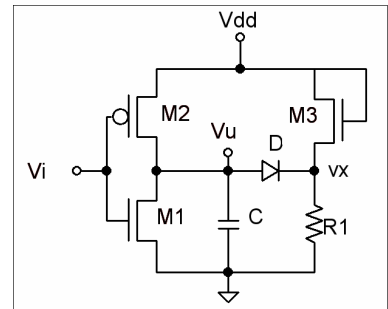


1) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalle tensioni di soglia $V_T = V_{Tn1} = |V_{Tp2}| = V_{Tn3}$ e dai coefficienti β_1 , β_2 e β_3 . Il diodo può essere descritto da un modello “a soglia”, con $V_\gamma = 0.75$ V. Il segnale d'ingresso abbia il seguente andamento:



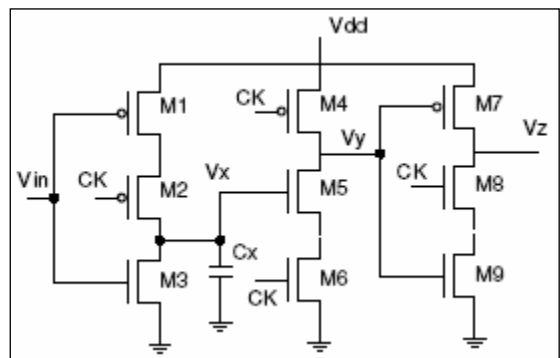
$$t < 0: \quad V_i = 0$$

$t > 0$: $V_i = V_{dd}$

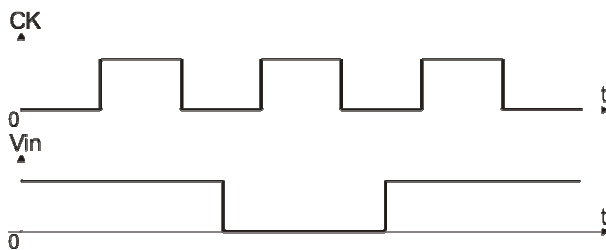
Si calcoli il tempo di propagazione $t_{p,HL}$ relativo al segnale di uscita V_u .

$$V_{dd} = 3.5 \text{ V}, V_T = 0.6 \text{ V}, \beta_1 = 1 \text{ mA/V}^2, \beta_2 = 0.5 \text{ mA/V}^2, \beta_3 = 0.3 \text{ mA/V}^2, R_1 = 500 \text{ } \Omega, C = 10 \text{ nF}.$$

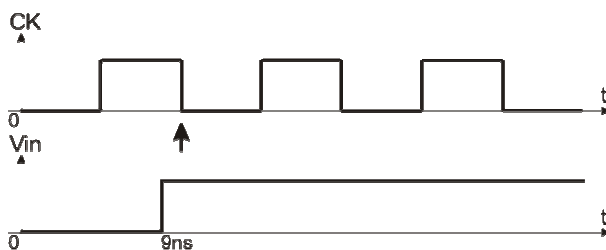
2) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalla tensione di soglia $V_{Tn}=|V_{Tp}|=V_T$ e dai coefficienti β_n e β_p . Il segnale di clock (CK) e il segnale di ingresso V_{in} abbiano l'andamento illustrato qui sotto.



a) Si determini l'andamento qualitativo dei segnali V_x , V_y e V_z nell'intervallo di figura nell'ipotesi che il periodo del segnale di clock sia sufficientemente lungo da permettere l'esaurirsi di ogni transitorio. Si identifichino con chiarezza le situazioni di segnale in alta impedenza.



b) Supponendo successivamente l'andamento dei segnali di ingresso riportato nella figura sottostante, si determini il valore di tensione raggiunto dal segnale V_x nell'istante evidenziato, al termine del periodo di clock .


$$V_{dd} = 3.3 \text{ V}, V_T = 0.4 \text{ V}, \beta_n = 0.5 \text{ mA/V}^2, \beta_p = 0.3 \text{ mA/V}^2, C_x = 0.8 \text{ pF}, f_{CK} = 100 \text{ MHz}$$

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 penna o matite rosse
- L'elaborato deve essere contenuto **in un unico foglio** (4 facciate) protocollo

Compito del 14-06-2007 - Esercizio #1

Osservazione preliminare: M3 quando ON è SAT (sse $v_t < v_{gs} < v_{ds} + v_t$), ovvero $v_x < v_{dd} - v_t = 2.9V$.

1) $t < 0$, $v_i = 0$, allora M1 off.

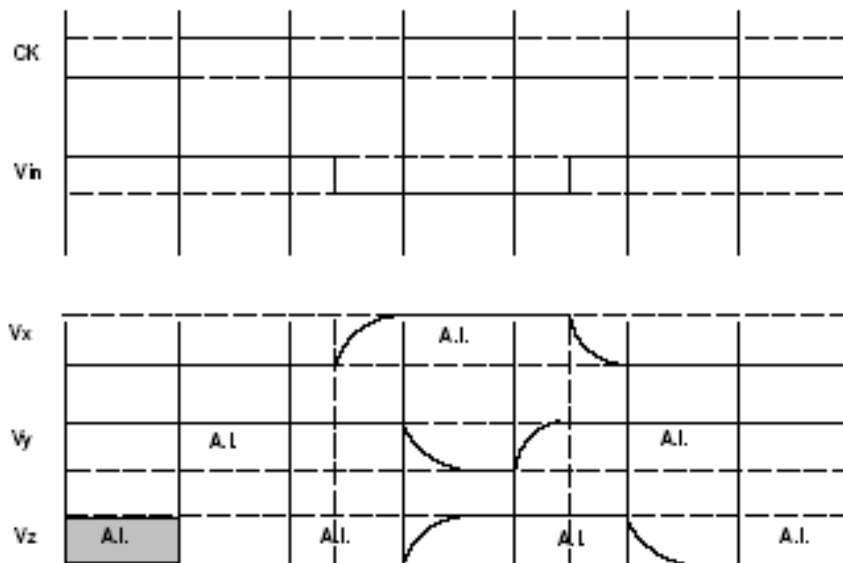
Suppongo M2 on e lin, quindi con $v_u > v_t$ (da verificare), D on e M3 on e sat (sse $v_x < 2.9V$, da verificare). Calcolo di $v_u(t < 0)$.	
$id_{p2lin} = \beta_2 ((v_{dd} - v_t)(v_{dd} - v_u) - 1/2 * (v_{dd} - v_u)^2)$ $id_{n3sat} = \beta_3 / 2 (v_{dd} - v_x - v_t)^2$ $ir1 = v_x / r1$ $v_x = v_u - v_\gamma$ Ma $id_{p2lin} + id_{n3sat} = ir1$ Risolvendo si trovano le soluzioni seguenti: $v_u = 1.849V$ oppure $v_u = -29.799V$.	Quella accettabile è la prima, e le Hp di linearità di M2 ($v_u > v_t$) e di saturazione di M3 ($v_x (=1.099V) < 2.9V$) sono entrambe verificate, quindi $v_u(t < 0) = 1.849V$.

2) Per $t \rightarrow \infty$, $v_i = v_{dd}$ allora M2 off, M1 on e per hp lin (sse $v_u < v_{dd} - v_t = 2.9V$), e D off (sse $v_u - v_x < v_\gamma$, hp da verificare) e M3 on e sat (sse $v_{dd} - v_x > v_t$, hp da verificare).	
La corrente su C vale 0, e quella su M1 vale 0, $id_{n1} = \beta_1 ((v_{dd} - v_t)v_u - 1/2 * v_u^2) = 0$, quindi $v_u = 0V$ per $t \rightarrow \infty$, e la hp fatta su M1 è soddisfatta. Si deve calcolare v_x : $id_{n3sat} = \beta_3 / 2 (v_{dd} - v_x - v_t)^2$ $ir1 = v_x / r1$	Ma $id_{n3sat} = ir1$ Risolvendo si trovano le soluzioni seguenti: $v_x = 0.45V$ oppure $v_x = 18.683V$. $v_x = 0.45V$ verifica l'hp su M3 ($v_x < 2.9$ e su D $v_u - v_x (= -0.45V) < v_\gamma$).

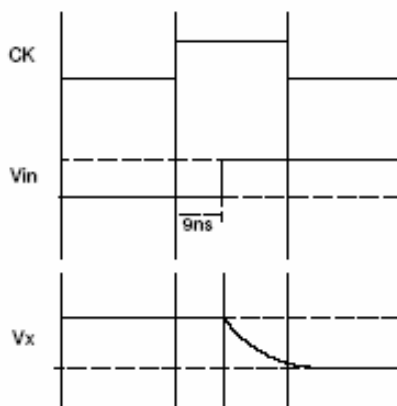
3) $t = 0+$, $v_i = v_{dd}$, quindi M1 on, M2 off, e la tensione ai capi del condensatore non cambia rispetto all'istante $t = 0-$, quindi $v_c(t = 0+) = 1.849V$. M1 è lin per $v_u < v_{dd} - v_t = 2.9V$, quindi M1 sarà lin durante tutto il transitorio. Il diodo inizialmente è on, poi ad un certo istante andrà off. Quando ciò avviene M3 sarà sempre on e sat, e $id_{n3sat} = ir1$ (quindi $v_x = 0.45V$) con $v_x = v_u - v_\gamma$, quindi $v_u = 0.45 + 0.75 = 1.2V$.	
Il t_{ph1} è il tempo che il segnale d'uscita impiega per compiere il 50% della transizione totale a partire dal valore iniziale $V_u(\text{iniziale}) = 1.849V$, $V_u(\text{finale}) = 0$, quindi per passare da $1.849V$ a $(1.849 + 0)/2 = 0.9245V$. I tratto transitorio: $1.2 < v_u < 1.849$: M1 lin, M2 off, D on, M3 sat:	$t_{ph1} = \int_{1.849}^{1.2} \frac{-C}{id_{n3sat} + id_{n1lin} + ir1} dv_u = 1.637 \mu s$
Il tratto transitorio: $0.9245 < v_u < 1.2$: M1 lin, M2 off, D off, M3 sat:	$id_{n1lin} = \beta_1 ((v_{dd} - v_t) * v_u - v_u^2 / 2)$ $-C dv_u / dt = id_{n1lin}$
$id_{n3sat} = \beta_3 / 2 (v_{dd} - v_x - v_t)^2$ $id_{n1lin} = \beta_1 ((v_{dd} - v_t) * v_u - v_u^2 / 2)$ $v_x = v_u - v_\gamma$ $ir1 = v_x / r1$ $-C dv_u / dt = -id_{n3sat} + id_{n1lin} + ir1$	$t_{ph2} = \int_{1.2}^{0.9245} \frac{-C}{id_{n1lin}} dv_u = 1.1 \mu s$ $t_{ph} = t_{ph1} + t_{ph2} = 2.737 \mu s.$

Compito del 14-06-2007 - Esercizio #2

a) andamento qualitativo dei segnali V_x , V_y e V_z (A.I.: situazione di alta impedenza)



b) calcolo del valore di tensione raggiunto da V_x al termine della fase di clock in corrispondenza della quale V_{in} commuta istantaneamente



$f=100$ MHz pertanto $T=10$ ns. Il transitorio di V_x richiesto dura $10-9=1$ ns e interessa il solo transistor M3

V_x inizialmente è alto pari a V_{dd} . da V_{dd} fino a $V_{dd}-V_t$, M3 è saturo poi entra in regione lineare di funzionamento:

tratto M3 sat: dalla teoria si ricava

$$t_{sat} = \frac{C_X V_t}{\frac{I_n}{2} (V_{dd} - V_t)^2} = 0.152 \text{ ns}$$

tratto M3 lin:

$$t_{lin} = \int_{V_{dd}-V_t}^{V_x} \frac{-C_X}{I_n \ln \left((V_{dd}-V_t) V_u - \frac{V_u^2}{2} \right)} dV_u =$$

$$\frac{C_X}{I_n (V_{dd}-V_t)} \ln \left(\frac{V_x - 2 (V_{dd}-V_t)}{V_x} \cdot \frac{V_{dd}-V_t}{V_{dd}-V_t - 2 (V_{dd}-V_t)} \right) =$$

$$\frac{C_X}{I_n (V_{dd}-V_t)} \ln \left(-\frac{V_x - 2 (V_{dd}-V_t)}{V_x} \right)$$

con $t_{lin}=1$ ns - $t_{sat} = 0.848$ ns, da cui:

$$V_x = \frac{2 (V_{dd} - V_t)}{1 + e^{\frac{I_n t_{lin}}{C_X (V_{dd}-V_t)}}} = 1.027 \text{ V}$$