

# **RADIO.CB.TOO.IT**

*Il sito di IW1GFV, Joe Condor e Killer*

## **La modulazione**

Le modulazioni sono delle tecniche, che si applicano al segnale da trasmettere a distanza, allo scopo di adattarlo alle caratteristiche del canale di trasmissione mantenendo però invariata la sua informazione. Nella modulazione devono essere presenti due segnali:

1 La modulante, cioè l'informazione da trasmettere.

2 La portante, che consente la traslazione in frequenza del segnale modulante.

Per modulare un segnale è necessario un dispositivo in grado di traslare in frequenza il segnale mantenendo invariata l'informazione da trasmettere, questo dispositivo viene chiamato modulatore.

## **Classificazione delle modulazioni**

Analogiche

AM

VSB

DSB

SSB

FM

PM

Impulsive

PAM

PCM

PPM

PWM

Numeriche

ASK

FSK

PSK

QAMPSK

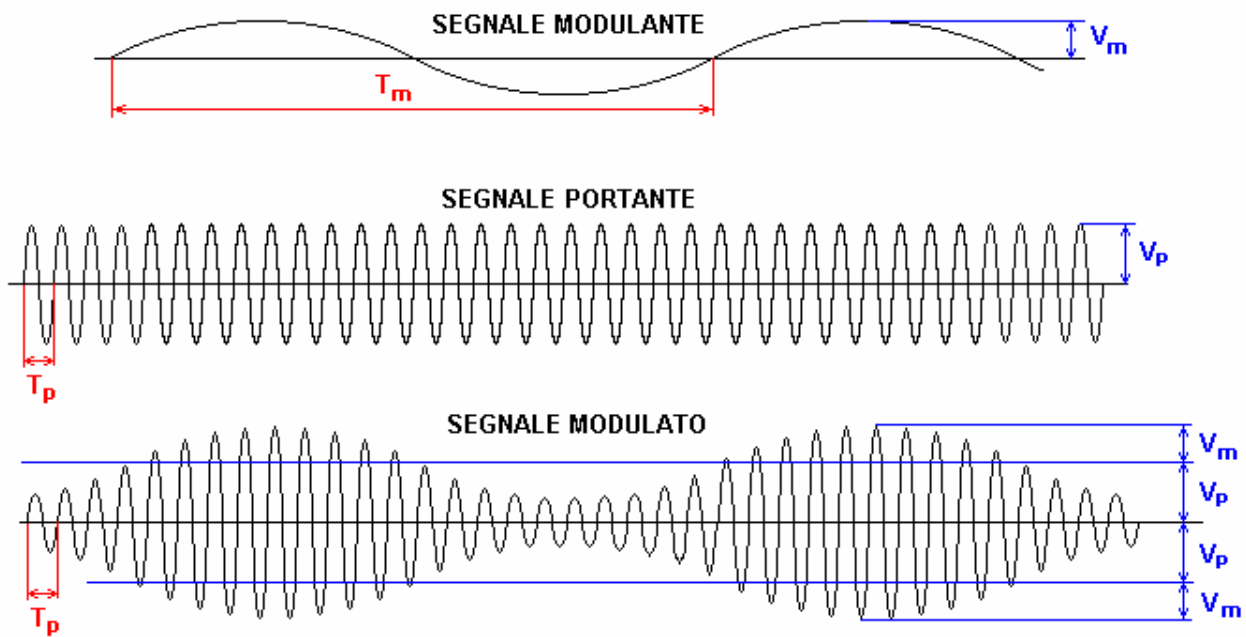
## **Modulazioni analogiche**

### **Modulazione d'ampiezza (AM)**

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

Analizzando lo spettro del segnale modulato in AM si trovano tre frequenze, la portante e le due bande laterali, la portante ha frequenza e ampiezza dell'oscillatore che la genera, mentre le bande laterali hanno come frequenza, una la somma e una la differenza fra frequenze, portante e modulante, e di ampiezza hanno l'indice di modulazione moltiplicato per l'ampiezza della portante diviso due.

Esempio di un segnale modulato in ampiezza



L'indice di modulazione è il rapporto tra l'ampiezza del segnale modulante e la portante e si esprime con la formula:

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

L'indice di modulazione deve avere valore massimo uguale ad uno altrimenti si ha distorsione del segnale.

La formula della modulazione d'ampiezza è la seguente:

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

La larghezza di banda occupata dalla trasmissione del segnale è uguale al doppio della frequenza di modulazione massima

### La potenza nella modulazione in AM

La potenza del segnale trasmesso è uguale alla somma della potenza della portante e la potenza di entrambe le bande laterali, quindi:

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

### Rendimento di modulazione

Il rendimento di modulazione è il rapporto fra la potenza di una delle due bande laterali e tutta la potenza che si deve trasmettere.

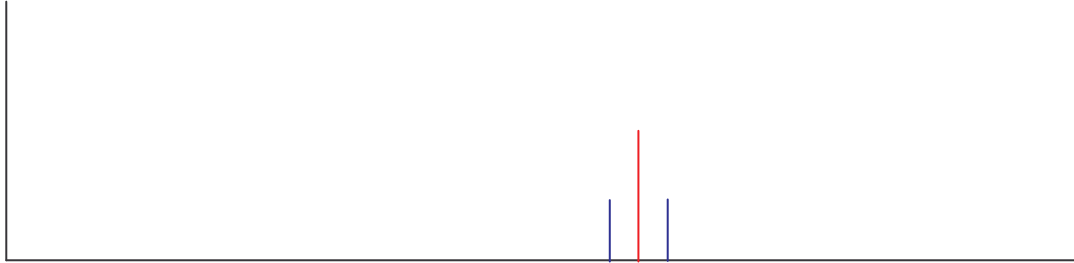
In modulazione d'ampiezza il rendimento è molto basso perché per trasmettere l'informazione si è costretti a trasmettere, oltre che all'informazione, la portante, che non contiene informazione, e l'altra banda laterale.

La formula del rendimento di modulazione dell'AM è la seguente.

$$\eta = \frac{P_{left}}{P_{tot}}$$

Da questa formula si capisce che il rendimento di modulazione varia col variare dell'indice di modulazione, siccome variando l'indice di modulazione varia anche la potenza delle bande laterali.

### Spettro di un segnale modulato in ampiezza



La riga rossa è la portante a frequenza  $f$  e le righe blu sono le bande laterali che contengono l'informazione, hanno frequenza:  $f_p - f_m$  e  $f_p + f_m$ .  
L'ampiezza è data dalla formula:

$$V_{left} = V_{right} = \frac{m * V_p}{2}$$

La larghezza di banda utilizzata dalla trasmissione in AM è:

$$B = 2 * f_{m \max}$$

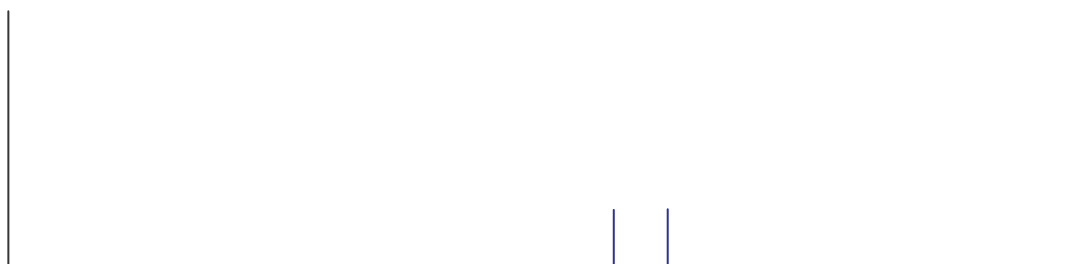
I modulatori e i demodulatori per questo tipo di modulazione sono piuttosto semplici, sono però facilmente disturbati, perciò è di rado usata se è necessaria una certa fedeltà dell'informazione.

### Modulazione a doppia banda laterale (DSB)

Siccome in un segnale modulato in ampiezza è presente la portante che non trasmette informazione, ma essendo trasmessa è necessario che il trasmettitore eroghi potenza anche per questa, il rendimento è molto basso.

La trasmissione in DSB è del tutto simile a quella in AM, ma con la differenza che evita di trasmettere la portante, così il rendimento sale al 50 % indipendentemente dall'indice di modulazione utilizzato.

### Spettro di un segnale modulato in DSB



Come si vede dallo spettro il segnale in DSB è uguale a quello del segnale in AM, ma con la mancanza della portante, le bande laterali hanno sempre frequenza:  $f_p - f_m$  e  $f_p + f_m$ .

L'ampiezza è:

$$V_{left} = V_{right} = \frac{m * V_p}{2}$$

Come per l'AM la larghezza di banda utilizzata dalla trasmissione in DSB è:

$$B = 2 * f_{m \max}$$

I modulatori e demodulatori per questo tipo di modulazione sono più complessi di quelli per la modulazione in AM, ma il rendimento ancora relativamente basso fa preferire la trasmissione in SSB.

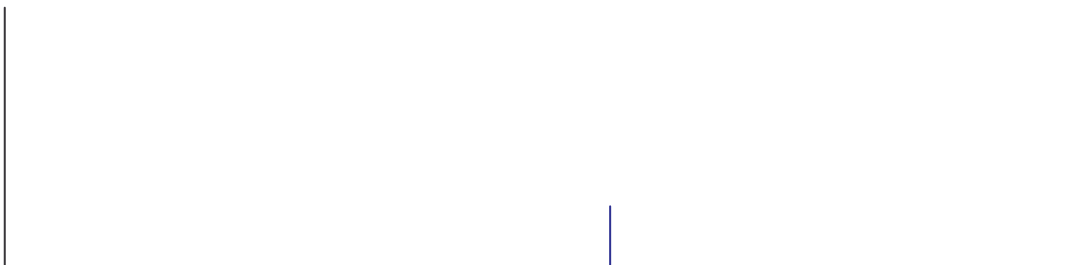
### **Modulazione a singola banda laterale (SSB)**

La modulazione in SSB riesce ad avere un rendimento del 100% perché elimina una banda laterale oltre che la portante, e riesce a diminuire anche la larghezza di banda utilizzata, che è data dalla formula:

$$B = f_{m \max} - f_{m \min}$$

La trasmissione in SSB si divide in USB e LSB, che sono simili tra loro con la differenza che viene eliminata, oltre alla portante, una o l'altra banda laterale.

### **Spettro di un segnale in SSB**



Questo è lo spettro di un segnale in LSB e la frequenza della riga è:  $f_p - f_m$ .



Questo è lo spettro di un segnale in USB e la frequenza della riga è:  $f_p + f_m$ .

La modulazione in SSB ha il vantaggio dell'alto rendimento, ma i trasmettitori e ricevitori sono complessi, quindi la SSB è utilizzata solo raramente.

## Modulazione di frequenza(FM)

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

Nella modulazione di frequenza, l'ampiezza del segnale modulato è costante ed uguale al valore della portante a riposo.

La formula di un segnale modulato in frequenza è la seguente:

$$V_{fm} = V_p \cos \left[ 2\pi f_p t + \frac{KV_m}{\omega_m} \sin(\omega_m t) \right]$$

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  $\Delta f$  ed è dato dalla formula:

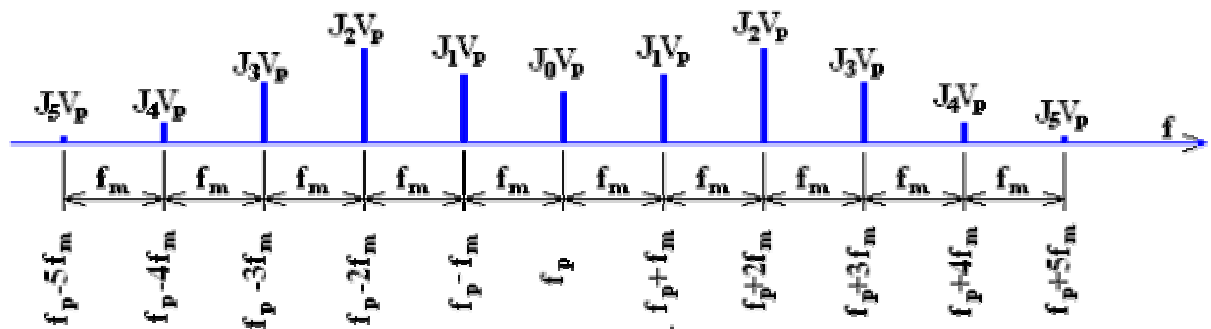
$$\Delta f = \frac{k_f V_m}{2\pi}$$

Dove  $k_f$  è la costante del modulatore e  $V_m$  è la tensione modulante.

L'indice di modulazione è dato dalla formula:

$$m = \frac{\Delta f}{f_m}$$

### Spettro del segnale modulato in FM



$J_0$  è la frequenza della portante e le altre righe si calcolano tramite le funzioni di Bessel.

La larghezza di banda è in teoria infinita, ma si calcolano solo le righe che hanno valore superiore all'1% del valore della portante non modulata, quindi si ha che la larghezza di banda è:

$$B = 2Nf_m$$

Dove  $N$  è il numero delle righe da considerare.

### Potenza nella modulazione in FM

In Fm la potenza resta invariata sia con modulazione che senza.

Senza modulazione la potenza è concentrata tutta in una sola sinusoide detta portante, mentre con la modulazione la potenza, in parte rimane nella portante, in parte si distribuisce in varie righe spettrali, in proporzione alle funzioni di **Bessel**.

La formula della potenza in modulazione di frequenza è la seguente:

$$P_{FM} = \frac{V_p^2}{2R}$$

Dove  $R$  è l'impedenza di carico su cui viene mandato il segnale modulato.

La modulazione di frequenza è quella maggiormente conosciuta e viene utilizzata principalmente nelle trasmissioni broadcast in stereofonia, in gamma VHF nelle frequenze tra 88 e 108 Mhz, con  $\Delta f$  di 75 KHz e frequenza massima che viene inviata al modulatore di 15KHz.

### **Modulazione di fase (PM)**

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

Nella modulazione di fase, l'ampiezza del segnale modulato è costante ed uguale al valore della portante a riposo.

Come nella modulazione di frequenza, però anche la frequenza del segnale modulato varia, rendendo questo tipo di modulazione analogica molto simile a quella di frequenza, richiede però una larghezza di banda maggiore di questa, a parità di altre caratteristiche, ed inoltre presenta maggiori complicazioni circuitali.

Nella modulazione di fase, si fa variare la fase della portante in modo direttamente proporzionale all'ampiezza della modulante che racchiude l'informazione da trasmettere.

$$V_{PM}(T) = V_p \cos(\omega_p t + K_p V_m \sin \omega_p t)$$

Dove  $K_p$  è la costante del modulatore.

Il massimo spostamento di frequenza è:

$$\Delta f = K_p V_m f_m$$

Lo spettro del segnale è simile a quello della modulazione di frequenza

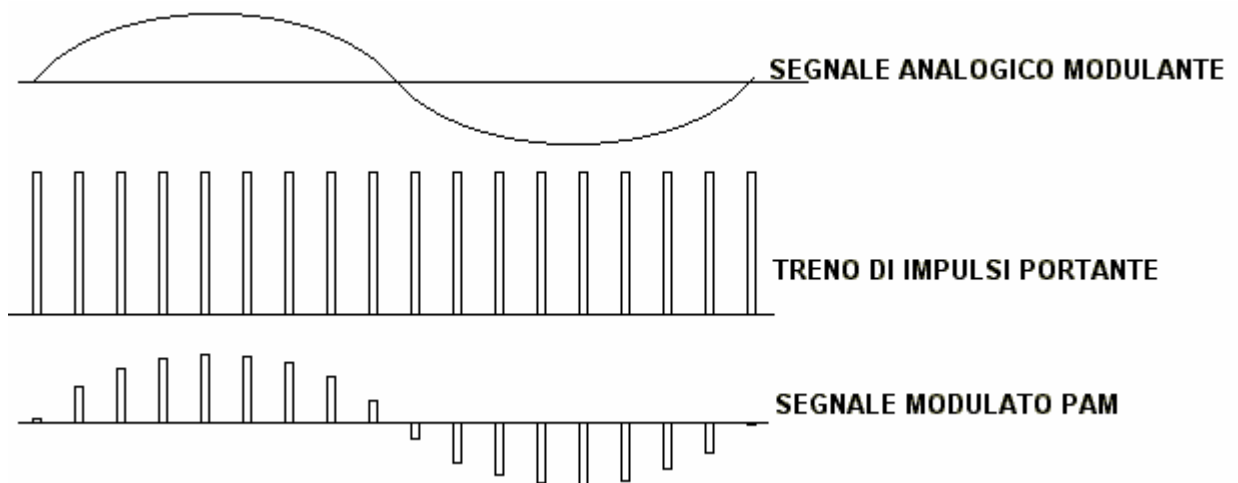
La modulazione di fase è molto simile a quella di frequenza, richiede però una larghezza di banda maggiore di questa, ed inoltre presenta maggiori complicazioni circuitali.

### **Modulazioni impulsive**

Si chiamano modulazioni impulsive quel tipo di modulazioni in cui la portante è costituita da un treno di impulsi e la modulante è di tipo analogico.

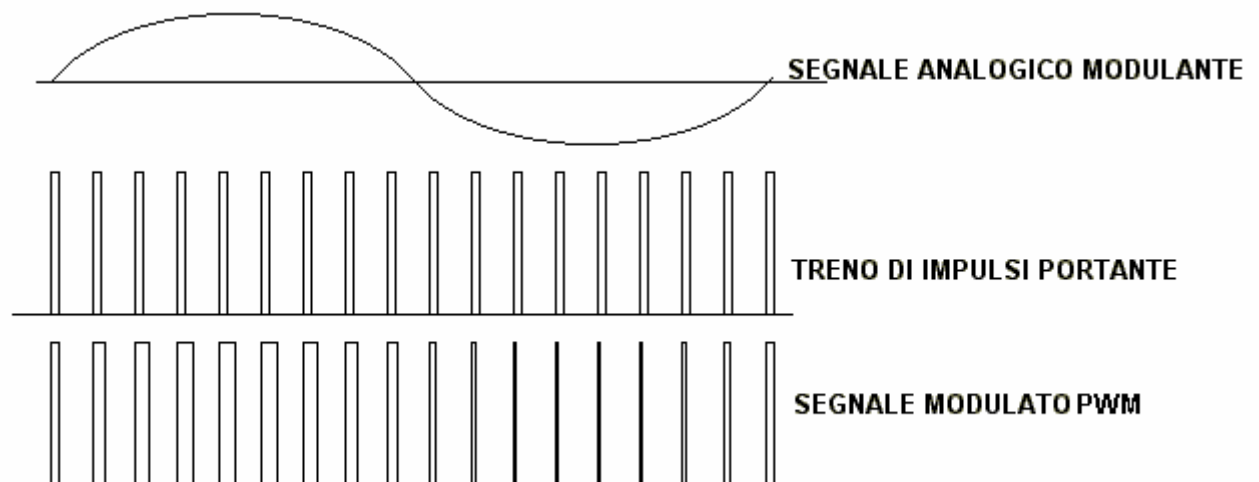
### **Modulazione ad ampiezza di impulsi (PAM)**

Nella modulazione PAM il segnale modulante fa a variare l'ampiezza del treno di impulsi che costituisce la portante.



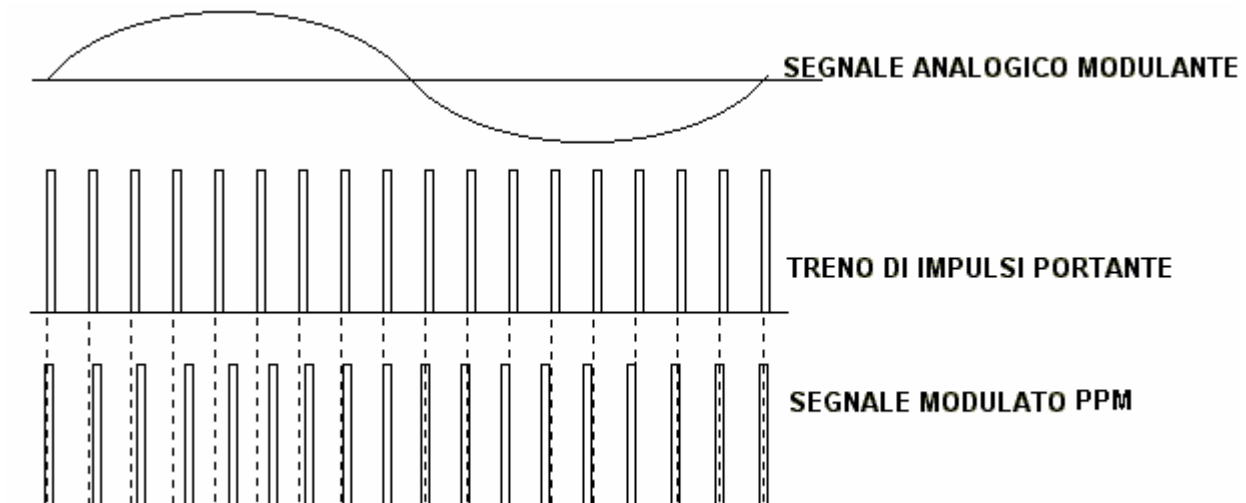
### **Modulazione a larghezza di impulsi (PWM)**

Nella modulazione PWM il segnale modulante fa variare la larghezza, cioè la durata dell'impulso come nello schema seguente.



### **Modulazione a posizione di impulsi (PPM)**

Nella modulazione PPM l'ampiezza del segnale modulante fa variare, in anticipo o in ritardo, la posizione dell' impulso rispetto all' impulso non modulato.

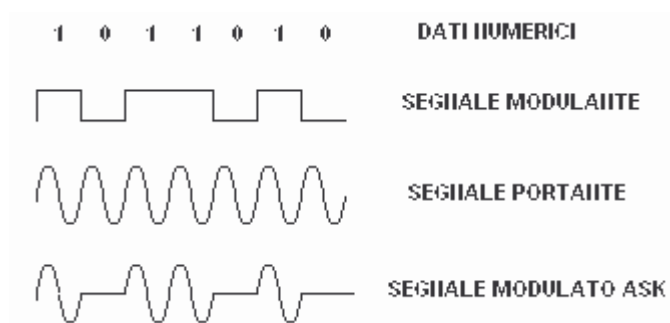


## Modulazioni numeriche

Si chiamano modulazioni numeriche quel tipo di modulazioni in cui il segnale modulante è di tipo numerico.

### Modulazione a spostamento di ampiezza (ASK)

Modulare in ASK un segnale vuol dire far variare l'ampiezza di una portante facendo corrispondere all'uno logico la presenza di portante, mentre allo zero logico l'assenza di portante.

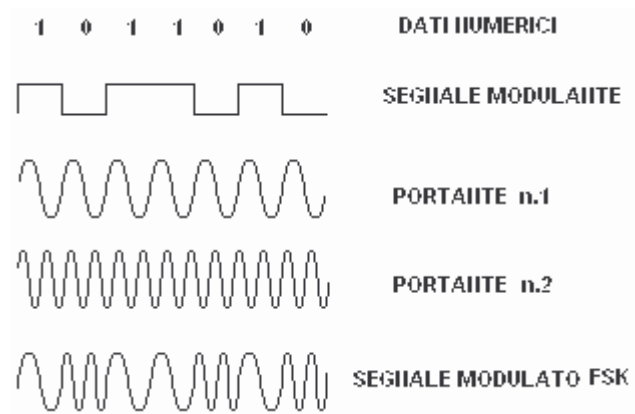


Questo tipo di modulazione è di facile realizzazione sia nei modulatori che nei demodulatori, è stata usata sempre nelle telescriventi, ma è molto sensibile al rumore, per cui oggi è quasi caduta in disuso nonostante sia stata usata per prima.

### Modulazione a spostamento di frequenza (FSK)

Modulare in FSK un segnale vuol dire far variare la frequenza di una portante, facendo corrispondere all'uno logico una frequenza della portante, mentre allo zero logico l'altra frequenza della portante.

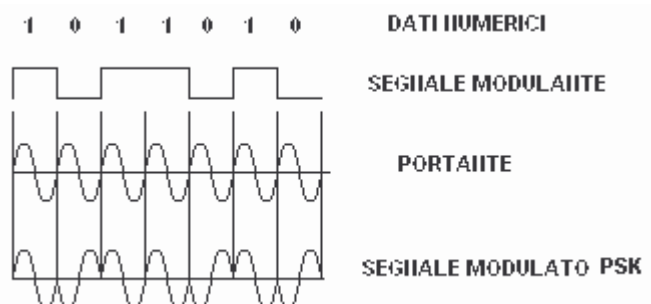




Questo tipo di modulazione è stata usata nei primi modem, V21 e V23, è meno sensibile al rumore rispetto alla ASK.

### Modulazione a spostamento di fase (PSK)

Modulare in PSK un segnale vuol dire far variare la fase di una portante, facendo corrispondere all'uno logico una fase della portante, mentre allo zero logico l'altra fase della portante.



La modulazione PSK è la più moderna nella quale si ha una sola portante e quindi i due valori numerici uno e zero vengono fatti corrispondere a due fasi diverse della stessa frequenza:  $0^\circ$  e  $180^\circ$ .

### Modulazione di fase e ampiezza (QAMPSK)

Questo tipo di modulazione è nato per aumentare la velocità di trasmissione dell'informazione, mantenendo costante la velocità di modulazione. Si trasmettono un maggior numero di angoli diversi fra loro e si fa variare anche l'ampiezza del segnale modulato per consentire una più facile demodulazione in ricezione determinando grandi velocità di trasmissione.

Questo tipo di modulazioni sono usate soprattutto nel campo dei modem, ma anche dei ponti radio, delle trasmissioni satellitari e dei cellulari del tipo GSM.

Un esempio è la modulazione 16 QAM PSK, che è una modulazione numerica di ampiezza e fase a 16 livelli diversi. In questo caso quindi si ha una sola portante a una sola frequenza, ma si possono trasmettere 16 simboli diversi tra loro per cui, poiché  $2^4 = 16$ , l'informazione racchiusa in ogni simbolo che arriva a destinazione è eguale a 4 bit.

I 16 simboli che si vengono così a determinare sono costituiti da due gruppi di 8 ciascuno:

ad ogni configurazione è abbinato un quadribit, cioè un gruppo di 4 bit cui corrisponde secondo lo schema il diagramma seguente in cui ad ogni configurazione è fatta corrispondere, una fase angolare, un'ampiezza, ed un gruppo di 4 bit.

