

**COMUNICAZIONI ELETTRICHE I**  
**APPELLO D'ESAME DEL 15 Ottobre 2019**

Nome: \_\_\_\_\_

Cognome: \_\_\_\_\_

Matricola: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

**Problema (6 punti per domanda)**

Un collegamento numerico su cavo coassiale è caratterizzato da una potenza in trasmissione  $W_T = 0,02$  W. Il collegamento si estende su una tratta di lunghezza pari a  $d = 12$  km. Si consideri la trasmissione di un segnale binario caratterizzato da una velocità di trasmissione  $f_b = 10$  Mb/s. Tale segnale attraversa un modulatore multilivello di banda base che genera un segnale numerico a  $L = 4$  livelli, che viene quindi portato a radiofrequenza mediante modulazione di ampiezza a Banda Laterale Unica. Supponendo che il fattore di roll-off del filtro di trasmissione sia unitario, che l'attenuazione nominale del cavo sia pari ad  $A_0 = 2$  dB/km @ 1 MHz, e che il ricevitore sia caratterizzato da una temperatura di rumore considerata al suo ingresso pari a  $T_i = 5 T_0$ , si chiede:

1. di calcolare la **frequenza portante  $f_p$**  caratterizzante il collegamento e la **potenza ricevuta  $W_R$  (in dBm)**, sapendo che l'attenuazione complessivamente introdotta dalla tratta vale  $A = 96$  dB;
2. di calcolare il **fattore di rumore complessivo  $F_{TOT}$  in ricezione (in dB)** e il **rapporto segnale-rumore dopo demodulazione  $SNR_{DD}$  (in dB)**;
3. di **verificare** che non è possibile ottenere una probabilità di errore  $P_e$  inferiore o uguale a  $10^{-4}$  ( $\gamma_{dB}^2 = 8,2$ ) dati gli attuali parametri di sistema.
4. Lasciando invariati tutti gli altri parametri, indicare il **minimo valore della potenza trasmessa  $W_T'$  (in mW)** che è necessario immettere sul cavo per poter soddisfare la specifica descritta al punto 3, ovvero avere una  $P_e$  inferiore o uguale a  $10^{-4}$ .

Si supponga ora di sostituire il cavo con il mezzo radio, mantenendo la stessa lunghezza di tratta, la stessa architettura del trasmettitore in banda base e la stessa architettura di ricezione. Si consideri una potenza trasmessa pari a 31,6 mW e la trasmissione di un segnale numerico con velocità  $f_b = 10$  Mb/s, modulato come sopra in banda base mediante modulazione di ampiezza a 4 livelli. La traslazione a radiofrequenze avviene in questo caso mediante modulazione analogica FM con indice di modulazione di frequenza unitario. Supponendo di operare a frequenza portante pari a  $f_p = 16$  MHz e di utilizzare in ricezione e in trasmissione antenne isotrope, si determinino:

5. il valore dell'**occupazione totale di banda del segnale a radiofrequenze  $B_{TOT RF}$**  e il **marginale di sistema  $M$  (in dB)** rispetto alla specifica  $P_e$  inferiore o uguale a  $10^{-4}$ .

**COMUNICAZIONI ELETTRICHE I**  
**APPELLO OTTOBRE 2019: SVOLGIMENTO E SOLUZIONI**

Dati: cavo:  $W_T = 0,02 \text{ W}$        $A = 96 \text{ dB}$        $A_0 = 2 \text{ dB/km @ } 1 \text{ MHz}$   
 $d = 12 \text{ km}$        $f_b = 10 \text{ Mb/s}$   
mod. BLU       $L = 4$        $\gamma = 1$   
 $T_i = 5 T_0$   
radio:  $W_T = 31,6 \text{ mW}$   
 $d = 12 \text{ km}$        $f_b = 10 \text{ Mb/s}$        $G_T = G_R = 0 \text{ dB}$   
mod. FM       $I_F = 1$        $f_p = 16 \text{ MHz}$

- 1)  $f_p = ?$        $W_R = ? [\text{dBm}]$   
 $A = A_0 \sqrt{(f_p \text{ MHz}) d_{\text{km}}}$   
 $\rightarrow f_p = (A_0 / (A_0 d))^2 = (96 / (2 \cdot 12))^2 = \mathbf{16 \text{ MHz}}$   
 $W_T = 20 \text{ mW} = 13 \text{ dBm}$   
 $W_R = W_T - A = 13 - 96 = \mathbf{-83 \text{ dBm}}$
- 2)  $F_{\text{TOT}} = ? [\text{dB}]$        $\text{SNR}_{\text{DD}} = ? [\text{dB}]$   
 $F = 1 + T_i/T_0 = 1 + 5 = 6 = \mathbf{7,78 \text{ dB}}$   
 $B = f_b / (2 \log_2 L) \cdot (1 + \gamma) = 10 / (2 \cdot 2) \cdot 2 = 5 \text{ MHz}$   
 $W_N = -114 + 7,78 + 10 \log_{10} 5 = -99,22 \text{ dBm}$   
 $\text{SNR}_{\text{DD}} = W_R - W_N = -83 + 99,22 = \mathbf{16,22 \text{ dB}}$
- 3)  $y_{\text{dB}}^2 < 8,2$        $\rightarrow$  verificare  
 $y_{\text{dB}}^2 = 1,76 + \text{SNR}_{\text{DD}} - 10 \log_{10}(L^2 - 1) = 17,98 - 10 \log_{10} 15 = \mathbf{6,22 < 8,2}$
- 4)  $W_T' = ? [\text{mW}]$   
aumentare di 2 dB  
 $W_T' = 15 \text{ dBm} = \mathbf{31,62 \text{ mW}}$
- 5)  $B_{\text{TOT RF}} = ?$        $M = ? [\text{dB}]$   
 $B_{\text{TOT RF}} = 4 B_C = 4 B (I_F + 1) = \mathbf{40 \text{ MHz}}$   
 $\text{SNR}_{\text{DD}} = 3 I_F^2 \text{SNR}_0 \rightarrow \text{SNR}_0 = 10^{1,82} / 3 = 22 = 13,43 \text{ dB}$   
 $A = 32,44 + 20 \log_{10} 16 + 20 \log_{10} 12 = 78,1 \text{ dB}$   
 $W_T = 31,6 \text{ mW} = 15 \text{ dBm}$   
 $W_R = W_T - A = 15 - 78,1 = -63,1 \text{ dBm}$   
 $\text{SNR}_0 = W_{R \text{ MIN}} - W_N \rightarrow W_{R \text{ MIN}} = \text{SNR}_0 + W_N = 13,43 - 99,22 = -85,79 \text{ dBm}$   
 $M = W_R - W_{R \text{ MIN}} = -63,1 + 85,79 = \mathbf{22,69 \text{ dB}}$