

## Le modulazioni digitali a portante sinusoidale ASK, FSK, PSK, DPSK, QAM

Le modulazioni digitali a portante sinusoidale si rendono necessarie in tutti quei casi in cui si utilizza un mezzo trasmissivo con banda passante ristretta. La modulazione consiste semplicemente nel variare uno dei parametri della portante sinusoidale (ampiezza, frequenza o fase) in relazione alle informazioni numeriche da trasmettere. A seconda del parametro della sinusoide sul quale agiscono, e da come agiscono, queste modulazioni si dividono in

ASK (Amplitude Shift Keying) => Modulazione d'ampiezza (deriva dall'AM)

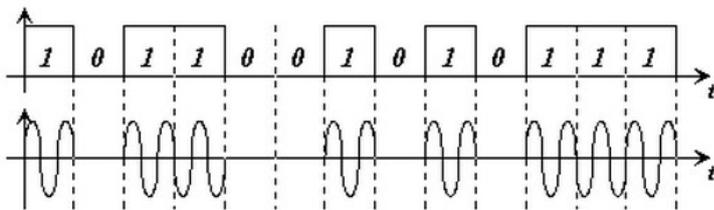
FSK (Frequency Shift Keying) => Modulazione di frequenza (deriva dalla FM)

PSK (Phase Shift Keying) => Modulazione di fase (deriva dalla PM)

DPSK (Differential Shift Keying) => Modulazione di fase (deriva dalla PM)

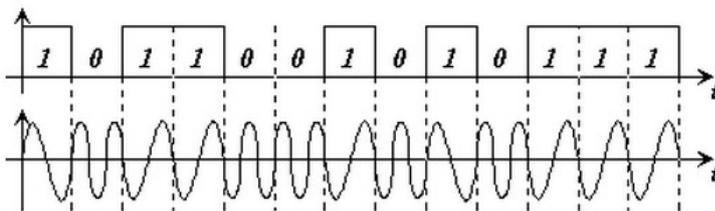
QAM (Quadrature Amplitude Modulation) => Modulazione mista di ampiezza e fase

Nella modulazione ASK l'ampiezza della portante sinusoidale viene fatta variare in correlazione al segnale digitale modulante. Nel caso più semplice e più comune in corrispondenza dello zero logico il segnale modulato ha ampiezza zero ed in corrispondenza dell'uno logico ha ampiezza pari a quella della portante non modulata. In questo caso si parla di modulazione OOK (On-Off Keying).



Questo tipo di modulazione è abbastanza semplice da realizzare ma non molto utilizzato per le trasmissioni dati a grande distanza a causa della sua notevole sensibilità al rumore.

Nella modulazione digitale di frequenza FSK ad ogni simbolo logico viene assegnata una frequenza di valore compreso all'interno della banda passante del mezzo trasmissivo.



Ad esempio all'uno logico può essere assegnata una frequenza  $f_A$  mentre allo zero una frequenza  $f_B$  che solitamente è di valore maggiore rispetto  $f_A$ .

La scelta delle due frequenze deve essere fatta in modo da realizzare il migliore compromesso tra quattro diverse esigenze: limitare l'occupazione della banda; ottenere una sufficiente separazione tra le due frequenze in modo da evitare l'interferenza intersimbolica; mantenere il periodo relativo alle due sinusoidi minore o uguale alla frequenza di bit dell'informazione digitale e mantenere una continuità di fase nelle variazioni di stato.

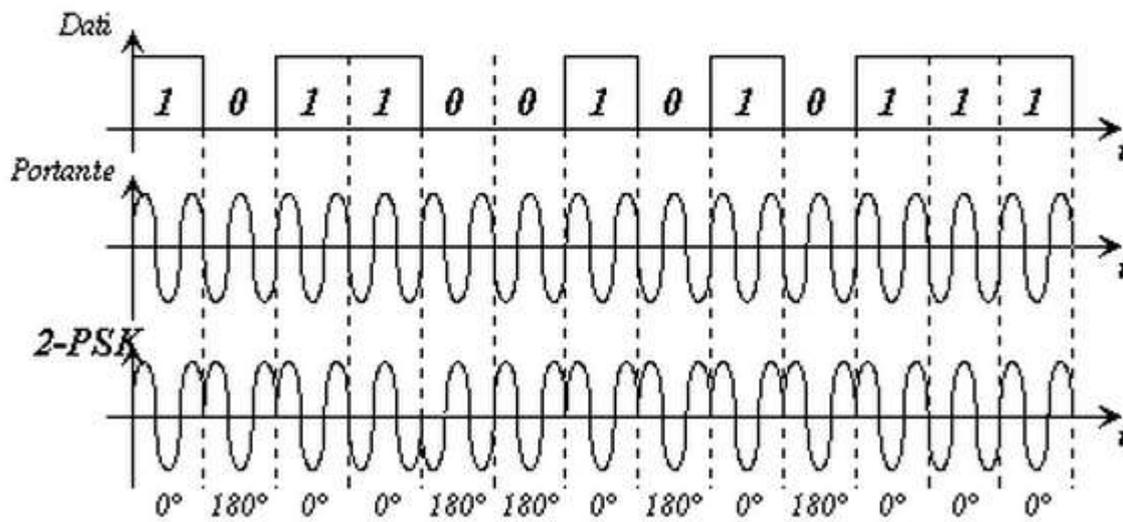
La modulazione PSK è una modulazione digitale di fase direttamente derivante dalla PM analogica. Nella PSK la portante è trasmessa con valori di frequenza e ampiezza costanti, mentre ciò che viene variato in relazione all'informazione digitale modulante è il valore della fase. La modulazione digitale di fase può essere applicata in vari

modi, il più semplice è quello denominato 2-PSK (o B-PSK - bipolar PSK) ma si utilizzano molto spesso anche la 2-DPSK, la 4-PSK, la 4-DPSK, la 8-PSK e la 8-DPSK, ognuna delle quali può essere realizzata a sua volta con diverse modalità.

Nella modulazione 2-PSK la portante mantiene valori costanti per ampiezza e frequenza, ma assume due valori di fase a seconda del valore logico del bit del segnale modulante. Per garantire la massima protezione dal rumore e dalle interferenze vengono scelti i due valori di fase estremi  $0\text{gradi}$  e  $180\text{gradi}$ . L'assegnazione di questi valori si può effettuare, ad esempio, in questo modo:

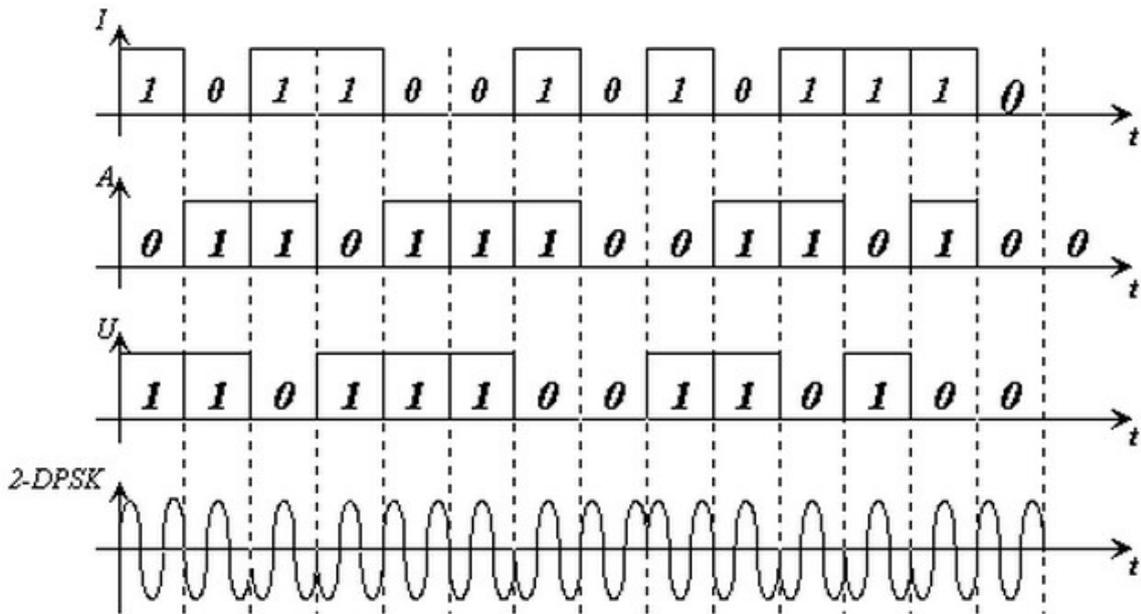
Bit	$f_i$ (gradi)
1	0
0	180

### Esempio di modulazione 2-PSK:



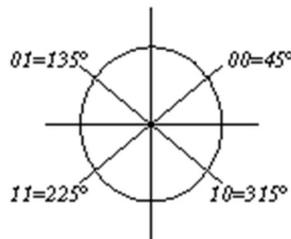
Nella modulazione DPSK il valore logico del bit (0 o 1) provoca un salto di fase  $\Delta f_i$  rispetto alla fase assoluta del bit precedente. L'assegnazione dei salti di fase ai simboli logici può essere così effettuata:

Bit	$\Delta f_i$ (gradi)
1	0
0	180



Nella modulazione digitale a quattro fasi (denominata anche QPSK, quadrature PSK) i bit del segnale dati vengono riuniti in coppie (dibit) utilizzate per modulare in fase la portante sinusoidale.

*Esempio di distribuzione delle fasi nella 4-PSK:*



In questa tecnica di modulazione ad ogni dibit è associato un salto di fase che il segnale modulato compie rispetto alla fase precedente. Vi sono fondamentalmente due modalità di assegnazione dei salti di fase alle doppiette di bit (secondo la normativa CCITT V.26), entrambe trovano applicazione nei segnali generati nei modem fonici e sono riportate nella seguente tabella:

DiBit	Modulazione tipo A $\Delta f_i$ (gradi)	Modulazione tipo B $\Delta f_i$ (gradi)
00	0	45
01	90	135
11	180	225
10	270	315

Nella modulazione 8-PSK e nella sua variante differenziale (8-DPSK) i bit che devono essere inviati lungo il canale di trasmissione vengono riuniti in gruppi di tre (tribit) ai quali è assegnata poi una fase (nella PSK) o una variazione di fase rispetto alla precedente (nella DPSK).

La modulazione QAM è detta anche QPSK o PSK-QAM e si può definire come una modulazione combinata di fase e di ampiezza. La QAM è utilizzata in tutti quei casi in cui la velocità di trasmissione deve essere elevata perché essa permette una codifica multilivello molto spinta.

n. stati	Configurazione binaria				Ampiezza A	Fase $\Delta\varphi$
	Q <sub>4</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>		
1	0	0	1	0	3	0°
2	0	0	1	1	5	0°
3	0	0	0	0	$\sqrt{2}$	45°
4	0	0	0	1	$3\sqrt{2}$	45°
5	0	1	0	0	3	90°
6	0	1	0	1	5	90°
7	0	1	1	0	$\sqrt{2}$	135°
8	0	1	1	1	$3\sqrt{2}$	135°
9	1	1	1	0	3	180°
10	1	1	1	1	5	180°
11	1	1	0	0	$\sqrt{2}$	225°
12	1	1	0	1	$3\sqrt{2}$	225°
13	1	0	0	0	3	270°
14	1	0	0	1	5	270°
15	1	0	1	0	$\sqrt{2}$	315°
16	1	0	1	1	$3\sqrt{2}$	315°

I sistemi QAM comportano una complessità circuitale notevole ma risultano vantaggiosi rispetto ai PSK, perché, a parità di rapporto segnale/rumore del canale di trasmissione, sono meno soggetti ad errore. In particolari situazioni si utilizzano sistemi QAM anche molto sofisticati che possono arrivare sino a 256 livelli (come nel caso delle comunicazioni spaziali) e che garantiscono una comunicazione molto veloce e relativamente immune agli errori.