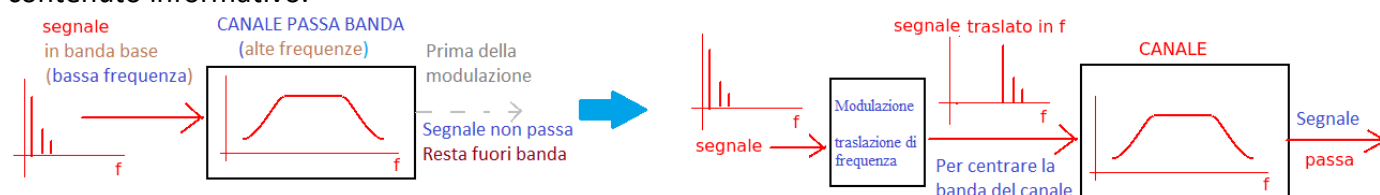


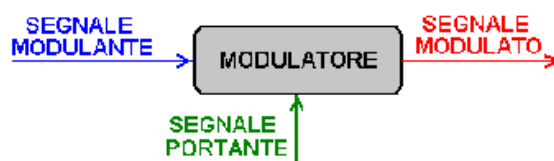
GENERALITÀ SULLA MODULAZIONE

Le **modulazioni** sono delle tecniche, che si applicano quando si deve trasmettere un segnale in banda base (band base) a lunghe distanze e su un canale passa banda di alta frequenza, allo scopo di adattare il segnale informativo utile alle caratteristiche del canale di comunicazione, mantenendo però invariata il suo contenuto informativo.



IL MODULATORE (MODEM)

Il modulatore è un dispositivo che effettua la **MOD**ulazione in trasmissione e la **DEM**odulazione in ricezione, esso è caratterizzato nell'aver due segnali in ingresso (modulante e portante) e un segnale in uscita (modulato).



Il **segnale modulante** è contiene l'informazione, ed è in bassa frequenza e non è adatta per essere trasmesso su un canale in alta frequenza.

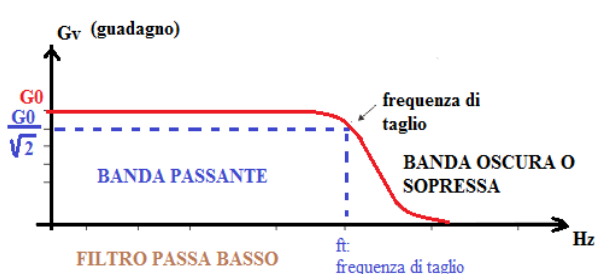
Il **segnale portante** è un segnale sinusoidale in alta frequenza e che serve a portare il segnale modulante, traslandone la frequenza per adattarlo alla banda del canale di trasmissione. Esso viene generato da un oscillatore locale presente all'interno del modem.

Il **segnale modulato** è un segnale in alta frequenza che, viene trasmesso lungo il canale di comunicazione, è il segnale risultante della modulazione, di frequenza elevata ed è contiene l'informazione in uno dei suo parametri (ampiezza, frequenza o fase).

La modulazione consiste nel modificare un parametro del segnale portante, in funzione del segnale modulante. La forma d'onda che si ottiene, è detta segnale modulato, la cui banda viene detta banda traslata adatta alla banda del canale di trasmissione.

Altri scopi della modulazione è di:

- adattare i segnali ai circuiti di rice-trasmissione facendo in modo che il segnale venga opportunamente filtrato ed amplificato durante il viaggio nel mezzo;
- il **filtraggio** consiste nell'eliminazione di una parte dello spettro del segnale. Le operazioni di filtraggio più di frequente utilizzate sono quelle **passa-basso** (vengono eliminate tutte le componenti dello spettro che sono al di sopra della frequenza di taglio, che rappresenta il limite massimo della banda passante) e poi **passa-banda** (vengono eliminate tutte le frequenze esterne alla banda passante)

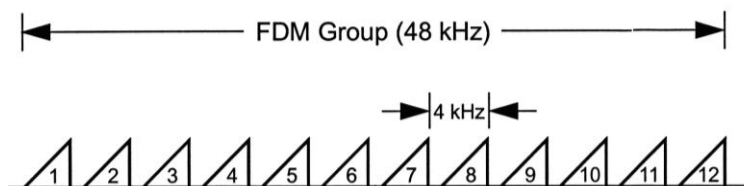


- L'**amplificazione** di un segnale consiste nell'incremento della potenza ad esso associata, il dispositivo che viene utilizzato, è l'amplificatore; esso serve a rigenerare il segnale riportandolo alle condizioni richieste.



- ✚ **garantire la multiplexazione** FDM (Frequency Division Multiplexing) oppure TDM (Time Division Multiplexing), sono tecniche utilizzati per poter trasmettere più segnale su un unico mezzo trasmissivo;

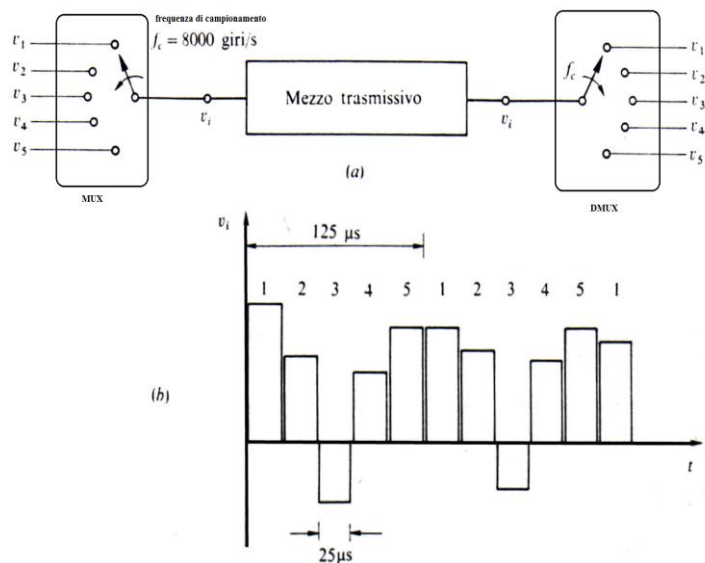
FDM: la banda (B) complessiva del canale viene suddivisa in numero (N) di sottobanda (B_c) ottenendo così un segnale definito multicanale, in cui sia ha $B = N \cdot B_c$; una tecnica utilizzata nei sistemi analogici.



TDM: il tempo complessivo a disposizione (T) viene suddiviso in (N) tempi per ogni canale, definiti time slot (T_s), ottenendo una trama (frame o pacchetto). Una tecnica che viene utilizzata ad esempio nella telefonia digitale tramite la modulazione a codifica di impulsi (PCM).

ogni trama è formata da 5 canale, con un tempo totale di $125\mu s$. Il time slot per canale è di $25\mu s$.

Il dispositivo di smistamento dei canali è chiamato multiplexer, che trasforma la trasmissione parallela in trasmissione seriale, invece in ricezione il demultiplexer effettua l'operazione opposta.



- ✚ **dimensionamento delle antenne:** le lunghezze delle antenne è inversamente proporzionale alla frequenza del segnale, secondo la formula $\lambda = c/f$ ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s).

CLASSIFICAZIONE DELLE MODULAZIONI

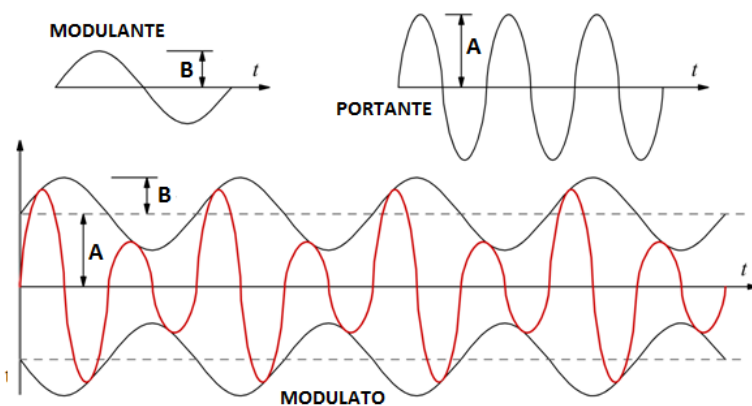
A seconda che il segnale sia analogico o numerico, e che il canale sia un doppino telefonico, una fibra ottica, o l'etere, che hanno caratteristiche fisiche alquanto differenti, le modulazioni vengono classificati in:

- Una modulazione si dice **analogica**, quando il segnale modulante è di tipo analogico; vengono classificati, in: AM (Amplitude Modulation), FM (Frequency Modulation) e PM (Phase Modulation);
- Una modulazione è **digitale** quando il segnale modulante è numerico; e sono: ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying) e PSK (Phase Shift Keying);
- una modulazione è **impulsiva**, quando il segnale portante è impulsivo, PAM (Pulse Amplitude Modulation), PCM (Pulse Code Modulation).

MODULAZIONE DI AMPIEZZA

Consiste nel far variare l'ampiezza della portante in modo proporzionale al segnale modulante, ottenendo così un segnale modulato in cui il contenuto informativo è nella variazione dell'ampiezza.

Le grandezze che intervengono sono:
 Il segnale modulante costituito dal segnale elettrico V_m dotato di banda base f_m contenente il segnale da trasmettere, normalmente è di bassa frequenza.
 La portante: V_p un segnale sinusoidale di alta frequenza, sulla quale viene caricata la modulante V_m : informazione da trasmettere, con lo scopo di traslare la frequenza del modulante da una bassa ad un'alta frequenza che caratterizza il canale di trasmissione.
 Il segnale modulato $V_{AM}(t)$ risultante dalla sovrapposizione dei due precedenti.



Una portante si dice modulata in ampiezza quando la sua ampiezza varia in funzione dell'ampiezza della modulante.

Portante: $V_p(t) = A \cos(\omega_p t)$

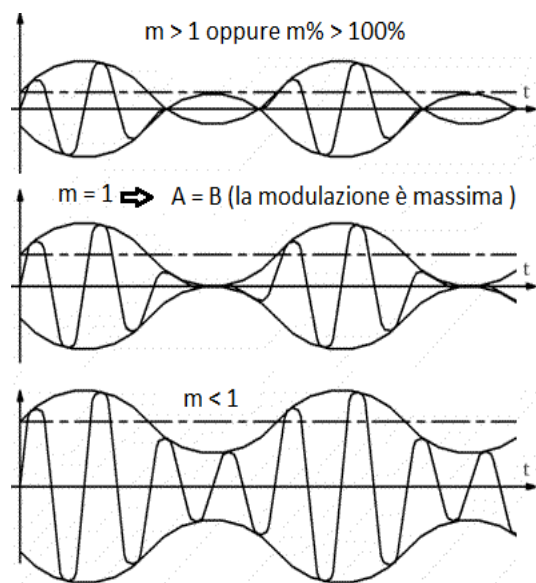
modulante: $V_m(t) = B \cos(\omega_m t)$

modulata: $V_{AM} = A \cos(\omega_p t) + \frac{mA}{2} \cos(\omega_p - \omega_m)t + \frac{mA}{2} \cos(\omega_p + \omega_m)t$

$V_{AM} = A \cdot [1 + m \cos(\omega_m t)] \cdot \cos(\omega_p t)$

esprimibile anche come:

$m = \frac{B}{A}$



definendo m , indice di modulazione:

L'indice di modulazione influisce sulla forma del segnale modulato. $0 \leq m \leq 1$

$m = 0$: non si ha nessuna modulazione e in questo caso si trasmette solo la portante;

$m = 1$ ($m\%=100\%$): si ha la massima modulazione;

$m > 1$ si ha una deformazione del segnale modulato.

Vengono definite:

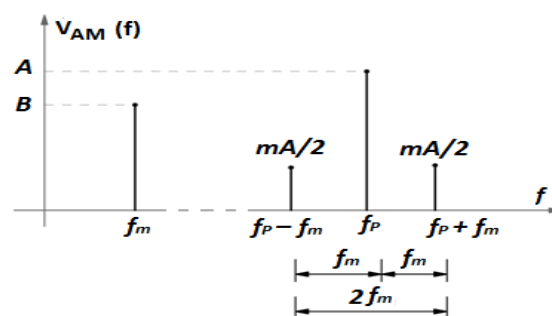
$f_p + f_m$: frequenza laterale superiore

$f_p - f_m$: frequenza laterale inferiore

Lo spettro del segnale generato è costituito da tre righe di ampiezza proporzionale all'ampiezza delle tre componenti del segnale modulato.

La banda di frequenza del segnale modulato

vale: $B_{AM} = 2f_m$ ed è centrato rispetto la frequenza portante.

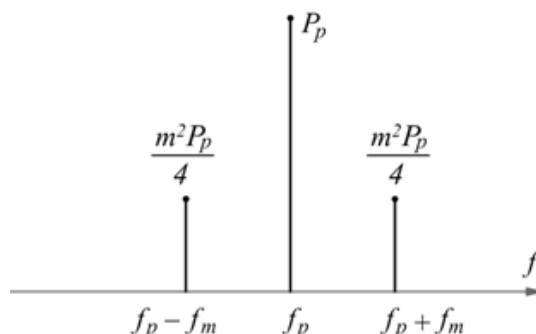


Il segnale è contenuto in ogni banda laterale. Viene, dunque, trasmessa una doppia informazione. Sarebbe opportuno trasmettere solo una delle due componenti, a ciò complica il processo di demodulazione.

La potenza totale di un segnale AM è dato dalla somma delle tre componenti dello spettro di frequenza:

$$P_T = P_p + P_{BLS} + P_{BLI}$$

$$P_T = \frac{m^2 P_p}{4} + \frac{m^2 P_p}{4} + P_p = \frac{m^2 P_p}{2} + P_p = P_p \left(1 + \frac{m^2}{2} \right)$$



Se chiamiamo R la resistenza dell'antenna sulla quale viene dissipata la potenza P_T del segnale modulato, considerando che ciascuna componente laterale del segnale modulato ha ampiezza: $mA/2$ e per la portante centrale l'ampiezza è A. Ricordando che per i calcoli della potenza bisogna usare il valore efficace della tensione (e della corrente).

potenza della portante

$$P_p = \frac{\left(\frac{A}{\sqrt{2}} \right)^2}{R} = \frac{A^2}{2R}$$

potenza della modulante

$$P_p = \frac{\left(\frac{B}{\sqrt{2}} \right)^2}{R} = \frac{B^2}{2R}$$

potenza associata ad ogni singola banda laterale

$$P_{BLS} = P_{BLI} = \frac{V_{eff}^2}{R} = \frac{\left(\frac{mA/2}{\sqrt{2}} \right)^2}{R} = \frac{m^2 A^2}{8R}$$

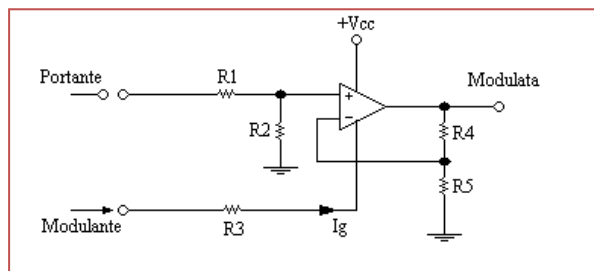
ora, osservare i semplici passaggi:

$$P_T = P_p + P_{BLS} + P_{BLI} = \frac{A^2}{2R} + \frac{m^2 A^2}{4R} = \frac{A^2}{2R} \cdot \left(1 + \frac{m^2}{2} \right) = P_p \cdot \left(1 + \frac{m^2}{2} \right)$$

Il **rendimento $\eta = P_{BL}/P_T$**

Modulatore AM

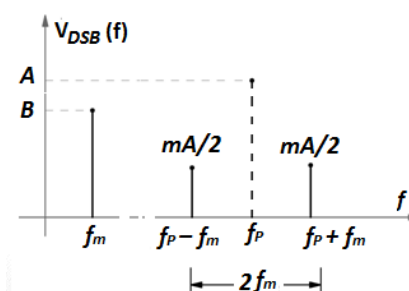
È un amplificatore a due ingressi



Trasmissioni AM DSB-SC e SSB: Per aumentare il rendimento di modulazione si impiegano due tecniche denominate **DSB-SC** (*Double Side Band Suppressed Carrier*) e **SSB** (*Single Side Band*).

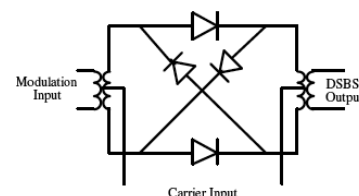
La **DSB-SC** consiste nel sopprimere la portante (non contiene informazioni) e trasmettere solo le bande laterali. Il segnale trasmesso è, in questo caso, costituito dal solo prodotto di modulazione e il rendimento di modulazione teorico diventa 50%.

L'apparato ricevente, per poter estrarre il segnale modulante, deve ricostruire il segnale AM completo di portante. Lo spettro figura a destra e l'occupazione di banda $B_{DSB-SC} = 2f_m$

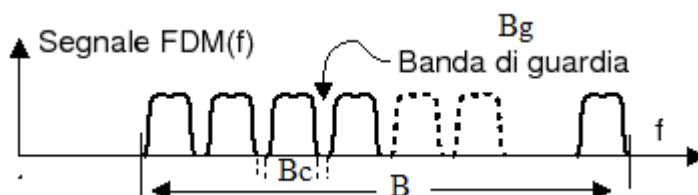


il modulatore del DSB_SC è un ponte bilanciato a 4 diodi

Nella **modulazione SSB**, invece si trasmette una sola banda laterale o la superiore (**USB**: Upper Side Band) o l'inferiore (**LSB**: Low Side Band). Oltre ad un miglioramento in termini di potenza trasmessa (rendimento teorico del 100%), si ottiene anche una riduzione della larghezza di banda del **canale di trasmissione**, cosa abbastanza utile nei sistemi di trasmissione a banda stretta come quelli telefonici, garantendo così una migliore **efficienza spettrale**. L'occupazione di banda $B_{SSB} = f_m$



ES 1- le frequenze assegnate ai radioamatori operanti nella lunghezza d'onda $\lambda=80$ [m] vanno da 3,6 a 3,8[MHz]. Supponendo che il segnale modulante abbia banda pari a 4 [kHz] e che si riservi 1 [kHz] come banda di guardia per la separazione di un canale da quelli adiacenti, in modo tale da limitare le interferenze, utilizzando la trasmissione a divisione di frequenza (FDM: Frequency Division Multiplexing). Determinare il numero di canali che possono essere realizzati nella banda a disposizione nel caso si utilizzi esclusivamente la modulazione AM oppure la SSB.



2- All'ingresso di un modulatore bilanciato sono applicati i seguenti segnali:

$$V_m = 6 \sin(9,42 \cdot 10^4 \cdot t)$$

$$V_p = 8 \sin(56,82 \cdot 10^5 \cdot t)$$

Si richiede di:

- Calcolare la potenza richiesta dallo spettro DSB e del SSB, considerando che la resistenza dell'antenna è di 800 $[\Omega]$.
 - Calcolare il rendimento di modulazione in DSB e SSB.
- 3- In un trasmettitore a modulazione di ampiezza si misura la corrente che giunge all'antenna trasmittente e si rilevano i seguenti valori: a) Corrente in assenza di modulazione: $I_p = 9$ A; b) Corrente in presenza di modulazione : $I_t = 9,5$ A

Si determini l'indice di modulazione con quale si opera .

4- Dato il segnale modulato $V_{AM}(t) = 10(1 + 0,6 \cos 6,28 \cdot 10^3 t) \cos 6,28 \cdot 10^6 t$ determinare:

- a) l'indice di modulazione
- b) il rendimento di modulazione

5- Se la potenza della portante di un segnale AM è 100 W e l'indice di modulazione vale 0.5, determinare:

- a) la potenza associata alle bande laterali
- b) la potenza totale

6- In un modulatore AM entrano una portante di ampiezza 1 V e frequenza 470 KHz e una modulante di ampiezza 1 V e frequenza 1 KHz.

a) Determinare lo spettro del segnale modulato. (assumere $k_a=1$)

7- Un segnale sinusoidale di ampiezza 42 V e frequenza 1.5 MHz viene modulato in ampiezza con un segnale sinusoidale di ampiezza 6 V e frequenza 2 KHz. Determinare:

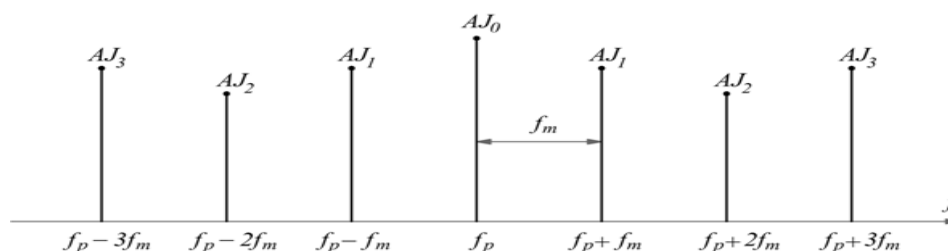
- a) l'indice di modulazione
- b) l'espressione analitica del segnale AM
- c) l'ampiezza minima e massima dell'involuppo
- d) la banda del segnale AM.

$$v = AJ_0(m_f) \cos(\omega_p t) - AJ_1(m_f) \cos(\omega_p - \omega_m)t + AJ_1(m_f) \cos(\omega_p + \omega_m)t + \\ - AJ_2(m_f) \cos(\omega_p - 2\omega_m)t + AJ_2(m_f) \cos(\omega_p + 2\omega_m)t + \\ - AJ_3(m_f) \cos(\omega_p - 3\omega_m)t + AJ_3(m_f) \cos(\omega_p + 3\omega_m)t + ..$$

dove le $J_n(m_f)$ sono le funzioni di Bessel (vedi grafico) ;

X (CARRIER) (m_f)	J_0	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{11}	J_{12}	J_{13}	J_{14}	J_{15}	J_{16}
0.00	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.25	0.98	0.12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.5	0.94	0.24	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.5	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.0	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.0	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.0	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—
6.0	0.15	-0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—	—
7.0	0.30	0.00	-0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—
8.0	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	—	—	—	—	—
9.0	-0.09	0.24	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.30	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	—	—	—
10.0	-0.25	0.04	0.25	0.06	-0.22	-0.23	-0.01	0.22	0.31	0.29	0.20	0.12	0.06	0.03	0.01	—	—
12.0	0.05	-0.22	-0.08	0.20	0.18	-0.07	-0.24	-0.17	0.05	0.23	0.30	0.27	0.20	0.12	0.07	0.03	0.01
15.0	-0.01	0.21	0.04	-0.19	-0.12	0.13	0.21	0.03	-0.17	-0.22	-0.09	0.10	0.24	0.28	0.25	0.18	0.12

il primo termine (AJ_0) è la portante. Le ampiezze della portante e delle altre componenti sono date da A =ampiezza della portante non modulata, per la corrispondente funzione di Bessel (funzione di m_f).



Lo spettro di un segnale FM è dato da infinite coppie di righe simmetriche rispetto la frequenza portante distanti da questa per multipli interi della frequenza modulante (nf_m).

Si osserva che se $m_f \ll 1$ solo poche righe sono significative e si parla di **segnale FM a banda stretta**, mentre $m_f \gg 1$ se si parla di **segnale FM a banda larga**.

Esiste un **numero k** che **stabilisce il numero significativo di righe spettrali** che bisogna considerare:

$$k = m_f + 1$$

essendo le righe distanti f_m tra loro e simmetriche rispetto la portante, **la larghezza di banda**:

$$BW = 2kf_m = 2(m_f + 1)f_m = 2 \left(\frac{\Delta F}{f_m} + 1 \right) f_m \quad \text{si ottiene così, la **regola di Carson**:} \quad BW = 2(\Delta F + f_m)$$

La **potenza di un segnale modulato** FM è lo stesso della portante non modulata:

$$P_m = P_p = \frac{A^2}{2R}$$

dove R è la resistenza di carico del modulatore.

MODULAZIONI DIGITALI O NUMERICHE Nella **trasmissione in banda traslata** o passa banda il segnale viene modulato opportunamente in modo che la banda occupata sia quella prevista, senza disturbare i canali adiacenti. Non è possibile in questo sistema la trasmissione in banda base, cioè senza modulazione, in quanto in questo sistema viaggiano sullo stesso canale più segnali sinusoidali contemporaneamente e per distinguerli occorre la modulazione di ciascun segnale.

La modulazione digitale o numerica è quella in cui il segnale modulante rappresenta un'informazione in formato binario, cioè un insieme di valori che possono essere 0 o 1. La modulazione numerica viene impiegata nei modem, nei cellulari, nella TV digitale e satellitare, nei ponti radio.

Vi sono tre tipi fondamentali:

ASK (Amplitude Shift Keying) cioè modulazione a cambiamento di ampiezza;

FSK (Frequency Shift Keying) cioè modulazione a cambiamento di frequenza;

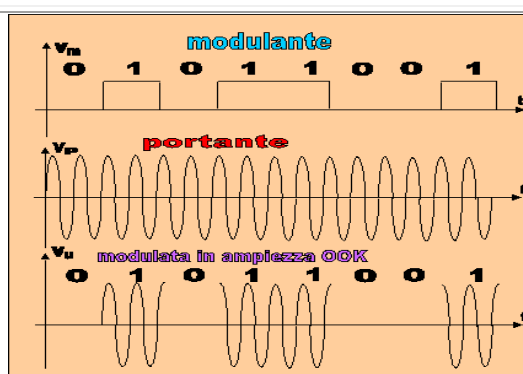
PSK (Phase Shift Keying) cioè modulazione a cambiamento di fase.

MODULAZIONE DIGITALE DI AMPIEZZA ASK-OOK

Per via dell'elevata sensibilità al rumore, nella pratica questi tipi di modulazioni sono impiegate molto raramente, è stata la prima tecnica di modulazione numerica impiegata nella telegrafia.

Esistono due tipi di modulazione di ampiezza, La ASK e la OOK (On Off Keying).

La differenza fondamentale tra **ASK** e **OOK** sta nei valori di ampiezza che può assumere il segnale modulante e il segnale modulato, in ASK si utilizza una codifica NRZ bipolare, cioè un segnale modulante bipolare: ("0" $\rightarrow -V_0$ [V] e "1" $\rightarrow +V_0$ [V]), nel segnale modulato e in corrispondenza di un 1 logico in ingresso si ha l'emissione della portante a fase zero (cioè con ampiezza positiva), mentre di uno 0 logico in ingresso si ha l'emissione della portante cambiata di segno e cioè sfasata di 180° . Invece per la OOK Viene utilizzata codifica unipolare NRZ (Not Return to Zero), con una modulante unipolare ("0" $\rightarrow 0$ [V] e "1" $\rightarrow +V_0$ [V]).

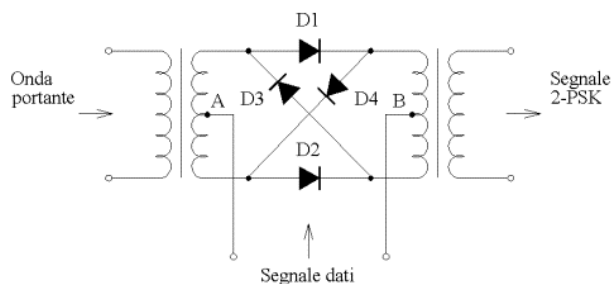
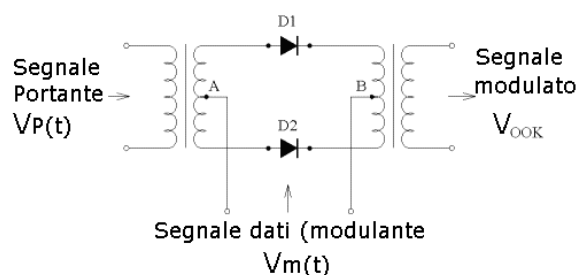


modulazione digitale di ampiezza OOK

Quindi possiamo dire che la portante o assume un valore zero oppure assume un valore costante sia in ampiezza che in frequenza. Questo tipo di modulazione digitale di ampiezza è detto **OOK** (On Off Keying).

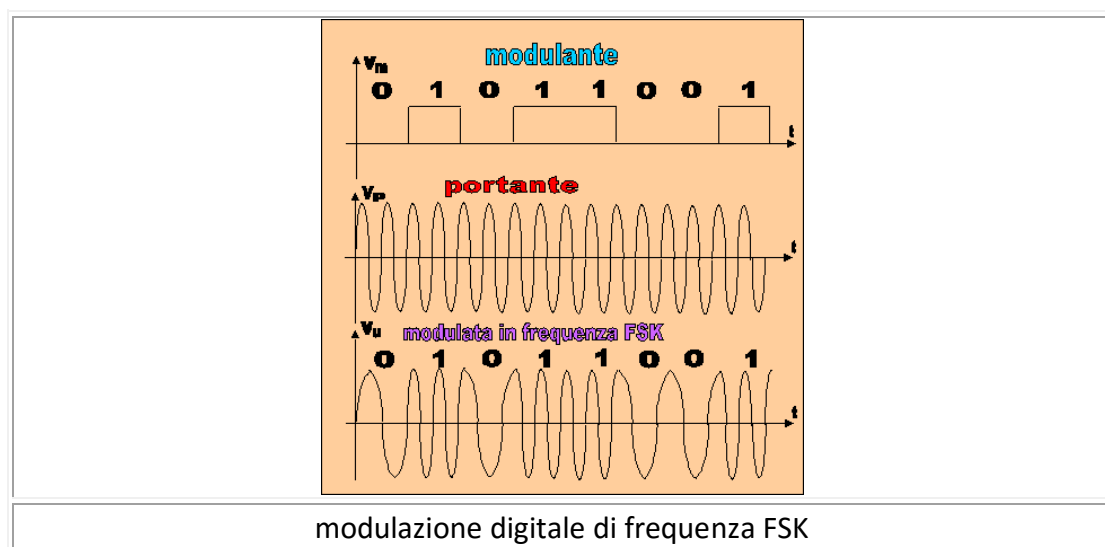
modulazione digitale di ampiezza ASK è simile alla modulazione di fase 2PSK, che si vedrà i seguito.

dal punto di vista concettuale il **modulatore OOK** esegue un prodotto tra la modulante e la portante, "paragonata alla modulazione DSB-SC con un modulatore a 2 diodi per OOK e a 4 diodi per ASK.



MODULAZIONE DIGITALE DI FREQUENZA FSK La modulazione digitale di frequenza consiste in una frequenza portante molto elevata f_p che varia come frequenza tra due valori prefissati, dei quali uno rappresenta lo zero binario e l'altro l'uno binario; la modulante è un segnale binario; quando la modulante è zero la portante assume un certo valore di frequenza f_1 ; quando la modulante è 1 la portante assume un altro valore di frequenza f_2 ; l'ampiezza delle due portanti è sempre costante.

Questo tipo di modulazione è stato usato nei primi modem "V21 (300 bit/s) e V23 (600 a 1200 bit/s)" molto lenti rispetto a quelli odierni, ed è usato nei ponti radio e nelle Tx tra cellulari.



Il **modulatore è un oscillatore controllato in tensione (VCO)**, a riposo cioè in assenza di trasmissione genera una portante di frequenza f_p . Invece, in presenza di un segnale modulante, esso genera un segnale con frequenza f_0 e f_1 , corrispondono rispettivamente ai livelli "0" e "1".

Nel caso di codifica NRZ bipolare, indichiamo con:

0 (space) $\rightarrow +V_0$

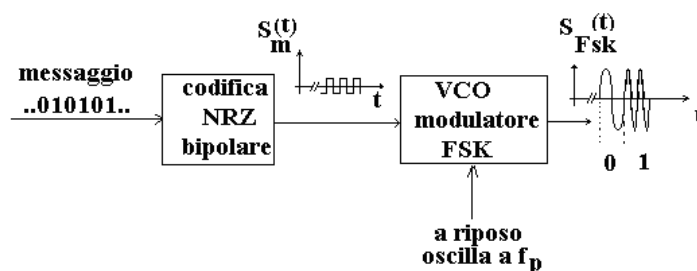
1 (Mark) $\rightarrow -V_0$

$f_0 = f_p + \Delta f$ e $f_1 = f_p - \Delta f$ sono le due frequenze portanti generate per livello zero e per un livello 1 del segnale modulante

$$\Delta f = (f_1 - f_0)/2$$

Δf : deviazione di frequenza da un valore a riposo f_p dell'oscillatore VCO "Voltage Controlled Oscillator".

Schema a blocchi:



i segnali corrispondono a 0 e 1 sono rispettivamente:

$$S_0(t) = A_p \sin [2\pi(f_p - \Delta f) t] = A_p \sin(2\pi f_0 t)$$

$$S_1(t) = A_p \sin [2\pi(f_p + \Delta f) t] = A_p \sin(2\pi f_1 t)$$

Il segnale modulato FSK può essere visto come la sovrapposizione (somma) dei due segnali.

L'occupazione di banda:

può essere calcolata tramite la **regola di CARSON**: $B_{FSK} = 2(\Delta f + f_{max})$

f_{max} : massima frequenza nella modulante, $f_{max} = 1/t_{bit} = R_s$ (bit rate)

il massimo bit rate consentito per non avere aliasing "sovrapposizione degli impulsi, cioè interferenze".

Con FSK non risulta conveniente operare con modulazione a più di due stati (più di due frequenze)

altrimenti si rischia una probabilità di errore elevata.

L'indice di modulazione: $m_f = (f_1 - f_0) / f_{max}$

MODULAZIONE DIGITALE DI FASE L-PSK (PHASE SHIFT KEYING) È la modulazione più moderna, più veloce rispetto a quelli di ASK e FSK.

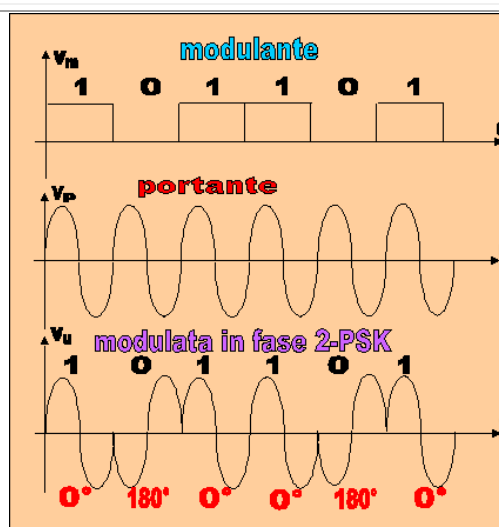
$L = 2^n$: "L" indica i livelli di modulazione, invece "n" indica i bit di codifica di canale per ogni livello.

Le principali modulazioni di fase sono: 2-PSK, 4-PSK e 8-PSK.

2-PSK: (binary phase Shift Keying):

Questa modulazione di fase consiste nel variare la fase della portante in base al valore binario assunto dalla modulante; se la modulante ha valore 1 la portante resta inalterata; se la modulante ha valore 0 la portante viene sfasata di 180° .

La frequenza e l'ampiezza della portante restano inalterate, cioè si modifica solo la fase.



modulazione digitale di fase 2-PSK

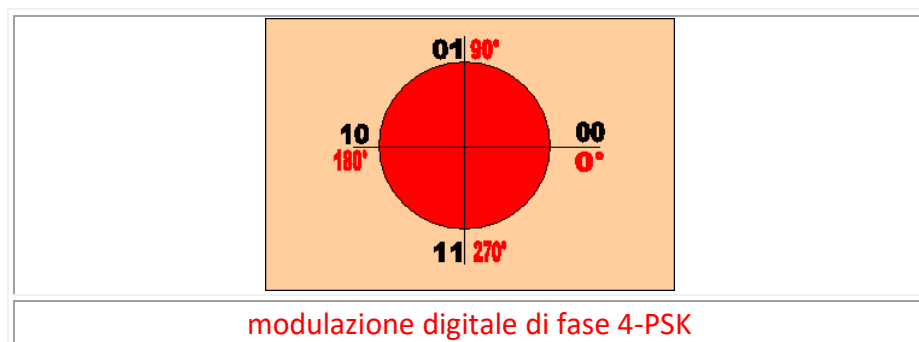
1 - se dividiamo l'angolo giro in due parti uguali, ciascuna di 180° abbiamo la modulazione di fase 2-PSK.



Vi è quindi una corrispondenza tra numero binario e sfasamento della portante:

numero binario	sfasamento
0	180°
1	0°

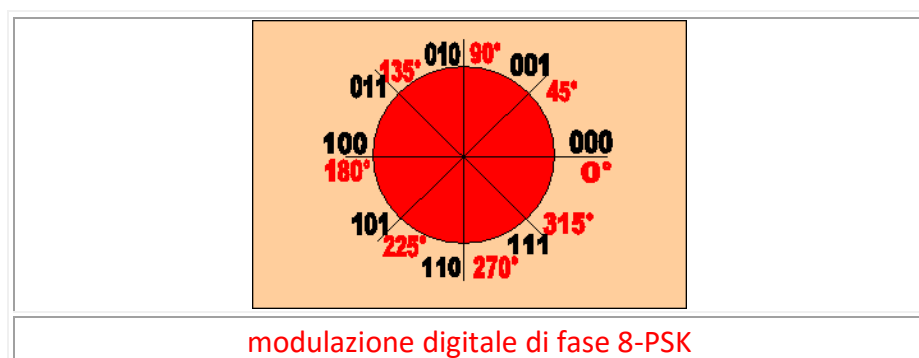
2 - se dividiamo l'angolo giro in quattro parti uguali, ciascuna di 90° abbiamo la modulazione di fase 4-PSK.



Vi è quindi una corrispondenza tra numero binario e sfasamento della portante:

numero binario	sfasamento
00	0°
01	90°
10	180°
11	270°

3 - se dividiamo l'angolo giro in otto parti uguali, ciascuna di 45° abbiamo la modulazione di fase 8-PSK.



Vi è quindi una corrispondenza tra numero binario e sfasamento della portante:

numero binario	sfasamento
000	0°
001	45°
010	90°
011	135°
100	180°
101	225°
110	270°
111	315°

MODULAZIONE QAM (QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION)

La **modulazione numerica di ampiezza in quadratura**, sigla **QAM**, è un sistema di [modulazione numerica](#) sia analogica che digitale. Le [portanti](#) sono usualmente delle [sinusoidi](#). Il termine quadratura indica che differiscono di 90°.

Nel caso di segnali digitali, si sommano i segnali modulati e si ottiene una [forma d'onda](#) che risulta una combinazione della [modulazione di fase](#) ([PSK](#) Phase Shift Keying) e della [modulazione d'ampiezza](#) ([ASK](#) Amplitude Shift Keying). Questo sistema utilizzato in molti sistemi di [telecomunicazioni](#). Ad oggi ancora usata per la [modulazione](#) dei canali [ADSL](#).

Alcune caratteristiche

1. Modulazione in quadratura corrisponde a modulazione in banda-passante
2. L'informazione è associata all'ampiezza e alla fase della portante.

MODULAZIONE 16 QAM PSK (Q-PSK)

Il modem con protocollo "ITU-T V.29" utilizza la modulazione QAM e consente velocità di trasmissione di 9600bps, 7200bps e 4800bps in full-duplex o half-duplex con modalità sincrona su rete dedicata a quattro fili.

La frequenza portante è 1700Hz 1Hz e la rapidità di modulazione è di 2400baud.

Alla velocità di trasmissione di 9600bps il modem utilizza la modulazione mista di fase e ampiezza a 16 livelli per cui il modulatore agisce su un gruppo di 4 bit : Q2 Q3 Q4 per generare 8 salti di fase e Q1 per l'attribuzione dell'ampiezza in funzione della fase secondo i due prospetti illustrati nella tabella 10.

Q2	Q3	Q4	Salto di fase
0	0	0	0
0	0	1	+45°
0	1	0	+90°
0	1	1	+135°
1	0	0	+180°
1	0	1	+225°
1	1	0	+270°
1	1	1	+315°

Fase	Q1	Ampiezza
0°, 90°, 180°, 270°	0 1	3 5
45°, 135°, 225°, 315°	0 1	$\sqrt{2}V$ $3\sqrt{2}V$

I **16 simboli** della **modulazione** sono costituiti da **2 gruppi di 8** ciascuno.

La modulazione **16 QAM PSK**, è una modulazione numerica di **ampiezza e fase a 16** livelli diversi.

In questo caso quindi si ha una **sola portante** sinusoidale, 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**.

Un tratto di sinusoide con fase scelta fra: **0° - 90° - 180° - 270°** e ampiezza **3V** oppure **5V**;

un tratto di sinusoide con fase scelta fra: **45° - 135° - 225° - 315°** e ampiezza $\sqrt{2}V$ oppure $3\sqrt{2}V$

Ogni configurazione che arriva a destinazione, costituita da una fase angolare e un'ampiezza, porta con sé l'informazione di **4 bit**, secondo il diagramma a costellazione qui sotto:

COSTELLAZIONE PER LA MODULAZIONE 16 QAMPSK

