

## Ejercicio 8

Un sistema de comunicaciones tiene 100 dB de atenuación en el enlace, una densidad espectral de ruido a la entrada de  $2,54 \cdot 10^{-18}$  W/Hz, un ancho de banda equivalente de ruido 10% por encima del estricto necesario. Complete la siguiente tabla con las ecuaciones de las probabilidades de error y los valores de ancho de banda y potencia de señal transmitida para obtener una relación señal a ruido a la salida del detector de 40 dB, usando filtro óptimo acoplado, cuantificación de 128 niveles y mensajes con valores uniformemente distribuidos en el rango de entrada (factor de cresta de  $\sqrt{3}$ ) con anchos de banda de 5 kHz y 10 kHz.

Modulación	Relación Señal a Ruido de Salida	Probabilidad de Error	$B_T$ [KHz]	$P_{S_T}$ [dBm]
Unipolar NRZ	$SNR = \frac{3 M^2 \left( \frac{m(t)}{V_p} \right)^2}{1 + 4(M^2 - 1)P_e}$	$P_e = Q \left( \sqrt{\frac{P_{S_R}}{R_b \eta_R}} \right)$		
Polar NRZ				
OOK				
BPSK				
BFSK ( $\Delta f = R_b$ )				

**NOTA:** El factor de cresta de una señal es la relación de tensión entre valor máximo (pico) y valor eficaz (RMS).

$$Att = 100dB$$

$$\eta = 2,54 \times 10^{-18} \frac{W}{Hz}$$

$$B_{eq} = 1,1B$$

$$SNR_d = 40dB = 10000$$

$$M = 128 \rightarrow l = 7$$

$$FC = \sqrt{3}$$

$$B_{m_1} = 3KHz \rightarrow F_{s_1} = 6KHz \rightarrow R = 42KHz \rightarrow T_b = \frac{1}{R} = 23,809\mu s$$

$$B_{m_2} = 5KHz \rightarrow F_{s_2} = 10KHz \rightarrow R = 70KHz \rightarrow T_b = \frac{1}{R} = 14,286\mu s$$

$$10000 = \frac{3 \cdot 128^2 \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{3}} \right)^2}{1 + 4 \cdot P_e \cdot (128^2 - 1)} = \frac{16384}{1 + 65532 \cdot P_e} \rightarrow P_e = 9,7416 \times 10^{-6} \rightarrow k \approx 4,3$$

$$P_{s_{(t)}} = Att + \angle(S_{s_{(t)}})^2 \angle$$

Para Unipolar:

$$\langle (S_{s(t)})^2 \rangle = \frac{A^2}{2}$$

Para Polar:

$$\langle (S_{s(t)})^2 \rangle = \frac{(2.A)^2}{2} = 2.A^2$$

$$K_{unipolar\ NRZ} = \sqrt{\frac{A^2}{R.N_0}} \rightarrow A = \sqrt{K^2.R.N_0} = \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{1,972x10^{-12}} = 1,4044\mu V \\ \sqrt{3,287x10^{-12}} = 1,8131\mu V \end{array} \right\}$$

$$K_{polar\ NRZ} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2.A^2}{R.N_0}} \rightarrow A = \sqrt{\frac{9}{8}.K^2.R.N_0} = \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{2,2191x10^{-12}} = 1,4896\mu V \\ \sqrt{3,6984x10^{-12}} = 1,9231\mu V \end{array} \right\}$$

$$K_{OOK} = \sqrt{\frac{A^2}{4.R.N_0}} \rightarrow A = \sqrt{4.K^2.R.N_0} = \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{7,89x10^{-12}} = 2,8089\mu V \\ \sqrt{1,315x10^{-11}} = 3,6263\mu V \end{array} \right\}$$

$$K_{BPSK} = \sqrt{\frac{A^2}{R.N_0}} \rightarrow A = \sqrt{K^2.R.N_0} = \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{1,972x10^{-12}} = 1,4044\mu V \\ \sqrt{3,287x10^{-12}} = 1,8131\mu V \end{array} \right\}$$

$$K_{BFSK} = \sqrt{\frac{A^2}{2.R.N_0}} \rightarrow A = \sqrt{2.K^2.R.N_0} = \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{3,945x10^{-12}} = 1,9862\mu V \\ \sqrt{6,575x10^{-12}} = 2,5642\mu V \end{array} \right\}$$

$$S_{s(t)unipolar\ NRZ} = \frac{A^2}{2} = \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{0,986x10^{-12}W} = -120,06dB \\ \sqrt{1,6435x10^{-12}W} = -117,84dB \end{array} \right\}$$

$$S_{s(t)polar\ NRZ} = 2.A^2 = \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{4,4382x10^{-12}W} = -113,53dB \\ \sqrt{7,3968x10^{-12}W} = -111,31dB \end{array} \right\}$$

$$S_{s(t)OOK} = \frac{A^2}{2} = \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{3,945x10^{-12}W} = -114,04dB \\ \sqrt{6,575x10^{-12}W} = -111,82dB \end{array} \right\}$$

$$S_{s(t)BPSK} = \frac{A^2}{2} = \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{0,98625x10^{-12}W} = -120,06dB \\ \sqrt{1,6475x10^{-12}W} = -117,84dB \end{array} \right\}$$

$$S_{s(t)BFSK} = \frac{A^2}{2} = \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{1,9725x10^{-12}W} = -117,05dB \\ \sqrt{3,2875x10^{-12}W} = 114,83dB \end{array} \right\}$$

## Resultados

Modulación	Relación $\frac{S}{N}$ Salida	Probabilidad de error	$B_T$ [kHz]	$P_{ST}$ [dBm]
On-Off NRZ		$E_b = \frac{A^2 T}{2}$ $P_e = Q\left(\sqrt{\frac{P_{e2}}{R_b/2}}\right) = \sqrt{\frac{A^2 T}{2 R_b/2}} = \sqrt{\frac{A^2 T}{R_b}}$	$\frac{2}{T_b}$ 84	10,06
			$\frac{2}{T_b}$ 84	12,16
Polar NRZ		$E_d = 4A^2 T_b$ $P_e = \frac{3}{2} Q\left(\sqrt{\frac{E_d}{2 N_b}}\right)$	$\frac{2}{T_b}$ 140	16,47
			$\frac{2}{T_b}$ 140	18,69
OOK	$SNR = \frac{3M^2 \left(\frac{M_{(c)}}{V_P}\right)^2}{1 + 4P_e(M^2 - 1)}$	$E_b = \frac{A^2 T}{4}$ $P_e = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_b}}\right)$	$\frac{2}{T_b}$ 84	15,96
			$\frac{2}{T}$ 140	18,18
BPSK		$E_b = \frac{A^2 T}{2}$ $P_e = Q\left(\sqrt{2 \frac{E_b}{N_b}}\right)$	2R 84	9,94
			2R 140	12,16
BFSK $\Delta f = R_b$		$E_b = \frac{A^2 T}{2}$ $P_e = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_b}}\right)$	2 $\Delta f$ 12R <sub>max</sub> 90	12,05
			2 $\Delta f$ 12R <sub>max</sub> 150	15,17