

# Caratteristiche delle porte logiche

Gruppo AA

Luca Ciambriello, Gianfranco Cordella, Leonardo Bertini

23 Marzo 2017

## 1 Scopo e strumenti

Lo scopo di questa esperienza è di osservare il funzionamento della porta logica NOT per diversi segnali in ingresso e studiare anche il suo comportamento in regime non ideale.

Gli strumenti a disposizione includono:

- Integrato SN74LS04
- IC SN74LS244 octal buffer/driver
- arduino nano
- trimmer da  $2k\Omega$ ,  $10k\Omega$ ,  $100k\Omega$

Nella prima parte è stato analizzata la porta logica in condizioni statiche, nella seconda invece in condizioni dinamiche.

## 2 Caratteristiche statiche

### 2.1 Potenziali

E' stato montato il circuito in figura (1), composto dalla resistenza  $R_2 = 100 \pm 1\Omega$ ; trimmer da  $1.98 \pm 0.02k\Omega$  ed una delle porte NOT contenute nell'integrato SN74LS04.

Agendo sul trimmer "R1" è stato possibile variare il potenziale in ingresso alla porta NOT e ne è stata osservata l'uscita. Il potenziale di alimentazione era  $V_{cc} \sim 4.5 \pm 0.03$  V ed è stato utilizzato sia per l'alimentazione dell'integrato SN74LS04 sia ai capi della serie di  $R_2$  con il trimmer "R1". Il potenziale in ingresso alla porta spaziava tra  $V_{IN,min} = 0.0 \pm 0.1$  mV e  $V_{IN,max} = 4.30 \pm 0.03$  V. Al variare del potenziale in ingresso è stato realizzato un grafico di  $V_{OUT}$  in funzione di  $V_{IN}$ : figura (4). Si può dare una stima dei potenziali in ingresso che corrispondono al massimo valore per cui il segnale è interpretato logicamente come "0" ( $V_{IL}$ ) e il minimo per cui è interpretato come "1" ( $V_{IH}$ ). Si è considerato come  $V_{IL}$  il massimo potenziale in ingresso per cui l'uscita si attesta sul suo valore massimo ("1"). Invece come  $V_{IH}$  il minimo valore in ingresso per cui l'uscita è a potenziale minimo ("0"). I valori stimati sono, come è possibile dedurre dal grafico figura (4)  $V_{IL} = 1.0 \pm 0.1$  V e  $V_{IH} = 1.5V \pm 0.1$  V. (tabella (1)) E' stato possibile stimare queste due grandezze anche dall'osservazione delle tensioni tramite l'oscilloscopio: variando gradualmente la partizione del trimmer, si osservava che per potenziali in ingresso minori di  $V_{IL}$  e maggiori di  $V_{IH}$  il segnale in uscita rimaneva costante (ai due valori massimo e minimo). Mentre, variando il trimmer nella banda dei potenziali intermedi c'era una brusca variazione dell'uscita. Nelle zone di transizione il potenziale in ingresso non viene riconosciuto come segnale logico e il segnale in uscita si stabilizza su un valore intermedio compreso tra i valori alto e basso.

I valori di  $V_{IL}$  e  $V_{IH}$  stimati sono rispettivamente maggiore e minore di quelli riportati sul datasheet (tabella (1)); sotto questo aspetto il nostro integrato ha una funzionalità migliore di quello di riferimento.

Come misure di potenziale di uscita  $V_{OH}$  e  $V_{OL}$  abbiamo considerato rispettivamente il valore massimo ed il valore minimo del segnale in uscita, che si presentavano circa costanti lontano dalla zona di transizione: valori riportati in tabella (1). Essi sono rispettivamente maggiore e minore del valore tipico indicato sul datasheet.

Le misure di potenziale sono state effettuate sia tramite multimetro digitale che tramite oscilloscopio. Il multimetro consente in generale una risoluzione migliore dell'oscilloscopio per misure statiche. In questo caso però l'incertezza dovuta al fatto che la transizione tra due regimi di lavoro diverso non era ben definita predominava sugli errori strumentali.

## 2.2 Correnti

In questa sezione, secondo la convenzione del costruttore dell'integrato, si seguirà la convenzione secondo cui il segno delle correnti è positivo se entranti nella porta NOT.

### 2.2.1 Correnti in ingresso

Nello stesso circuito precedente è stato inserito, in serie all'ingresso della porta, l'amperometro digitale, per misurare la corrente in ingresso al NOT. Abbiamo realizzato, agendo ancora sul trimmer, un grafico della corrente in funzione del potenziale di ingresso, riportato in figura (5), dove i potenziali sono misurati all'oscilloscopio con errori dati da calibrazione e risoluzione dei cursori.

L'andamento è globalmente crescente ed è compreso tra un valore di corrente uscente massima di  $I_{max} \approx -0.26$  mA e un valore massimo corrispondente ad una piccola corrente entrante  $\sim 3\mu A$ .

Questo andamento può essere interpretato a partire dal circuito caratteristico del NOT in figura (6). La presenza del diodo "D2" impedisce il passaggio di una considerevole corrente entrante. La corrente che interessa l'ingresso è dunque una corrente uscente che fluisce dapprima attraverso la resistenza da 20 k $\Omega$  e quindi attraverso il diodo "D1". Ci si aspetta che quanto più l'ingresso è basso tanto più è grande la caduta di potenziale ai capi della resistenza da 20K e del diodo e tanto sarà maggiore (in valore assoluto) la corrente che attraversa il diodo "D1" in polarizzazione diretta, in accordo con l'andamento osservato. In particolare ponendo l'ingresso a  $\sim 0V$ , trascurando l'impedenza statica del diodo, la resistenza deve sostenere una caduta di potenziale di 5V, di conseguenza sarà attraversata da una corrente nominale di  $I=0.25$  mA. Questa è la massima corrente che può uscire dall'ingresso della porta, e ciò è in accordo con il valore misurato ( $\sim 0.26$  mA).

I valori delle correnti  $I_{IH}$  e  $I_{IL}$  sono per definizione le correnti massime assorbibili ed erogabili rispettivamente dalla porta nei due regimi in ingresso. Quando l'ingresso è basso la corrente massima che viene erogata è  $-0.25 \pm 0.03$  mA; mentre quando l'ingresso è alto la porta assorbe corrente al massimo pari a  $3 \pm 1\mu A$ . Gli errori attribuiti a queste due misure sono quelli dovuti al multimetro. Le due misure sono i valori che si leggono agli estremi dell'intervallo di esplorazione di  $V_{in}$ . In realtà questo intervallo non coincide esattamente con quello ideale 0-5V, ma essendo le misure delle correnti affette da un notevole errore strumentale, si può dire che i valori trovati per  $I_{IH}$  e  $I_{IL}$  sono una buona stima, entro l'errore, di quelli che si sarebbero ottenuti con potenziali in ingresso ideali.<sup>1</sup>

### 2.2.2 Correnti in uscita

Per misurare  $I_{OL}$  ed  $I_{OH}$  abbiamo montato il circuito mostrato in figura (2), dove  $R_2$  è quella già utilizzata in precedenza ed il trimmer ha resistenza massima  $R = 102.2 \pm 0.8$  k $\Omega$ .

Si è operato come segue:

- per misurare  $I_{OL}$  abbiamo collegato a  $V_{cc}$  tanto il potenziale di ingresso quanto il potenziale misurato al punto A. Se la resistenza tra uscita ed A è massima l'uscita si mantiene bassa. Diminuendo questa resistenza la corrente che fluisce attraverso la porta tende ad aumentare; in prossimità del valore massimo  $I_{OL}$  per evitare l'eccessivo passaggio di corrente l'uscita  $V_{OUT}$

---

<sup>1</sup> Il minimo  $V_{In}$  ( $\sim 30$  mV) è sufficientemente vicino a 0V per poter ritenere che il valore della corrente a 0V sia distante di meno di una banda d'errore da quello trovato. Per potenziali alti invece la corrente si stabilizza su un valore costante e le sue fluttuazioni rientrano pienamente nelle incertezze strumentali

aumenta bruscamente (e si ha anche una variazione della corrente).

Abbiamo agito sul trimmer fino a che l'uscita, visualizzata all'oscilloscopio, non cambiava stato passando al livello alto. C'era una notevole ambiguità sulla posizione limite del trimmer per cui l'uscita si manteneva bassa. Abbiamo proceduto quindi in due modi: dapprima misurando la corrente di uscita per la posizione oltre la quale  $V_{out}$  non variava lentamente ma saltava quasi istantaneamente al livello superiore; nel secondo modo valutando la massima corrente per cui  $V_{OUT}$  si manteneva compatibile con  $V_{OL}$ . Nel primo caso abbiamo ottenuto  $I_{OL} = 824 \pm 12 \mu A$  per una tensione  $V_{OUT} = 150 \pm 6$  mV, mentre per il secondo (i cui risultati sono riportati in tabella (1))  $I_{OL} = 147 \pm 4 \mu A$ . In generale per nella valutazione degli errori si è tenuto conto del fatto che il passaggio tra diversi regimi di funzionamento non fosse nettamente distinguibile.

- Per misurare  $I_{OH}$  abbiamo invece collegato i potenziali in ingresso e in A a terra. In tal caso se la resistenza è massima ho un potenziale massimo in uscita ed analogamente alla situazione precedente, diminuendo la resistenza,  $V_{out}$  tende a diminuire a causa dell'eccessiva richiesta di corrente.

Variando il trimmer abbiamo misurato, come in precedenza, la corrente  $I_{OH}$  in due modi: il primo osservando la posizione del trimmer per cui il potenziale in uscita restava alto subito prima di decrescere entrando così in regime non definito, ottenendo così  $-5.5 \pm 2 \mu A$ . L'incertezza è dovuta al fatto che il passaggio al regime non ideale era non ben evidente. In secondo luogo è stata valutata la massima corrente che fluiva quando  $V_{OUT}$  era compatibile con  $V_{OH}$ , il risultato è  $I_{OH} = -37 \pm 1 \mu A$  (anche in tabella (1)).

Queste correnti di uscita sono state acquisite indirettamente, misurando il potenziale ai capi della resistenza  $R_2$ .

In tabella (1) sono riportate le grandezze misurate.

	Valore misurato	datasheet
$V_{IH}$ [V]	$1.5 \pm 0.1$	2(min)
$V_{IL}$ [V]	$1.0 \pm 0.1$	0.8(max)
$V_{OH}$ [V]	$4.1 \pm 0.1$	2.7(min)
$V_{OL}$ [mV]	$114 \pm 4$	400(max)
$I_{IH}$ [ $\mu A$ ]	$3 \pm 1$	20(max)
$I_{IL}$ [mA]	$-0.25 \pm 0.03$	-0.4(max)
$I_{OH}$ [ $\mu A$ ]	$-37 \pm 1$	-400(max)
$I_{OL}$ [ $\mu A$ ]	$147 \pm 4$	8000(max)

Table 1: Le misure di potenziale sono state effettuate tramite oscilloscopio. Quelle di corrente di ingresso tramite amperometro digitale (multimetro) posto tra il trimmer e l'ingresso della porta. Le correnti di uscita invece indirettamente misurando la tensione ai capi della resistenza  $R_2$ . Gli errori per i potenziali in ingresso sono sensibilmente maggiori delle risoluzione degli strumenti utilizzati, in quanto non era definita nettamente la transizione tra due regimi di lavoro. Per i potenziali in uscita invece sono dovuti alla risoluzione degli strumenti come somma in quadratura di errore di calibrazione e incertezza di lettura

### 2.3 Confronto con datasheet

Dal confronto con i dati del datasheet si può dedurre che, per quanto riguarda i valori di potenziale, questi garantiscono una funzionalità migliore della porta. Infatti in ingresso le bande corrispondenti ai segnali "0" e "1" sono più ampie e i valori di potenziale in uscita alto e basso sono rispettivamente maggiore e minore rispetto a quelli indicati dal costruttore.

Anche per quanto riguarda le correnti in ingresso, esse sono minori rispetto ai valori massimi indicati nel datasheet. Questo può essere considerato un pregio delle porte perché quanto minore è la corrente che assorbono, tanto è maggiore il numero di porte di questo tipo che possono essere pilotate dall'uscita

di un circuito.

Invece le correnti in uscita, risultate minori di quelle previste, determinano una minore capacità per il NOT di sostenere altre porte. Ciò può essere in parte dovuto al fatto che la tensione di alimentazione era minore di quella ideale alla quale sono state svolte le misure riportate nel datasheet.

In generale il fanout dipende dalla porta logica, dalla cui uscita, si preleva l'ingresso per alimentare altre porte logiche generalmente diverse dalla precedente. L'unica cosa che si può fare nel nostro caso è valutare la parte intera del rapporto  $\frac{I_{OL}}{I_{IL}}$  o  $\frac{I_{OH}}{I_{IH}}$  e poi considerare una buona stima del fanout il minimo fra i due. Evidentemente il secondo rapporto è molto minore del primo quindi il fanout è dato da  $\frac{I_{OH}}{I_{IH}} = 12$ . Quello appena stimato è il massimo numero di porte logiche NOT (simili a quella usata qui) che possono essere pilotate dalla singola porta NOT in modo che tutte lavorino nel modo atteso. In generale per valutare il fanout del NOT usato come alimentatore di altre porte sono rilevanti entrambe  $I_{OH}$  e  $I_{OL}$  (da confrontare con le correnti in ingresso delle altre porte in condizione H e L). Invece per il fanout in cui il NOT funge da porta pilotata sono determinanti sia  $I_{IL}$  che  $I_{IH}$  (da confrontare con le correnti in uscita della porta alimentatrice in entrambi i regimi).

### 3 Circuito impulsatore

Abbiamo utilizzato ArduinoNano per realizzare un circuito impulsatore, mostrato in figura (3). Come componenti sono state utilizzate le resistenze  $R_1 = 990 \pm 8 \Omega$ ,  $R_2 = 990 \pm 8 \Omega$ ,  $R_3 = 982 \pm 8 \Omega$ ,  $R_4 = 977 \pm 8 \Omega$ , un trimmer con resistenza massima  $R_5 = 9.90 \pm 0.08 \text{ k}\Omega$  ed i condensatori di capacità  $C_1 = 106 \pm 4 \text{ nF}$  e  $C_2 = 107 \pm 4 \text{ nF}$ .

Arduino permette di avere segnali digitali (onde quadre) alle uscite D12, D11, D10, D9, che funge da segnale di ingresso per l'integrato SN74LS244. Quest'ultimo restituisce in uscita i segnali Y1, Y2, Y3, Y4. I segnali di ingresso e di uscita sono stati visualizzati all'oscilloscopio.

In particolare abbiamo osservato che i segnali D11 e D12 mostravano uno sfasamento di 90 gradi, mentre i segnali D10 e D9, pur non sfasati rispetto a D12, presentavano una frequenza doppia. In uscita analogamente Y2 mostra uno sfasamento di 90 gradi rispetto ad Y1, mentre Y3 ed Y4 hanno una frequenza doppia ancora rispetto ad Y1. Come atteso, i massimi ed i minimi raggiunti dai potenziali in uscita erano rispettivamente minori e maggiori di quelli raggiunti dai potenziali in ingresso. Abbiamo misurato con i cursori i valori corrispondenti ai livelli logici 0 ed 1 per le uscite Y1 ed Y2, ottenendo  $Y1_{min} = 138 \pm 6 \text{ mV}$ ,  $Y1_{max} = 3.1 \pm 0.1 \text{ V}$ ,  $Y2_{min} = 142 \pm 6 \text{ mV}$ ,  $Y2_{max} = 3.1 \pm 0.1 \text{ V}$ . Come errore abbiamo considerato la somma in quadratura di errore di lettura ed errore di calibrazione, come sempre per le misure di tensione all'oscilloscopio.

Agendo sul trimmer è possibile variare la frequenza del segnale in uscita; abbiamo quindi operato in modo da ottenere  $f = 1.08 \pm 0.01 \text{ kHz}$ , calcolata a partire dalla misura del semiperiodo sull'oscilloscopio con errore di lettura, come sempre per le misure di tempi all'oscilloscopio, è dell'ordine del kHz come richiesto.

#### 3.1 Tempi di ritardo

Abbiamo svolto la misura del tempo intercorso tra quando il segnale di ingresso raggiungeva la metà del suo valore massimo e quando il segnale di uscita faceva altrettanto, con ingresso D12 ed uscita Y1 (che sono in fase). Questo è  $t_{PLH}$ , nel caso in cui le forme d'onda sono in salita. Abbiamo inoltre misurato il tempo intercorso tra quando l'ingresso scendeva a metà del suo valore massimo e quando l'uscita faceva altrettanto, indicato come  $t_{PHL}$  (con i fronti in discesa). Abbiamo ottenuto  $t_{PLH} = 7 \pm 1 \text{ ns}$  e  $t_{PHL} = 22 \pm 1 \text{ ns}$ . Ripetendo le misure anche per l'ingresso D11 e l'uscita Y2, pure in fase, abbiamo ottenuto  $t_{PLH} = 14 \pm 1 \text{ ns}$  e  $t_{PHL} = 22 \pm 1 \text{ ns}$ . Il datasheet prevedeva un valore massimo per entrambi i tempi di 18 ns; l'ordine di grandezza è comunque in accordo con quanto indicato.

#### 3.2 Tempi di salita e discesa

Abbiamo infine misurato i tempi di salita  $t_s$  e discesa  $t_d$  (tempo impiegato dal segnale per salire dal 10 al 90 per cento del suo massimo o scendere dal 90 al 10) per i segnali Y1 e D12, ottenendo:

- $t_s = 11 \pm 1 \text{ ns}$  e  $t_d = 8.8 \pm 0.4 \text{ ns}$  per D12

- $t_s = 15.1 \pm 0.5$  ns e  $t_d = 7.2 \pm 0.4$  ns per Y1

## 4 Conclusioni

Le osservazioni svolte sono in accordo con le aspettative.

Si è osservato che i circuiti a disposizione hanno una funzionalità che non solo rispetta i limiti indicati dal costruttore ma in diversi casi risulta anche migliore, al fine di realizzare circuiti logici. Fanno eccezione solamente due tempi di salita dell'integrato SN74LS244 che eccedono di qualche nanosecondo e le correnti di uscita della porta not che sono inferiori a quanto previsto.

## 5 Grafici ed immagini

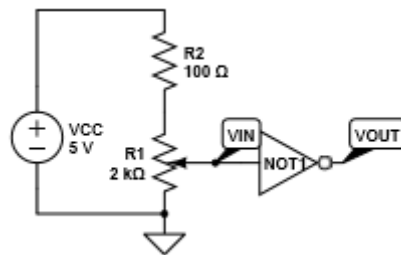


Figure 1: Circuito NOT

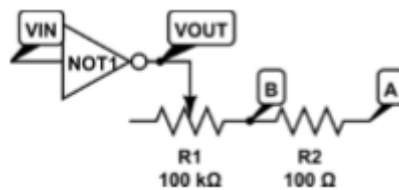


Figure 2: Circuito utilizzato per la misura delle correnti in uscita.

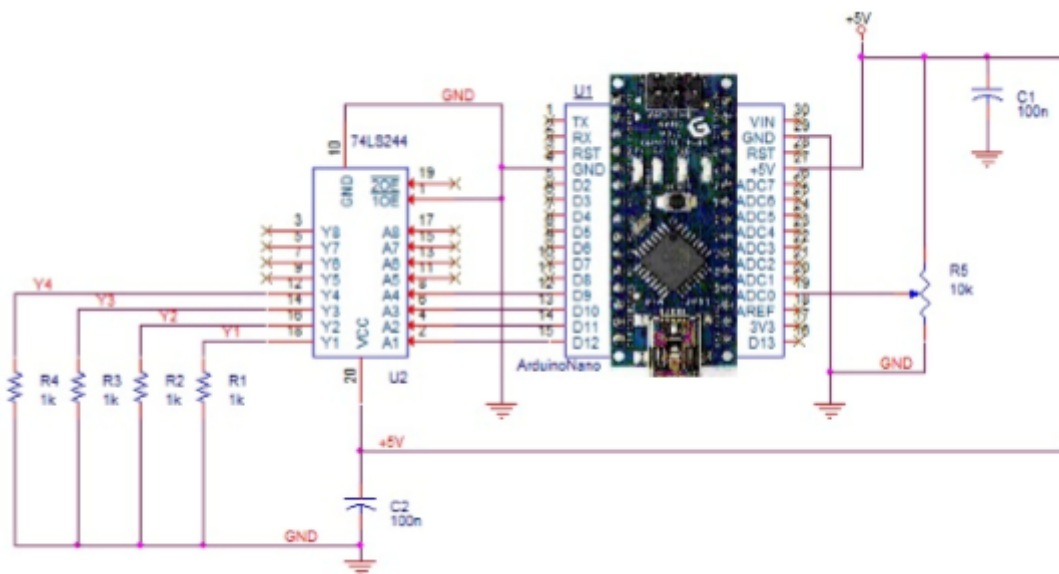


Figure 3: Schema circuitale dell'impulsatore con microcontrollore Arduino

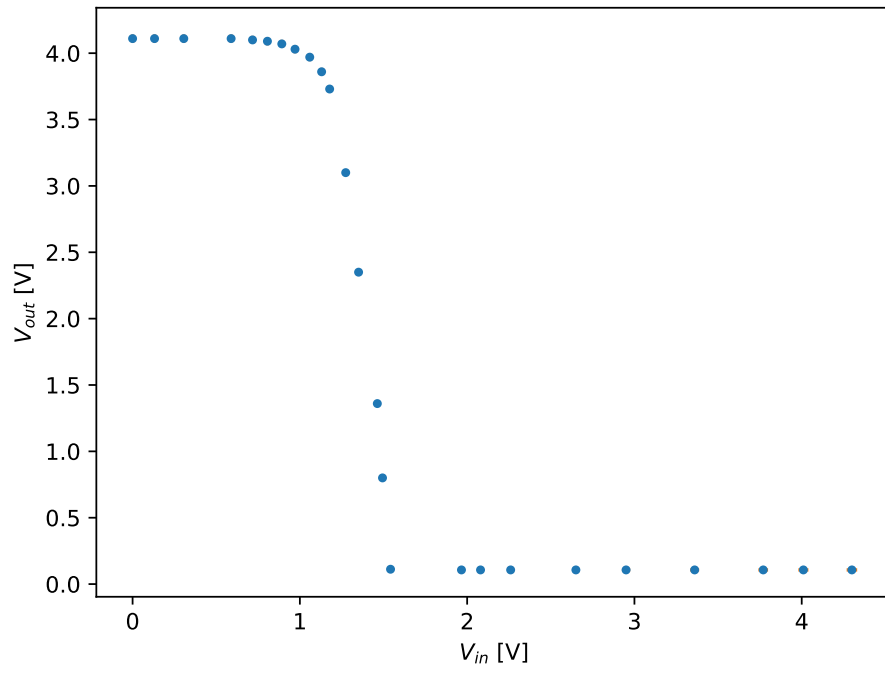


Figure 4: Tensione in uscita in funzione della tensione in ingresso per la porta NOT

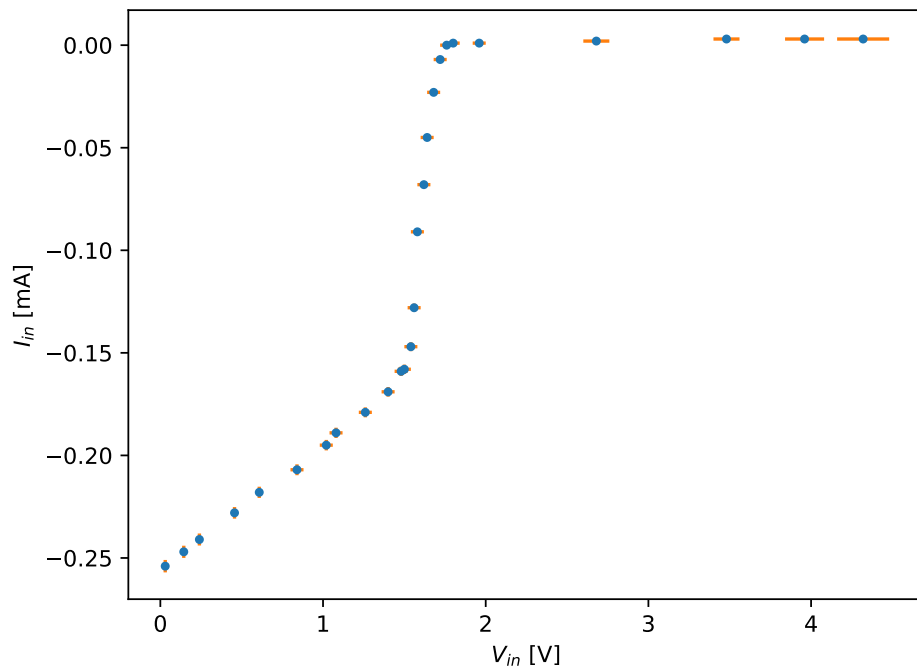
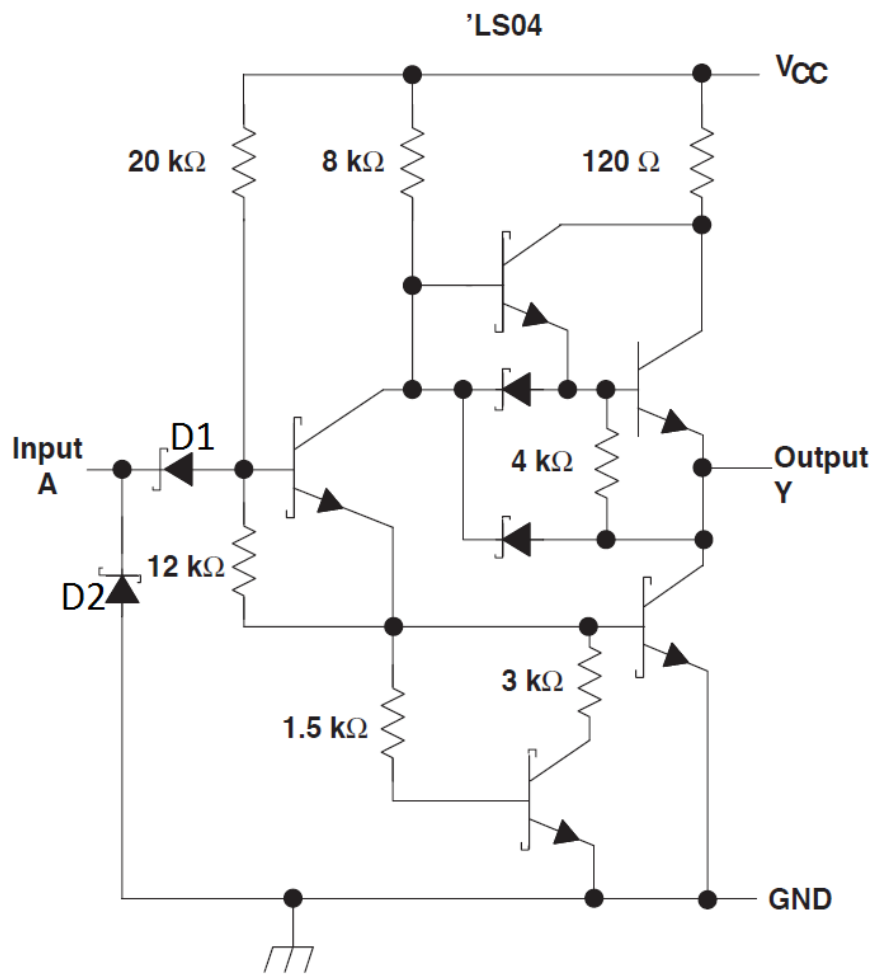


Figure 5: Corrente in ingresso in funzione della tensione in ingresso per la porta NOT



Resistor values shown are nominal.

Figure 6: Schema interno della porta NOT