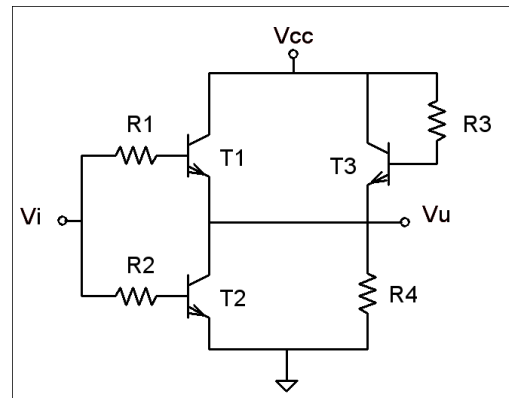


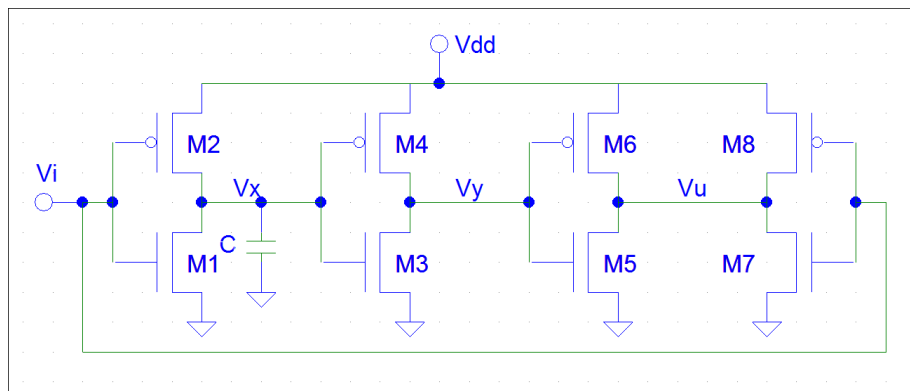
PROVA SCRITTA DI FONDAMENTI DI ELETTRONICA A
11 SETTEMBRE 2008

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, $\beta_F = 100$, $R_1 = 10$ k Ω , $R_2 = 5$ k Ω , $R_3 = 20$ k Ω , $R_4 = 20$ k Ω .



2) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalle tensioni di soglia V_{Tn} e V_{Tp} e dai coefficienti β_i . Il segnale di ingresso V_i sia periodico, alternando i valori 0 e V_{dd} con periodo T pari a 1 ns, e duty-cycle pari al 50%. Si determini l'andamento del segnale V_u . A questo scopo, si assimilino i



transistori del segnale V_x a transizioni istantanee, ritardate rispetto all'ingresso di un tempo pari al tempo di propagazione relativo. Si calcoli quindi la potenza dinamica media complessivamente dissipata per effetto delle correnti di "corto circuito" (non considerando cioè la potenza dinamica associata alla carica e scarica del condensatore C).

$V_{dd} = 3.3$ V, $V_{Tn} = 0.4$ V, $V_{Tp} = -0.5$ V, $\beta_1 = \beta_3 = \beta_5 = \beta_8 = 1$ mA/V², $\beta_2 = \beta_4 = \beta_6 = \beta_7 = 0.5$ mA/V², $C = 30$ fF.

Esame di ELETTRONICA AB (mod. B): svolgere l'esercizio 1 (tempo disponibile 1h 15m).

Esame di ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI A: l'esercizio 2 (tempo disponibile 1h 15m).

Esame di FONDAMENTI DI ELETTRONICA A: svolgere gli esercizi 1 e 2 (tempo disponibile 2h).

- 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 11-09-2009 - Esercizio #1

Osservazioni preliminari:

i) T1 e T3 quando on sono in AD.

Regione 1: $V_i < v_\gamma$, T1 off e T2 off. Si noti che fintantoché T1 e T2 sono off, v_u non cambia. T3 on e in AD: se per assurdo non lo fosse, $v_{base}(T3) = v_{cc}$, $v_u = 0$, quindi $v_{be}(T3) > v_\gamma$, e in AD (collettore di T3 a v_{cc}).

$ib3 = (v_{cc} - v_\gamma - v_u) / r3$ $i4 = v_u / r4$ Ma $i4 = ib3 * (\beta_f + 1)$	da cui si ricava che $v_u = 4.20833 \text{ V}$ Si rimane in regione 1 fintantoché T2 va on, quindi per $v_i > v_\gamma$.
--	--

Regione 2 : Regione 2: T1 off, T2 in AD, T3 in AD - calcolo di V_u

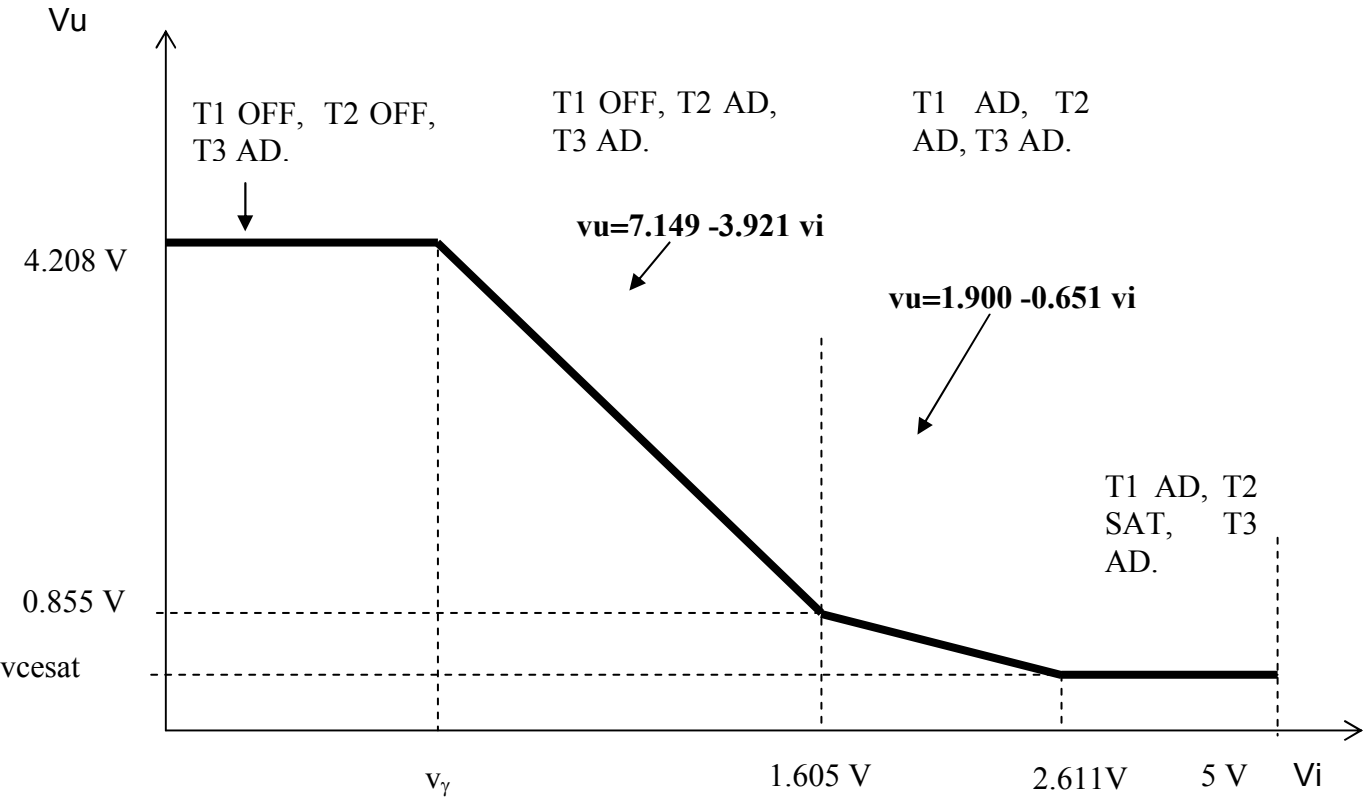
$ib3 = (v_{cc} - v_u - v_\gamma) / r3$ $ib2 = (v_i - v_\gamma) / r2$ $i4 = v_u / r4$ Ma $ib3 * (\beta_f + 1) = i4 + \beta_f * ib2$	Risolvendo si trova che: $v_u = 7.149 - 3.921 v_i$ Si rimane in questa regione fintantoché (A) T2 va sat, (B) oppure T1 va on.
(A) Quando T2 va sat, $v_{ce2} = v_u = v_{cesat}$, ma $v_u = 7.149 - 3.921 v_i = v_{cesat}$ da cui si ricava che T2 va sat per $v_i = 1.772 \text{ V}$	(B) Invece T1 va on, quando $v_{be}(T1) = v_\gamma$ sse $v_i - v_u = v_i - (7.149 - 3.921 v_i) = v_\gamma$ Risolvendo si trova che T1 va on se $v_i = 1.605 \text{ V}$. Quindi T1 va ON prima che T2 vada sat. Si rimane in regione 2 per $v_\gamma < v_i < 1.605 \text{ V}$.

Regione 3: T1 AD, T2 AD, T3 AD.

$ib3 = (v_{cc} - v_u - v_\gamma) / r3$ $ib2 = (v_i - v_\gamma) / r2$ $i4 = v_u / r4$ $ib1 = (v_i - v_u - v_\gamma) / r1$	Ma $(\beta_f + 1) * (ib3 + ib1) = i4 + \beta_f * ib2$, da cui si ricava che $v_u = 1.900 - 0.651 v_i$ In questa regione si rimane fintantoché T2 va sat, sse $v_u = 1.900 - 0.651 v_i = v_{cesat}$, sse $v_i = 2.611 \text{ V}$. Si rimane in regione 3 per $1.605 \text{ V} < v_i < 2.611 \text{ V}$
---	--

Regione 4: Per $v_i > 2.611 \text{ V}$, T1 AD, T2 SAT, T3 AD: $v_u = v_{cesat}$.

Di seguito si riporta la caratteristica statica di trasferimento.

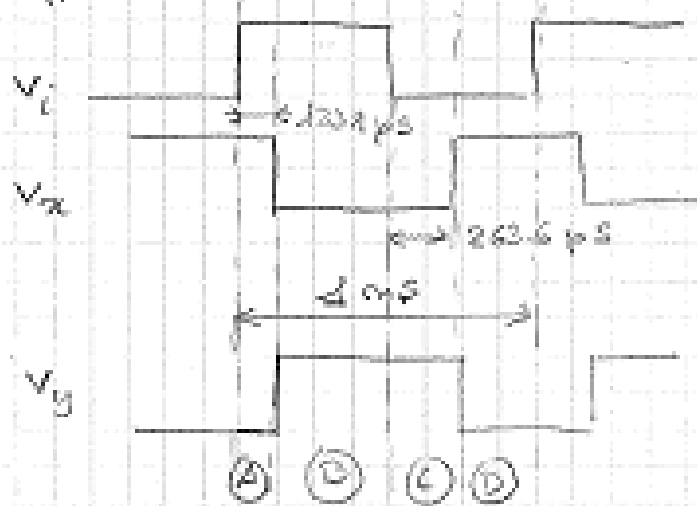


2) Il primo stadio (M1-M2) è un invertitore CMOS.

I tempi di propagazione possono quindi essere calcolati nel modo abituale. Si ottiene:

$$t_{PM} = 123.9 \text{ ps} \quad t_{PL} = 263.6 \text{ ps}$$

Quindi, l'andamento del segnale V_x è il seguente con le approssimazioni indicate:



V_x e V_y sono gli ingressi di due invertitori (M5-M6 / M7-M8) che hanno l'uscita V_u in comune. V_y è complementare a V_x ed è privo di ritardo.

Possiamo distinguere 4 fasi, all'interno del periodo:

- A:** $V_i = V_{DD} \rightarrow$ M7 ON, M8 OFF
 $V_y = 0 \rightarrow$ M5 OFF, M6 ON
- L'uscita V_u dipende dalla azione contemporanea di una rete di Pull UP (M6) e di Pull DOWN (M7).

$$\left. \begin{array}{l} I_{D6} = I_{D7} \\ \text{M6: } n_6 \text{ LUT, M7: } n_7 \text{ LUT} \end{array} \right\} \rightarrow \beta_6 \left\{ (V_{DD} - |V_{TP}|)(V_{DD} - V_u) - \frac{(V_{DD} - V_u)^2}{2} \right\} = \beta_7 \left\{ (V_{DD} - V_{TN})V_u - \frac{V_u^2}{2} \right\}$$

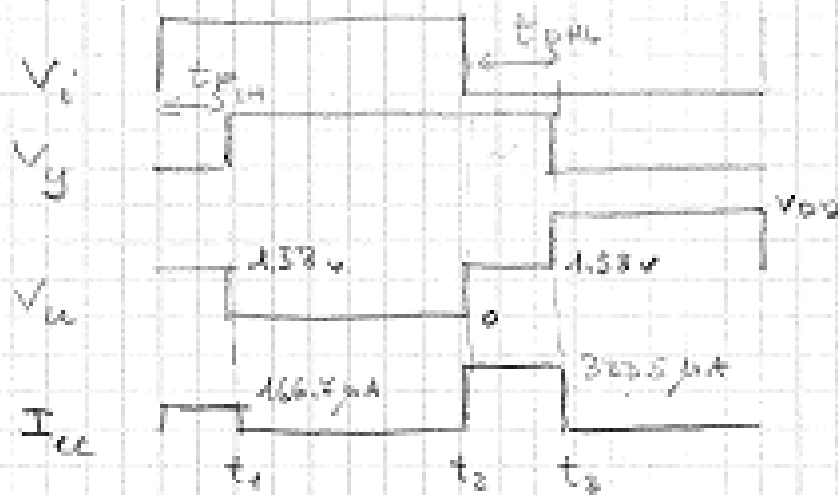
è una eq. di 2° grado in V_u , la cui soluzione (univoca) è:

$$V_u = \underline{1.58 \text{ V}}, \text{ con } I_{D6} = I_{D7} = 166.7 \mu\text{A} \quad \left(\begin{array}{l} \rightarrow V_{GS7} > V_{GS6} + V_{TN} \text{ OK} \\ \rightarrow V_{GS6} > V_{GS6} + |V_{TP}| \text{ OK} \end{array} \right)$$

- B:** $V_i = V_{DD}, V_y = V_{DD} \rightarrow \dots \rightarrow$ PU (M6, M8) OFF, PD (M5, M7) ON
 $\rightarrow V_u = 0, I_D = 0$
- C:** $V_i = 0 \rightarrow$ M7 OFF, M8 ON? Situazione analoga al caso A, con
 $V_y = V_{DD} \rightarrow$ M5 ON, M6 OFF $I_{D5} = I_{D8} \rightarrow \dots \rightarrow V_u = \underline{1.58 \text{ V}}, I_D = 333.5 \mu\text{A}$
- D:** $V_i = 0, V_y = 0 \rightarrow \dots \rightarrow$ PU ON, PD OFF $\rightarrow V_u = V_{DD}, I_D = 0$

l'andamento di V_u e della corrente "di corto circuito" (dovuta cioè alla simultanea attivita' di una rete di

Pull-up e di una rete di Pull-down) sono le seguenti:



La potenza media può essere calcolata:

$$\begin{aligned} \tilde{P} &= \frac{1}{T} \int_0^T V_{DD} \cdot I_{CC} dt = \frac{V_{DD}}{T} \left\{ \int_0^{t_1} 166.7 \cdot 10^{-6} dt + \int_{t_2}^{t_3} 333.5 \cdot 10^{-6} dt \right\} \\ &= \frac{V_{DD}}{T} \left[166.7 \cdot 10^{-6} \cdot t_{PHL} + 333.5 \cdot 10^{-6} \cdot t_{PHL} \right] = \underline{\underline{281.5 \mu W}} \end{aligned}$$