



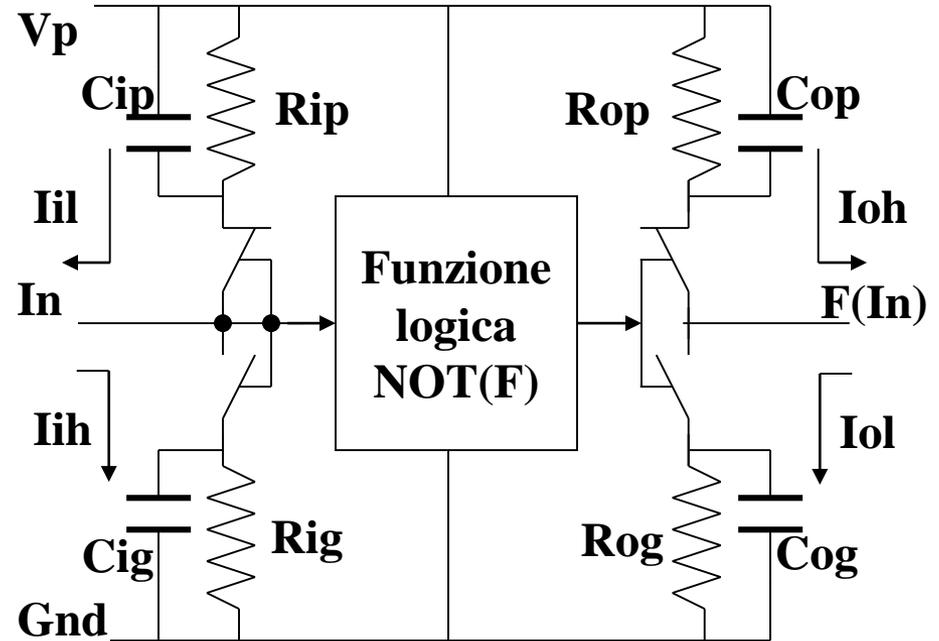
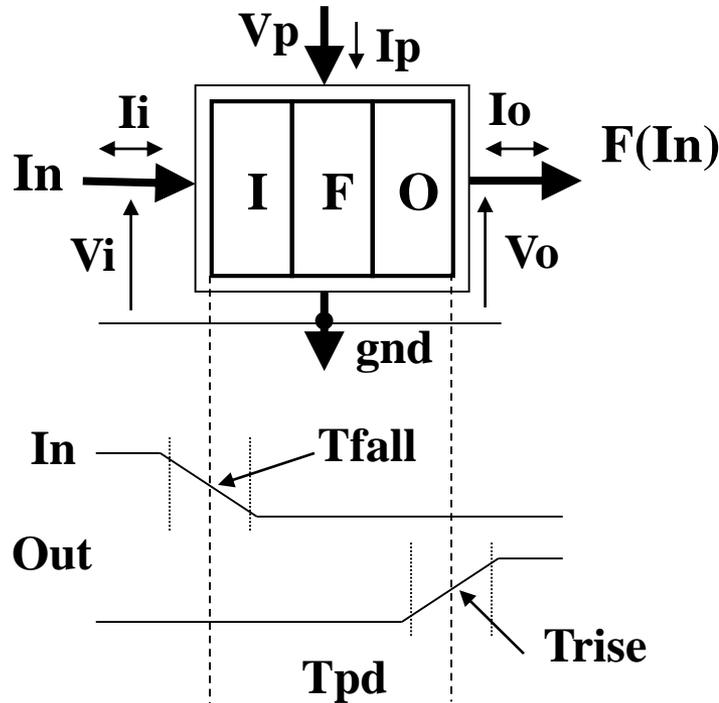
Sistemi di Elettronica Digitale, Sez.2

Alessandra Flammini
alessandra.flammini@unibs.it
Ufficio 24 Dip. Ingegneria dell'Informazione
030-3715627 Lunedì 16:30-18:30

Stadi di Ingresso e Stadi di Uscita “speciali”

Logica ed Elettronica, modello

- **Modello dinamico del dispositivo (interruttori con ritardi)**

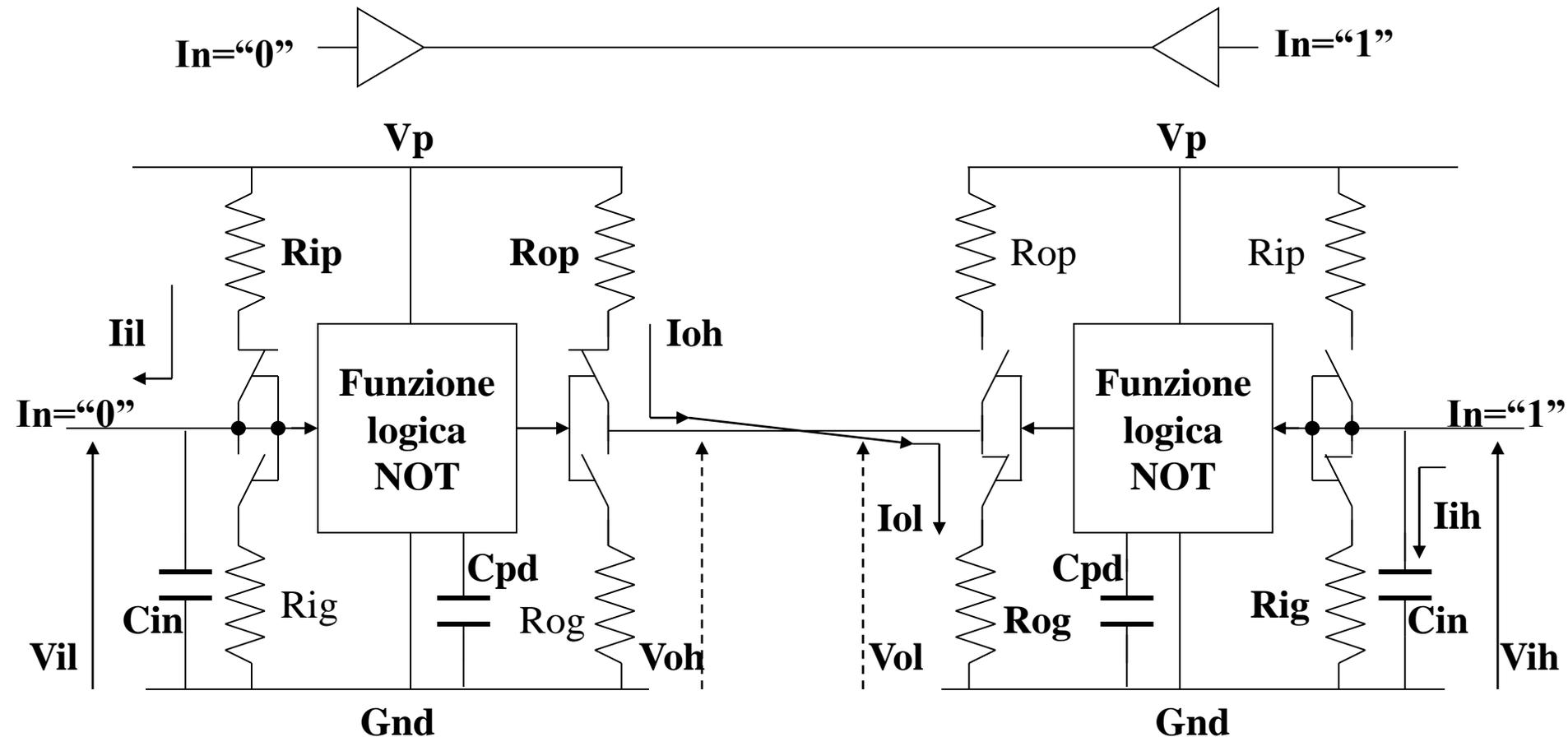


- **Molti dispositivi, detti "buffer", hanno funzione logica Identità e sono utilizzati per adattare le caratteristiche elettriche statiche e/o dinamiche o per ovviare a limitazioni funzionali (es. non posso connettere più uscite insieme)**

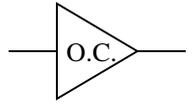
- **In questo caso In e Out= $F(In)$ sono vettori a singola dimensione (un ingresso, un'uscita)**
- **L'informazione non cambia, cambia il segnale**

Modello e stadio di uscita

- **Non è possibile connettere le uscite di due dispositivi (data bus???)**
(bassa impedenza di uscita = percorso a bassa impedenza tra V_p e gnd)
 - Scorre una corrente I_p tra V_p e gnd attraverso R_{op} (dx) e R_{og} (sx), $I_p = V_p / (R_{op} + R_{og})$
 - La linea si porta alla tensione di partitore $V = V_p \cdot R_{og} / (R_{op} + R_{og})$
 - Se $R_{op} = R_{og}$ $V = V_p / 2$ (zona di incertezza)

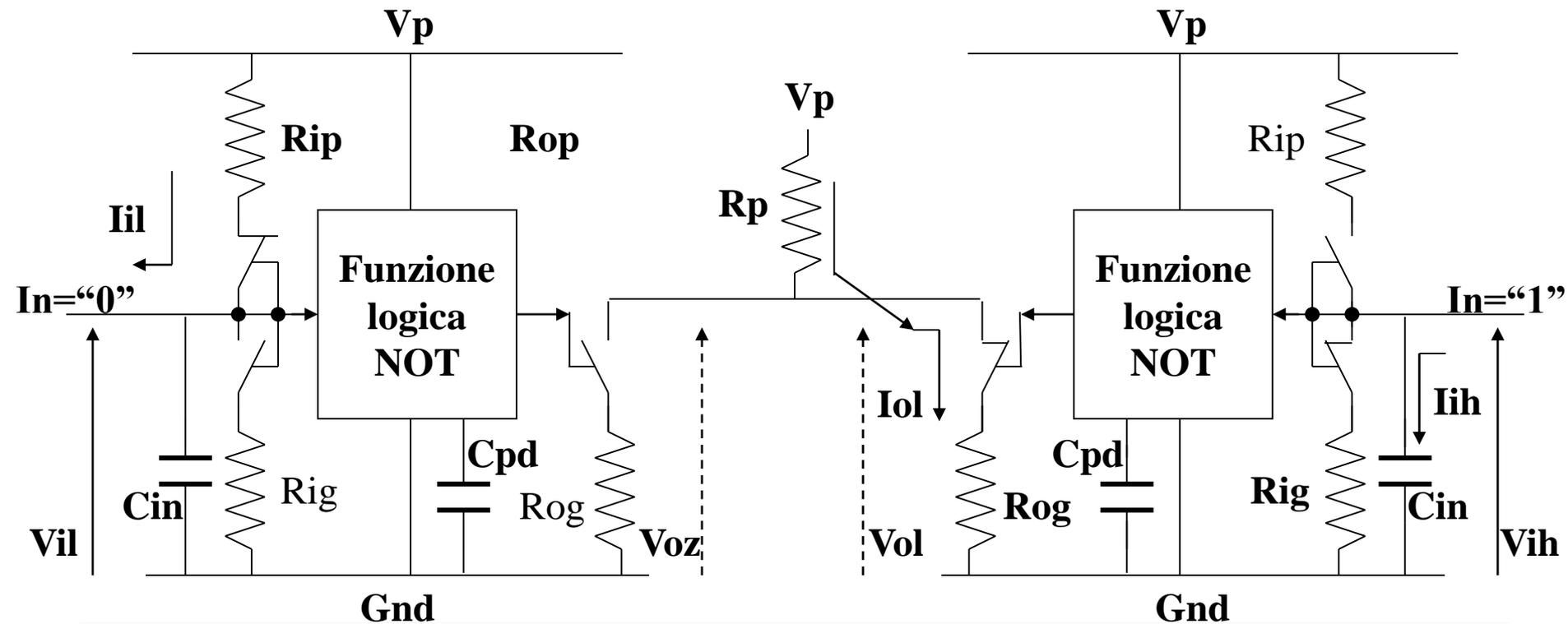
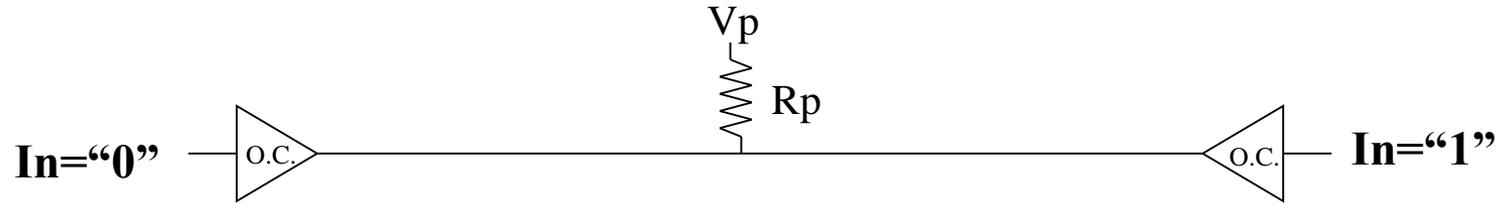


Modello e stadio di uscita

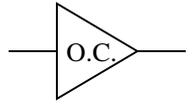


- **Dispositivi con uscita a collettore aperto (open collector)**

- Il dispositivo ha due uscite possibili: “0” e “Z” (alta impedenza)
- Necessità di resistenza esterna di pull-up R_p ($R_p \gg R_{op}$) per ricreare il livello “1”

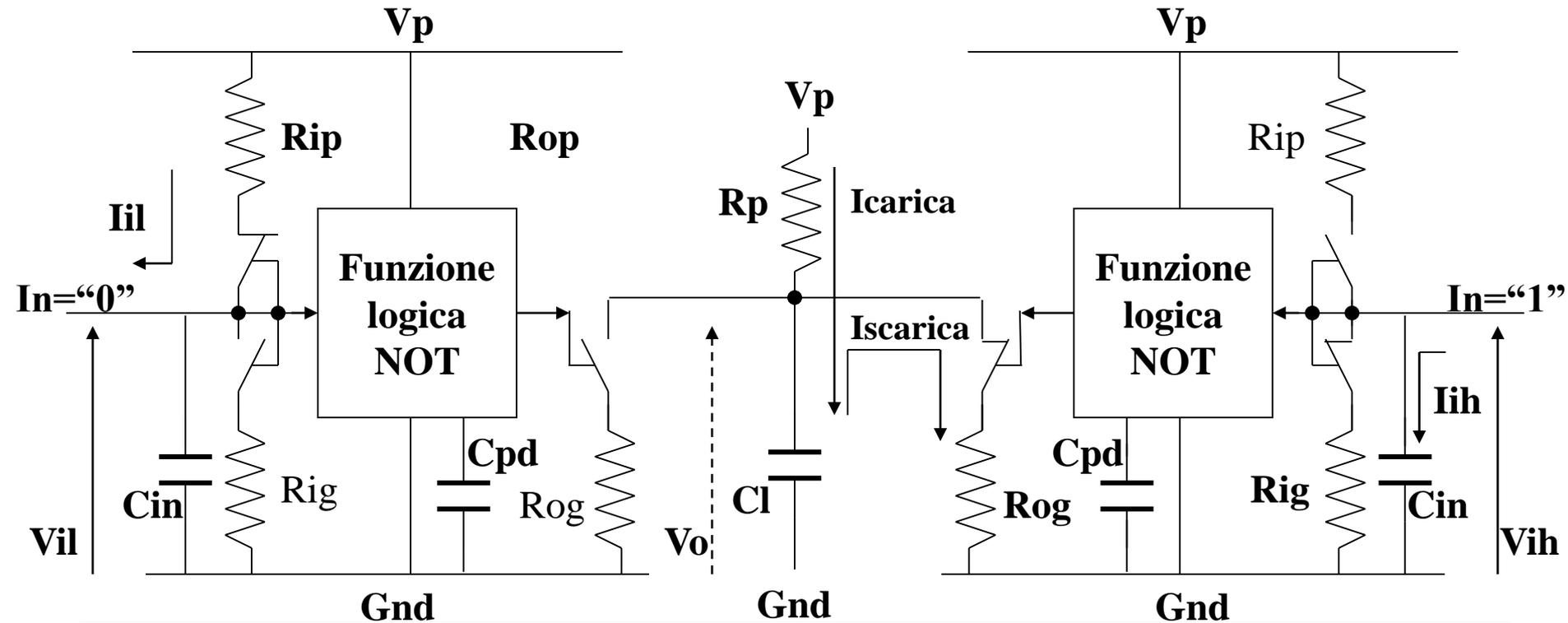
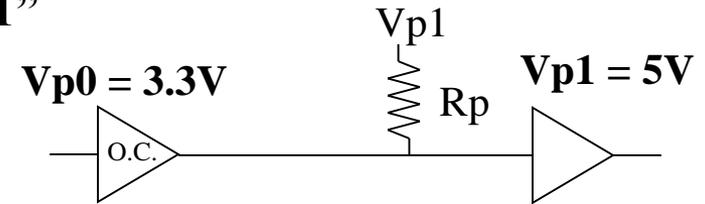


Modello e stadio di uscita

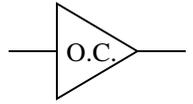


- **Dispositivi con uscita a collettore aperto (open collector)**

- Dato che $R_p \gg R_{op} \sim R_{og}$, si ha un livello “1” molto più debole dello “0”
- La capacità di carico C_l si scarica velocemente su R_{og} del dispositivo che impone la commutazione a “0”, ma è molto lenta a caricarsi attraverso R_p (uscite a “Z”)
- L’open collector può agire da traslatore del livello “1”
(es. da logiche a 3.3V verso logiche a 5V)



Modello e stadio di uscita

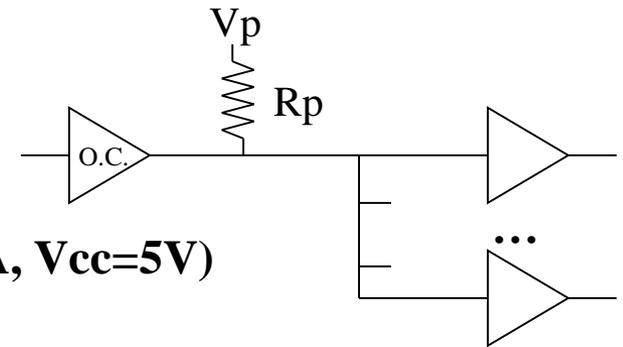


- **Dispositivi con uscita a collettore aperto (open collector)**
- **Esercizio: dimensionamento della resistenza di pull-up**

Dato un dispositivo open collector che può pilotare fino a 10 dispositivi, dimensionare R_p se si desidera mantenere un'immunità al rumore di $V_n=0,3V$.

($V_{ih}=2V$, $V_{il}=0,8V$, $V_{ol}=0,4V$, $I_{ol}=8mA$, $I_{il}=0,4mA$, $I_{ih}=20\mu A$, $V_{cc}=5V$)

NOTA: per un dispositivo O.C. non sono dati V_{oh} e I_{oh}



Soluzione

- R_p deve essere abbastanza piccola da fornire la corrente richiesta dagli N carichi ($N \cdot I_{ih}$) quando la linea è a livello “1” (“ V_{oh} ”= $V_{ih}+V_n$)

$$R_{max}=(V_{cc}-(V_{ih}+V_n))/(N \cdot I_{ih}) \quad (= 13,5k\Omega)$$

- La corrente che scorre in R_p quando la linea è a livello “0”, sommata alle correnti I_{il} provenienti dagli N carichi, deve essere inferiore alla massima corrente I_{ol} del pilota

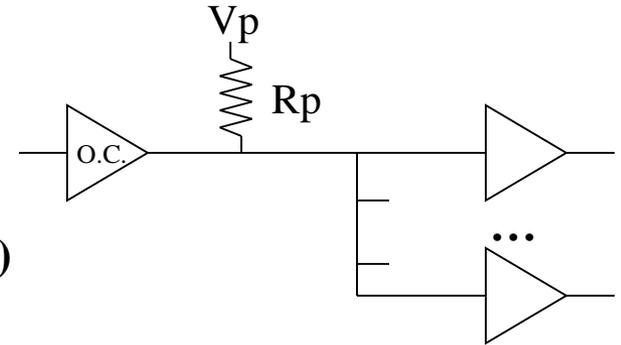
$$R_{min}=(V_{cc}-V_{ol})/(I_{ol}-N \cdot I_{il}) \quad (=1,15k\Omega)$$

- per cui un valore di $10k\Omega$ soddisfa i requisiti.
- **NOTA: un valore di $1,5 k\Omega$ rende il circuito più veloce**

Modello e stadio di uscita

• Esercizio: dimensionamento della resistenza di pull-up

Dato un dispositivo open collector con resistenza di pull-up di $10\text{ k}\Omega$, qual'è il FANOUT se desidero mantenere un'immunità al rumore di $V_n=0,3\text{V}$?
($V_{ih}=2\text{V}$, $V_{ol}=0,4\text{V}$, $I_{ol}=8\text{mA}$, $I_{il}=0,4\text{mA}$, $I_{ih}=20\mu\text{A}$, $V_{cc}=5\text{V}$)
NOTA: per un dispositivo O.C. non sono dati V_{oh} e I_{oh}



Soluzione

– R_p deve essere abbastanza piccola da fornire la corrente richiesta dagli N carichi ($N \cdot I_{ih}$) quando la linea è a livello “1” (“ V_{oh} ”= $V_{ih}+V_n$)

$$(V_{cc}-V_{oh})/R_p > N \cdot I_{ih} \quad N < (V_{cc}-V_{oh})/(R_p \cdot I_{ih}) \quad R_{max}=(V_{cc}-(V_{ih}+V_n))/(N \cdot I_{ih})$$

– La corrente che scorre in R_p quando la linea è a livello “0”, sommata alle correnti I_{il} provenienti dagli N carichi, deve essere inferiore alla massima corrente I_{ol} del pilota

$$I_{ol} > (V_{cc}-V_{ol})/R + N \cdot I_{il} \quad N < (R \cdot I_{ol}-V_{cc}+V_{ol})/I_{il} \quad R_{min}=(V_{cc}-V_{ol})/(I_{ol}-N \cdot I_{il})$$

$$- R=10\text{k}\Omega < R_{max} \rightarrow N < 13.5 \rightarrow N=13$$

$$- R=10\text{k}\Omega > R_{min} \rightarrow N < 18.85 \rightarrow N=18 \quad \text{quindi il numero massimo di carichi e' } 13$$

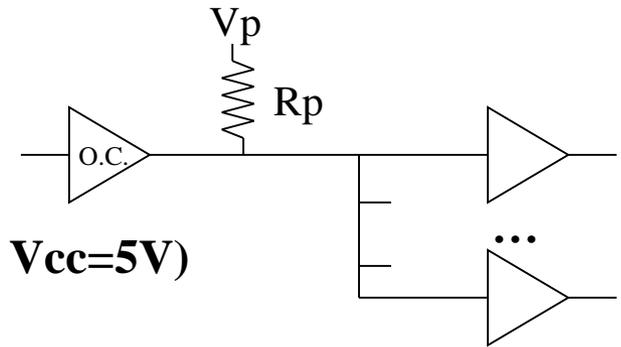
Modello e stadio di uscita

• Esercizio: dimensionamento della resistenza di pull-up

Dato un dispositivo open collector con resistenza di pull-up di $10\text{ k}\Omega$, qual'è la massima immunità al rumore che posso ottenere con $FANOUT=10$?

($V_{ih}=2\text{V}$, $V_{il}=.8\text{V}$, $V_{ol}=.4\text{V}$, $I_{ol}=8\text{mA}$, $I_{il}=.4\text{mA}$, $I_{ih}=20\mu\text{A}$, $V_{cc}=5\text{V}$)

NOTA: per un dispositivo O.C. non sono dati V_{oh} e I_{oh}



Soluzione

– R_p deve essere abbastanza piccola da fornire la corrente richiesta dagli N carichi ($N \cdot I_{ih}$) quando la linea è a livello “1” (“ V_{oh} ”= $V_{ih}+V_n$)

$$(V_{cc}-V_{oh})/R_p > N \cdot I_{ih} \quad V_{cc}-(V_{ih}+V_{nh}) > N \cdot R_p \cdot I_{ih} \quad V_{nh} < V_{cc}-V_{ih}-N \cdot R_p \cdot I_{ih} = 5-2-2=1\text{V}$$

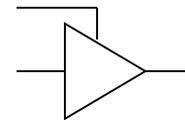
– La corrente che scorre in R_p quando la linea è a livello “0”, sommata alle correnti I_{il} provenienti dagli N carichi, deve essere inferiore alla massima corrente I_{ol} del pilota

$$I_{ol} > (V_{cc}-V_{ol})/R_p + N \cdot I_{il} \quad \text{ossia } 8 > 0,46+4 \quad \text{Condizione rispettata quindi } V_{nl}=V_{il}-V_{ol}=.4\text{V}$$

$$-V_n = \min(V_{oh}-V_{ih}, V_{il}-V_{ol}) = \min(V_{nh}, V_{nl}) = 0.4\text{V}$$

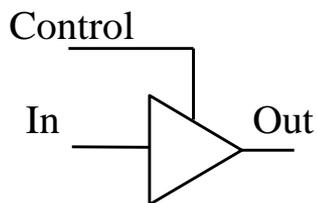
-> quindi la max immunità al rumore è $0,4\text{V}$ (immutata rispetto alla famiglia logica)

Modello e stadio di uscita



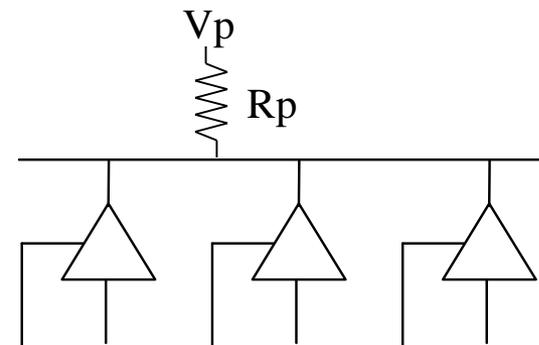
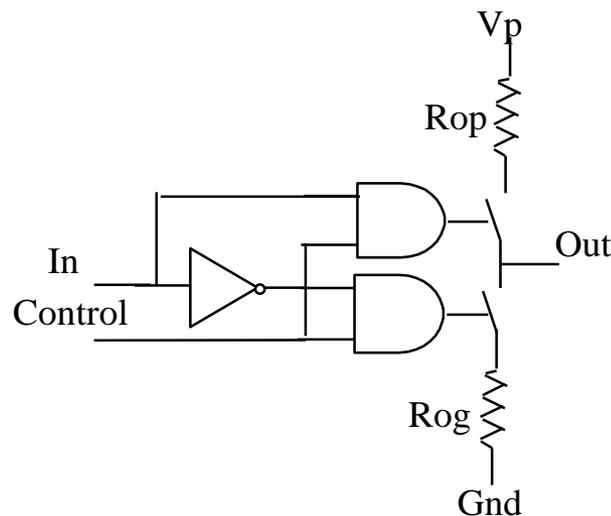
• Dispositivi con uscita con terzo stato (3-state)

- Lo stadio di uscita 3-state è aderente al modello di uscita (I_{oh} , I_{ol} , V_{oh} , V_{ol} , T_{rise} , T_{fall}) ma può funzionare anche con entrambi gli interruttori di uscita spenti (terzo stato = stato “Z” = stato ad alta impedenza)
- Il dispositivo ha tre uscite possibili: “0”, “1” e “Z” (alta impedenza)
- Necessità di un ingresso di controllo
- Necessità di una resistenza di pull-up per fissare il valore della linea quando il dispositivo ha l’uscita a “Z”
- Le linee multiutente realizzate con dispositivi 3-state necessitano di un protocollo perché solo un’uscita alla volta può essere abilitata

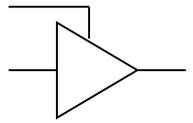


Control	In	Out
0	X	Z
1	0	0
1	1	1

X = indifferente

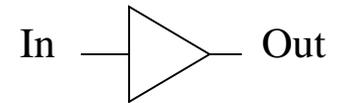
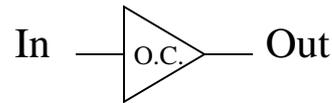
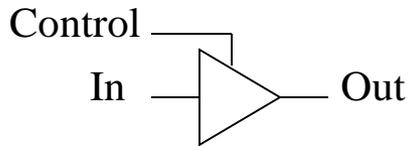


Modello e stadio di uscita



• Dispositivi con uscita con terzo stato (3-state)

- Lo stadio di uscita 3-state è il più generale e può emulare il funzionamento dell'open collector (se $In="0"$, applicando il segnale d'ingresso negato a Control) e della normale porta (se $Control="1"$)
- Non tutti i dispositivi si realizzano 3-state perché la logica di controllo degli switch di uscita rende il dispositivo più lento



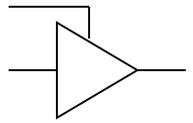
Control	In	Out
0	X	Z
1	0	0
1	1	1

In	Out
0	0
1	Z

In	Out
0	0
1	1

X = indifferente

Modello e stadio di uscita



• Dispositivi con uscita con terzo stato (3-state): caratteristiche

Vol = livello di tensione dell'uscita correttamente funzionante nello stato basso

Voh = livello di tensione dell'uscita correttamente funzionante nello stato alto

Iol = livello di corrente scambiato con il carico quando l'uscita e' a "0"

Ioh = livello di corrente scambiato con il carico quando l'uscita e' a "1"

Iozl = livello di corrente scambiato con il carico quando l'uscita e' a "0" ma il dispositivo e' tenuto in alta impedenza

Iozh = livello di corrente scambiato con il carico quando l'uscita e' a "1" ma il dispositivo e' tenuto in alta impedenza

Iccl = corrente assorbita dall'alimentazione con tutte le uscite del dispositivo a "0"

Icch = corrente assorbita dall'alimentazione con tutte le uscite del dispositivo a "1"

Iccz = corrente assorbita dall'alimentazione con tutte le uscite del dispositivo a "Z"

Tplh = ritardo di prop. del segnale da ingresso a uscita (transizione dell'uscita "0" a "1")

Tphl = ritardo di prop. del segnale da ingresso a uscita (transizione dell'uscita "1" a "0")

Tpzh = “ “ “ del segnale da ingresso a uscita (transizione dell'uscita “Z” a “1”)

Tpzl = “ “ “ del segnale da ingresso a uscita (transizione dell'uscita “Z” a “0”)

Tphz = “ “ “ del segnale da ingresso a uscita (transizione dell'uscita "1" a “Z”)

Tplz = “ “ “ del segnale da ingresso a uscita (transizione dell'uscita "0" a “Z”)

Modello e stadio di uscita

• Confronto open-collector 3-state

THREE-STATE

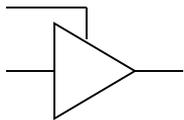
Più veloce (mantiene lo schema complementare)

Maggiore disponibilità di IC

Limitato FAN-OUT

Bassa affidabilità su linea multiutente

- meno semplice
- il singolo guasto si propaga



OPEN-COLLECTOR

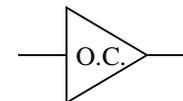
più lento (dipende da $R_{\text{pull-up}}$)
(lento solo da “0” a “1”)

Essenzialmente line-driver

Elevato FAN-OUT
(lo posso decidere con $R_{\text{pull-up}}$)

Elevata affidabilità su linea

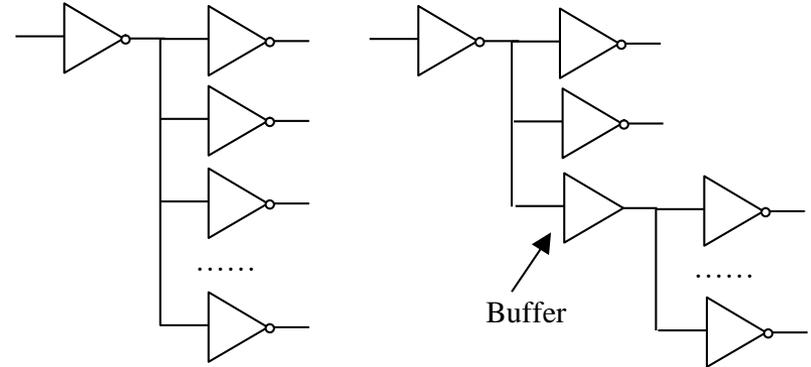
- più semplice (wired AND)
- il guasto non si propaga



Modello e stadio di uscita

- **Buffer e transceiver**

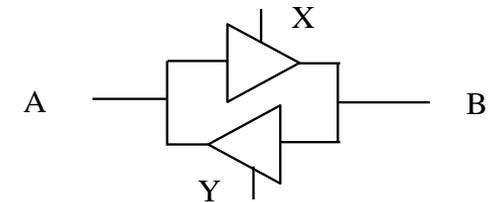
- **Esistono dispositivi con funzione logica identità (buffer) che servono per**
 - **modificare lo stadio di uscita (open collector o 3-state)**
 - **adattare il FANOUT statico o dinamico**



Problemi di FANOUT

- **Transceiver**

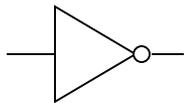
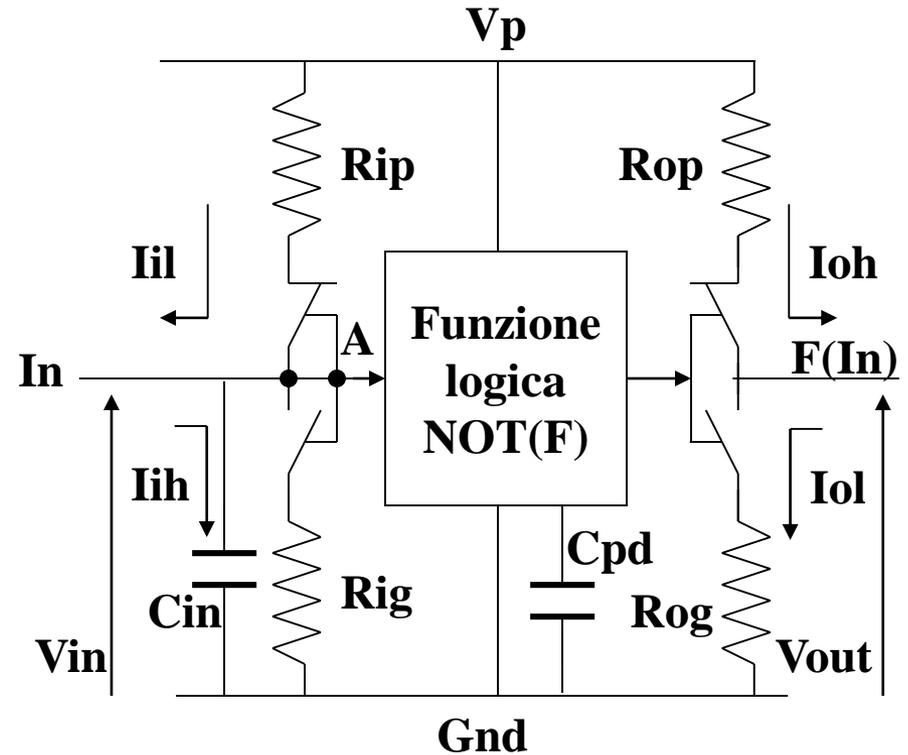
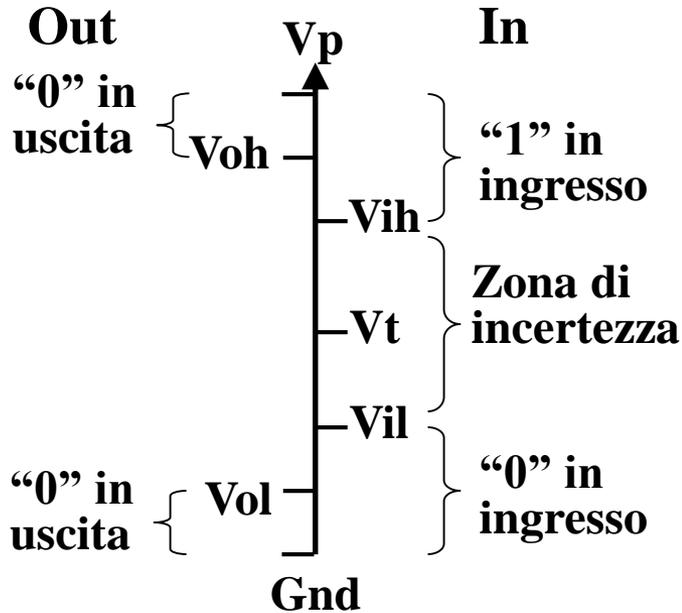
- **i buffer transceiver adattano il FANOUT statico o dinamico di bus bidirezionali**
- **composti da due 3-state in antiparallelo**
- **Organizzati in gruppi da 8 (comandi in comune)**
- **Linee !Sel e Dir disponibili all'utente (non X e Y)**



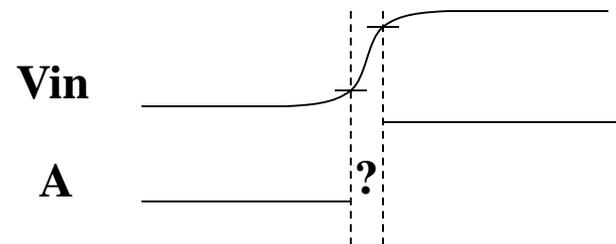
!Select	Dir	Operazione	X	Y	
0	0	Flusso da B a A	0	1	X = Direction&Select
0	1	Flusso da A a B	1	0	Y = ! Direction&Select
1	X	A e B isolati	0	0	

Modello e stadio di ingresso

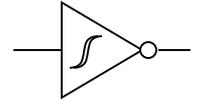
• Zona di incertezza



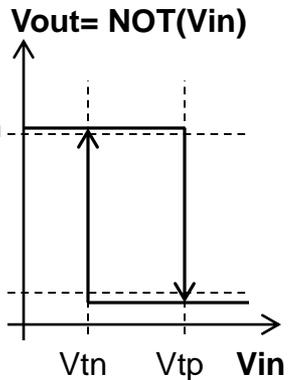
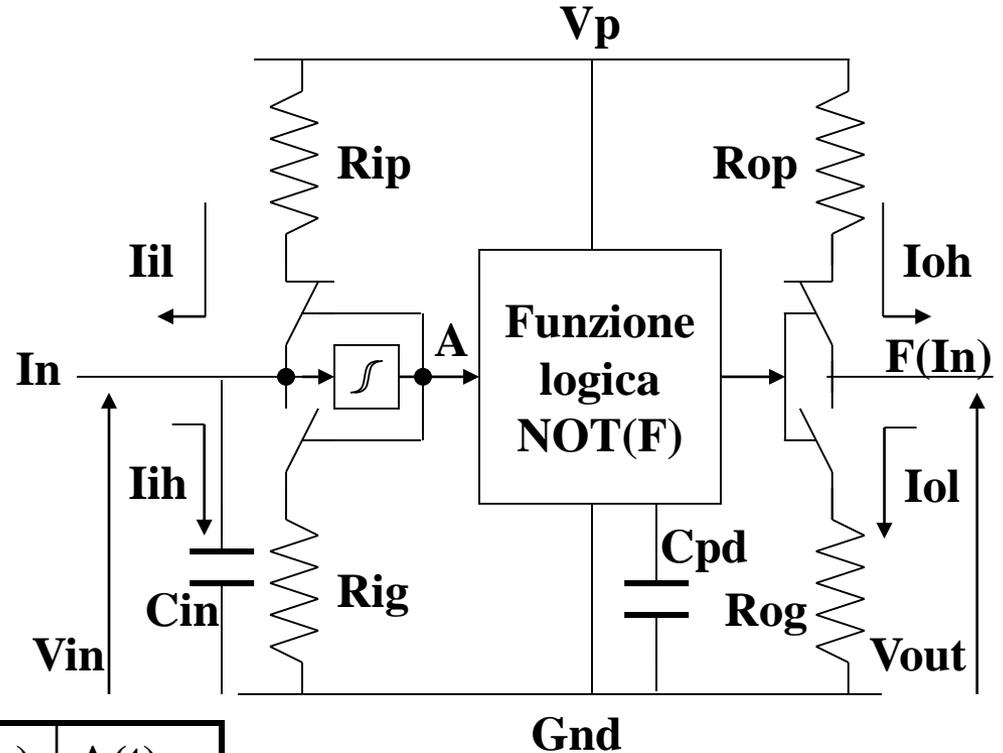
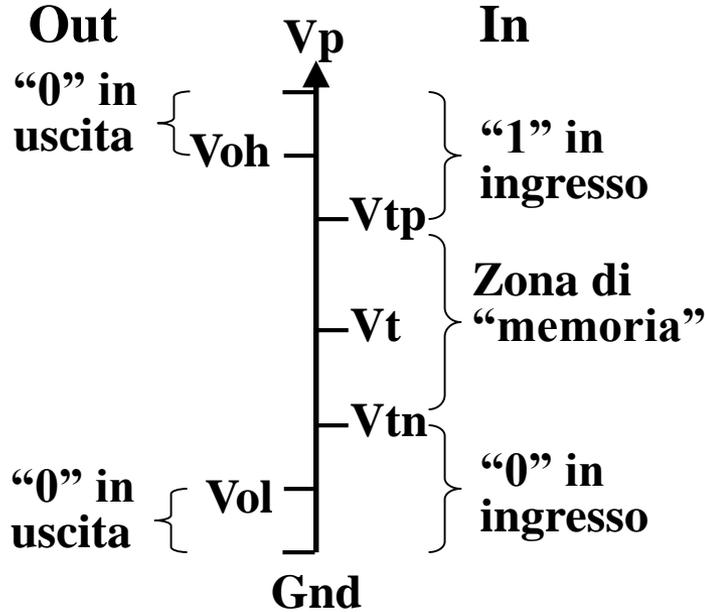
V_{in}	A
$< V_{il}$	“0”
$V_{il} < V_{in} < V_{ih}$?
$> V_{ih}$	“1”



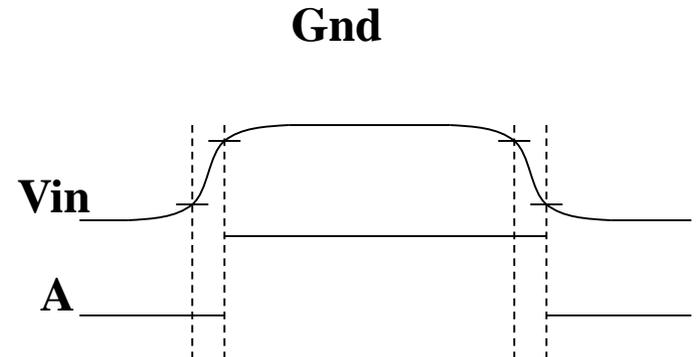
Modello e stadio di ingresso



- Zona di incertezza? “Non cambiare!” (Schmidt trigger)

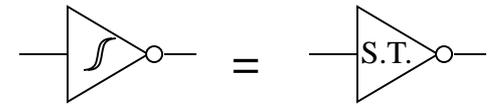


$V_{in}(t)$	$A(t-\tau)$	$A(t)$
$< V_{tn}$	X	“0”
$V_{tn} < V_{in} < V_{tp}$	“0”	“0”
$V_{tn} < V_{in} < V_{tp}$	“1”	“1”
$> V_{tp}$	X	“1”



X = indifferente, $\tau \sim 0$ (tempo di reazione)

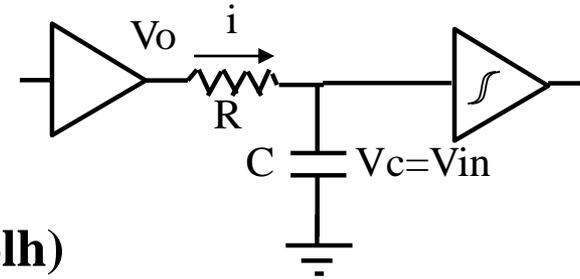
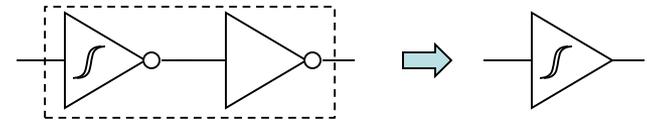
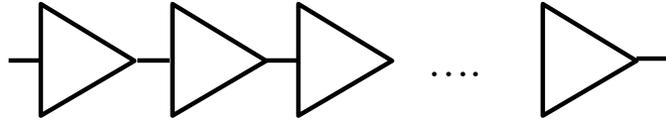
Modello e stadio di ingresso



- **Dispositivi con ingresso Schmidt trigger**
- **Ai livelli statici di tensione in ingresso (V_{il} e V_{ih}) si sostituiscono i livelli di transizione V_{tn} e V_{tp} (Isteresi $V_h = V_{tp} - V_{tn}$)**
- **Non si ha più zona d'incertezza**
 - L'uscita è sempre nota per tutti i valori dell'ingresso tra 0 e V_p
- **Cambia il concetto di immunità al rumore**
 - Se $V_{in} \leq V_{tn}$ (o $V_{in} \geq V_{tp}$) posso applicare un rumore pari a V_h senza modificare l'informazione in ingresso (rumore alla commutazione)
 - Se $V_{in} = V_{ol}$ (condizione statica) posso avere un rumore $V_n = V_{tp} - V_{ol}$
 - Se $V_{in} = V_{oh}$ (condizione statica) posso avere un rumore $V_n = V_{oh} - V_{tn}$
- **Durante la commutazione i dispositivi con ingresso Schmidt trigger scambiano in ingresso correnti più elevate ($I_{tp} > I_{ih}$, $I_{tn} > I_{il}$)**
 - Cambia il concetto di FANOUT $N = \min(I_{ol}/I_{il}, I_{oh}/I_{ih})$
(Se $N > M = \min(I_{oh}/I_{tp}, I_{ol}/I_{tn})$ allora solo M dispositivi commutano “subito”)
- **I dispositivi con ingresso Schmidt trigger sono più lenti ($\sim +50\%$)**
- **I dispositivi con ingresso Schmidt trigger si utilizzano per “squadrare” i segnali**
 - Adattamento di logiche lente verso logiche veloci
 - Adattamento di FANOUTd (Se $C_l \gg C_o$ devo utilizzare questi dispositivi)

Modello e stadio di ingresso

• Circuiti generatori di ritardo



- Il ritardo generato da $2N$ porte è pari a $N(T_{phl} + T_{plh})$
- Il ritardo del circuito RC dipende dalla tensione $V_c(t)$ dopo la commutazione di V_o all'istante $0+$ tra V_{ol} e V_{oh} e viceversa (si ipotizzi impedenza d'ingresso infinita per il dispositivo ricevitore)

$$V_o = R \cdot i(t) + V_c(t) \quad \text{ma per un condensatore } i(t) = C \cdot dV_c(t)/dt$$

$$V_o = \tau \cdot dV_c(t)/dt + V_c(t) \quad \text{per cui } dV_c(t)/dt + V_c(t)/\tau = V_o/\tau$$

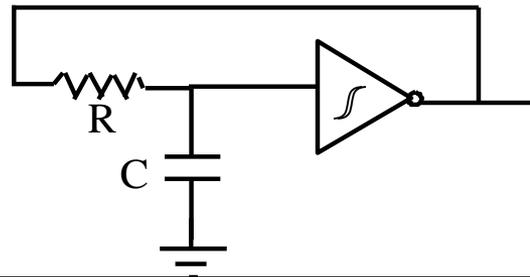
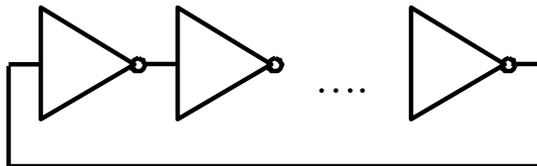
$$\text{da cui } V_c(t) = (V_c(0) - V_o)e^{-t/\tau} + V_o \quad \text{ossia, in generale,}$$

$$V_{in}(t) = V_{in}(0) + (V_{in}(\infty) - V_{in}(0))(1 - e^{-t/\tau}) \quad (\tau = R \cdot C)$$

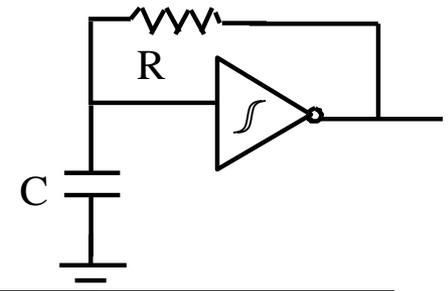
• Circuiti oscillanti

- L'oscillatore ad anello a $2N+1$ porte NOT oscilla con periodo $(2N+1)(T_{phl} + T_{plh})$

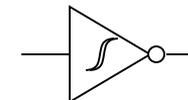
- Il ritardo del circuito RC si comporta come sopra



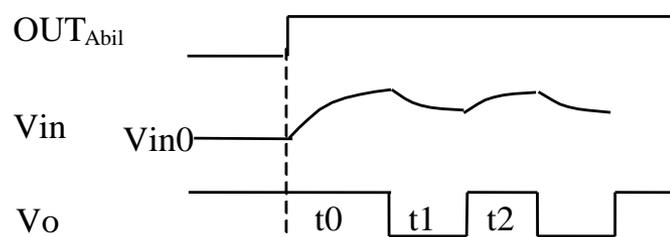
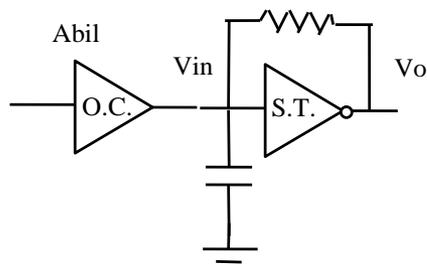
=



Modello e stadio di ingresso



- Circuiti con dispositivi con ingresso Schmidt trigger: astabile

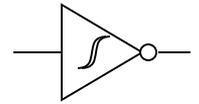


Carica/scarica C $V_{th} = (V_{fin} - V_{ini})(1 - e^{-tx/\tau}) + V_{ini}$ $tx = \tau * \ln(V_{fin} - V_{ini}) / (V_{fin} - V_{th})$

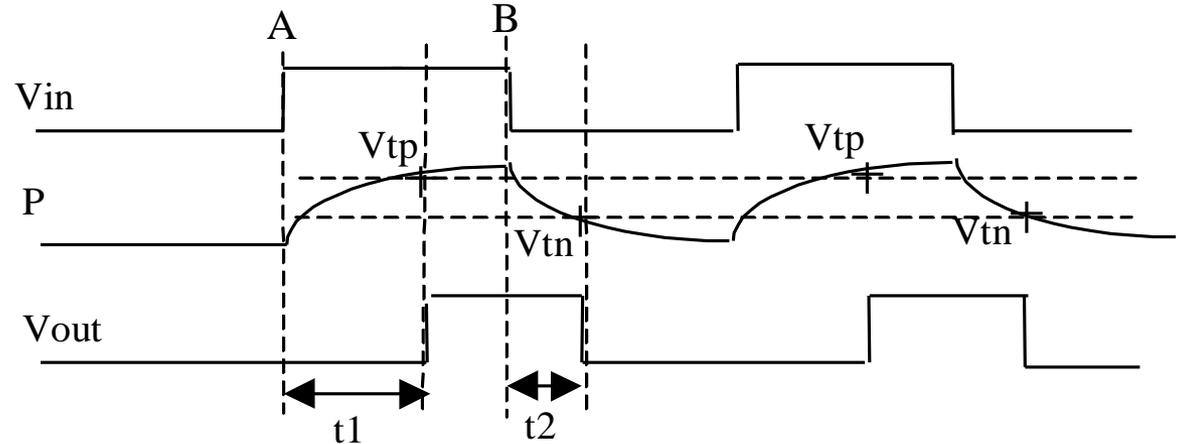
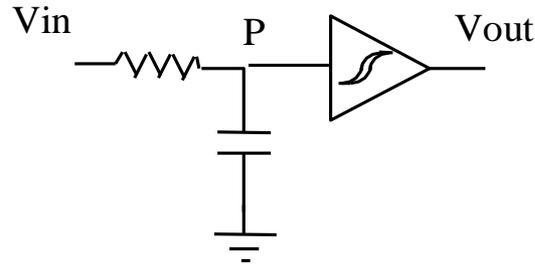
- $t=0$: $V_{out_Abil} = Vol$ $V_{in0} = Vol \approx "0"$ \Rightarrow $V_o = V_{oh}$ ($\tau = R \cdot C$)
- $t=start$: $V_{out_Abil} = "Z"$ $V_{in} = (V_{oh} - V_{in0})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{in0}$ $V_o = V_{oh}$
- $t=t_0$: $V_{in} = V_{tp}$ $t_0 = \tau * \ln(V_{oh} - V_{in0}) / (V_{oh} - V_{tp})$ $V_o = Vol$
 $V_{in} = (Vol - V_{tp})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{tp}$
- $t=t_1$: $V_{in} = V_{tn}$ $t_1 = \tau * \ln(V_{tp} - Vol) / (V_{tn} - Vol)$ $V_o = V_{oh}$
 $V_{in} = (V_{oh} - V_{tn})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{tn}$
- $t=t_2$: $V_{in} = V_{tp}$ $t_2 = \tau * \ln(V_{oh} - V_{tn}) / (V_{oh} - V_{tp})$ $V_o = Vol$
 $V_{in} = (Vol - V_{tp})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{tp}$

- Gli oscillatori realizzati mediante questo circuito sono di bassa qualità (i livelli dipendono dalla temperatura e dalla tensione di alimentazione)
- Si possono realizzare oscillatori ad anello costituiti da una serie di $2N+1$ porte NOT o da contatori

Modello e stadio di ingresso



- Circuiti con dispositivi con ingresso Schmidt trigger: ritardo



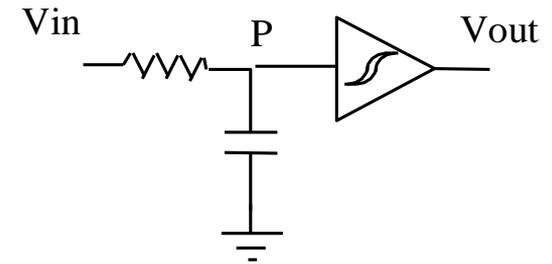
$t=A^-:$	$V_{in} = V_{ol}$	$V_p = V_{p0} \approx V_{in} \approx 0$	$(\tau = R \cdot C)$	$V_{out} = V_{ol}$
$t=A^+:$	$V_{in} = V_{oh}$	$V_p = (V_{oh} - V_{p0})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{p0}$		$V_{out} = V_{ol}$
$t=t_1:$	$V_p = V_{tp}$	$t_1 = \tau \cdot \ln(V_{oh} - V_{ol}) / (V_{oh} - V_{tp})$		$V_{out} = V_{oh}$
		$V_p = (V_{oh} - V_{ol})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{ol} \rightarrow V_{oh}$		
$t=B:$	$V_{in} = V_{ol}$	$V_p = (V_{ol} - V_{oh})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{oh}$		$V_{out} = V_{oh}$
$t=t_2:$	$V_p = V_{tn}$	$t_2 = \tau \cdot \ln(V_{oh} - V_{ol}) / (V_{tn} - V_{ol})$		$V_{out} = V_{ol}$
		$V_p = (V_{ol} - V_{oh})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{oh} \rightarrow V_{ol} \dots$		

- I generatori di ritardo realizzati mediante questo circuito sono di bassa qualità (i livelli dipendono dalla temperatura e dalla tensione di alimentazione)
- Si può realizzare “ritardi” mediante sequenze pari di porte NOT o contatori

Modello e stadio di ingresso

• Esercizio, generatore di ritardo

Dato il circuito a lato, si ipotizzi di applicare in ingresso un'onda quadra con duty cycle pari a 50% a 10kHz. Si calcoli la massima variazione del duty cycle in uscita e lo sfasamento medio tipico (ritardo). ($\tau = RC = 10\mu s$)



	min	typ	max
V_{ol}	0V	0.25V	0.4V
V_{oh}	2.7V	3.4V	3.7V
V_{tn}	0.5V	0.8V	1.0V
V_{tp}	1.4V	1.6V	1.9V

Soluzione

Dato un segnale a frequenza F (periodo T) il duty cycle D è definito come T_{on}/T . In ingresso $T_{on}=50\%T=T/2=50\mu s$, in uscita è $T_{on}=T/2-t_1+t_2=50\mu s-(t_1-t_2)$: il valore minimo e massimo verrà calcolato utilizzando il valore minimo e massimo di t_1-t_2 . Lo sfasamento medio tipico sarà dato dal valore medio di t_1 e t_2 tipici. Applicando le relazioni sopra indicate si ha:

$$t_1-t_2 = \tau \cdot \ln((V_{oh}-V_{ol})/(V_{oh}-V_{tp})) - \tau \cdot \ln((V_{oh}-V_{ol})/(V_{tn}-V_{ol})) = \tau \cdot \ln((V_{tn}-V_{ol})/(V_{oh}-V_{tp}))$$

$$t_1-t_2, \text{min} = \tau \cdot \ln((0.5-0.4)/(3.7-1.4)) = -3.1\tau = -31\mu s$$

$$t_1-t_2, \text{max} = \tau \cdot \ln((1.0-0)/(2.7-1.9)) = 0.22\tau = 2.2\mu s$$

Quindi il duty cycle può variare dal 47.8% al 81%.

$$t_1, \text{typ} = \tau \cdot \ln((3.4-0.25)/(3.4-1.6)) = 0.56\tau = 5.6\mu s$$

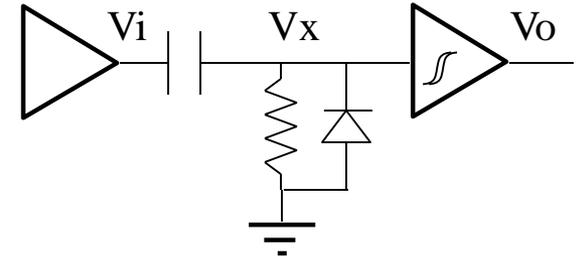
$$t_2, \text{typ} = \tau \cdot \ln((3.4-0.25)/(0.8-0.25)) = 1.75\tau = 17.5\mu s$$

Lo sfasamento tipico medio è pari a $(t_1, \text{typ} + t_2, \text{typ})/2 = 1.155\tau = 11.5\mu s$

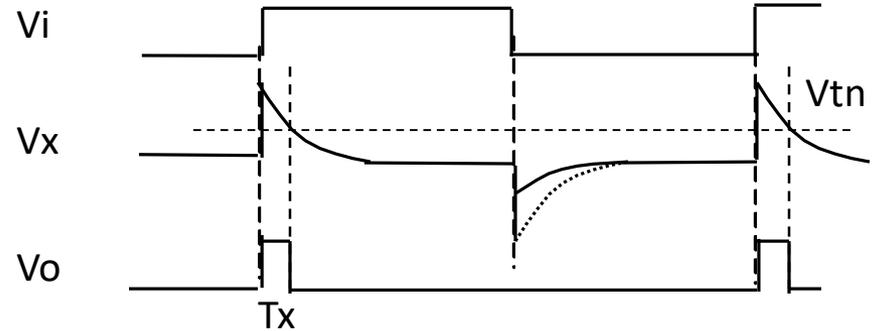
Modello e stadio di ingresso

• Esercizio, rilevatore fronte di salita

Dato il circuito a lato, se ne discuta il funzionamento, ipotizzando di applicare in ingresso un'onda quadra con duty cycle pari a 50% a 10kHz. ($\tau = RC = 10\mu s$)



	min	typ	max
Vol	0V	0.25V	0.4V
Voh	2.7V	3.4V	3.7V
Vtn	0.5V	0.8V	1.0V
Vtp	1.4V	1.6V	1.9V



Soluzione

Il circuito agisce da rilevatore di fronte di salita generando in uscita un impulso di durata fissa T_x in corrispondenza di un fronte positivo in ingresso. Il diodo evita tensioni negative troppo elevate in corrispondenza del fronte di discesa. All'inizio $V_i = V_{ol}$ e $V_x = 0$. All'applicazione del fronte di salita su V_i ($V_{ol} \rightarrow V_{oh}$), il condensatore trasmette la variazione di tensione $V_{oh} - V_{ol}$ al punto V_x che si porta istantaneamente a $V_{oh} - V_{ol}$ attraversando V_{tp} e quindi portando a "1" l'uscita del circuito. Il condensatore comincia a caricarsi secondo la legge esponenziale applicata a $V_c = V_i - V_x$.

$V_c = V_{ol} + (V_{oh} - V_{ol})(1 - e^{-t/\tau})$. Quindi si ha $V_x = V_i - V_c = V_{oh} - V_{ol} - (V_{oh} - V_{ol})(1 - e^{-t/\tau}) = (V_{oh} - V_{ol})e^{-t/\tau}$

T_x è il tempo che impiega V_x ad arrivare da $V_{oh} - V_{ol}$ a V_{tn} . $V_{tn} = (V_{oh} - V_{ol})e^{-T_x/\tau}$

$T_x = \tau \cdot \ln((V_{oh} - V_{ol})/V_{tn}) = \tau \cdot \ln((3.4 - 0.25)/0.8) = \tau \cdot 1.37 = 13.7 \mu s$

$T_{x, \max} = \tau \cdot \ln((3.7 - 0)/0.5) = \tau \cdot 2.00 = 20 \mu s$

$T_{x, \min} = \tau \cdot \ln((2.7 - 0.4)/1) = \tau \cdot 0.83 = 8.3 \mu s$

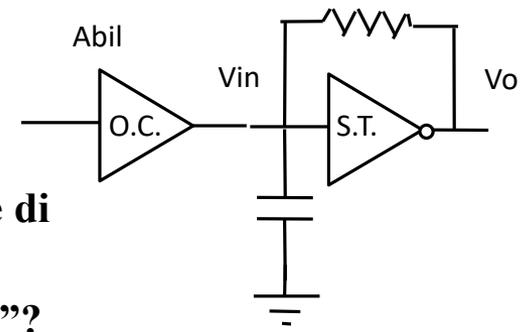
Nota: il rilevatore di fronte può essere ottenuto anche dal generatore di ritardo e da porte logiche

$V_o = V_i(t) \& \neg V_i(t - \tau)$ (l'uscita è il risultato dell'AND tra l'ingresso e il negato dell'ingresso ritardato)

Modello e stadio di ingresso

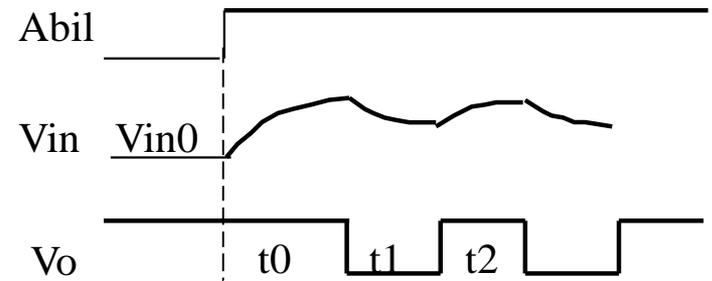
• Esercizio

Dato il circuito a lato, si ipotizzi di applicare all'ingresso Abil un fronte di salita e si calcoli il periodo max e typ di oscillazione. ($\tau = RC = 10\mu s$).



Qual è la minima durata dell'impulso di Abil per variare l'uscita da "1"?

	min	typ	max
Vol	0V	0.25V	0.4V
Voh	2.7V	3.4V	3.7V
Vtn	0.5V	0.8V	1.0V
Vtp	1.4V	1.6V	1.9V



- $t=t1$: $V_{in}=V_{tn}$ $t1 = \tau \cdot \ln(V_{tp}-V_{ol})/(V_{tn}-V_{ol})$
 $typ = \tau \cdot \ln(1.6-0.25)/(0.8-0.25) = 9.0\mu s$ $max = \tau \cdot \ln(1.9-0)/(0.5-0.4) = 29.4\mu s$
 $V_o = V_{oh}$ $V_{in} = (V_{oh}-V_{tn}) \cdot (1-e^{-t/\tau}) + V_{tn}$ **salita**
- $t=t2$: $V_{in}=V_{tp}$ $t2 = \tau \cdot \ln(V_{oh}-V_{tn})/(V_{oh}-V_{tp})$
 $typ = \tau \cdot \ln(3.4-0.8)/(3.4-1.6) = 3.7\mu s$ $max = \tau \cdot \ln(3.7-0.5)/(2.7-1.9) = 13.9\mu s$
 $V_o = V_{ol}$ $V_{in} = (V_{ol}-V_{tp}) \cdot (1-e^{-t/\tau}) + V_{tp}$ **discesa**

- $t=0^-$: $V_{out_{Abil}} = V_{ol}$ $V_{in0} = V_{ol}, V_o = V_{oh}$
- $t=0^+$: $V_{in} = (V_{oh}-V_{in0}) \cdot (1-e^{-t/\tau}) + V_{in0}$ $V_o = V_{oh}$
- $t=t0$: $V_{in} = V_{tp}$ $t0 = \tau \cdot \ln(V_{oh}-V_{in0})/(V_{oh}-V_{tp})$ $V_o = V_{ol}$

- Per avere commutazione in uscita è necessario attendere $t0$ il cui valore massimo è pari a $t0 = \tau \cdot \ln(3.7-0)/(2.7-1.9) = 15.3\mu s$

Oscillatore Schmidt Trigger basato su 74HC132

• Dal datasheet 74HC132 ($V_{cc}=5V$)

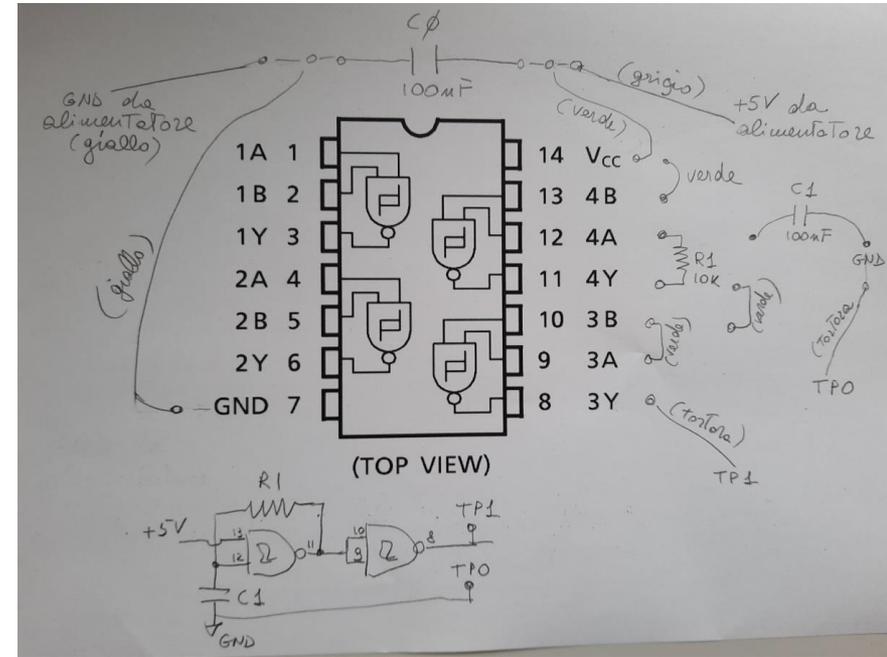
$R=10k$, $C=100nF$ ($\tau = RC = 1ms$). Periodo T ? Ton?

	min	typ	max
V_{ol}	0V	0.05V	0.1V
V_{oh}	4.9V	4.95V	5V
V_{tn}	1V	1.86V	2.45V
V_{tp}	1.8V	2.63V	3.45V

Isteresi minima a 0.5V (typ 0.77V)

NOTE:

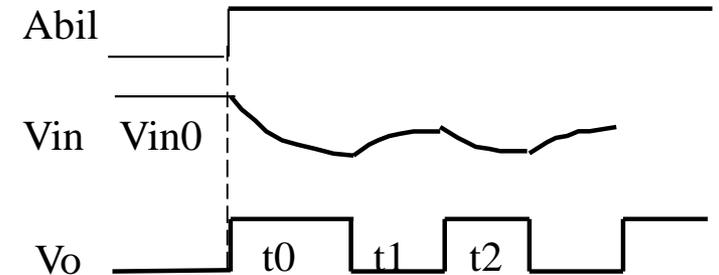
- valori di soglia molto variabili
- $V_{in} = V_{C1}$, $V_o = \text{Pin 8 del 74HC132 (TP1)}$
- $t_x = \tau \cdot \ln(V_{fin} - V_{ini}) / (V_{fin} - V_{th})$



$t=t_0(\text{Toff}): V_{in0}=V_{oh} \quad V_{in} = (V_{ol}-V_{oh})(1-e^{-t/\tau}) + V_{oh}$
 $V_{in}=V_{tn} \quad t_0 = \tau \cdot \ln(V_{oh}-V_{ol}) / (V_{tn}-V_{ol})$
 $\text{typ} = \tau \cdot \ln(4.95-0.05) / (1.86-0.05) = 1.00ms$

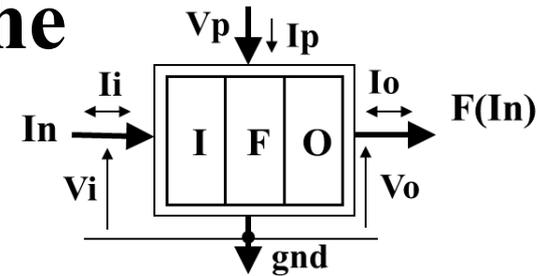
$t=t_1(\text{Toff}): V_{in0}=V_{tn} \quad V_{in} = (V_{oh}-V_{tn})(1-e^{-t/\tau}) + V_{tn}$
 $V_{in}=V_{tp} \quad t_1 = \tau \cdot \ln(V_{oh}-V_{tn}) / (V_{oh}-V_{tp})$
 $\text{typ} = \tau \cdot \ln(4.95-1.86) / (4.95-2.63) = 0.29ms$

$t=t_2(\text{Ton}): V_{in0}=V_{tp} \quad V_{in} = (V_{ol}-V_{tp})(1-e^{-t/\tau}) + V_{tp}$
 $V_{in}=V_{tn} \quad t_2 = \tau \cdot \ln(V_{ol}-V_{tp}) / (V_{ol}-V_{tn})$
 $\text{typ} = \tau \cdot \ln(0.05-2.63) / (0.05-1.86) = 0.35ms$



NOTA: risultati sperimentali diversi (nel mio caso $t_2 > t_1$ e $t_1 + t_2 = 0.95ms$) (corrispondenti a circa $V_{tn}=2$ e $V_{tp}=3,1$)

L'elemento "Buffer" e le porte logiche



- **Buffer =dispositivo con funzione logica F identità invertente o non**
 - Viene utilizzato per risolvere problemi di FANOUT statico o dinamico
 - Il Buffer risolve problemi di FANOUT statico in quanto "rigenera" la corrente ($I_{ol} > I_{il}$ e $I_{oh} > I_{ih}$)
 - Il Buffer risolve problemi di FANOUT dinamico in quanto "rigenera" la capacità ($C_{lo} > C_{in}$)
- **Esistono Buffer con ingressi o uscite speciali**
 - Buffer con uscita open-collector o three state
 - Buffer con ingresso Schmidt trigger
 - Buffer con uscite potenziato in corrente
- **Esistono dispositivi che integrano da 1 a 4 porte logiche**
 - (NOT), OR, AND, NOR, NAND, XOR, AOI (AND-OR-INVERT)
 - Le porte possono avere un numero variabile di ingressi
 - FAN-IN = numero di ingressi per porta logica (tip. 8, 16, 32)
 - Ci sono notevoli complicazioni tecnologiche a realizzare una porta NAND con 100 ingressi!