresso è disaccoppiato da quello d'uscita. Per valutare  $v_u$  posso considerare solo il ramo d'ingresso

$ib1=(v_i-v_\gamma)/r1$ $ir2=(v_{cc}-v_u)/r2$  Ma $ir2=\beta_f*ib1$ , da cui si ricava che: <b><math>v_u=7.5 - 3.333v_i</math></b>	Si rimane in questa regione fintantoché T1 va sat: $v_u=7.5 - 3.333v_i=v_{cesat}$ da cui si ricava che $v_i=2.19\text{ V}$  Si rimane in regione 3 per $1.795V < v_i < 2.19V$
--	---

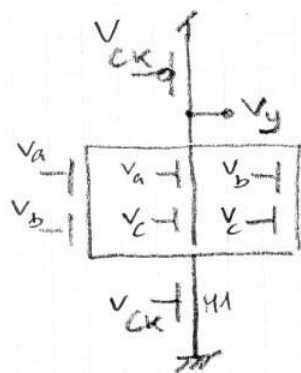
**Regione 4:** Per  $v_i > 2.19V$ , T1 sat, T2 AD, D off:  $v_u = v_{cesat}$ .

Di seguito si riporta la caratteristica statica di trasferimento.



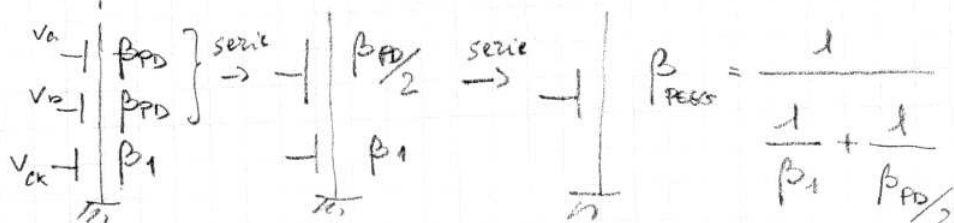
3/7/07 - es. 2

La funzione può essere realizzata con il circuito

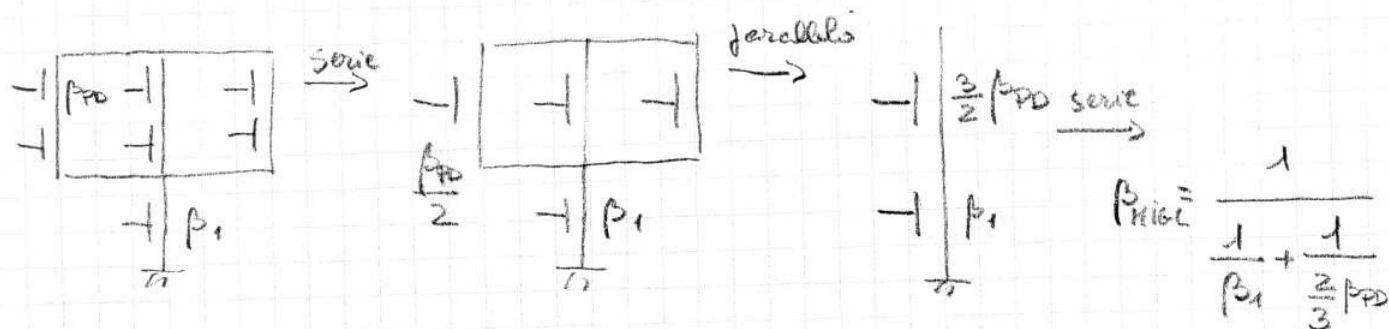


la rete di PD è equivalente a un transistore nMOS.

Nel caso peggiore, uno solo dei 3 rami in parallelo è attivo (esempio:  $V_a = V_b = V_{cc}$ ,  $V_c = 0$ )



Nel caso migliore, tutti e 3 i rami sono attivi ( $V_a = V_b = V_c = V_{DD}$ ) e quindi



$t_{PHL}$  è il tempo di propagazione associato alla scarica di  $C$  attraverso il nMOS equivalente. Dalla Teoria:

$$t_{PHL} = \frac{1}{\beta_{eq}} \frac{1}{(V_{DD} - V_T)} \cdot \left\{ \frac{2V_T}{V_{DD} - V_T} + \ln \left( 3 - 4 \frac{V_T}{V_{DD}} \right) \right\} = \frac{1}{\beta_{eq}} \cdot \underbrace{8.26 \cdot 10^{-15}}_K$$

quindi:

$$t_{PHL} = \frac{K}{\beta_{eq}}$$

caso peggiore:

$$t_{PHL, peggi} = \frac{K}{\beta_{eq, peggi}} \rightarrow \frac{1}{\beta_{eq, peggi}} = \frac{t_{PHL, peggi}}{K} \rightarrow \frac{1}{\beta_1} + \frac{2}{\beta_{PD}} = \frac{20 \cdot 10^{-12}}{8.26 \cdot 10^{-15}} \rightarrow \beta_1 = 661 \frac{\mu A}{V^2}$$

caso migliore:

$$t_{PHL, MIGL.} = \frac{K}{\beta_{eq, MIGL.}} \rightarrow \frac{1}{\beta_{eq, MIGL.}} = \frac{t_{PHL, MIGL.}}{K} \rightarrow \frac{1}{\beta_1} + \frac{2}{3\beta_{PD}} = \frac{15 \cdot 10^{-12}}{8.26 \cdot 10^{-15}} \rightarrow \beta_2 = 2.2 \frac{\mu A}{V^2}$$