

# Le modulazioni impulsive

a cura di Francesco Galgani ([www.galgani.it](http://www.galgani.it))

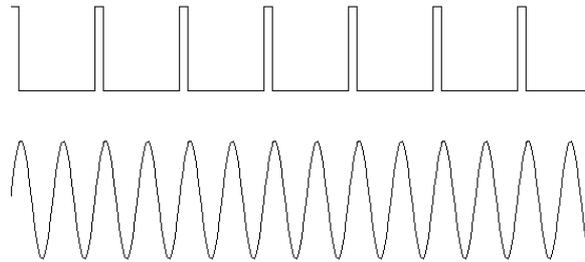
## Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>La modulazione PAM</b>	<b>3</b>
2.1	Cenni teorici . . . . .	3
2.2	Simulazione con il computer di un modulatore PAM . . . . .	4
<b>3</b>	<b>La modulazione PWM</b>	<b>5</b>
3.1	Cenni teorici . . . . .	5
3.2	Simulazione con il computer di un modulatore PWM . . . . .	6
3.2.1	Modulazione della durata degli impulsi con generatore a dente di sega e comparatore . . . . .	6
3.2.2	Modulazione della durata degli impulsi con timer 555 . . . . .	6
<b>4</b>	<b>La modulazione PPM</b>	<b>9</b>
4.1	Cenni teorici . . . . .	9
4.2	Simulazione con il computer di un modulatore PPM . . . . .	9
4.2.1	Modulazione della posizione degli impulsi partendo da un segnale PWM: primo esempio . . . . .	9
4.2.2	Modulazione della posizione degli impulsi partendo da un segnale PWM: secondo esempio . . . . .	10
4.2.3	Modulazione della posizione degli impulsi con il timer 555 . . . . .	11

# 1 Introduzione

Le modulazioni ad impulsi sono utilizzate per la trasmissione di segnali analogici, impiegando come portante un segnale ad impulsi, ovvero un segnale a forma d'onda rettangolare, costituito da una successione di impulsi di uguale ampiezza e durata ed ugualmente distanziati fra loro nel tempo.

Ad esempio, possiamo avere due segnali come quelli qui sotto riportati: quello rettangolare in alto rappresenta una possibile portante ad impulsi; l'onda sinusoidale in basso rappresenta invece l'andamento di un possibile segnale analogico da modulare.



A differenza delle tecniche classiche di modulazione analogica (AM, FM o PM), *le modulazioni ad impulsi hanno il vantaggio di permettere, grazie alla natura impulsiva della portante, la **multiplicazione a divisione di tempo** (TDM, Time Division Multiplexing):* negli intervalli tra gli impulsi successivi di un determinato canale, infatti, è possibile inserire gli impulsi relativi ad altri canali.

La modulazione impulsiva è principalmente utilizzata per telecontrolli (trasmissione di comandi) e telerilevamenti (trasmissione di misure provenienti da sensori remoti).

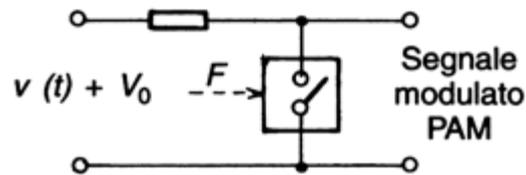
A seconda del parametro della portante impulsiva interessato, si parla di modulazione impulsiva **di ampiezza** (PAM, *Pulse Amplitudion Modulation*), **di frequenza** (PFM, *Pulse Frequency Modulation*), **di durata** (PDM, *Pulse Duration Modulation*, detta anche PWM, *Pulse Width Modulation*), o **di posizione** (PPM, *Pulse Position Modulation*).

Lo scopo di questa esperienza di laboratorio è quello di simulare al computer possibili modulatori PAM, PPM e PWM, in modo da verificare sperimentalmente le nozioni teoriche esposte nelle seguenti sezioni. Si noti che, ogni qual volta sarà necessario generare particolari forme d'onda periodiche (segnali ad impulsi, triangolari, sinusoidali, ecc.) si ricorrerà a un generatore di funzioni virtuale, i cui parametri verranno mostrati di volta in volta.

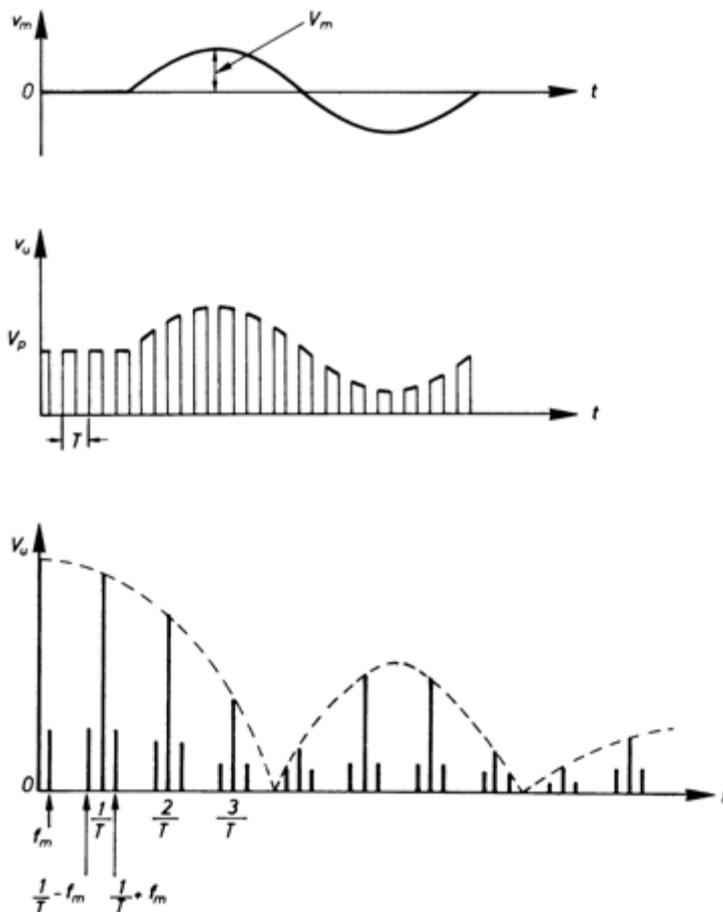
## 2 La modulazione PAM

### 2.1 Cenni teorici

Nella modulazione PAM, l'ampiezza degli impulsi della portante varia proporzionalmente ai valori istantanei del segnale modulante: il segnale modulante risulta in pratica "campionato" dagli impulsi. Lo schema di principio di un modulatore PAM può essere così raffigurato:



Un esempio di modulazione PAM è riportato nella figura sottostante, nel caso di segnale modulante sinusoidale di frequenza  $f_m$ :



(dall'alto in basso: segnale modulante; treno di impulsi del segnale modulato; spettro)

Lo spettro è caratterizzato dalla presenza di:

- una componente continua;
- una riga corrispondente al segnale modulante;

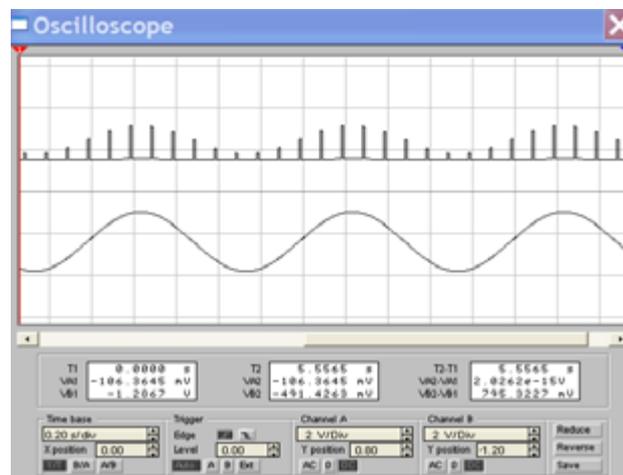
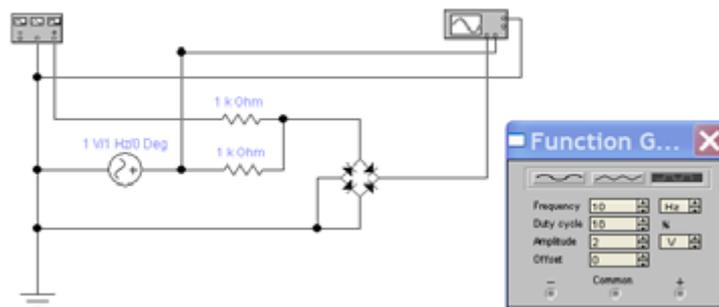
- fondamentale ed armoniche di frequenza  $f_s = \frac{1}{T}$ ;  $2f_s = \frac{2}{T}$ ;  $3f_s = \frac{3}{T}$ ; ...
- righe laterali a frequenze  $f_s \pm f_m$ ;  $2f_s \pm f_m$ ; ...

Per la demodulazione di un segnale PAM è sufficiente quindi un *filtro passa-basso*, che lasci passare soltanto la frequenza  $f$  del modulante.

## 2.2 Simulazione con il computer di un modulatore PAM

Mediante il seguente schema elettrico, è stato possibile campionare una generica onda sinusoidale ad ogni impulso della portante, ottenendo così un grafico (sull'oscilloscopio virtuale) caratteristico della modulazione PAM.

Questa configurazione, puramente teorica ed esemplificativa, dovrà essere sostituita in pratica con una soluzione circuitale più completa.

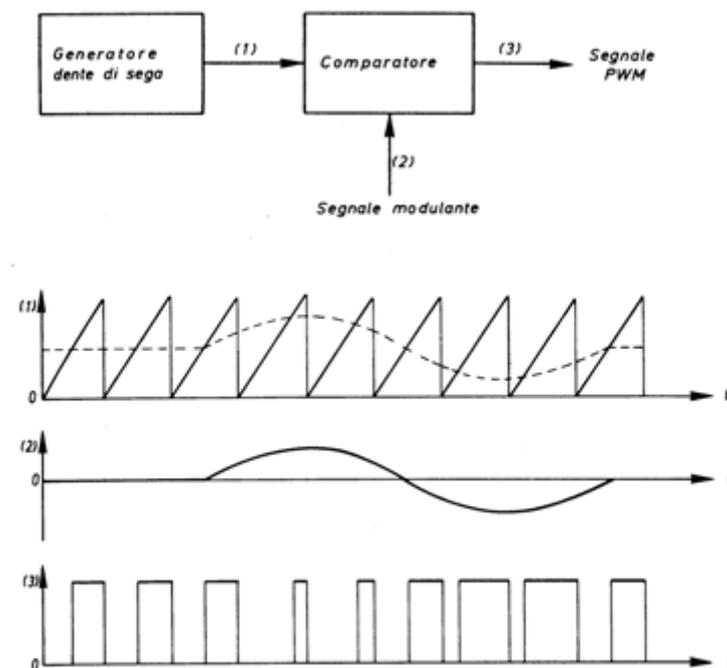


### 3 La modulazione PWM

#### 3.1 Cenni teorici

La modulazione PDM o PWM (le due sigle sono equivalenti) consiste nel variare la durata degli impulsi della portante, proporzionalmente ai valori istantanei del segnale modulante; il periodo e l'ampiezza degli impulsi sono mantenuti costanti. Ciò può essere ottenuto spostando in sensi opposti gli istanti relativi al fronte di salita e a quello di discesa degli impulsi, oppure tenendo fisso uno dei due fronti e modulando l'altro.

Un metodo per generare un segnale PWM può essere schematizzato come segue: una forma d'onda a dente di sega (1) è applicata al comparatore, il cui livello di soglia è funzione del segnale modulante (2); la successione di impulsi (3) che si ha all'uscita del comparatore ha ampiezza costante, però durata che è funzione del segnale modulante.



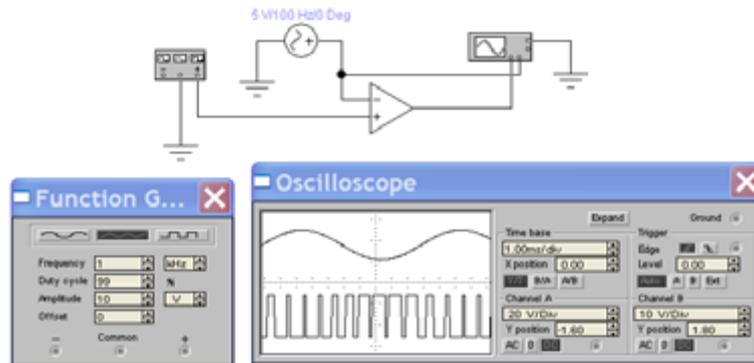
Nello spettro sono presenti la frequenza di ripetizione degli impulsi, la frequenza modulante, le loro armoniche e tutte le possibili combinazioni di somma e differenza.

La demodulazione può essere ottenuta, come nel caso della modulazione PAM, applicando il segnale PWM ad un filtro passa-basso.

## 3.2 Simulazione con il computer di un modulatore PWM

### 3.2.1 Modulazione della durata degli impulsi con generatore a dente di sega e comparatore

Questo tipo di schema corrisponde a quello già analizzato nella parte teorica.

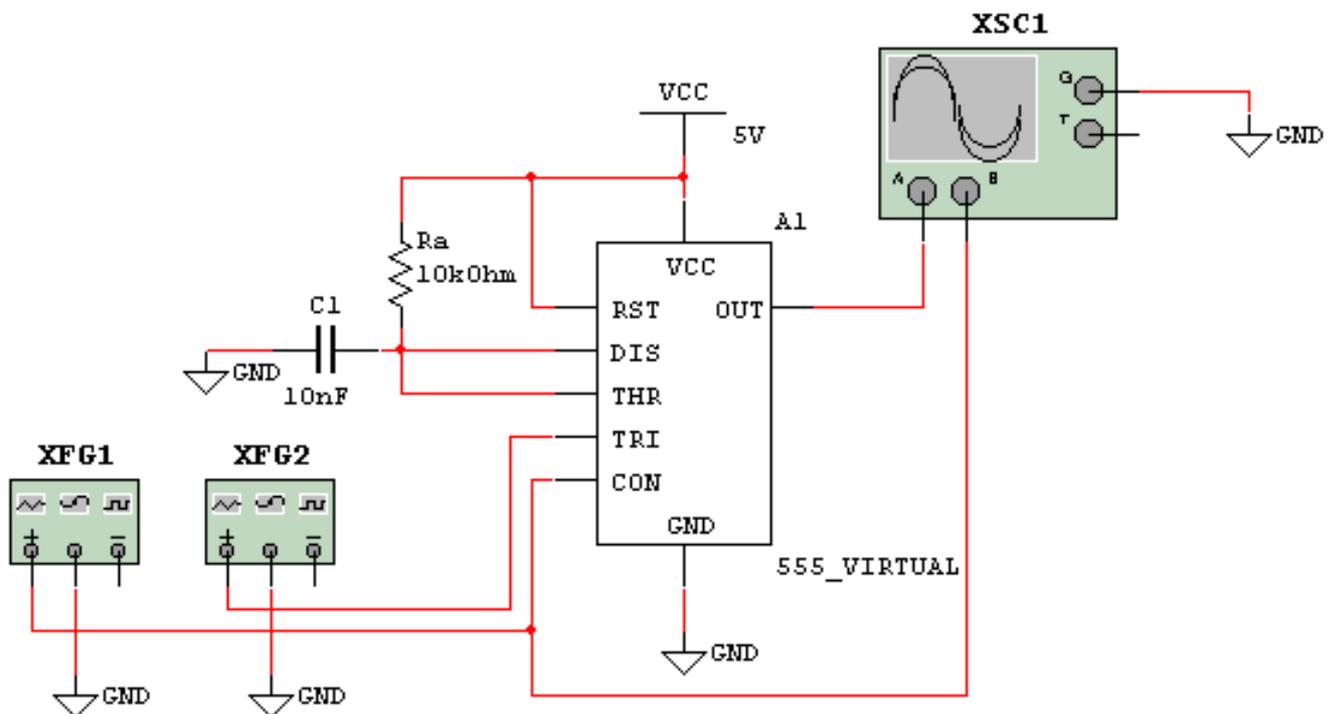


### 3.2.2 Modulazione della durata degli impulsi con timer 555

Come ulteriore verifica della modulazione PWM, è stato utilizzato questo schema con timer 555. Si è altresì voluto verificare come varia il segnale modulato aumentando la frequenza della portante da 3 a 10 KHz (sono stati riportati entrambi i grafici dell'oscilloscopio).

#### Legenda:

- XFG1 segnale modulante (onda sinusoidale)
- XFG2 segnale portante (treno di impulsi)
- XSC1 oscilloscopio



### Function Generator-XFG1

Waveforms:

Signal Options

Frequency	1	kHz
Duty Cycle	50	%
Amplitude	1.5	V
Offset	2.5	V

Set Rise/Fall Time

+ Common -

### Function Generator-XFG2

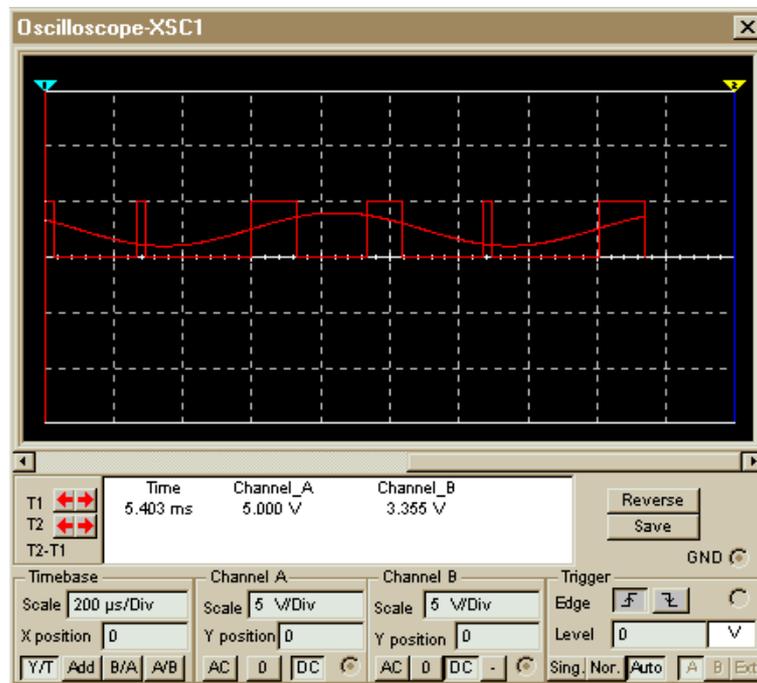
Waveforms:

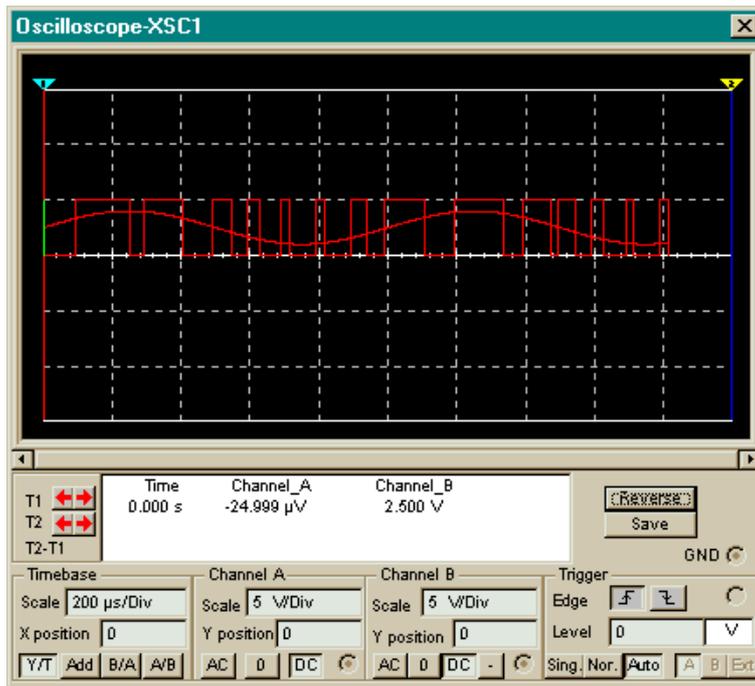
Signal Options

Frequency	2.985	kHz
Duty Cycle	92	%
Amplitude	4	V
Offset	0	V

Set Rise/Fall Time

+ Common -

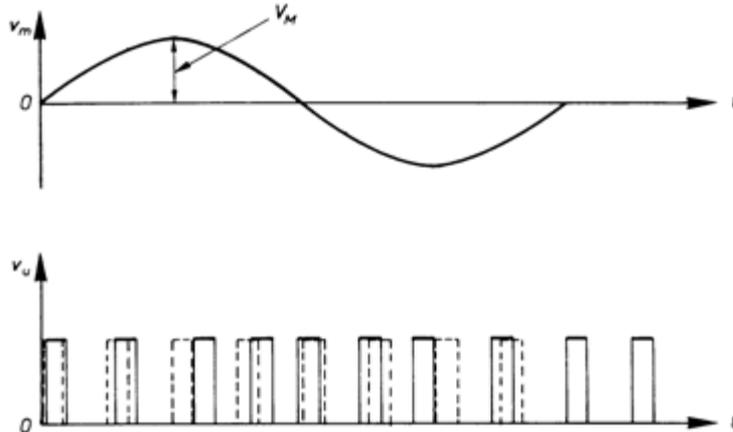




## 4 La modulazione PPM

### 4.1 Cenni teorici

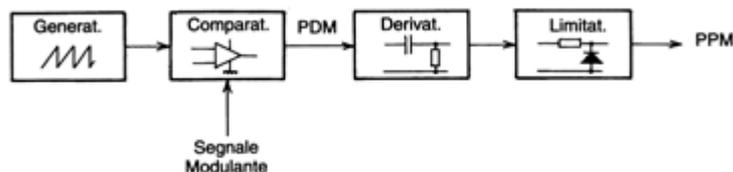
Nella modulazione impulsiva di posizione (PPM) viene variata, in funzione del segnale modulante, la posizione degli impulsi della portante, spostandoli in anticipo o in ritardo rispetto alla posizione periodica che essi hanno in assenza di modulazione; larghezza ed ampiezza degli impulsi rimangono inalterate. L'andamento nel tempo della tensione d'uscita, in presenza di un segnale sinusoidale  $v_m$ , sarà il seguente:



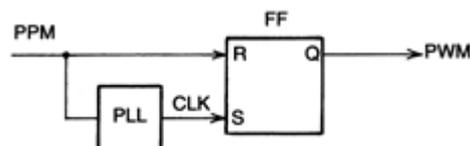
Generalmente si trasmette un impulso di riferimento rispetto a cui valutare la posizione dell'impulso modulato, in modo da sincronizzare il ricevitore con il trasmettitore.

Per quanto riguarda lo spettro, vale quanto già detto per la modulazione PWM.

Un segnale PPM può essere ottenuto partendo da un segnale PWM e facendo seguire al comparatore un derivatore e un limitatore:



La demodulazione di un segnale PPM è ottenuta con diversi metodi. Ad esempio, con un flip-flop ed un sincronizzatore PLL (che ricostruisce un segnale di clock avente la stessa frequenza della portante), è possibile convertire un segnale da PPM a PWM, dal quale si estrapolerà il modulante mediante un filtro passa-basso.



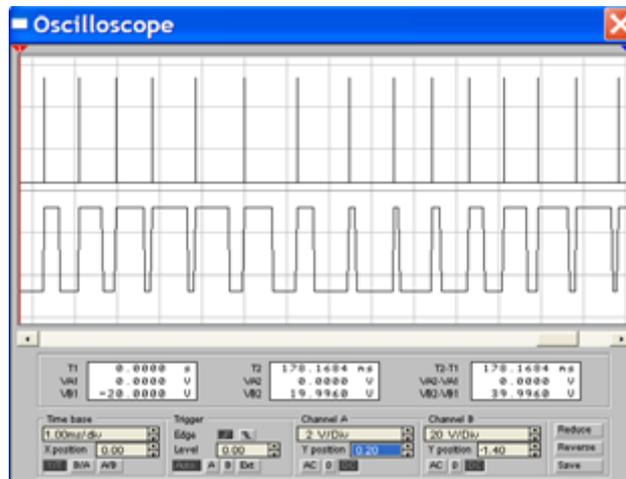
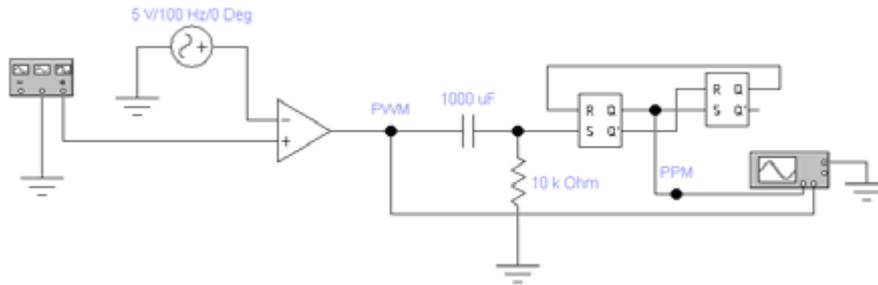
## 4.2 Simulazione con il computer di un modulatore PPM

### 4.2.1 Modulazione della posizione degli impulsi partendo da un segnale PWM: primo esempio

In uscita dal modulatore PWM costituito da un generatore a dente di sega e da un comparatore, si ha una successione di impulsi, positivi in corrispondenza del fronte di salita di ogni impulso e negativi

in corrispondenza del fronte di discesa; eliminando gli impulsi negativi, la forma d'onda ottenuta è costituita solo da impulsi la cui posizione è determinata dal fronte di salita del segnale PWM e che perciò è funzione del segnale modulante.

Il tipo di soluzione circuitale qui riportata è puramente teorica e non permette di regolare la durata di ogni impulso PPM, che sarà tanto più breve quanto lo sarà il tempo di commutazione dei flip-flop.

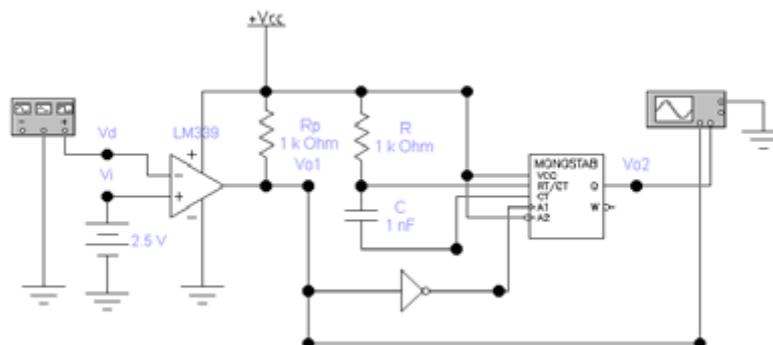


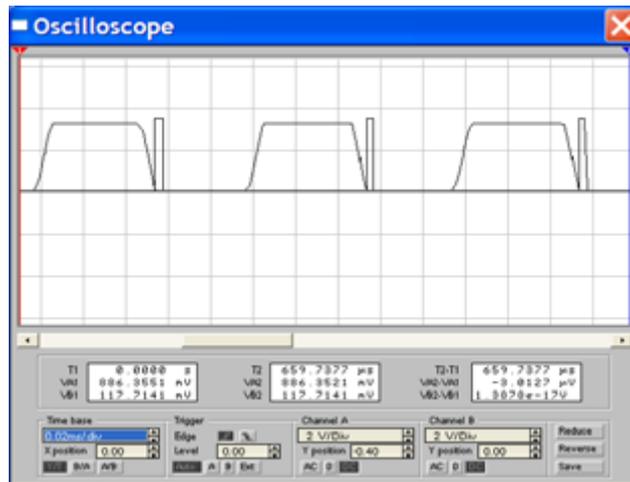
(il treno di impulsi in alto corrisponde al segnale PPM, quello in basso al segnale PWM)

#### 4.2.2 Modulazione della posizione degli impulsi partendo da un segnale PWM: secondo esempio

Il principio di funzionamento è analogo a quello del precedente esempio, ovvero da un generico segnale PWM se ne ricava uno PPM associando brevi impulsi di uguale ampiezza e durata ai fronti di salita o a quelli di discesa del PWM.

In questo caso, il segnale PWM proveniente dal comparatore è collegato ad un generico multivibratore monostabile (che nella pratica potrebbe essere realizzato con un TTL 74121), il quale permette, in corrispondenza del fronte di discesa del segnale PWM, di generare un breve impulso, come mostrato dal grafico dell'oscilloscopio virtuale:





### 4.2.3 Modulazione della posizione degli impulsi con il timer 555

Applicando l'onda triangolare all'ingresso di modulazione del circuito, si è realizzata una modulazione PPM con impulsi che occupano una posizione, rispetto ai precedenti, che dipende dall'ampiezza dell'onda triangolare di modulazione.

Si noti, comunque, che gli impulsi così ottenuti hanno una durata variabile nel tempo: tale condizione è in contrasto con la già data definizione di modulazione PPM, che prevede ampiezza e larghezza degli impulsi costanti.

