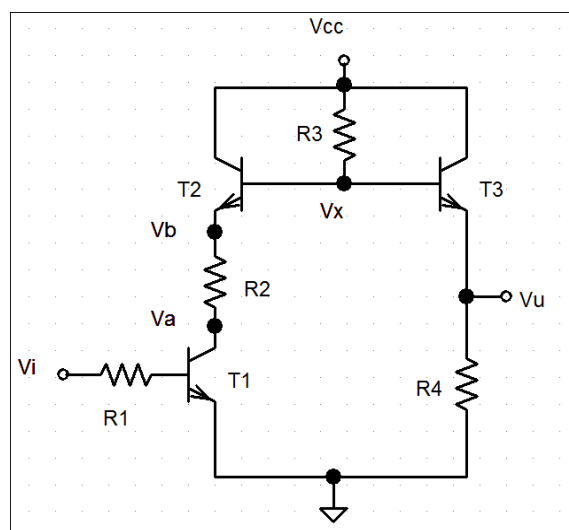


PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA 1
6 LUGLIO 2017

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

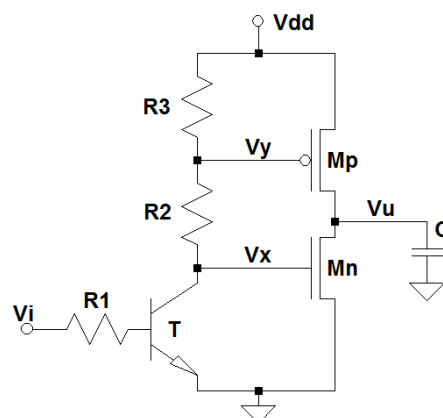


$V_{CC} = 5$ V, $\beta_F=100$, $R_1 = 15$ k Ω , $R_2 = 250$ Ω , $R_3 = 5$ k Ω , $R_4 = 2$ k Ω .

2) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalla tensione di soglia $V_{Tn}=-V_{Tp}=V_T$ e dai coefficienti β_n e β_p . Il transistore bipolare può invece essere descritto da un modello “a soglia”, con $V_{\gamma}=0.75$ V e $V_{CE,sat}=0.2$

Il segnale di ingresso V_i abbia l'andamento seguente:

$$\begin{cases} t < 0, & V_i = 0 \\ t > 0, & V_i = V_{dd} \end{cases}$$



Si determini il tempo di propagazione relativo al segnale di uscita V_u .

$V_{dd} = 3.3$ V, $V_T = 0.4$ V, $\beta_n=1.4$ mA/V², $\beta_p=0.8$ mA/V², $\beta_F=100$, $R_1 = 10$ k Ω , $R_2 = 2$ k Ω , $R_3 = 1$ k Ω , $C=15$ fF.

- 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

Compito del 6-07-2017 - Esercizio #1

Osservazioni preliminari:

- 1) T2 e T3 quando ON sono in AD;
- 2) T2 è OFF quando T1 è OFF.

Regione 1: $v_i < v_\gamma$: T1 OFF; T2 OFF e T3 AD

$i_{b3} = (v_{cc} - (v_u + v_\gamma)) / r_3$ $i_{e3} = v_u / r_4$ Ma $i_{e3} = (\beta_f + 1) * i_{b3}$	Risolvendo si trova che: $v_u = 4.147 \text{ V}$
Si rimane in questa regione fintantoché T1 rimane off, sse $v_i < v_\gamma$, sse $v_i < 0.75 \text{ V}$	
Regione 1: per $0 < v_i < v_\gamma$	

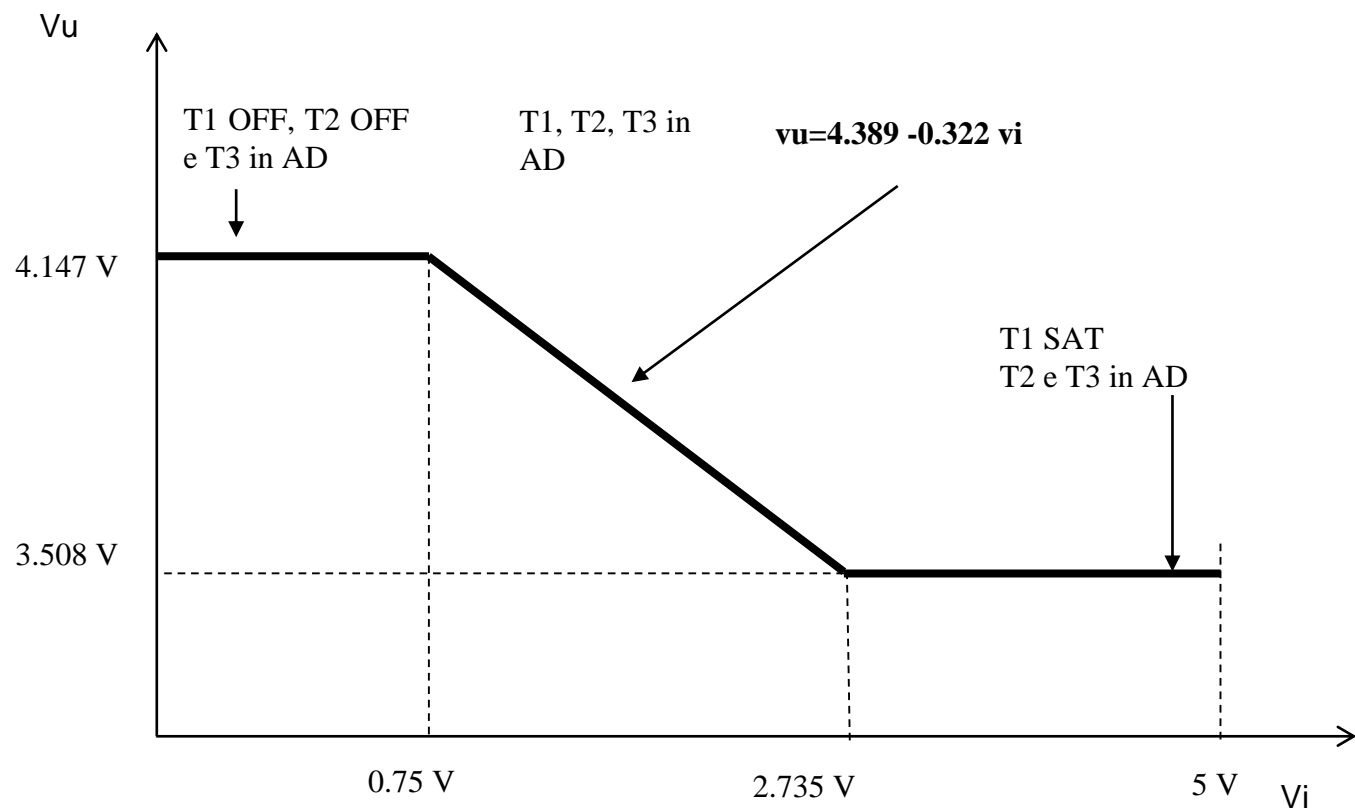
Regione 2: T1 ON in AD, T2 e T3 in AD.

$i_{r3} = (v_{cc} - (v_u + v_\gamma)) / r_3$ $i_{b1} = (v_i - v_\gamma) / r_1$ $i_{r4} = v_u / r_4$ $i_{e2} = i_{c1} = \beta_f * i_{b1}$ allora $i_{b2} = i_{e2} / (\beta_f + 1) = \beta_f / (\beta_f + 1) * i_{b1} = \beta_f / (\beta_f + 1) * (v_i - v_\gamma) / r_1$ $i_{b3} = i_{r4} / (\beta_f + 1) = v_u / r_4 / (\beta_f + 1)$ Ma $i_{r3} = i_{b2} + i_{b3}$	Risolvendo si trova che: $v_u = 4.389 - 0.322 v_i$ Si rimane in questa regione fintantoché T1 va sat.
T1 va sat quando $v_{ce1} = v_a = v_{cesat}$ Poiché $v_x = v_u + v_\gamma$, $v_b = v_x - v_\gamma = v_u$ La corrente su r_2 nel passaggio AD -> SAT vale: $(v_b - v_a) / r_2 = (v_u - v_{cesat}) / r_2 = \beta_f * (v_i - v_\gamma) / r_1$ ovvero $v_u = \beta_f * (v_i - v_\gamma) * r_2 / r_1 + v_{cesat}$	Ma $v_u = 4.389 - 0.322 v_i$ Risolvendo si ricava: $v_i = 2.735 \text{ V}$
Regione 2: per $v_\gamma < v_i < 2.735 \text{ V}$	

Regione 3: T1 SAT, e T2 e T3 in AD.

$i_{r3} = (v_{cc} - (v_u + v_\gamma)) / r_3$ $i_{b1} = (v_i - v_\gamma) / r_1$ $i_{r4} = v_u / r_4$ $i_{e2} = (v_b - v_a) / r_2 = (v_u - v_{cesat}) / r_2$ $i_{b2} = i_{e2} / (\beta_f + 1)$ $i_{b3} = i_{r4} / (\beta_f + 1) = v_u / r_4 / (\beta_f + 1)$	Ma $i_{r3} = i_{b2} + i_{b3}$ Risolvendo si ricava che $v_u = 3.508 \text{ V}$.
Regione 3: per $2.735 \text{ V} < v_i < V_{cc}$	

Di seguito si riporta la caratteristica statica di trasferimento.



6.7.2017 – Esercizio 2

- 1) $t < 0$, $V_i = 0 \rightarrow T \text{ off} \rightarrow I_C = 0 \rightarrow V_x = V_y = V_{dd} \rightarrow \text{nMOS ON, pMOS off}$
 La situazione del secondo stadio è analoga a quella di un invertitore CMOS con ingresso pari a V_{dd} . Si ottiene quindi: $V_u(t < 0) = 0$.

- 2) $t > 0$, $V_i = V_{dd} \rightarrow T \text{ ON}$. Ipotizzando T SAT (*), si ottiene:

$$\left. \begin{aligned} I_C &= \frac{V_{dd} - V_{CE,sat}}{R_2 + R_3} = 1.03 \text{ mA} \\ I_B &= \frac{V_{dd} - V_\gamma}{R_1} = 0.25 \text{ mA} \end{aligned} \right\} \rightarrow I_C < \beta_f I_B$$

che soddisfa l'ipotesi (*). Si ha quindi:

$$V_x = V_{CE,sat} < V_T \rightarrow M_n \text{ off}$$

$$V_y = V_{dd} - R_3 I_C = 2.27 \text{ V} \rightarrow V_{SGp} = V_{dd} - V_y = 1.033 \text{ V} > V_T \rightarrow M_p \text{ on}$$

È quindi accesa la rete di pull-up, mentre è spenta quella di pull-down. in particolare:

$$M_p \text{ LIN} \rightarrow V_{SGp} > V_{SDp} + V_T \rightarrow V_{dd} - V_y > V_{dd} - V_u + V_T \rightarrow V_u > 2.67 \text{ V}$$

Al termine del transitorio ($I_D = 0$) il pMOS opera quindi in regione lineare, e si ha

$$V_{SDp} = V_{dd} - V_u = 0 \rightarrow V_u = V_{dd}$$

Il transitorio di uscita si compone quindi di due tratti:

$$V_u: 0 \xrightarrow{p \text{ SAT}} 2.67 \text{ V} \xrightarrow{p \text{ LIN}} V_{dd}$$

Ai fini del calcolo del tempo di propagazione, interessa l'istante in cui si raggiunge il 50% della escursione totale, quindi $V_{dd}/2 = 1.65 \text{ V}$. In tale intervallo, il transistor pMOS è sempre in saturazione, per cui si ha:

$$\left. \begin{aligned} I_{Dp} &= \frac{\beta_p}{2} (V_{SGp} - V_T)^2 = 0.16 \text{ mA} \\ I_{Dp} &= C \frac{dV_u}{dt} \end{aligned} \right\} \rightarrow \int_0^{t_p} dt = \int_{V_u(0)=0}^{V_u(t_p)=\frac{V_{dd}}{2}} \frac{C}{I_{Dp}} dV_u \rightarrow t_p = 0.257 \text{ ns}$$