

# Modulazione Di Frequenza

## Nozioni Teoriche

Nella FM sono presenti: una modulante di tipo analogico, ed una portante sinusoidale.

Ma, un segnale periodico può svilupparsi in serie di Fourier, cioè in una somma di infinite sinusoidi che può essere troncata a quella armonica la cui ampiezza ha valore trascurabile per gli strumenti e i sensi dell'uomo.

Pertanto, è sempre lecito considerare il segnale modulante come costituito da singole sinusoidi.

Per semplicità esaminiamo una sola di queste armoniche la cui funzione matematica si può esprimere indifferentemente sia in seno che in coseno.

Ad esempio:

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

segnale modulante

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

segnale portante

Con:

$$\omega_p \gg \omega_m$$

Nella modulazione di frequenza (**FM**), l'ampiezza del segnale modulato è mantenuta costante ed eguale al valore della portante a riposo  $V_p$ .

La frequenza invece varia, proporzionalmente all'ampiezza istantanea del segnale modulante ed il massimo scarto di frequenza, rispetto alla frequenza portante a riposo si chiama deviazione in frequenza ed è uguale a **75 KHz** come da standard già nel 1961.

La rapidità con cui avviene tale variazione è determinata dalla rapidità della legge di variazione nel tempo del segnale modulante stesso,  $\omega_m$

Pertanto, nel segnale modulato la nuova pulsazione deve essere proporzionale, secondo una costante  $K_F$ , caratteristica del modulatore, all'ampiezza del segnale modulante:

$$\omega_{FM} = \omega_p + K_F V_m \cos \omega_m t$$

Se  $\omega_{FM}$  è variabile nel tempo necessita un calcolo integrale per arrivare alla

$$v_{FM}(t) = V_p \cos \left( \omega_p t + \frac{K_F V_m}{\omega_m} \sin \omega_m t \right)$$

$$\Delta f = \frac{K_F V_m}{2\pi} \text{ massima deviazione in frequenza} \quad m = \frac{K_F V_m}{\omega_m} \text{ indice di modulazione}$$

Per studiare tutte le componenti di  $v_{FM}(t)$  nel dominio della frequenza bisogna conoscere le funzioni di Bessel

## Potenza Del Segnale Modulato In FM

Nella modulazione di frequenza il segnale modulato ha ampiezza invariata rispetto alla portante a riposo e poiché la potenza di un segnale sinusoidale dipende dalla sua ampiezza e non dalla sua frequenza, la potenza del segnale modulato è la stessa di quella della portante non modulata.

Avviene, dunque, che mentre prima della modulazione la potenza è concentrata tutta in una sola sinusoide detta portante, dopo la modulazione la potenza, in parte rimane nella portante, in parte si distribuisce in varie righe spettrali, in proporzione al valore delle funzioni di **Bessel** elevato al quadrato.

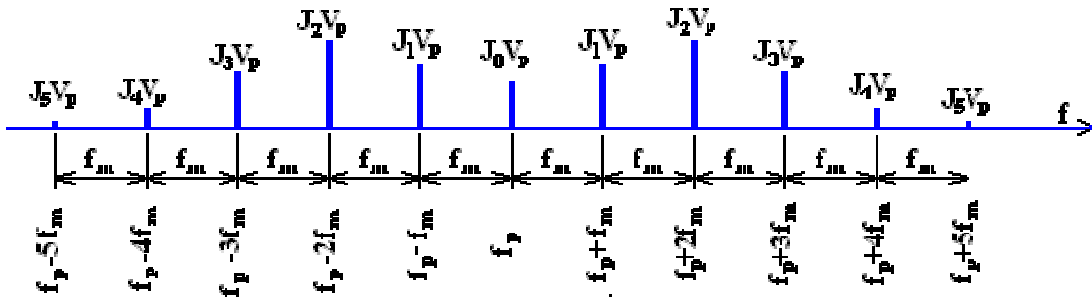
## Spettro Del Segnale Modulato In FM

Per lo studio dello spettro, cioè dell'insieme di tutte le sinusoidi che rappresentano il segnale modulato nel dominio della frequenza, facciamo un esempio e vediamo lo spettro di un segnale in modulazione di frequenza (FM) con:

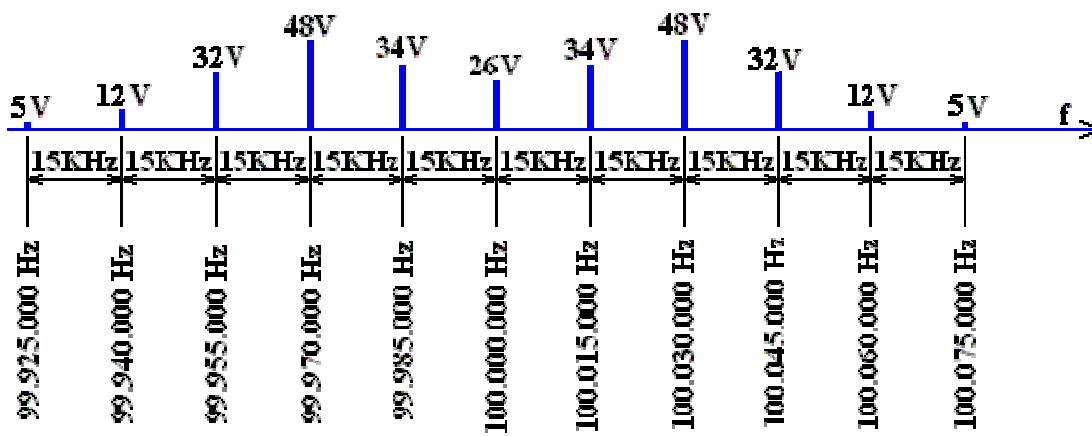
$f_p = 100$  MHz      frequenza portante  
 $f_m = 15$  KHz      frequenza modulante  
 $\Delta f = 45$  KHz    deviazione di frequenza massima  
 $V_p = 100$  V      ampiezza portante

:

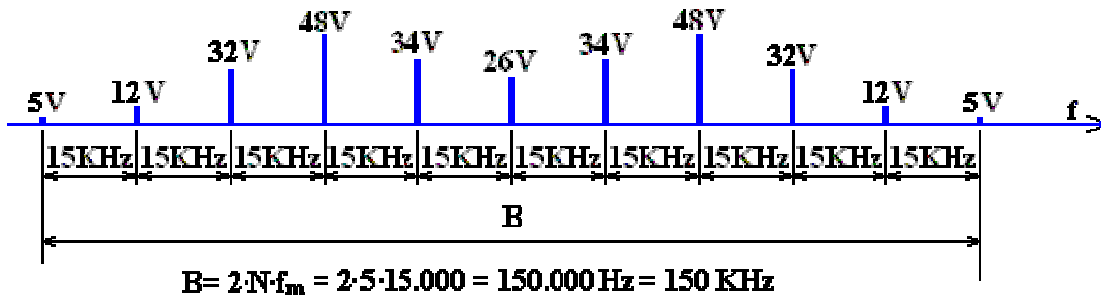
nella **banda** di un segnale modulato in FM si considerano le frequenze di ampiezza superiore all'1% della portante non modulata in quanto sono queste quelle sole che, in pratica, vengono ascoltate in ricezione, mentre le altre, di ampiezza inferiore, non vengono percepite dall'orecchio umano e quindi non devono essere trasmesse.



Lo stesso, con i valori numerici risulta:



Nel nostro esempio la larghezza di banda è la seguente:



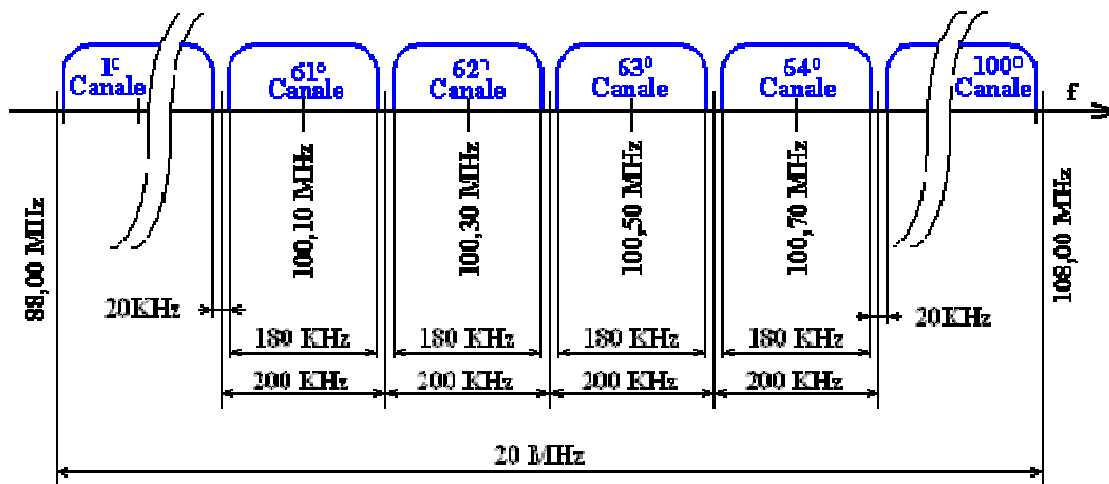
Si può calcolare la larghezza di banda, sia pure in modo approssimativo, senza disporre né dell'analizzatore di spettro, né delle funzioni di Bessel, usando una formula empirica, dovuta a Carson:

$$B = 2(\Delta f + f_{max})$$

dove  $\Delta f$  è il massimo scarto in frequenza rispetto alla portante a riposo, e  $f_{max}$  è la massima frequenza modulante. Questa formula è tanto più esatta, quanto più  $m$  è grande, mentre per  $m$  piccolo non è molto precisa.

FM radio

Nella modulazione di Frequenza usata per le trasmissioni radio i canali delle trasmissioni in FM sono così divisi  
 $\Delta f = 75 \text{ KHz}$  massima deviazione in frequenza  $B = 15 \text{ KHz}$  banda trasmessa (segnale audio 30Hz-15KHz)



Calcoliamo, per verifica, la larghezza di banda di un canale stereofonico utilizzando la formula di Carson.

$$B = 2(\Delta f + f_{m\max}) = 2(75.000 + 15.000) = 180.000\text{Hz}$$

La frequenza sulla quale ci sintonizziamo è quella della portante.

### Stereofonia

Le radiodiffusioni in stereofonia attualmente usano la FM (Frequency Modulation) in tutto il mondo.

L'insieme delle frequenze che il microfono della camera di regia registra, è costituito dalla banda stereofonica, che è stata normalizzata già nel 1961 dalla F.C.C. (Federal Communications Commission):

$$B = 30 \text{ Hz} - 15\text{KHz}$$

Questa banda coincide quasi con la banda di sensibilità dell'orecchio umano che è, mediamente:

$$B = 20 \text{ KHz}$$

In questo modo, questo sistema stereofonico consente praticamente di trasmettere tutto quello che l'orecchio umano può sentire, consente quindi la massima fedeltà possibile di riproduzione.

Diversamente avveniva per le trasmissioni in AM, attualmente attive ma in disuso, che avendo una banda di 5.000 Hz sono molto più simili alla banda telefonica che è:

$$B = 300 \text{ Hz} - 3.400 \text{ Hz.}$$

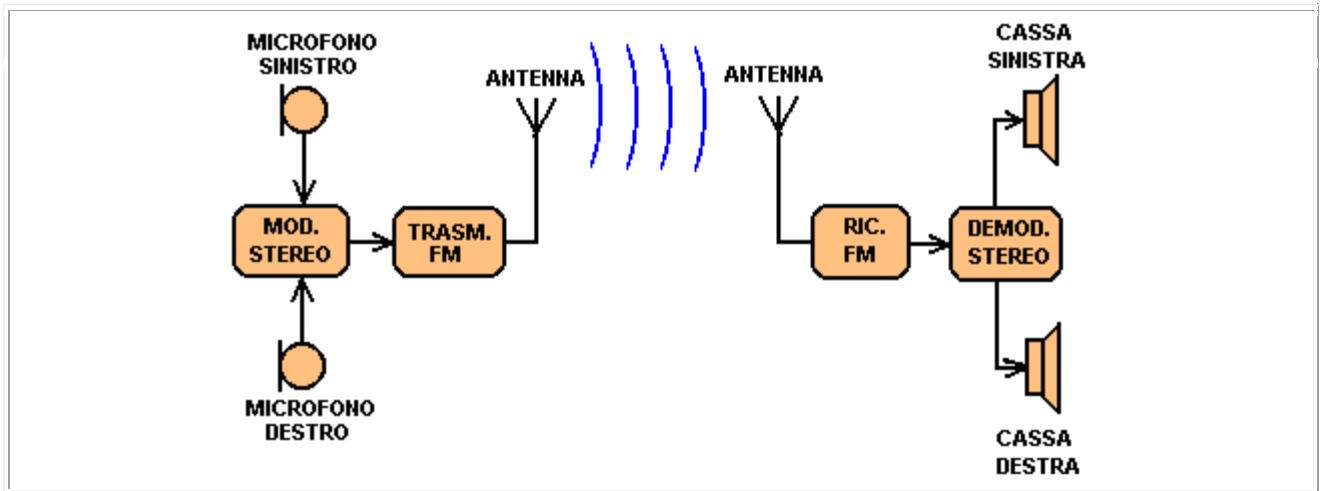
Nella AM, infatti, si trasmette la voce umana, ma non la musica, o meglio, non fedelmente, visto che i violini, ad esempio, hanno uno spettro che supera i 9.000 Hz e che quindi è ben trasmesso dalla FM che arriva a 15.000 Hz ma mal trasmesso dalla AM che arriva appena a 5.000Hz= 5kHz.

Con il perfezionarsi della tecnica e dei sistemi elettronici, intorno agli anni sessanta, si poté dare più spazio alle esigenze audio - estetiche di una distribuzione spaziale del suono consistente nella sensazione di essere al centro di un'orchestra con i violini a destra e i tamburi a sinistra, oppure nel bel mezzo di una foresta con suoni o rumori di ogni tipo provenienti da direzioni differenti.

Questo effetto prese il nome di stereofonia e stereofoniche si chiamarono le trasmissioni radio che riproducevano a distanza questo effetto allorché le direzioni di provenienza dei suoni erano soltanto due, mentre vi furono successivamente numerosi tentativi, spesso falliti, perché troppo complicati, di riproduzioni e trasmissioni tetrafoniche, cioè con quattro direzioni di provenienza del suono.

Quest'ultimo sistema si è successivamente evoluto fino alla più recente tecnica del Dolby Surround che produce l'effetto di sentirsi circondati del tutto, avvolti, (surround) dal suono.

La trasmissione radio di tipo stereofonico corrisponde allo schema seguente.



Due microfoni diversi, il sinistro ed il destro, immettono due diversi segnali elettrici nel modulatore stereo che li elabora opportunamente creando un nuovo segnale multiplex stereofonico, che comprende ambedue le informazioni del canale destro e del sinistro.

Questo segnale complesso, perfettamente compatibile sia con i ricevitori stereofonici che con quelli monofonici, andrà a modulare una sola portante a radiofrequenza (RF) in modulazione di frequenza (FM), trasmessa e ricevuta a distanza, via etere, tramite due antenne opportunamente sintonizzate sulla gamma delle FM che è 88 MHz - 108 MHz.

Il ricevitore FM, riproduce fedelmente il segnale stereo complesso e lo immette nel demodulatore stereo che ne separa le componenti originarie, rinviando il segnale destro ed il sinistro alle rispettive casse per la riproduzione come schematicamente indicato nella figura qui sopra.