

1. Siano $z_1(t)$, $z_2(t)$ e $z_3(t)$ tre segnali modulati in FM, rispettivamente con portanti a $f_1 = 1000$ Hz, $f_2 = 2000$ Hz, $f_3 = 2500$ Hz. Si assuma che $z_2(t)$ sia ottenuto con un indice di modulazione $\beta_2 = 1/2$ e con un segnale modulante passa-basso con banda monolatera $W_2 = 100$ Hz. Si assuma inoltre che i segnali $z_1(t)$ e $z_3(t)$ siano modulati da segnali passa-basso con banda monolatera $W_1 = W_3 = 200$ Hz. Determinare:
 - (a) il valore numerico degli indici di modulazione β_1 e β_3 , rispettivamente dei segnali $z_1(t)$ e $z_3(t)$, in modo da non avere sovrapposizione tra le bande occupate dai tre segnali modulati;
 - (b) il range complessivo di frequenze occupato dai tre segnali modulati;
 - (c) l'ampiezza delle tre portanti assumendo che ognuno dei tre segnali modulati abbia potenza P ;
 - (d) l'espressione algebrica della potenza trasportata da ognuno dei tre segnali modulati alla frequenza della propria portante.

2. Si consideri una schema di comunicazione digitale senza memoria 4-ASK con simboli equiprobabili su canale AWGN. Indicati con d la distanza tra due punti adiacenti della costellazione nello spazio dei segnali e con $\eta_o/2$ la varianza del rumore, calcolare l'espressione analitica esatta della probabilità di errore per bit nei seguenti casi:
 - (a) la coppia di bit associata al simbolo i -esimo sia la rappresentazione binaria di i (con $i = 0, 1, 2, 3$);
 - (b) l'associazione tra coppie di bit e simboli sia fatta secondo la codifica di Gray.

Confrontare le espressioni ottenute (e/o eventuali approssimazioni delle stesse) e commentare il risultato.