



I.T.I. "Modesto PANETTI" – B A R I

Via Re David, 186 - 70125 BARI ☎ 080-542.54.12 - Fax 080-542.64.32

Intranet <http://10.0.0.222> - Internet <http://www.itispanetti.it> - email : [BATF05000C@istruzione.it](mailto:BATF05000C@istruzione.it)

**A.S. 2007/2008**  
**LABORATORIO DI TELECOMUNICAZIONI**  
**CLASSE V ET-A**

**DOCENTE: PROF. ETTORE PANELLA**  
**ALUNNO: VINCENZO COLANGIULI**

## **Modulazione e Demodulazione ASK-OOK**

In questa esperienza verrà analizzato il concetto di **modulazione digitale** approfondendo il tipo ASK (Amplitude Shift Keying) e la variante OOK (On Off Keying) utilizzando il software di simulazione PSpice e il modulo SAMAR B4340 DIGITAL SIGNALS TRANSMISSION

### **MODULAZIONE DIGITALE**

Per modulazione digitale si intende quella modulazione che utilizza come portante un segnale analogico e come modulante un segnale di tipo digitale. Come nelle classiche modulazione analogiche, anche per quelle digitali si possono ottenere tre diversi tipi di modulazioni, ovvero di ampiezza, di frequenza e di fase.

Le differenze nelle due tipologie di modulazioni sono presenti anche nel campo di utilizzo, infatti quelle analogiche vengono utilizzate prevalentemente nelle trasmissioni radio con scarso utilizzo nel campo della radiotelevisione, mentre le modulazione digitali sono maggiormente utilizzate nelle trasmissioni via modem e nei ponti radio.

#### **➤ Modulazione ASK-OOK**

Come per le modulazione analogiche, anche nelle modulazione digitali è possibile modulare in ampiezza il segnale portante tramite un segnale modulante di tipo digitale. In questo caso, però, modulare in ampiezza significa associare ai simboli binari 0 e 1 della modulante, due diverse ampiezze della portante.

Nella figura 1 si riportano le forme d'onda tipiche di una modulazione ASK nella quale al livello 1 della modulante corrisponde la presenza della modulante e al livello logico 0 della modulante corrisponde un'ampiezza ridotta della portante.

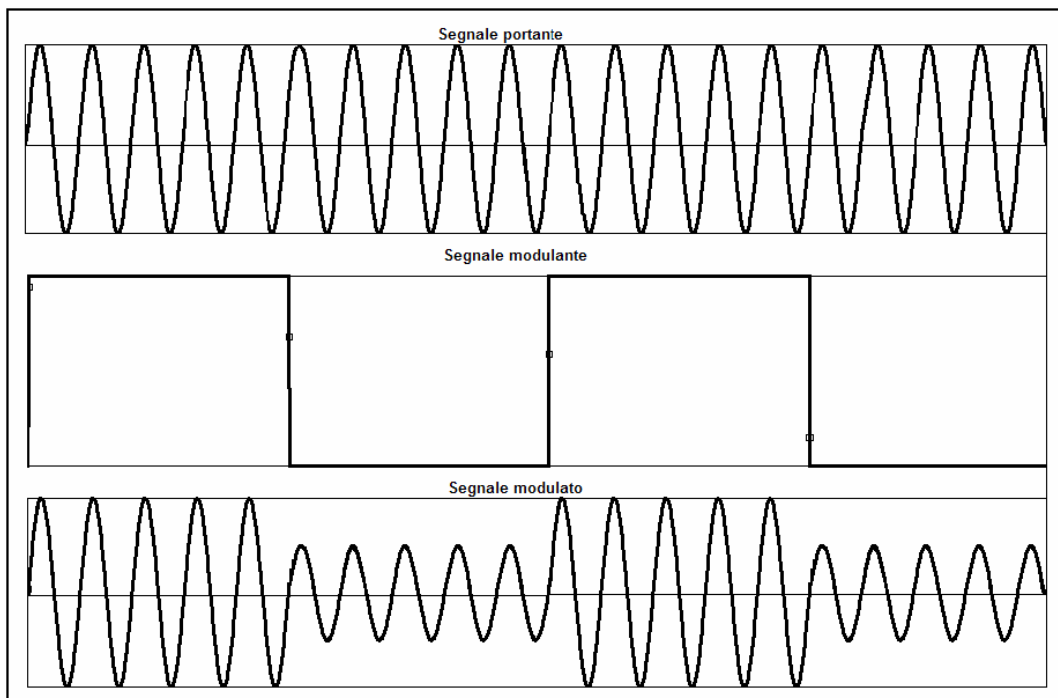


Figura 1. Forme d'onda tipiche di una modulazione ASK

Nella variante OOK al livello logico 1 corrisponde la presenza della portante e al livello logico 0 corrisponde la totale assenza del segnale portante come si può osservare in figura 2.

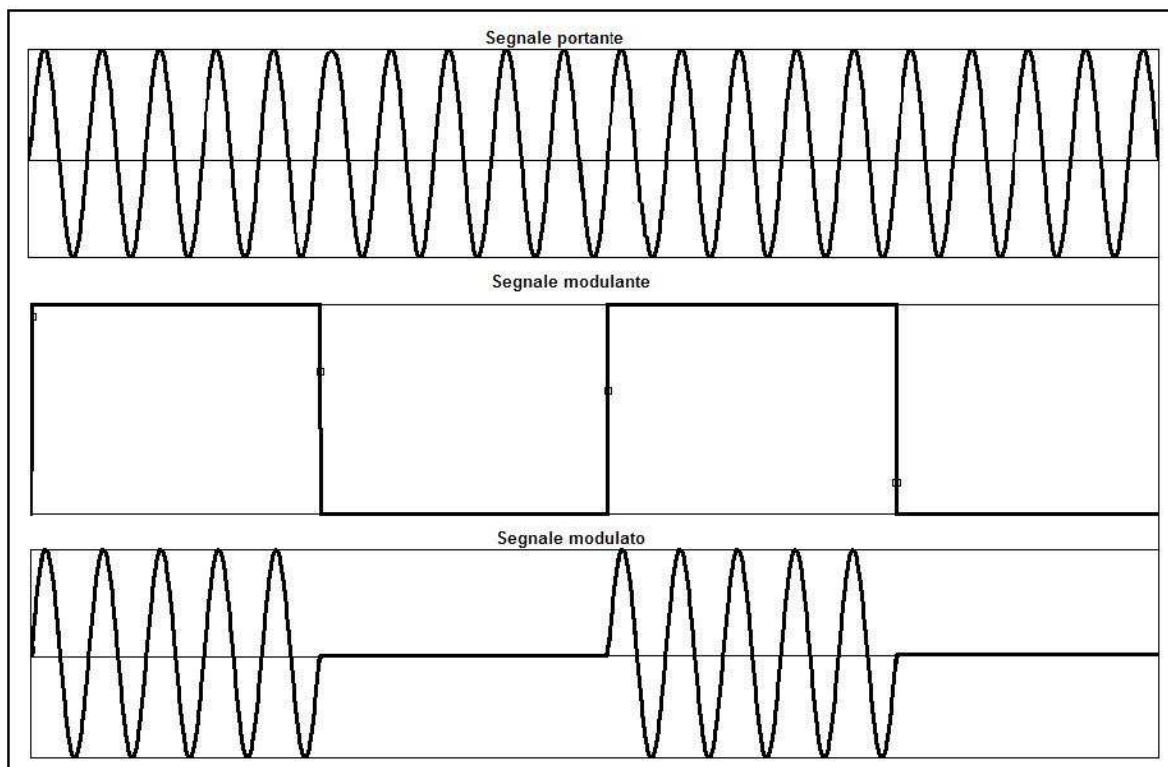


Figura 2. Forme d'onda tipiche di una modulazione OOK

➤ **Studio matematico**

Supponiamo che il segnale modulante sia di tipo onda quadra di periodo  $T$ , di frequenza  $f_m = \frac{1}{T}$  e di ampiezza unitaria

$$v_m = \begin{cases} 1 & \text{per } 0 < t < \frac{T}{2} \\ 0 & \text{per } \frac{T}{2} < t < T \end{cases} \text{ per ogni periodo}$$

e avendo come portante una sinusoide

$$v_p = V_P \text{ sen } \omega_p t,$$

si otterrà una modulazione che è assimilabile al prodotto dei due segnali:

$$v_o(t) = v_m(t) \cdot v_p(t) = v_m(t) \cdot V_P \text{ sen } \omega_p t$$

Secondo l'analisi armonica di Fourier il segnale  $v_m(t)$  è pensabile come la somma di tanti segnali sinusoidali aventi frequenze multiple a quella del segnale modulante:

$$v_m(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\text{sen } n\omega_m t}{n}$$

con n dispari.

Sostituendo la precedente uguaglianza nell'equazione di  $v_o(t)$  si ottiene:

$$v_o(t) = \left( \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\text{sen } n\omega_m t}{n} \right) \cdot V_P \text{ sen } \omega_p t$$

Applicando la formula di Werner alla precedente equazione si ottiene che:

$$v_o(t) = \frac{V_P}{2} \text{ sen } \omega_p t + \frac{V_P}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\omega_p - n\omega_m)t - \cos(\omega_p + n\omega_m)t}{n}$$

Sapendo che in generale  $\omega = 2\pi f$ , si può dedurre che il segnale modulato sarà composto da armoniche aventi le ampiezze e le frequenze riportate di seguito:

ARMONICA FONDAMENTALE

$$\text{Ampiezza} \Rightarrow \frac{V_P}{2} \quad \text{frequenza} \Rightarrow f_p$$

PRIMA ARMONICA

$$\text{Ampiezza} \Rightarrow \frac{V_P}{\pi} \quad \text{frequenza} \Rightarrow f_p - f_m; f_p + f_m$$

TERZA ARMONICA

$$\text{Ampiezza} \Rightarrow \frac{V_P}{3\pi} \quad \text{frequenza} \Rightarrow f_p - 3f_m; f_p + 3f_m$$

QUINTA ARMONICA

$$\text{Ampiezza} \Rightarrow \frac{V_P}{5\pi} \quad \text{frequenza} \Rightarrow f_p - 5f_m; f_p + 5f_m$$

In questo caso l'analisi armonica di Fourier è effettuata fino alla quinta armonica, ma in realtà si presentano infinite armoniche. Questo è dovuto dalla presenza del segnale modulante di tipo onda quadra, che secondo lo sviluppo in serie di Fourier è assimilabile alla somma di infinite sinusoidi di frequenza multipla di  $f_m$ .

Per questo, rispetto alla classica modulazione AM, la modulazione ASK presenta una maggiore larghezza di banda che assume il valore di  $10 f_m$  se si considerano le cinque armoniche analizzate precedentemente e mostrate in figura 3.

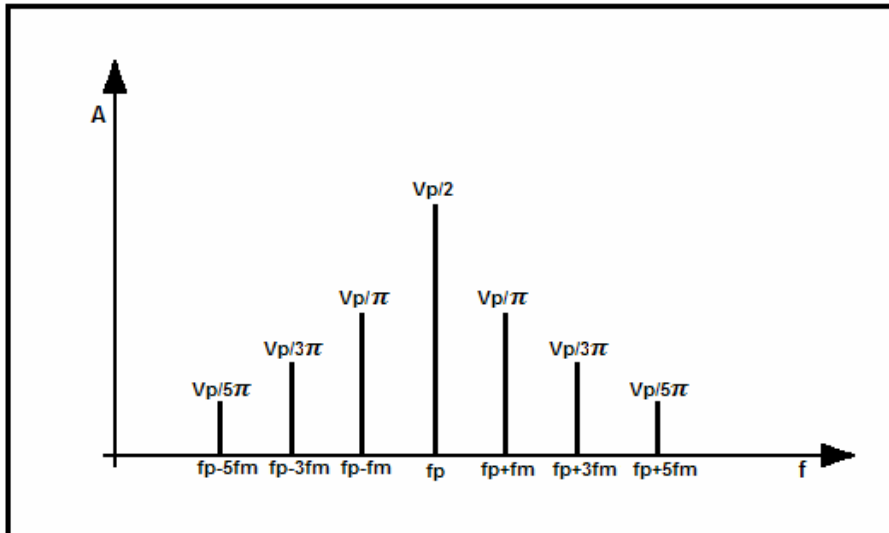


Figura 3. Spettro di frequenza del segnale modulato ASK

I metodi per ottenere una modulazione ASK e OOK sono vari e in figura 4 e in figura 5 si mostrano due possibili circuiti applicativi di principio.

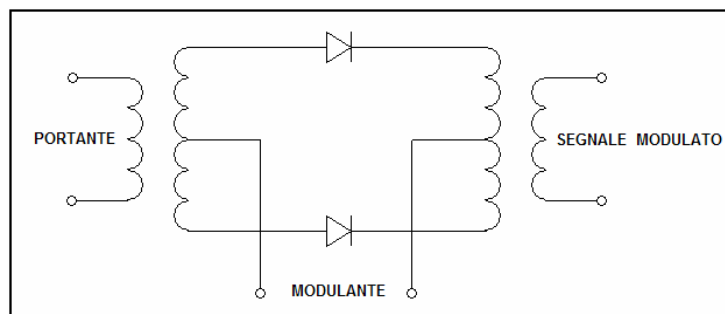


Figura 4. Circuito di principio di un modulatore ASK.

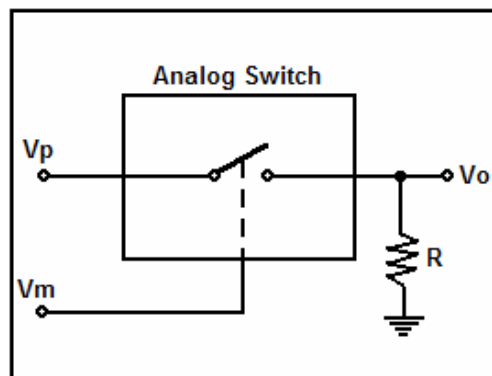


Figura 5. Circuito di principio di un modulatore OOK

### Demodualazione ASK-OOK

Anche per demodulare il segnale ASK-OOK esistono diversi modi, in particolare si può definire una demodulazione coerente, una demodulazione che necessita della ricostruzione della portante, che può avvenire utilizzando un PLL (Phase Locked Loop). Invece si definisce demodulazione non coerente, una demodulazione che non necessita della ricostruzione della portante. Nel primo caso la demodulazione può avvenire utilizzando un PLL, un moltiplicatore, un filtro passa-basso e un comparatore, come si può vedere nello schema a blocchi di figura 6.

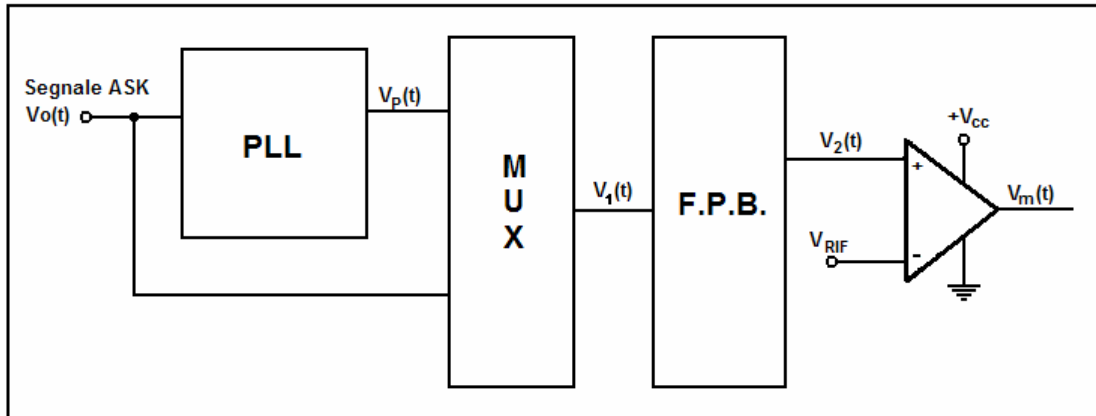


Figura 6. Schema a blocchi di un demodulatore ASK-OOK coerente

Analizzando ciascun blocco è possibile dire che il PLL ricostruisce il segnale portante  $v_p(t)$  che viene applicato ad uno dei due ingressi del moltiplicatore (MUX), in grado di eseguire la moltiplicazione tra il segnale  $v_p(t)$  e  $v_o(t)$  ottenendo il segnale  $v_1(t)$  che risulta essere:

$$v_1(t) = K \cdot v_o(t) \cdot v_p(t) \quad \text{dove } K \text{ è la costante del moltiplicatore.}$$

Sapendo che  $v_o(t) = v_m(t) \cdot V_F \cdot \text{sen } \omega_p t$  e  $v_p = V_F \cdot \text{sen } \omega_p t$  si ottiene che:

$$v_1(t) = K \cdot v_m(t) \cdot V_F \cdot \text{sen } \omega_p t \cdot V_F \cdot \text{sen } \omega_p t \quad \text{da cui}$$

$$v_1(t) = K \cdot v_m(t) \cdot V_F^2 \left( \frac{1 - \cos 2\omega_p t}{2} \right)$$

Eseguendo la moltiplicazione si ottiene che:

$$v_1(t) = \frac{K \cdot v_m(t) \cdot V_F^2}{2} - \frac{K \cdot v_m(t) \cdot V_F^2}{2} \cos 2\omega_p t$$

La funzione del filtro passa-basso è quella di eliminare il secondo contributo della precedente espressione. A tal punto, imponendo  $K = 2/V_F^2$ , si ottiene che:

$$v_2(t) = v_1(t) = v_m(t)$$

Il comparatore non invertente ha la funzione di squadrare il segnale  $v_m(t)$  in modo da renderlo uguale al segnale modulante originario.

Nel caso in cui il demodulatore si di tipo non coerente, ci si avvale di un semplice rilevatore di inviluppo riportato in figura 7.

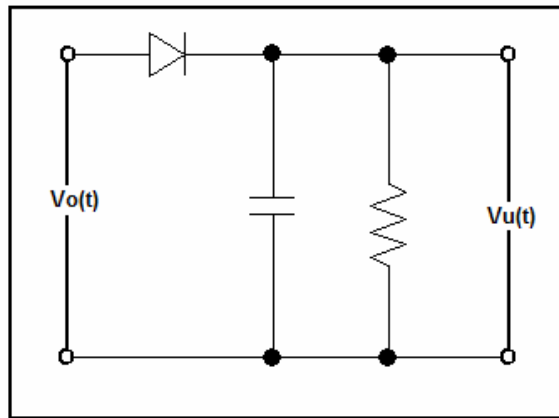


Figura 7. Rilevatore di inviluppo

Anche in questo caso però è necessaria l'applicazione del blocco comparatore, configurato a Trigger di Schmitt; infatti il segnale demodolato  $v_u(t)$  deve essere squadrato su i due fronti in modo da riottenere il segnale modulante di partenza.

## SIMULAZIONE CON ORCAD CAPTURE CIS v9.2.2

Attraverso questo software (versione aggiornata di PSpice Student) è possibile disegnare e simulare un modulatore-demodulatore ASK-OOK di tipo non coerente.

A causa della sua leggera diversità, si descrive brevemente l'interfaccia grafica e i comandi base utilizzati per questa esperienza.

### ➤ Disegno e simulazione del modulatore-demodulatore OOK con CAPTURE CIS v9.2.2

Una volta aperto il programma **CAPTURE CIS**, apparirà una schermata bianca con vari menù. Per disegnare lo schema elettrico è necessario aprire un nuovo progetto cliccando sul menù **File ⇒ New ⇒ Project**. Apparirà una finestra di dialogo **New Project** dove si deve specificare il nome del progetto e il percorso in cui verrà salvato. Una volta scelta l'opzione **Analog or Mixer A/D**, apparirà la finestra **Create Pspice Project**. Siccome si vuole creare un nuovo progetto non basato su altri esistenti, si sceglie l'opzione **Create a blank project**. Dopo questo ultimo passo, apparirà una pagina vuota, come quella di figura 8, nella quale si può disegnare lo schema del circuito.

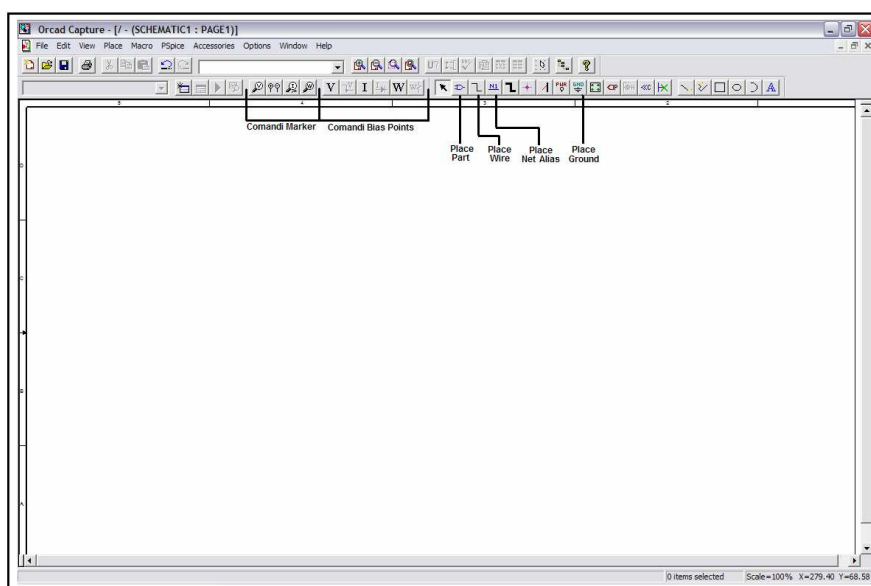


Figura 8. Pagina su cui realizzare lo schema circuitale

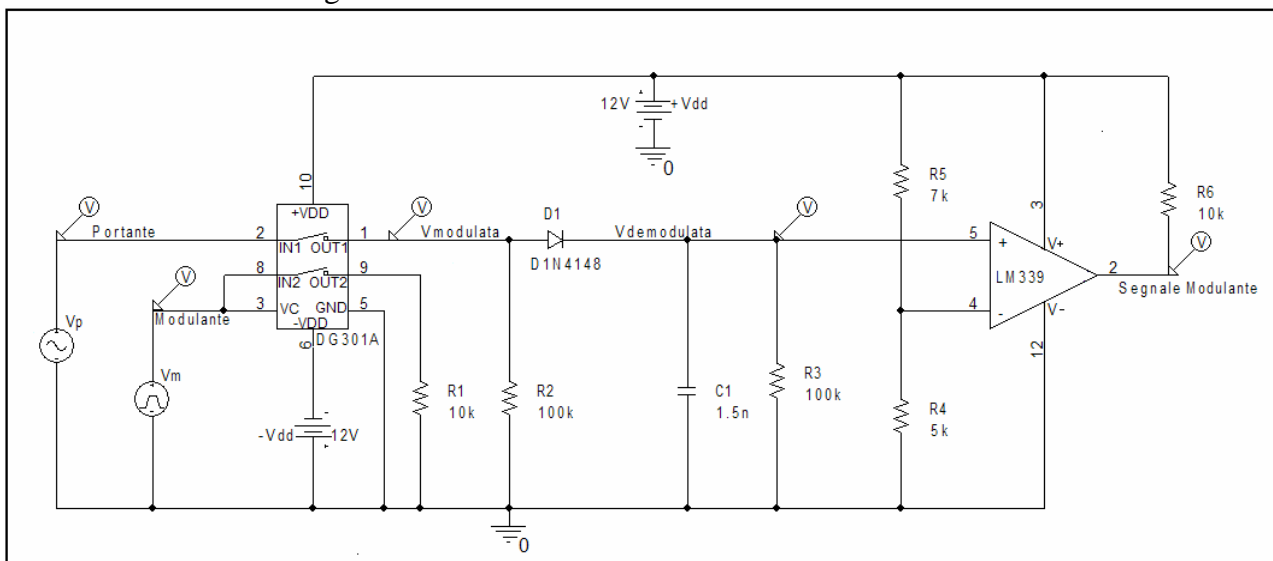
Si sono resi visibili i nomi dei comandi da utilizzare per il disegno del circuito modulatore-demodulatore ASK-OOK, dato che sono differenti dai comandi della versione precedente del software.

Le funzioni e ulteriori comandi verranno descritti durante il disegno e la simulazione del circuito in oggetto.

### ➤ Disegno e simulazione del modulatore-demodulatore ASK-OOK

Per aggiungere i componenti elettronici del circuito, si utilizza il comando **Place Part**. Successivamente apparirà la finestra di dialogo **Place Part** attraverso la quale si potranno ricercare i componenti circuitali scrivendone il nome nella casella **Part** oppure selezionandoli dalla lista **Part List**.

Selezionati e posizionati tutti i componenti, li si sono collegati mediante il comando **Place Wire** ottenendo il risultato di figura 9.



**Figura 9. Circuito modulatore-demodulatore ASK-OOK**

È necessario specificare che i nomi dei collegamenti si sono potuti dare attraverso il comando **Place Net Alias**, mentre i simboli di massa utilizzati sono reperibili tramite il comando **Plane Ground**. Facendo riferimento alla teoria, in questo circuito si possono individuare i tre blocchi fondamentali, costituiti dal modulatore OOK, il rilevatore di involuppo e il comparatore in configurazione Trigger di Schmitt.

Una volta disegnato il circuito è necessario configurare i vari componenti.

Il generatore  $V_{pulse}$  utilizzato per simulare la modulante lo si è impostato nel seguente modo:

- $V_1 = 0$  V (ampiezza impulso negativo);
- $V_2 = 5$  V (ampiezza impulso positivo);
- $T_D = 0$  s (tempo di ritardo o delay);
- $T_R = 0$  s (tempo di salita o rise);
- $T_F = 0$  s (tempo di discesa o fulltime);
- $P_W = 0,5$  ms (durata del livello alto);
- $P_{ER} = 1$  ms (periodo);

Il generatore  $V_{sin}$  utilizzato per simulare la portante lo si è impostato nel seguente modo:

- $V_{off} = 0$  V (tensione di offset);
- $V_{amp} = 1,27$  V (ampiezza del segnale);
- $Freq = 1$  kHz (frequenza segnale).

Ai due generatori VDC si è dato il valore 12 V, necessario per alimentare l'integrato LM339 e l'interruttore integrato DG301A. Il valore del condensatore C1 e delle resistenze sono visibili in figura 9.

Completate queste prime fasi, si passa alla configurazione dei transienti, ovvero la configurazione necessaria per visualizzare correttamente le forme d'onda nel dominio del tempo.

Ciò è possibile creando prima un nuovo profilo di simulazione seguendo il seguente percorso:

menù **PSpice** ⇒ **New Simulation Profile**. Successivamente apparirà la finestra **New Simulation**, nella quale si dovrà inserire il nome del profilo di simulazione. Una volta cliccato sul pulsante **Create**, apparirà automaticamente la finestra **Simulation Settings**: nella scheda **Analysis**, dopo aver selezionato il profilo **Time Domain (Transient)** nel menù a scelta multipla **Analysis Type** e aver spuntato solo l'opzione **General Settings** nel menù **Options**, si può impostare **2ms** il valore **Run To Time**, **0s** il valore **Start Saving Data After** e **1us** (1µs) il valore di **Maximum Step Size**.

In alternativa tutto ciò può avvenire seguendo il percorso: menù **PSpice** ⇒ **Edit Simulation Profile**.

Prima di eseguire la simulazione è necessario posizionare i marker di tensione, posizionati secondo lo schema precedente e reperibili dai comandi marker.

A questo punto, è necessario salvare il lavoro effettuato seguendo il percorso **File** ⇒ **Save** ed è possibile procedere con la simulazione premendo il tasto F11 della tastiera o seguendo il percorso **PSpice** ⇒ **Run**.

Nel momento in cui viene aperto il programma **PSpice A/D** è possibile visualizzare il risultato della simulazione, che è possibile ottimizzare aggiungendo quattro plot a quello di base attraverso il percorso **Plot** ⇒ **Add Plot To Window** trasferendo ciascuna forma d'onda nel proprio plot tramite il comando **Cut/Paste** e impostando l'asse delle tensioni (asse Y) in modo da visualizzare meglio tutte le forme d'onda, seguendo il percorso **Plot** ⇒ **Axis Settings**. Il risultato finale, di figura 10.1 e 10.2, è possibile visualizzarlo utilizzando la funzione **Print Preview** nel menù **File**.

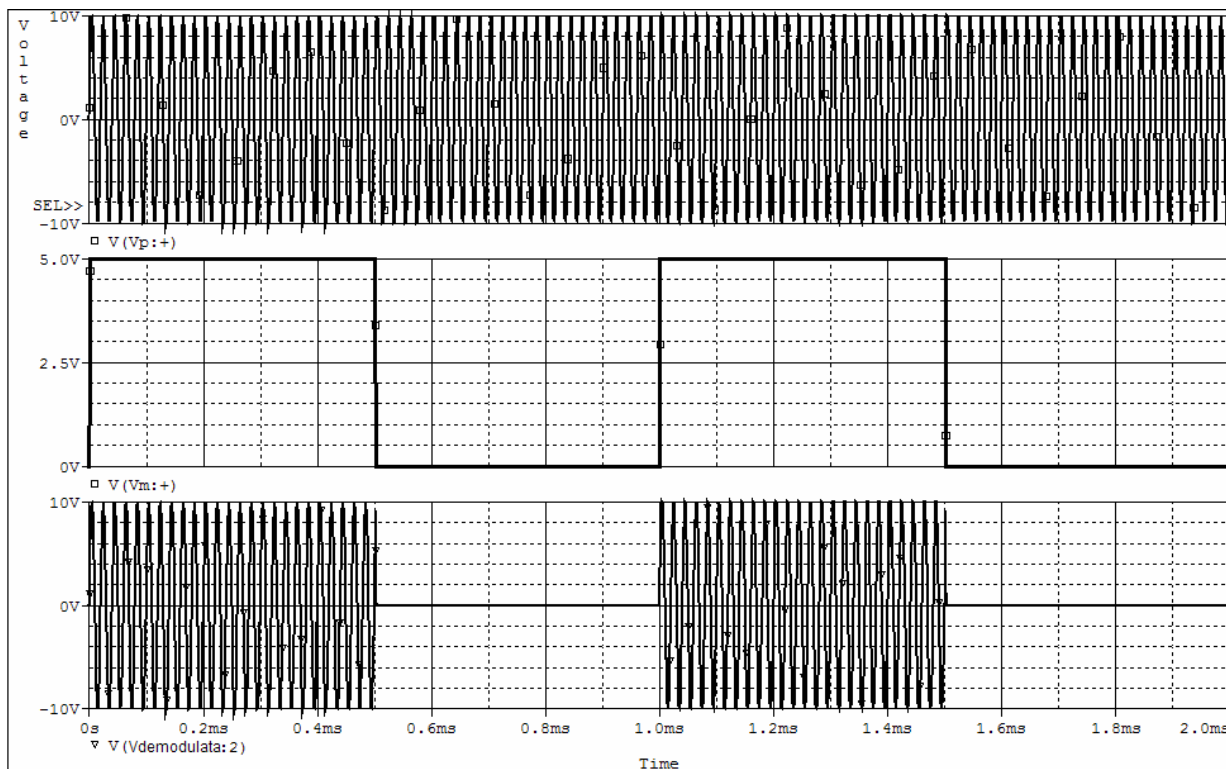
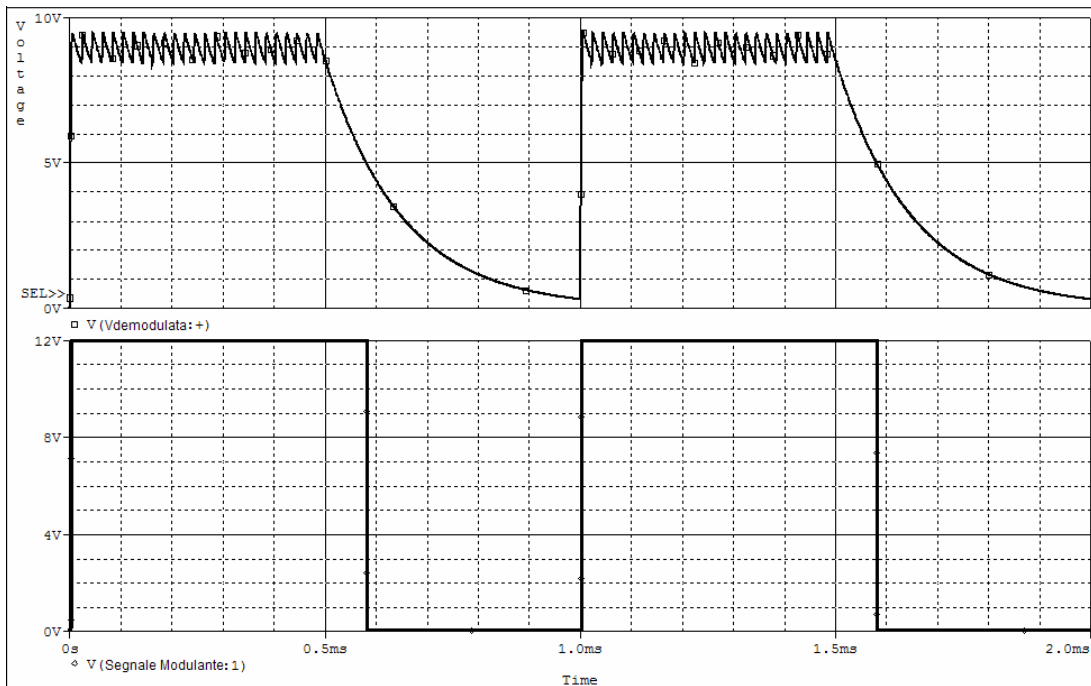


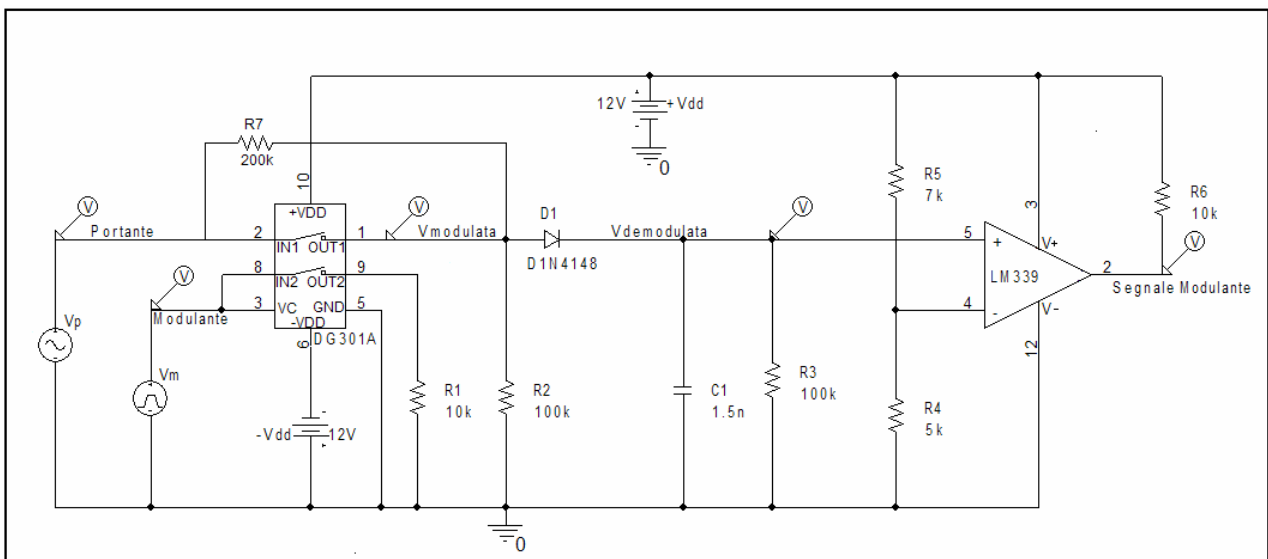
Figura 10.1. Visualizzazione del segnale portante, modulante e modulato OOK



**Figura 10.2.**

**Visualizzazione del segnale demodolato dal rilevatore di involuppo e del segnale squadrato dal comparatore**

È stato possibile, con l'aggiunta di una resistenza di 200 k $\Omega$  fra il piedino 1 e 2 dell'interruttore DG301A, effettuare la simulazione della modulazione-demodulazione ASK. Il circuito modificato è rappresentato in figura 11, mentre, lasciando inalterati i parametri della simulazione, in figura 12 sono rappresentate le forme d'onda dei segnali indicati dai marker di tensione.



**Figura 12. Schema modificato per ottenere una modulazione-demodulazione ASK**

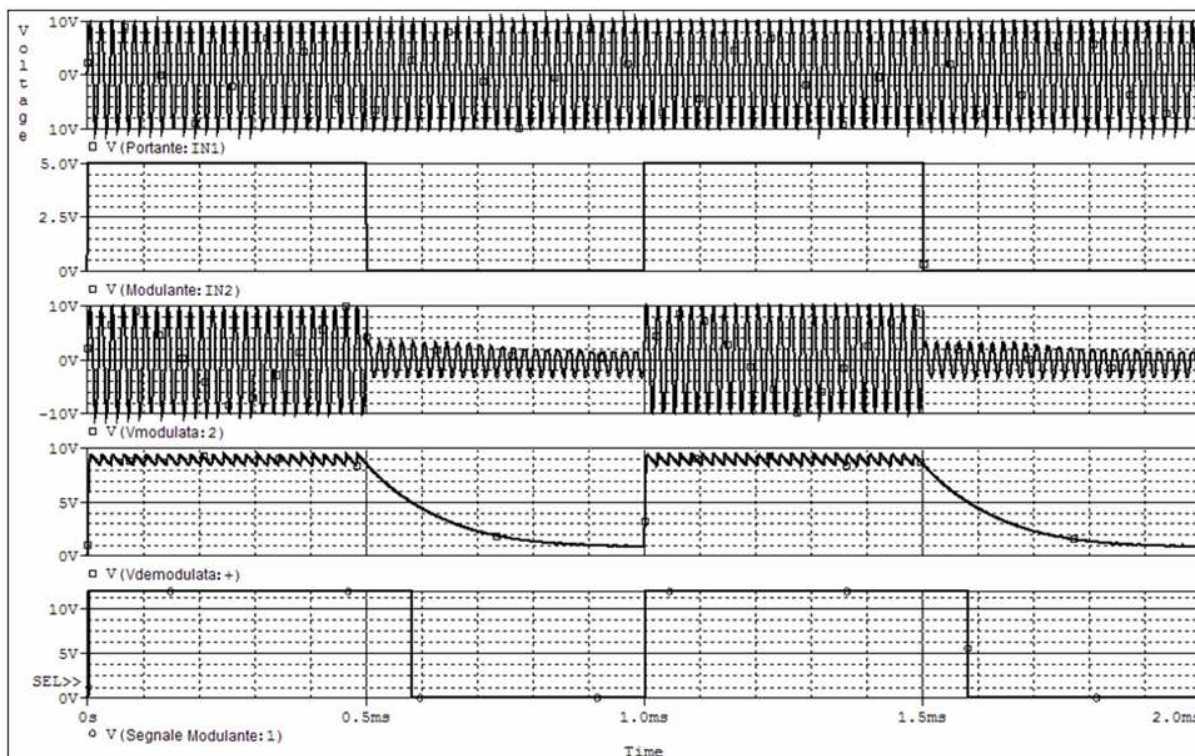


Figura 12.

Forme d'onda della portante, modulante, del segnale modulato ASK, del segnale demodolato dal rivelatore di involuppo e del segnale squadrato dal comparatore

Si può migliorare ancora la visualizzazione delle forme d'onda cambiando il valore della resistenza R5 e aggiungendo un'ulteriore resistenza fra il piedino 3 del comparatore e la resistenza R5, facendo riferimento al circuito del modulatore-demodulatore OOK.

Lo schema elettrico modificato ulteriormente è mostrato in figura 13.

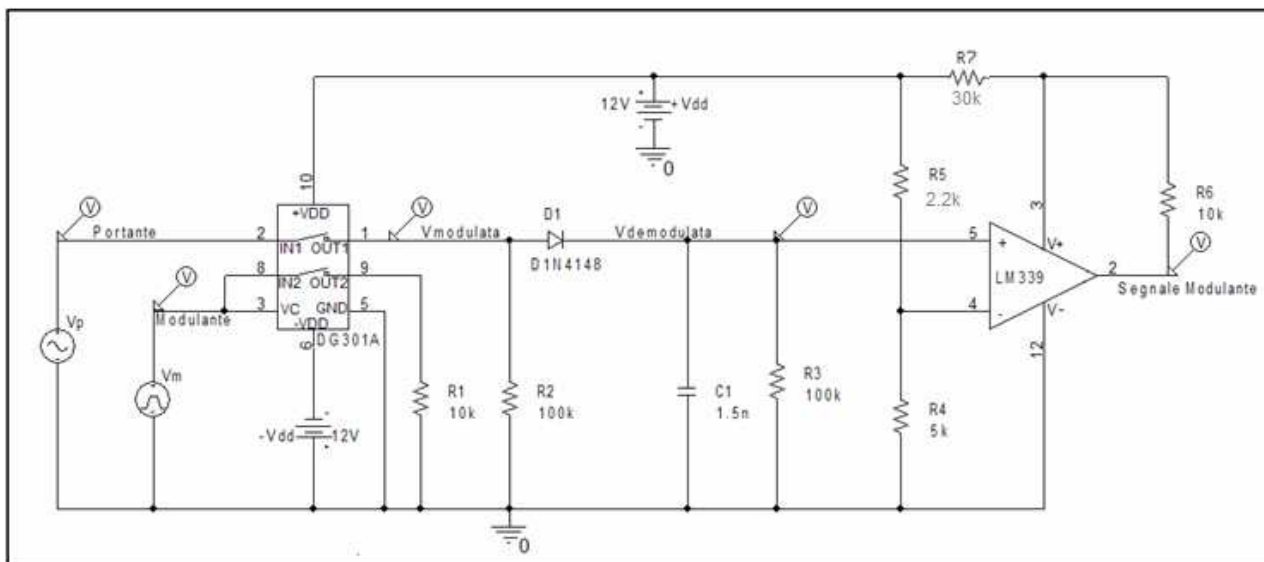


Figura 13. Circuito modificato per ottenere una migliore visualizzazione delle forme d'onda

In particolare, riducendo il valore resistenza R5 da 7 k $\Omega$  a 2.2 k $\Omega$ , si è potuto innalzare il valore della tensione di riferimento del comparatore, cioè la tensione presente sul piedino invertente, da 5 V a 8.33 V. In questo modo, nel momento in cui il segnale presente all'uscita del rivelatore di involuppo raggiunge gli 8.33 V, il comparatore commuta dal livello alto al livello basso, quindi in anticipo rispetto al circuito originario, che commutava quando il segnale  $V_{demodulata}$  raggiungeva i 5

V. In pratica, modificando il valore di R5, si è reso uguale il periodo del segnale modulante e il periodo del segnale demodolato e squadrato.

La resistenza aggiuntiva R7 da 30 k $\Omega$  ha la funzione di abbassare la tensione di alimentazione del comparatore da 12 V a circa 5 V. Secondo la teoria dell'elettronica, la tensione di uscita del comparatore può assumere solo 2 valori e cioè +Vcc e -Vcc, quindi nel circuito in oggetto il segnale presente in uscita al comparatore assume i valori di +5 V e 0 V, essendo un comparatore a singola alimentazione.

Tramite queste due piccole modifiche il segnale squadrato avrà lo stesso periodo e la stessa ampiezza del segnale modulante, come si può vedere in figura 14.

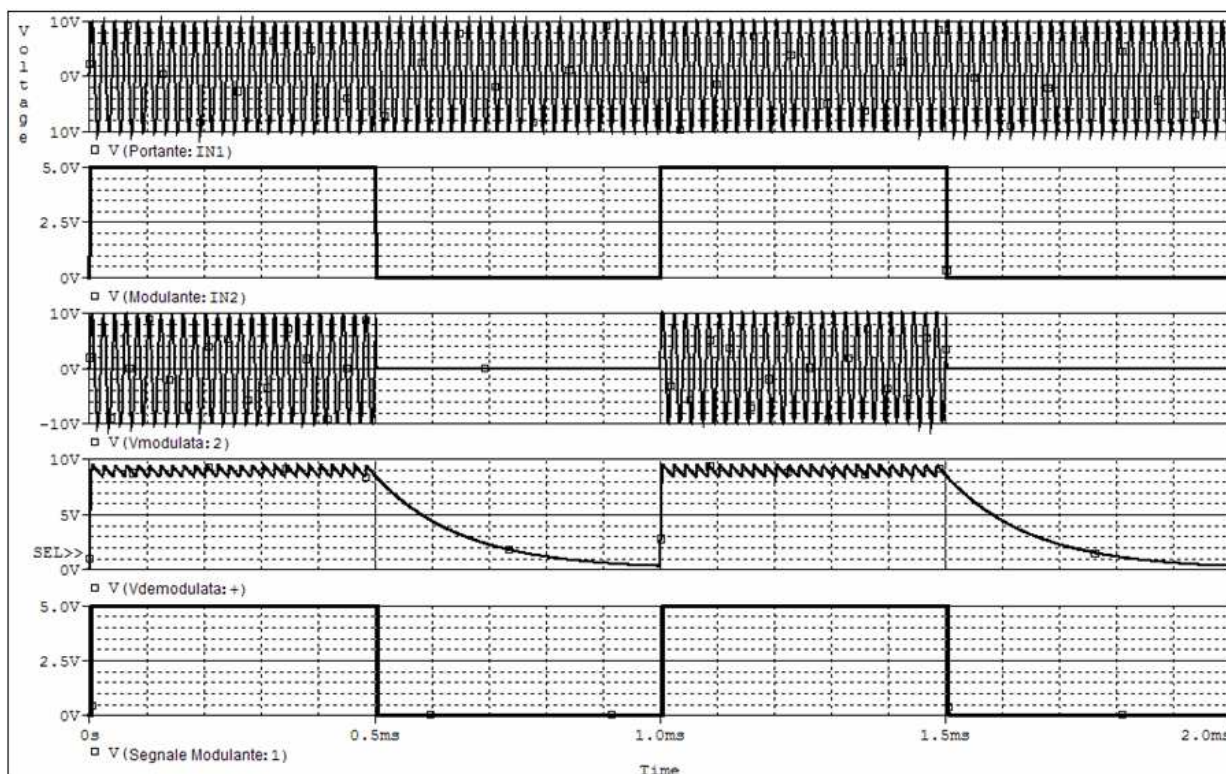


Figura 14.

Forme d'onda del segnale portante, modulante, modulato OOK, demodolato e demodolato-squadrato.

## REALIZZAZIONE PRATICA

### Modulo SAMAR B4340

La modulazione digitale di tipo OOK è stata realizzata tramite il modulo **SAMAR B4340** (figura15), il quale permette anche di effettuare modulazioni digitali di tipo FSK e PSK.

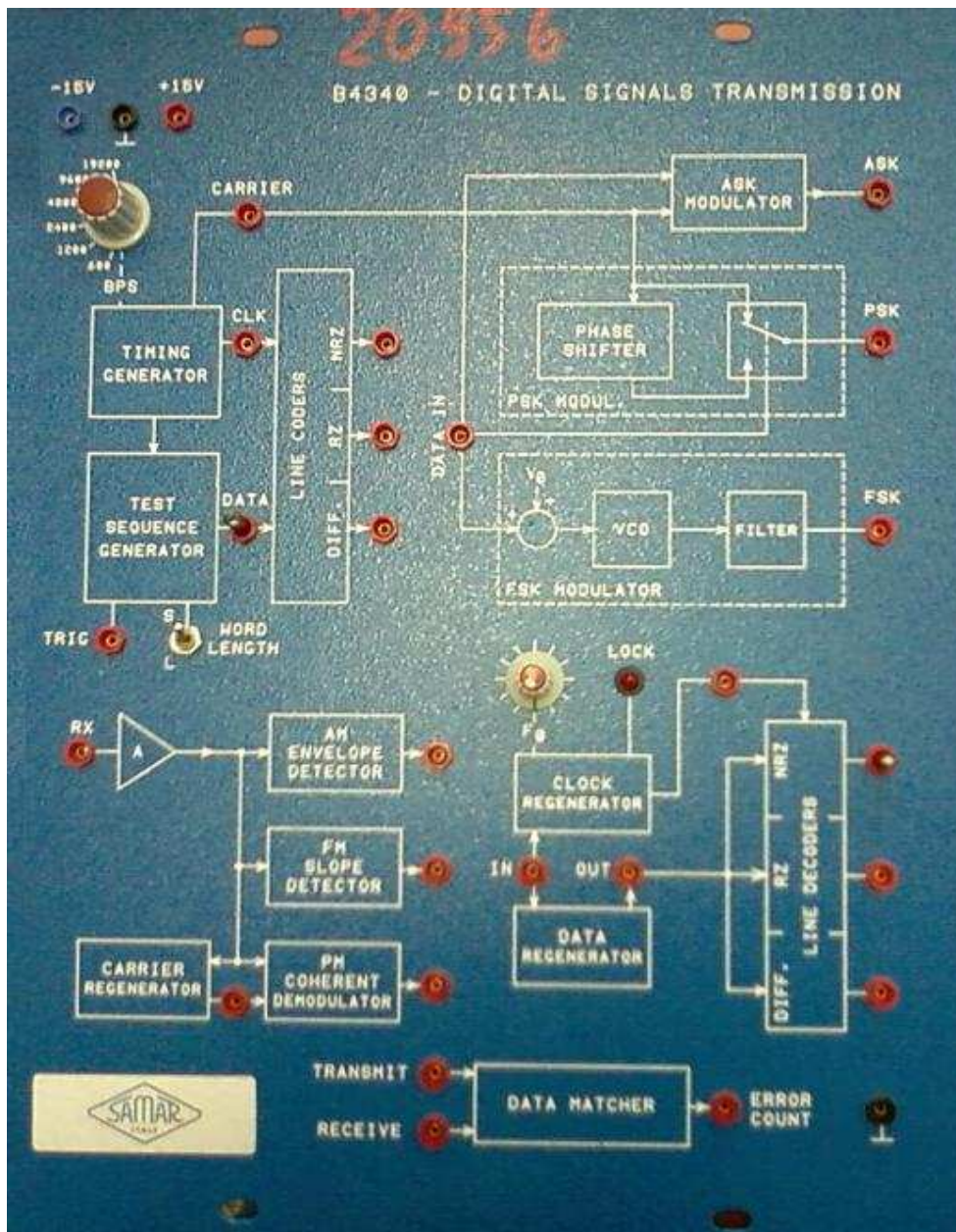


Figura 15. Modulo SAMAR B4340

Il blocco di alimentazione è posto in alto a sinistra e consente una doppia alimentazione  $\pm 15$  V. Il selettore posto subito sotto permette di scegliere la velocità di trasmissione, in bps, del segnale modulante che viene generato dal blocco **TIMING GENERATOR**. Il blocco **CLK** (Clock) è necessario per trasmettere il segnale modulante generato, codificato secondo il codice NRZ (Not Return To Zero). Questo tipo di codice è tipico dei segnali digitali in logica TTL, costituiti da sequenze di 0 e 1. Il bit 1 viene individuato dalla presenza di un impulso pari al tempo del bit (Tbit), mentre il bit 0 viene individuato dall'assenza dell'impulso elettrico. Il segnale viene detto NRZ poiché, al termine di ciascun bit 1, lo stato logico non torna al livello basso. In figura 16 è mostrato il diagramma di tempificazione di un tipico segnale NRZ.

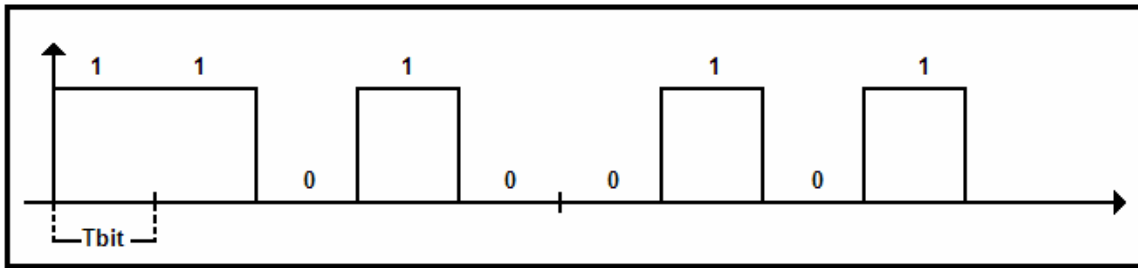


Figura 16. Diagramma temporale di un segnale NRZ

Il segnale modulante generato di tipo NRZ, può essere prelevato dal morsetto **NRZ** e applicato al morsetto **DATA IN**. Il segnale portante è di tipo sinusoidale e viene autogenerato dal modulo **SAMAR** e si può prelevare dal morsetto **CARRIER**.

Tramite il blocco **ASK MODULATOR**, viene generato il segnale modulato OOK che è possibile prelevare dal morsetto **ASK**.

### Montaggio del circuito

Lo schema di montaggio seguito è quello posto in figura 17.1 e 17.2.

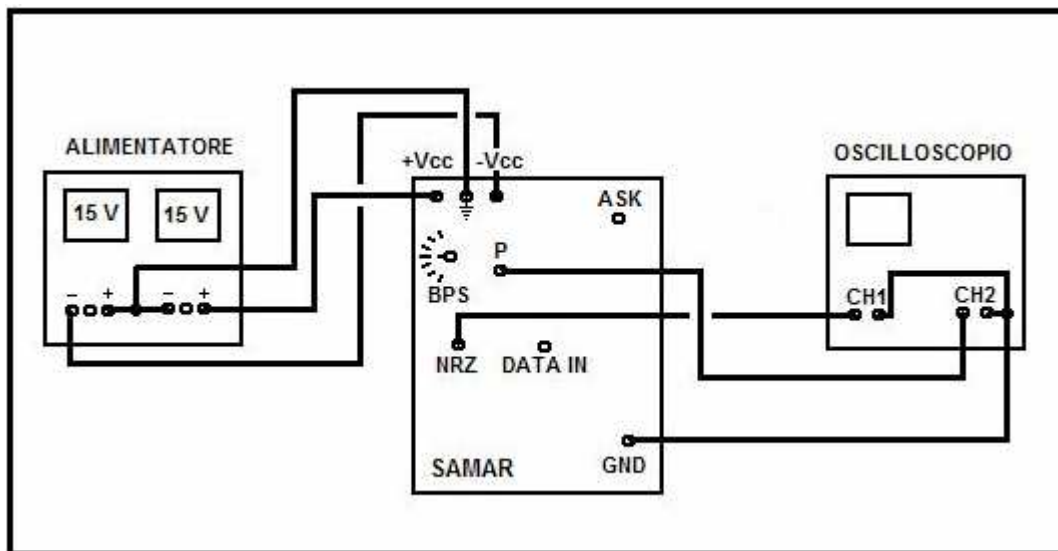


Figura 17.1.

Schema di montaggio attraverso il quale è possibile visualizzare il segnale portante e modulante

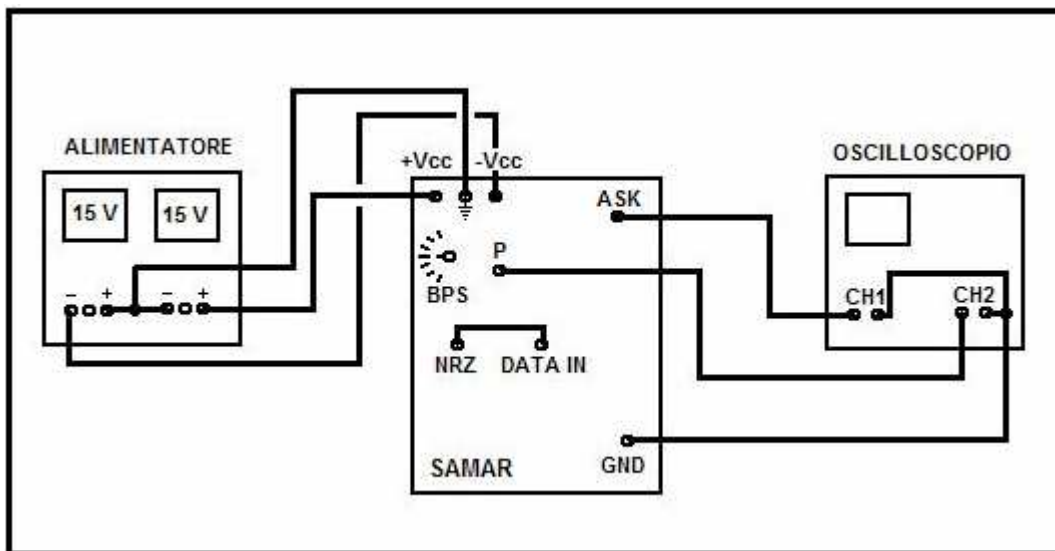


Figura 17.2.

Schema di montaggio attraverso il quale è possibile visualizzare il segnale portante e modulato OOK

Una volta alimentato il circuito con una tensione di  $\pm 15$  V mediante l'alimentatore **PENTATRADE DC DUAL POWER SUPPLY**, si è impostata la velocità di trasmissione su 2400 bps e si sono collegati i terminali **NRZ** e **DATA IN**. Attraverso l'oscilloscopio **UNAOHM G5020** è stato possibile visualizzare la portante e la modulante secondo lo schema di montaggio in figura 17.1.

Dalla visualizzazione dei due segnali è stato possibile ricavare i loro parametri fondamentali, riportati in tabella 1.

Tabella 1. Parametri fondamentali del segnale portante e modulante

	Ampiezza (Tensione picco-picco)	Periodo	Frequenza
<b>Portante</b>	1,5 Vpp	3,3 $\mu$ s	303 kHz
<b>Modulante (NRZ)</b>	5 Vpp	3,4 ms	294 Hz

Si precisa che il segnale portante è bipolare, mentre il segnale modulante è stato reso unipolare mediante un offset di tensione pari a 2,4 V, quindi il valore reale della sua ampiezza è di 7,4 V.

Secondo lo schema di montaggio di figura 17.2 è stato possibile visualizzare la portante e il segnale modulato OOK, che assume la stessa frequenza del segnale portante e ampiezza pari a 1,15 Vpp bipolare.

Il risultato finale del montaggio è posto in figura 18.



**Figura 18. Risultato finale della prova pratica**