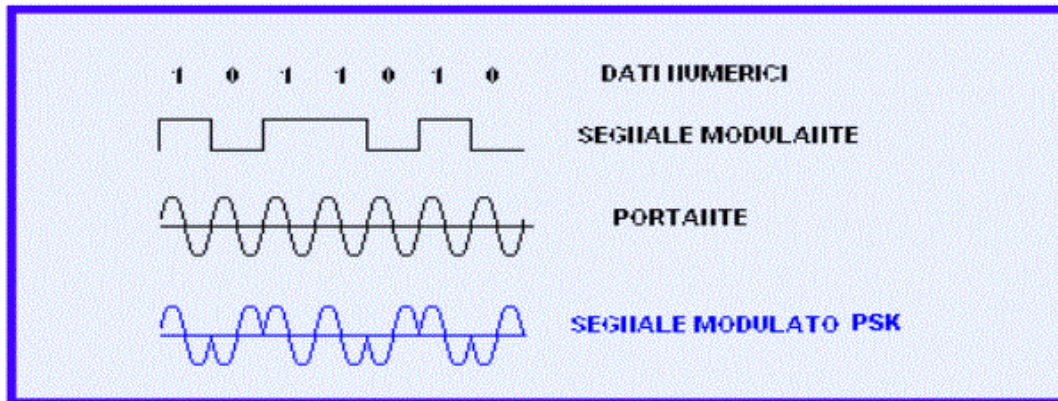


MODULAZIONE PSK

La modulazione PSK (Phase Shift Keying) è ampiamente utilizzata in congiunzione con la modulazione di ampiezza ASK nella realizzazione dei modem fonici, nei sistemi in ponte radio numerici e nei sistemi televisivi che impiegano il digitale terrestre.

È una modulazione digitale, ovvero una modulazione con portante sinusoidale e segnale informativo di tipo digitale. Il **segnale portante** essendo sinusoidale è continuo nel tempo e nell' ampiezza, mentre quello **modulante** essendo digitale si presenta discreto nel tempo e nelle ampiezze.

Il principio di funzionamento, visibile in figura 4, consiste nel modificare la fase della portante in corrispondenza dello stato logico 0 o 1 del segnale modulante.

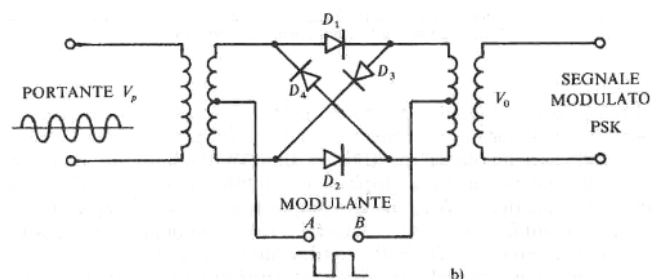
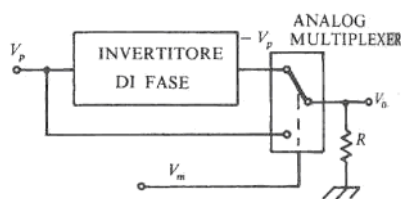


Per facilitare il processo di demodulazione al ricevitore le fasi vengono scelte il più possibili distanti tra loro, in questo caso per la PSK lo sfasamento è di 180° .

Quando il segnale modulante V_m ha valore 1 la fase della portante rimane inalterata ($\phi = 0^\circ$) e il segnale modulato non è altro che la portante; quando invece il segnale V_m è 0 si produce un'inversione di fase di 180° ($\phi = 180^\circ$). Le combinazioni citate sono ben visibili nella figura sopra riportata.

Abbiamo diverse soluzioni circuitali per la realizzazione del modulatore:

- Modulatore ad anello bilanciato
- Multiplexer analogico



Schemi circuitali di un modulatore PSK

In figura a sinistra riporta lo schema a blocchi di un multiplexer analogico, mentre in figura a destra la soluzione circuitali di un modulatore bilanciato ad anello.

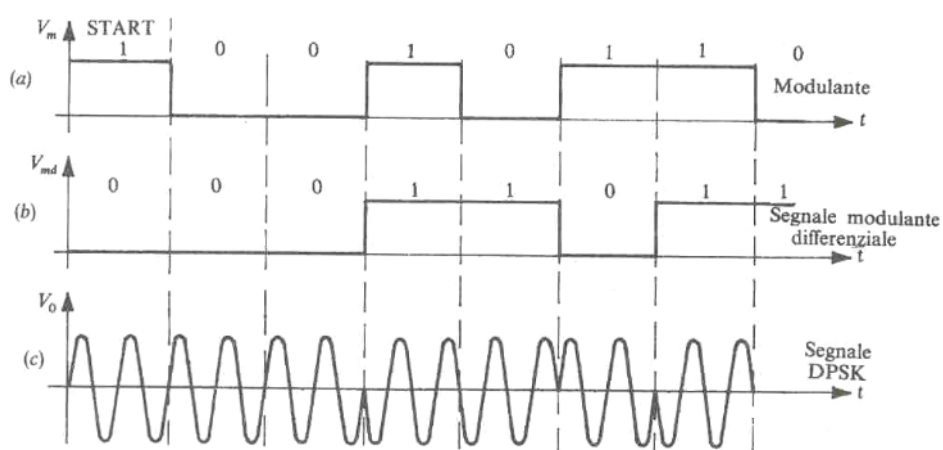
Il funzionamento del modulatore ad anello bilanciato è il seguente: se A è positivo rispetto a B i diodi D_1 e D_2 sono in conduzione mentre i diodi D_3 e D_4 sono interdetti e V_o (segnale di uscita PSK) risulta in fase con V_p (segnale portante); viceversa D_1 e D_2 sono interdetti e D_3 e D_4

conducono. In tal caso la corrente nel secondario del trasformatore di uscita si inverte e pertanto V_o risulta in opposizione di fase con V_p .

Il segnale PSK viene quindi inviato dal trasmettitore e ricevuto da un ricevitore. Il ricevitore è detto *demodulatore* e ha il compito di ricostruire il segnale informativo così come era stato trasmesso in origine.

Il demodulatore per demodulare il segnale PSK deve essere necessariamente sincronizzato sulla frequenza della portante in modo da poter rilevare velocemente le variazioni di fase del segnale. Da qui si deduce uno degli svantaggi della modulazione PSK ovvero l'accuratezza negli apparati e la sensibilità nelle trasmissioni.

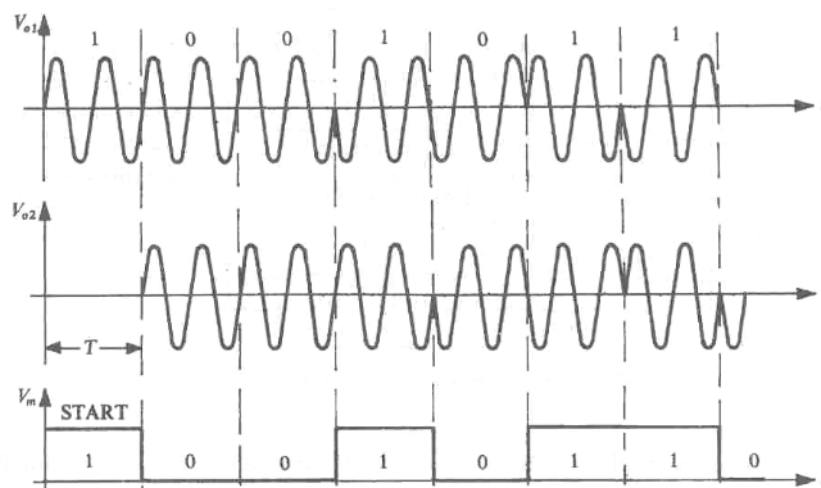
Per superare tali inconvenienti si utilizza la modulazione di fase differenziale **DPSK** di cui in figura vengono indicate le forme d'onda caratteristiche.



Modulazione di fase differenziale PSK

Il segnale modulante di figura a) viene trasformato in forma differenziale complimentando lo stato logico del segnale modulante se compare 1 e lasciandolo nello stato precedente se compare 0.

Il problema di individuare il valore della prima cifra ricevuta è facilmente risolto dall'invio di una sequenza prestabilita prima della comunicazione vera e propria. Nella figura seguente è riportata la forma d'onda di un segnale ricostruito col metodo DPSK. Naturalmente un segnale DPSK, avendo lo stesso andamento di un segnale PSK, conserva le stesse caratteristiche spettrali di quest'ultimo.



Forma d'onda per la ricostruzione dell'informazione binaria in un sistema DPSK

La PSK è la tecnica che offre le migliori prestazioni ed è realizzata sia nella versione **bifase** (*B-PSK*) che nella versione **polifase** (*3-PSK, 4-PSK, 8-PSK o QAM*): la prima, più semplice, è normalmente utilizzata nei sistemi a bassa velocità di trasmissione; la seconda consente di trasmettere a velocità più elevate.

La modulazione PSK con le sue varianti (2PSK, 4PSK, 8PSK, QAM) è utilizzata attualmente nelle trasmissioni a ponte radio numerici in contemporanea ad altre modulazione come la PCM

MODULAZIONE B-PSK

Nella modulazione B-PSK (Bipolar - PSK) o 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 come 0° e 180° ; nella figura seguente è riportato il diagramma delle tempificazioni di un segnale 2-PSK.

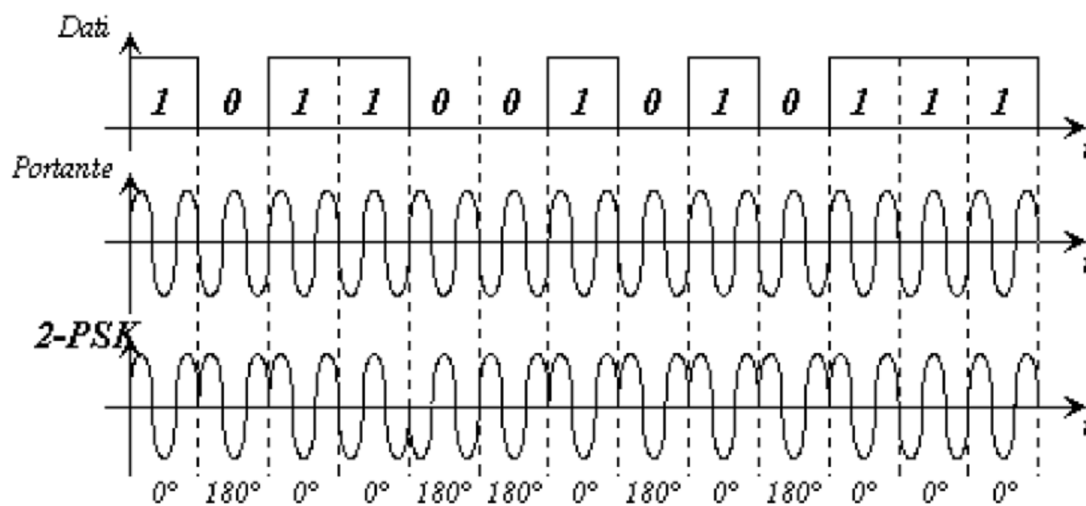


Diagramma delle tempificazioni di un segnale 2-PSK

La modulazione PSK bifase equivale a una modulazione AM DSB eseguita su un segnale bipolare. Infatti in tale modulazione il segnale modulato è proporzionale al prodotto tra modulante e portante, e pertanto ipotizzando un segnale modulante a due livelli V e $-V$ corrispondenti rispettivamente alle cifre 1 e 0, si ottiene un segnale modulato. Lo spettro PSK è identico a quello ASK, con tutto ciò che ne deriva.

MODULAZIONE 4PSK

La modulazione 4PSK, anche detta Q-PSK (Quadrature-PSK), viene utilizzata nella trasmissioni dati a 34 Mbps via ponte radio e nei modem funzionanti a 2400 bps.

La modulazione consiste nel generare 4 diversi valori di sfasamento, ad ognuno dei quali si associa un gruppo di due bit denominato **dibit**.

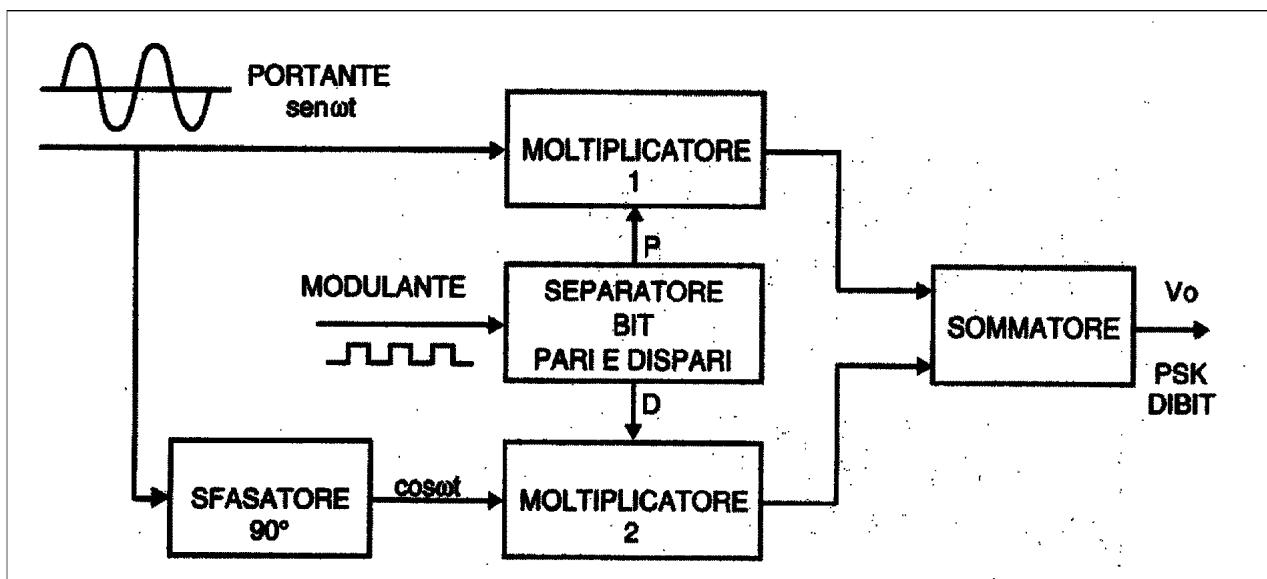
Gli sfasamenti, come tutte le regole riguardanti le telecomunicazioni, sono stati stabiliti dall'ITU-T e sono: $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ per la modulazione di tipo A e : $45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$ per la modulazione di tipo B.

Nella tabella seguente si possono vedere le relative combinazioni binarie dei bit e le relative variazioni di fase secondo la tecnica A e B previste nei modem V. 26.

Dibit	Cambiamento di fase	
	Modulazione di tipo A	Modulazione di tipo B
00	0°	45°
01	90°	135°
11	180°	225°
10	270°	315°

Si noti che si è utilizzato il codice Gray in modo che i livelli di fase adiacenti differiscano tra loro di un solo bit. Ciò consente una maggiore precisione nella trasmissione e quindi una riduzione degli errori.

Nella figura seguente si riporta lo schema a blocchi di un modulatore dibit 4-PSK:



Schema a blocchi di un modulatore PSK DIBIT (4PSK)

Analizziamo il comportamento del seguente circuito:

Il circuito sfasatore ha il compito di sfasare di 90° il segnale portante. Al blocco di separazione è applicato in ingresso il segnale modulante V_i che viene separato in bit pari e bit dispari; i bit di ordine pari P vengono inviati al moltiplicatore 1, mentre quelli di ordine dispari D vengono inviati al moltiplicatore 2. Il separatore inoltre associa allo stato logico basso il valore +1 e a quello alto il valore -1. In questo modo in uscita di ogni moltiplicatore otteniamo un segnale in fase con quello di entrate se il bit è al livello basso e sfasato di 180° se il bit è al livello alto.

In figura seguente si riporta la costellazione del segnale di uscita di un sistema dibit.

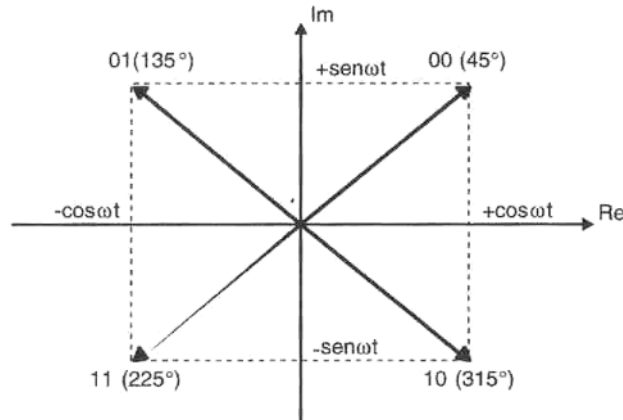


Diagramma vettoriale per una modulazione 4PSK

Come si può ben vedere dal diagramma sopra riportato i vettori sono sfasati tra loro di 90°.

MODULAZIONE 8PSK

La modulazione 8PSK è utilizzata nelle trasmissioni dati a 68 Mbps via ponte radio e nei modem funzionanti a 4800 bps.

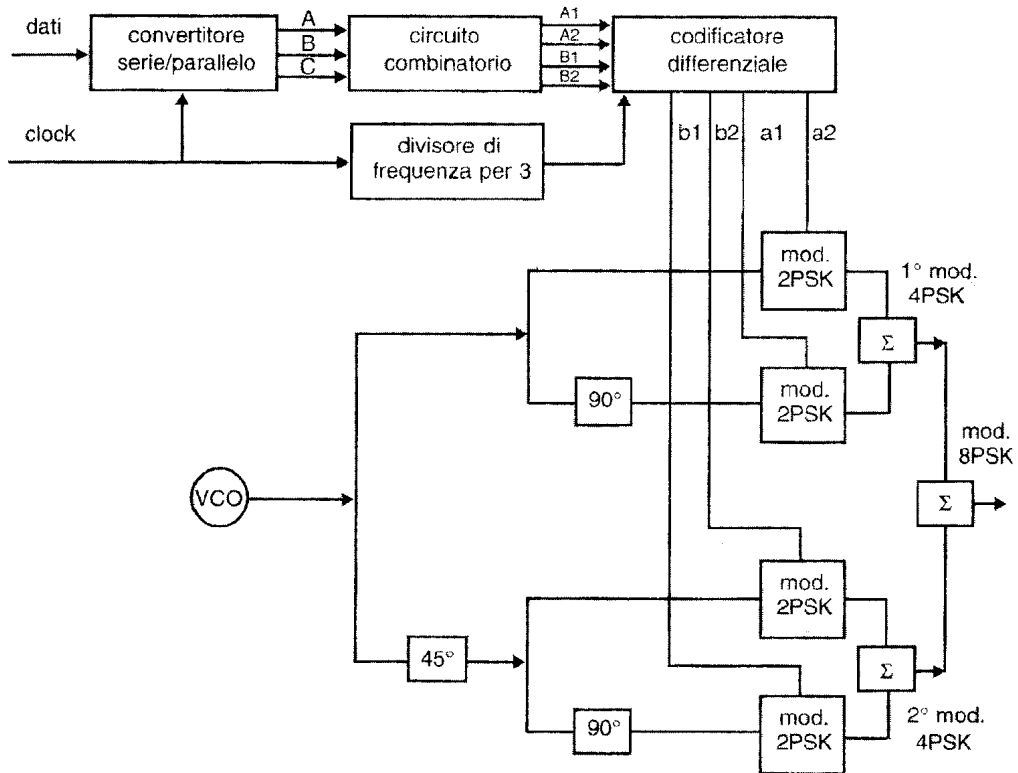
Questa modulazione consente di lavorare a velocità doppia rispetto alla modulazione 4PSK. La modulazione consiste nel sfasare il segnale con tre diversi valori di sfasamento. Ciò permette di inviare il segnale in pacchetti di tre bit, detti **tribit**.

Come nelle altre modulazioni, anche in questa l'ITU-T ha stabilito dei valori di sfasamento. Essi sono elencati in questa tabella.

ABC	cambio di fase
000	45°
010	90°
011	135°
111	180°
110	225°
100	270°
101	315°
001	360°

Un modulatore 8PSK può essere realizzato utilizzando due modulatori 4PSK pilotati da portanti con stessa ampiezza e frequenza ma sfasati tra loro di 45°.

In figura seguente si mostra lo schema a blocchi di un modulatore 8PSK.



Schema a blocchi di un modulatore 8PSK

Infine si mostra in figura il diagramma vettoriale o anche detto costellazione.

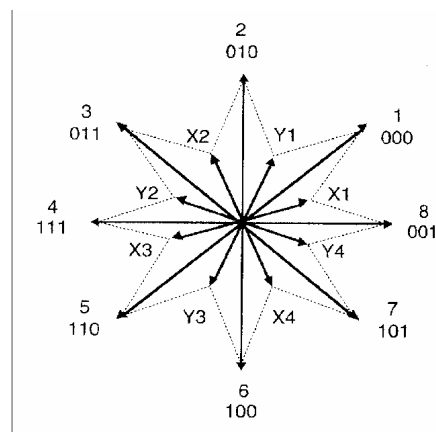


Diagramma vettoriale modulazione 8PSK

MODULAZIONE QAM

La modulazione QAM (Quadrature Amplitude Modulation) utilizza contemporaneamente la modulazione di ampiezza e quella di fase. Essa infatti è frutto della fusione della modulazione ASK e PSK che permettono di ottenere, a parità di banda passante, trasmissioni più veloci.

Il sistema più utilizzato della QAM è nella sua forma a 16 stati detta 16QAM.

La 16QAM è una modulazione **quadribit**, cioè a quattro bit. I bit vengono indicati dal più significativo al meno significativo: Q1, Q2, Q3, Q4.

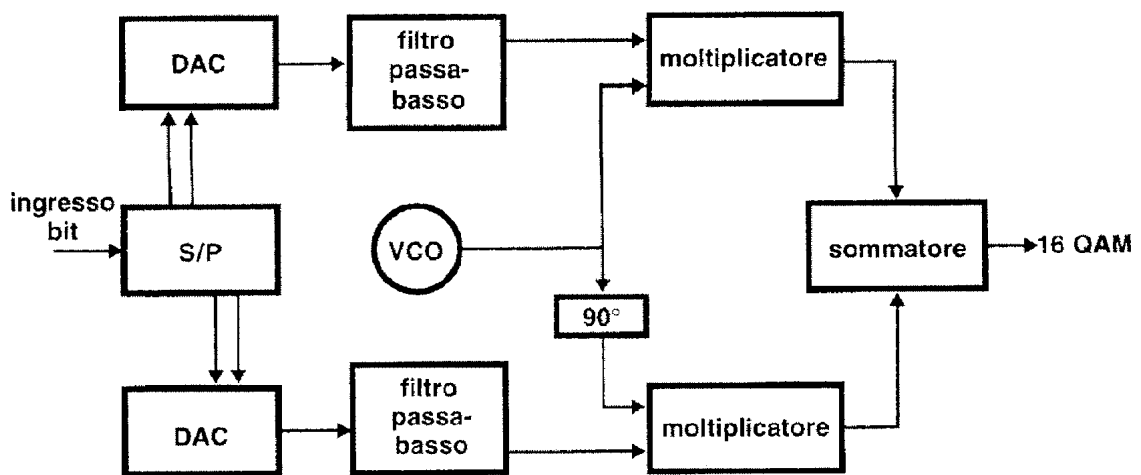
La serie di bit viene codificata nel seguente modo: il bit Q1 descrive l'ampiezza della portante, gli altri tre, Q2 Q3 Q4, determinano la fase del segnale modulato col metodo 8PSK (tribit). Ecco come si presenta la tabella della verità del seguente sistema.

Q ₁	Amplezza	Fase	Q ₄ Q ₃ Q ₂	Fase
0	3 V	0°, 90°, 180°, 270°	0 0 1	0°
1	5 V		0 0 0	45°
0	$\sqrt{2}$ V	45°, 135°, 225°, 315°	0 1 0	90°
1	$3\sqrt{2}$ V		0 1 1	135°
			1 1 1	180°
			1 1 0	225°
			1 0 0	270°
			1 0 1	315°

Analizzando la tabella si possono ipotizzare tutte le possibili combinazioni di bit presenti in una trasmissione.

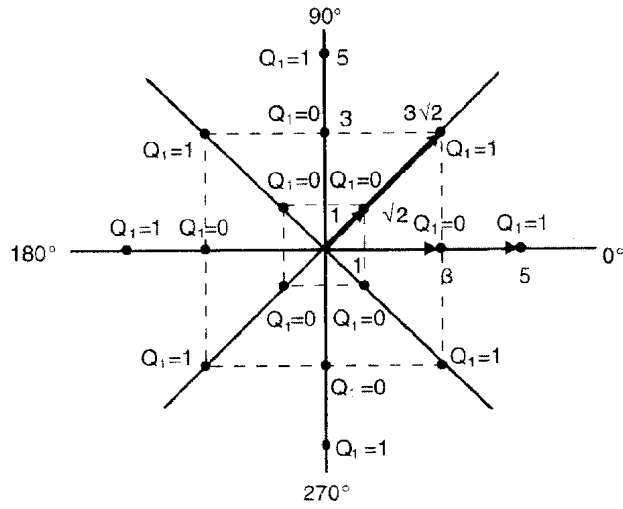
Questa modulazione è utilizzata nei *ponti radio numerici* a 140 Mbps e nella trasmissione via cavo a 9600 bps.

In figura si mostra lo schema a blocchi del modulatore 16QAM.



Schema a blocchi del modulatore 16QAM

Si mostra, inoltre, in figura successiva il diagramma vettoriale, noto anche come costellazione, per la modulazione 16QAM.



Costellazione per la modulazione 16QAM