

## Modulazione di Ampiezza

Modulare in ampiezza vuol dire variare l'ampiezza di una portante a frequenza più alta seguendo l'ampiezza di una modulante a frequenza più bassa.

L'operazione di modulazione di ampiezza si effettua partendo da un segnale elettrico prodotto da un oscillatore a radiofrequenza ( ad esempio le frequenze AM della radio intorno al MHz) che costituisce la portante.

La portante trasporta a distanza l'informazione racchiusa nel segnale a bassa frequenza detto modulante che "scrive" l'informazione variando l'ampiezza della portante.

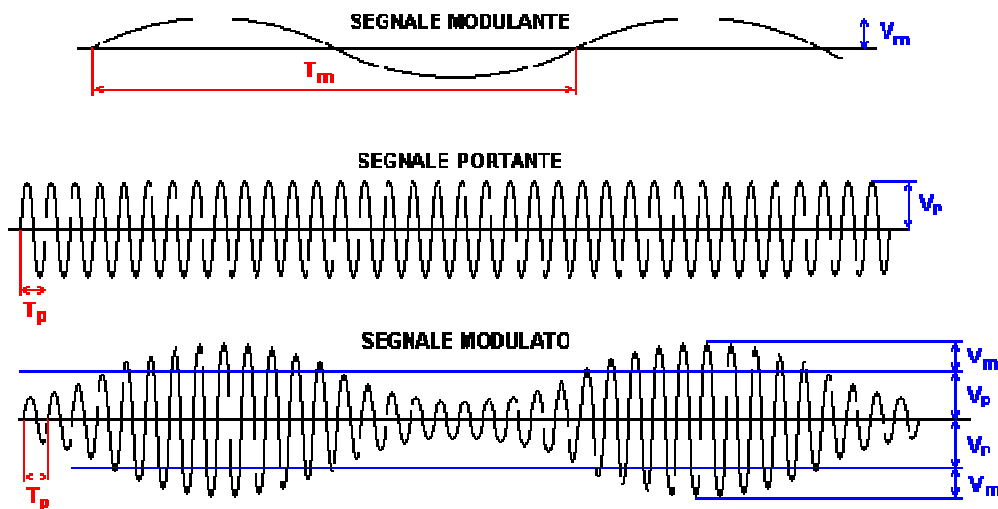
$$\begin{aligned}
 v_m(t) &= V_m \cos \omega_m t && \text{segnale modulante} \\
 v_p(t) &= V_p \cos \omega_p t && \text{segnale portante} \\
 v_{AM}(t) &= (V_p + V_m \cos \omega_m t) \cos \omega_p t && \text{segnale modulato}
 \end{aligned}$$

La portante è analogica, la modulante è analogica

Nell'esempio che segue il segnale portante è costituito da una sinusoide e la modulante, che è in generale un segnale analogico, è, per semplicità di calcolo, un'altra sinusoide.

Nello schema seguente sono indicati i tre segnali: modulante, a bassa frequenza, portante, ad alta frequenza, modulato, con la frequenza della portante, ma l'ampiezza che varia secondo la modulante.

Sono indicati anche i periodi e le ampiezze dei tre segnali.



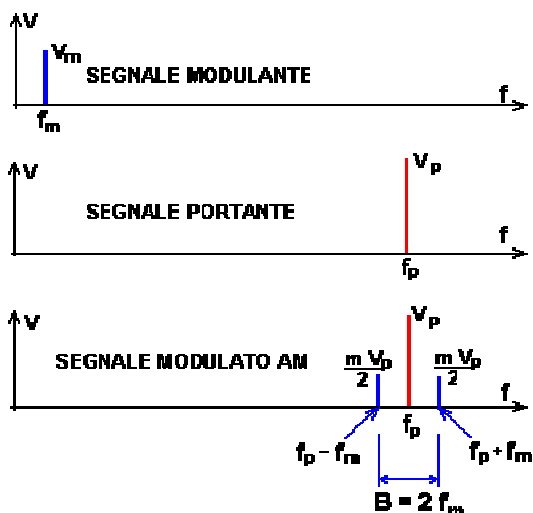
deve esistere la condizione:

$$f_p \gg f_m$$

Definiamo l'indice di modulazione, o profondità di modulazione, come il rapporto fra l'ampiezza del segnale modulante e l'ampiezza del segnale portante  $m = \frac{V_m}{V_p}$

L'espressione del segnale modulato potrà scriversi come segue:

$$v_{AM}(t) = V_p \cos \omega_p t + \frac{mV_p}{2} \cos(\omega_p - \omega_m)t + \frac{mV_p}{2} \cos(\omega_p + \omega_m)t$$



Questa si interpreta come la somma di tre funzioni sinusoidali di cui la prima coincide con la portante a riposo, e le altre due sono due sinusoidi di ampiezza:  $\frac{mV_p}{2}$  che come frequenza hanno: una la somma, e una la differenza fra frequenze portante e modulante.

Ne nasce la rappresentazione nel dominio delle frequenze di figura, dove sono rappresentate: il segnale modulante, il segnale portante e il segnale modulato in ampiezza.

Si osservi come l'operazione di modulazione ha dato luogo ad una traslazione in frequenza del segnale modulante  $f_m$  della quantità  $f_p$ .

Si osservi la larghezza di banda del segnale modulato che risulta essere il doppio della frequenza  $f_m$  modulante, infatti:

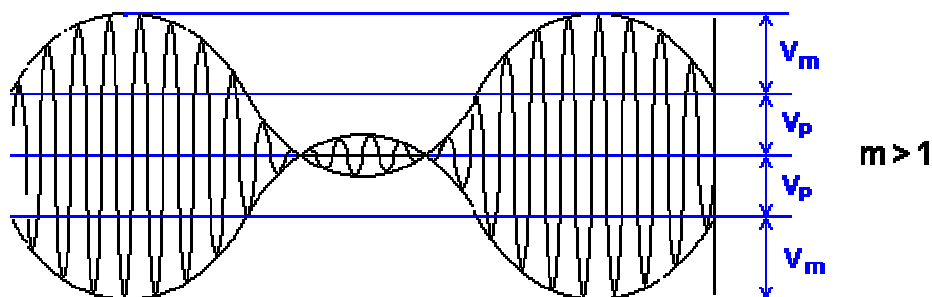
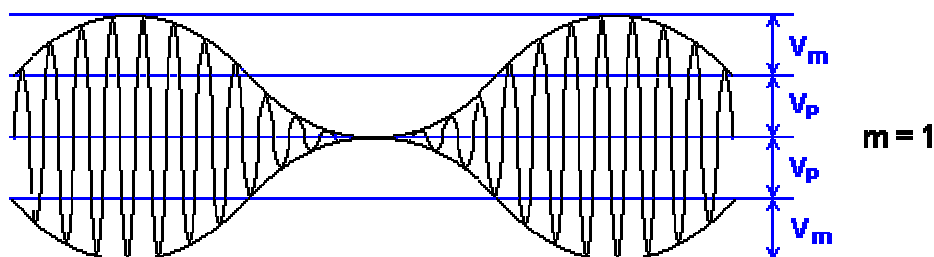
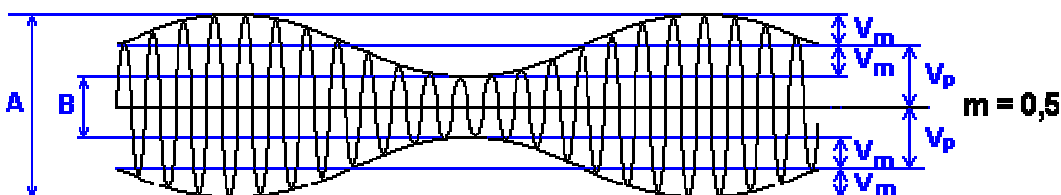
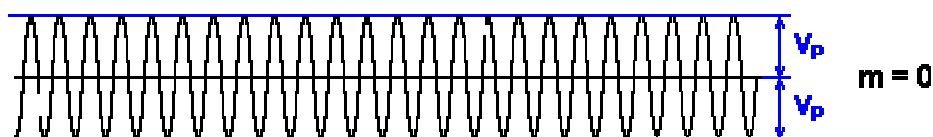
L'indice di modulazione  $m$  può variare fra 0 e 1 :

$$0 < m < 1$$

Ricordando la formula di  $m$ :

$$m = \frac{V_m}{V_p}$$

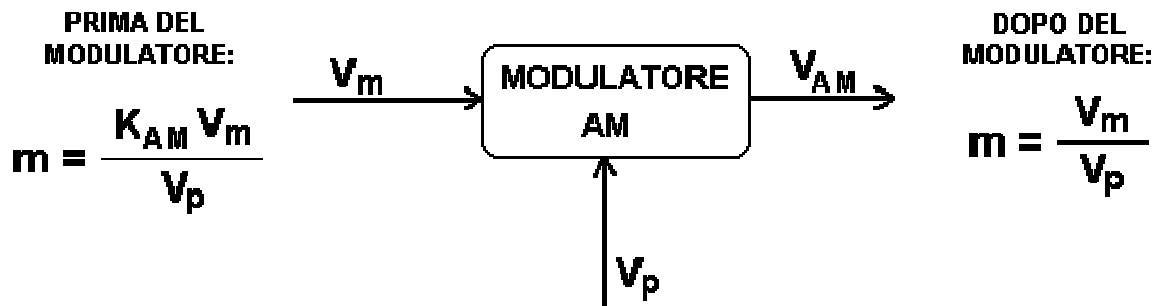
osserviamo infatti che se è 0 vuol dire che non c'è modulante, quindi non si trasmette alcuna informazione, pur impegnando il canale con la portante. Se è 0,5 siamo nelle condizioni ottimali. Se è 1 siamo di fronte al massimo della modulazione. Se è  $> 1$  allora siamo in forte distorsione da crossover come rappresentato in figura.



$$m = \frac{A - B}{A + B} = \frac{(2V_p + 2V_m) - (2V_p - 2V_m)}{(2V_p + 2V_m) + (2V_p - 2V_m)} = \frac{4V_m}{4V_p} = \frac{V_m}{V_p}$$

L'indice di modulazione  $m$  si può rilevare dall'immagine di sopra con la formula:

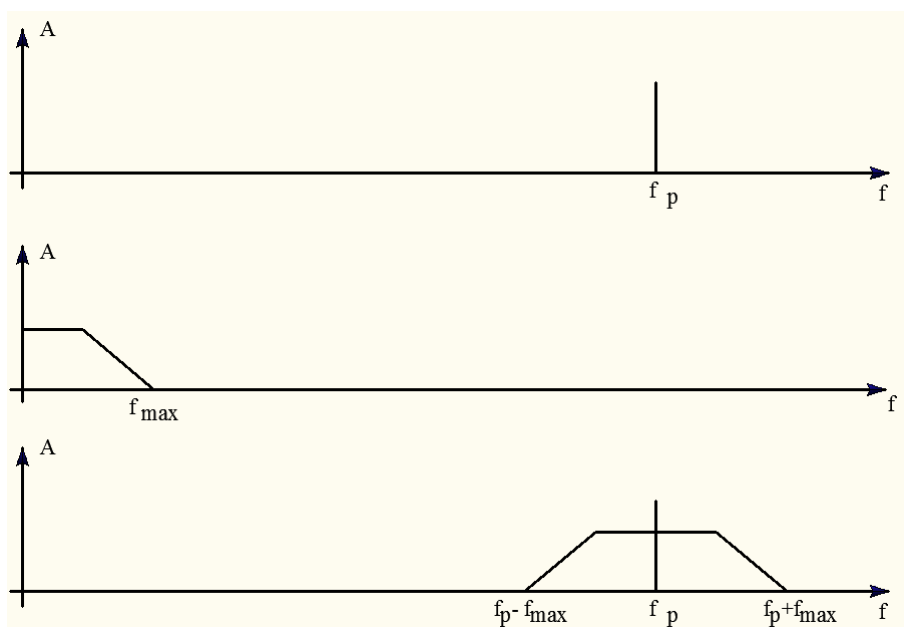
L'indice di modulazione fin qui descritto è rilevato in antenna, cioè all'uscita del modulatore, ma talora si dispone del segnale all'ingresso del modulatore, in tal caso si deve tenere conto della costante del modulatore  $K_{AM}$  e la formula diventa:



Ricordando il teorema di Fourier :

Un segnale  $s(t)$  periodico con periodo  $T$ , purché integrabile, è esprimibile come la somma di un termine costante ( valor medio del segnale ) e di infinite sinusoidi, denominate armoniche, aventi frequenza multipla di quella del segnale armonica fondamentale, ampiezze e fasi determinate da opportuni coefficienti  $A_n$  e  $B_n$  calcolabili mediante integrazione.

Un segnale  $s(t)$  non periodico, purché integrabile, è esprimibile come la somma di un termine costante ( valor medio del segnale ) e di infinite sinusoidi.



Quindi se il segnale da trasmettere occuperà una banda come in figura con  $f_{max}$  come frequenza massima, il segnale modulato occuperà una banda in frequenza  $B=2f_{max}$