

LABORATORIO DIDATTICO 1

Diagramma a occhio

In questo Laboratorio didattico si propone la simulazione della generazione di sequenze pseudocasuali in banda base (si riveda anche il CAPITOLO 3 PARAGRAFO 2.3) emesse con codifica NRZ da una sorgente digitale e convertite nei codici RZ, Manchester e PAM-4 (o 2B-1Q) per semplicità di tipo unipolare¹, inviate su un canale di tipo passa basso (come una linea dedicata).

Come software di simulazione si è utilizzato MicroCap.

La **sorgente di segnale** emette dati pseudocasuali a 10 kbit/s con codifica NRZ unipolare, ottenuta con il componente *Digital Primitives -> Stimulus Generators -> Stim1*, configurato per fornire una sequenza NRZ pseudocasuale in cui ogni bit ha durata 0.1 ms ed è generato casualmente (valore del bit: ?), FIGURA 1.

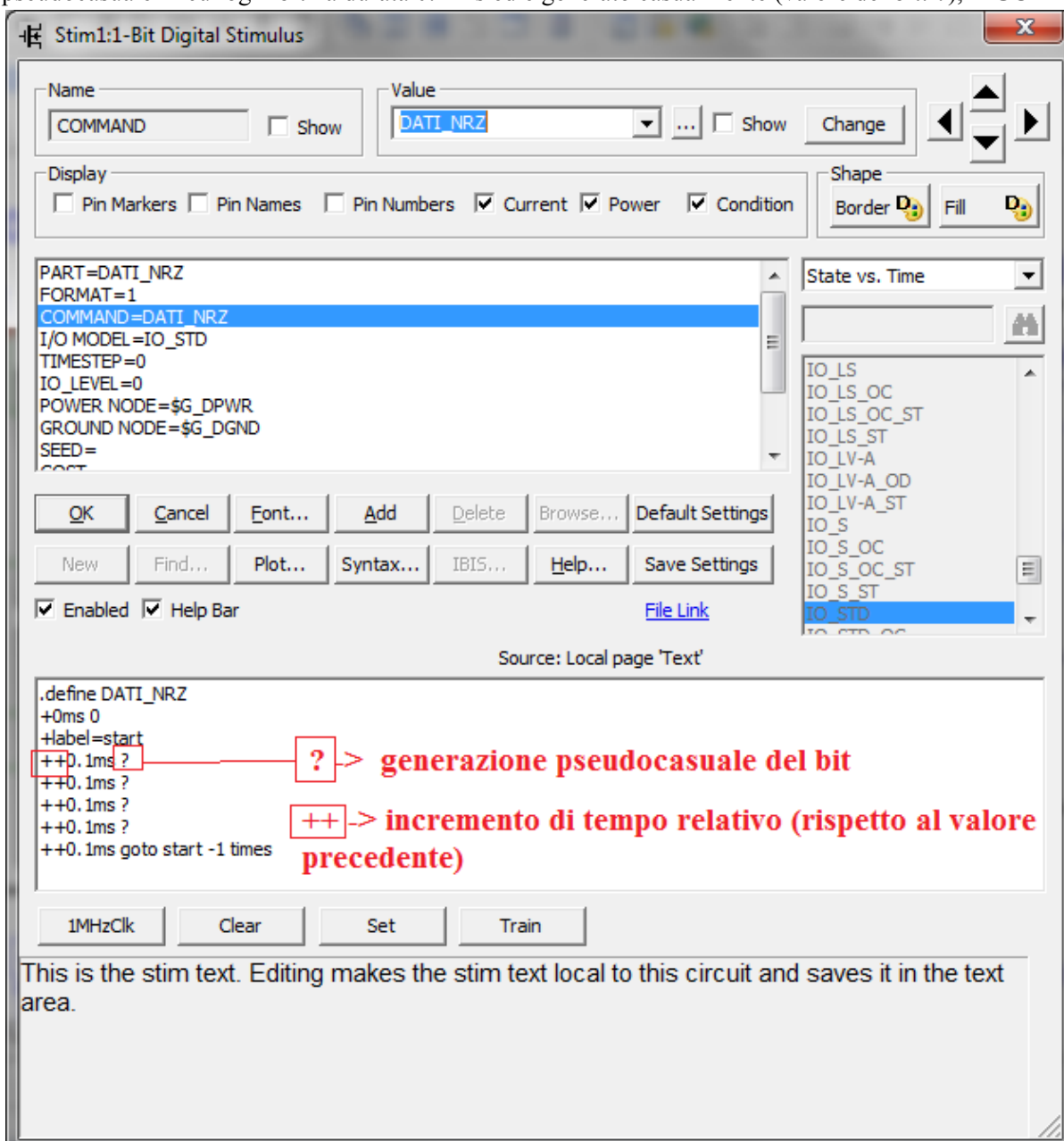


FIGURA 1 Generazione di una sequenza pseudocasuale

¹ Se si desidera rendere bipolare il segnale generato è possibile eliminare il valor medio con un filtro passa alto. Online è disponibile il circuito con un codificatore Manchester bipolare.

Il **clock di trasmissione** è un segnale a onda quadra con periodo pari a 0.1 ms (frequenza fondamentale 10 kHz), ottenuto con il componente *Digital Primitives* -> *Stimulus Generators* -> *Dclock* (FIGURA 2)

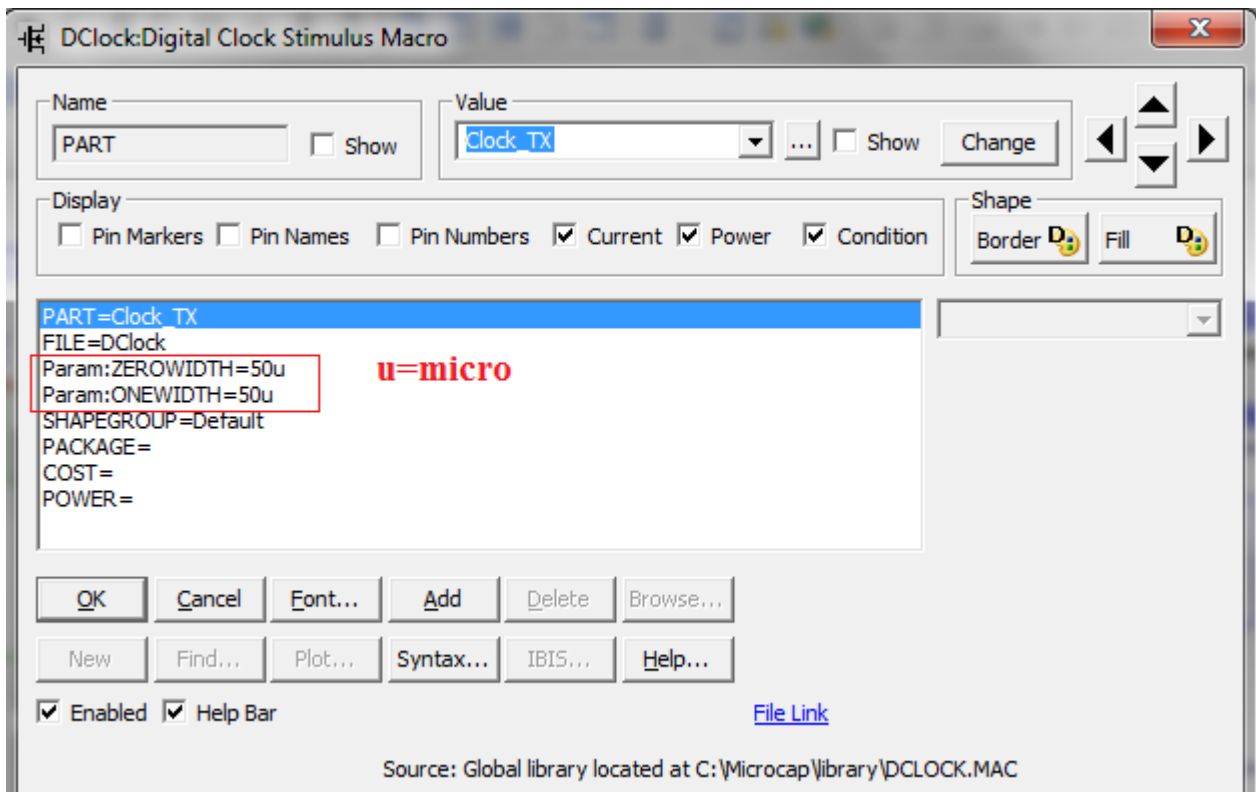


FIGURA 2 Componente DCLOCK, per la generazione del clock di trasmissione.

I **codificatori** sono così simulati (FIGURA 3):

- il *codificatore RZ* è costituito da una porta AND a cui si inviano i dati con codifica NRZ e il clock di trasmissione;
- il *codificatore Manchester* è costituito da una porta EX-OR a cui si inviano i dati con codifica NRZ e il clock di trasmissione;
- il *codificatore PAM-4* è ottenuto sommando due segnali digitali con codifica NRZ, dei quali uno (denominato MSB) ha ampiezza doppia dell'altro (denominato LSB).

Per poter cambiare in modo semplice il tipo di codifica durante l'analisi inseriamo degli *switch animati* (*Animation* -> *Animated SPDT Switch*). Cliccando sugli switch si cambia il punto di prelievo del segnale da trasmettere.

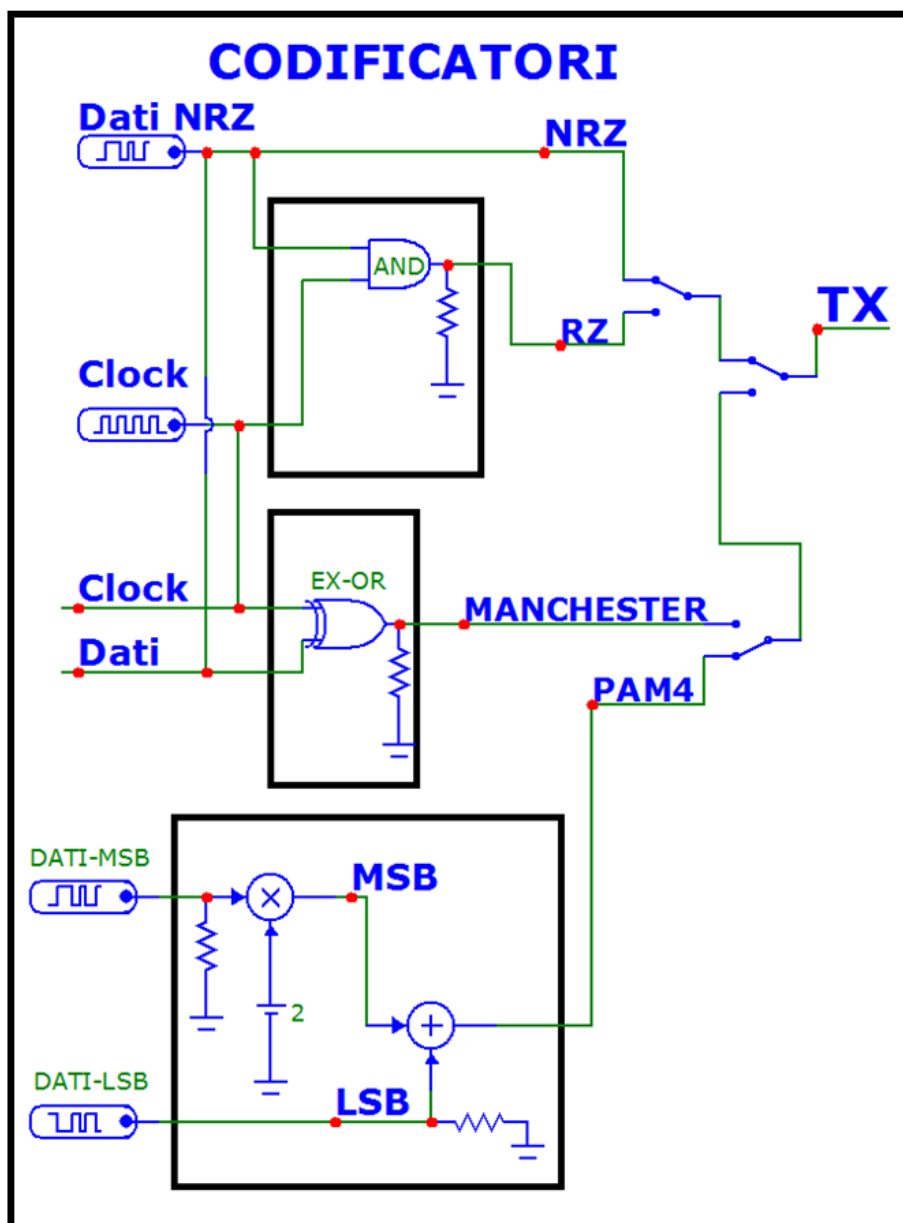


FIGURA 3 Codificatori RZ, Manchester, PAM4

A scopo didattico simuliamo in modo semplice gli effetti che il canale di comunicazione può avere sul segnale in transito, effetti sintetizzabili come (FIGURA 4):

- *attenuazione*, è simulata con un attenuatore a pigreco (con per esempio² $R2 = 680 \Omega$; $R1 = R_{att} = 3.3 k\Omega$);
- *distorsioni lineari*, sono simulate con un filtro passa basso;
- *rumore*, è simulato con il generatore di rumore fornito da *Analog Primitives* -> *Waveform Sources* -> *Noise*, in cui si imposta il tempo di ripetizione del rumore pseudocasuale (per esempio $TS=1\mu s$; $u=$ micro) e la sua ampiezza massima (VS).

Come elemento puramente grafico inseriamo un rettangolo che rappresenta una situazione reale in cui il diagramma a occhio viene ottenuto mandando il segnale ricevuto sul canale 1 dell'oscilloscopio (CH1) e

² I valori sono stati scelti per simulare un canale che presenti un'impedenza di ingresso di 600Ω .

inviando sul trigger esterno il clock di ricezione, agganciato a quello di trasmissione (per esempio estratto dai dati con un PLL o fornito dal generatore impiegato in trasmissione se si è in laboratorio).
 Il punto di analisi corrispondente allo schermo dell'oscilloscopio è stato denominato EYE (occhio).
 Indichiamo quindi con TX e RX i punti in cui si analizzano il segnale trasmesso e quello ricevuto (uscita del canale).

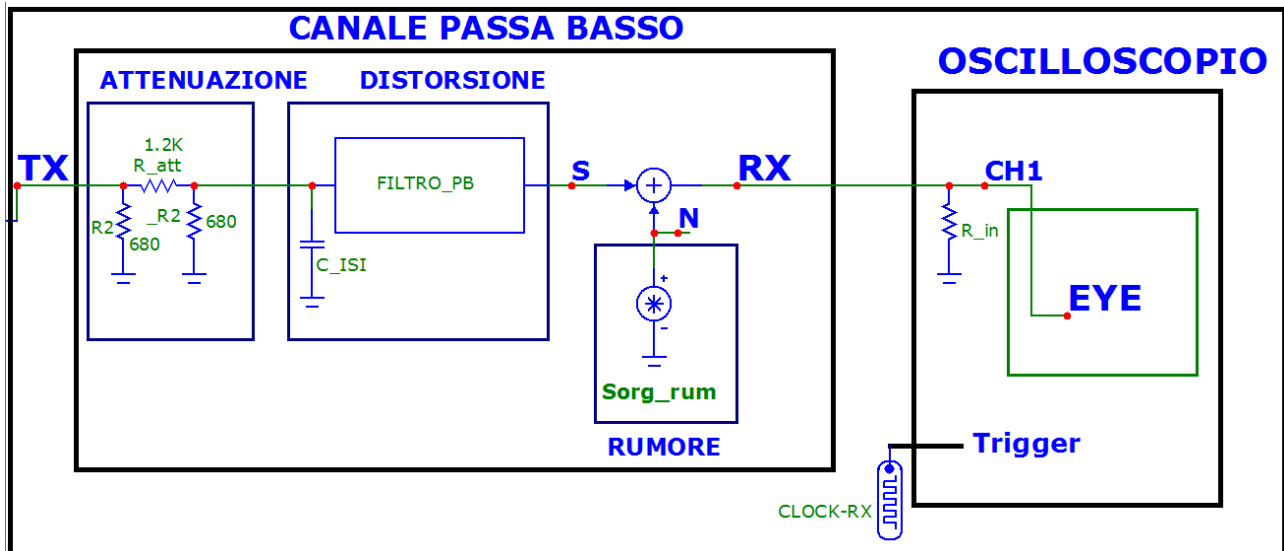


FIGURA 4 Simulazione del canale passa basso.

Per poter inserire degli *Slider* (cursori) che fanno variare parametri quali **Vnoise** (tensione massima di rumore) livello, **ftaglio** (frequenza di taglio del filtro), nel corso dell'analisi *Transient* inseriamo le definizioni dei corrispondenti parametri con la seguente espressione:

.DEFINE parametro valore (o espressione matematica che ne determina il valore)

In particolare il valore della tensione massima di rumore (per esempio 50mV) viene definita come

.DEFINE Vnoise 50mV

Il filtro passa basso è stato simulato nel seguente modo:

- si fissa un valore della frequenza di taglio (per esempio $f_{\text{taglio}} = 30 \text{ kHz}$) inserendo il parametro **ftaglio** con l'espressione
.DEFINE ftaglio 30kHz
- si fissa il valore della resistenza del filtro (per esempio $R_b = 470$) con l'espressione
.DEFINE Rb 470
- si definisce il valore della capacità Cb con l'espressione
.DEFINE Cb 1/(2*pi*Rb*ftaglio)
- quando si inseriscono la resistenza e la capacità del filtro si assegnano loro come loro valori i parametri *Rb* e *Cb* appena definiti.

E' anche possibile far calcolare il rapporto $S/N = SNR = (P_{\text{segnale}}/P_{\text{rumore}})_{\text{dB}}$ con l'espressione

.DEFINE SNR 10*log(((rms(V(S))^2)/(rms(V(N))^2)))

In FIGURA 5 si riporta lo schema completo del circuito che si intende simulare.

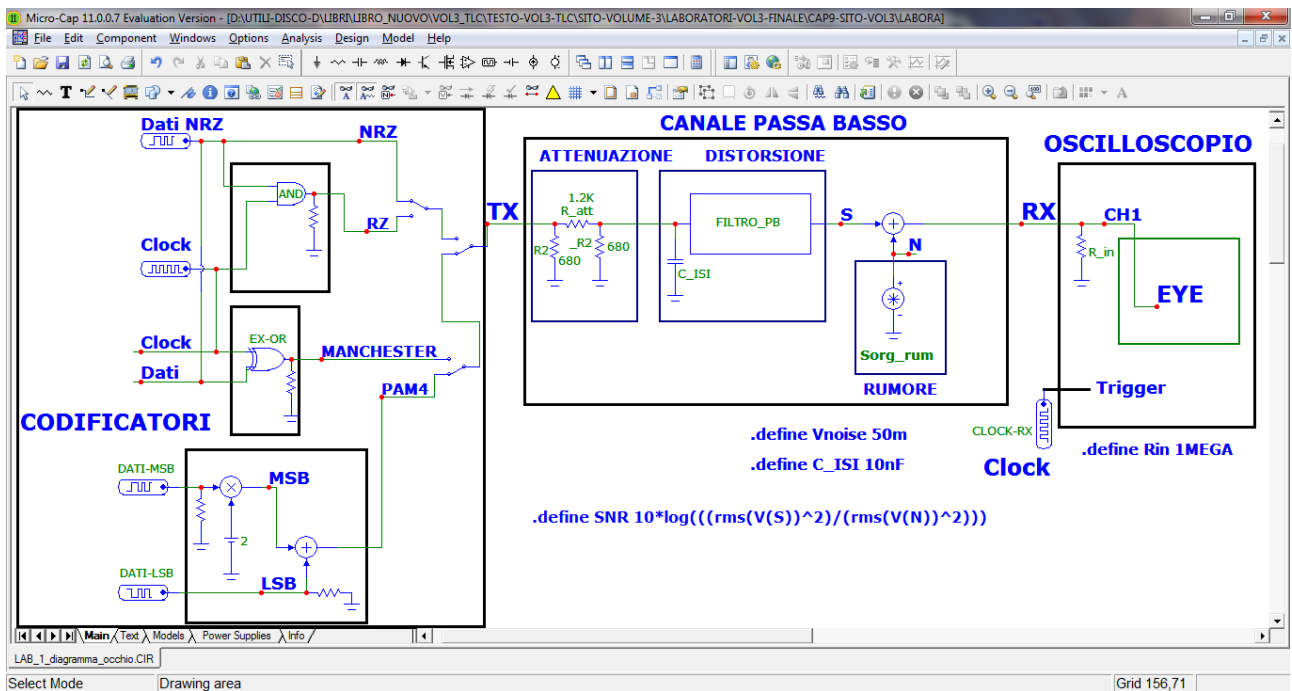


FIGURA 5 Circuito per la simulazione del diagramma a occhio

Lanciamo l'analisi Transient (**Analysis -> Transient**) e ne impostiamo i **Limits** configurando un tempo di analisi (*Time range*) di almeno 5 ms (FIGURA 6). Tra l'altro, facciamo quindi visualizzare:

- il **segnale trasmesso**, $V(TX)$, in ingresso al canale; visualizziamo per esempio 20 periodi (2 ms) come range per l'asse X e mettiamo in *Autoalways* il range per l'asse Y, in modo da far calcolare in automatico i limiti ad ogni misura;
- il **segnale ricevuto** uscente dal canale, $V(RX)$, ha le stesse impostazioni del segnale $V(TX)$;
- il **diagramma a occhio**, $V(EYE)$; viene ottenuto impostando sull'asse X la sovrapposizione del segnale ricevuto su (per esempio) 3 tempi di bit, con la seguente impostazione per l'espressione sull'asse X **t mod 0.3ms**; come X Range impostiamo **0.3 ms** e *Autoalways* come Y Range (FIGURA 7).

Se lo si desidera è possibile visualizzare su pagine diverse le diverse analisi fatte, assegnando a ogni pagina un nome (o un numero) nella colonna **Page**.

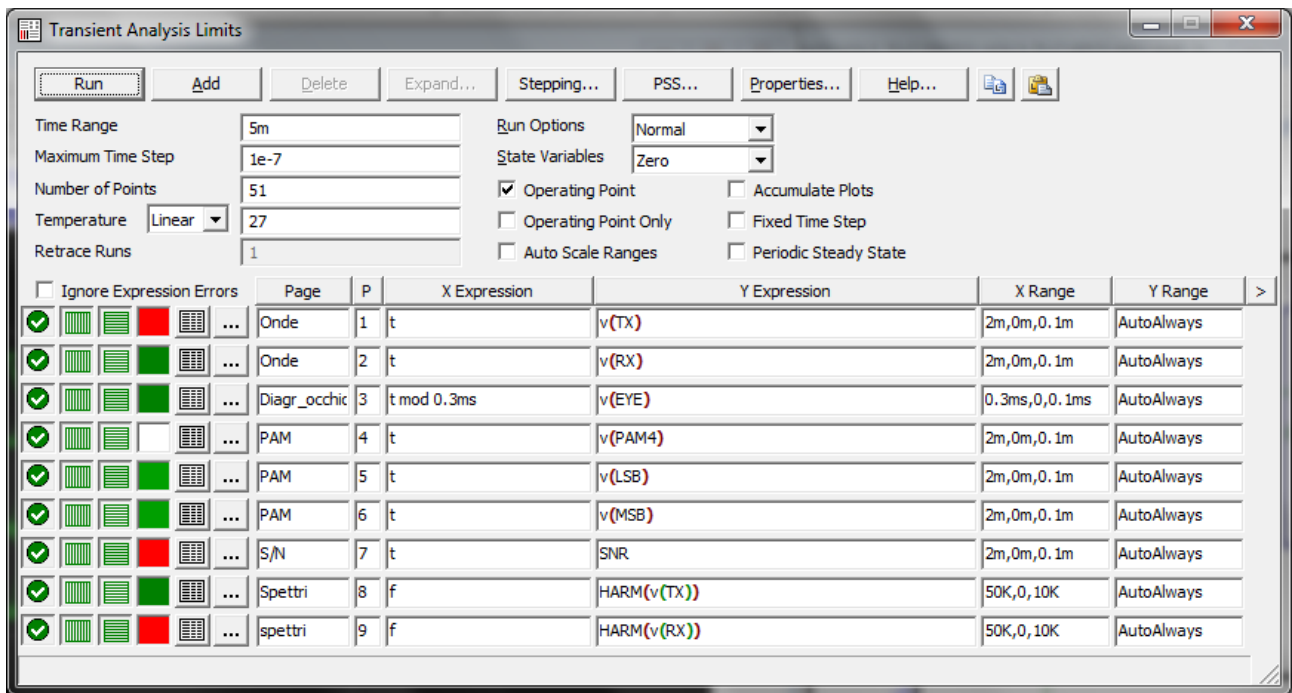


FIGURA 6 Limits per l'analisi Transient

Facciamo partire l'analisi (**Run**) visualizzando le forme d'onda e il diagramma a occhio con diversi valori dei parametri impostabili con gli Slider. Si ricorda che:

- un diagramma a occhio aperto sta a indicare una buona qualità del segnale ricevuto (SNR elevato, ISI e distorsioni piccole) e quindi una bassa probabilità d'errore;
- un diagramma a occhio chiuso sta a indicare una bassa qualità del segnale ricevuto e quindi una elevata probabilità d'errore.

Cliccando sugli *switch* si seleziona il codice desiderato, tramite gli *Slider* si definiscono i valori della tensione di rumore, dell'attenuazione e della frequenza di taglio.

Clicchiamo su **Transient** e su **Slider** (cursore) per inserire un cursore (**Add Slider**) che consenta di variare il valore massimo della tensione di rumore data dal parametro *Vnoise*. Per esempio impostiamo lo *Slider* con **List: 5mV, 50mV, 100mV, 500mV; Symbolic, Parameter Vnoise**.

Inseriamo poi altri due *Slider* per far variare:

- la *frequenza di taglio (ftaglio)* del filtro, cliccando su *Transient, Slider, Add Slider, List, Symbolic*; inseriamo (per esempio) i valori *10k, 30k, 100k*.
- l'*attenuazione*, variando il valore di una resistenza dell'attenuatore (**R_att**) tra una lista di valori desiderati, cliccando su *Transient, Slider, Add Slider, List, Component*; inseriamo (per esempio) i valori *1.2k, 3.3k, 4.7k, 10k*

Con questi tre *Slider* è possibile variare facilmente l'entità dell'attenuazione, della distorsione e del rumore nel corso dell'analisi *Transient*.

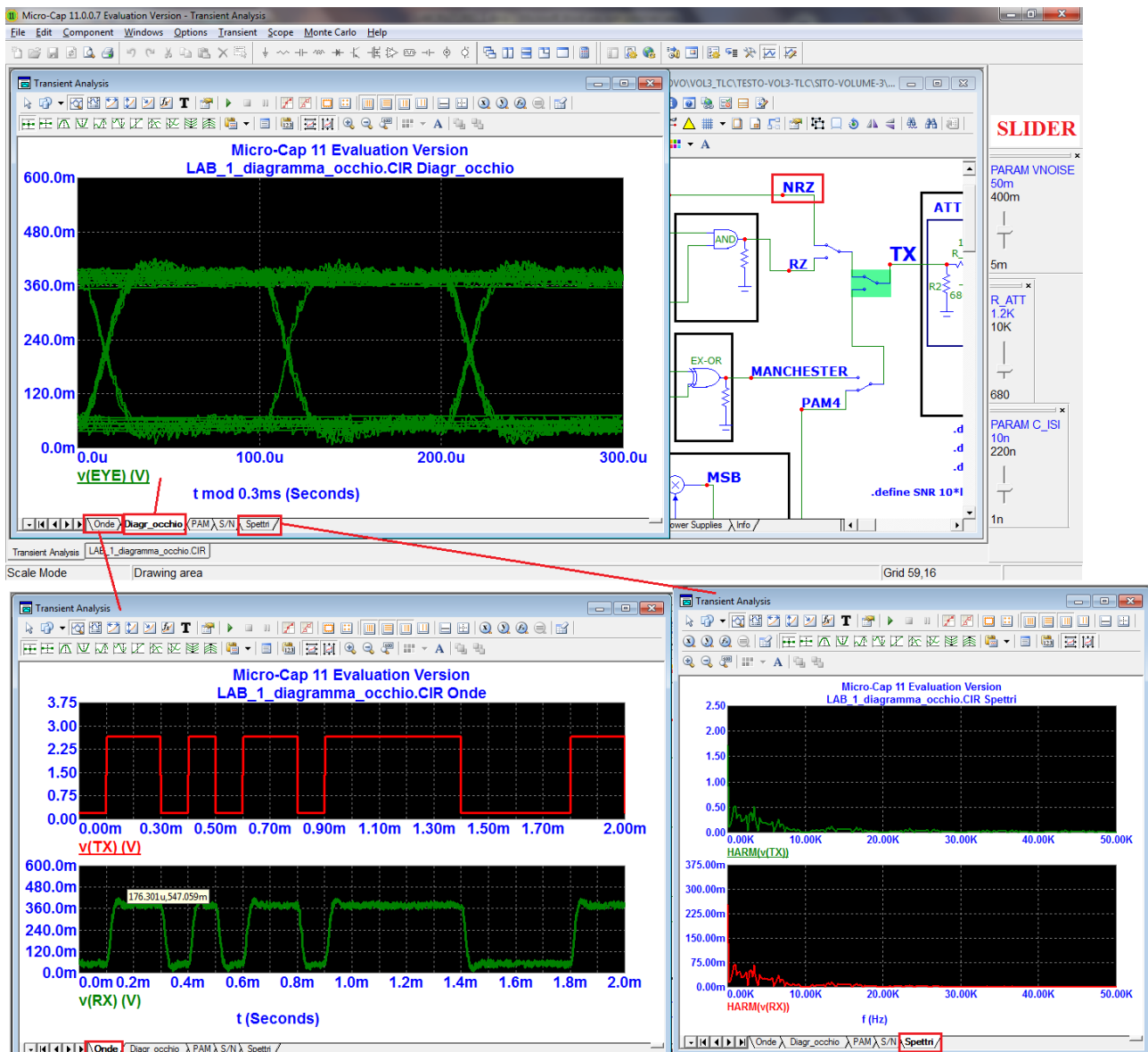


FIGURA 7 Esempio di analisi con codice NRZ: diagramma a occhio (3 tempi di simbolo), forme d'onda, spettri.

Ricordando che la distorsione causata dalla presenza di elementi capacitivi determina **Interferenza InterSimbolica** (ISI), si possono quindi visualizzare i segnali TX, RX e il diagramma a occhio simulando, per esempio, i seguenti casi:

- moderata attenuazione, poco rumore e poca distorsione; si ottiene un diagramma a occhio molto aperto che indica una buona qualità del segnale ricevuto e quindi una bassa probabilità d'errore;
- si aumenta la sola attenuazione; l'effetto del rumore diviene più rilevante; si ottiene un diagramma a occhio meno aperto che indica una minore qualità del segnale ricevuto e quindi un aumento della probabilità d'errore;
- si aumenta il rumore; si ottiene un diagramma a occhio sempre meno aperto che indica una diminuzione della qualità del segnale ricevuto e quindi un aumento della probabilità d'errore; si può far tracciare anche il valore del rapporto segnale/rumore, (SNR)_{dB}, al variare della tensione di rumore e dell'attenuazione, per analizzare il cambiamento nel diagramma a occhio per diversi valori di SNR.
- si aumenta la distorsione (riducendo la frequenza di taglio), con una moderata attenuazione e poco rumore (FIGURA 8); il segnale ricevuto è soggetto a interferenza intersimbolica (ISI) in quanto gli impulsi trasmessi vengono distorti e si allargano oltre il tempo di simbolo (bit) loro riservato, invadendo altri tempi di simbolo; all'aumentare della distorsione (taglio minore) si ottiene un diagramma a occhio

sempre meno aperto che indica una diminuzione della qualità del segnale ricevuto e quindi un aumento della probabilità d'errore;

- si traccia il diagramma a occhio per il segnale RX con codifica PAM-4; si evidenziano così i 4 livelli che può assumere il segnale codificato che danno origine a un diagramma con 3 "occhi" (FIGURA 9)

Come ulteriori elementi di analisi si possono visualizzare:

- il segnale TX con codifica PAM-4, con il suo spettro e lo spettro del segnale RX con sovrapposto il rumore;
- la generazione del segnale PAM-4 come somma di due segnali NRZ, uno dei quali ha ampiezza doppia rispetto all'altro, FIGURA 10, ecc.

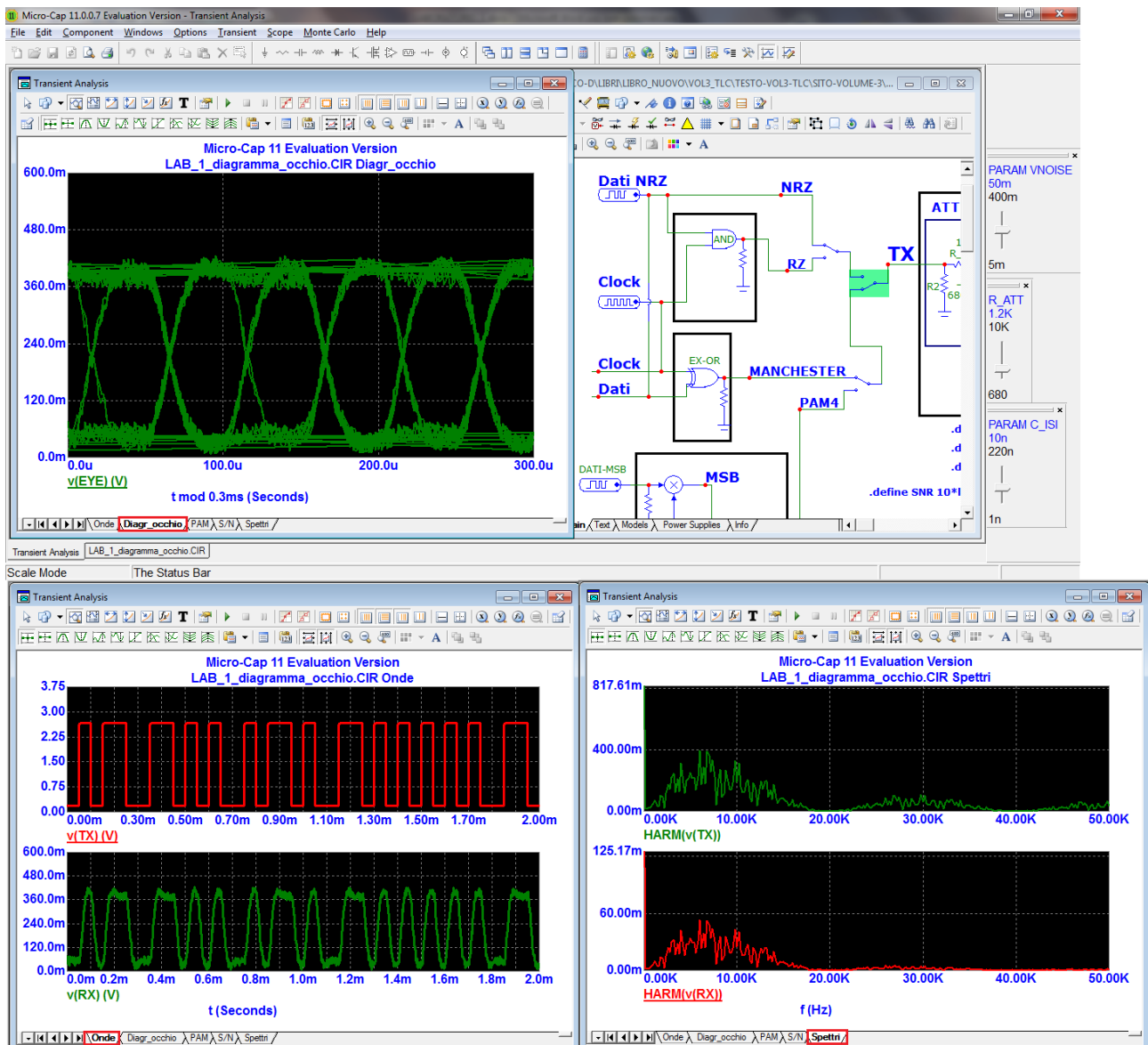


FIGURA 8 Esempio di analisi con codice NRZ: diagramma a occhio, forme d'onda, spettri.

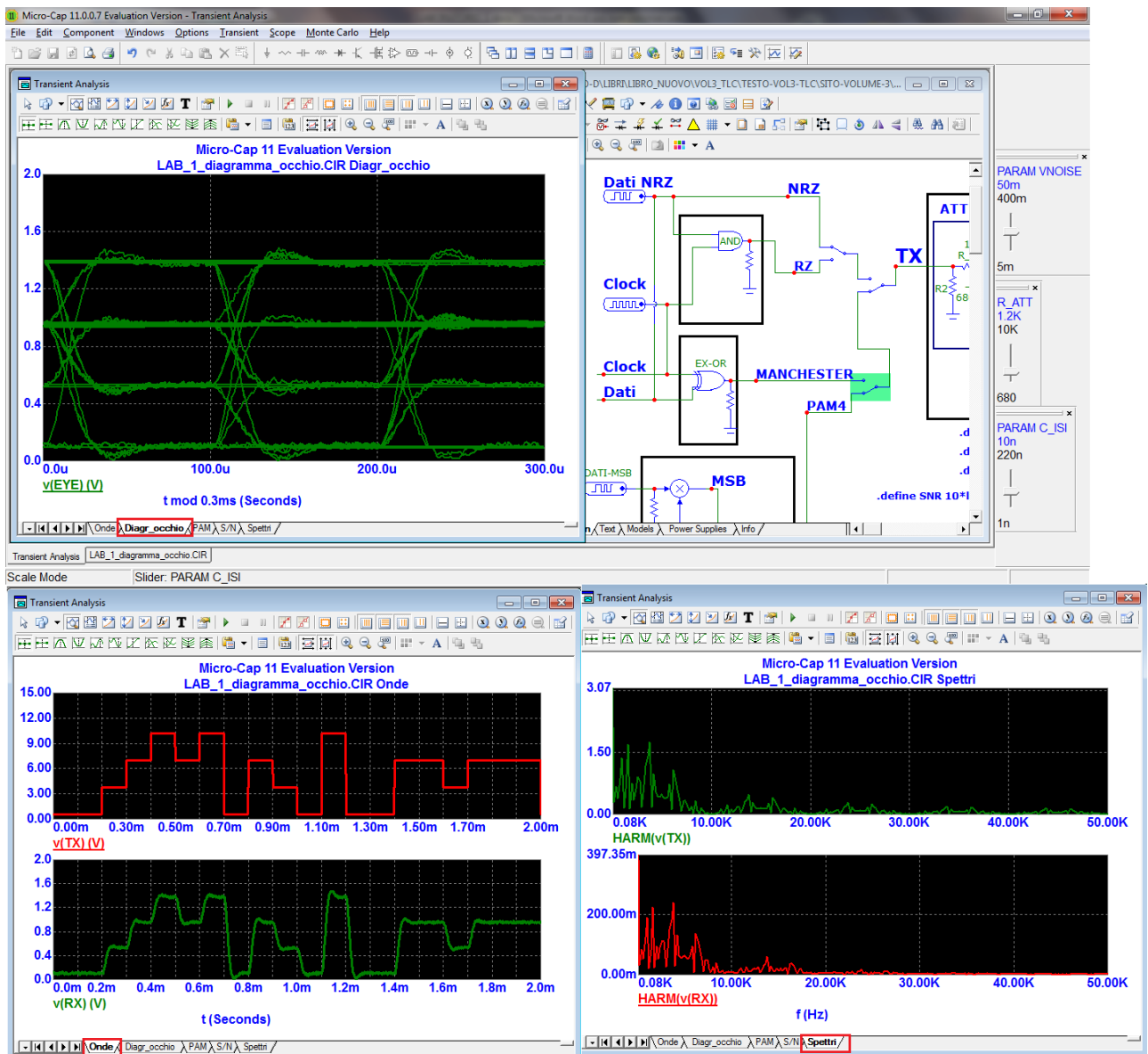


FIGURA 9 Esempio di analisi con codice PAM4: diagramma a occhio, forme d'onda, spettri.

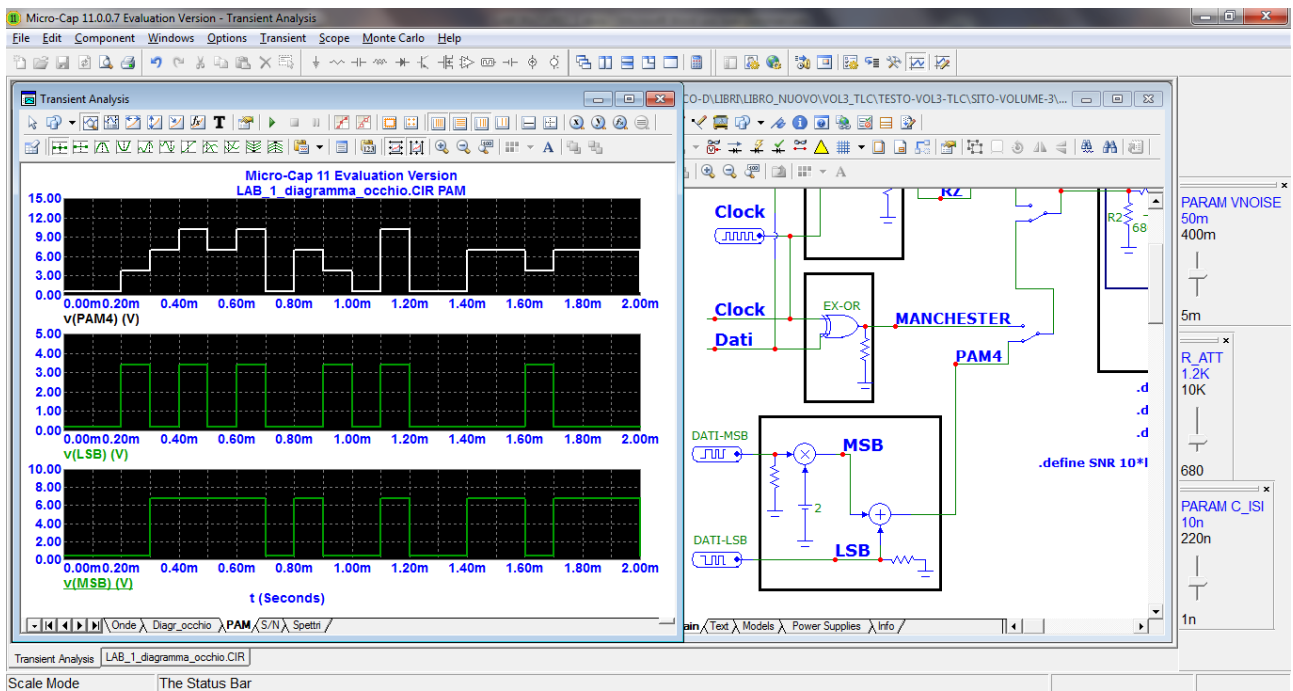


FIGURA 10 Generazione del segnale PAM4