

PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI
20 LUGLIO 2004

Si progetti una porta CMOS, capace di realizzare, in logica dinamica PE, la funzione logica

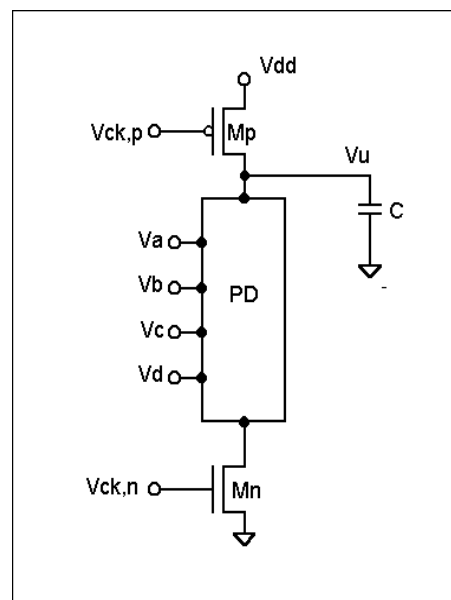
$$y = \overline{a+b(c+d)}$$

Lo schema di principio è mostrato in figura. La rete di pull-down (PD) è costituita da transistori nMOS uguali fra loro, con coefficiente β_{PD} , mentre i transistori M_p e M_n hanno rispettivamente coefficienti β_n e β_p . La tensione di soglia V_{Tn} è comune a tutti i transistori a canale n, mentre il pMOS ha tensione di soglia V_{Tp} .

1) Si tracci lo schema circuitale della rete.

2) Si consideri un segnale di controllo $V_{ck,n}=V_{ck,p}$, periodico, con periodo sufficiente al completamento di ciascun transistorio. Si determinino i coefficienti β in modo che:

- il tempo di propagazione t_{pLH} sia pari a 30 ps;
- il tempo di propagazione t_{pHL} sia pari a 25 ps nel caso migliore, e a 40 ps nel caso peggiore.

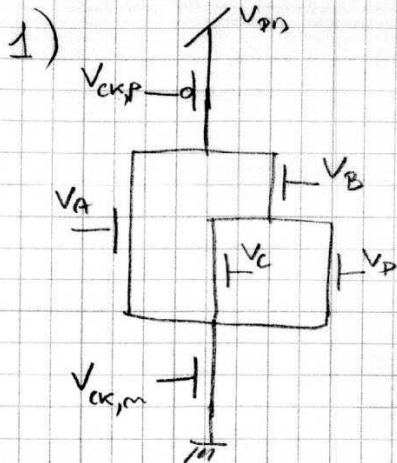


3) Assumendo ora che il segnale di controllo $V_{ck,p}$ sia in ritardo di 150 ps rispetto a $V_{ck,n}$, si calcolino nuovamente i tempi di propagazione t_{pLH} e t_{pHL} (nel caso migliore), definiti come al punto precedente.

Per le analisi di cui ai punti precedenti, si assuma che i segnali di ingresso V_a , V_b , V_c e V_d possano variare solo nella fase di precarica, e si intendano i tempi di propagazione come la distanza fra la transizione (considerata istantanea) del segnale di controllo $V_{ck,n}$ e il fronte corrispondente del segnale di uscita.

$V_{dd}=3.5\text{ V}$, $V_{Tn}=0.45\text{ V}$, $V_{Tp}=-0.5\text{ V}$, $C=35\text{ fF}$.

20/7/04



Per un invertitore CMOS:

$$t_p = \frac{2C}{\beta(V_{DD} - V_T)} \left\{ \frac{V_T}{V_{DD} - V_T} + \frac{1}{2} \ln \left(3 - \frac{4V_T}{V_{DD}} \right) \right\} (*)$$

con: $\beta = \beta_m, V_T = V_{Tm}$ per t_{PHL}
 $\beta = \beta_p, V_T = |V_{Tp}|$ per t_{PLH}

2) transitorio LH: PD OFF, PU ON

$$t_{PLH} = 30 \text{ ps}$$

$$\beta = \beta_p$$

$$(*) \rightarrow t_{PLH} = \frac{1.424 \cdot 10^{-14}}{\beta_p} \rightarrow \beta_p = \underline{\underline{474.7 \mu A/V^2}}$$

transitorio HL - caso migliore:

$$V_A = V_B = V_C = V_D = V_{DD} \rightarrow \beta_{eq, best} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_m} + \frac{1}{\beta_{PD} + \frac{1}{\frac{1}{\beta_{PD}} + \frac{1}{\beta_{PD} \beta_{PD}}}}} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_m} + \frac{3}{5\beta_{PD}}} \quad (A)$$

$$t_{PHL, best} = 25 \text{ ps}$$

$$(*) \rightarrow t_{PHL, best} = \frac{1.38 \cdot 10^{-14}}{\beta_{eq, best}}$$

$$\rightarrow \beta_{eq, best} = 553.4 \mu A/V^2 \quad (B)$$

- caso peggiore:

$$V_A = 0, V_B = V_{DD}, (V_C = V_{DD}, V_D = 0) / (V_C = 0, V_D = V_{DD}) \rightarrow \beta_{eq, worst} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_m} + \frac{1}{\frac{1}{\beta_{PD}} + \frac{1}{\beta_{PD}}}} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_m} + \frac{2}{\beta_{PD}}} \quad (C)$$

$$t_{PHL, worst} = 40 \text{ ps}$$

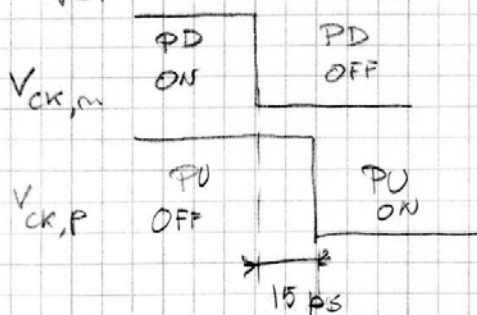
$$(*) \rightarrow t_{PHL, worst} = \frac{1.38 \cdot 10^{-14}}{\beta_{eq, worst}}$$

$$\rightarrow \beta_{eq, worst} = 345.9 \mu A/V^2 \quad (D)$$

$$(A)(B)(C)(D) \rightarrow \beta_m = \underline{\underline{744.97 \mu A/V^2}}, \beta_{PD} = \underline{\underline{1.29 \text{ mA/V}^2}}$$

(3) Caso con SKEW = 150 ps

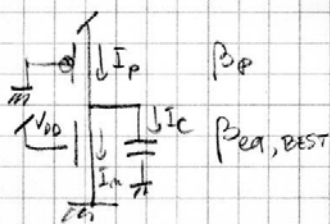
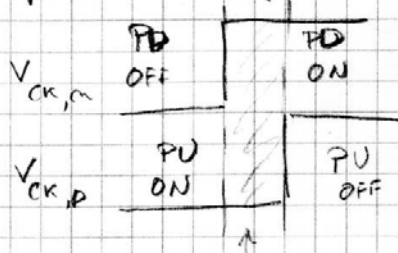
t_{PLH} :



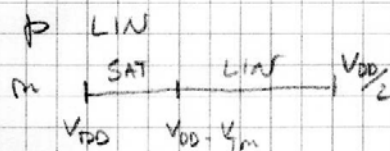
il PU compie lo stesso transitorio di prima, in ritardo di 0.15 ns -

$$\rightarrow t_{PHL} = 30 + 15 = 45 \text{ ps}$$

t_{PHL} (caso migliore): esiste un intervallo in cui PU ON e PD ON:



$$V_u: V_{DD} \rightarrow V_{DD}/2$$



fino a che PU ON (150 ps)

1° tratto: $V_u: V_{DD} \rightarrow V_{DD} - V_{TN}$: p LIN, n SAT

$$I_{PLIN} = I_C + I_{NSAT} \rightarrow$$

$$C \frac{dV_u}{dt} = \beta_P \left[(V_{DD} - |V_{TP}|)(V_{DD} - V_u) - \frac{(V_{DD} - V_u)^2}{2} \right] - \frac{\beta_{N, BEST}}{2} (V_{DD} - V_{TN})^2$$

$$dt = \frac{C dV_u}{f(V_u)} \rightarrow \int_0^{t_1} dt = \int_{V_{DD}}^{V_{DD} - V_T} \frac{dV_u}{f(V_u)} \rightarrow t_1 = 6.98 \text{ ps} (< 150 \text{ ps})$$

2° tratto: $V_u: V_{DD} - V_{TN} \rightarrow V_{DD}/2$: p LIN, n LIN

$$\dots \rightarrow t_2 = 48.25 \text{ ps} (< 150 \text{ ps})$$

$$\rightarrow t_{PHL} = \underline{\underline{55.23 \text{ ps}}}$$

ERRATA CORRIGE

Nel testo distribuito in aula, a causa di un errore di battitura, il ritardo fra i due segnali di clock era indicato in 15 ps, anzichè i 150 previsti. Testo e soluzione qui riportati fanno riferimento ai valori corretti.

A causa del refuso, la procedura di calcolo sarebbe risultata leggermente più onerosa (3 intervalli di transitorio anzichè 2). Per questo motivo (anche se, a correzioni ultimate, la cosa non sembra avere causato danni), le valutazioni sono state fatte compensando tale problema (non considerando cioè, ai fini della valutazione massima, i calcoli in questione).