



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

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

DOCENTE: PROF. ETTORE PANELLA
ALUNNO: DONATO TROCCOLI

Modulazione di ampiezza.

Studio in simulazione della modulazione AM e DSB-SC, analisi in simulazione e montaggio di un modulatore DSB-SC realizzato con l'integrato MC 1496.

In questa esercitazione si è eseguito lo studio della modulazione di ampiezza e della modulazione AM a doppia banda DSB-SC fornendo inizialmente alcuni cenni teorici e in seguito svolgendo lo studio in simulazione in ambiente PSpice. Infine viene riportata la realizzazione pratica del modulatore DSB-SC realizzato con l'integrato MC1496 su Breadboard verificandone il funzionamento con l'uso dell'oscilloscopio.

Cenni teorici

MODULAZIONE

Un problema fondamentale delle telecomunicazioni è quello di trasmettere un segnale informativo, di tipo analogico o digitale, da un trasmettitore ad un apparato posto ad una certa distanza detto ricevitore, attraverso un canale di trasmissione.

In fig. 1 si mostra lo schema semplificato di un sistema di trasmissione:



Figura 1. Schema a blocchi di un sistema di trasmissione.

Il trasmettitore ha il compito di **modulare**, cioè di adattare i messaggi da trasmettere, come suoni, immagini o impulsi digitali, al canale di trasmissione.

Quest'ultimo si può ricondurre a due strutture fondamentali:

- 1) cavi: doppino telefonico, cavo coassiale, guide d'onda, fibre ottiche;
- 2) antenne: radio, televisive, radar.

Nel primo caso il canale di trasmissione è un supporto fisico, invece nel secondo è lo spazio libero. Il ricevitore, ha viceversa, il compito di captare il segnale, anche di debole intensità, ed estrarre da questo l'informazione utile.

Il trasmettitore produce, tramite oscillatori sinusoidali o generatori di onde rettangolari, un segnale di opportuna frequenza denominato **portante**.

L'informazione da trasmettere, detta **modulante**, modifica una delle caratteristiche elettriche del segnale portante come, ampiezza, frequenza, fase, posizione, ecc. da tale interazione si ottiene un segnale risultante detto **segnale modulato**, che è quello effettivamente trasmesso.

L'informazione da trasmettere, suono, immagine, dato numerico, ecc., è convertita in un segnale elettrico da un apposito trasduttore, come ad esempio un microfono, una telecamera, ecc.

Il modulatore combina il segnale modulante con quello portante e genera il segnale modulato idoneo alla trasmissione, sul canale di comunicazione.

Al ricevitore il segnale modulato, spesso di debole intensità, è prima opportunamente amplificato e successivamente **demodulato**.

La demodulazione è l'inverso della modulazione e consente di eliminare la portante e rigenerare l'informazione elettrica originaria.

L'attuatore, altoparlante, monitor TV, ecc, compie l'operazione inversa di quella effettuata in trasmissione dal trasduttore così da presentare al destinatario l'informazione nella forma desiderata.

In definitiva la modulazione è necessaria per adattare il segnale da trasmettere al tipo di canale di comunicazione e permette l'utilizzo di antenne di piccole dimensioni mediante l'impiego di portanti in alta frequenza e ciò perché la lunghezza di un'antenna è inversamente proporzionale alla frequenza del segnale da trasmettere.

Poiché il segnale modulante può essere sia di tipo analogico (suono, immagine) che digitale (sistemi di trasmissione dati) sono possibili quattro tecniche di modulazione:

- 1) portante sinusoidale e modulante sinusoidale;
- 2) portante sinusoidale e modulante impulsiva;
- 3) portante impulsiva e modulante sinusoidale;
- 4) portante impulsiva e modulante impulsiva.

Delle quattro tecniche si è approfondita la prima.

MODULAZIONE DI AMPIEZZA CON PORTANTE E MODULANTE SINUSOIDALE.

La modulazione di ampiezza AM (Amplitude Modulation) consiste nel far variare l'ampiezza del segnale portante in modo direttamente proporzionale all'ampiezza istantanea della modulante. Il segnale modulato ha la stessa frequenza della portante. Se la portante è un segnale sinusoidale in alta frequenza che si può porre nella forma:

$$v_p(t) = V_p \cdot \cos(\omega_p t + \varphi) = V_p \cos \omega_p t$$

Avendo supposto per semplicità $\varphi = 0$;

mentre la modulante è, nel caso più semplice, di tipo sinusoidale e cioè vale:

$$v_m(t) = V_m \cdot \cos \omega_m t$$

Allora il segnale modulato in ampiezza assume l'espressione:

$$v(t) = (V_p + K_a \cdot V_m \cdot \cos \omega_m t) \cdot \cos \omega_p t$$

Dove K_a è una costante di proporzionalità che dipende dalle caratteristiche elettriche del modulatore impiegato. Essendo $\omega_p \gg \omega_m$, in un periodo del segnale modulante è contenuto un numero elevatissimo di oscillazioni del segnale portante.

In fig. 2 si mostrano, correlati tra loro, gli andamenti dei segnali $V_m(t)$, $V_p(t)$ e $V(t)$.

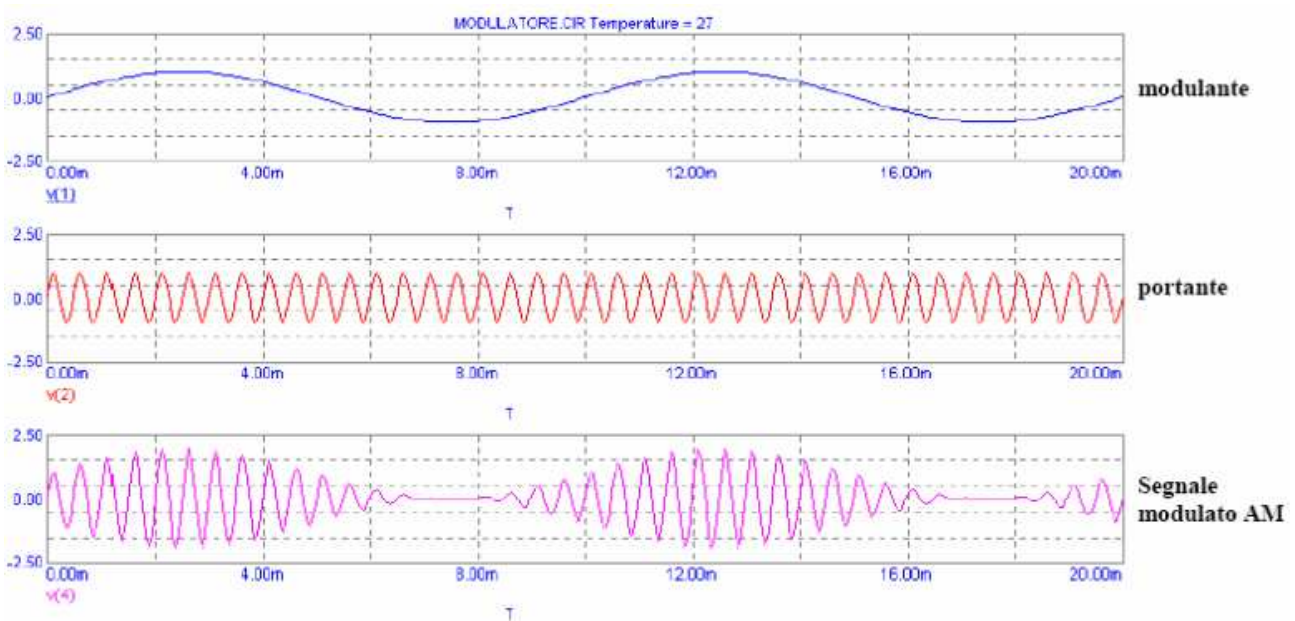


Figura 2. Relazione temporale tra segnale modulante, portante e modulato in un sistema AM.

L'espressione:

$$v(t) = (V_p + K_a \cdot V_m \cdot \cos \omega_m t) \cdot \cos \omega_p t$$

si può scrivere nella forma:

$$v(t) = V_p \cdot \left(1 + \frac{K_a \cdot V_m}{V_p} \cdot \cos \omega_m t \right) \cos \omega_p t = V_p (1 + m_a \cdot \cos \omega_m t) \cos \omega_p t$$

Il fattore

$$m_a = \frac{K_a \cdot V_m}{V_p}$$

prende il nome di **indice o profondità di modulazione** e deve essere minore di 1 affinché l'involuppo (per involuppo si intende il luogo dei punti di picco relativi al segnale modulato) del segnale modulato abbia lo stesso andamento dell'informazione

da trasmettere. Per $m_a > 1$ il segnale $v(t)$ si dice in **sovramodulazione**. In tal caso si introducono notevoli distorsioni nell'involuppo del segnale modulato che non consentono, in ricezione, una ricostruzione fedele dell'informazione. Nella radiodiffusione $m_a = 40\%$.

Sviluppando la seguente espressione :

$$v(t) = V_p (1 + m_a \cdot \cos \omega_m t) \cos \omega_p t$$

Si ha:

$$v(t) = V_p \cdot \cos \omega_p t + m_a V_p \cdot \cos \omega_p t \cdot \cos \omega_m t$$

Applicando la formula di Werner relativa al prodotto di funzioni coseno, si ha:

$$v(t) = V_p \cdot \cos \omega_p t + \frac{m_a V_p}{2} \cdot \cos(\omega_p - \omega_m) \cdot t + \frac{m_a V_p}{2} \cdot \cos(\omega_p + \omega_m) \cdot t$$

La precedente relazione mostra che un segnale AM, si può ritenere costituito dalla portante più due componenti cosinusoidali dette bande laterali. In fig. 3 si mostra lo spettro di frequenza del segnale modulante costituito dalla sola riga di ampiezza V_m e frequenza f_m .

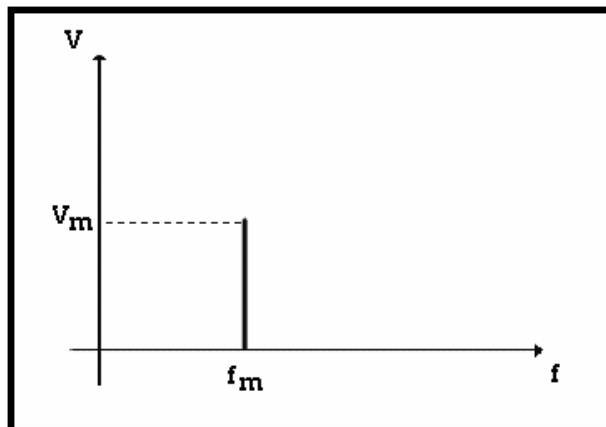


Figura 3. Spettro del segnale modulante.

In fig. 4 si riporta lo spettro del segnale modulato.

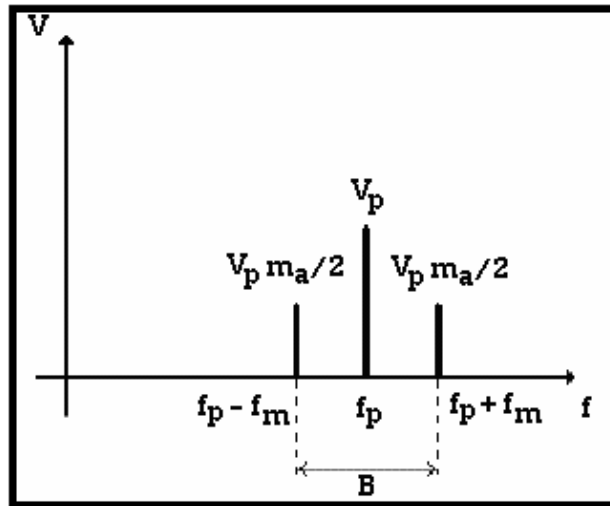


Figura 4. Spettro di un segnale AM nel caso di modulante sinusoidale.

Si definisce larghezza di banda o canale la quantità :

$$B = 2f_m.$$

Se il segnale modulante è una generica funzione periodica scomponibile in una somma di segnali sinusoidali (sviluppo in serie di Fourier) è possibile applicare per ognuno di essi il metodo precedentemente descritto; si otterranno, quindi, un insieme di oscillazioni laterali dovute alle singole componenti del segnale modulante. Nella figura 5 si mostra lo spettro in frequenza di un segnale modulante generico denominato segnale in banda base. Tale spettro si estende tra f_{\min} ed f_{\max} ed è stato indicato con un triangolo rettangolo, come si è soliti fare in campo telefonico. Nella figura 6 si riporta lo spettro del relativo segnale AM. Si osservi che la modulazione di ampiezza ha prodotto, sostanzialmente la traslazione o conversione di frequenza della banda base generando due bande: la banda laterale inferiore e la banda laterale superiore. Per tale motivo la modulazione AM è nota anche come modulazione in banda traslata.

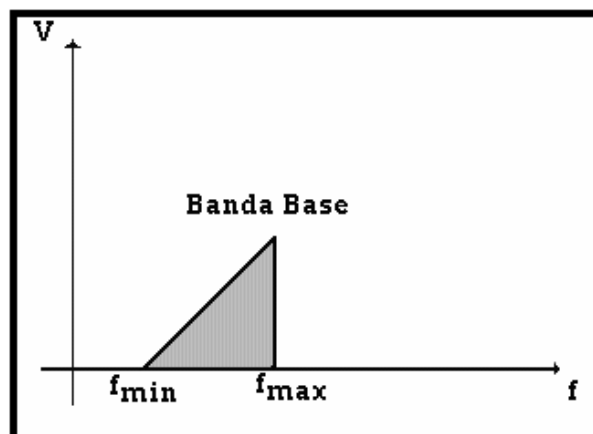


Figura 5. Spettro di frequenza del segnale modulante.

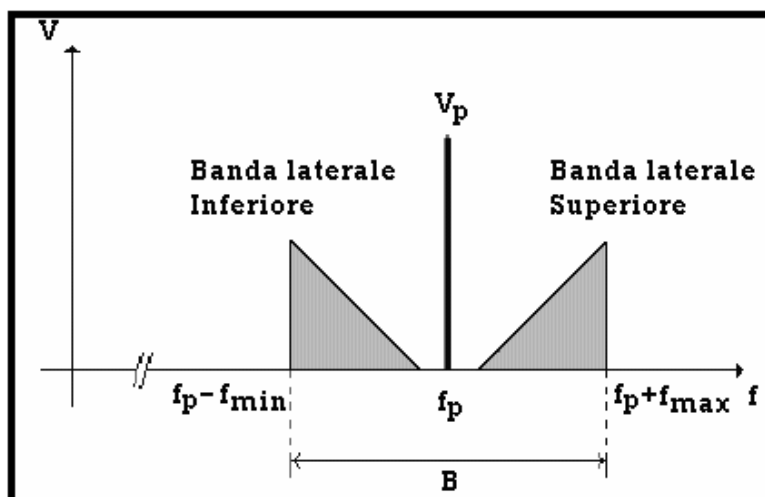


Figura 6. Spettro di frequenza di un segnale AM nel caso di modulante periodica con banda $f_{\max}-f_{\min}$.

Indicando con m_1, m_2, m_3, \dots gli indici di modulazione di ciascuna componente armonica, l'indice di modulazione complessivo m_a si valuta come la media geometrica degli indici di modulazione:

$$m_a = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + \dots}$$

Se f_{\max} è la massima frequenza contenuta nel segnale modulante, supposto periodico, la larghezza di banda risulta:

$$B = 2 \cdot f_{\max}$$

Nelle trasmissioni radiofoniche il segnale modulante è il suono il cui campo di frequenza si estende tra 20Hz ÷ 20kHz. La larghezza del canale AM di un segnale sonoro, quindi, dovrebbe occupare una banda $B=40\text{kHz}$. Per aumentare il numero di canali da moltiplicare si deve ridurre la larghezza di banda da assegnare a ciascuno di essi; si è stabilito, attraverso accordi internazionali, di fissare $B=10\text{kHz}$ in modo da non perdere eccessivamente la fedeltà in trasmissione. Nella radiodiffusione le trasmissioni AM sono allocate nella gamma di frequenze comprese tra **540kHz** e **1600kHz**. In tal modo avendo assegnato ad ogni canale una banda di 10kHz è possibile moltiplicare circa 100 comunicazioni contemporanee.

Quindi matematicamente un segnale AM con modulante sinusoidale è descritto dalla seguente relazione:

$$v(t) = V_p \cdot \cos \omega_p t + \frac{m_a V_p}{2} \cdot \cos(\omega_p - \omega_m) \cdot t + \frac{m_a V_p}{2} \cdot \cos(\omega_p + \omega_m) \cdot t$$

Se si indica con R la resistenza di uscita del circuito modulatore, la potenza complessiva del segnale AM è la somma di quella associata alla portante P_p più quella delle due oscillazioni laterali, inferiore P_{bi} e superiore P_{bs} :

$$P_{\text{tot}} = P_p + P_{bi} + P_{bs}$$

Sapendo che la potenza si può esprimere come $\frac{V^2}{R}$, la precedente vale:

$$P_{\text{tot}} = \frac{V_p^2}{2R} + \frac{m_a^2 \cdot V_p^2}{8R} + \frac{m_a^2 \cdot V_p^2}{8R} = \frac{V_p^2}{2 \cdot R} \cdot \left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right)$$

Si definisce rendimento di modulazione il rapporto tra la potenza associata ad una banda laterale e quella totale:

$$\eta = \frac{m_a^2 V_p^2 / 8R}{\frac{V_p^2}{2 \cdot R} \cdot \left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right)} = \frac{m_a^2}{2 \cdot (2 + m_a^2)}$$

La precedente relazione dice che il rendimento dipende della profondità di modulazione m_a . La formula mette in evidenza che la maggior parte della potenza del segnale modulato è attribuito alla portante che è priva di informazione. La restante potenza comprende le due bande simmetriche quindi la potenza utile è la metà di quella restante. Di conseguenza il rendimento di una trasmissione AM è molto basso. Se ad esempio l'indice di modulazione è uguale a 1 il rendimento è del 16.7%. Per ovviare a questo spreco di potenza è stata introdotta la modulazione a singola banda (SSB – Single Side Band), che effettua la parziale soppressione del segnale portante e di una banda laterale di un segnale modulato.

AM A DOPPIA BANDA DSB

Le considerazioni relative al rendimento di modulazione di un segnale AM hanno evidenziato che la potenza associata alle bande laterali rappresenta solo una piccola parte della potenza complessiva del segnale AM. Inoltre si è detto che la portante non contiene informazioni ma è solo un mezzo che ne consente il trasferimento tra apparato trasmittente e ricevente.

Per aumentare il rendimento di modulazione si impiega una tecnica denominata **DSB-SC** (Dual Side Band - Suppressed Carrier).

La DSB-SC ha un importante vantaggio rispetto alla modulazione AM normale (DSB - Full Carrier), che consiste nel sopprimere la portante e trasmettere solo le bande laterali. Il segnale trasmesso è, in questo caso, costituito dal solo prodotto di modulazione e il rendimento di modulazione teorico diventa del 50 %.

L'apparato ricevente per poter estrarre il segnale modulante, deve ricostruire il segnale AM completo di portante, ovvero si deve introdurre un segnale portante generato localmente avente la stessa frequenza e fase della portante soppressa in trasmissione, in modo da poter pilotare correttamente il rivelatore di inviluppo.

Il segnale $v_o(t)$ (modulato DSB) si può considerare il risultato del prodotto del segnale modulante $v_m(t)$ per un segnale rettangolare $y(t)$ di ampiezza ± 1 e frequenza pari a quella della portante.

$$v_o(t) = y(t) \cdot v_m(t) = y(t) \cdot V_m \text{sen} \omega_m t$$

Il segnale rettangolare $y(t)$, sviluppato in serie di Fourier, vale:

$$y(t) = \left(\frac{4}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\text{senn}\omega_p t}{n} \right) \quad (\text{per } n \text{ dispari})$$

Sostituendo la precedente relazione nella formula di $u_o(t)$ e considerando solo le prime armoniche dello sviluppo di Fourier si ha:

$$v_o(t) = \frac{4V_m}{\pi} \left(\text{sen}\omega_p t \cdot \text{sen}\omega_m t + \frac{1}{3} \text{sen}3\omega_p t \cdot \text{sen}\omega_m t + \frac{1}{5} \text{sen}5\omega_p t \cdot \text{sen}\omega_m t \right)$$

Ricordando che: $\text{sen}\alpha \cdot \text{sen}\beta = \frac{\cos(\alpha - \beta)}{2} - \frac{\cos(\alpha + \beta)}{2}$ si ricava:

$$\begin{aligned} v_o(t) = & \frac{4V_m}{\pi} \left[\frac{\cos(\omega_p - \omega_m) \cdot t}{2} - \frac{\cos(\omega_p + \omega_m) \cdot t}{2} \right] + \\ & + \frac{4V_m}{3\pi} \left[\frac{\cos(3\omega_p - \omega_m) \cdot t}{2} - \frac{\cos(3\omega_p + \omega_m) \cdot t}{2} \right] + \\ & + \frac{4V_m}{5\pi} \left[\frac{\cos(5\omega_p - \omega_m) \cdot t}{2} - \frac{\cos(5\omega_p + \omega_m) \cdot t}{2} \right] + \dots \end{aligned}$$

La precedente relazione fornisce lo spettro in frequenza riportato in fig. 9.

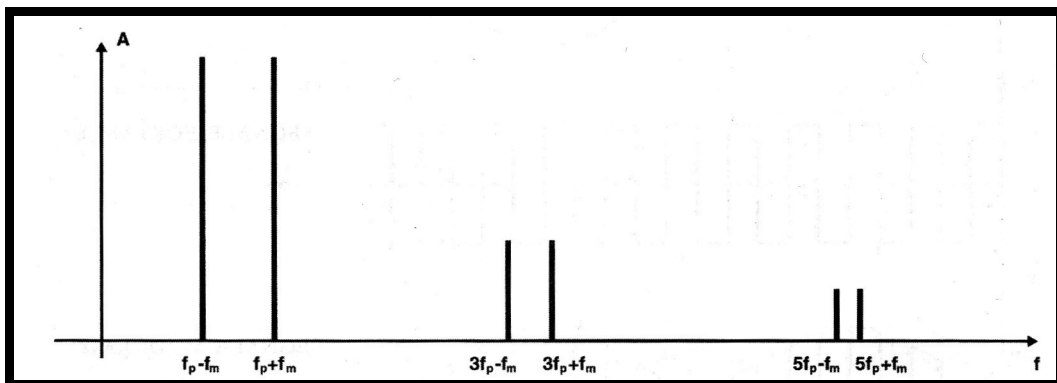


fig. 7.- Spettro in frequenza del segnale $v_o(t)$ del modulatore bilanciato.

Se si impiega un filtro passa banda con frequenza di centro banda pari a f_p e banda passante $B = 2f_m$ è possibile prelevare solo le prime due righe dello spettro di frequenza ottenendo, in tale modo, il richiesto segnale DSB.

In tali ipotesi il segnale $u_u(t)$ in uscita del filtro di banda contiene il solo prodotto di modulazione e vale:

$$v_u(t) = \frac{4V_m}{\pi} \left[\frac{\cos(\omega_p - \omega_m)t}{2} - \frac{\cos(\omega_p + \omega_m)t}{2} \right]$$

Poiché è impossibile ottenere un perfetto bilanciamento del segnale portante è sempre presente un residuo di portante nello spettro del segnale DSB. In fig. 10 si riportano le tipiche forme d'onda del segnale modulante, portante e del segnale modulato DSB.

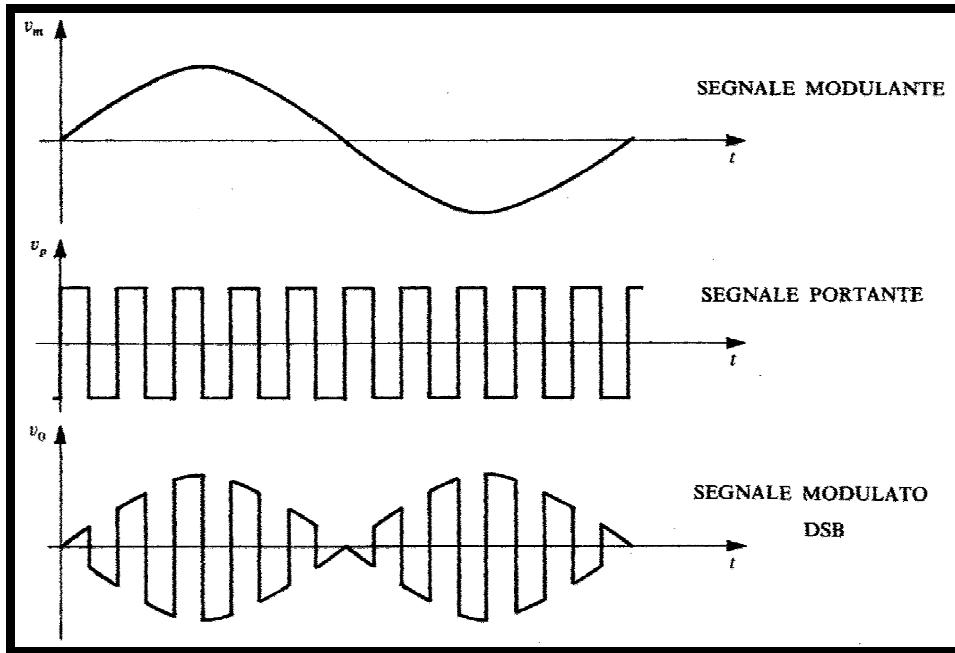


Fig. 8.- Forme d'onda per il modulatore bilanciato

AMBIENTE P-SPICE

Di seguito si riporta lo schema con cui si ottiene la modulazione DSB e la modulazione AM:

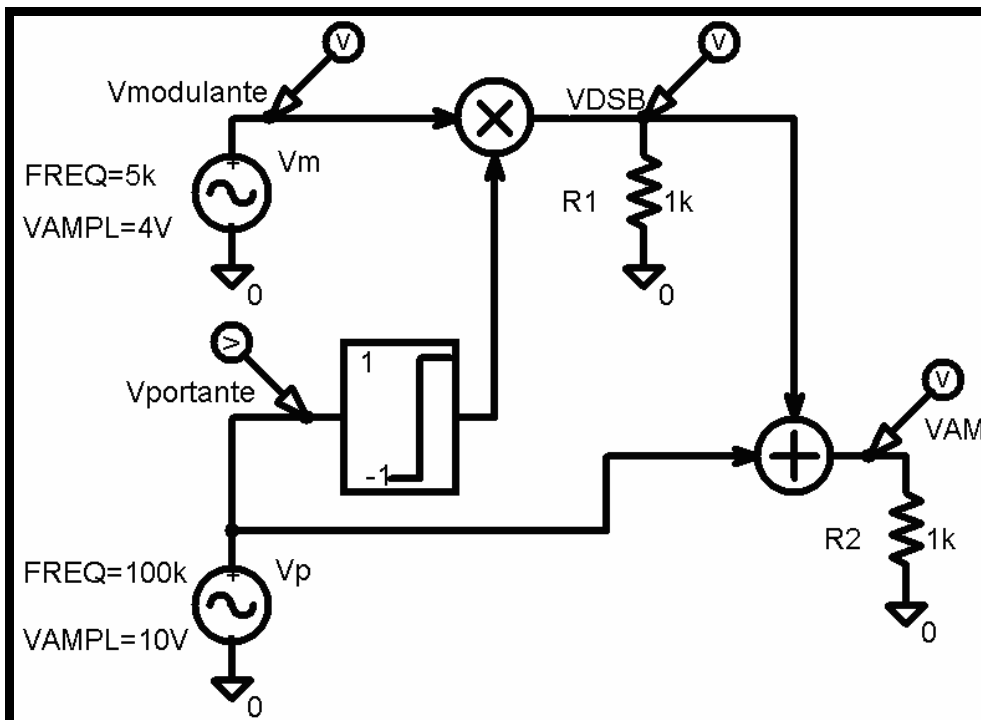


Figura 9. Schema in P-spice per ottenere separatamente la modulazione DSB e AM.

Si può notare la presenza di un limitatore, che serve a squadrare il segnale portante, in modo da ottenere un segnale ad onda quadra bipolare di ampiezza unitaria, che viene moltiplicato per il segnale modulante, così da ottenere in uscita un segnale modulato DSB.

Invece la modulazione AM è ottenuta come somma della portante (non squadrata) con il segnale modulato DSB.

Si premette che i valori di frequenza e ampiezza del segnale modulante e portante sono stati scelti in modo tale da ottenere dei buoni grafici nella visualizzazione dei segnali. Ovviamente in una realizzazione pratica reale $f_p \gg f_m$.

Nella figura che segue si possono vedere, dall'alto verso il basso, l'andamento temporale del segnale modulante, portante, modulato DSB e modulato AM.

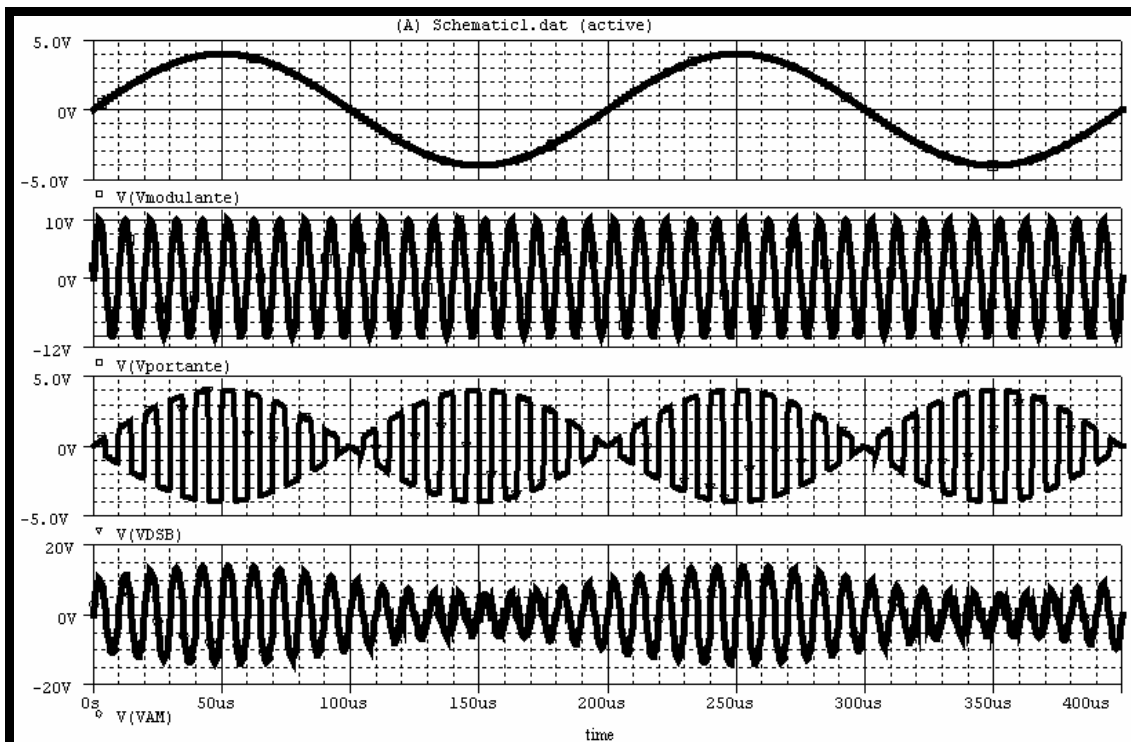


Figura 10. Andamento temporale dei segnali Vm, Vp, VDSB e VAM.

Utilizzando il comando FFT si è visualizzato lo spettro in frequenza dei segnali visti precedentemente :

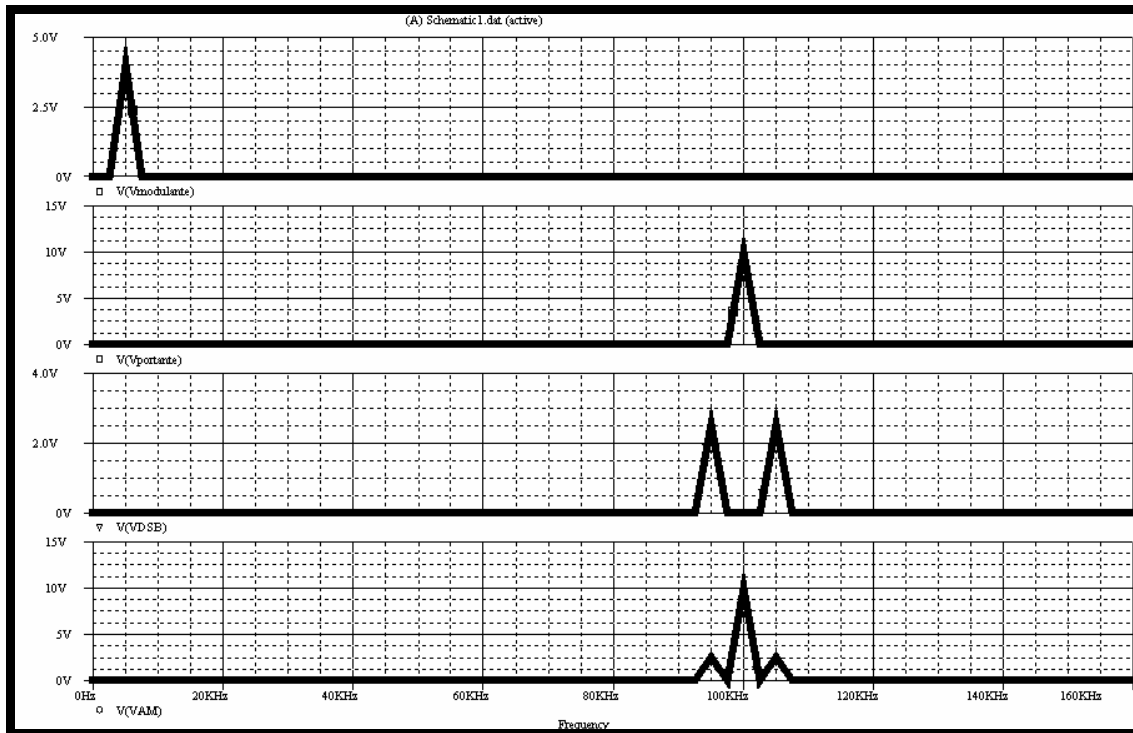


Figura 11. Spettro in frequenza dei segnali V_m , V_p , V_{DSB} e V_{AM} .

In figura si mostra il circuito in simulazione per ottenere la modulazione DSB, che utilizza l'integrato modulatore bilanciato MC1496 :

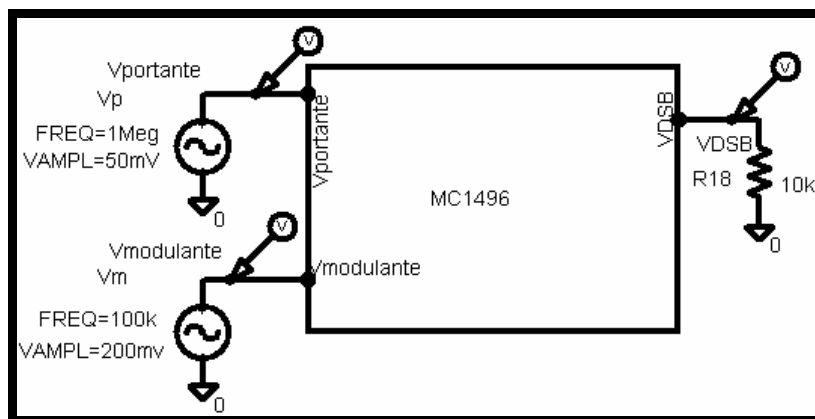


Figura 12. Modulatore DSB-SC con integrato modulatore bilanciato.

Di seguito si riporta il circuito equivalente dell'integrato comprese le due alimentazioni V_{dd} e V_{ss} necessarie per il funzionamento.

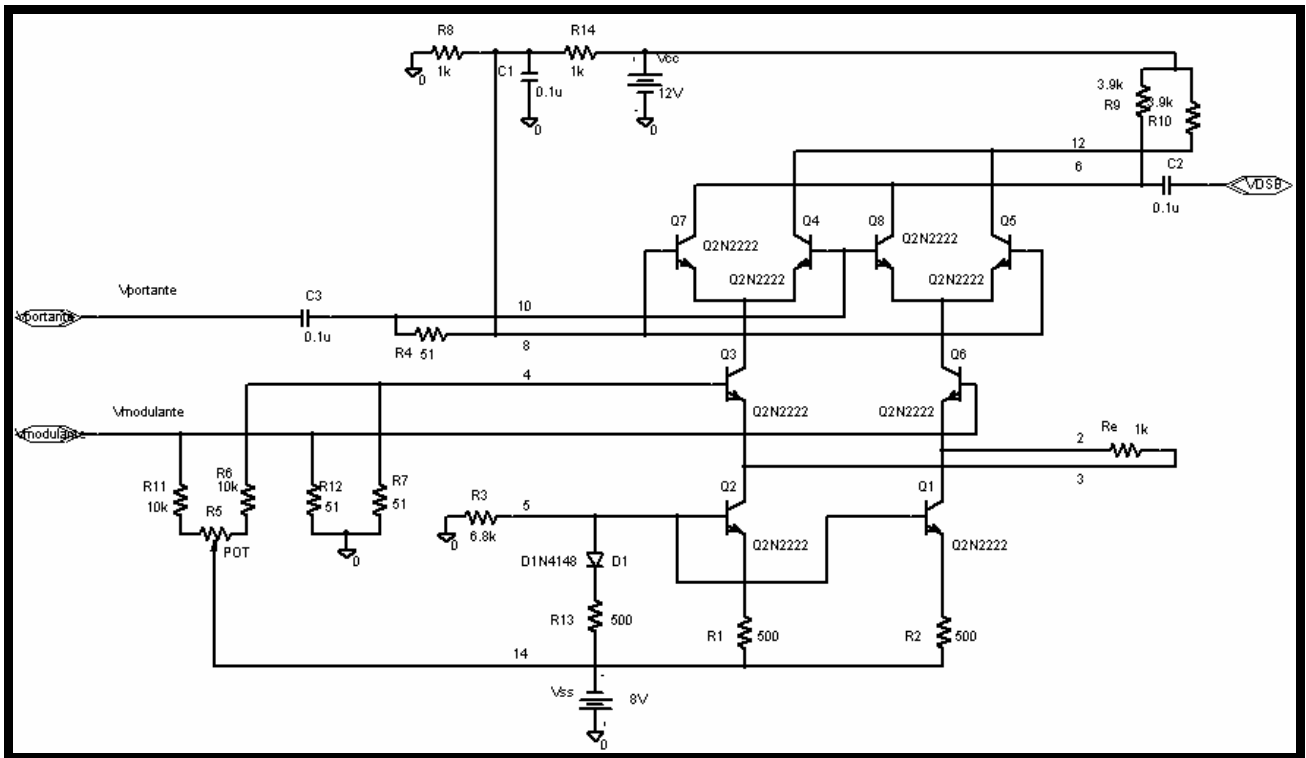


Figura 13. Circuito equivalente del MC1496 completo di alimentazioni.

Con la simulazione del circuito si possono osservare gli andamenti temporali del segnale modulante, portante e modulato DSB :

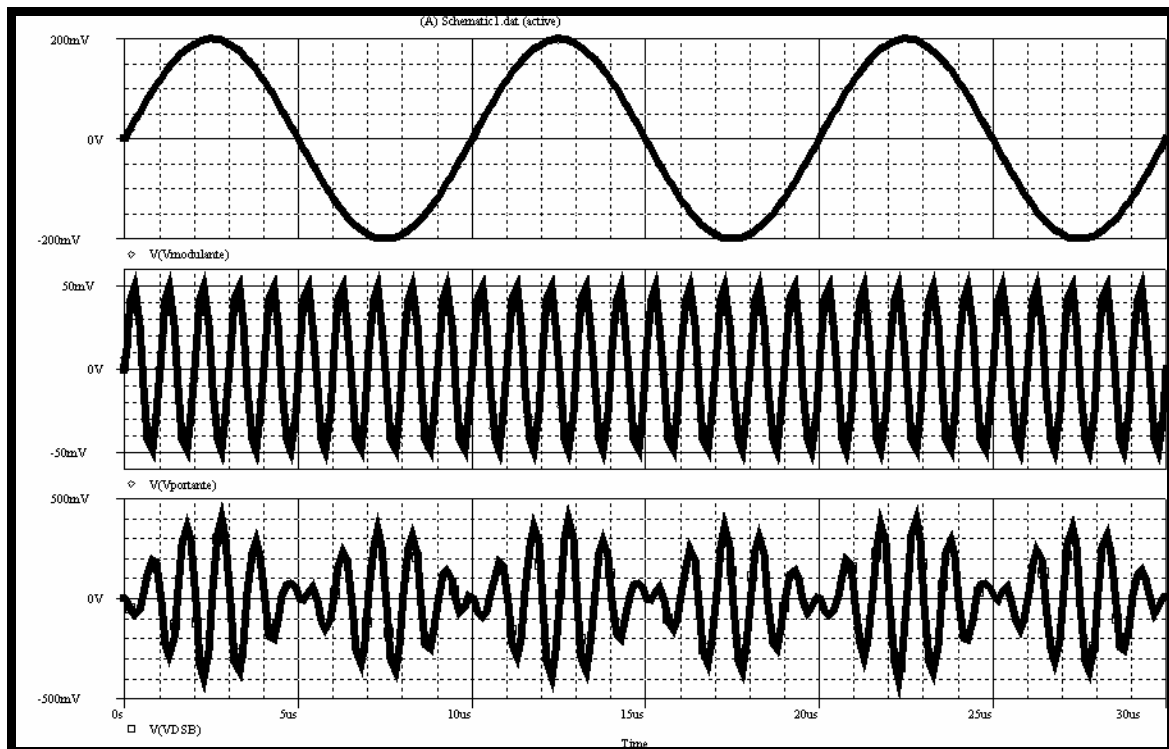


Figura 14. Andamento temporale dei segnali V_m , V_p e VDSB.

Utilizzando il comando FFT si è visualizzato lo spettro in frequenza dei segnali visti precedentemente :

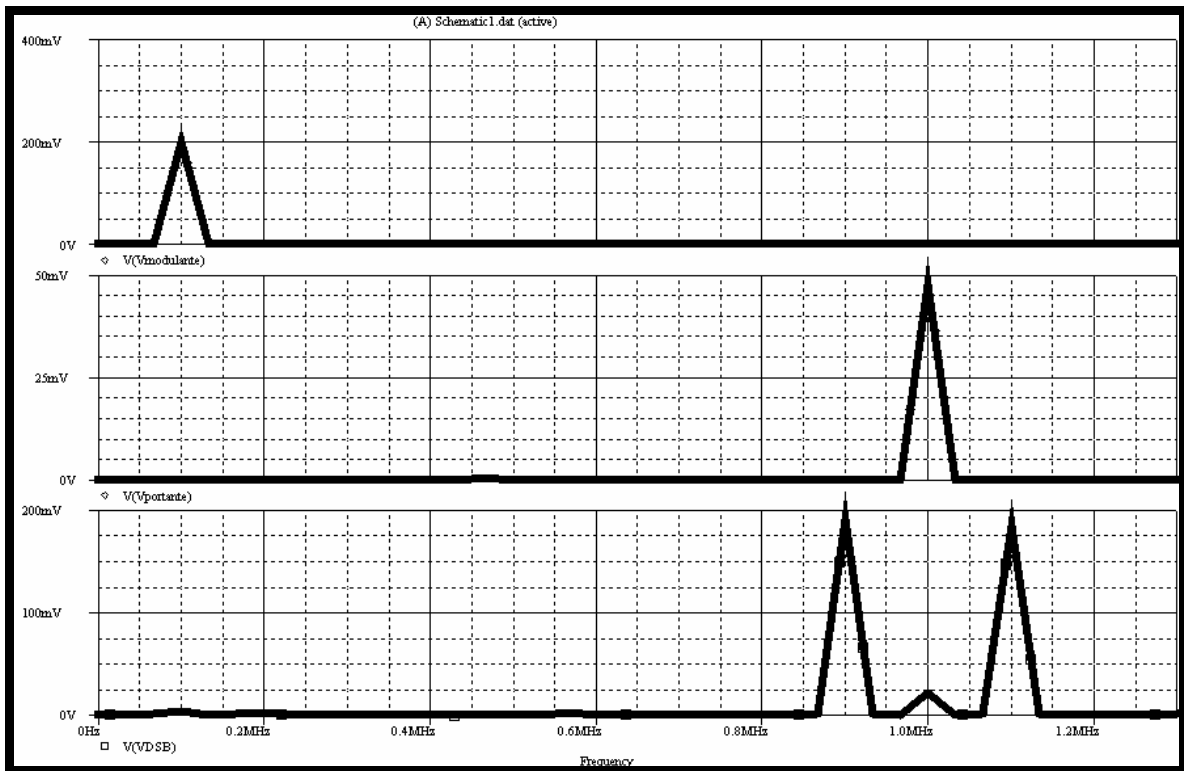


Figura 15. Spettro in frequenza del segnale V_m in bassa frequenza e dei segnali V_p e V_{DSB} in alta frequenza.

La simulazione del modulatore DSB con circuito equivalente dell'integrato MC1496 è stata effettuata anche in ambiente Electronics Workbench e di seguito si riporta solo lo schema realizzato:

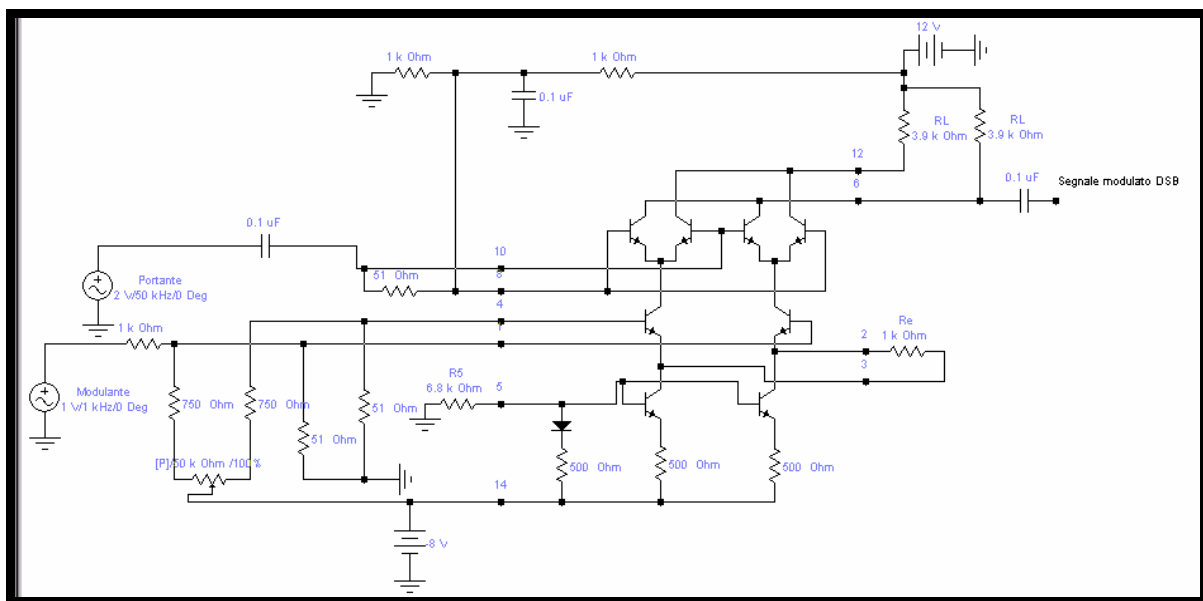


Figura 16. Circuito equivalente in configurazione modulatore DSB-SC.

ESECUZIONE PRATICA

In questa esercitazione si è montato su breadboard un circuito modulatore DSB- SC facendo uso dell'intergrato specializzato MC1496.

Si riporta lo schema elettrico seguito per il montaggio:

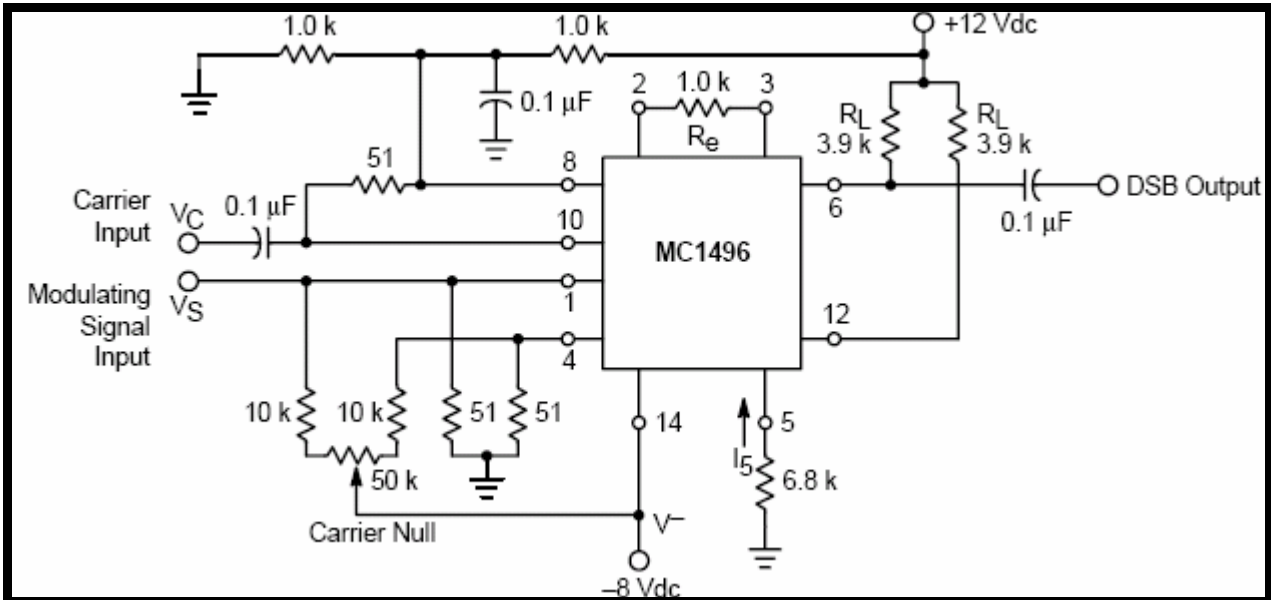


Figura 17. Schema elettrico di un modulatore bilanciato con MC1496.

I componenti utilizzati sono i seguenti: IC MC1496, 3 resistori da 1 kΩ, 3 resistori da 51 Ω, 2 resistori da 10 kΩ, 2 resistori da 3.9 kΩ, 1 resistore da 6.8 kΩ, 3 condensatori da 0.1 μF e 1 potenziometro da 47 kΩ.

Gli strumenti utilizzati sono : breadboard, fili conduttori, pinza spella fili, alimentatore PENTATRADE DC-DUAL POWER SUPPLY , 3 sonde, oscilloscopio UNAOHM G 5020, 2 generatori di funzioni ESCORT EFG-3210. Di seguito si riporta la piedinatura dell'integrato MC1496 e il circuito montato sulla basetta:

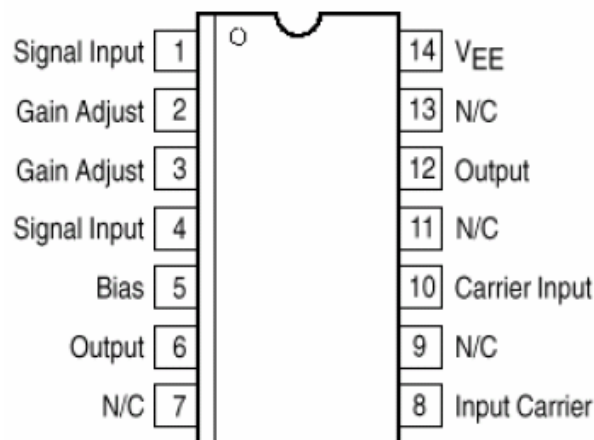


Figura 17. Piedinatura dell'integrato MC1496.

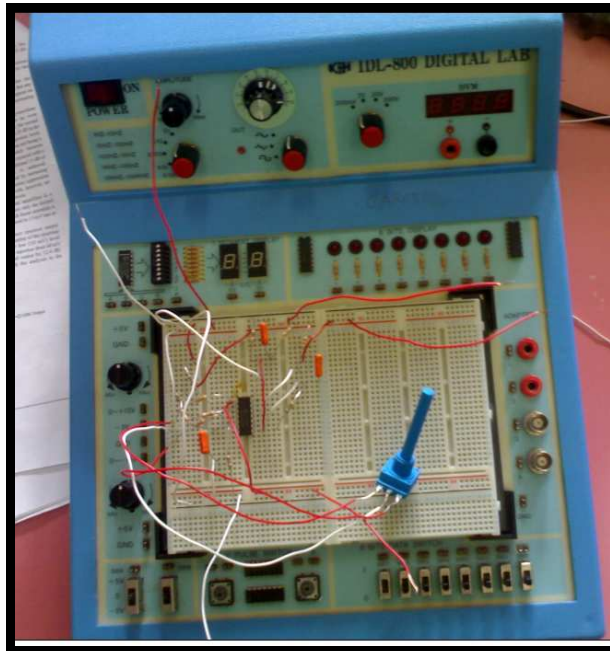


Figura 18. Circuito a montaggio completato.

Attraverso l'alimentatore duale si è fornita un'alimentazione di +12 volt al piedino 6 dell'integrato, e un'alimentazione di -8 volt al piedino 14.

Utilizzando i due generatori di funzione sopra citati, si sono inviati, attraverso due sonde differenti, il segnale modulante sinusoidale (piedino 1) e il segnale portante ad onda quadra (piedino 10), impostando la frequenza della portante 10 volte maggiore di quella della modulante.

In questo modo, utilizzando la terza sonda, si è prelevato dal piedino 6 il segnale modulato DSB.

Si è collegata la sonda ad un canale dell'oscilloscopio tramite innesto BNC, e dopo aver alimentato il circuito si è potuto osservare sullo schermo dell'oscilloscopio la forma d'onda del segnale modulato DSB come in figura:

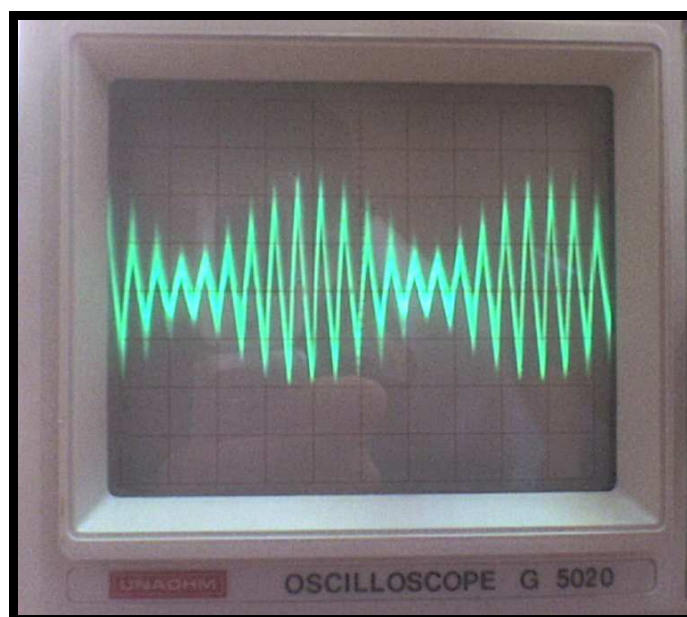


Figura 20. Visualizzazione del segnale modulato DSB.