

Apellidos:

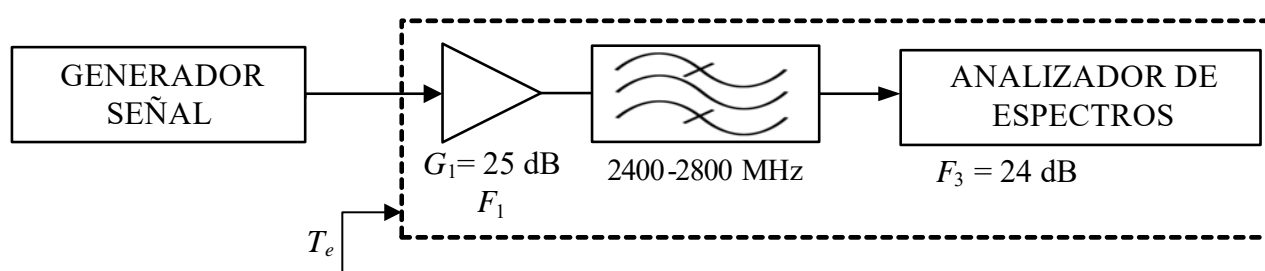
Nombre: DNI:

El examen consta de 3 problemas de igual valor.

Responder en la hoja del enunciado. Deben entregarse todos los problemas, aunque estén en blanco.

Duración total: 90 minutos.

PROBLEMA 1. Se desea hacer unas medidas utilizando un analizador de espectros. A la entrada del analizador de espectro se ubica un preamplificador y un filtro.



- El amplificador tiene una ganancia de 25 dB (para los dos primeros apartados) y una figura de ruido de 9 dB. Su punto de compresión a 1 dB, P_{1dB} , es 23 dBm.
- Puede suponer que el filtro paso banda no atenúa en su banda de paso (2400-2800 MHz) y que fuera de esa banda la atenuación es infinita.
- El analizador de espectros tiene una figura de ruido de 24 dB.
- El sistema está a temperatura física $T_0 = 300$ K y adaptado a $R = 50 \Omega$.
- Constante de Boltzmann $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K.

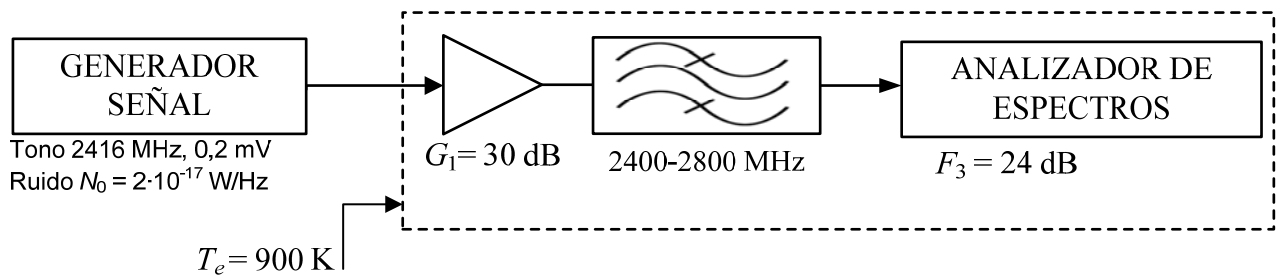
Nota: los apartados son independientes entre sí.

1) Determinar la temperatura equivalente del conjunto amplificador + filtro + analizador de espectros, T_e . (30%)

2) Determinar la potencia (en W) de un nuevo tono que haga trabajar al amplificador en su punto de compresión a 1 dB, P_{1dB} . Calcule asimismo la amplitud de dicho tono (en V). (20%)

3) Se desea bajar la T_e del conjunto a 900 K. Para ello, se plantea sustituir el amplificador por uno de ganancia 30 dB. ¿Qué figura de ruido deberá tener el nuevo amplificador? (20%)

4) Con la configuración del apartado anterior (ver figura: amplificador de ganancia 30 dB y temperatura equivalente del conjunto $T_e = 900$ K) y utilizando el generador de señal se introduce un tono de amplitud de pico $2 \cdot 10^{-4}$ V y frecuencia 2416 MHz, acompañado de ruido térmico de densidad espectral de potencia $N_0 = 2 \cdot 10^{-17}$ W/Hz. En la plantilla adjunta, dibujar el espectro que se visualizaría en la pantalla del analizador de espectros; fíjese en la configuración del equipo que se indica a la izquierda. No olvide pintar el ruido. (30%)



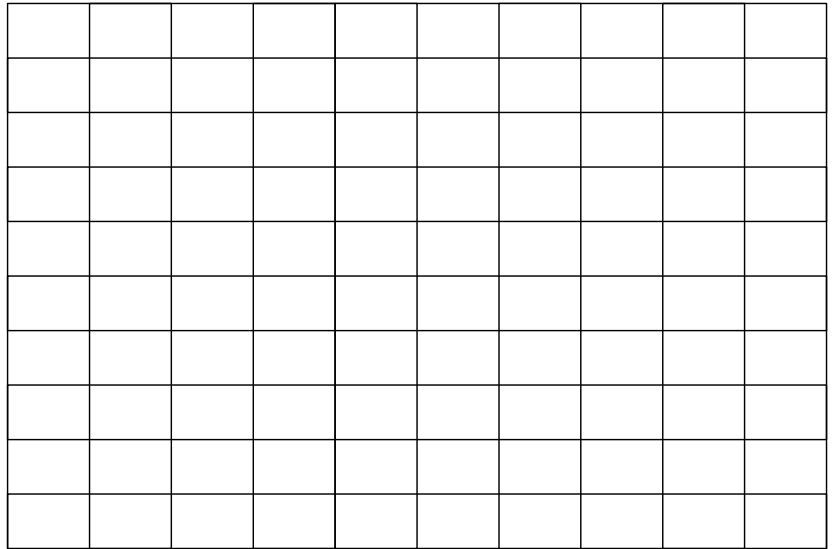
Frecuencia central: 2420 MHz

SPAN: 20 MHz

Factor de escala vertical: 10 dB/div

Nivel de referencia: 20 dBm

Ancho de banda de resolución
(RBW): 200 kHz





TEORÍA DE LA COMUNICACIÓN

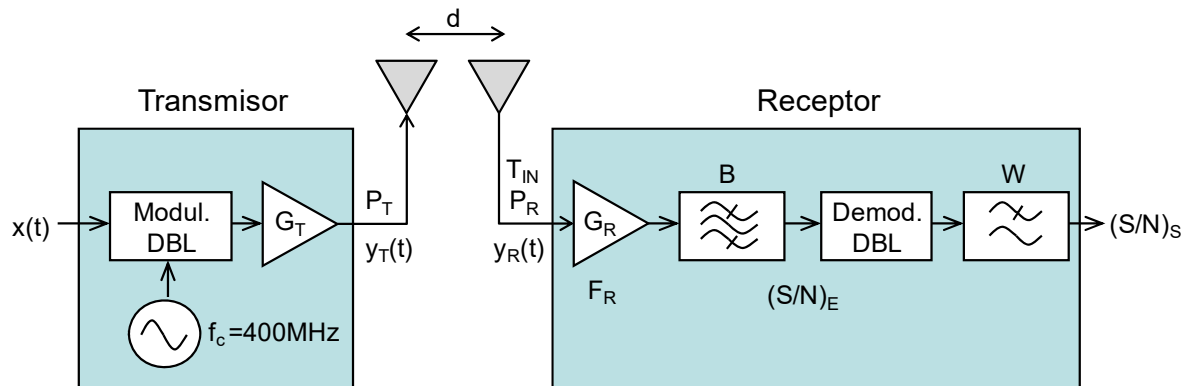
Examen parcial, abril de 2016

TSC

Apellidos:

Nombre: DNI:

PROBLEMA 2. Se dispone de un sistema de telecomunicación con modulación DBL, con el que se pretende transmitir una señal moduladora, $x(t)$, utilizando una portadora de frecuencia 400 MHz. La impedancia característica de todo el sistema es de 50 Ω .



La señal moduladora, $x(t)$, se caracteriza por un valor de pico de 2 V, componente continua nula y una potencia media de 20 mW. Su ancho de banda es de 15 kHz.

El canal radioeléctrico se modela como lineal e invariante el tiempo, con una atenuación que viene expresada en función de la frecuencia, f , y de la distancia entre transmisor y receptor, d :

$$A_{\text{canal}} [\text{dB}] = 56 + 20 \log_{10} f [\text{MHz}] + 20 \log_{10} d [\text{km}]$$

y ruido blanco, gaussiano y aditivo, con una temperatura equivalente de ruido, T_{IN} , igual a 300 K.

El receptor está construido con un demodulador coherente convencional y cuenta con un amplificador de entrada de baja figura de ruido, $F_R = 10$ dB, y elevada ganancia, $G_R = 40$ dB.

- 1) Obtenga el ancho de banda de la señal transmitida, $y_T(t)$. Exprese el resultado en kHz. (10%)
- 2) Calcule la máxima potencia media de señal que puede llegar a transmitirse, P_T , sabiendo que la potencia instantánea máxima del amplificador de salida del transmisor, en su zona de trabajo lineal, es igual a 2 kW. Exprese el resultado en dBW. (30%)
- 3) Para el caso anterior, calcule cuál sería la potencia media de señal que llegaría al receptor, P_R , sabiendo que éste se encuentra a una distancia del transmisor, d , igual a 50 km. Exprese el resultado en dBW. (20%)

Nota: Si no ha resuelto el apartado 2), considere $P_T = 30$ dBW.

- 4) Determine la relación señal a ruido en el receptor, antes del demodulador, $(S/N)_E$, y la relación señal a ruido a la salida del receptor, $(S/N)_S$. Considere que el ancho de banda de los filtros del receptor, B y W , tienen el valor más pequeño posible. Exprese el resultado en dB. (40%)



TEORÍA DE LA COMUNICACIÓN

Examen parcial, abril de 2016

TSC

Apellidos:

Nombre: DNI:

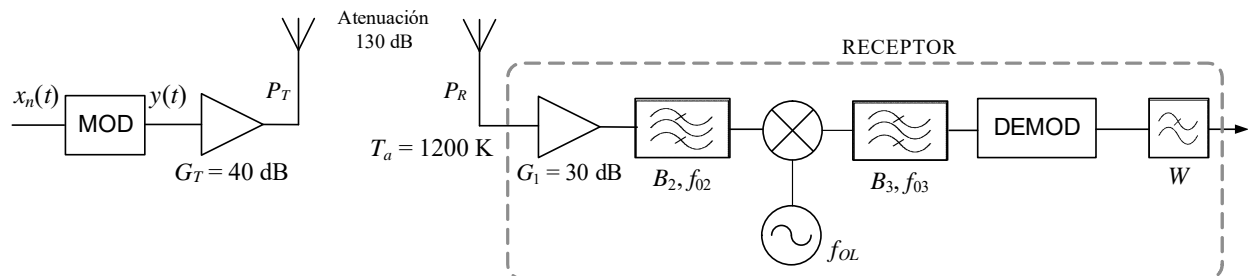
PROBLEMA 3. Un sistema de comunicaciones que emplea modulación FM transmite una señal normalizada, $x_n(t)$, de ancho de banda 15 kHz y valor cuadrático medio normalizado $\langle x_n^2 \rangle = 0,25$. La frecuencia portadora es 150 MHz. La desviación máxima de frecuencia, Δf , es 90 kHz. No se emplea preénfasis/deénfasis. El diagrama de bloques se recoge en la figura.

Se indican a continuación diversos parámetros del receptor superheterodino:

- La temperatura de ruido captada por la antena es 1200 K.
- El amplificador tiene 30 dB de ganancia.
- El primer filtro paso banda está centrado en una frecuencia $f_{02} = 150$ MHz y tiene un ancho de banda $B_2 = 10$ MHz. No introduce atenuación ni ruido en la banda de paso.
- El segundo filtro paso banda está centrado en la frecuencia intermedia $f_{03} = 10,7$ MHz. Tiene un ancho de banda B_3 . No introduce atenuación ni ruido en la banda de paso.
- El oscilador local tiene una frecuencia de f_{OL} .
- Todo el sistema está adaptado a 50Ω .

La potencia recibida en la antena es $P_R = -80$ dBm. El canal radioeléctrico atenúa 130 dB. Se exige una calidad mínima $(S/N)_S = 50$ dB a la salida del receptor.

Nota. Los apartados 3 y 4 pueden realizarse de manera independiente a los anteriores.



- 1) Indicar valores adecuados para f_{OL} , B_3 y W . (20%)
- 2) Determinar la máxima temperatura equivalente del receptor para garantizar la calidad mínima exigida (50 dB de relación S/N a la salida). No olvide comprobar que el sistema trabaja por encima del umbral. (40%)
- 3) Determinar la potencia transmitida P_T , así como la potencia equivalente de pico, PEP . (10%)
- 4) Suponer ahora que la señal moduladora es un tono normalizado de frecuencia 15 kHz. Escribir la expresión temporal de la señal modulada antes del amplificador del transmisor, $y(t)$. Es necesario sustituir todas las variables por sus valores numéricos correspondientes. (30%)

Problema 1. SOLUCIÓN

$$\begin{aligned}1) \quad T_{e1} &= T_0 \cdot (f_1 - 1) = 2100 \text{ K} \\ T_{e2} &= T_0 \cdot (a_2 - 1) = 0 \text{ K} \\ T_{e3} &= T_0 \cdot (f_3 - 1) = 75057 \text{ K} \\ T_e &= T_{e1} + T_{e2} / g_1 + T_{e3} \cdot a_2 / g_1 = 2100 + 0 + 75057/316,23 = 2337,4 \text{ K}\end{aligned}$$

2) En el P_{1dB} la ganancia es de $25 - 1 = 24 \text{ dB}$.

La potencia de un tono a la entrada será: $23 \text{ dBm} - 24 \text{ dB} = -1 \text{ dBm}$ ($0,8 \text{ mW}$).

Como se trata de un tono, $P = A^2/(2R) \rightarrow A = \sqrt{2 \cdot R \cdot P} = 0,28 \text{ V}$

3) Como G_1 es muy elevada, $T_e \approx T_{e1} = T_0 \cdot (f_1 - 1) = 900 \text{ K} \rightarrow f_1 = 900/300 + 1 = 4 \rightarrow F_1 = 6 \text{ dB}$.

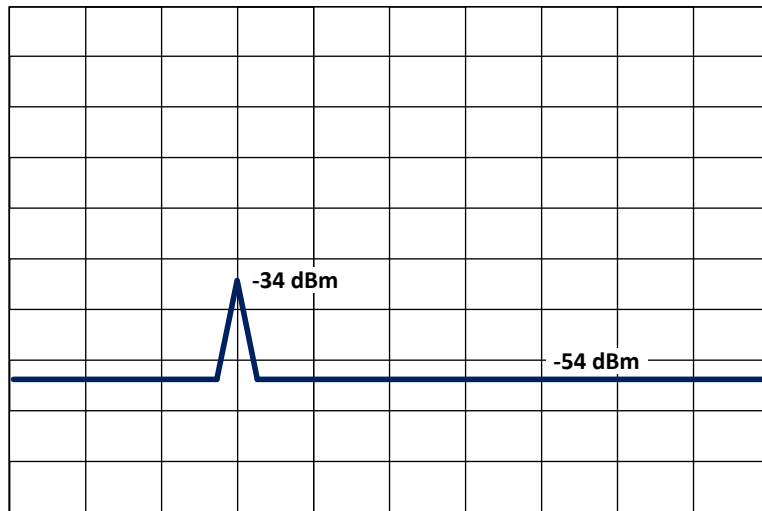
4) La potencia del tono a la entrada del analizador de espectros es: $-64 \text{ dBm} + 30 \text{ dB} = -34 \text{ dBm}$.

La densidad espectral de ruido a la entrada del analizador de espectros es:

$$N_0 = (k \cdot T_e + N_{0, \text{generador}}) \cdot g_1 / a_2 = (k \cdot 900 + 2 \cdot 10^{-17}) \cdot 1000 / 1 = 2 \cdot 10^{-14} \text{ W/Hz}$$

Y la potencia de ruido que se visualiza en el analizador de espectros:

$$P_n = N_0 \cdot RBW = 2 \cdot 10^{-14} \cdot 2 \cdot 10^5 = 4 \cdot 10^{-9} \text{ W} \rightarrow P_n = -54 \text{ dBm}$$



Problema 2. SOLUCIÓN

1) El ancho de banda en DBL es dos veces el ancho de banda de la señal moduladora.

$$B = 2W = 30 \text{ kHz}$$

2) La potencia media de salida en DBL es proporcional a la PEP. Así pues, la máxima potencia media de salida se consigue cuando se trabaja con la máxima PEP la cual, a su vez, no puede ser mayor que la potencia instantánea máxima de salida del amplificador del transmisor en su zona de trabajo lineal. Por consiguiente:

$$P_T = PEP \cdot \langle \bar{x}^2 \rangle = PEP \cdot \frac{\langle x^2 \rangle}{x_p^2} = PEP \cdot \frac{Z \cdot P_x}{x_p^2} = 500 \text{ W} \rightarrow 27 \text{ dBW}$$

3) La frecuencia de trabajo del sistema es la frecuencia central de la banda de paso, la cual coincide con la frecuencia de portadora. Esto es $f = 400 \text{ MHz}$. La distancia entre el transmisor y el receptor es de 50 km . De modo que:

$$A(\text{dB}) = 56 + 20 \cdot \log(400 \cdot 10^6) + 20 \cdot \log(50 \cdot 10^3) = 142 \text{ dB}$$

$$P_R = P_T - A = -115 \text{ dBW}$$

- 4) Al tener un amplificador de bajo nivel de ruido y alta ganancia, el ruido total del receptor será prácticamente el ruido generado por ese amplificador. De modo, que la temperatura equivalente de ruido total inyectada al receptor, es la suma de la temperatura equivalente de ruido del canal y de la temperatura equivalente del ruido del amplificador:

$$T_{eT} = T_{IN} + T_0(f_R - 1) = T_0 + T_0(10^{1,0} - 1) = 10T_0 \rightarrow N_0 = k \cdot T_{eT} = 10kT_0$$

Por otro lado, el valor más pequeño posible de los filtros del receptor, W y B , en una DBL coincide estrictamente con el ancho de banda de la señal moduladora y de la señal modulada, respectivamente. Es decir. $W = 15$ KHz y $B = 30$ kHz. De modo que:

$$Z(\text{dB}) = P_R - 10\log(10kT_0) - 10\log(W) = -115 - 193,8 - 41,8 = 37 \text{ dB}$$

De donde se llega inmediatamente al valor de las calidades que nos piden:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_E = \frac{Z}{2} \rightarrow 37 - 3 = 34 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_S = Z \rightarrow 37 \text{ dB}$$

Problema 3. SOLUCIÓN

1) $f_{OL} = 139,3$ MHz ó $160,7$ MHz.

$B_3 = 2 \cdot (\Delta f + W) = 210$ kHz, aplicando fórmula de Carson.

$W = 15$ kHz.

2)

$$D = \Delta f / W = 6$$

$$\frac{S}{n} = 3 \cdot D^2 \cdot \langle x_n^2 \rangle \cdot z \cdot M = 10^5 \rightarrow z = 3704$$

$$z > z_u = 40(D + 1) = 280$$

$$N_0 = \frac{P_r}{z \cdot W} = 1,8 \cdot 10^{-19} \text{ W}$$

$$T_{eT} = \frac{N_0}{k} = 13043 \text{ K} \rightarrow T_e = T_{eT} - T_a = 11843 \text{ K}$$

3) $P_T = PEP = 100$ W (50 dBm)

4)

$$A = \sqrt{2 \cdot p_t \cdot R} = 1 \text{ V}$$

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{90 \text{ kHz}}{15 \text{ kHz}} = 6$$

$$y(t) = 1 \cdot \cos(2\pi \cdot 150 \cdot 10^6 t + 6 \sin(2\pi \cdot 15000 \cdot t))$$