

Corso di Fondamenti di Comunicazioni Elettriche/Telecomunicazioni
Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica / Laurea Magistrale in Ingegneria Elettrotecnica

Esercizio in Aula 17/12/2024

Un collegamento numerico è caratterizzato da una velocità di trasmissione binaria pari a $f_b = 100$ Mb/s e si estende su una tratta radio di lunghezza $d = 12$ km. Lo schema di modulazione adottato è di tipo BLU-PS applicato a un segnale a $L = 8$ livelli. La frequenza portante vale $f_p = 2$ GHz. In trasmissione è utilizzato un filtro a coseno rialzato con fattore di roll-off $\gamma = 0,2$. Le antenne in trasmissione e in ricezione hanno entrambe un guadagno $G = 8$ dB. Il fattore di rumore complessivo caratterizzante il ricevitore utilizzato ha valore $F_{dB} = 2$ dB. Si desidera ottenere una probabilità di errore sul simbolo non superiore a $P_e = 10^{-5}$ ($\gamma^2 = 9,8$ dB).

1. Calcolare la minima potenza in ricezione W_{Rmin} necessaria affinché la specifica sulla probabilità di errore possa essere rispettata.
2. Calcolare la minima potenza in trasmissione W_{Tmin} che permette il rispetto delle specifiche di sistema.
3. Calcolare, nel caso in cui l'effettiva potenza trasmessa fosse $W_T = 1,2 \cdot W_{Tmin}$, il valore del margine M introdotto nel sistema.
4. Calcolare, nel caso in cui il margine M sia utilizzato per compensare un aumento della temperatura di sistema, la massima temperatura di sistema accettabile e la corrispondente temperatura di antenna, assumendo invariato il fattore di rumore F .
5. Nelle condizioni indicate nel punto 2. si calcoli la massima distanza raggiungibile nel collegamento nel caso in cui si decidesse di sostituire il modulatore BLU-PS con un modulatore BLD-PI con η massimo possibile mantenendo la stessa potenza trasmessa totale.
6. Ancora nelle condizioni indicate nel punto 2. si calcoli la massima distanza raggiungibile nel collegamento nel caso in cui si decidesse di sostituire il modulatore BLU-PS con un modulatore FM con indice di modulazione $I_f = 6$.

Soluzione problema

1. Il rapporto segnale-rumore SNR_{DD} necessario a garantire una probabilità di errore $P_e \leq 10^{-5}$ è ricavabile a partire dall'espressione seguente:

$$SNR_{DD} = \gamma_{DR}^2 - 1,76 + 10 \log_{10}(L^2 - 1) = 26,03 \text{ dB}$$

Poiché la modulazione adottata è la BLU, si ha che $SNR_{DD} = SNR_{rif}$. La potenza di rumore termico calcolata nella banda del segnale modulante è ricavabile tramite la relazione seguente:

$$W_N = \frac{1}{2} k T_s B_{Rum}$$

in cui $B_{Rum} = 2B$, dove con B si è indicata appunto la banda del segnale modulante. La temperatura di sistema, supponendo che l'antenna in ricezione si trovi a temperatura standard T_0 , vale $T_s = FT_0$, in cui F rappresenta il fattore di rumore del ricevitore espresso in unità lineari. Si ha quindi, volendo esprimere la potenza di rumore termico in dBm:

$$W_N = -3 - 174 + 2 + 10 \log_{10}(2B)$$

in cui B è pari a:

$$B = \frac{f_b(1 + \gamma)}{2 \log_2 L} = 20 \text{ MHz}$$

Sostituendo il valore trovato nell'espressione di W_N , si ottiene infine:

$$W_{N,dBm} = -3 - 174 + 2 + 10 \log_{10}(2B_{Hz}) = -175 + 76 = -99 \text{ dBm}$$

La minima potenza in ricezione vale dunque:

$$W_{Rmin} = SNR_{DD} + W_N = 26,03 - 99 = -73 \text{ dBm}$$

2. La minima potenza necessaria in trasmissione W_{Tmin} , espressa in dBm, si ottiene sommando al valore prima ottenuto W_{Rmin} il valore dell'attenuazione introdotta dal canale, calcolabile come segue:

$$A_{dB} = 32,4 + 20 \log_{10}(d_{km}) + 20 \log_{10}(f_{MHz}) - G_T - G_R = 32,4 + 21,58 + 66 - 16 = 104 \text{ dB}$$

Si ottiene dunque:

$$W_{Tmin} = W_{Rmin} + A_{dB} = -73 + 104 = 31 \text{ dBm}$$

3. Trasmettendo una potenza pari a $1,2 \cdot W_{Tmin}$, si introduce nel sistema un margine pari a:

$$M_{dB} = 10 \log_{10}(1,2) = 0,79 \text{ dB}.$$

4. Avendo a disposizione un margine $M_{dB} = 0,79 \text{ dB}$, il sistema potrà lavorare nel rispetto delle specifiche anche con una temperatura di sistema pari a:

$$T'_s = T'_A + (F - 1) T_0 = 1,2 T_s = 1,2 F T_0 = 1,2 \cdot 1,58 \cdot 290 = 549,84 \text{ K}$$

da cui si ricava la temperatura di antenna massima tollerabile:

$$T'_A = T'_c - (F - 1) T_0 = 549,84 - 0,58 \cdot 290 = 381,64 \text{ K}$$

5. Se si decide di utilizzare un modulatore BLD-PI, il massimo valore di η è pari a $1/2$ e corrisponde a dividere la potenza trasmessa equamente tra portante e segnale. La potenza utile in ricezione sarebbe quindi pari a:

$$W^U_T = 10 \log_{10}(\eta) + W_T = -3 + 31 = 28 \text{ dBm}$$

e di conseguenza la potenza utile in ricezione diventa:

$$W^U_R = W^U_T - A_{dB} = 28 - 104 = -76 \text{ dBm}$$

con un SNR pari a:

$$SNR_{DD}' = W^U_R - W_N = -76 + 99 = 23 \text{ dB.}$$

con una variazione pari a:

$$\Delta SNR = SNR_{DD}' - SNR_{DD} = -3 \text{ dB}$$

Per tornare al valore richiesto di SNR sarà necessario ridurre la distanza del collegamento in modo tale da ridurre l'attenuazione di una quantità:

$$\Delta A = \Delta SNR$$

dove:

$$\Delta A = A'_{dB} - A_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{d'_{km}}{d_{km}} \right) = -3$$

e quindi:

$$d'_{km} = \frac{d_{km}}{10^{3/20}} = \frac{d_{km}}{1,412} = 8,49 \text{ km}$$

6. Adottando una modulazione FM con $I_F=6$ si ha:

$$SNR_{DD} = 3I_F^2 SNR_{rif} \rightarrow SNR_{DD} = 4,76 + 10 \log_{10}(36) + 26 = 46,32 \text{ dB}$$

con una variazione pari a:

$$\Delta SNR = 46,32 - 26 = 20,32 \text{ dB}$$

che può essere spesa per aumentare la distanza del collegamento permettendo di aumentare l'attenuazione di una quantità:

$$\Delta A = \Delta SNR = A'_{dB} - A_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{d'_{km}}{d_{km}} \right) = 20,32$$

e quindi:

$$d'_{km} = d_{km} 10^{20,32/20} = d_{km} 10,375 = 124,5 \text{ km}$$