

Relazione esperienza di laboratorio

Gruppo BI: Federica Maria Surace, Marco Cilibrasi

20 novembre 2014

Esercitazione N. 4: Misure DC su transistor e NOT TTL

1 Misure in DC sul transistor

1.1 Strumentazione

La strumentazione utilizzata per l'esperienza comprende:

- Stabilizzatore di tensione 7805: abbiamo verificato che tra 6 e 15 V la tensione erogata è $5.05 \pm 0.03V$.
- Trimmer: la resistenza totale misurata è $105.7 \pm 0.8k\Omega$.
- Transistor NPN 2N1711: le polarità delle giunzioni sono $V_{BC} = 0.695 \pm 0.003V$ e $V_{BE} = 0.695 \pm 0.003V$.

1.2 Misure e grafici

Abbiamo montato il circuito richiesto, usando $R_B = 46.4 \pm 0.4k\Omega$, $R_L = 0.987 \pm 0.008k\Omega$, $C_1 = 10.2 \pm 0.4nF$, $V_{in} = 10.01 \pm 0.08V$. Dall'analisi della maglia del generatore otteniamo l'equazione della retta di carico:

$$R_L I_C = V_{in} - V_{CE}$$

Facendo variare la posizione del potenziometro abbiamo misurato V_{BE} , V_{CE} (da cui si ricava I_C dalla retta di carico) e V_{RB} (da cui si ricava $I_B = \frac{V_{RB}}{R_B}$). Di seguito (tabella 1) riportiamo la tabella con i dati ottenuti e i grafici di I_C in funzione di I_B (figura 1) e in funzione di V_{BE} (figura 2).

Osserviamo che quando I_B è compreso fra 0 e circa $70\mu A$ I_C cresce linearmente con I_B e siamo in zona attiva. Per valori di I_B più alti I_C si mantiene costante, questo vuol dire che siamo in zona di saturazione. Questo corrisponde a quello che si può osservare spostandosi nel grafico di I_C vs V_{CE} sulla retta di carico. Dal secondo grafico possiamo notare che fino al valore di circa $V_{BE} = 600mV$ I_C è nulla (all'interno dell'errore). Questo vuol dire che siamo in zona di interdizione. Dopo i $600mV$ si nota l'andamento esponenziale atteso in zona attiva ($I_C = I_S e^{V_{BE}/V_T}$). Dal fit dei dati in zona attiva ($I_B < 60\mu A$) si ottiene $h_{FE} = 148.8 \pm 0.9$ ($\chi^2_{red} = 0.09$). Dai dati si nota che V_{CE} di saturazione è circa 160 mV perchè al di sotto di questa tensione I_C si mantiene costante. La massima corrente erogata dal transistor $I_{C_{MAX}}$ si ha quando $V_{CE} = 0$ e la caduta di potenziale ai capi di R_L è massima, quindi $I_{C_{MAX}} = \frac{V_{in}}{R_L} = 10.1 \pm 0.1mA$.

Tabella 1: Misure al variare della posizione del potenziometro

$V_{R_B}[mV]$	$\Delta V_{R_B}[mV]$	$V_B[mV]$	$\Delta V_B[mV]$	$V_C[V]$	$\Delta V_C[V]$	$I_B[\mu A]$	$\Delta I_B[\mu A]$	$I_C[mA]$	$\Delta I_C[mA]$
6.5	0.2	136	8	10.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.3
10.1	0.2	212	8	10.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.3
14.7	0.2	316	8	10.1	0.2	0.3	0.0	0.0	0.3
22.5	0.3	440	8	10.1	0.2	0.5	0.0	0.0	0.3
50.0	0.4	524	8	10.0	0.2	1.08	0.01	0.1	0.3
100.4	0.8	556	8	9.8	0.2	2.16	0.03	0.3	0.3
153	1	568	8	9.7	0.2	3.29	0.04	0.4	0.3
207	2	580	8	9.6	0.2	4.46	0.06	0.5	0.3
251	3	588	8	9.4	0.2	5.41	0.08	0.7	0.3
314	3	592	8	9.3	0.2	6.77	0.09	0.8	0.3
342	3	596	8	9.2	0.2	7.37	0.09	0.9	0.3
384	3	596	8	9.0	0.2	8.3	0.1	1.1	0.3
440	4	600	8	8.8	0.2	9.5	0.1	1.3	0.3
491	4	604	8	8.7	0.2	10.6	0.1	1.4	0.3
542	4	608	8	8.6	0.2	11.7	0.1	1.6	0.3
612	5	612	8	8.3	0.2	13.2	0.2	1.8	0.3
708	6	612	8	8.0	0.2	15.3	0.2	2.1	0.3
786	6	616	8	7.8	0.2	16.9	0.2	2.4	0.3
850	7	620	8	7.5	0.2	18.3	0.2	2.6	0.3
1021	8	624	8	7.0	0.2	22.0	0.3	3.2	0.3
1484	10	640	8	5.64	0.08	32.0	0.3	4.5	0.2
1999	20	648	8	3.96	0.08	43.1	0.6	6.2	0.2
2260	20	652	8	3.00	0.04	48.7	0.6	7.2	0.2
2490	30	656	8	2.24	0.04	53.7	0.8	8.0	0.2
2800	30	664	8	1.44	0.04	60.3	0.8	8.8	0.2
2990	30	664	8	0.80	0.02	64.4	0.9	9.4	0.1
3210	30	668	8	0.316	0.004	69.2	0.9	9.9	0.1
3550	30	668	8	0.164	0.004	76.5	0.9	10.1	0.1
3760	30	672	8	0.148	0.004	81.0	1.0	10.1	0.1
4090	30	668	8	0.135	0.002	88.1	1.0	10.1	0.1
4380	40	672	8	0.126	0.002	94.4	1.2	10.1	0.1

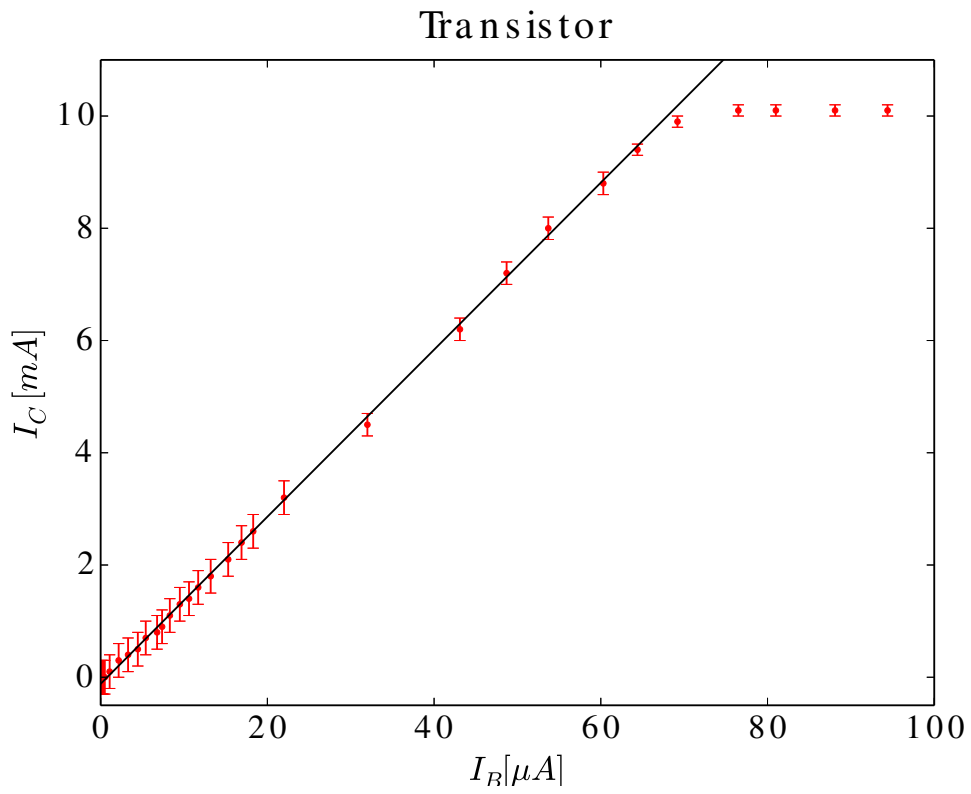


Figura 1: $I_C(I_B)$ al variare della posizione del potenziometro

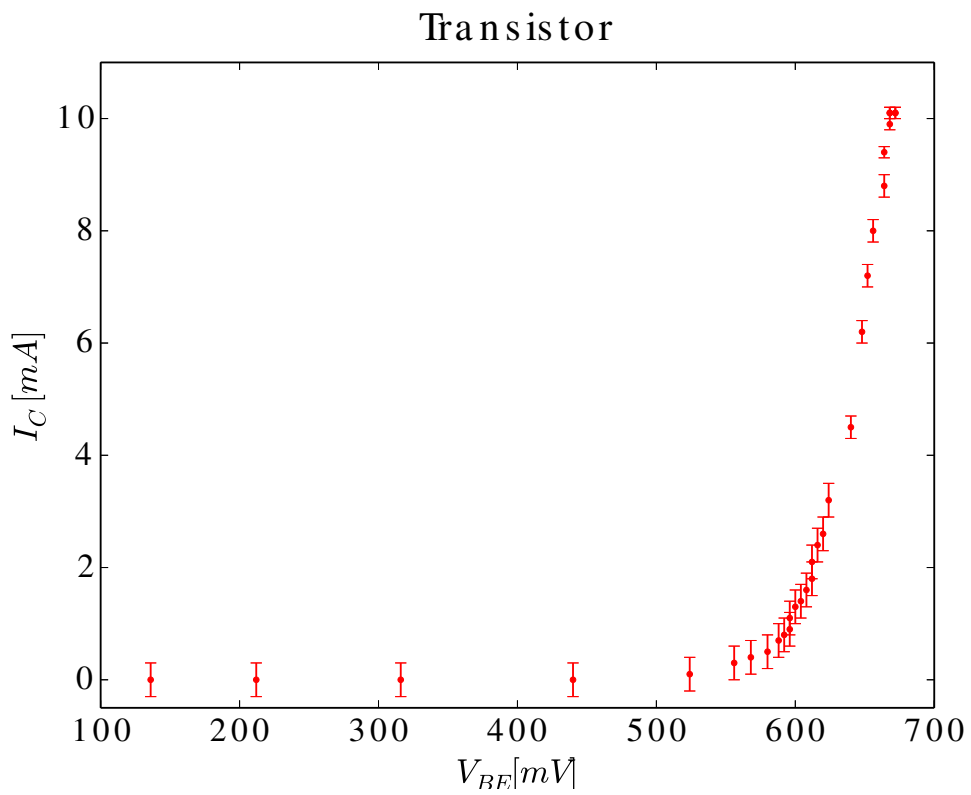


Figura 2: $I_C(V_{BE})$ al variare della posizione del potenziometro

Fissata la corrente I_B in modo che $V_{CE} = 5.00 \pm 0.08V$, abbiamo variato la tensione di alimentazione fra circa 6 e 15V. Abbiamo misurato V_{CE} e la caduta di potenziale su R_L (V_{RL}) da cui abbiamo ricavato I_C . Seguono i dati ottenuti in tabella 2 e il grafico in figura 3. Variando la tensione di alimentazione la retta di carico non varia la sua pendenza ($\frac{1}{R_L}$) mentre varia la sua intercetta linearmente ($\frac{V_{in}}{R_L}$).

Tabella 2: Misure al variare della tensione di alimentazione

$V_{RL}[V]$	$\Delta V_{RL}[V]$	$I_C[mA]$	$\Delta I_C[mA]$	$V_C[V]$	$\Delta V_C[V]$
5.53	0.04	5.60	0.06	9.52	0.16
5.52	0.04	5.59	0.06	8.96	0.16
5.49	0.04	5.56	0.06	8.56	0.16
5.47	0.04	5.54	0.06	8.08	0.16
5.45	0.04	5.52	0.06	7.68	0.16
5.42	0.04	5.49	0.06	7.12	0.16
5.39	0.04	5.46	0.06	6.76	0.08
5.35	0.04	5.42	0.06	6.28	0.08
5.32	0.04	5.39	0.06	5.72	0.08
5.26	0.04	5.33	0.06	5.36	0.08
5.22	0.04	5.29	0.06	4.84	0.08
5.19	0.04	5.26	0.06	4.28	0.08
5.16	0.04	5.23	0.06	3.96	0.08
5.13	0.04	5.20	0.06	3.48	0.08
5.10	0.04	5.17	0.06	3.08	0.08
5.06	0.04	5.13	0.06	2.52	0.04
5.02	0.04	5.09	0.06	2.08	0.04
4.96	0.04	5.03	0.06	1.60	0.04
4.93	0.04	4.99	0.06	1.29	0.02

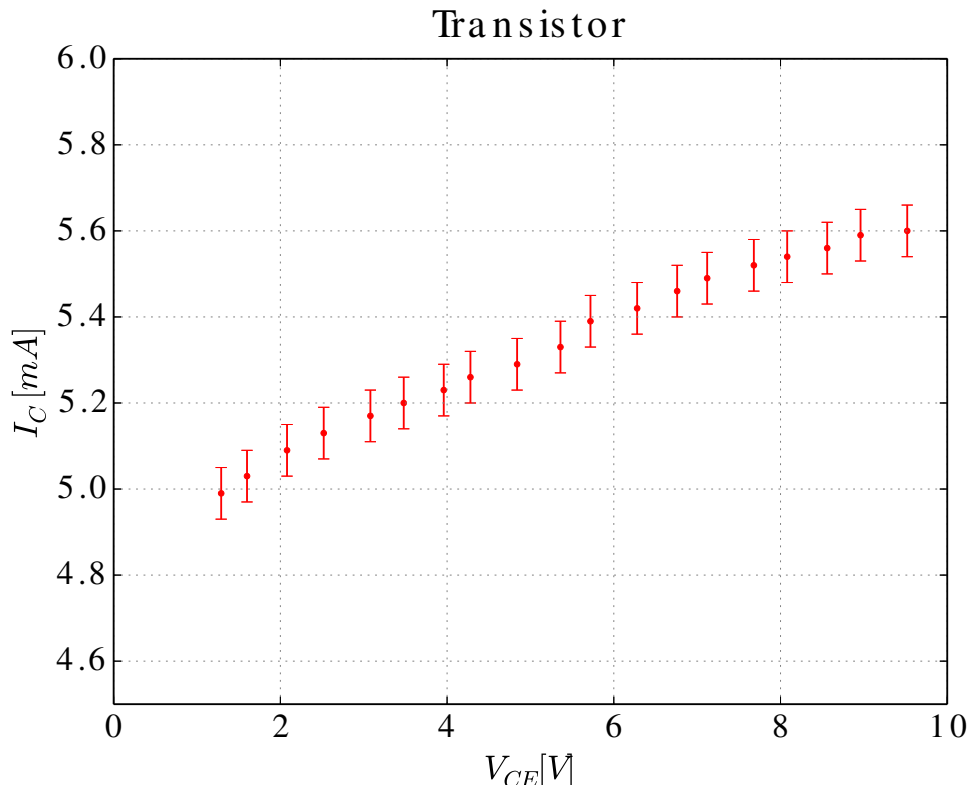


Figura 3: $I_C(V_{CE})$ al variare della tensione di alimentazione

2 Uso del transistor in un circuito logico NOT

Abbiamo montato il circuito come richiesto usando $R_L = 2.16 \pm 0.02k\Omega$, $R_1 = 15.1 \pm 0.1k\Omega$, $R_2 = 98.1 \pm 0.8k\Omega$. L'uscita output-pulse manda un'onda quadra tra $0.00 \pm 0.08V$ e $5.12 \pm 0.08V$ a $f \simeq 1kHz$. Il circuito NOT funziona come ci aspettavamo (figura 4).

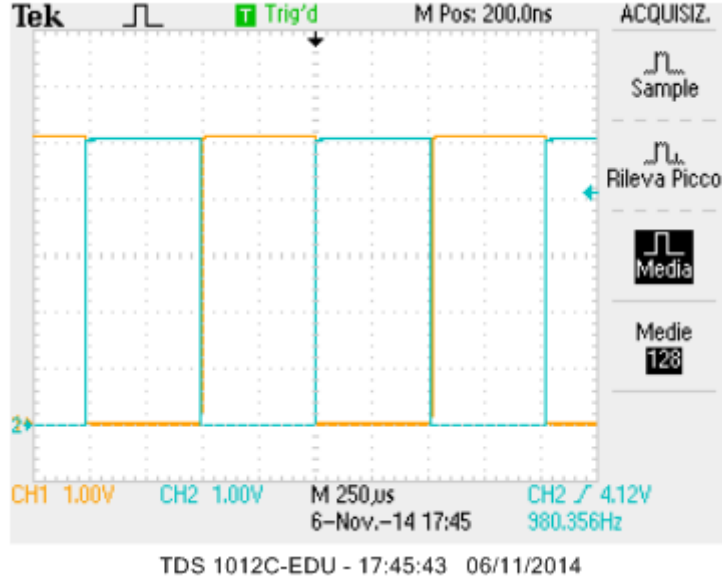


Figura 4: Funzionamento circuito NOT: in CH1 abbiamo $V_{out} = V_C$, in CH2 abbiamo V_{in}

Abbiamo misurato la tensione di base e collettore calcolando I_B e I_C a partire dalle equazioni delle maglie. Si ottiene:

$$I_B = \frac{V_{in} - V_B}{R_1} - \frac{V_B}{R_2}$$

$$I_C = \frac{V_0 - V_C}{R_L}$$

Riportiamo in tabella 3 i valori misurati.

Tabella 3: Misure circuito NOT

V_{in}	$V_B[V]$	$\Delta V_B[V]$	$I_B[mA]$	$\Delta I_B[mA]$	$V_C[V]$	$\Delta V_C[V]$	$I_C[mA]$	$\Delta I_C[mA]$
True	0.656	0.008	0.30	0.03	0.00	0.08	2.3	0.2
False	0.000	0.008	0.34	0.03	5.04	0.08	0.0	0.2

La propagazione degli errori è stata fatta tenendo conto anche della correlazione nell'equazione per I_B . Si osservano dai valori di I_C e I_B le condizioni di saturazione e interdizione: quando l'onda in ingresso è TRUE siamo in deep saturation in quanto le giunzioni sono entrambe polarizzate direttamente e $V_{CE} \simeq 0$ mentre $I_C < h_{FE}I_B$; invece, quando l'onda in ingresso è FALSE siamo in interdizione perchè le giunzioni sono entrambe polarizzate inversamente e $I_C \simeq 0$.

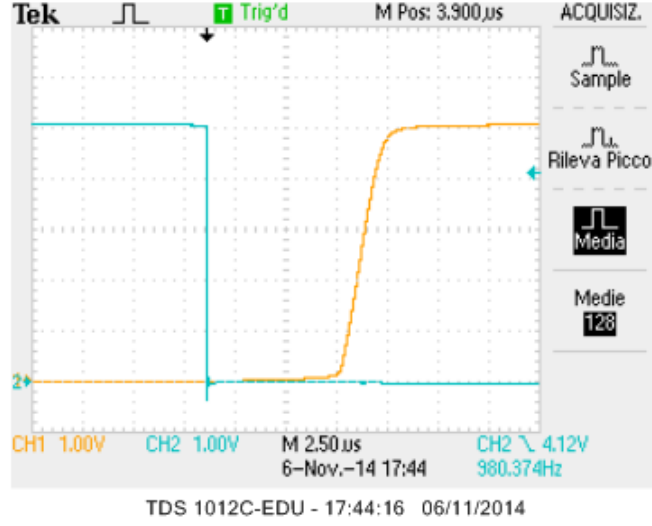


Figura 5: Tempo di salita: in CH1 abbiamo $V_{out} = V_C$, in CH2 abbiamo V_{in}

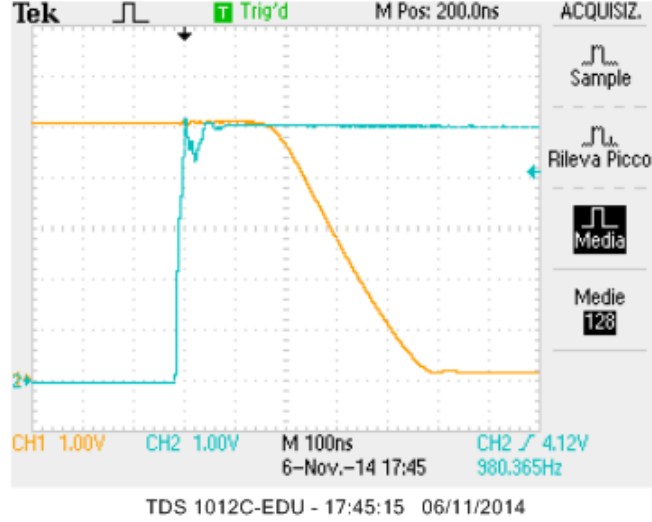


Figura 6: Tempo di discesa: in CH1 abbiamo $V_{out} = V_C$, in CH2 abbiamo V_{in}

Abbiamo misurato i tempi di transizione di V_{out} con l'oscilloscopio (figure 5 e 6) ottenendo $T_s = 1.68 \pm 0.08 \mu s$, $T_d = 236 \pm 8 ns$, $T_{rs} = 6.04 \pm 0.08 \mu s$ e $T_{rd} = 200 \pm 10 ns$. Si può notare che $T_{rs} \gg T_{rd}$: questo è dovuto al fatto che quando forniamo $5V$ in ingresso siamo in deep saturation e il circuito impiega più tempo a uscire dalla zona di saturazione rispetto a quando è in interdizione. I tempi di salita, invece, sono legati alle capacità delle giunzioni del transistor. Infatti $T_d \ll T_s$ perchè $C_{inv} \ll C_{dir}$. Se riduciamo R_2 cambiamo il partitore in entrata, riducendo V_{BE} (e quindi l'intensità della saturazione). Di conseguenza diminuirà T_{rs} . Inoltre T_s diminuisce al diminuire della resistenza perchè è il tempo caratteristico della carica di un condensatore. Osserviamo inoltre che T_d diminuisce leggermente all'aumentare della resistenza e T_{rd} resta approssimativamente costante. Abbiamo verificato l'andamento dei tempi con delle resistenze da $10k\Omega$ e $560k\Omega$. Il circuito NOT funziona quando il periodo dell'onda quadra è molto maggiore della somma dei transienti $f \ll \frac{1}{T_s + T_{rs} + T_{rd} + T_d} \simeq 120 kHz$. Si osserva che fino a circa $10 kHz$ il risultato è accettabile (figura 7), mentre aumentando la frequenza, l'onda viene deformata notevolmente e dopo i $60 kHz$ non raggiunge più il livello massimo (figure 8 e 9).

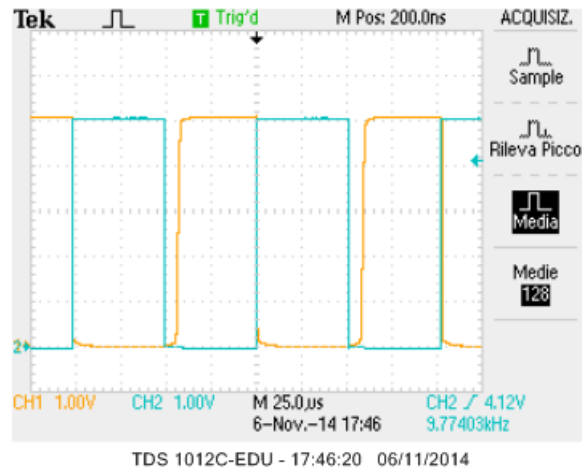


Figura 7: Circuito NOT a 10 kHz: in CH1 abbiamo $V_{out} = V_C$, in CH2 abbiamo V_{in}

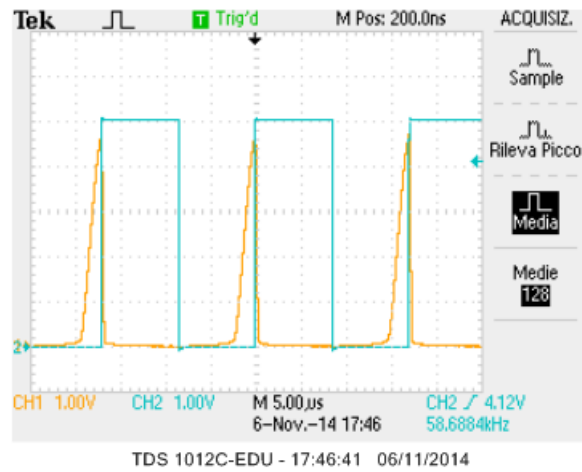


Figura 8: Circuito NOT a 60 kHz: in CH1 abbiamo $V_{out} = V_C$, in CH2 abbiamo V_{in}

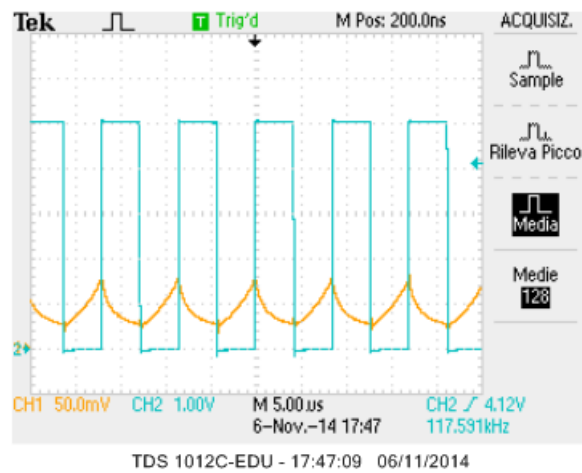


Figura 9: Circuito NOT a 120 kHz: in CH1 abbiamo $V_{out} = V_C$, in CH2 abbiamo V_{in}