

Esercitazione 10 - Gruppo AD

Caratteristiche fisiche di una porta logica

Alessandro Podo

Federica Maria Surace

23 marzo 2015

L'esercitazione si prefigge come scopo lo studio delle caratteristiche statiche e dinamiche di una porta NOT dell'integrato DM74LS04, nonché la verifica del suo corretto funzionamento.

1. Misura delle caratteristiche statiche

Si è montato il circuito in figura 1 con i seguenti valori dei componenti, misurati con un multimetro digitale,: $R_{1,MAX} = 2.03 \pm 0.02 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 103.4 \pm 0.8 \Omega$. Si è usata una tensione di alimentazione pari a $V_{CC} = 5.02 \pm 0.03 \text{ V}$ ¹.

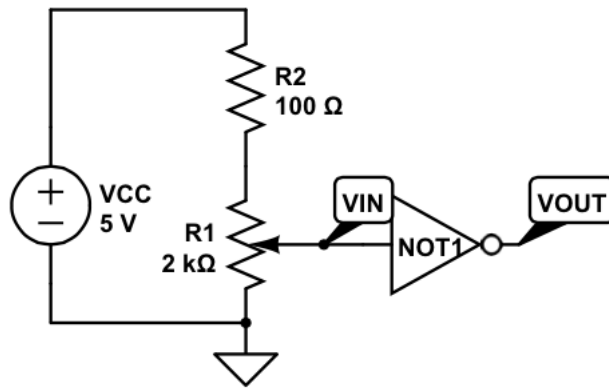


Figura 1: Circuito realizzato con una porta NOT dell'integrato DM74LS04 e utilizzato nella misura delle tensioni di soglia e delle correnti in ingresso di tale porta.

1.a Misura delle tensioni di operazione

Si è quindi adoperato il trimmer come un partitore di tensione che consente di cambiare la tensione in ingresso ad una delle porte NOT dell'integrato. Si è misurata tale tensione per mezzo del multimetro digitale² al variare della posizione del trimmer e corrispondentemente si è misurata la tensione in uscita dalla porta. I valori ottenuti sono riportati in tabella 1 e graficati in figura 2.

Da queste misure si evince che la porta realizza effettivamente la funzione logica NOT eccetto che nella banda di incertezza che si ha per valori della tensione in ingresso tra 0.9 V e 1.4 V. Agli estremi di tale banda avvengono delle transizioni nel funzionamento del circuito. Facendo riferimento alla figura 3, quello che avviene nella zona di transizione è che il transistor Q1 passa dal regime di saturazione che si ha per input bassi al regime di interdizione che si ha per input alti. In modo corrispondente i transistor Q2 e Q4 passano dal regime di interdizione a quello di saturazione. Durante la transizione i transistor si possono trovare, quindi, in regime attivo e la risposta complessiva del circuito non è più assimilabile alla quella di *inverter*.

Con i dati riportati in tabella e nel grafico si possono stimare i valori delle tensioni di soglia, ottenendo:

$V_{OH} = 4.0 \pm 0.1 \text{ V}$, $V_{IL} = 0.9 \pm 0.1 \text{ V}$, $V_{IH} = 1.4 \pm 0.1 \text{ V}$, $V_{OL} = 0.11 \pm 0.01 \text{ V}$.

Confrontando tali valori con i valori riportati nel datasheet:

¹In osservanza con quanto indicato sul datasheet V_{CC} è compresa tra 4.75 V e 5.25 V.

²Il multimetro digitale, tra gli strumenti a disposizione, ha la resistenza interna più grande; poiché questa misura va effettuata inserendo lo strumento in parallelo, esso consente la misura più accurata senza influenzare il sistema.

$V_{OH} = 3.4 \text{ V}$, $V_{IL} = 0.8 \text{ V}$, $V_{IH} = 2 \text{ V}$, $V_{OL} = 0.3 \text{ V}$,

si nota che i valori dichiarati dal costruttore sono frutto di un atteggiamento cautelativo.

Ad esempio è desiderabile che il valore di V_{OH} sia il più alto possibile affinché sia interpretato nel modo corretto quando è inviato in input ad una nuova porta logica; effettivamente il valore misurato di V_{OH} risulta più alto di quello dichiarato dal costruttore. In modo analogo ma opposto, il valore misurato di V_{OL} risulta più basso di quello dichiarato nel datasheet.

Il discorso è simile per le tensioni di soglia in ingresso. Questa volta però la tensione V_{IH} deve essere la più bassa possibile³ in modo che un segnale in ingresso sia interpretato nel modo corretto nonostante l'eventuale presenza di rumore e il valore misurato per questa tensione è minore di quello dichiarato. Al contrario la tensione V_{IL} deve essere la più alta possibile⁴ e il valore misurato è più alto di quello dichiarato.

Tabella 1: Tensione in uscita dalla porta NOT dell'integrato DM74LS04 in funzione della tensione in ingresso.

V_{in} [V]	$\sigma_{V_{in}}$ [V]	V_{out} [V]	$\sigma_{V_{out}}$ [V]
0.0002	0.0001	4.16	0.02
0.352	0.002	4.16	0.02
0.709	0.004	4.16	0.02
0.776	0.004	4.14	0.02
0.858	0.004	4.09	0.02
1.062	0.005	3.73	0.02
1.293	0.006	2.35	0.01
1.346	0.007	1.764	0.009
1.401	0.007	0.1085	0.0006
1.516	0.008	0.1014	0.0005
1.699	0.009	0.1014	0.0005
1.93	0.01	0.1006	0.0005
2.10	0.01	0.1008	0.0005
2.64	0.01	0.1002	0.0005
3.18	0.02	0.1004	0.0005
3.62	0.02	0.1000	0.0005
4.14	0.02	0.1000	0.0005
4.79	0.02	0.0999	0.0005

1.b.i Misura delle correnti in ingresso

Si è quindi misurata la corrente in ingresso alla porta NOT in funzione della tensione in ingresso, adoperando lo stesso circuito discusso in precedenza. Per le misure di corrente si è utilizzato l'amperometro analogico in quanto garantiva una sensibilità maggiore e consentiva, quindi, di misurare meglio le piccole correnti in gioco. I valori ottenuti sono riportati in tabella 2 e graficati in figura 4. Per valori di tensione superiori a quelli riportati la corrente risultava nulla entro la sensibilità dello strumento.

Dalle misure si vede che la corrente in ingresso risulta essere negativa e dell'ordine delle centinaia di μA per basse tensioni ingresso, mentre risulta essere pressoché nulla per alte tensioni in ingresso. In effetti per basse tensioni in ingresso il transistor Q1 è in saturazione, pertanto si ha una corrente uscente dal collettore e quindi uscente dall'ingresso della porta. All'aumentare della tensione in ingresso diminuisce la differenza di potenziale tra la tensione di alimentazione e la tensione in ingresso stessa. Questo porta ad una riduzione della corrente di base e quindi anche della corrente di collettore. Questo fa sì che la corrente in ingresso diminuisca in modulo. Aumentando ancora la tensione di ingresso, il transistor Q1 ha una fase di transizione in cui è in regime attivo e poi finisce in interdizione. In questo regime la corrente attraverso la porta in ingresso tende a zero. Con i dati riportati in tabella e nel grafico si possono stimare i valori delle correnti in ingresso di soglia, ottenendo:

$$I_{IL} = -0.25 \pm 0.01 \text{ mA}, I_{IH} = 0.0 \pm 0.5 \text{ } \mu A.$$

Confrontando tali valori con i valori riportati nel datasheet (valori massimi) :

$$I_{IL} = -0,36 \text{ mA}, I_{IH} = 20 \text{ } \mu A,$$

si nota che le correnti misurate sono entro i limiti indicati dal costruttore.

³Compatibilmente alla necessità di essere maggiore della tensione V_{IL} .

⁴In questo caso compatibilmente alla necessità di essere minore della tensione V_{IH} .

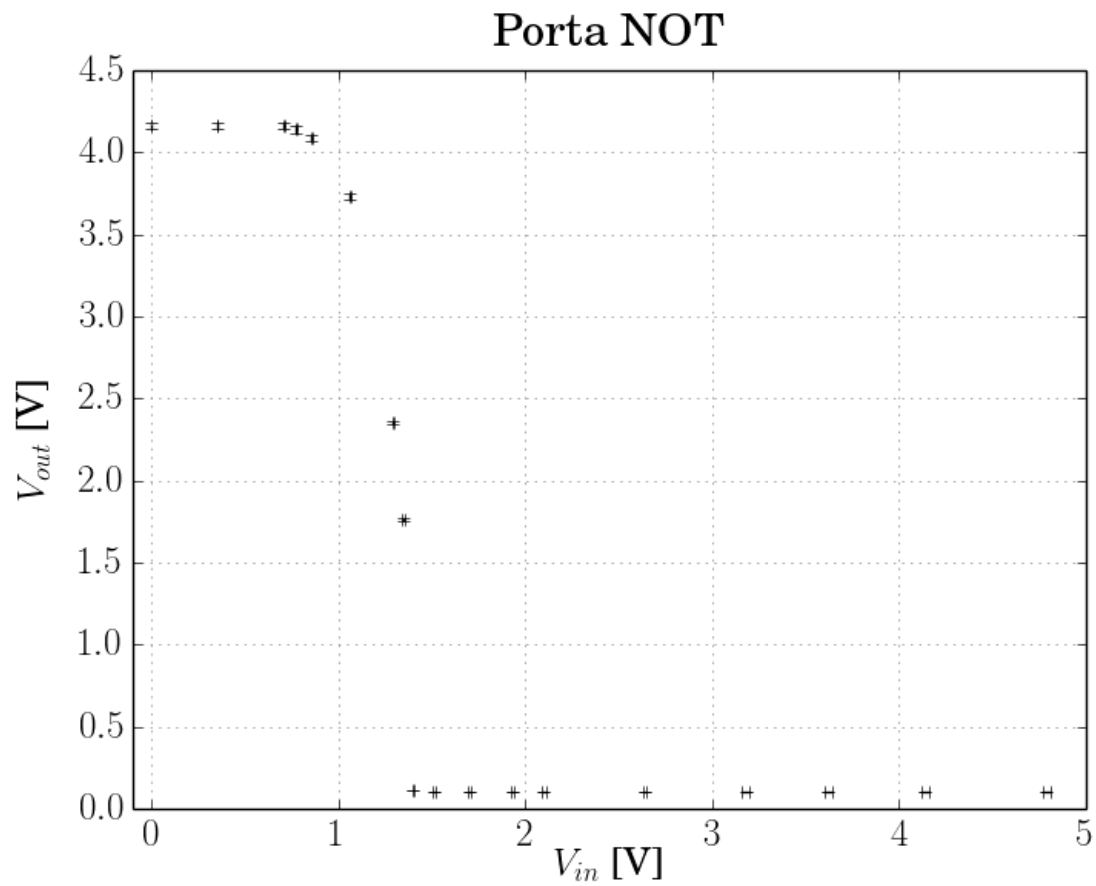


Figura 2: Tensione in uscita in funzione della tensione in ingresso per una porta NOT dell'integrato DM74LS04.

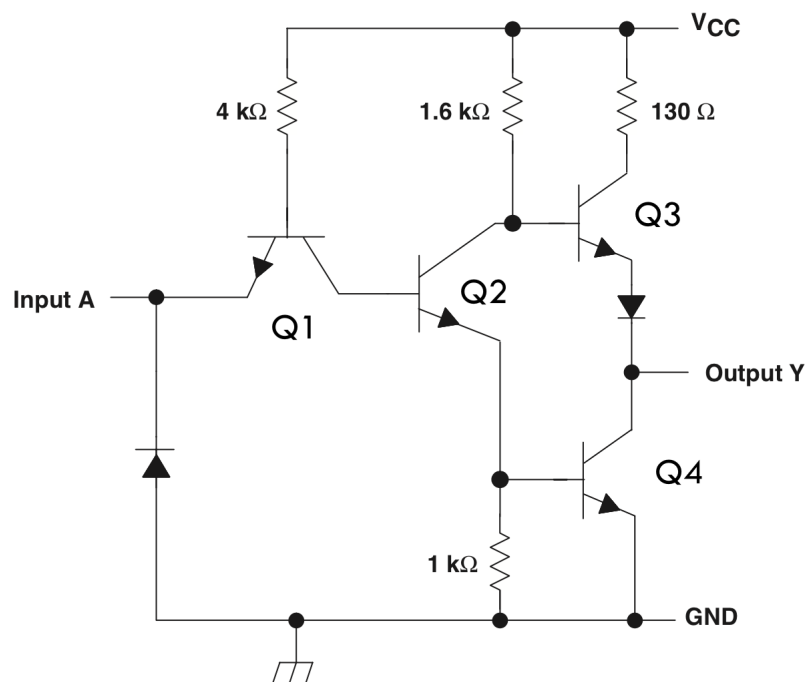


Figura 3: Schema circuitale di una porta logica NOT di un integrato 7404.

Tabella 2: Tensione in uscita dalla porta NOT dell'integrato DM74LS04 in funzione della tensione in ingresso.

V_{in} [V]	$\sigma_{V_{in}}$ [V]	I_{in} [μA]	$\sigma_{I_{in}}$ [μA]
0.1532	0.0008	-255	5
0.304	0.002	-255	5
0.497	0.003	-235	5
0.856	0.004	-210	5
1.213	0.006	-190	5
1.360	0.007	-180	5
1.371	0.007	-120	5
1.399	0.007	-60	5
1.439	0.007	-20.0	0.5
1.476	0.008	-6.0	0.5
1.514	0.008	-1.0	0.5

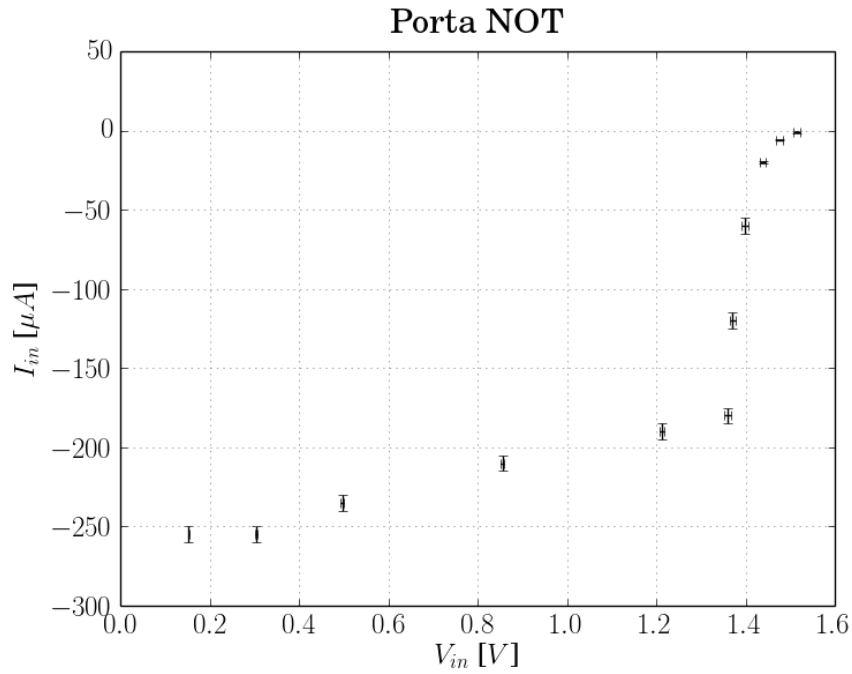


Figura 4: Corrente in ingresso in funzione della tensione in ingresso per una porta NOT dell'integrato DM74LS04.

1.b.ii Misura delle correnti in uscita

Per la misura delle correnti in uscita, il circuito è stato montato nella configurazione mostrata in figura 5, utilizzando una resistenza $R_2 = 99.7 \pm 0.8 \text{ k}\Omega$ e un trimmer di resistenza massima $R_1 = 102.2 \pm 0.8 \text{ k}\Omega$.

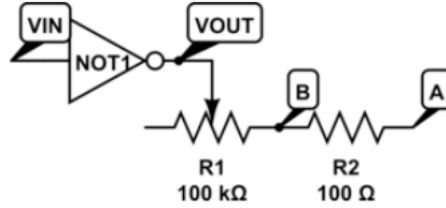


Figura 5: Misura delle correnti in uscita dall'integrato.

Tramite il multimetro digitale è stata misurata la caduta di potenziale $V_{R_2} = V_A - V_B$ ai capi della resistenza R_2 , da cui si ricava la corrente $I_{out} = \frac{V_{R_2}}{R_2}$ (la corrente I_{out} è considerata positiva se entrante nell'integrato). I punti V_{in} e A sono stati connessi prima a GND , poi a V_{CC} : nei due casi si osservava un brusco cambiamento della corrente al variare della posizione del trimmer in corrispondenza dei valori $I_{OH} = -2.61 \pm 0.03 \text{ mA}$ e $I_{OL} = 6.42 \pm 0.08 \text{ mA}$. Questo avviene perchè riducendo la resistenza fra V_{out} e A l'integrato deve fornire in uscita una corrente più grande (in modulo), in modo da mantenere la tensione in uscita desiderata. Quando questa corrente supera il valore massimo di corrente erogabile dall'integrato, quest'ultimo non funziona più correttamente da porta NOT (si ha, a seconda del caso considerato, $V_{out} < V_{OH}$ oppure $V_{out} > V_{OL}$) e la corrente si riduce sensibilmente. Il datasheet fornisce i valori massimi di corrente $I_{OH} = -0.4 \text{ mA}$ e $I_{OL} = 8 \text{ mA}$: il valore di I_{OH} risulta compatibile con quello misurato, sempre nell'ottica di un atteggiamento cautelativo del costruttore (è bene che il massimo di corrente in uscita sia più alto possibile, in modo che la porta funzioni correttamente in un intervallo più ampio). Tuttavia, nelle nostre condizioni di lavoro non si raggiunge il valore massimo previsto per I_{OL} , ma si ottiene un valore più basso di circa il 20%.

Dalla misura delle correnti di ingresso e di uscita si può stimare il fan out, che in questo caso è determinato dal rapporto $\frac{I_{OL}}{I_{IL}}$ in quanto I_{IH} è circa nulla. Si ha $fanout = 26 \pm 1$, che è maggiore del 15% rispetto al valore fornito dal datasheet ($fanout \simeq 22$): anche in questo caso il datasheet fornisce un valore minimo garantito, perciò la misura effettuata non è in contrasto con quanto atteso.

2. Montaggio di Arduino e caratteristiche dinamiche porta NOT

Il circuito comprendente Arduino è stato montato come richiesto. All'uscita dei piedini Y1 e Y2 si osservavano, come previsto, due onde quadre sfasate di 90 gradi (figura 6).

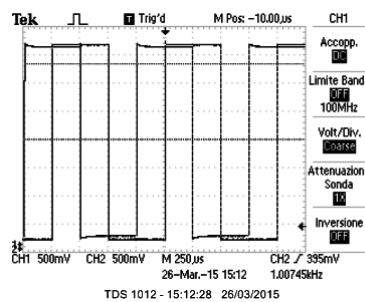


Figura 6: Misura delle correnti in uscita dall'integrato.

Il trimmer è stato regolato in modo da avere una frequenza di circa 1 kHz e l'ampiezza picco picco dell'onda era di $3.55 \pm 0.10 \text{ V}$.

Collegata la porta NOT a una delle due uscite (figura 7), sono stati misurati i tempi di propagazione della porta, ovvero il tempo che intercorre fra il punto intermedio della transizione dell'input e il punto intermedio della transizione dell'output (figure 8 e 9).

I valori misurati sono riportati in tabella 3.

Si nota che il tempo T_{PHL} rientra nell'intervallo indicato nel datasheet (da 4 ns a 15 ns), mentre T_{PLH} è leggermente maggiore. Il fatto che i tempi siano così diversi fra loro non deve sorprendere. Infatti nelle due transizioni si hanno dei transistor che passano dal regime di interdizione a quello di saturazione e viceversa⁵ e

⁵C'è uno squilibrio tra il numero di transizioni saturazione-interdizione e interdizione-saturazione nei due casi.

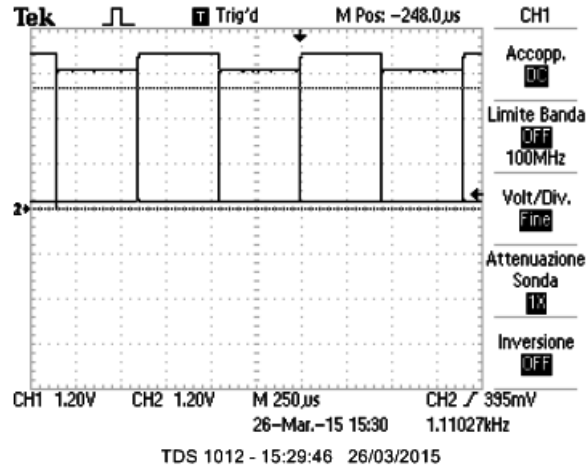


Figura 7: Verifica funzionamento porta NOT con onda quadra in ingresso.

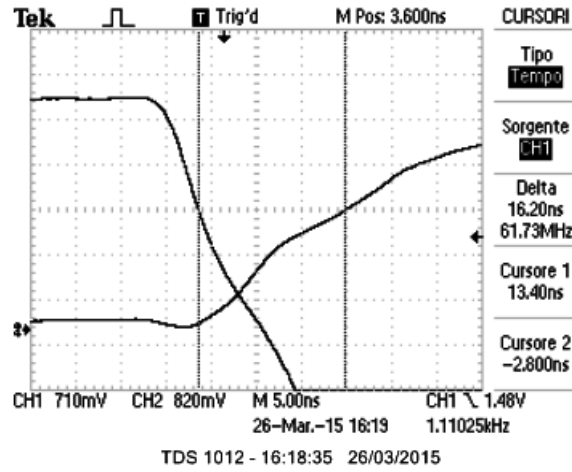


Figura 8: Tempo di propagazione Low to High.

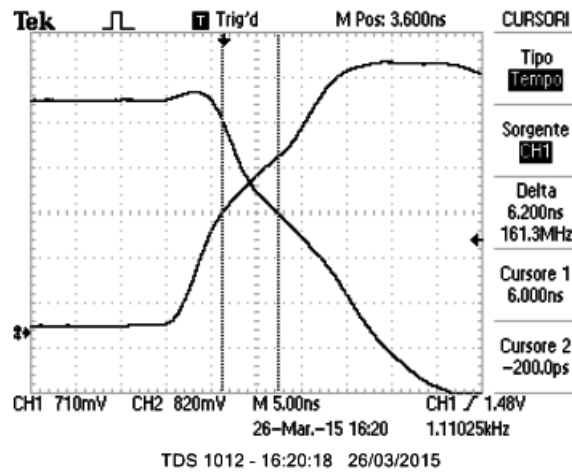


Figura 9: Tempo di propagazione High to Low.

Tabella 3: Tempi di propagazione

T_{PLH} [ns]	T_{PHL} [ns]
16.2 ± 0.4	6.2 ± 0.4

i tempi caratteristici di un transistor per queste due transizioni sono sostanzialmente diversi. Questo avviene perchè nei due regimi di lavoro le giunzioni dei transistor sono polarizzate direttamente in un caso e inversamente nell'altro; pertanto, la larghezza della zona di svuotamento e la capacità intrinseca della giunzione differiscono nei due casi, dando luogo a tempi caratteristici diversi.

Successivamente, sono stati misurati i tempi di salita e di discesa in ingresso e in uscita (tra il 10% e il 90%), riportati in tabella 4.

Tabella 4: Tempi di salita/discesa.

Segnale in ingresso		Segnale in uscita	
Tempo di salita [ns]	Tempo di discesa [ns]	Tempo di salita [ns]	Tempo di discesa [ns]
13.6 ± 0.4	8.2 ± 0.4	37.6 ± 0.4	14.4 ± 0.4

Si nota che i tempi di salita e di discesa dell'onda quadra sono più lunghi dei tempi di propagazione attraverso la porta. Inoltre, il segnale in ingresso ha un andamento molto irregolare e nella fase di discesa presenta un picco negativo prima di stabilizzarsi. Questo ci induce a pensare che la piccola sovrastima nei tempi di propagazione possa essere dovuta alla forma dell'onda in ingresso.