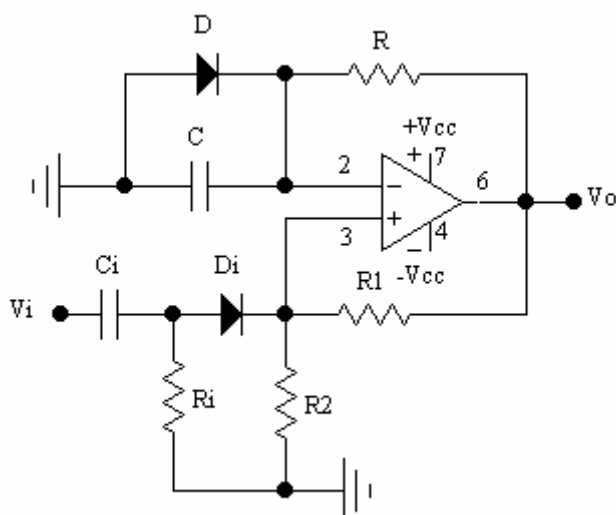


GENERATORE DI IMPULSO CON AMPLIFICATORE OPERAZIONALE

Un generatore d'impulso, o multivibratore monostabile, è un circuito che presenta due possibili stati: uno stato stabile ed uno stato quasi stabile. Il circuito si trova, normalmente, nello stato stabile, in cui permane fino a che un impulso esterno non lo porta nello stato quasi stabile, nel quale rimane per un tempo prefissato per poi ritornare, spontaneamente, nello stato stabile.

Schema del circuito



Stato stabile $V_o = V_{oL}$

Stato quasi stabile $V_o = V_{oH}$

V_i segnale di tipo TTL, $V_{iM} = 4V$

Duty-cycle del 20% (minimo impostabile)

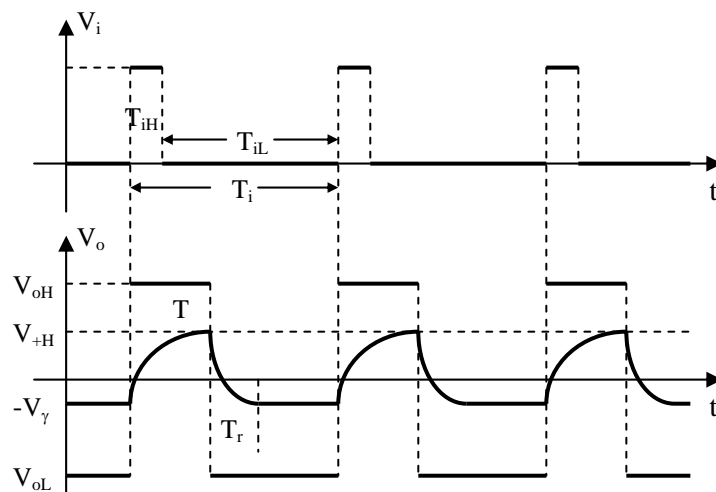
Segle e valori dei componenti

C.I.: TL081; Diodi 1N4148; $C = 100\eta F$; $C_i = 1\eta F$; $R_i = 10k\Omega$; $R = 27k\Omega$; $R_1 = 100k\Omega$; $R_2 = 33k\Omega$.

Strumenti e apparecchiature

Alimentatore duale a tensione fissa $\pm 12V$; oscilloscopio doppia traccia; generatore di funzione; bassetta di bread-board.

Richiami teorici



$$V_{oH} = -V_{oL} \quad ; \quad V_{+H} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{oH} \quad ; \quad V_{+L} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{oL} \quad ; \quad V_{+H} = -V_{+L}$$

$$T = RC \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad ; \quad T_r = RC \ln \frac{V_{+H} - V_{oL}}{-V_{oL} - V_\gamma}$$

Se $V_\gamma \ll -V_{oL}$, si ha:
$$T_r = RC \ln \frac{V_{+H} + V_{oH}}{V_{oH}} = RC \ln \left(1 + \frac{V_{+H}}{V_{oH}} \right) = RC \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Per un corretto funzionamento deve risultare $T_{iH} < T$ e $T_{iL} > T_r$. Questa condizione garantisce che, prima dell'innesco di un nuovo impulso, il circuito è sicuramente ritornato e assestato nello stato stabile.

Definizione e progetto del circuito

Come segnale d'ingresso si utilizza un segnale di tipo TTL di ampiezza 4V e duty-cycle del 20%. Per essere sicuri che durante l'impulso d'ingresso la tensione V_+ salga al di sopra del valore $-V_\gamma \approx -0,7V$, si impone che il valore di V_{+L} sia maggiore di $-V_{iM}$ e minore di $-V_\gamma$, ossia $-4V < V_{+L} < -0,7$:

$$\begin{aligned} V_{+L} > -V_{iM} &\Rightarrow V_{+L} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{oL} = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{oH} > -V_{iM} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{oH} < V_{iM} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} < \frac{V_{iM}}{V_{oH}} \Rightarrow \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2} > \frac{V_{oH}}{V_{iM}} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} > \frac{V_{oH}}{V_{iM}} - 1 \end{aligned}$$

Con $V_{iM} = 4V$ e $V_{oH} = 11V$, si ha:
$$\frac{R_1}{R_2} > \frac{V_{oH}}{V_{iM}} - 1 = \frac{11}{4} - 1 = \frac{7}{4} \Rightarrow R_1 > \frac{7}{4} R_2 = 1,75 R_2$$

$$\begin{aligned} V_{+L} < -V_\gamma &\Rightarrow V_{+L} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{oL} = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{oH} < -V_\gamma \Rightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{oH} > V_\gamma \Rightarrow \\ &\Rightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} > \frac{V_\gamma}{V_{oH}} \Rightarrow \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2} < \frac{V_{oH}}{V_\gamma} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} > \frac{V_{oH}}{V_\gamma} - 1 \end{aligned}$$

Con $V_\gamma = 0,7V$ e $V_{oH} = 11V$, si ha:
$$\frac{R_1}{R_2} < \frac{V_{oH}}{V_\gamma} - 1 = \frac{11}{0,7} - 1 = 14,71 \Rightarrow R_1 < 14,71 R_2$$

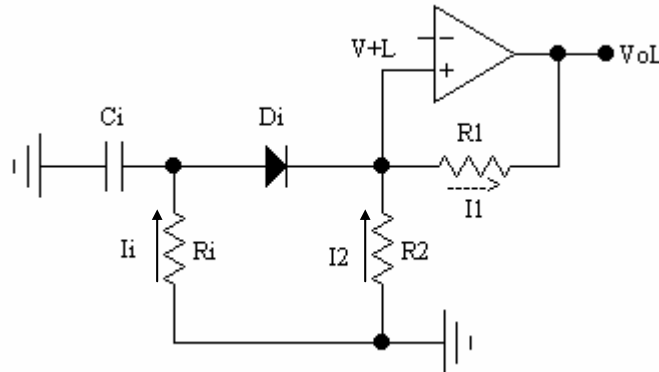
I limiti del rapporto $\frac{R_1}{R_2}$ sono:
$$1,75 < \frac{R_1}{R_2} < 14,71.$$

Si fissa il valore del rapporto
$$\frac{R_1}{R_2} = 3 \Rightarrow R_1 = 3R_2.$$

Si fissa $R_2 = 33\text{k}\Omega$ e si calcola $R_1 = 3R_2 = 3 \cdot 33 \cdot 10^3 = 99\text{k}\Omega$, valore commerciale $100\text{k}\Omega$.

Con tali valori si ha:
$$V_{+H} = -V_{+L} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{oH} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2}} V_{oH} = \frac{1}{1 + 3} 11 = 2,75\text{V}$$

Quando l'uscita è a livello basso ($V_{oL} = -11\text{V}$) e l'ingresso è a massa, il diodo risulta polarizzato direttamente e la resistenza R_1 è in parallelo a R_2 .



La capacità C_i , una volta caricata, equivale ad un circuito aperto. Considerando il diodo assimilabile ad un corto circuito, si ha:

$$I_1 = I_i + I_2 \Rightarrow \frac{V_{oL} - V_{+L}}{R_1} = \frac{V_{+L}}{R_2} + \frac{V_{+L} + V_\gamma}{R_i} \Rightarrow \frac{V_{+L}}{R_1} + \frac{V_{+L}}{R_2} + \frac{V_{+L}}{R_i} = \frac{V_{oL}}{R_1} - \frac{V_\gamma}{R_i} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{+L} = \frac{\frac{V_{oL}}{R_1} - \frac{V_\gamma}{R_i}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_i}} = \frac{-\frac{11}{100 \cdot 10^3} - \frac{0,7}{10 \cdot 10^3}}{\frac{1}{100 \cdot 10^3} + \frac{1}{33 \cdot 10^3} + \frac{1}{10 \cdot 10^3}} = -1,28\text{V}$$

Con $\frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{3}$, si ha:
$$T = RC \ln\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = RC \ln\left(1 + \frac{1}{3}\right) = RC \ln \frac{4}{3} = 0,2877RC$$

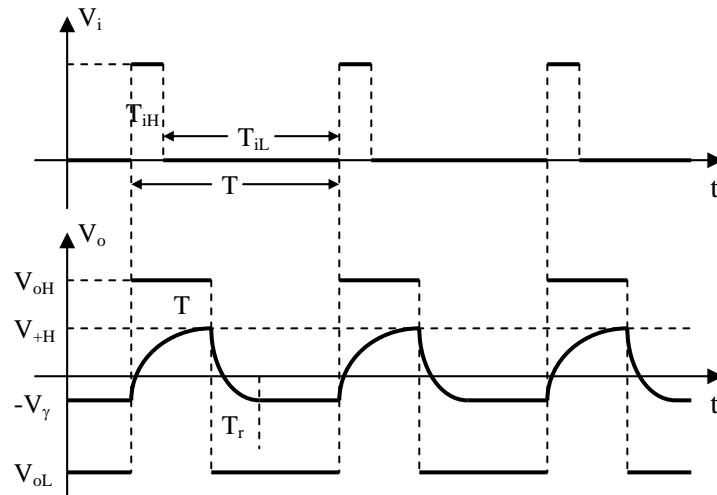
Si fissa a $T = 0,8\text{ms}$ la durata dell'impulso rettangolare generato. Tale valore consente di ottenere una buona visualizzazione oscillografica dei segnali nel circuito.

Si calcola il prodotto RC:
$$RC = \frac{T}{0,2877} = \frac{0,8 \cdot 10^{-3}}{0,2877} = 2,78\text{ms}.$$

Si fissa $C = 100\text{nF}$ e si calcola $R = \frac{2,78 \cdot 10^{-3}}{C} = \frac{2,78 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-9}} = 27,8\text{k}\Omega$, valore commerciale $27\text{k}\Omega$.

Bisogna visualizzare correttamente, chiaramente e stabilmente l'impulso generato correlato col segnale d'ingresso V_i , con la tensione ai capi della capacità, con la forma impulsiva fornita dal circuito derivatore d'ingresso, con la tensione V_+ . a tale fine il segnale impulsivo TTL d'ingresso

dovrà avere una frequenza maggiore di 100Hz, un periodo T_i e una durata a livello alto T_{iH} tali da consentire al circuito, terminato l'impulso d'uscita, di ritornare sicuramente nello stato stabile prima del successivo impulso di comando d'ingresso. Pertanto, bisogna tenere conto del tempo di recupero del circuito.



$$T_r = RC \ln \frac{V_{+H} - V_{oL}}{-V_{oL} - V_{\gamma}} = 2,75 \cdot 10^{-3} \cdot \ln \frac{2,75 - 11}{11 - 0,7} = 0,78 \text{ms}$$

Il periodo T_i del segnale impulsivo d'ingresso deve risultare:

$$T_i > T + T_r = 0,8 \cdot 10^{-3} + 0,78 \cdot 10^{-3} = 1,58 \text{ms} \quad \text{e} \quad T_{iH} < T = 0,8 \text{ms}$$

Si sceglie $T_i = 1,8 \text{ms}$ e $T_{iH} = 0,36 \text{ms}$. Il duty-cycle è: $D = \frac{T_{iH}}{T_i} = \frac{0,36 \cdot 10^{-3}}{1,8 \cdot 10^{-3}} = 0,2 \rightarrow 20\%$

La frequenza d'ingresso risulta $f_i = \frac{1}{T_i} = \frac{1}{1,8 \cdot 10^{-3}} = 555 \text{Hz}$, più che sufficiente per una visualizzazione ottimale dei segnali.

Si dimensiona il circuito derivatore d'ingresso $C_i R_i$ imponendo $\tau_i = R_i C_i \ll T_{iH} = 0,36 \text{ms}$.

Si fissa $\tau_i = R_i C_i = 10 \mu\text{s}$. Si fissa $C_i = 1 \text{nF}$ e si calcola $R_i = \frac{10 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-9}} = 10 \text{k}\Omega$.

Si utilizzano due diodi di commutazione 1N4148.

Riassumendo

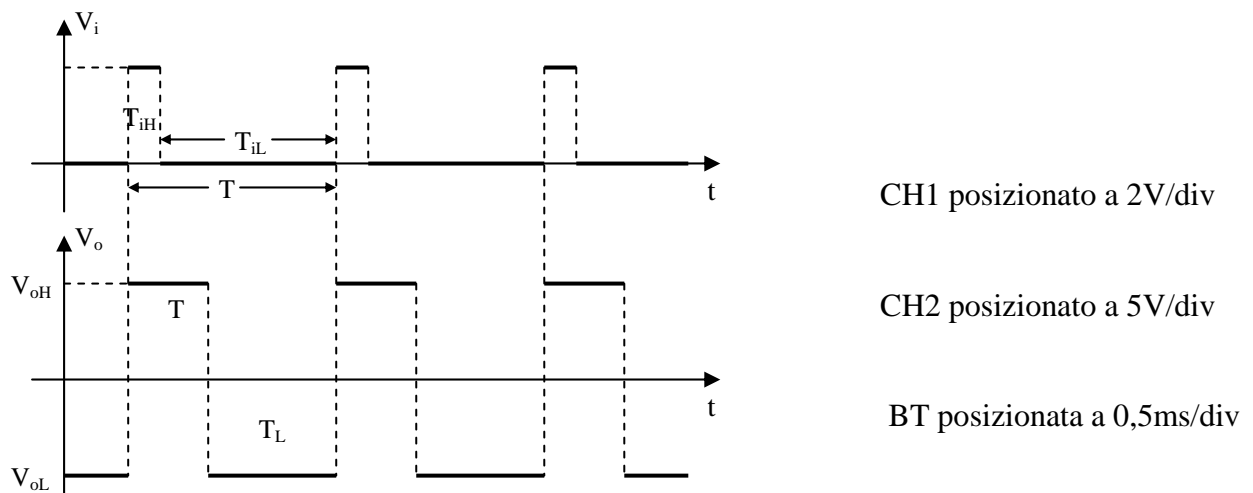
C.I.: TL081; Diodi 1N4148; $C = 100 \text{nF}$; $C_i = 1 \text{nF}$; $R_i = 10 \text{k}\Omega$; $R = 27 \text{k}\Omega$; $R_1 = 100 \text{k}\Omega$; $R_2 = 33 \text{k}\Omega$.

Procedimento di verifica

1. Si monta il circuito e si collega l'alimentatore duale $V_{CC} = \pm 12V$.
2. Si regola il generatore di funzione per fornire un segnale TTL di ampiezza 4V, frequenza 550Hz e duty-cycle del 20% (limite minimo dello strumento).
3. Si collega all'ingresso il generatore di funzione e il canale CH1 dell'oscilloscopio; si collega all'uscita il canale CH2 dell'oscilloscopio.
4. Si regola l'oscilloscopio e la frequenza del generatore di funzione fino ad ottenere una visualizzazione ottimale dei segnali d'ingresso e d'uscita.
5. Si misurano le ampiezze e le durate T_i , T_{iH} , T_{iL} , T , T_L dei segnali d'ingresso e d'uscita.
6. Utilizzando il valore misurato di T_i si calcola $f_i = \frac{1}{T_i}$.
7. Si collega il canale CH1 dell'oscilloscopio all'uscita V_o e il canale CH2 ai capi della capacità C . Si rilevano l'oscillogramma di carica e di scarica di C correlato con V_o e si misurano le durate dei transistori di carica e di scarica e le tensioni V_{+H} e V_{γ} .
8. Si collega il canale CH2 dell'oscilloscopio al pin 3 dell'amplificatore operazionale e si visualizza il segnale V_+ correlato con V_o . Si misurano le tensioni V_{+H} e V_{+L} .
9. Si collega il canale CH2 dell'oscilloscopio ai capi di R_i e si visualizza il segnale V_{Ri} correlato con V_o . Si misura la tensioni V_{RiMIN} .
10. Si riportano i grafici dei segnali tra loro correlati.

Verifica sperimentale

Si regola il generatore di funzioni per fornire in uscita un segnale TTL di ampiezza 4V, frequenza 550Hz e duty-cycle del 20% (il duty-cycle del generatore di funzioni può variare dal 20% all'80%). Si visualizza sul canale CH1 dell'oscilloscopio il segnale V_i e sul canale CH2 il segnale V_o . Si ottengono i seguenti grafici.

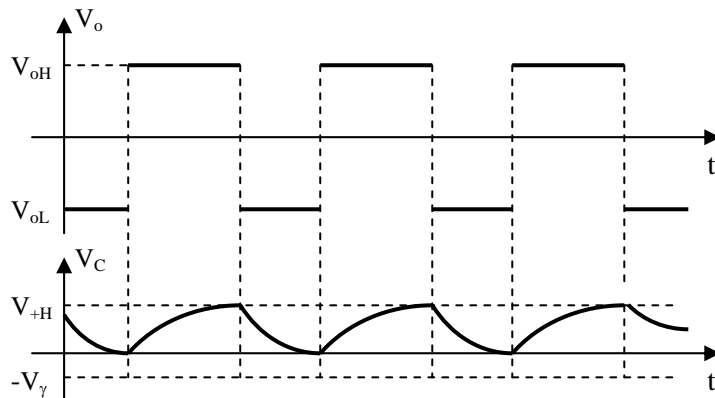


I valori misurati sono:

$$V_{oH} = -V_{oL} = 11V \quad ; \quad T_{iH} = 0,72 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 0,36ms \quad ; \quad T_{iL} = 2,9 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 1,46ms$$

$$T_i = T_{iH} + T_{iL} = 1,82ms \quad ; \quad T = 2,4 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 1,2ms \quad ; \quad T_L = 2,9 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 1,46ms$$

Poiché il tempo di recupero T_r è di 0,8ms ($>$ di $T_L = 0,6ms$), il circuito, prima che arrivi in ingresso l'impulso successivo, non riesce a raggiungere lo stato stabile iniziale, $V_C = -V_\gamma$. infatti, spostando CH1 su V_o e CH2 su C_C (pin 2), si ottengono i seguenti oscillogrammi:

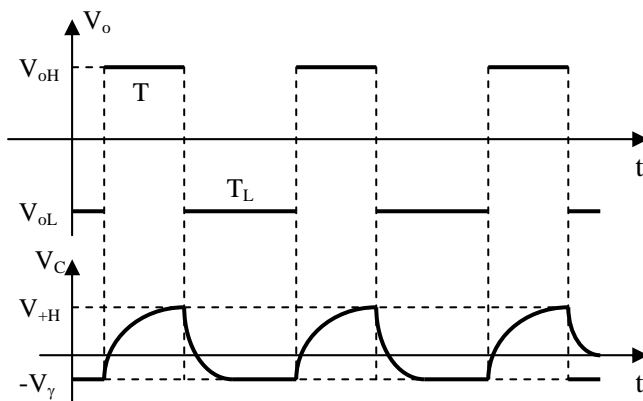


CH1 posizionato a 5V/div

CH2 posizionato a 2V/div

BT posizionata a 0,5ms/div

Il circuito non ha il tempo di assestarsi nello stato stabile prima della successiva commutazione. Si diminuisce la frequenza del segnale d'ingresso fino a che la tensione V_C raggiunge il valore $-V_\gamma$ e lo mantenga per un certo tempo, ciò si ottiene alla frequenza di 300Hz e gli oscillogrammi sono:



CH1 posizionato a 2V/div

CH2 posizionato a 5V/div

BT posizionata a 0,5ms/div

I valori misurati sono:

$$V_{oH} = -V_{oL} = 11V ; V_\gamma \cong 0,7V ; T_r = 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 1ms ; T = 1,2ms$$

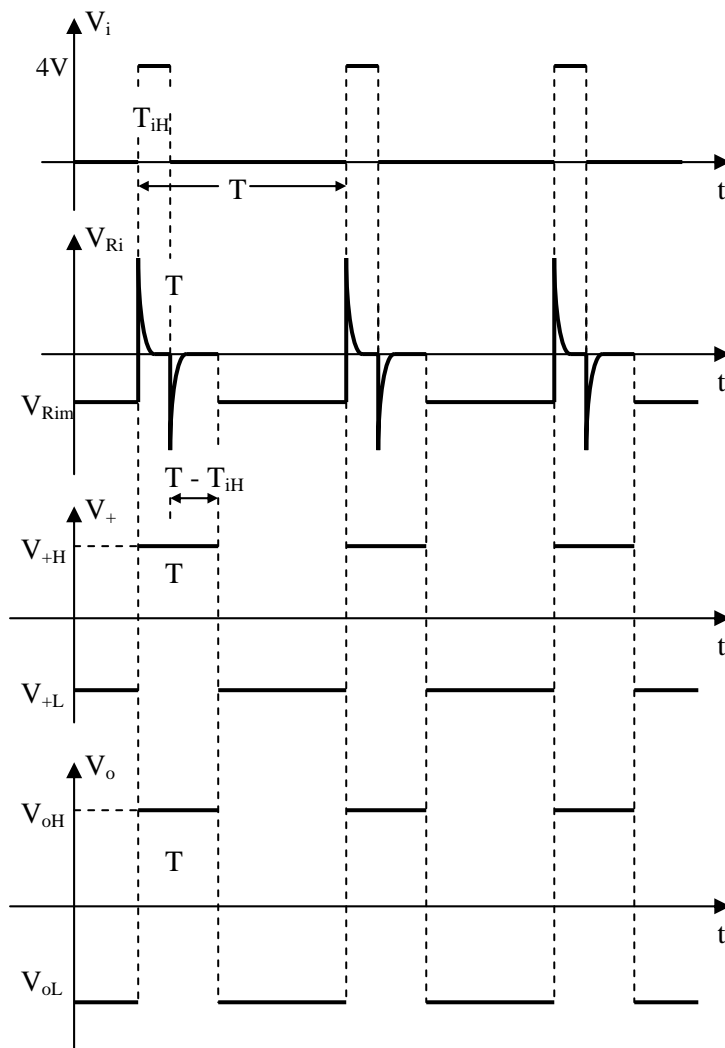
$$T_{iL} = 4,2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 2,1ms ; T_{iH} = 0,67ms ; T_{iL} = 2,67ms ; T_i = T_{iH} + T_{iL} = 3,33ms$$

La durata dell'impulso d'uscita risulta maggiore di 0,8ms, diversità dovuta sicuramente al valore non esatto della capacità usata, che presenta una tolleranza si più del 20%. Il circuito, comunque, funziona come preventivato.

Si sposta il canale CH2 dell'oscilloscopio su V_+ (pin 3) e poi ai capi di R_i . Si riportano gli oscillogrammi correlati di V_i , V_{Ri} , V_+ , V_o .

I valori misurati sono:

$$V_{oH} = -V_{oL} = 11V ; V_{+H} = 2,1V ; V_{+L} = -1,1V ; V_{RiMIN} = -0,5V$$



CH1 posizionato a 2V/div

CH2 posizionato a 5V/div

BT posizionata a 0,5ms/div

L'oscillogramma di V_{Ri} evidenzia la variazione del segnale d'uscita dal derivatore d'ingresso. Finché l'uscita è a livello alto il diodo è interdetto e su R_i è nulla, salvo in corrispondenza dei fronti di salita e di discesa di V_i che generano due impulsi, uno positivo (fronte di salita) e uno negativo (fronte di discesa). Quando l'uscita torna a livello basso, il diodo va in conduzione portando la tensione su R_i a $-0,5V$.