

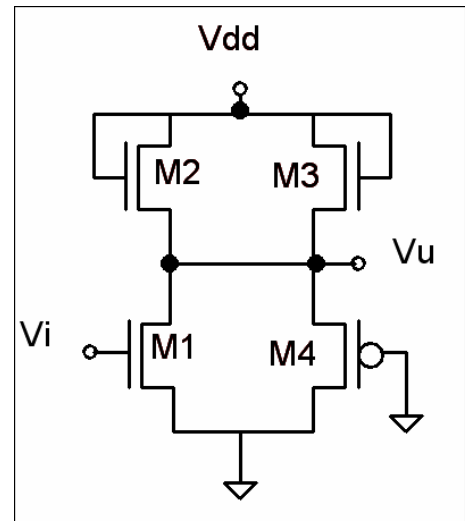
PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA
15 FEBBRAIO 2007

1) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalle tensioni di soglia $V_{Tn1} = V_{Tn2} = V_{Tn3} = |V_{Tp4}| = V_T$ e dai coefficienti β_{n1} , $\beta_{n2} = \beta_{n3}$, β_{p4} . Si determinino β_{n1} e $\beta_{n2} = \beta_{n3}$ in modo che:

- La tensione di soglia logica V_{LT} del circuito sia uguale a 1.55 V;
- Il valore basso V_L dell'uscita V_U sia pari a 630 mV.

Si determini, quindi, l'escursione logica del circuito e il valore della potenza massima dissipata dallo stesso in condizioni stazionarie.

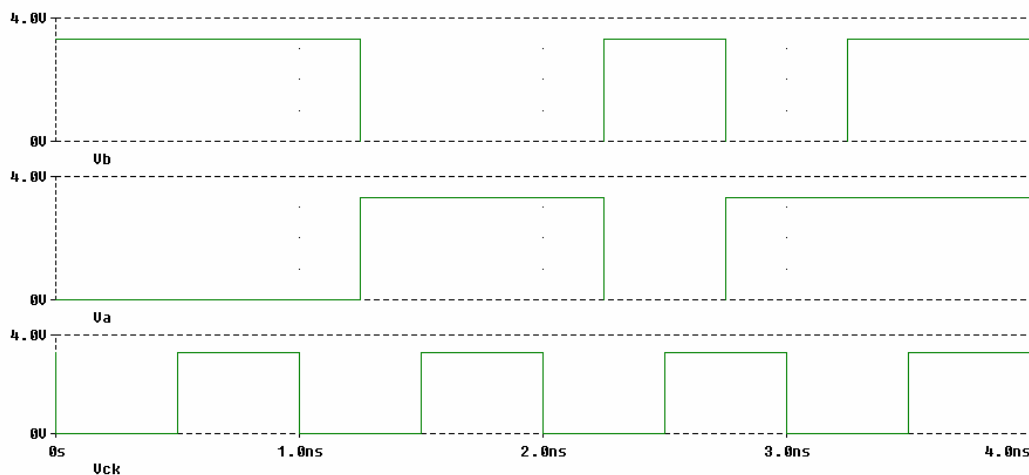
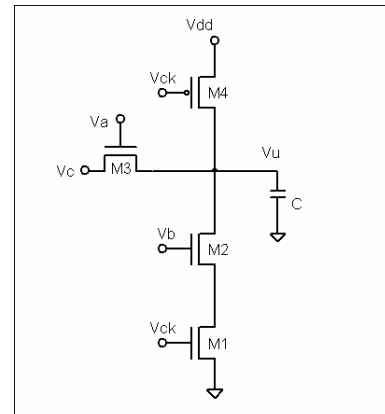
$$V_{dd} = 3.5 \text{ V}, V_T = 0.5 \text{ V}, \beta_{p4} = 0.5 \text{ m A/V}^2.$$



2) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dai coefficienti β_n e β_p e dalle tensioni di soglia $V_{TN} = |V_{TP}| = V_T$. Il segnale di clock V_{CK} e i segnali di ingresso V_a e V_b abbiano l'andamento illustrato dalla figura sottostante. Il segnale V_c sia costante e pari a V_{dd} .

Si calcoli l'andamento del segnale di uscita V_u , calcolando, per ogni transitorio nell'intervallo analizzato, l'effettiva escursione del segnale ed il tempo di propagazione relativo.

$$V_{dd} = 3.3 \text{ V}, V_T = 0.4 \text{ V}, \beta_n = 500 \text{ } \mu\text{A/V}^2, \beta_p = 300 \text{ } \mu\text{A/V}^2, C = 20 \text{ fF}.$$



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

OSS. PRELIMINARI:

- (I) M2 e M3 sono OFF (sse $v_u > v_{dd} - v_t$), altrimenti sono sempre SAT (per $v_u < v_{dd} - v_t$, poiché $V_{gs} = V_{ds}$). Al fine del calcolo della corrente, i MOS M2 e M3 sono equivalenti ad un unico MOS caratterizzato da un coefficiente $\beta_{eq} = 2\beta_{n2} = 2\beta_{n3}$.
- (II) M4 è OFF per $v_u < v_t$, altrimenti è SAT (per $v_u > v_t$, poiché $V_{sg} = V_{sd}$)

Calcolo dei coefficienti β_{n1} e $\beta_{n2} = \beta_{n3}$.

<ul style="list-style-type: none"> Allo soglia logica, per $v_i = v_u = v_{LT}$, M1 è sat, M2 e M3 sono sat e M4 è sat. 	<p>1) Il bilancio delle correnti è allora il seguente:</p> $\beta_{eq}/2 * (v_{dd} - v_{LT} - v_t)^2 = \beta_{n1}/2 * (v_{LT} - v_t)^2 + \beta_{p4}/2 * (v_{LT} - v_t)^2$
---	---

<ul style="list-style-type: none"> Quando v_i è basso, M1 è OFF e $v_u = v_H$, mentre quando v_i è alto M1 è ON. Con M1 ON, in corrispondenza di $v_i = v_{dd}$, si avrà $v_u = v_L$. 	<p>Ipotesi: M1 lin (sse $v_u < v_i - v_t (= v_{dd} - v_t)$); M2 e M3 saturi (sse $v_u < v_{dd} - v_t$) e M4 saturo (sse $v_u > v_t$). Ma $v_u = v_L = 630mV$, quindi le hp sono tutte soddisfatte.</p> <p>2) Il bilancio delle correnti è allora il seguente (con $v_u = v_L$):</p> $\beta_{eq}/2 * (v_{dd} - v_L - v_t)^2 = \beta_{n1}((v_{dd} - v_t) * v_L - v_L^2/2) + \beta_{p4}/2 * (v_L - v_t)^2$
---	---

<ul style="list-style-type: none"> Risolvendo il sistema formato dalle equazioni 1) e 2) si ottiene: 	$\beta_{n1} = 3.345 \text{ mA/V}^2, \text{ e } \beta_{eq} = 2.016 \text{ mA/V}^2,$ <p>quindi $\beta_{n2} = \beta_{n3} = \beta_{eq}/2 \approx 1 \text{ mA/V}^2$.</p>
---	--

Calcolo dell'escursione logica:

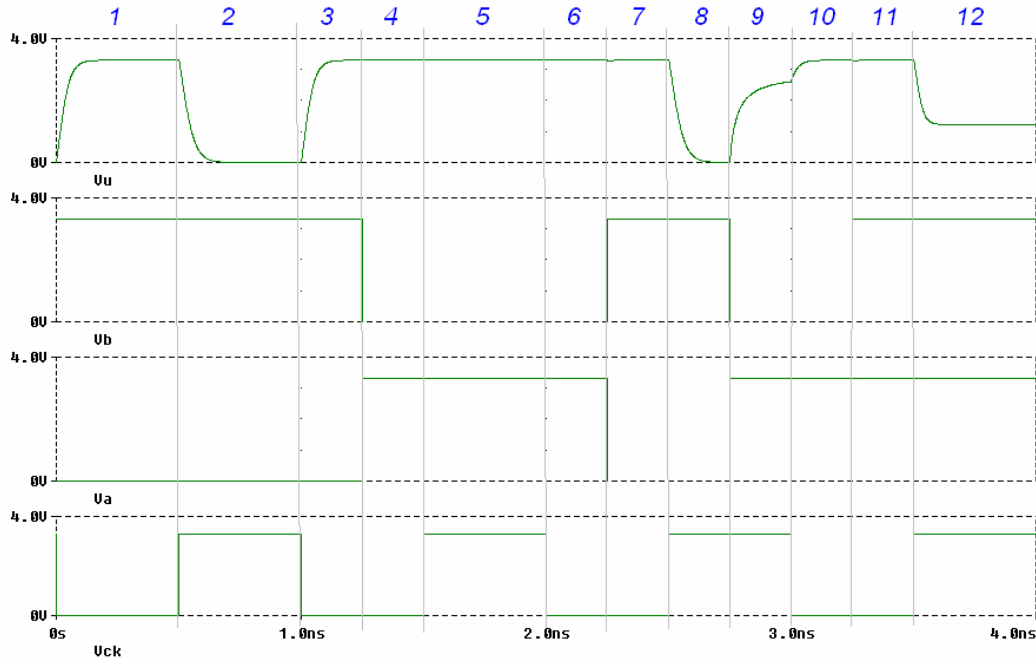
<ul style="list-style-type: none"> $v_u = v_H$ si ottiene con $v_i = 0 \text{ V}$. Ipotesi: M1 OFF; M2 e M3 saturi (sse $v_u < v_{dd} - v_t$) e M4 saturo (sse $v_u > v_t$). 	<ul style="list-style-type: none"> Il bilancio delle correnti è allora il seguente (con $v_u = v_L$): $\beta_{eq}/2 * (v_{dd} - v_H - v_t)^2 = \beta_{p4}/2 * (v_H - v_t)^2,$ <p>da cui si ricava che $V_H = 2.169 \text{ V}$ (valore che soddisfa tutte le Hp fatte).</p> <p>L'escursione logica vale allora: $v_H - v_L = 1.539 \text{ V}$</p>
---	--

Calcolo della massima potenza statica dissipata dal circuito.

$P_{diss} = v_{dd} * (I_{dM2} + I_{dM3}) = v_{dd} * (I_{dMeq}) = v_{dd} * \beta_{eq}/2 * (v_{dd} - v_u - v_t)^2,$ <p>e sarà max per $v_u = v_L = 0.630 \text{ V}$.</p> $P_{dissmax}(v_u = v_L) = 19.8 \text{ mW}$
--

Compito del 15-02-2007 – Soluzione Esercizio #2

L'andamento di V_u è riportato nella figura sottostante, nella quale sono numerati i diversi intervalli di funzionamento:



Intervallo 1: $V_{ck}=0, V_a=0, V_b=V_{dd}, V_c=V_{dd} \Rightarrow M1 \text{ off}, M2 \text{ on}, M3 \text{ off}, M4 \text{ on} \Rightarrow V_u=V_{dd}$

Intervallo 2: $V_{ck}=V_{dd}, V_a=0, V_b=V_{dd}, V_c=V_{dd} \Rightarrow M1 \text{ on}, M2 \text{ on}, M3 \text{ off}, M4 \text{ off} \Rightarrow V_u=V_{dd} \rightarrow 0$: la scarica avviene tramite la serie di M1 e M2, con tempo di propagazione pari a 33 ps

Intervallo 3: $V_{ck}=0, V_a=0, V_b=V_{dd}, V_c=V_{dd} \Rightarrow M1 \text{ off}, M2 \text{ on}, M3 \text{ off}, M4 \text{ on} \Rightarrow V_u=0 \rightarrow V_{dd}$: carica attraverso M4, con tempo di propagazione pari a 27.5 ps

Intervallo 4: $V_{ck}=0, V_a=V_{dd}, V_b=0, V_c=V_{dd} \Rightarrow M1 \text{ off}, M2 \text{ off}, M3 \text{ off}, M4 \text{ on} \Rightarrow V_u=V_{dd}$
(M3 off perché $V_{g3}=V_{s3}=V_{d3}=V_{dd} \Rightarrow V_{gs3}=0 < V_T$)

Intervallo 5: $V_{ck}=V_{dd}, V_a=V_{dd}, V_b=0, V_c=V_{dd} \Rightarrow M1 \text{ on}, M2 \text{ off}, M3 \text{ off}, M4 \text{ off} \Rightarrow V_u=V_{dd}$ (alta imp.)

Intervallo 6: $V_{ck}=0, V_a=V_{dd}, V_b=0, V_c=V_{dd} \Rightarrow M1 \text{ off}, M2 \text{ off}, M3 \text{ off}, M4 \text{ on} \Rightarrow V_u=V_{dd}$ (analogo a 4)

Intervallo 7: $V_{ck}=0, V_a=0, V_b=V_{dd}, V_c=V_{dd} \Rightarrow M1 \text{ off}, M2 \text{ on}, M3 \text{ off}, M4 \text{ on} \Rightarrow V_u=V_{dd}$

Intervallo 8: $V_{ck}=V_{dd}, V_a=0, V_b=V_{dd}, V_c=V_{dd} \Rightarrow M1 \text{ on}, M2 \text{ on}, M3 \text{ off}, M4 \text{ off} \Rightarrow V_u=V_{dd} \rightarrow 0$ (transitorio identico al caso 2, con tempo di propagazione pari a 33 ps)

Intervallo 9: $V_{ck}=V_{dd}, V_a=V_{dd}, V_b=0, V_c=V_{dd} \Rightarrow M1 \text{ on}, M2 \text{ off}, M3 \text{ on}, M4 \text{ off} \Rightarrow V_u=0 \rightarrow V_{dd}-V_T$: carica attraverso M3 (sempre saturo: $V_{ds}=V_{gs}=V_{dd}$) con tempo di propagazione pari a 27.6 ps

Intervallo 10: $V_{ck}=0, V_a=V_{dd}, V_b=0, V_c=V_{dd} \Rightarrow M1 \text{ off}, M2 \text{ off}, M3 \text{ on} \rightarrow \text{off}, M4 \text{ on} \Rightarrow V_u=V_{dd}-V_T \rightarrow V_{dd}$: carica attraverso M4 (sempre lineare) con tempo di propagazione pari a 16.8 ps.

Intervallo 11: $V_{ck}=0, V_a=V_{dd}, V_b=V_{dd}, V_c=V_{dd} \Rightarrow M1 \text{ off}, M2 \text{ on}, M3 \text{ off}, M4 \text{ on} \Rightarrow V_u=V_{dd}$

Intervallo 12: $V_{ck}=V_{dd}, V_a=V_{dd}, V_b=V_{dd}, V_c=V_{dd} \Rightarrow M1 \text{ on}, M2 \text{ on}, M3 \text{ off} \rightarrow \text{on}, M4 \text{ off} \Rightarrow V_u=V_{dd} \rightarrow ?$
 V_u comincia a scaricarsi tramite la serie M1 e M2: fino a che $V_u > V_{dd}-V_T$ M1+M2 sat, M3 off, il transitorio richiede 7.6 ps. Per $V_u < V_{dd}-V_T$, è attiva sia una rete di pull-up (M3, sat) che di pull-down (M1+M2, lin). La tensione di regime si calcola uguagliando le due correnti:

$$I_{d1,2,lin} = I_{d3,sat} \Rightarrow \dots \Rightarrow V_u = V_{fin} = 1.22 \text{ V.}$$

Il contributo al tempo di propagazione va quindi calcolato per V_u : $V_{dd}-V_T \rightarrow (V_{dd}+V_{fin})/2$, con

$$C \frac{dV_u}{dt} = I_{d3,sat} - I_{d1,2,lin}$$

Integrando, si ottiene un contributo di 12.8 ps, che sommato al precedente, porta a un tempo di propagazione pari a 20.4 ps.