

# **IL MODULATORE IN DETTAGLIO**



## Recap lezione precedente

Il modulatore può trasmettere  $M = 2^k$  forme d'onda aventi  $T$  come durata; ad ogni forma d'onda corrisponde una sequenza binaria:

$$K = 2 \Rightarrow M = 2^2 = 4 \Rightarrow 4 \text{ Forme D'onda};$$

$$00 \rightarrow S_1(t) \in (mT, (m+1)T) \quad \text{con } m = 0, 1, \dots, m$$

$$00 \rightarrow S_2(t) \dots$$

$\vdots$

Importante !

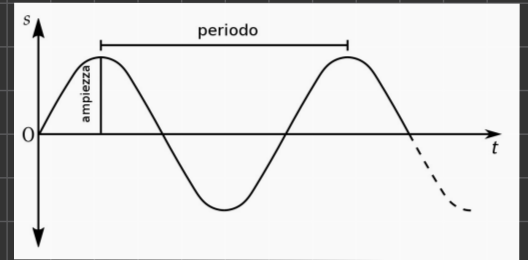
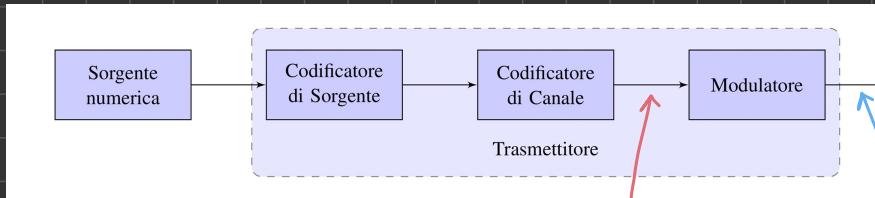


Immagine esplicativa di Ampiezza e periodo

La nostra DURATA  $T$

Forma d'onda

$\Rightarrow$  ANALOGICA

## ESEMPIO realistico di un modulatore

Prendiamo in esame un tipo di modulazione chiamata Modulazione Numerica di fase o PSK (Phase shift keying)

Le forme d'onda  $S_i(t)$  viste prima sono del tipo:

- Ampiezza costante  $A$
- Un coseno (sinusoide) con una frequenza  $f_0$
- Una fase  $\phi_i$  che dipende dalla frequenza

$$S_i(t) = A \cdot \cos(2\pi f_0 t + \phi_i) \quad (1)$$

Dove

$$\phi = \frac{2\pi(i-1)}{M}$$

e  $t \in (0, T)$

$M = 2^k$

Ripescando l'esempio di prima dove  $m=4$ , vediamo come sono composte le forme d'onda:

$$i = (1, M)$$

Calcoliamo le fasi  $\phi$

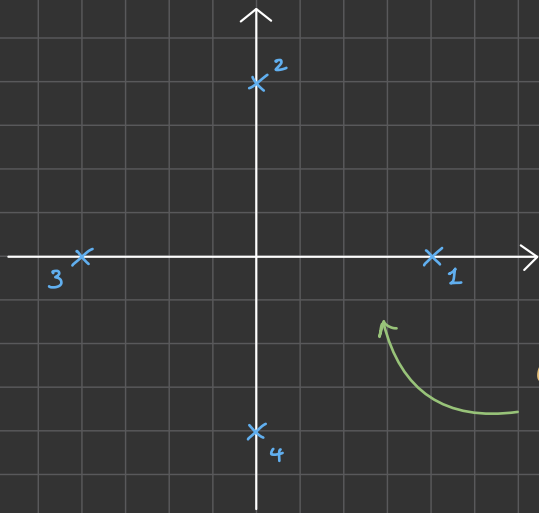
$$\phi_1 = \frac{2\pi(1-1)}{M} = 0$$

$$\phi_3 = \frac{2\pi \cdot 2}{4} = \pi$$

$$\phi_2 = \frac{2\pi}{M} = \frac{2}{4}\pi = \frac{1}{2}\pi$$

$$\phi_4 = \frac{2\pi \cdot 3}{4} = \frac{3}{2}\pi$$

## Visualizziamole



Questa modulazione è detta **4PSK**

E con sequenze di **3 bit**?

Ci basta calcolare  $M = 2^3 = 8$  e ripetere i calcoli delle Fasi, che in questo caso saranno 8.

Questa visualizzazione si chiama **Costellazione di Segnali**

Riscriviamo la formula (1) con le formule di Addizione

$$S_i(t) = A \cos(2\pi f_0 t) \cos(\phi_i) - A \sin(2\pi f_0 t) \sin(\phi_i)$$

Così facendo "separiamo" la forma d'onda contenente la **Portante** ovvero la sinusoide a frequenza  $f_0$   $[A \cos(2\pi f_0 t)]$  e la quantità

$\cos(\phi_i)$  che è responsabile dell'informazione <sup>Portante</sup> del segnale (ovvero l'informaz. che voglio trasmettere).

Possiamo riscrivere ulteriormente la formula (1) come:

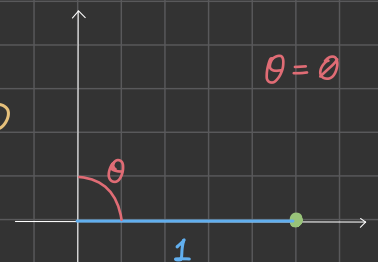
$$I_i \cos(2\pi f_0 t) + Q_i \sin(2\pi f_0 t) \quad \text{dove} \quad \begin{aligned} I_i &= A \cos(\phi_i) \\ Q_i &= -A \sin(\phi_i) \end{aligned}$$

Perché nel piano complesso (a) i punti sono su di una circonferenza?

→ Spiegone: su un piano complesso un punto è identificato da 2 valori:

- Modulo / distanza da 0
- Angolo

Quindi un punto avente modulo 1 ed angolo 0 è rappresentato nel seguente modo:



⇒ Quindi

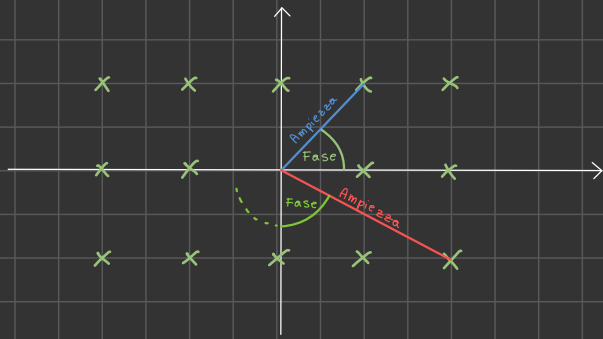
$$\text{Notiamo che } Q_i^2 + I_i^2 = \frac{1}{1} = A^2 \cos^2(\phi) + A^2 \sin^2(\phi) = A^2 [\underbrace{\cos^2(\phi) + \sin^2(\phi)}_1] = \underbrace{A^2}_{\text{"raggio" o distanza da 0 e COSTANTE}}$$

Ed il rumore?

È evidente che se prendiamo come esempio valori alti come 64 PSK, il nostro archivio sarà molto "affollato", e quindi sarà più probabile che il rumore vada ad invalidare il nostro messaggio.

Una possibile soluzione sarebbe quella di Allargare la circonferenza; come abbiamo visto questo è fattibile aumentando A. Per aumentare l'ampiezza dobbiamo aumentare l'energia trasmessa.

Possibile soluzione: Disporre la costellazione di punti su un "quadrato".



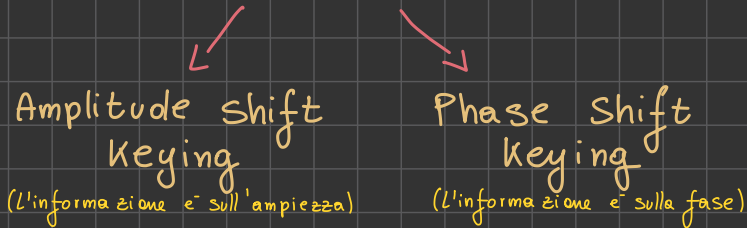
Ci accorgiamo velocemente che in questa soluzione l'ampiezza non è più costante.

Possiamo creare modulazioni in cui le diverse forme d'onda, pur rimanendo di tipo sinusoidale hanno Ampiezza e fasi diverse, secondo uno SCHEMA.

Nomenclatura dello schema

00:36

Lo schema si chiama ASK-PSK



L'informazione è sia sulla fase che ampiezza

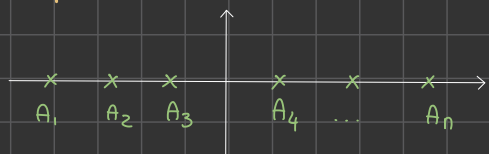
## Un esempio diverso

Poniamo il caso di scegliere delle forme d'onda dipendenti solo dalla ampiezza:

$$S_i(t) = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{Varia}}}{A_i} \cos(\underbrace{2\pi f_0 t}_{\text{Costante}})$$

Se volessimo rappresentare la costellazione dei segnali come abbiamo fatto con la PSK, come potremmo fare?

Invece di usare due assi come prima, dato che avevamo due componenti (sin e cos), ne usiamo solo uno, visto che c'è solo la componente cosin.



Questa modulazione è chiamata **ASK**, dove l'informazione è associata all'ampiezza del segnale.