LA MODULAZIONE DI AMPIEZZA

Modulare in ampiezza vuol dire far variare l'ampiezza di una **portante** *a radiofrequenza secondo l'ampiezza di una* **modulante** *a bassa frequenza.*

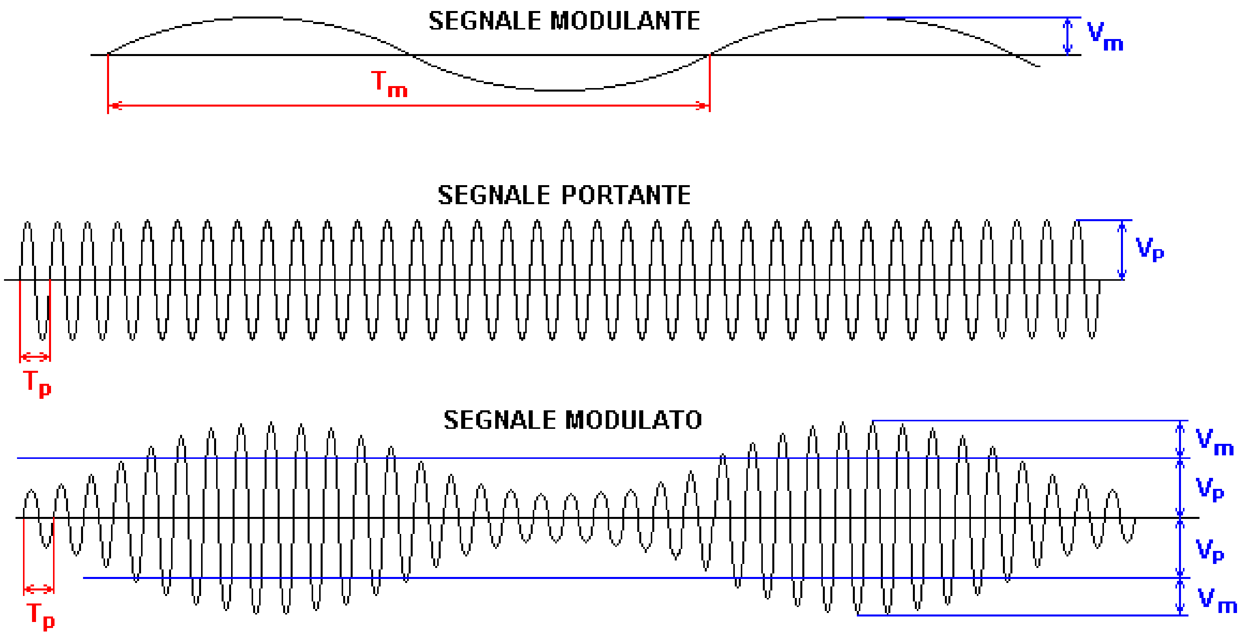
L'operazione di **modulazione di ampiezza** *si effettua partendo da un* **segnale elettrico** *prodotto da un* **oscillatore a radiofrequenza**, *cioè alle frequenze usualmente usate nelle trasmissioni radio che vanno dal* **megahertz** *in su, e che costituisce la* **portante.**

Di questo ci si serve per **portare**, *appunto, a distanza l'informazione racchiusa nel segnale a bassa frequenza detto* **modulante**.

Il segnale **portante** *è costituito da una sinusoide, mentre la* **modulante** *è un segnale analogico, che può essere schematizzato, per semplicità di calcolo, in un'altra sinusoide, per effetto del teorema di* **Fourier** *per cui un qualsiasi segnale periodico od aperiodico, può sempre considerarsi come la somma di infinite sinusoidi, come studiato a proposito dei* **segnali**.

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.



Le funzioni matematiche che esprimono questi segnali possono essere scelte come segue:

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

$$v_p(t) = V_p \cos \omega_p t$$

ricordando che pulsazione, frequenza e periodo sono legate fra loro:

$$f_m = \frac{1}{T_m} \qquad \omega_m = 2 \cdot \pi \cdot f_m = \frac{2 \cdot \pi}{T_m}$$

$$f_p = \frac{1}{T_p} \qquad \omega_p = 2 \cdot \pi \cdot f_p = \frac{2 \cdot \pi}{T_p}$$

e che deve esistere la condizione:

$$f_p >> f_m$$

Per determinare la formula matematica del segnale **modulato in ampiezza***, ricordiamo che l'ampiezza del segnale modulato deve variare, partendo dal valore della portante a riposo, secondo la funzione modulante, pertanto il segnale modulato deve risultare:*

$$v_{AM}(t) = (V_p + V_m \cos \omega_m t) \cdot \cos \omega_p t$$

*Definiamo a questo punto l'***indice di modulazione***, o* **profondità di modulazione***, come il rapporto fra l'ampiezza del segnale* **modulante** *e l'ampiezza del segnale* **portante***:*

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

Risulterà di conseguenza:

$$V_m = mV_p$$

e l'espressione del segnale modulato potrà scriversi come segue:

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

Questa espressione, ricordando una delle formule di **Werner:**

$$\cos\alpha\cos\beta = \frac{1}{2}\left[\cos(\alpha-\beta)+\cos(\alpha+\beta)\right]$$

si può esprimere come segue:

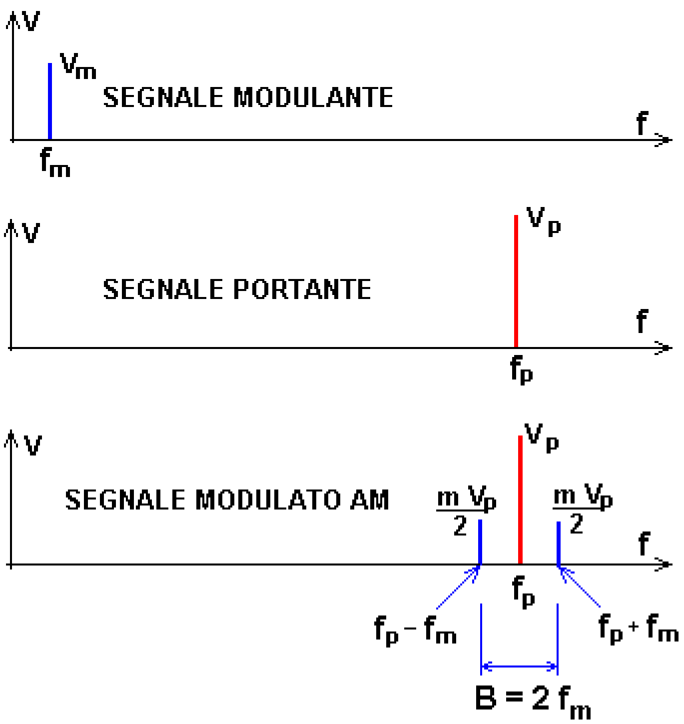
$$v_{AM}(t) = V_p\cos\omega_p t + \frac{mV_p}{2}\cos(\omega_p - \omega_m)t + \frac{mV_p}{2}\cos(\omega_p + \omega_m)t$$

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 le frequenze **portante** *e* **modulante**.

Ne nasce la rappresentazione nel dominio delle frequenze della figura seguente, 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 $\mathbf{f_m}$ *della quantità* $\mathbf{f_P}$ **.**
Si osservi la larghezza di banda del segnale modulato che risulta essere il doppio della frequenza $\mathbf{f_m}$ *modulante, infatti:*

$$B = (f_p + f_m) - (f_p - f_m) = 2f_m$$

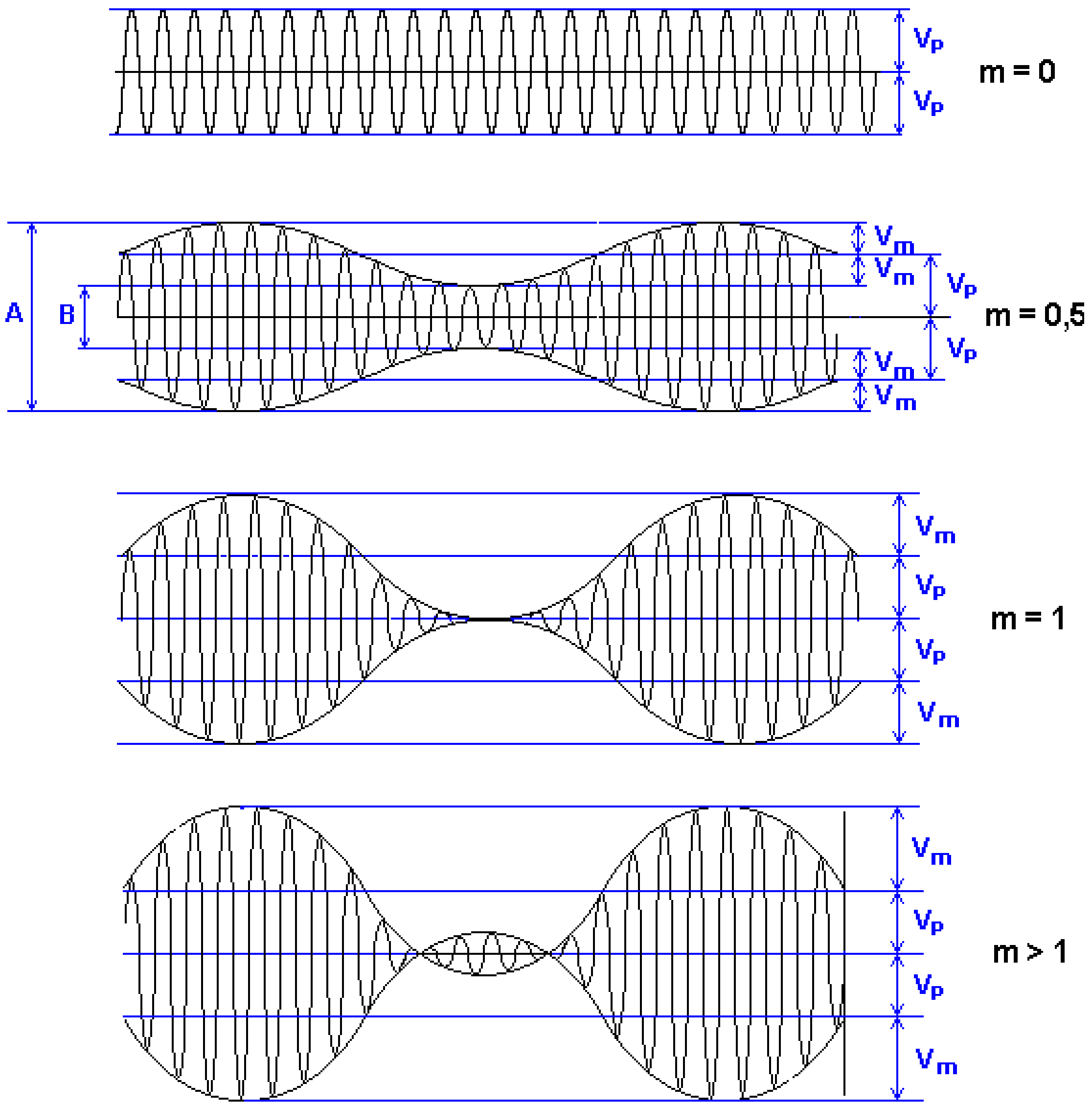
L'indice di modulazione **m** *può variare fra* **0** *e* **1** *:* $\boldsymbol{0 < m < 1}$

Ricordando la formula di **m***:*

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

osserviamo infatti che:

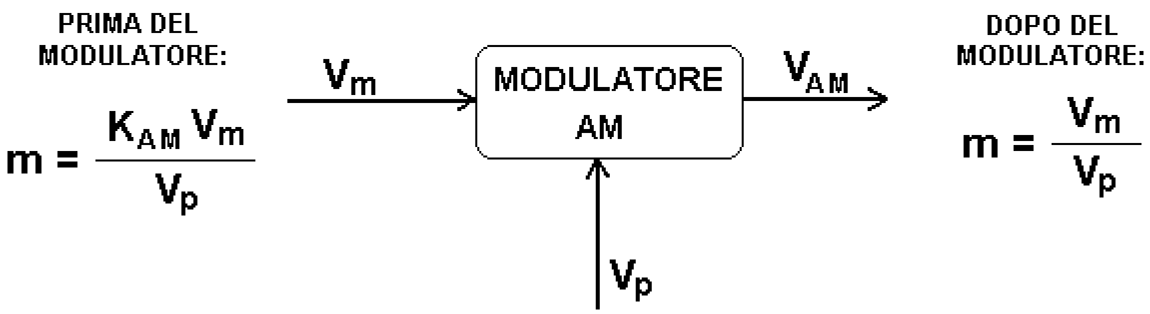
- *Se è* ***m*** **= 0** *vuol dire che non c'è* **modulante**, *quindi non si trasmette alcuna informazione, pur impegnando il canale con la portante.*
- *Se è* ***m*** **= 0,5** *siamo nelle condizioni ottimali.*
- *Se è* ***m*** **= 1** *siamo di fronte al massimo della modulazione.*
- *Se è* ***m*** **> 1** *allora siamo in forte distorsione da* **crossover** *come indicato sotto:*



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

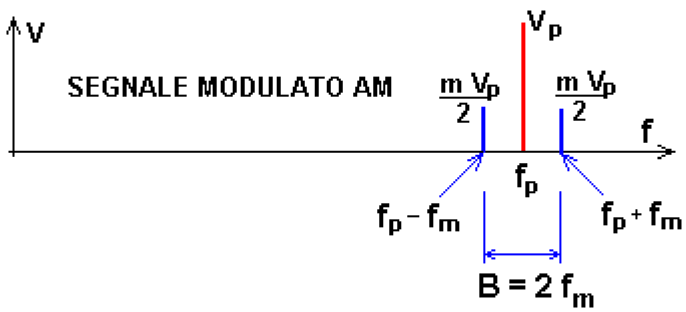
$$m = \frac{A-B}{A+B} = \frac{(2V_P + 2V_m) - (2V_P - 2V_m)}{(2V_P + 2V_m) + (2V_P - 2V_m)} = \frac{4V_m}{4V_P} = \frac{V_m}{V_p}$$

L'indice di modulazione fin qui descritto è rilevato, si suol dire, 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:*



POTENZA DI UN SEGNALE MODULATO IN AM

Poiché un segnale modulato in ampiezza è costituito dalla somma di tre segnali distinti, come si può vedere chiaramente dal suo spettro nel dominio delle frequenze:



la sua potenza sarà la somma delle potenze dei tre segnali:

$$P_{AM} = P_p + P_{left} + P_{right}$$

dove, naturalmente, con P_p *si è indicata la potenza della portante, con* P_{right} *la potenza della riga destra e con* P_{left}, *la potenza della riga sinistra.*

Indicando con R_0 *la resistenza di radiazione dell'antenna trasmittente, dai valori delle tensioni, espresse in* ***valori massimi****, indicate in figura, e nota* R_0*, si trova la potenza complessiva del segnale modulato in* ***AM*** *in funzione dell'indice di modulazione* ***m:***

$$P_{AM} = P_p + P_{left} + P_{right} = \frac{V_p^2}{2R_0} + \frac{\left(\frac{mV_p}{2}\right)^2}{2R_0} + \frac{\left(\frac{mV_p}{2}\right)^2}{2R_0} = \frac{V_p^2 + \frac{m^2V_p^2}{4} + \frac{m^2V_p^2}{4}}{2R_0} =$$

$$= \frac{\frac{4V_p^2 + m^2V_p^2 + m^2V_p^2}{4}}{2R_0} = \frac{4V_p^2 + m^2V_p^2 + m^2V_p^2}{4} \cdot \frac{1}{2R_0} = \frac{4V_p^2 + 2m^2V_p^2}{8R_0} = \frac{2V_p^2 + m^2V_p^2}{4R_0} =$$

$$= \frac{V_p^2}{2R_0} \cdot \frac{2 + m^2}{2} = P_p\left(1 + \frac{m^2}{2}\right)$$