

Nome:

Cognome:

Firma:

Si ricorda che il punteggio di ogni domanda è valutato come segue: metà punti per il corretto svolgimento teorico, metà punti per un corretto svolgimento numerico. Qualora un errore di calcolo influisca su più risposte, verrà considerato una volta soltanto, a meno che non porti a conclusioni inaccettabili in altri quesiti e il candidato non fornisca opportune spiegazioni in merito.

Problema

Si supponga di dovere dimensionare un sistema di telecomunicazioni composto da due tratte in cascata.

Nella prima tratta si ha un collegamento radio in downlink tra un satellite geostazionario (quindi a distanza $d_{\text{RADIO}} = 36000 \text{ km}$ alla superficie) e una stazione terrestre. La trasmissione avviene attraverso una modulazione di ampiezza BLD-PS a frequenza $f_p = 4 \text{ GHz}$ del segnale di banda base generato, a partire da un flusso binario a velocità f_b , da un formatore d'impulsi a L livelli e filtrato da un filtro di trasmissione a coseno rialzato.

Sia l'antenna in trasmissione che quella in ricezione hanno ognuna un guadagno pari a 10 dB.

Per tale prima tratta si chiede di calcolare:

1. l'attenuazione disponibile che il segnale subisce tra trasmettitore e ricevitore;
2. l'occupazione totale di banda del segnale ricevuto all'ingresso del ricevitore (segnale a Radio Frequenze) B_{RF} , noto che, in tale punto, la potenza di rumore, nella banda occupata dal segnale ricevuto, è pari a $W_N^{RF} = -102 \text{ dBm}$ e la temperatura di sistema T_S è pari a 435 K;
3. la potenza in dBm trasferita al ricevitore, se l'antenna viene modellata come un generatore di segnale caratterizzato da potenza di segnale di $P_A = 10^{-9} \text{ V}^2$ e da un'impedenza interna puramente resistiva $R_A = 50 \Omega$, mentre il ricevitore è caratterizzato da un'impedenza di ingresso pari a $R_C = 5 \Omega$;
4. il nuovo valore della potenza trasferita al ricevitore se si varia l'impedenza di ingresso del ricevitore stesso in modo da garantire il rispetto delle condizioni per il Massimo Trasferimento di Potenza, indicando inoltre se tale potenza è sufficiente a garantire una $P_e \leq 10^{-5}$, corrispondente a $y_{dB}^2 = 9.77 \text{ dB}$, nel caso $L = 4$ e, nel caso lo sia, con che margine.
5. la velocità f_b di trasmissione del trasmettitore, nel caso il roll-off del filtro di trasmissione sia tale da minimizzare la banda del segnale, per $L = 16$.

Nella seconda tratta il flusso binario in uscita dalla prima tratta, alla velocità f_b calcolata al punto 5., viene trasferito verso una seconda stazione terrestre utilizzando un collegamento in fibra ottica in I finestra. Assumendo di usare un ricevitore ottico caratterizzato da una sensibilità $S = 1000 \text{ f/b}$, si chiede di:

6. determinare la potenza ottica da utilizzare in trasmissione W_{Tx}^{Opt} se la distanza da percorrere in fibra è pari a $d_{\text{FIBRA}} = 25 \text{ km}$, esprimendone il valore in dBm.

Soluzione

1. Si ha:

$$\begin{aligned} A_{dB} &= 32,4 + 20\log_{10}(f_p|_{MHz}) + 20\log_{10}(d|_{km}) - G_{TX} - G_{RX} \\ &= 32,4 + 72 + 91,12 - 10 - 10 = 175,5 \text{ dB} \end{aligned}$$

2. Si ha:

$$\begin{aligned} W_N^{RF-BLD} &= 2kT_S B \rightarrow W_{N,dBm}^{RF-BLD} = 3 + kT_0|_{dBm/MHz} + 10\log_{10}\left(\frac{T_S}{T_0}\right) + 10\log_{10}(B|_{MHz}) = \\ &= 3 - 114 + 1,76 + 10\log_{10}(B|_{MHz}) = -102 \text{ dBm} \end{aligned}$$

da cui:

$$10\log_{10}(B|_{MHz}) = -3 + 114 - 1,76 - 102 = 7,24 \rightarrow B = 5,3 \text{ MHz}$$

e infine:

$$B_{RF} = 4B = 21,2 \text{ MHz}.$$

3. A causa del partitore tra R_A e R_C la potenza in Watt all'ingresso del ricevitore è pari a:

$$W_R = P_A \frac{R_C}{|R_C + R_A|^2} = 10^{-9} \frac{5}{|55|^2} = 10^{-12} \cdot 1,65 \cdot 10^{-3} = 1,65 \cdot 10^{-12} \text{ W}$$

e in dBm:

$$W_{R,dBm} = 30 + 10\log_{10}(1,65 \cdot 10^{-12}) = -87,8 \text{ dBm}$$

4. La potenza all'ingresso del ricevitore in MTP è pari a:

$$W_R = P_A \frac{R_A}{|R_A + R_A|^2} = 10^{-9} \frac{50}{|100|^2} = 10^{-9} \cdot \frac{1}{200} = 5 \cdot 10^{-12} \text{ W}$$

e in dBm:

$$W_{R,dBm} = 30 + 10\log_{10}(5 \cdot 10^{-15}) = -83 \text{ dBm}$$

che porta a un SNR pari a:

$$SNR_{DD} = W_{R,dBm} - W_N^{DD} = -83 - (-102 - 3) = 22 \text{ dB}$$

Dalle specifiche date si ha:

$$y^2 = \frac{3 SNR_{DD}^{MIN}}{2 L^2 - 1} \rightarrow SNR_{DD,dB}^{MIN} = y_{dB}^2 - 1,76 + 10 \log_{10}(L^2 - 1) = 9,77 - 1,76 + 11,76 = 19,76 \text{ dB}$$

e quindi tali specifiche sono soddisfatte con un margine:

$$M_{dB} = 22 - 19,76 = 2,24 \text{ dB}$$

5. Si ha:

$$B = \frac{f_l}{2}(1 + \gamma) = \frac{f_b}{2 \log_2 L}(1 + \gamma) \rightarrow f_b = \frac{2 B \log_2 L}{(1 + \gamma)} = \frac{2 \cdot 5,3 \cdot 10^6 \cdot \log_2 16}{(1 + 0)} = 42,4 \text{ Mb/s}$$

6. L'attenuazione introdotta dalla fibra è:

$$A_{dB}^{fibra} = A_0 d_{fibra} \big|_{km} = 2 \cdot 25 = 50 \text{ dB},$$

mentre la potenza ottica ricevuta necessaria per rispettare il vincolo dato dalla sensibilità S è pari a:

$$\begin{aligned} W_R^{Opt} &= N_{f/s} E_f = N_{f/b} f_b E_f \geq S f_b E_f = 1000 \cdot 42,4 \cdot 10^6 \cdot \frac{6,624 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{0,85 \cdot 10^{-6}} \\ &= 1000 \cdot 42,4 \cdot 10^6 \cdot 2,33 \cdot 10^{-19} = 9,88 \cdot 10^{-9} \text{ W} \end{aligned}$$

e la potenza necessaria in trasmissione è quindi:

$$W_{T,dBm}^{Opt} = W_{R,dBm}^{Opt} + A_{dB}^{fibra} = -80,05 + 50 + 30 = -0,05 \text{ dBm}$$