

LABORATORIO DIDATTICO 2

1 Simulazione di un rigeneratore (data slicer)

Il *data slicer* è un circuito che può essere utilizzato nei ricevitori digitali come *rigeneratore*, cioè come circuito in grado di ripulire un segnale digitale (anche demodulato) da rumore e distorsioni.

Per esempio un *data slicer* può essere costituito (FIGURA 1) da un comparatore con isteresi e da un filtro passa basso (RC) che estrae il valor medio del segnale digitale ricevuto.

In ingresso al comparatore si invia quindi il segnale digitale ricevuto e una componente all'incirca costante costituita dal suo valor medio, che costituisce la soglia di decisione per discriminare gli "1" (livello alto) dagli "0" (livello basso).

Infatti l'uscita del comparatore si porta a livello alto se il segnale ricevuto supera la soglia di decisione, mentre si porta a livello basso se il segnale ricevuto è al di sotto della soglia di decisione.

Va notato che affinché il circuito funzioni correttamente è necessario:

- inviare a inizio trasmissione alcuni bit privi di informazione (*preambolo*) il cui scopo è quello di consentire la carica iniziale del condensatore;
- fare in modo che il segnale digitale non contenga lunghe sequenze "0", che porterebbero alla scarica del condensatore e quindi alla perdita di bit informativi; a questo scopo è possibile utilizzare il *codice Manchester* (si veda il CAPITOLO 3);
- fare in modo che la costante di tempo RC del filtro sia maggiore della durata di un bit (per esempio sia pari a 5 o 10 volte il tempo di bit).

Il comportamento del data slicer può essere simulato con Microcap come mostrato in FIGURA 1.

A tale scopo utilizziamo il codificatore¹ Manchester e il canale del circuito utilizzato nel LABORATORIO DIDATTICO 1.

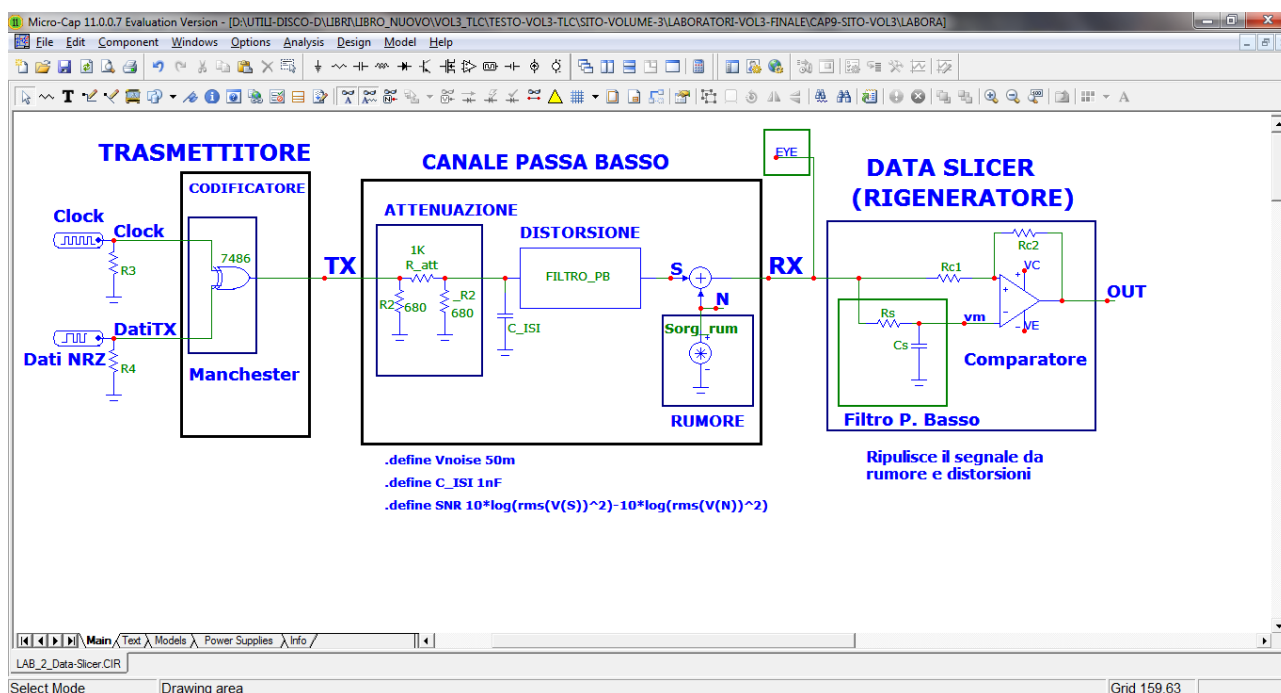


FIGURA 1 Simulazione di un collegamento con rigenerazione tramite *data slicer*.

¹ Per semplicità si impiega un codice Manchester unipolare; per renderlo bipolare è sufficiente eliminare il valor medio per esempio con un filtro passa alto o con un comparatore ad amp. op.

In FIGURA 2 si mostra il risultato dell'analisi Transient in cui si mettono a confronto il segnale trasmesso (TX), codificato in Manchester, il segnale ricevuto in ingresso al data slicer (RX), il segnale rigenerato fornito in uscita dal data slicer (Out); è mostrato anche il valor medio (vm) estratto dal segnale ricevuto che costituisce la soglia di decisione per discriminare fra livello basso e livello alto.

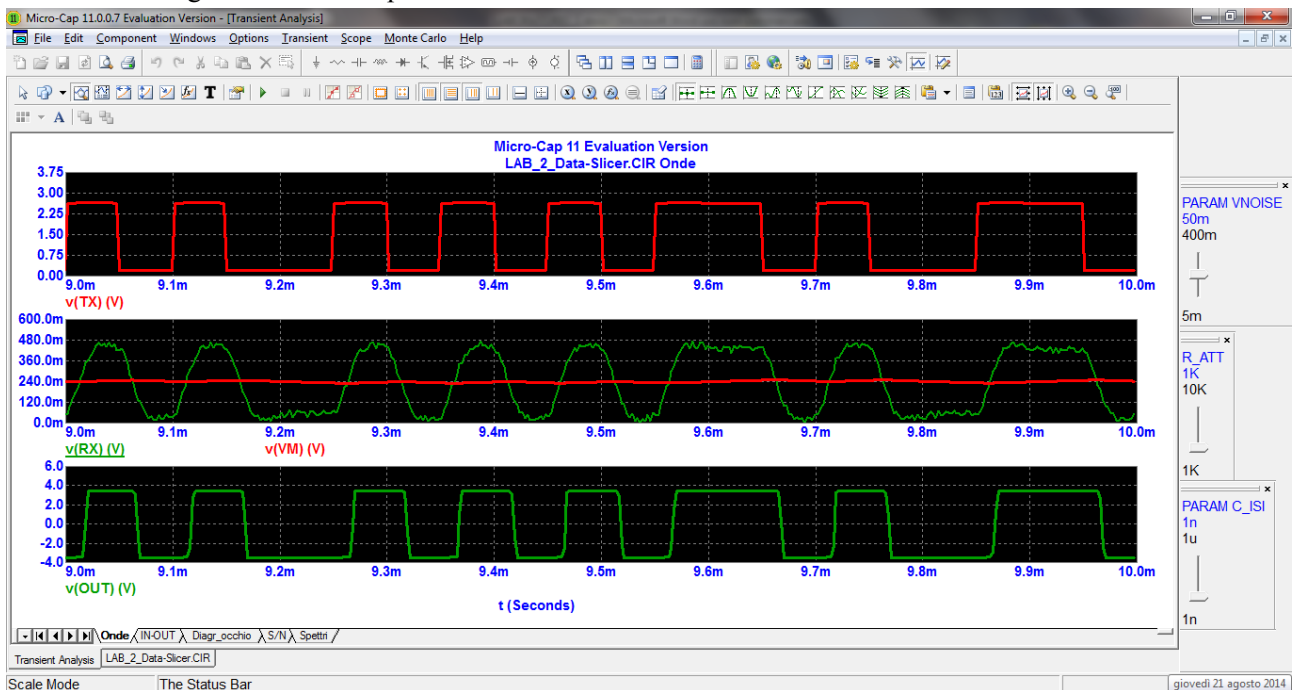


FIGURA 2 Analisi del funzionamento di un data slicer: segnale trasmesso, segnale ricevuto (affetto da attenuazione, rumore e distorsioni) e soglia di decisione (vm) estratta dal filtro RC, segnale rigenerato (ripulito).

2 Studio del comportamento del filtro passa basso

Il filtro passa basso deve estrarre la componente continua, o valor medio, dal segnale ricevuto, eliminando tutte le armoniche.

Possiamo realizzare il filtro con un circuito RC, scegliendo per esempio una resistenza di valore $R_s = 10 \text{ k}\Omega$ e una capacità di valore $C_s = 100 \text{ nF}$. La frequenza di taglio del filtro si calcola con la formula

$$f_T = \frac{1}{2\pi \cdot R_s \cdot C_s} \text{ Hz, che con i valori scelti è pari a } f_T = \frac{1}{2\pi \cdot 10^4 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} \approx 159 \text{ Hz}$$

Essendo la frequenza di taglio molto inferiore rispetto alla frequenza fondamentale del segnale ricevuto, in uscita dal filtro si avrà solamente la componente continua.

Per verificare ciò applichiamo un segnale a treno di impulsi avente periodo pari a $T = 100 \mu\text{s}$ e duty cycle 20%, con durata degli impulsi pari a $20 \mu\text{s}$. Facciamo tracciare lo spettro del segnale di ingresso e del segnale di uscita per verificare che avvenga il taglio di tutte le componenti spettrali, tranne il valor medio. Matematicamente, indicando con τ la durata di un impulso e con T il periodo, il valor medio si calcola come:

$$v.m. = \frac{A \cdot \tau}{T} = \frac{5 \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{100 \cdot 10^{-6}} = 1.$$

Si può poi verificare come diminuendo il valore di C_s , portandolo per esempio a $C_s = 22 \text{ nF}$, nello spettro del segnale di uscita si ha un residuo della frequenza fondamentale, che determina un'ondulazione, o "ripple", attorno al valor medio.

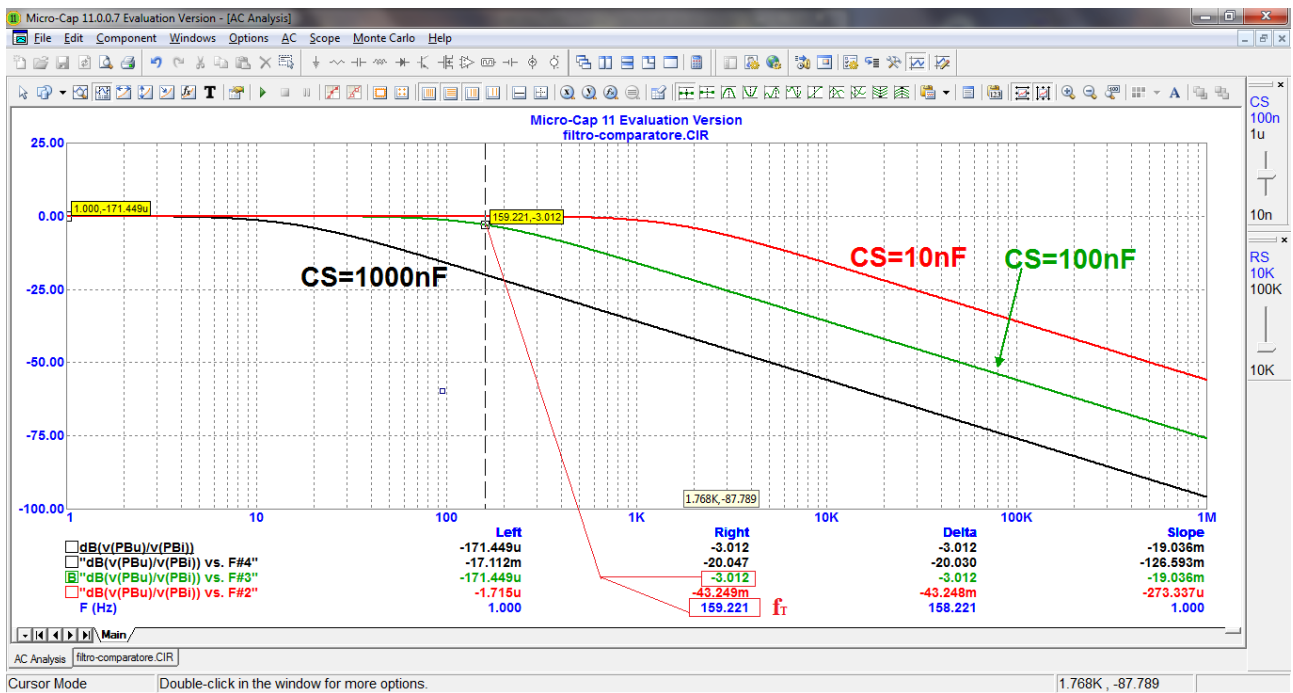
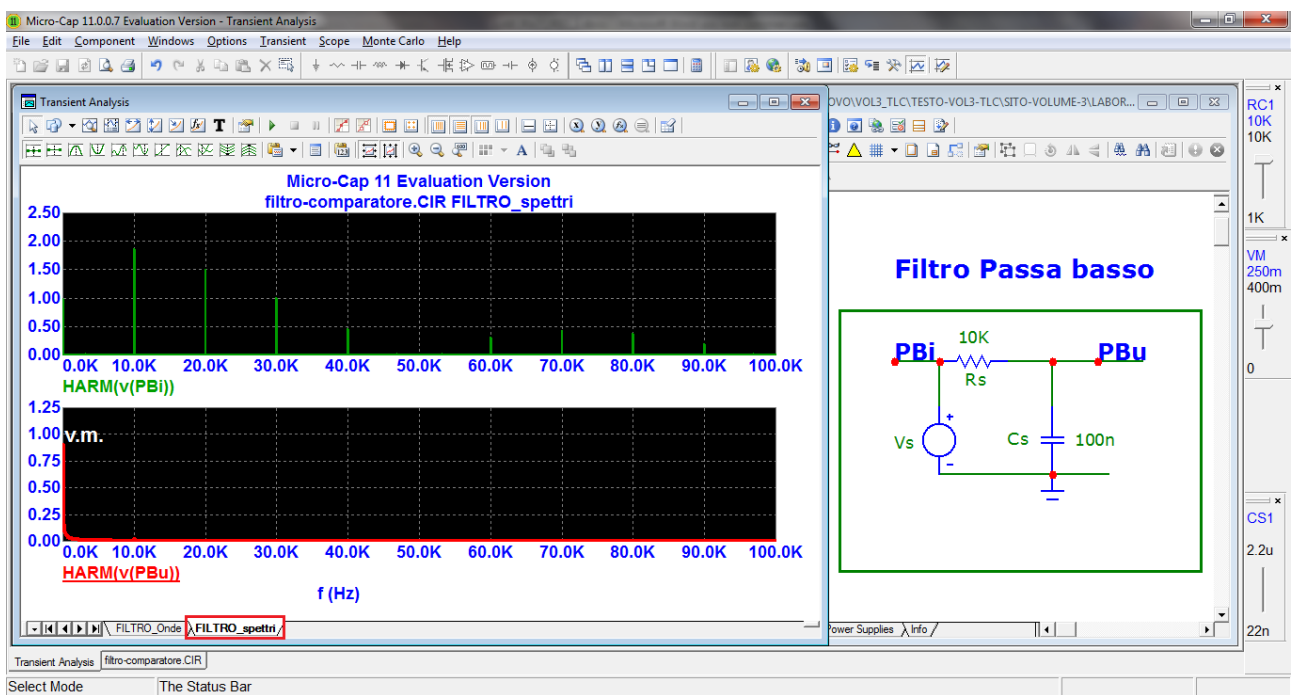


FIGURA 3 Risposta in frequenza per diversi valori di Cs



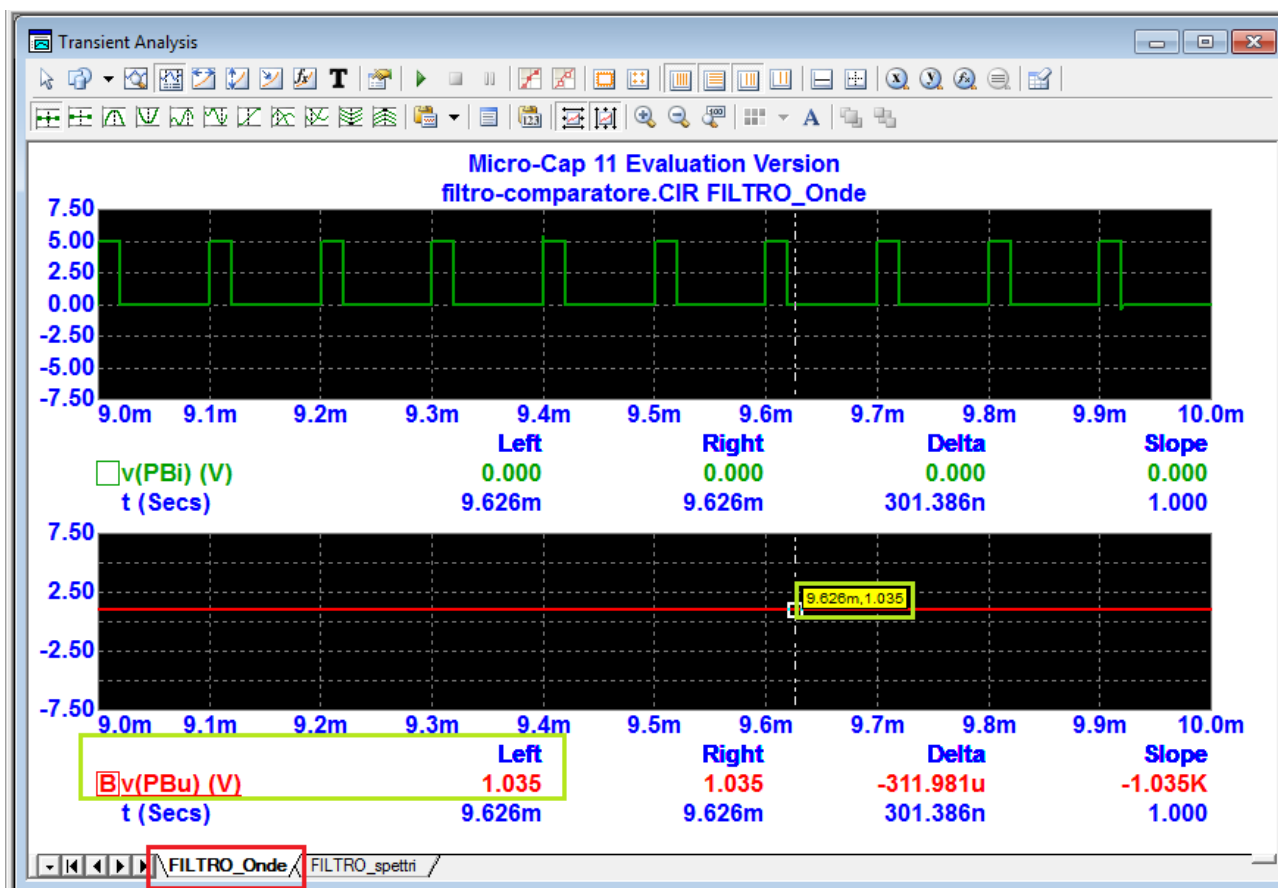


FIGURA 4 Spettri del segnale di ingresso e di uscita con $C_s=100$ nF; segnale di ingresso e di uscita: il valor medio è pari a v.m.=1V.

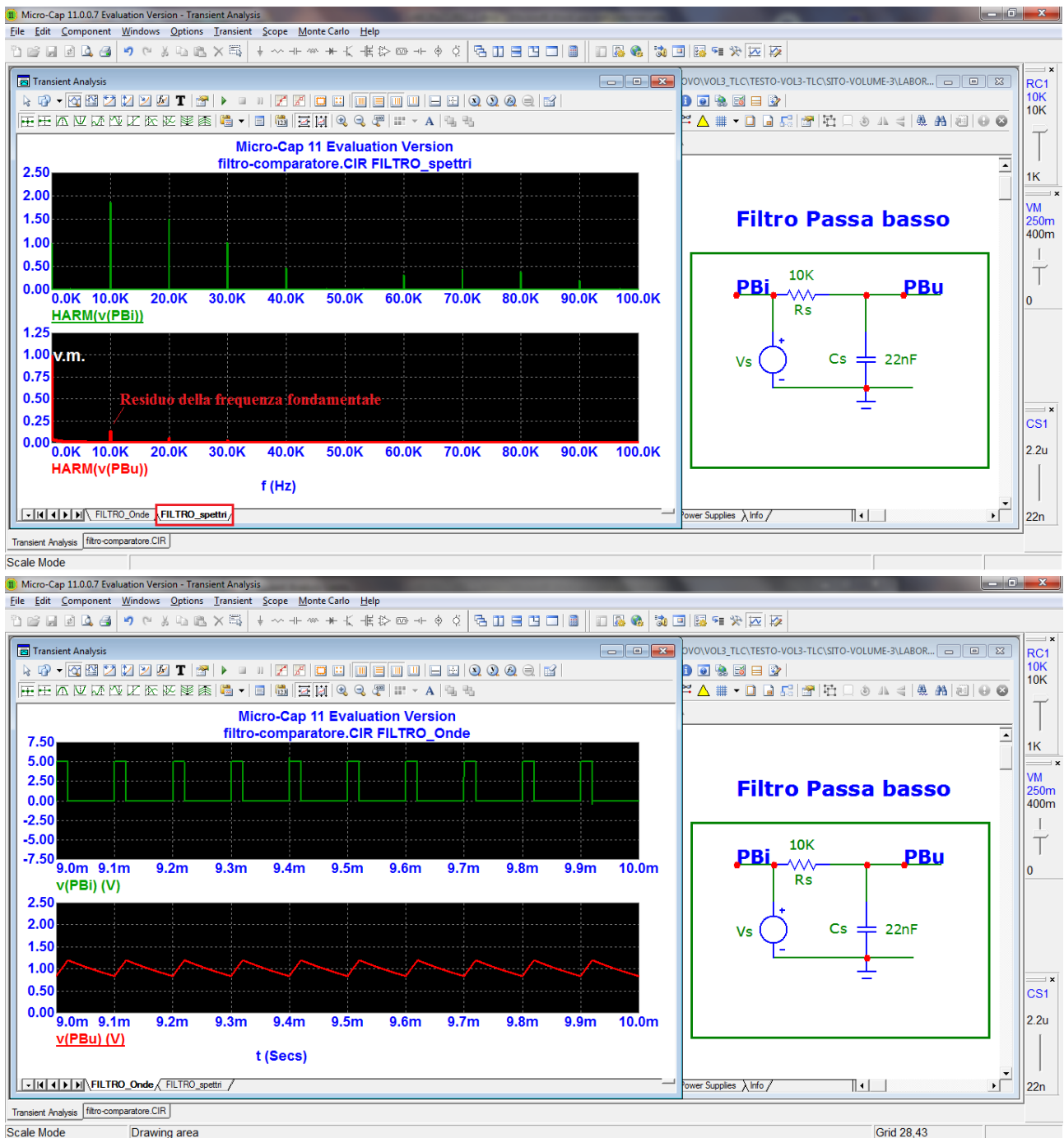


FIGURA 5 Spettri e segnali di ingresso e di uscita con $C_s=22$ nF.

3 Studio del comportamento del comparatore

Con riferimento al circuito di FIGURA XX, teoricamente per un comparatore con isteresi non invertente con $R_{c1} = 1 \text{ k}\Omega$; $R_{c2} = 100 \text{ k}\Omega$, $V_{sat}=4 \text{ V}$ e $v_m=250 \text{ mV}$ si ha:

$$\text{tensione di soglia inferiore } V_{sL} = -\frac{R_{c1}}{R_{c2}} \cdot V_{sat} + \left(1 + \frac{R_{c1}}{R_{c2}}\right) \cdot v_m \approx 210 \text{ mV}$$

$$\text{tensione di soglia superiore } V_{sH} = \frac{R_{c1}}{R_{c2}} \cdot V_{sat} + \left(1 + \frac{R_{c1}}{R_{c2}}\right) \cdot v_m \approx 290 \text{ mV}$$

$$\text{la larghezza dell'isteresi } V_{ist} = V_{sH} - V_{sL} = \frac{R_{c1}}{R_{c2}} \cdot 2 \cdot V_{sat} \approx 80 \text{ mV}$$

$$\text{punto centrale dell'isteresi: } V_o = \left(1 + \frac{R_{c1}}{R_{c2}}\right) \cdot v_m \approx 250 \text{ mV}$$

In FIGURA 6 è mostrato il comparatore con isteresi non invertente, con tracciata la caratteristica ingresso uscita ponendo all'ingresso VRX un segnale a onda triangolare e alimentando, per semplicità, l'amplificatore operazionale a $\pm 5 \text{ V}$, per cui la tensione di saturazione (V_{sat}) a cui si porta l'uscita è di circa 4 V .

In ingresso poniamo un segnale a onda triangolare che varia da 0 a 500 mV e con periodo pari a 1 ms , generato dal componente Voltage Source, configurato come mostrato in FIGURA 7.

In FIGURA 8 si mostrano le impostazioni per i Limits dell'analisi Transient e la caratteristica ingresso-uscita.

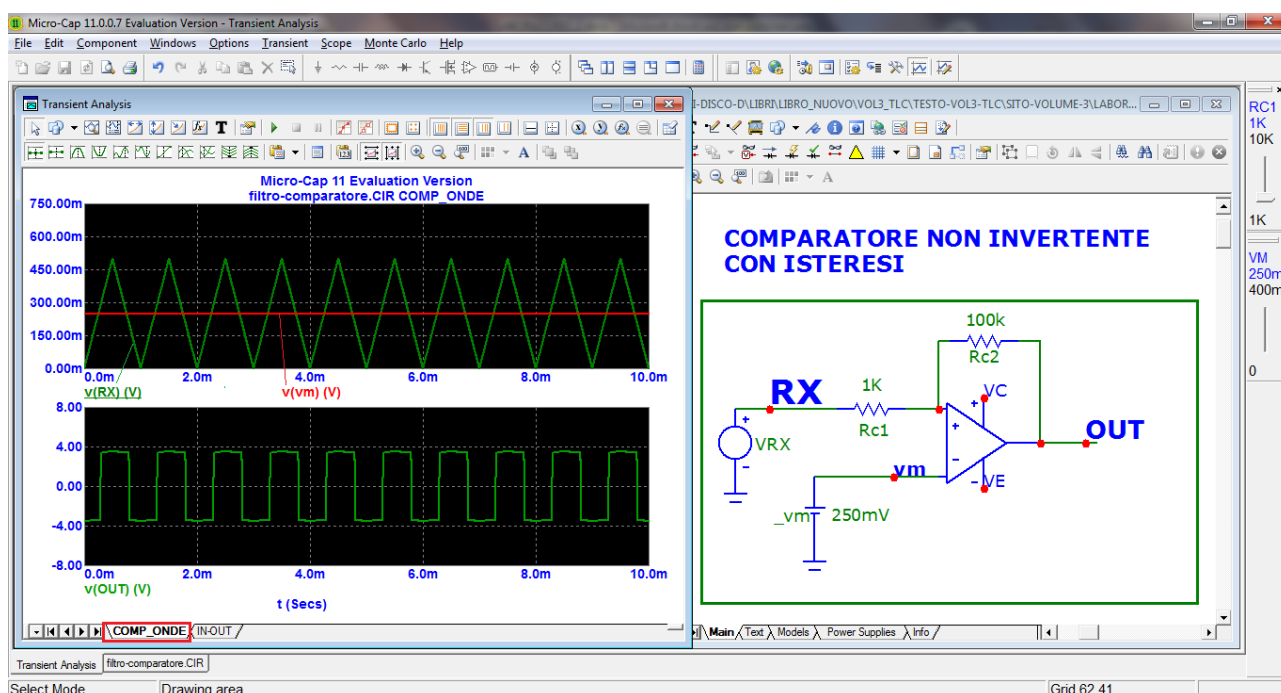


FIGURA 6 Segnale di ingresso e di uscita al comparatore con isteresi con $R_{c1}=1 \text{ k}$; $R_{c2}=100\text{k}$; $v_m=250 \text{ mV}$; il segnale di ingresso varia fra 0 e 500 mV .

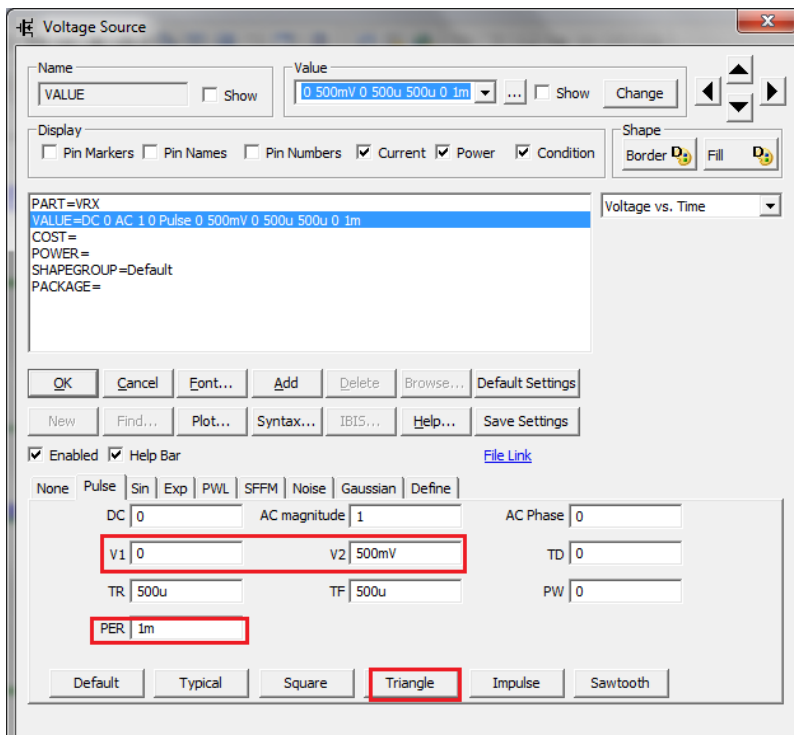


FIGURA 7 Generatore di onde triangolari

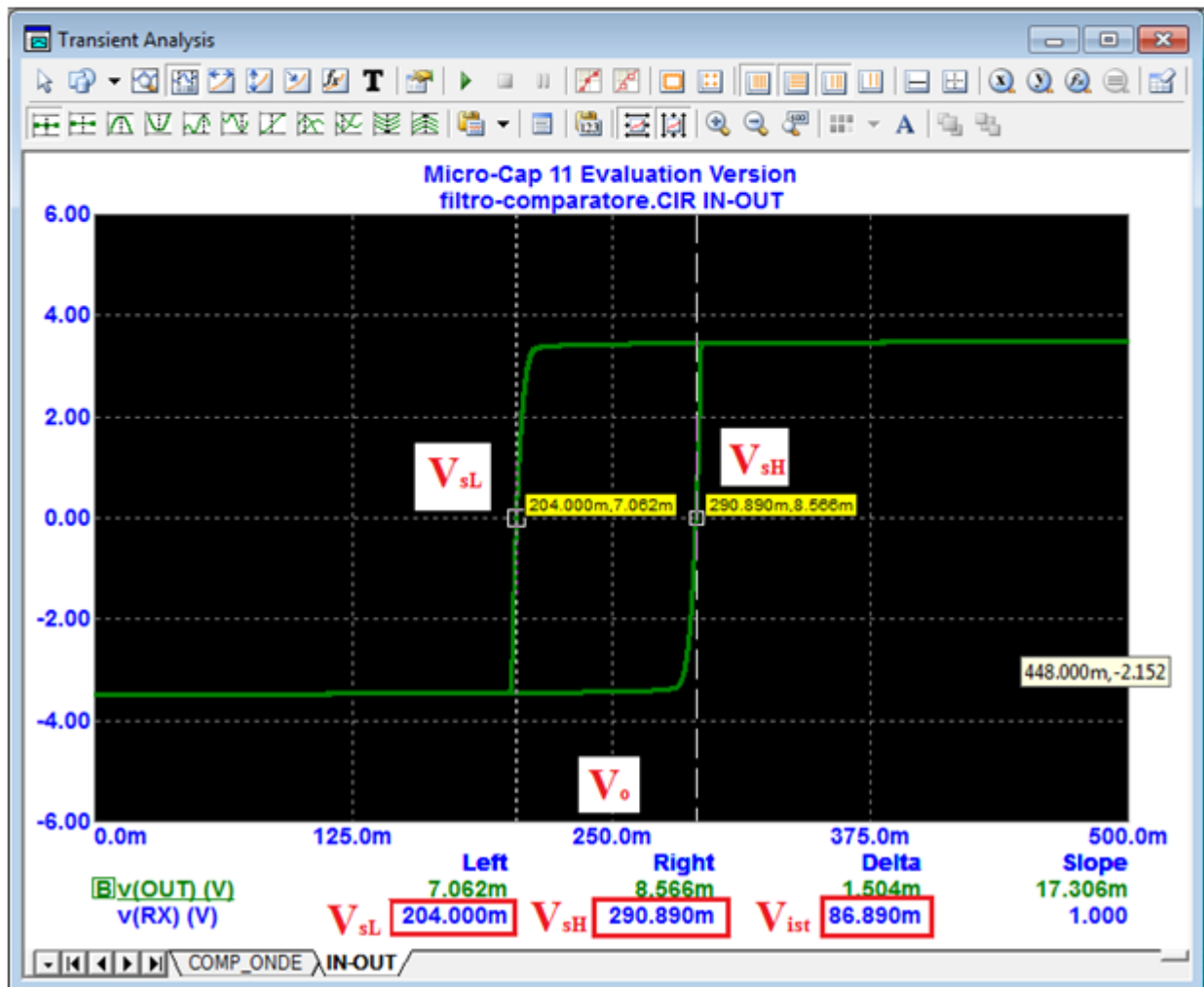
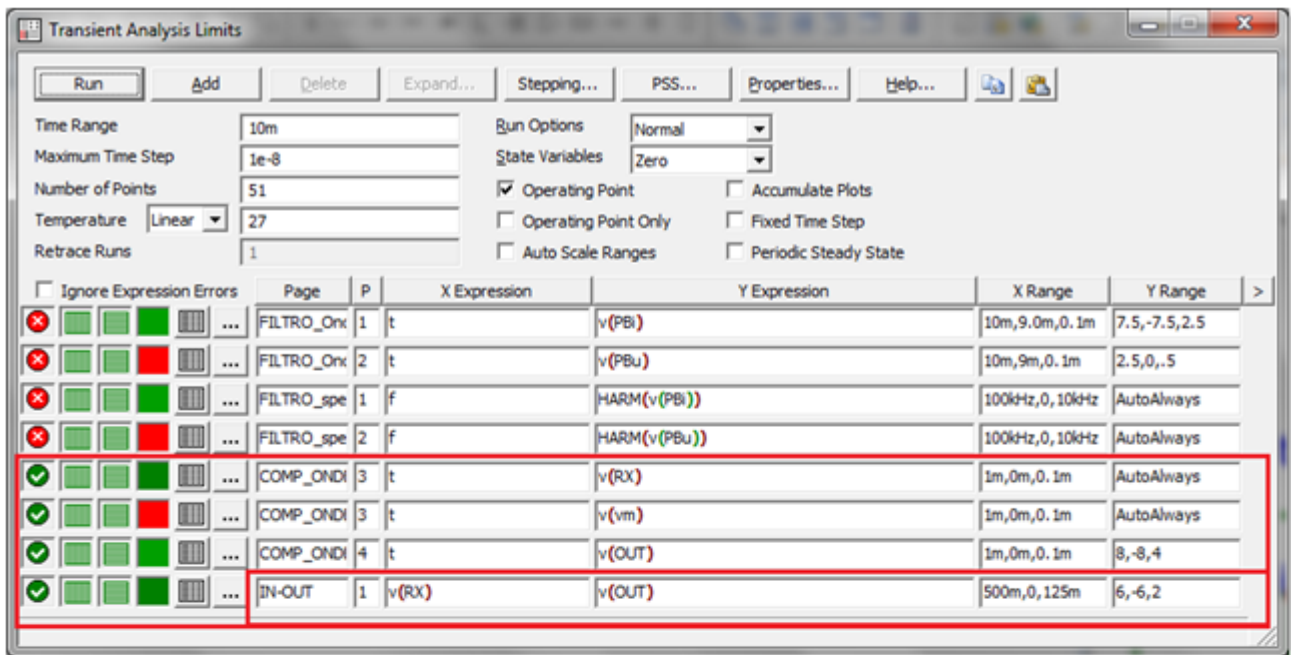


FIGURA 8 Limits per l'analisi Transient e caratteristica ingresso-uscita.

E' poi possibile verificare come la larghezza dell'isteresi dipenda dal rapporto fra R_{c1} e R_{c2} , salvando nel Waveform Buffer una analisi e ripetendola con valori diversi per esempio di R_{c1} .

La FIGURA 9 mostra l'andamento della caratteristica ingresso-uscita:

- in rosso quando $R_{c1}=1\text{ k}$; $R_{c2}=100\text{ k}$; $v_m=250\text{ mV}$; Segnale di ingresso varia fra -5 e 5 V ;
- in verde quando $R_{c1}=10\text{ k}$; $R_{c2}=100\text{ k}$; $v_m=250\text{ mV}$; Segnale di ingresso varia fra -5 e 5 V .

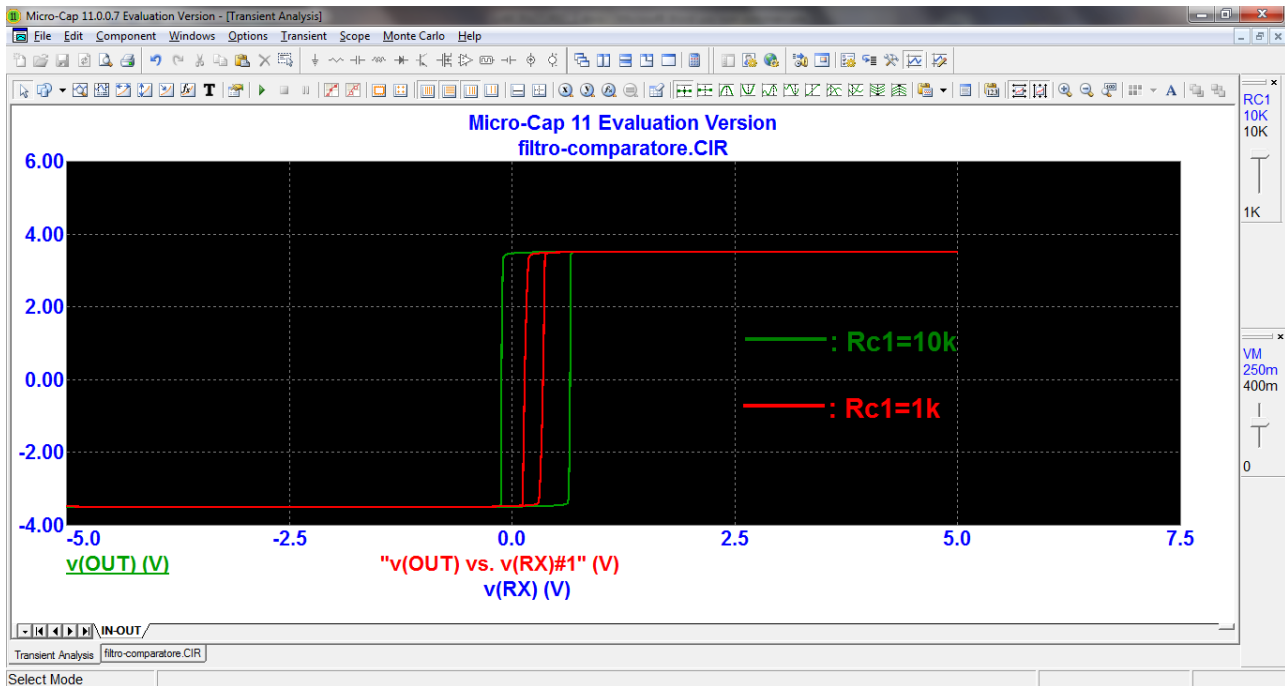


FIGURA 9 Caratteristica ingresso-uscita al variare di R_{c1} .