

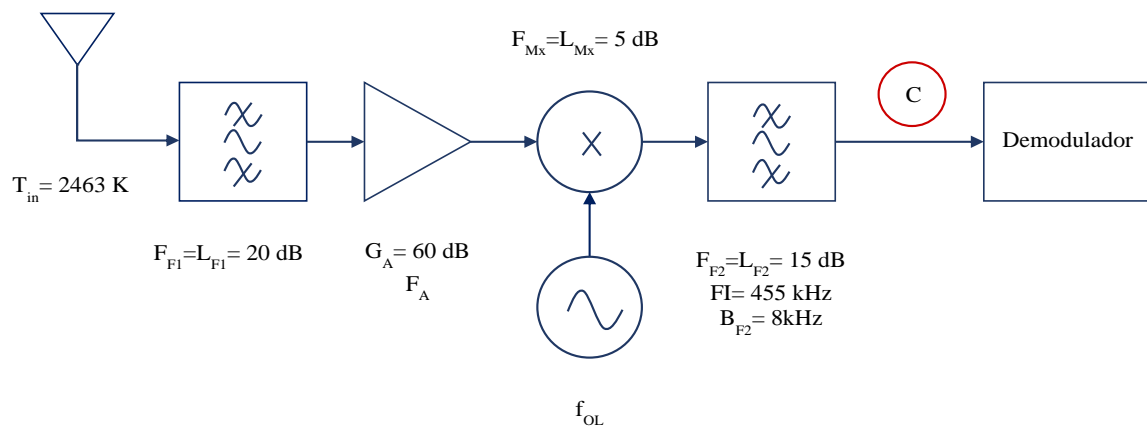


Apellidos:

Nombre: DNI:

EJERCICIO 1 (2,5 Puntos).

El nivel de ruido de un receptor de un sistema de comunicaciones modulado en AM es medido mediante un analizador de espectros antes del demodulador (punto C). Los valores de temperatura de ruido de entrada y las figuras de ruido así como ganancias y pérdidas de cada uno de los elementos del receptor necesarios para el problema están descritos en la figura siguiente:



a) Receptor de AM

- a) Si la potencia de ruido medido con el analizador de espectros es de -100 dBm medido sobre el ancho de banda de resolución (RBW) de 1 kHz, obtenga la potencia de ruido existente a la entrada del demodulador. (1,25 puntos)

- b) A partir de los datos anteriores obtenga la figura del ruido del amplificador. En caso de no haber resuelto el apartado anterior considere que la potencia de ruido equivalente a la entrada del demodulador es 10^{-12} watos. Constante de Boltzmann (k)= $1.38 \cdot 10^{-23}$ w/Hz/K (1,25 puntos)

Soluciones al EJERCICIO 1 (2,5 Puntos).

- a) Si la potencia de ruido medido con el analizador de espectros es de -100 dBm medido sobre el ancho de banda de resolución (RBW) de 1 kHz, obtenga la potencia de ruido existente a la entrada del demodulador. (1,25 puntos)

Como la potencia de ruido medida en el analizador de espectros es:

$$N = N_o + 10 \cdot \log(RBW) \Rightarrow -100(\text{dBm}) = N_o + 10 \cdot \log[10^3(\text{Hz})] \Rightarrow$$

En dBm:

$$\Rightarrow N_o = -100(\text{dBm}) - 30(\log(\text{Hz})) \Rightarrow N_o = -130 \left(\frac{\text{dBm}}{\text{Hz}} \right) \quad (1)$$

Esta densidad espectral de potencia de ruido se filtra a 8 kHz:

$$N = N_o \left(\frac{\text{dBm}}{\text{Hz}} \right) + 10 \cdot \log(8 \cdot 10^3) = -130 + 39 \approx -91 \text{ dBm}$$
$$n = 10^{\frac{-91}{10}} = 7.94 \cdot 10^{-10} \text{ mW} \Rightarrow \boxed{n \approx 8 \cdot 10^{-13} \text{ W}} \quad (2)$$

- b) A partir de los datos anteriores obtenga la figura del ruido del amplificador. En caso de no haber resuelto el apartado anterior considere que la potencia de ruido equivalente a la entrada del demodulador es 10^{-12} watio. Tome la constante de Boltzman (k) como $1.38 \cdot 10^{-23} \text{ w/Hz/K}$ (1,25 puntos)

Con la fórmula de Friis podemos decir que la temperatura equivalente de ruido del receptor (sin la antena) es:

$$T_{eR} = T_{F1} + \frac{T_A}{\frac{1}{l_{F1}}} + \frac{T_{Mx}}{\frac{1}{l_{F1}} \cdot g_A} + \frac{T_{F2}}{\frac{1}{l_{F1}} \cdot g_A \cdot \frac{1}{l_{F2}}} \quad (3)$$

Donde T_A es la temperatura equivalente de ruido del amplificador, luego:

$$T_A = \frac{1}{l_{F1}} \left(T_{eR} - T_{F1} - \frac{T_{Mx}}{\frac{1}{l_{F1}} \cdot g_A} - \frac{T_{F2}}{\frac{1}{l_{F1}} \cdot g_A \cdot \frac{1}{l_{F2}}} \right) \quad (4)$$

Para el cálculo de T_{eR} , podemos decir que:

$$T_{eT} = T_{in} + T_{eR} \Rightarrow T_{eR} = T_{eT} - T_{in} \quad (5)$$

Donde T_{eT} (temperatura equivalente total, incluyendo la antena).

Operando con la potencia de ruido en la entrada del receptor:

$$n = k \cdot T_{eT} \cdot B \cdot g_T \Rightarrow T_{eT} = \frac{n}{k \cdot B \cdot g_T} = \frac{8 \cdot 10^{-13}}{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 100} = 72463 \text{ K} \quad (6)$$

Donde la ganancia total es

$$G_T = -L_{F1} + G_A - L_{Mx} - L_{F2} = -20 + 60 - 5 - 15 = 20 \text{ dB}$$
$$g_T = 10^{\frac{G_T}{10}} = 10^{\frac{20}{10}} = 100 \quad (7)$$

Sustituyendo en (5):

$$T_{eR} = T_{eT} - T_{in} = 72463 - 2463 = 70000K \quad (8)$$

El resto de valores de (4):

$$\begin{aligned} T_{F1} &= T_O \cdot (l_{F1} - 1) = 300 \cdot (10^{\frac{20}{10}} - 1) = 2.97 \cdot 10^4 K \\ T_{Mx} &= T_O \cdot (l_{Mx} - 1) = 300 \cdot (10^{\frac{5}{10}} - 1) = 648.68K \\ T_{F2} &= T_O \cdot (l_{F2} - 1) = 300 \cdot (10^{\frac{15}{10}} - 1) = 9187K \end{aligned} \quad (9)$$

Sustituyendo en (4);

$$\begin{aligned} T_A &= \frac{1}{100} \cdot \left(70000 - 29700 - \frac{648.7}{\frac{1}{100} \cdot 10^6} - \frac{9187}{\frac{1}{100} \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{31.62}} \right) \Rightarrow \\ &\Rightarrow T_A = \frac{1}{100} \cdot (70000 - 29700 - 0.065 - 29.04) \Rightarrow T_A = 402.71K \end{aligned} \quad (10)$$

Luego la figura de ruido será:

$$f_A = 1 + \frac{T_A}{T_O} = \frac{402.71}{300} = 2.3423 \Rightarrow F_A = 10 \cdot \log(f_A) = 10 \cdot \log(2.3423) \Rightarrow \boxed{F_A = 3.7dB} \quad (11)$$

En caso de no haber resuelto el apartado anterior, con $n=10^{-12}W$:

Operando con la potencia de ruido en la entrada del receptor:

$$n = k \cdot T_{eT} \cdot B \cdot g_T \Rightarrow T_{eT} = \frac{n}{k \cdot B \cdot g_T} = \frac{10^{-12}}{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 100} = 90579.7K \quad (12)$$

Sustituyendo en (5):

$$T_{eR} = T_{eT} - T_{in} = 90579.7 - 2463 = 88116.71K \quad (13)$$

Sustituyendo en (4);

$$\begin{aligned} T_A &= \frac{1}{100} \cdot \left(88116.71 - 29700 - \frac{648.7}{\frac{1}{100} \cdot 10^6} - \frac{9187}{\frac{1}{100} \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{31.62}} \right) \Rightarrow \\ &\Rightarrow T_A = \frac{1}{100} \cdot (88116.71 - 29700 - 0.065 - 29.04) \Rightarrow T_A = 555.12K \end{aligned} \quad (14)$$

Luego la figura de ruido será:

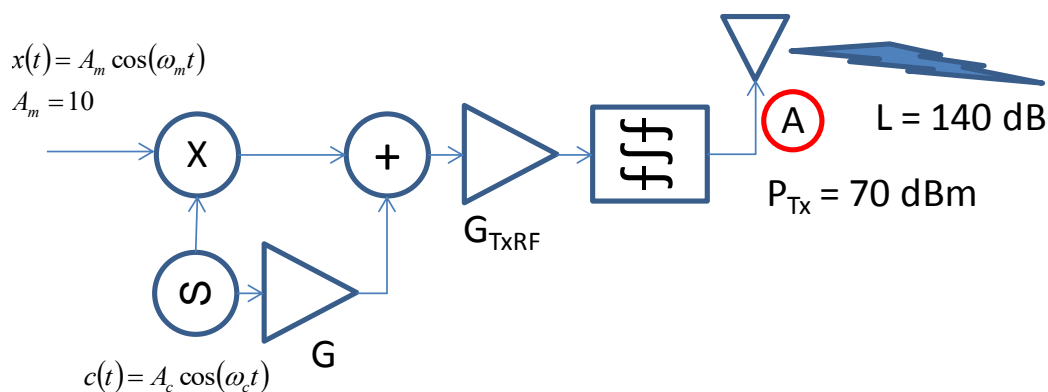
$$f_A = 1 + \frac{T_A}{T_O} = \frac{555.12}{300} = 2.85 \Rightarrow F_A = 10 \cdot \log(f_A) = 10 \cdot \log(2.85) \Rightarrow \boxed{F_A = 4.55dB} \quad (15)$$

Apellidos:

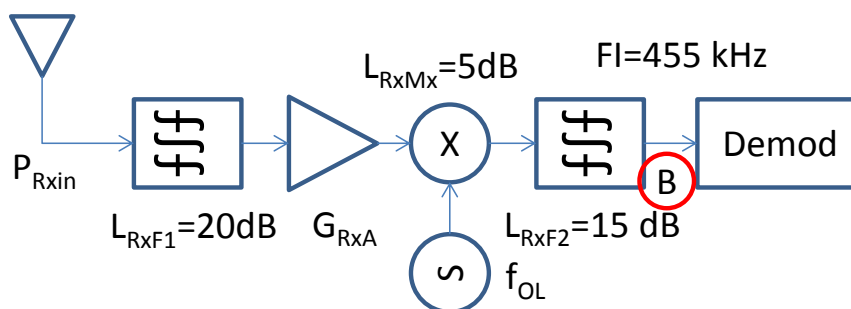
Nombre: DNI:

EJERCICIO 3 (2,5 Puntos).

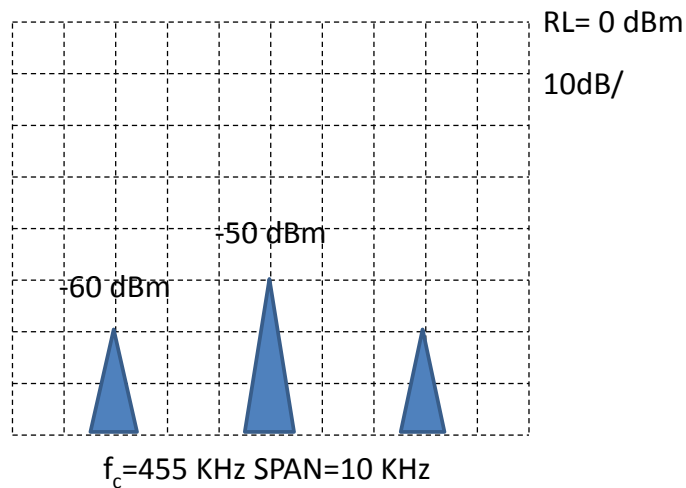
Un sistema de comunicaciones modulado en AM consta de un transmisor, un medio de transmisión con pérdidas L dB y un receptor. Los valores de ganancias y pérdidas de los elementos del sistema de transmisión necesarios para el problema están descritos en las figuras siguientes:



a) Transmisor y Medio



b) Receptor



c) Imagen vista en un analizador de espectros en el punto B

- a) Según los datos observados en el analizador de espectros, obtenga el índice de modulación m del modulador AM del transmisor. (30%)
- b) Obtenga la ganancia G (dB) del amplificador del modulador AM del transmisor. (10%)
- c) Siendo la potencia transmitida en A (P_{Tx}) de 70 dBm, obtenga la ganancia del primer amplificador del receptor de AM, para que la potencia recibida por el demodulador (punto B) coincida con lo medido en el analizador de espectros. (50%)
- d) Si la relación señal a ruido a la entrada del modulador (punto B) es de 31.4 dB, obtenga la relación señal a ruido a la salida del demodulador. (10%)

Soluciones al EJERCICIO 3 (2,5 Puntos).

- a) Según los datos observados en el analizador de espectros, obtenga el índice de modulación m del modulador AM del transmisor. (30%)

Siendo las potencias de la portadora (P_C) y las de cada banda lateral (P_{BL}):

$$P_C = -50 \text{ dBm} \quad p_C = 10^{-5} \text{ mw}$$

$$P_{BL} = -60 \text{ dBm} \quad p_{BL} = 10^{-6} \text{ mw} \quad \text{la potencia de las dos bandas laterales vale } p_{2BL} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ mw}$$

Conocido el espectro de una señal AM modulada por una señal sinusoidal:

$$\frac{p_{2BL}}{p_C} = \frac{\frac{m^2 A^2}{4}}{\frac{A^2}{2}} = \frac{m^2}{2} \quad \rightarrow \quad m = \sqrt{\frac{2p_{2BL}}{p_C}} = 0.632$$

- b) Obtenga la ganancia G (dB) del amplificador del modulador AM del transmisor. (10%)

La señal obtenida por el modulador del transmisor vale $x(t) \cdot c(t) + g \cdot c(t) = A_c g \left(1 + \frac{A_m}{g} x_n(t) \right)$ que comparada con $A(1 + mx_n(t))$, permite obtener la ganancia del amplificador como:

$$g = \frac{A_m}{m} = 15.811 \quad y \quad G(\text{dB}) = 20 \cdot \log(g) = 23.99 \text{ dB}$$

- c) Siendo la potencia transmitida en A (P_{Tx}) de 70 dBm, obtenga la ganancia del primer amplificador del receptor de AM, para que la potencia recibida por el demodulador (punto B) coincida con lo medido en el analizador de espectros. (50%)

La potencia recibida por el modulador AM vale:

$$p_{AM} = p_C + p_{2BL} = \frac{p_{Tx}}{l} \cdot \frac{g_{RxA}}{l_{RxF1} \cdot l_{RxMx} \cdot l_{RxF2}}$$

Con lo que:

$$g_{RxA} = \frac{p_C + p_{2BL}}{p_{Tx}} \cdot l \cdot l_{RxF1} \cdot l_{RxMx} \cdot l_{RxF2} = \frac{10^{-5} + 2 \cdot 10^{-6}}{10^7} \cdot 10^{14} \cdot 10^2 \cdot 10^{0.5} \cdot 10^{1.5} = 1.2 \cdot 10^6$$

$$y \quad G_{RxA} = 10 \cdot \log(g_{RxA}) = 60.79 \text{ dB}$$

- d) Si la relación señal a ruido a la entrada del modulador (punto B) es de 31.4 dB, obtenga la relación señal a ruido a la salida del demodulador. (10%)

Si la relación señal a ruido a la entrada del modulador vale:

$$\left(\frac{S}{n} \right)_{IN} = 10^{3.14} = \frac{z}{2} \quad \rightarrow \quad z = 2750$$

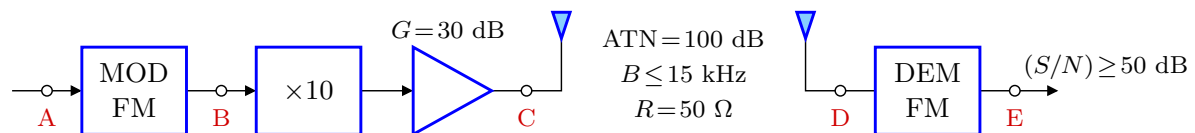
y por tanto

$$\left(\frac{S}{n} \right)_{OUT} = z \cdot \frac{m^2 \langle x_n^2 \rangle}{1 + m^2 \langle x_n^2 \rangle} = 2750 \cdot \frac{0.632^2 \cdot \frac{1}{2}}{1 + 0.632^2 \cdot \frac{1}{2}} = 500 \quad \rightarrow \quad \left(\frac{S}{N} \right)_{OUT} = 10 \cdot \log \left(\frac{S}{n} \right)_{OUT} = 26.99 \text{ dB}$$

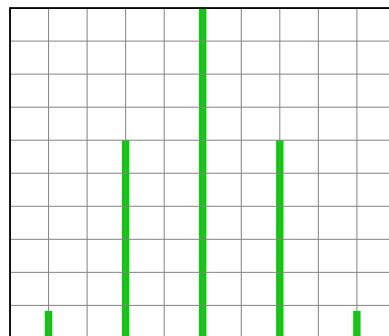
Apellidos:

Nombre: DNI:

EJERCICIO 4 (2,5 puntos): Sea el sistema FM experimental, modulado con un tono, cuyo diagrama de bloques aparece en la siguiente figura.



El amplificador gana 30 dB. A su salida, punto C, se ha medido la señal modulada con un analizador de espectros, obteniéndose aproximadamente la pantalla de la siguiente figura. Datos adicionales: en el punto C la potencia total media de FM es de 50 dBm; la atenuación del trayecto radioeléctrico es de 100 dB; todo el ruido se modela mediante una contribución aditiva unilateral en el punto D de $5 \cdot 10^{-20}$ W/Hz; el sistema está adaptado a 50 Ω.



MEDIDA EN EL PUNTO C

Nivel de referencia: +50 dBm

Eje vertical: 5 dB/

Frecuencia central: 80 MHz

Span total: 25 kHz

a) Calcule la frecuencia del tono modulador inyectado en el punto A. Calcule la frecuencia portadora que ha usado el modulador (bloque entre los puntos A y B). Calcule el valor de pico de la señal modulada en el punto B. (0,80 puntos.)

b) Calcule el índice de modulación de la señal radiada (punto C). *Trabaje usando la aproximación de banda estrecha* (no se preocupe por si es válida o no la aproximación, se le garantiza que, en este caso, nos ofrece buenos resultados). (Nota: no se adjunta una tabla con los valores de $J_n(\beta)$; no hace falta trabajando con la aproximación de banda estrecha.) *(0,50 puntos.)*

c) A partir de ahora, y de forma totalmente independiente al valor de β que haya obtenido en el apartado anterior, vamos a estudiar las limitaciones a que dan lugar ciertos condicionantes sobre los posibles valores que puede tomar el índice de modulación.

En el canal radioeléctrico se dispone de un ancho de banda de 15 kHz. Estudie qué limitaciones impone este condicionante sobre los posibles valores que puede tomar el índice de modulación de la señal radiada. *(0,40 puntos.)*

d) A la salida del sistema se requiere una calidad de al menos 50 dB. Estudie qué limitaciones impone este condicionante sobre los posibles valores que puede tomar el índice de modulación de la señal radiada. *(0,80 puntos.)*

RESOLUCIÓN EJERCICIO 4.

a) En el analizador (punto C):

$$f_m = 2 \cdot \text{cuadros} = 2 \cdot 2,5(\text{k}) = 5 \text{ kHz}$$

$$f_c = CF = 80 \text{ MHz}$$

$$P = 50 \text{ dBm}$$

La frecuencia del tono modulador en el punto A es la misma:

$$f'_m = f_m = 5 \text{ kHz}$$

La portadora del modulador es menor por culpa del multiplicador de frecuencia:

$$f'_c = \frac{f_c}{N} = \frac{80(\text{M})}{10} = 8 \text{ MHz}$$

La potencia de FM en el punto B es:

$$P' = P - G = 50 - 30 = 20 \text{ dBm} \rightarrow 0,1 \text{ W}$$

Que se corresponde con un valor de pico:

$$0,1 = \frac{A^2}{2 \cdot 50} \rightarrow A = \sqrt{10} \text{ V}$$

b) En el analizador también podemos comprobar que nos encontramos en situación de banda estrecha: la potencia total es aproximadamente igual que la de la línea espectral a f_c , y las siguientes líneas espectrales tienen mucha menos potencia. Vemos que entre la contribución para $n = 0$ y la contribución de $n = +1$ hay 20 dB, o sea: 100 v.p. o 10 v.s. Esas 10 v.s. son la relación entre las amplitudes de dichas líneas espectrales, es decir:

$$10(\text{v.s.}) = \frac{J_0(\beta)}{J_1(\beta)} \approx \frac{A}{A\beta/2} = \frac{1}{\beta/2}$$

$$\beta \approx 0,2$$

Y en el modulador:

$$\beta' = \frac{\beta}{10} \approx 0,02$$

Resolución dual: a partir de potencia total de FM sacamos la amplitud A ; a partir de la línea espectral en $f_c + f_m$, de aproximadamente 30 dBm, sacamos β .

$$\text{Potencia media total de FM en C: } P = 50 \text{ dBm} \rightarrow 100 \text{ W}$$

$$100 = \frac{A^2}{2 \cdot 50} \rightarrow A = 100 \text{ V}$$

$$\text{En la delta a } f_c + f_m \text{ tenemos: } 30 \text{ dBm} \rightarrow 1 \text{ W}$$

$$1 \approx \frac{(100 \cdot \beta/2)^2}{2 \cdot 50}$$

$$\beta \approx 0,2$$

c) Imponemos la restricción de ancho de banda en la fórmula de Carson:

$$B_c = 2 f_m (\beta + 1)$$

$$15(k) \geq 2 \cdot 5(k) (\beta + 1)$$

$$\beta \leq 0,5$$

Si nos movemos al modulador, teniendo en cuenta el multiplicador de frecuencia:

$$\beta' \leq \frac{\beta}{10} = 0,05$$

d) Potencia media recibida:

$$P_R = P - ATN = 50 - 100 = -50 \text{ dBm} \rightarrow 10^{-8} \text{ W}$$

Imponemos la restricción de calidad en la fórmula de calidad de FM:

$$(s/n) = 3\beta^2 \langle x_n^2 \rangle z$$

$$100000 \leq 3 \cdot \beta^2 \cdot 0,5 \cdot \frac{10^{-8}}{5 \cdot 10^{-20} \cdot 5000}$$

$$\beta \geq 0,041$$

Ahora comprobamos la validez de la fórmula de calidad. Para el valor máximo de β :

$$z_u = 40 (0,5 + 1) = 60 \text{ v.p.}$$

Y en nuestro sistema:

$$z = \frac{10^{-8}}{5 \cdot 10^{-20} \cdot 5000} = 4 \cdot 10^7 \text{ v.p.}$$

Podemos asegurar que si la señal cabe por el ancho de banda disponible, el resultado obtenido es correcto.

(Nota: si la potencia total de FM es exactamente 50 dBm, entonces un marcador devuelve en las líneas espectrales —en dBm— 49,91; 29,96; y 3,95. Si la línea espectral a f_c es exactamente 50 dBm, el marcador ahora nos indica 50,00; 30,04; y 4,04. Forma parte de la propia aproximación de banda estrecha suponer que la potencia media total de FM es aproximadamente el valor de la línea espectral a f_c .)