

## 2.4 I diodi nella modulazione dei segnali

I diodi possono svolgere una funzione particolare, tra le altre già menzionate: quella di modulazione dei segnali a basso livello (modulazione non lineare).

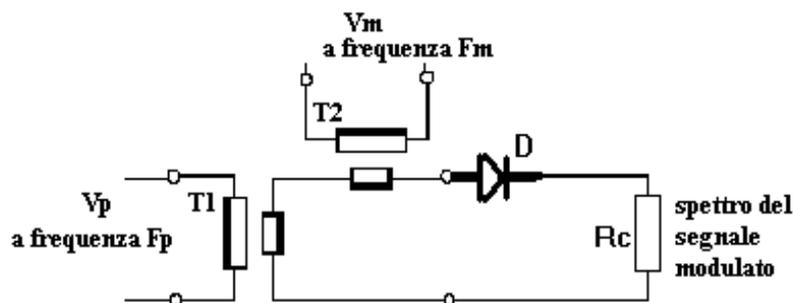
Il processo di modulazione è una tecnica con la quale si modifica l'ampiezza di un segnale a frequenza elevata (detto portante) con un altro segnale a frequenza inferiore (detto modulante).

Di modulazione si tratta, ad esempio, nelle trasmissioni radio A.M. (Ampiezza Modulata) nelle quali la "portante" (segnale a frequenza generalmente superiore ai 500 KHz) serve da supporto per la "modulante" (segnale a bassa frequenza in voce o musica), affinché quest'ultima possa attraversare l'etere.

Non ci occuperemo in questa sede della modulazione radio, che fa parte di una branca tutta particolare dell'elettronica, ma della modulazione di piccoli segnali necessaria in alcune applicazioni di elettronica analogica.

Il più semplice circuito di modulazione a diodo è mostrato in figura 2.12:

figura 2.12



Il modulatore è formato: dal trasformatore T1, al quale è applicata la tensione portante  $V_p$  a frequenza  $F_p$ , dal trasformatore T2, al quale è applicata la tensione modulante  $V_m$  a frequenza  $F_m$ , e dal diodo D collegato alla resistenza di carico  $R_C$ . Il funzionamento del circuito si basa sulla caratteristica di non linearità del diodo nel tratto iniziale di conduzione che, ricevendo la somma delle due tensioni  $V_p$  e  $V_m$ , la distorce dando luogo ad un insieme di segnali (lo "spettro di modulazione") le cui frequenze sono di seguito indicate:

- il segnale di frequenza  $F_d$  pari alla differenza tra le frequenze  $F_p$  e  $F_m$
- il segnale  $F_s$  di frequenza pari alla somma tra le frequenze  $F_p$  e  $F_m$
- quota del segnale  $F_p$
- quota del segnale  $F_m$
- il segnale  $F_{2m}$  di frequenza pari al doppio di  $F_m$
- il segnale  $F_{2p}$  di frequenza pari al doppio di  $F_p$

I due segnali  $F_d$  e  $F_s$  sono dette righe laterali.

Se la modulante  $F_m$  è costituita da una banda di frequenze, invece che da una sola frequenza, alle righe laterali si sostituiscono due insiemi di frequenze dette bande laterali.

Vediamo due esempi di come si caratterizzano numericamente gli spettri di modulazione:

### **1\* esempio-Dati di base:**

Si calcoli lo spettro di modulazione nel caso che la tensione portante  $V_p$  abbia la frequenza  $F_p = 150000$  Hz e la tensione modulante  $V_m$  abbia la frequenza  $F_m = 7000$  Hz; se ne traccino i grafici.

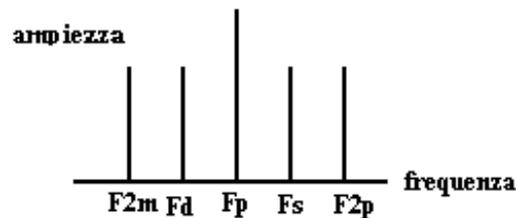
### **Computazioni dello spettro di modulazione e grafici:**

Sulla resistenza di carico  $R_c$  avremo le seguenti combinazioni di modulazione elencate iniziando da quella avente frequenza inferiore:

$$\begin{aligned}
 F_{2m} &= 2 * F_m = 14000 \text{ Hz} \\
 F_d &= F_p - F_m = 143000 \text{ Hz} \\
 F_p &= 150000 \text{ Hz} \\
 F_s &= F_p + F_m = 157000 \text{ Hz} \\
 F_{2p} &= 2 * F_p = 300000 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

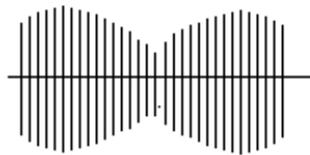
In figura 2.13 si traccia lo spettro di modulazione mediante un grafico a righe in cui in ascisse vengono posizionate le frequenze e in ordinate le ampiezze dei singoli segnali, entrambe non in scala:

figura 2.13



Se filtriamo lo spettro di modulazione in modo da bloccare il passaggio di tutte le frequenze sotto e sopra le righe laterali otteniamo la portante modulata che si presenta, se vista su di un oscilloscopio, come indicato in figura 2.14.

figura 2.14



Nella figura 2.14 i tratti fitti rappresentano la tensione della portante, alla frequenza di 150000 Hz, la cui ampiezza varia in dipendenza dell'ampiezza del segnale modulante  $V_m$ ; lo spettro di questo segnale è composto soltanto da:

$$\begin{aligned}
 F_d &= F_p - F_m = 143000 \text{ Hz} \\
 F_p &= 150000 \text{ Hz} \\
 F_s &= F_p + F_m = 157000 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

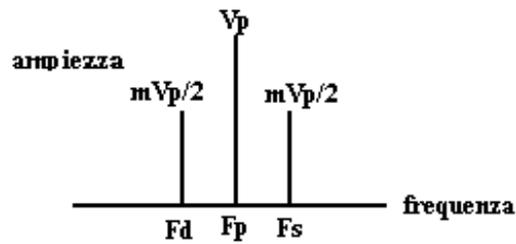
**Osservazioni:**

Nell' esempio illustrato non abbiamo messo in evidenza i rapporti esistenti tra le ampiezze dei segnali che compongono lo spettro di modulazione, detti rapporti dipendono da un particolare coefficiente "m" detto grado di modulazione espresso dal rapporto tra l'ampiezza di picco della tensione modulante  $(V_m)_{picco}$  e l'ampiezza della tensione portante  $(V_p)_{picco}$ :

$$m = (V_m)_{picco} / (V_p)_{picco}$$

Una volta stabilito il grado di modulazione le ampiezze delle varie parti dello spettro risultano determinate così come indicato in figura 2.15:

figura 2.15



**2\* esempio-Dati di base:**

Si calcoli lo spettro di modulazione nel caso che la tensione portante  $V_p$  abbia la frequenza  $F_p = 100000$  Hz e la tensione modulante  $V_m$  sia composta da una banda di segnali compresa tra

$F_{m1} = 5000$  Hz e  $F_{m2} = 8000$  Hz.

Si filtri lo spettro di modulazione in modo da bloccare il passaggio di tutte le frequenze sotto e sopra le bande laterali e se ne tracci il diagramma.

**Computazioni dello spettro di modulazione e grafico:**

In questo caso, collegato un filtro ai capi della resistenza di carico  $R_c$ , avremo, in uscita dello stesso, le seguenti le combinazioni di modulazione elencate iniziando da quella avente frequenza inferiore:

Se indichiamo:

-con  $F_{da}$  e  $F_{db}$  rispettivamente l'estremo inferiore e l'estremo superiore della banda laterale bassa

-con  $F_{sa}$  e  $F_{sb}$  rispettivamente l'estremo inferiore e l'estremo superiore della banda laterale alta

abbiamo:

$$F_{da} = F_p - F_{m1} = 95000 \text{ Hz}$$

$$F_{db} = F_p - F_{m2} = 92000 \text{ Hz}$$

$$F_p = 100000 \text{ Hz}$$

$$F_{sa} = F_p + F_{m1} = 105000 \text{ Hz}$$

$$F_{sb} = F_p + F_{m2} = 108000 \text{ Hz}$$

In figura 2.16 è tracciato lo spettro del nuovo segnale modulato nel quale le bande laterali sono evidenziate in grigio ( il grafico non è in scala):

figura 2.16

