

### Esercizio 1

Un sistema di comunicazione digitale utilizza la **modulazione BPSK (Binary Phase Shift Keying)**, PSK binaria, che trasmette un solo bit per volta e quindi 2 possibili valori/livelli), in cui:

- il **bit 1** è trasmesso con una portante in fase:

$$s_1(t) = A \cdot \cos(2\pi f t)$$

- il **bit 0** è trasmesso con una portante in opposizione di fase:

$$s_0(t) = -A \cdot \cos(2\pi f t)$$

Dati:

- frequenza della portante:  $f = 2 \text{ kHz}$
- ampiezza:  $A = 1 \text{ V}$
- durata del bit:  $T_b = 1 \text{ ms}$
- sequenza binaria da trasmettere: **10110**

Risolvi questi quesiti:

- 1) disegna qualitativamente la forma d'onda risultante per la sequenza.
- 2) qual è la differenza tra i segnali per il bit 1 e il bit 0?
- 3) quanti cicli completi contiene ciascun bit?
- 4) quale vantaggio ha la PSK rispetto alla ASK?

## Esercizio 2

In DPSK, l'informazione non è trasmessa dalla **fase assoluta**, ma dalla **differenza di fase** tra simboli consecutivi:

- se il bit è **1**, la **fase viene invertita** rispetto al simbolo precedente
- se il bit è **0**, la **fase resta invariata**

Si parte da una fase iniziale **0°** (coseno positivo).

Dati:

- frequenza della portante:  $f = 1 \text{ kHz}$
- ampiezza:  $A = 1 \text{ V}$
- sequenza binaria: **101100**

Risolvi questi quesiti:

1. determina la **fase di ogni simbolo** (rispetto al primo)
2. disegna la **forma d'onda** qualitativa corrispondente
3. perché la DPSK può essere decodificata **senza sincronizzazione di fase assoluta**?
4. confronta i **vantaggi e svantaggi** della DPSK rispetto alla PSK

### Esercizio 3

Un sistema digitale utilizza la **modulazione 16-QAM** (*Quadrature Amplitude Modulation* con 16 simboli). Ogni simbolo codifica **4 bit**, e viene rappresentato come una **combinazione lineare** di due segnali portanti ortogonali:

$$s(t) = I \cdot \cos(2\pi f t) + Q \cdot \sin(2\pi f t)$$

dove:

- $I$  è la componente **in fase**
- $Q$  è la componente **in quadratura**
- $f = 10 \text{ kHz}$  è la frequenza della portante
- $A = 1 \text{ V}$  è il passo di ampiezza

La costellazione è definita da valori di  $I, Q \in \{-3A, -A, +A, +3A\}$

Data la **sequenza binaria** da trasmettere: **0100 1101 0001 1010**

Risolvi questi quesiti:

- 1) Quanti **simboli** vengono trasmessi?
- 2) Determina le **coordinate (I, Q)** per ciascun simbolo secondo una mappa standard di 16-QAM
- 3) Disegna sul piano I-Q la **posizione dei simboli**
- 4) Calcola la **durata complessiva** della trasmissione se ogni simbolo dura  $T_s = 1 \text{ ms}$
- 5) Quali vantaggi ha la QAM rispetto a PSK o ASK?

#### Esercizio 4

Durante una trasmissione QAM, un ricevitore acquisisce i seguenti **simboli ricevuti** (coordinate I,Q):

$$(-1,3), (-3,1), (3,-3), (1,-1)$$

Il sistema utilizza una mappa **16-QAM Gray** codificata con:

- Valori di I,Q  $\in \{-3A, -A, +A, +3A\}$
- Passo di ampiezza:  $A = 1 \text{ V}$

Risolvi questi quesiti:

- 1) identifica la **sequenza binaria ricevuta** corrispondente a questi simboli
- 2) spiega **come si effettua la mappatura inversa** (demodulazione)
- 3) se un simbolo ricevuto è **distorto** e risulta come  $(2.8, -3.2)$ , a quale simbolo originale probabilmente corrisponde?
- 4) perché in QAM si usano **codici Gray** invece del codice binario naturale?