



Tempo di propagazione (CMOS)

▼ Creatore originale: @Gianbattista Busonera

- @<utente> (<data>): <modifiche effettuate>

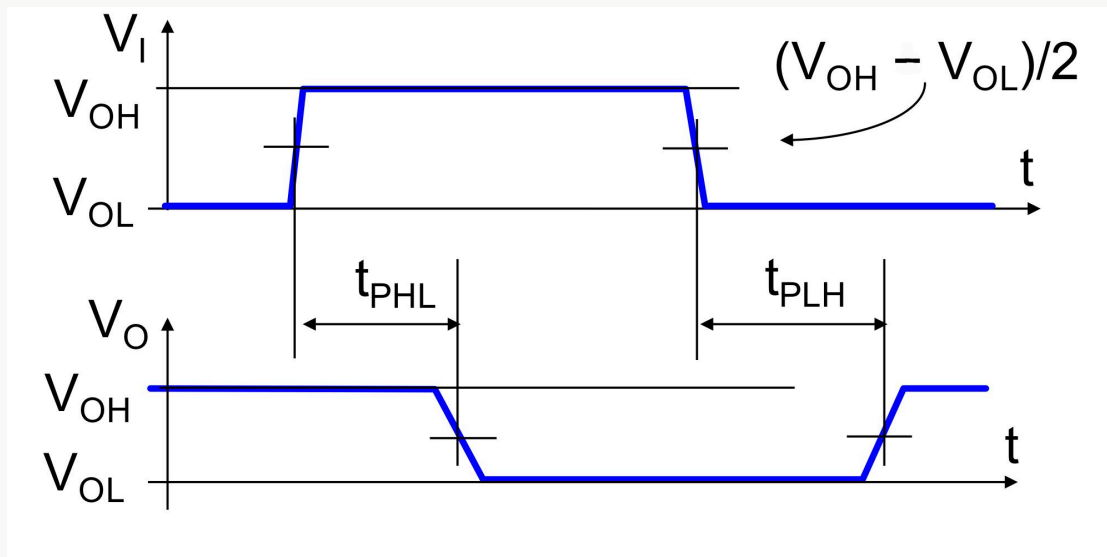
Il calcolo del tempo di propagazione è un concetto estremamente simile al calcolo del tempo di salita e di discesa di un condensatore.

E' un ritardo valutato fra coppie di segnali, in particolare fra la tensione in ingresso V_{in} e la tensione in uscita V_{out} .

I ritardi tra ingressi e uscite di una porta sono definiti con riferimento al 50% della variazione $V_{OH} - V_{OL}$, cioè fra l'istante in cui la tensione in ingresso raggiunge per la prima volta il valore del 50% della tensione finale in ingresso e l'istante in cui la tensione di uscita raggiunge il 50% della tensione in finale in uscita.



Ci stiamo chiedendo, insomma, quanto tempo - t_p - impiega la tensione in ingresso V_{in} , una volta raggiunta la tensione di soglia $V_T = \frac{V_{OH} - V_{OL}}{2}$ a far commutare la tensione di uscita V_{out} dove, per "commutare", si intende il raggiungimento della tensione di soglia.



L'immagine (sistemata rispetto alle slide che presentavano un errore) rappresenta bene cosa si intende per tempo di propagazione.

In questo caso, a differenza del tempo di salita/discesa, non ci chiediamo più quanto tempo ci si mette a passare dal 10% al 90% del valore finale V_{∞} , ma quanto tempo è necessario affinché si superi la tensione di soglia V_T .



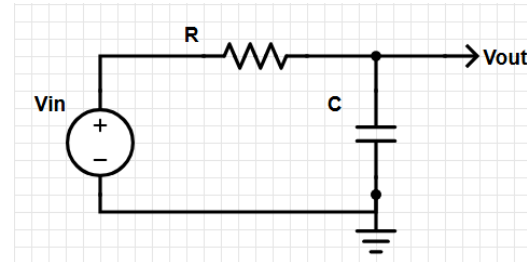
Se non espressamente indicato dal testo, possiamo ipotizzare che la tensione di soglia sia definita come:

$$V_T = \frac{V_{DD} - V_{GND}}{2} = \frac{V_{DD}}{2}$$

Tempo di propagazione di stato da basso ad alto

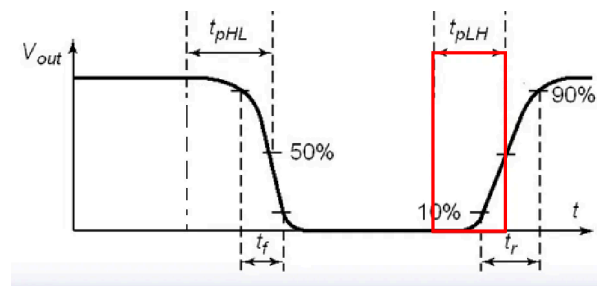
Rappresentiamo un circuito RC, che possiede quindi un resistore R e un condensatore C (carico). La tensione sul carico (condensatore) è definita come:

$$V_{out} = V_c(t) = V_{\infty} + (V_0 - V_{\infty})e^{-\frac{t}{\tau}}$$



Rappresentazione di un circuito RC

Il tempo di propagazione dallo stato basso allo stato alto è definito come il tempo che il **segnale di uscita** impiega a salire dallo stato basso (0V solitamente) fino alla tensione di soglia (V_T).



In rosso, il tempo di propagazione da alto a basso

Di conseguenza, noi vogliamo determinare quanto vale $t_p^{L \rightarrow H}$, ovvero il tempo necessario affinché la tensione sul condensatore sia pari alla tensione di soglia V_T .

$$V_c(t_p^{L \rightarrow H}) = V_T$$

Calcolo del tempo di propagazione di stato da basso ad alto

Iniziamo definendo l'equazione da cui ottenere il valore.

$$V_c(t_p^{L \rightarrow H}) = V_T = V_{\infty} + (V_0 - V_{\infty})e^{-\frac{t_p^{L \rightarrow H}}{\tau}}$$

Ipotizzando che $V_0 = V_{GND} = 0 \text{ V}$, $V_T = \frac{V_{DD}}{2}$, $V_{\infty} = V_{DD}$, si ottiene:

$$\frac{V_{DD}}{2} = V_{DD} + (0 - V_{DD})e^{-\frac{t_p^{L \rightarrow H}}{\tau}} \quad (1)$$

$$\frac{V_{DD}}{2} = V_{DD} \left(1 - e^{-\frac{t_p^{L \rightarrow H}}{\tau}} \right) \quad (2)$$

$$\frac{1}{2} = 1 - e^{-\frac{t_p^{L \rightarrow H}}{\tau}} \quad (3)$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\frac{t_p^{L \rightarrow H}}{\tau}} \quad (4)$$

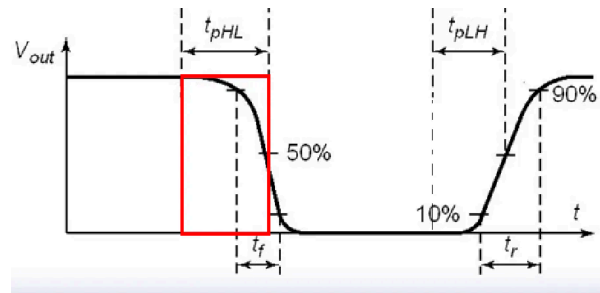
$$\ln \left(\frac{1}{2} \right) = -\frac{t_p^{L \rightarrow H}}{\tau} \quad (5)$$

Al termine, si ottiene il valore di $t_p^{L \rightarrow H}$.

$$t_p^{L \rightarrow H} = -\ln \left(\frac{1}{2} \right) \tau \simeq 0.69\tau \simeq 0.69R_{eq}C_{eq}$$

Tempo di propagazione di stato da alto a basso

Il tempo di propagazione dallo stato alto allo stato basso è il tempo necessario per far passare l'uscita dalla tensione alta $V_c(t) = V_{\infty}$ alla tensione $V_c(t) = V_T$.



In rosso il tempo di propagazione da alto a basso

A tale scopo, vista l'estrema somiglianza dei calcoli, si allega direttamente la formula per il calcolo del tempo di propagazione dallo stato alto allo stato basso $t_p^{H \rightarrow L}$:

$$t_p^{H \rightarrow L} = -\ln \left(\frac{1}{2} \right) \tau \simeq 0.69\tau \simeq 0.69R_{eq}C_{eq}$$