



## TEORÍA DE LA COMUNICACIÓN

Primer parcial, noviembre de 2016

TSC

El examen consta de dos problemas de igual valor.

Los apartados 1-3 del Problema 1 se resuelven en hoja de examen; el apartado 4 en la hoja anexa.

El Problema 2 se responde en hoja de examen, distinta a la del Problema 1. Si necesita una hoja adicional, numere las hojas: 1/2, 2/2.

El enunciado no se entrega. Duración del examen: 80 min.

**PROBLEMA 1.** Sea un sistema sometido a estudio como el de la Figura 1, en el que a la entrada del receptor se tiene:

Potencia de señal:  $s_{in} = 10 \mu\text{W}$

Temperatura de ruido disponible a la entrada:  $T_{in} = 3 \cdot T_0$

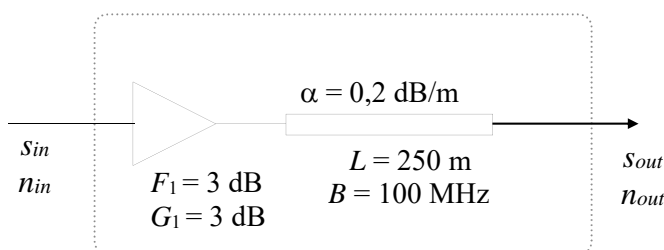


Figura 1. Sistema bajo estudio

El cable tiene una longitud de 250 m y atenuación específica 0,2 dB/m. Se encuentra a temperatura física  $T = T_0$ . Deja pasar el rango de frecuencias 250 – 350 MHz.

Constante de Boltzmann  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K.

- 1) Calcule la relación señal-ruido (en dB) a la entrada del receptor  $(S/N)_{IN}$ , suponiendo un ancho de banda de medida  $B = 100$  MHz. Tenga en cuenta solamente el ruido disponible a la entrada, no el generado por el sistema bajo estudio. (10%)
- 2) Calcule la temperatura equivalente de ruido del conjunto amplificador + cable. (15%)
- 3) Calcule la relación señal-ruido (en dB) que hay a la salida del receptor  $(S/N)_{OUT}$ . (35%)
- 4) Si se introduce al sistema un tono de 320 MHz y una potencia de  $0,2 \mu\text{W}$ , dibuje la imagen aproximada que aparecería en un analizador de espectros conectado a la salida. El analizador presenta una figura de ruido de  $F_3 = 20$  dB. Responda este apartado en la hoja anexa, en la que se indica asimismo la configuración del equipo de medida. (40%)

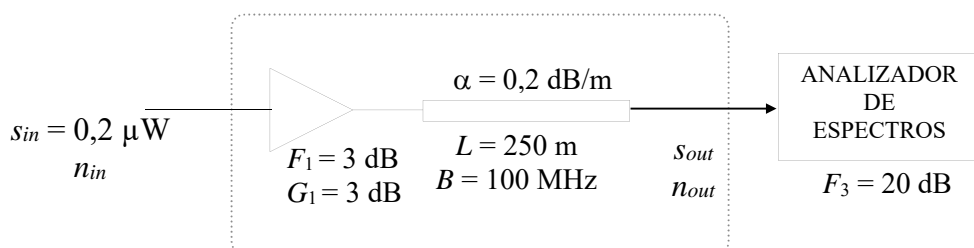


Figura 2. Configuración para el apartado 4

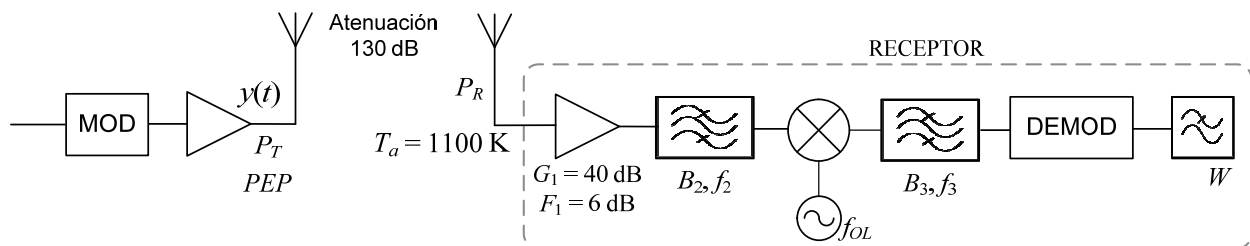
**PROBLEMA 2.** Se desea evaluar dos sistemas que emplean modulaciones analógicas con el objetivo de transmitir una misma señal,  $x_n(t)$ , de frecuencia máxima 12 kHz y valor cuadrático medio normalizado  $\langle x_n^2(t) \rangle = 0,2 \text{ V}^2$ . Se emplea una misma frecuencia portadora,  $f_c = 175 \text{ MHz}$  y en ambos casos se exige una calidad mínima a la salida  $(S/N)_S = 53 \text{ dB}$ .

- El sistema 1 emplea modulación AM. Índice de modulación  $m = 0,80$ .
- El sistema 2 emplea modulación FM. Desviación máxima de frecuencia  $\Delta f = 120 \text{ kHz}$ . Usa técnica de preénfasis/deénfasis con factor de mejora 6 dB ( $M = 4$  veces).

Se indican a continuación diversos parámetros del receptor superheterodino:

- La temperatura de ruido captada por la antena es 1100 K.
- El amplificador del receptor tiene una ganancia  $G_1 = 40 \text{ dB}$  y figura de ruido  $F_1 = 6 \text{ dB}$ . Puede considerarse que todo el ruido del receptor es debido a este amplificador.
- El primer filtro paso banda tiene un ancho de banda  $B_2$  y está centrado en  $f_2 = 175 \text{ MHz}$ . No introduce atenuación ni ruido en la banda de paso.
- El segundo filtro paso banda está centrado en la frecuencia intermedia  $f_3 = 10,7 \text{ MHz}$ . Tiene un ancho de banda  $B_3$ , a determinar. No introduce atenuación ni ruido en la banda de paso.
- Todo el sistema está adaptado a  $50 \Omega$ .

El canal radioeléctrico produce una atenuación de 130 dB.



Para el sistema AM:

- 1) Indicar un valor adecuado para la frecuencia del oscilador local,  $f_{OL}$ . Indique un valor óptimo para el ancho de banda  $B_3$ , con el objetivo de minimizar el ruido. (15%)
- 2) Determinar potencia mínima en recepción,  $P_R$  (dBm), para cumplir objetivo de calidad. (20%)
- 3) Calcular potencia equivalente de pico,  $PEP$  (dBW), de la señal transmitida  $y(t)$ . Indicar valor de pico de la señal transmitida (es decir, valor máximo de la envolvente). (15%)

Para el sistema FM:

- 4) Indicar valor óptimo para ancho de banda  $B_3$ , con el objetivo de minimizar el ruido. (15%)
- 5) Determinar potencia mínima en recepción,  $P_R$  (dBm), para cumplir objetivo de calidad. (20%)
- 6) Si el sistema trabajara justo en el umbral de FM ( $z$  igual a  $z_u$ ), ¿cuál sería la calidad a la salida? (15%)

Apellidos: .....

Nombre: ..... DNI:.....

**Hoja de respuesta para el apartado 4 del Problema 1**

Haga todos los cálculos del apartado 4 en esta misma hoja. Entréguela junto con la hoja de examen donde haya resuelto los apartados 1-3

Frecuencia central: 300 MHz

SPAN: 100 MHz.

Factor de escala vertical: 2 dB/div

Nivel de referencia: -80 dBm

Ancho de banda de resolución  
(*RBW*): 1,5 MHz

[illegible]

## SOLUCIÓN PROBLEMA 1

$$1) n_{in} = k \cdot T_{in} \cdot B = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 900 \cdot 100 \cdot 10^6 = 1,242 \cdot 10^{-12} \text{ W}$$

$$\left( \frac{S}{N} \right)_{IN} [\text{dB}] = 10 \cdot \log \left( \frac{s_{in}}{n_{in}} \right) = 10 \cdot \log \left( \frac{10 \cdot 10^{-6}}{1,242 \cdot 10^{-12}} \right) \Rightarrow \boxed{\left( \frac{S}{N} \right)_{IN} = 69,1 \text{ dB}}$$

$$2) A_2 = 0,2 \text{ (dB/m)} \cdot 250 \text{ (m)} = 50 \text{ dB} \Rightarrow a_2 = 10^{\frac{50}{10}} = 10^5 \text{ v.p.}$$

$$T_{e1} = T_0 \cdot (f_1 - 1) = 300 \cdot \left( 10^{\frac{F_1}{10}} - 1 \right) = 300 \cdot \left( 10^{\frac{3}{10}} - 1 \right) \approx 300 \text{ K}$$

$$T_{e2} = T_0 \cdot (10^5 - 1) \approx 30 \cdot 10^6 \text{ K}$$

$$T_{1+2} = T_{e1} + \frac{T_{e2}}{g_1} = 300 + \frac{30 \cdot 10^6}{2} = 15 \cdot 10^6 \text{ K} \Rightarrow \boxed{T_{1+2} = 15 \cdot 10^6 \text{ K}}$$

$$3) s_{out} = s_{in} \cdot g_1 \cdot \frac{1}{a_2} = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot \frac{1}{10^5} \Rightarrow \boxed{s_{out} = 2 \cdot 10^{-10} \text{ W}}$$

$$n_{out} = k \cdot (T_{IN} + T_{1+2}) \cdot B \cdot g_T = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot (900 + 15 \cdot 10^6) \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot \frac{1}{10^5} \Rightarrow \boxed{n_{out} = 4,726 \cdot 10^{-13} \text{ W}}$$

Por tanto:

$$\frac{s_{out}}{n_{out}} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{4,726 \cdot 10^{-13}} = 483 \Rightarrow \left( \frac{S}{N} \right)_{OUT} = 10 \cdot \log \left( \frac{s_{out}}{n_{out}} \right) = 10 \cdot \log(483) \Rightarrow \boxed{\left( \frac{S}{N} \right)_{OUT} \approx 26,8 \text{ dB}}$$

También se puede resolver llevando la relación a la entrada:

$$s_{in} = 10^{-5} \text{ W}$$

$$n_{in} = k \cdot T_{in} \cdot B = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot (900 + 15 \cdot 10^6) \cdot 10^8 \Rightarrow n_{in} = 2,07 \cdot 10^{-8} \text{ W}$$

Por tanto:

$$\left( \frac{S}{N} \right)_{OUT} = 10 \cdot \log \left( \frac{s_{in}}{n_{in}} \right) = 10 \cdot \log \left( \frac{10^{-5}}{2,07 \cdot 10^{-8}} \right) \Rightarrow \boxed{\left( \frac{S}{N} \right)_{OUT} \approx 26,8 \text{ dB}}$$

4) El ruido que llega a la entrada del analizador, dependerá ahora de la temperatura equivalente de éste.

$$T_{e3} = T_0 \cdot (10^{\frac{20}{10}} - 1) = 300 \cdot (100 - 1) = 29700 \text{ K}$$

Aplicando Friis:

$$T_{eT} = T_{e1} + \frac{T_{e2}}{g_1} + \frac{T_{e3}}{g_1 \cdot \frac{1}{a_2}} = 300 + \frac{30 \cdot 10^6}{2} + \frac{29700}{2 \cdot \frac{1}{10^5}} = 1,5 \cdot 10^9 \text{ K}$$

Luego la densidad espectral de potencia de ruido a la entrada del analizador será:

$$n_0 = k \cdot (T_{in} + T_{eT}) \cdot g_1 \cdot \frac{1}{a_2} = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot (900 + 1,5 \cdot 10^9) \cdot 2 \cdot \frac{1}{10^5} = 4,14 \cdot 10^{-19} \text{ W/Hz}$$

De donde la potencia de ruido medida por el analizador será:

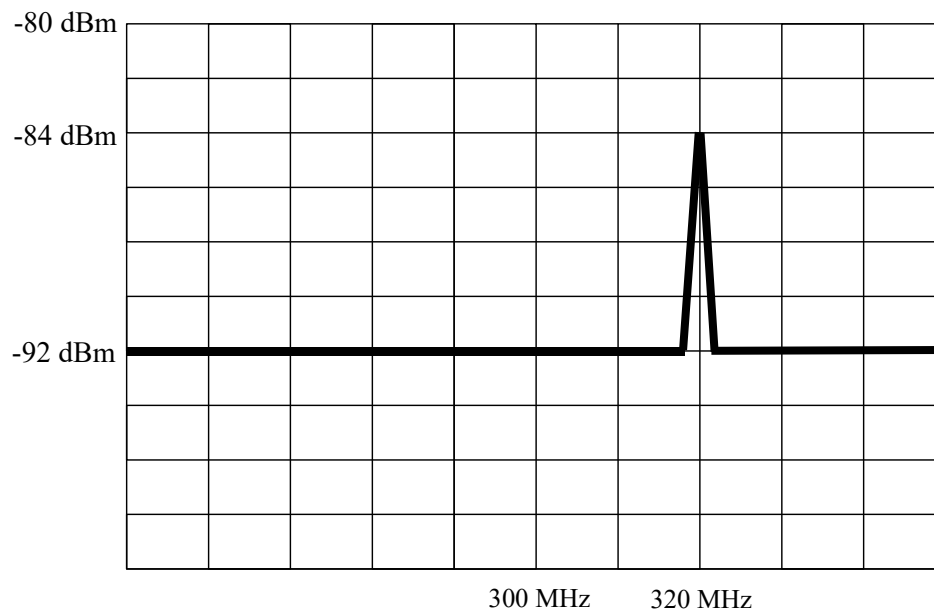
$$n = n_0 \cdot RBW = 4,14 \cdot 10^{-19} \cdot 1,5 \cdot 10^6 = 62,1 \cdot 10^{-14} \text{ W}$$

$$N = 10 \cdot \log(62,1 \cdot 10^{-14}) = -122 \text{ dBW}$$

$$N = -122 [\text{dBW}] + 30 = -92 \text{ dBm}$$

El tono tiene una potencia de:

$$s = s_{in} \cdot g_1 \cdot \frac{1}{a_2} = 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot \frac{1}{10^5} = 4 \cdot 10^{-12} \text{ W} = 4 \cdot 10^{-9} \text{ mW} \quad (-84 \text{ dBm})$$



## SOLUCIÓN PROBLEMA 2

$$1) f_{OL} = 185,7 \text{ ó } 164,3 \text{ MHz}$$

$$B_3 = 2 \cdot W = 24 \text{ kHz}$$

$$2) T_{eT} = 2000 \text{ K}$$

$$(s/n)_s = 200000 \rightarrow z = 1762500$$

$$p_R = 5,8374 \cdot 10^{-10} \text{ W } (-62,33 \text{ dBm})$$

$$3) p_T = p_R \cdot 10^{13} = 5837,4 \text{ W}$$

$$A = 719,4 \text{ V} \rightarrow PEP = 16767 \text{ W } (42,24 \text{ dBW})$$

$$\text{Valor de pico: } A \cdot (1+m) = 1294,8 \text{ V}$$

$$4) B_3 = 2 \cdot (\Delta f + W) = 264 \text{ kHz}$$

$$5) D = 10$$

$$(s/n)_s = 3 \cdot D^2 \cdot \langle x_n^2 \rangle \cdot z \cdot M = 200000$$

$$\rightarrow z = 833,33$$

$$p_R = 2,76 \cdot 10^{-13} \text{ W } (-95,6 \text{ dBm})$$

$$z_u = 40 \cdot (D+1) = 440$$

$$6) (s/n)_s = 3 \cdot D^2 \cdot \langle x_n^2 \rangle \cdot z_u \cdot M = 105600 \text{ (50,2 dBm)}$$