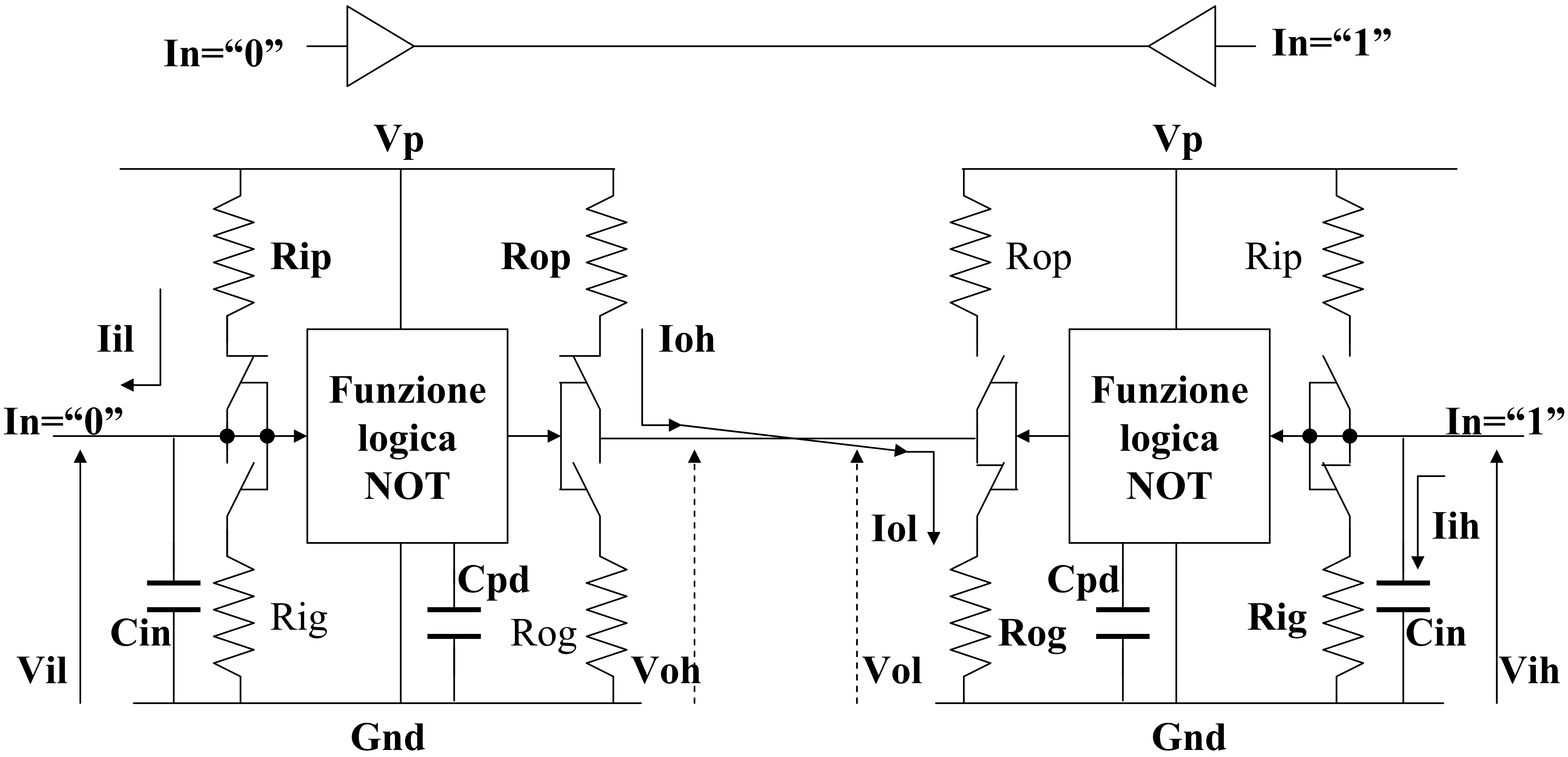
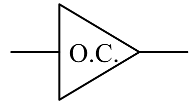
Stadi di Ingresso e Uscita “speciali”

Modello e stadio di uscita

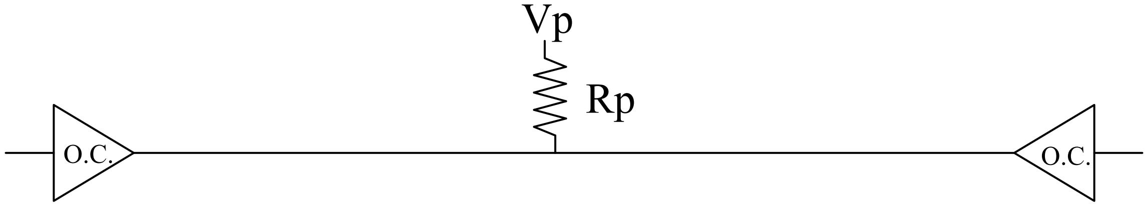
- **Non è possibile connettere le uscite di due dispositivi**
  (bassa impedenza di uscita = percorso a bassa impedenza tra Vp e gnd)
  - **Scorre una corrente Ip tra Vp e gnd attraverso Rop (dx) e Rog (sx), Ip=Vp/(Rop+Rog)**
  - **La linea si porta alla tensione di partitore V = Vp·Rog/(Rop+Rog)**
  - **Se Rop=Rog V = Vp/2 (zona di incertezza)**

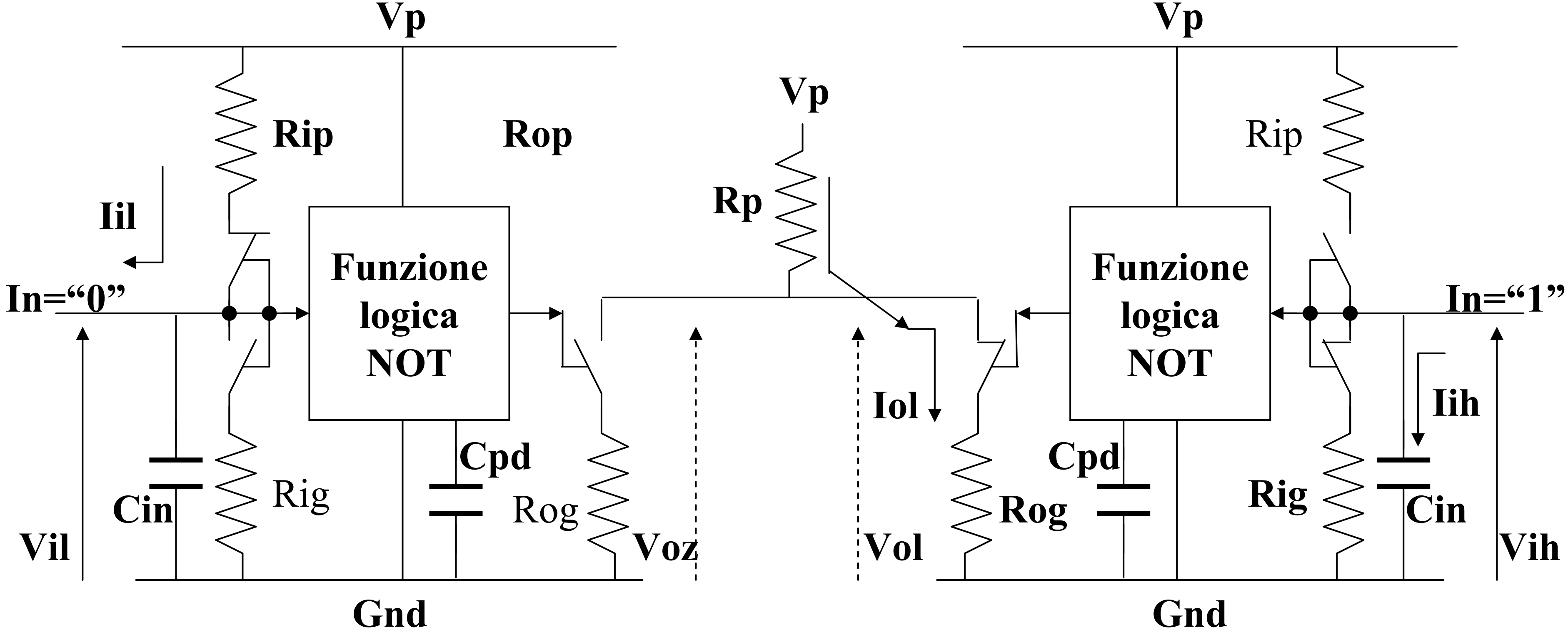


Modello e stadio di uscita

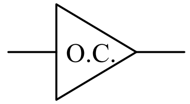


- **Dispositivi con uscita a collettore aperto (open collector)**
  - Il dispositivo ha due uscite possibili: “0” e “Z” (alta impedenza)
  - Necessità di resistenza esterna di pull-up Rp (Rp>>Rop) per ricreare il livello “1”

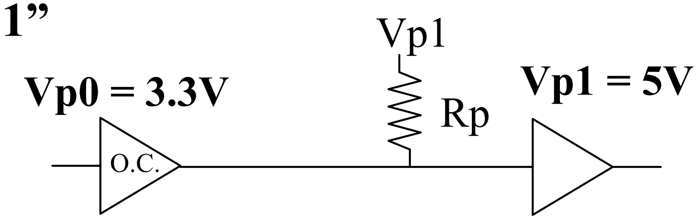


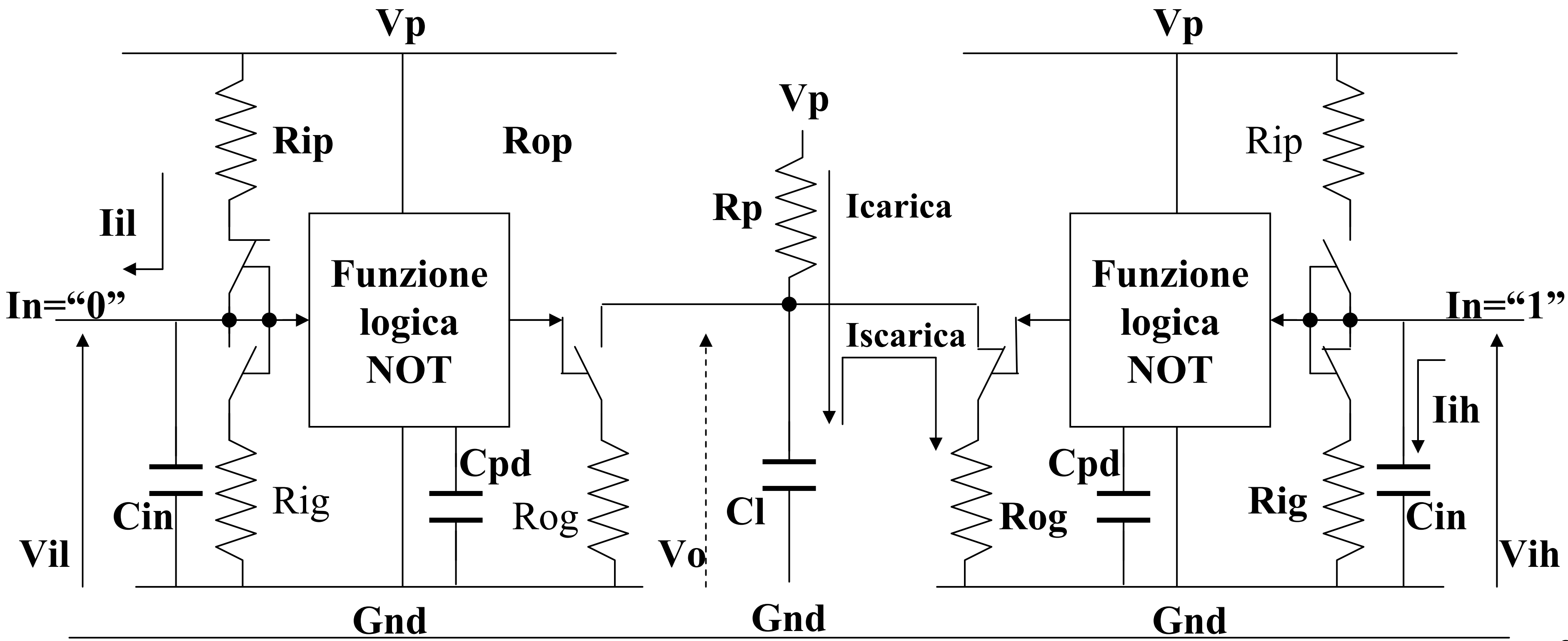


Modello e stadio di uscita

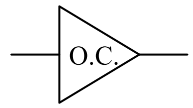


- **Dispositivi con uscita a collettore aperto (open collector)**
  - Dato che Rp>>Rop~Rog, si ha un livello “1” molto più debole dello “0”
  - La capacità di carico Cl si scarica velocemente su Rog del dispositivo che impone la commutazione a “0”, ma è molto lenta a caricarsi attraverso Rp (uscite a “Z”)
  - L’open collector può agire da traslatore del livello “1” (es. da logiche a 3.3V verso 5V)

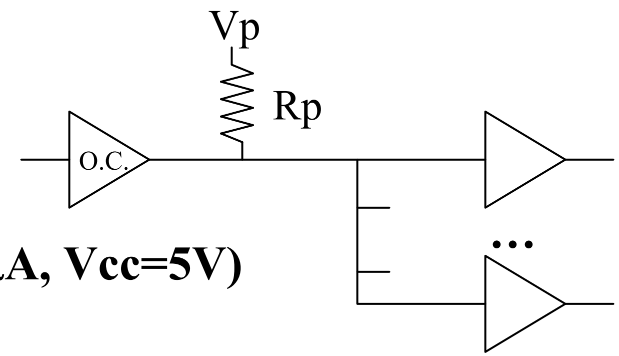




Modello e stadio di uscita



- **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 Rp se si desidera mantenere un'immunità al rumore di Vn=0,3V.
(Vih=2V, Vil=0,8V, Vol=.4V, Iol=8mA, Iil=.4mA, Iih=20μA, Vcc=5V)
NOTA: per un dispositivo O.C. non sono dati Voh e Ioh

Soluzione

– Rp deve essere abbastanza piccola da fornire la corrente richiesta dagli N carichi (N·Iih) quando la linea è a livello "1" ("Voh"=Vih+Vn)

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

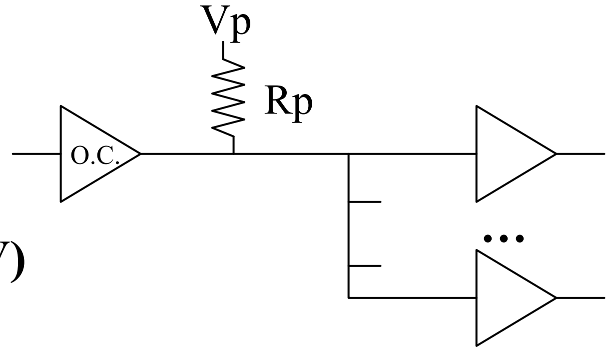
– La corrente che scorre in Rp quando la linea è a livello "0", sommata alle correnti Iil provenienti dagli N carichi, deve essere inferiore alla massima corrente Iol del pilota

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

– per cui un valore di 10kΩ soddisfa i requisiti.
– NOTA: un valore di 1,5 kΩ 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 kΩ, qual'è il FANOUT se desidero mantenere un'immunità al rumore di Vn=0,3V?
(Vih=2V, Vol=.4V, Iol=8mA, Iil=.4mA, Iih=20μA, Vcc=5V)
NOTA: per un dispositivo O.C. non sono dati Voh e Ioh

Soluzione

– Rp deve essere abbastanza piccola da fornire la corrente richiesta dagli N carichi (N·Iih) quando la linea è a livello "1" ("Voh"=Vih+Vn)

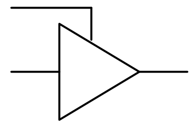
(Vcc-Voh)/Rp> N·Iih   N < (Vcc-Voh)/(Rp·Iih)   Rmax=(Vcc-(Vih+Vn))/(N·Iih)

– La corrente che scorre in Rp quando la linea è a livello "0", sommata alle correnti Iil provenienti dagli N carichi, deve essere inferiore alla massima corrente Iol del pilota

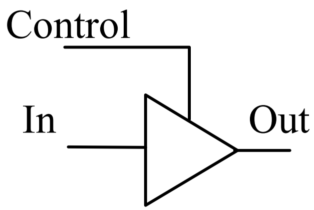
Iol > (Vcc-Vol)/R + N·Iil   N <(R·Iol-Vcc+Vol)/Iil   Rmin=(Vcc-Vol)/(Iol-N·Iil)

– Rmax>10KΩ   ->   N<13.5   -> N=13
– Rmin<10KΩ   ->   N<18.85 -> N=18   quindi il numero massimo di carichi e' 13

Modello e stadio di uscita

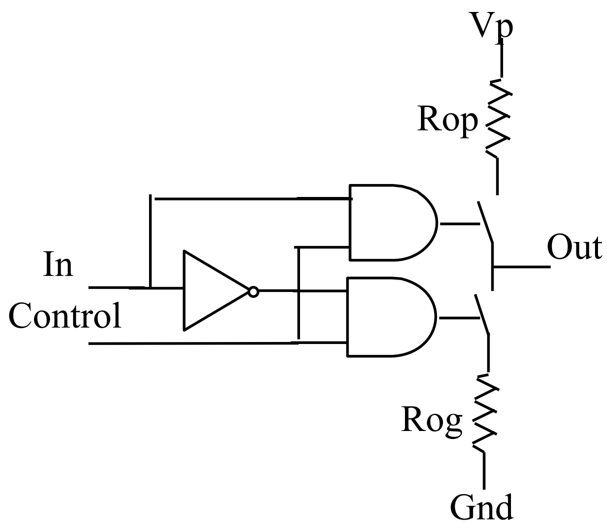


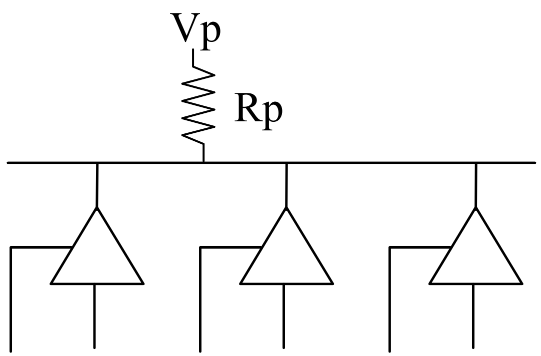
- **Dispositivi con uscita con terzo stato (3-state)**
  - **Lo stadio di uscita 3-state è aderente al modello di uscita (Ioh, Iol, Voh, Vol, Trise, Tfall) ma può funzionare anche con entrambi gli interruttori di uscita spenti (terzo stato = stato "Z" = stato ad alta impedenza)**
  - **Il dispositivo ha tre uscite possibili: "0", "1" e "Z" (alta impedenza)**
  - **Necessità di un ingresso di controllo**
  - **Necessita 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 <u>solo un'uscita alla volta può essere abilitata</u>**



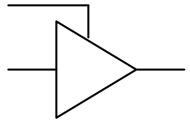
Control	In	Out
0	X	Z
1	0	0
1	1	1

X = indifferente

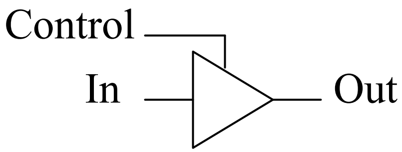


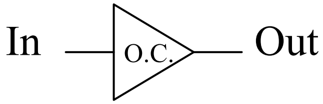


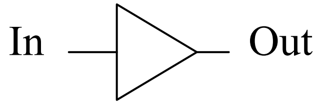
Modello e stadio di uscita



- **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”)**







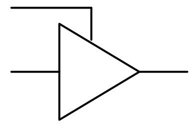
Control	In	Out
0	X	Z
1	0	0
1	1	1

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

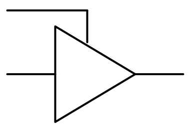
Iccl = corrente assorbita dall'alimentazione con tutte le uscite del dispositivo a "0"
Icch = corrente assorbita dall'alimentazione con tutte le uscite del dispositivo a "1"
Iccz = corrente assorbita dall'alimentazione con tutte le uscite del dispositivo a “Z"

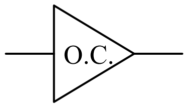
Tplh = ritardo di prop. del segnale da ingresso a uscita (transizione dell'uscita "0" a "1")
Tphl = ritardo di prop. del segnale da ingresso a uscita (transizione dell'uscita "1" a "0")
Tpzh = “ “ “ del segnale da ingresso a uscita (transizione dell'uscita “Z" a "1")
Tpzl = “ “ “ del segnale da ingresso 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**

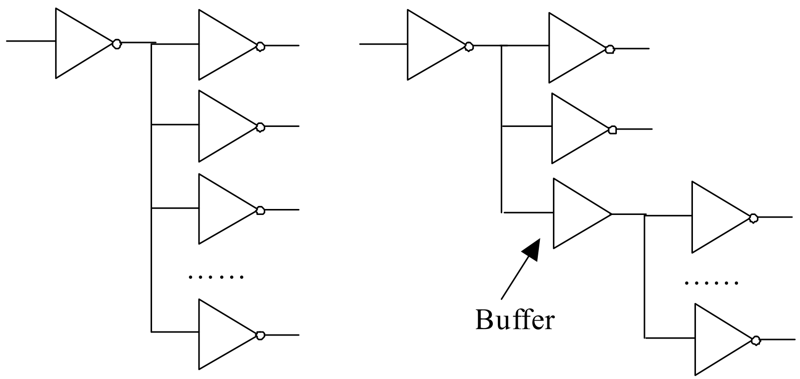
THREE-STATE	OPEN-COLLECTOR
Più veloce (mantiene lo schema complementare)	più lento (dipende da $R_{pull\text{-}up}$) (lento solo da "0" a "1")
Maggiore disponibilità di IC	Essenzialmente line-driver
Limitato FAN-OUT	Elevato FAN-OUT (lo posso decidere con $R_{pull\text{-}up}$)
Bassa affidabilità su linea multiutente - meno semplice - il singolo guasto si propaga	Elevata affidabilità su linea - più semplice (wired AND) - il guasto non si propaga





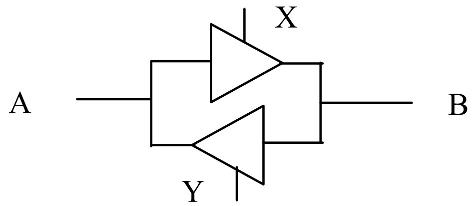
Modello e stadio di uscita

- **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)**



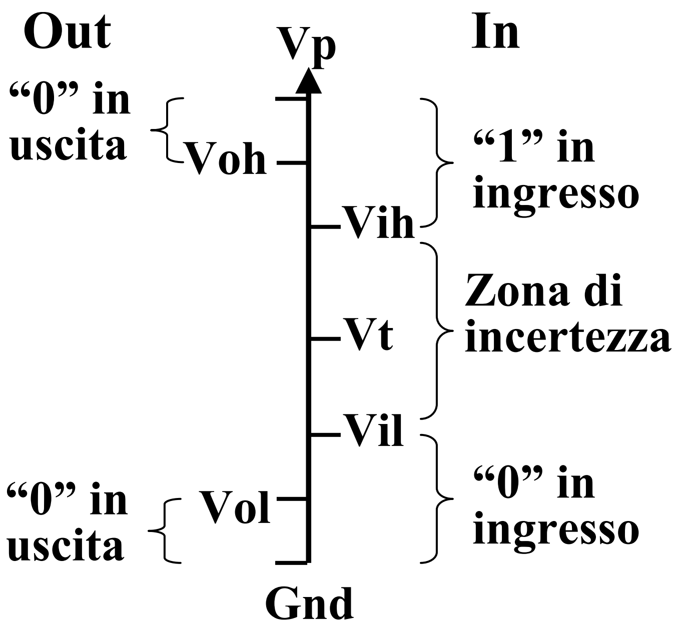
!Select	Dir	Operazione	X	Y
0	0	Flusso da B a A	0	1
0	1	Flusso da A a B	1	0
1	X	A e B isolati	0	0

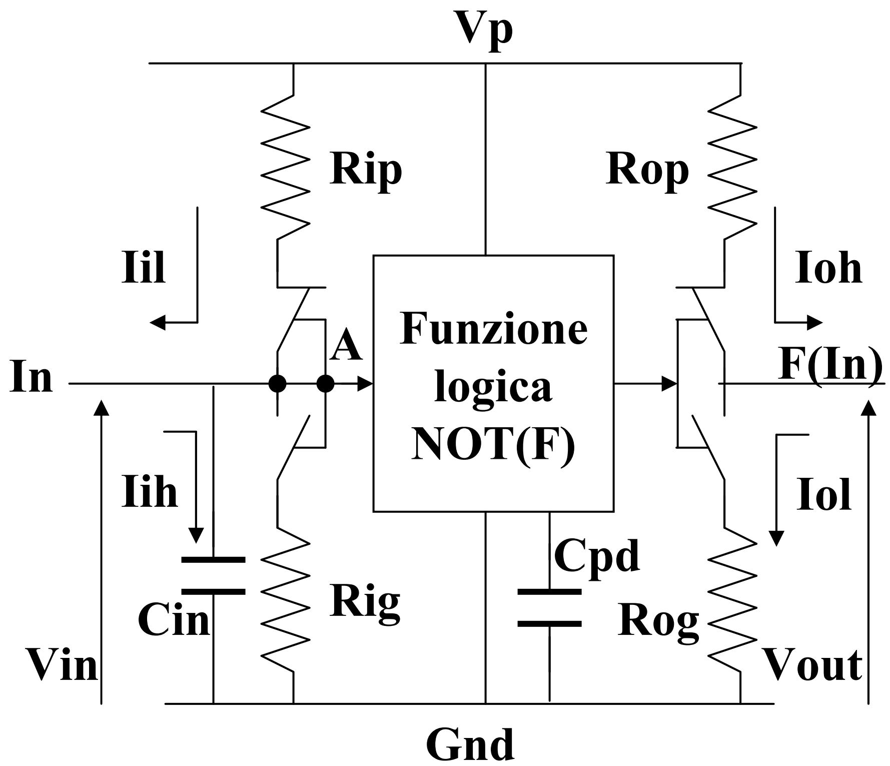
X = Direction&Select

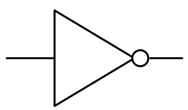
Y = ! Direction&Select

Modello e stadio di ingresso

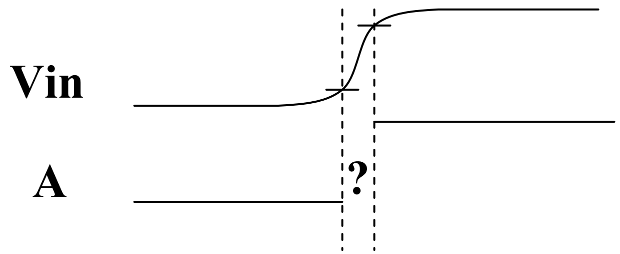
- **Zona di incertezza**



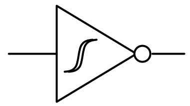




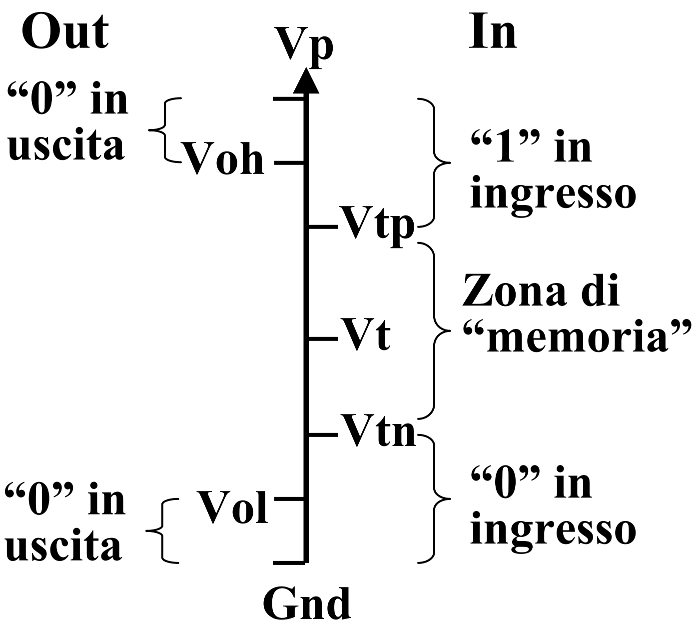
Vin	A
< Vil	“0”
Vil<Vin<Vih	?
> Vih	“1”

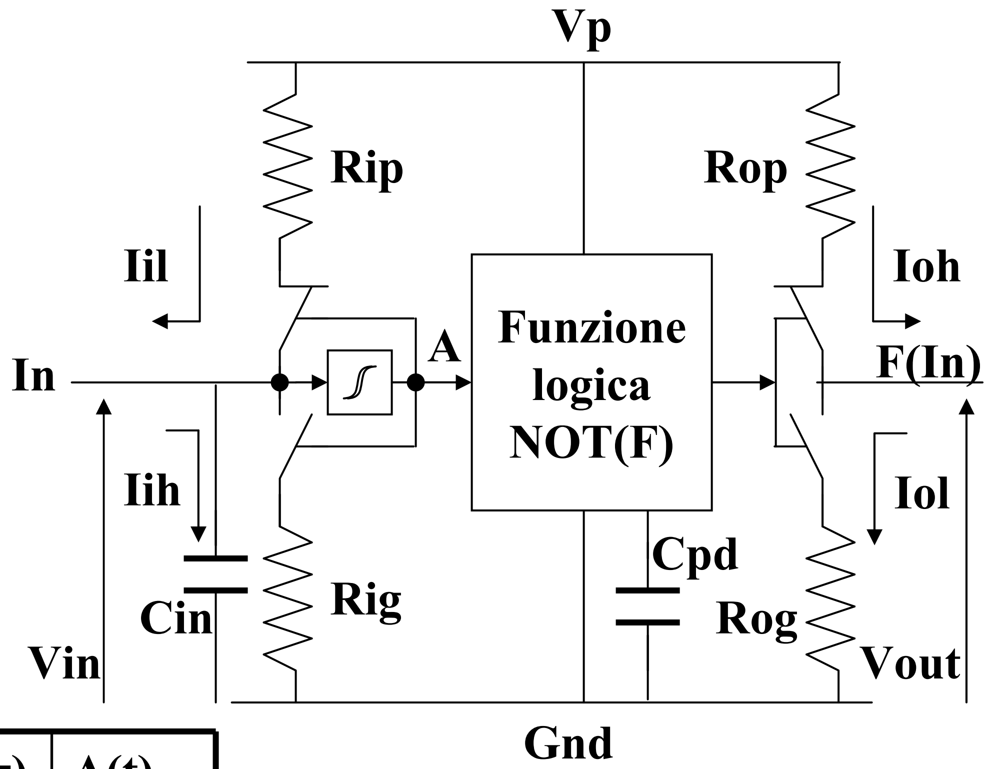


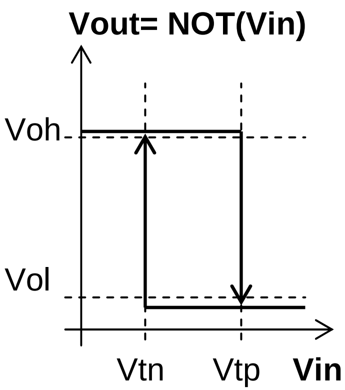
Modello e stadio di ingresso



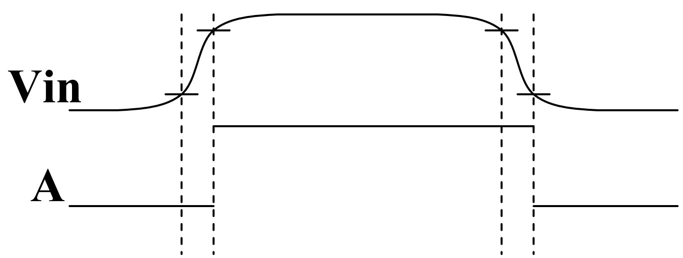
- **Zona di incertezza? “Non cambiare!” (Schmidt trigger)**





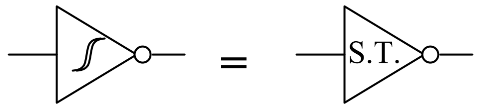


Vin(t)	A(t-τ)	A(t)
< Vtn	X	“0”
Vtn<Vin<Vtp	“0”	“0”
Vtn<Vin<Vtp	“1”	“1”
> Vtp	X	“1”



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

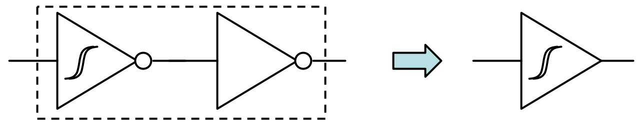
Modello e stadio di ingresso



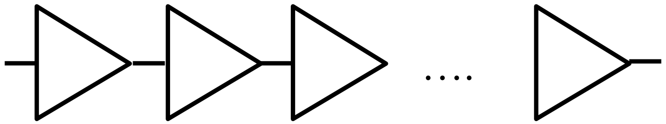
- Dispositivi con ingresso Schmidt trigger

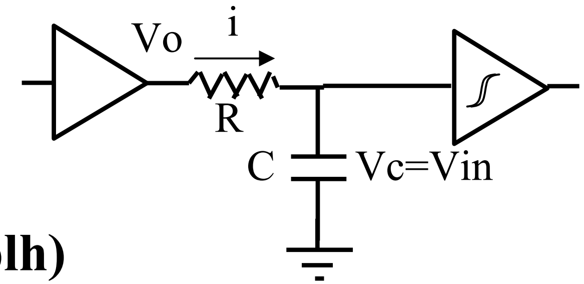
- Ai livelli statici di tensione in ingresso (Vil e Vih) si sostituiscono i livelli di transizione Vtn e Vtp (Isteresi Vh=Vtp-Vtn)
- Non si ha più zona d'incertezza
  - L'uscita è sempre nota per tutti i valori dell'ingresso tra 0 e Vp
- Cambia il concetto di immunità al rumore
  - Se Vin ≤ Vtn (o Vin ≥ Vtp) posso applicare un rumore pari a Vh senza modificare l'informazione in ingresso (rumore alla commutazione)
  - Se Vin = Vol (condizione statica) posso avere un rumore Vn = Vtp-Vol
  - Se Vin = Voh (condizione statica) posso avere un rumore Vn = Voh-Vtn
- Durante la commutazione i dispositivi con ingresso Schmidt trigger scambiano in ingresso correnti più elevate (Itp>Iih, Itn>Iil)
  - Cambia il concetto di FANOUT N = min(Iol/Iil, Ioh/Iih)
    (Se N>M=min(Ioh/Itp, Iol/Itn) allora solo M dispositivi commutano "subito"
- I dispositivi con ingresso Schmidt trigger sono più lenti (~ +50%)
- I dispositivi con ingresso Schmidt trigger si utilizzano per "squadrare" i segnali
  - Adattamento di logiche lente verso logiche veloci
  - Adattamento di FANOUTd (Se Cl>>Clo devo utilizzare questi dispositivi)

Modello e stadio di ingresso



- **Circuiti generatori di ritardo**





- **Il ritardo generato da 2N porte è pari a N(Tphl+Tplh)**
- **Il ritardo del circuito RC dipende dalla tensione Vc(t) dopo la commutazione di Vo all'istante 0+ tra Vol e Voh e viceversa (si ipotizzi impedenza d'ingresso infinita per il dispositivo ricevitore)**

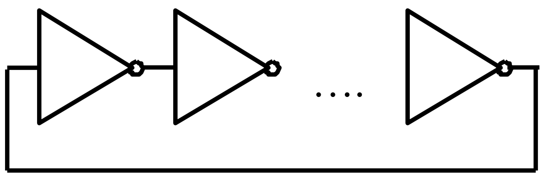
$Vo = R \cdot i(t) + Vc(t)$ **ma per un condensatore** $i(t)=C \cdot dVc(t)/dt$

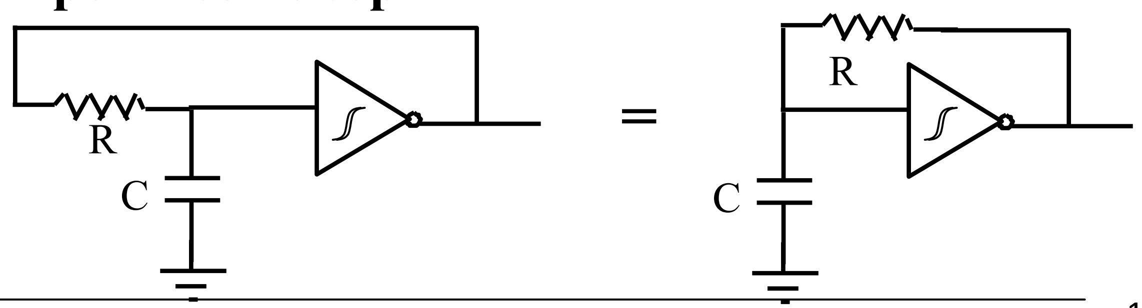
$Vo = \tau \cdot dVc(t)/dt + Vc(t)$ **per cui** $dVc(t)/dt + Vc(t)/\tau = Vo/\tau$

da cui $Vc(t) = (Vc(0)-Vo)e^{-t/\tau} + Vo$ **ossia, in generale,**

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

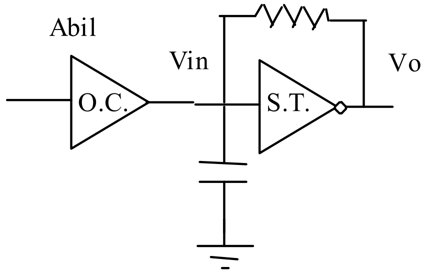
- **Circuiti oscillanti**
- **L'oscillatore ad anello a 2N+1 porte NOT oscilla con periodo (2N+1)(Tphl+Tplh)**
- **Il ritardo del circuito RC si comporta come sopra**

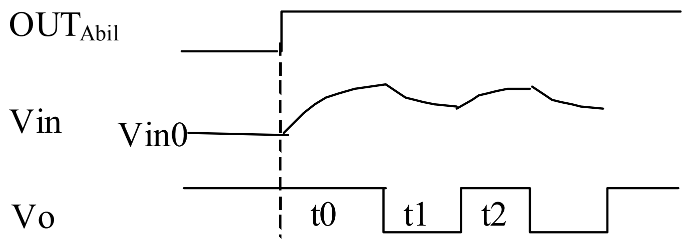




Modello e stadio di ingresso

• **Circuiti con dispositivi con ingresso Schmidt trigger: astabile**





- **t=0:** $Vout_{Abil} = Vol$ $\quad Vin0 = Vol \approx$ "0" $\quad Vo = Voh \quad (\tau = R \cdot C)$
- **t=start:** $Vout_{Abil} =$ "Z" $\quad Vin = (Voh-Vin0)(1-e^{-t/\tau}) + Vin0 \quad Vo = Voh$
- **t=t0:** $Vin = Vtp \quad t0 = \tau * \ln(Voh-Vin0)/(Voh-Vtp) \quad Vo = Vol$

  $Vin = (Vol-Vtp))(1-e^{-t/\tau}) + Vtp$
- **t=t1:** $Vin = Vtn \quad t1 = \tau * \ln(Vtp-Vol)/(Vtn-Vol) \quad Vo = Voh$

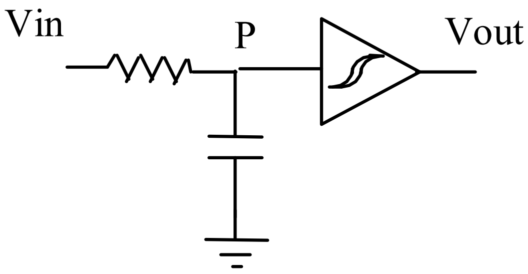
  $Vin = (Voh-Vtn))(1-e^{-t/\tau}) + Vtn$
- **t=t2:** $Vin = Vtp \quad t2 = \tau * \ln(Voh-Vtn)/(Voh-Vtp) \quad Vo = Vol$

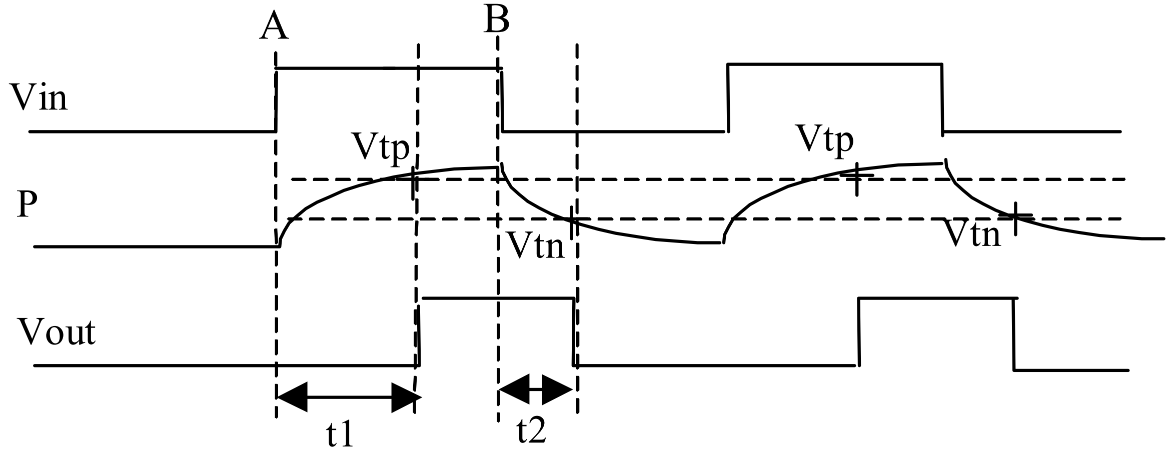
  $Vin = (Vol-Vtp)(1-e^{-t/\tau}) + Vtp$ …..

- **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**





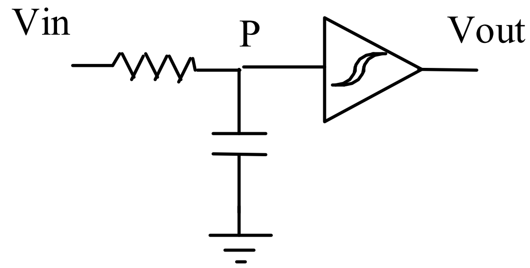
t=A-:	**Vin = Vol**	**$V_p = V_{p0} \approx V_{in} \approx 0$ ($\tau = R \cdot C$)**	**Vout = Vol**
t=A+:	**Vin = Voh**	**$V_p = (V_{oh} - V_{p0})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{p0}$**	**Vout = Vol**
t=t1:	**Vp = Vtp**	**$t1 = \tau * \ln(V_{oh} - V_{ol})/(V_{oh} - V_{tp})$**	**Vout=Voh**
		$V_p = (V_{oh} - V_{ol})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{ol} \rightarrow V_{oh}$	
t=B:	**Vin = Vol**	**$V_p = (V_{ol} - V_{oh})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{oh}$**	**Vout = Voh**
t=t2:	**Vp = Vtn**	**$t2 = \tau * \ln(V_{oh} - V_{ol})/(V_{tn} - V_{ol})$**	**Vout=Vol**
		$V_p = (V_{ol} - V_{oh})(1 - e^{-t/\tau}) + V_{oh} \rightarrow V_{ol}$ ….	

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

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). (τ = RC =10µs)



	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**

<u>Soluzione</u>

Dato un segnale a frequenza F (periodo T) il duty cycle D è definito come Ton/T. In ingresso Ton=50%T=T/2=50 µs, in uscita è Ton=T/2-t1+t2=50 µs-(t1-t2): il valore minimo e massimo verrà calcolato utilizzando il valore minimo e massimo di t1-t2. Lo sfasamento medio tipico sarà dato dal valore medio di t1 e t2 tipici. Applicando le relazioni sopra indicate si ha:

$t1-t2 = \tau * \ln(Voh-Vol)/(Voh-Vtp) - \tau * \ln(Voh-Vol)/(Vtn-Vol) = \tau \cdot \ln((Vtn-Vol)/(Voh-Vtp))$

$t1-t2,min = \tau \cdot \ln((0.5-0.4)/(3.7-1.4)) = -3.1\tau = -31\ \mu s$

$t1-t2,max = \tau \cdot \ln((1.0-0)/(2.7-1.9)) = 0.22\tau = 2.2\ \mu s$

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

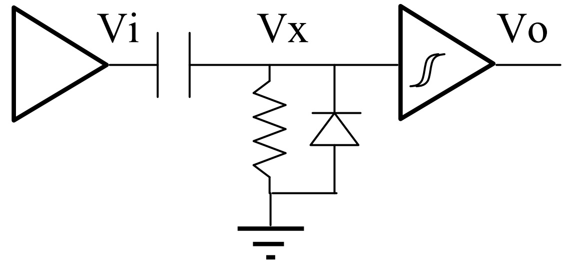
$t1,typ = \tau \cdot \ln((3.4-0.25)/(3.4-1.6)) = 0.56\tau = 5.6\ \mu s$

$t2,typ = \tau \cdot \ln((3.4-0.25)/(0.8-0.25)) = 1.75\tau = 17.5\ \mu s$

Lo sfasamento tipico medio è pari a $(t1,typ + t2,typ)/2 = 1.155\tau = 11.5\ \mu s$

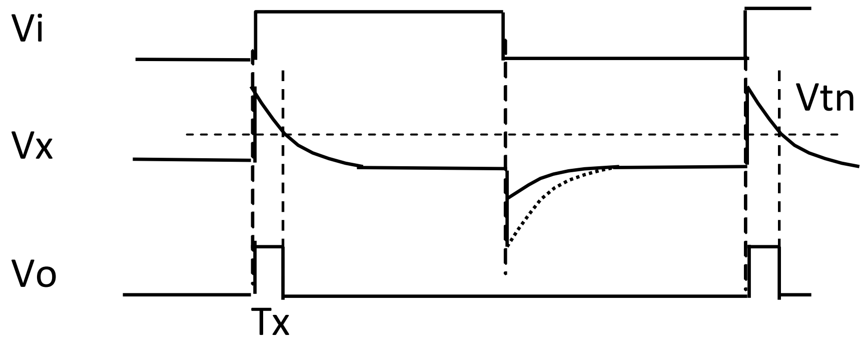
Modello e stadio di ingresso

• 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. (τ = RC =10µs)

	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 Tx in corrispondenza di un fronte positivo in ingresso. Il diodo evita tensioni negative troppo elevate in corrispondenza del fronte di discesa. All'inizio Vi=Vol e Vx=0. All'applicazione del fronte di salita su Vi (Vol -> Voh), il condensatore trasmette la variazione di tensione Voh-Vol al punto Vx che si porta istantaneamente a Voh-Vol attraversando Vtp e quindi portando a "1" l'uscita del circuito. Il condensatore comincia a caricarsi secondo la legge esponenziale applicata a Vc=Vi-Vx.

$Vc = Vol + (Voh-Vol)(1-e^{-t/\tau})$. Quindi si ha $Vx = Vi-Vc = Voh-Vol - (Voh-Vol)(1-e^{-t/\tau}) = (Voh-Vol)e^{-t/\tau}$

Tx è il tempo che impiega Vx ad arrivare da Voh-Vol a Vtn. $Vtn = (Voh-Vol)e^{-Tx/\tau}$

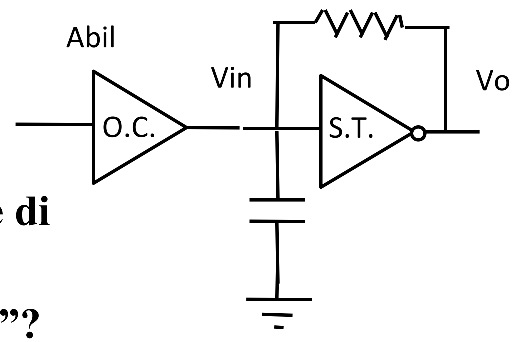
$Tx = \tau\cdot\ln((Voh-Vol)/Vtn) = \tau\cdot\ln((3.4-0.25)/0.8) = \tau\cdot1.37 = 13.7$ µs

Tx, max = $\tau\cdot\ln((3.7-0)/0.5) = \tau\cdot2.00 = 20$ µs Tx, min = $\tau\cdot\ln((2.7-0.4)/1) = \tau\cdot0.83 = 8.3$ µs

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

$Vo = Vi(t)\&!Vi(t-\tau)$ (l'uscita è il risultato dell'AND tra l'ingresso e il negato dell'ingresso ritardato)

Modello e stadio di ingresso

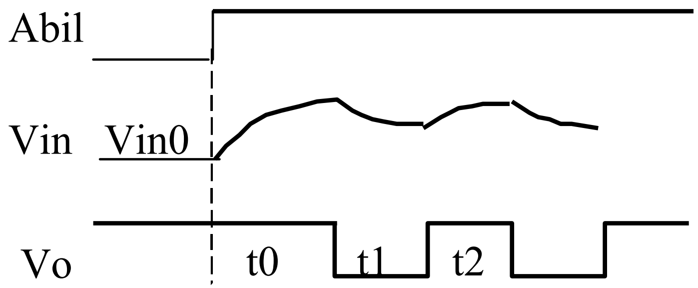


- **Esercizio**

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. (τ = RC =10µs).

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:** Vin=Vtn $t1 = \tau*\ln(Vtp-Vol)/(Vtn-Vol)$
  typ=$\tau*\ln(1.6-0.25)/(0.8-0.25)$=9.0us   max=$\tau*\ln(1.9-0)/(0.5-0.4)$=29.4us
  Vo=Voh $Vin = (Voh-Vtn))(1-e^{-t/\tau}) + Vtn$ salita
- **t=t2:** Vin=Vtp $t2 = \tau*\ln(Voh-Vtn)/(Voh-Vtp)$
  typ= $\tau*\ln(3.4-.8)/(3.4-1.6)$=3.7us   max=$\tau*\ln(3.7-0.5)/(2.7-1.9)$=13.9us
  Vo=Vol $Vin = (Vol-Vtp)(1-e^{-t/\tau}) + Vtp$ discesa

- **t=0-:** $Vout_{Abil}$ = Vol   Vin0 = Vol, Vo = Voh
- **t=0+:** $Vin = (Voh-Vin0)(1-e^{-t/\tau}) + Vin0$ Vo = Voh
- **t=t0:** Vin = Vtp $t0 = \tau*\ln(Voh-Vin0)/(Voh-Vtp)$ Vo = Vol

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